



Συντήρηση Έργων Τέχνης

Τόμος 1ος

Γ' ΕΠΑ.Λ.

Ειδικότητα: Συντήρησης Έργων Τέχνης - Αποκατάστασης



ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ

ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΥΠΟΛΟΓΙΣΤΩΝ ΚΑΙ ΕΚΔΟΣΕΩΝ «ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ»

Συντήρηση Έργων Τέχνης

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΑΡΧΙΚΗΣ ΕΚΔΟΣΗΣ

ΣΥΓΓΡΑΦΕΙΣ

Βασίλειος Λαμπρόπουλος

Δρ Χημικός Μηχανικός, Καθηγητής εφαρμογών Τ.Ε.Ι. Αθήνας

Ευθαλία Νταλούκα

Συντηρήτρια αρχαιοτήτων και έργων τέχνης, εκπαιδευτικός

Θεοδώρα Παπαθανασίου

Συντηρήτρια αρχαιοτήτων και έργων τέχνης

Μαρία Χατζηδάκη

Συντηρήτρια αρχαιοτήτων και έργων τέχνης

ΣΥΝΤΟΝΙΣΤΗΣ

Βίκα Γκιζελή

Αρχιτέκτων Μηχανικός, Δρ Κοινωνιολογίας, Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΚΡΙΤΕΣ

Ελευθέριος Κότσενος

Ζωγράφος, συντηρητής έργων τέχνης, εκπαιδευτικός

Νικόλαος Μίνως

Δ/ντής συντήρησης έργων τέχνης και αρχαιοτήτων ΥΠ.ΠΟ

Δημήτριος Χαραλάμπους

Δρ Χημικός Μηχανικός, Καθηγητής Τ.Ε.Ι. Αθήνας

ΓΛΩΣΣΙΚΗ ΕΠΙΜΕΛΕΙΑ

Ίνα Αναγνωστοπούλου

Φιλολόγος

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΗ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΚΕΙΜΕΝΩΝ

Χρύσα Στεφάτου

P.K. NET

Ενέργεια 2.3.2: «Ανάπτυξη των Τ.Ε.Ε. και Σ.Ε.Κ.»

ΠΑΙΔΑΓΩΓΙΚΟ ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ

Σταμάτης Αλαχιώτης

Καθηγητής Γενετικής Πανεπιστημίου Πατρών
Πρόεδρος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

Έργο: «Βιβλία Τ.Ε.Ε.»

- Επιστημονικός Υπεύθυνος του Έργου:
Γεώργιος Βούτσινος
Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου
- Επιστημονικός Υπεύθυνος του Τομέα Πληροφορικής-Δικτύων Η/Υ:
Βίκα Δ. Γκιζελή
Σύμβουλος του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΕΠΑΝΕΚΔΟΣΗΣ

Η επανέκδοση του παρόντος βιβλίου πραγματοποιήθηκε από το Ινστιτούτο Τεχνολογίας Υπολογιστών & Εκδόσεων «Διόφαντος» μέσω ψηφιακής μακέτας.

ΥΠΟΥΡΓΕΙΟ ΠΑΙΔΕΙΑΣ ΚΑΙ ΘΡΗΣΚΕΥΜΑΤΩΝ
ΙΝΣΤΙΤΟΥΤΟ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΗΣ ΠΟΛΙΤΙΚΗΣ

Βασίλειος Λαμπρόπουλος
Θεοδώρα Παπαθανασίου

Ευθαλία Νταλούκα
Μαρία Χατζηδάκη

Η συγγραφή και η επιστημονική επιμέλεια του βιβλίου πραγματοποιήθηκε
υπό την αιγίδα του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

Συντήρηση Έργων Τέχνης

Τόμος 1ος

Γ΄ ΕΠΑ.Λ.

ΤΟΜΕΑΣ ΕΦΑΡΜΟΣΜΕΝΩΝ ΤΕΧΝΩΝ

ΕΙΔΙΚΟΤΗΤΑ: ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ ΕΡΓΩΝ ΤΕΧΝΗΣ – ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗΣ

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

ΠΡΟΛΟΓΟΣ	13
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	15
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1	
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ	19
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	19
ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	21
ΓΕΝΙΚΑ	21
ΑΙΓΥΠΤΟΣ	21
ΕΤΡΟΥΡΙΑ	21
ΚΡΗΤΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΗ ΕΛΛΑΔΑ	22
ΜΕΣΑΙΩΝΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ	23
ΝΕΟΤΕΡΑ ΧΡΟΝΙΑ	24
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ	27
ΓΕΝΙΚΑ	27
ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ	27
ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ	34
ΔΙΑΚΟΣΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΕΡΑΜΙΚΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	34
ΤΟ ΣΤΕΓΝΩΜΑ ΤΟΥ ΚΕΡΑΜΙΚΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	35
ΤΟ ΨΗΣΙΜΟ ΤΟΥ ΚΕΡΑΜΙΚΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ	36
ΓΕΝΙΚΑ	36
ΕΙΔΗ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	37
ΥΑΛΩΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	39
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ	41
ΓΕΝΙΚΑ	41
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΔΙΑΛΥΤΑ ΑΛΑΤΑ	44
Η ΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΠΑΓΕΤΟΥ ΣΤΑ ΚΕΡΑΜΙΚΑ	46
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΑΠΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ	46
ΦΘΟΡΕΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΕ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	47
ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΟΛΛΑΣ, ΣΤΕΡΕΩΤΙΚΟΥ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ Ή ΥΛΙΚΟΥ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ	48
ΦΘΟΡΑ ΤΟΥ ΥΑΛΩΜΑΤΟΣ	49
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ	51
ΓΕΝΙΚΑ	51
ΣΤΑΔΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ	51
ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ, ΤΟΥ ΥΑΛΩΜΑΤΟΣ, ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΩΝ	51
ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ	52
ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ	56
ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΩΝ ΚΟΜΜΑΤΙΩΝ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ	58
ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΤΩΝ ΧΑΜΕΝΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ	60
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ	73

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ.....	77
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	77
ΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ.....	78
ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	78
ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ.....	78
ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ	79
Η ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	80
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΕ ΞΗΡΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ	80
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΕ ΥΓΡΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ.....	80
ΟΛΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ-ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ.....	81
ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ	82
ΜΟΡΦΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ	85
ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ.....	87
ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	88
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	91
ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ.....	91
ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ.....	92
ΕΠΙΚΑΛΥΠΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ - ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ.....	93
ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ - ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ.....	94
ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΘΕΣΗΣ - ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ	95
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΙΔΕΡΕΝΙΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ.....	98
ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	98
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ	98
ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ.....	105
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ	107
ΜΟΡΦΕΣ ΦΘΟΡΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΣΚΑΦΗ.....	110
ΜΟΡΦΗ - ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	111
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΙΔΕΡΕΝΙΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	113
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΙΔΕΡΕΝΙΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	115
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΧΑΛΚΙΝΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ	126
ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ.....	126
Η ΜΟΡΦΗ-ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	146
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΚΡΑΜΑΤΑ ΧΑΛΚΟΥ	147
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	155

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΠΕΤΡΑΣ	159
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	159
ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΑ	160
ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ	160
ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ.....	160
ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ.....	160
ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ	162
ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΟΡΥΚΤΩΝ	167
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ	169
ΓΕΝΙΚΑ.....	169
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ	169
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΑΓΕΤΟ	170
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ ΑΠΟ ΔΙΑΛΥΤΑ ΑΛΑΤΑ.....	171
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ.....	173
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ.....	180
ΓΕΝΙΚΑ.....	180
ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ.....	180
ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ	190
ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΕΜΑΧΙΩΝ.....	194
ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΡΩΓΜΩΝ, ΚΕΝΩΝ ΚΑΙ ΚΟΜΜΑΤΙΩΝ ΠΟΥ ΛΕΙΠΟΥΝ	196
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	201

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΓΥΑΛΙΟΥ	205
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	205
ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ	205
ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΥΑΛΙΝΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ.....	205
ΕΠΟΧΗ ΤΟΥ ΧΑΛΚΟΥ.....	206
ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ.....	207
ΚΛΑΣΙΚΗ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ.....	207
ΕΛΛΗΝΙΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ.....	207
ΤΟ ΓΥΑΛΙ ΤΗΣ ΡΩΜΑΪΚΗΣ ΑΥΤΟΚΡΑΤΟΡΙΑΣ	208
ΤΟ ΜΕΤΑΡΩΜΑΪΚΟ ΓΥΑΛΙ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗ ΕΥΡΩΠΗ	209
ΤΟ ΜΕΤΑΡΩΜΑΪΚΟ ΓΥΑΛΙ ΣΤΗ ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΕΥΡΩΠΗ.....	210
Η ΑΚΜΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΥΑΛΟΥΡΓΙΚΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΤΟΥ ΒΟΡΡΑ.....	211
ΒΟΡΕΙΑ ΑΜΕΡΙΚΗ.....	213
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ	216
ΓΕΝΙΚΑ.....	216
ΤΟ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΓΥΑΛΙ	217
ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ	219
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ	221
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ	224
ΕΝΔΟΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΦΘΟΡΑΣ	224
ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΦΘΟΡΑΣ.....	226
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ.....	233
ΓΕΝΙΚΑ.....	233
ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ.....	235
ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ.....	235
ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ.....	238
ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ.....	241
ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ.....	243
ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ	246
ΥΛΙΚΑ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ.....	250
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	255

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ	261
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	261
ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ	262
ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ	262
ΤΟ ΨΗΦΙΔΩΤΟ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΑΔΑ	262
ΤΟ ΨΗΦΙΔΩΤΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΣΤΙΚΗ - ΡΩΜΑΪΚΗ ΕΠΟΧΗ.....	263
ΤΟ ΨΗΦΙΔΩΤΟ ΣΤΟΥΣ ΒΥΖΑΝΤΙΝΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ.....	264
ΤΟ ΨΗΦΙΔΩΤΟ ΑΠΟ ΤΟΝ 16ο ΑΙΩΝΑ ΕΩΣ ΣΗΜΕΡΑ.....	265
ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΨΗΦΙΔΩΤΩΝ.....	266
ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ.....	266
ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ	267
ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ	268
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ	269
ΓΕΝΙΚΑ.....	269
ΦΘΟΡΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ.....	269
ΦΘΟΡΑ ΑΠΟ ΧΗΜΙΚΗ ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΗ	270
ΦΘΟΡΑ ΑΠΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ.....	271
Η ΜΟΡΦΗ - ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ.....	272
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ	274
ΑΠΟΚΑΛΥΨΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΔΑΠΕΔΟΥ	274
ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ	274
ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΔΑΠΕΔΟΥ	275
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΔΑΠΕΔΟΥ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ.....	276
ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΝΤΟΙΧΙΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ.....	277
ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΨΗΦΙΔΩΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ.....	278
Η ΑΠΟΣΠΑΣΗ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ	279
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	287

ΠΡΟΛΟΓΟΣ

Αν η “συντήρηση” στα κοινωνικά δεδομένα είναι μια λέξη με μάλλον αντιπαθητικό περιεχόμενο, στα μνημεία και στα έργα τέχνης έχει το προνόμιο να υποδηλώνει όχι τη στενοκέφαλη «εμμονή στα παλιά» αλλά, αντίθετα, την προστασία, την αξιοποίηση, την ανανέωση, την επανένταξη αυτών των παλιών μέσα στα καινούρια. Είναι, δηλαδή, μια έννοια με μέλλον και ορίζοντα, μια έννοια θετική, προοδευτική, αισιόδοξη.

Στην εποχή μας είναι πολλά τα επιχειρήματα που συνηγορούν υπέρ της προστασίας και της αξιοποίησης του πολιτιστικού πλούτου μας, και το σχετικό υλικό, είτε είναι απλό, αρθρογραφικό υλικό είτε είναι επιστημονικό και βαρυσήμαντο, διευρύνεται ολοένα και περισσότερο. Το μάθημα **Συντήρηση Έργων Τέχνης**, όμως, δεν παραμένει κλεισμένο σε θεωρητικά, μόνο, πλαίσια. Αντίθετως, συμβάλλει στη συνειδητοποίηση της αξίας της πολιτιστικής κληρονομιάς με ενεργό, χειροπιαστό και απολύτως συγκεκριμένο τρόπο: παρουσιάζει την ίδια την πεμπουσία της προστασίας του πολιτισμού, που είναι, ακριβώς, η μέθοδος συντήρησης και αποκατάστασης των μνημείων και των έργων τέχνης, με αποτέλεσμα να τονίζεται η διαχρονική αξία τους και να παρατείνεται η ύπαρξή τους. Το αντικείμενο, άλλωστε, αυτό είναι σχετικά καινούριο όχι μόνο για τη δευτεροβάθμια τεχνική εκπαίδευση αλλά και για τα ελληνικά, εν γένει, δεδομένα και, καθώς συνδυάζει την Τέχνη, την Τεχνολογία και την Επιστήμη, συγκεντρώνει ολοένα και περισσότερο το ενδιαφέρον πολιτιστικά ευαίσθητων ανθρώπων.

Συγκεκριμένα, στο μάθημα και στο διδακτικό βιβλίο παρουσιάζεται η μέθοδος συντήρησης του κεραμικού, του μετάλλου, της πέτρας, του χαρτιού, του υφάσματος και άλλων υλικών, αλλά και της ελαιογραφίας, της φορητής εικόνας ή της τοιχογραφίας.

Δικαιολογημένα, λοιπόν, θα έλεγε κανείς ότι αποτελεί τον ακρογωνιαίο λίθο της Ειδικότητας της Συντήρησης Έργων Τέχνης - Αποκατάστασης των Τ.Ε.Ε. και γι' αυτόν ακριβώς το λόγο εκτείνεται και στους δύο Κύκλους σπουδών. Με τη γνώση που παρέχεται στο βιβλίο αυτό, με τις δραστηριότητες που θα επινοήσει ο διδάσκων, με τις επισκέψεις στους χώρους δουλειάς, με τη συμπληρωματικότητα των άλλων μαθημάτων, οι μαθητές και οι μαθήτριες που θα αποφοιτήσουν από την Ειδικότητα αυτή θα πρέπει να θεωρούνται επαρκώς εξοπλισμένοι, ώστε να μπορέσουν είτε να βγουν δυναμικά στην ενεργό ζωή είτε να συνεχίσουν, με περαιτέρω σπουδές, στην εμβάθυνση του αντικειμένου τους.

Η Υπεύθυνη
Του Τομέα Εφαρμοσμένων Τεχνών
του Παιδαγωγικού Ινστιτούτου

Φθινόπωρο 1999

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το περιεχόμενο σπουδών του συντηρητή Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης καλύπτει το γνωστικό αντικείμενο των τεχνικών της εξέτασης, διατήρησης και συντήρησης - αποκατάστασης της υλικής πολιτιστικής κληρονομιάς υπό την ευρύτερη δυνατή έννοια.

Εξέταση είναι η προκαταρκτική διαδικασία που απαιτείται για να προσδιοριστούν και να αποδειχτούν η σπουδαιότητα ενός αντικειμένου, η πρωταρχική δομή του και τα υλικά του, η έκταση της φθοράς του, η αλλοίωσή του και οι απώλειές του, καθώς και η τεκμηρίωση αυτών των διαπιστώσεων.

Διατήρηση είναι η διαδικασία που περιλαμβάνει τη λήψη μέτρων για την επιβράδυνση ή για την πρόληψη της φθοράς και της καταστροφής των μνημείων και των έργων τέχνης. Τα μέτρα αυτά συνιστανται στον έλεγχο του περιβάλλοντος των μνημείων και των έργων τέχνης, στην επέμβαση στη δομή τους και στη “θεραπεία” τους, και έχουν σκοπό να τα διατηρήσουν σε όσο το δυνατόν καλύτερη κατάσταση.

Αποκατάσταση είναι η διαδικασία που περιλαμβάνει τη λήψη μέτρων, για να δοθεί - όσο γίνεται - σε ένα αντικείμενο που έχει υποστεί φθορά ή βλάβη η αρχική μορφή του με την ελάχιστη δυνατή θυσία της αισθητικής και της ιστορικής ακεραιότητάς του.

(ICOM - Ελληνικό τμήμα, Αθήνα 1995).

Για να επιτευχθούν τα καλύτερα δυνατά αποτελέσματα σχετικά με τις προηγούμενες διαδικασίες, θα πρέπει ο συντηρητής να ακολουθεί ορισμένους κανόνες.

Αρχικά, ο συντηρητής οφείλει με τις επεμβάσεις του να παρατείνει τη ζωή του αρχαιολογικού αντικειμένου, του μνημείου ή του έργου τέχνης όσο το δυνατόν περισσότερο με την επιλογή των πλέον κατάλληλων μεθόδων συντήρησης και υλικών.

Στη συνέχεια, οι άμεσες ή έμμεσες πληροφορίες που μεταφέρει το αντικείμενο πρέπει να περισωθούν και να γίνουν γνωστές, ώστε να καταστούν αντικείμενο συστηματικής μελέτης και ιστορικής αναφοράς, από αρχαιολόγους και ιστορικούς της τέχνης.

Ο συντηρητής πρέπει να αποτελεί μέλος μιας ομάδας από πρόσωπα διάφορων ειδικοτήτων, όπως αρχαιολόγους, ιστορικούς της τέχνης, χημικούς, μηχανικούς, βιολόγους, πολιτικούς μηχανικούς, αρχιτέκτονες μηχανικούς, ζωγράφους, γλύπτες, τεχνίτες υλικών κτλ. και να συνεργάζεται μαζί τους για το καλύτερο δυνατό αποτέλεσμα. Οι επεμβάσεις του στο αντικείμενο πρέπει να είναι μόνο οι απολύτως αναγκαίες και κάθε συμπλήρωση, με την κατάλληλη απόχρωση, να είναι ευδιάκριτη και να ξεχωρίζει από το αυθεντικό. Τα υλικά που χρησιμοποιεί πρέπει να είναι αντιστρεπτά, δηλαδή θα πρέπει ο συντηρητής να είναι βέβαιος ότι υπάρχει το κατάλληλο υλικό και η κατάλληλη μέθοδος για την απομάκρυνσή τους. Επίσης, να είναι συμβατά με το υλικό του αντικειμένου, δηλαδή οι φυσικοχημικές ιδιότητές τους να είναι ίδιες ή τουλάχιστον παρόμοιες. Τέλος, σκόπιμο είναι να γίνεται λεπτομερής καταγραφή όλων των επεμβάσεων που έγιναν, καθώς και των υλικών που χρησιμοποιήθηκαν, τόσο από πλευράς χρονικής διάρκειας όσο και από πλευράς ποσοτήτων.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η λέξη “κεραμικό” προέρχεται από την ελληνική λέξη “κέραμος”, που σημαίνει “καμένο υλικό” ή “πήλινο σκεύος”. Ο όρος αναφέρεται περισσότερο σε ψημένο υλικό παρά σε άψητο πήλινο σκεύος. Αν και τα κεραμικά, γενικά, φαίνεται να είναι φτιαγμένα από πηλό, η σύγχρονη επιστήμη χρησιμοποιεί τον όρο ευρύτερα, όπως για σύνθετους χημικούς συνδυασμούς μεταλλικών στοιχείων, που δίνουν ηλεκτρόνια, με αμέταλλα, που παίρνουν ηλεκτρόνια.

Ο όρος “κεραμικό”, στους τομείς της τέχνης και της αρχαιολογίας, δεν αναφέρεται σε κατασκευές ή σε βιομηχανικά προϊόντα, αλλά κυρίως στις πλαστικές τέχνες και στην επεξεργασία του πηλού. Και εδώ διακρίνονται τα κεραμικά υψηλής θερμοκρασίας ψησίματος και με υάλωμα από τα μη υαλωμένα κεραμικά χαμηλής θερμοκρασίας ψησίματος.

Η ακριβής διαφορά μεταξύ κεραμικής και της αγγειοπλαστικής είναι πολύ δύσκολο να προσδιοριστεί, αφού σε κάποιες περιόδους τα οικιακά αγγεία κατασκευάζονταν από υαλοποιημένο αργιλικό υλικό. Παρ’ όλα αυτά, λαμβάνοντας υπόψη την παλαιά τεχνολογική έννοια του κεραμικού και το στενό τεχνοϊστορικό ορισμό της, οι αρχαιολόγοι όρισαν ως “αγγειοπλαστική” τη δημιουργία των ψημένων σε χαμηλή θερμοκρασία κεραμικών, των οποίων τα υλικά δεν έχουν υαλοποιηθεί.

Τα προϊστορικά, τα ιστορικά και τα μοντέρνα κεραμικά κατατάσσονται σε διάφορες κατηγορίες με βάση τη σύσταση, το ψήσιμο και την επιφανειακή επεξεργασία τους. Ο ευρύτερος διαχωρισμός σε υαλοποιημένα και μη υαλοποιημένα σκεύη βασίζεται στη σύσταση και στο ψήσιμο, κατά τη διάρκεια του οποίου οι πηλοί λιώνουν και ομογενοποιούνται σαν ένα γυάλινο υλικό. Στα πορώδη, χαμηλής θερμοκρασίας ψησίματος και μη υαλοποιημένα κεραμικά ανήκουν οι τερακότες και τα earthenwares, ενώ στα ψημένα σε υψηλή θερμοκρασία και υαλοποιημένα κεραμικά ανήκουν τα stonewares και οι πορσελάνες.

Η κεραμική τέχνη και η αγγειοπλαστική έφτασαν στο απόγειό τους, όταν οι Αρχαίοι Έλληνες κεραμείς και αγγειογράφοι δημιούργησαν τα περίφημα κεραμικά αριστουργήματα, αλλά και όταν οι Κινέζοι παρήγαγαν την πορσελάνη, από εξαιρετικής ποιότητας λευκό πηλό (καολίνη), που ψήνεται στους 1.300 - 1.500 °C. Όταν οι κινεζικές πορσελάνες ήρθαν στην Ευρώπη, οι διάφοροι αγγειοπλάστες πειραματίστηκαν, για να φτάσουν τη σκληρότητα, τη διαφάνεια και τις άλλες ιδιότητες της κινεζικής πορσελάνης, με μερικό όμως αποτέλεσμα.

Η συντήρηση των κεραμικών αντικειμένων ξεκίνησε από το 1.000 π.Χ. στην Κίνα και στην Ιαπωνία, όπως προκύπτει από μαρτυρίες χειρογράφων του 16ου αιώνα. Στην Ευρώπη η συντήρηση κεραμικών αντικειμένων εμφανίστηκε την περίοδο της Αναγέννησης και όταν άρχισαν οι πωλήσεις διάφορων έργων τέχνης κυρίως μεταξύ ευγενών.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνταν ήταν φυσικά συγκολλητικά (ζωικά - φυτικά) και υλικά

συμπλήρωσης παρόμοια με τα υλικά των κεραμικών, όπως πηλός, κονιάματα κτλ.

Σημάδια αποκατάστασης κεραμικών στοιχείων, π.χ. αγωγών, έχουμε από την κλασική ελληνική και από τη ρωμαϊκή εποχή, όπου υπήρχαν μεταλλικοί - μολύβδινοι σύνδεσμοι σε σχήμα Π τοποθετημένοι στην εξωτερική επιφάνεια των αγωγών για την περίπτωση που οι αγωγοί αυτοί θα παρουσίαζαν ρωγμές ή θραύσεις.

ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΓΕΝΙΚΑ

Οι πλαστικές ιδιότητες των αργίλων και τα αποτελέσματα του ψησίματός τους ανακαλύφθηκαν πολύ νωρίς, με αποτέλεσμα να υπάρχουν σχεδόν πάντοτε κεραμικά αντικείμενα στους διάφορους αρχαίους πολιτισμούς. Η εμφάνιση των διάφορων κεραμικών αγγείων οφείλεται στην ανάγκη διαφύλαξης τροφών και μάλιστα υγρών.

Τα αρχαιότερα αγγεία ανήκουν στην **πρώτη Νεολιθική εποχή** (8.000 - 5.000 π.Χ.) και ήταν χονδροειδή σφαιρικά αντικείμενα με πυθμένα στρογγυλό ή οξύ. Ο πηλός ήταν ακάθαρτος, αναμειγμένος με μικρές πέτρες, για να έχει μεγαλύτερη αντοχή, και το ψήσιμο γινόταν σε ανοικτή εστία και όχι σε καμίνι. Τέτοια αγγεία βρέθηκαν σε πολλά μέρη του κόσμου σε τυμβοειδή υψώματα, ερείπια πρωτονεολιθικών οικισμών. Η επιφάνεια αυτών των αγγείων δε φέρει διακοσμήσεις και δεν είναι χρωματισμένη.

Τα αγγεία της **κύριας Νεολιθικής εποχής** (5.000 - 3.000 π.Χ.) εμφανίζουν μεγάλη πρόοδο στην τεχνική της κατασκευής τους, αν και ο κεραμικός τροχός είναι ακόμα άγνωστος και ο πηλός έχει ανόμοιο χρώμα, λόγω του ατελούς ψησίματος. Όμως μερικά από αυτά έχουν λαμπερή μαύρη επιφάνεια. Τα αρχαιότερα είχαν, αντί για λαβές, προεξοχές με οπή στο μέσο, για να περνά σκοινί, με το οποίο τα κρεμούσαν. Η διακόσμηση της επιφάνειας ήταν αρχικά απλές γραμμές και στη συνέχεια γραμμές σε διάφορους συνδυασμούς, ώστε να αποτελούν γεωμετρικά σχήματα. Οι γραμμές χαράσσονταν και κατόπιν γεμίζονταν με λευκό υλικό· ωστόσο έχουν βρεθεί και αγγεία με γραπτή διακόσμηση και όχι εγχάρακτη.

Η αγγειοπλαστική στη συνέχεια αναπτύχθηκε κυρίως σε τρεις χώρες:

- στην **Αίγυπτο**,
- στην **Ελλάδα** και
- στην **Ετρουρία**, η οποία βρισκόταν πάντοτε υπό την επίδραση των δύο παραπάνω χωρών.

ΑΙΓΥΠΤΟΣ

Στην Αίγυπτο η αγγειοπλαστική δεν αναπτύχθηκε όσο στην Ελλάδα, είτε διότι στην περιοχή αυτή δεν υπήρχε κατάλληλος πηλός είτε διότι οι τεχνίτες δεν προχώρησαν στην επεξεργασία του, παρ' ότι υπήρχε άφθονος στις όχθες του Νείλου. Ο κυριότερος λόγος ήταν ότι είχαν βρεθεί στην περιοχή αυτή τα διάφορα μέταλλα και το γυαλί, και κατασκευάζονταν αγγεία και αντικείμενα κοινής χρήσης από τα υλικά αυτά.

ΕΤΡΟΥΡΙΑ

Οι Ετρούσκοι εγκαταστάθηκαν στην Ιταλία γύρω στο 10ο αιώνα π.Χ. Σύμφωνα με τον Ηρόδοτο προέρχονταν από τη Λυδία ή από τη Φρυγία.

Η διακόσμηση των αγγείων τους (φανταστικές μορφές, ζώα, λιοντάρια κτλ.), η οποία συνέβαλε στη διαμόρφωση της ντόπιας βιλλανόβιας τεχνοτροπίας, δέχτηκε την επίδραση αρχικά της Ανατολής και στη συνέχεια της Ελλάδας.

Τα περισσότερα αγγεία που ανακαλύφθηκαν στους τάφους της Ετρουρίας είναι τα ελληνικά και εισήχθησαν από τις ελληνικές αποικίες.

ΚΡΗΤΗ ΚΑΙ ΥΠΟΛΟΙΠΗ ΕΛΛΑΔΑ

Από τα αγγεία της Αρχαίας Ελλάδας, τα οποία έχουν παραστάσεις με απεικονίσεις των εθίμων της εποχής, αντλούμε πολλές πληροφορίες για το δημόσιο και για τον ιδιωτικό βίο των αρχαίων Ελλήνων, όπως για τους αγώνες, για τις θυσίες, για τους γάμους, για τις εορτές, για την εκφορά και την ταφή των νεκρών, για τις διάφορες λατρείες κ.ά. Από τις παραστάσεις μαθαίνουμε και για την αρχαία ζωγραφική, της οποίας τα μνημεία δε διασώθηκαν λόγω της φθοράς των υλικών από τα οποία αποτελούνταν.

Κατά την **πρώιμη μινωική περίοδο** (2.500 π.Χ.) εμφανίζονται τα περίφημα για την κομψότητα και τη χάρη τους “καμαραϊκά” αγγεία. Αυτά είναι λεπτά και σχεδόν διαφανή, όπως το κέλυφος του αβγού, και η διακόσμησή τους είναι περίτεχνη. Τα σχήματα είναι γεωμετρικά, όπως σταυροί, σπείρες, συγκεντρικοί κύκλοι κτλ. Το χρώμα που επικρατεί είναι το λευκό επάνω σε βαθύ ερυθρό ή σε καστανό· υπάρχουν όμως και πολύχρωμα καμαραϊκά αγγεία.

Κατά τη **μέση μινωική περίοδο** (2.200 - 1.800 π.Χ.) τα αγγεία είναι μονόχρωμα, αλλά η διακόσμηση γίνεται φυσικότερη. Την ίδια περίοδο κατασκευάζονται και θαυμάσια φαγεντιανά ειδώλια, γεγονός που μας οδηγεί στην υπόθεση ότι θα κατασκευάζονταν και αγγεία από το ίδιο υλικό.

Κατά την **ύστερη μινωική περίοδο** (1.700 - 1.200 π.Χ.) υπήρχαν τα μεγαλοπρεπή αγγεία, συνήθως σε σχήματα μεγάλων υδριών ή πίθων, τα οποία ονομάστηκαν ανακτορικά.

Η μεσομινωική και η υστερομινωική περίοδος χαρακτηρίζονται από μεγάλη παραγωγή πήλινων ειδωλίων. Χαρακτηριστικό παράδειγμα είναι το ειδώλιο της θεάς των όφρων από φαγεντιανό πηλό, που βρέθηκε στο κεντρικό ιερό του ανακτόρου της Κνωσού.

Η επίδραση της κρητικής τέχνης στο **μυκηναϊκό πολιτισμό** είναι μεγάλη. Τα μυκηναϊκά αγγεία διακρίνονται για την πρωτοτυπία και για την κομψότητά τους. Τα σχήματα είναι ποικίλα: υδρίες, αμφορείς, οινόχοες, προχοϊδες, σκύφοι, κύαθοι, κύπελλα κτλ. Χαρακτηριστικός αυτής της εποχής είναι ο “ψευδόμορφος αμφορέας”, ο οποίος απαντά και ως αμφορίσκος σε πολύ μικρό μέγεθος. Τα θέματα της διακόσμησης είναι συνήθως από τη θαλάσσια ζωή και γενικά από τη φύση.

Παριστάνονται χταπόδια, χέλια, ναυτίλοι, φύκια, όστρακα, πλοία, καθώς επίσης υδροχαρή πουλιά και φυτά, όπως πάπιες και κισσός ή καλάμια. Ο συνηθισμένος χρωματισμός είναι βαθύς ερυθρός ή ερυθροκαστανός. Η ποιότητα του πηλού είναι άριστη και η κατεργασία του πολύ καλή. Ο πηλός πλένεται πολλές φορές και γίνεται καθαρός, λεπτός και εύπλαστος, ώστε να μοιάζει με τον πηλό της πορσελάνης.

Μετά την **κάθοδο των Δωριέων** (1.100 π.Χ.) η ελληνική αγγειογραφία εξελίσσεται με πολύ γρήγορους ρυθμούς. Αυτό που δίνει ιδιάζοντα χαρακτήρα στα αγγεία είναι η εμφάνιση της ανθρώπινης μορφής. Το απλό κεραμικό αγγείο εξελίσσεται σε “μνημείο τέχνης”, διότι στην επιφάνειά του απεικονίζονται σκηνές από τη μυθολογία, διονυσιακές εορτές, γαμήλιες πομπές, αθλητικές παραστάσεις, επιτύμβιες και νεκρικές παραστάσεις, παιχνίδια και, γενικότερα, σκηνές από το δημόσιο και τον ιδιωτικό βίο των Αρχαίων Ελλήνων.

Για πολλούς αιώνες επικρατεί η τεχνική των μελανόμορφων αγγείων, όπου η διακόσμηση, φυτική ή ζωική ή απλώς γεωμετρική, γινόταν με τη λεγόμενη μελανόμορφη τεχνική. Στη διακόσμηση επικρατεί ο γεωμετρικός τρόπος έως τον 7ο αιώνα π.Χ., αλλά αργότερα υπήρξαν ανατολικές επιδράσεις.

Στις αρχές του 5ου αιώνα π.Χ. πραγματοποιείται ένα ακόμα πολύ σημαντικό βήμα στην αρχαία αγγειοπλαστική και αγγειογραφία: εμφανίζεται και επικρατεί η τεχνική των ερυθρόμορφων αγγείων. Οι μορφές αντί να εμφανίζονται σαν μελανές σκιές (“σιλουέτες”) επάνω στην ερυθρή επιφάνεια του αγγείου, όπως γινόταν ως τότε, σχεδιάζονται με πολύ λεπτή ερυθρή γραμμή στην επιφάνεια του αγγείου, η οποία καλυπτόταν εξ ολοκλήρου, εκτός από τα ερυθρά περιγράμματα των μορφών, με μέλαν χρώμα. Έτσι τα μελανόμορφα αγγεία μεταβλήθηκαν σε ερυθρόμορφα.

Οι περίφημες λευκές λήκυθοι εκφράζουν την κλασική αγγειογραφία και πολλές από αυτές βρέθηκαν σε τάφους της Ερέτριας, όπου τις απόθεταν, όπως και στην Αθήνα, δίπλα στο νεκρό.

Αγγειογράφοι της τεχνικής των μελανόμορφων αγγείων ήταν: ο Κλειτίας, ο Εξηκίας, ο Σκύθης, ο Άλκασις, ο Σοφίλος, ο Τιμαγόρας, ο Κίλχης, ο Νικοσθένης, ο Νέαρχος, ο Τλήδων, ο Εργοτέλης, ο Παμφαίος, ο Ανδοκίδης, ο Χέλις, ο Πύθων, ο Καχρυλίων, ο Επίκτητος κ.ά., πολλοί από τους οποίους αργότερα υπήρξαν και αγγειογράφοι της τεχνικής των ερυθρόμορφων αγγείων. Αγγειογράφοι της τεχνικής των ερυθρόμορφων αγγείων ήταν: ο Ευφρόνιος, ο Δούρις, ο Μειδίας, ο Ευθυμίδης, ο Ιέρων, ο Φιντίας, ο Πειθίνος, ο Βρύζας, ο Ονήσιμος, ο Σωσίας, ο Μάκρων, ο Ηγίας κ.ά.

Από τον 4ο αιώνα π.Χ και κατά την ελληνιστική εποχή έχουμε πολλά πήλινα ειδώλια, τα οποία είναι αληθινά κομψοτεχνήματα. Βρέθηκαν, κυρίως, στην Τανάγρα της Βοιωτίας, απεικονίζουν γυναίκες και ονομάστηκαν Ταναγραίες.

ΜΕΣΑΙΩΝΑΣ ΚΑΙ ΑΝΑΓΕΝΝΗΣΗ

Η αγγειοπλαστική κατά το Μεσαίωνα μπορεί να χωριστεί σε δύο περιόδους:

- στην αραβική ή ισπανομαυριτανική και
- στην ιταλική.

Οι Άραβες εφάρμοσαν πρώτοι το υαλώδες επίχρισμα, το οποίο διδάχτηκαν από τους Πέρσες, οι οποίοι το παρέλαβαν από τους Κινέζους. Οι Κινέζοι ήταν οι πρώτοι που ανάκλυψαν το μυστικό της κατασκευής της πορσελάνης.

Χαρακτηριστικά των αγγείων της αραβικής τέχνης είναι ο μαλακός πηλός από άργιλο με χρώμα τεφρό ή ωχροκίτρινο, τα σχήματα που είναι σε ευθείες γραμμές ή απλές καμπύλες και η ανατολικής τεχνοτροπίας διακόσμηση. Η αραβική αγγειοπλαστική παύει να υπάρχει στην Ευρώπη με την εκδίωξη των Μαυριτανών από την Ισπανία, αλλά η τέχνη είχε ήδη μεταδοθεί στους Φράγκους. Μάλιστα στην Ιταλία υπήρχαν εργοστάσια στο Γκούμπιο, στη Σιένα και στο Πέζαρο.

Ο Ιταλός Λούκα ντέλλα Ρόμπια εφευρίσκει νέο υαλοβερνίκωμα, το οποίο χωρίς να αλλοιώνει τη λεπτότητα των καλλιτεχνικών σχημάτων τα προστατεύει από τις ατμοσφαιρικές επιδράσεις.

Κατά την Αναγέννηση η κεραμική τέχνη και η αγγειοπλαστική φθάνουν στην ακμή τους.

Οι αδελφοί Φοντάνα στο Πέζαρο παράγουν τα γνωστά με το όνομα “μαγιόλικα” αριστουργήματά τους, τα οποία ήταν όμοια μεν στην κατασκευή με τα αραβικά, διέφεραν όμως στη διακόσμηση, η οποία απομακρύνεται τελείως από τη μουσουλμανική τεχνοτροπία. Την ίδια περίοδο στη Φαγεντία αρχίζουν να κατασκευάζονται τα γνωστά θαυμάσια αγγεία με το όνομα “φαγεντιανά”. Τα αγγεία αυτά είναι από ψημένη γη, έχουν λεία και ανάγλυφη επιφάνεια, είναι λευκά ή έγχρωμα και καλύπτονται από σμάλτο λευκό ή έγχρωμο. Το όνομά τους προήλθε από την πόλη Fayence της γαλλικής Προβηγκίας, όπως επίσης και των φαβεντιανών από την ιταλική πόλη Faenza ή - όπως ονομαζόταν παλαιότερα - Faventia· και οι δύο αυτές πόλεις ήταν ονομαστές για την αγγειοπλαστική τους.

Επίσης, ορισμένα είδη ιταλικών φαγεντιανών της εποχής του Μεσαίωνα ονομάζονταν μαγιόλικα από την ισπανική νήσο Μαγιόρκα, όπου υπήρχε βιομηχανία αγγειοπλαστικής ανατολικής προέλευσης. Υπάρχουν τρία είδη φαγεντιανών:

α. τα επίχριστα, που αποτελούνται από ψημένη γη χρώματος κίτρινου ή κοκκινωπού και είναι καλυμμένα από διαφανές σμάλτο κατασκευασμένο από οξειδίο του μολύβδου.

β. τα κοινά, που αποτελούνται συνήθως από έγχρωμη ψημένη γη και καλύπτονται από λευκό σμάλτο.

γ. τα εκλεκτά, που αποτελούνται από ψημένη γη λευκή και διαφανή και διακρίνονται στα terre de pipe, που είναι και το παλαιότερο είδος, στα caillutage και στα feldspath.

ΝΕΟΤΕΡΑ ΧΡΟΝΙΑ

Από το 16ο αιώνα και μετά η κεραμική τέχνη και η αγγειοπλαστική σημειώνουν πρόοδο στη Γερμανία και στη Γαλλία. Στη Γερμανία τα αγγεία φτιάχνονταν με σμάλτο μεγάλης καλλιτεχνικής αξίας και η διακόσμησή τους συχνά ήταν ανάγλυφη. Στο Σαιν Κλου της Γαλλίας, το 1695, κατασκευάζεται ήδη και πορσελάνη. Χαρακτηριστικά των γαλλικών αγγείων εκείνης της εποχής είναι η διακόσμηση με χάραξη και με σμάλτο, τα ιδιότυπα σχήματα και ο ποικίλος χρωματισμός, στον οποίο κυριαρχεί το κυανό.

Στη συνέχεια, το 1704, στη Γερμανία ο χημικός Μπότγκερ με τον καθηγητή Τσίρνχαουζεν, στην προσπάθειά τους να ανακαλύψουν το μυστικό της σινικής πορσελάνης, κατόρθωσαν να κατασκευάσουν ένα είδος ψημένου πηλού πολύ σκληρού με χρώμα ερυθρόφαιο, το οποίο ονομάστηκε ερυθρά πορσελάνη.

Το 1769 ο δούκας της Σαξωνίας ιδρύει το εργοστάσιο του Μάισεν, στο οποίο αρχίζουν να κατασκευάζονται τα πρώτα πορσελάνινα σαξωνικά αριστουργήματα. Όμοια εργοστάσια ιδρύονται σε λίγο στη Βιέννη, στο Νίμφεμπουργκ, στη Φράγκενταλ και σε άλλες γερμανικές πόλεις. Στα χαρακτηριστικά των σαξωνικών αγγείων περιλαμβάνονταν η σκληρότητα της πορσελάνης, η λευκότητα του πηλού και η διακόσμηση, η οποία αποτελεί συχνά μίμηση της κινεζικής τέχνης.

Κατά το 1730, στην Αγγλία, ο Θ. Άσμπουργκ προσθέτει για πρώτη φορά αλεσμένο πυριτικό λίθο στον πηλό, ο οποίος έως τότε αποτελούνταν μόνο από πλαστική άργιλο, και πέτυχε να κατασκευάσει ένα νέο μείγμα, εξαιρετικά σημαντικό στην κεραμική.

Κατά το 1800 ο Άγγλος Σποντ προσθέτοντας στο μείγμα βορικό οξύ και φωσφορικό ασβέστιο τελειοποιεί την αγγλική πορσελάνη, η οποία έως σήμερα διατηρεί τα πρωτεία. Χαρακτηριστικό της αγγλικής τέχνης είναι η διακόσμηση με σκηνές του καθημερινού βίου ή με αρχαίες ελληνικές απομιμήσεις.

Στη διάρκεια του 19ου αιώνα η τεχνική της κεραμικής σημείωσε μεγάλες προόδους.

Η σύγχρονη κεραμική και αγγειοπλαστική δεν παρουσιάζουν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά, εκτός από την επιμελημένη επιλογή των πρώτων υλών και την επιστημονική τελειοποίηση του τρόπου παρασκευής και επεξεργασίας των κεραμικών.

Γενικότερα, οι σύγχρονες τεχνικές είναι απομιμήσεις παλαιότερων. Ειδικότερα, η σύγχρονη αγγειοπλαστική αποτελεί απομίμηση άλλων παλαιότερων τεχνικών, όπως της ελληνικής, της ετρουσκικής, της αιγυπτιακής, της σαξωνικής κ.ά. Επίσης, κοινή διαπίστωση όσον αφορά την επεξεργασία του πηλού στη σύγχρονη αγγειοπλαστική είναι το ότι οι τελειοποιήσεις που επιτυγχάνονται δεν τηρούνται πλέον μυστικές, αλλά δημοσιεύονται και έτσι καθίστανται προσιτές σε όλους.

Στην Ελλάδα, την κοιτίδα της κεραμικής τέχνης, δε σημειώθηκε σημαντική εξέλιξη αυτό το χρονικό διάστημα, αν και μεγάλες ποσότητες πρώτης ύλης της κεραμικής υπάρχουν σε περιοχές όπως η Μήλος, η Κίμωλος, η Χαλκίδα και η Κορώνη.

Μόνο στο Ληξούρι αναφέρεται να λειτούργησε - για μικρό όμως χρονικό διάστημα - εργοστάσιο αγγειοπλαστικής γύρω στα 1842, το οποίο παρήγε αντικείμενα ανώτερα εκείνων της Απουλίας. Παράλληλα όμως κατασκευάζονταν, με παραδοσιακό τρόπο, αγγεία πορώδη πρώτης οικιακής ανάγκης σε περιοχές, όπως η Σκύρος, η Αίγινα, η Χαλκίδα, η Αϊδηψός, η Κορώνη κ.ά. Τα αντικείμενα αυτά δεν παρουσιάζουν καμία διακόσμηση και σπάνια εμφανίζονται σ'αυτά απομιμήσεις διακόσμησης από αρχαία αγγεία. Όμως μετά τη Μικρασιατική καταστροφή και την εγκατάσταση των προσφύγων στην Ελλάδα αναπτύχθηκε η κατασκευή των εφυσωμένων αγγείων της Κιουτάχειας με την τελείως ανατολική τεχνοτροπία, γνωστών για τον ιδιαίτερο τρόπο παρασκευής των υαλωμάτων και των χρωμάτων. Η τεχνοτροπία αυτή παρέμεινε αναλλοίωτη, αφότου πριν από έξι περίπου αιώνες Αρμένιοι τη μετέφεραν από την Περσία στην Κιουτάχεια. Παράλληλα,

βέβαια, με την ανάπτυξη της τεχνολογίας της κεραμικής τέχνης αναπτύχθηκε τα τελευταία χρόνια και η **τεχνική της συντήρησης των κεραμικών αντικειμένων**, η οποία σκοπό έχει την προστασία τους από τους διάφορους παράγοντες διάβρωσης και την αισθητική αποκατάστασή τους, ώστε να διαμορφωθεί μια συνολική καλλιτεχνική εικόνα του αντικειμένου και, γενικότερα, να διατηρηθεί η πολιτιστική κληρονομιά κάθε λαού.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ

ΓΕΝΙΚΑ

Ιστορικά το πρώτο κεραμικό σχηματίστηκε από τον πηλό που βρισκόταν κάτω από μια εστία. Για να αναπτυχθεί η κεραμική τέχνη, χρειάστηκε ο άνθρωπος να εγκατασταθεί μόνιμα σε μια περιοχή και να υπάρξει στοιχειώδης κοινωνική οργάνωση. Η κεραμική τέχνη εμφανίστηκε μετά την εποχή της καρποσυλλογής και του κυνηγιού, όταν άρχισε να αναπτύσσεται η γεωργία και η κτηνοτροφία, δηλαδή προς το τέλος της νεολιθικής εποχής.

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΩΝ ΠΗΛΩΝ

Από πλευράς σύστασης ο στερεός φλοιός της γης αποτελείται από τα παρακάτω οξειδία στοιχείων. Οι αριθμοί αντιπροσωπεύουν περιεκτικότητες % κατά βάρος:

SiO ₂	60,1
Al ₂ O ₃	15,6
Fe ₂ O ₃	3,4
FeO	3,9
MgO	3,5
CaO	5,1
Na ₂ O	3,9
K ₂ O	3,2
TiO ₂	1,0
P ₂ O ₃	0,3

Η πρώτη ύλη του πηλού των κεραμικών είναι οι άργιλοι, που είναι πολύπλοκα ορυκτά αργιλίου και πυριτίου με ασβέστιο, μαγνήσιο, σίδηρο, κάλιο, νάτριο και νερό. Οι άργιλοι είναι προϊόντα εξαλλοίωσης διάφορων ηφαιστειακών ορυκτών, π.χ. ο каолинίτης με χημικό τύπο 2Al₂O₃·4SiO₂·4H₂O προέρχεται από το γρανίτη, που αποτελείται από αστρίους, από χαλαζία και από μαρμαρυγία.

Οι αστρίοι είναι το πιο διαδεδομένο υλικό στο στερεό φλοιό της γης και αποτελούν το 39% του σχηματισμού των πετρογενετικών ορυκτών της επιφάνειάς της. Είναι πολύπλοκα αργιλοπυριτικά ορυκτά, στα οποία η σχετική αναλογία του διοξειδίου του πυριτίου (SiO₂) κυμαίνεται από 43 έως 65%.

Επίσης, στους αστρίους υπάρχουν τρία πρόσθετα στοιχεία, το κάλιο, το νάτριο και το ασβέστιο, σε διαφορετικές αναλογίες. Στα στοιχεία αυτά οφείλεται ο διαχωρισμός των αστρίων σε αστρίους ποτάσας, που περιέχουν κάλιο, όπως το μονοκλινές ορθόκλαστο, σε αστρίους σόδας-ασβεστίου, που περιέχουν νάτριο και ασβέστιο, όπως το τρικλινές ολιγόκλαστο, και σε αστρίους ασβεστίου, όπως ο τρικλινής ανορθίτης.

ΚΑΟΛΙΝΙΤΗΣ

Ο καολινίτης προέρχεται από την αποσάθρωση κάποιου όξινου πετρώματος όπως του πηγματίτη, που είναι γρανιτικό πέτρωμα πλούσιο σε αστρίους και χαλαζία, ή από κερματισμό μαρμαρυγία. Η διαδικασία αυτή πραγματοποιείται σε ζεστά τροπικά ή ημιτροπικά μέρη με υψηλές βροχοπτώσεις και με καλή εδαφική έκπλυση. Έτσι απομακρύνονται τα περισσότερα στοιχεία, όπως το ασβέστιο, το μαγνήσιο, ο σίδηρος, το κάλιο και το νάτριο, ενώ παραμένουν το αργίλιο και το πυρίτιο του μητρικού ορυκτού.

Έχει συνήθως μεγάλη ποσότητα τριοξειδίου του αργιλίου (Al_2O_3), σε αναλογία 2/1 σχετικά με το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2). Ο χημικός τύπος του ορυκτού, ο οποίος αναφέρθηκε παραπάνω, δίνει ένα ποσοστό 39,4% σε τριοξείδιο του αργιλίου, 46,6% σε διοξείδιο του πυριτίου και 13,9% σε νερό. Όταν η αποσάθρωση και η έκπλυση είναι έντονες, ιδίως σε τροπικές περιοχές του Ισημερινού, το διοξείδιο του πυριτίου απομακρύνεται, με αποτέλεσμα να παράγονται διάφοροι όξινοι πηλοί πλούσιοι σε τριοξείδιο του αργιλίου, όπως είναι ο βωξίτης και ο γκιμπσίτης.

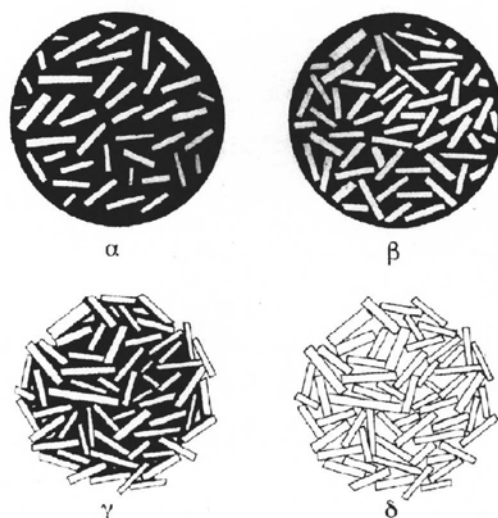
ΙΛΛΙΤΗΣ

Μεγάλη κατηγορία πηλών τριών στρωμάτων είναι αυτή του ιλλίτη. Οι ορυκτοί πηλοί του ιλλίτη έχουν δομή παρόμοια με τη δομή του κρυσταλλικού μαρμαρυγία. Στους πηλούς αυτούς περίπου το 1/6 του πυριτίου έχει αντικατασταθεί από αργίλιο, το οποίο οδηγεί σε μια έλλειψη φορτίου, η οποία εξισορροπείται κυρίως από ιόντα καλίου (K^+) αλλά και από ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}), μαγνησίου (Mg^{2+}) και υδρογόνου (H^+). Η έλλειψη φορτίου υπάρχει αρχικά στα εξωτερικά στρώματα του διοξειδίου του πυριτίου και όχι στα εξωτερικά στρώματα του τριοξειδίου του αργιλίου, όπως συμβαίνει στο σημηκίτη. Αυτός είναι και ο κύριος λόγος που οι πηλοί του δε διαστέλλονται. Τα μόρια του ορυκτού ιλλίτη, όπως και των σημηκίτων, είναι σαν νιφάδες και μικρά σε μέγεθος αλλά μεγαλύτερα και παχύτερα από το σημηκίτη, με διάμετρο από 0,1 - 0,3 μm .

ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ ΑΡΓΙΛΙΟΙ-ΝΕΡΟ

Οι άργιλοι έχουν χαρακτηριστική μικροκρυσταλλική μορφή και αποτελούνται από πλακοειδείς κρυστάλλους με μεγάλη ποσότητα νερού ανάμεσά τους. Το νερό που υπάρχει

ανάμεσα στους κρυστάλλους δρα ως λιπαντικό και δημιουργεί ολίσθηση στους κρυστάλλους προσδίδοντας στον πηλό την πλαστική ιδιότητα. Μια πλαστική άργιλος μπορεί να συγκροτήσει μέχρι 70% νερό χωρίς να στάζει.



Μορφή αργίλου σε διαδοχικές καταστάσεις ενυδάτωσης.

Όταν το κεραμικό στεγνώσει, το νερό ανάμεσα στους κρυστάλλους εξατμίζεται και επέρχεται συρρίκνωση του αντικειμένου, οπότε οι κρύσταλλοι πλησιάζουν, χάνεται η πλαστικότητα του πηλού, η οποία αντικαθίσταται, όταν το υλικό ξαναβραχεί.

ΔΙΑΚΡΙΣΗ ΤΩΝ ΑΡΓΙΛΩΝ

Οι άργιλοι διακρίνονται:

1. ανάλογα με τον τρόπο που σχηματίστηκαν
2. ανάλογα με το είδος των προσμείξεων που περιέχουν
3. ανάλογα με τη συμπεριφορά τους κατά τη διαδικασία ψησίματος

Όταν οι άργιλοι βρεθούν στη θέση του μητρικού πετρώματος χαρακτηρίζονται ως πρωτογενείς, ενώ όταν έχουν μεταφερθεί με κάποιο μέσο μεταφοράς (νερό, αέρα κτλ.) σε άλλη θέση, ως δευτερογενείς.

Οι πρωτογενείς άργιλοι χαρακτηρίζονται από την καθαρότητα του υλικού από ξένες προσμείξεις, από την ύπαρξη αναλλοίωτου μητρικού πετρώματος και από το σχετικά μεγάλο μέγεθος κόκκων. Αυτές οι άργιλοι είναι συνήθως λευκού χρώματος, περιέχουν μικρή ποσότητα αναλλοίωτων αστρίων και έχουν μικρή πλαστικότητα. Τέτοια άργιλος είναι ο καολίνης, που αποτελεί την πρώτη ύλη της πορσελάνης.

Οι δευτερογενείς άργιλοι περιέχουν κάποιες ποσότητες ξένων προσμείξεων, το χρώμα

τους είναι από λευκό μέχρι κόκκινο, ακόμα και μαύρο, έχουν κόκκους μικρού μεγέθους και, επομένως, μεγάλη πλαστικότητα, εκτός βέβαια από την περίπτωση που περιέχουν σημαντική ποσότητα χαλαζιακής άμμου.

Οι δευτερογενείς άργιλοι, ανάλογα με τις προσμείξεις, ταξινομούνται:

α. σε σιδηρούχες, με σημαντική ποσότητα οξειδίων του σιδήρου και χρώμα από κίτρινο μέχρι καφέ,

β. σε μαργαϊκές, με ποσότητα άμμου και ασβεστολιθικού υλικού, και

γ. σε αμμώδεις, με σημαντική ποσότητα άμμου και επομένως μικρή πλαστικότητα.

Ανάλογα με τη συμπεριφορά τους στο ψήσιμο οι άργιλοι χαρακτηρίζονται ως:

α. εύτηκτες, όταν λιώνουν σε θερμοκρασίες μικρότερες των 1200 °C και αρχίζουν να υαλοποιούνται γύρω στους 1000 °C,

β. δύστηκτες, όταν αρχίζουν να υαλοποιούνται πάνω από τους 1000 °C και να λιώνουν μεταξύ 1200 - 1300 °C, και

γ. πυρίμαχες, όταν αντέχουν σε θερμοκρασίες των 1500 °C, χωρίς να παραμορφώνονται.

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

Πολύ σπάνια ο πηλός χρησιμοποιείται όπως βρίσκεται στη φύση. Με κατάλληλες αναμείξεις υλικών μπορούν να βελτιωθούν οι ιδιότητές του. Αρχικά πιθανόν οι αγγειοπλάστες να χρησιμοποίησαν τα φυσικά αποθέματα των αργίλων, αλλά στη συνέχεια αναπτύχθηκαν και διαμορφώθηκαν διάφορες διαδικασίες κατεργασίας του πηλού. Με τα βελτιωτικά, που είναι δύο ειδών, επεμβαίνουμε στην πλαστικότητα και στο σημείο τήξης του πηλού.

Οι φυσικές διεργασίες για την ελάττωση του μεγέθους των κόκκων είναι:

1. Απομάκρυνση από τον πηλό των ξένων υλικών (χαλικίων, ριζών, φύλλων κτλ.) και θρυμματίσμα των μεγάλων κομματιών του αργιλικού υλικού.

2. Παραμονή του πηλού στο ύπαιθρο, κάτω από διάφορες καιρικές συνθήκες, όπου προκαλείται διαδοχική ύγρανση και ξήρανση του πηλού, με αποτέλεσμα τον επιπλέον θρυμματισμό και την ελάττωση του μεγέθους των κόκκων.

3. Ομογενοποίηση του υλικού με ζύμωμα, συνήθως με τα πόδια ή με κάποιο ειδικό εργαλείο.

4. Αποθήκευση του πηλού σε σκιερό μέρος, όπου με την ανάπτυξη μικροοργανισμών (όπως φύκη, μύκητες, βακτήρια) ελαττώνεται ακόμα περισσότερο το μέγεθος των κόκκων.

5. Κατεργασία με νερό, κατά την οποία το προκατεργασμένο υλικό ρίχνεται σε δεξαμενή με νερό και ανακατεύεται καλά. Τα λεπτά σωματίδια του πηλού παραμένουν στο αιώρημα, ενώ τα μεγαλύτερα καθιζάνουν. Ύστερα από ικανό χρόνο ηρεμίας του νερού της δεξαμενής καθιζάνουν τα μεγαλύτερα σωματίδια, ενώ το αιώρημα των λεπτών χύνεται

σε διπλανή δεξαμενή, όπου αφήνεται να ηρεμήσει για περισσότερο χρόνο κ.ο.κ., οπότε παίρνουμε πηλούς διαφορετικού μεγέθους κόκκων. Όσο πιο μεγάλος είναι ο χρόνος ηρεμίας, τόσο πιο λεπτό θα είναι το υλικό.

6. Στη συνέχεια, ο πηλός αφήνεται να σιτέψει σε σκιερό και υγρό μέρος (π.χ. υπόγειο).

7. Ο σιτεμένος πηλός στη συνέχεια ζυμώνεται είτε με τα πόδια είτε με μηχανικό ζυμωτήριο, για καλύτερη ομογενοποίηση.

Στη μορφή που βρίσκεται τώρα η πρώτη ύλη είναι έτοιμη για το φορμάρισμα του κεραμικού, στο οποίο θα προχωρήσει ο τεχνίτης, αφού προηγουμένως τη ζυμώσει ακόμη μια φορά. Πολλές φορές, για να μειωθεί ο χρόνος ψησίματος ενός κεραμικού ή για να γίνει αυτό αδιαπέραστο σε χαμηλότερη από τα συνηθισμένα επίπεδα θερμοκρασία, προστίθενται ειδικές ουσίες οι οποίες επιταχύνουν τη διαδικασία τήξης του πηλού.

Οι ουσίες αυτές ονομάζονται ευτηκτικές και είναι διάφορα άλατα των αλκαλίων και του ασβεστίου. Τα αλκάλια και το ασβέστιο στις θερμοκρασίες ψησίματος δημιουργούν πολύπλοκα αργιλοπυριτικά άλατα, τα οποία τήκονται σε χαμηλότερη θερμοκρασία και φράζουν τους πόρους.

ΔΟΚΙΜΕΣ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

Κατά τις δοκιμές της πρώτης ύλης δύο ιδιότητες ενδιαφέρουν κυρίως τον τεχνίτη: **η συρρίκνωση του πηλίνου αντικειμένου κατά το στέγνωμα και η συμπεριφορά του πηλού στο ψήσιμο.** Για να μελετήσουμε τη μεταβολή των διαστάσεων επί % στο στέγνωμα, κατασκευάζουμε μικρούς κυλίνδρους ή πρίσματα γνωστών διαστάσεων από πηλό.

Επίσης, όσον αφορά την επιτυχία της υψής του κεραμικού, το οποίο δεν πρέπει να είναι πορώδες αλλά αδιαπέραστο από τα υγρά, βασικό ρόλο διαδραματίζει και η τελική θερμοκρασία ψησίματος.

ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

Για τη μορφοποίηση της πρώτης ύλης, κατά την οποία ο πηλός μετατρέπεται σε αντικείμενα ο τεχνίτης χρησιμοποιεί τα χέρια του, την αντίληψη και την εμπειρία του και, από πολύ παλιά, ένα βασικό εργαλείο, τον τροχό, που έφερε μια πραγματική τεχνολογική επανάσταση στην κατασκευή των κεραμικών αντικειμένων.

Για τη μορφοποίηση του πηλού χρησιμοποιούνται τα χέρια ή κάποιο μεταλλικό, ξύλινο ή κοκάλινο εργαλείο, ίσιο ή κυρτό. Παρ' ότι η μορφοποίηση του πηλού μέσα στην παλάμη του ενός χεριού με τα δάχτυλα του άλλου είναι η πρώτη μέθοδος που διδάσκεται στις σχολές κεραμικής, σπάνια χρησιμοποιείται στην πράξη, διότι με αυτή τη μέθοδο φτιάχνουμε αντικείμενα πολύ μικρών διαστάσεων, τα οποία δεν είναι χρηστικά.

Το πλάσιμο μιας ποσότητας πηλού με τις παλάμες σε μια λεία επιφάνεια καταλήγει στη δημιουργία ενός **μασουριού**, με το οποίο κατασκευάζεται δαχτυλίδι επιθυμητής διαμέτρου. Αν τοποθετηθούν τα δαχτυλίδια αυτά το ένα επάνω στο άλλο, κατασκευάζεται το αγγείο, όπου ανάλογα με τη θέση στο σώμα του αγγείου έχουν διαφορετική διάμετρο, συνήθως μικρότερη στη βάση και στο λαιμό και μεγαλύτερη στην κοιλιά. Κάθε φορά που προστίθεται ένα νέο δαχτυλίδι, οι επιφάνειες επαφής με το προηγούμενο υφίστανται κατεργασία, ώστε να συγκολληθούν τελείως μεταξύ τους. Παρ'όλα αυτά, τα ίχνη επαφής των δαχτυλιδιών πολλές φορές παραμένουν και φαίνονται με το μάτι. Επίσης, αυτή η μέθοδος κατασκευής αποκαλύπτεται καλύτερα με ακτινογράφιση.

Σύμφωνα με μια άλλη τεχνική το μασούρι του πηλού τυλίγεται στο χέρι του τεχνίτη, για να αποφευχθούν επικαθίσεις λιπαρών και άλλων ρύπων στην επιφάνεια του πηλού, οι οποίοι στη συνέχεια θα κάνουν ελαττωματική τη συγκόλληση των δαχτυλιδιών.

Κατά την κατασκευή του αγγείου το μασούρι ξετυλίγεται από το χέρι του τεχνίτη και ταυτόχρονα προσαρμόζεται η διάμετρος του δαχτυλιδιού ανάλογα με τη θέση. Με τη μέθοδο των δαχτυλιδιών κατασκευάζονται ακόμη και σήμερα τα πολύ μεγάλα αγγεία (π.χ. πιθάρια). Η κατεργασία των επιφανειών επαφής των δαχτυλιδιών γίνεται με το χέρι ή με τη βοήθεια ενός κυρτού εργαλείου από ξύλο ή από κόκαλο. Τα κόκαλα από τα πλευρά των ζώων αποτελούσαν ιδανικά εργαλεία γι' αυτή τη δουλειά. Τα αγγεία που κατασκευάζονται με αυτή τη μέθοδο έχουν συνήθως επίπεδη βάση, καθώς κατασκευάζονται πάνω σε επίπεδη, συχνά περιστρεφόμενη επιφάνεια, όπου μια πλάκα πηλού στρογγυλή, κατάλληλου πάχους, αποτελεί τη βάση του αγγείου.

Κατά την κατασκευή αντικειμένου με πλάκες πηλού ο πηλός πλάθεται σε επίπεδη επιφάνεια σε πλάκες, οι οποίες ύστερα συναρμολογούνται με άσκηση πίεσης στην άκρη τους, για να συνδεθούν καλά και στερεά. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην Άπω Ανατολή για κατασκευή αντικειμένων σε σχήμα κουτιού, όπου στα σημεία σύνδεσης των πλακών υπάρχουν τα σημάδια της δουλειάς του τεχνίτη.

Κατά την κατασκευή αντικειμένου με καλούπι χρησιμοποιούνται καλούπια ανοιχτά ή σε κομμάτια. Το υλικό των καλουπιών είναι είτε σκληρό υλικό (πέτρα, μέταλλο, κεραμικό) είτε μαλακό πορώδες υλικό (γύψος, πηλός με άμμο). Όταν χρησιμοποιείται αιώρημα πηλού σε νερό για κατασκευή πολύπλοκων σχημάτων, είναι προτιμότερο το πορώδες υλικό. Για την κατασκευή αντικειμένου με καλούπι ο πηλός δουλεύεται καλά και αποκτά ομοιόμορφη σύσταση και ύστερα πιέζεται μέσα στο καλούπι, ώστε να γεμίσουν όλα τα κενά.

Για τις πολύπλοκες κατασκευές χρησιμοποιούνται δύο ή περισσότερα κομμάτια τα οποία ύστερα ενώνονται, ενώ για τις ανοιχτές κατασκευές (πιάτα, μπολ κτλ.) χρησιμοποιείται ένα κομμάτι. Επίσης, δύο ή περισσότερα κομμάτια χρησιμοποιούνται και για τις κλειστές κατασκευές. Υπάρχουν περιπτώσεις, στις οποίες ως καλούπι χρησιμοποιείται ένα άλλο αγγείο, οπότε ο πηλός δουλεύεται στο εξωτερικό ή στο εσωτερικό μέρος του καλουπιού.

Επίσης, για τις ανοιχτές κατασκευές χρησιμοποιείται μηχανικό καλούπι, το οποίο επενδύεται εσωτερικά και εξωτερικά με πηλό και κατόπιν κατεβαίνει ένας άξονας που έχει στην άκρη του στερεωμένο ένα μαχαίρι, του οποίου η λεπίδα έχει το σχήμα του εσωτερικού ή του εξωτερικού προφίλ του αγγείου.

Με αυτό τον τρόπο, που χρησιμοποιήθηκε περισσότερο κατά τη ρωμαϊκή εποχή, κατασκευάζονται αντικείμενα οικιακής χρήσης.

Κατά τη μορφοποίηση αντικειμένου με τροχό μια ποσότητα πηλού τοποθετείται στο κέντρο ενός περιστρεφόμενου δίσκου, και ο τεχνίτης εκμεταλλευόμενος τη φυγόκεντρη δύναμη από την περιστροφή δίνει στο αντικείμενο το επιθυμητό σχήμα.

Ο περιστρεφόμενος τροχός έχει το πλεονέκτημα ότι δεν είναι αναγκασμένος ο τεχνίτης να μετακινεί το εύθραυστο μαλακό αγγείο ή να κινείται ο ίδιος γύρω του. Στην ουσία ο τροχός αποτελείται από δύο δίσκους με κοινό άξονα. Ο κάτω δίσκος, ο οποίος συχνά συνδέεται με ένα έκκεντρο πεντάλ, στρέφεται με το πόδι του τεχνίτη, και στον πάνω δίσκο, που στρέφεται μαζί, τοποθετείται ο πηλός. Συνήθως ο τεχνίτης στρέφει τον τροχό με το δεξί πόδι του με κίνηση που έχει φορά αντίθετη από τη φορά των δεικτών του ρολογιού, ενώ με το αριστερό χέρι του στηρίζει τον πηλό από έξω και με το δεξί του χέρι φορμάρει το αγγείο από μέσα. Έτσι, δημιουργούνται άπειρες φόρμες και πρακτικά μπορεί να κατασκευαστεί κάθε φόρμα που παρουσιάζει ένα στρογγυλό συμμετρικό σχήμα γύρω από έναν άξονα συμμετρίας, που ταυτίζεται με τον άξονα του τροχού.

ΕΡΓΑΣΙΕΣ ΜΕΤΑ ΤΟ ΦΟΡΜΑΡΙΣΜΑ ΤΩΝ ΠΡΩΤΩΝ ΥΛΩΝ

Μετά το φορμάρισμα ακολουθούν κάποιες εργασίες που αποσκοπούν στην τελική διαμόρφωση του σχήματος, ώστε το αντικείμενο να αποκτήσει λειτουργική χρήση. Συναρμολογούνται τα κομμάτια με πολύπλοκα ή και απλά σχήματα. Αυτά τα κομμάτια κατασκευάστηκαν με καλούπια, όταν ξεράθηκε αρκετά ο πηλός, ώστε να μπορούν να υποστούν κατεργασία χωρίς να υπάρχει κίνδυνος να στραβώσουν.

Οι συγκολλήσεις γίνονται με πίεση των επιφανειών επαφής και με δούλεμα με το χέρι, εφόσον ο πηλός παραμένει ακόμα πλαστικός. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου στο ίδιο αγγείο παρατηρείται η εφαρμογή περισσότερων από μία μεθόδων κατασκευής, όπως, για παράδειγμα, πολύ μεγάλα δοχεία μπορεί να έχουν τη βάση κατασκευασμένη με καλούπι, το σώμα με δαχτυλίδια και το λαιμό φορμαρισμένο στο χέρι.

Όταν ο πηλός βρίσκεται στο στάδιο συναρμολόγησης των κομματιών που έχουν φορμαριστεί σε καλούπι, μπορούν να προστεθούν διάφορα εξαρτήματα όπως λαβές, στόμια, βάσεις ή πόδια. Τα πρόσθετα αυτά κομμάτια μπορούν να προστεθούν στο αγγείο, και όταν αυτά ξεραθούν τελείως και ο πηλός έχει χάσει την πλαστικότητά του. Εδώ, ως υλικό συγκόλλησης, χρησιμοποιείται αιώρημα λεπτού πηλού.

ΦΙΝΙΡΙΣΜΑ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Η όψη ενός πήλινου αντικειμένου βελτιώνεται σημαντικά με το καθάρισμα διάφορων ανωμαλιών της επιφάνειας, οι οποίες έχουν παραμείνει μετά την κατασκευή του. Οι ανωμαλίες αυτές, που μπορεί να είναι οι γραμμές σύνδεσης των κομματιών του καλουπιού, οι προεξοχές της βάσης στα αγγεία που κατασκευάστηκαν στον τροχό κτλ., εξομαλύνονται και γενικά διορθώνονται, διότι αποτελούν ελαττώματα που μειώνουν την εμπορική αξία του αντικειμένου.

Το φινιρίσμα της επιφάνειας γίνεται με μαχαίρι ή με κάποιο κυρτό εργαλείο, ενώ στα συμμετρικά αγγεία χρησιμοποιείται και ο τόννος.

Γενικά, οι εργασίες φινιρίσματος γίνονται, όταν το αγγείο έχει στεγνώσει τελείως και το αποτέλεσμα των εργασιών είναι η δημιουργία κάποιων επίπεδων περιοχών στην κυρτή, κατά τα άλλα, επιφάνεια του αγγείου, αφού η κόψη της λεπίδας ή του τόννου ή του μαχαίριου είναι ευθεία.

Μια άλλη τεχνική φινιρίσματος είναι το τρίψιμο της επιφάνειας του στεγνού αγγείου με μια λεία, στρογγυλή πέτρα. Με την τεχνική αυτή επιτυγχάνεται επιφανειακή συμπίεση του πηλού, ο οποίος μετά το ψήσιμο αποκτά λεία επιφάνεια. Επίσης, η τεχνική αυτή δημιουργεί μικρά επίπεδα επιφανειών, τα οποία φαίνονται με κατάλληλο φωτισμό της επιφάνειας του αγγείου.

ΔΙΑΚΟΣΜΗΣΗ ΤΟΥ ΚΕΡΑΜΙΚΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

Υπάρχουν, γενικά, τρία είδη διακόσμησης ενός κεραμικού αγγείου:

- η πλαστική διακόσμηση
- η επιφανειακή διακόσμηση και
- η διακόσμηση με υάλωμα

Η διακόσμηση με υάλωμα μπορεί να είναι είτε πλαστική είτε επιφανειακή.

Κατά την πλαστική διακόσμηση διάφορα σχήματα αποτυπώνονται στο σώμα του αγγείου, όταν αυτό είναι ακόμα υγρό, με την πίεση διάφορων αντικειμένων στην επιφάνειά του. Τα σχήματα αυτά είναι χαρακτηριστικά κάποιου πολιτισμού και επομένως έχει μεγάλη ιστορική αξία η μελέτη τους. Με άλλη τεχνική τα σχήματα χαράσσονται στην επιφάνεια του αντικειμένου με αιχμηρό ή με αμβλύ εργαλείο, ή δημιουργούνται σκαλιστές διακοσμητικές παραστάσεις. Η διακόσμηση αυτή μπορεί να γίνει είτε σε υγρό πηλό είτε όταν ήδη έχει ξεραθεί το αγγείο· το αποτέλεσμα είναι το ίδιο, μόνο που για κάθε περίπτωση χρησιμοποιείται διαφορετικό εργαλείο. Επίσης, κατά την πλαστική διακόσμηση ανάγλυφες παραστάσεις κολλώνται στον υγρό πηλό.

Αυτές γίνονται από απλά σφαιρίδια ή από ταινίες πηλού και σχηματίζουν διάφορα σχήματα. Τα διακοσμητικά ανάγλυφα μπορούν να κατασκευαστούν και σε καλούπι, και στη συνέχεια να κολληθούν στην επιφάνεια του αγγείου. Σε άλλες περιπτώσεις, σχεδιάζονται λεπτομέρειες στην επιφάνεια του αγγείου με πινέλο με τη χρήση λεπτόρρευστης πάστας πηλού.

Κατά την επιφανειακή διακόσμηση βελτιώνεται η όψη της επιφάνειας με κατεργασία του αγγείου με βρεγμένα χέρια, κατά την οποία τα πιο λεπτά τεμαχίδια του πηλού έρχονται στην επιφάνεια δίνοντας λεία όψη. Επίσης, η διακόσμηση της επιφάνειας του κεραμικού με πηλούς διάφορων χρωμάτων αποτελεί σπουδαίο τρόπο διακόσμησης.

Εδώ χρησιμοποιούμε αιώρημα πολύ λεπτών τεμαχιδίων πηλού στο νερό, το οποίο λειτουργεί ως χρώμα για ολόκληρη την επιφάνεια ή για μέρος της επιφάνειας του αγγείου.

Για να βάψουμε ολόκληρη την επιφάνεια, βυθίζουμε ολόκληρο το αγγείο στο αιώρημα ή καλύπτουμε με πινέλο ορισμένες μόνο περιοχές της επιφάνειας, σχηματίζοντας διάφορα σχήματα ή παραστάσεις. Είναι πολύ συνηθισμένη η τεχνική κατά την οποία η επιφάνεια του αγγείου καλύπτεται ολόκληρη από λευκό αιώρημα καολίνη, και στη συνέχεια επάνω στο λευκό φόντο ζωγραφίζονται παραστάσεις με αιωρήματα πηλών άλλων χρωμάτων.

ΤΟ ΣΤΕΓΝΩΜΑ ΤΟΥ ΚΕΡΑΜΙΚΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

ΓΕΝΙΚΑ

Κατά το στέγνωμα του κεραμικού, πριν από το ψήσιμο, απομακρύνεται η μεγάλη ποσότητα του νερού που συγκρατεί ο πηλός.

Όπως αναφέρθηκε και πιο πάνω, ο έντονα πλαστικός πηλός μπορεί να συγκρατεί μέχρι 70% νερό. Αν θερμανθεί το αντικείμενο σ' αυτή την κατάσταση, η απότομη έξοδος του ατμού θα σπάσει τα τοιχώματά του.

Το στέγνωμα των αγγείων στις θερμές χώρες γίνεται στο ύπαιθρο και μάλιστα αρχικά στον ίσκιο, για να είναι πιο αργό. Τυχόν ταχεία ξήρανση θα προκαλέσει απότομη συστολή του κεραμικού, ιδίως στις περιοχές που τα τοιχώματα είναι λεπτά. Το χειμώνα, στις εύκρατες περιοχές, το στέγνωμα είναι πολύ δύσκολο, όταν δεν υπάρχει καμία πηγή θέρμανσης. Ωστόσο, ακόμα και μια μικρή φωτιά στο εργαστήριο του τεχνίτη μπορεί να ζεσταίνει τον ίδιο και να διευκολύνει το στέγνωμα των αγγείων.

ΣΤΕΓΝΩΜΑ ΚΑΙ ΣΥΡΡΙΚΝΩΣΗ

Αφού η μάζα πηλού - νερού πάρει το επιθυμητό σχήμα, αφήνεται να ξηρανθεί. Στη διαδικασία φορμαρίσματος το στέγνωμα είναι ένα επικίνδυνο στάδιο, επειδή οι πιέσεις μέσα στο σχηματιζόμενο σώμα μπορούν να προκαλέσουν ράγισμα και παραμόρφωση. Οι

περισσότερες πιέσεις συμβαίνουν, διότι κατά τη διάρκεια του στεγνώματος το στρώμα του νερού που περιβάλλει τα πλακιδιόμορφα στρώματα εξατμίζεται και αυτά έρχονται πιο κοντά, προκαλώντας τη συρρίκνωση του σώματος του πηλού και τη μείωση της πλαστικότητας.

Υπάρχουν δύο είδη απώλειας νερού και δύο μορφές συρρίκνωσης των κεραμικών κατά τη διάρκεια κατασκευής τους. Το χαμένο νερό είναι μηχανικά και χημικά ενωμένο με τον πηλό, και η συρρίκνωση μπορεί να μετρηθεί σε διαστάσεις γραμμικές και όγκου. Το χημικά ενωμένο νερό δεν απομακρύνεται σε χαμηλή θερμοκρασία ξήρανσης των πηλών, στον αέρα. Η απομάκρυνσή του αρχίζει με την εφαρμογή θέρμανσης και ψησίματος.

ΤΟ ΨΗΣΙΜΟ ΤΟΥ ΚΕΡΑΜΙΚΟΥ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΟΥ

ΓΕΝΙΚΑ

Το ψήσιμο των κεραμικών αντικειμένων είναι η πιο σημαντική και η πιο λεπτή διαδικασία κατά την κατασκευή τους.

Κατά τη διαδικασία του ψησίματος μεταβάλλονται τόσο οι φυσικές όσο και οι χημικές ιδιότητες του πηλού, ο οποίος ανάλογα με τη θερμοκρασία μετατρέπεται από πορώδες και εύθρυπτο υλικό σε υλικό σκληρό και αδιαπέραστο από τα υγρά. Οι φούρνοι που κατά καιρούς χρησιμοποιήθηκαν αποτελούν στοιχεία που χαρακτηρίζουν την τεχνολογία και την ανάπτυξη της τεχνικής που αφορά την επεξεργασία του πηλού διάφορες εποχές και περιοχές.

Ο φούρνος του αγγειοπλάστη διαθέτει ορισμένα εξαρτήματα για την τοποθέτηση ορισμένων αντικειμένων. Εκτός από τα ράφια ή τα πλαίσια στήριξης, που είναι κατασκευασμένα από πυρίμαχο πηλό, υπάρχουν και τα στηρίγματα για τα εφθαλωμένα αγγεία. Τα στηρίγματα αυτά είναι κατασκευασμένα, ώστε η επιφάνεια επαφής με το αγγείο να περιορίζεται στο ελάχιστο και συνήθως σε τρία ή τέσσερα σημεία. Τα σημεία αυτά στήριξης είναι πολλές φορές εμφανή στη βάση των κεραμικών. Πολλές φορές χρησιμοποιούνταν και κουτιά από πυρίμαχο πηλό με κάλυμμα, όπου τοποθετούνταν τα υαλωμένα αγγεία για ψήσιμο.

Η διαδικασία ψησίματος: αφού στοιβαχτούν τα αντικείμενα μέσα στο φούρνο, έτσι ώστε να γίνεται πλήρης εκμετάλλευση του χώρου, και αφού κλειστεί, με πηλό συνήθως, το άνοιγμα από όπου έγινε το φόρτωμα, ανάβει η φωτιά.

Αρχικά, η φωτιά είναι χαμηλή και η θερμοκρασία του φούρνου ανεβαίνει πολύ σιγά. Εδώ απομακρύνεται το υπόλοιπο νερό που συγκρατείται από τον πηλό με τις φυσικές δυνάμεις της ρόφησης, και η θερμοκρασία διατηρείται για αρκετές ώρες στους 100 - 110 °C. Εάν σ' αυτό το διάστημα αυξηθεί απότομα η θερμοκρασία, ο ατμός που θα παραχθεί θα σπάσει τα τοιχώματα των αγγείων, κίνδυνος ο οποίος μειώνεται όσο περισσότερο πορώδη είναι τα αγγεία.

Στη συνέχεια, η φωτιά δυναμώνει, η θερμοκρασία στο φούρνο ανεβαίνει αργά, και όταν αυτή ξεπεράσει τους 400 °C, αρχίζει να απομακρύνεται το νερό που είναι χημικά συνδεδεμένο με την άργιλο.

Εδώ, ανάλογα με το είδος του πηλού, η θερμοκρασία παραμένει σταθερή στους 450 - 500 °C. Στην περίπτωση αυτή, τυχόν ταχεία αποβολή του ατμού θα προκαλέσει σπάσιμο των κεραμικών αντικειμένων.

Ύστερα από αυτό το στάδιο πρέπει να προσεχθεί το σημείο όπου η θερμοκρασία είναι στην περιοχή των 573 °C και ο χαλαζίας του κεραμικού υλικού αλλάζει την κρυσταλλική μορφή του και διαστέλλεται κατά 2%. Εάν το στάδιο αυτό ξεπεραστεί γρήγορα, η μικρή αυτή μεταβολή του όγκου μπορεί να προκαλέσει το σπάσιμο των κεραμικών αντικειμένων.

Όταν η θερμοκρασία ξεπεράσει τους 600 °C, δεν παρατηρούνται μεγάλες μεταβολές στο σώμα του κεραμικού, εκτός φυσικά από την κανονική θερμική διαστολή, που οπωσδήποτε πρέπει να λαμβάνεται υπόψη. Με τη βαθμιαία αύξηση της έντασης της φωτιάς επιτυγχάνεται η ωρίμανση του πηλού.

Η ατμόσφαιρα που επικρατεί μέσα στο φούρνο έχει επίσης μεγάλη σημασία για την επιτυχία του κεραμικού. Όταν το καύσιμο καίγεται με λαμπερή φλόγα και με περίσσεια αέρα, τότε επικρατεί οξειδωτική ατμόσφαιρα μέσα στο φούρνο. Εδώ καίγεται πλήρως ο άνθρακας του καυσίμου, αλλά και κάθε οργανική ύλη που υπάρχει μέσα στον πηλό. Επίσης, προκαλείται η μεγαλύτερη δυνατή οξείδωση των μετάλλων, με αποτέλεσμα το χρωματισμό του πηλού.

Αντίθετα, όταν το καύσιμο είναι υγρό και επικρατεί άπνοια και υγρασία, τότε μέσα στο φούρνο δημιουργείται αναγωγική ατμόσφαιρα. Εδώ εξακολουθεί να παραμένει η οργανική ύλη που ενδεχομένως υπήρχε στον πηλό, ενώ στην επιφάνεια και στους πόρους επικάθεται κάπνα. Επίσης, τα μεταλλικά οξείδια ανάγονται στο μικρότερο δυνατό βαθμό οξείδωσης, χάνοντας μέρος του οξυγόνου που περιέχουν.

Επομένως, με την κατάλληλη ρύθμιση της ατμόσφαιρας του φούρνου σε οξειδωτική ή αναγωγική οι αρχαίοι τεχνίτες πετύχαιναν το επιθυμητό χρωματικό αποτέλεσμα, κόκκινο ή μαύρο αντίστοιχα, από τα οξείδια του σιδήρου.

Σε μια τέτοια ρύθμιση στηρίζεται η τεχνική της κατασκευής των ερυθρόμορφων και των μελανόμορφων αγγείων. Αυτή η τεχνική στηρίζεται στη χρήση του ιλλίτη, που είναι μια μορφή πηλού πλούσια σε σίδηρο. Οι αρχαίοι τεχνίτες με επανειλημμένες κατεργασίες του πηλού πετύχαιναν ένα αιώρημα πηλού στο νερό πλούσιο σε ιλλίτη, το οποίο χρησιμοποιούσαν σαν χρώμα για τη ζωγραφική των παραστάσεων.

ΕΙΔΗ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Τα κεραμικά αντικείμενα διακρίνονται σε τερακότες, σε earthenwares, σε φαγεντιανά, σε γκρε (stonewares) και σε πορσελάνες.

1. Οι τερακότες (από το λατινικό terra cota, που σημαίνει ψημένη γη) είναι τα κεραμικά αντικείμενα των οποίων η μάζα είναι πορώδης και δεν καλύπτεται από υάλωμα. Ανάλογα με την αντοχή τους σε υψηλές θερμοκρασίες οι τερακότες διακρίνονται σε πραγματικές τερακότες και σε πυρίμαχα υλικά.

Στις πραγματικές τερακότες περιλαμβάνονται τα τούβλα, τα κεραμίδια, τα πλακάκια, οι διακοσμητικές τερακότες (μετώπες στις στέγες, διακοσμητικά βάζα χωρίς υάλωμα κτλ.),

οι πολύ πορώδεις τερακότες (γλάστρες, στάμνες, κανάτια κτλ.) και οι μαύρες τερακότες. Τα πυρίμαχα είδη έχουν την ιδιότητα να αντέχουν σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες και χρησιμοποιούνται σε διάφορες μεταλλουργίες, υαλουργίες κ.ά. Επίσης, έχουν την ιδιότητα να αντέχουν σε απότομες και συνεχείς μεταβολές της θερμοκρασίας. Οι τερακότες παρουσιάζουν πορώδες μεγαλύτερο του 30%.

2. Τα earthenwares παρουσιάζουν πορώδες 10-25% περίπου και θερμοκρασία ψησίματος 1000 - 1100 °C περίπου. Είναι κεραμικά τα οποία παρουσιάζουν σημαντικά μικρότερο πορώδες και κατασκευάζονται από καλύτερο πηλό σε σύγκριση με τις τερακότες. Δεν είναι επικαλυμμένα με υάλωμα και αποτελούν τα καλής ποιότητας κεραμίδια και τούβλα.

3. Φαγεντιανά ονομάζονται όλα γενικά τα πορώδη κεραμικά που καλύπτονται με κάποιο υάλωμα. Τα φαγεντιανά κεραμικά αντικείμενα διακρίνονται κυρίως σε δύο κατηγορίες:

α. Στα κοινά φαγεντιανά, στα οποία ο πηλός περιέχει αρκετή ποσότητα οξειδίων του σιδήρου, γι' αυτό και έχουν χρώμα κόκκινο, κίτρινο κτλ.

β. Στα κυρίως φαγεντιανά, που κατασκευάζονται με λευκή μάζα και διαφανή υαλώματα και διακρίνονται σε φαγεντιανά με ασβέστη και σε φαγεντιανά με άστριο.

Τα φαγεντιανά παρουσιάζουν πορώδες 2 - 10% περίπου, έχουν θερμοκρασία ψησίματος 1100 - 1200 °C περίπου και αποτελούν όλα τα υαλωμένα οικιακά σκεύη.

4. Τα γκρε (stonewares) παρουσιάζουν πορώδες 0,5 - 2% περίπου, αποτελούν μαζί με την πορσελάνη τα μη πορώδη κεραμικά και διαφέρουν από αυτήν στο ότι δεν έχουν διαφάνεια και γίνονται με χρώματα που προστίθενται μετά το ψήσιμο και ξαναψήνονται. Τα γκρε κατασκευάζονται με την υαλοποίηση μιας μάζας πηλού σε θερμοκρασίες περίπου 1250 - 1300 °C και το ψήσιμο γίνεται συνήθως μόνο μία φορά.

5. Η πορσελάνη παρουσιάζει πορώδες μικρότερο του 1%, αποτελεί τη δεύτερη κατηγορία των υαλοποιημένων κεραμικών και διαφέρει από τα γκρε στο ότι είναι διαφανής, η μάζα της είναι πολύ λευκή και η κατάσταση υαλοποίησης πολύ πιο έντονη από αυτά.

Τα υλικά που περιέχει η πορσελάνη είναι ο καολίνης, οι άστριοι και ο χαλαζίας ή η πυριτική άμμος. Ανάλογα με τον τρόπο κατασκευής της η πορσελάνη διακρίνεται σε δύο κατηγορίες:

- Στην αυθεντική πορσελάνη, που είναι συνήθως κινέζικη και κατασκευάζεται μαζί με το υάλωμά της, το οποίο δημιουργείται από την υαλοποίηση του εξωτερικού στρώματος του υλικού.

- Στις απομιμήσεις, στις οποίες γίνεται αρχικά ένα πρώτο ψήσιμο, όπου το αντικείμενο ψήνεται σε σχετικά χαμηλή θερμοκρασία (850 - 1000 °C), για να στερεοποιηθεί αρκετά και για να αποκτήσει το κατάλληλο πορώδες, ώστε να κρατήσει το υάλωμα. Στη συνέχεια εφαρμόζεται στην επιφάνεια το αιώρημα του υαλώματος και κατόπιν γίνεται το κυρίως ψήσιμο.

ΥΑΛΩΜΑΤΑ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

ΓΕΝΙΚΑ

Υάλωμα ενός κεραμικού, το οποίο μπορεί να οριστεί ως ένα άμορφο στερεό, διάφανο ή αδιάφανο, είναι το γυάλινο στρώμα στην επιφάνειά του. Με την επίδραση της θερμοκρασίας μέσα στο καμίνι το υάλωμα λιώνει πάνω στην κεραμική επιφάνεια, την οποία καλύπτει ακολουθώντας το σχήμα της.

Τα υαλώματα εξυπηρετούν δύο ειδών σκοπούς:

α. λειτουργικούς: ένα υαλωμένο κεραμικό είναι αδιαπέραστο από τα υγρά, και

β. διακοσμητικούς.

Τα υαλώματα μπορούν να χρωματιστούν πολύ εύκολα και επομένως αποκτούν διακοσμητικό χαρακτήρα. Επίσης, διάφορα αδιαφανή λευκά υαλώματα μπορούν να χρησιμοποιηθούν, για να καλύψουν την επιφάνεια κακής ποιότητας κεραμικών, και με τον τρόπο αυτό αναβαθμίζουν την ποιότητά τους.

ΣΥΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΥΑΛΩΜΑΤΩΝ

Τα υαλώματα από πλευράς φυσικής κατάστασης είναι σώματα που, αν και μοιάζουν με στερεά, παρουσιάζουν πολλές ομοιότητες με τα υγρά. Συγκεκριμένα χαρακτηρίζονται ως υγρά σε υπέρτηξη και αυτό σημαίνει ότι είναι υγρά μεγάλου ιξώδους (μικρής ρευστότητας) στη συνήθη θερμοκρασία και επομένως δεν είναι κρυσταλλικά σώματα στη στερεή κατάσταση. Σε αντίθεση με τα κρυσταλλικά σώματα, οι θέσεις που καταλαμβάνουν στο χώρο τα δομικά συστατικά τους (άτομα) είναι τυχαίες. Επίσης, δεν έχουν ακριβές σημείο τήξης.

Τα υαλώματα αποτελούνται από τα εξής τρία βασικά συστατικά:

- 1. Από το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) ή το οξείδιο του βορίου (B_2O_3), που αποτελούν τη βάση του γυαλιού.**
- 2. Από τα ευτηκτικά οξείδια μετάλλων,** που κατεβάζουν το σημείο τήξης του δύστηκτου διοξειδίου του πυριτίου (το σημείο τήξης του καθαρού διοξειδίου του πυριτίου είναι 1710°C). Τέτοια ευτηκτικά είναι τα οξείδια ή οι ενώσεις του νατρίου (Na), του καλίου (K), του ασβεστίου (Ca), του βαρίου (Ba), του μαγνησίου (Mg), του ψευδαργύρου (Zn) και του αργιλίου (Al).
- 3. Από τα μεταλλικά οξείδια, που δίνουν χρώμα στο υάλωμα.** Τέτοια οξείδια είναι του σιδήρου (Fe), του κοβαλτίου (Co), του χρωμίου (Cr), του μαγγανίου (Mn), του χαλκού (Cu) και του νικελίου (Ni).

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΤΩΝ ΥΑΛΩΜΑΤΩΝ

Τα υαλώματα εφαρμόζονται συνήθως κατά την εφυάλωση των κεραμικών αντικειμένων:

1. Ως αιωρήματα των συστατικών τους στο νερό. Στο αιώρημα αυτό βυθίζεται το κεραμικό και στη συνέχεια στραγγίζει, στεγνώνει και ψήνεται.
2. Κατασκευάζονται πρώτα τα υαλώματα με ανάμειξη και με τήξη των συστατικών τους και στη συνέχεια τρίβονται σε σκόνη, από την οποία κατασκευάζεται το αιώρημα σε νερό, με το οποίο καλύπτεται η επιφάνεια του κεραμικού.
3. Το γυαλί έχοντας ως βάση το διοξείδιο του πυριτίου, που υπάρχει σχεδόν σε όλους τους πηλούς, και ως χρωστική τα οξείδια των μετάλλων, που περιέχονται επίσης στον πηλό, προστίθεται σαν αιώρημα, ακόμα και κατά το ψήσιμο, το ευτηκτικό οξείδιο (οξείδια αλκαλίων κτλ.).

ΚΑΤΗΓΟΡΙΕΣ ΤΩΝ ΥΑΛΩΜΑΤΩΝ

Τα υαλώματα μπορούν να χωριστούν σε κατηγορίες ανάλογα:

- με τη θερμοκρασία ωρίμανσής τους
- με το είδος των ευτηκτικών οξειδίων που περιέχουν και
- με το τελικό οπτικό αποτέλεσμα που δίνουν

1. Ανάλογα με τη θερμοκρασία ωρίμανσής τους και με το είδος των κεραμικών επάνω στα οποία χρησιμοποιούνται τα υαλώματα διακρίνονται σήμερα σε τέσσερις κατηγορίες:

- α. Στα υαλώματα μαγιόλικων πηλών με θερμοκρασία 900 - 1500 °C
- β. Στα υαλώματα εύπηκτων πηλών με θερμοκρασία 1000 - 1150 °C
- γ. Στα υαλώματα δύστηκτων πηλών με θερμοκρασία 1200 - 1300 °C
- δ. Στα υαλώματα πορσελάνης με θερμοκρασία 1300 - 1450 °C

Ο διαχωρισμός αυτός είναι γενικά πολύ γενικός και, επομένως, δεν μπορεί να βρει εφαρμογή σε υλικά που χρησιμοποιήθηκαν κατά την αρχαιότητα.

2. Ανάλογα με το είδος του κύριου ευτηκτικού υλικού που έχει χρησιμοποιηθεί τα υαλώματα διακρίνονται σε δύο βασικές κατηγορίες:

- α. Στα υαλώματα που περιέχουν μόλυβδο**
- β. Στα υαλώματα που περιέχουν αλκάλια**
δηλαδή νάτριο, διάφορα άλατα και αστρίους

Αυτή η διάκριση είναι περισσότερο πρακτική από άλλες.

3. Η διάκριση των υαλωμάτων ανάλογα με το τελικό οπτικό αποτέλεσμα εξαρτάται από την προσθήκη διάφορων υλικών. Όταν, για παράδειγμα, προσθέσουμε στο υάλωμα διοξείδιο του κασσίτερου ή σκόνη από οστά ή τάλκη, παίρνουμε αδιαφανές λευκό υάλωμα.

ΖΩΓΡΑΦΙΚΗ ΔΙΑΚΟΣΜΗΣΗ ΤΩΝ ΥΑΛΩΜΑΤΩΝ

Η διακόσμηση του υαλωμένου κεραμικού γίνεται με ζωγραφική κάτω από το υάλωμα, όταν αυτό είναι διαφανές, ή πάνω από το υάλωμα είτε είναι διαφανές είτε αδιαφανές. Όταν η ζωγραφική γίνεται πάνω από το υάλωμα που έχει ψηθεί, απαιτείται ένα ακόμα ψήσιμο για τη στερέωση των χρωμάτων. Όταν η ζωγραφική γίνεται κάτω από το υάλωμα, είναι απαραίτητο - πριν από την εφαρμογή του υαλώματος - οι κόλλες ή τα λάδια που πιθανόν έχουν χρησιμοποιηθεί να καούν σε χαμηλή θερμοκρασία.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ

ΓΕΝΙΚΑ

Η διάβρωση των κεραμικών οφείλεται σε ενδογενείς και σε εξωγενείς παράγοντες.

Οι ενδογενείς παράγοντες περιλαμβάνουν τους παράγοντες φθοράς εξαιτίας της κατασκευής και των προσμείξεων στις πρώτες ύλες του κεραμικού. Τέτοιοι παράγοντες είναι:

α. Οι ατέλειες ψησίματος, δηλαδή οι ατέλειες του κεραμικού που οφείλονται σε ψήσιμο που έγινε σε χαμηλή θερμοκρασία ή σε απότομη άνοδο της θερμοκρασίας ή σε μη σταδιακό στέγνωμα. Αυτές οι ατέλειες κάνουν την επιφάνεια αλλά και όλο το σώμα του κεραμικού να φαίνονται - μακροσκοπικά και μικροσκοπικά - σαθρά και προκαλούν ρωγμές στην επιφάνειά του.

β. Προσμείξεις ανθρακικού ασβεστίου. Οι ανθρακικές προσμείξεις σε ένα κεραμικό δημιουργούν αλκαλικό περιβάλλον και καθιστούν το κεραμικό ευπαθές σε τυχόν όξινη προσβολή, με αποτέλεσμα την αποδιοργάνωση του υλικού του.



*Επικαθίσεις ατμοσφαιρικής
ρύπανσης.*

*Κεραμικό άγαλμα από αέτωμα της
Ακαδημίας Αθηνών.*



*Επικαθίσεις ατμοσφαιρικής
ρύπανσης.*

*Κεραμικό άγαλμα από αέτωμα της
Ακαδημίας Αθηνών.*

Η όξινη προσβολή μπορεί να προέλθει από δράση της όξινης βροχής για κεραμικό εκτεθειμένο σε ρυπασμένη ατμόσφαιρα, από δράση όξινων νερών του υπεδάφους για θαμμένα κεραμικά και από δράση των οξέων που χρησιμοποιούνται ως καθαριστικά της επιφάνειας των κεραμικών από διάφορες επικαθίσεις.

γ. Η διαφορά στο συντελεστή θερμικής διαστολής - συστολής μεταξύ υαλώματος και σώματος.

Ο συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής α ενός υλικού δίνεται από τον τύπο:

$$l_{\theta} = l_0 \cdot (1 + \alpha \cdot \theta),$$

όπου l_{θ} είναι το μήκος του υλικού σε θερμοκρασία θ °C,

l_0 είναι το μήκος του υλικού σε θερμοκρασία 0 °C,

α ο συντελεστής γραμμικής θερμικής διαστολής σε grad⁻¹.

Όταν το υάλωμα έχει μεγαλύτερο συντελεστή θερμικής διαστολής από το κεραμικό, σε απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας, το υάλωμα αυξάνει την επιφάνειά του σε σχέση με το σώμα του κεραμικού, οπότε έχουμε το φαινόμενο κομμάτια του υαλώματος να ξεκολλούν από το σώμα και να υπερκαλύπτουν άλλα κομμάτια, προκαλώντας τελικά την αποφλοίωση του υαλώματος.

Όταν το υάλωμα έχει μικρότερο θερμικό συντελεστή διαστολής από το σώμα του κεραμικού, τότε σε απότομες αλλαγές της θερμοκρασίας το σώμα διαστέλλεται περισσότερο από το υάλωμα, με αποτέλεσμα τη δημιουργία κενών μέσα στο υάλωμα και τελικά το κρακελάρισμα του υαλώματος.

Εξωγενείς παράγοντες είναι εκείνοι που έχουν σχέση με την επίδραση του περιβάλλοντος στο αντικείμενο. Τέτοιοι είναι:

α. Η χρήση του αντικειμένου.

Διάφορα προβλήματα προκαλούνται στο κεραμικό από κρούσεις, από τριβές, από μεταφορές και από διάφορα διαβρωτικά υλικά τα οποία τυχόν αποθηκεύτηκαν μέσα σ' αυτό.



Επικαθίσεις ατμοσφαιρικής ρύπανσης.

Κεραμικό άγαλμα από αέτωμα της Ακαδημίας Αθηνών.

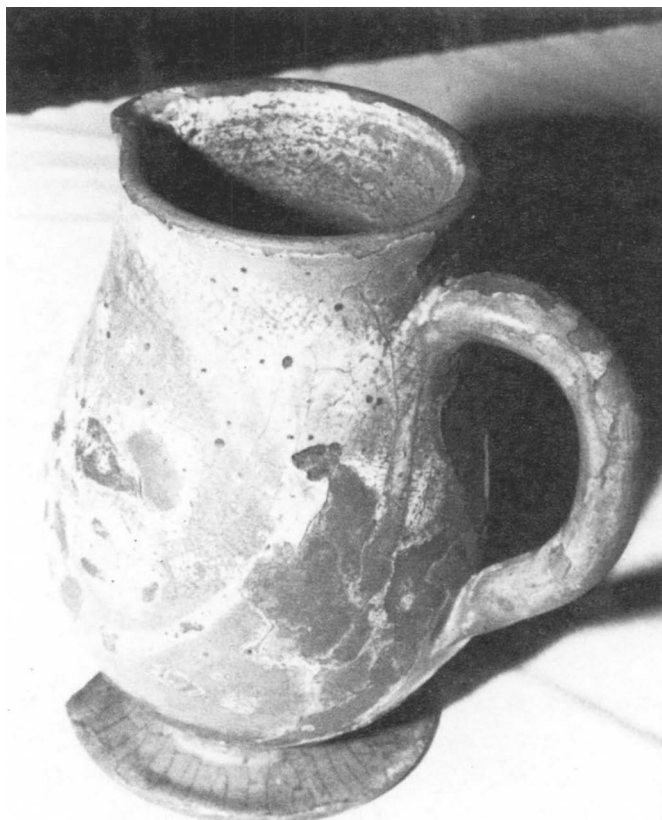
β. Οι θραύσεις από μηχανικούς παράγοντες, όπως από κτυπήματα, από πτώσεις ή και από άλλες μηχανικές κακώσεις του κεραμικού αντικειμένου που έγιναν κατά την ανασκαφή, τη μεταφορά και την αποθήκευσή του.

γ. Οι θραύσεις από θερμικούς παράγοντες, όπως είναι το ζέσταμα και το απότομο στέγνωμα ενός βρεγμένου κεραμικού, που έχουν ως αποτέλεσμα τη δημιουργία ρωγμών στο σώμα του κεραμικού εξαιτίας της απότομης απομάκρυνσης του νερού που περιέχεται σ' αυτό. Επίσης, η απότομη θέρμανση ή το απότομο κρύωμα ενός στεγνού κεραμικού έχουν ως αποτέλεσμα την "αποδιοργάνωση" του υλικού του λόγω των επερχόμενων διαστολών ή συστολών.

δ. Το λέκιασμα από οργανικούς λεκέδες προκαλείται από υλικά, κυρίως υγρά, που κατά καιρούς αποθηκεύτηκαν μέσα στο κεραμικό αντικείμενο. Το λέκιασμα είναι περισσότερο έντονο στα σημεία που έχουν κρακελάρει και πολλές φορές προχωρά σε αρκετό βάθος στο σώμα του κεραμικού, ειδικά όταν το υγρό που λεκιάζει, π.χ. λάδι, είναι αποθηκευμένο μέσα στο κεραμικό για μεγάλο χρονικό διάστημα. Επίσης, μπορεί να προκληθεί εμποτισμός διαλυτών αλάτων στο σώμα του κεραμικού, ο οποίος οφείλεται σε αποθήκευση αλατισμένων τροφίμων.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΑΠΟ ΤΑ ΔΙΑΛΥΤΑ ΑΛΑΤΑ

Η δράση των διαλυτών αλάτων είναι καθοριστική για τα κεραμικά και γι' αυτό κρίνεται σκόπιμο να γίνει εδώ αναλυτική παρουσίασή της. Τα διαλυτά άλατα, τα οποία μπορεί να εισχωρήσουν μέσα στους πόρους του κεραμικού και στο κρακελάρισμα του υαλώματος, είναι κυρίως τα χλωριούχα (Cl^-) και τα θειικά (SO_4^{2-}) και ακολουθούν τα ανθρακικά (CO_3^{2-}), τα νιτρικά (NO_3^-) και τα νιτρώδη (NO_2^-) των αλκαλίων (K, Na) και των αλκαλικών γαιών (Ca, Mg). Τα διαλυτά άλατα προέρχονται από:



Διαβρωση κεραμικού αντικειμένου από την κρυστάλλωση διαλυτών αλάτων.

1. Τη θάλασσα, όπου περιέχεται χλωριούχο νάτριο σε ποσοστό 3,5% κ.ό. Σε μη ρυπασμένη θάλασσα ο λόγος των θειικών ιόντων προς τα χλωριούχα είναι περίπου 0,139. Σε αποστάσεις 15 χιλιομέτρων περίπου από τη θάλασσα τα άλατα μεταφέρονται με την αλατονέφωση.

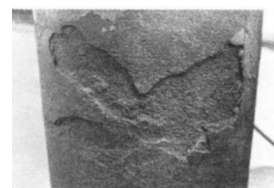
2. Τα υπόγεια νερά, όπου τα διαλυτά άλατα ανεβαίνουν με την τριχοειδή αναρρίχηση του νερού από τον υπόγειο υδροφόρο ορίζοντα μέσα από τα πετρώματα, συμπαρασύροντας μέσα από το έδαφος τα διαλυτά συστατικά των αργιλοπυριτικών, κυρίως, αλλά και των υπόλοιπων πετρωμάτων.

3. Τους όξινους ατμοσφαιρικούς ρύπους, που προσβαλλουν τις ανθρακικές προσμείξεις

και ενώσεις των αλκαλίων του κεραμικού και σχηματίζουν τα αντίστοιχα διαλυτά θειικά, νιτρικά ή χλωριούχα άλατα.

4. Επαφές με δομικά υλικά ή με κονιάματα, όπως το σιμέντο, που είναι σημαντικές πηγές θειικών, ανθρακικών και διαλυτών πυριτικών αλάτων. Επίσης, τυχόν επαφές του κεραμικού υλικού με γύψο, από συμπληρώσεις κομματιών που λείπουν, μπορούν να προκαλέσουν ροή θειικών αλάτων μέσα στους πόρους του.

Διάφορα διαλυτά άλατα, όπως το θειικό νάτριο (Na_2SO_4), το ανθρακικό νάτριο (Na_2CO_3), το θειικό μαγνήσιο (MgSO_4) και το



Διάβρωση κεραμικού αντικειμένου από την κρυστάλλωση διαλυτών αλάτων.

θειικό ασβέστιο (CaSO_4), σε διάφορες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας αλλάζουν κρυσταλλική μορφή με αντίστοιχη αύξηση όγκου.

Η αύξηση όγκου που ακολουθεί τις παραπάνω μεταπτώσεις δημιουργεί πολύ μεγάλες μηχανικές τάσεις στους πόρους, πολλές φορές μεγαλύτερες από την αντοχή του υλικού, με αποτέλεσμα την επιφανειακή αποδιοργάνωση και διάβρωση του υλικού.

Αντίστοιχα τα χλωριούχα άλατα αλκαλίων και αλκαλικών γαιών, λόγω της μεγαλύτερης ευκινησίας σε σχέση με τα θειικά και τα ανθρακικά, διεισδύουν στους πόρους του υλικού όπου κρυσταλλώνονται και δημιουργούν μηχανικές τάσεις. Επίσης, προκαλούν την “πέψη”, δηλαδή τη διάλυση κολλοειδών συγκροτημάτων αργίλων στο νερό, και διευκολύνουν ακόμη τη διάλυση του μαγνησίου που περιέχεται στο υλικό.



Διάβρωση κεραμικού αντικειμένου από την κρυστάλλωση διαλυτών αλάτων.



Διάβρωση κεραμικού αντικειμένου από την κρυστάλλωση διαλυτών αλάτων.

Άσκηση 1. Να κατασκευαστούν διαλύματα χλωριούχου νατρίου (NaCl) 5% κ.ό. και θειικού νατρίου (Na₂SO₄) 5% κ.ό. Στη συνέχεια να γίνουν εμβάπτισης στα διαλύματα κεραμικών πορωδών δοκιμίων διαστάσεων 2x2x1 cm για 20 min, αφού προηγηθούν ξηράσεις πριν και μετά την εμβάπτιση σε πυριαντήριο στους 120 °C για 1 ώρα περίπου. Κατόπιν να παρατηρηθούν τα δοκίμια για απώλεια βάρους και για εξανθήσεις των αλάτων.

Η ΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΠΑΓΕΤΟΥ ΣΤΑ ΚΕΡΑΜΙΚΑ

Αρχικά πρέπει να τονιστεί ότι η δράση του παγετού σε κεραμικό αντικείμενο συμβαίνει σπάνια, διότι τα κεραμικά αντικείμενα ή γλυπτά βρίσκονται συνήθως σε κλειστούς χώρους σε αντίθεση, π.χ. , με τα πέτρινα μνημεία, τα οποία βρίσκονται συνήθως σε ανοιχτό χώρο και κατά συνέπεια είναι εκτεθειμένα στις διάφορες καιρικές συνθήκες.

Για τη διάβρωση από τον παγετό υπάρχουν πολλές θεωρίες αλλά καμιά από αυτές δεν μπορεί να ερμηνεύσει και κυρίως να προβλέψει το φαινόμενο της αλλοίωσης που παρατηρείται εκ των υστέρων στα υλικά.

Η κυριότερη θεωρία αναφέρει ότι το νερό παγώνοντας αυξάνει τον όγκο του κατά 9,2% και ασκεί ισχυρές πιέσεις στους πόρους και στα τριχοειδή του υλικού. Σύμφωνα με αυτή τη θεωρία η αποσύνθεση μπορεί να επέλθει για κορεσμένο υλικό με νερό ύστερα από ένα μόνο κύκλο ψύξης - απόψυξης.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ ΑΠΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Συχνές αιτίες φθοράς των κεραμικών αντικειμένων είναι οι επιδράσεις σε αυτά μικροοργανισμών, όπως είναι οι μύκητες, τα διάφορα είδη φυκών, τα βακτήρια, οι λειχήνες και τα βρύα, τα οποία είναι ζωντανό οργανισμοί και διαθέτουν τις λειτουργίες της λήψης τροφής, της αφομοίωσης, της αναπνοής και της αναπαραγωγής. Οι μικροοργανισμοί αυτοί ευνοούνται από περιβάλλον που συνδυάζει υγρασία, μέτριες θερμοκρασίες, οργανικές ουσίες, φως κτλ.

Μύκητες

Οι μύκητες αναπτύσσονται σε όξινο περιβάλλον (pH 5 - 5,5), τρέφονται με πολύ λίγο οργανικό υλικό, διατηρούνται με μόνη την υγρασία του αέρα και αντέχουν στην έλλειψη ηλιακού φωτός. Οι στρεπτομύκητες, όταν υπάρχουν θειούχες ενώσεις, παράγουν θειικό οξύ που προσβάλλει τις ανθρακικές προσμείξεις του κεραμικού. Άλλα είδη μυκήτων παράγουν οξαλικό ή κιτρικό οξύ.

Φύκη

Για να αναπτυχθούν, είναι απαραίτητη η παρουσία υγρασίας, θερμοκρασίας και φωτός. Το κυριότερο μέρος των φυκών, τα χλωροφύκη, αντέχουν σε μεγάλο εύρος θερμοκρασίας και οξύτητας (pH 3,5 - 9). Γενικά, τα φύκη προκαλούν διάλυση των ανθρακικών

προσμείξεων του κεραμικού και απομάκρυνσή τους. Αυτό γίνεται, επειδή κατά την αφομοίωσή τους παίρνουν διοξείδιο του άνθρακα από την ατμόσφαιρα, το οποίο μαζί με την υγρασία μετατρέπεται σε αδιάλυτα ανθρακικά άλατα σε ελαφρά διαλυτά όξινα ανθρακικά.

Βακτήρια

Είναι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται σε αλκαλικό περιβάλλον (pH 8 - 8,5) και τα κυριότερα αυτότροφα είδη τους παράγουν θειικό οξύ με την οξειδωση θειούχων ενώσεων που διαλύει τις ανθρακικές προσμίξεις του κεραμικού. Άλλα προκαλούν αποσύνθεση των οργανικών ενώσεων με παραγωγή αμμωνίας, η οποία αντιδρά με το όξινο υλικό του κεραμικού, ή με παραγωγή νιτρικού οξέος, το οποίο διαλύει τις ανθρακικές προσμίξεις του κεραμικού. Τα ετερότροφα βακτήρια παράγουν οργανικά οξέα που διαβρώνουν επίσης τις ανθρακικές προσμίξεις του κεραμικού.

Λειχήνες

Περισσότερο αναπτύσσονται σε ασβεστολιθικά υλικά, αλλά υπάρχουν και είδη λειχήνων που αναπτύσσονται και σε αργιλοπυριτικά υλικά. Προκαλούν στο υλικό μηχανική καταπόνηση και φθορές λόγω της χημικής δράσης τους με το οξαλικό οξύ και το διοξείδιο του άνθρακα.

ΦΘΟΡΕΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΕ ΠΡΟΗΓΟΥΜΕΝΕΣ ΕΠΕΜΒΑΣΕΙΣ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Οι επεμβάσεις συντήρησης είναι δυνατόν να προκαλέσουν άμεσες ή έμμεσες αλλοιώσεις, οι οποίες φαίνονται αμέσως ή ύστερα από κάποιο χρονικό διάστημα. Σε αυτές περιλαμβάνονται:

1. Οι αλλοιώσεις από δραστικό βούρτσισμα ή γενικότερα από μηχανικό καθαρισμό. Από μια τέτοιου είδους επέμβαση μπορεί να προκληθούν ανεπανόρθωτες αλλοιώσεις στην επιφάνεια του κεραμικού, στις οποίες περιλαμβάνονται όχι μόνο η διάβρωση του ίδιου του υλικού αλλά και η φθορά του υαλώματος και του χρώματος, αν υπάρχουν.

2. Οι αλλοιώσεις από δημιουργία διαλυτών αλάτων από τον καθαρισμό με οξύ. Για παράδειγμα, αν χρησιμοποιήσουμε για καθαρισμό υδροχλωρικό οξύ, μπορεί να σχηματιστούν τα διαλυτά άλατα χλωριούχο ασβέστιο (CaCl_2) και χλω-



Διάβρωση κεραμικού αντικειμένου από τη φθορά συγκολλητικού και βιολογικές επικαθίσεις.



ριούχο νάτριο (NaCl), τα οποία σε κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας συνεχίζουν τη διαβρωτική δράση τους για μεγάλο χρονικό διάστημα.

3. Οι αλλοιώσεις από τη συνύπαρξη του κεραμικού υλικού ή του υαλώματος με διάφορες ρητίνες που χρησιμοποιήθηκαν για στερέωση, για συγκόλληση και για συμπλήρωση του κεραμικού αντικειμένου. Οι αλλοιώσεις αυτές είναι δύο ειδών:

α. Αυτές που οφείλονται σε επίδραση του φωτός, με την επίδραση του οποίου το χρώμα της ρητίνης αλλάζει συνήθως από κίτρινο μέχρι καφέ.

β. Αυτές που οφείλονται σε μηχανικές τάσεις εξαιτίας της διαφοράς στο θερμικό συντελεστή διαστολής - συστολής, όπως αναφέρεται παρακάτω.

ΑΛΛΟΙΩΣΕΙΣ ΠΟΥ ΟΦΕΙΛΟΝΤΑΙ ΣΤΗ ΧΡΗΣΗ ΚΟΛΛΑΣ, ΣΤΕΡΕΩΤΙΚΟΥ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ Ή ΥΛΙΚΟΥ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ

Η κόλλα και το στερεωτικό παρουσιάζουν διαφορές ως προς τη μηχανική αντοχή ή το συντελεστή θερμικής συστολής - διαστολής σε σχέση με το κεραμικό υλικό, οπότε έχουμε διάβρωση του αρμού και της επιφάνειας η οποία έχει στερεωθεί. Επίσης, οι διάφορες ρητίνες που χρησιμοποιούνται ως κόλλες ή ως στερεωτικά υφίστανται σημαντικές φθορές από παράγοντες του περιβάλλοντος, όπως είναι η θερμοκρασία, η υγρασία, οι υπεριώδεις ακτίνες και η ατμοσφαιρική ρύπανση. Το αποτέλεσμα είναι κιτρίνισμα, κρακελάρισμα και δημιουργία μηχανικών τάσεων στο κεραμικό αντικείμενο.

Οι μηχανικές αυτές τάσεις προκαλούνται εξαιτίας των διαφορών στο συντελεστή γραμμικής θερμικής διαστολής (grad^{-1}) διάφορων υλικών σε σχέση με το κεραμικό υλικό. Αριθμητικές τιμές των μηχανικών τάσεων μερικών υλικών αναφέρονται στον παρακάτω πίνακα. Οι συντελεστές των υλικών που αναφέρονται είναι οι μέσες τιμές στην περίπτωση του κάθε υλικού.

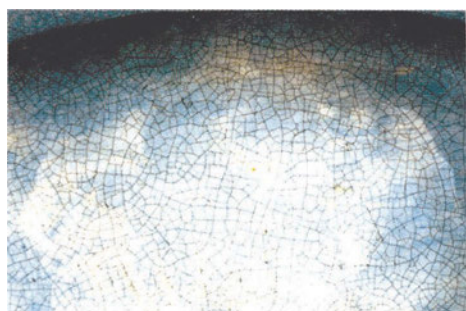
1. Κεραμικό	$5 \cdot 10^{-6}$
2. Ακρυλικές ρητίνες	$70-80 \cdot 10^{-6}$
3. Εποξειδικές ρητίνες	$60 \cdot 10^{-6}$
4. Πολυεστερικές ρητίνες	$100-150 \cdot 10^{-6}$
5. Σίδηρος	$11,5 \cdot 10^{-6}$
6. Χάλυβας	$10-14 \cdot 10^{-6}$
7. Χαλκός	$16,8 \cdot 10^{-6}$
8. Γυαλί	$4,8 \cdot 10^{-6}$

Άσκηση 2. Σε δοκίμια κεραμικών, διαστάσεων 2x2x1 cm, να τοποθετηθούν στη μία επιφάνεια λεπτά στρώματα ακρυλικών, εποξειδικών και πολυεστερικών ρητινών. Στη συνέχεια τα δοκίμια να τοποθετηθούν σε πυριαντήριο και σε θερμοκρασία 50 °C για μία ώρα, και τα πειράματα να επαναληφθούν για 6 φορές περίπου. Κατόπιν να παρατηρηθούν οι ρητίνες για αλλαγές χρώματος, κρακελάρισμα και αποφλοίωση.

ΦΘΟΡΑ ΤΟΥ ΥΑΛΩΜΑΤΟΣ

Το υάλωμα μπορεί να υποστεί διάφορες μορφές διάβρωσης, από τις οποίες οι κυριότερες είναι:

α. Η αδιαφανοποίηση, που οφείλεται σε λεπτό στρώμα από επικαθίσεις αδιάλυτων αλάτων, π.χ. ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) ή πυριτικό ασβέστιο (CaSiO_3) ή σε μηχανική φθορά, π.χ. κτυπήματα, εκδορές κτλ.



*Κρακελάρισμα υαλώματος
κεραμικού αντικειμένου.*

β. Ο ιριδισμός, ο οποίος από πλευράς μορφολογίας παρουσιάζεται, όταν υπάρχουν επιφανειακά αλληπάλληλα στρώματα διάβρωσης στο υάλωμα και παρεμβάλλεται αέρας. Στα στρώματα αυτά εμφανίζεται ποικιλία χρωμάτων στην περίπτωση που έχουμε διάθλαση του φωτός μέσα από το υάλωμα, αλλά και στην περίπτωση που έχουμε ανάκλαση του φωτός επάνω σ' αυτό. Ειδικά στην περίπτωση της διάθλασης του φωτός έχουμε περισσότερο έντονους χρωματισμούς, όταν η διεύθυνση του φωτισμού είναι κάθετη στην επιφάνεια του υαλώματος.

Η εμφάνιση των αλληπάλληλων αυτών στρωμάτων στο υάλωμα οφείλεται στη δημιουργία διαδοχικών επιπέδων από έξω προς τα μέσα, στα οποία το υάλωμα έχει υποστεί αντικατάσταση των ιόντων των αλκαλίων (K^+ , Na^+) από ιόντα υδρογόνου (H^+) του νερού, με αποτέλεσμα κάθε επίπεδο να γίνεται ελαφρά πορώδες λόγω του μικρότερου μοριακού όγκου του υδρογόνου σε σχέση με το μοριακό όγκο των αλκαλίων.

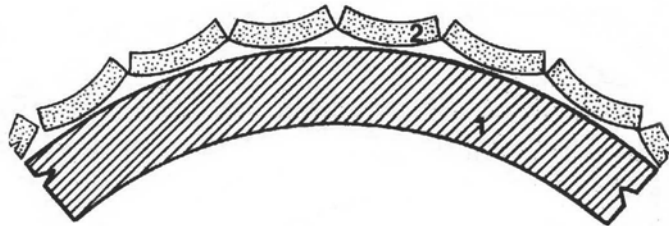
γ. Το κρακελάρισμα, δηλαδή η δημιουργία κενών ανάμεσα στο υάλωμα, η οποία συμβαίνει, όταν ο συντελεστής θερμικής διαστολής-συστολής του κεραμικού υποστρώματος είναι μεγαλύτερος από το συντελεστή θερμικής διαστολής-συστολής του υαλώματος. Το αποτέλεσμα είναι να



*1. Κεραμικό 2. Υάλωμα
Σχηματική παράσταση του κρακελαρίσματος.*

προκαλούνται επιφανειακές τάσεις στο υάλωμα προς τα έξω και, επομένως, να εξασθενεί σε διάφορα σημεία, να κόβεται και να δημιουργούνται σ' αυτό διάφορα κενά.

δ. Η αποφλοίωση, δηλαδή η απομάκρυνση του υαλώματος υπό μορφή φλοιού, η οποία συμβαίνει, όταν ο συντελεστής θερμικής διαστολής-συστολής του κεραμικού υποστρώματος είναι μικρότερος από το συντελεστή θερμικής διαστολής-συστολής του υαλώματος. Το αποτέλεσμα είναι να προκαλούνται επιφανειακές τάσεις στο υάλωμα προς τα μέσα και, επομένως, να ξεκολλά σε διάφορα σημεία του κεραμικού αντικειμένου και στη συνέχεια να αποφλοιώνεται.



1. Κεραμικό 2. Υάλωμα

Σχηματική παράσταση της αποφλοίωσης.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ

ΓΕΝΙΚΑ

Σύμφωνα με αναφορές σε συντηρήσεις κεραμικών αντικειμένων, οι οποίες μας παραδίδονται από την αρχαϊκή, από την κλασική και από την ελληνιστική εποχή, στις περιπτώσεις ρωγμών στο κεραμικό υλικό γινόταν μολυβδοχόηση σε οπές οι οποίες είχαν ανοιχτεί παράλληλα με τη ρωγμή, με αποτέλεσμα να σχηματίζεται ένα είδος ραφής της ρωγμής με τη δημιουργία ενός διπλού Η στην κεραμική επιφάνεια, εμπρός και πίσω, και σύνδεση με μόλυβδο.

Στην περίπτωση διάφορων αγγείων, όπως σε κύλικες ή σε αμφορείς, δε βρέθηκαν ίχνη από φυτική γόμα ή από ζωική κόλλα για συγκολλήσεις. Για συγκολλήσεις κεραμικών αγωγών τοποθετούνταν μολύβδινοι σύνδεσμοι σε σχήμα Π κατά μήκος της συγκόλλησης. Επίσης, η σύνδεση των τεμαχίων των διάφορων αγωγών γινόταν με μολυβδοχόηση για λόγους σταθερότητας αλλά και για λόγους στεγανότητας.

ΣΤΑΔΙΑ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Η συντήρηση του κεραμικού αντικειμένου περιλαμβάνει τα εξής στάδια:

1. Τις αναλύσεις του υλικού του κεραμικού, του υαλώματος, του χρώματος, αν υπάρχει, και των επικαθίσεων.
2. Τον καθαρισμό της επιφάνειας από τις διάφορες επικαθίσεις.
3. Τη στερέωση της σαθρής επιφάνειας και της επιφάνειας που έγιναν διάφοροι καθαρισμοί.
4. Τη συγκόλληση των κομματιών που έχουν βρεθεί.
5. Τη συμπλήρωση των περιοχών του αντικειμένου που λείπουν.

ΑΝΑΛΥΣΕΙΣ ΤΟΥ ΥΛΙΚΟΥ, ΤΟΥ ΥΑΛΩΜΑΤΟΣ, ΤΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ ΚΑΙ ΤΩΝ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΩΝ

Σχετικά με τον καθαρισμό αλλά και με τη μελέτη του αντικειμένου είναι αναγκαία η αναγνώριση και η ανάλυση των επικαθίσεων, καθώς και του υλικού του κεραμικού, του υαλώματος και του χρώματος, αν υπάρχουν.

Αυτό γίνεται με διάφορες μεθόδους της αναλυτικής χημείας, της μικροσκοπίας, της περιθλασης ακτίνων Χ, της φλογοφωτομετρίας, της ατομικής απορρόφησης, της χρωματομετρίας, της διαφορικής θερμικής ανάλυσης και της ανάλυσης με το ηλεκτρονικό μικροσκόπιο σάρωσης.

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ

ΓΕΝΙΚΑ

Με τον όρο “καθαρισμό της επιφάνειας ενός κεραμικού” εννοούμε την απομάκρυνση κάθε μορφής επικαθίσεων από την επιφάνειά του, καθώς και την απομάκρυνση της κρούστας αδιάλυτων αλάτων που περιέχονται στην επιφάνεια και στους πόρους του κεραμικού υλικού αλλά και του υαλώματος, αν υπάρχουν. Θα πρέπει πάντα να προσέχουμε να μην απομακρύνονται ίχνη του υλικού, του υαλώματος και του χρώματος, αν υπάρχουν.

Γενικά, είναι απαραίτητη η απομάκρυνση επικαθίσεων από αδιάλυτα άλατα ή και άλλες ουσίες κατ’ αρχήν για αισθητικούς λόγους, διότι οι επικαθίσεις αλλοιώνουν το φυσικό παιχνίδισμα του φωτός επάνω στις επιφάνειες και δυσκολεύουν τη συνολική εκτίμηση της καλλιτεχνικής αξίας του αντικειμένου.

Επίσης, οι διαφορές στον όγκο και στο θερμικό συντελεστή συστολής-διαστολής μεταξύ υλικού και επικαθίσης προκαλεί μηχανικές τάσεις σε ρωγμές και σε πόρους. Εξάλλου, η μικρότερη διαπερατότητα της κρούστας αυξάνει την κατακράτηση του νερού με τα γνωστά διαβρωτικά αποτελέσματα για το κεραμικό υλικό. Επίσης, η διαφορετική χημική συμπεριφορά των υλικών των επικαθίσεων προκαλεί διάβρωση στο υλικό του κεραμικού ή του υαλώματος. Όταν, τέλος, υπάρχει και οργανική ύλη στις επικαθίσεις, ευνοείται με την παρουσία της υγρασίας η ανάπτυξη μικροοργανισμών, μυκήτων, βακτηρίων, αλγών και λειχήνων.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ

Ο καθαρισμός γίνεται πάντα με δοκιμές προοδευτικά, από την πιο ήπια στην πιο δραστητική μέθοδο.

Διακρίνουμε τρεις κατηγορίες καθαρισμών:

α. Το μηχανικό καθαρισμό, όπου χρησιμοποιούνται διάφορα όργανα όπως νυστέρι, βελόνα, μικρός τροχός, κρουστικό και, τέλος, μικροβολή με σφαιρίδια γυαλιού ή και τρι-οξειδίου του αργιλίου (Al_2O_3).

Στο μηχανικό καθαρισμό χρειάζεται μεγάλη προσοχή να μην απομακρυνθούν ίχνη υλικού, χρώματος ή υαλώματος, αν υπάρχουν. Το αν θα προτιμηθεί ήπια ή δραστητική μέθοδος εξαρτάται κατά πολύ από την πείρα του συντηρητή. Συνήθως, πριν από τη μηχανική επέμβαση η επικαθιση υφίσταται μαλάκωμα ή διαδοχικά μαλακώματα με απιονισμένο νερό ή με κάποιον άλλο διαλύτη. Ειδικά στην περίπτωση της μικροβολής, απαραίτητο

είναι να γνωρίζουμε αρχικά τους βαθμούς σκληρότητας του κεραμικού ή του υαλώματος και στη συνέχεια το βαθμό σκληρότητας των σφαιριδίων. Επίσης, πριν από οποιαδήποτε εφαρμογή της μεθόδου πρέπει να γίνουν δοκιμές, για να βρεθεί η κατάλληλη πίεση της συσκευής μικροβολής.

β. Τον καθαρισμό με απιονισμένο νερό, όπου χρησιμοποιούνται συνεχείς και εναλλακτικές πλύσεις με απιονισμένο νερό που έχει αγωγιμότητα γύρω στα 5 $\mu\text{S}/\text{cm}^2$ μέχρι να μαλακώσει και να απομακρυνθεί η επικαθιση. Σε πολλές περιπτώσεις, όταν υπάρχουν λιπαρές επικαθίσεις στην επιφάνεια του κεραμικού, προστίθεται στο απιονισμένο νερό λίγο ουδέτερο απορρυπαντικό, π.χ. Texaron, Teerol ή Synperonic N, ενώ υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες ο καθαρισμός με νερό ενισχύεται με τρίψιμο με μαλακή βούρτσα.

Το απιονισμένο νερό συνήθως χρησιμοποιείται περισσότερο για την απομάκρυνση διαλυτών αλάτων από την επιφάνεια και από τους πόρους του κεραμικού, μέθοδος που θα αναπτυχθεί αναλυτικότερα παρακάτω.

γ. Τον καθαρισμό με διάφορες χημικές ουσίες ή με διάφορα σκευάσματα χημικών ουσιών ανάλογα με την περίπτωση.

Άσκηση 3. Στα δοκίμια των κεραμικών της άσκησης 1 ή σε θραύσματα κεραμικών με διάφορες επικαθίσεις να γίνουν καθαρισμοί με τη χρήση απιονισμένου νερού με εμβάπτισης και με τη χρήση μαλακής βούρτσας. Σε περιπτώσεις λιπαρών επικαθίσεων να προστεθούν λίγες σταγόνες ουδέτερου απορρυπαντικού.

ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΑΛΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ

Το μη εφυσωμένο κεραμικό, καθώς και το κεραμικό με υάλωμα που έχει κρακελάρει έχει πολλούς πόρους ανοιχτούς προς το περιβάλλον και συνεπώς απορροφά διαλυτά άλατα, πριν και μετά την ανασκαφή, τα οποία κρυσταλλώνονται και προκαλούν διάβρωση στην επιφάνεια. Τα διαλυτά αυτά άλατα, εάν η επιφάνεια του κεραμικού δεν είναι σαθρή, απομακρύνονται με διαδοχικές πλύσεις με απιονισμένο νερό με μέτρηση της ειδικής ηλεκτρικής αγωγιμότητας του εκπλύματος, έως ότου αυτή να αρχίσει να κατεβαίνει και να σταθεροποιείται σε χαμηλά επίπεδα.

Αν η επιφάνεια του κεραμικού είναι σαθρή, τοποθετούνται διαδοχικές κομπρέσες από ουδέτερο χαρτί ή κυτταρίνη ή καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη με απιονισμένο νερό, οι οποίες αφήνονται στην επιφάνεια του κεραμικού για κάποιο χρονικό διάστημα. Στη συνέχεια, αφού απομακρυνθούν, βυθίζονται σε απιονισμένο νερό, αφήνονται για μία ώρα σ' αυτό με ελαφρά ανάδευση και μετρίεται η ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του διαλύματος. Η επέμβαση σταματά, όταν η αγωγιμότητα, αφού αρχίσει να πέφτει, σταθεροποιηθεί σε χαμηλά επίπεδα, κοντά στην ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του απιονισμένου νερού που χρησιμοποιήθηκε. Θα πρέπει να τονιστεί ότι στην περίπτωση κεραμικών αντικειμένων που προέρχονται από τη θάλασσα ή γενικότερα από περιοχή με υψηλή περιεκτικότητα σε άλατα δε χρησιμοποιείται απευθείας απιονισμένο νερό, αλλά αρχικά το αντικείμενο

μεταφέρεται και αποθηκεύεται προσωρινά σε θαλασσινό νερό και στη συνέχεια, κατά τη διαδικασία της απομάκρυνσης διαλυτών αλάτων, το θαλασσινό νερό αντικαθίσταται σταδιακά με διαλύματα νερού, στα οποία η περιεκτικότητα σε διαλυτά άλατα ελαττώνεται σταδιακά.

Σε περίπτωση σαθρής επιφάνειας η αφαλάτωση γίνεται με κομπρέσα απιονισμένου νερού, αφού πρώτα γίνει στερέωση με κάποιο από τα στερεωτικά που θα αναφερθούν στο αντίστοιχο κεφάλαιο ή τοποθετηθεί στην επιφάνεια του κεραμικού λεπτό φύλλο από ουδέτερο χαρτί.

Όταν το κεραμικό είναι εφυσωμένο, είναι γενικά πολύ δύσκολη η διαδικασία απομάκρυνσης διαλυτών αλάτων μέσα από την εφυσάλωση. Αυτή διευκολύνεται με βύθιση του αντικειμένου σε διάλυμα αλκοόλης, το οποίο, αν και δεν είναι καλός διαλύτης για τα άλατα, θα εισχωρήσει καλύτερα στους πόρους από ό,τι το νερό.

Άσκηση 4. Στα δοκίμια των κεραμικών της άσκησης 1 να πραγματοποιηθούν απομακρύνσεις διαλυτών αλάτων από την επιφάνεια και από τους πόρους των κεραμικών με τη χρήση κομπρεσών ουδέτερου χαρτιού ή προσροφητικών αργίλων με απιονισμένο νερό.

ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΑΔΙΑΛΥΤΩΝ ΑΛΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ

Για την απομάκρυνση αδιάλυτων αλάτων από την επιφάνεια του κεραμικού χρησιμοποιούμε ανάλογα με την περίπτωση:

α. Ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3). Στο παρελθόν έχουν αναφερθεί καθαρισμοί με επέμβαση με διάλυμα υδροχλωρικού ή νιτρικού οξέος μέχρι 5% κ.ό. Κατά τη μέθοδο καθαρισμού με οξέα, το κεραμικό καθαρίζεται πρώτα με απιονισμένο νερό και μετά βυθίζεται στο διάλυμα του οξέος μέχρι να σταματήσει ο βρασμός. Όταν το κεραμικό περιέχει ανθρακικό ασβέστιο, γίνεται καθαρισμός μόνο μηχανικά ή με απιονισμένο νερό και διάλυμα οξέος σε ελάχιστη ποσότητα και με πολλή προσοχή. Γενικά, ύστερα από κάθε χρήση οξέος γίνεται έκπλυση αμέσως με άφθονο απιονισμένο νερό.

β. Θεικό ασβέστιο (CaSO_4). Στο παρελθόν έχουν αναφερθεί καθαρισμοί με αραιό διάλυμα νιτρικού ή υδροχλωρικού οξέος. Πρώτα πλένουμε με απιονισμένο νερό και μετά ρίχνουμε λίγες σταγόνες διαλύματος 5% κ.ό. υδροχλωρικού ή νιτρικού οξέος και ξεπλένουμε καλά. Προηγουμένως, βέβαια, πρέπει να ελεγχθεί αν το κεραμικό περιέχει ανθρακικό ασβέστιο. Πολλές φορές χρησιμοποιείται αποκλειστικά μηχανικός τρόπος καθαρισμού.

γ. Πυριτικά άλατα (CaSiO_3 , MgSiO_3). Είναι πολύ δύσκολος ο καθαρισμός τους και συνήθως είναι μηχανικός, με ειδικό τριβείο και με ελεγχόμενη διαδικασία, διότι υπάρχει κίνδυνος να καταστραφούν το υλικό, το χρώμα και το υάλωμα, εφόσον τα δύο τελευταία υπάρχουν στην επιφάνεια. Σε πολύ ακραίες περιπτώσεις χρησιμοποιείται πολύ αραιό διάλυμα υδροφθορικού οξέος, αφού προηγουμένως έχει ελεγχθεί αν το κεραμικό υλικό περιέχει ανθρακικές προσμείξεις, με μεγάλη προσοχή και τοπικά, διότι υπάρχει μεγάλος

κίνδυνος να καταστραφεί το υλικό, αλλά και να προκληθεί πρόβλημα υγείας στο συντηρητή.

Σήμερα για την απομάκρυνση αδιάλυτων επικαθίσεων που περιέχουν ιόντα ασβεστίου, μαγνησίου ή και σιδήρου συνήθως χρησιμοποιούνται πάστες που περιέχουν το αντιδραστήριο E.D.T.A. (ethylene-diamin-tetraacetic acid = αιθυλενο-διαμινο-τετραοξικό οξύ), οι οποίες δεν πρέπει να παραμένουν στην επιφάνεια του κεραμικού περισσότερο από μία ώρα. Συνήθως, σε αυτού του είδους τους καθαρισμούς χρησιμοποιείται το δινάτριο αλάτι του E.D.T.A., που είναι περισσότερο ευδιάλυτο.

Στην περίπτωση κηλίδων από οξείδωση σιδήρου χρησιμοποιείται συνήθως πάστα θειογλυκολικού οξέος (HSCH_2COOH).

Παρασκευάζεται αραιό διάλυμα θειογλυκολικού οξέος, στη συνέχεια εξουδετερώνεται με σταγόνες πυκνής αμμωνίας με την παρακολούθηση pH-μέτρου και με τη χρήση απαγωγού για την αποφυγή αναθυμιάσεων, και προστίθεται καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη ή ουδέτερο χαρτί για το σχηματισμό πάστας. Η πάστα απομακρύνεται, μόλις αποκτήσει ένα έντονο μοβ χρώμα, και η περιοχή ξεπλένεται με άφθονο απιονισμένο νερό ή με πολύ αραιό διάλυμα αμμωνίας (NH_3).

Στην περίπτωση κηλίδων από οξείδωση του χαλκού, οι πάστες για την απομάκρυνση προϊόντων οξείδωσης του χαλκού περιέχουν χλωριούχο αμμώνιο (NH_4Cl), υδροξείδιο του αργιλίου ($\text{Al}(\text{OH})_3$) και τάλκη.

Άσκηση 5. Σε θραύσματα κεραμικών με επικαθίσεις αδιάλυτων αλάτων να πραγματοποιηθούν καθαρισμοί με τη χρήση κομπρεσών ουδέτερου χαρτιού ή προσροφητικής αργίλου και αραιών διαλυμάτων με E.D.T.A., NaHCO_3 και NH_4HCO_3 .

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΟΡΓΑΝΙΚΩΝ ΛΕΚΕΔΩΝ

Για τον καθαρισμό οργανικών λεκέδων, λιπαρών ουσιών και χρωμάτων από την επιφάνεια του κεραμικού χρησιμοποιούνται διάφορα ουδέτερα απορρυπαντικά όπως Texarop, Teerol και Synperonic N, καθώς επίσης και διάφοροι οργανικοί διαλύτες όπως αιθανόλη, ακετόνη, white spirit κ.ά., με μεγάλη προσοχή, όταν υπάρχουν χρώματα επάνω στην κεραμική επιφάνεια. Τα ουδέτερα απορρυπαντικά προστίθενται στο διάλυμα με το οποίο γίνεται πλύσιμο ή ελαφρό τρίψιμο της επιφάνειας, ενώ οι οργανικοί διαλύτες, αν και χρησιμοποιούνται και στο τρίψιμο, πολλές φορές τοποθετούνται σε διάφορες πάστες καθαρισμού με κερί ή με παραφίνη, οι οποίες καλύπτονται με φύλλο πλαστικού που δε διαλύεται στο διαλύτη που χρησιμοποιείται για την αποφυγή της εξάτμισής του.

Οι μέθοδοι με τους οργανικούς διαλύτες δεν ενδείκνυνται, όπως ήδη αναφέρθηκε, στις περιπτώσεις που υπάρχουν ζωγραφικές επιφάνειες στο κεραμικό αντικείμενο, διότι υπάρχει κίνδυνος να καταστραφούν.

Άσκηση 6. Σε θραύσματα κεραμικών με λιπαρές επικαθίσεις και με λεκέδες χρωμάτων να γίνουν καθαρισμοί με τη χρήση οργανικών διαλυτών όπως αιθανόλης και ακετόνης.

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΩΝ

Για την απομάκρυνση των βιολογικών επικαθίσεων χρησιμοποιούνται διάφορα βιοκτόνα όπως Desogen, Dowcide I, Prevantol, φορμαλδεΐδη, Primatol, Vancide 51 κτλ., μέσα σε διάφορες πάστες καθαρισμού. Μπορούν να εφαρμοστούν επάνω στην επιφάνεια του κεραμικού με μαλακή βούρτσα και με μεγάλη προσοχή, για να μην προκληθούν λεκέδες στο κεραμικό. Επίσης, η επιφάνεια μπορεί να τριφτεί με εφαρμογή perhydrol, που είναι αραιό διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2).

Άσκηση 7. Σε θραύσματα κεραμικών με βιολογικές επικαθίσεις να γίνουν καθαρισμοί με τη χρήση διαλύματος perhydrol.

ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ

ΓΕΝΙΚΑ

Η στερέωση διακρίνεται σε επιφανειακή και σε βάθος και πραγματοποιείται, για να σταθεροποιηθεί η σαθρή επιφάνεια του κεραμικού υλικού ή του υαλώματος που έχει διαβρωθεί. Σημαντικά χαρακτηριστικά της διαδικασίας στερέωσης είναι το ανώδυνο των μεθόδων που χρησιμοποιούνται, η συμβατότητα των χρησιμοποιούμενων υλικών με το κεραμικό υλικό, καθώς και η αντιστρεψιμότητα των υλικών στερέωσης.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ

Το καλό αποτέλεσμα μιας επέμβασης στερέωσης εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από το βάθος εισχώρησης του υλικού στερέωσης και από την κατανομή του στο εσωτερικό του κεραμικού υλικού. Επιπλέον, το αποτέλεσμα της επέμβασης επηρεάζεται σημαντικά από τον τρόπο εφαρμογής του στερεωτικού.

Εκτός από τη μέθοδο εφαρμογής, η συγκέντρωση του διαλύματος του στερεωτικού, το είδος του διαλύτη, ο χρόνος εφαρμογής, η πίεση και η θερμοκρασία εργασίας μπορούν να επηρεάσουν σημαντικά την ποσότητα του στερεωτικού που θα εισχωρήσει στους πόρους του κεραμικού, καθώς και την κατανομή του μέσα σε αυτούς.

Υπάρχουν μέθοδοι που είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν τόσο σε μικρά αντικείμενα, που μπορούν να μεταφερθούν στο εργαστήριο, όσο και σε αντικείμενα μεγαλύτερων διαστάσεων, που δε μετακινούνται και για τα οποία πρέπει να προβλεφθεί μια μέθοδος επί τόπου.

Τέτοιες μέθοδοι είναι ουσιαστικά τρεις:

- α. Εφαρμογή του στερεωτικού διαλύματος με πινέλο έως ότου το υλικό δεν απορροφά άλλο.**
- β. Εφαρμογή του στερεωτικού διαλύματος με ψεκασμό.**
- γ. Εφαρμογή με τη χρήση κομπρεσών του στερεωτικού διαλύματος.**

Και με τις τρεις όμως αυτές μεθόδους και ειδικά με αυτήν του ψεκασμού, δεν επιτυγχάνονται ικανοποιητικά αποτελέσματα διείσδυσης του στερεωτικού. Επειδή συνήθως τα κεραμικά αντικείμενα είναι μικρών διαστάσεων, μεταφέρονται στο εργαστήριο, όπου ακολουθούνται δύο μέθοδοι στερέωσης:

1. Πλήρης εμβάπτιση του αντικειμένου στο στερεωτικό διάλυμα. Το αντικείμενο εμβαπτίζεται σε ειδικές δεξαμενές που περιέχουν το διάλυμα του στερεωτικού, σε πίεση και σε θερμοκρασία περιβάλλοντος. Για να προστατευτεί το αντικείμενο από τυχόν ξυσίματα ή σπασίματα των αποσαθρωμένων τμημάτων της επιφάνειάς του, είναι απαραίτητο να τυλίγεται με κάποιο προστατευτικό υλικό όπως με λεπτό φύλλο ουδέτερου χαρτιού ή με κάποιο πανί.

2. Εμβάπτιση του αντικειμένου σε κενό αέρα. Με τη μέθοδο αυτή επιτυγχάνεται καλύτερη εισχώρηση του στερεωτικού μέσα στη μάζα του κεραμικού. Για την εφαρμογή της μεθόδου απαιτείται να υπάρχει στο εργαστήριο θάλαμος κενού αέρα με δύο οπές, μία για την έξοδο του αέρα και μία για την είσοδο του διαλύματος του στερεωτικού.

ΣΤΕΡΕΩΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ

Κατά το παρελθόν χρησιμοποιούνταν αραιά διαλύματα οξικού πολυβινυλίου (P.V.A.) όπως Mowilith σε ακετόνη, ή γαλακτώματα όπως Vinavil σε νερό.

Σήμερα τα περισσότερο συνηθισμένα στερεωτικά υλικά για το κεραμικό υλικό είναι αραιά ακρυλικά διαλύματα όπως το Paraloid B72 διαλυμένο σε ακετόνη, ή αραιά γαλακτώματα όπως το Primal AC33 διαλυμένο σε νερό.

Άσκηση 8. Σε θραύσματα κεραμικών με σαθρή επιφάνεια να γίνουν στερεώσεις με τη χρήση αραιού διαλύματος Paraloid B72 και αραιού γαλακτώματος Primal AC33.

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΩΝ ΚΟΜΜΑΤΙΩΝ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ

ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΟΥ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΟΥ

Η επιλογή συγκολλητικού γίνεται ανάλογα με το είδος του κεραμικού (τερακότα, earthenware, φαγεντιανό, stoneware, πορσελάνη), ανάλογα με τις ιδιότητές του (απορροφητικότητα, σκληρότητα, αντοχή, θερμοκρασία όπτησης) αλλά και ανάλογα με τις τάσεις που πρόκειται να ασκηθούν μεταξύ των συγκολλημένων θραυσμάτων.

Το κριτήριο της αντιστρεψιμότητας στη συγκόλληση κεραμικών θραυσμάτων δεν αποτελεί μόνο ηθικό ζήτημα αλλά και κατ' εξοχήν πρακτικό, διότι τα τυχόν σφάλματα πρέπει να διορθώνονται εύκολα, χωρίς την καταπόνηση του αντικειμένου.

Επίσης, στην επιλογή του συγκολλητικού θα πρέπει να ληφθεί υπόψη και η διαφορά στο συντελεστή θερμικής διαστολής - συστολής μεταξύ συγκολλητικού και του κεραμικού υλικού, σύμφωνα με αυτά που αναφέρθηκαν στο κεφάλαιο της στερέωσης. Επομένως, σύμφωνα με την ύπαρξη των διαφορών αυτών τα συγκολλημένα κεραμικά αντικείμενα θα πρέπει να αποθηκεύονται ή να εκτίθενται σε χώρους στους οποίους δε συμβαίνουν μεγάλες αυξομειώσεις θερμοκρασιών.

ΜΕΘΟΔΟΣ ΤΗΣ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Η εργασία ξεκινά με την εύρεση της θέσης και της σειράς συγκόλλησης των σωζόμενων θραυσμάτων, τα οποία συγκροτούνται πρόχειρα με χαρτοταινία. Στόχος είναι να μην οδηγηθούμε σε γεωμετρικό αδιέξοδο, όπου θα είναι αδύνατο να χωρέσει ένα επόμενο θραύσμα. Η συγκόλληση ξεκινάει από τη βάση του αγγείου και προς τα επάνω προχωρώντας περιμετρικά.

Παρατηρήθηκε ότι μεγάλες ενότητες συγκολλημένων θραυσμάτων δεν αρμόζουν στο τέλος, επειδή εμφανίζουν διευρυμένους αρμούς. Το ίδιο συμβαίνει και αν οι επιφάνειες θραύσης δεν είναι απόλυτα καθαρές από επικαθίσεις ή από υπολείμματα κόλλας, και δεν πιεστούν τα θραύσματα, ώστε να βγει η περίσσεια της κόλλας από τα πλάγια των ενώσεων.

Τα συγκολλημένα θραύσματα τοποθετούνται σε δοχείο με άμμο, για να σταθεροποιηθούν, μέχρι να στερεοποιηθεί η κόλλα, με την ένωση σε οριζόντια θέση, ώστε το βάρος του υπερκείμενου κομματιού να την πιέζει και να την ακινητοποιεί. Προσέχουμε να μην κολλήσει η άμμος στους αρμούς.

Στη φάση αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί και κολλητική ταινία, η οποία όμως πρέπει να αφαιρεθεί αμέσως μετά, διότι μπορεί να λεκιάσει το κεραμικό. Τυχόν σφάλματα κατά τη συγκόλληση διορθώνονται εύκολα με εμποτισμό με ακετόνη κατά μήκος των εξωτερικών πλευρών της ένωσης. Με τον ίδιο διαλύτη αφαιρούνται πλήρως τα υπολείμματα κόλλας από τις επιφάνειες σύνδεσης. Συνήθως πριν από τη συγκόλληση θραυσμάτων μπορεί να χρησιμοποιηθεί αραιό διάλυμα του Paraloid B72, με το οποίο εξασφαλίζονται ενίσχυση και σφράγιση των πορωδών τοιχωμάτων, μείωση της απαιτούμενης ποσότητας

κόλλας και βελτίωση της συγκόλλησης με τη δημιουργία συμβατότητας με ενδιάμεσο στρώμα μεταξύ κεραμικού και κόλλας, ειδικά αν χρησιμοποιηθεί το Paraloid B72 και ως κόλλα στο ίδιο αγγείο.

ΚΟΛΛΕΣ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΓΙΑ ΤΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ

1. Evo-stick impact 528

Ανήκει στην κατηγορία των θερμοπλαστικών συγκολλητικών και αποτελείται από ένα φυσικό ή συνθετικό ελαστικό διαλυμένο μαζί με πρόσθετα συστατικά σε οργανικό διαλύτη. Η κόλλα αυτή τοποθετείται συνήθως και στις δύο προς συγκόλληση επιφάνειες και η συγκόλληση γίνεται με την εξάτμιση του διαλύτη της. Το χρώμα της αλλοιώνεται με την έκθεση σε ηλιακό φως.

2. Uhu hart ή hard

Ανήκει στα συνθετικά θερμοπλαστικά συγκολλητικά. Είναι νιτρική κυτταρίνη διαλυμένη σε μείγμα διαλυτών (εστέρες-κετόνες ή κετόνες-αλκοόλες). Είναι διαυγής και ρευστή, σκληραίνει λόγω εξάτμισης του διαλύτη σε λίγα λεπτά και σε θερμοκρασία δωματίου. Το χρώμα της αλλοιώνεται με την έκθεση σε ηλιακό φως.

3. HMG (Paraloid B72)

Είναι συνθετικό θερμοπλαστικό συγκολλητικό της κατηγορίας των ακρυλικών. Είναι πολυμερές του μεθακρυλικού αιθυλίου και του ακρυλικού μεθυλίου.

Είναι από τα σταθερότερα και καταλληλότερα συγκολλητικά γενικής χρήσης για τη συντήρηση, αν και έως πρόσφατα εθεωρείτο κατάλληλο μόνο ως στερεωτικό επιφάνειας, διότι οι παραδοσιακές κόλλες ήταν πιο εύχρηστες. Αναφέρεται να εμφανίζει σταθερότητα κατά της οξειδωσης, των ακτινοβολιών, της υδρόλυσης και της ήπιας θερμοκρασίας, καθώς διαθέτει διαύγεια, μηχανική αντοχή και αντιστρεψιμότητα. Σκληραίνει με την εξάτμιση του διαλύτη του και παρουσιάζει ευαισθησία στην παρουσία υγρασίας.

4. Araldite

Είναι συνθετικό θερμοσκληρυνόμενο συγκολλητικό της κατηγορίας των εποξειδικών ρητινών, οι οποίες παράγονται με την αντίδραση μιας πολυεποξειδικής ρητίνης και ενός βασικού ή όξινου σκληρυντή.

Διατίθεται σε συστήματα του ενός ή των δύο συστατικών (ρητίνη και σκληρυντής), που αναμειγνύονται ακριβώς πριν από τη χρήση. Το χρώμα της αλλοιώνεται με την έκθεση σε ηλιακό φως.

Άσκηση 9. Σε κεραμικά θραύσματα που ανήκουν στο ίδιο αντικείμενο να γίνει ανάταξη των θραυσμάτων και στη συνέχεια να γίνουν συγκολλήσεις με τη χρήση συγκολλητικών UHU HART και HMG.

ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΤΩΝ ΧΑΜΕΝΩΝ ΤΜΗΜΑΤΩΝ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ

ΓΕΝΙΚΑ

Η συμπλήρωση των τμημάτων ενός αγγείου που έχουν χαθεί οριστικά είναι συχνά επιθυμητή και αναγκαία για λόγους που έχουν σχέση με την αισθητική και με τη στατική αποκατάστασή του, καθώς και με την ενίσχυσή του, ώστε να υπάρχει δυνατότητα κατανόησης του σχήματός του. Τα κριτήρια για την επιλογή του υλικού συμπλήρωσης είναι ανάλογα με αυτά της επιλογής του συγκολλητικού. Το κυριότερο είναι να εξασφαλίζεται η πλήρης απουσία συστολής ή διαστολής του υλικού είτε κατά τη διαδικασία κατασκευής του είτε κατά την αποθήκευση ή κατά την έκθεση του κεραμικού αντικειμένου, το οποίο τότε είτε παρασύρει και ρηγματώνει τα γειτονικά κεραμικά θραύσματα είτε αποχωρίζεται και πέφτει το ίδιο από την περιοχή συμπλήρωσης. Επίσης, ένα άλλο βασικό κριτήριο για την επιλογή του υλικού συμπλήρωσης είναι η αντιστρεψιμότητά του.

Η τελική υφή και όψη των συμπληρώσεων είναι σημαντική για αισθητικούς και δεοντολογικούς λόγους. Συζητείται πολύ το πόσο πρέπει να μοιάζει το τελικό χρώμα και η επιφάνεια της συμπλήρωσης με την αυθεντική επιφάνεια του αγγείου.

Βασική πάντως αρχή είναι να διακρίνονται εύκολα οι συμπληρώσεις και από μη ειδικευμένο παρατηρητή και από κάποια απόσταση· έτσι, ο χρωματικός τόνος πρέπει να είναι συνήθως ανοικτότερος και τέτοιος, που να μη διασπά την ενότητα του αγγείου. Το συνηθέστερο και πιο παλιό υλικό συμπλήρωσης για τις τερακότες και για τα earthenwares είναι η γύψος καλλιτεχνίας. Η γύψος καλλιτεχνίας ονομάζεται και Plaster of Paris και είναι ο ημιυδρίτης του θειικού ασβεστίου ($\text{CaSO}_4 \cdot 1/2\text{H}_2\text{O}$), που παράγεται με κονιοποίηση της ορυκτής γύψου, η οποία βρίσκεται άφθονη στην περιοχή γύρω από το Παρίσι.

Η γύψος έχει παρόμοιο πορώδες και ειδικό βάρος περίπου $2,32 \text{ gr}^*/\text{cm}^3$, που είναι ίδιο με τα αρχαιολογικά κεραμικά.

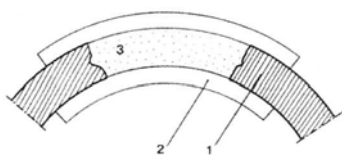
Η γύψος είναι διεθνώς διαθέσιμο σε διάφορες ποσότητες υλικό, φθινό, εύχρηστο, στερεοποιείται γρήγορα και μπορεί να δουλευτεί με πολλούς τρόπους (καλούπι, γλυπτές λεπτομέρειες με χάραξη, λείανση με γυαλόχαρτο, χρωματισμός κτλ.). Όταν στερεοποιείται, διαστέλλεται ελαφρά, 1-2%, ανάλογα με την ποιότητα και με το μείγμα, αλλά, αφού σκληρυνθεί, είναι πρακτικά αδρανές υλικό.

Το μειονέκτημα που παρουσιάζει η γύψος καλλιτεχνίας είναι ότι είναι σημαντική πηγή διαλυτών θειικών αλάτων, τα οποία εισχωρούν στους πόρους και στα τριχοειδή του κεραμικού υλικού, όπου με τις κατάλληλες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας κρυσταλλώνονται και προκαλούν διάβρωση.

ΤΡΟΠΟΣ ΕΡΓΑΣΙΑΣ

Για τη συμπλήρωση των κεραμικών αγγείων επιλέγεται συνήθως η γύψος καλλιτεχνίας, υλικό το οποίο, εκτός των παραπάνω πλεονεκτημάτων, είναι και εύκολα αντιστρεπτό, διότι εξασθενεί μηχανικά και διαλύεται σταδιακά με το νερό. Σε περιπτώσεις, όμως, κεραμικών με σχετικά λεία επιφάνεια ή επιφάνεια με υάλωμα, όπως φαγεντιανά,

stonewares και πορσελάνες, χρησιμοποιούνται οι λεγόμενες οδοντιατρικές γύψοι, όπως π.χ. moldano, gesso di Bologna, Giluform, Gildent κτλ. Ανάλογα με τη θέση της συμπλήρωσης προσαρμόζεται κάθε φορά ο τρόπος εργασίας που θα ακολουθηθεί· δηλαδή, για τη συμπλήρωση κενών στην κοιλιά των αγγείων η γύψος τοποθετείται από την εξωτερική πλευρά, εδραζομένη στην ελαστική επιφάνεια ενός φουσκωμένου μπαλονιού που έχει πάρει το εσωτερικό σχήμα του αγγείου, ενώ για τη συμπλήρωση του χείλους και της βάσης τοποθετείται εξωτερικά φύλλο οδοντιατρικού κεριού με αποτύπωμα σωζόμενων τμημάτων της άλλης πλευράς και η γύψος τοποθετείται από το εσωτερικό του αγγείου.



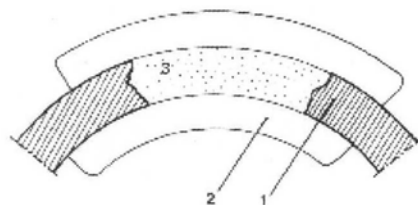
1. Κεραμικό
 2. Οδοντιατρικό κερί
 3. Υλικό χύτευσης
- α. Συμπλήρωση με οδοντιατρικό κερί.

Στις περιπτώσεις που πρέπει να αντιγραφούν περισσότερες λεπτομέρειες επάνω στην κεραμική επιφάνεια λαμβάνονται αντίγραφα - εκμαγεία από γύψο ή από λάστιχο σιλικόνης. Εάν η σιλικόνη είναι πολύ ρευστή, εφαρμόζουμε εσάρπα γύψου με μονωτικό λεπτή στρώση από αιώρημα πηλού. Στη συνέχεια τοποθετούμε το

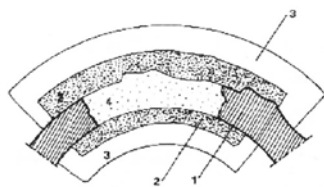
καλούπι σιλικόνης με την εσάρπα γύψου στο κενό που υπάρχει και χυτεύουμε νέα γύψο ή άλλο υλικό χύτευσης, η οποία παίρνει τη θέση του μέρους που λείπει. Πολλές φορές, όταν η σιλικόνη είναι παχύρρευστη, το καλούπι από λάστιχο σιλικόνης κατασκευάζεται χωρίς την εσάρπα γύψου, και αυτό επιτυγχάνεται με την πρόσθεση στη σιλικόνη, προτού προστεθεί ο σκληρυντής, μιας ποσότητας κολλοειδούς διοξειδίου του πυριτίου (aerosil).

Προτού τοποθετηθεί η γύψος στην περιοχή συμπλήρωσης, για να μη διεισδύσει στους πόρους του κεραμικού το νερό της γύψου και γίνει απότομα η πήξη της, η επιφάνεια του κεραμικού που θα έρθει σε επαφή με τη γύψο μονώνεται με αραιό διάλυμα Paraloid B72 σε ακετόνη. Έτσι επιτυγχάνεται η σωστή στερεοποίησή της χωρίς να διεισδύουν στους πόρους του κεραμικού διαλυτά θειικά άλατα από τη γύψο.

Εάν το κομμάτι που λείπει δεν έχει σωζόμενο τμήμα στην απέναντι πλευρά, τότε αυτό κατασκευάζεται εξ αρχής από πηλό ή από πλαστελίνη, επάνω στην οποία ρίχνεται καλούπι από γύψο με εσάρπα γύψου, χωρίς κανένα μονωτικό μεταξύ γύψου και πλαστελίνης. Μεταξύ γύψου της εσάρπας και γύψου του καλουπιού τοποθετείται ως μονωτικό ζεστή σαπουνάδα. Στη συνέχεια απομακρύνεται το καλούπι της γύψου με την εσάρπα και αφαιρείται η πλαστελίνη. Κατόπιν το καλούπι τοποθετείται στη θέση του κενού και χυτεύεται γύψος ή άλλο υλικό χύτευσης, που παίρνει τη θέση του μέρους που λείπει. Ως μονωτικό μεταξύ του γύψινου καλουπιού και του υλικού χύτευσης τοποθετείται ζεστή σαπουνάδα.



1. Κεραμικό
 2. Γύψος
 3. Υλικό χύτευσης
- β. Συμπλήρωση με γύψο.

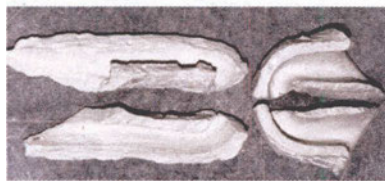


1. Κεραμικό
2. Λάστιχο
3. Γύψος
4. Υλικό χύτευσης
- γ. Συμπλήρωση σιλικόνης με λάστιχο.

Σε όλη τη διάρκεια της εργασίας των συμπληρώσεων οι γειτονικές επιφάνειες του κεραμικού προστατεύονται από το λέκιασμα, με προσεκτική επικόλληση χαρτοταινίας γύρω από τα κενά. Η περίσσεια γύψου αφαιρείται με σπάτουλα όσο το υλικό είναι ακόμη εύπλαστο, και έτσι περιορίζεται σημαντικά η εργασία της λείανσης, η οποία καταπονεί αρκετά το αντικείμενο.

Ύστερα από τη σκλήρυνσή τους οι γύψινες επιφάνειες λειάνονται με προσοχή, με διάφορες ποιότητες γυαλόχαρτου, και οι επιθυμητές καμπύλες επιτυγχάνονται με πλάγιο φωτισμό.

Ο τελικός καθαρισμός ορισμένων λεκέδων γύψου που έχουν παραμείνει στις περιοχές γύρω από τη συμπλήρωση γίνεται με λευκή γόμα σχεδίου, διότι η χρήση νερού όχι μόνο δεν καθαρίζει τους λεκέδες, αλλά μετακινεί στο βάθος του πορώδους κεραμικού τους κόκκους της γύψου.



Καλούπι από γύψο σε τμήματα για τη συμπλήρωση χεριού κεραμικού αντικειμένου.



Καλούπι από λάστιχο σιλικόνης με εσάρπα γύψου για τη συμπλήρωση τμήματος κεραμικού αντικειμένου.

Άλλα εμπορικά προϊόντα όπως η **Polyfilla** ή **Hydrocal** που χρησιμοποιούνται για τη συμπλήρωση κεραμικών ή για την ανακατασκευή πλαστικών τμημάτων βασίζονται στο θειικό ασβέστιο. Είναι χρήσιμα, διότι παρασκευάζονται σε πολτό, δε συστέλλονται, επειδή περιέχουν πληρωτικά υλικά, και έχουν μεγαλύτερο χρόνο εργασιμότητας από τη γύψο.

Η πάστα (dough) AJK (Alvar, γιούτα, καολίνης) ή BJK (Butvar, γιούτα, καολίνης) είναι γαλάκτωμα νερού και βινυλικών ρητινών με καολίνη και με ίνες γιούτας ως πληρωτικά υλικά.

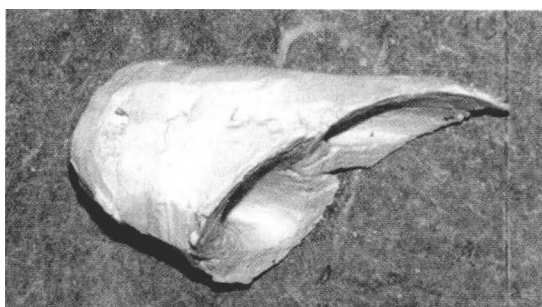
Τέλος, άλλα υλικά συμπλήρωσης, ειδικά για τις πορσελάνες και για τα φαγιεντιανά, είναι οι συνθετικές ρητίνες, π.χ. πολυεστερικές, εποξειδικές και PVA, που αναμειγνύονται με λευκά πληρωτικά υλικά όπως διοξείδιο του τιτανίου (TiO_2), θειικό βάριο (BaSO_4), καολίνη και χρωματίζονται επιφανειακά.

Ένα από τα κυριότερα υλικά αυτής της κατηγορίας είναι η **Sylmasta**, που αποτελείται από μία εποξειδική ρητίνη στην οποία έχει προστεθεί το κατάλληλο χρώμα και filler.

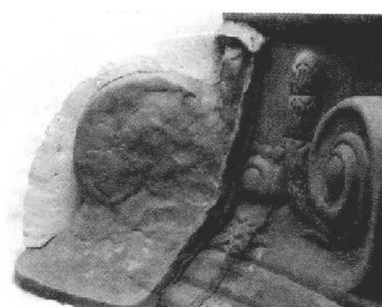
Άλλο υλικό συμπλήρωσης αυτής της κατηγορίας είναι το Millirput, που αποτελείται από εποξειδική ρητίνη και αδρανές.

Το **Pliacre** είναι επίσης ένα υλικό συμπλήρωσης αυτής της κατηγορίας και αποτελείται από εποξειδική ρητίνη και αδρανές.

Τέλος, το **Sebralit (verticule, bianco)** είναι επίσης μια εποξειδική ρητίνη αυτής της κατηγορίας. Είναι λευκό ή διαφανές, και διατίθεται σε δύο τύπους, λεπτόρρευστο και παχύρρευστο.



Καλούπι από γύψο σε τμήματα για τη συμπλήρωση τμήματος κεραμικού αντικειμένου.



Καλούπι από λάστιχο σιλικόνης με εσάρπα γύψου για τη συμπλήρωση τμήματος κεραμικού αντικειμένου.

Άσκηση 10. Μετά από τη συγκόλληση του κεραμικού αντικειμένου της άσκησης 9 να γίνουν συμπληρώσεις των περιοχών που λείπουν με τη χρήση εκμαγείου από οδοντιατρικό κερί ή από γύψο και υλικού συμπλήρωσης από γύψο ή από polyfilla.

ΧΡΩΜΑΤΙΚΗ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ - ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΩΝ ΚΕΡΑΜΙΚΩΝ

Για τη χρωματική συμπλήρωση των κεραμικών χρησιμοποιούνται διάφορα υδατοχρώματα, χρώματα σε σκόνες με συνθετικό φορέα ή συνθετικά χρώματα, όπως ακρυλικά ή βινυλικά. Αυτά περνιούνται επιφανειακά με πινέλο ή με αερογράφο ή ενσωματώνονται μέσα στη μάζα του υλικού συμπλήρωσης. Πολλές φορές χρησιμοποιούνται σκόνες χρωμάτων με υδατικό διάλυμα Primal AC33, ενώ στην περίπτωση κεραμικών με υάλωμα συνήθως χρησιμοποιούνται διάφορα σμάλτα διαλυμένα στο διαλύτη που αναφέρεται από τον κατασκευαστή τους.

ΑΕΡΟΓΡΑΦΟΙ ΚΑΙ ΧΡΩΣΤΙΚΕΣ

Η χρήση των αερογράφων στη συντήρηση εξαπλώνεται όλο και περισσότερο τα τελευταία χρόνια. Τα πλεονεκτήματα που παρουσιάζει σε σύγκριση με την επάλειψη του χρώματος με πινέλο είναι η ομοιομορφία στην κατανομή του χρώματος, το λεπτό στρώμα χρώματος που επιτυγχάνεται, καθώς και η εξοικονόμηση χρόνου.

Ο αερογράφος χρησιμοποιείται συνήθως στην αισθητική αποκατάσταση ενός κεραμικού αντικειμένου, και συγκεκριμένα:

- στο χρωματισμό του φόντου,
- στο χρωματισμό του βασικού χρωματικού στρώματος,
- στο χρωματισμό του σχεδίου, αν χρησιμοποιηθούν stencils,
- στον ψεκασμό του τεχνητού υαλώματος.

Αν ο χρωματισμός γίνει με αερογράφο, το χρώμα πρέπει να απλωθεί σε στρώματα. Ως πρώτο στρώμα μπορεί να παραμείνει το χρώμα που απλώθηκε, προκειμένου να διαπιστωθούν οι ατέλειες.

Το δεύτερο στρώμα χρώματος αποτελεί τη βάση. Το στρώμα αυτό μπορεί να είναι είτε λεπτό, προκειμένου να εξομαλυνθούν τυχούσες χρωματικές διαφορές στο υλικό συμπλήρωσης, είτε ένα ισχυρό στρώμα, επάνω από το οποίο απλώνονται πιο αραιές αποχρώσεις, προκειμένου να δημιουργηθεί η αίσθηση του βάθους.

Το τρίτο στρώμα αποτελεί το στρώμα της χρωματικής απόχρωσης. Ένα από τα βασικότερα χαρακτηριστικά των κεραμικών αντικειμένων που προσομοιάζουν με τις πορσελάνες είναι η διαφάνεια των χρωμάτων. Έτσι, για να πετύχουμε αυτή τη διαφάνεια της απόχρωσης, δεν αναμειγνύουμε συνήθως λευκό χρώμα με το χρώμα της απόχρωσης, οπότε θα πάρουμε μόνο ένα μουντό χρώμα της επιθυμητής απόχρωσης, αλλά περνάμε πρώτα το λευκό και στη συνέχεια από πάνω ένα αραιό στρώμα του χρώματος της απόχρωσης.

Ο όρος “χρώμα” χρησιμοποιείται στην ελληνική, για να εκφράσει αρχικά τη φυσική ιδιότητα ενός υλικού να το εκπέμπει στο περιβάλλον και στη συνέχεια για να χαρακτηρίσει την ίδια τη χημική ένωση που προκαλεί την εμφάνιση του χρώματος.

Οι χρωστικές ενώσεις (colorants) διακρίνονται σε:

1. Πιγμέντα (pigments) και σε

2. Βαφές (dyes).

Τα πιγμέντα είναι συνήθως αδιάλυτα στο μέσο εφαρμογής τους ή στο υπόστρωμα στο οποίο ενσωματώνονται, και δεν επηρεάζονται, από φυσική και χημική άποψη, από αυτό. Οι βαφές διαλύονται αμέσως ή κατά τη διάρκεια της εφαρμογής τους. Παραμένουν στο υπόστρωμα με απορρόφηση ή με διάλυση ή με μηχανική κατακράτηση ή με χημικούς δεσμούς, π.χ. ιοντικούς, ομοιοπολικούς, ημιπολικούς. Πολλές φορές για τις χρωστικές χρησιμοποιείται και ο όρος “χρώματα”.

Τα πιγμέντα διακρίνονται σε:

1. Ανόργανα και σε

2. Οργανικά.

Τα ανόργανα, τα οποία είναι ανόργανες ενώσεις, διακρίνονται σε λευκά και σε έγχρωμα, και μπορεί να είναι φυσικά και τεχνητά.

Στη συνέχεια παρατίθενται οι διάφορες περιπτώσεις ανόργανων πιγμέντων ανάλογα με το χρώμα και με τη χημική σύστασή τους:

α. Λευκά

- Λευκό του μολύβδου: $2\text{PbCO}_3\text{Pb(OH)}_2$
- Λευκό meudon: CaCO_3
- Γύψος: $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ ή CaSO_4
- Λευκό του τιτανίου: TiO_2
- Λευκό του ψευδαργύρου (Chinese white): ZnO
- Λιθοπόνιο: ZnS (28 - 30%) - BaSO_4
- Timonox: Sb_3O_4

β. Κόκκινα

- Κόκκινη ώχρα: $\text{Fe}_2\text{O}_3 - \text{SiO}_2 - \text{Al}_2\text{O}_3$
- Μίνιον: Pb_3O_4
- Κιννάβαρι: HgS
- Κόκκινο του καδμίου: CdS
- Κόκκινο realgar (ερυθρά σανδαράχη): As_2S_3

γ. Πράσινα

- Μαλαχίτης: $\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
- Πράσινο του κοβαλτίου: $\text{CoO} \cdot \text{ZnO}$
- Πράσινο του χρωμίου (Viridian): $\text{Cr}_2\text{O}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$
- Πράσινη γη: ένυδρα πυριτικά άλατα των
Fe, Mg, Al, K
- Vert de gris: $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 2\text{Cu}(\text{OH})_2$
- Emerald green: $\text{Cu}(\text{CH}_3\text{COO})_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{AsO}_2)_2$
- Scheele's green: CuHAsO_3

δ. Μπλε

- Αζουρίτης: $2\text{CuCO}_3 \cdot \text{Cu}(\text{OH})_2$
- Μπλε της Πρωσίας: $\text{Fe}_4[\text{Fe}(\text{CN})_6]_3$
- Μπλε του κοβαλτίου: $\text{CoO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- Ultramarine φυσικό (lapis lazuli)
ή τεχνητό: $3\text{Na}_2\text{O} \cdot 3\text{Al}_2\text{O}_3 \cdot 6\text{SiO}_2 \cdot 2\text{Na}_2\text{S}$
- Cerulean blue: $\text{CoO} \cdot n\text{SnO}_2$
- Σμάλτο κοβαλτίου: $\text{CoO} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{K}_2\text{O}$
- Αιγυπτιακό μπλε: $\text{CaO} \cdot \text{CuO} \cdot 4\text{SiO}_2$

ε. Κίτρινα

- Κίτρινη ώχρα: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O} \cdot \text{SiO}_2 \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$
- Κίτρινο του χρωμίου: PbCrO_4
- Κίτρινο του βαρίου: BaCrO_4
- Κίτρινο της Νάπολης: $\text{Pb}_3(\text{SbO}_4)_2$
- Κίτρινο του καδμίου: $\text{CdS} - \text{BaSO}_4$
- Κίτρινο του στροντίου: SrCrO_4
- Κίτρινο του ψευδαργύρου: ZnCrO_4
- Κίτρινο του κοβαλτίου: $\text{CoK}_3(\text{NO}_2)_6 \cdot \text{H}_2\text{O}$
- Κίτρινο realgar (κίτρινη σανδαράχη): As_2S_3

στ. Καφέ

- Σιένα: Fe_2O_3 - MnO_2 (0,6-1,5%)

ζ. Μοβ

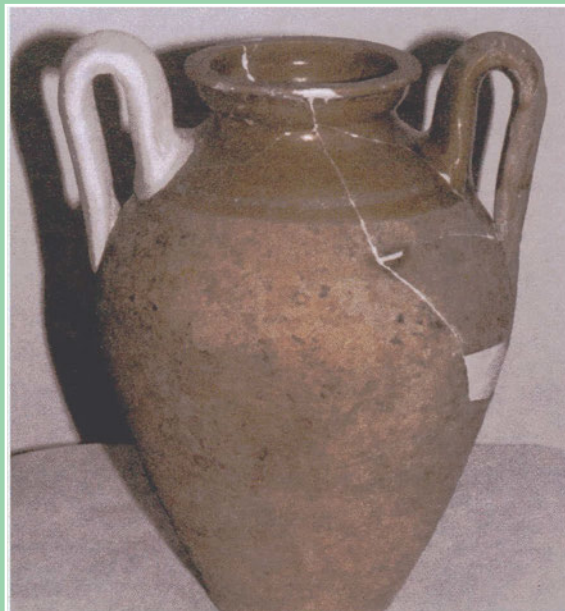
- μοβ του μαγγανίου: $(\text{NH}_4)_2\text{Mn}_2(\text{P}_2\text{O}_7)_2$
- μοβ του κοβαλτίου: $\text{Co}_3(\text{PO}_4)_2$ - $\text{Co}_3(\text{AsO}_4)_2$
- μοβ ultramarine: ultramarine blue -
υδατικό διάλυμα αμμωνίας (NH_3)

η. Μαύρα

- Μαύρο των οστών: $\text{C-Ca}_3(\text{PO}_4)_2\text{-CaCO}_3$
- Γραφίτης: C
- Κάρβουνο: C



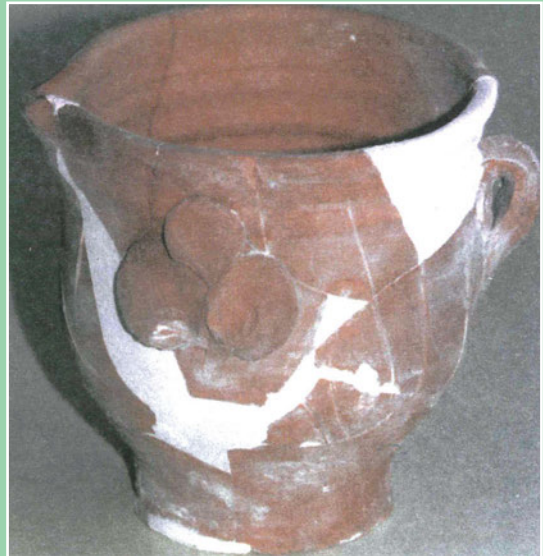
Διαδικασία ανάταξης κεραμικού αντικειμένου.



Διαδικασία συμπλήρωσης κεραμικού αντικειμένου με γύψο καλλιτεχνίας.



Διαδικασία αισθητικής αποκατάστασης του κεραμικού αντικειμένου.



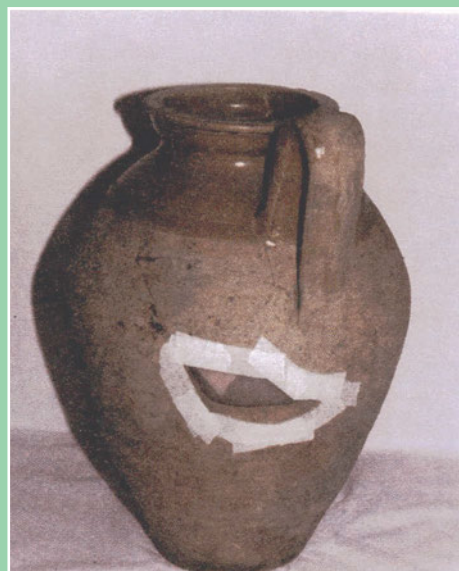
Διαδικασία συμπλήρωσης του κεραμικού αντικειμένου με γύψο καλλιτεχνίας.



Διαδικασία συμπλήρωσης του κεραμικού αντικειμένου με γύψο καλλιτεχνίας.



Διαδικασία αισθητικής αποκατάστασης του κεραμικού αντικειμένου.



Διαδικασία συμπλήρωσης του κεραμικού αντικειμένου με γύψο καλλιτεχνίας.

Άσκηση 11. Οι περιοχές που συμπληρώθηκαν στο κεραμικό αντικείμενο της άσκησης 10 να χρωματιστούν με τη χρήση ανόργανων χρωστικών. Στη χρωστική να γίνει προσθήκη αραιού γαλακτώματος Primal AC33.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Barov Z.
“The reconstruction of a Greek vase: the Kyknos Krater”.
Studies in Conservation 33, p. 165-177 (1988).
2. Βγενόπουλου Α.,
Ορυκτές πρώτες ύλες.
Ε.Μ.Π., Αθήνα 1992.
3. Chappell J.,
The potter’s complete book of Clay and Glazes.
Watson-Guptill publications,
N. York 1991.
4. Cronyn J.M.,
The elements of archaeological conservation.
Routledge 1990.
5. Δάνου Μ.,
Η τεχνική της κεραμικής.
Αθήνα 1969.
6. Δρανδάκη Π.,
Μεγάλη Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια.
Τόμος Α’.
7. Ελληνική Τέχνη,
Η αυγή της ελληνικής τέχνης.
Εκδοτική Αθηνών.
8. Hlavac J.,
The technology of glass and ceramics.
Elsevier, 1983.
9. Hodges H.W.M.,
“Problems and ethics of the restoration of pottery”.
Congress IIC, Στοκχόλμη 1975.
10. ICOM (Διεθνές Συμβούλιο Μουσείων) - Ελληνικό τμήμα,
Διεύθυνση Επιτροπής Συντήρησης. Ομάδα εργασίας: Εκπαίδευση στη Συντήρηση
και Αποκατάσταση της Πολιτισμικής Κληρονομιάς. Ο Συντηρητής - Ορισμός του
επαγγέλματος.
ΚΑΠΟΝ. Αθήνα 1995.

11. Ιστορία του ελληνικού έθνους,
Τόμος Α', Προϊστορία και Πρωτοϊστορία.
Εκδοτική Αθηνών.
12. Ιστορία του ελληνικού έθνους,
Τόμος Β', Αρχαϊκός Ελληνισμός.
Εκδοτική Αθηνών.
13. Κοντού Ε.Κ., Κοτζαμάνη Δ.Δ., Λαμπρόπουλου Β.Ν.,
Γυαλί, Τεχνολογία Διάβρωση και Συντήρηση.
Αθήνα 1995.
14. Koob S.,
Detachable plaster restorations for archaeological ceramics. Recent advances in
the Conservation and the Analysis of Artifacts.
Summer School Press, Institute of Archaeology, London 1987.
15. Koob S.,
"The use of Paraloid B72 as an adhesive: its application to archaeological ceramics
and other materials". Studies in Conservation 31, p. 7 - 14 (1986).
16. Λαμπρόπουλου Β.Ν.,
Διάβρωση και Συντήρηση της Πέτρας.
Αθήνα 1993.
17. Λαμπρόπουλου Β.Ν.,
Κεραμικά, Τεχνολογία Διάβρωση και Συντήρηση.
Αθήνα 1996.
18. Λαμπρόπουλου Β.Ν., Μανέτα Χ.Α.,
Πορσελάνη, Τεχνολογία Διάβρωση και Συντήρηση.
Αθήνα 1993.
19. Larney J.,
"Ceramic restoration in the Victoria and Albert Museum".
Studies in Conservation 16, p. 69 - 82 (1971).
20. Newton R., Davison S.,
Conservation of Glass.
Butterworths, 1989.

21. Plenderleith H.J. and Werner A.E.A.,
Conservation of Antiquities and Works of Art,
(Treatment, Repair and Restoration).
Oxford University Press, 1956.
22. Rice P.M.,
Pottery Analysis. A sourcebook.
The University of Chicago Press, 1987.
23. Shields J.,
Adhesives Handbook.
3rd edition, Butterworths 1985.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Οι διάφορες φάσεις του πολιτισμού χαρακτηρίζονται αφ'ενός από τη φύση των υλικών που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος στις διάφορες περιόδους και αφ'ετέρου από την εξέλιξη της τεχνολογίας.

Από τη στιγμή της εμφάνισής του στη γη ο άνθρωπος εκμεταλλεύτηκε διάφορα υλικά της φύσης, για να κατασκευάσει εργαλεία και αντικείμενα για τη διαβίωσή του.

Απο τα υλικά που κυρίως χρησιμοποίησε ο άνθρωπος στις διάφορες φάσεις της εξέλιξής του πήραν την ονομασία τους και οι αντίστοιχες περίοδοι της ιστορίας (εποχή του λίθου, εποχή του χαλκού, εποχή του σιδήρου κτλ.). Η ανακάλυψη των ορυκτών μεταλλευμάτων και στη συνέχεια η κατεργασία και η μορφοποίηση των μετάλλων αποτέλεσαν τη σημαντικότερη περίοδο στην ιστορική εξέλιξη του πολιτισμού.

Ο άνθρωπος γνώρισε τις ιδιότητες των μετάλλων (φυσικές, μηχανικές, χημικές), και αυτή η γνώση οδήγησε σε μια τεχνολογική επανάσταση.

Τα μέταλλα που θεωρούνται πιο σημαντικά είναι ο σίδηρος και ο χαλκός, αν και η χρήση τους προϋποθέτει πολύπλοκη διαδικασία κατεργασίας των ορυκτών τους. Χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή διάφορων αντικειμένων. Από τα ευρήματα που έχουν σωθεί, συμπεραίνουμε ότι ο σίδηρος και ο χαλκός είχαν χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή χρηστικών αντικειμένων, κοσμημάτων, εργαλείων και όπλων.

Σ' αυτό το κεφάλαιο, το οποίο αναφέρεται στη συντήρηση μεταλλικών αντικειμένων, θα μας απασχολήσουν αυτά τα δύο μέταλλα, διότι τα περισσότερα αντικείμενα έχουν κατασκευαστεί από σίδηρο και από χαλκό, ενώ τα άλλα μέταλλα όπως ο μόλυβδος, ο άργυρος και ο χρυσός είχαν μικρότερη εφαρμογή στην κατασκευή αντικειμένων και χρησιμοποιήθηκαν κυρίως ως υλικά διακόσμησης (άργυρος, χρυσός) ή για την ενίσχυση των ιδιοτήτων των κραμάτων χαλκού (μόλυβδος).

Τα μέταλλα του σιδήρου και του χαλκού χαρακτηρίζονται ως ευπαθή, δηλαδή διαβρώνονται πιο εύκολα σε σχέση με τα ευγενή (χρυσός, άργυρος). Όταν κατά τις ανασκαφικές έρευνες αποκαλύπτονται αντικείμενα από σίδηρο ή από χαλκό, παρατηρεί κανείς αμέσως το μέγεθος της διάβρωσής τους.

Για τη διατήρησή τους, λοιπόν, κρίνονται αναγκαία η μελέτη της φθοράς τους και η εφαρμογή κατάλληλων μεθόδων συντήρησης, θέματα τα οποία θα μας απασχολήσουν στο κεφάλαιο αυτό.

ΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ

Τα μέταλλα αποτελούν μία από τις τρεις βασικές κατηγορίες διαχωρισμού των στοιχείων του περιοδικού συστήματος. Οι άλλες δύο κατηγορίες είναι τα αμέταλλα και οι ημιαγωγοί, και ο διαχωρισμός τους γίνεται με βάση τις καλές, τις κακές ή τις ενδιάμεσες ηλεκτρικές ιδιότητές τους.

Τα μέταλλα ξεχωρίζουν από τα άλλα υλικά, π.χ. ξύλο, γυαλί, από τις ιδιότητές τους, οι οποίες ονομάζονται μεταλλικές ιδιότητες.

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Τα μέταλλα είναι στερεά, αδιαφανή, βαριά και έχουν μια χαρακτηριστική λάμψη. Όλα τα μέταλλα βρίσκονται σε στερεή κατάσταση σε συνήθεις θερμοκρασίες, και μόνο ο υδράργυρος (Hg) στερεοποιείται στους $-39\text{ }^{\circ}\text{C}$.

Όλα τα καθαρά μέταλλα λιώνουν, όταν αυξηθεί η θερμοκρασία. Η τιμή αυτής της θερμοκρασίας είναι χαρακτηριστική για κάθε μέταλλο. Η παρουσία προσμείξεων, ακόμα και σε πολύ μικρό ποσοστό, μεταβάλλει την τιμή της θερμοκρασίας τήξης.

Τα περισσότερα μέταλλα έχουν καλή θερμική και ηλεκτρική αγωγιμότητα με πρώτο τον άργυρο· ακολουθούν ο χρυσός, ο χαλκός και το αλουμίνιο, όμως μικρές ποσότητες προσμείξεων μεταβάλλουν σημαντικά το βαθμό αγωγιμότητάς τους.

Τα μέταλλα απελευθερώνουν ηλεκτρόνια είτε με θέρμανση είτε με την επίδραση εξωτερικού ηλεκτρικού πεδίου.

Τέλος ορισμένα μέταλλα όπως ο σίδηρος, το νικέλιο, το κοβάλτιο έχουν μαγνητικές ιδιότητες.

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Τα μέταλλα έχουν ικανοποιητική συμπεριφορά στην άσκηση των μηχανικών τάσεων, π.χ. μπορούν να σφυρηλατηθούν και να μορφοποιηθούν χωρίς να σπάσουν.

Η ιδιότητα αυτή χαρακτηρίζει όλα τα μέταλλα αλλά σε διαφορετικό βαθμό το καθένα.

Ο χάλυβας είναι το πιο ισχυρό μέταλλο, ενώ ο μόλυβδος, ο ψευδάργυρος και ο κασσίτερος τα πιο ασθενή.

Ο χαλκός και ο άργυρος μπορούν να σφυρηλατηθούν σε λεπτά φύλλα και να σχηματίσουν πολύ λεπτά σύρματα.

Αντίθετα, ορισμένα μέταλλα, όπως το αντιμόνιο και το αρσενικό, είναι εύθρυπτα και δεν αντέχουν σε παραμόρφωση, αλλά χρησιμοποιούνται σε μικρό ποσοστό ως πρόσμειξη σε άλλα μέταλλα, για να βελτιώσουν τις ιδιότητες αυτών των μετάλλων.

ΧΗΜΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ

Οι κύριες χημικές ιδιότητες των μετάλλων σχετίζονται άμεσα με το γεγονός ότι τα στοιχεία αυτά ελευθερώνουν ηλεκτρόνια. Τα ηλεκτρόνια αυτά δεσμεύονται από άλλα στοιχεία ή από ιόντα, με αποτέλεσμα να σχηματίζονται οι μεταλλικές ενώσεις. Με το οξυγόνο, π.χ., σχηματίζονται τα οξείδια. Ακόμα τα μέταλλα αντιδρούν με τα οξέα είτε απευθείας ελευθερώνοντας υδρογόνο είτε μέσω των οξειδίων τους. Και στις δύο περιπτώσεις σχηματίζονται μεταλλικά άλατα (χλωριούχα, θειικά, ανθρακικά κ.ά.)

Ο χρυσός και ο άργυρος έχουν την ιδιότητα αυτή σε μικρό βαθμό και γι' αυτό ονομάζονται ευγενή μέταλλα και δεν προσβάλλονται εύκολα από τα οξέα.

Τα μέταλλα ονομάζονται και αγωγοί λόγω της καλής θερμικής - ηλεκτρικής αγωγιμότητάς τους, ενώ τα αμέταλλα ονομάζονται μονωτές.

Η ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Εκτός από το χρυσό, τα μέταλλα που χρησιμοποιεί ο άνθρωπος δεν είναι σταθερά και στις κανονικές περιβαλλοντικές συνθήκες αντιδρούν σχεδόν πάντοτε με άλλα συστατικά και σχηματίζουν πιο σταθερές ενώσεις. Η διάβρωση των μετάλλων μπορεί να γίνει:

α. σε ξηρό περιβάλλον

β. σε υγρό περιβάλλον.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΕ ΞΗΡΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Κάθε φυσικό περιβάλλον περιέχει κάποια υγρασία. Αυτή η μορφή διάβρωσης θεωρείται λιγότερο σημαντική για τα αρχαιολογικά ευρήματα, στα οποία παρατηρείται έντονη διάβρωση λόγω της παρουσίας υγρασίας στο έδαφος. Όταν ένα μέταλλο είναι γυαλισμένο, με λαμπερή επιφάνεια, και το αφήσουμε εκτεθειμένο σε ένα ξηρό περιβάλλον (απουσία υγρασίας), γίνεται θαμπό και μαυρίζει. Αυτό συμβαίνει, διότι το οξυγόνο και οι ρύποι της ατμόσφαιρας, όπως το υδρόθειο, επιδρούν στην επιφάνεια του μετάλλου:

μέταλλο (M) + οξυγόνο (O₂) → οξειδία του μετάλλου

μέταλλο (M) + υδρόθειο (H₂S) → θειούχες ενώσεις μετάλλου

Το επιφανειακό στρώμα του οξειδίου του μετάλλου με τις θειούχες ενώσεις που σχηματίζονται έχει πολλές φορές παρόμοια κρυσταλλική δομή με το επιφανειακό στρώμα του μετάλλου με το οποίο συνδέεται. Το επιφανειακό στρώμα διάβρωσης, το οποίο δρα προστατευτικά εμποδίζοντας την περαιτέρω διάβρωση του μετάλλου, ονομάζεται **πατίνα**.

Ορισμένα, όμως, στρώματα προϊόντων διάβρωσης δεν μπορούν να μιμηθούν την κρυσταλλική δομή του μετάλλου, δεν προσκολλώνται καλά επάνω σ' αυτό και δεν μπορούν να εμποδίσουν τη διάβρωσή του. Τέτοιες αντιδράσεις λαμβάνουν χώρα σε περιβάλλον με υψηλό ποσοστό υγρασίας.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΣΕ ΥΓΡΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Η πιο κοινή μορφή διάβρωσης των μετάλλων είναι αυτή η οποία προκαλείται από περιβάλλον στο οποίο υπάρχει υγρασία.

Η υγρασία είναι παρούσα στις περισσότερες περιβαλλοντικές συνθήκες και προκαλεί σημαντική διάβρωση. Σε κανονικές ατμοσφαιρικές συνθήκες η υγρασία είναι παρούσα με τη μορφή υδρατμών, οι οποίοι μπορεί να συμπυκνώνονται επάνω στη μεταλλική

επιφάνεια ή να έλκονται από τα υγροσκοπικά συστατικά της. Όταν υπάρχει υγρασία, η διάβρωση των μετάλλων δεν είναι απλή χημική δράση αλλά ηλεκτροχημική.

ΟΛΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ-ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Τα κατίοντα του μετάλλου κινούνται προς την επιφάνεια του μεταλλικού αντικειμένου και, όταν φτάσουν εκεί, ενώνονται με τα ανιόντα του περιβάλλοντος και σχηματίζουν προϊόντα διάβρωσης (οξειδία, υδροξειδία, ανθρακικά, θειικά), τα οποία προσκολλώνται στην επιφάνεια του μετάλλου.

Τέτοια στερεά προϊόντα, ιδιαίτερα τα ανθρακικά, σχηματίζονται σε αλκαλικά εδάφη μαζί με λεπτό στρώμα οξειδίου και συντελούν στην παρεμπόδιση της περαιτέρω διάβρωσης του μετάλλου.

Στην περίπτωση αυτή διατηρείται το κύριο μέρος (μεταλλικός πυρήνας) του μεταλλικού αντικειμένου. Έχουμε, δηλαδή, μέσω της διάβρωσης μια «προστασία» του αντικειμένου.

Σε περιβάλλον με έντονη παρουσία οξέων, αλκαλίων ή αλάτων τα κατίοντα του μετάλλου σχηματίζουν ευδιάλυτες ενώσεις, οι οποίες μεταφέρονται μακριά από το μέταλλο, γεγονός που οδηγεί σε «ολική διάβρωσή» του.

Τότε, χάνεται το σχήμα του και παραμένει μόνο ένα ίχνος του στο έδαφος. Σ' αυτή την περίπτωση μπορεί το μέταλλο είτε να διαβρωθεί ολικά είτε να προστατευτεί.

α. Ολική διάβρωση:

Το μέταλλο σχηματίζει διαλυτά προϊόντα, τα οποία απομακρύνονται από αυτό στο γύρω περιβάλλον.



Φαινόμενο ολικής διάβρωσης όπου στο χώμα παραμένουν ίχνη του μεταλλικού αντικειμένου.

β. Προστασία:

Το μέταλλο σχηματίζει στερεά προϊόντα διάβρωσης, τα οποία προσκολλώνται στην επιφάνειά του και εμποδίζεται ή περιορίζεται επιπλέον προσβολή. Τα μέταλλα μερικές φορές διαβρώνονται σε περιβάλλον στο οποίο θα περιμέναμε το στρώμα διάβρωσης που σχηματίζεται να εμποδίσει την προσβολή του μετάλλου. Αυτό μπορεί να οφείλεται στην παρουσία κάποιων δραστικών ιόντων, όπως είναι τα χλωριόντα (Cl^-), τα οποία καταστρέφουν τα προστατευτικά στρώματα διάβρωσης και προκαλούν στο μέταλλο περαιτέρω διάβρωση. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται **ενεργή διάβρωση**.

ΜΗΧΑΝΙΣΜΟΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ**ΗΛΕΚΤΡΟΧΗΜΙΚΗ ΔΙΑΒΡΩΣΗ**

Στην ηλεκτροχημική διάβρωση έχουμε τη δημιουργία γαλβανικού στοιχείου μεταξύ του μετάλλου και του περιβάλλοντος.

Για τη δημιουργία γαλβανικού στοιχείου είναι αναγκαία:

- α. παρουσία ανόδου
- β. παρουσία καθόδου
- γ. παρουσία ηλεκτρολύτη

Κατά την ηλεκτροχημική διάβρωση γίνονται οι εξής αντιδράσεις:

α. Ανοδική αντίδραση:

Πρόκειται για την οξειδωση του μετάλλου, που σημαίνει τη μεταφορά ιόντων του προς το περιβάλλον με ταυτόχρονη εκπομπή ηλεκτρονίων (πραγματοποιείται στην άνοδο):

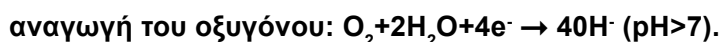


Τα ηλεκτρόνια τα οποία ελευθερώνονται, καθώς το μέταλλο διαβρώνεται, συμμετέχουν σε μια άλλη αντίδραση, την καθοδική. Έτσι έχουμε το σχηματισμό προϊόντων διάβρωσης στην επιφάνεια του μετάλλου.

β. Καθοδική αντίδραση:

Πρόκειται για την αναγωγή του μέσου που δεσμεύει τα ηλεκτρόνια της ανοδικής αντίδρασης.

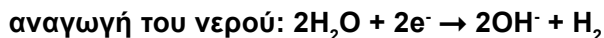
Σε υγρά περιβάλλοντα, στα οποία το οξυγόνο είναι διαθέσιμο, η καθοδική αντίδραση που επικρατεί είναι η εξής:



Όταν τα επίπεδα οξυγόνου είναι χαμηλά, οι καθοδικές αντιδράσεις που επικρατούν είναι η αναγωγή των ιόντων υδρογόνου σε όξινο περιβάλλον:



ενώ σε αλκαλικό περιβάλλον:



Αυτή η αντίδραση οπσωδῆποτε είναι αργή, εκτός αν τα ιόντα υδρογόνου βρίσκονται σε μεγάλη ποσότητα.

Για την εξέλιξη της ηλεκτροχημικής διάβρωσης δεν είναι απαραίτητη η δημιουργία γαλβανικού στοιχείου μεταξύ μετάλλου και περιβάλλοντος ή μεταξύ δύο μετάλλων, ενός πιο δραστικού και ενός πιο αδρανούς.

Επάνω στην επιφάνεια του ίδιου του μετάλλου διαφοροποιούνται περιοχές οι οποίες δρουν ως άνοδοι και περιοχές οι οποίες δρουν ως κάθοδοι. Αυτό συμβαίνει:

α. Λόγω ανομοιογένειας στην επιφάνεια του μετάλλου, η οποία οφείλεται:

1. Σε κρυσταλλικές ατέλειες.
- 2 Σε μικροσκοπικές διαφοροποιήσεις λόγω ύπαρξης διαφορετικών φάσεων (φερρίτης/γραφίτης) ή λόγω ύπαρξης θερμικών ή μηχανικών τάσεων (λόγω κατεργασίας του μετάλλου).
3. Σε μακροσκοπικές διαφοροποιήσεις, όπως είναι η τοπική ρήξη στρωμάτων οξειδίων του μετάλλου, κομμένες άκρες, κοιλότητες.

β. Λόγω ανομοιογένειας στο γύρω περιβάλλον, η οποία οφείλεται:

1. Σε διαφοροποιήσεις της θερμοκρασίας.
2. Σε διαφοροποιήσεις στη συγκέντρωση μιας ουσίας (π.χ. οξυγόνου).

ΑΝΑΕΡΟΒΙΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗ

Αυτή η μορφή διάβρωσης παρατηρείται κυρίως στο σίδηρο, όπου έχουμε τη δράση θειοαναγωγικών βακτηριδίων με απουσία οξυγόνου.

Τα ιόντα του θείου συνδέονται με τα ιόντα του μετάλλου στην άνοδο, προκαλώντας διάβρωση της μεταλλικής επιφάνειας και το σχηματισμό θειούχου σιδήρου, ενός προστατευτικού στρώματος μαύρου χρώματος.

ΔΙΑΦΟΡΙΚΟΣ ΑΕΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΓΑΛΒΑΝΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Όπως αναφέραμε στην ηλεκτροχημική διάβρωση, έχουμε τη δημιουργία γαλβανικού στοιχείου, όπου μια περιοχή γίνεται κάθοδος και μια άλλη άνοδος. Αυτό μπορεί να συμβεί, και όταν το οξυγόνο είναι πιο συγκεντρωμένο σε ένα σημείο της μεταλλικής επιφάνειας απ' ό,τι σε ένα άλλο· η περιοχή αυτή αναλαμβάνει το ρόλο της καθόδου, ενώ η περιοχή με το ελάχιστο οξυγόνο θα διαβρωθεί. Αυτό το φαινόμενο ονομάζεται διαφορικός αερισμός και οφείλεται στη διαφορετική δυνατότητα πρόσβασης του οξυγόνου σε περιοχές της επιφάνειας του ίδιου μεταλλικού αντικείμενου.

Σχηματισμός γαλβανικού στοιχείου παρατηρείται σε ένα αντικείμενο το οποίο έχει κατασκευαστεί από δύο ανόμοια μέταλλα ή περιέχει διαφορετικές φάσεις που χάνουν ηλεκτρόνια με διαφορετικό βαθμό, όταν είναι σε επαφή.

Τα μέταλλα που χάνουν πιο εύκολα ηλεκτρόνια ονομάζονται ευπαθή, και μπορούμε να θεωρήσουμε ότι αυτά τα μέταλλα διαβρώνονται πιο εύκολα από εκείνα που χάνουν λιγότερα ηλεκτρόνια, τα ευγενή ή μη διαβρωτικά μέταλλα.

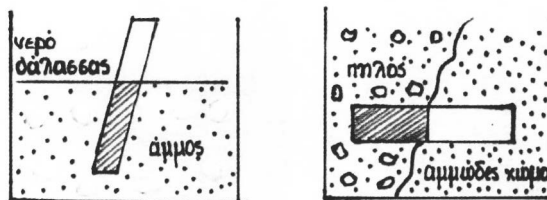
Ακολουθεί κατάταξη των μετάλλων με αύξουσα κλίμακα ευπάθειας:

1) Ευπαθή μέταλλα:

Zn, σφυρήλατος Fe, χυτός Fe, Pewter (Sn/Pb) (50:50), Pb, Sn, Brass, Cu, Bronze,

2) Ευγενή μέταλλα:

Ag, Au.



Το τμήμα μετάλλου στην άμμο θα διαβρωθεί, διότι
 α) στην άμμο η συγκέντρωση οξυγόνου είναι μικρότερη από ό,τι στο θαλασσινό νερό.
 β) Το τμήμα του μετάλλου στο πηλόχωμα θα διαβρωθεί, διότι ο πηλός είναι φτωχότερος σε οξυγόνο από το αμμώδες χώμα.

Όταν δύο ανόμοια μέταλλα ή δυο ανόμοιες φάσεις είναι σε επαφή, όπως π.χ. ο χαλκός και ο σίδηρος, το “ευγενές” μέταλλο, στην περίπτωση αυτή ο χαλκός, θα διαβρωθεί λιγότερο απ' ό,τι συνήθως, δρώντας ως κάθοδος.

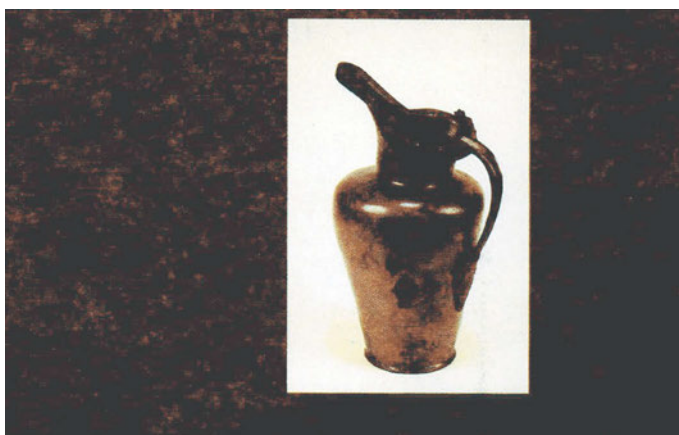
Το ευπαθές μέταλλο, στην περίπτωση αυτή ο σίδηρος, θα διαβρωθεί περισσότερο απ' ό,τι συνήθως. Η διάβρωση θα συνεχιστεί έως ότου όλος ο σίδηρος να μετατραπεί σε προϊόντα διάβρωσης.

Στην περίπτωση των κραμάτων η εικόνα είναι πιο σύνθετη. Υπάρχει περίπτωση το ευπαθές μέταλλο να βρίσκεται σε πολύ μικρές ποσότητες, και έτσι η απώλειά του να μην είναι αξιοσημείωτη. Το κράμα, επομένως, είναι πιο ανθεκτικό στη διάβρωση απ' ό,τι το ευγενές μέταλλο μόνο του.

ΜΟΡΦΕΣ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΩΝ

1. Ομοιόμορφη διάβρωση.

Στην περίπτωση αυτή έχουμε τη δημιουργία ομοιόμορφου στρώματος προϊόντων διάβρωσης ή ομοιόμορφη διάλυση του μετάλλου.



Μπρούτζινο ετρούσκικο δοχείο. Η μεταλλική επιφάνεια παρουσιάζει ένα ομοιόμορφο λεπτό στρώμα διάβρωσης (Μουσείο Βερολίνου).

2. Τοπική διάβρωση.

Διακρίνεται σε:

α. Εκλεκτική δράση:

Αναφέρεται για τις μορφές διάβρωσης που σχηματίζονται σε περιορισμένες περιοχές επάνω σε μια μεταλλική επιφάνεια στην οποία έχουμε τη δημιουργία γαλβανικού στοιχείου.

Οφείλονται στην ανομοιογένεια της σύστασης ή της δομής του μετάλλου.



Μπρούτζινο δοχείο. Σε ορισμένες περιοχές του αντικειμένου παρατηρείται επιλεκτική δράση διάβρωσης.

β. Διάβρωση με βελονισμούς:

Πρόκειται για μορφή διάβρωσης στην επιφάνεια του μετάλλου η οποία οφείλεται σε:

- 1. Ετερογένεια στη σύσταση του μετάλλου (λόγω προσμίξεων).**
- 2. Μηχανική καταπόνηση της επιφάνειάς του (μεταλλουργικές επεμβάσεις).**

Η διάβρωση με βελονισμούς είναι περισσότερο έντονη, όταν υπάρχουν στο περιβάλλον χλωροϊόντα (Cl^-).

Στην περίπτωση αυτή έχουμε την κίνηση των ιόντων του μετάλλου προς την επιφάνεια και την κίνηση των χλωροϊόντων προς το εσωτερικό του μεταλλικού αντικειμένου για το σχηματισμό ενώσεων.

γ. Διάβρωση περιορισμένης περιοχής:

Αυτή η μορφή διάβρωσης παρατηρείται σε ορισμένες περιοχές της μεταλλικής επιφάνει-
ας οι οποίες έρχονται σε επαφή με άλλα «σώματα», δηλαδή υλικά όπως η πέτρα και το
γαλί, ή βρίσκονται σε διαφορετικό περιβάλλον. Αναφερόμαστε, δηλαδή, σε διαφορετικό
τρόπο διάβρωσης της μεταλλικής επιφάνειας, γεγονός που οφείλεται σε ανομοιογένεια
του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκεται το αντικείμενο.

ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Η χημική σύσταση των προϊόντων διάβρωσης εξαρτάται από τα στοιχεία ή από τα ιόντα του περιβάλλοντος τα οποία επιδρούν στο μεταλλικό αντικείμενο. Τα προϊόντα εμφανίζονται είτε σαν άμορφη σκόνη είτε -συνήθως- σαν κρύσταλλοι.

Σε αρκετές περιπτώσεις τα προϊόντα διάβρωσης είναι όμοια με τα φυσικά μεταλλεύματα και χαρακτηρίζονται με το όνομα των ορυκτών τους.

Όταν τα προϊόντα διάβρωσης σχηματίζονται με βραδείς ρυθμούς, τείνουν να σχηματίσουν μεγάλους κρυστάλλους ημιδιαφανείς, ενώ αυτά που σχηματίζονται γρήγορα αποτελούνται από μικρούς αδιαφανείς κρυστάλλους. Τα στρώματα των προϊόντων διάβρωσης σπανίως αποτελούνται από ένα μόνο καθαρό προϊόν διάβρωσης, και κανονικά περιλαμβάνουν έναν αριθμό προϊόντων, των οποίων οι κρύσταλλοι περιπλέκονται και στους οποίους κρυστάλλους μπορεί να ενσωματωθούν και άλλα συστατικά από το γύρω περιβάλλον.

ΕΞΕΤΑΣΗ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Τα μεταλλικά αντικείμενα πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά, πριν εφαρμοστεί σ' αυτά κάποια μέθοδος καθαρισμού. Πολύ σημαντικό είναι να γνωρίζουμε αρκετά για τη μεταλλική επιφάνεια. Όταν εξετάζουμε ένα μεταλλικό αντικείμενο, προσπαθούμε συνήθως να αναγνωρίσουμε τα προϊόντα διάβρωσης από το χρωματισμό και από τη σύστασή του, χρησιμοποιώντας μεθόδους ανάλυσης οι οποίες δίνουν πληροφορίες για τη σύσταση του κράματος του μετάλλου ή για την επιφάνεια του αντικειμένου.

Τα περισσότερα αντικείμενα που προέρχονται από τον ανασκαφικό κυρίως χώρο καλύπτονται με ογκώδη προϊόντα διάβρωσης, τα οποία αλλοιώνουν το αρχικό σχήμα του αντικειμένου, με αποτέλεσμα να είναι αναγκαία η εξέταση του αντικειμένου. Η προσεκτική εξέταση του αντικειμένου μας δίνει πληροφορίες για:

1. Το σχήμα του αντικειμένου.
2. Την κατάσταση διατήρησής του (το πάχος των προϊόντων διάβρωσης, την ύπαρξη μεταλλικού πυρήνα).
3. Την παρουσία άλλων επιπρόσθετων υλικών.
4. Την τεχνική κατασκευής του αντικειμένου.

Η εξέταση ενός αντικειμένου μπορεί να γίνει είτε χωρίς επέμβαση στο αντικείμενο είτε με επέμβαση σ' αυτό.

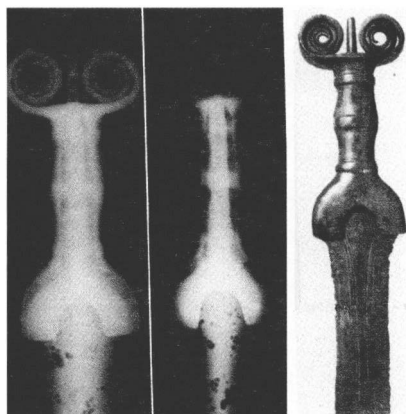
Η εξέταση του αντικειμένου χωρίς να επεμβούμε μπορεί να γίνει με τους εξής τρόπους:

1. Με έλξη του αντικειμένου από μαγνήτη, η οποία υποδηλώνει την παρουσία σιδερένιου μεταλλικού πυρήνα.
2. Με σύγκριση του βάρους/όγκου του αντικειμένου.
3. Με παρατήρηση με μεγεθυντικό φακό ή με στερεομικροσκόπιο, η οποία μας δίνει πληροφορίες για το σχηματισμό των προϊόντων διάβρωσης και για τον εντοπισμό οργανικών υλών.

Άλλοι τρόποι εξέτασης των μεταλλικών αντικειμένων είναι:

1. Η **φωτογράφιση** με υπεριώδη ακτινοβολία, από την οποία παίρνουμε πληροφορίες για την παρουσία οργανικών ουσιών, π.χ. χρήση βερνικιού από προηγούμενες επεμβάσεις.

2. Η ραδιογραφία ακτίνων Χ, όπου σε ένα φιλμ καταγράφονται ως μαύρες οι περιοχές που έχουν δεχτεί ακτίνες Χ και ως άσπρες αυτές που δεν έχουν δεχτεί ακτίνες Χ, και στο οποίο τα σημεία του αντικειμένου με ογκώδη προϊόντα διάβρωσης φαίνονται υπόλευκα.



Μπρούτζινο ξίφος. Τα σημεία που φέρουν προϊόντα διάβρωσης φαίνονται στην ακτινογραφία με μαύρο χρώμα.

Με αυτό τον τρόπο εξέτασης παίρνουμε πληροφορίες:

- α.** Για την έκταση της φθοράς των μεταλλικών αντικειμένων, π.χ. ρηγματώσεων σε βάθος, εξαιτίας των οποίων το αντικείμενο δεν αντέχει τη μηχανική διαδικασία αφαίρεσης προϊόντων διάβρωσης.
- β.** Για τον τρόπο κατασκευής του αντικειμένου, π.χ. συγκόλληση μετάλλων μεταξύ τους με εν θερμώ σφυρηλάτηση.
- γ.** Για την επιμετάλλωση ορισμένων μεταλλικών αντικειμένων, η οποία, όταν σώζεται, εμφανίζεται σαν μια λεπτή γραμμή ανάμεσα στα προϊόντα διάβρωσης.

3. Η νετρονική ενεργοποίηση, την οποία εφαρμόζουμε για την ανίχνευση των οργανικών υλικών και για την παρατήρηση ανθεκτικών στις ακτίνες αντικειμένων, όπως είναι τα μολύβδινα αντικείμενα.

Για την εφαρμογή των “καταστρεπτικών μεθόδων ανάλυσης” κρίνεται απαραίτητη η λήψη δείγματος από το αντικείμενο. Δύο πολύ χρήσιμες μέθοδοι εξέτασης είναι:

Η περιθλασιμετρία ακτίνων Χ: Με την περιθλασιμετρία ακτίνων Χ το δείγμα δέχεται ακτίνες Χ, οι οποίες περιθλώνται στα κρυσταλλικά επίπεδα μιας ένωσης, και με την ανάκλασή τους σχηματίζουν γωνία θ . Κάθε κρυστάλλινη ένωση χαρακτηρίζεται από συγκεκριμένη τιμή έντασης ακτινοβολίας και συγκεκριμένη γωνία ανάκλασης. Οι τιμές αυτές συγκρίνονται με δείγματα αναφοράς. Με τη μέθοδο αυτή συγκεντρώνουμε πληροφορίες για κρυσταλλικές ενώσεις και όχι για χημικά στοιχεία. Η μέθοδος βοηθά στην αναγνώριση προϊόντων διάβρωσης.

Η μεταλλογραφική ανάλυση:

Με τη μεταλλογραφική ανάλυση δείγματος λαμβάνουμε πληροφορίες για τη σύνθεση και για την κατεργασία του μεταλλικού αντικειμένου.

Η αρχή της μεθόδου αυτής βασίζεται στο γεγονός ότι τα μέταλλα αποτελούνται από κρυσταλλικά πλέγματα, δηλαδή από συγκεκριμένες διατάξεις και σχηματισμούς στη δομή τους.

Με την κατεργασία τους τα μεταλλικά αντικείμενα παρουσιάζουν διαφορετική δομή και εμφανίζονται νέοι σχηματισμοί του κρυσταλλικού πλέγματος, οι οποίοι χαρακτηρίζουν τις φυσικές ιδιότητες των μετάλλων.

Με αυτό τον τρόπο εξέτασης συλλέγονται πληροφορίες για τη σύσταση καθώς και για τον τρόπο κατεργασίας του αντικειμένου και τα στάδιά της.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Ο καθαρισμός αποτελεί το αρχικό στάδιο συντήρησης και αφορά την απομάκρυνση των προϊόντων διάβρωσης και των άλλων επικαθίσεων από την επιφάνεια των μεταλλικών αντικειμένων. Με τη διαδικασία καθαρισμού επιτυγχάνεται η αποκάλυψη της αρχικής επιφάνειας του αντικειμένου και η απόδοση σ' αυτό των αρχικών διαστάσεων και του σχήματός του. Η διαδικασία αυτή έχει πολύ μεγάλη σημασία, αφού το μεγαλύτερο μέρος των πληροφοριών καταγράφεται στην επιφάνεια του μεταλλικού αντικειμένου κατά τη στιγμή της κατασκευής του.

Υπάρχουν δύο είδη καθαρισμού:

- α. Ο μηχανικός και
- β. Ο χημικός

Με το μηχανικό καθαρισμό επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των προϊόντων διάβρωσης με την εφαρμογή μηχανικών τάσεων, ενώ με το χημικό καθαρισμό η απομάκρυνση των προϊόντων διάβρωσης επιτυγχάνεται με τη χρήση χημικών μέσων.

Ο μηχανικός τρόπος καθαρισμού είναι χρονοβόρος και επίπονος αλλά αποτελεσματικός, διότι:

1. Επιτρέπει την αποκάλυψη σημαντικών πληροφοριών, οι οποίες σώζονται ανάμεσα στα προϊόντα διάβρωσης (π.χ. ίχνη οργανικών υλικών και παρουσία στοιχείων επιμετάλλωσης).
2. Μπορεί να αποκαλύψει την αρχική επιφάνεια του αντικειμένου, η οποία δε διαφέρει χημικά από τα υπόλοιπα στρώματα.
3. Με το μηχανικό καθαρισμό δεν εισέρχονται στο σιδερένιο αντικείμενο χημικές ουσίες, οι οποίες δύσκολα απομακρύνονται πλήρως.
4. Είναι ελεγχόμενη διαδικασία και επιτρέπει στο συντηρητή να ορίζει το ρυθμό και το βαθμό επέμβασης στο αντικείμενο.



Χάλκινα αντικείμενα που έχουν καθαριστεί με:

α) μηχανικό καθαρισμό β) χημικό καθαρισμό.

Αντίθετα, ο χημικός καθαρισμός των μεταλλικών αντικειμένων έχει ως αποτέλεσμα την «απογύμνωση» των αντικειμένων, η οποία είναι η πλήρης απομάκρυνση των προϊόντων διάβρωσης και η αποκάλυψη της μεταλλικής επιφάνειας.

Αυτή η μέθοδος, όμως, στις περισσότερες περιπτώσεις δε δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα για τους εξής λόγους:

1. Κατά την απομάκρυνση των προϊόντων διάβρωσης παρασύρονται μαζί με αυτά και άλλα στοιχεία, από τα οποία θα αντλούσαμε σημαντικές πληροφορίες, όπως π.χ. σχετικά με την ύπαρξη οργανικών υλικών, επιμετάλλωσης, αρχαίων βερνικιών, φθαρμένων σμάλτων, ένθετων μετάλλων.
2. Η απομάκρυνση των προϊόντων διάβρωσης - απογύμνωση δεν αποκαλύπτει την αρχική επιφάνεια του αντικειμένου, εκτός από τις σπάνιες περιπτώσεις στις οποίες αυτή διατηρείται.
3. Κάθε μεταλλική επιφάνεια που αποκαλύπτεται εκτίθεται ξανά στο σχηματισμό νέων προϊόντων διάβρωσης με κίνδυνο την απώλεια μετάλλου.
4. Το μέταλλο και οι ενώσεις που διαλύονται μπορούν να επικαθίσουν στην επιφάνεια του αντικειμένου χωρίς να είναι εύκολο να απομακρυνθούν.
5. Επίσης, υπάρχει ο κίνδυνος παραμονής στο αντικείμενο χημικών υπολειμμάτων, τα οποία οδηγούν σε αύξηση της διάβρωσης στο μέλλον. Για τους λόγους αυτούς ο χημικός καθαρισμός δε συνιστάται για τον καθαρισμό έντονα διαβρωμένων σιδερένιων και χάλκινων αντικειμένων.

ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Με τη συντήρηση ενός μεταλλικού αντικειμένου στοχεύουμε όχι μόνο στην αποκατάσταση της αρχικής μορφής του αλλά και στην αποτροπή ή στη μείωση της φθοράς και της διάβρωσής του.

Με τον όρο **σταθεροποίηση** εννοούμε αφ' ενός την **ενεργή σταθεροποίηση**, δηλαδή την επέμβαση στο αντικείμενο με εφαρμογή σ' αυτό χημικών μέσων και διάφορων μεθόδων και αφ' ετέρου την **παθητική σταθεροποίηση**, δηλαδή τη δημιουργία κατάλληλων συνθηκών στο περιβάλλον όπου το αντικείμενο αποθηκεύεται και εκτίθεται.

Πριν εφαρμόσουμε το στάδιο της σταθεροποίησης στα μεταλλικά αντικείμενα, θα πρέπει να γνωρίζουμε τα εξής:

1. Ποιο είναι το ενεργό προϊόν διάβρωσης των μεταλλικών αντικειμένων (σιδήρου, χαλκού) μετά την ανασκαφή.
2. Ποιος είναι ο μηχανισμός της δράσης που δημιουργείται στο μέταλλο.

α. Ενεργή σταθεροποίηση

Έχουν εφαρμοστεί αρκετές μέθοδοι σταθεροποίησης, οι οποίες βασίζονται στη χρήση κατάλληλων χημικών μέσων και αντιδραστηρίων για την απομάκρυνση των χλωριδίων και στην εφαρμογή χημικών ουσιών, οι οποίες δρουν προστατευτικά στην επιφάνεια.

νεια του αντικειμένου και βρίσκονται σε ελεύθερη μορφή ή συνδέονται χημικά με το μέταλλο. Στην πρώτη περίπτωση σχηματίζουν ένα προστατευτικό στρώμα στην επιφάνεια του μετάλλου, ενώ στη δεύτερη για το σχηματισμό αυτού του στρώματος προϋπόθεση είναι η δημιουργία χημικών ενώσεων με τη συμμετοχή του μετάλλου.

β. Παθητική σταθεροποίηση

Με την αποθήκευση ή με την έκθεση του μεταλλικού αντικειμένου σε σωστές περιβαλλοντικές συνθήκες είναι βέβαιο ότι εξασφαλίζεται η διατήρησή του. Ο κατ' εξοχήν παράγοντας διάβρωσης, όπως έχει ήδη αναφερθεί, είναι η παρουσία υγρασίας στο χώρο στον οποίο βρίσκεται το μεταλλικό αντικείμενο. Η αποθήκευση - έκθεση των μεταλλικών αντικειμένων σε συνθήκες χαμηλής τιμής σχετικής υγρασίας μπορεί να επιτευχθεί με:

α. Χρήση ξηραντικών μέσων, όπως είναι το silica gel.

β. Τοποθέτηση ειδικών εγκαταστάσεων (μονάδες κλιματισμού, αφυγραντήρες) οι οποίες διατηρούν σταθερή τη σχετική υγρασία σε χαμηλές τιμές, μικρότερες του 20%.

ΕΠΙΚΑΛΥΠΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ - ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ

Το τελευταίο στάδιο συντήρησης ενός μεταλλικού αντικειμένου είναι η κάλυψη της επιφάνειάς του με ένα λεπτό στρώμα το οποίο δρα προστατευτικά εμποδίζοντας τη διάβρωσή του.

Τα προστατευτικά υλικά θα πρέπει:

α. Να απομονώνουν το αντικείμενο από φυσικούς και χημικούς παράγοντες που συντελούν στη φθορά του, σχηματίζοντας στην επιφάνειά του ένα λεπτό φιλμ - στρώμα.

β. Να είναι αντιστρέψιμα, δηλαδή να υπάρχει η δυνατότητα απομάκρυνσής τους από το αντικείμενο.

Αναλυτικότερα, οι ιδιότητες που θα πρέπει να έχουν τα επικαλυπτικά υλικά είναι:

- 1. Να έχουν ομοιόμορφο πάχος σε όλη την έκτασή τους.**
- 2. Να μην αλλοιώνονται με το πέρασμα του χρόνου.**
- 3. Να έχουν καλή συνοχή με την επιφάνεια του αντικειμένου.**
- 4. Να είναι αντιστρέψιμα.**
- 5. Να έχουν μικρή διαπερατότητα στους διαβρωτικούς παράγοντες.**
- 6. Να μην αλλοιώνουν την εμφάνιση του αντικειμένου (να είναι άχρωμα, διαφανή).**

Η δημιουργία ενός λεπτού ομοιόμορφου φιλμ στην επιφάνεια του αντικειμένου δεν είναι εύκολη, ιδιαίτερα όταν στο αντικείμενο υπάρχουν κοιλότητες και προεξοχές, οι οποίες είναι πιο εκτεθειμένες στη διάβρωση σε σχέση με την υπόλοιπη επιφάνειά του.

Στα σημεία αυτά μπορεί να μην πετύχουμε καλή συνοχή του επικαλυπτικού υλικού με το αντικείμενο, με αποτέλεσμα ορισμένες φορές να διακρίνεται η τάση διάβρωσής του.

Ο τρόπος εφαρμογής των προστατευτικών υλικών μπορεί να γίνει :

- α. με πινέλο,**
- β. με ψεκασμό και**
- γ. με εμβάπτιση.**

ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ - ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ

Σε περίπτωση που λείπουν τμήματα του μεταλλικού και κριθεί αναγκαία η συμπλήρωσή τους (κυρίως για στατικούς λόγους) ακολουθείται η εξής διαδικασία:

Φύλλα οδοντιατρικού κεριού χρησιμοποιούνται ως μορφοποιητής σχήματος. Αρχικά αποτυπώνεται το σχήμα από το αντίστοιχο συμμετρικό με αυτό που πρόκειται να συμπληρωθεί και κατόπιν προσαρμόζεται στο τμήμα συμπλήρωσης.

Η συμπλήρωση γίνεται με τη χρήση υαλοπιλήματος το οποίο έχει εμβαπτιστεί σε πολυεστερική ρητίνη. Οι ίνες υάλου και ρητίνης τοποθετούνται στο καλούπι που έχει σχηματίσει το οδοντιατρικό κέρι για την απόδοση του τμήματος που λείπει.

Σε όλη τη διάρκεια της συμπλήρωσης χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στη σταθεροποίηση της θέσης του οδοντιατρικού κεριού, διότι μπορεί εύκολα να μετατοπιστεί από το σημείο εφαρμογής του ή να διαφοροποιηθεί το σχήμα του εξαιτίας των τάσεων που ασκούνται από την τοποθέτηση του υλικού συμπλήρωσης.

Όταν στερεοποιηθεί η ρητίνη, απομακρύνεται το οδοντιατρικό κέρι, και τυχόν υπολείμματά του στη μεταλλική επιφάνεια απομακρύνονται με μηχανικό τρόπο.

Το υλικό συμπλήρωσης λειαίνεται με τη χρήση λεπτών υαλοχάρτων ή με τον τροχό, ώστε να διορθωθούν τυχόν ατέλειες και να ακολουθεί τη μορφολογία της επιφάνειας του αντικειμένου.

Η χρωματική απόδοση του τμήματος συμπλήρωσης μπορεί να γίνει με τη χρήση ακρυλικών χρωμάτων στο διάλυμα της ρητίνης ή χρωστικών σε σκόνη με εφαρμογή στην επιφάνεια συμπλήρωσης.

ΤΡΟΠΟΙ ΕΚΘΕΣΗΣ - ΑΠΟΘΗΚΕΥΣΗΣ

Τα μεταλλικά αντικείμενα είναι αρκετά ευπαθή ως προς τη διάβρωσή τους, γεγονός που καθιστά αναγκαία την αποθήκευση και έκθεσή τους σε κατάλληλο περιβάλλον.

Παράγοντες που επηρεάζουν το βαθμό διάβρωσης είναι α) η θερμοκρασία, β) η υγρασία, γ) οι ρύποι της ατμόσφαιρας και δ) η χρήση ακατάλληλων υλικών αποθήκευσης και έκθεσής τους.

Κατά την αποθήκευση και έκθεση τα μεταλλικά αντικείμενα θα πρέπει να τοποθετούνται σε χώρους ανά ενότητες με βάση το υλικό κατασκευής, λόγω των διαφορετικών μέτρων πρόληψης που θα πρέπει να εφαρμοστούν. Με την αποθήκευση μειώνουμε και προστατεύουμε τα μεταλλικά αντικείμενα από τη βλαβερή δράση του περιβάλλοντος, αλλά μερικές φορές η χρήση μη κατάλληλων υλικών αποθήκευσης σε κλειστό χώρο μπορεί να προκαλέσει πιο σημαντικές φθορές από την απλή δράση της ατμόσφαιρας.

Είναι αναγκαία, λοιπόν, η χρήση υλικών που να μην απελευθερώνουν βλαβερά αέρια και ατμούς, οι οποίοι αντιδρούν με τις μεταλλικές επιφάνειες, αφού τα μέταλλα είναι τα πιο ευαίσθητα υλικά στους διαβρωτικούς ατμούς.

1. Το ξύλο ως υλικό αποθήκευσης ή έκθεσης προκαλεί διάβρωση των μεταλλικών αντικειμένων, διότι απελευθερώνει ατμούς οργανικών οξέων, οι οποίοι επιταχύνουν τη διάβρωσή τους. Στην περίπτωση αυτή χρησιμοποιούμε κουτιά από πολυαιθυλένιο, διάφανα, χωρίς χρωματισμό, και για την έκθεσή τους μεταλλικές κατασκευές (χωρίς χρώμα) και χωρίς να υπάρχει επαφή με τα μεταλλικά αντικείμενα, διότι δημιουργούν γαλβανικό στοιχείο.

2. Τα χαρτιά και τα χαρτόνια που χρησιμοποιούμε θα πρέπει να είναι απαλλαγμένα από τα οξέα (το PH είναι περίπου 7). Η σύνθεσή τους δε διαβρώνει τα μεταλλικά αντικείμενα και έτσι δεν παράγονται βλαβερά υποπροϊόντα.

3. Μερικά υφάσματα θεωρούνται ακατάλληλα για χρήση στην αποθήκευση και στην έκθεση λόγω του τρόπου επεξεργασίας τους. Προκαλούν διάβρωση στον άργυρο και στο χαλκό, κυρίως εξαιτίας των χημικών που χρησιμοποιήθηκαν στην κατεργασία και στο βάψιμό τους. Τα υφάσματα που θεωρούνται κατάλληλα είναι τα μεταξωτά, διότι δεν περιέχουν θείο, τα βαμβακερά, τα λινά, τα νάιλον και τα πολυεστερικά.

4. Επίσης, μεγάλη προσοχή απαιτείται κατά την επιλογή των υλικών χρωματισμού και των κολλών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή των χώρων έκθεσης, τα οποία μπορεί να απελευθερώνουν βλαβερούς ατμούς, που οφείλονται στα συστατικά τους ή στον τρόπο κατεργασίας τους.

5. Κατά την αποθήκευση των μεταλλικών αντικειμένων που διαβρώνονται παρουσία υγρασίας θα πρέπει να χρησιμοποιούμε silica gel, το οποίο διορθώνει την οξύτητα του περιβάλλοντος χωρίς να έρχεται σε άμεση επαφή με το αντικείμενο αποθήκευσης. Επίσης, στο εσωτερικό του χώρου αποθήκευσης τοποθετούμε δείκτη μέτρησης υγρασίας για τον έλεγχό της.

Το silica gel θα πρέπει να είναι σε σακουλάκι από ύφασμα που να είναι διαπερατό και

ανθεκτικό στη ζέση· άρα, μπορεί να θερμανθεί για την «αναζωογόνησή του» (105 °C).

Οι περιβαλλοντικές παράμετροι (θερμοκρασία-υγρασία) στους χώρους έκθεσης και αποθήκευσης θα πρέπει να είναι ελεγχόμενες, διότι επιδρούν στη διάβρωση της μεταλλικής επιφάνειας και επιταχύνουν το ρυθμό ανάπτυξής της. Τα πιο ευαίσθητα αντικείμενα είναι τα ασημένια και τα χάλκινα, τα οποία μαυρίζουν εύκολα. Το σύνολο των περιβαλλοντικών παραμέτρων που επικρατούν στους χώρους αποθήκευσης και έκθεσης αποτελούν το «μικροκλίμα». Οι περιβαλλοντικές παράμετροι που πρέπει να ελέγχει κανείς στην αποθήκευση και έκθεση των μεταλλικών αντικειμένων είναι α) το ατμοσφαιρικό κλίμα και β) το θερμικό κλίμα.



Χάλκινο κάτοπτρο από την Κόρινθο 320-325 π.Χ. Αισθητικά αποκατάσταση του σημείου που δεν σώζει μεταλλική επιφάνεια (Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο Αθήνας).



Χάλκινο μετάλιο από την πλατεία διοικητηρίου Θεσσαλονίκης 200 π.Χ. Συμπλήρωση των τμημάτων της μεταλλικής επιφάνειας που δεν σώζονται και χρωματική απόδοσή τους.

A. Ατμοσφαιρικό κλίμα Στην περίπτωση αυτή αναφέρουμε τους ρύπους και τα αιωρούμενα σωματίδια που μπορεί να υπάρχουν στην ατμόσφαιρα ως συστατικά. Ορισμένα από αυτά αντιδρούν με το υλικό κατασκευής των μεταλλικών αντικειμένων, με αποτέλεσμα να τη διαβρώνουν. Για την αντιμετώπιση των υψηλών συγκεντρώσεων μολυντικών στοιχείων χρησιμοποιούμε εγκατάσταση καθαρισμού αέρα, όπου τα μολυντικά αέρια πρέπει να βρίσκονται σε συγκεντρώσεις κάτω των 10mg/m.

B. Θερμικό κλίμα (σταθερή υγρασία-θερμοκρασία)

Με τον όρο σταθερή σχετική υγρασία εννοούμε την ικανότητα ελέγχου της υγρασίας για την ασφαλή αποθήκευση και σωστή έκθεσή τους. Η αυξημένη τιμή της υγρασίας έχει ως αποτέλεσμα την απορρόφησή της από τη μεταλλική επιφάνεια των αντικειμένων, η οποία απορρόφηση στη συνέχιση της διάβρωσής τους. Η επιθυμητή τιμή της σχετικής υγρασίας είναι περίπου RH.

Η θερμοκρασία μας ενδιαφέρει στο βαθμό που επηρεάζει την τιμή της σχετικής υγρασίας και στο βαθμό που επιταχύνει ορισμένες χημικές αντιδράσεις. Η επιθυμητή μέση θερμοκρασία είναι 20 °C (σταθερή όλο το χρόνο με διακύμανση $\pm 1,5$ °C).

Ο έλεγχος της σχετικής υγρασίας και θερμοκρασίας γίνεται με θερμοϋγρογράφο, και οι επιθυμητές τιμές επιτυγχάνονται με εγκαταστάσεις κλιματισμού θέρμανσης-ψύξης.

Η επίδραση της ακτινοβολίας είναι μηδαμινή στα μεταλλικά αντικείμενα. Το όριο φωτισμού είναι 500 LUX, διότι ο πιο έντονος φωτισμός έχει ως αποτέλεσμα την αύξηση της θερμοκρασίας, η οποία προκαλεί ξήρανση και οδηγεί στη διάβρωση των μεταλλικών αντικειμένων.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΣΙΔΕΡΕΝΙΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Με το τέλος της Εποχής του Χαλκού αρχίζει η Εποχή του Σιδήρου στον ελλαδικό χώρο. Η μεταλλουργία του σιδήρου έπεται της μεταλλουργίας του χαλκού, διότι γι' αυτήν απαιτούνται υψηλές θερμοκρασίες για την εκκαμίνευσή του και για τη θερμική κατεργασία του.

Τα πρώτα σιδερένια αντικείμενα χρονολογούνται περίπου στο 1200 π.Χ. και ανήκουν στην Κρητο-Μυκηναϊκή εποχή. Από τον 9ο αιώνα π.Χ. ο σίδηρος χρησιμοποιείται για την κατασκευή όπλων, κοσμημάτων και εργαλείων.

Κατά την εποχή του σιδήρου, ο σίδηρος και η κατεργασία του εξαπλώνονται στις περισσότερες περιοχές της Ελλάδας, και η μεταλλουργία αναπτύχθηκε με πολύ γρήγορο ρυθμό. Ο σίδηρος χρησιμοποιείται λόγω των ιδιοτήτων του για την κατασκευή τριπόδων, αγκυρών, καρφιών, σπαθιών, γενικά, δηλαδή, για την κατασκευή όπλων και εργαλείων των τεχνιτών και των αγροτών.

Σημαντική υπήρξε η χρήση του στην κατασκευή των συνδέσμων στα μνημεία της Ακρόπολης, γεγονός που επιβεβαιώνει την αυξανόμενη παραγωγή του σιδήρου εκείνη την περίοδο.

Ο σίδηρος που παράγεται χρησιμοποιείται, επίσης, για την κατασκευή πολεμικών μηχανών, ενώ αποτελεί υλικό εμπορικών συναλλαγών και εξάγεται σε άλλες περιοχές.

Με την ανάπτυξη της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας και με την κατάκτηση του ελληνικού κράτους από τους Ρωμαίους σταματά η μεταλλουργία του σιδήρου στην Ελλάδα.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

ΓΕΝΙΚΑ

Με τον όρο **μεταλλουργία** χαρακτηρίζουμε το σύνολο των μεθόδων και των διαδικασιών παρασκευής, των μετάλλων και των κραμάτων τους. Όταν, όμως, αναφερόμαστε στην **εκκαμίνευση του μετάλλου** εννοούμε την αναγωγή του μεταλλεύματος σε μέταλλο. Με τη διαδικασία της εκκαμίνευσης πετυχαίνουμε το διαχωρισμό του μετάλλου από τις προσμείξεις που υπάρχουν στο μέταλλευμα.

Από τους αρχαίους συγγραφείς σώζονται σημαντικές πληροφορίες για τη μεταλλουργία του σιδήρου. Ο Θεόφραστος στα κείμενά του περιγράφει τα μεταλλεύματα του σιδήρου, ενώ ο Διόδωρος αναφέρει την τήξη των μεταλλευμάτων. Ο Πλίνιος σε εκτενείς περιγραφές αναφέρει ότι οι ιδιότητες του σιδήρου εξαρτώνται από την κατεργασία του.

Στην εποχή του Πλουτάρχου αναφέρονται πολλοί μύθοι για τη σκλήρυνση του σιδήρου, ενώ ο Δημόκριτος αποδίδει μαγικές ιδιότητες στο σίδηρο.

Ο άνθρωπος αρχικά χρησιμοποίησε το σίδηρο όπως βρίσκεται στη φύση, σε «ελεύθερη» μορφή (μετεωριτικός σίδηρος με 5% - 26% Ni), και στη συνέχεια προχώρησε στην αναγωγή των ορυκτών του σιδήρου. Η παραγωγή του σιδήρου περιλαμβάνει τρία στάδια:

1. Την εξόρυξη του μεταλλεύματος.
2. Την προστασία του ορυκτού.
3. Την εκκαμίνευση.

ΤΑ ΟΡΥΚΤΑ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

Τα ορυκτά του σιδήρου είναι πολύ διαδεδομένα, αφού ο σίδηρος είναι το πιο κοινό στοιχείο στη γη, μετά το πυρίτιο και το αργίλιο.

Τα ορυκτά του σιδήρου βρίσκονται πιο εύκολα από τα ορυκτά του χαλκού, ενώ σημαντικές προσμίξεις σιδήρου υπάρχουν σε αρκετά πετρώματα.

Τα κυριότερα ορυκτά του σιδήρου είναι:

Οξειδία:

α. αιματίτης: Fe_2O_3 (κόκκινο-καφέ χρώμα)

β. λειμωνίτης: $\text{Fe}_2\text{O}_3 \cdot \text{H}_2\text{O}$ (καφέ χρώμα)

γ. μαγνητίτης Fe_3O_4 (μαύρο χρώμα)

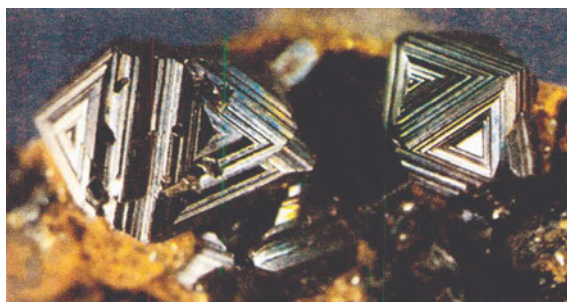
Ανθρακικά:

δ. σιδηρίτης: FeCO_3 (καφέ-γκρι χρώμα)

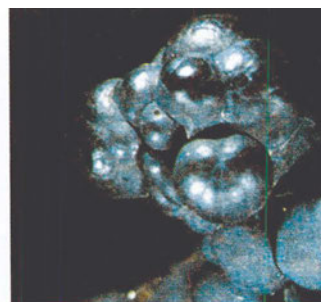
Ορυκτά του σιδήρου:



αιματίτης



μαγνητίτης



σιδηρίτης

Για την εκκαμίνευση του σιδήρου δε συνιστάται η χρήση των θειούχων ορυκτών του, διότι η παρουσία του θείου έχει σοβαρές επιπτώσεις στις ιδιότητες του μετάλλου. Ο φωσφόρος που υπάρχει σε αρκετά ορυκτά έχει ακριβώς τις ίδιες επιπτώσεις.

ΕΞΟΡΥΞΗ

Από ιστορικές πηγές έχουμε πληροφορίες ότι στην Αίγυπτο, στην Παλαιστίνη και στην Κύπρο υπήρχαν πολλές περιοχές με ορυκτά μεταλλεύματα αιματίτη και λειμωνίτη. Στην Ελλάδα υπήρχαν σε νησιά του Αιγαίου με τη μορφή του ορυκτού χρωμίτη, αλλά δεν είναι γνωστό αν χρησιμοποιήθηκαν για μεταλλουργία στην αρχαιότητα. Στη Μ. Ασία, στη Νότια Τουρκία και στον Πόντο υπήρχαν αρκετές θέσεις μεταλλευμάτων σιδήρου γνωστές κατά την αρχαιότητα.

Λόγω της αφθονίας των ορυκτών του σιδήρου, σπάνια γινόταν εξόρυξη σε βάθος. Μόνο σε εποχές μεγάλης ανάπτυξης της μεταλλουργίας έχουμε ενδείξεις εξόρυξης σιδήρου.

Σημαντικός παράγοντας για την κατεργασία των ορυκτών είναι η παρουσία καύσιμης ύλης (ξυλοκάρβουνο). Γι' αυτό οι περιοχές που επιλέγονταν για μεταλλευτικές εργασίες ήταν κοντά σε δάση και με σταθερό αεράκι, όπου γινόταν επί τόπου εκκαμίνευση - αναγωγή του μεταλλεύματος.

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΟΡΥΚΤΟΥ-ΕΜΠΛΟΥΤΙΣΜΟΣ

Τα περισσότερα ορυκτά του σιδήρου πριν από την εκκαμίνευση χρειάζονται καθαρισμό από τις προσμείξεις - ακαθαρσίες, όπως είναι η άργιλος και η άμμος. Για τον εμπλουτισμό του μεταλλεύματος ακολουθείται η παρακάτω διαδικασία:

1. Θρυμματίζουμε σε πολλά μικρά κομματάκια το ορυκτό.
2. Πλένουμε το ορυκτό με τρεχούμενο νερό, για να απομακρυνθούν οι ελαφριές και αδύναμες προσμείξεις.

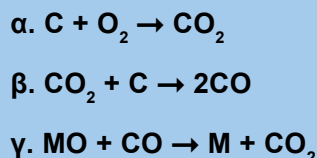
Εάν το ορυκτό δεν είναι καθαρό, ακολουθεί «φρύξη», δηλαδή θέρμανσή του:

- α. για να απομακρυνθούν τα ανθρακικά ή θειούχα,
 β. για να απομακρυνθεί το νερό από ενυδατωμένης μορφής ορυκτά,
 γ. για να γίνει το ορυκτό πιο πορώδες, άρα να αναχθεί ευκολότερα.

Κατά τη φρύξη χρησιμοποιούσαν μέτρια θερμοκρασία και οξειδωτικές συνθήκες.

ΕΚΚΑΜΙΝΕΥΣΗ

Το ορυκτό τοποθετείται σε καμίνι με ξυλοκάρβουνο, στο οποίο καμίνι διοχετεύεται αέρας, για να δημιουργηθούν οι υψηλές θερμοκρασίες στις οποίες το ορυκτό ανάγεται σε μέταλλο. Με την καύση του ξύλου παράγεται διοξείδιο του άνθρακα λόγω της παρουσίας του οξυγόνου στον αέρα. Σε θερμοκρασίες πάνω από 100°C το διοξείδιο του άνθρακα (CO₂) αντιδρά με ελεύθερο άνθρακα και μετατρέπεται σε μονοξείδιο του άνθρακα (CO), που συντελεί στην αναγωγή του ορυκτού (MO) και στην παραγωγή του μετάλλου (M):



Τα οξείδια του σιδήρου σε υψηλές θερμοκρασίες με ικανοποιητική ποσότητα μονοξειδίου του άνθρακα ανάγονται σε μεταλλικό σίδηρο.

Οι προσμείξεις του ορυκτού που είναι κυρίως το διοξείδιο του πυριτίου ενώνονται με ευτηκτικές ουσίες σχηματίζοντας μια υαλώδη μάζα, η οποία ονομάζεται σκωρία και περιέχει αναπόφευκτα σίδηρο (FeO).

Ο σίδηρος που λαμβάνεται από την εκκαμίνευση έχει σπογγώδη μορφή και ονομάζεται **σπογγώδης σίδηρος**.

Έχει μικρές προσμείξεις, όπως πυρίτιο (Si), νικέλιο (Ni), φώσφορο (P), μαγγάνιο (Mn), και αρκετά οξείδια.

Το υλικό αυτό, για να μετατραπεί σε χρήσιμη πρώτη ύλη, υφίσταται έντονη σφυρηλάτηση και συνεχή θερμική κατεργασία, οπότε μετατρέπεται στο **σφυρήλατο σίδηρο**.

Ο σφυρήλατος σίδηρος είναι μαλακός, ελατός, όλκιμος, ανθεκτικός.

Ο σίδηρος περιέχει επίσης ένα ποσοστό σκωρίας, η οποία πρέπει να απομακρυνθεί.

Η μάζα του σιδήρου σφυρηλατείται εν θερμώ, και έτσι απομακρύνονται οι σκωρίες και το υλικό γίνεται ομοιογενές και συμπαγές.

Οι θερμοκρασίες των καμινιών κατά την αρχαία εποχή δεν ήταν αρκετά υψηλές, για να παραχθεί ο σίδηρος με τη μορφή του λιωμένου μετάλλου. Έτσι, ο σπογγώδης σίδηρος ήταν το μόνο υλικό που διέθετε ο άνθρωπος για την κατασκευή σιδηρένιων αντικειμένων.

Με επίπονη σφυρηλάτηση και με συνεχή θερμική κατεργασία ήταν δυνατή η λήψη πρώτης ύλης, κατάλληλης για όπλα και για εργαλεία.

Κατά τη διαδικασία αυτή περιοχές του σφυρηλατημένου κομματιού εμπλουτίζονται με άνθρακα και μετατρέπονται σε χάλυβα, υλικό πολύτιμο για τις ιδιότητές του.

Σίδηρο με τη μορφή λιωμένου μετάλλου κατασκεύασαν πρώτοι οι Κινέζοι. Ο σίδηρος αυτός έχει διαλυμένη ποσότητα άνθρακα 3-5% και ονομάζεται χυτοσίδηρος. Χυτοσίδηρος κατασκευάστηκε για πρώτη φορά στη Δ. Ευρώπη μόλις κατά το 15ο αι. μ.Χ.

Η κατασκευή του χυτοσίδηρου σε μεγάλες ποσότητες στους μετέπειτα αιώνες υπήρξε αποφασιστικής σημασίας επίτευγμα, στο οποίο βασίστηκε η βιομηχανική επανάσταση.

ΕΝΑΝΘΡΑΚΩΣΗ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

Χάλυβας ονομάζεται ο σίδηρος που περιέχει έως 2% άνθρακα στη σύστασή του. Η διαφορά του με το μαλακό και ελατό σίδηρο είναι η παρουσία μεγαλύτερης ποσότητας άνθρακα.

Για την κατασκευή του χάλυβα πραγματοποιείται **ενανθράκωση** του σιδήρου. Ενανθράκωση ονομάζεται η διαδικασία προσθήκης άνθρακα απευθείας επάνω στην επιφάνεια του σιδήρου, κατά την οποία κάτω από κατάλληλες συνθήκες ο άνθρακας διεισδύει μέσα στο μέταλλο.

Η σκληρότητα του χάλυβα είναι μεγαλύτερη από αυτήν του καθαρού σιδήρου.

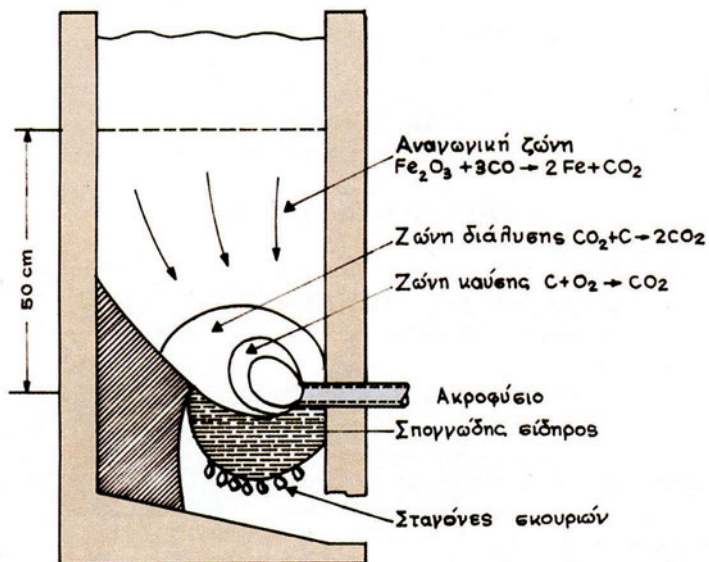
Αν, όμως, ο χάλυβας κρυώσει φυσιολογικά δεν είναι αρκετά σκληρός. Για να επιτευχθεί αυτό, ο χάλυβας ψύχεται απότομα, με αποτέλεσμα να αποκτά καλύτερες ιδιότητες.

ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

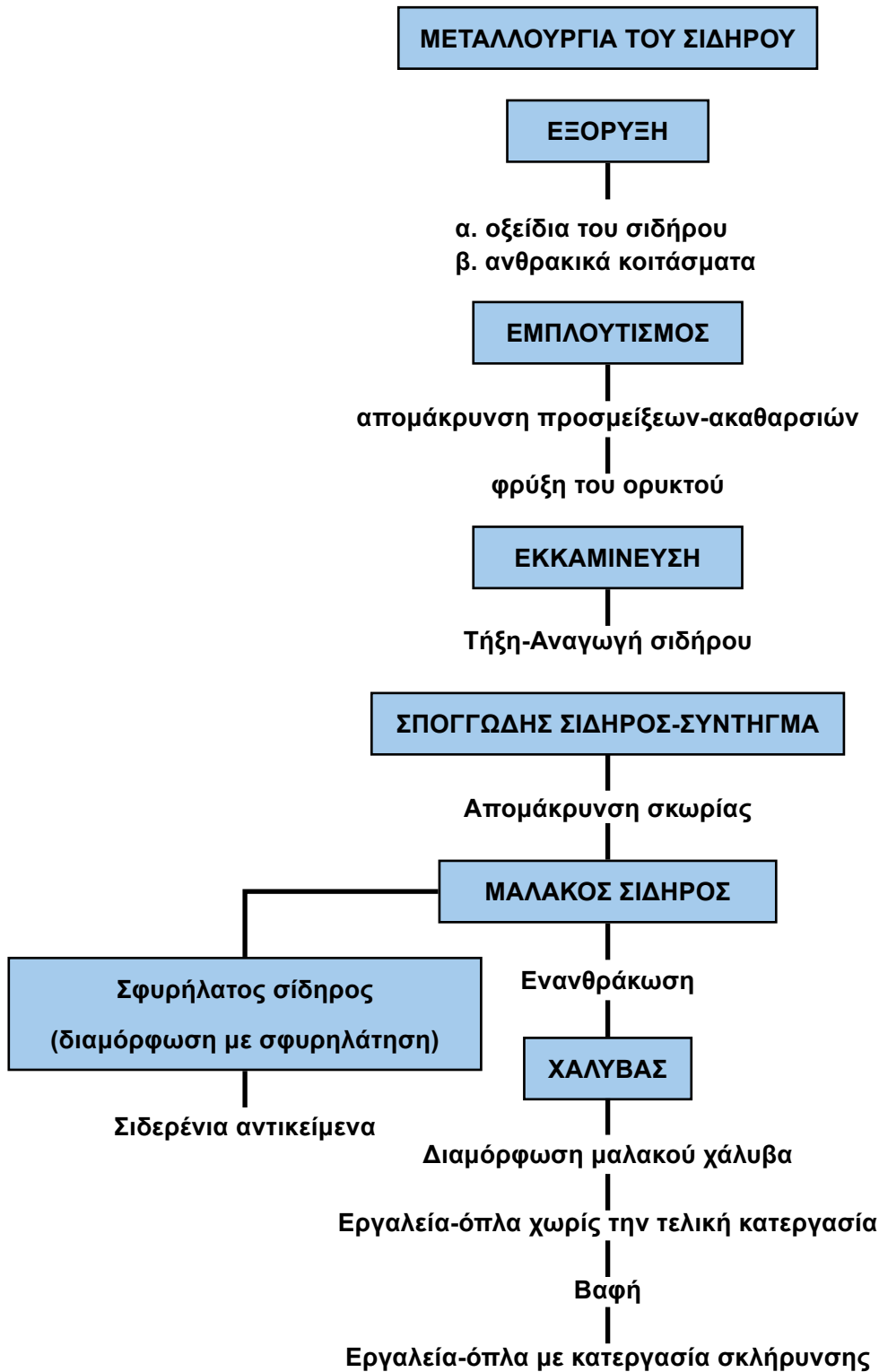
Βαφή ονομάζεται η θέρμανση του χάλυβα σε μια ορισμένη θερμοκρασία ανάλογα με τη συγκέντρωση του άνθρακα και στη συνέχεια η απότομη ψύξη του. Η απότομη ψύξη επιτυγχάνεται με την εμβάπτιση του διάπυρου μετάλλου σε λουτρό από νερό ή λάδι.

Η σχέση θερμοκρασίας και ποσοστού άνθρακα είναι αντιστρόφως ανάλογη. Ένας χάλυβας με υψηλό ποσοστό άνθρακα απαιτεί χαμηλή θερμοκρασία, ενώ με μικρό ποσοστό άνθρακα απαιτεί υψηλή θερμοκρασία.

Πολλές φορές ένας χάλυβας είναι εύθραυστος, ακόμα και αν βαφεί στη σωστή θερμοκρασία. Στην περίπτωση αυτή απαιτείται επαναθέρμανσή του, για να αποκτήσει τις απαιτούμενες ιδιότητές του.



Φούρνος εκκαμίνευσης του σιδήρου και οι συνθήκες που επικρατούν στο εσωτερικό του.



Άσκηση 1. Να συγκεντρωθούν πληροφορίες για τον τρόπο διάδοσης της χρήσης του σιδήρου στον ελλαδικό χώρο. Σε ποιες περιοχές αναπτύχθηκε η κατεργασία του;

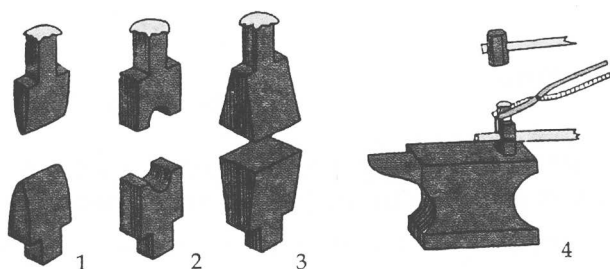
ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

ΣΦΥΡΗΛΑΤΗΣΗ

Τα περισσότερα μέταλλα μπορούν να μορφοποιηθούν με σφυρηλάτηση και με περιοδική ανόπτηση. Ο σίδηρος, όμως, πρέπει πρώτα να θερμανθεί (πυρωμένο σίδηρο) και στη συνέχεια σφυρηλατείται όσο διάστημα είναι θερμός.

Η σφυρηλάτησή του γίνεται πάνω σε ένα αμόνι, που μπορεί να είναι μεταλλικό ή πέτρινο, καλυμμένο με φύλλο σιδήρου.

Το μέταλλο συγκρατείται με λαβίδες πάνω στο αμόνι και στη συνέχεια σφυρηλατείται με κατάλληλα σφυριά.



Αμόνι και εργαλεία για την κοπή (1), για το σχηματισμό ράβδων (2) και επίπεδων φύλλων (3) σιδήρου.

ΣΥΝΔΕΣΗ-ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ

Στις περισσότερες περιπτώσεις ο πιο ικανοποιητικός τρόπος σύνδεσης σιδήρου επιτυγχάνεται με τη συγκόλληση, με σφυρηλάτηση εν θερμώ μέχρι λευκοπύρωσης των δύο κομματιών.

Κατά τη διάρκεια της σφυρηλάτησης του μετάλλου λαμβάνονται λεπτές ράβδοι σιδήρου. Για την κατασκευή αντικειμένων μεγαλύτερου πάχους, ράβδοι σιδήρου συνδέονται μεταξύ τους.

Αυτή η μέθοδος σύνδεσης μπορεί να γίνει με σφυρηλάτηση του πυρωμένου σιδήρου στο αμόνι.



Τρόποι συγκόλλησης σιδερένιων ράβδων.

Ο τρόπος συγκόλλησης με τον οποίο ένα κομμάτι μετάλλου τοποθετείται επάνω σε ένα άλλο και στη συνέχεια σφυρηλατείται έχει το μειονέκτημα ότι στο σημείο συγκόλλησης η επιφάνεια του μετάλλου έχει μεγαλύτερο πάχος.

Σε μερικές περιπτώσεις η αύξηση της δύναμης στο σημείο συγκόλλησης επιτυγχάνεται με τη συγκόλληση ενός κομματιού μετάλλου στην εσωτερική πλευρά του σημείου σύνδεσης.

Με τον τρόπο συγκόλλησης ενός κομματιού μετάλλου πάνω σε ένα άλλο μπορούν να συνδεθούν μεταξύ τους κομμάτια σιδήρου και χάλυβα με διαφορετικό ποσοστό άνθρακα.

Ο σίδηρος με το χάλυβα μπορούν να συγκολληθούν με κράμα χαλκού· η συγκόλληση αυτή δεν έχει την ίδια δύναμη με αυτήν που επιτυγχάνεται με τη συγκόλληση των κομματιών με εν θερμώ σφυρηλάτηση.

Καρφιά έχουν χρησιμοποιηθεί στη σύνδεση κομματιών σιδήρου ή χάλυβα. Σιδερένια καρφιά εφαρμόζονται εν θερμώ, αλλά δεν προσδίδουν ικανοποιητική δύναμη στο σημείο σύνδεσης.

ΔΙΑΚΟΣΜΗΣΗ ΤΟΥ ΧΑΛΥΒΑ

Σιδερένια αντικείμενα ή αντικείμενα από χάλυβα μπορούν να φέρουν στην επιφάνειά τους άλλα μέταλλα με τη μορφή της επικάλυψης ή της ένθεσης.

Ως ένθετα χρησιμοποιούνται ο χρυσός, ο άργυρος, ο μπρούντζος, ο χαλκός και το σμάλτο με την τοποθέτησή τους με σφυρηλάτηση ή με χύτευση σε κατάλληλα διαμορφωμένες εσοχές στην επιφάνεια του μετάλλου.

Για την επιμετάλωσή τους έχουν χρησιμοποιηθεί ο χρυσός και ο άργυρος, οι οποίοι σφυρηλατούνται και συγκροτούνται σε εσοχές - εξοχές που έχουν σχηματιστεί στην επιφάνεια του σιδήρου ή του χάλυβα.

Για τη δημιουργία διακοσμητικών μοτίβων γίνεται συγκόλληση με σφυρηλάτηση εν θερμώ ράβδων μετάλλου με διαφορετική σύσταση, οι οποίες παρουσιάζουν διαφοροποίηση στην ενιαία επιφάνειά τους δημιουργώντας πιο φωτεινές ή πιο σκούρες ταινίες.

Άσκηση 2. Να καταγραφούν οι κατηγορίες αντικειμένων που είχαν κατασκευαστεί από σίδηρο - χάλυβα στην αρχαιότητα. Ποια η χρησιμότητα αυτών των αντικειμένων και πώς συνέβαλαν στην εξέλιξη του ελληνικού πολιτισμού;

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ

ΓΕΝΙΚΑ

Ο σίδηρος ανήκει στην κατηγορία των μετάλλων που διαβρώνονται έντονα από τη δράση του περιβάλλοντος στο οποίο βρίσκονται, π.χ. του εδάφους, της ατμόσφαιρας.

Ο σίδηρος, όταν έχει δεχτεί επεξεργασία για την κατασκευή αντικειμένων, είναι ενεργειακά αναβαθμισμένος.

Όταν βρεθεί σε κατάλληλες συνθήκες (διαβρωτικό περιβάλλον), μετατρέπεται σε προϊόντα διάβρωσης, που προσομοιάζουν στη σύσταση των ορυκτών μεταλλευμάτων του, τα οποία είναι η πιο σταθερή μορφή του μετάλλου στη φύση.

Ο ΣΙΔΗΡΟΣ ΣΕ ΞΗΡΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Ο σίδηρος παρουσία O_2 σε ξηρό περιβάλλον σχηματίζει οξειδίο του μετάλλου, και η μεταλλική επιφάνεια καλύπτεται από λεπτό στρώμα καφέ χρώματος, που αποτελεί την ελαφρά προστατευτική πατίνα.

Ο ΣΙΔΗΡΟΣ ΣΕ ΥΓΡΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Ο σίδηρος παρουσία οξυγόνου σε υγρό περιβάλλον σχηματίζει αρχικά υδροξείδιο του δισθενούς σιδήρου ($Fe(OH)_2$), το οποίο ταχέως οξειδώνεται προς υδροξείδιο του τρισθενούς σιδήρου. Το προϊόν αυτό εμφανίζεται με τη μορφή ογκώδους καφέ-κόκκινου χρώματος προϊόντων διάβρωσης, και ουσιαστικά πρόκειται για άμορφο λειμωνίτη ($Fe_2O_3 \cdot H_2O$). Αν η ποσότητα οξυγόνου είναι περιορισμένη, σχηματίζεται μαγνητίτης (Fe_3O_4) με το σχηματισμό μαύρου στρώματος προϊόντων διάβρωσης. Τα συνηθισμένα προϊόντα διάβρωσης δε σχηματίζουν προστατευτικό στρώμα στην επιφάνεια του μετάλλου, και τέτοιο ρόλο σε κάποιο βαθμό παίζει μόνο ο μαγνητίτης.

Ο ΣΙΔΗΡΟΣ ΣΕ ΥΓΡΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΑΠΟΥΣΙΑ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

Ο σίδηρος σε υγρό περιβάλλον απουσία οξυγόνου σχηματίζει αρχικά στερεό υδροξείδιο του δισθενούς σιδήρου ($Fe(OH)_2$) και στη συνέχεια μαγνητίτη (Fe_3O_4), τα οποία όμως δεν έχουν προστατευτική δράση.

Ο ΣΙΔΗΡΟΣ ΣΕ ΟΞΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Όταν ο σίδηρος βρεθεί σε όξινο περιβάλλον, έχουμε αντικατάσταση των ιόντων υδρογόνου σε διαλύματα οξέος από ιόντα μετάλλου.

Έτσι, παρουσία θειούχων ενώσεων επιταχύνεται η διάβρωση του μετάλλου με το σχηματισμό θειούχων ενώσεων του σιδήρου.

Η ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΣΙΔΗΡΟΥ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ/ΑΝΑΣΚΑΦΗ

Η διάβρωση του σιδήρου στο έδαφος είναι δύσκολο να περιγραφεί, διότι οι παράγοντες που συντελούν σε αυτή διαφοροποιούνται ανά πάσα στιγμή, αφού οι συνθήκες του εδάφους μεταβάλλονται ανάλογα με τη θερμοκρασία, με το ποσοστό του νερού, με το είδος και με την ποσότητα των διαλυμένων ουσιών.

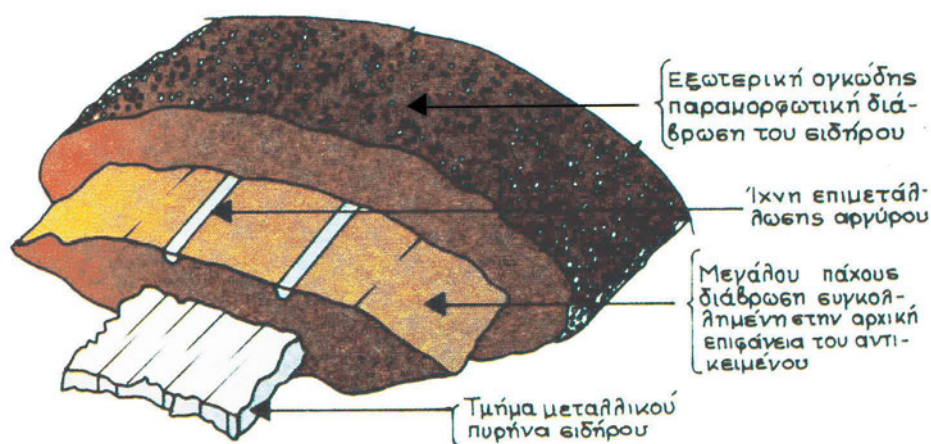
Θεωρείται δύσκολο να συμπεράνουμε τους ακριβείς μηχανισμούς της διάβρωσης ενός σιδηρένιου αντικειμένου που προέρχεται από τον ανασκαφικό χώρο.

Επίσης, η μεγάλη χρονική διάρκεια ταφής των σιδηρένιων αντικειμένων και οι εναλλαγές στις συνθήκες του εδάφους συνεπάγονται και διαφορετικές κάθε φορά δράσεις.

Χαρακτηριστικό φαινόμενο στη διάβρωση του εδάφους θεωρείται ο διαφορικός αερισμός, με τον οποίο η διαφορετική παροχή οξυγόνου σε περιοχές της μεταλλικής επιφάνειας του σιδηρένιου αντικειμένου έχει ως αποτέλεσμα τη διάβρωση της περιοχής με τη μικρότερη παρουσία οξυγόνου.

Στη διάβρωση των σιδηρένιων αντικειμένων σημαντικό ρόλο παίζουν τα διαλυτά συστατικά που περιέχονται στο έδαφος, τα οποία αντιδρώντας με τα ιόντα του μετάλλου οδηγούν στο σχηματισμό προϊόντων διάβρωσης:

1. Όταν ένα σιδηρένιο αντικείμενο βρίσκεται θαμμένο σε ανθρακικά εδάφη, έχουμε την ένωση των ιόντων του σιδήρου (Fe^{2+}) με την ανθρακική ρίζα (CO_3^{2-}) για το σχηματισμό ανθρακικού σιδήρου (FeCO_3) - σιδηρίτη, με την παρουσία CaCO_3 .
2. Η παρουσία φωσφορικών ριζών, που προέρχονται από την αποικοδόμηση οργανικών υλικών, οδηγεί στο σχηματισμό φωσφορικών αλάτων του σιδήρου, όπως, π.χ., είναι ο ένυδρος φωσφορικός δισθενής σίδηρος ($\text{Fe}_3(\text{PO}_4)_2 \cdot 8\text{H}_2\text{O}$), εξαιτίας του οποίου δημιουργείται επάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου ένα προστατευτικό στρώμα προϊόντων διάβρωσης μαύρου-μπλε χρώματος.
3. Η δράση των θειοαναγωγικών βακτηρίων σε αναερόβιες συνθήκες οδηγεί στο σχηματισμό θειούχου σιδήρου, όπως, π.χ., FeS_2 (σιδηροπυρίτης).



Σχηματική απεικόνιση τομής ενός διαβρωμένου επιμεταλλωμένου σιδερένιου αντικειμένου.

ΔΡΑΣΗ ΤΩΝ ΧΛΩΡΟΪΟΝΤΩΝ

Η παρουσία των χλωροϊόντων στο έδαφος αποτελεί τον πιο δραστικό παράγοντα φθοράς των σιδερένιων αντικειμένων. Τα ιόντα χλωρίου συντελούν στη διάβρωση με βελονισμούς. Επίσης, η δράση τους συντελεί στην καταστροφή ή στην παρεμπόδιση του σχηματισμού οποιουδήποτε προστατευτικού στρώματος.

Τα χλωροϊόντα (Cl^-) μπορεί να βρίσκονται:

- α. Με τη μορφή υδατικού διαλύματος μέσα στους πόρους των προϊόντων διάβρωσης.
- β. Προσοφημένα επάνω στα οξείδια και υδροξείδια του σιδήρου.
- γ. Παγιδευμένα μέσα στο κρυσταλλικό πλέγμα προϊόντων διάβρωσης.

Οι δύο τελευταίες μορφές είναι οι πιο επικίνδυνες.

ΒΙΟΛΟΓΙΚΗ ΔΡΑΣΗ

Η διάβρωση σιδερένιων αντικειμένων που βρίσκονται στο έδαφος μπορεί να οφείλεται στη δράση μικροοργανισμών. Παρουσία οξυγόνου δρουν μικροοργανισμοί, όπως τα θειοοξειδωτικά βακτήρια, που παράγουν οξέα τα οποία διαβρώνουν το σίδηρο. Άλλοι μικροοργανισμοί δρουν άμεσα στο μέταλλο του σιδήρου.

Απουσία οξυγόνου έχουμε τη δράση των θειοαναγωγικών βακτηρίων, όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο για τις αναερόβιες συνθήκες, και το σχηματισμό του θειούχου σιδήρου (FeS).

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΣΚΑΦΗ

Η διάβρωση των σιδερένιων αντικειμένων μετά την ανασκαφή οφείλεται κυρίως στην παρουσία χλωριδίων.

Τα ιόντα χλωρίου που βρίσκονται σε κάποια από τις μορφές (β) ή (γ), που αναφέρονται πιο πάνω, παρουσιάζονται ιδιαίτερα ευκίνητα.

Αντικαθίστανται από υδροξύλια (OH⁻) και ταυτόχρονα ελευθερώνουν ιόντα υδρογόνου (H⁺).

Τα ιόντα υδρογόνου δημιουργούν στο σημείο που ελευθερώνονται όξινο περιβάλλον, το οποίο προσβάλλει το σίδηρο.

Μια μικρή συγκέντρωση ιόντων χλωρίου είναι δυνατόν να προκαλέσει τη διάβρωση μεγάλης ποσότητας μετάλλου, επειδή τα ιόντα χλωρίου που βρίσκονται με τη μορφή (β) ή (γ) δεν απομακρύνονται εύκολα από το κρυσταλλικό πλέγμα των προϊόντων διάβρωσης.

ΜΟΡΦΕΣ ΦΘΟΡΑΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΣΚΑΦΗ

Μετά την ανασκαφή τα έντονα διαβρωμένα αντικείμενα ύστερα από κάποιο χρονικό διάστημα παρουσιάζουν:

- α. ρωγμές - ρήγματα επάνω στην επιφάνειά τους,**
- β. αποκόλληση μικρών τμημάτων της επιφάνειας (απολέπιση),**
- γ. σπάσιμο - θραύση.**

Το σπάσιμο του αντικειμένου μπορεί να γίνει:

- παράλληλα με την επιφάνεια (πλήρης αποκόλληση των θραυσμάτων),
- ακτινωτά.

Πολλές φορές δεν είναι δυνατή η επανασύνδεση των θραυσμάτων του αντικειμένου, εφόσον έχουν αποσπαστεί από αυτό, επειδή οι αρχικές διαστάσεις τους μεταβάλλονται εξαιτίας της διάβρωσής τους. Ο ακτινωτός τρόπος θραύσης του αντικειμένου παρατηρείται κυρίως σε πλήρως ορυκτοποιημένα αντικείμενα ή σε αυτά που διατηρούν μικρό μεταλλικό πυρήνα.

Ο μόνος δυνατός τρόπος αποφυγής του φαινομένου μετά την ανασκαφή είναι η άμεση συντήρηση των μεταλλικών αντικειμένων ή η συσκευασία και αποθήκευσή τους σε κατάλληλες και ελεγχόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες, με σχετική υγρασία πολύ χαμηλή, εάν είναι δυνατόν κάτω από 20%.



Μορφές φθοράς διαβρωμένου σιδερένιου αντικειμένου.

ΜΟΡΦΗ - ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

ΑΠΟ ΑΝΑΣΚΑΦΗ

Πατίνα ή λεπτό στρώμα καφέ - κόκκινου χρώματος

Ενώ μπλε, μαύρα ή καφέ οξειδία μπορεί να έχουν σχηματιστεί από ελεγχόμενη θέρμανση του σιδήρου, η καφέ πατίνα σχηματίζεται φυσιολογικά σε σχετικά ξηρό περιβάλλον το οποίο δεν έχει μολυνθεί. Οπωσδήποτε η παρουσία υγρασίας και μολυντών (στοιχείων διάβρωσης) θα δημιουργήσουν αρχικά πατίνα με τη μορφή ενός λεπτού στρώματος ορυκτών, το οποίο όμως με κανένα τρόπο δε δρα προστατευτικά.

Ογκώδη προϊόντα διάβρωσης καφέ - κόκκινου χρώματος

Σε αυτή την κατάσταση εμφανίζεται συνήθως ο σίδηρος που αποκαλύπτεται με ανασκαφή από υγρές και αεριζόμενες περιοχές. Το σχήμα του αντικειμένου αρκετές φορές δεν είναι αναγνωρίσιμο, επειδή, συχνά, μπορεί να υπάρχουν συσσωματωμένα σ' αυτό χρώματα και πέτρες. Η μάζα αυτή περιλαμβάνει στη σύνθεσή της οξειδία σιδήρου και ανθρακικά. Ο κύριος όγκος της μάζας είναι διάφορα υδροξυοξειδία του σιδήρου (γκαιίτης, λειμωνίτης). Σιδηρίτης (FeCO_3) και ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3) μπορεί να υπάρχουν στο σίδηρο που βρίσκεται σε ασβεστολιθικά εδάφη.

Στις περιπτώσεις στις οποίες υπάρχουν ίχνη σκωρίας, η διαβρωμένη μάζα αποκτά ινώ-

δη μορφή όπως το ξύλο. Αυτή η περίπτωση πρέπει να διαχωρίζεται από την «αντικατάσταση του ξύλου» στα προϊόντα διάβρωσης.

Συμπαγές επιφανειακό στρώμα κεραμιδί χρώματος

Όταν ο σίδηρος θερμανθεί στους 200 °C, σχηματίζεται ένα στρώμα αιματίτη (Fe_2O_3) με έντονο κεραμιδί χρώμα. Αποτελεί εξαιρετικά προστατευτικό στρώμα, το οποίο μπορεί να εμποδίσει για αρκετό χρονικό διάστημα να προχωρήσει η διάβρωση.

Επίσης, τέτοιας μορφής στρώμα μπορεί να εντοπιστεί μέσα σε στρώμα διάβρωσης, όταν η προστασία του αιματίτη έχει διασπαστεί.

Στρώμα προϊόντων διάβρωσης μαύρου χρώματος

Τα σιδερένια αντικείμενα σε υγρό περιβάλλον απουσία οξυγόνου μπορεί να παρουσιάζουν μαύρες επικαθίσεις θειούχων ενώσεων εξαιτίας της αναγωγής των θειικών βακτηρίων.

Το στρώμα αυτό μπορεί να είναι σκληρό ή λασπώδες. Μπορεί, επίσης, να έχει διαβρωθεί σημαντικό μέρος του μετάλλου, με αποτέλεσμα να έχει μειωθεί σημαντικά η μάζα του υλικού.

Πρόντα διάβρωσης μπλε ή μαύρου - μπλε χρώματος

Τέτοιου χρωματισμού προϊόντα διάβρωσης οφείλονται στις εναποθέσεις του φωσφορικού σιδήρου, ο οποίος μετά την ανασκαφή μπορεί να εμφανιστεί και άσπρος παρουσία φωσφορικών ανιόντων.

Έχουμε το σχηματισμό φωσφορικού σιδήρου (βιβιανίτης) κατά τον οποίο δημιουργείται ένα προστατευτικό στρώμα επάνω στη μεταλλική επιφάνεια του σιδήρου.

Πλήρη προστατευτικά επικαλυπτικά στρώματα φωσφορικών ενώσεων συναντάμε σε αναερόβιες συνθήκες σε αντικείμενα που βρίσκονται σε υγρά στρώματα οργανικών υλικών.

Επίσης, τέτοια στρώματα μπορεί να δημιουργηθούν και από άλλα είδη επικαθίσεων, που αποτελούν πηγές φωσφορικών αλάτων.

ΑΠΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Άμορφες μάζες συμπαγούς σιδήρου

Η επιφάνεια των σιδερένιων αντικειμένων που έχουν ανασυρθεί από το βυθό της θάλασσας και έχουν τη μορφή συμπαγούς μάζας είναι συνήθως καλυμμένη από ένα λεπτό λευκό ή καφέ στρώμα προϊόντων διάβρωσης, αλλά πιο συχνά καλύπτεται από χαλαρές

επικαθίσεις προϊόντων που περιέχουν υψηλή αναλογία ανθρακικού ασβεστίου και μαγνησίου, καθώς επίσης και σιδηρίτη (FeCO_3).

Τα προϊόντα που σχηματίζονται είναι οξειδία ή ένυδρα οξειδία του σιδήρου και θειούχος σίδηρος.

Ο σφυρήλατος σίδηρος τείνει να διαβρωθεί κατά μήκος των γραμμών της σκωρίας που περιέχει, και έτσι το διαβρωμένο μέταλλο συχνά έχει ινώδη επιφάνεια που μοιάζει με ξύλο.

Προϊόντα διάβρωσης μαύρου χρώματος

Ο σίδηρος σε περιοχές με έντονη παρουσία θειοαναγωγικών βακτηρίων σχηματίζει θειούχες ενώσεις σιδήρου, όπως συμβαίνει και στα αντικείμενα που αποκαλύπτονται ύστερα από ανασκαφή.

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ ΤΩΝ ΣΙΔΕΡΕΝΙΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Συνήθως τα σιδερένια αντικείμενα είναι καλυμμένα με προϊόντα διάβρωσης, τα οποία ποικίλλουν ανάλογα με τις συνθήκες που επικρατούν στο περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται τα αντικείμενα.

Τα ιόντα του σιδήρου, που σχηματίζονται κατά τη διάβρωση, μπορούν να αντιδράσουν με διάφορα συστατικά του εδάφους, γεγονός που διαφοροποιεί την κατάσταση διατήρησης και το βαθμό διάβρωσης των σιδερένιων αντικειμένων. Η διάβρωση του σιδήρου ξεκινά με απώλεια μετάλλου από την επιφάνεια του αντικειμένου και συνεχίζεται με διάχυση των ιόντων του μετάλλου μέσα από τα προϊόντα διάβρωσης προς το διαβρωτικό περιβάλλον.

Δημιουργούνται έτσι στρώματα προϊόντων διάβρωσης προς τα έξω, και προκαλείται με αυτό τον τρόπο αύξηση του αρχικού όγκου του αντικειμένου (μεταβολή των αρχικών διαστάσεών του).



Σιδερένιο καρφί με ογκώδη προϊόντα διάβρωσης που μεταβάλλουν τις αρχικές του διαστάσεις.

Η διαδικασία αυτή είναι εξαιρετικά πολύπλοκη λόγω της δράσης των μηχανισμών διάβρωσης σε περιορισμένη περιοχή με βελονισμούς.

Ανάλογα με την έκταση της διάβρωσης τα αντικείμενα μπορούν να ταξινομηθούν σε:

1. Πολύ καλά διατηρημένα, με επιφανειακή πατίνα, που είναι πολύ λεπτό στρώμα προϊόντων διάβρωσης, το οποίο δρα προστατευτικά στη μεταλλική επιφάνεια. Αυτή η μορφή διατήρησης σπανίζει για τα σιδερένια αντικείμενα.

2. Σχετικά καλά διατηρημένα, με μικρού πάχους στρώμα προϊόντων διάβρωσης. Η αρχική επιφάνεια διατηρείται κάτω από τα προϊόντα διάβρωσης.

3. Μέτρια διατηρημένα, τα οποία καλύπτονται από ογκώδη μάζα προϊόντων διάβρωσης, στο εξωτερικό στρώμα της οποίας περιλαμβάνονται και άλλες προσμείξεις όπως άμμος, πέτρες κτλ.

Στην περίπτωση αυτή διατηρείται ο μεταλλικός πυρήνας και η αρχική επιφάνεια του αντικειμένου σώζεται μεταξύ των προϊόντων διάβρωσης.

4. Κακώς διατηρημένα, στα οποία έχει ολοκληρωθεί η διάβρωση, δηλαδή το αντικείμενο έχει πλήρως ορυκτοποιηθεί, και κάτω από τα ογκώδη προϊόντα της ο μεταλλικός πυρήνας ή τμήματά του έχουν αντικατασταθεί από μαύρο συμπαγή μαγνητίτη.



Λεπτομέρεια όπου παρατηρεί κανείς ότι ο μεταλλικός πυρήνας έχει αντικατασταθεί από μαύρο μαγνητίτη.

5. Πολύ κακώς διατηρημένα, στα οποία το αντικείμενο έχει πλήρως ορυκτοποιηθεί, όπως και στην προηγούμενη περίπτωση, ο συμπαγής πυρήνας έχει εξαφανιστεί και στη θέση του υπάρχει κενό - μια κοιλότητα.

Επίσης, ανάλογα με την κατάσταση διατήρησής τους τα αντικείμενα μπορούν να διαχωριστούν:

- α. σε αυτά που διατηρούν μεταλλικό πυρήνα και**
- β. στα πλήρως ορυκτοποιημένα.**

Τα αντικείμενα που φέρουν μεταλλικό πυρήνα είναι πιο επιρρεπή στη διάβρωση μετά την απομάκρυνσή τους από την ανασκαφή, ενώ η κατάσταση των πλήρως ορυκτοποιημένων αντικειμένων θεωρείται σταθερή, διότι η διαδικασία της διάβρωσής τους έχει ολοκληρωθεί, δηλαδή δεν υπάρχουν διαθέσιμα ιόντα σιδήρου, για να συμβεί περαιτέρω διάβρωση μετά την έκθεσή τους στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον.

Τα σιδερένια αντικείμενα που διατηρούν μεταλλικό πυρήνα εξακολουθούν να διαβρώνονται μετά την ανασκαφή, εάν παραμείνουν για κάποιο χρονικό διάστημα σε μη ελεγχόμενες περιβαλλοντικές συνθήκες. Η παρουσία οξυγόνου και υγρασίας σε συνδυασμό με τα προϊόντα της διάβρωσης, και πιο συγκεκριμένα με τα συστατικά που περιέχουν, προκαλούν επέκταση της φθοράς του αντικειμένου.

Τα κομμάτια είναι δύσκολο να συγκολληθούν, επειδή συνήθως οι διαστάσεις τους έχουν στο μεταξύ μεταβληθεί. Η έντονη διάβρωση των σιδερένιων αντικειμένων οφείλεται:

α. στην ύπαρξη υψηλής σχετικής υγρασίας στο περιβάλλον,

β. στην ύπαρξη ιόντων χλωρίου, τα οποία ευνοούν τη δημιουργία ασταθών προϊόντων διάβρωσης.

Άσκηση 3. Σε σιδερένια αντικείμενα που χρειάζονται συντήρηση να εντοπιστούν το είδος και ο βαθμός διάβρωσής τους.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΩΝ ΣΙΔΕΡΕΝΙΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

ΓΕΝΙΚΑ

Η συντήρηση ενός σιδερένιου αντικειμένου έχει στόχο να επιβραδύνει ή να παρεμποδίσει τη φθορά του και να αποκαταστήσει την τυχόν χαμένη αρχική εικόνα του.

Ο σίδηρος χρησιμοποιήθηκε πάρα πολύ στην αρχαιότητα για την κατασκευή καθημερινών αντικειμένων. Όσα από αυτά έχουν φτάσει σ' εμάς ύστερα από ανασκαφές έχουν μεγάλη αρχαιολογική αξία ως μοναδικά ευρήματα. Παράλληλα, όμως, από την τεχνολογία κατασκευής τους αντλούμε πληροφορίες για την εξέλιξη της αρχαίας μεταλλουργίας.

Η διαδικασία συντήρησης των σιδερένιων αντικειμένων ακολουθεί την παρακάτω σειρά:

1. Καθαρισμός.
2. Σταθεροποίηση (απομάκρυνση χλωροϊόντων).
3. Στερέωση.
4. Επικάλυψη - Προστασία.
5. Αποθήκευση - Έκθεση.

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΣΙΔΕΡΕΝΙΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Με τον καθαρισμό των σιδερένιων αντικειμένων επιχειρείται η αφαίρεση των προϊόντων διάβρωσης σε ποσοστό τόσο, ώστε να αναδειχθεί η αρχική μορφή τους. Η πλήρης αφαίρεση των προϊόντων διάβρωσης ονομάζεται **απογύμνωση** του μετάλλου και κατά κανόνα αποφεύγεται, διότι, εκτός των άλλων, αποκαλύπτεται το μέταλλο και προκαλείται περαιτέρω διάβρωσή του.

Με τον καθαρισμό, το σιδερένιο αντικείμενο φτάνει σε κατάσταση τέτοια, ώστε να μπορούν πλέον να μελετηθούν οι πληροφορίες που ακόμα διατηρούνται, δηλαδή το σχήμα, η σύσταση κράματος, ο τρόπος κατασκευής κ.ά.

Οι συνηθέστεροι τρόποι που εφαρμόζονται για τον καθαρισμό των σιδερένιων αντικειμένων είναι:

- α. Ο μηχανικός καθαρισμός.
- β. Ο ηλεκτρολυτικός καθαρισμός.
- γ. Ο χημικός καθαρισμός.

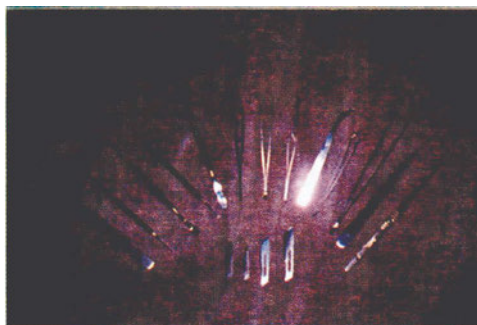
Μηχανικός καθαρισμός

Με το μηχανικό καθαρισμό επιτυγχάνεται η απομάκρυνση προϊόντων διάβρωσης με τη χρήση εργαλείων χειρός ή μηχανοκίνητων. Δεν υπάρχει συγκεκριμένη διαδικασία για την εφαρμογή του και καθορίζεται από την κατάσταση κάθε αντικειμένου.

Σε έντονα διαβρωμένα αντικείμενα χρειάζεται ιδιαίτερη προσοχή στις τάσεις που ασκούνται, διότι αυτές μπορεί να προκαλέσουν σε περαιτέρω φθορά τους.

Ως εργαλεία χειρός χρησιμοποιούνται συνήθως τα εξής:

1. Νυστέρι με λεπίδες διαφορετικών μεγεθών.
2. Βελόνα προσαρμοσμένη σε μεταλλικό στέλεχος.
3. Διάφορα οδοντιατρικά εργαλεία.



Εργαλεία χειρός που χρησιμοποιούνται στο μηχανικό καθαρισμό.

Ως μηχανοκίνητα εργαλεία μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα εξής:



Χρήση οδοντιατρικού τροχού.

1. Οδοντιατρικός τροχός με τη χρήση των κατάλληλων εξαρτημάτων (βουρτσάκια) για την απομάκρυνση προϊόντων διάβρωσης και για την εξομάλυνση επιφανειακών ανωμαλιών.
2. Συσκευή αμμοβολής, όπου το ποσό της σκόνης που εκτοξεύεται, η σκληρότητα και το μέγεθος της καθορίζονται από την κατάσταση και από το βαθμό διάβρωσης του αντικειμένου.

3. Συσκευή υπερήχων, που βοηθά στην απομάκρυνση των προϊόντων διάβρωσης.

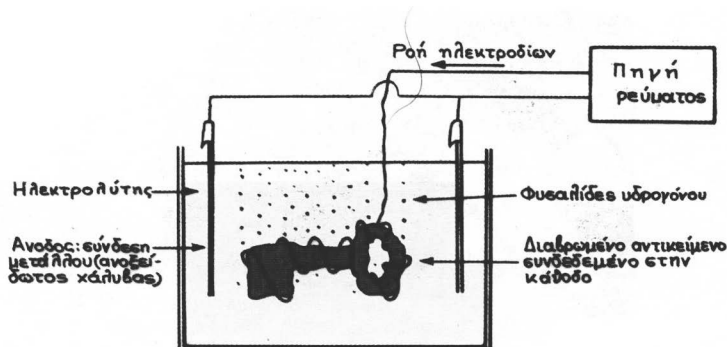
Άσκηση 4. Σε σιδερένια αντικείμενα που είναι διαβρωμένα να απομακρυνθούν τα στρώματα των προϊόντων διάβρωσης με τη χρήση οδοντιατρικού τροχού και συσκευής αμμοβολής.

Ηλεκτρολυτικός καθαρισμός

Κατά τον ηλεκτρολυτικό καθαρισμό το αντικείμενο συνδέεται με την κάθοδο ηλεκτρικής πηγής συνεχούς ρεύματος. Στη συνέχεια τα δύο ηλεκτρόδια, κάθοδος (αντικείμενο) και άνοδος (συνήθως ανοξειδωτος χάλυβας), εμβαπτίζονται σε κάποιο λουτρό (ηλεκτρολύτης που άγει το ηλεκτρικό ρεύμα).

Αρχή της μεθόδου:

Με την παροχή ρεύματος επιτυγχάνεται έκλυση υδρογόνου στην κάθοδο και οξυγόνου στην άνοδο.



Ηλεκτρολυτικός καθαρισμός σιδερένιου αντικείμενου.

Το ρεύμα διοχετεύεται στη διάταξη, πριν εμβαπτίσουμε το αντικείμενο στον ηλεκτρολύτη. Η παροχή του ρεύματος σταματά μετά την απομάκρυνση του αντικειμένου, για να αποφύγουμε τυχόν διάβρωσή του από τον ηλεκτρολύτη.

Με τη ροή του ηλεκτρικού ρεύματος το αέριο υδρογόνο που εκλύεται σχηματίζει φυσαλίδες κάτω από τα προϊόντα διάβρωσης, στην επιφάνεια του μετάλλου. Με αυτές τις φυσαλίδες απομακρύνονται τα προϊόντα διάβρωσης. Επίσης, το υδρογόνο μπορεί να δράσει κατά ένα μέρος και αναγωγικά, ανάγοντας τα προϊόντα διάβρωσης σε διαφορετική μορφή (σε μαγνητίτη, που αφαιρείται μηχανικά), ή σε μεταλλικό σίδηρο. Παρατηρείται

μεταφορά των ιόντων από το αντικείμενο (κάθοδος) στο αδρανές μέταλλο (άνοδος) και συγκράτηση των κατιόντων στην επιφάνεια του μετάλλου.

Ως ηλεκτρολύτες μπορούν να χρησιμοποιηθούν τα διαλύματα:

α. Υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) β. ανθρακικού νατρίου (Na₂CO₃).

Η παροχή ρεύματος κυμαίνεται από 3-12 Volts, και η πυκνότητα του ρεύματος από 2-5 Amps/dm².

Χημικός καθαρισμός

Σκοπός του χημικού καθαρισμού είναι η σταδιακή απομάκρυνση κάποιας ποσότητας των προϊόντων διάβρωσης, ώστε να αποκαλυφθούν πληροφορίες που διασώζονται ανάμεσα σε αυτά. Για το σκοπό αυτό χρησιμοποιούνται:

α. Σύμπλοκες ενώσεις

Οι ενώσεις αυτές περιέχουν ανιόντα τα οποία αντιδρούν με τα ιόντα του σιδήρου και σχηματίζουν διαλυτές σύμπλοκες ενώσεις. Τέτοια ένωση είναι το E.D.T.A. (αιθυλένο - διάμινο - τετραοξικό οξύ). Το E.D.T.A. σχηματίζει χημικά σύμπλοκα με τα ιόντα του μετάλλου (μεταλλοκατιόντα), δεσμεύει τα ιόντα του σιδήρου και επιτρέπει τη διάσπαση και τη διάλυση των οξειδίων του μετάλλου. Επίσης, αποτελεσματικά συμπλοκοποιά μέσα, με το σίδηρο, είναι το κιτρικό, το οξαλικό ή το φωσφορικό ανιόν.

Συνήθως χρησιμοποιείται το άλας του E.D.T.A. με δυο άτομα νατρίου. Κατά την εφαρμογή του μπορούμε να ελέγχουμε τη δράση του ρυθμίζοντας το pH σε αλκαλική περιοχή (μειωμένη δράση).

Με τη μορφή των αλάτων τους χρησιμοποιούνται και οι υπόλοιπες συμπλοκοποιές ενώσεις. Απαιτείται προσοχή στην εφαρμογή τους, ώστε να μην αντιδράσουν οι σύμπλοκες ενώσεις με το κυρίως μέταλλο απομακρύνοντας από αυτό ιόντα μετάλλου.

β. Οξέα

Για τον καθαρισμό των σιδερένιων αντικειμένων έχουν χρησιμοποιηθεί οργανικά και ανόργανα οξέα.

Από τα ανόργανα οξέα έχουν χρησιμοποιηθεί: α. το θειικό οξύ,
β. το φωσφορικό οξύ.

Από τα οργανικά έχουν χρησιμοποιηθεί:

α. το οξικό οξύ, β. το κιτρικό οξύ, γ. το θειογλυκολικό οξύ και δ. το οξαλικό οξύ.

Επειδή, όμως, ο σίδηρος διαβρώνεται έντονα από τα οξέα, θα πρέπει να αποφεύγεται η χρήση τους, και σε περίπτωση εφαρμογής τους να χρησιμοποιούνται αναστολείς.

Η μέθοδος δεν είναι ελεγχόμενη και μπορεί να προκληθεί διάβρωση του μεταλλικού αντικειμένου πέρα από την απομάκρυνση των προϊόντων διάβρωσης.

Με την εφαρμογή χημικών μέσων για τον καθαρισμό των σιδερένιων αντικειμένων πραγματοποιούμε απογύμνωση της μεταλλικής επιφάνειας καθιστώντας το αντικείμενο ευπαθές στο σχηματισμό νέων προϊόντων διάβρωσης.



*Χάλκινος θώρακας του Φιλίππου,
ανασκαφή Βεργίνας.
Πριν και μετά τη συντήρηση.*

Άσκηση 5. Να πραγματοποιηθεί καθαρισμός σιδερένιων αντικειμένων με τη χρήση χημικών μεθόδων και στη συνέχεια να γίνουν παρατηρήσεις σχετικά με τα αποτελέσματα της εφαρμογής τους.

ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΣΙΔΕΡΕΝΙΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Με τη συντήρηση ενός σιδερένιου αντικειμένου, εκτός από την αποκατάσταση της αρχικής μορφής του, επιτυγχάνεται η αποτροπή ή η μείωση της φθοράς και της διάβρωσής του.

Με την εφαρμογή των υγρών μεθόδων προσπαθούμε να επιτύχουμε την απομάκρυνση των χλωροϊόντων με την εμβάπτιση του αντικειμένου σε κατάλληλο διάλυμα.

Όταν ένα μεταλλικό αντικείμενο εμβάπτιζεται σε κατάλληλο διάλυμα, τα χλωροϊόντα (Cl⁻), θεωρητικά, θα διαχυθούν από την περιοχή με τη μεγάλη συγκέντρωση (μεταλλικό αντι-

κείμενο) προς την περιοχή με τη μικρότερη συγκέντρωση (διάλυμα που εφαρμόζεται) χωρίς να προκαλείται επιπλέον διάβρωση στο μέταλλο, θεωρητικά.

Οι υγρές μέθοδοι απομάκρυνσης χλωριδίων είναι κυρίως:

1. Το πλύσιμο των αντικειμένων με H_2O (βρύσης ή απιονισμένο) θερμό ή κρύο - θερμό εναλλάξ.
2. Η χρήση αλκαλικών διαλυμάτων ($NaOH$, Na_2CO_3 ή $Na_2CO_3 \cdot NaHCO_3 \cdot 2H_2O$).
3. Η χρήση θερμού αλκαλικού διαλύματος θειώδους νατρίου ($NaOH + Na_2SO_3$).
4. Η ηλεκτρόλυση με αλκαλικό διάλυμα $NaOH$ ή Na_2CO_3 .

1. Απλό πλύσιμο

Στη μέθοδο αυτή το αντικείμενο εμβαπτίζεται σε απιονισμένο νερό, θερμό, ή κρύο - θερμό εναλλάξ.

Κατά την απομάκρυνση των χλωριδίων, η οποία πραγματοποιείται με αργούς ρυθμούς, παρατηρείται επιπλέον διάβρωση του μεταλλικού αντικειμένου, η οποία οφείλεται στο γεγονός ότι αυτό βρίσκεται σε υγρό και θερμό περιβάλλον παρουσία οξυγόνου.

Σε μεταλλικά αντικείμενα όπου τα χλωριόντα (Cl^-) είναι χημικά προσροφημένα στα προϊόντα διάβρωσης δε δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα στην απομάκρυνσή τους, μπορεί, όμως, να εφαρμοστεί σε περιπτώσεις ορυκτοποιημένων μετάλλων.

2. Χρήση αλκαλικών διαλυμάτων

Τα μεταλλικά αντικείμενα τα εμβαπτίζουμε σε αλκαλικά διαλύματα, για να πετύχουμε γρήγορη και ικανοποιητική απομάκρυνση των χλωριδίων.

Με τη χρήση των αλκαλικών διαλυμάτων πετυχαίνουμε επίσης να μην εμφανιστεί περαιτέρω διάβρωση του μετάλλου κατά την εφαρμογή τους, διότι λειτουργούν ως αναστολείς.

Τα μεταλλικά αντικείμενα τα εμβαπτίζουμε σε διαλύματα: α. καυστικού νατρίου ($NaOH$), β. ανθρακικού νατρίου (Na_2CO_3), γ. sesqui ανθρακικού νατρίου ($Na_2CO_3 \cdot NaHCO_3 \cdot 2H_2O$). Αλλάζουμε το διάλυμα κάθε εβδομάδα και μετράμε τη συγκέντρωση των χλωριδίων.

Αρχικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί νερό βρύσης και, μόλις η συγκέντρωση Cl^- σταθεροποιηθεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί απιονισμένο νερό. Χρειάζεται μεγάλο χρονικό διάστημα, για να επιτύχουμε τα επιθυμητά αποτελέσματα.

3. Ηλεκτρόλυση

Η ηλεκτρολυτική μέθοδος αναφέρεται ως μέθοδος καθαρισμού των σιδερένιων αντικειμένων, μπορεί όμως να χρησιμοποιηθεί και ως μέθοδος σταθεροποίησης. Σε κάθε πε-

ρίπτωση ακολουθείται η ίδια αρχή, δηλαδή το αντικείμενο να αποτελεί την κάθοδο και ο ανοξειδωτος χάλυβας την άνοδο του ηλεκτρολυτικού κελιού. Με εμφύσηση σε αλκαλικό διάλυμα επιτυγχάνεται η απομάκρυνση των χλωριόντων λόγω της συγκέντρωσης των ανιόντων στην άνοδο. Ταυτόχρονα έχουμε απομάκρυνση των προϊόντων διάβρωσης και μερική αναγωγή όσων παραμένουν σε μαγνητίτη. Αυτές οι δράσεις διευκολύνουν τη διάχυση των Cl^- προς τα έξω.

4. Αλκαλικό διάλυμα θειώδους νατρίου ($\text{NaOH} + \text{Na}_2\text{SO}_3$)

Μια άλλη μέθοδος για την απομάκρυνση των χλωριόντων (Cl^-) είναι η χρήση θερμού αλκαλικού διαλύματος θειώδους νατρίου.

Κατά την εφαρμογή της μεθόδου παρατηρούνται ισχυρές αναγωγικές συνθήκες, οι οποίες έχουν ως αποτέλεσμα τη μετατροπή των προϊόντων διάβρωσης σε μαγνητίτη, ο οποίος διευκολύνει τη διάχυση των χλωριόντων.

Θεωρείται η πιο αποτελεσματική μέθοδος σταθεροποίησης. Το αντικείμενο τοποθετείται σε διάλυμα NaOH και Na_2SO_3 , το οποίο θερμαίνεται και διατηρείται σε θερμοκρασία $60 - 80 \text{ }^\circ\text{C}$. Τα θειώδη (SO_3^{2-}) παρουσία οξυγόνου της ατμόσφαιρας μετατρέπονται σε θειικά (SO_4^{2-}) χάνοντας τις αναγωγικές ιδιότητές τους. Γι' αυτό το λόγο θα πρέπει κατά τη διάρκεια δράσης του διαλύματος να απομακρύνεται το οξυγόνο με κλείσιμο του δοχείου ή με διοχεύτηση στο δοχείο αζώτου σε αέρια μορφή.

Άσκηση 6. Να γίνει σταθεροποίηση σιδερένιων αντικειμένων με χρήση αλκαλικών διαλυμάτων και αλκαλικού διαλύματος θειώδους νατρίου.

ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΤΩΝ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Η στερέωση ενός σιδερένιου αντικειμένου στοχεύει στην αύξηση της μηχανικής αντοχής του. Για να έχουμε ικανοποιητικό αποτέλεσμα, θα πρέπει το αντικείμενο να εμποτίζεται με ένα στερεωτικό υλικό, το οποίο θα πρέπει να έχει την ιδιότητα να εισχωρεί σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερο βάθος στους πόρους του μεταλλικού αντικειμένου.

Η στερέωση κρίνεται αναγκαία στα πολύ διαβρωμένα ή εύθραυστα αντικείμενα.

Για τη στερέωση των σιδερένιων αντικειμένων μπορεί να χρησιμοποιηθεί η συνθετική ρητίνη Paraloid B72 (ακρυλικό πολυμερές), το οποίο εφαρμόζεται σε διάλυμα με οργανικό διαλύτη (ασετόν, τολουόλιο) και παρουσιάζει ικανοποιητική συμπεριφορά και αντοχή στην επίδραση των περιβαλλοντικών παραμέτρων, όπως στην υγρασία, στη θερμοκρασία και στις ακτινοβολίες.

Οι εποξειδικές ρητίνες έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί ως στερεωτικά υλικά και δίνουν ικανοποιητικά αποτελέσματα. Έχουν, βέβαια, σοβαρά μειονεκτήματα, όπως ότι ύστερα από ένα χρονικό διάστημα κιτρινίζουν και κυρίως ότι είναι μη αντιστρεπτές. Όταν χρη-

σιμοποιούνται ως στερεωτικά, δεν επηρεάζουν την εμφάνιση του αντικειμένου, εφόσον εισχωρούν στο εσωτερικό (στους πόρους) του μετάλλου. Με την εφαρμογή τους είναι δυνατός ο καθαρισμός του αντικειμένου με μηχανικό τρόπο. Από τη στιγμή, όμως, που θα χρησιμοποιηθούν, δεν είναι δυνατή η αφαίρεσή τους.

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΣΙΔΕΡΕΝΙΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Ξήρανση του αντικειμένου

Το επόμενο στάδιο συντήρησης μετά τον καθορισμό και τη σταθεροποίηση των σιδερένιων αντικειμένων είναι η επιμελημένη πλύση με απιονισμένο νερό και η αφύγρανση του αντικειμένου. Η απομάκρυνση των αντιδραστηρίων που έχουν χρησιμοποιηθεί ελέγχεται με μέτρηση της αγωγιμότητας.

Η ξήρανση του μετάλλου επιτυγχάνεται με το στέγνωμά του στον ατμοσφαιρικό αέρα. Με αυτή τη διαδικασία απομακρύνεται από το μέταλλο ένα ποσοστό της υγρασίας, ενώ το υπόλοιπο παραμένει στους πόρους του, με αποτέλεσμα να πραγματοποιούνται ηλεκτροχημικές δράσεις και, επομένως, να γίνεται εκ νέου διάβρωση του μετάλλου.

Η υγρασία απομακρύνεται με θέρμανση ή με ξηραντικά μέσα.

α. Αφαίρεση της υγρασίας με θέρμανση

Για να αφαιρεθεί η υγρασία με θέρμανση, το αντικείμενο τοποθετείται σε πυριαντήριο στους 100 - 110 °C για αρκετό χρονικό διάστημα (περίπου 24 ώρες).

Για τη θέρμανση αντικειμένων μεγάλου μεγέθους χρησιμοποιούνται λυχνίες υπέρυθρης ακτινοβολίας.

β. Αφαίρεση της υγρασίας με ξηραντικά υλικά

Ένας άλλος τρόπος αφαίρεσης της υγρασίας είναι η χρήση οργανικών διαλυτών, οι οποίοι αντικαθιστούν το νερό, βοηθώντας έτσι στην εξάτμισή του. Σε μεταλλικά σφυρήλατα αντικείμενα είναι προτιμότερο η ξήρανση να πραγματοποιείται με αντικατάσταση του νερού από διαλύτη. Το αντικείμενο εμβαπτίζεται σε λουτρό ακετόνης για ορισμένο χρονικό διάστημα και στη συνέχεια αφήνεται στον ατμοσφαιρικό αέρα, για να στεγνώσει.

Επικαλυπτικά υλικά

Το τελευταίο στάδιο συντήρησης των σιδερένιων αντικειμένων είναι η επικάλυψη της επιφάνειας του μετάλλου με ένα προστατευτικό στρώμα, που σκοπό έχει την απομόνωση του αντικειμένου από τους περιβαλλοντικούς διαβρωτικούς παράγοντες και από τη δράση χημικών ουσιών, εμποδίζοντας την περαιτέρω διάβρωσή του.

Για την προστασία σιδερένιων αντικειμένων χρησιμοποιούνται το κερί παραφίνης και το μικροκρυσταλλικό κερί. Τα αντικείμενα εμβαπτίζονται στο υλικό (κερί), το οποίο διατηρείται σε σταθερή θερμοκρασία 110 - 130°C. Με την απομάκρυνση του αντικειμένου το κερί ψύχεται γρήγορα με αποτέλεσμα, τα εξής:

α. Το στρώμα κεριού που σχηματίζεται να μην είναι ομοιόμορφο σε όλη την επιφάνεια του αντικειμένου.

β. Στα σημεία με μεγαλύτερη συγκέντρωση κεριού να αλλοιώνεται η εικόνα του αντικειμένου.

Για την αποφυγή των παραπάνω, απομακρύνουμε την περίσσεια του κεριού από την επιφάνεια του αντικειμένου με την παροχή θερμού αέρα σ' αυτήν.

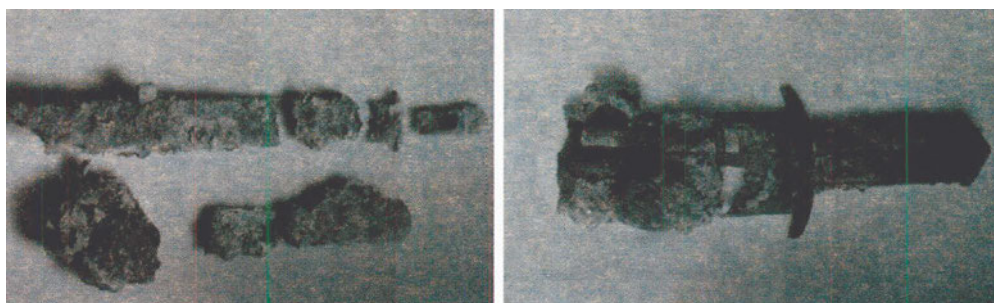
Άλλη κατηγορία υλικών επικάλυψης είναι οι συνθετικές ρητίνες. Εφαρμόζονται σε μορφή διαλύματος με οργανικούς διαλύτες, με την εξάτμιση των οποίων σχηματίζεται ένα λεπτό «φίλμ» ρητίνης στην επιφάνεια του μετάλλου.

Οι συνθετικές ρητίνες που έχουν χρησιμοποιηθεί κατά καιρούς σε σιδερένια αντικείμενα είναι:

α. Η νιτρική κυτταρίνη, η οποία δεν είναι σταθερή στο χρόνο και είναι ευπαθής και εύθραυστη.

β. Οι εποξειδικές ρητίνες, οι οποίες παρουσιάζουν καλή συνοχή στη μεταλλική επιφάνεια, αλλά είναι μη αντιστρεπτές, σχηματίζουν ένα σκληρό φίλμ και παρουσιάζουν σημαντική ευαισθησία στις ακτινοβολίες.

γ. Η πολυβινυλική αλκοόλη, η οποία κιτρινίζει με την πάροδο του χρόνου· επίσης, το φίλμ γίνεται δύσκαμπτο και εύθραστο.



α.

β.

Σιδερένιο εγχειρίδιο που προέρχεται από ανασκαφική έρευνα α. πριν και β. μετά τη συντήρηση.

Ως υλικό επικάλυψης των συνθετικών ρητινών χρησιμοποιείται το Paraloid B72, το οποίο μαζί με τη χρήση ενός αναστολέα δίνει ικανοποιητικά αποτελέσματα κατά την εφαρμογή του.

Άσκηση 7. Να εφαρμοστούν οι παρακάτω διαδικασίες σε σιδερένια αντικείμενα:

- α. πλύσιμο
- β. ξήρανση με θέρμανση
- γ. επικάλυψη της επιφάνειάς τους με προστατευτικό υλικό.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΧΑΛΚΙΝΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

Ο χαλκός, μέταλλο κοκκινωπού χρώματος, είναι από τα πρώτα που χρησιμοποίησε ο άνθρωπος. Οι Αιγύπτιοι και οι Βαβυλώνιοι χρησιμοποίησαν πρώτοι το χαλκό, με τον οποίο κατασκεύαζαν τα εργαλεία και τα όπλα τους και έφτιαχναν κοσμήματα.

Ο χαλκός υπάρχει αμιγής στα επιφανειακά στρώματα των ορυκτών του εδάφους αλλά και αναμειγμένος σε μεγάλες ποσότητες μαζί με άλλα μέταλλα σε ορυκτά μεταλλεύματα.

Από το τέλος του 4.000 π.Χ., που άρχισε να χρησιμοποιείται ο χαλκός, άλλαξε ριζικά η ζωή των ανθρώπων της Λίθινης Εποχής και αναπτύχθηκε η μεταλλουργία.

Ο όρος Εποχή του Χαλκού αναφέρεται στην πρώιμη εποχή της μεταλλουργίας, κατά την οποία ήταν διαδεδομένη η κατεργασία του κράματος χαλκού και κασσίτερου.

Από τις χώρες της Εγγύς Ανατολής και από την Αίγυπτο τα κράματα του χαλκού έγιναν γνωστά στον ελλαδικό χώρο το 2.000 π.Χ. περίπου, και το νέο αυτό υλικό χρησιμοποιήθηκε για την κατασκευή γεωργικών εργαλείων, όπλων, διακοσμητικών αντικειμένων και αγγείων.

Το τέλος της Εποχής του Χαλκού σηματοδοτεί την έναρξη της Εποχής του Σιδήρου.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑΣ ΤΟΥ ΧΑΛΚΟΥ

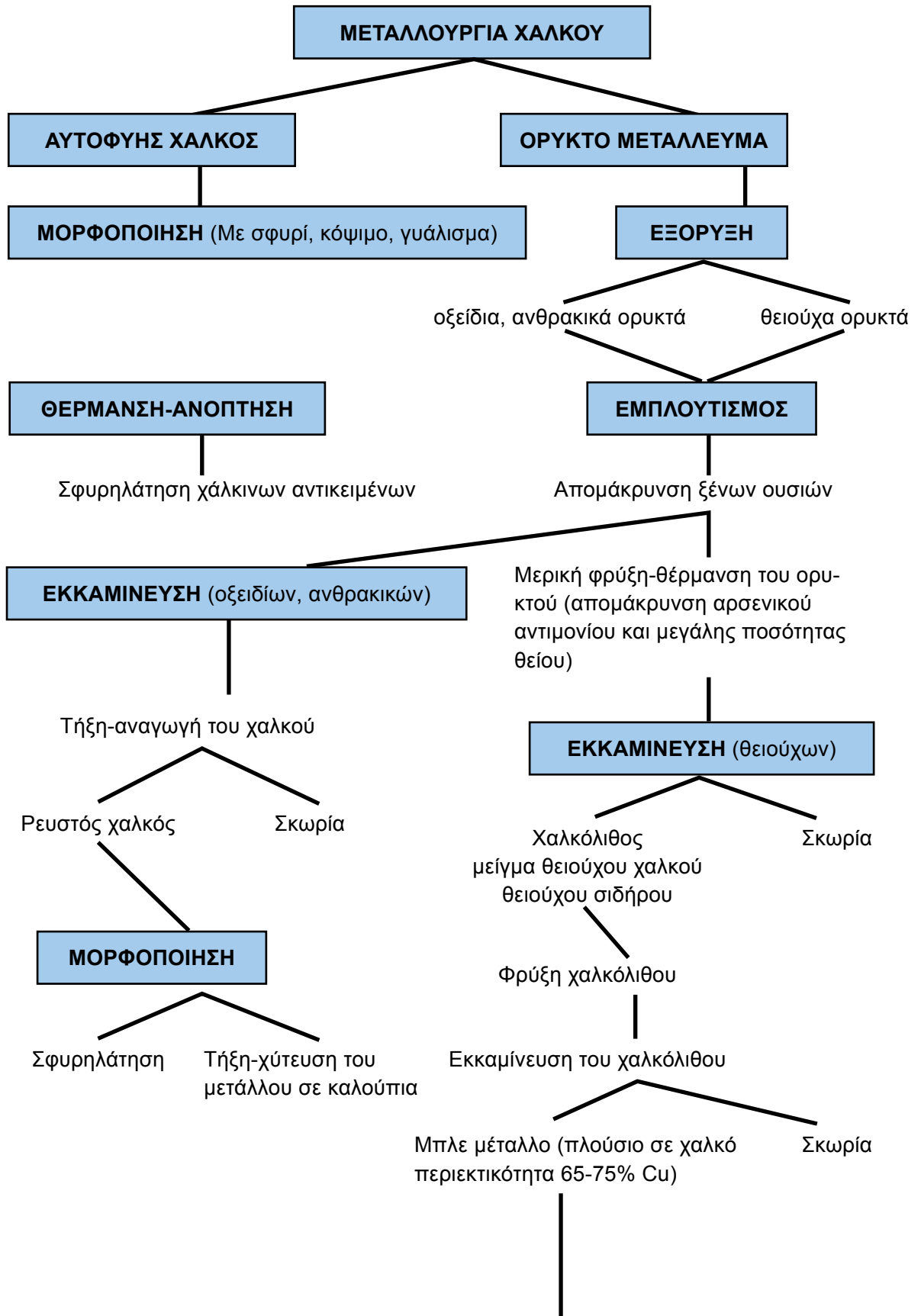
ΓΕΝΙΚΑ

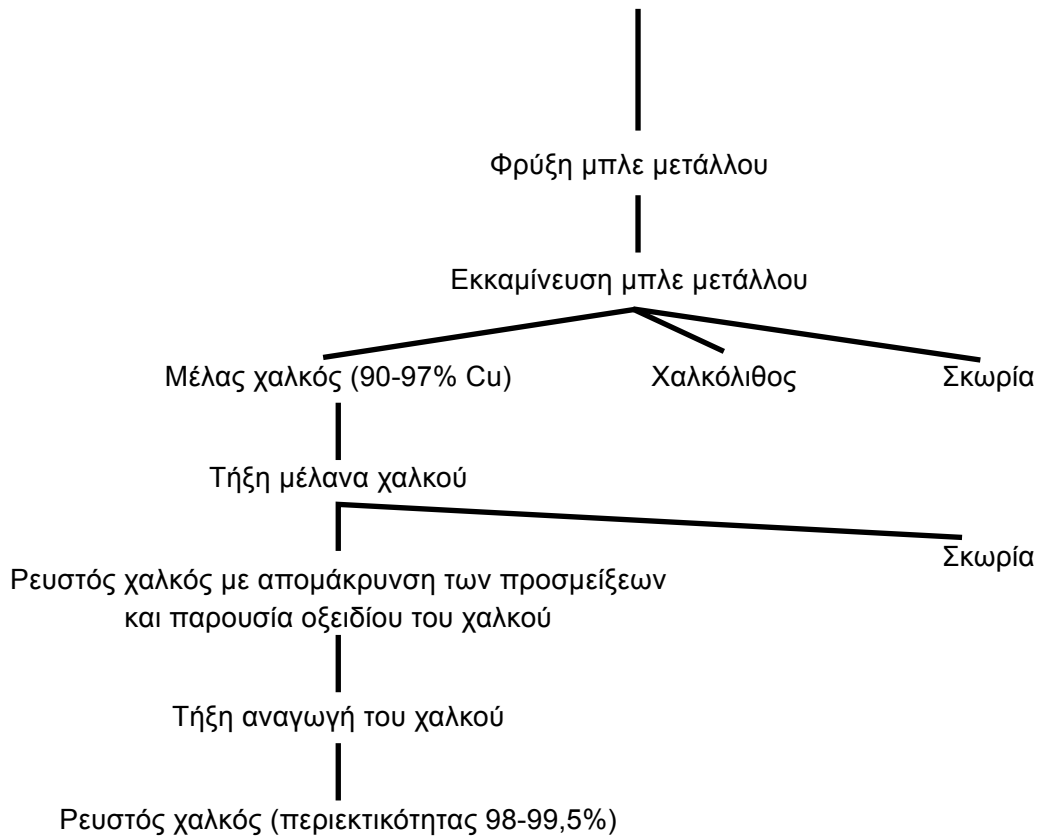
Οι μέθοδοι κατεργασίας των ορυκτών του χαλκού αναπτύχθηκαν σταδιακά και με πολύ αργούς ρυθμούς από την αρχαιότητα ως το μεσαίωνα, με κύριο σκοπό την όσο το δυνατόν μεγαλύτερη πρόσληψη μετάλλου από το ορυκτό.

Για τη μεταλλουργία του χαλκού εφαρμόζονται τα εξής στάδια κατεργασίας:

1. Εξόρυξη των μεταλλευμάτων.
2. Προετοιμασία και πλύσιμο των ορυκτών.
3. Εκκαμίνευση των ορυκτών για την παραγωγή του μετάλλου.
4. Κατασκευή των κραμάτων.

Αυτοφυής χαλκός, σχετικά καθαρός χωρίς προσμείξεις, συναντάται σε μικρές ποσότητες. Αυτή υπήρξε η πρώτη μορφή χαλκού που κατεργάστηκε ο άνθρωπος. Για την κατεργασία του αυτοφυούς χαλκού δεν απαιτείται ούτε τήξη ούτε χύτευση. Τα μικρά αντικείμενα κατασκευάζονται με σφυρηλάτηση. Για την κατασκευή, όμως, μεγαλύτερων αντικειμένων κομμάτια αυτοφυούς χαλκού τήκονται και χυτεύονται.





ΤΑ ΟΡΥΚΤΑ ΤΟΥ ΧΑΛΚΟΥ

Δύο τύποι ορυκτών ήταν τα αντικείμενα κατεργασίας της μεταλλουργίας στην αρχαιότητα. Ο πρώτος τύπος περιλαμβάνει τα οξειδία, ανθρακικά και πυριτικά, των οποίων η κατεργασία γίνεται τυπικά σε κατάλληλους τύπους φούρνων με θέρμανση και αναγωγή του ορυκτού με ξυλάνθρακα (κάρβουνο) ή με ξύλο με τη βοήθεια του αέρα. Στη συνέχεια ο ακάθαρτος χαλκός που λαμβάνεται υφίσταται καθαρισμό πριν από τη χύτευσή του για τη μορφοποίησή του.

Τα κυριότερα ορυκτά του χαλκού είναι:

1. Οξειδία του χαλκού: κυπρίτης (Cu_2O) κόκκινο-καφέ χρώμα, τενορίτης (CuO) -//- -//- -//-.
2. Ανθρακικά: μαλαχίτης ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) πράσινο χρώμα, αζουρίτης ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$) μπλε χρώμα.
3. Πυριτικά: χρυσόκολλα.



α.



β.



γ.



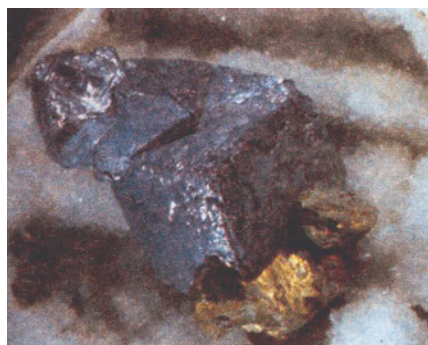
δ.

Ορυκτά μεταλλεύματα του χαλκού: α)κυπρίτη, β)μαλαχίτη, γ)αζουρίτη, δ)χρυσόκολλα.

Ο δεύτερος τύπος των ορυκτών είναι οι θειούχες ενώσεις του χαλκού, από τις οποίες είναι πιο δύσκολη η εξαγωγή του χαλκού σε σύγκριση με τον πρώτο τύπο ορυκτών, διότι υπάρχουν πολλές προσμείξεις οι οποίες πρέπει πρώτα να εξαλειφθούν, ώστε να μην επιδρούν στην ποιότητα του παραγόμενου μετάλλου. Τέτοια ορυκτά είναι:

1. **Θειούχα:** χαλκοσίνης (Cu_2S) μαύρο χρώμα,
κοβελίτης (CuS) μαύρο-μπλε χρώμα.
2. **Σιδηροθειούχα:** χαλκοπυρίτης ($\text{Cu}_2\text{Fe}_2\text{S}_4$) γκρι-μαύρο χρώμα,
βορνίτης (Cu_5FeS_4).

Οι προσμείξεις που αναφέρονται πιο πάνω είναι κυρίως το θείο, το αρσενικό και το αντιμόνιο, και για την απομάκρυνσή τους εφαρμόζεται επανειλημμένα η διαδικασία φρύξης και αναγωγής των ορυκτών λόγω της μεγάλης συνάφειας του χαλκού με το θείο.



α.



β.

Ορυκτά του χαλκού: α) χαλκοσίνης, β) χαλκοπυρίτης.

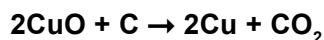
ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΤΟΥ ΟΡΥΚΤΟΥ

Το πρώτο στάδιο της μεταλλουργίας του χαλκού περιλαμβάνει την προετοιμασία του μεταλλεύματος. Η μάζα του μεταλλεύματος θραύεται και διασπάται σε μικρά κομμάτια, ώστε να είναι πιο εύκολη η εκκαμίνευση.

Κατ' αρχάς από τα μεταλλεύματα απομακρύνονται οι ξένες ουσίες. Τα κομμάτια του ορυκτού πλένονται με τρεχούμενο νερό, το οποίο απομακρύνει αυτές τις ουσίες, γεγονός που εξηγείται λόγω του χαμηλού ειδικού βάρους τους σε σχέση με το μέταλλο. Στη συνέχεια τα κομμάτια του ορυκτού στεγνώνουν στον αέρα ή στο καμίνι πριν από την εκκαμίνευσή τους.

ΕΚΚΑΜΙΝΕΥΣΗ

Το δεύτερο στάδιο της μεταλλουργίας είναι η εκκαμίνευση των ορυκτών. Τα οξειδία του χαλκού είναι απλό να εκκαμινευθούν, αφού με την παρουσία άνθρακα ανάγονται σε μέταλλο:

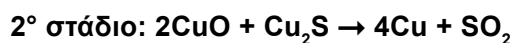


Το ορυκτό θερμαίνεται μέσα σε καμίνι που περιέχει ξυλάνθρακα (κάρβουνο) και ξύλο, ενώ στο εσωτερικό του καμινιού διοχετεύεται αέρας. Το ρευστό μέταλλο κατακάθεται στον πυθμένα του καμινιού, ενώ τα πυριτικά υλικά ενώνονται με άλλες ουσίες σχηματίζοντας ένα υαλώδες υλικό, το οποίο ονομάζεται σκωρία, έχει μικρότερη πυκνότητα απ' ό,τι ο χαλκός και επιπλέει στην επιφάνειά του.

Η εκκαμίνευση των θειούχων ορυκτών του χαλκού δεν είναι εύκολη. Γι' αυτήν απαιτείται μερική φρύξη - θέρμανση των θειούχων ορυκτών, ώστε να απομακρυνθούν οι ενώσεις του αρσενικού και του αντιμονίου που είναι παρούσες στο ορυκτό, καθώς και το μεγαλύτερο μέρος του θείου που μετατρέπεται σε SO_2 .



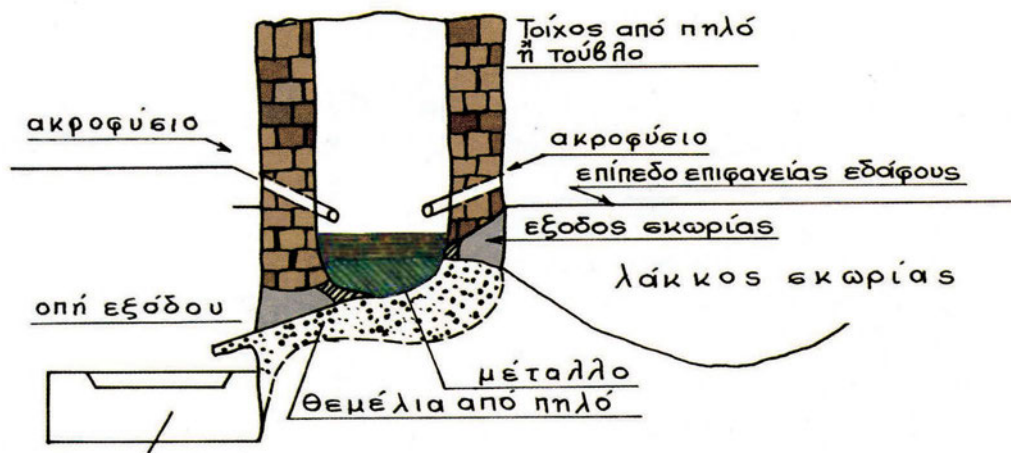
Στη συνέχεια γίνεται εκκαμίνευση του ορυκτού CuO που προέκυψε από το 1° στάδιο, από την οποία λαμβάνουμε ένα μείγμα χαλκού, σιδήρου και θειούχων ενώσεων, καθώς και προσμείξεις από μικρή ποσότητα αρσενικού, αντιμονίου και πυριτίου.



Για να απομακρυνθούν οι προσμείξεις και να παραχθεί καθαρός χαλκός, ακολουθούν δι-αδοχικές εκκαμινεύσεις, οι οποίες είναι βασικές και δεν είναι δυνατόν να παραλειφθούν.

Πρέπει να τονιστεί ότι ο χαλκός από εκκαμίνευση περιέχει σχεδόν πάντοτε ένα ποσοστό προσμείξεων, όπως αρσενικό, αντιμόνιο, μόλυβδο, σίδηρο, ψευδάργυρο, κασσίτερο, νικέλιο, άργυρο, χρυσό και θείο. Αυτές οι προσμείξεις και ειδικότερα οι προσμείξεις

με άργυρο, αρσενικό, αντιμόνιο και νικέλιο, οι οποίες στην πρώιμη εποχή του Χαλκού υπήρχαν στο μέταλλο σε ποσοστό έως 3%, επηρεάζουν σημαντικά το βαθμό σκληρότητας του μετάλλου, καθώς και τη συμπεριφορά του κατά τη χύτευσή του.



Φούρνος εκκαμίνευσης - τήξης των μεταλλευμάτων του χαλκού.

ΚΡΑΜΑΤΑ ΧΑΛΚΟΥ

Από πολύ νωρίς ο άνθρωπος παρατήρησε ότι το υλικό το οποίο αποτελούνταν από χαλκό αλλά και από κάποια άλλα μέταλλα είχε διαφορετικές ιδιότητες από εκείνες που έχει ο αμιγής χαλκός: το νέο υλικό μπορούσε να το κατεργαστεί ευκολότερα και να κατασκευάσει από αυτό αντικείμενα καλύτερα σε ποιότητα απ' ό,τι κατασκεύαζε με τον αμιγή χαλκό. Γι' αυτό άρχισε, εσκεμμένα πλέον, να φτιάχνει υλικά από χαλκό, στα οποία όμως προσέθετε και άλλα στοιχεία. Έτσι προέκυψαν τα διάφορα κράματα του χαλκού.

Η δομή των κραμάτων χαλκού

Το σημείο τήξης του χαλκού είναι 1084 °C, το οποίο μειώνεται από μικρές ποσότητες προσμείξεων, όπως είναι το αντιμόνιο (Sb), το αρσενικό (As), ο κασσίτερος (Sn), ο μόλυβδος (Pb) ή ο σίδηρος (Fe).

Ο χαλκός με προσμείξεις αρσενικού και αντιμονίου είναι πιο σκληρός στην κατεργασία σε σχέση με τον καθαρό χαλκό. Εάν, όμως, η παρουσία του αρσενικού είναι μεγαλύτερη από 2,5%, τότε γίνεται εύθραυστος, και εάν είναι μεγαλύτερη από 15%, τότε το αρσενικό συγκεντρώνεται στην επιφάνεια του κράματος κατά τη χύτευσή του, δίνοντας την εντύπωση ενός ασημένιου αντικειμένου.

Όταν ο κασσίτερος είναι παρών στο κράμα του χαλκού σε συγκέντρωση μεγαλύτερη από 2%, μπορεί να θεωρηθεί ότι έχουμε το κράμα χαλκού που ονομάζεται **μπρούντζος**, ο οποίος είναι πιο σκληρός από τον καθαρό χαλκό.

Ένα κοινό κράμα με παρουσία 10% κασσίτερου έχει πορτοκαλοκόκκινο χρώμα και δέχεται εν ψυχρώ κατεργασία, με συγκέντρωση 14% κασσίτερου το κράμα είναι σκληρό, και δεν είναι εύκολο να δουλευτεί. Με συγκέντρωση 20% το κράμα μετάλλου φαίνεται ωχρό, ενώ με συγκέντρωση πάνω από 30% ο κασσίτερος κατά τη χύτευση διαχωρίζεται από το κράμα δίνοντας λευκή εξωτερική επιφάνεια στο κράμα.

Ο χαλκός σχηματίζει κράμα με τον ψευδάργυρο (Zn), ο οποίος με συγκέντρωση 20% δίνει τον κίτρινο **ορείχαλκο**, ενώ με μεγαλύτερες συγκεντρώσεις δίνει πιο λευκά κράματα.

Το συγκολλητικό υλικό είναι συχνά κράμα χαλκού διαφορετικής περιεκτικότητας από το κράμα του αντικειμένου, π.χ. ένα κράμα υψηλής περιεκτικότητας κασσίτερου χρησιμοποιείται ως συγκολλητικό σε κράμα χαμηλής περιεκτικότητας.

Κράματα χαλκού, κυρίως ο ορείχαλκος, χρησιμοποιούνται ως συγκολλητικά υλικά στην ένωση τμημάτων σιδήρου.

Ο μόλυβδος προστίθεται στα κράματα χαλκού σε ποσοστό έως 10% ή και μεγαλύτερο. Ο μόλυβδος στην πραγματικότητα παραμένει ελεύθερος, δηλαδή δεν ενσωματώνεται στο κράμα, με αποτέλεσμα η παρουσία του να μαλακώνει το μέταλλο. Ο μόλυβδος αυξάνει τη ρευστότητα του λιωμένου μετάλλου και βοηθά ικανοποιητικά στην παραγωγή υψηλής ποιότητας χυτού αντικειμένου.



Χάλκινος κρατήρας του Δερβενιού 330-320 π.Χ. Το χρυσό χρώμα του αγγείου οφείλεται στην υψηλή περιεκτικότητα του κράματος σε κασσίτερο.

Άσκηση 8. Σε ποιες περιοχές του ελλαδικού χώρου γινόταν εξόρυξη και κατεργασία του χαλκού;
Υπάρχουν διαφοροποιήσεις στη διαδικασία κατεργασίας του χαλκού από περιοχή σε περιοχή;

ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΧΑΛΚΟΥ

Τα προϊόντα της μεταλλουργίας του χαλκού, δηλαδή τα διάφορα κράματα του χαλκού, για τα οποία θα μιλήσουμε παρακάτω, χρησιμοποιούνται για την κατασκευή χάλκινων αντικειμένων. Το κράμα του χαλκού επιδέχεται δύο τρόπους κατεργασίας. Ένας τρόπος είναι η χύτευσή του σε καλούπι ανοικτό ή σε επιμέρους κομμάτια. Το καλούπι μπορεί να είναι από πέτρα, από πηλό ή από μέταλλο.

Για να έχουμε ικανοποιητική επιφάνεια χύτευσης, το καλούπι καλύπτεται με στάχτη, λίπος και αλεύρι.

ΧΥΤΕΥΣΗ ΤΟΥ ΚΡΑΜΑΤΟΣ

Έχουν χρησιμοποιηθεί τέσσερις συνολικά τύποι καλουπιών για τη χύτευση του κράματος.

Για τη δημιουργία συμπαγών - στερεών αντικειμένων έχουν χρησιμοποιηθεί:

- α. Ανοικτό καλούπι.
- β. Καλούπι σε κομμάτια.

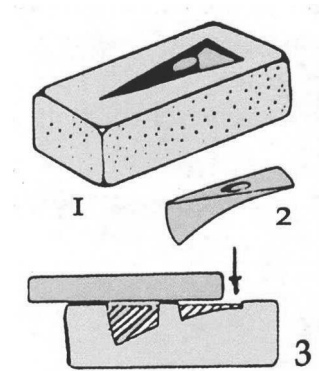
Για τη δημιουργία κοίλων/συμπαγών χυτών αντικειμένων έχουν χρησιμοποιηθεί:

- γ. Καλούπι ψευδού πυρήνα.
- δ. Καλούπι χαμένου κεριού.

α. Ανοικτό καλούπι

Το ανοικτό καλούπι είναι το πιο απλό απ' όλα τα καλούπια χύτευσης μετάλλων. Κατασκευάζεται από πέτρα ή από κάποιο άλλο ανθεκτικό πέτρωμα κατάλληλο, ώστε να παραμένει ανεπηρέαστο από την υψηλή θερμοκρασία του λιωμένου μετάλλου. Για την

αποφυγή της οξείδωσης του μετάλλου το άνω τμήμα του καλούπιού καλύπτεται με ένα επίπεδο επικαλυπτικό υλικό. Το είδος αυτό του καλούπιού χρησιμοποιείται για την κατασκευή απλών αντικειμένων.



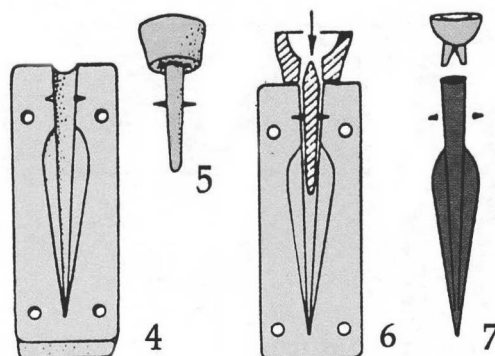
Χύτευση σε ανοικτό καλούπι.

β. Καλούπι σε κομμάτια

Πολύπλοκες φόρμες μπορούν να χυτευθούν σε καλούπι σε κομμάτια. Το υλικό των καλούπιών είναι από πέτρα, από κεραμικό ή από μέταλλο. Το μέταλλο που χρησιμοποιείται θα πρέπει να έχει υψηλότερο σημείο τήξης συγκριτικά με το μέταλλο χύτευσης, ώστε να μένει ανεπηρέαστο από τη θερμοκρασία του μετάλλου χύτευσης.

Το αρνητικό αποτύπωμα του αντικειμένου κατασκευάζεται σε κομμάτια, τα οποία εφαρμόζουν μεταξύ τους με εγκοπές - κλειδιά. Τα καλούπια είχαν κατασκευαστεί αρχικά από πηλό και χρησιμοποιήθηκαν για την κατασκευή καθημερινών εργαλείων και όπλων.

Στα σημεία επαφής των κομματιών υπάρχουν ίχνη, από λεπτές γραμμές, τα οποία δείχνουν τον τρόπο κατασκευής του αντικειμένου.



Χύτευση σε καλούπι σε κομμάτια.

γ. Καλούπι ψευδούς πυρήνα

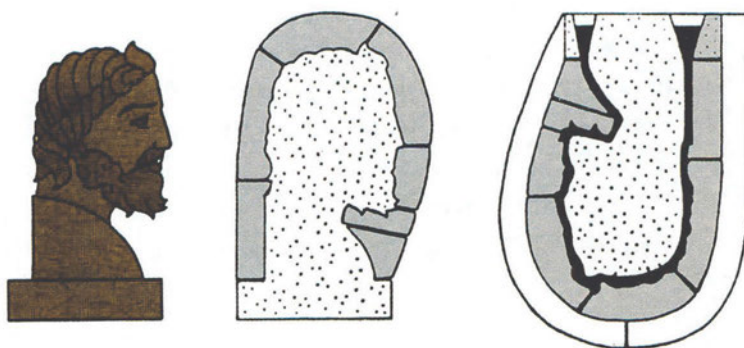
Η χύτευση σε καλούπια χρησιμοποιήθηκε σε συνδυασμό με την παρουσία ψευδούς πυρήνα.

Στην περίπτωση αυτή κατασκευάζεται το σχήμα του αντικειμένου αρχικά από δύστηκτο πηλό και επάνω σ' αυτόν σχηματίζεται το καλούπι από επιμέρους κομμάτια. Αν ο αριθμός των κομματιών είναι μεγάλος, τότε αυτά συγκρατούνται από ένα δεύτερο εξωτερικό, ενιαίο καλούπι.

Στη συνέχεια απομακρύνεται υλικό από την επιφάνεια του πήλινου αντικειμένου, και έτσι μειώνεται το πάχος του και σχηματίζεται ο πυρήνας του καλουπιού. Το κενό που σχηματίζεται μεταξύ του καλουπιού και του πυρήνα καλύπτεται από το κράμα χύτευσης και αναλογεί στο πάχος του αντικειμένου.

Γύρω από τον ψεύτικο πυρήνα σχηματίζεται ένα κανάλι, το οποίο γεμίζει με μέταλλο. Σε σύνθετα σχήματα είναι αναγκαίο να κάνουμε επιπλέον κανάλια για την έξοδο του αέρα και των αερίων, καθώς το λιωμένο μέταλλο γεμίζει σταδιακά τον προσφερόμενο χώρο. Μετά τη χύτευση ο πυρήνας αφαιρείται.

Στην περίπτωση πολύπλοκων σχημάτων εξαιτίας του μεγάλου αριθμού κομματιών, κατασκευάζεται ένα δεύτερο, εξωτερικό ενιαίο καλούπι, που ονομάζεται εσάρπα και τα συγκρατεί. Στα σημεία επαφής των τμημάτων του καλουπιού εμφανίζονται λεπτές γραμμές μετάλλου μετά το τέλος της χύτευσης. Αυτά τα ίχνη απομακρύνονται με γυάλισμα, ενώ, όπου υπάρχουν, είναι ενδεικτικά του τρόπου κατασκευής.

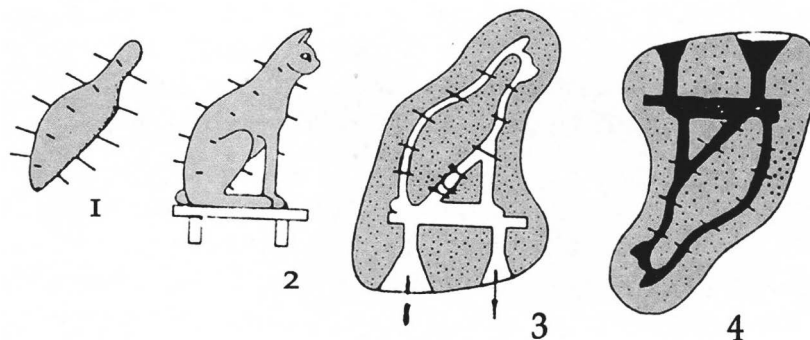


Χύτευση σε καλούπι με ψεύτικο πυρήνα.

δ. Μέθοδος του χαμένου κεριού

Για την κατασκευή σύνθετων αντικειμένων χρησιμοποιείται η τεχνική του χαμένου κεριού. Γύρω από ένα πυρήνα από δύστηκτο πηλό αποδίδουμε το σχήμα του αντικειμένου με κεριό. Στη συνέχεια επάνω στο κεριό διαμορφώνεται ένα εξωτερικό καλούπι από πηλό.

Ο πυρήνας ενώνεται με το εξωτερικό καλούπι με τη χρήση μεταλλικών καρφίδων. Με τη χύτευση του κράματος το κέρι λιώνει λόγω της θερμοκρασίας, απομακρύνεται και αντικαθίσταται από το λιωμένο μέταλλο. Το εξωτερικό καλούπι καταστρέφεται, για να αποκαλυφθεί το αντικείμενο, ενώ ο πυρήνας παραμένει. Σε αρκετές κατασκευές προβλέπεται τρόπος για την αφαίρεση του πυρήνα.



Χύτευση με τη μέθοδο του χαμένου κεριού.

ΣΦΥΡΗΛΑΤΗΣΗ ΤΟΥ ΚΡΑΜΑΤΟΣ

Με τη σφυρηλάτηση το μέταλλο γίνεται περισσότερο σκληρό αλλά και πιο εύθραυστο, και, αν συνεχιστεί η σφυρηλάτηση, μπορεί το μέταλλο να σπάσει. Για να αποφευχθεί αυτό, θα πρέπει να πυρακτωθεί το μέταλλο με αναθέρμανση, διαδικασία που ονομάζεται **ανόπτηση**, και να αφηθεί να κρυώσει.

Με τη διαδικασία αυτή το μέταλλο γίνεται πάλι μαλακό και εύπλαστο, ώστε να δεχτεί περαιτέρω σφυρηλάτηση. Στις περιπτώσεις μορφοποίησης των αντικειμένων με σφυρηλάτηση, η διαδικασία της ανόπτησης πρέπει να επαναλαμβάνεται αρκετά συχνά.

Η πιο μεγάλη τεχνική επίτευξη της κατεργασίας με σφυρηλάτηση ήταν η κατασκευή φύλλων κράματος χαλκού και η δημιουργία αντικειμένων.

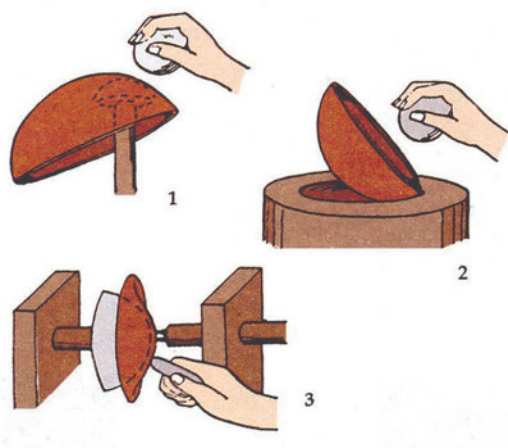
Τα φύλλα χαλκού χρησιμοποιούνται ως επικαλυπτικό, διακοσμητικό υλικό σε ξύλο, όπως σε πόρτες και σε ξύλινα αγάλματα, αλλά και για τη δημιουργία σκευών.

Για την κατασκευή κοίλων αντικειμένων (κούπες, δοχεία) χρησιμοποιούνται οι παρακάτω τεχνικές σφυρηλάτησης:

1. Το φύλλο τοποθετείται στην εξωτερική επιφάνεια ενός καλουπιού από ξύλο και στη συνέχεια σφυρηλατείται για το σχηματισμό της μορφής του αντικειμένου.

2. Το φύλλο μετάλλου σφυρηλατείται σε επίπεδη επιφάνεια ενός αμονιού συνήθως κατασκευασμένου από ξύλο ή σε κοίλη επιφάνεια στο αμόνι, και στη συνέχεια σφυρηλατείται στο εσωτερικό μέρος του αποδίδοντας το σχήμα του αντικειμένου. Αποτελεί την πιο δύσκολη μέθοδο η οποία όμως προσφέρει ποικιλία σε μεγέθη και σε σχήματα, καθώς και μεγάλη ποικιλία και πολυπλοκότητα στις φόρμες.

3. Το φύλλο μετάλλου πιέζεται με δύναμη επάνω σε ένα σχήμα από ξύλινο στερεό κομμάτι, το οποίο είναι στερεωμένο σε έναν τόρνο. Η μορφοποίηση του αντικειμένου γίνεται με την κατεργασία του φύλλου του μετάλλου κατά την περιστροφή του τόρνου. Στην περίπτωση αυτή, η βάση του σκεύους θα έχει σημάδι του τόρνου στο κέντρο της.



Τεχνικές σφυρηλάτησης κραμάτων χαλκού.

ΔΙΑΚΟΣΜΗΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΚΡΑΜΑΤΟΣ ΧΑΛΚΟΥ

Υπάρχουν δύο κυρίως τρόποι διακόσμησης των χάλκινων αντικειμένων:

α. Η **εν ψυχρώ** κατεργασία.

β. Η **επιμετάλλωση** με χρήση άλλων μετάλλων.

Κατά την “**εν ψυχρώ**” κατεργασία επιτυγχάνεται η διακόσμηση αντικειμένων με λεπτό πάχος των τοιχωμάτων τους, με δύο διαφορετικούς τρόπους:

1. Με την ανάγλυφη διακόσμηση διάφορα σχήματα αποτυπώνονται στην εσωτερική επιφάνεια του αντικειμένου και με τη χρήση εργαλείων με κατάλληλα διαμορφωμένες τις άκρες τους επιτυγχάνεται ο σχηματισμός εξωτερικών ανάγλυφων μοτίβων.

2. Με άλλη τεχνική τα σχήματα χαράσσονται στη μεταλλική επιφάνεια με αιχμηρό ή με αμβλύ εργαλείο, του οποίου η άκρη είναι σκληρότερη από το μέταλλο, δημιουργώντας εγχάρακτη διακόσμηση στην επιφάνεια του μετάλλου.

Κατά την **επιμετάλλωση**, η επιφάνεια των αντικειμένων από κράματα χαλκού βελτιώνεται με την επικάλυψη και την ένθεση διάφορων μετάλλων, όπως ο χρυσός, ο άργυρος ή ο κασσίτερος. Η επικάλυψη γίνεται με την κατεργασία αρχικά του κράματος του χαλκού για το σχηματισμό εσοχών και εξοχών, και στη συνέχεια το φύλλο του άλλου μετάλλου σφυρηλατείται, ώστε να εισχωρεί στις εσοχές και να ενώνεται με το κυρίως μέταλλο. Η ένθεση των μετάλλων επιτυγχάνεται με τη χύτευση ή με τη σφυρηλάτηση του μετάλλου σε προετοιμασμένες κοιλότητες στην επιφάνεια, και, τέλος, ενσωματώνεται στην επιφάνεια του αντικειμένου. Οι κοιλότητες μπορεί να έχουν σχηματιστεί κατά τη χύτευση ή με αφαίρεση ενός κομματιού.

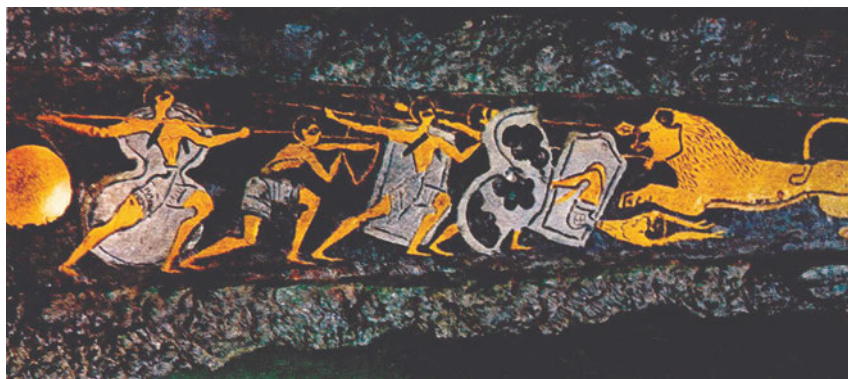
Υπάρχουν και άλλες μέθοδοι επιμετάλλωσης, όπως η χρήση αμαλγάματος χρυσού ή αργύρου ή η χρήση λιωμένου μετάλλου, όπως στην επικασσιτέρωση.



Ο κρατήρας του Βιξ 525 π.Χ. Χάλκινος κρατήρας κατασκευασμένος από χαλκό διακοσμημένος στο λαιμό με πρόσθετες χυτές μορφές και περίτεχνες λαβές (Μουσείο Chatillon sur Seine).



Αγαματίδιο ορειχάλκινο το οποίο είναι καλυμμένο με φύλλα χαλκού-επιμετάλλωση (Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο Δαμασκού).



Εγχειρίδιο από τον ταφικό περίβολο Α των Μυκηνών 1600 π.Χ. Η επιφάνεια της μπρούτζινης λόγχης φέρει ένθετη διακόσμηση που εικονίζονται σκηνές κυνηγιού (Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο).

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΧΑΛΚΟΥ

Σε ένα αντικείμενο κράματος χαλκού η συμπλήρωση επιμέρους τμημάτων του (π.χ. λαβή) γίνεται με τη χύτευση του κράματος, εφόσον η επιφάνεια του αρχικού μετάλλου



Χάλκινο ξίφος από το νεκροταφείο της Κνωσού 1500 π.Χ. Λεπτομέρεια της λαβής που καλύπτεται με φύλλο χρυσού το οποίο έχει στερεωθεί με τη χρήση καρφιών (Μουσείο Ηρακλείου).

είναι καθαρή, δηλαδή δεν έχει οξειδωθεί. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται στην περίπτωση κατά την οποία δύο μεταλλικά κομμάτια του ίδιου αντικειμένου απαιτούν διαφορετική ανόπτηση και ψυχρή κατεργασία. Τέτοια είναι η περίπτωση μπρούτζινων σπαθιών στα οποία πρώτα η λεπίδα χυτεύεται, σφυρηλατείται και διακοσμείται και ύστερα χυτεύεται η λαβή.

Η συγκόλληση δύο κομματιών του μετάλλου μπορεί να γίνει με τη θέρμανσή τους σε θερμοκρασία κοντά στο σημείο τήξης και με σφυρηλάτηση. Η συγκόλλησή τους είναι δύσκολο να επιτευχθεί εξαιτίας της ταχύτητας με την οποία οξειδώνονται οι επιφάνειές τους κατά τη θέρμανση. Άλλος τρόπος συγκόλλησης κομματιών μετάλλου είναι ο εξής: χρησιμοποιούμε ένα διαφορετικό κράμα, το οποίο μπορούμε να το κατεργαστούμε σε θερμοκρασία κάτω από το σημείο τήξης των μετάλλων που ενώνονται, π.χ. ένα κράμα υψηλής περιεκτικότητας κασσίτερου χρησιμοποιείται ως συγκολλητικό σε κράμα χαμηλής περιεκτικότητας κασσίτερου.

Καρφιά χρησιμοποιήθηκαν για την ένωση φύλλου μετάλλου και μη μεταλλικού υλικού ή φύλλων μετάλλου μεταξύ τους. Τα καρφιά είναι απλές μικρές ράβδοι μετάλλου. Χρησιμοποιούνται καρφιά με κεφάλια κωνικά ή επίπεδα, για να επιτυγχάνεται διακοσμητικό αποτέλεσμα.

Άσκηση 9. Σε επίσκεψή μας στο Εθνικό Αρχαιολογικό Μουσείο θα παρατηρήσουμε τα εκθέματα από κράμα χαλκού και θα αναγνωρίσουμε διάφορους τρόπους διακόσμησης. Επίσης, θα δούμε ένα ομοίωμα του τρόπου κατασκευής κοίλου - χυτού αντικειμένου με τη μέθοδο του χαμένου κεριού.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΩΝ ΚΡΑΜΑΤΩΝ ΧΑΛΚΟΥ

ΓΕΝΙΚΑ

Ο χαλκός υπάρχει στη φύση με τη μορφή ενώσεων, οι οποίες ονομάζονται ορυκτά. Τα ορυκτά είναι οξειδία, ανθρακικές και θειούχες ενώσεις των μετάλλων, και αποτελούν τη σταθερή μορφή του. Για τη μορφοποίηση αντικειμένων χρησιμοποιείται χαλκός που προκύπτει από την κατεργασία των ορυκτών αυτών.

Ο χαλκός στην κατάσταση αυτή είναι σε ασταθή μορφή και, όταν βρεθεί σε κατάλληλες συνθήκες περιβάλλοντος, σχηματίζει προϊόντα διάβρωσης που προσομοιάζουν στη σύσταση των ορυκτών, τα οποία είναι η πιο σταθερή μορφή του στη φύση.

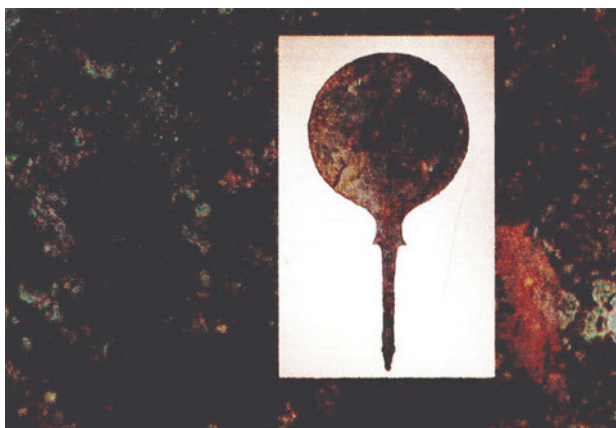
Ο ΧΑΛΚΟΣ ΣΕ ΞΗΡΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Τα αντικείμενα από κράματα χαλκού παρουσία οξυγόνου (O_2) στην ατμόσφαιρα σχηματίζουν το υποξείδιο του χαλκού (Cu_2O), τον κυπρίτη, ο οποίος δρα προστατευτικά σχηματίζοντας ένα λεπτό στρώμα κόκκινου-καφέ χρώματος, που αποτελεί την προστα-

τευτική πατίνα του μετάλλου. Με περίσσεια οξυγόνου έχουμε το σχηματισμό λεπτού μαύρου στρώματος οξειδίου του χαλκού (CuO), τον τενορίτη, επάνω από το στρώμα του κυπρίτη.

Ο ΧΑΛΚΟΣ ΣΕ ΥΓΡΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ ΠΑΡΟΥΣΙΑ ΟΞΥΓΟΝΟΥ

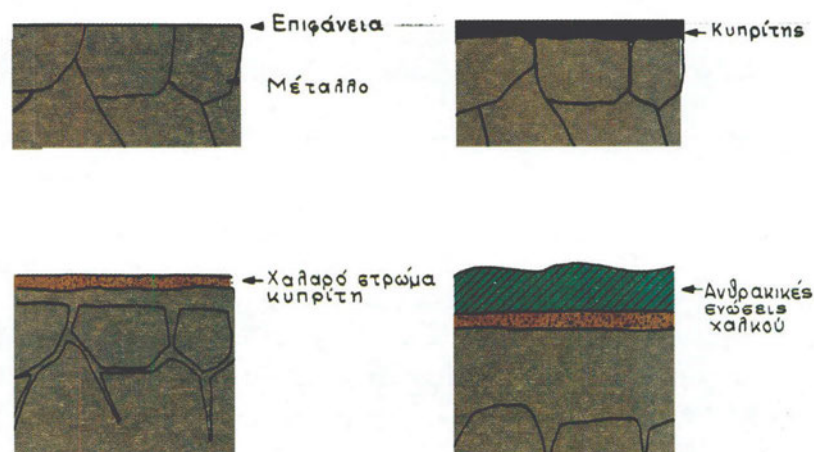
Ο χαλκός παρουσία οξυγόνου σε υγρό περιβάλλον σχηματίζει ιόντα μετάλλου (Cu^{2+}) και υδροξύλια (OH^-) που οδηγούν σε παραπέρα διάβρωση. Στην επιφάνεια του αντικειμένου σχηματίζεται ένα δεύτερο στρώμα κυπρίτη ή τενορίτη. Το στρώμα αυτό των οξειδίων του χαλκού αντιδρά παρουσία διοξειδίου του άνθρακα (CO_2) σχηματίζοντας στρώματα προϊόντων διάβρωσης βασικών ανθρακικών αλάτων, όπως είναι ο μαλαχίτης ($\text{Cu}_2\text{CO}_3(\text{OH})_2$) και ο αζουρίτης ($\text{Cu}_3(\text{CO}_3)_2(\text{OH})_2$).



Χάλκινο κάτοπτρο 300 π.Χ. Η επιφάνεια του καλύπτεται με προϊόντα διάβρωσης μαλαχίτη-κυπρίτη-τενορίτη.

Η παρουσία κάθε άλατος εξαρτάται από το pH και από τη συγκέντρωση του CO_2 στο περιβάλλον.

Το κύριο ανθρακικό άλας που σχηματίζεται είναι το σταθερό στρώμα του μαλαχίτη. Όσο, όμως, αυξάνεται η συγκέντρωση του CO_2 και μειώνεται η τιμή pH (όξινο περιβάλλον), ευνοείται ο σχηματισμός του αζουρίτη.



Σχηματική απεικόνιση διαβρωμένου αντικειμένου κράματος χαλκού.

Ο ΧΑΛΚΟΣ ΣΕ ΟΞΙΝΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Το υδρόθειο (H_2S) και οι άλλες ενώσεις του θείου δρουν διαβρωτικά στο χαλκό και στα κράματά του και ευνοούν το σχηματισμό σταθερού υποθειούχου χαλκού (Cu_2S), του χαλκοσίνη, ενώ, όπου υπάρχουν προϊόντα του δισθενούς χαλκού, έχουμε το σχηματισμό θειούχου χαλκού (CuS), του κοβελίτη.

Το διοξείδιο του θείου της ατμόσφαιρας αρχικά δρα ως καταλύτης στο σχηματισμό κυπρίτη, ενώ περίσσειά του ευνοεί στο σχηματισμό σταθερού βασικού θειικού χαλκού ($CuSO_4 \cdot 3Cu(OH)_2$), του βροχαντίτη.

Ο ΧΑΛΚΟΣ ΣΤΟ ΕΔΑΦΟΣ

Ανάλογα με την ποσότητα του οξυγόνου και με την παρουσία διάφορων ανιόντων στο έδαφος σχηματίζονται διάφορα προϊόντα διάβρωσης (ανθρακικά, θειικά, χλωριούχα).

Η πιο επικίνδυνη διάβρωση των αντικειμένων από χαλκό είναι η **ασθένεια του χαλκού**, όπου έχουμε το σχηματισμό βασικών χλωριούχων ενώσεων του χαλκού με τη μορφή ανοικτής πράσινης σκόνης.

Η ασθένεια του χαλκού εμφανίζεται με το σχηματισμό του υποχλωριούχου χαλκού ($CuCl$), του ναντοκίτη, που σχηματίζει ένα λευκό κηρώδες στρώμα, το οποίο βρίσκεται συνήθως:

- α. Προσκολλημένο πάνω στη μεταλλική επιφάνεια κάτω από το στρώμα του κυπρίτη.
- β. Ανάμεσα στα προϊόντα διάβρωσης του κράματος χαλκού.

Με τη δράση της υγρασίας και του οξυγόνου ο υποχλωριούχος χαλκός υδρολύεται και οξειδώνεται. Τα προϊόντα της αντίδρασης αυτής είναι ο βασικός χλωριούχος χαλκός ($\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$), μια χαλαρή πράσινη σκόνη και υδροχλωρικό οξύ (HCl).

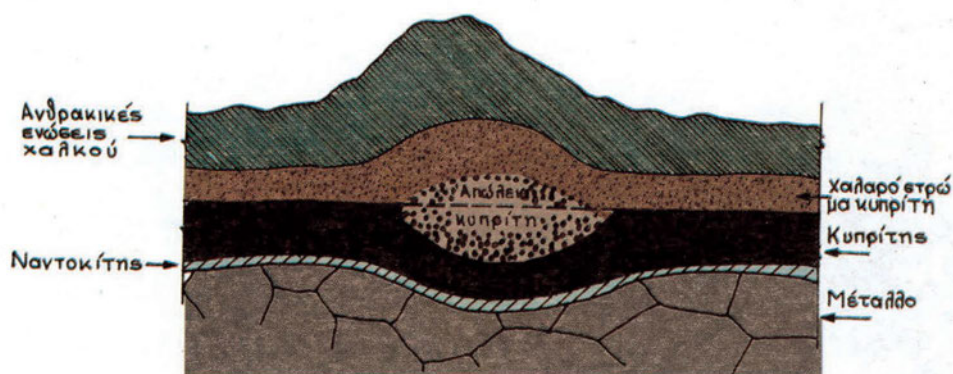
Το υδροχλωρικό οξύ που δημιουργείται προσβάλλει το μεταλλικό χαλκό και συνεχίζει τη διάβρωση του αντικειμένου.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΣΚΑΦΗ

Όταν ένα αντικείμενο από κράμα χαλκού αποκαλυφθεί ύστερα από ανασκαφική έρευνα, διαπιστώνεται η διάβρωσή του, η οποία οφείλεται στην παρουσία των χλωριδίων, όπως αναφέραμε παραπάνω.

Ο ναντοκίτης, που έχει σχηματιστεί σε υγρό περιβάλλον παρουσία οξυγόνου, οδηγεί στο σχηματισμό παρατακαμίτη, ενώ σε μεγαλύτερες συγκεντρώσεις ναντοκίτη (CuCl) έχουμε το σχηματισμό ατακαμίτη.

Οι χλωριούχες αυτές ενώσεις έχουν ίδιο χημικό τύπο ($\text{CuCl}_2 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$), διαφέρουν μόνο ως προς την κρυσταλλική δομή τους.



Διάβρωση κράματος του χαλκού, "ασθένεια του χαλκού".

Άσκηση 10. Να τοποθετηθούν ράβδοι κράματος χαλκού σε διαβρωτικά περιβάλλοντα και να παρατηρηθούν ο βαθμός και το είδος διάβρωσής τους.

Η ΜΟΡΦΗ-ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

ΑΛΛΟΙΩΣΗ ΤΗΣ ΕΜΦΑΝΙΣΗΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Η επιφάνεια των κραμάτων χαλκού που βρίσκονται στην ατμόσφαιρα αλλοιώνεται εξαιτίας της ανάπτυξης κυπρίτη, που εμφανίζεται με τη μορφή ενός λεπτού προστατευτικού στρώματος κόκκινου-καφέ χρώματος, ή εξαιτίας της ανάπτυξης τενορίτη, χαλκοσίνη ή οξειδίων των προσμείξεων του κράματος που εμφανίζονται σαν μαύρο στρώμα.

ΣΤΡΩΜΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΜΑΥΡΟΥ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Εάν το κράμα του χαλκού φέρει μαύρες ή μπλε-μαύρες επικαθίσεις, αυτές οφείλονται στο σχηματισμό θειούχων ενώσεων του χαλκού, όπως είναι ο κοβελίτης (CuS) και ο χαλκοσίνης (Cu_2S). Οι ενώσεις αυτές σχηματίζουν ένα συμπαγές προστατευτικό στρώμα πάνω στο μέταλλο ή απομακρύνονται αφήνοντας το μέταλλο να συνεχίζει να διαβρώνεται. Κάθε επιφάνεια επιμεταλλωμένη με άργυρο ή με κασσίτερο παρουσιάζεται μαύρη από την παρουσία θειούχων ενώσεων στο έδαφος ταφής τους.



Σχηματισμός στρώματος ανθρακικών προϊόντων διάβρωσης.

ΠΑΤΙΝΑ-ΠΡΟΣΤΑΤΕΥΤΙΚΟ ΣΤΡΩΜΑ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΧΑΛΚΟΥ

Η πατίνα σχηματίζεται σε κράματα χαλκού με πολύ αργή διάβρωση. Το χρώμα εξαρτάται από τα προϊόντα διάβρωσης που σχηματίζονται, τα οποία επηρεάζονται από το είδος του κράματος και από το περιβάλλον στο οποίο βρίσκονται. Η υγρασία, το διοξείδιο του άνθρακα και το οξυγόνο συμμετέχουν στο σχηματισμό της πατίνας. Άλλου είδους πατίνα σχηματίζεται στο θαλασσινό νερό.

Η παρουσία πράσινου στρώματος οφείλεται στο σχηματισμό του μαλαχίτη, ενώ η παρουσία μπλε χρώματος στο σχηματισμό αζουρίτη.

Η εμφάνιση στην επιφάνεια του κράματος προϊόντων διάβρωσης πράσινου σκούρου-μαύρου χρώματος οφείλεται στο σχηματισμό θειούχων ενώσεων του χαλκού και του μολύβδου ως προσμείξεων στο κράμα. Στα προϊόντα διάβρωσης μπορεί να παρατηρηθεί ακόμα σχηματισμός ανθρακικού μολύβδου (πρόσμειξη) ή σε αρκετές περιπτώσεις οξειδίου του κασσίτερου (SnO_2), του κασσιτερίτη.

Σε μπρούτζινα αντικείμενα με μεγάλη συγκέντρωση κασσίτερου έχουμε λευκά, γκρι ή τirkουάζ προϊόντα διάβρωσης, που είναι επίσης κασσιτερίτης.

Η απόχρωση της πατίνας που σχηματίζεται στη μεταλλική επιφάνεια είναι κοκκινο-καφέ, εξαιτίας του σχηματισμού του κυπρίτη. Η πατίνα δρα προστατευτικά σε παραπέρα διάβρωση του μετάλλου.

Μερικές φορές η πατίνα διασπάται από σκληρές επικαθίσεις προϊόντων διάβρωσης που έχουν σχηματιστεί σε ορισμένες περιοχές, με αποτέλεσμα τη συνέχιση της διάβρωσης του μετάλλου.

Η πράσινη πατίνα που βρίσκουμε σε κράματα χαλκού που είναι εκτεθειμένα στον ατμοσφαιρικό αέρα είναι κυρίως βασικός θειικός χαλκός ($\text{CuSO}_4 \cdot 3\text{Cu}(\text{OH})_2$) ο βροχαντίτης. Το διοξείδιο του θείου συντελεί κατ' εξοχήν στο σχηματισμό του.

ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ ΠΡΑΣΙΝΟΥ-ΜΠΛΕ ΧΡΩΜΑΤΟΣ

Αυτά τα προϊόντα διάβρωσης τα συναντά κανείς σε αντικείμενα από ανασκαφή με τη μορφή κρούστας, δηλαδή στρώματος αρκετού πάχους και όχι λεπτού και επιφανειακού ως πατίνας.

Σκληρές ανώμαλες κρούστες σχηματίζονται με προϊόντα μαλαχίτη. Επίσης, με τη μορφή κρούστας μπορεί να εμφανιστούν ενώσεις χλωρίου όπως ο παρατακαμίτης ή ο ατακαμίτης.

ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΑ ΑΠΟ ΘΑΛΑΣΣΙΟ ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝ

Στην επιφάνεια κραμάτων χαλκού που βρίσκονται σε θαλάσσιο περιβάλλον παρατηρούνται επικαθίσεις θαλάσσιων οργανισμών, που δρουν προστατευτικά και εμποδίζουν την ενεργό διάβρωση. Τα προϊόντα διάβρωσης που συναντά κανείς στην επιφάνεια των αντικειμένων είναι ανθρακικό ασβέστιο και παρατακαμίτης με οξείδια κασσίτερου. Αυτά μπορεί να είναι αρκετού πάχους και να φέρουν ένθετα όστρακα και σκελετούς θαλάσσιων οργανισμών, καθώς και άλλα είδη θαλάσσιων επικαθίσεων.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΑΠΟ ΚΡΑΜΑΤΑ ΧΑΛΚΟΥ

ΓΕΝΙΚΑ

Η διαδικασία συντήρησης των αντικειμένων από κράματα χαλκού είναι δύσκολη εξαιτίας της παρουσίας στο κράμα περισσότερων του ενός μετάλλων. Ο βαθμός διάβρωσης του αντικειμένου, η ύπαρξη μεταλλικού πυρήνα, η παρουσία επικαλυπτικών υλικών (επιμετάλλωση) ή ένθετων υλικών (μέταλλο, κόκαλο, σμάλτο), τα οποία σε αρκετές περιπτώσεις σώζονται ανάμεσα στα προϊόντα διάβρωσης του κυρίως μετάλλου, και η ύπαρξη επιμέρους τμημάτων ενώσεων με συνδέσμους ή συνδετικό υλικό αποτελούν τους κυριότερους παράγοντες που λαμβάνονται υπόψη για την επιλογή της μεθόδου συντήρησης των αντικειμένων από κράματα χαλκού.

Η συντήρηση των κραμάτων χαλκού περιλαμβάνει τρεις ενότητες:

α. Την εξέταση του αντικειμένου, του τρόπου κατασκευής του, της κατάστασης διάβρωσής του και των αιτιών που προκαλούν τη φθορά του.

β. Τη συντήρηση - αποκατάσταση του αντικειμένου που περιλαμβάνει την απομάκρυνση των προϊόντων διάβρωσης και την αποκάλυψη της αρχικής επιφάνειάς του.

γ. Τη διατήρηση, η οποία αφορά την επιβράδυνση και την παρεμπόδιση της φθοράς, με έλεγχο των περιβαλλοντικών συνθηκών για τη δημιουργία σταθερών συνθηκών έκθεσης και αποθήκευσης.

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΧΑΛΚΙΝΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Μηχανικός καθαρισμός

Στο μηχανικό καθαρισμό ο συντηρητής έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσει διάφορα εργαλεία και να εφαρμόσει διάφορες τεχνικές. Ωστόσο, δεν υπάρχουν συγκεκριμένες λεπτομερείς οδηγίες, διότι ο καθαρισμός αποτελεί μια διαδικασία που καθορίζεται από την ιδιαιτερότητα του αντικειμένου. Η αναζήτηση της αρχικής επιφάνειας είναι μια επίπονη και λεπτή εργασία, που πλησιάζει τη μικρογλυπτική, όταν αναζητούνται λεπτομέρειες και πληροφορίες ανάμεσα στα στρώματα των προϊόντων διάβρωσης.

Τα εργαλεία είναι τα ίδια που χρησιμοποιούνται στο μηχανικό καθαρισμό του σιδήρου.



Χάλκινο άγαλμα του αυτοκράτορος Οκταβιανού Αυγούστου, από τη θαλάσσια περιοχή μεταξύ Λήμνου και Αγίου Ευστρατίου, πριν και μετά τη συντήρηση.

Άσκηση 11. Να απομακρυνθούν από την επιφάνεια αντικειμένων κράματος χαλκού τα προϊόντα διάβρωσης με τη χρήση μηχανικών μέσων, αφού πρώτα εξεταστούν οι παράγοντες που καθορίζουν τον τρόπο επέμβασης.

Χημικός καθαρισμός

α. Χρήση όξινων ουσιών

Τα διαλύματα του μυρμηκικού οξέος και του κιτρικού οξέος διαλύουν τα προϊόντα διάβρωσης του χαλκού, όπως είναι τα οξειδία και οι ανθρακικές και χλωριούχες ενώσεις του.

Η μέθοδος απομάκρυνσης γίνεται με τον εμποτισμό ορισμένων περιοχών του αντικειμένου με αραιό διάλυμα των οξέων. Κατά τη διάρκεια της εφαρμογής τους έχουμε απομάκρυνση των προϊόντων διάβρωσης, αλλά σε αρκετές περιπτώσεις καταστρέφουν την πατίνα του κυπρίτη, αποκαλύπτοντας τη μεταλλική επιφάνεια του αντικειμένου. Η χρήση όξινων διαλυμάτων πρέπει γενικά να αποφεύγεται, διότι η δράση τους δεν ελέγχεται και μπορεί να χαθούν σημαντικές πληροφορίες.

β. Χρήση αλκαλικών μέσων

Τα αλκαλικά μέσα είναι ήπια στη δράση τους και αντιδρούν κυρίως με τα προϊόντα διάβρωσης του δισθενούς χαλκού.

Αλκαλικό άλας του Rochelle - Αλκαλική γλυκερόλη

Με την εφαρμογή αυτών των αναγωγικών αντιδραστηρίων έχουμε το σχηματισμό ευδιάλυτων σύμπλοκων ενώσεων με τα ιόντα του χαλκού που προκύπτουν από τη διάσπαση των προϊόντων διάβρωσης. Το καυστικό νάτριο που χρησιμοποιείται για την παρασκευή αυτών των διαλυμάτων συντελεί στο σχηματισμό των σύμπλοκων ενώσεων και δημιουργεί ισχυρό αλκαλικό περιβάλλον.

Το αλκαλικό άλας του Rochelle παρασκευάζεται με τη χρήση τρυγικού καλιονατρίου ($\text{NaKC}_4\text{H}_4\text{O}_6 \cdot 4\text{H}_2\text{O}$) και υδροξειδίου του νατρίου (NaOH) σε απιονισμένο νερό. Η αλκαλική γλυκερόλη παρασκευάζεται με τη χρήση γλυκερόλης ($\text{C}_3\text{H}_5(\text{OH})_3$) και υδροξειδίου του νατρίου σε απιονισμένο νερό.

Για την απομάκρυνση αλάτων ασβεστίου και μαγνησίου, που μπορεί να υπάρχουν ως επικαθίσεις στην επιφάνεια του αντικειμένου, χρησιμοποιείται το Calgon που παρασκευάζεται με τη διάλυση εξαμεταφωσφορικού νατρίου σε απιονισμένο νερό και συντελεί στο σχηματισμό ευδιάλυτων ενώσεων.

Μετά τη χρήση χημικών μέσων κρίνεται απαραίτητη η πλύση των αντικειμένων με απιονισμένο νερό για την αφαίρεση των χημικών αντιδραστηρίων και των διαλυμένων προϊόντων που τυχόν έχουν παραμείνει στην επιφάνεια του αντικειμένου.

Άσκηση 12. Καθαρισμός αντικειμένων κράματος χαλκού με τη χρήση χημικών μέσων και παρατηρήσεις για τα αποτελέσματα της εφαρμογής τους.

Ηλεκτρολυτικός καθαρισμός

Η μέθοδος αυτή είχε παλιότερα κάποιες εφαρμογές. Σήμερα, όμως, δε χρησιμοποιείται για τη συντήρηση χάλκινων αντικειμένων.

Η διάταξη που χρησιμοποιείται είναι μια συσκευή παροχής ηλεκτρικού ρεύματος, στην οποία συνδέονται δύο ηλεκτρόδια που αποτελούν την άνοδο και την κάθοδο. Στην κάθοδο τοποθετείται το αντικείμενο, ενώ στην άνοδο τοποθετείται μια ράβδος μετάλλου, συνήθως από ανοξειδωτο χάλυβα. Με την παροχή ρεύματος έχουμε έκλυση υδρογόνου στην κάθοδο και οξυγόνου στην άνοδο. Το υδρογόνο δρα μηχανικά και απογυμνώνει το αντικείμενο από τα προϊόντα διάβρωσης.

Ως ηλεκτρολυτικά διαλύματα για την έκλυση υδρογόνου με τη μορφή φυσαλίδων χρησιμοποιούνται τα: α. NaOH, β. Na₂CO₃.

Ηλεκτροχημικός καθαρισμός

Σύμφωνα με τη μέθοδο αυτή, την οποία αναφέρουμε για ιστορικούς μόνο λόγους, το αντικείμενο τυλιγόταν σε φύλλο αλουμινίου, ψευδαργύρου ή κασσίτερου και τοποθετούνταν σε διάλυμα καυστικού νατρίου (NaOH).

Το υδρογόνο που παραγόταν από την αντίδραση δρούσε μηχανικά και απογύμνωνε τα αντικείμενα. Και αυτή η μέθοδος έχει εγκαταλειφθεί τελείως.

Σε αντικείμενα που έχουν συντηρηθεί με ηλεκτροχημικές μεθόδους βρίσκονται στην επιφάνειά τους προϊόντα τα οποία προέρχονται από το μέταλλο που έχει χρησιμοποιηθεί (ψευδάργυρος, κασσίτερος, αλουμίνιο) και τα οποία δεν έχουν καλή σχέση με το αντικείμενο.



πριν την τελική αποκατάσταση



μετά την τελική αποκατάσταση

Χάλκινο άγαλμα εφήβου από τα Αντικύθηρα (Φωτογραφικό αρχείο Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου).

ΣΤΑΘΕΡΟΠΟΙΗΣΗ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΚΡΑΜΑΤΟΣ ΧΑΛΚΟΥ

Μετά τον καθαρισμό ενός αντικειμένου από κράμα χαλκού, με τον οποίο επιτυγχάνουμε μερική ή ολοκληρωτική αποκατάσταση της αρχικής εικόνας του αντικειμένου, το επόμενο στάδιο συντήρησης είναι η σταθεροποίηση της κατάστασής του.

Η σταθεροποίηση στόχο έχει την καθυστέρηση και την αποτροπή περαιτέρω φθοράς του αντικειμένου.

Το προϊόν της ενεργού διάβρωσης των κραμάτων χαλκού είναι ο υποχλωριούχος χαλκός (CuCl) και η αντίδραση που ενεργοποιεί τη διάβρωση είναι η υδρόλυση του προϊόντος αυτού. Με την εφαρμογή μεθόδων σταθεροποίησης επιδιώκεται είτε η απομάκρυνση των χλωριόντων με τη χρήση κατάλληλων χημικών αντιδραστηρίων είτε η δέσμευσή τους είτε η δημιουργία σταθερών συμπλόκων που δεν υδρολύονται.

Οι μέθοδοι που μπορούν να εφαρμοστούν είναι οι εξής:

α. Εμβάπτιση σε διάλυμα βενζοτρίαζόλης, η οποία σχηματίζει ένα προστατευτικό στρώμα στην επιφάνεια του αντικειμένου. Ορισμένα επικαλυπτικά υλικά προστασίας περιέχουν ως συστατικό τη βενζοτρίαζόλη, η οποία σχηματίζει σταθερά σύμπλοκα.

β. Η χρήση διαλυμάτων ανθρακικού νατρίου (Na_2CO_3) και sesqui ($\text{Na}_2\text{CO}_3 \cdot \text{NaHCO}_3 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$), τα οποία αντιδρούν με τον CuCl και σχηματίζουν Cu_2O με τη μορφή χαλαρού πορώδους στρώματος, το οποίο, όμως, δε δρα προστατευτικά στην επιφάνεια του μετάλλου. Τα ιόντα χλωρίου μεταφέρονται στο διάλυμα και απομακρύνονται.

γ. Η χρήση του οξειδίου του αργύρου, η οποία οδηγεί στο σχηματισμό αδιάλυτου χλωριούχου αργύρου, και έτσι δεσμεύονται τα ιόντα χλωρίου.

Άσκηση 13. Αφού καθαριστούν τα αντικείμενα κράματος χαλκού, να τοποθετηθούν:

- σε διάλυμα βενζοτρίαζόλης για τη σταθεροποίηση της κατάστασης του αντικειμένου, και
- σε διάλυμα ανθρακικού νατρίου.

ΠΡΟΣΤΑΣΙΑ ΤΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ ΚΡΑΜΑΤΟΣ ΧΑΛΚΟΥ

Ξήρανση του αντικειμένου

ΓΕΝΙΚΑ

Πριν από την εφαρμογή ενός επικαλυπτικού στρώματος στην επιφάνεια του αντικειμένου θα πρέπει να απομακρύνεται το ποσοστό υγρασίας που τυχόν υπάρχει, για να αποφεύγεται η περαιτέρω διάβρωση του αντικειμένου.

Η ξήρανση του αντικειμένου μπορεί να επιτευχθεί με δύο τρόπους:

α. Με θέρμανση

Το αντικείμενο τοποθετείται σε κλίβανο/πυριαντήριο σε θερμοκρασία 100 για αρκετές ώρες, ώστε να απομακρυνθεί η υγρασία που περιέχει.

Σε αντικείμενα μεγάλου μεγέθους η ξήρασή τους επιτυγχάνεται με τη χρήση λυχνιών υπέρυθρης ακτινοβολίας, οι οποίες με την ακτινοβολία που εκπέμπουν προκαλούν θέρμανση του αντικειμένου.

β. Με χρήση ξηραντικών μέσων

Η υγρασία που περιέχει ένα αντικείμενο μπορεί να απομακρυνθεί επίσης με τη χρήση οργανικών διαλυτών, οι οποίοι βοηθούν στην εξάτμιση του νερού. Το αντικείμενο εμβαπτίζεται σε ακετόνη, η οποία αντικαθιστά το νερό, και, όταν το αντικείμενο αφεθεί στον αέρα, εξατμίζεται ο διαλύτης.

Επικαλυπτικά υλικά

Το κερί παραφίνης και το μικροκρυσταλλικό κερί χρησιμοποιούνται ως προστατευτικά υλικά. Η εφαρμογή τους γίνεται με εμβάπτιση του αντικειμένου σε διάλυμά τους ή με επάλειψη με πινέλο. Με την εμβάπτιση του αντικειμένου επιτυγχάνεται καλύτερος διαποτισμός, αλλά και μεγαλύτερη δυσκολία αντιστρεψιμότητας σε σύγκριση με την επάλειψη με πινέλο.

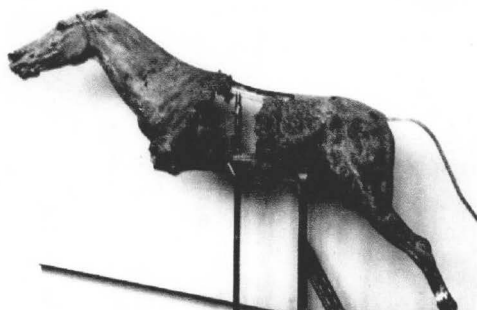
- α. Σχηματίζεται ένα πολύ σκληρό φιλμ στην επιφάνεια του αντικειμένου.**
- β. Είναι δύσκολο να σχηματίσουν ομοιόμορφο - ισόπαχο στρώμα.**
- γ. Καλύπτουν λεπτομέρειες της επιφάνειας του αντικειμένου.**
- δ. Έλκουν τη σκόνη και τα αιωρούμενα σωματίδια.**
- ε. Δεν αφαιρούνται εύκολα.**

Μια άλλη κατηγορία υλικών επικάλυψης του αντικειμένου είναι συνήθως οι συνθετικές ρητίνες. Η εφαρμογή τους γίνεται με χρήση διαλύματος ρητίνης σε οργανικό διαλύτη.

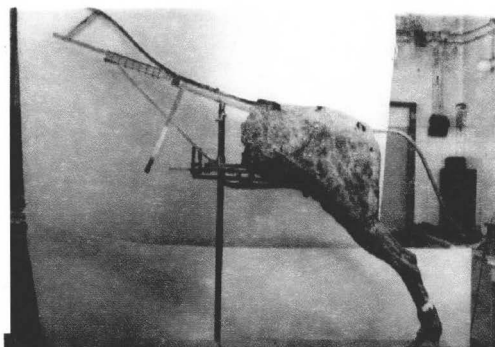
Με την εξάτμιση του διαλύτη δημιουργείται ένα λεπτό φιλμ επάνω στην επιφάνεια του αντικειμένου.

Η επικάλυψη μπορεί να γίνει με πινέλο, με ψεκασμό ή με εμποτισμό σε συνθήκες κενού.

Στην κατηγορία αυτή ανήκουν το Inctalac και το Paraloid B72. Η βελτίωση της προστατευτικής ιδιότητας του Inctalac επιτυγχάνεται με την προσθήκη αναστολέων, όπως είναι η βενζοτριαζόλη, η οποία ενισχύει τη δράση του σχηματίζοντας σύμπλοκες ενώσεις με τα μεταλλικά ιόντα του χαλκού. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν ικανοποιητική αντιστρεψιμότητα και αντοχή στη θερμότητα και φωτοξείδωση. Με την πάροδο, όμως, του χρόνου κιτρινίζουν και μετατρέπονται σε μερικώς μη αντιστρεπτά υλικά.



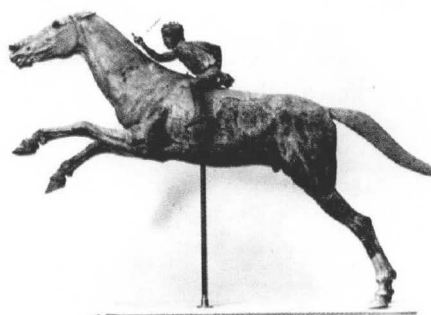
*Στήριξη του χάλκινου αγάλματος
σε μεταλλικό άξονα*



Συγκόλληση των μεταλλικών τμημάτων



*Ενίσχυση των συγκολλημένων τμημάτων με
υλικό στερέωσης στο τμήμα που υπολείπεται*



*Συμπλήρωση-αισθητική αποκατάσταση
του τμήματος που υπολείπεται*

Χάλκινος ίππος με αναβάτη από το Αρτεμίσιο (Φωτογραφικό αρχείο Εθνικού Αρχαιολογικού Μουσείου).

Άσκηση 14. Να επικαλυφθεί η επιφάνεια των αντικειμένων με μικροκρυσταλλικό κερί και με συνθετικές ρητίνες, και να γίνουν παρατηρήσεις σχετικά με τις δυσκολίες - ευκολίες στη διαδικασία εφαρμογής τους.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Avner H.S.,
Introduction to physical metallurgy.
McGraw-Hill, Singapore 1974.
2. Born H.
Archaeologische Brinzen - Antike Kunst - Modern Technik
Staatliche Museeu Preubischer Kulturbesitz, Berlin 1985.
3. Cronyn J.M.,
The elements of Archeological Conservation.
Routledge, London 1990.
4. Coplestone T., Myers B.
Παγκόσμιος Ιστορία Τέχνης
Εκδοτικός Οργανισμός "Χρυσός Τύπος" Α.Ε..
5. Evans R.U.,
An introduction to metallic corrosion.
London 1981.
6. Hodges H.,
Artifacts: An introduction to early materials and technology.
John Baker, London 1971.
7. Hochleitner R.,
Minerals
Edit. Barons.
8. Institute of Archaeology,
The conservation of metal artifacts.
London 1983.
9. Κονοφάγου Κ.,
Μεταλλογνωσία.
Τόμοι I-II, Αθήνα 1972.

10. MacLeod D.,
“Conservation of corroded copper alloys: a comparison of new and traditional methods of removing chloride ions”.
Studies in Conservation 32, 1982.
11. Merk L.,
“A study of reagents used in the stripping of bronzes”.
Studies in Conservation 23, 1978.
12. Oddy W, Hughes M.,
“The stabilization of active bronze and iron antiquities by the use of sodium sesquicarbonate”.
Studies in Conservation 15, 1970.
13. Pearson C.,
Conservation of Marine Archeological Objects.
Butterworths, London 1987.
14. Pearson C., North N.,
Investigations into methods for conserving iron relics recovered from the sea.
Stockholm Congress IIC, 1975.
15. Pearson C., North N.,
“Washing methods for chloride removal from marine iron artifacts”.
Studies in Conservation 27, 1982.
16. Pollard A., Thomas R., Williams P.,
“Mineralogical changes arising from the use of aqueous sodium carbonate solutions for the treatment of archaeological copper objects”.
Studies in Conservation 35, 1990.
17. Scott D.,
“Periodic corrosion phenomena in bronze antiquities”.
Studies in Conservation 30, 1985.
18. Sease C.,
“Benzotriazole: A review for conservators”.
Studies in Conservation 23, 1978.

19. Turgoose S.,
“The corrosion of archaeological iron during burial and treatment”
Studies in Conservation 30, 1985.

20. Turgoose S.,
“Post-excavation changes in iron antiquities”.
Studies in Conservation 27, 1982.

21. Tylecote F.R.,
A history of Metallurgy.
The institute of Materials, London 1972.

22. Watkinson D.,
First aid for finds.
UKIC Archaeology Section, London 1987.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΠΕΤΡΑΣ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η πέτρα είναι ένα υλικό το οποίο ο άνθρωπος έχει χρησιμοποιήσει, από την προϊστορική εποχή, ως δομικό στοιχείο, ως όπλο, ως εργαλείο και ως μέσο καλλιτεχνικής έκφρασης, με σκοπό την εξυπηρέτηση φυσικών και πνευματικών αναγκών του. Επειδή η πέτρα είναι υλικό πολύ ανθεκτικό στη φθορά του χρόνου, έχουν διασωθεί ως τις μέρες μας πολύ αξιόλογα έργα αρχιτεκτονικής και γλυπτικής από πέτρα και αποτελούν σαφή τεκμήρια των πολιτισμών που έχουν προηγηθεί και τα έχουν δημιουργήσει. Εξάλλου, οι σύγχρονες πολιτιστικές αξίες επιβάλλουν τη διατήρηση όλων των μνημείων των παρελθόντων ετών και επομένως αναλαμβάνονται προσπάθειες μεγάλης κλίμακας, οι οποίες σκοπό έχουν αφ' ενός να αποκαταστήσουν τις φθορές που αυτά υπέστησαν κατά το παρελθόν και αφ' ετέρου να τα προστατεύσουν από φθορές που θα συμβούν στο μέλλον, έτσι ώστε να παραδοθούν στις επόμενες γενιές ως οι σημαντικότερες αποδείξεις της ιστορικής συνέχειας του πολιτισμού.

Οι επεμβάσεις για την προστασία και για τη συντήρηση των πέτρινων μνημείων που έχουν ιστορική, πολιτιστική και καλλιτεχνική σημασία επιβάλλεται να γίνονται πάνω σε αυστηρά επιστημονική βάση, και θα αποκλείει την πιθανότητα αποτυχίας, που συνεπάγεται την πρόκληση ανεπανόρθωτων ζημιών στα μνημεία, η οποία θα εξασφαλίζει το αρτιότερο από τεχνική και αισθητική πλευρά αποτέλεσμα.

ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ ΚΑΙ ΟΡΥΚΤΑ

ΓΕΝΙΚΑ ΠΕΡΙ ΠΕΤΡΩΜΑΤΩΝ

Πετρώματα ονομάζονται τα ορυκτά ή οι ομάδες ορυκτών τα οποία αποτελούν μέρος του στερεού φλοιού της Γης.

Τα πετρώματα ταξινομούνται με πολλούς τρόπους. Ως προς τη σύστασή τους διακρίνονται σε ομογενή, όταν αποτελούνται από ένα είδος πέτρας, ή σε ετερογενή, όταν αποτελούνται από πολλά είδη πέτρας. Ως προς τις φυσικές ιδιότητές τους ταξινομούνται σε πορώδη, σε συμπαγή, σε μη συμπαγή κτλ. Η βασικότερη, όμως, ταξινόμηση γίνεται με βάση τον τρόπο σχηματισμού τους, οπότε διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:

1. Στα πυριγενή ή εκρηξιγενή ή μαγματικά πετρώματα.
2. Στα ιζηματογενή πετρώματα.
3. Στα μεταμορφωσιγενή πετρώματα.

ΠΥΡΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Τα πυριγενή πετρώματα σχηματίστηκαν από τη στερεοποίηση ρευστής και διάπυρης μάζας, η οποία προήλθε από το εσωτερικό της Γης και στερεοποιήθηκε στους επιφανειακούς σχηματισμούς του στερεού φλοιού της. Η ρευστή αυτή και διάπυρη μάζα λέγεται μάγμα, και, επομένως, τα πετρώματα της κατηγορίας αυτής ονομάζονται και μαγματικά. Επίσης, ονομάζονται και εκρηξιγενή, διότι η μετακίνηση του μάγματος από τα βαθύτερα προς τα επιφανειακά στρώματα του στερεού φλοιού αποτελεί ένα είδος έκρηξης.

Το μάγμα πολλές φορές κατά την άνοδό του δεν κατορθώνει να φθάσει μέχρι την επιφάνεια της Γης και κάτω από συνθήκες υψηλής πίεσης ψύχεται και στερεοποιείται μέσα στο στερεό φλοιό. Τότε, τα πυριγενή πετρώματα που σχηματίζονται ονομάζονται πλουτώνια πυριγενή πετρώματα. Υπάρχουν, όμως, και άλλες περιπτώσεις, όπου το μάγμα κατά την άνοδό του βγαίνει και στερεοποιείται στην επιφάνεια της Γης. Τότε, τα πυριγενή πετρώματα που σχηματίζονται ονομάζονται ηφαιστειογενή πετρώματα και είναι η περίπτωση των ηφαιστειών, όπου η λάβα που βγαίνει από τους κρατήρες τους στερεοποιείται πάνω στην επιφάνεια της Γης.

Στην κατηγορία των πλουτώνιων πετρωμάτων ανήκουν: ο γρανίτης, ο γρανοδιορίτης, ο γάββρος, ο περιδοτίτης κ.ά.

Στην κατηγορία των ηφαιστειογενών πετρωμάτων ανήκουν: ο λιπαρίτης, που εμφανίζεται με δύο παραλλαγές, δηλαδή σαν οψιδιανός και σαν κίσηρη, ο τραχεΐτης, ο ανδεσίτης, ο βασάλτης, ο διαβάσης κ.ά.

ΙΖΗΜΑΤΟΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Τα ιζηματογενή πετρώματα σχηματίστηκαν από προϊόντα αποσάθρωσης άλλων πετρωμάτων που ήδη υπήρχαν. Τα πετρώματα αυτά σχηματίστηκαν από την καθίζηση απο-

σαθρωμένων προϊόντων, υπό μορφή χημικών και μηχανικών ιζημάτων μέσα στο νερό, γι' αυτό και ονομάστηκαν ιζηματογενή.

Για να σχηματιστεί ένα ιζηματογενές πέτρωμα, είναι απαραίτητο να υπάρχουν ορισμένοι παράγοντες όπως:

α. Η αποσάθρωση: Περιλαμβάνει όλες τις μηχανικές, φυσικές και χημικές διεργασίες που συντελούν στον κατακερματισμό και τελικά στην καταστροφή ενός πετρώματος. Οι παράγοντες αποσάθρωσης είναι η μηχανική δράση του νερού με τη μορφή βροχής, χιονιού, πάγου, ποταμών, οι διακυμάνσεις της ηλιακής θερμότητας, η μηχανική δράση των ανέμων και η διάλυση, υδρόλυση, οξειδωση και αναγωγή ορισμένων ορυκτολογικών συστατικών των πετρωμάτων.

Στην αποσάθρωση των πετρωμάτων συντελούν ακόμη και οργανικοί παράγοντες, όπως οι ρίζες των φυτών, οι τερμίτες, τα λιθοφάγα όστρακα της θάλασσας κτλ.

β. Η μεταφορά: Είναι η δεύτερη φάση κατά την οποία δημιουργείται ένα ιζηματογενές πέτρωμα, όπου τα υλικά της αποσάθρωσης από ένα πέτρωμα που προϋπήρχε μεταφέρονται μακριά από τον τόπο προέλευσης. Ως μέσα μεταφοράς θεωρούνται το νερό, υπό μορφή χειμάρρων, ποταμών κτλ., και ο αέρας.

γ. Η απόθεση: Η φάση αυτή είναι η τρίτη απαραίτητη φάση σχηματισμού των ιζηματογενών πετρωμάτων. Η μεταφορική ικανότητα του νερού εξαρτάται από την κινητική ενέργειά του. Όταν η κινητική αυτή ενέργεια μειωθεί, όπως συμβαίνει στις εκβολές των ποταμών, τα υλικά που αιωρούνται αρχίζουν να κατακάθονται.

δ. Η διαγένεση - λιθοποίηση: Τα ιζήματα που έχουν κατακαθίσει παθαίνουν τη λεγόμενη λιθοποίηση, δηλαδή μεταβάλλονται από χαλαρά ιζήματα σε συμπαγή πετρώματα. Οι παράγοντες διαγένεσης είναι η πίεση που προκαλείται από μεταγενέστερες πάνω σ' αυτά τα υλικά αποθέσεις και η κυκλοφορία διάφορων διαλυμάτων μεταξύ των κενών των ιζημάτων, τα οποία διαλύματα συμβάλλουν στην συγκόλληση των κόκκων τους.

Ανάλογα με το είδος και με την προέλευση του ιζήματος από το οποίο σχηματίστηκαν, τα ιζηματογενή πετρώματα διακρίνονται σε κλαστικά ή μηχανικά, σε χημικά και σε βιογενή ή οργανογενή.

1. Κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα

Τα κλαστικά ιζηματογενή πετρώματα προέρχονται από τη διαγένεση ιζημάτων που είναι προϊόντα φυσικής αποσάθρωσης άλλων πετρωμάτων, χωρίς να έχει μεσολαβήσει κάποια χημική μεταβολή. Τα κλαστικά αυτά ιζήματα διακρίνονται σε τρογμάλες, λατύπες, κροκάλες, χαλίκια, άμμο, ιλύ και αργίλους, και από τη διαγένεση αυτών προκύπτουν αντίστοιχα τα τρογματοπαγή, τα λατυποπαγή, τα κροκαλοπαγή, τα χαλικοπαγή και οι ψαμμίτες.

Από τη διαγένεση των αργίλων προκύπτουν η σχιστή άργιλος, ο αργιλικός σχιστόλιθος, ο φλύσχος, οι ηφαιστειογενείς τόφφοι και η θηραϊκή γη.

Τα κρυσταλλικά ορυκτά των αργίλων είναι εκείνα τα οποία καθορίζουν και τις ιδιότητες τους. Το κρυσταλλικό πλέγμα όλων αυτών των ορυκτών αποτελείται βασικά από δύο δομικά στοιχεία, δηλαδή από τα τετράεδρα του πυριτίου και από τα οκτάεδρα του αργιλίου. Τα ορυκτά της αργίλου διακρίνονται σε τρεις ομάδες: στην ομάδα του καολινίτη, στην ομάδα του μοντμοριλλονίτη και μαρμαρυγιακών ορυκτών και στην ομάδα των χλωριτών.

Τα αργιλικά ορυκτά αυτών των πετρωμάτων είναι:

- α. Ο καολινίτης.
- β. Ο αλλοϋσίτης.
- γ. Ο μοντμοριλλονίτης.
- δ. Ο ιλλίτης.

2. Χημικά και βιογενή ιζηματογενή πετρώματα

Στην κατηγορία αυτή των χημικών και ιζηματογενών πετρωμάτων ανήκουν τα πετρώματα, στα ιζήματα των οποίων συμμετέχει και ο οργανικός κόσμος. Τα σπουδαιότερα πετρώματα που έχουν σχέση με τεχνικά έργα είναι ο ασβεστόλιθος, οι μάργες, ο τραβερτίνης, η κρητίδα ή κιμωλία, ο δολομίτης και οι κερατόλιθοι.

ΜΕΤΑΜΟΡΦΩΣΙΓΕΝΗ ΠΕΤΡΩΜΑΤΑ

Τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα είναι πετρώματα που προέρχονται από μεταμόρφωση ορισμένων ορυκτολογικών συστατικών των ηφαιστειογενών και ιζηματογενών πετρωμάτων, υπό την επίδραση κυρίως υψηλών θερμοκρασιών και πιέσεων. Με τον όρο “μεταμόρφωση” εννοούμε τις μεταβολές που γίνονται στα ορυκτολογικά συστατικά των αρχικών πετρωμάτων, όταν αυτά βρίσκονται κάτω από ορισμένες συνθήκες. Από πλευράς ποσότητας, τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα είναι τα περισσότερο συνηθισμένα στο σύνολο των πετρωμάτων του στερεού φλοιού της Γης. Η διαδικασία της μεταμόρφωσης γίνεται οπουδήποτε μπορεί να δημιουργηθεί πίεση ή συμπίεση, με αύξηση ή μη της θερμοκρασίας.

Οι διάφοροι τύποι μεταμόρφωσης εξαρτώνται από το σύνολο των πιέσεων που ασκούνται, ενώ η θερμοκρασία καθορίζει το βαθμό της μεταμόρφωσης. Ανάλογα με τις γεωλογικές συνθήκες που μπορεί να προκαλέσουν μεταμόρφωση διακρίνουμε τρεις κατηγορίες μεταμόρφωσης:

- α. Τη Δυναμική Μεταμόρφωση,
- β. Τη Μεταμόρφωση Επαφής και
- γ. Την Περιφερειακή Μεταμόρφωση.

Αρχικά, κατά τη Δυναμική Μεταμόρφωση τα πετρώματα μεταμορφώνονται από την επενέργεια μεγάλων κατακόρυφων και πλευρικών πιέσεων, οι οποίες προκαλούνται από τις μετακινήσεις διάφορων τμημάτων του στερεού φλοιού της Γης. Η Μεταμόρφωση Επαφής είναι η μεταμόρφωση που προκαλείται από το ρευστό και διάπυρο μάγμα, όταν αυτό μετακινείται στα γειτονικά πετρώματα. Εκτός από τις υψηλές θερμοκρασίες και πιέσεις, στη μεταμόρφωση συμβάλλει και η δράση των αέριων και θερμών διαλυμάτων που βρίσκονται μέσα στο μάγμα. Στη Μεταμόρφωση Επαφής διακρίνονται τρεις βαθμοί, ο υψηλός, ο μέσος και ο χαμηλός, που εξαρτώνται από την απόστασή τους από το μαγματικό κοίτασμα. Τέλος, κατά την Περιφερειακή Μεταμόρφωση έχουμε μεγάλες πιέσεις, υψηλές θερμοκρασίες και μαγματικές εκρήξεις, έτσι ώστε η μεταμόρφωση να επεκτείνεται σε μεγάλες λιθολογικές μάζες.

Από τα μεταμορφωσιγενή πετρώματα το μεγαλύτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν οι φυλλίτες, οι μαρμαρυγιακοί σχιστόλιθοι, οι γνεύσιοι και τα μάρμαρα.

Άσκηση 1. Να δοθούν διάφορα πετρώματα και με βάση τα χαρακτηριστικά τους (π.χ. το είδος του χρώματος, την ύπαρξη πόρων, κοκκομετρίας, στρώσεων κτλ.) να κατηγοριοποιηθούν σε πυριγενή, σε ιζηματογενή και σε μεταμορφωσιγενή.

ΜΑΡΜΑΡΑ

ΓΕΝΙΚΑ

Το μάρμαρο έχει ευρύτατη χρήση στην ελληνική αρχιτεκτονική, διότι, παρά τη μικροσκοπικότητα των κρυστάλλων του, η κρυσταλλική υφή του αποδίδει καλό αισθητικό αποτέλεσμα και διότι στη διαφανή επιφάνεια του υλικού οι κρύσταλλοι δίνουν έναν παλμό ζωής. Οι αρχαίοι με τη λέξη “μάρμαρος” αρχικά εννοούσαν ένα μεγάλο βραχώδη όγκο, ενώ αργότερα, από το 400 π.Χ. και μετά, η λέξη αποκτά τη σημερινή σημασία, του ευγενούς κρυσταλλικού ασβεστόλιθου.

Στη γεωλογική ή στην πετρολογική ονοματολογία το μάρμαρο είναι ένα πέτρωμα που έχει προέλθει από ασβεστόλιθο με ανακρυστάλλωση του ορυκτού που περιέχει, δηλαδή του ασβεστίτη.

Το κύριο συστατικό του μαρμάρου είναι ο ασβεστίτης, με χημικό τύπο CaCO_3 , που σχηματίζει κρυστάλλια με τέλειο σχισμό κατά τρεις διευθύνσεις παράλληλες προς τις έδρες ενός ρομβόεδρου. Ο σχισμός αυτός προκαλεί τις τοπικές ανακλάσεις του φωτός στις σχισμογενείς έδρες των κρυστάλλων, τα μαρμαρυγή, και κάνει το πέτρωμα κατάλληλο για την κατασκευή γλυπτών αντικειμένων, επειδή θραύεται με τη σμίλη τοπικά. Το μάρμαρο είναι ένα σχετικά μαλακό πέτρωμα με ειδικό βάρος $2,7 \text{ gr}^*/\text{cm}^3$.

Όταν το μάρμαρο, εκτός από τον ασβεστίτη, περιέχει σε μικρό ή σε μεγάλο ποσοστό και το ορυκτό δολομίτη με χημικό τύπο $\text{CaCO}_3 \cdot \text{MgCO}_3$, το μάρμαρο ονομάζεται δολομιτικό. Ο δολομίτης κρυσταλλογραφικά μοιάζει πολύ με τον ασβεστίτη, έχει σκληρότητα αυξημένη σχετικά με τον ασβεστίτη, είναι περισσότερο εύθραυστος σχετικά με τον ασβεστίτη, ενώ το ειδικό του βάρος είναι $2,9 \text{ gr}^*/\text{cm}^3$.

Εκτός από τα δύο ανθρακικά ορυκτά που αναφέρθηκαν, στα γνήσια μάρμαρα μπορούν να περιέχονται ως επουσιώδη ή ως ουσιώδη συστατικά και άλλα ορυκτά, τα οποία είναι συνήθως πυριτικά, όπως χαλαζίας, μοσχοβίτης, σερικήτης, φλογωπίτης, χλωρίτης κτλ. Από τα μη πυριτικά ορυκτά εμφανίζονται συχνά αιματίτης, λειμωνίτης, μαγνητίτης, σιδηροπυρίτης, γραφίτης κτλ.

Τα μάρμαρα διακρίνονται σε λεπτόκοκκα, μεσόκοκκα και χονδρόκοκκα, όταν οι κόκκοι ή τα κρυστάλλια του ασβεστίτη ή του δολομίτη έχουν διαστάσεις αντίστοιχα $d=0,01-0,5 \text{ mm}$, $d=0,6-2 \text{ mm}$ και $d=2-6 \text{ mm}$. Σπάνια υπάρχουν και πιο χονδρόκοκκα μάρμαρα με $d>6 \text{ mm}$. Λεπτόκοκκα είναι τα πεντελικά μάρμαρα, ενώ πολύ χονδρόκοκκο είναι το μάρμαρο των Φιλίππων.

Χρωματισμοί των μαρμάρων

Τα μάρμαρα ανάλογα με τον τρόπο σχηματισμού τους, με το είδος των ορυκτολογικών συστατικών τους και με το είδος και το ποσοστό των προσμείξεων παρουσιάζουν διάφορες ιδιότητες. Οι προσμείξεις, εκτός από την επίδραση που ασκούν στις ιδιότητες, επηρεάζουν άμεσα και το χρωματισμό των μαρμάρων, ιδιαίτερα των μαρμάρων ασβεστιτικής σύστασης, των οποίων το βασικό ορυκτολογικό συστατικό, ο ασβεστίτης, είναι λευκό.

Έτσι, προσμείξεις υδροξειδίων και οξειδίων του σιδήρου δίνουν στα μάρμαρα, ανάλογα με την περιεκτικότητά τους, χρώμα ελαφρύ κίτρινο έως σκούρο κόκκινο. Στις προσμείξεις αυτές οφείλεται η αλλοίωση της απόχρωσης των λευκών και υπόλευκων μαρμάρων, η οποία παρουσιάζεται, όταν εκτεθούν στο ύπαιθρο με την πάροδο του χρόνου. Τέτοια μάρμαρα, που αλλοιώνονται χρωματικά, είναι της Πεντέλης, του Υμηττού, του Λαυρίου, της Αγ. Μαρίνας, της Δράμας, της Καβάλας, της Θάσου, της Κοζάνης, του Παγασητικού και της Σκύρου.

Υποπράσινη απόχρωση σε ασβεστιτικά μάρμαρα προσδίδουν οι προσμείξεις ολιβίνη. Τα μάρμαρα αυτά αποχρωματίζονται ελαφρά με την πάροδο του χρόνου λόγω αποσάθρωσης του ολιβίνη. Τέτοια είναι τα μάρμαρα Στύρων, Καρύστου και Ευβοίας. Μελανές έως τεφρές αποχρώσεις δίνουν στα μάρμαρα οι ανθρακούχες προσμείξεις, όπως στα μάρμαρα Αλιβερίου, Βυτίνας, Κοκκινάρα, Μάνης, Ρόδου και Μαραθώνα.

ΛΑΤΟΜΕΙΑ-ΕΞΟΡΥΞΗ

Τα περισσότερα γνωστά και φημισμένα λατομεία κατά την παλαιοχριστιανική εποχή βρίσκονταν στο Μαρμαρά του Βοσπόρου και παρήγαν λευκά μάρμαρα με φλέβες υπομέλανες. Αυτά τα μάρμαρα χρησιμοποιούνταν κατά τους ελληνιστικούς χρόνους ως οικοδομικά υλικά. Ο Βιτρούβιος αναφέρει ότι από αυτό το μάρμαρο είναι κατασκευασμένο το Μουσωλείο της Αλικαρνασσού. Λατομεία λευκού μαρμάρου υπήρχαν και στη Μικρά Ασία, όπως αυτό της Εφέσου.

Λατομείο λευκού μαρμάρου, παρεμφερές με το πεντελικό, υπήρχε στην Πελοπόννησο στην περιοχή της Τεγέας. Τέλος, πολύτιμα λατομεία λευκού και υποκύανου μαρμάρου υπήρχαν στην Αττική, τα οποία χρησιμοποιούνταν κυρίως μετά τα Περσικά χρόνια στη γλυπτική και στην αρχιτεκτονική. Το καλύτερο από αυτά τα μάρμαρα είναι το λεπτόκοκκο πεντελικό, ενώ μετριότερο είναι αυτό του Υμηττού, και τρίτο σε σειρά έρχεται το εύθρυπτο λευκό μάρμαρο της Αγριλέζας στη Λαυρεωτική. Η εξόρυξη του μαρμάρου γινόταν συνήθως σε υπαίθρια λατομεία με ανοικτά μέτωπα και σπανιότερα σε υπόγειες στοές. Στην Ελλάδα υπάρχει μόνο ένα λατομείο υπόγειο το οποίο λειτούργησε κατά την κλασική αρχαιότητα και βρίσκεται στην Πάρο. Μία άλλη προσπάθεια υπόγειας εξόρυξης μαρμάρου στην Ελλάδα έγινε πριν από μερικά χρόνια στην περιοχή της Λαυρεωτικής, όπου στην αρχαιότητα λειτουργούσε υπαίθριο λατομείο εξαγωγής λευκού μαρμάρου, από το οποίο χτίστηκε ο ναός του Ποσειδώνα στο Σούνιο. Αφορμή ήταν η ανεύρεση, σε γεωτρήσεις που είχαν γίνει για έρευνα μεταλλευμάτων, λευκού μαρμάρου καλής ποιότητας.

Παλαιότερα η κοπή του μαρμάρου γινόταν με διάνοιξη οπών κατά μήκος του μετώπου κοπής και με εισαγωγή ξύλινων σφηνών μέσα στις οπές, τις οποίες κατόπιν έβρεχαν, οπότε η διαστολή του ξύλου προκαλούσε και την αποκόλληση του όγκου που επρόκειτο να κοπεί. Σήμερα οι οπές ανοίγονται με αερόσφυρες και σε αυτές τοποθετούνται σφήνες χαλύβδινες, οι οποίες χτυπιούνται με βαριές αναπτύσσοντας έτσι εφελκυστικές τάσεις, με αποτέλεσμα να σχίζεται το μάρμαρο στο επίπεδο των οπών.

Μία άλλη μέθοδος εξόρυξης είναι η συρματοκοπή, κατά την οποία ένα συρματοσχοινο κινείται με πίεση πάνω στην επιφάνεια του πετρώματος και το σχίζει με λείανση, καθώς ρίχνεται πάνω στο συρματοσχοινο χαλαζιακή άμμος ή άλλο σκληρό υλικό με νερό. Η ύπαρξη νερού στο σημείο ενέργειας του σύρματος είναι αναγκαία, για να μην καεί η πέτρα από τη θερμότητα που παράγεται από την τριβή του σύρματος.

ΛΑΞΕΥΣΗ

Μετά την εξόρυξη η πέτρα λαξεύεται και για τη λάξευσή της χρησιμοποιούνται τα εξής εργαλεία: αξίνες, σφύρες, σμίλες, λίμες, ράσπες και ξύστρες. Με τις αξίνες και με τα σφυριά γίνονται οι πρώτες εργασίες λάξευσης, έως ότου δοθεί το γενικό σχήμα του αντικειμένου, αρκετά εκατοστά πάνω από την τελική επιφάνειά του. Ανάλογα με τη διάμρφωση των ακραίων σημείων διακρίνονται η ακιδωτή αξίνα, η γραμμική αξίνα και η

οδοντωτή αξίνα. Οι σφύρες διακρίνονται στις ίδιες κατηγορίες με αυτές των αξινών. Οι ακιδωτές σμίλες χρησιμεύουν για την αφαίρεση του υλικού, οι οδοντωτές κατ' αρχάς στη λείανση των επιφανειών και οι καμπύλες και οι επίπεδες για τη διαμόρφωση των τελικών επιφανειών και των λεπτομερειών. Όλες οι λαξεύσεις μαρμάρου και ασβεστόλιθου στην αρχαιότητα έχουν γίνει με σφυρί και με σμίλη.

Σήμερα έχει εισαχθεί η χρήση πεπιεσμένου αέρα, για να δοθεί το χονδρικό σχήμα, αφού οι λεπτομέρειες γίνονται πάντοτε με το χέρι. Σε περιπτώσεις που το τελείωμα το επιβάλλει, χρησιμοποιούνται τα λειαντικά και τα στιλβωτικά υλικά.

Διαδικασία που ακολουθείται για τη μεταφορά της πέτρας από το λατομείο στον τόπο του κτισίματος

Την εποχή των κλασικών χρόνων για την κατασκευή κτισμάτων από πέτρα χρησιμοποιούνταν συνήθως ντόπιο υλικό αλλά και πετρώματα από άλλες περιοχές για τα τμήματα των αρχιτεκτονημάτων που θεωρούνταν ιδιαίτερα σημαντικά. Έτσι, π.χ., ο ναός του Ποσειδώνα στο Σούνιο είναι κατασκευασμένος από το λευκό μάρμαρο της κοντινής Αγριλέζας, ενώ η ανάγλυφη ζωοφόρος του είναι κατασκευασμένη από μάρμαρο της Πάρου.

Τα λατομεία συχνά ανοίγονταν, όταν υπήρχε καλό πέτρωμα, στην ακροθαλασσιά. Αυτό βοηθούσε στο φόρτωμα και στη μεταφορά της πέτρας δια θαλάσσης. Όταν, όμως, το λατομείο βρισκόταν σε βουνό, μακριά από τον τόπο της οικοδομής, τότε έπρεπε να βρεθεί τρόπος να μεταφερθούν οι βαριοί πέτρινοι όγκοι.

Η εξόρυξη άρχιζε από χαμηλά και προχωρούσε ψηλά, κλιμακωτά. Αν το πέτρωμα εμφανιζόταν σε υπόγειες φλέβες, τότε εξορυσσόταν από στοές που προχωρούσαν οριζόντια, όπως γινόταν στην Πάρο. Από τη στιγμή που η πέτρα είχε αποκολληθεί από το βράχο, συνήθως την κατεργάζονταν, ώστε να μην έχει περιττό βάρος και κάτω από τα άχρηστα τμήματα να μην κρύβει ατέλειες του πετρώματος. Κατόπιν όλα τα προϊόντα του λατομείου συγκεντρώνονταν σε ένα χώρο από όπου θα μεταφέρονταν στη θέση του κτίσματος. Η μεταφορά από στεριά γινόταν με διάφορους τρόπους. Αν το λατομείο βρισκόταν ψηλά, σε βουνό, όπως τα λατομεία της Πεντέλης (Σπηλιά), τότε έφτιαχναν ένα λιθόστρωτο ευθύ διάδρομο (γλίστρα), επάνω στον οποίο οι πέτρινοι όγκοι γλιστρούσαν, τοποθετημένοι σε «εσχάρες ή χελώνες» (ξυλογαϊδούρες), όπως λέγονταν, τις οποίες συγκρατούσαν σχοινιά δεμένα σε πασσάλους.

Όταν τα μάρμαρα έφταναν στους πρόποδες του βουνού, έπρεπε να μεταφερθούν στην οικοδομή, και αυτό γινόταν με αμάξια που τα έσερναν βόδια. Τα μακριά και εύθραυστα κομμάτια (κολόνες, επιστύλια) μεταφέρονταν με την προσαρμογή τροχών στα αμάξια αυτά.

Αλλά τόσο στο φόρτωμα και στο ξεφόρτωμα των λίθων όσο και στο χτίσιμο χρειάζονταν, όπως και σήμερα, ανυψωτικά μηχανήματα στις διάφορες οικοδομικές κατασκευές. Ο Πλίνιος αναφέρει ότι τον 6ο αι. π.Χ. χρησιμοποιούσαν σάκους άμμου σε κεκλιμένο

επίπεδο, ώστε να φθάνουν στα ψηλότερα σημεία του κτιρίου, και οι Έλληνες από νωρίς χρησιμοποίησαν την τροχαλία με ένα, δύο, τρία ή και τέσσερα στηρίγματα. Ρωμαϊκές απεικονίσεις μάς δείχνουν ότι τέτοια μηχανήματα κινούνταν και με τροχό, μέσα στον οποίο “βάδιζαν” άνθρωποι.

Για να σηκώσουν τις πέτρες, τις έδεναν με σχοινιά, όμως ήταν δύσκολο να περνά το σχοινί κάτω από την πέτρα και έτσι βρέθηκαν άλλοι τρόποι: Να αφήνουν στα πλάγια της πέτρας προεξοχές (αγκώνες), επάνω στις οποίες έπιαναν τα σχοινιά, ή να λαξεύουν στα δύο πλάγια της πέτρας ένα ανοικτό U, μέσα από το οποίο περνούσε το σχοινί. Μαζί με αυτά τα απλά συστήματα χρησιμοποιήθηκαν πολύ ο Καρκίνος και ο Λύκος, που διευκόλυναν τη μεταφορά ογκολίθων χωρίς να αφήνουν μεγάλα σημάδια.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΑΝΑΓΝΩΡΙΣΗΣ ΟΡΥΚΤΩΝ

Η αναγνώριση των ορυκτών γίνεται με τη βοήθεια ορυκτολογικών πινάκων. Σε αυτούς τους πίνακες περιέχονται όλα τα γνωστά ορυκτά ταξινομημένα με βάση ορισμένες χαρακτηριστικές ιδιότητες. Εκτός από το κρυσταλλικό σύστημα, άλλες απαραίτητες για τον προσδιορισμό ιδιότητές τους είναι η σκληρότητα, το χρώμα, η λάμψη, το ειδικό βάρος, η μορφή ανάπτυξης των εδρών, η σύσταση και η διάταξη των κόκκων, η αντοχή σε διάφορες καταπονήσεις κ.ά.

Για τις αναλύσεις των πετρωμάτων χρησιμοποιούνται έμμεσες μέθοδοι, οι οποίες δεν απαιτούν πολύ χρόνο. Από αυτές οι πιο ενδιαφέρουσες είναι η φλογοφωτομετρία, η ατομική απορρόφηση, η χρωματομετρία, η διαφορική θερμική ανάλυση, η μικροσκοπία, η μέθοδος του ηλεκτρονικού μικροσκοπίου σάρωσης κ.ά. Επίσης, η απλή μέθοδος προσβολής των ορυκτών με αραιό διάλυμα υδροχλωρικού οξέος μπορεί να εφαρμοστεί στο ύπαιθρο, και τη χρησιμοποιούν οι γεωλόγοι και άλλοι τεχνικοί, για να διακρίνουν τον ασβεστίτη από το χαλαζία και, γενικότερα, τα πετρώματα ασβεστιτικής σύστασης από τα άλλα πετρώματα.

Η σκληρότητα των ορυκτών προσδιορίζεται συνήθως από τη 10-βαθμη σκληρομετρική κλίμακα του Mohs. Είναι μέθοδος εμπειρική, η οποία χρησιμοποιείται για τον προσδιορισμό της σκληρότητας των πετρωμάτων.

Αποτελείται από τα αναφερόμενα στον παρακάτω πίνακα δέκα ορυκτά, τα οποία είναι ταξινομημένα κατά σειρά σκληρότητας. Τα ορυκτά αυτά είναι: ο τάλκης, η γύψος, ο ασβεστίτης, ο φθορίτης, ο απατίτης, το ορθόκλαστο, ο χαλαζίας, το τοπάζιο, το κορούνδιο και ο αδάμας, και αντιπροσωπεύουν τους δέκα βαθμούς σκληρότητας της κλίμακας Mohs.

ΟΡΥΚΤΑ	ΣΚΛΗΡΟΤΗΤΑ
τάλκης	1
γύψος	2
ασβεστίτης	3
φθορίτης	4
απατίτης	5
ορθόκλαστο	6
χαλαζίας	7
τοπάζιο	8
κορούνδιο	9
αδάμας	10

Σκληρομετρική κλίμακα Mohs.

Ο προσδιορισμός της σκληρότητας ενός ορυκτού βασίζεται στην εύρεση με δοκιμές δύο ορυκτών της κλίμακας Mohs, από τα οποία το ένα χαράζει και το άλλο χαράζεται από το ορυκτό, του οποίου θέλουμε να προσδιορίσουμε τη σκληρότητα.

Πρόχειρα μέσα διάγνωσης της σκληρότητας των ορυκτών στο ύπαιθρο είναι το νύχι ή ένα κομμάτι γυαλί ή ένα μαχαίρι. Τα ορυκτά με σκληρότητα 1 έως 2 της κλίμακας Mohs χαράζονται με το νύχι. Τα ορυκτά με σκληρότητα 3 έως 5,5 χαράζονται με το μαχαίρι. Τα ορυκτά με σκληρότητα 6 δε χαράζονται με το μαχαίρι, αλλά ούτε και χαράζουν το γυαλί. Τέλος, τα ορυκτά με σκληρότητα 7 και άνω χαράζουν το γυαλί.

Άσκηση 2. Με τη χρήση του νυχιού, ενός μαχαιριού και ενός γυαλιού να γίνει προσπάθεια προσδιορισμού της σκληρότητας σύμφωνα με την κλίμακα Mohs των ορυκτών της άσκησης 1.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Η αρχή της διάβρωσης κάθε υλικού που είναι εκτεθειμένο σε ένα ορισμένο περιβάλλον έγκειται στο ότι το υλικό τείνει να ισορροπήσει με τις διάφορες συνθήκες του περιβάλλοντος. Έτσι, αν οι περιβαλλοντικές συνθήκες αλλάζουν με το χρόνο και, επομένως, χάνεται η επερχόμενη ισορροπία, τότε δημιουργείται για το αντικείμενο αναγκαιότητα να προσαρμοστεί εκ νέου. Οι συνεχόμενες και αναπόφευκτες αυτές μεταβολές έχουν ως συνέπεια μετατροπή, άλλοτε γρήγορα και άλλοτε αργά, των φυσικών ιδιοτήτων και χαρακτηριστικών του υλικού, και επομένως προκαλούν τη φθορά του.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η παρουσία του νερού αποτελεί την κυριότερη αιτία των περισσότερων φυσικών και χημικών μεταβολών στη δομή της πέτρας.

Το νερό μπορεί να εισχωρήσει μέσα στο πέτρινο υλικό, με τη συμπύκνωση των υδρατμών του αέρα και με τη διείσδυση του νερού της βροχής, όταν το υλικό είναι πορώδες, και με τη διαδικασία της τριχοειδούς αναρρίχησης, όπου κινείται από το έδαφος προς τα πάνω και, όταν φτάσει σε κάποια ελεύθερη επιφάνεια, αρχίζει να εξατμίζεται.

Η ΚΥΚΛΟΦΟΡΙΑ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

Η κυκλοφορία του νερού μέσα σε ένα πέτρινο υλικό καθορίζεται από το αν και κατά πόσο το υλικό είναι πορώδες και από το φαινόμενο της τριχοειδούς αναρρίχησης.

α. Πορώδες: Η συμπεριφορά της πέτρας, σχετικά με το χρόνο, καθορίζεται κατά πολύ από την πορώδη δομή της. Αναφερόμενοι στο πορώδες ενός πέτρινου υλικού εννοούμε ότι τα στερεά συστατικά του διαπερνώνται από μικρούς κενούς χώρους, τους πόρους ή τριχοειδείς σωλήνες, οι οποίοι πιθανόν να είναι ανοιχτοί και να επικοινωνούν μεταξύ τους ή να είναι κλειστοί σχηματίζοντας ένα εσωτερικό δίκτυο, που βοηθά στην επικοινωνία των εσωτερικών με τα εξωτερικά μέρη του υλικού.

β. Τριχοειδής αναρρίχηση: Το νερό, είτε σε υγρή κατάσταση είτε σε κατάσταση υδρατμών, σε όλα τα πορώδη υλικά μπορεί να εισχωρήσει στο εσωτερικό τους μέσα από τους πόρους. Οι πόροι που έχουν πολύ μικρή διάμετρο (1-100 μm) λειτουργούν ως τριχοειδείς σωλήνες και προκαλούν αναρρόφηση του νερού. Αυτό συμβαίνει, επειδή υπάρχουν δυνάμεις συνάφειας μέσα στους τριχοειδείς σωλήνες μεταξύ του νερού και των τοιχωμάτων, που είναι μεγαλύτερες από τις δυνάμεις συνάφειας μεταξύ των μορίων του νερού, οπότε το νερό τείνει να αναπτυχθεί σε όσο το δυνατόν μεγαλύτερη επιφάνεια μέσα στο σωλήνα και προχωρεί μέσα στα τοιχώματά του υπερνικώντας ακόμα και τη δύναμη της βαρύτητας.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ ΣΤΑ ΑΡΓΙΛΟΠΥΡΙΤΙΚΑ ΣΥΣΤΑΤΙΚΑ ΤΗΣ

Τα κυριότερα αργιλοπυριτικά συστατικά που συνυπάρχουν ως προσμείξεις με το ανθρακικό ασβέστιο, ως φλέβες στα μάρμαρα ή ως προσμείξεις στους ασβεστόλιθους είναι τα εξής: σερικήτης, χλωρίτης, χαλαζίας, χαλκηδόνιος, σερπεντίνης, μοντμοριλλονίτης, σεπιόλιθος, ιλλίτης, καολίνης, μαρμαρυγίας, φλογοπίτης, πλαγιόκλαστο, άστριοι, σμηκτίτες και γλαυκονίτης.

Οι μηχανισμοί δράσης του νερού στη διάβρωση των αργιλοπυριτικών ορυκτών της πέτρας είναι οι εξής:

α. Διόγκωση των αργίλων - Θιξοτροπία

Οι περισσότερες άργιλοι έχουν θιξοτροπικές ιδιότητες, οι οποίες εκδηλώνονται με διαστολή κατά την ύγρανση και έχουν ως αποτέλεσμα τη μετατροπή τους σε λεπτή σκόνη κατά την ξήρανση.

Αρχικά οι άργιλοι καταστρέφονται σύμφωνα με τη βασική φυσικοχημική ιδιότητά τους, που είναι η διόγκωσή τους και η ανάπτυξη μηχανικών τάσεων με απορρόφηση νερού. Οι διογκώσεις των αργίλων κυμαίνονται από 0,03% μέχρι 0,3% κατά την ενυδάτωσή τους και αντιστοιχούν σε θερμική διαστολή με άνοδο της θερμοκρασίας κατά 200-300 °C.

β. Ιονεναλλακτική εξαλλοίωση

Όταν τα αργιλοπυριτικά ορυκτά της πέτρας έλθουν σε επαφή με το νερό, συμβαίνουν διάφορες αντιδράσεις υδρόλυσης. Εδώ σημαντικό ρόλο διαδραματίζει το pH και στις περισσότερες περιπτώσεις το νερό έχει προδιάθεση για αντιδράσεις σε pH ανάμεσα στο 3 και 9. Όταν τα αργιλοπυριτικά ορυκτά έλθουν σε επαφή με το όξινο νερό, προσλαμβάνουν ιόντα υδρογόνου αντικαθιστώντας ιόντα νατρίου, καλίου, ασβεστίου και μαγνησίου (Na, K, Ca και Mg), και, καθώς συνεχίζεται η αλλοίωση, χάνεται και το διοξείδιο του πυριτίου (SiO₂), με αποτέλεσμα τη διάλυση της δομής των αργίλων.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ ΑΠΟ ΤΟΝ ΠΑΓΕΤΟ

Το νερό, σύμφωνα με τα παραπάνω, μπορεί να διεισδύσει εύκολα και να κινηθεί μέσα στο τριχοειδές σύστημα ενός πέτρινου υλικού ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας. Έτσι, μπορούν να προκληθούν μορφές διάβρωσης και ζημιές που έχουν σχέση με τη δημιουργία πάγου, όταν η θερμοκρασία του υλικού κατέβει κάτω από τους 0 °C και το νερό που περιέχεται στο δίκτυο των πόρων παγώσει. Από το πάγωμα του νερού προκαλούνται φαινόμενα μεταβολής όγκου, τα οποία συνοδεύουν το πέρασμά του από την υγρή στη στερεή φάση. Επομένως, προκαλείται φθορά στα πορώδη υλικά. Οι πέτρες με μικρό πορώδες είναι πιο ευπαθείς στον παγετό από ό,τι εκείνες με μεγάλο πορώδες.

Η φθορά που προκαλείται από τον παγετό δεν μπορεί να εξηγηθεί σε κάθε περίπτωση μόνο από μία απλή αύξηση του ειδικού όγκου του πάγου της τάξης του 9,2% σχετικά με το νερό.

Γενικά, υπάρχουν διάφοροι υποθετικοί μηχανισμοί που επαληθεύουν τη φθορά ανάλογα με το βαθμό κορεσμού της πέτρας, το πορώδες της δομής της, την ταχύτητα εισχώρησης του πάγου μέσα στην πέτρα και την αντοχή της στην ψύξη.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ ΑΠΟ ΔΙΑΛΥΤΑ ΑΛΑΤΑ

Η διάβρωση από τη δράση των διαλυτών αλάτων είναι μία από τις πιο επικίνδυνες μορφές διάβρωσης και επιδρά σε όλες τις πέτρες, ακόμη και σε εκείνες που είναι ελάχιστα πορώδεις. Αρχικά, αντιμετωπίζεται πολύ δύσκολα, διότι εμφανίζεται σε διάφορες συνθήκες και τα διαλυτά άλατα προέρχονται από πολλές πηγές, γεγονός που οδηγεί το υλικό σε πλήρη αποδιοργάνωση, λόγω της ανάπτυξης πολύ μεγάλων τάσεων στους πόρους του.

Τα διαλυτά άλατα που δρουν συχνότερα στην πέτρα είναι τα χλωριούχα (Cl^-) και τα θειικά (SO_4^{2-}), και ακολουθούν τα ανθρακικά (CO_3^{2-}), τα νιτρικά (NO_3^-) και πιο σπάνια τα νιτρώδη (NO_2^-), ενώ από τα κατιόντα το ασβέστιο, το νάτριο, το κάλιο και το μαγνήσιο (Ca, Na, K και Mg).

Ο μηχανισμός δράσης των διαλυτών αλάτων διαφέρει σημαντικά από πέτρα σε πέτρα και οι πηγές προέλευσής τους είναι:

α. Τα νερά του υπεδάφους, που ανεβαίνουν με τριχοειδή αναρρίχηση συμπαρασύροντας μέσα από το έδαφος τα διαλυτά συστατικά των αργιλοπηριτικών κυρίως αλλά και των υπόλοιπων πετρωμάτων.

β. Η θάλασσα, όπου η αναλογία θειικών προς χλωριούχα είναι 0,139 περίπου. Η αναλογία αυτή ισχύει, όταν η θάλασσα δεν είναι ρυπασμένη. Τα άλατα μεταφέρονται από τη θάλασσα με την αλατονέφωση και μπορούν να φθάσουν μέχρι και 15 περίπου χιλιόμετρα στο εσωτερικό, αλλά απομακρυνόμενοι από τη θάλασσα και ανεβαίνοντας σε υψόμετρο η δράση τους περιορίζεται αισθητά. Η περιεκτικότητα του θαλασσινού νερού σε NaCl είναι, κατά μέσο όρο, 3,5% κ.ό.

γ. Τα δομικά υλικά γενικά είναι από μόνα τους πηγές διαλυτών αλάτων όπως και τα κονιάματα που χρησιμοποιούνται στην οικοδομική. Το τσιμέντο, π.χ., αποτελεί σημαντική πηγή διαλυτών αλάτων, θειικών κατά πρώτο λόγο, αλλά και ανθρακικών και πυριτικών.

δ. Η ατμοσφαιρική ρύπανση με τους όξινους ρυπαντές: οξείδια του θείου, οξείδια του αζώτου και υδροχλωρικό οξύ, που προσβάλλουν κατευθείαν την πέτρα και σχηματίζουν τα αντίστοιχα άλατα του ασβεστίου και των αλκαλίων.

Διάφορα διαλυτά άλατα όπως το θειικό νάτριο (Na_2SO_4), το ανθρακικό νάτριο (Na_2CO_3), το θειικό μαγνήσιο (MgSO_4) και το θειικό ασβέστιο (CaSO_4) σε διάφορες συνθήκες θερμοκρασίας και υγρασίας αλλάζουν κρυσταλλική μορφή με αντίστοιχη αύξηση όγκου. Η αύξηση όγκου που ακολουθεί τις παραπάνω μεταπτώσεις δημιουργεί πολύ μεγάλες μηχανικές τάσεις στους πόρους, πολλές φορές μεγαλύτερες από την αντοχή του υλικού, με αποτέλεσμα την επιφανειακή αποδιοργάνωση και διάβρωση του υλικού.

Τα χλωριούχα άλατα έχουν αρχικά το χαρακτηριστικό ότι είναι πιο ευκίνητα από τα θειικά και τα ανθρακικά, με αποτέλεσμα να διεισδύουν μέσα σε πόρους και στις ρωγμές όπου κρυσταλλώνονται και ασκούν μεγάλες μηχανικές τάσεις. Επίσης, κάνουν μεγάλα συγκροτήματα αργίλων να “πέπτονται”, δηλαδή να γίνονται κολλοειδή αιωρήματα, οπότε διαλύονται οι άργιλοι της πέτρας και συντελείται ταχύτερη απώλεια του υλικού. Τα θειικά και τα χλωριούχα άλατα διαλύουν το μαγνήσιο στα ηφαιστειακά πετρώματα και τους δολομίτες.

Τα διαλυτά άλατα που βρίσκονται στους πόρους της πέτρας, σε περιόδους σχετικά υψηλής θερμοκρασίας του περιβάλλοντος, κινούνται προς τα έξω με την εξάτμιση του νερού και επικάθονται στις εξόδους των πόρων και των τριχοειδών. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται “εξάνθηση” των διαλυτών αλάτων.

Στο παρελθόν, επικρατούσε η άποψη ότι η μηχανική δράση μικρών τεμαχιδίων σκόνης και άμμου που μεταφέρονταν από τον αέρα μπορούσε να σχηματίσει κυψελώσεις στην επιφάνεια της πέτρας, και γι’ αυτό αυτή η μορφή διάβρωσης της πέτρας αναφερόταν με τον όρο “αιολική διάβρωση”. Εκ των υστέρων, βέβαια, διαπιστώθηκε ότι η διάβρωση αυτή είναι ένα είδος φθοράς, κατά την οποία σημαντικότερο ρόλο παίζει η παρουσία διαλυτών αλάτων. Όταν η ταχύτητα του αέρα είναι αρκετά μεγάλη, τότε το νερό, που περιέχει διαλυτά άλατα και κυκλοφορεί μέσα στους πόρους της πέτρας, εξατμίζεται, πριν φθάσει στην επιφάνειά της, με αποτέλεσμα τα άλατα να εναποτίθενται κάτω από τα επιφανειακά στρώματα, δημιουργώντας υποεπιφανειακή αποσάθρωση, με αποτέλεσμα το σχηματισμό μικρών κοιλοτήτων στην επιφάνεια του πέτρινου υλικού.



Διάβρωση από διαλυτά άλατα. Ανάγλυφη προτομή εποχής Νέρωνα στον Ισθμό της Κορίνθου.

Μέσα σε αυτές τις κοιλότητες δημιουργούνται στροβιλισμοί του αέρα, που μεγαλώνουν ακόμα περισσότερο την ταχύτητά του και, επομένως, την εξάτμιση, με αποτέλεσμα να επέρχεται επιφανειακή αποσάθρωση λόγω της συνεχόμενης αύξησης του όγκου των κοιλοτήτων και επομένως της συνεχόμενης απώλειας πέτρινου υλικού. Επομένως, η δράση του αέρα απλώς επιταχύνει τη φθορά που προκαλείται από την κρυστάλλωση των παρόντων διαλυτών αλάτων και έτσι ο όρος “αιολική διάβρωση” έχει αντικατασταθεί από τους όρους “κυφέλωση” και “απολέπιση”.



Κυφέλωση ασβεστιτικού πωρόλιθου από την πάροδο του θεάτρου της Αρχαίας Σικυώνος.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΗ ΡΥΠΑΝΣΗ

ΓΕΝΙΚΑ

Η τεχνολογική πρόοδος και η μεγάλη ανάπτυξη των βιομηχανικών δραστηριοτήτων συνέβαλε στη δημιουργία διάφορων ρύπων μέσα στον ατμοσφαιρικό αέρα, οι οποίοι ανάλογα με τις εκάστοτε συνθήκες άλλοτε εμφανίζονται σε υψηλές συγκεντρώσεις και άλλοτε σε χαμηλές. Γενικά, το είδος και η ποσότητα των ρύπων σε μια περιοχή εξαρτώνται βέβαια από το είδος των πηγών ρύπανσης αλλά και από τα τοπογραφικά χαρακτηριστικά της περιοχής, καθώς και από τις μετεωρολογικές συνθήκες. Με φυσιολογικές συνθήκες ανέμων προκαλείται οριζόντια απομάκρυνση των ρύπων από τις πηγές τους, ενώ οι μεταβολές της θερμοκρασίας, σε σχέση με το υψόμετρο του εδάφους, επηρεάζουν σημαντικά την κάθετη μετατόπισή τους και, επομένως, τη δυνατότητα διασποράς τους.

Σε κανονικές συνθήκες η θερμοκρασία ελαττώνεται όσο απομακρυνόμαστε από το έδαφος σε αναλογία μεγαλύτερη από 1 °C για κάθε 100 μέτρα, οπότε ευνοούνται οι κάθετες κινήσεις του αέρα και απομακρύνονται οι ρύποι από τις πηγές τους και γενικά τα στρώματα που είναι κοντά στο έδαφος. Αντίθετα, αν η θερμοκρασία παραμένει σταθερή ή αυξάνεται ανάλογα με το υψόμετρο, οι κάθετες κινήσεις του αέρα μειώνονται, και, επομένως, προκαλείται επικίνδυνη στασιμότητα των ρύπων στην επιφάνεια του εδάφους ή κοντά στο έδαφος. Το φαινόμενο στη δεύτερη περίπτωση ονομάζεται **θερμοκρασιακή αναστροφή** και έχει ως αποτέλεσμα μεγάλες συγκεντρώσεις ρύπων σε περιοχές κοντά στο έδαφος.

ΔΙΑΛΥΤΟΠΟΙΗΣΗ ΤΟΥ CaCO_3 ΑΠΟ ΤΟ ΑΤΜΟΣΦΑΙΡΙΚΟ CO_2

Το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), που υπάρχει διαλυμένο στο νερό της βροχής, διαλυτοποιεί αργά τον ασβεστίτη δημιουργώντας το αρκετά διαλυτό όξινο ανθρακικό ασβέστιο ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$) και, όταν το διάλυμα στεγνώσει, ξανασχηματίζεται ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3).

Όταν εξατμιστεί το νερό που περιέχει το ευδιάλυτο $\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$, στην επιφάνεια της πέτρας γίνεται ανακρυστάλλωση του CaCO_3 , που τελικά παίρνει τη μορφή ασβεστίτη ή αραγωνίτη, ανάλογα με τα θερμοδυναμικά δεδομένα και με την παρουσία ξένων ιόντων στο διάλυμα. Η γρήγορη ξήρανση δημιουργεί και πάλι ασβεστίτη, ενώ η αργή ξήρανση, σε συνδυασμό με ορισμένες προσμίξεις και με θερμοκρασία κάτω από τους 30 °C, δημιουργεί αραγωνίτη. Το φαινόμενο αυτό λέγεται “καρστικό” και εκδηλώνεται σαν “ζάχαρη” στην επιφάνεια του μαρμάρου, και αυτή τη μορφή διάβρωσης την ονομάζουμε “ζαχαροποίηση του μαρμάρου”.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΘΕΙΟΥ

Το διοξείδιο του θείου (SO_2), το οποίο προέρχεται κυρίως από την καύση του μαζούτ και του diesel, είναι ένα σχετικά σταθερό αέριο σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, όταν δεν υπάρχει υγρασία και η ατμόσφαιρα είναι καθαρή. Με παρουσία, όμως, υγρασίας, ρυπαντών και ηλιακής ακτινοβολίας υφίσταται καταλυτική οξειδωση με τελικό σχηματισμό του θειικού οξέος (H_2SO_4).

Στη συνέχεια, όταν τα πέτρινα γλυπτά είναι εκτεθειμένα στο νερό της βροχής, το θειικό οξύ αντιδρά γρήγορα με το ανθρακικό ασβέστιο του ασβεστόλιθου και του μαρμάρου και το διαλύει (όξινη προσβολή). Συνήθως η έννοια “όξινη” προσβολή περιλαμβάνει μαζί με τη δράση του θειικού οξέος και τη δράση του ανθρακικού οξέος, όπως περιγράφηκε προηγουμένως, και του νιτρικού οξέος, όπως θα περιγράψει παρακάτω. Όταν, όμως, οι επιφάνειες των γλυπτών δεν έρχονται σε επαφή με το νερό της βροχής, μετατρέπονται σε γύψο (γυψοποίηση) με τη δράση του διοξειδίου του θείου και παρουσία υγρασίας. Το αποτέλεσμα είναι η απώλεια λεπτομερειών του γλυπτού διάκοσμου του μνημείου.

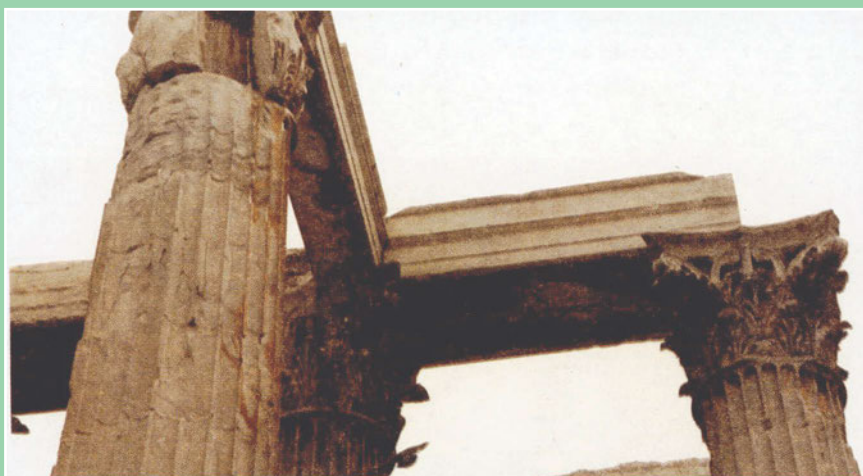
ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ ΑΠΟ ΤΑ ΟΞΕΙΔΙΑ ΤΟΥ ΑΖΩΤΟΥ

Στην ατμόσφαιρα υπάρχει σε κανονικές συνθήκες μονοξείδιο του αζώτου (NO) σε μεγαλύτερες ποσότητες από το διοξείδιο του αζώτου (NO₂) και σχηματίζεται από τις δράσεις



*Ζαχαροποίηση επιφάνειας μαρμάρου.
Αγαλμα Αθανασίου Διάκου - Λαμία.*

μικροοργανισμών και από τη χρήση λιπασμάτων στις διάφορες καλλιέργειες. Στη ρυπασμένη ατμόσφαιρα των μεγαλουπόλεων τα παραπάνω αέρια παράγονται στις μηχανές εσωτερικής καύσης αλλά και φωτοχημικά. Με την παρουσία ακτινοβολιών και υγρασίας παράγεται τελικά νιτρικό οξύ (HNO₃), το οποίο προσβάλλει το ανθρακικό ασβέστιο του ασβεστόλιθου και του μαρμάρου (όξινη προσβολή). Το αποτέλεσμα είναι η απώλεια λεπτομερειών του γλυπτού διάκοσμου του μνημείου.



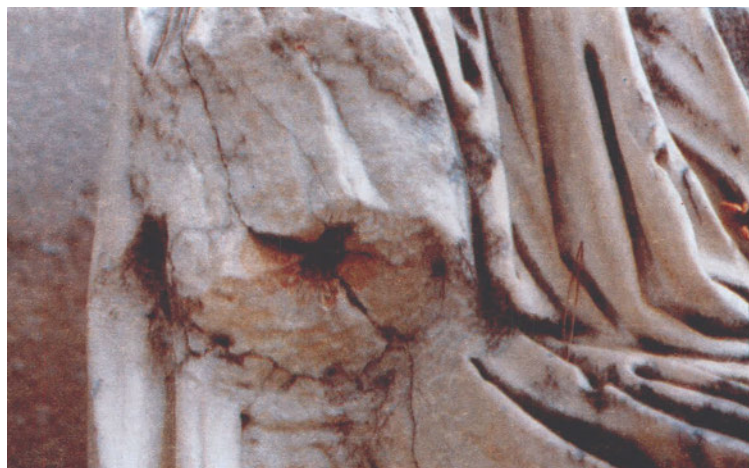
Επικαθίσεις από ατμοσφαιρική ρύπανση. Στύλοι Ολυμπίου Διός.



Επικαθίσεις από ατμοσφαιρική ρύπανση. Στύλοι Ολυμπίου Διός.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ ΑΠΟ ΤΗΝ ΥΠΑΡΞΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΩΝ ΣΥΝΔΕΣΜΩΝ

Κατά την κατασκευή των περισσότερων μνημείων από μάρμαρο ή από πωρόλιθο, ή σε μεταγενέστερες αναστηλώσεις μνημείων, χρησιμοποιήθηκαν εκτεταμένα μεταλλικοί σύνδεσμοι, οι οποίοι ήταν σιδερένιοι, χαλύβδινοι ή ορειχάλκινοι και είχαν σκοπό τη συγκράτηση των δομικών στοιχείων μεταξύ τους. Κατά την οξείδωση των μεταλλικών συνδέσμων παρουσιάζεται αύξηση του όγκου τους, με αποτέλεσμα τη δημιουργία μηχανικών τάσεων και ρωγμών στα δομικά στοιχεία των μνημείων. Επίσης, από τα προϊόντα οξείδωσης των μετάλλων παρουσιάζονται λεκέδες στα πέτρινα δομικά στοιχεία, με αρνητικά αισθητικά αποτελέσματα.



Διάβρωση σε βραχίονα μαρμάρινου γλυπτού από την ύπαρξη σιδηρού συνδέσμου. Μουσείο Αρχαίας Κορίνθου.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΑΠΟ ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΠΟΝΗΣΕΙΣ ΠΟΥ ΠΡΟΚΑΛΟΥΝΤΑΙ ΑΠΟ ΘΕΡΜΟΚΡΑΣΙΑΚΕΣ ΜΕΤΑΒΟΛΕΣ

Οι διαστολές και οι συστολές των υλικών είναι φαινόμενα που προκαλούνται από τις διακυμάνσεις της θερμοκρασίας. Αν η διάταξη των υλικών στο χώρο είναι τυχαία, μπορεί ανάμεσά τους να δημιουργηθούν εσωτερικές τάσεις για διαστολές, οι οποίες μπορούν να προκαλέσουν σύγκρουση των υλικών που έχουν αντίθετους προσανατολισμούς και διαφορετικούς συντελεστές διαστολής.

Όσο πιο χονδρόκοκη είναι μια πέτρα, τόσο μεγαλύτερη είναι η φθορά. Γενικά, τα χονδρόκοκα υλικά τείνουν να αλλοιωθούν πιο γρήγορα από τα λεπτόκοκα, στα οποία δημιουργούνται σπασίματα. Οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας συμβαίνουν κυρίως, όταν η πέτρα εκτίθεται συνεχώς στον ήλιο την ημέρα και στο ψύχος τη νύχτα. Η θερμότητα που μπορεί να συσσωρευτεί στην πέτρα εξαιτίας της ηλιακής ακτινοβολίας μπορεί να ανεβάσει την επιφανειακή θερμοκρασία της στους 50 - 60 °C ή και περισσότερο, σε περίπτωση που δεν υπάρχουν άνεμοι, ενώ παράλληλα το βράδυ το ψύχος μπορεί να μειώσει τη θερμοκρασία της σχετικά πάντα με τις κλιματολογικές συνθήκες, ακόμα και κάτω από το μηδέν.

Για να διαπιστωθούν οι διαφορές στις θερμοκρασιακές μεταβολές, κατά τη συνύπαρξη των διάφορων υλικών συντήρησης και αποκατάστασης, παρατίθενται οι συντελεστές γραμμικής θερμικής διαστολής (grad^{-1}) οι οποίοι είναι:

1. Μπετόν	$10 \cdot 10^{-6}$
2. Μπετόν με χαλίκια	$12 \cdot 10^{-6}$
3. Μπετόν με διαστελλόμενη άργιλο	$7-9 \cdot 10^{-6}$
4. Τσιμεντοκονίαμα	$10-11 \cdot 10^{-6}$
5. Ασβεστοκονίαμα	$8-10 \cdot 10^{-6}$
6. Ασβεστόλιθος	$7 \cdot 10^{-6}$
7. Τούβλο	$5 \cdot 10^{-6}$
8. Γρανίτης	$8 \cdot 10^{-6}$
9. Γυαλί (10% άλκαλι)	$4,8 \cdot 10^{-6}$
10. Σίδηρος	$11,5 \cdot 10^{-6}$
11. Ατσάλι	$10-14 \cdot 10^{-6}$
12. Χαλκός	$16,8 \cdot 10^{-6}$
13. Αλουμίνιο	$23,8 \cdot 10^{-6}$
14. Μόλυβδος	$29,4 \cdot 10^{-6}$
15. Ξύλο πεύκου κατά μήκος	$5,4 \cdot 10^{-6}$
16. Ξύλο πεύκου κατά πλάτος	$34,1 \cdot 10^{-6}$
17. Ξύλο βελανιδιάς κατά μήκος	$3,4 \cdot 10^{-6}$
18. Ξύλο βελανιδιάς κατά πλάτος	$28,4 \cdot 10^{-6}$

19. Ξύλο ελάτου κατά πλάτος	58,4.10 ⁻⁶
20. Καπλαμάς (κοντραπλακέ)	10-14.10 ⁻⁶
21. Πολυεστερικές ρητίνες	100-150.10 ⁻⁶
22. Φύλλα πολυεστερικού γυαλιού	35-45.10 ⁻⁶
23. Εποξειδικές ρητίνες	60.10 ⁻⁶
24. Εποξειδικές ρητίνες με SiO ₂ (1:5)	20.10 ⁻⁶
25. Ακρυλικές ρητίνες	70-80.10 ⁻⁶
26. PVC	70-80.10 ⁻⁶
27. Nylon 6	70-100.10 ⁻⁶

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ ΑΠΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

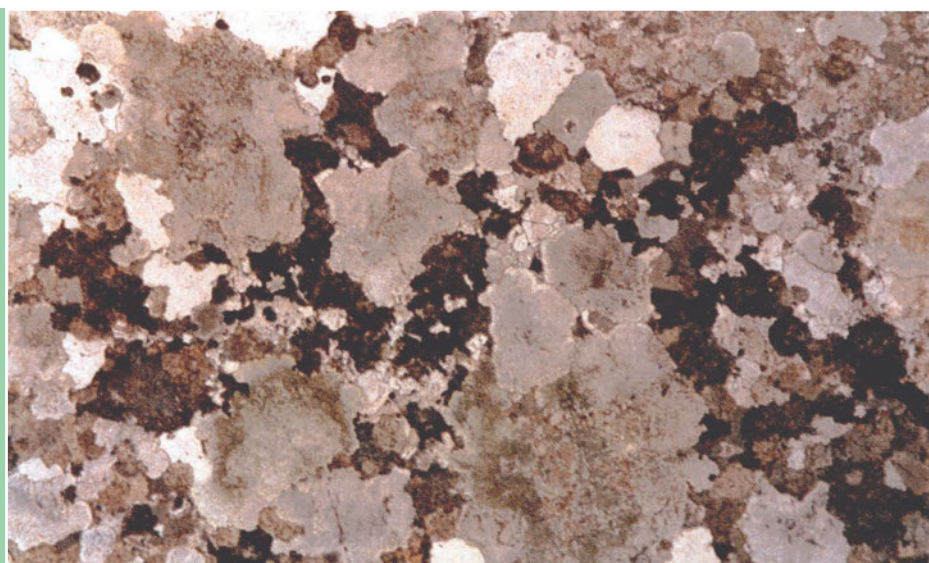
Όλα τα πέτρινα υλικά ευνοούν την ανάπτυξη μικροοργανισμών στην επιφάνειά τους. Η ανάπτυξη αυτή, επίσης, ευνοείται από διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες. Οι σημαντικότεροι παράγοντες που υποβοηθούν τη βιολογική φθορά είναι τα χαρακτηριστικά της πέτρας και το περιβάλλον στο οποίο αυτή είναι εκτεθειμένη.

Οι περισσότεροι διαδεδομένοι μικροοργανισμοί που αναπτύσσονται στην επιφάνεια των πέτρινων μνημείων είναι τα άλγη, τα βακτήρια και οι μύκητες. Συνολικά επιδρούν διαβρωτικά με την κατακράτηση υγρασίας, με την πρόκληση διαφορών στις τιμές του θερμικού συντελεστή σχετικά με το δομικό υλικό του μνημείου και με τις όξινες ή τις αλκαλικές εκκρίσεις.



Βιολογικές επικαθίσεις. Αρχαιολογικός χώρος Νεμέας.

Τα φυτά, τέλος, που αναπτύσσονται μέσα στους διάφορους αρχαιολογικούς χώρους αποτελούν βασικούς παράγοντες διάβρωσης των πέτρινων μνημείων. Αρχικά, οι ρίζες τους εισχωρούν ανάμεσα στους διάφορους αρμούς ή σε ρωγμές που προϋπάρχουν ασκώντας μεγάλες μηχανικές πιέσεις. Επίσης, εκκρίνουν οξέα από τις ρίζες τους, τα οποία προκαλούν διάλυση του πέτρινου υλικού και δημιουργούν χώρο για την επέκταση του συστήματος των ριζών τους, και συνολικά η ανάπτυξη αυτή προκαλεί θλιπτικές δυνάμεις που προκαλούν ρωγμές και μπορούν να φθάσουν μέχρι και τη θραύση του υλικού.



Βιολογικές επικαθίσεις. Αρχαιολογικός χώρος Επιδαύρου.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Οι επεμβάσεις συντήρησης της πέτρας διακρίνονται στους καθαρισμούς, στις στερεώσεις επιφανειών, στην προστασία, στις συγκολλήσεις και στις συμπληρώσεις. Προφανώς, σε κάθε επέμβαση για συντήρηση δεν περιλαμβάνονται απαραίτητα όλες οι παραπάνω κατηγορίες, ούτε υπάρχει ένα είδος επέμβασης που να μπορεί να εφαρμόζεται σε όλες τις περιπτώσεις.

Για να καταλήξει κάποιος στη μέθοδο και στα υλικά που θα χρησιμοποιήσει, απαιτείται εκτεταμένη έρευνα, διότι αυτά καθορίζονται από το είδος και τη δομή της πέτρας, από τους παράγοντες που επιδρούν σε αυτήν και επηρεάζουν τη διαδικασία φθοράς, από το βαθμό αλλοίωσής της και από το περιβάλλον στο οποίο εκτίθεται. Ο τρόπος χρήσης του υλικού παίζει, επίσης, μεγάλο ρόλο στη συντήρηση της πέτρας. Έτσι, για να κριθεί το αποτέλεσμα μιας επέμβασης συντήρησης από αισθητική και ποιοτική άποψη, πρέπει να γίνει προηγούμενως αξιολόγηση του τρόπου της χρήσης του υλικού.

Σε ό,τι αφορά τα προστατευτικά υλικά κατά τη διαδικασία συντήρησης θα πρέπει να ληφθούν υπόψη τα εξής:

1. Να μην επιδρούν στη συνολική οπτική εικόνα του πέτρινου μνημείου.
2. Να είναι σταθερά και ανθεκτικά στους διάφορους διαβρωτικούς παράγοντες του περιβάλλοντος και ειδικά στα διαλυτά άλατα και στην όξινη βροχή από τη ρυπασμένη ατμόσφαιρα.
3. Να είναι σταθερά και ανθεκτικά στην επίδραση των υπεριωδών ακτίνων.
4. Να καθιστούν το πέτρινο υλικό αδιάβροχο στο νερό σε υγρή μορφή.
5. Να είναι περατά από το νερό σε μορφή ατμών.
6. Να είναι αντιστρεπτά ή τουλάχιστον να αφαιρούνται εύκολα, όταν έχουν χάσει τις προστατευτικές τους ιδιότητες.
7. Να μην παράγουν διαβρωτικά υποπροϊόντα για το πέτρινο υλικό.
8. Οι μέθοδοι εφαρμογής τους να είναι σχετικά εύκολες.

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Τα πέτρινα γλυπτά που προέρχονται από ανασκαφή έχουν συνήθως **επικαθίσεις διαλυτών και αδιάλυτων αλάτων**. Τα πέτρινα μνημεία που βρίσκονται σε περιβάλλον μη βιομηχανικής πόλης έχουν συνήθως **επικαθίσεις από σκόνες και από διαλυτά άλατα, καθώς και βιολογικές επικαθίσεις**.

Η εξωτερική επιφάνεια των πέτρινων μνημείων που βρίσκονται σε μολυσμένη ατμόσφαιρα πόλεων καλύπτεται από εναποθέσεις που προσφύονται και προσκολλώνται στο υπόστρωμα της πέτρας και παίρνουν χρώμα από γκρίζο μέχρι μαύρο. Γενικά, οι επικαθίσεις στην πέτρα είναι:

α. ορυκτολογικής προέλευσης, όπως χώμα, λάσπη, ασβεστολιθικά υλικά και άμμος.

β. προϊόντα οικιακών και βιομηχανικών καύσεων, όπως στάχτη, επικαθίσεις καυσαερίων, πίσσα και αιθάλη.

γ. βιολογικές επικαθίσεις, όπως άλγη, λειχήνες, βακτήρια, μύκητες κτλ.

Υπάρχουν δύο λόγοι για τους οποίους γίνεται ο καθαρισμός της πέτρας.

Η επιφάνεια της πέτρας καθαρίζεται αφ' ενός για αισθητικούς λόγους και αφ' ετέρου, για την καλύτερη προστασία της. Μετά τη διαδικασία καθαρισμού αποκαλύπτεται η επιφάνεια που ήταν σκεπασμένη από στρώμα επικαθίσεων, εξαιτίας των οποίων οι φυσικές ανταύγειες του φωτός και οι σκοτεινές σκιές που είναι αναγκαίες για την πλήρη εκτίμηση της καλλιτεχνικής ωραιότητας χάνονται εντελώς.

Παράλληλα, επιτυγχάνεται η απομάκρυνση και ο περιορισμός των παραγόντων που συνέβαλαν στη διάβρωση της επιφάνειας του πέτρινου υλικού. Όπως αναφέρθηκε και προηγουμένως, οι παράγοντες αυτοί είναι τα διαλυτά άλατα, οι αδιάλυτες ή ελαφρά διαλυτές επικαθίσεις, αιθάλη ή άλλες επικαθίσεις σωματιδίων από την ατμόσφαιρα, υλικά παλαιότερων αναστηλώσεων και μικροοργανισμοί. Επίσης, σε μερικές περιπτώσεις ο καθαρισμός της πέτρας φέρνει στο φως ντοκουμέντα που μαρτυρούν στοιχεία του παρελθόντος και τα οποία βοηθούν στη σωστή επιλογή του χρώματος του υλικού.

Επομένως, είναι απαραίτητος ο καθαρισμός των πέτρινων επιφανειών. Ωστόσο στο παρελθόν υπήρχαν κάποιες αντιρρήσεις σχετικά με την αναγκαιότητα του καθαρισμού των πέτρινων μνημείων, επειδή με αυτούς επέρχεται απώλεια της πατίνας. Γεγονός είναι ότι παλαιότερα δε χρησιμοποιήθηκαν πάντα οι κατάλληλες μέθοδοι, με αποτέλεσμα την εμφάνιση εξανθήσεων διαλυτών αλάτων και στιγμάτων και την επιτάχυνση της διαδικασίας διάβρωσης. Πολύ συχνά, βέβαια, συναντάμε τη λεγόμενη “ευγενή πατίνα”, η οποία προσδίδει “χαρακτήρα” στο μνημείο και πρέπει απαραίτητα να παραμένει στην επιφάνεια. Ως διαδικασία ο καθαρισμός της επιφάνειας της πέτρας είναι διαδικασία αναντιστρέπτη και απαιτεί μεγάλη προσοχή, διότι μπορεί να φθείρει ανεπανόρθωτα το αντικείμενο.

Κατά συνέπεια, πρέπει να λαμβάνονται όλες οι απαραίτητες προφυλάξεις και να αξιοποιούνται όλες οι απαιτούμενες γνώσεις, έτσι ώστε τα αποτελέσματα να είναι άριστα.

Γενικά, υπάρχουν τα παρακάτω κριτήρια για τον καθαρισμό της πέτρας:

α. Η ταχύτητα καθαρισμού πρέπει να είναι ελεγχόμενη, ώστε ο καθαρισμός να μπορεί να διακόπτεται ακαριαία.

β. Δεν πρέπει να παράγονται προϊόντα βλαβερά, π.χ. διαλυτά άλατα, που επηρεάζουν τη μελλοντική κατάσταση της πέτρας.

γ. Πρέπει να προκύπτει, κατά το δυνατόν, λεία και καθαρή επιφάνεια χωρίς ρωγμές και εσοχές, οι οποίες, εκτός από το άσχημο αισθητικό αποτέλεσμα, μπορούν να επιταχύνουν τη διάβρωση, εφόσον προκαλούν την αύξηση του επιφανειακού πορώδους.

δ. Πρέπει απαραίτητως να παραμένει η λεγόμενη “ευγενής πατίνα”.

Είναι απολύτως απαραίτητο, πριν από την επιλογή της μεθόδου και των υλικών καθαρισμού, να εξεταστεί η χημική και η ορυκτολογική δομή της πέτρας, το πορώδες, η περιοχή διάβρωσης, τα είδη των επικαθίσεων, ο οικονομικός παράγοντας, ο απαιτούμενος χρόνος, καθώς και η δυνατότητα πραγματοποίησης των κατάλληλων εργασιών. Γενικά, είναι αδύνατο να γενικευτούν οι μέθοδοι και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό αντίθετα, πρέπει κάθε φορά να μελετώνται θεωρητικά και να γίνονται προληπτικά πειράματα σε ένα μικρό μέρος της επιφάνειας που πρόκειται να καθαριστεί, δηλαδή σε περιοχές λίγο ορατές και με μικρό ενδιαφέρον. Από τον έλεγχο των διάφορων δοκιμών εξάγονται τα κατάλληλα συμπεράσματα, τα οποία μπορούν να καθορίσουν με σιγουριά την επιλογή της πιο κατάλληλης μεθόδου. Τέλος, η επιλογή ενός βιομηχανικού προϊόντος, που θα χρησιμοποιηθεί για τον καθαρισμό, προϋποθέτει απαραίτητα τη γνώση των συστατικών του.

Υπάρχουν μηχανικές μέθοδοι καθαρισμού και χημικές μέθοδοι καθαρισμού.

ΜΗΧΑΝΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

α. Ράντισμα με νερό: Είναι μέθοδος σχετικά εύκολη και χρησιμοποιείται ειδικά για την απομάκρυνση από τις πέτρινες επιφάνειες διαλυτών αλάτων, που είναι επικίνδυνα για τις πορώδεις πέτρες. Χρησιμοποιείται κυρίως, όταν οι επικαθίσεις είναι διαλυτές στο νερό και δεν είναι ισχυρά συνδεδεμένες με την πέτρινη επιφάνεια.

Η μέθοδος παρουσιάζει σημαντικά μειονεκτήματα, διότι αρχικά καταναλώνονται μεγάλες ποσότητες νερού, οι οποίες προκαλούν διάφορες μορφές διάβρωσης, όπως παγετό, ειδικά όταν υπάρχουν τοιχογραφίες. Γενικά, είναι μέθοδος που εφαρμόζεται σε μνημεία και σε κτίρια, χωρίς μεγάλη καλλιτεχνική και αισθητική αξία, διότι μαζί με την απομάκρυνση της κρούστας απομακρύνονται - με πολύ άσχημο αισθητικό αποτέλεσμα - και οι λεπτομέρειες που έχουν γυψοποιηθεί.

β. Νέφωση νερού: Εδώ εκτοξεύεται νερό υψηλής πίεσης 6-120 Atm, οπότε διογκώνεται η στοιβάδα της κρούστας και στη συνέχεια τρίβεται και ξεπλένεται. Η μέθοδος απαιτεί μεγάλη προσοχή στις πορώδεις πέτρες, διότι υπάρχουν κίνδυνοι από παγετό σε κρύες εποχές. Με τη μέθοδο αυτή απομακρύνονται καλύτερα τα διαλυτά άλατα και οι μαύρες κρούστες, ενώ οι υψηλές πιέσεις που χρησιμοποιούνται είναι επικίνδυνες για τις πέτρινες επιφάνειες.

Επίσης, η ροή του νερού μπορεί να προκαλέσει αποκολλήσεις τεμαχιδίων της διαβρω-

μένης πέτρας και, επομένως, μπορεί εύκολα να απομακρύνει ακόμα και υγιή κομμάτια της προκαλώντας οπές και εκδορές. Όταν το νερό χρησιμοποιείται σε υψηλή πίεση και θερμοκρασία, αυξάνεται η διαλυτική ικανότητά του, φαινόμενο το οποίο επιδρά θετικά, αφού έτσι διαλύονται οι επικαθίσεις, αλλά και αρνητικά, διότι μπορεί παράλληλα να απομακρύνει και μέρος του πέτρινου υλικού. Ειδικά, όσον αφορά τις ασβεστολιθικές πέτρες η φθορά που έχει προκληθεί από αιτίες που οφείλονται στο νερό ενισχύεται. Γενικά, η μέθοδος αυτή προκαλεί μεγάλες απώλειες υλικού από την επιφάνεια της πέτρας και γ'αυτό αποφεύγεται ακόμα και σε περιπτώσεις υγιών υλικών.

γ. Ατμός νερού: Εδώ εκτοξεύεται ατμός με πίεση 5-10 Atm και με θερμοκρασία 150-250 °C. Η μέθοδος αυτή έχει καλύτερα αποτελέσματα σε ανώμαλες επιφάνειες, όπου δεν εφαρμόζεται με επιτυχία ο μηχανικός καθαρισμός. Πριν εφαρμοστεί αυτή η μέθοδος, πρέπει να γίνουν δοκιμές αντοχής της πέτρας σε υψηλή θερμοκρασία. Σχετικά με αυτή τη μέθοδο επισημαίνουμε τα εξής:

1. Αρχικά ο ατμός μαλακώνει και διαλύει τη μαύρη κρούστα, η οποία με πίεση σπάζει ευκολότερα.

2. Υπάρχει διαφορετικός συντελεστής θερμικής διαστολής ανάμεσα στην πέτρα και στην κρούστα, πράγμα που συντελεί στην ευκολότερη απομάκρυνσή της με τη θερμότητα. Επειδή, όμως, τα πέτρινα υλικά είναι κακοί αγωγοί της θερμότητας, υπάρχει περίπτωση να προκληθούν σημαντικές φθορές, ειδικά σε περιοχές πολύ διαβρωμένες. Η μέθοδος, όμως, είναι γρήγορη και οικονομική, αλλά χρησιμοποιείται κυρίως για καθαρισμούς κτιρίων χωρίς καλλιτεχνική αξία και όχι των μνημείων, επειδή μπορεί να προκαλέσει μη ελεγχόμενη διάβρωση.

δ. Αμμοβολή: Η μέθοδος καθαρισμού με αμμοβολή χρησιμοποιείται σε επιφάνειες που έχουν επικαθίσει κρούστες πολύ σκληρές και ανθεκτικές και δεν απομακρύνονται με τη χρήση κάποιας μεθόδου με νερό. Υπάρχουν δύο είδη αμμοβολής: η ξηρή και η υγρή, κατά την οποία αναμειγνύουμε με νερό τους κόκκους της άμμου ή κάποιου λειαντικού φυσικού ή συνθετικού.

Από την εμπειρία του χρήστη καθορίζεται ο χρόνος αμμοβολής και είναι τόσο μικρότερος, όσο μεγαλύτερη είναι η πίεση. Απαιτείται μεγάλη προσοχή, ώστε να μην προκληθεί ζημιά από το λειαντικό στην πέτρινη επιφάνεια. Επίσης, σημαντικός παράγοντας για τον έλεγχο του καθαρισμού είναι η απόσταση εκτόξευσης της άμμου από την επιφάνεια της πέτρας.

Η χρήση, όμως, του νερού προκαλεί και τις γνωστές μορφές διάβρωσης και μετά τον καθαρισμό είναι απαραίτητο ένα τελικό πλύσιμο της πέτρινης επιφάνειας. Η μέθοδος προτείνεται για βαριές κρούστες σε λεία ή σε γυαλισμένη πέτρινη επιφάνεια, αλλά είναι μη ελεγχόμενη και δεν ενδείκνυται για μνημεία με υψηλό ιστορικό και καλλιτεχνικό ενδιαφέρον.

Οι δύο μέθοδοι αμμοβολής είναι σχετικά εύκολες και γρήγορες και έχουν σχετικά χαμηλό κόστος, αλλά παράλληλα είναι θορυβώδεις και επικίνδυνες για την πέτρινη επιφάνεια, ειδικά όταν αυτή είναι διαβρωμένη. Είναι πολύ αποτελεσματικές στο βαθύ και έντονο καθαρισμό και απομακρύνουν μαύρες κρούστες, κηλίδες από προϊόντα διάβρωσης σιδή-

ρου και χαλκού και διάφορες άλλες επικαθίσεις που υπάρχουν επάνω στην επιφάνεια.

Επειδή, όμως, καταστρέφουν όλες τις λεπτομέρειες, δε συνιστώνται για ανάγλυφες επιφάνειες αλλά μόνο για επίπεδες, και μάλιστα όταν τα συστατικά τους σε σκληρότητα είναι ομοιογενή. Τελικά η επιφάνεια που αποκαλύπτεται μετά την αμμοβολή είναι πολύ ευαίσθητη σε κάθε είδους διάβρωση.

ε. Μικροβολή: Είναι μέθοδος ίδια σε τεχνική με την προηγούμενη. Χρησιμοποιείται μια καλή λειαντική σκόνη από αλουμίνα ή από μικρές χάντρες γυαλιού σε σκόνη, με χαμηλότερη σκληρότητα από το διοξείδιο του πυριτίου της άμμου και με μικρότερο μέγεθος, με αποτέλεσμα λιγότερη λείανση και ηπιότερη μηχανική δράση.

Το ακροφύσιο, μέσα από το οποίο εκτοξεύεται η λειαντική σκόνη, είναι πάρα πολύ μικρό, και, επομένως, το ρεύμα της σκόνης είναι μικρό, με αποτέλεσμα να ελέγχεται καλύτερα ο καθαρισμός.

στ. Συσκευή Laser: Η μέθοδος καθαρισμού με Laser στηρίζεται στις υψηλές θερμοκρασίες (4.000 - 5.000 °K) που αναπτύσσονται σε υλικά με μικρή θερμική αγωγιμότητα και μεγάλη απορροφητικότητα, όταν ακτινοβολούνται με ακτίνες Laser. Ένα τέτοιο υλικό είναι και η μαύρη κρούστα, κυρίως εξαιτίας της αιθάλης που περιέχει. Σε τόσο υψηλή θερμοκρασία η αιθάλη, τα διάφορα οξειδία και τα διάφορα άλατα εξαχνώνονται, ενώ η θερμοκρασία πέφτει απότομα, μόλις εμφανιστεί η λευκή επιφάνεια του μαρμάρου με τη μεγάλη ανακλαστικότητα. Η θερμότητα που απορροφά το πέτρινο υλικό είναι μικρή και, επομένως, δεν υπάρχει κίνδυνος να προσβληθεί, όταν ο παλμός διαρκέσει μόνο μερικά χιλιοστά του δευτερολέπτου. Η αποτελεσματικότητα της μεθόδου μειώνεται, όταν οι επιφάνειες που πρόκειται να καθαριστούν είναι τραχείες, ενώ η μέθοδος γενικά είναι πολύ καλή για τον καθαρισμό της μαύρης κρούστας. Έχει, όμως, υψηλό κόστος και είναι εντελώς αναποτελεσματική στον καθαρισμό επιφανειών με λεπτομέρειες, όπως είναι τα αγάλματα ή οι κίονες, επειδή σε κάθε σημείο καθαρισμού απαιτείται καινούρια εστίαση.

ΧΗΜΙΚΕΣ ΜΕΘΟΔΟΙ ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΥ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

Υπάρχουν πολύ λίγα χημικά προϊόντα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν χωρίς κινδύνους και με βεβαιότητα για τον καθαρισμό της πέτρας. Ανάμεσα σ' αυτά υπάρχουν ορισμένες τασιενεργές ουσίες - ουδέτεροι σάπωνες που δρουν ως απορρυπαντικά, ορισμένα άλατα που διαλύονται στο νερό σε ανάμειξη με αδρανείς ουσίες που εφαρμόζονται σε μορφή πάστας, προσροφητικές άργιλοι, ενώ, όταν υπάρχουν οργανικές επικαθίσεις, εφαρμόζονται διάφοροι οργανικοί διαλύτες.

1. Τασιενεργές ουσίες - σάπωνες: Οι τασιενεργές ουσίες χρησιμοποιούνται εδώ και αρκετά χρόνια σαν απορρυπαντικά επάνω στην πέτρα. Είναι οργανικά μακρομόρια που αποτελούνται από αλυσίδες ατόμων άνθρακα, με μία ή περισσότερες υδρόφιλες ομάδες και έντονα πολικές στη μια άκρη τους.

Επομένως, λόγω της δομής τους είναι συμβιβαστές με την υδατική και με την οργανική φάση. Παράλληλα, έχουν την ιδιότητα να ελαττώνουν την επιφανειακή τάση και κάνουν τη μια φάση να απλώνεται επάνω στην άλλη. Τα ουδέτερα απορρυπαντικά τα βρίσκουμε με διάφορα ονόματα στο εμπόριο όπως, π.χ., Texaron, Teerol, Synperonic N κ.ά.

Άσκηση 3. Να δοθούν διάφορα δοκίμια πετρωμάτων και να γίνουν καθαρισμοί των λιπαρών επικαθίσεων με τη χρήση αραιού διαλύματος Texaron.

2. Ανθρακικά άλατα: Οι ιδιότητες των ανθρακικών αλάτων ως απορρυπαντικών ήταν από παλιά γνωστές. Για τον καθαρισμό της πέτρας το μόνο που χρησιμοποιείται αρκετά είναι το όξινο ανθρακικό αμμώνιο (NH_4HCO_3), το οποίο, στην περίπτωση που έχουμε στρώμα γύψου, το ρυθμίζουμε σε αλκαλικότερο pH με την πρόσθεση αμμωνίας.

Κατά τον καθαρισμό της επιφάνειας της πέτρας κατασκευάζουμε αραιό διάλυμα όξινου ανθρακικού αμμωνίου, προσθέτοντας με συνεχή ανάδευση χαρτοβάμβακο σε κομμάτια ή καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, ώσπου να σχηματιστεί ένας πολτός που να εφαρμόζεται κατευθείαν στην επιφάνεια της πέτρας.

Πολλές φορές αντί για πάστα όξινου ανθρακικού αμμωνίου χρησιμοποιείται πάστα διαλύματος ανθρακικού αμμωνίου ($(\text{NH}_4)_2\text{CO}_3$), το οποίο δημιουργεί ελαφρά αλκαλικό περιβάλλον και ευνοεί την απομάκρυνση των διαλυτών αλάτων που υπάρχουν στις επικαθίσεις.

3. Πάστες για εφαρμογή στην επιφάνεια της πέτρας: Στις πάστες χρησιμοποιούνται κυρίως τα ανθρακικά άλατα του αμμωνίου και του νατρίου ($\text{NH}_4\text{HCO}_3 - \text{NaHCO}_3$) και το αιθυλενο-διαμινο-τετραοξικό οξύ (E.D.T.A.) ή το δινάτριο αλάτι του, που είναι περισσότερο ευδιάλυτο σε σχέση με το E.D.T.A..

Ως αδρανή υλικά που προστίθενται στα διαλύματα αυτά για το σχηματισμό πάστας είναι η μεθυλοκυτταρίνη, η καρβοξυμεθυλοκυτταρίνη, μικρά κομμάτια ουδέτερου χαρτιού και προσροφητικές άργιλοι.

Οι πάστες της κατηγορίας αυτής, οι οποίες χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό της επιφάνειας της πέτρας, είναι παραλλαγές, ανάλογα με την περίπτωση καθαρισμού, της πάστας Moga, που σχηματίζεται με αραιό διάλυμα NH_4HCO_3 , NaHCO_3 και E.D.T.A. και με την πρόσθεση του βιοκτόνου Desogen.



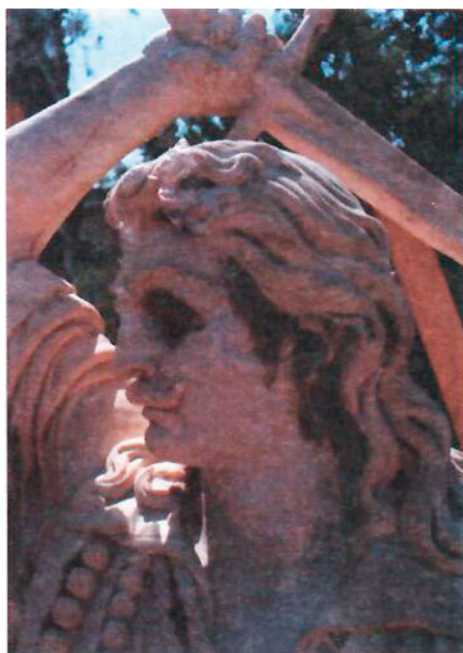
Καθαρισμοί με τη χρήση παστών ουδέτερου χαρτιού. Άγαλμα Αθανασίου Διάκου - Λαμία.



Καθαρισμοί με τη χρήση παστών προσροφητικών αργίλων. Άγαλμα Αθανασίου Διάκου - Λαμία.



Καθαρισμοί με τη χρήση παστών προσροφητικών αργίλων. Άγαλμα Αθανασίου Διάκου - Λαμία.



Καθαρισμοί με τη χρήση παστών προσροφητικών αργίλων. Άγαλμα Αθανασίου Διάκου - Λαμία.

Άσκηση 4. Να δοθούν διάφορα δοκίμια πετρωμάτων και να γίνουν καθαρισμοί των επικαθίσεων μαύρης κρούστας από ατμοσφαιρική ρύπανση με τη χρήση παστών ουδέτερου χαρτιού ή προσροφητικών αργίλων με αραιό διάλυμα E.D.T.A., NaHCO_3 , NH_4HCO_3 .

4. Οργανικοί διαλύτες: Οι οργανικοί διαλύτες χρησιμοποιούνται κυρίως για την αφαίρεση χρωμάτων και λιπαρών ουσιών που έχουν δημιουργήσει λεκέδες στην επιφάνεια της πέτρας ή έχουν εμποτίσει τους πόρους του πέτρινου υλικού. Συχνά χρησιμοποιούνται αιθανόλη, ακετόνη, white spirit, 1,1,1- τριχλωροαιθάνιο κ.ά. Οι οργανικοί διαλύτες χρησιμοποιούνται κατά περίπτωση και συνήθως ύστερα από δοκιμές, με μεγάλη προσοχή, επειδή επιδρούν αρνητικά στην υγεία. Επίσης, απαιτείται μεγάλη προσοχή να μη λεκιάσουν περισσότερο το υλικό, αν χρησιμοποιηθούν για πολλή ώρα και διεισδύσουν τα διαλυμένα λιπαρά ή χρώματα στους πόρους του. Για τον καθαρισμό της πέτρινης επιφάνειας και συγκεκριμένα για τη διάλυση λιπών και ελαίων έχει κατά καιρούς χρησιμοποιηθεί και αμμωνία, και συγκεκριμένα για τη διάλυση λιπών και ελαίων.

Άσκηση 5. Να δοθούν διάφορα δοκίμια πετρωμάτων και να γίνουν καθαρισμοί των λιπαρών επικαθίσεων και χρωμάτων, με τη χρήση οργανικών διαλυτών, π.χ. αιθανόλης, ακετόνης.

5. Χρήση προσροφητικών αργίλων: Στη μέθοδο αυτή χρησιμοποιούνται δύο άργιλοι, ο σεπιόλιθος και ο ατταπουλγίτης, που είναι αργιλοπυριτικά μαγνησιούχα ορυκτά.

Η σημαντικότερη ιδιότητα των προσροφητικών αργίλων είναι ότι μπορούν να προσροφούν μεγάλες ποσότητες νερού ή άλλων υγρών και δυσανάλογες σε σχέση με το βάρος τους. Για παράδειγμα, 1 Kgf ατταπουλγίτη μπορεί να προσροφήσει 1,5 Kgf νερού, χωρίς να μεταβληθεί ο όγκος που καταλάμβανε σε ξηρή κατάσταση.

Άσκηση 6. Να δοθούν διάφορα δοκίμια πετρωμάτων και να γίνουν καθαρισμοί των διάφορων επικαθίσεων, με τη χρήση παστών προσροφητικών αργίλων.

ΕΙΔΙΚΕΣ ΠΕΡΙΠΤΩΣΕΙΣ ΚΑΘΑΡΙΣΜΩΝ

Καθαρισμοί από κηλίδες που οφείλονται σε μεταλλικούς συνδέσμους:

Για τη στερέωση των αρχιτεκτονικών μελών των διάφορων μνημείων σε αναστηλώσεις χρησιμοποιήθηκαν κατά το παρελθόν σιδερένια στηρίγματα ή σύνδεσμοι. Ο σίδηρος οξειδώνεται εύκολα και γρήγορα και διαβρώνεται, καθώς αυξάνεται ο όγκος του, προκαλώντας έτσι θραύση στο πέτρινο υλικό αλλά και κηλίδες σκουριάς επάνω στην επιφάνεια της πέτρας. Υπάρχει περίπτωση βέβαια τέτοιες κηλίδες να δημιουργηθούν από τις προσμείξεις ορυκτών του σιδήρου στο πέτρινο υλικό, όπως είναι οι πυρίτες, οι αιματίτες και οι μαγνησίτες.

Για τον καθαρισμό κηλίδων οξειδίων του σιδήρου χρησιμοποιήθηκε υδατικό διάλυμα γλυκερίνης και όξινου κιτρικού ή θειοθειικού νατρίου ή κιτρικού καλιονατρίου με ή χωρίς σιδηροκυανιούχο κάλιο.

Το αποτελεσματικότερο, όμως, υλικό και το πιο σύγχρονο για την απομάκρυνση, ακόμα και μεγάλων ποσοτήτων οξειδίων του σιδήρου, π.χ. όταν υπάρχουν σιδερένιοι σύνδεσμοι, είναι το αραιό διάλυμα θειογλυκολικού οξέος (HSCH_2COOH) ύστερα από εξουδετέρωση με αμμωνία.

Για την απομάκρυνση κηλίδων χαλκού χρησιμοποιείται μια πάστα που περιέχει χλωριούχο αμμώνιο (NH_4Cl), υδροξείδιο του αργιλίου (Al(OH)_3) και τάλκη.

Άσκηση 7. Να δοθούν διάφορα δοκίμια πετρωμάτων και να γίνουν καθαρισμοί με μεγάλη προσοχή των διάφορων επικαθίσεων οξειδωσης σιδήρου, με τη χρήση παστών θειογλυκολικού οξέος.

ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΒΙΟΛΟΓΙΚΩΝ ΕΠΙΚΑΘΙΣΕΩΝ

Τα περισσότερα συνηθισμένα και αποτελεσματικά βιοκτόνα που υπάρχουν στο εμπόριο είναι το Lito 3, το Lito 7, το Desogen, το Primatol M50, το Primatol 3588, το Vancide 51 κ.ά. Επίσης, θα πρέπει να τονιστεί ότι για τον καθαρισμό βιολογικών επικαθίσεων χρησιμοποιείται διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2) (perhydrol).

Άσκηση 8. Να δοθούν διάφορα δοκίμια πετρωμάτων και να γίνουν καθαρισμοί των διάφορων βιολογικών επικαθίσεων, με τη χρήση διαλύματος perhydrol.

ΑΠΟΜΑΚΡΥΝΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΑΛΑΤΩΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑ ΚΑΙ ΑΠΟ ΤΟΥΣ ΠΟΡΟΥΣ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

Τα διαλυτά άλατα που υπάρχουν μέσα στους πόρους και στην επιφάνεια του πέτρινου υλικού είναι, όπως τονίστηκε και πιο πάνω, πολύ βασικοί παράγοντες διάβρωσης. Επομένως, η απομάκρυνσή τους, όσο γίνεται καλύτερα, είναι αναγκαία.

Εάν το αντικείμενο είναι μικρό και δεν έχει σαθρή επιφάνεια, μπορεί να γίνει πλήρης εμβάπτισή του σε απιονισμένο νερό. Η συνεχής ροή του νερού και οι συχνές αλλαγές του επιταχύνουν τη διαδικασία απομάκρυνσης των αλάτων και δίνουν καλά αποτελέσματα. Όταν, όμως, η επιφάνεια της πέτρας δεν είναι αρκετά ανθεκτική και το ποσό των συσσωρευμένων αλάτων είναι μεγάλο, η μέθοδος αυτή πρέπει να αποφεύγεται, διότι μπορεί να προκαλέσει θρυμματισμό της επιφάνειας. Τότε, για την απομάκρυνση των διαλυτών αλάτων που βρίσκονται στους πόρους και επομένως διαδραματίζουν σημαντικότατο ρόλο στη διάβρωση τοποθετούνται διαδοχικά στην επιφάνεια της πέτρας κομπρέσες με κάποιο απορροφητικό υλικό εμποτισμένο με απιονισμένο νερό. Συνήθως εφαρμόζεται ένας πολτός από μια προσροφητική άργιλο, π.χ. σεπιόλιθο ή αταπουλγίτη, με απιονισμένο νερό στην επιφάνεια της πέτρας. Η άργιλος θα απορροφήσει τα διαλυτά άλατα με το νερό που περιέχει και θα τα απομακρύνει από τους πόρους του πέτρινου υλικού. Επίσης, μια ευκολότερη μέθοδος, κατάλληλη και για πέτρες με υψηλό πορώδες, είναι η χρήση κομπρεσών από χαρτοπολτό ουδέτερου χαρτιού, με απιονισμένο νερό, και η χρήση φίλτρων κυτταρίνης με απιονισμένο νερό.

Ο έλεγχος για απομάκρυνση των διαλυτών αλάτων από τους πόρους ή από την επιφάνεια του πέτρινου υλικού γίνεται με τη μέτρηση της αγωγιμότητας του νερού στο οποίο βυθίζεται η κομπρέσα ή το φίλτρο κυτταρίνης. Συγκεκριμένα, όταν η κομπρέσα στεγνώσει και έχει απορροφήσει άλατα, βυθίζεται σε απιονισμένο νερό, και η μέθοδος σταματά, όταν η ειδική αγωγιμότητα παραμείνει σε επίπεδα όχι μεγαλύτερα από μερικά $\mu S/cm^2$.

Άσκηση 9. Να δοθούν διάφορα δοκίμια πετρωμάτων και να γίνει απομάκρυνση των διαλυτών αλάτων με τη χρήση παστών ουδέτερου χαρτιού ή προσροφητικής αργίλου.

ΣΤΕΡΕΩΣΗ ΤΗΣ ΠΕΤΡΑΣ

ΓΕΝΙΚΑ

Όταν μία πέτρα σε ένα πέτρινο μνημείο ή γλυπτό έχει χάσει τη συνοχή της σε τέτοιο σημείο, που η παραπέρα φυσική ύπαρξή της να καθίσταται προβληματική, επιβάλλεται στερέωσή της σε βάθος. Η διαδικασία στερέωσης σε βάθος συνίσταται στον εμποτισμό μιας πέτρας με κατάλληλα υλικά, όχι μόνο στο διαβρωμένο τμήμα της αλλά και σε μέρος ή στο σύνολο του υπόλοιπου συμπαγούς κομματιού, με σκοπό να βελτιωθεί η συνεκτικότητα, τα μηχανικά χαρακτηριστικά και η συνοχή μεταξύ των διαβρωμένων και των μη διαβρωμένων τμημάτων της.

Αρχικά, με τη στερέωση επιδιώκεται η αύξηση της συνοχής και η βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του πέτρινου υλικού, ενώ παράλληλα τροποποιείται και η εσωτερική δομή του, έτσι ώστε να παρεμποδίζεται η είσοδος του νερού, καθώς και των διαλυμάτων των αλάτων ή των οξέων που προκαλούν τη διάβρωση.

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ

Το αποτέλεσμα μιας εφαρμογής στερέωσης εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το βάθος εισχώρησης του στερεωτικού υλικού και από την κατανομή του στο εσωτερικό του πέτρινου υλικού. Για να επιτευχθούν τα παραπάνω, πρέπει να επιλεγεί ο κατάλληλος τρόπος εφαρμογής του στερεωτικού, καθώς επίσης η συγκέντρωση του διαλύματος, το είδος του διαλύτη, ο χρόνος εφαρμογής, η πίεση και η θερμοκρασία εργασίας. Οι μέθοδοι στερέωσης που χρησιμοποιούνται συνήθως για στερέωση της πέτρας είναι:

α. Πλήρης εμβάπτιση του αντικειμένου στο διάλυμα του στερεωτικού υλικού. Το αντικείμενο εμβαπτίζεται σε ειδική δεξαμενή, που περιέχει το διάλυμα του στερεωτικού σε πίεση και θερμοκρασία περιβάλλοντος. Αν η επιφάνεια του αντικειμένου έχει αποσαθρωθεί ή έχει σαθρές περιοχές και υπάρχει κίνδυνος για διάλυση, απόξεση ή και σπάσιμο των αποσαθρωμένων τμημάτων, είναι αναγκαίο να τοποθετείται επάνω στην επιφάνεια προστατευτικό υλικό όπως, π.χ., λεπτό φύλλο χαρτιού.

β. Εφαρμογή του στερεωτικού διαλύματος με ψεκασμό. Εφαρμόζεται σε πέτρινα αντικείμενα των οποίων η επιφάνεια δεν είναι σαθρή, και ανάλογα με την πίεση ψεκασμού επιτυγχάνεται και μεγαλύτερη εισχώρηση του στερεωτικού διαλύματος.

γ. Εφαρμογή του στερεωτικού διαλύματος με επάλειψη. Εφαρμόζεται σε πέτρινα αντικείμενα των οποίων η επιφάνεια δεν είναι σαθρή. Η εφαρμογή συνεχίζεται μέχρι το πορώδες του υλικού να μην απορροφά άλλο.

δ. Εφαρμογή του στερεωτικού διαλύματος με κομπρέσες. Εφαρμόζεται σε πέτρινα αντικείμενα των οποίων η επιφάνεια είναι σαθρή. Η εφαρμογή συνεχίζεται μέχρι το πορώδες του υλικού να μην απορροφά άλλο.

ε. Εμποτισμός του αντικειμένου με το διάλυμα του στερεωτικού υλικού σε κενό αέρα. Είναι μέθοδος με την οποία επιτυγχάνεται καλύτερη εισχώρηση του στερεωτικού μέσα στη μάζα του πέτρινου υλικού. Για τη μέθοδο απαιτείται να υπάρχει στο χώρο του εργαστηρίου θάλαμος κενού αέρα με δύο εισόδους, τη μια για την έξοδο του αέρα και την άλλη για την είσοδο του διαλύματος του στερεωτικού.

ΥΛΙΚΑ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ

Επειδή ένα στερεωμένο πέτρινο μνημείο ή έργο τέχνης συνήθως θα παραμείνει σε περιβάλλον εξωτερικού χώρου, πρώτα απ' όλα θα πρέπει να ελεγχθούν η συμβατότητα του υλικού στερέωσης με το πέτρινο υλικό και οι αντοχές του στις επιδράσεις του εξωτερικού διαβρωτικού περιβάλλοντος. Στο σημείο αυτό τα ανόργανα στερεωτικά παρουσιάζουν ένα σημαντικό πλεονέκτημα.

Τα υλικά στερέωσης της πέτρας διακρίνονται σε ανόργανα και σε οργανικά.

Ανόργανα στερεωτικά

1. Υδροξείδιο του ασβεστίου ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) και όξινο ανθρακικό ασβέστιο ($\text{Ca}(\text{HCO}_3)_2$).

Τα δύο αυτά στερεωτικά υλικά σε υδατικό διάλυμα σχηματίζουν ίζημα ανθρακικού ασβεστίου (CaCO_3) στην επιφάνεια και τους πόρους του πέτρινου υλικού.

Άσκηση 10. Να δοθούν διάφορα δοκίμια πετρωμάτων με σαθρή επιφάνεια και να γίνουν στερεώσεις με τη χρήση κορεσμένων διαλυμάτων υδροξειδίου του ασβεστίου.

2. Ανθρακικό κάλι (Πρόταση Θ. Σκουλικίδη). Στερέωση γυψοποιημένης επιφάνειας του μαρμάρου:

Αντιστροφή της γυψοποίησης του μαρμάρου με επίδραση ανθρακικών αλάτων. Εδώ χρησιμοποιήθηκε ανθρακικό κάλι (K_2CO_3), που αντιδρά με το γυψοποιημένο υλικό και σχηματίζει ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3).

3. Υδροξείδιο του βαρίου (Πρόταση S.Z. Lewin). Το υδροξείδιο του βαρίου ($\text{Ba}(\text{OH})_2$) αντιδρά με το διοξείδιο του άνθρακα (CO_2) και δημιουργεί ίζημα ανθρακικού βαρίου (BaCO_3) στην επιφάνεια και τους πόρους του υλικού.

Άσκηση 11. Να δοθούν διάφορα δοκίμια πετρωμάτων με σαθρή επιφάνεια και να γίνουν στερεώσεις με τη χρήση 100 ml κορεσμένου διαλύματος υδροξειδίου του βαρίου, με την προσθήκη 2 gr ουρίας και 100 ml γλυκερίνης σε θερμοκρασία 60 °C.

4. Στερεωτικά υλικά με βάση το πυρίτιο. Το φάσμα των στερεωτικών που περιέχουν πυρίτιο είναι πολύ μεγάλο και περιλαμβάνει υλικά που είναι πολύ διαφορετικά μεταξύ τους και αρχίζουν από πυριτικές ενώσεις με κάλιο και νάτριο και φθάνουν σε ρητίνες. Περιλαμβάνονται οργανικά και ανόργανα υλικά ή και υλικά που βρίσκονται σε ενδιάμεση κατηγορία.

Άσκηση 12. Να δοθούν διάφορα δοκίμια πετρωμάτων με σαθρή επιφάνεια και να γίνουν στερεώσεις και υδροφοβιώσεις με τη χρήση αραιού διαλύματος πυριτικού εστέρα Tegonacop και αραιού διαλύματος σιλανίου Tegosivin.

Οργανικά στερεωτικά

Θερμοπλαστικά - θερμοσκληρυνόμενα

Εκτός από τα στερεωτικά με βάση το πυρίτιο, υπάρχουν και πολλά άλλα οργανικά στερεωτικά που χρησιμοποιούνται σε πολύ μεγάλο βαθμό. Τα οργανικά στερεωτικά είναι συνθετικά πολυμερή, πράγμα το οποίο σημαίνει ότι αποτελούνται και συντίθενται από μεγάλες ενότητες μορίων που ονομάζονται μονομερή. Εάν αυτά τα μόρια είναι όμοια μεταξύ τους, προκύπτει ένα ομοιοπολυμερές, ή, εάν έχουν ένα διαφορετικό τύπο, προκύπτει ένα σύνθετο πολυμερές. Συνήθως, τα σύνθετα πολυμερή αποτελούνται από δύο ή τρία διαφορετικά μονομερή. Τα μονομερή είναι ουσίες με δύο ή περισσότερες ενεργές ομάδες, π.χ. διπλούς δεσμούς, και γενικά ο πολυμερισμός γίνεται με την παρουσία καταλυτών. Τα μόρια των οργανικών πολυμερών, που ονομάζονται συνθετικές ρητίνες ή και πλαστικά υλικά, έχουν δομή που μπορεί να είναι γραμμική ή τρισδιάστατα δικτυωμένη.

Τα πολυμερή με γραμμική δομή διαθέτουν μόρια διατεταγμένα σε μακρές αλυσίδες ατόμων άνθρακα που είναι ενωμένα μεταξύ τους και που με τη σειρά τους συνδέονται με άλλα άτομα όπως υδρογόνο, οξυγόνο κτλ. Υπάρχουν περιπτώσεις όπου, σε συμμετρικές αποστάσεις, ορισμένα άτομα άνθρακα της αλυσίδας αντικαθίστανται από άλλα στοι-

χεία, όπως οξυγόνο και άζωτο, ενώ παράλληλα οι αλυσίδες μπορούν να έχουν μικρές διακλαδώσεις. Στη στερεή κατάσταση τα μόρια των πολυμερών με γραμμική δομή είναι εύκαμπτα και σχετικά άτακτα διατεταγμένα, ενώ τα μόρια τους που συγκρατούν τις αλυσίδες μεταξύ τους συνδέονται με ασθενείς ηλεκτροστατικές δυνάμεις της τάξης περίπου των 60 KJ/mole.

Όταν τα μόρια αυτά θερμανθούν, απορροφούν ενέργεια και αρχίζουν να κινούνται γύρω από τις θέσεις ισορροπίας τους και, αν η ενέργεια που απορροφάται είναι μεγαλύτερη από αυτήν που είναι απαραίτητη για να σπάσει η εσωμοριακή δύναμη έλξης, η σχετική κίνησή τους θα είναι τέτοια, ώστε να περάσουν από τη στερεή στην υγρή φάση. Επομένως, τα πολυμερή με γραμμική δομή εξασθενούν και υγροποιούνται με τη θέρμανση και γ' αυτό ονομάζονται **θερμοπλαστικά**.

Τα πολυμερή με δικτυωτή δομή περιέχουν μόρια τα οποία δεν αποτελούνται από ξεχωριστές αλυσίδες ατόμων άνθρακα, αλλά από ένα σύνολο αλυσίδων που ενώνονται μεταξύ τους με χημικούς δεσμούς, για να σχηματίσουν τρισδιάστατη δομή. Τέτοιου είδους δομή μπορεί να ξεκινήσει είτε από μονομερή που συνδέονται με ενεργά σημεία άλλων αλυσίδων, έτσι ώστε να δημιουργούνται διασταυρωμένοι δεσμοί, είτε από γραμμικά πολυμερή που έχουν την ικανότητα να αντιδρούν ακόμα περισσότερο και συνδέονται μεταξύ τους αντιδρώντας με άλλες ουσίες μονομερείς ή με μικρό βαθμό πολυμερισμού. Οι ουσίες αυτές ονομάζονται σκληρυντές και μπορούν να αντιδράσουν αυθόρμητα ή με την παρουσία καταλυτών.

Το προϊόν που προκύπτει και στις δύο περιπτώσεις είναι ένα στερεό, στο οποίο οι αλυσίδες πολυμερισμού συνδέονται μεταξύ τους με ισχυρούς χημικούς δεσμούς της τάξης των 800 KJ/mole. Επομένως, με τόσο ισχυρούς δεσμούς τα μόρια δεν έχουν τη δυνατότητα να ταλαντεύονται και να κινούνται ούτε υπό την επίδραση της θερμότητας, και συνεπώς το υλικό αυτό δε μαλακώνει ούτε τήκεται με την επίδραση της θερμότητας, οι δε ρητίνες στην περίπτωση αυτή ονομάζονται **θερμοσκληρυνόμενες**. Η διαλυτότητα αυτού του τύπου των στερεωτικών είναι ουσιαστικά μηδαμινή, και, επομένως, τα στερεωτικά αυτά είναι αναντιστρεπτά. Με την αύξηση του βαθμού δικτύωσης αυξάνεται και η μηχανική αντοχή. Παράλληλα, όμως, ελαττώνεται η ελαστικότητα, και το υλικό τείνει να γίνει εύθραυστο.

Είδη οργανικών στερεωτικών

Εποξειδικές ρητίνες. Οι εποξειδικές ρητίνες είναι πλαστικά θερμοσκληρυνόμενα υλικά και παράγονται με αντιδράσεις ανάμεσα σε μονομερή ή σε προπολυμερισμένα με δύο τουλάχιστον εποξειδικές ομάδες.

Γενικά, οι εποξειδικές ρητίνες έχουν μεγάλη αντίσταση στα οξέα, στις βάσεις, στους οργανικούς διαλύτες και στο νερό. Επηρεάζονται, όμως, από τις υπεριώδεις ακτίνες και η μακροχρόνια έκθεση των εποξειδικών ρητινών στις υπεριώδεις προκαλεί κιτρίνισμα, κρακελάρισμα και αποφλοίωση.

Η ανθεκτικότητα στις υπεριώδεις είναι μεγαλύτερη στα προϊόντα που δεν έχουν αρωματικές ομάδες.

Ακρυλικές ρητίνες. Είναι θερμοπλαστικά πολυμερή που παράγονται από τον πολυμερισμό του ακρυλικού και του μεθακρυλικού οξέος, καθώς και των διάφορων παραγώγων τους.

Οι ακρυλικές ρητίνες έχουν γραμμική δομή, και ο διπλός δεσμός, που υπάρχει μεταξύ των ατόμων του άνθρακα των ακρυλικών πολυμερών, επιτρέπει το σχηματισμό θερμοπλαστικών πολυμερών.

Φθοριωμένες ρητίνες. Είναι πολυμερή με γραμμική δομή και παράγονται με τον πολυμερισμό φθοριωμένων μονομερών, κυρίως ολεφινικών.

Πολυουρεθάνες. Είναι πολυμερή που προκύπτουν από αντιδράσεις μεταξύ της πολυουρίας και πολυαλκοολών και χρησιμοποιούνται περισσότερο ως υλικά συσκευασίας και μεταφοράς έργων τέχνης ή αρχαιολογικών ευρημάτων.

Πολυεστερικές ρητίνες. Είναι πολυμερή που σχηματίζονται με αντίδραση ανάμεσα σε ένα οξύ με δύο ομάδες καρβοξυλίου και σε μία γλυκόλη με δύο υδροξύλια.

Οι πολυεστερικές ρητίνες είναι θερμοπλαστικά και θερμοσκληρυνόμενα πολυμερή και χρησιμοποιούνται ως στερεωτικά και ως συγκολλητικά. Εάν, όμως, το οξύ και η αλκοόλη που αντιδρούν περιέχουν διπλούς δεσμούς μεταξύ ανθράκων, τότε το γραμμικό πολυμερές που σχηματίζεται περιέχει επίσης διπλούς δεσμούς, με αποτέλεσμα να αντιδρά με άλλα τέτοια μονομερή σχηματίζοντας διακλαδιζόμενους δεσμούς ανάμεσα στα μόρια.

Η αντίσταση των πολυεστερικών ρητινών στην ακτινοβολία UV είναι αρκετά χαμηλή, κυρίως για προϊόντα διακλαδιζόμενα με αρωματικά μονομερή, με αποτέλεσμα κιτρίνισμα και αποφλοίωση.

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΚΑΙ ΣΥΝΔΕΣΗ ΤΕΜΑΧΙΩΝ

Η συγκόλληση των κομματιών της πέτρας, καθώς και η συμπλήρωση οπών, ρωγμών, σχισμών ή χαμένων τεμαχίων, αφορά την αισθητική αποκατάσταση ενός πέτρινου μνημείου ή αγάλματος και περιλαμβάνεται στις τελευταίες φάσεις της διαδικασίας συντήρησής του.

Για τη σύνδεση των αποκολλημένων κομματιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν είτε κάποιο συγκολλητικό μόνο είτε διάφορα στηρίγματα μαζί με το συγκολλητικό. Η χρήση μεταλλικών συνδέσμων για τη στήριξη της συγκόλλησης είναι πολύ παλιά μέθοδος, και το υλικό που χρησιμοποιούνταν συχνότερα ήταν ο σίδηρος. Όμως, η εύκολη οξειδωση αυτού του μετάλλου από τη δράση του νερού προκαλεί σημαντικές φθορές στην πέτρα εξαιτίας της αύξησης του όγκου του συνδέσμου μέσα στην οπή, η οποία οφείλεται στο σχηματισμό προϊόντων οξειδωσης αλλά και στη διάλυσή τους στους πόρους και στην επιφάνεια της πέτρας, όπως αναφέρθηκε στο σχετικό κεφάλαιο.

Οι σύνδεσμοι από ορείχαλκο και μπρούντζο, που χρησιμοποιούνται πιο συχνά σε σχέση με τους σιδερένιους, οξειδώνονται επίσης με την πάροδο του χρόνου. Τα τελευταία

χρόνια προτιμάται η χρήση μετάλλων όπως τιτανίου ή ανοξειδωτου χάλυβα, που δεν οξειδώνονται και, επομένως, προσδίδουν μεγαλύτερη σταθερότητα στο πέτρινο υλικό και στη συγκόλληση. Πολλές φορές το μεταλλικό σύνδεσμο περιβάλλει ένα κατάλληλο δομικό συγκολλητικό ή και κονίαμα.

Για τη σύνδεση κομματιών περιορισμένου βάρους χρησιμοποιήθηκαν πρόσφατα σύνδεσμοι από ρητίνες, εποξειδικές ή πολυεστερικές, που μοιάζουν με γυάλινες ράβδους. Οι ράβδοι αυτές έχουν ως πλεονεκτήματα το μικρό βάρος, τη χημική σταθερότητα και την αντοχή σε έλξη, αλλά παράλληλα το μειονέκτημα της μεγάλης διαφοράς στο συντελεστή θερμικής διαστολής σχετικά με την πέτρα.

Για τη συγκόλληση τεμαχίων πέτρας ακολουθούμε την παρακάτω διαδικασία:

Ανοίγουμε μια οπή στο κέντρο κάθε σπασμένης επιφάνειας ή, όταν η επιφάνεια αυτή είναι μεγάλη ή το βάρος που θα δεχτεί η συγκόλληση μεγάλο, ανοίγουμε περισσότερες οπές σε συμμετρικά σημεία και φροντίζουμε να συμπίπτουν οι οπές, για να μπορέσει να εισχωρήσει ο σύνδεσμος. Για την αντιστοιχία των οπών, ανοίγουμε τη μία οπή στη μία επιφάνεια χρησιμοποιώντας τρυπάνι μη κρουστικό και χαράσσουμε δύο διαγώνιες γραμμές επάνω στην επιφάνεια, που τέμνονται στο κέντρο της οπής. Φέρουμε σε επαφή τις δύο επιφάνειες και από τα άκρα των ευθειών του ενός κομματιού χαράσσουμε τις ευθείες στο δεύτερο. Το σημείο της τομής τους καθορίζει το σημείο της δεύτερης οπής. Σύμφωνα με μία άλλη μέθοδο θέτουμε μια μικρή ποσότητα βρεγμένου πηλού στη θέση της οπής στο πρώτο κομμάτι και με την επαφή των δύο κομματιών σχηματίζεται η θέση της οπής στο δεύτερο κομμάτι. Στη συνέχεια, με το τρυπάνι ανοίγουμε αρχικά μικρή οπή και τη μεγαλώνουμε σταδιακά αυξάνοντας το μέγεθος του τρυπανιού, ώστε να επιτευχθεί μεγαλύτερη ακρίβεια. Το μέγεθος της οπής εξαρτάται από την ανθεκτικότητα της πέτρας και από το πλάτος της επιφάνειας που παραμένει γύρω από την οπή.

Σε περιπτώσεις όπου το ένα κομμάτι είναι πολύ μικρότερο από το άλλο, π.χ. το χέρι και το υπόλοιπο σώμα ενός γλυπτού, στο μικρότερο κομμάτι η οπή γίνεται ελαφρά μεγαλύτερη, για να διορθωθεί ο τζόγος που πιθανώς έχει δημιουργηθεί στο σύνδεσμο, με αποτέλεσμα να μην κουμπώνουν καλά τα δύο κομμάτια. Όταν τα δύο κομμάτια είναι παρόμοια σε μέγεθος, τότε η μεγαλύτερη οπή γίνεται στο ένα από τα δύο. Πολλές φορές ο σύνδεσμος γίνεται αγκαθωτός με λίμα, πριόνι ή τροχό, για να γαντζώνει καλύτερα.

Οι επιφάνειες καθαρίζονται και, αν είναι πολύ επίπεδες, αποκτούν ελαφρά ανώμαλη επιφάνεια με κτύπημα με κάποιο αιχμηρό εργαλείο, και οι οπές καθαρίζονται καλά. Στη συνέχεια, γεμίζουμε τη μία οπή με κονίαμα ή με συγκολλητικό και περνάμε πρώτα το σύνδεσμο στο ένα κομμάτι και τον αφήνουμε να στεγνώσει, ενώ, όταν έχουμε κονίαμα, αφήνουμε κομπρέσα με απιονισμένο νερό γύρω από την οπή που μπήκε ο σύνδεσμος.

Πολλές φορές στο κονίαμα ή στο συγκολλητικό ρίχνουμε σκόνη από το πέτρινο υλικό που προέκυψε από το τρύπημα, για καλύτερη συνοχή και για να πάρει ο αρμός το χρώμα της πέτρας. Στη συνέχεια, κολλάμε τα δύο κομμάτια θέτοντας κονίαμα ή συγκολλητικό στη δεύτερη οπή και στη μία επιφάνεια, και σκουπίζουμε το κονίαμα ή το συγκολλητικό που έτρεξε στο σημείο συγκόλλησης. Τελικά, στη συγκόλληση με κονίαμα,

για να αποκτήσει ο αρμός την υφή της επιφάνειας της πέτρας με πόρους, τοποθετούμε ένα γυαλόχαρτο και κτυπάμε ελαφρά.

Άσκηση 13. Να δοθούν διάφορα θραύσματα πέτρας από το ίδιο κομμάτι πετρώματος και να γίνουν συγκολλήσεις με τη χρήση κονιάματος που περιέχει αδρανές, σκόνη από το υλικό και μπρούντζινους ή ανοξειδωτους συνδέσμους.

ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΡΩΓΜΩΝ, ΚΕΝΩΝ ΚΑΙ ΚΟΜΜΑΤΙΩΝ ΠΟΥ ΛΕΙΠΟΥΝ

Η εργασία της συμπλήρωσης πρέπει να γίνεται με μεγάλη προσοχή. Πραγματοποιείται ακόμα και σε πολύ λεπτές ρωγμές, διότι αυτές αποτελούν δίοδο για τη διείσδυση διάφορων διαβρωτικών παραγόντων. Η συμπλήρωση των κενών και των ρωγμών είναι απαραίτητη, διότι με τη στερέωση δεν μπορούν να κλείσουν σχισμές με άνοιγμα μεγαλύτερο από 0,1 - 0,2 mm και είναι απαραίτητο να πληρωθούν με κάποιο κονίαμα. Ένα καλό κονίαμα θα πρέπει να έχει καλή σύμφυση με την επιφάνεια της πέτρας, να έχει ίδιο ή παραπλήσιο θερμικό συντελεστή με το πέτρινο υλικό, το πορώδες του να είναι ίδιο ή μεγαλύτερο από το πορώδες του πέτρινου υλικού, έτσι ώστε να επιτρέπεται η εξάτμιση των διαλυμάτων των αλάτων διαμέσου του κονιάματος και όχι διαμέσου της πέτρας και, αν παραστεί ανάγκη, το κονίαμα να μπορεί να απομακρυνθεί χωρίς να της προκαλέσει ιδιαίτερη βλάβη. Γενικά, οι συμπληρώσεις πρέπει να διακρίνονται εύκολα και οι επιφάνειες αυτές να διατηρούν χρωματικά έναν τόνο χαμηλότερο σε σχέση με τις αρχικές. Το μέτρο στο οποίο πρέπει να είναι εκτεταμένη η συμπλήρωση κρίνεται με βάση τα χαρακτηριστικά της πέτρας και του αντικειμένου.

Για τη συμπλήρωση χρησιμοποιούνται συνδετικά και αδρανή υλικά που θα πρέπει να έχουν χαρακτηριστικά χρώματος, πορώδους και μηχανικής αντοχής όσο το δυνατόν πλησιέστερα με τα αντίστοιχα του πέτρινου υλικού. Ως αδρανές υλικό χρησιμοποιείται πολλές φορές σκόνη υάλου ή χαλαζία ή σκόνη από την ίδια την πέτρα, με πιθανή προσθήκη μικρής ποσότητας ανόργανων χρωστικών, που θα πρέπει να είναι χημικά σταθερές, έτσι ώστε να επιτευχθεί το επιθυμητό χρώμα. Στην περίπτωση όπου δεν απαιτείται μεγάλη μηχανική αντοχή, χρησιμοποιείται, ως αδρανές, σκόνη ασβεστόλιθου και η κοκκομετρία της σκόνης καθορίζεται σε συνάρτηση με τα χαρακτηριστικά του πορώδους και της ομοιογένειας της πέτρας.

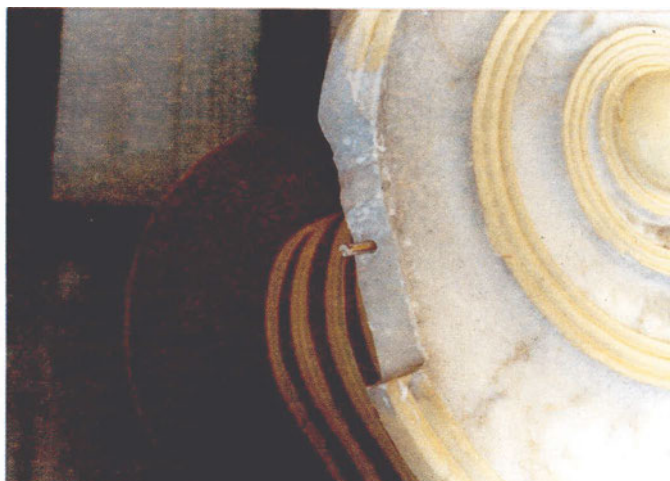
Για τη συμπλήρωση σε γλυπτά μεγάλων κομματιών που λείπουν, απαιτείται αντίγραφο του μέρους που λείπει, μέσα στο οποίο θα χυτευθεί το κατάλληλο υλικό για συμπλήρωση. Σε περίπτωση κατά την οποία το μέρος που λείπει υπάρχει σε κάποιο συμμετρικό μέρος του γλυπτού, παίρνουμε αντίγραφο από αυτό το κομμάτι με γύψο, οπότε τοποθετούμε, μεταξύ γύψου και πέτρας, σαπούνη ή λεπτό στρώμα τάλκη, ή παίρνουμε αντίγραφο με λάστιχο σιλικόνης. Σε περίπτωση που η πέτρα είναι αποσαθρωμένη επιφανειακά,

προτού ρίξουμε το καλούπι, τοποθετούμε ειδικό λεπτό χαρτί, το οποίο εφαρμόζουμε στην επιφάνεια της πέτρας πιέζοντάς το με πινέλο βουτηγμένο σε απιονισμένο νερό. Το καλούπι ρίχνεται σε κομμάτια και, μόλις στεγνώσει, τοποθετείται στο μέρος που λείπει, όπου ρίχνεται το κονίαμα για συμπλήρωση, αφού περαστεί από μέσα το καλούπι με το χαρτί με ειδικό βερνίκι, ενώ στην περίπτωση καλουπιού από λάστιχο σιλικόνης δεν τοποθετείται κανένα μονωτικό. Η επιφάνεια της πέτρας που θα έρθει σε επαφή με το κονίαμα σκαλίζεται ελαφρά με κάποιο αιχμηρό εργαλείο, για να δέσει με το κονίαμα. Πολλές φορές τοποθετείται σύνδεσμος σε οπή στην προηγούμενη επιφάνεια, ο οποίος συνεχίζει μέσα στο κονίαμα. Μέσα στο κονίαμα που χυτεύεται μέσα στο καλούπι γίνεται ανάδευση, για να φεύγουν οι φυσαλίδες του αέρα. Όταν το μέρος που λείπει δεν υπάρχει σε αντίστοιχο συμμετρικό μέρος του γλυπτού, συνήθως δεν πραγματοποιείται συμπλήρωση, ειδικά σε αρχαιολογικά γλυπτά. Αν, όμως, απαιτείται, τότε κατασκευάζεται πρόπλασμα από πλαστελίνη ή από πηλό ή από γύψο. Επάνω στο πρόπλασμα ρίχνεται το καλούπι από γύψο ή από λάστιχο σιλικόνης (αρνητικό), και μέσα στο καλούπι κατασκευάζεται το μέρος που λείπει από κονίαμα (θετικό) τοποθετώντας το καλούπι στην περιοχή που λείπει.

Επίσης, πολλές φορές το θετικό κατασκευάζεται από γύψο, και με βάση αυτό κατασκευάζεται το μέρος που λείπει από μάρμαρο και συγκολλάται με το υπόλοιπο σώμα. Για παράδειγμα, όταν λείπει από ένα μαρμάρινο γλυπτό ένα χέρι, τότε κατασκευάζουμε ένα πρόπλασμα του χεριού από πλαστελίνη ή από πηλό, στη συνέχεια ρίχνουμε επάνω στην επιφάνεια το αρνητικό με γύψο ή με λάστιχο σιλικόνης.



Διαδικασία συμπλήρωσης (με μάρμαρο) μαρμάρινου γλυπτού διάκοσμου. Ακαδημία Αθηνών.



Διαδικασία συμπλήρωσης (με μάρμαρο) μαρμάρινου γλυπτού διάκοσμου. Ακαδημία Αθηνών.

Στο αρνητικό καλούπι ρίχνουμε κονίαμα και κατασκευάζουμε το θετικό από κονίαμα, το οποίο συγκολλάμε στο σώμα. Εάν θέλουμε να κατασκευάσουμε το χέρι από μάρμαρο, ρίχνουμε στο αρνητικό καλούπι γύψο και κατασκευάζουμε και το θετικό από γύψο, οπότε με βάση αυτό κατασκευάζουμε το χέρι από μάρμαρο. Για τη μόνωση γύψου με γύψο βάζουμε ζεστή σαπουνάδα και για τη μόνωση γύψου με κονίαμα βάζουμε ζεστή σαπουνάδα μαζί με λίγο παραφινέλαιο.



Διαδικασία συμπλήρωσης (με μάρμαρο) μαρμάρινου γλυπτού διάκοσμου. Ακαδημία Αθηνών.



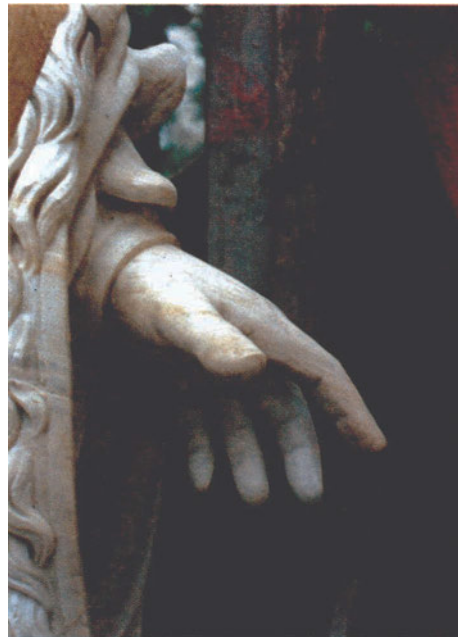
Διαδικασία καθαρισμού και συμπλήρωσης (με κονίαμα) μαρμάρινου γλυπτού διάκοσμου. Ακαδημία Αθηνών.



Διαδικασία καθαρισμού και συμπλήρωσης (με κονίαμα) μαρμάρινου γλυπτού διάκοσμου. Ακαδημία Αθηνών.



*Διαδικασία συμπλήρωσης δακτύλων με μάρμαρο.
Άγαλμα Αθανασίου Διάκου - Λαμία.*



*Διαδικασία συμπλήρωσης δακτύλων με μάρμαρο.
Άγαλμα Αθανασίου Διάκου - Λαμία.*



*Συμπλήρωση βάσης κίονος, για στατικούς λόγους,
του αρχαϊκού ναού του Απόλλωνα στην Αρχαία Κόρινθο.*

Άσκηση 14. Να δοθεί δοκίμιο πετρώματος και να γίνει συμπλήρωση σε περιοχή που λείπει, με τη χρήση κονιάματος που περιέχει ως αδρανές σκόνη από το υλικό και με τη χρήση καλουπιού από γύψο.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Amoroso G., Fassina V.,
Stone Decay and Conservation.
Ed. Elsevier 1983.
2. Arnold A., "Behaviour of some soluble salts in stone deterioration".
Πρακτικά "2ου διεθνούς συμποσίου επί της καταστροφής των λίθων εις
κατασκευάς". Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.
3. Arnold A., "Nature and reactions of saline minerals in walls". Πρακτικά Διεθνούς
Συμποσίου
"The Conservation of Stone". Bologna, Οκτώβρης 1981.
4. Arnold A., "Soluble salts and stone weathering". Πρακτικά Διεθνούς Συμποσίου
"The Conservation of Stone". Bologna, Ιούνιος 1975.
5. Barcelona Vero L., Bettini C., Monte Sila M., "Chemoautotrophic microorganisms
in semiinsulated environment". Πρακτικά "2ου Διεθνούς Συμποσίου επί της
καταστροφής των λίθων εις κατασκευάς". Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.
6. Δεμίρη Κ.Α.,
Τεχνική Γεωλογία.
Μέρος Α', Γεωλογικοί Σχηματισμοί.
Εκδόσεις University Studio Press.
7. Domaslawski W.,
La conservation preventive de la pierre.
UNESCO 1979-80.
8. Fassina V., Lazzarini L., Biscontin G., "Effects of atmospheric pollutants on the
composition of black crusts deposited on Venetian marbles and stones". Πρακτικά
"2ου Διεθνούς Συμποσίου επί της καταστροφής των λίθων εις κατασκευάς".
Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.
9. Frediani P., P. Malesani G., Vanucci S., "Weathering of florentine stones: sulfation
and its determination". Πρακτικά "2ου διεθνούς συμποσίου επί της καταστροφής
των λίθων εις κατασκευάς". Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.

10. Λαμπρόπουλου Β.Ν.,
Διάβρωση και Συντήρηση της Πέτρας.
Αθήνα 1993.
11. Lazzarini L.,
La pulitura dei materiali lapidei da costruzione e scultura - Metodi industriali e di restauro.
Ed. Casa Editrice Dott. Antonio Milani.
Padova 1981.
12. Lazzarini L., Laurenzi Tabasso M.,
Il restauro della pietra.
Ed. Casa Editrice Dott. Antonio Milani.
Padova 1986.
13. Lewin S.Z., Baer N., "Rationale of the barium hydroxide - urea treatment of decayed stone". *Studies in Conservation*, 19 (1974).
14. Παπαγεωργάκη Ι.,
Τα πετρώματα της μαρμαρικής τέχνης και η εκμετάλλευσή τους.
Ελληνικό Μάρμαρο, Νο 6, 1977.
15. Paleni A., Curri S.B., "Attapulgius clay on cleaning, biological aggression control, desalination of stone". Πρακτικά "2ου Διεθνούς Συμποσίου επί της καταστροφής των λίθων εις κατασκευάς". Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.
16. Paully J.P., "Le role des chlorures dans les maladies alveolaire et desquamante". Πρακτικά "2ου Διεθνούς Συμποσίου επί της καταστροφής των λίθων εις κατασκευάς". Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.
17. Pauly J.P., "Maladie alveolaire; conditions de formation et d' evolution". Πρακτικά Διεθνούς Συμποσίου "The Conservation of Stone". Bologna, Ιούνιος 1975.
18. Richardson B.A., "Control of moss, lichens and algae on stone". Πρακτικά Διεθνούς Συμποσίου "The Conservation of Stone". Bologna, Ιούνιος 1975.
19. Shields J.,
Adhesives handbook.
Ed. Butterworths 1984.

20. Skoulikidis Th., "Atmospheric corrosion of the concrete reinforcements and of the limestone and marbles of ancient monuments". The Electrochemical Society International Symposium on Atmospheric Corrosion. Hollywood, Miami, Florida, Οκτώβρης 1980.
21. Σκουλικίδη Θ.Ν.,
Εφαρμοσμένη Ηλεκτροχημεία, Α' Διάβρωση και Προστασία.
Αθήνα 1980.
22. Skoulikidis Th., Beloyannis N., "Inversion de la sulfatation du marbre; reconversion en calcite du gypse forme sur les surfaces des monuments et des statues". Πρακτικά Διεθνούς Συμποσίου "The Conservation of Stone". Bologna 1981.
23. Skoulikidis Th., Charalambous D., "Mechanism of sulfation by atmospheric SO₂ of the limestones and marbles of the ancient monuments and statues. - II. Hypothesis concerning the rate determining step in the process of sulfation, and its experimental confirmation", Br. Corros. J., 16, No 2, p.69, 1981.
24. Skoulikidis Th., Papakonstantinou P., Charalambous D., "Restauration d'anciens objets d' art en marbre deteriorés; inversion de la sulfatation - utilisation de gypse et transformation en calcite". Πρακτικά "2ου Διεθνούς Συμποσίου επί της καταστροφής των λίθων εις κατασκευάς". Αθήνα, Σεπτέμβρης 1976.
25. Skoulikidis Th., Papakonstantinou P., Charalambous D., Beloyannis N., "Le mecanisme de la sulfatation des marbres par action d' anhydride sulfureaux". Πρακτικά "3ο Congresso Internazionale sul deterioramento e la conservazione della pietra". Venezia, Οκτώβρης 1979.
26. Skoulikidis Th., Papakonstantinou - Ziotis P., "Mechanism of sulfation by atmospheric SO₂ of the limestones and marbles of the ancient monuments and statues - I. Observations in situ (Acropolis) and laboratory measurements", Br. Corr. J., 16, No 2, p. 63, 1981.
27. Tite M.S.,
Methods of physical examination in Archaeology.
Ed. Seminar Press, London and New York 1972.

28. Torraca G.,
Porous building materials: materials science for architectural conservation.
ICCROM 1988.

29. Φωτοχημική ρύπανση.
Διαλέξεις Δ. Συκιώτη.
Ένωση Ελλήνων Χημικών, 1979.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΓΥΑΛΙΟΥ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Υπάρχουν δύο εκδοχές για την προέλευση της λέξης “ύαλος” ή “ύελος”. Προέρχεται είτε από την Αίγυπτο, επειδή αρχικά το υλικό κατασκευάστηκε εκεί, είτε από την Αρχαία Ελλάδα, από το ρήμα “ύω”, που σημαίνει βρέχω, και η αρχική σημασία της ήταν “σταγόνα βροχής” ή “διαυγής σαν νερό”.

Πολύ πριν από την ανακάλυψη του χειροποίητου γυαλιού, τα αντικείμενα αξίας και υψηλής τέχνης κατασκευάζονταν από φυσικό γυαλί. Τα πρώτα αντικείμενα από γυαλί, τα οποία τοποθετούνται χρονολογικά στις αρχές της παλαιολιθικής εποχής, ήταν μαχαίρια και αιχμές βελών από λεπτά φύλλα οψιδιανού. Έχοντας ως βάση τις χημικές αναλύσεις των ηφαιστειακών πετρωμάτων, είναι δυνατόν να προσδιορίσουμε την προέλευση πολλών αντικειμένων από οψιδιανό, π.χ. αντικείμενα που διαδόθηκαν στη Μ. Ασία από την Ανατολή και από το Αιγαίο.

Εντούτοις, είναι βέβαιο ότι η ανακάλυψή του έγινε κάπου στα ανατολικά της Μεσογείου πριν από το 3000 π.Χ. Σύμφωνα με τον ιστορικό Πλίνιο (23 - 79 μ.Χ.) υπάρχει άμεση σχέση του πρώτου χειροποίητου γυαλιού με τον ποταμό Belus στη Φοινίκη ή Φοινικία, εκεί όπου βρίσκεται σήμερα ο ποταμός Naaman στο Ισραήλ.

ΙΣΤΟΡΙΚΗ ΚΑΙ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΚΗ ΕΞΕΛΙΞΗ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ

ΟΙ ΠΡΩΤΕΣ ΤΕΧΝΙΚΕΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΥΑΛΙΝΩΝ ΑΝΤΙΚΕΙΜΕΝΩΝ

Τα πρώτα γυάλινα αγγεία, πριν από την ανακάλυψη του φυσικού γυαλιού, κατασκευάζονταν με τέσσερις διαφορετικές τεχνικές:

α. Τεχνική με τη μέθοδο του πυρήνα

Η πλειονότητα των γυάλινων αγγείων της προρωμαϊκής εποχής κατασκευάζονταν με τη μέθοδο του πυρήνα. Για τη διαδικασία αυτή ήταν απαραίτητος ένας πυρήνας από πυρίμαχο υλικό, προσαρμοσμένος στην άκρη μιας ξύλινης ράβδου. Ο πυρήνας εμβαπτιζόταν σε τηγμένο γυαλί και ανάλογα με τη μορφή του σχημάτιζε το εσωτερικό του αγγείου. Όταν η ποσότητα του τηγμένου γυαλιού πάνω στον πυρήνα ήταν ικανοποιητική, ο πυρήνας περιστρεφόταν πάνω σε μια λεία επίπεδη πέτρινη επιφάνεια για το σχηματισμό της εξωτερικής επιφάνειας του αγγείου.

Διακόσμηση του γυαλιού με σχέδιο “ψαροκόκαλο”:

Η μορφοποίηση αυτή περιλαμβάνει ένα διάκοσμο από πρόσθετες χρωματιστές γυάλινες ταινίες σε μορφή ζιγκ-ζαγκ.

Ο υαλοργός έπρεπε να καλύψει αρχικά τον πυρήνα με μία ταινία γυαλιού, να τη λειάνει και στη συνέχεια να καλύψει το σώμα του γυαλιού κατά περιοχές με νέες ταινίες γυαλιού διαφορετικού χρώματος. Με ένα αιχμηρό εργαλείο δημιουργούσε κάθετα “περάσματα” της νέας ταινίας στο σώμα του γυαλιού. Με τη βοήθεια της ράβδου λείαινε την εξωτερική επιφάνεια του αγγείου.

Η τεχνική του πυρήνα αναπτύχθηκε στην Εγγύς Ανατολή, στη Μεσοποταμία, στην Αίγυπτο, στην Κύπρο, στη Ρόδο, στην Κρήτη και στην υπόλοιπη Ελλάδα.

β. Τεχνική του μωσαϊκού

Αποτελείται από κανονικά τμήματα χρωματιστών γυάλινων ράβδων πάνω σε ένα σκληρό καλούπι. Στη συνέχεια προστίθεται ένα εξωτερικό καλούπι, για να κρατήσει όλα τα τμήματα μαζί, κατά τη διάρκεια της θέρμανσης και τήξης.

Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε στη Μεσοποταμία και στη δυτική Ασία.

γ. Χύτευση σε ανοιχτά ή σε κλειστά καλούπια

Η χύτευση σε ανοιχτά καλούπια ήταν μια τεχνική που είχε εφαρμοστεί στην κατασκευή κεραμικών και φαγεντιανών. Χρησιμοποιήθηκε για την παραγωγή ανοιχτών αγγείων - δοχείων, όπως είναι τα κύπελλα, τα πιάτα, τα μπουκάλια με πλατύ λαιμό, και για την παραγωγή πλακών. Τρεις τεχνικές πιθανόν να χρησιμοποιήθηκαν: απευθείας χύτευση, επεξεργασία του γυαλιού *in situ* και η τεχνική του χαμένου κεριού.

δ. Τεχνική της λάξευσης

Η κοπή και η λάξευση ενός γυαλιού είναι η μοναδική τεχνική που μπορεί να παραγάγει ένα ολοκληρωμένης μορφής βάζο από ένα στερεοποιημένο όγκο γυαλιού. Οι τεχνικές και τα μέσα κοπής πετρωμάτων και ημιπολύτιμων λίθων ήταν γνωστά πριν από την εμφάνιση του γυαλιού, οπότε και θα πρέπει να είχαν χρησιμοποιηθεί για την κατεργασία του.

ΕΠΟΧΗ ΤΟΥ ΧΑΛΚΟΥ

Την εποχή αυτή κατασκευάστηκαν αγγεία με τη μέθοδο του πυρήνα, τα οποία έχουν βρεθεί στις Μυκήνες, στην Κρήτη, στη Ρόδο και στην Κύπρο, και τα οποία το πιο πιθανό είναι να προέρχονται από την Αίγυπτο ή να αποτελούν απομιμήσεις διάφορων άλλων αγγείων.

Η μέθοδος της χύτευσης σε ανοιχτό καλούπι είχε χρησιμοποιηθεί στην Αίγυπτο και στη Μεσοποταμία, καθώς και στην Ελλάδα για την κατασκευή κοσμημάτων.

ΓΕΩΜΕΤΡΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

Την περίοδο αυτή τα αγγεία σπανίζουν όχι μόνο στην Ελλάδα αλλά και σε άλλες περιοχές. Μόνο κάποιες χυτές κύαθοι με ημισφαιρικό σχήμα εμφανίζονται τον 8ο - αρχές 7ου αι. π.Χ.

Έως το τέλος του 7ου αι. π.Χ. η κατασκευή γυάλινων αγγείων με τη μέθοδο του πυρήνα σταδιακά καταργείται δίνοντας το προβάδισμα στην κατασκευή χυτών αγγείων.

ΚΛΑΣΙΚΗ ΚΑΙ ΕΛΛΗΝΙΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

1. Αγγεία κατασκευασμένα με τη μέθοδο του πυρήνα (525 π.Χ. - 10 μ.Χ.)

Από το τέλος της αρχαϊκής περιόδου και μετά η κατασκευή αγγείων με τη μέθοδο του πυρήνα αναπτύχθηκε σε μεγάλο βαθμό.

Οι Έλληνες άρχισαν να παράγουν αγγεία χρησιμοποιώντας εισαγόμενο γυαλί, ιδίως από την Αλεξάνδρεια, το οποίο προτιμούσαν για την υψηλή ποιότητά του. Η Ρόδος και τα άλλα νησιά των Δωδεκανήσων ξεχωρίζουν για την παραγωγή γυάλινων αγγείων την περίοδο αυτή, τα οποία παρουσιάζουν ιδιαίτερο ενδιαφέρον.

2. Χυτά αγγεία (5ος - 4ος αι. π.Χ.)

Κατά τον 5ο και τον 4ο αι. π.Χ. η χύτευση γυάλινων αγγείων πραγματοποιείται στην ανατολική Μεσόγειο και ίσως στην Ελλάδα, σε περιορισμένη όμως κλίμακα, όπως έγινε με τη μέθοδο του πυρήνα.

ΕΛΛΗΝΙΣΤΙΚΗ ΠΕΡΙΟΔΟΣ

Χυτά αγγεία (3ος- 1ος αι. π.Χ.)

Κατά τη διάρκεια των ελληνιστικών χρόνων έως τις αρχές των ρωμαϊκών ιδρύθηκαν αρκετά υαλουργικά κέντρα στη συροπαλαιστινιακή περιοχή, στην Κύπρο και στην Ιταλία, στα οποία γινόταν χρήση της μεθόδου του πυρήνα. Επίσης, φαίνεται ότι στις αρχές της περιόδου αυτής παράγονταν αγγεία στη Μακεδονία και στην Καρχηδόνα τα οποία κατασκευάζονταν με την ίδια μέθοδο.

Τον 1ο αι. μ.Χ. αρχίζουν να εξαφανίζονται από το προσκήνιο τα αγγεία που ήταν κατασκευασμένα με τη μέθοδο του πυρήνα. Τον 3ο και το 2ο αι. π.Χ. με την ανάπτυξη του εμπορίου στον αρχαίο κόσμο η κατασκευή γυάλινων αντικειμένων παρουσιάζει εξάισια αποτελέσματα. Η πιο χαρακτηριστική ίσως τεχνική της εποχής αυτής όσον αφορά την κατασκευή γυάλινων αγγείων είναι ο εγκλωβισμός φύλλων χρυσού μεταξύ δύο πολύ καλά προσαρμοσμένων γυάλινων κυάθων. Χαρακτηριστικός αυτής της εποχής είναι ο τύπος των “sandwich-gold/silver” βάζων γυαλιού, τα οποία εμφανίστηκαν κατά το τέλος του 3ου αιώνα π.Χ.

Σημαντική ήταν η ανακάλυψη του μωσαϊκού γυαλιού κατά το τέλος της ελληνοιστικής εποχής. Αυτή η τεχνική κατασκευής εφαρμόστηκε σε αντικείμενα όπως μικρές κούπες, δοχεία και μακρόστενα αγγεία.

Μια άλλη τεχνική που αναπτύχθηκε κατά την περίοδο αυτή ήταν αυτή του γυαλιού “cameo”, το οποίο κάνει την εμφάνισή του την περίοδο μεταξύ του τέλους του 1ου αι. π.Χ. και της αρχής του 1ου αι. μ.Χ.

Η τεχνική του cameo (high engraving)

Η τεχνική του cameo είναι ένας συνδυασμός κοπής και χάραξης με τροχό, με απομάκρυνση τμήματος γυαλιού. Η τεχνική αυτή αναπτύχθηκε κατά τους ρωμαϊκούς χρόνους.

Τα πιο γνωστά ρωμαϊκά γυαλιά κατασκευασμένα με την τεχνική του cameo είναι το Portland Vase, που βρίσκεται στο Βρετανικό Μουσείο του Λονδίνου, και το Vendage Vase, που βρίσκεται στο Εθνικό Μουσείο της Νάπολης στην Ιταλία.

Για να επιτευχθεί η τεχνική cameo, ο κατασκευαστής έπρεπε να εμβαπτίσει μερικώς το εμψυημένο μπλε γυαλί, που βρισκόταν ακόμη πάνω στη ράβδο (paraison), σε ένα χωνευτήριο που περιείχε ποσότητα λευκού γυαλιού, έτσι ώστε να σχηματιστεί ένα λευκό στρώμα πάνω στο μπλε γυαλί. Διαφορετικά, έπρεπε να σχηματίσει πρώτα ένα δοχείο λευκού γυαλιού και κατόπιν να φυσήξει μέσα σε αυτό το μπλε γυαλί.

Όταν τα δύο στρώματα είχαν τοποθετηθεί μαζί, τότε συνεχιζόταν η μορφοποίηση του σώματος με επιπρόσθετο φύσημα και επεξεργασία. Το αγγείο τότε αναλάμβανε ένας τεχνίτης χάραξης, που χάραζε το σχέδιο και φινιριζε τις λαβές και το σώμα.

ΤΟ ΓΥΑΛΙ ΤΗΣ ΡΩΜΑΪΚΗΣ ΑΥΤΟΚΡΑΤΟΡΙΑΣ

Κατά τη διάρκεια του 1ου αιώνα μ.Χ. η ανακάλυψη του φυσητού γυαλιού, τεχνική που προερχόταν πιθανόν από τη Συρία, μείωσε την αξία του πράγμα το οποίο αναμφίβολα αποτέλεσε κίνητρο κατά τη διάρκεια της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας για τη μαζική παραγωγή και χρήση του.

Η τεχνική αυτή παρέμεινε αναλλοίωτη στο χρόνο, από τον καιρό της ανακάλυψής της έως σήμερα.

Για την παραγωγή ενός φυσητού γυαλιού ο υαλουργός τύλιγε, γύρω από ένα μεταλλικό σωλήνα, το φυσητήριο (blowpipe), κάποια ποσότητα λιωμένου γυαλιού. Ο φυσητήρας είχε προθερμανθεί σε θερμοκρασία παρόμοια με αυτήν του γυαλιού, έτσι ώστε το γυαλί να μπορέσει να κολλήσει σε αυτόν, χωρίς να σχηματιστεί κρούστα στην επιφάνειά του. Στη συνέχεια, ο υαλουργός φυσούσε μέσα από το φυσητήριο το γυαλί και σχημάτιζε μια φούσκα γυαλιού, την οποία και μορφοποιούσε με συνεχιζόμενη περιστροφή της, φέροντας το σωλήνα σε διάφορες θέσεις πάνω ή κάτω από το κεφάλι του. Συχνά ξαναθέρμαινε το γυαλί, για να μπορέσει να συνεχίσει την εργασία του. Σε περίπτωση που

ήθελε να επιμηκύνει το αγγείο, κρατούσε το σωλήνα κάθετα προς τα κάτω, ενώ στην περίπτωση που ήθελε να μειώσει το μήκος του αγγείου, κρατούσε το σωλήνα κάθετα προς τα πάνω.

Ο λαιμός του αγγείου μπορούσε να μορφοποιηθεί στη συνέχεια με μια λαβίδα και με άλλα κατάλληλα εργαλεία, ενώ επιπρόσθετα στοιχεία όπως λαβές κ.ά. ήταν δυνατόν να προσαρμοστούν στο σώμα του.

Οι υαλοπίνακες ήταν άλλη μια χαρακτηριστική τεχνοτροπία της ρωμαϊκής εποχής και αρχικά δημιουργήθηκαν με τη μέθοδο χύτευσης σε ανοικτές και επίπεδες μήτρες. Στη συνέχεια, επικράτησε η τεχνοτροπία αποκοπής φύλλων γυαλιού από φιάλες φυσητού γυαλιού, όταν αυτό ήταν ακόμα εύπλαστο, και η στερέωση γινόταν στα παράθυρα με ξύλινα, μεταλλικά, μαρμάρινα και γύψινα πλαίσια.

ΤΟ ΜΕΤΑΡΩΜΑΪΚΟ ΓΥΑΛΙ ΣΤΗ ΒΟΡΕΙΟΔΥΤΙΚΗ ΕΥΡΩΠΗ

Στις βόρειες ευρωπαϊκές χώρες τα εργαστήρια παραγωγής γυαλιού άρχισαν να μεταφέρονται από τα αστικά κέντρα στις δασικές περιοχές, όπου τα καμίνια θα τα εφοδίαζαν με καύσιμο. Μάλιστα, πριν από το 10ο αιώνα, η στάχτη που εφόδιαζε τα καμίνια αντικαταστάθηκε από τις στάχτες των θαλάσσιων φυτών, οι οποίες είχαν χρησιμοποιηθεί ως ευτηκτικά υλικά για την παραγωγή του ρωμαϊκού γυαλιού. Η στάχτη που περιείχε ποτάσα και προερχόταν από τα καμένα δάση, και ειδικά το ξύλο οξιάς, διαφοροποίησε το ποσοστό των αλκαλίων και του ασβεστίου που περιείχε το γυαλί. Αυτό το γυαλί είναι γνωστό ως γυαλί “δάσους”.

Οι χρωματιστοί υαλοπίνακες

Μόνο υποθέσεις μπορούμε να κάνουμε σχετικά με την προέλευση των υαλοπινάκων, εφόσον δε σώζεται από τότε κάποια αναφορά σχετικά με τη χρήση τους.

Δείγματα χρωματιστών υαλοπινάκων που έχουν βρεθεί στη Ραβέννα στη βόρεια Ιταλία και τοποθετούνται χρονολογικά την περίοδο των Σαξόνων και τον 6ο αιώνα δείχνουν μεγάλη ανάπτυξη της τεχνικής της υαλοουργίας την εποχή εκείνη.

Από αυτό μπορούμε να συμπεράνουμε ότι θα πρέπει να είχαν κατασκευαστεί πολύ πριν από τη συγκεκριμένη περίοδο και είτε έχουν χαθεί είτε είχαν καταστραφεί από αντικαταστάσεις ή από εσκεμμένες καταστροφές κατά τη γοθική εποχή.

Κατά τη μεσαιωνική περίοδο η παραγωγή γυαλιού αναπτύσσεται σε μεγάλο βαθμό λόγω της μεγάλης χρήσης υαλοπινάκων στην κατασκευή καθεδρικών ναών και εκκλησιών στις αρχές της γοθικής εποχής. Για να καλύψουν οι φούρνοι τη μεγάλη ζήτηση έπρεπε να εφοδιαστούν με μεγάλες ποσότητες καυσίμων, με αποτέλεσμα να προκύψει κρίση στον τομέα των καυσίμων, η οποία έπληξε τις παραλιακές πόλεις όπου παραγόταν το γυαλί.

Βυζαντινό γυαλί

Παρά το γεγονός ότι κατά την πρώτη βυζαντινή περίοδο (4ος-7ος αι. μ.Χ.) τα γυάλινα αγγεία παρουσίαζαν τολμηρές φόρμες, φαντασία, μεγάλη τεχνική επιδεξιότητα, δεν μπορούν να συγκριθούν με τα παλαιότερα γυαλιά. Αυτή την περίοδο δεν παράγεται πλέον διαυγές γυαλί, τα χρωματιστά γυαλιά μειονεκτούν σε λαμπρότητα, ενώ το τήγμα γυαλιού περιέχει προσμείξεις. Το σχήμα των αγγείων είναι ανομοιόμορφο, ενώ η διακόσμηση είναι πλούσια και αρκετά πολύπλοκη.

Ισλαμικό γυαλί

Μετά την κατάκτηση της Μέσης Ανατολής από τους ισλαμιστές το 635 μ.Χ. και την εγκαθίδρυση της πρωτεύουσας στη Δαμασκό, η παραγωγή του γυαλιού διαφοροποιήθηκε από τις ρωμαϊκές παραδόσεις.

Έτσι, μόνο προς το τέλος της πρώτης χιλιετίας η ισλαμική τέχνη αρχίζει να αποκτά δικό της χαρακτήρα και αξιοπρόσεκτα ομοιόμορφη τεχνοτροπία.

Η ισλαμική τέχνη δίνει μεγάλη έμφαση στις φυσικές σε καλούπι παραστάσεις, στο εγχάρακτο, διακοσμημένο και φινιρισμένο γυαλί, στη λαμπερή ζωγραφική, στην επιχρύσωση και στο σμάλτο. Τα πιο εντυπωσιακά παραδείγματα είναι του εγχάρακτου γυαλιού είτε με γραμμές είτε με έδρες.

Χαρακτηριστικό αγγείο της ισλαμικής περιόδου είναι το φλασκό με σφαιρικό σώμα και στενό λαιμό.

Παράλληλα με τον προηγούμενο τύπο χάραξης αναπτύχθηκε η τεχνοτροπία του λεγόμενου εγχάρακτου γυαλιού “Intaglio”.

Η τεχνική διακόσμησης “Intaglio” μπορούσε να επιτευχθεί με χάραξη ή με κοπή του γυαλιού κάτω από την εξωτερική επιφάνεια, έτσι ώστε οι εμφανείς ανυψώσεις του σχεδίου να δίνουν την εικόνα ανάγλυφου. Το φόντο δεν κοβόταν, αλλά παρέμενε στο επίπεδο των υψηλότερων περιοχών του σχεδίου. Αυτή η τεχνική διακόσμησης έχει εφαρμοστεί με τροχό χάραξης επάνω σε ορυκτό κρύσταλλο, σε ημιπολύτιμους λίθους, σε πέτρα και σε γυαλί, στη Ρώμη την εποχή του Μεσαίωνα αλλά και αλλού, όπως στη Γερμανία και στη Σικελία κατά το 17ο αιώνα.

ΤΟ ΜΕΤΑΡΩΜΑΪΚΟ ΓΥΑΛΙ ΣΤΗ ΝΟΤΙΟΑΝΑΤΟΛΙΚΗ ΕΥΡΩΠΗ

Βενετία

Η φήμη της Βενετίας στην παραγωγή του γυαλιού οφείλεται σε μια σειρά περιστάσεων· το κοινωνικοπολιτικό σκηνικό της εποχής οδήγησε σε πολιτιστική άνθιση. Οι τέχνες άρχισαν να αναπτύσσονται με σταθερό ρυθμό και τα προϊόντα τους συνδύαζαν την ποιότητα και τη φαντασία, κάτι που δεν είχε επιτευχθεί ως τότε.

Μετά την πτώση της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας στη Δύση η Βενετία αποτέλεσε καταφύγιο για τους πρόσφυγες. Ανάμεσα, λοιπόν, στο πλήθος των προσφύγων υπήρξαν και καλ-

λιπέχνες οι οποίοι μπόρεσαν εκεί να αξιοποιήσουν τις γνώσεις τους.

Το 1204, μετά την άλωση της Κωνσταντινούπολης από τους σταυροφόρους, η Βενετία ωφελήθηκε άμεσα, διότι ανάμεσα στον κόσμο που μετέφεραν τα πλοία της υπήρχαν και τεχνίτες γυαλιού.

Καθώς η επικοινωνία και το εμπόριο αναπτύχθηκαν στην Ευρώπη, η Βενετία και η Γένοβα έγιναν τα σημεία συνάντησης των εμπορικών δρόμων. Παρά το μεγάλο ανταγωνισμό μεταξύ τους η Βενετία τελικά επικράτησε και αποτέλεσε το σταυροδρόμι ξηράς και θάλασσας από την Ανατολή προς τη Δύση και από το Βορρά προς το Νότο.

Λόγω της θέσης της αυτής τα ενετικά χρηματοκιβώτια γέμισαν από τους φόρους και τα τέλη που έθετε το κράτος στην εμπορική επικοινωνία. Επίσης δόθηκε η ευκαιρία στους Βενετούς να ταξιδεύουν σε όλο τον κόσμο εισάγοντας έτσι στοιχεία νέων τεχνικών παραγωγής γυαλιού από διάφορες περιοχές, και συγκεκριμένα από τη Μέση Ανατολή, από τη Μεσοποταμία και από τη Συρία.

Μετά την παρακμή του εμπορίου μεταξύ Βενετίας και Ανατολής, το 1453, οι Βενετοί ανέπτυξαν ενεργό εμπόριο με τη Δύση, το οποίο βασιζόταν στην υπεροχή του μαζικά παραγόμενου γυαλιού, όπως είναι το “Facon de Venice”.

Τα διακοσμητικά θέματα ακολουθούσαν εκείνα της αναγέννησης με ερωτικές αλληγορίες, θριάμβους κτλ., καθώς και της κλασικής Ρώμης με μωσαϊκά, millefiori, αβεντουρίνη με χαλκό, χαλκηδόνιο σε απομίμηση ρωμαϊκού γυαλιού και αχάτη, δηλ. απομίμηση φυσικής πέτρας όπως πριν από 1500 χρόνια. Το γυαλί με σμάλτο έχασε σταδιακά τη ζήτησή του, οι δε φουσητές σε καλούπι ή οι εξαιρετικά μεγάλες φόρμες (aquamaniles ή nefes), οι οποίες συνήθως διακοσμούσαν με ταινίες ή με κλωστές από θαμπές άσπρες (lattimo) γραμμές, τις λεγόμενες “filigrana”, και σπανιότερα με επιχρύσωση, με χάραξη με μύτη διαμαντιού, με ψυχρή ζωγραφική πίσω από γυαλί ή γυαλί “πάγου” (craquelure), αποτέλεσαν τεχνικές κατά κάποιο τρόπο αποτυχημένες.

Η ΑΚΜΗ ΤΩΝ ΕΥΡΩΠΑΪΚΩΝ ΥΑΛΟΥΡΓΙΚΩΝ ΚΕΝΤΡΩΝ ΤΟΥ ΒΟΡΡΑ

Βοημία

Τα δείγματα της παραγωγής γυαλιού στη Βοημία όπου υπήρχε αφθονία σε προμήθεια ξύλων για καύσιμη ύλη και πρώτων υλών για το γυαλί, που τοποθετούνται χρονολογικά το 14ο αιώνα.

Εμφανίστηκε ένα πλήθος από τεχνικές κατασκευής, όπως το “roemer”, δηλαδή ένα τεράστιο δοχείο με κούφιο και κοίλο πόδι, από φουσητό γυαλί κωνοειδούς σχήματος με διάτρητη διακόσμηση. Με την πάροδο του χρόνου το πόδι γινόταν ψηλότερο, ενώ το δοχείο άρχισε να μειώνεται σε μέγεθος.

Διάτρητα (diatrete - cage cups)

Η διαδικασία λάξευσης του στερεοποιημένου γυαλιού ήταν μια υπερβολικά δύσκολη τεχνική, η οποία εφαρμόστηκε για την κατασκευή διάτρητων κυπέλλων. Τα κύπελλα

αυτά φέρουν ένα περίτεχνο διάκοσμο, που προεξέχει από το ήδη χυτευμένο κύπελλο σαν ανοιχτό δίχτυ. Στην πλειοψηφία του ο διάκοσμος ήταν σχεδόν ολόγλυφος, δηλαδή παρέμενε ανεξάρτητος από το κυρίως σώμα και συνδεόταν με αυτό μόνο με μικρές γέφυρες γυαλιού.

Ένα από τα πιο γνωστά κύπελλα, κατασκευασμένο με αυτή την τεχνική, είναι το κύπελλο του Λυκούργου, το οποίο παρουσιάζει το φαινόμενο του διχρωισμού, δηλαδή παρουσιάζεται με αδιαφανές πράσινο χρώμα σε ανακλώμενο φωτισμό και με διαφανές κόκκινο σε διερχόμενο φωτισμό.

Κάτω Χώρες

Η παραγωγή του γυαλιού στις χώρες αυτές εμφανίζεται με την εισαγωγή του βενετσιάνικου γυαλιού κατά το 15ο αιώνα, εποχή κατά την οποία η κατασκευή των περισσότερων γυάλινων αντικειμένων ήταν επηρεασμένη από τη βενετσιάνικη τεχνολογία.

Την εποχή του “Facon de Venice” τα εργαστήρια στις μεγάλες πόλεις, όπως και στα μικρότερα κέντρα, εξακολούθησαν να παράγουν γυάλινα αντικείμενα μαζικά, ακολουθώντας την παραδοσιακή τεχνολογία του τόπου. Παράδειγμα τέτοιας τεχνολογίας ήταν το “waldglas”, δηλαδή γυαλί ποτάσας σε χρώματα κίτρινα, πρασινωπά και καφετιά. Όμως, από το 16ο - 17ο αιώνα άρχισε να προωθείται το πρασινωπό γυαλί, καθώς επίσης και ένα πλήθος από γυαλιά με μπλε και πράσινες αποχρώσεις.

Μια από τις πιο φημισμένες τεχνολογίες των ντόπιων ήταν το “roemer”, του οποίου οι τύποι πιστοποιούνται από τα επιπεδοποιημένα και λειασμένα κομμάτια από γυαλί, τα οποία ήταν εμπέστα στα τοιχώματα του βάζου. Δύο παραλλαγές αυτών των διακοσμητικών στοιχείων ήταν γυάλινα κομμάτια, χυτά στην επιφάνεια του αντικειμένου, τα οποία προσομοίαζαν του προσώπου του Ποσειδώνα, καθώς και γυάλινες χάντρες μπλε χρώματος τοποθετημένες στα κέντρα.

Κατά τη διάρκεια του 17ου αιώνα τα “roemer” κατασκευάζονται με στηρίγματα, δηλαδή με βάσεις από γυαλί, οι οποίες συνδέονταν με το “roemer”. Στα “roemer” οφείλεται η αρχή κατασκευής των γυάλινων κυπέλλων με ψηλό πόδι.

Αγγλία από το 1500 έως το 1850

Κατά τη διάρκεια του πρώτου μισού του 16ου αιώνα Γάλλοι υαλοουργοί μετανάστευσαν από τη Λωραίνη στην Αγγλία. Η συνεχής χρήση του ξύλου ως καύσιμης ύλης για την παραγωγή του γυαλιού από τους υαλοουργούς και από τους σιδηροτεχνίτες είχε ως αποτέλεσμα την εξάντληση των δέντρων που τους τροφοδοτούσαν με καύσιμη ύλη.

Για την παραγωγή ενός άχρωμου τήγματος γυαλιού ήταν αναγκαία η προσθήκη διάφορων χημικών υλικών, των οποίων η αποτελεσματικότητα ήταν αμφίβολη. Πιο σίγουρη ήταν η χρήση πρώτων υλών χωρίς προσμείξεις, όπως, π.χ., της άμμου. Το γυαλί αυτό που ονομαζόταν και γυαλί “flint” ήταν ένα νέο προϊόν υψηλής ποιότητας, το οποίο ήταν αποτέλεσμα της προσθήκης οξειδίου του μολύβδου στις πρώτες ύλες. Για την εύκολη πιστοποίησή του, έφερε στην επιφάνειά του σφραγίδα με κεφάλι κορακιού.

Στην αρχή τα αντικείμενα που κατασκευάζονταν με τη σύνθεση αυτή εξακολούθησαν να μιμούνται τη βενετσιάνικη παράδοση.

Αργότερα, όμως, το γυαλί μολύβδου απέκτησε τέτοια φήμη, όπως προαναφέρθηκε, που άρχισαν να πραγματοποιούνται πολλές απόπειρες παραγωγής του με την τεχνική του *Facon de l' Angleterre*.

Κατά την περίοδο από το 1680 ως το 1690, η οποία χαρακτηρίστηκε ως αγγλο - βενετική, κυριάρχησαν τα βενετσιάνικα χαρακτηριστικά, όπως μυτερά “*gadroons*”, γραμμική διακόσμηση, πόδια με κόμπους, τα οποία άνοιξαν το δρόμο στην παραγωγή των “*baluster*”, η οποία διήρκεσε από το 1690 έως το 1725.

ΒΟΡΕΙΑ ΑΜΕΡΙΚΗ

Η παραγωγή γυαλιού στη Βόρεια Αμερική ξεκίνησε το 1608, ένα χρόνο μετά την εγκατάσταση των πρώτων αποίκων. Στο Jamestown ιδρύθηκε μια βιοτεχνία παραγωγής γυαλιού η οποία ανήκε στην εταιρεία Virginia. Το πιο πιθανό είναι ότι η ίδρυση της βιοτεχνίας στην περιοχή αυτή να οφειλόταν στη δυνατότητα εκμετάλλευσης των δασών, τα οποία θα προμήθευαν τα καμίνια με καύσιμη ύλη. Μερικά από τα γυάλινα αντικείμενα που κατασκευάζονταν περιείχαν περίπου 17% οξειδίο του μολύβδου (PbO). Πιθανώς αυτή η περιεκτικότητα να οφείλεται στην προσθήκη τριμμάτων αγγλικού γυαλιού, που περιείχε 30% οξειδίο του μολύβδου, η οποία είχε στόχο τη βελτίωση της ποιότητας του γυαλιού.

Το 18ο αιώνα η παραγωγή γυαλιού στην Αμερική γινόταν σύμφωνα με τα γερμανικά και τα αγγλικά πρότυπα, κάτι που δυσκόλευε το διαχωρισμό των εισαγομένων κατασκευών.

Στις αρχές του 19ου αιώνα η τεχνική της χύτευσης γυαλιού σε καλούπι δύο κομματιών αναβίωσε και βελτιώθηκε με εμπίεστο γυαλί σε καλούπι. Με το εμπίεστο γυαλί σε καλούπι μπορούσαν να παραχθούν πολύπλοκα μοντέλα και σε πολύ προσιτές τιμές.

Προς το τέλος του 19ου αιώνα οι Αμερικανοί τεχνίτες ασχολήθηκαν ιδιαίτερα με τη διακόσμηση του γυαλιού επηρεαζόμενοι έντονα από το *stil Art Nouveau*.

Συγκεκριμένα, ο Tiffany παρουσίασε ένα χρωματιστό γυαλί με ιδιότητες ιριδισμού, και ο Carder βοήθησε στην ίδρυση των εργαστηρίων Steuben, όπου οι υαουργοί έδιναν σημασία στη σωστή απόδοση του σχήματος και της διακόσμησης.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΗΣ ΙΣΤΟΡΙΑΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΓΥΑΛΙΟΥ ΤΟ 19ο ΚΑΙ ΤΟΝ 20ό ΑΙΩΝΑ

Το δεύτερο μισό του 19ου αιώνα υπήρξε περίοδος υψηλής αισθητικής στον τομέα της διακόσμησης του γυαλιού με πρωταγωνίστριες τη Βρετανία, τη Βοημία και κυρίως τη Γαλλία.

Εκτός από τις παραδοσιακές τεχνικές διακόσμησης, όπως με σμάλτο, επιμετάλλωση, χάραξη κτλ., καθιερώθηκαν την περίοδο αυτή και άλλες όπως:

α. Η τεχνική του εμπίεστου γυαλιού σε καλούπι, η οποία το 1825 στην Αμερική τελειοποιήθηκε τόσο, ώστε όλες οι κατασκευές από γυαλί να έχουν μικρό κόστος.

β. Η τεχνική διακόσμησης με εγκλωβισμό κόκκινων, πράσινων και μαύρων σιγμάτων, η τεχνική “craquelure” και η τεχνική της βαθιάς χάραξης από τον E. Rousseau (Γαλλία, 1870).

γ. Ένας “λυρικός” τρόπος διακόσμησης βάζων από τον E. Galle (Γαλλία, 1870), στα οποία εμφανίζονται πολύχρωμα σχέδια φυτών, κατασκευασμένα κυρίως με την τεχνική της χύτευσης, της χάραξης με τροχό και της έγκαυσης με οξύ.

δ. Η τεχνική διακόσμησης από τον Αμερικανό L.C. Tiffany, ο οποίος χρησιμοποιεί ζωγραφιστά στοιχεία και φόρμες, των οποίων ο συνδυασμός δημιουργεί έναν επιφανειακό ιριδισμό.

ε. Επικάλυψη των εγχάρακτων και έγχρωμων στρωμάτων με ένα νέο χρωματιστό στρώμα το οποίο προσδίδει μια λεία επιφάνεια στο γυαλί (Gate και Hald, Σουηδία). Η τεχνολογία αυτή θεωρείται παραλλαγή του γυαλιού Galle. Επίσης, χρησιμοποίησαν την τεχνική εγχάρακτων σχεδίων με τροχό σε κρύσταλλο.

στ. Η τεχνική του εγκλωβισμού φυσαλίδων οξειδίων μετάλλων σε σκόνη και της βαθιάς έγκαυσης με οξύ, τις οποίες εισήγαγε ένας Γάλλος “φοβιστής” ζωγράφος, ο M. Marinot.

ζ. Έγκαυση με οξύ και στη συνέχεια χρήση του σμάλτου, με αποτέλεσμα τη δημιουργία διακοσμητικών μοντέλων επάνω στο γυαλί. Την τεχνική αυτή εισήγαγε ο R. Lalique (Γαλλία).

Τα αποτελέσματα που δίνουν άλλες μέθοδοι απομάκρυνσης γυάλινων στρωμάτων μπορούν να ενισχυθούν, εάν γίνει προσβολή με υδροφθορικό οξύ (HF). Διάλυμα υδροφθορικού οξέος 90% κ.ό. σε νερό μπορεί να προκαλέσει τη διάλυση του διοξειδίου του πυριτίου με τον αντίστοιχο σχηματισμό του αέριου τετραφθοριούχου πυριτίου (SiF₄).

Κατά την προσβολή με οξύ η επιφάνεια του γυαλιού που έφερε το σχέδιο έπρεπε να καλυφθεί με κερί. Πάνω από το προστατευτικό στρώμα χαρασσόταν το γυαλί. Στη συνέχεια τοποθετούσαν το γυαλί σε υδροφθορικό οξύ, όπου προσβάλλονταν μόνο οι περιοχές που δεν είχαν προστατευτικό κερί. Στη Γαλλία, ο Galle, ο Daum και ο Marinot χρησιμοποίησαν την τεχνική αυτή για την κατασκευή ανάγλυφων πάνω στην επιφάνεια.

η. Τεχνική των ινών σε αδιαφανές άσπρο (lattimo) με την οποία διακοσμούνταν με πολλά χρώματα και με κουκίδες αντικείμενα απλού σχήματος (Venini και Barovier, Βενετία).

Οι εργασίες συνεχίστηκαν και μετά το Β' παγκόσμιο πόλεμο, αν και η προηγούμενη περίοδος έχει χαρακτηριστεί ως η πιο σημαντική, στην Αμερική αρχικά και στην Ευρώπη στη συνέχεια.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ

ΓΕΝΙΚΑ

Το κοινό γυαλί, που περιέχει διοξείδιο του πυριτίου - οξείδιο του ασβεστίου - οξείδιο του νατρίου ($\text{SiO}_2 - \text{CaO} - \text{Na}_2\text{O}$) σε κατάσταση τήξης, θεωρείται ότι περιέχει κατιόντα νατρίου (Na^+), ασβεστίου (Ca^{2+}) και πυριτικά ανιόντα (SiO_4^{4-}). Κατά την ψύξη τα ανιόντα παράγουν ένα τρισδιάστατο στερεό δίκτυο, το οποίο, σε αντίθεση με το κρυσταλλικό πλέγμα, δεν παρουσιάζει κανονικές και σταθερές θέσεις ιόντων. Και εδώ, όμως, τα τετράεδρα του SiO_4^{4-} παραμένουν οι βασικές δομικές μονάδες.

Η κατάταξη των γυαλιών γίνεται με διάφορα κριτήρια, όπως τη σύσταση, την υφή, τις ιδιότητες, τις εφαρμογές, τη μέθοδο σχηματισμού κτλ. Από πλευράς σύστασης το γυαλί κατατάσσεται στις παρακάτω κατηγορίες:

1. Γυαλί πυριτίου

Είναι το διαφανές γυαλί που αποτελείται από καθαρό διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) σε υαλώδη κατάσταση. Οι προσμείξεις που περιέχονται στο υλικό είναι της τάξης του 0,01% και αποτελούνται από οξείδια και υδροξείδια μετάλλων, και η τήξη του υλικού γίνεται στους 1726 °C.

2. Γυαλί που είναι διαλυτό στο νερό

Αποτελείται από οξείδιο του νατρίου (Na_2O) και διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), σε αναλογία $\text{SiO}_2 : \text{Na}_2\text{O}$, που ποικίλλει από 2 έως 3,3 και αντιστοιχεί σε περιεκτικότητα κατά βάρος SiO_2 από 66% έως 76%. Η διαλυτότητα του υλικού στο νερό οφείλεται στην αντικατάσταση των ιόντων νατρίου (Na^+) του γυάλινου υλικού από ιόντα υδρογόνου (H^+) του νερού, όπως αναφέρεται στο κεφάλαιο της διάβρωσης του γυαλιού.

3. Γυαλί φύλλων και δοχείων για την αποθήκευση διάφορων υλικών

Αποτελείται από οξείδιο του νατρίου (Na_2O), οξείδιο του ασβεστίου (CaO) και διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2). Η περιεκτικότητα κατά βάρος του SiO_2 ποικίλλει από 50% έως 85%, η περιεκτικότητα κατά βάρος του Na_2O ποικίλλει από 15% έως 35%, και η περιεκτικότητά κατά βάρος του CaO ποικίλλει από 0% σε 20%.

4. Κρυσταλλικό γυαλί (κρύσταλλο)

Περιλαμβάνει δύο τύπους γυαλιών. Ο πρώτος τύπος αποτελείται από οξείδιο του καλίου (K_2O), οξείδιο του ασβεστίου (CaO) και διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), και ο δεύτερος τύπος αποτελείται από οξείδιο του καλίου (K_2O), οξείδιο του μολύβδου (PbO) και διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2).

Τα οξειδία του μολύβδου και του καλίου είναι χαρακτηριστικά υλικά του κρυσταλλικού γυαλιού, διότι προσδίδουν μια χαρακτηριστική εμφάνιση στη μάζα του γυαλιού, που ταιριάζει με την εμφάνιση των ορυκτών κρυστάλλων, π.χ. των κρυστάλλων χαλαζία. Το γυαλί αυτό είναι υψηλής διαφάνειας, καθαρότητας, και στυλπνότητας.

5. Γυαλί με αντοχή στη θερμότητα

Αποτελείται από οξείδιο του νατρίου (Na_2O), από οξείδιο του βορίου (B_2O_3) και από διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2). Το είδος αυτό είναι ανθεκτικό στη θερμότητα και διαθέτει σχετικά χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής, μικρότερο από $5 \cdot 10^{-6} \text{ grad}^{-1}$.

ΤΟ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟ ΓΥΑΛΙ

Ο όρος “αρχαιολογικό γυαλί” χρησιμοποιήθηκε από τον Turner (1956), για να ορίσει τα γυαλιά που είχαν κατασκευαστεί πριν από τα μέσα του 17ου αι., ενώ ακόμα δεν υπήρχε σχετική γνώση των συστατικών τους. Ο άνθρωπος χρησιμοποιούσε το φυσικό γυαλί για πολλά χρόνια πριν ανακαλύψει τη σύντηξη και την κατασκευή του γυαλιού από τα συστατικά του.

Το φυσικό διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2), που είναι βασικό συστατικό του γυαλιού, συναντάται σε κρυσταλλική μορφή όπως στο χαλαζία, στον τριδυμίτη, στον κριστοβαλίτη αλλά και άμορφο όπως στο γυαλί, στον τεκτίτη, στον οψιδιανό, στην ελαφρόπετρα και στο λεχατελιερίτη, λόγω της τήξης του σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες.

Υλικά που σχηματίζουν το δίκτυο του γυαλιού

Το δίκτυο στα γυαλιά παλαιάς εποχής σχηματίζεται από το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2). Το πυρίτιο και το οξυγόνο στην κρυσταλλική μορφή (SiO_2), εάν διευθετηθούν σε κανονικά διαστήματα, σχηματίζουν ένα δίκτυο τριών διαστάσεων, που συνίσταται από τετράεδρα με άτομα πυριτίου στο κέντρο και με άτομα οξυγόνου σε κάθε κορυφή, καθώς και με δύο άτομα οξυγόνου που μοιράζονται σε καθένα από τα γειτονικά τετράεδρα.

Άλλοι σχηματιστές δικτύου είναι τα οξειδία του βορίου (B_2O_3), του μολύβδου (PbO) και του φωσφόρου (P_2O_5).

Υλικά που τροποποιούν το δίκτυο του γυαλιού

Τα μονοσθενή κατιόντα, τα οποία φέρουν ένα θετικό φορτίο, είναι ιόντα μετάλλων αλκαλίων όπως νατρίου (Na^+) ή καλίου (K^+), που φέρουν ανά δύο ένα επιπλέον ιόν οξυγόνου, όταν εισάγονται στο γυαλί σαν σόδα (Na_2O) ή σαν ποτάσα (K_2O).

Το αποτέλεσμα αυτής της συμπεριφοράς των αλκαλικών ιόντων είναι η μείωση της σκληρότητας του γυαλιού, καθώς επίσης και η μείωση της τιμής του σημείου τήξης, επειδή το δίκτυο είναι περισσότερο διευρυμένο και χαλαρό.

Οξειδία που παρέχουν χρώση

Οι προσθήκες των χρωστικών στα γυαλιά παλαιάς εποχής γίνονταν με τρεις τρόπους:

α. Με την παρουσία μικρών ποσοτήτων οξειδίων μετάλλων, όπως είναι το κοβάλτιο (Co), ο χαλκός (Cu), ο σίδηρος (Fe), το νικέλιο (Ni), το μαγγάνιο (Mn) κτλ., τα οποία εισάγονταν στο τήγμα του πυριτικού δικτύου (SiO₂).

β. Με την ανάπτυξη της κολλοειδούς διασποράς των αδιάλυτων σωματιδίων, όπως στα γυαλιά αργύρου, χαλκού και χρυσού ερυθράς απόχρωσης.

γ. Με την εισαγωγή χρωστικών μέσων στο υάλωμα, τα οποία έδιναν διαφανή όψη στο γυαλί. Επικρατεί σύγχυση γύρω από τη χρησιμοποίηση των χρωμάτων στα παλαιάς εποχής γυαλιά, επειδή οι συνθέσεις τους είναι περισσότερο σύνθετες από εκείνες των σύγχρονων γυαλιών.

Η δημιουργία των χρωμάτων στο γυαλί εξαρτάται όχι μόνο από την ύπαρξη ενός συγκεκριμένου μεταλλικού οξειδίου, όπως π.χ. του κοβαλτίου, για την παραγωγή μπλε γυαλιού αλλά και από την παρουσία άλλων οξειδίων μετάλλων στη μάζα, από τη θερμοκρασία και από τις συνθήκες οξειδωσης ή αναγωγής που επικρατούν στο καμίνι.

Μέσα αδιαφανοποίησης του γυαλιού

Η αδιαφανοποίηση μπορεί να επιτευχθεί στο γυαλί με ενσωμάτωση πολύ μικρών φυσαλίδων ή άλλων διάσπαρτων υλικών στη μάζα του γυαλιού. Όμως, η πλειονότητα των αδιαφανών γυαλιών παράγεται με τη χρήση συγκεκριμένων μέσων που σχηματίζουν μικροκρυσταλλικές περιοχές εντός του γυαλιού.

Τα ρωμαϊκά και προρωμαϊκά άσπρα αδιαφανή γυαλιά και μπλε από την πρόσμειξη κοβαλτίου περιείχαν αντιμονιούχο ασβέστιο, ενώ κατά τον 5ο αιώνα μ.Χ. χρησιμοποιήθηκε ως μέσο αδιαφανοποίησης το οξειδίο του κασσιτέρου ή κατά περίπτωση το φθοριοφωσφορικό ασβέστιο.

Η χρήση του οξειδίου του κασσιτέρου (SnO₂) συνεχίστηκε έως το 18ο αιώνα, όταν αυτό αντικαταστάθηκε από το φθοριούχο ασβέστιο ή από τον αρσενικούχο μόλυβδο.

Παρόμοια ήταν η κατάσταση σχετικά με τα κίτρινα αδιαφανή γυαλιά, τα οποία περιείχαν αντιμονιούχο μόλυβδο και αργότερα οξειδία του μολύβδου - κασσιτέρου.

Ως κίτρινο μέσο αδιαφανοποίησης του γυαλιού κατά τον 1ο αιώνα μ.Χ. έχουν αναφερθεί τα οξειδία του τετρασθενούς μολύβδου - κασσιτέρου.

Τα αδιαφανή κόκκινα γυαλιά ή αλλιώς αιματώδεις ή χρυσόαμμοι λίθοι φαίνεται να περιείχαν χαλκό σε μορφή κυπρίτη (Cu₂O), που είναι πάντα κόκκινος, και αναφέρεται ότι περιείχαν, επίσης, κασσίτερο.

Γυαλιά μολύβδου

Το οξειδίο του μολύβδου υπήρχε ως συστατικό του γυαλιού έως τους ρωμαϊκούς χρόνους, ενώ τα γυαλιά μολύβδου ήταν γνωστά στη Μεσοποταμία πιθανόν κατά τη δεύτερη χιλιετία π.Χ.

Η ανάλυση μιας μάζας από κόκκινο γυαλί του 6ου αι. π.Χ. έδειξε ότι περιείχε 22,8% οξείδιο του μολύβδου κατά βάρος.

Ο Ravenscroft, περίφημος Άγγλος υαλοουργός του 17ου αι., προσπάθησε να κατασκευάσει άχρωμο γυαλί χρησιμοποιώντας καθαρά υλικά και κατόρθωσε τελικά να παράγει γυαλί που ήταν αισθητικά επιθυμητό, προσθέτοντας στη μάζα ως 30% οξείδιο του μολύβδου.

Το παραγόμενο γυαλί:

α. Ήταν απαλλαγμένο από κόκκους, διότι η μολυβδύαλος ήταν γύρω στις 100 φορές πιο ρευστή από το γυαλί σόδας - ασβεστίου και πυριτίου.

β. Σε δεδομένη θερμοκρασία η μολυβδύαλος ήταν λαμπερή με υψηλό δείκτη διάθλασης.

γ. Σπινθηροβόλυνε κατά την κοπή για διακόσμηση.

δ. Έδινε καθαρό ήχο κατά την κρούση εξαιτίας της ισχυρότερης σύνδεσης των ιόντων του καλίου στο πλέγμα μολύβδου - πυριτίου απ' ό,τι στο γυαλί νατρίου - ασβεστίου και απορροφούσε κατά τις δονήσεις της μικρότερο ποσό ενέργειας.

ΦΥΣΙΚΕΣ ΙΔΙΟΤΗΤΕΣ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ

Ιξώδες

Το γυαλί θεωρείται γενικά ως ένα άκαμπτο υλικό και ως τέτοιο χρησιμοποιείται κυρίως για την κατασκευή υαλοπινάκων, δοχείων κτλ. Όμως, παρ' όλο που είναι άκαμπτο σε χαμηλές θερμοκρασίες, γίνεται πλαστικό σε υψηλές, δηλαδή γύρω στους 900 °C. Ως εύπλαστο υλικό, μπορεί να γίνει αντικείμενο κατεργασίας με διαφορετικούς τρόπους, για να μορφοποιηθεί.

Βέβαια, τα διάφορα φαινόμενα τα οποία έχουν σκοπό να δείξουν τη ρευστότητα του ψυχρού γυαλιού πρέπει να εξεταστούν προσεκτικά. Για παράδειγμα, επιμήκεις γυάλινοι σωλήνες οι οποίοι τοποθετούνται για πολλά χρόνια οριζοντίως πάνω σε άγκιστρα λέγεται ότι αναπτύσσουν καμπυλότητα, η οποία οφείλεται στη ρευστότητα του γυαλιού.

Επίσης, τα γυάλινα μεσαιωνικά παράθυρα έχουν παχύτερα τα κάτω μέρη των τζαμιών εξαιτίας της ρευστότητας, πράγμα, όμως, για το οποίο δεν υπάρχει απόδειξη. Πράγματι, το μεσαιωνικό γυαλί ήταν συνήθως ακανόνιστου πάχους, αλλά δεν υπάρχει αξιόπιστη μαρτυρία για μεταβολή του πάχους του.

Καταπονήσεις από ψύξη

Όταν ένα πρόσφατα κατασκευασμένο φύλλο γυαλιού (τζάμι) ψύχεται απότομα, προτού ψυχθεί και συσταλεί η εσωτερική επιφάνειά του, η εξωτερική επιφάνειά του σκληραίνει αρκετά. Όσο μεγαλύτερο είναι το πάχος του τζαμιού, τόσο μεγαλύτερη είναι η διαφορά του βαθμού ψύξης μεταξύ των δύο επιφανειών, με αποτέλεσμα να αναπτύσσονται εσωτερικές καταπονήσεις, που μπορεί να προκαλέσουν απότομα σπάσιμο στο υλικό του.

Θερμική διαστολή

Τα περισσότερα γυαλιά διαστέλλονται, όταν θερμαίνονται, και συστέλλονται, όταν ψύχονται. Οι τιμές των συντελεστών θερμικής διαστολής, σε grad^{-1} , κατά τύπο γυαλιού, είναι οι εξής:

1. Κρυσταλλικό γυαλί καλίου - νατρίου (κρύσταλλο)	9-9,6.10 ⁻⁶
2. Κρυσταλλικό γυαλί μολύβδου (κρύσταλλο)	9.10 ⁻⁶
3. Γυαλί σε φύλλα και γυαλί αποθήκευσης	8-9.10 ⁻⁶
4. Γυαλί pyrex	3,3.10 ⁻⁶
5. Γυαλί με χαμηλή περιεκτικότητα σε αλκάλια	5.10 ⁻⁶
6. Γυαλί χαλαζία	0,67.10 ⁻⁶

Οπτικές ιδιότητες

Το κοινό γυαλί επιτρέπει τη διάδοση του μήκους κύματος του ορατού φωτός διαμέσου του υλικού, καθώς επίσης τη διάδοση του μήκους κύματος της υπεριώδους και υπέρυθρης ακτινοβολίας, δηλαδή είναι διαφανές. Το γυαλί είναι αδιαφανές στο υπεριώδες και υπέρυθρο, όταν οι συχνότητες των ακτινοβολιών που προσπίπτουν σ' αυτό βρίσκονται σε συντονισμό με τις συχνότητες των μοριακών ταλαντώσεων στη μάζα του, οπότε και απορροφούνται από το γυαλί.

Ομως, η παρουσία στο γυαλί προσμείξεων, όπως, για παράδειγμα, μικρών ποσοτήτων οξειδίων του σιδήρου, μπορεί να προκαλέσουν επίσης απορρόφηση των μηκών κύματος στο ορατό, έτσι ώστε το γυαλί να φαίνεται με κάποια απόχρωση αδιαφανές ή σχεδόν αδιαφανές.

Βέβαια, το γυαλί θεωρείται διαφανές, ακόμη και αν είναι χρωματισμένο.

Ο δείκτης σκέδασης ενός διαφανούς υλικού είναι το μέτρο του βαθμού με τον οποίο ο δείκτης διάθλασης (R.I.) αλλάζει ανάλογα με το μήκος κύματος. Προσδιορίζει τη γωνία του φάσματος από το πρίσμα του εξεταζόμενου υλικού. Αν η σύσταση του γυαλιού είναι γνωστή, ο δείκτης σκέδασης μπορεί να υπολογιστεί. Η σκέδαση είναι ανάλογη του δείκτη διάθλασης. Έτσι, η κρυσταλλική μολυβδούλα με την έντονη λαμπρότητα έχει επίσης υψηλό δείκτη σκέδασης.

Πυκνότητα

Η πυκνότητα, δηλαδή η μάζα ανά μονάδα όγκου των γυαλιών, η οποία μπορεί να κυμαίνεται μεταξύ 2.400-5.900 kg/m^3 , εξαρτάται από τη σύστασή τους. Σε θερμοκρασία περιβάλλοντος (25°C) οι διάφοροι τύποι βιομηχανικών γυαλιών έχουν τις ακόλουθες πυκνότητες (gr/cm^3):

1. Κρύσταλλο καλίου - νατρίου	2,48-2,50
2. Pyrex	2,23
3. Γυαλί μολύβδου (24% PbO)	2,90
4. Γυαλί μολύβδου (28% PbO)	3,04
5. Γυαλί μολύβδου (51% PbO)	3,90

Τελικά, θα μπορούσαμε να καταλήξουμε στο γενικό συμπέρασμα ότι τα γυαλιά υψηλής περιεκτικότητας σε διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) και σε οξειδίο του βορίου (B_2O_3) παρουσιάζουν μικρή πυκνότητα σε χαμηλές και σε υψηλές θερμοκρασίες και παρουσιάζουν μεγαλύτερη πυκνότητα με την πρόσθεση οξειδίου του ψευδαργύρου (ZnO), οξειδίου του βαρίου (BaO) και οξειδίου του μολύβδου (PbO). Υπάρχουν πολλές μέθοδοι μέτρησης της πυκνότητας του γυαλιού σε θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Σκληρότητα

Η ιδιότητα της σκληρότητας δεν μπορεί να προσδιοριστεί με ακρίβεια, όπως, για παράδειγμα, η ισχύς του εφελκυσμού (όγκιμο), διότι εξαρτάται από μερικές άλλες ιδιότητες ανάλογα με τη φύση του υλικού που εξετάζεται, για παράδειγμα, αν είναι εύθραυστο, πλαστικό, ελαστικό κτλ. Η κλίμακα σκληρότητας Mohs βασίζεται στο γεγονός ότι κάθε ορυκτό στη λίστα είναι λιγότερο σκληρό, δηλαδή χαράσσεται, απ' όλα όσα βρίσκονται πριν από αυτό στην κλίμακα (βλ. κεφ. Συντήρησης Πέτρας).

Τα γυαλιά, ανάλογα με τη σύνθεσή τους, καταλαμβάνουν θέσεις μεταξύ 4,5 και 6,5 της κλίμακας Mohs.

Ευθραυστότητα

Το γυαλί δεν παρουσιάζει ελαστικότητα και απορροφά ενέργεια, όταν δονείται. Με την ελαφρά κρούση μιας γυάλινης επιφάνειας τα τοιχώματά της πάλλονται παράγοντας ήχους.

Οι παλμικές δονήσεις αποσβέννυνται, διότι απορροφάται ενέργεια κατά τη μεταπήδηση των ιόντων καλίου και νατρίου από το ένα διάστημα του δικτύου στο άλλο και παράγεται τριβή λόγω εσωτερικών κρούσεων.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Γενικά, οι διαδικασίες για την παραγωγή του γυαλιού είναι οι εξής:

1. Προετοιμασία του μείγματος των υλικών κατασκευής του γυαλιού και τοποθέτησή του μέσα στο φούρνο.

Αρχικά το επιθυμητό μέγεθος των κόκκων επιτυγχάνεται με κοσκίνισμα, για το οποίο χρησιμοποιούνται κόσκινα διάφορων μεγεθών. Στη συνέχεια γίνεται καλή ανάμειξη των υλικών με αυτόματα μηχανικά μέσα.

Με τις δονήσεις που προκαλούνται κατά τη μεταφορά του μείγματος, μπορεί να προκληθεί ο διαχωρισμός των διάφορων υλικών με διαφορετικά μεγέθη κόκκων· αυτό αποφεύγεται με την ύγρανση της άμμου με 3-4% νερό, η οποία έχει ως αποτέλεσμα επίσης να μη δημιουργείται σκόνη κατά τη διάρκεια της μεταφοράς και του φορτώματός του.

Η καλύτερη μέθοδος για την αποφυγή του διαχωρισμού, που είναι τεχνολογικά και οικονομικά εφικτή, είναι η χρήση ενός περιστρεφόμενου δίσκου ή τυμπάνου ή η συμπίεση του μείγματος σε έναν περιστρεφόμενο ιμάντα.

2. Τήξη του μείγματος των υλικών

Μετά την παρασκευή του μείγματος, το υλικό εισάγεται στο χώρο τήξης. Στους φούρνους μεγάλης χωρητικότητας το μείγμα εισέρχεται με διάφορους φορτωτές, π.χ. με μια έλικα, με ένα έμβολο ή με μια έλικα παλμικού τύπου κτλ. και ο ρυθμός φορτώματος ελέγχεται αυτόματα με έναν ελεγκτή του ύψους και του επιπέδου του υλικού.

Στους φούρνους κατασκευής γυαλιού ανήκουν:

α. Οι φούρνοι δοχείων, με περιοδική λειτουργία και με κύκλο εργασίας συνήθως 24 ώρες. Το γυαλί τήκεται μέσα σε κεραμικά δοχεία και συνήθως οι φούρνοι χρησιμοποιούνται για την τήξη και για την κατασκευή ειδικών γυαλιών σε σχετικά μικρές ποσότητες.

β. Οι φούρνοι ημερήσιας λειτουργίας, όπου έχουμε τήξη του υλικού με κάποια περιοδικότητα, αλλά η τήξη γίνεται μέσα σε δοχείο του φούρνου. Γενικά, χρησιμοποιούνται σπάνια, κυρίως για την παρασκευή μικρών ποσοτήτων γυαλίνων αντικειμένων που θα δουλεύουν στο χέρι.

γ. Οι φούρνοι συνεχούς λειτουργίας, όπου το μείγμα τροφοδοτείται συνεχώς από το ένα άκρο και το τηγμένο γυαλί λαμβάνεται από το άλλο, οπότε και τροφοδοτεί τις μηχανές αυτόματης μορφοποίησης. Χρησιμοποιούνται στην περίπτωση που απαιτούνται μεγάλες ποσότητες γυαλιού.

δ. Οι ηλεκτρικοί φούρνοι, σε διάφορα σχήματα.

Το καύσιμο με το οποίο λειτουργούσαν οι φούρνοι κατά την αρχαιότητα ήταν το ξύλο, ενώ κατά τους νεότερους χρόνους οι φούρνοι λειτουργούν με φωταέριο, με φυσικό αέριο, με πετρέλαιο και με ηλεκτρική ενέργεια.

3. Μορφοποίηση (φορμάρισμα)

Το γυαλί παίρνει διάφορα σχήματα με τη χύτευση του τήγματος σε μεταλλικά καλούπια από χρώμιο και χάλυβα.

Για την αποφυγή της συγκόλλησης του τήγματος με την επιφάνεια του καλουπιού, τοποθετείται ειδικό λιπαντικό επάνω στην επιφάνεια.

Για την παραγωγή διάφορων δοχείων χρησιμοποιείται και η παραδοσιακή μέθοδος του φυσήματος.

Για την παραγωγή υαλοπινάκων και σωλήνων γυαλιού υπάρχουν ειδικές διατάξεις κατά τις οποίες, στην περίπτωση των υαλοπινάκων, το τήγμα διέρχεται από μία οριζόντια

σχισμή και ανάμεσα από δύο αντίθετα στρεφόμενους κυλίνδρους, ενώ στην περίπτωση των σωλήνων εισάγεται αέρας με πίεση στο τήγμα, που ρέει γύρω από έναν άξονα που στρέφεται.

4. Βραδεία ψύξη

Κατά την ψύξη του γυάλινου αντικειμένου αναπτύσσονται προσωρινές και μόνιμες τάσεις που πρέπει να εξομαλυνθούν με ένα χαμηλό ρυθμό μείωσης της θερμοκρασίας.

Συνολικά η ψύξη ενός γυάλινου αντικειμένου αποτελείται από τα εξής στάδια:

- α. Θέρμανση του αντικειμένου που έχει σχετικά ψυχθεί σε υψηλή θερμοκρασία.
- β. Παραμονή στη θερμοκρασία αυτή για χρονικό διάστημα ικανό για την εξάλειψη των προσωρινών ή μόνιμων τάσεων μέσα στη μάζα του γυαλιού.
- γ. Ψύξη με χαμηλό ρυθμό, σε φάσμα διάφορων θερμοκρασιών, για να αποφευχθεί ο σχηματισμός μόνιμων τάσεων στη μάζα του γυαλιού.
- δ. Ψύξη με γρήγορο ρυθμό μέχρι τη θερμοκρασία περιβάλλοντος, έτσι ώστε ο ρυθμός αυτός να εμποδίζει το σχηματισμό τάσεων στη γυάλινη μάζα.

5. Φινίρισμα

Οι διαδικασίες φινιρίσματος περιλαμβάνουν τις διορθώσεις διάφορων ατελειών στα αντικείμενα, τη δημιουργία αδιαφάνειας επάνω στην επιφάνεια, τη χάραξη διάφορων διακοσμήσεων και σχημάτων, τη χρωματική διακόσμηση κτλ.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΙΣΤΟΡΙΚΟΥ ΚΑΙ ΤΟΥ ΑΡΧΑΙΟΛΟΓΙΚΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ

Οι παράγοντες φθοράς του γυαλιού είναι ενδογενείς και εξωγενείς.

ΕΝΔΟΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΦΘΟΡΑΣ

Οι ενδογενείς παράγοντες που προκαλούν φθορά στο γυαλί είναι:

Η σύσταση του γυαλιού. Η σύσταση του γυαλιού καθορίζει τις ιδιότητές του, καθώς επίσης και την αντοχή του στη διάβρωση. Η χημική σύσταση ποικίλλει ανάλογα με τις πρώτες ύλες αλλά και ανάλογα με το τεχνολογικό επίπεδο και με τις τάσεις κάθε εποχής, εξαιτίας των οποίων παράγονται διαφορετικοί κάθε φορά τύποι γυαλιών. Τα γυαλιά δύο συστατικών (πυριτίου - αλκαλίου) θεωρούνται τα πιο συνηθισμένα από αυτά που κυκλοφορούν στο εμπόριο, γι' αυτό και δεν τυγχάνουν περαιτέρω μελέτης. Τα γυαλιά που συνήθως μελετώνται είναι τριών τουλάχιστον συστατικών (πυριτίου - ασβεστίου και ενός μεταλλικού οξειδίου αλκαλίου) όπως τα αρχαία γυαλιά (πυριτίου - ασβεστίου - αλκαλίου) και τα ρωμαϊκά (πυριτίου - ασβεστίου - νατρίου).

Υλικά που σχηματίζουν το δίκτυο του γυάλινου υλικού. Το διοξείδιο του πυριτίου (SiO_2) ως σχηματιστής δικτύου αποτελεί τη βάση του γυαλιού. Όσο μεγαλύτερο είναι το ποσοστό του SiO_2 , τόσο πιο σταθερό είναι το γυαλί και τόσο μικρότερη είναι η έκπλυση των αλκαλίων.

Όταν το ποσοστό του διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2) ενός γυαλιού είναι μικρότερο από 66,7% moles, τότε το γυαλί παρουσιάζει αυξημένη προδιάθεση στη διάβρωση είτε με την έκπλυση στοιχείων του είτε με το σχηματισμό κρούστας στην επιφάνειά του. Το παραπάνω ποσοστό είναι οριακό, διότι σε αυτό το σημείο κάθε άτομο πυριτίου συνοδεύεται από έναν τροποποιητή (Ca, Na, κτλ.) ως δεύτερο γειτονικό υποκαταστάτη.

Υλικά που τροποποιούν το δίκτυο του γυάλινου υλικού - ευτηκτικά. Η προσθήκη αλκαλίων στο γυαλί δύο συστατικών έχει ως αποτέλεσμα να μειωθεί η τιμή του σημείου τήξης του τήγματος του γυαλιού.

Όσο αυξάνεται ο λόγος του αλκαλίου που περιέχεται στη μάζα του γυαλιού προς το διοξείδιο του πυριτίου, τόσο μειώνεται η σταθερότητα του γυαλιού.

Ο σχηματισμός ενός πλούσιου σε SiO_2 επιφανειακού στρώματος, ως αποτέλεσμα της διάβρωσης του γυαλιού από το νερό, εξαρτάται από το είδος του αλκαλίου που συμμετέχει στη σύστασή του, όταν το ποσοστό του αλκαλίου είναι μικρότερο του 10%.

Αποτελέσματα μελετών έδειξαν ότι ανάλογα με το άλκαλι που βρίσκεται στη μάζα του γυαλιού παρατηρείται μείωση της σταθερότητάς της, με βάση την ακόλουθη σειρά: λίθιο, νάτριο, κάλιο, ρουβίδιο και καίσιο, όπου τα δύο τελευταία στοιχεία θεωρούνται όμοια.

Έτσι, οι διαφορές στη σύσταση σχετίζονται με τη σταθερότητα των επιφανειακών στρωμάτων των γυαλιών. Για παράδειγμα τα ρωμαϊκά γυαλιά, τα οποία περιέχουν νάτριο, είναι ανθεκτικότερα σε σχέση με τα μεσαιωνικά γυαλιά, τα οποία περιέχουν κάλιο στη σύστασή τους.

Υλικά που σταθεροποιούν το δίκτυο του γυάλινου υλικού. Η προσθήκη δισθενών τροποποιητών δικτύου έχει τα αντίθετα αποτελέσματα από αυτά των μονοσθενών. Έτσι, η προσθήκη οξειδίων των αλκαλικών γαιών, και ειδικά του ασβεστίου (CaO), αυξάνει τη σταθερότητα ενός γυαλιού.

Άλλοι τροποποιητές του δικτύου του γυάλινου υλικού. Η παρουσία τριοξειδίου του αργιλίου (Al_2O_3) ή πεντοξειδίου του φωσφόρου (P_2O_5) στο γυαλί επιφέρει σημαντική αύξηση της αντοχής του. Τα πολυσθενή αυτά ιόντα έχουν τη δυνατότητα να ακινητοποιούν τα αλκαλικά ιόντα, έτσι ώστε αυτά να μην μπορούν να κινούνται ελεύθερα στο δίκτυο του γυαλιού. Ένα ποσοστό Al_2O_3 2-5% moles έχει πολύ καλά αποτελέσματα. Επίσης, αποδείχτηκε ότι ο ψευδάργυρος, ο μόλυβδος, το τιτάνιο και το ζirkόνιο βελτιώνουν την αντοχή του γυαλιού, παρ' όλο που μόνο τα δύο πρώτα είναι δυνατόν να περιέχονται σε υπολογίσιμες ποσότητες σε αρχαία γυαλιά.

Μεταλλικά οξείδια που παρέχουν χρώση. Υπάρχουν περιπτώσεις στις οποίες τα οξείδια των μετάλλων που χρησιμοποιούνται για χρωματισμό στο γυαλί προσδίδουν σταθερότητα, όταν βρίσκονται στην ανώτερη βαθμίδα οξειδωσης.

Έτσι, για παράδειγμα, αποδείχτηκε ότι ο βαθμός οξειδωσης του σιδήρου στο γυαλί είναι δυνατόν να επιδράσει στη σταθερότητα και, κατά συνέπεια, στο χρώμα του γυαλιού. Ένα πράσινο γυαλί που περιέχει οξείδιο του σιδήρου (FeO) μπορεί να γίνει πιο σταθερό με οξειδωση του FeO προς τριοξείδιο του σιδήρου (Fe_2O_3), το οποίο παρέχει ένα καφέ ή κίτρινο γυαλί, του αλλάζει δηλαδή χρώμα.

Τεχνική μορφοποίησης. Οι φυσικές ιδιότητες ενός γυαλιού εξαρτώνται από τη θερμική κατεργασία του. Ο μη ελεγχόμενος σχηματισμός κρυστάλλων στη μάζα ενός γυαλιού κατά την τήξη του, δηλαδή η αφύαλωση, η μορφοποίησή του ή οι δευτερεύουσες διαδικασίες επιδρούν στις οπτικές ιδιότητες, στη μηχανική αντοχή και μερικές φορές στη χημική σταθερότητα του γυαλιού. Το φαινόμενο της αφύαλωσης σχετίζεται κυρίως με αρχαία γυαλιά λόγω της πολύπλοκης σύστασής τους. Ένα άλλο φαινόμενο που έχει άμεση επίδραση στη σταθερότητα του γυαλιού είναι ο διαχωρισμός φάσης και οφείλεται στον τρόπο κατασκευής του γυαλιού. Συναντάται δε κυρίως σε αρχαία γυαλιά, ιδιαίτερα εάν αυτά περιέχουν μαγνήσια (MgO).

Ακόμη, τη σταθερότητα του γυαλιού είναι δυνατόν να επηρεάσουν προσμείξεις ή παγιδευμένες φυσαλίδες αέρα, που δημιουργούν ανομοιογένεια στη μάζα του γυαλιού.

ΕΞΩΓΕΝΕΙΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ ΦΘΟΡΑΣ

Οι εξωγενείς παράγοντες φθοράς του γυαλιού διακρίνονται σε χημικούς, βιολογικούς και μηχανικούς.

ΧΗΜΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Η επίδραση του νερού. Το νερό είναι ο σημαντικότερος παράγοντας φθοράς του γυαλιού. Η διάβρωση προέρχεται από την αντικατάσταση των ιόντων καλίου και νατρίου (K^+ , Na^+) του γυάλινου δικτύου από ιόντα υδρογόνου (H^+) του νερού, και η διαδικασία επιταχύνεται από τη θερμοκρασία.

ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Οι μικροοργανισμοί κατακρατούν την υγρασία του περιβάλλοντος, ακόμη και σε σχετικά ξηρό περιβάλλον, την οποία δεσμεύουν στα λεγόμενα “εξωκυτταρικά πολυμερή υποστρώματα”, με αποτέλεσμα το γυαλί να έρχεται σε συχνότερη επαφή με το νερό και να διαβρώνεται ευκολότερα. Εξάλλου, μέρος της φυσικής λειτουργίας των μυκήτων είναι να εκκρίνουν νερό και διάφορα μικκύλια και να μπορούν να μεταφέρουν το νερό από το ένα σημείο της επιφάνειας στο άλλο, με αποτέλεσμα τη δημιουργία διαβρωτικού περιβάλλοντος.

Στις διάφορες συμβιώσεις μικροοργανισμών έχουμε εκκρίσεις διάφορων οργανικών οξέων, όπως είναι το οξικό, το οξαλικό, το κιτρικό, το γλυκονικό, με αποτέλεσμα την ελάττωση του pH της επιφάνειας σε τιμές μεταξύ 2 και 4 (χημειοοργανοτροφικοί μικροοργανισμοί).

Σε άλλες περιπτώσεις έχουμε εκκρίσεις αμμωνίας (NH_3), με αποτέλεσμα την αύξηση του pH της επιφάνειας σε τιμές μεγαλύτερες του 10 (φωτοτροφικοί μικροοργανισμοί).

ΜΗΧΑΝΙΚΟΙ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Η θραύση της επιφάνειας του γυαλιού εξαρτάται από τις συνθήκες περιβάλλοντος και από τη σύσταση του γυαλιού. Το γυαλί παραμορφώνεται μηχανικά σύμφωνα με το μηχανισμό ροής ιξώδους, όπως ήδη έχει αναφερθεί. Ο ρυθμός παραμόρφωσης του γυαλιού εξαρτάται κυρίως από το μέγεθος της πίεσης, καθώς επίσης από τη δομή και από τη σύστασή του. Η πίεση που απαιτείται, για να προκληθεί η παραμόρφωση, είναι μικρότερη στις υψηλές θερμοκρασίες, διότι οι δεσμοί είναι ήδη πιεσμένοι λόγω της θερμότητας.

Οι μηχανικές ιδιότητες ενός γυαλιού επηρεάζονται όχι μόνο από τη σύστασή του, αλλά και από τη θερμική κατεργασία που αυτό έχει υποστεί.

Ταξινόμηση σύμφωνα με τη μορφολογία της φθοράς

Η ταξινόμηση που ακολουθεί αποτελεί συνδυασμό του τρόπου ταξινόμησης κατά Harden (1939) και Cronyn (1990):

Θόλωμα. Αποτελεί την πιο απλή μορφή διάβρωσης, κατά την οποία το γυαλί χάνει την αρχική διαύγεια και διαφάνειά του και γίνεται σταδιακά αδιαφανές. Αυτός ο τύπος διάβρωσης είναι εύκολο να διαχωριστεί από το θόλωμα που προέρχεται από εκδορές ή από λεκέδες.

Εφίδρωση. Το φαινόμενο αυτό διάβρωσης εμφανίζεται σε γυαλιά με μικρό ποσοστό οξειδίου του ασβεστίου (CaO) στη σύστασή τους, μικρότερο του επιθυμητού, και με περίσσεια αλκαλίου. Συναντάται σε γυάλινα αγγεία του 17ου αιώνα μ.Χ. στην Αγγλία, στην Ολλανδία, στη Γερμανία και στην Κίνα, καθώς και στη Βενετία στις αρχές του 18ου αιώνα μ.Χ. Τα γυαλιά αυτά παρουσιάζουν ολισθηρότητα στην επιφάνεια ή σταγόνες υγρασίας, αν εκτεθούν σε υγρή ατμόσφαιρα.

Αρχικά συμβαίνει αντικατάσταση μεταξύ των ιόντων υδρογόνου του νερού (H^+) και των ιόντων καλίου (K^+) και νατρίου (Na^+) του υλικού του γυαλιού. Τα ιόντα του υδρογόνου που καταλαμβάνουν τις θέσεις των αλκαλίων έχουν μικρότερο μοριακό όγκο, με αποτέλεσμα τη δημιουργία πόρων στο γυάλινο υλικό. Τα ιόντα των αλκαλίων (K^+ , Na^+) στην επιφάνεια ενώνονται με τα ιόντα υδροξυλίων (OH^-) του νερού και σχηματίζουν τα αντίστοιχα υδροξειδία (KOH , $NaOH$).

Τα υδροξειδία των αλκαλίων ενώνονται με το ατμοσφαιρικό διοξείδιο του άνθρακα (CO_2), με αποτέλεσμα το σχηματισμό των αντίστοιχων ανθρακικών αλάτων (K_2CO_3 , Na_2CO_3). Τα ανθρακικά αυτά άλατα, λόγω υγροσκοπικότητας, απορροφούν νερό και αρχίζουν να ρέουν επάνω στην επιφάνεια του γυαλιού. Το φαινόμενο αυτό ονομάζεται “δάκρυσμα” ή “ίδρωμα” του γυαλιού. Σε περίπτωση ατμοσφαιρικής ρύπανσης και παρουσίας διοξειδίου του θείου (SO_2) και οξειδίων του αζώτου (NO_x) έχουμε το σχηματισμό των αντίστοιχων θειικών και νιτρικών αλάτων (K_2SO_4 , Na_2SO_4 , KNO_3 , $NaNO_3$).

Μικρορηγμάτωση. Τα γυαλιά που παρουσιάζουν μικρορηγμάτωση της επιφάνειάς τους έχουν μειωμένη διαφάνεια και μη διαυγή όψη εξαιτίας της παρουσίας πολλών μικρών επιφανειακών ρωγμών. Σε εξέταση στο μικροσκόπιο το δίκτυο των μικρορηγματώσεων μπορεί να γίνει εμφανές. Σε έντονα διαβρωτικές συνθήκες τμήματα γυαλιού μπορούν να απολεπιστούν, ενώ παρουσιάζουν προβλήματα και από την έκπλυση αλκαλικών ιόντων. Τα γυαλιά που παρουσιάζουν μικρορηγμάτωση ή εφίδρωση χαρακτηρίζονται ως άρρωστα γυαλιά.

Αρχόμενη μικρορηγμάτωση. Αυτός ο τύπος διάβρωσης αναφέρεται σε γυαλιά που βρίσκονται στο πρώτο στάδιο μικρορηγμάτωσης.

Η αποθήκευση σε περιβάλλον σχετικής υγρασίας 40-60%, με 20 kg silica gel για κάθε κυβικό μέτρο βιτρίνας, είναι ο καλύτερος τρόπος διαφύλαξής τους.

Ρηγμάτωση. Η ρηγμάτωση ενός γυαλιού μπορεί να οφείλεται είτε στην εφαρμογή πίεσης στην επιφάνειά του είτε στην αυθόρμητη ρηγμάτωσή της (φαινόμενο ρηγμάτωσης μιας επιφάνειας χωρίς κάποια αίτια). Σύμφωνα με την ταξινόμηση που ακολουθούμε, τα αίτια της αυθόρμητης ρηγμάτωσης θεωρούνται ότι είναι:

α. Αρχικά, ο σχηματισμός ενός επιφανειακού ενυδατωμένου στρώματος γυαλιού και κατόπιν η αφύγρυσή του, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε συρρίκνωση του στρώματος αυτού.

β. Μια αμυδρή εκδορά της επιφάνειας, που μπορεί να οδηγήσει σε κοχλιωτή ρηγμάτωση της μιας πλευράς της.

γ. Εκδορά σε μια επιφάνεια, που διαπερνά σε βάθος το επιφανειακό στρώμα και οδηγεί σε μια επιταχυνόμενη διάβρωση κάτω από τη ρωγμή. Αυτό είναι ένα σπάνιο φαινόμενο, έχει όμως επιβεβαιωθεί πειραματικά.

Με τον όρο ρηγμάτωση λόγω καταπόνησης περιγράφεται ένα δίκτυο ενός ατελείωτου αριθμού ρωγμών, που καλύπτουν την επιφάνεια ενός αντικειμένου δίνοντάς της ζαχαρώδη μορφή.

Αλλοίωση χρώματος. Από το πλέγμα ενός γυαλιού δεν εκπλένονται μόνο τα ευθηκτικά οξειδία, αλλά και τα μεταλλικά ιόντα που χρωματίζουν ένα γυαλί. Έτσι, ένα γυαλί μπορεί να αλλάξει χρώμα εξαιτίας της οξειδωσης των στοιχείων του. Για παράδειγμα, το πράσινο χρώμα ενός γυαλιού, που οφείλεται στο οξείδιο του σιδήρου (FeO), μπορεί να αλλοιωθεί εξαιτίας της οξειδωσης του FeO σε τριοξείδιο του σιδήρου (Fe_2O_3) και να δώσει καφέ ή κίτρινο.

Διάβρωση με βελονισμούς. Τα αίτια και ο μηχανισμός της διάβρωσης που προκαλεί τους βελονισμούς δεν είναι πλήρως γνωστά. Κατά τη μελέτη των διαβρωμένων γυαλιών αποδείχτηκε ότι η διάβρωση στα αρχαία γυαλιά συνήθως ξεκινά από τα διαβρωτικά κέντρα που βρίσκονται πάνω ή κάτω από την επιφάνεια του γυαλιού. Η διάβρωση στα κέντρα αυτά κατευθύνεται προς όλες τις κατευθύνσεις με μεγάλη ταχύτητα προς τα κάτω, με αποτέλεσμα το σχηματισμό κυκλικών κοιλοτήτων. Πάνω από τις κοιλοότητες αυτές διακρίνεται η παρουσία ενός λεπτού στρώματος ή πολλών λεπτών στρωμάτων.

Αναφέρεται ότι τα “βαθουλώματα” που εμφανίζονται σε ένα γυαλί πιθανόν να οφείλονται σε οργανικά αίτια και ότι οι μεγάλοι πάχους εναποθέσεις σε εξωτερικές πλευρές παραθύρων είναι δυνατόν να οφείλονται στη συσσωμάτωση σωματιδίων λόγω ηλεκτροστατικών αλλαγών.

Επίσης, αναφέρεται ότι τα αίτια που προκαλούν τους βελονισμούς είναι οι ανομοιογένειες της μάζας του γυαλιού όπως ακαθαρσίες - κόκκοι άμμου, φυσαλίδες αέρα κτλ.

Η μελέτη της σύστασης έδειξε ότι τα γυαλιά με βελονισμούς παρουσιάζουν περιεκτικό-

τητα SiO_2 της τάξης των 57-63% moles. Με βάση τα αποτελέσματα αυτά ένα γυαλί είναι δυνατόν να διαβρωθεί με βελονισμούς, αν περιέχει μικρότερη από την απαιτούμενη ποσότητα SiO_2 στη μάζα του.

Οι βελονισμοί ανάλογα με το μέγεθός τους ταξινομούνται στις παρακάτω κατηγορίες:

α. Μικροβελονισμοί. Η διάμετρος των βελονισμών είναι πολύ μικρή 0,2 mm και βρίσκονται κοντά ο ένας στον άλλο.

β. Μικροί βελονισμοί μεγέθους 0,5-2 mm. Μπορεί να είναι κενοί ή να υπάρχουν στους κρατήρες προϊόντα διάβρωσης. Στη δεύτερη περίπτωση, αν ενωθούν, μπορεί να σχηματίσουν κρούστα.

γ. Μεγάλοι βελονισμοί μεγέθους 2-4 mm.

δ. Πολύ μεγάλοι βελονισμοί μεγέθους άνω των 4 mm.

Δημιουργία κρούστας. Αρχικά αποδείχτηκε ότι γυαλιά που περιέχουν στη σύστασή τους ποσοστό διοξειδίου του πυριτίου χαμηλότερο του 66% moles έχουν την τάση να σχηματίζουν κρούστες σε αντίθεση με τα γυαλιά που περιέχουν μεγαλύτερο ποσοστό διοξειδίου του πυριτίου. Αργότερα αποδείχτηκε ότι ένα γυαλί μπορεί να παρουσιάσει κρούστα, εάν το ποσοστό του διοξειδίου του πυριτίου δεν ξεπερνά τα 62% moles.

Το φαινόμενο του σχηματισμού κρούστας σε ένα γυαλί σχετίζεται με αυτό της παρουσίας βελονισμών. Κατά το σχηματισμό κρούστας η επιφάνεια του γυαλιού σκουραίνει χρωματικά από την παρουσία αδιάλυτων αλάτων. Όταν περίσσεια οξειδίου του ασβεστίου εκπλένεται από το γυαλί, εναποτίθεται σαν επικάλυψη στην επιφάνεια του γυαλιού ή ανάμεσα στα διαβρωμένα στρώματά του, σχηματίζοντας μια ενιαία φάση.

Σύμφωνα με μια μελέτη τα αλκάλια, οι αλκαλικές γαίες, καθώς και μερικά άλλα συστατικά του γυαλιού, κατά τη διάβρωσή του στο έδαφος απομακρύνονται σιγά σιγά από τη μάζα του και σχηματίζουν κρούστα. Ενώ το αργίλιο, ο σίδηρος, το τιτάνιο και μερικά άλλα στοιχεία που σχηματίζουν αδιάλυτες ενώσεις παραμένουν στο δίκτυο του διοξειδίου του πυριτίου.

Δημιουργία αλλεπάλληλων στρωμάτων ή φυλλώδης διάβρωση. Τα αδιαφανή γυαλιά με ιριδισμούς συνήθως παρουσιάζουν επιφανειακά στρώματα που απολεπίζονται. Η εξέταση των στρωμάτων αυτών δείχνει ότι αποτελούνται από λεπτά αλλεπάλληλα στρώματα, τα οποία συχνά σκεπάζουν το ένα το άλλο στις άκρες τους. Τα στρώματα αυτά έχουν σχηματιστεί επάνω σε κοιλότητες μικρού μεγέθους. Οι επιφάνειές τους δεν είναι επίπεδες, αλλά έχουν κυματιστή μορφή.

Καθώς τα στρώματα αυτά είναι συνήθως ενυδατωμένα σε μεγάλο βαθμό, τυχαία διακύμανση της υγρασίας θα μπορούσε να οδηγήσει σε συρρίκνωση ή σε διαστολή τους, η οποία με τη σειρά της θα μπορούσε να προκαλέσει απολέπιση της επιφάνειας του γυαλιού.

Ιριδισμοί. Ο όρος χαρακτηρίζει το φαινόμενο όπου υπάρχουν αλληπάλληλα στρώματα διάβρωσης στην επιφάνεια του γυαλιού, τα οποία εμφανίζουν ποικιλία χρωμάτων (ιριδισμούς) τόσο σε ανακλώμενο όσο και σε διερχόμενο φωτισμό.

Αναφέρεται ότι οι γυάλινες επιφάνειες που παρουσιάζουν ιριδισμούς αποτελούνται στην πραγματικότητα από ένα μεγάλο αριθμό λεπτών στρωμάτων διαβρωμένου γυαλιού (φυλλώδης διάβρωση) και ότι η διαφανής διάβρωση στην επιφάνεια ενός γυαλιού παρουσιάζει ιριδισμούς, αν έχει πάχος μικρότερο από 0,9 μm.

Γαλακτώδης αλλοίωση ή διάβρωση. Αναφέρεται σε κηλίδες συνήθως αδιαφανείς, οι οποίες εμφανίζονται στην επιφάνεια και σταδιακά προχωρούν προς το εσωτερικό του γυαλιού. Στη χειρότερη περίπτωση μπορεί να έχουν μαύρο ή καφέ χρώμα ή να είναι πολύχρωμες. Στο αρχικό στάδιο της εξέλιξης του φαινομένου εμφανίζονται λευκές μικρές κηλίδες οι οποίες σταδιακά μετατρέπονται σε γαλακτώδη διάβρωση. Εφόσον αυτή η διάβρωση εξελιχθεί σε βάθος, μερικές φορές το γυαλί παίρνει τη μορφή πέτρας, και αρχίζει να απολεπίζεται, δημιουργώντας βελονισμούς στην επιφάνειά του. Η πιο ακραία μορφή αυτού του τύπου διάβρωσης εμφανίζεται σαν ένα παχύ στρώμα διάφορων χρωματισμών από λευκό μέχρι καφέ-μαύρο, το οποίο εκτείνεται σε μεγάλο βαθμό προς το εσωτερικό του γυαλιού. Το στρώμα αυτό έχει, επίσης, την τάση να θρυμματίζεται, σχηματίζοντας ιριδίζοντες βελονισμούς και λεπτά αλληπάλληλα στρώματα. Σε περίπτωση που η διάβρωση συνεχιστεί, η επιφάνεια θα θρυμματιστεί κατά τέτοιο τρόπο, ώστε θα δίνει την εικόνα μωσαϊκού.

Απώλεια υαλώδους φάσης. Η έσχατη μορφή διάβρωσης είναι αυτή της απώλειας της υαλώδους φάσης. Το γυαλί μετατρέπεται σε άμορφη μάζα (ζελέ) διοξειδίου του πυριτίου (SiO_2), η οποία είναι δύσκολο να αναγνωρισθεί.



Διάβρωση επιφάνειας γυαλιού με φυλλώδη διάβρωση και με ιριδισμούς.



Διάβρωση επιφάνειας γυαλιού με φυλλώδη διάβρωση και με ιριδισμούς.



Διάβρωση επιφάνειας γυαλιού με φυλλώδη διάβρωση, με κρούστα και με ιριδισμούς.



Διάβρωση επιφάνειας γυαλιού με φυλλώδη διάβρωση, με βελονισμούς και με ιριδισμούς.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ

ΓΕΝΙΚΑ

Οι εργασίες συντήρησης ενός ανασκαφικού γυάλινου αντικειμένου αρχίζουν αμέσως μετά την αποκάλυψή του και αποτελούν τα πρώτα σωστικά μέτρα τα οποία συνεχίζονται συστηματικότερα στο εργαστήριο.

Μετά την αποκάλυψη του γυάλινου αντικειμένου αυτό διατηρείται σε όσο το δυνατόν πλησιέστερες συνθήκες με αυτές που είχε το αντικείμενο, όταν βρισκόταν μέσα στο έδαφος. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της μηχανικής αντοχής του, όπως κόλλες και στερεωτικά, θα πρέπει να έχουν προσωρινή εφαρμογή, για να μπορούν να αφαιρεθούν αργότερα στο εργαστήριο (αρχή της αντιστρεψιμότητας). Εξάιρεση στον κανόνα αυτό γίνεται, μόνο όταν δεν υπάρχει άλλος τρόπος διάσωσης του ευρήματος.

Οποιαδήποτε μέθοδος και υλικό που χρησιμοποιείται θα πρέπει να είναι καλά δοκιμασμένα για την αποφυγή απρόοπτων καταστάσεων σε μια τόσο λεπτή επέμβαση όπως είναι αυτή της ανασκαφής.

Επίσης, μέσα από όλες τις εργασίες συντήρησης θα πρέπει να διατηρείται η κατάσταση του υλικού του ευρήματος για χρονολόγηση ή για ανάλυση.

Μετά τη μεταφορά του γυάλινου αντικειμένου στο εργαστήριο εφαρμόζεται κάποια μέθοδος συντήρησης, η οποία, όμως, θα πρέπει να τεκμηριώνεται επαρκώς, να προκύπτει δηλαδή ύστερα από μια διαδικασία εξέτασης, να είναι καλά δοκιμασμένη και κατάλληλη για την περίπτωση. Κάθε παραποίηση στη δομή και στη διακόσμηση του αντικειμένου πρέπει να αποφεύγεται.

Και εδώ θα πρέπει να ισχύει, σχετικά με τα υλικά που θα χρησιμοποιηθούν, η αρχή της αντιστρεψιμότητας, σύμφωνα με την οποία κάθε επέμβαση πρέπει να είναι τέτοια, ώστε να μπορεί το γυάλινο αντικείμενο να επιστρέψει στην κατάσταση στην οποία βρισκόταν πριν από την εφαρμογή μιας μεθόδου συντήρησης, ακόμη και ύστερα από ένα μεγάλο χρονικό διάστημα. Εξάιρεση αποτελεί η περίπτωση, όπου η αποκατάσταση των προβλημάτων που παρουσιάζει ένα γυάλινο αντικείμενο θα πρέπει να βασιστεί σε μια μη αντιστρεπτή μέθοδο.

Επίσης, τα φθαρμένα μέρη του γυάλινου αντικειμένου θα πρέπει να συντηρούνται και όχι να αντικαθίστανται.

Κάθε επέμβαση συντήρησης ενός αντικειμένου της πολιτιστικής κληρονομιάς μας θα πρέπει να γίνεται με σεβασμό προς την αυθεντικότητα και τις ιστορικές μαρτυρίες που αυτό μεταφέρει, στοιχεία τα οποία αποτελούν τη βάση για την ανάλυση και την ερμηνεία του.

Πριν από κάθε επέμβαση γίνονται αναλύσεις που με μεθοδικό και επιστημονικό τρόπο, δηλαδή με χημικές και φυσικοχημικές μεθόδους, οι οποίες στοχεύουν στην τεκμηρίωση του υλικού και των παραγόντων διάβρωσης του αντικειμένου και, επομένως, στον προσδιορισμό των αποτελεσμάτων της κάθε μεθόδου συντήρησης.

Οι αναλύσεις αυτές δίνουν πληροφορίες για την τεχνική κατασκευής του, τη σύστασή του, τη δομή του, το βαθμό φθοράς, την εξέλιξη της φθοράς κ.ά.

Οι μέθοδοι και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για τον καθαρισμό, για τη στερέωση και για την αποκατάσταση πρέπει να είναι καλά δοκιμασμένα, γενικά σε ευρύτερη κλίμακα και συγκεκριμένα σε σχέση με το περιβάλλον και με τις ειδικές συνθήκες στις οποίες θα χρησιμοποιηθούν.

Η αποτελεσματικότητα των μεθόδων και η ανθεκτικότητα των υλικών στο χρόνο παίζουν σπουδαίο ρόλο. Η αποκατάσταση του γυάλινου αντικειμένου που έχει υποστεί φθορά περιλαμβάνει την απόδοση της οπτικής ενότητάς του με την ελάχιστη δυνατή θυσία της αισθητικής και της ιστορικής ακεραιότητάς του.

Οι επεμβάσεις στο γυάλινο αντικείμενο θα πρέπει να είναι ορατές. Οι τεχνικές συμπλήρωσης ποικίλλουν, όμως πρέπει να βρίσκονται μέσα στα πλαίσια της “ηθικής” της συντήρησης, και να αποφεύγονται γενικότερα οι ακραίες μέθοδοι επέμβασης. Θα πρέπει, επίσης, να διατηρούνται σε όσο το δυνατόν καλύτερη κατάσταση τα στοιχεία εκείνα τα οποία θεωρούνται απαραίτητα για ένα καλό αισθητικό αποτέλεσμα και να δίνεται σημασία στις κατάλληλες συνθήκες έκθεσης ή αποθήκευσής του.

Τέλος, πρέπει να συγκεντρώνονται τα στοιχεία που αφορούν όλα τα στάδια των εργασιών συντήρησης και συγκεκριμένα:

- **Αρχαιολογικών στοιχείων και του περιβάλλοντος εύρεσης του αντικειμένου,**
- **να καταγράφονται διαστάσεις του αντικειμένου,**
- **να γίνεται περιγραφή του αντικειμένου πριν από την επέμβαση,**
- **να γίνεται περιγραφή της κατάστασης του ευρήματος (προηγούμενες επεμβάσεις),**
- **να γίνεται και να καταγράφονται τα αποτελέσματα εξέτασης και ανάλυσης του υλικού του αντικειμένου,**
- **να γίνεται καταγραφή των μεθόδων συντήρησης,**
- **να καταγράφονται οι εργασίες συντήρησης (καθαρισμός, στερέωση, συγκόλληση, συμπλήρωση και αισθητική αποκατάσταση),**
- **να καταγράφονται οι προτεινόμενες συνθήκες αποθήκευσης και έκθεσης,**
- **να συγκεντρώνονται τα στοιχεία της φωτογραφικής τεκμηρίωσης.**

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗΣ

Στη συντήρηση ενός γυάλινου αρχαιολογικού ευρήματος περιλαμβάνονται:

- τα πρώτα σωστικά μέτρα κατά την ανασκαφή,
- η εξέταση του υλικού και των μορφών διάβρωσης,
- ο καθαρισμός και απομάκρυνση των επικαθίσεων,
- η στερέωση της σαθρής επιφάνειας,
- η συγκόλληση των διάφορων θραυσμάτων,
- η συμπλήρωση των περιοχών που λείπουν,
- η αισθητική αποκατάσταση του αντικειμένου.

ΣΥΝΘΕΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ ΠΟΥ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΝΤΑΙ ΣΤΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ

Στις διαδικασίες συντήρησης του γυαλιού χρησιμοποιούνται διάφορα πολυμερή, των οποίων η επιλογή γίνεται με βάση τις ιδιότητες και τις αντοχές στους διάφορους διαβρωτικούς παράγοντες του περιβάλλοντος.

Οι επιδράσεις από το φως, από το οξυγόνο και από το νερό μπορεί να προκαλέσουν σπάσιμο της αλυσίδας του πολυμερούς και σχηματισμό “χρωμοφόρων” (ομάδων που απορροφούν το φως), με αποτέλεσμα κιτρίνισμα του πολυμερούς και διασταυρούμενες αντιδράσεις οι οποίες σχηματίζουν στα θερμοπλαστικά πολυμερή ένα διαλυτό φιλμ μέσα σε ένα αδιάλυτο. Με αντιδράσεις διάσπασης της αλυσίδας του πολυμερούς μειώνεται το μήκος της αλυσίδας, και, επομένως, έχουμε ελάττωση στο μοριακό βάρος της ρητίνης.

Εκείνα τα πολυμερή που περιέχουν εστερικές ομάδες κατά μήκος της αλυσίδας, όπως είναι οι πολυεστερικές ρητίνες και οι πολυουρεθάνες, μπορούν να υδρολυθούν και επομένως εξασθενούν αργά με τομές στην αλυσίδα, όταν έρχονται σε επαφή με το νερό. Το κιτρίνισμα στις ρητίνες προκύπτει με απορρόφηση του μπλε ή του υπεριώδους φωτός από τα “χρωμοφόρα”, κατά την οποία σχηματίζονται διπλοί δεσμοί μεταξύ ανθράκων ή ομάδες καρβονυλίων ($=C=O$) κατά μήκος της αλυσίδας του πολυμερούς.

Όλες οι παραπάνω μορφές διάβρωσης είναι χημικής φύσης, σε αντίθεση με την περίπτωση όπου η θερμοκρασία περιβάλλοντος υπερβαίνει τη θερμοκρασία υαλώδους μετάπτωσης (glass transition temperature) ή T_g του πολυμερούς. Τότε, με φυσική διαδικασία οι διάφορες δονήσεις των μορίων γύρω από τη θέση ισορροπίας είναι ανεξέλεγκτες, με αποτέλεσμα το πολυμερές να βρίσκεται σε άμορφη κατάσταση. Αυτό ισχύει περισσότερο στα θερμοπλαστικά πολυμερή, τα οποία επιπλέον, όταν η θερμοκρασία του περιβάλλοντος ξεπεράσει την T_g του πολυμερούς, έλκουν και κατακρατούν τη σκό-

νη και διάφορα σωματίδια. Σύμφωνα με τις παραπάνω μορφές διάβρωσης πρέπει να πραγματοποιηθεί μια σειρά από απλά τεστ, για να διαπιστωθεί αν το υλικό που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί είναι κατάλληλο για τη συντήρηση. Στις απλές αυτές δοκιμές πρέπει να προσδιοριστούν η αντιστρεψιμότητα, η αντοχή στη γήρανση, η συρρίκνωση κατά την πήξη και με την πάροδο του χρόνου, η θερμική διαστολή και συστολή, οι μηχανικές αντοχές, η ελαστικότητα και τα διαβρωτικά αποτελέσματα επάνω στο υλικό του προς συντήρηση αντικειμένου. Επίσης, πρέπει να προσδιοριστεί το pH του πολυμερούς. Σχετικά με την αντοχή του πολυμερούς υλικού πρέπει να προσδιοριστούν η αντοχή σε σχίσιμο, το όριο ελαστικότητας και η αντοχή σε εγκάρσιο σπάσιμο.

α. Γυαλί από ανασκαφή (αρχαιολογικό γυαλί)

Το γυαλί από ανασκαφή βρίσκεται συνήθως σε κομμάτια που προέρχονται από διάφορα σκεύη, κοσμήματα και υαλοπίνακες. Μετά την αποκάλυψη των αντικειμένων γίνεται αξιολόγηση των κομματιών που θα συντηρηθούν.

Στα αντικείμενα τοποθετούνται ετικέτες με τα στοιχεία τους και συσκευάζονται κατάλληλα. Όταν πρόκειται για υγρό ή για βρεγμένο γυαλί, ακολουθεί η τοποθέτησή του σε αδιάβροχη σακούλα. Στο εσωτερικό και στο εξωτερικό μέρος της συσκευασίας τοποθετούνται αδιάβροχες ετικέτες με αδιάβροχο μελάνι. Όταν έχουμε στεγνό και μη σαθρό γυαλί, τα στοιχεία σημειώνονται με μελάνι λάκκας ή στερεωτικού και επικαλύπτονται με ένα δεύτερο στρώμα στερεωτικού. Όταν έχουμε μη πορώδη γυαλιά, τα στοιχεία γράφονται κατευθείαν στην επιφάνεια.

Οι πιο πολλές επικαθίσεις, που είναι ευδιάλυτες, φεύγουν με πλύσιμο με απιονισμένο νερό, ενώ οι δυσδιάλυτες, όπως είναι το ανθρακικό ασβέστιο (CaCO_3), το θειικό ασβέστιο (CaSO_4) και τα πυριτικά άλατα (SiO_3^{2-}), σχηματίζουν μια πορώδη και σκληρή κρούστα. Πολλές φορές το γυαλί σε επαφή με μέταλλα όπως σίδηρο (Fe) και χαλκό (Cu) έχει επικαθίσεις προϊόντων οξειδωσης των μετάλλων αυτών, ενώ από κάτω εμφανίζεται διαβρωμένο το γυαλί, με αποτέλεσμα τα κομμάτια της διαβρωμένης επιφάνειας να φαίνονται σαν επικαθίσεις.

Οπτικά, σε στεγνό γυαλί η διάβρωση παρουσιάζεται σαν θάμπωμα ή σαν ιριδισμός, που δεν παρατηρείται σε υγρό γυαλί, και πολλές φορές υπάρχει μια συρρίκνωση, ώστε το γυαλί να προσομοιάζει περισσότερο σε κεραμικό ή σε μαλακή πέτρα. Όταν το γυαλί είναι θαμμένο, λόγω έκπλυσης των συστατικών του αλλάζει χρώμα και η παχιά κρούστα από γαλακτώδη μπορεί να μαυρίσει είτε από την οξείδωση του σιδήρου (Fe) και του μαγγανίου (Mn) είτε από το σχηματισμό θειούχου μολύβδου (PbS) σε υγρές περιοχές ή μέσα στη θάλασσα είτε από μικροοργανισμούς και από βακτήρια.

Το γυαλί που έχει επικαλυφθεί με βερνίκι σπάνια μαυρίζει, αλλά γίνεται αδιαφανές ή αλλάζει χρώμα, π.χ. το γυαλί με χρώμα που περιέχει οξειδίο του χαλκού (Cu_2O) γίνεται πράσινο λόγω των προϊόντων οξειδωσης του χαλκού.

Η έντονη διάβρωση μπορεί να προκαλέσει σπάσιμο ή θρυμματισμό του γυαλιού.

Το νερό που περιέχει το διαβρωμένο γυαλί διατηρεί τη διαφάνεια και συγκρατεί τις διαβρωμένες στιβάδες, οπότε με το απότομο στέγνωμα προκαλείται θάμπωμα και συρρίκνωση ή αποφλοιώση του γυαλιού, το οποίο δύσκολα αποκτά τις αρχικές ιδιότητές του.

Σε ζεστές περιοχές ή σε ξηρά κλίματα το γυαλί μπορεί να είναι μερικώς αφυδατωμένο, ή και εντελώς, όπως σε τάφους στην έρημο.

Όταν το γυαλί προέρχεται από θάλασσα ή λίμνες, δε γίνεται επι τόπου καθαρισμός, διότι μπορεί να καταστραφούν αρχαιολογικά στοιχεία. Επίσης, δε στεγνώνεται το αντικείμενο, διότι μπορεί να προκληθεί κρυστάλλωση των διαλυτών αλάτων που περιέχονται στους πόρους του.

Για την απομάκρυνση των διαλυτών αλάτων, το αντικείμενο δεν εμβαπτίζεται κατευθείαν σε απιονισμένο νερό, διότι αυτό μπορεί να εισχωρήσει βίαια λόγω οσμωτικής πίεσης στη διαβρωμένη επιφάνεια και να τη ρηγματώσει. Στο νερό που χρησιμοποιούμε ελαττώνουμε σταδιακά την περιεκτικότητα σε άλατα, και αυτό επιτυγχάνεται με χαμηλή ροή φρέσκου νερού με χαμηλή πίεση και με συνεχή εμβάπτιση του αντικειμένου, ελέγχοντας την ειδική ηλεκτρική αγωγιμότητα του εκπλύματος, την παρουσία χλωριόντων (Cl^-) και την παρουσία θειικών ιόντων (SO_4^{2-}).

Στη συνέχεια το αντικείμενο εμβαπτίζεται προσωρινά σε απιονισμένο νερό και κατόπιν, αν θέλουμε να εφαρμόσουμε βιολογική και αναλυτική εξέταση, αποθηκεύεται σε 70% αιθανόλη, που εμποδίζει την ανάπτυξη βιολογικών επικαθίσεων και διατηρεί τους μικροοργανισμούς. Κατόπιν το αντικείμενο συσκευάζεται σε αεροστεγή σακούλα.

Όταν το γυαλί προέρχεται από ανασκαφή από πολύ υγρές περιοχές, αμέσως πρέπει να σκεπάζεται με βρεγμένη κομπρέσα, η οποία να καλύπτεται με φύλλο πολυαιθυλενίου, για να μην εξατμίζεται το νερό.

Για να μην ευνοηθεί η ανάπτυξη μυκήτων και βακτηρίων, είναι προτιμότερο να αποφεύγονται διάφορα οργανικά υλικά. Το γυαλί πρέπει να παραμένει σε δροσερό μέρος ή σε ψυγείο και, αν αυτό δεν υπάρχει, απαιτείται το ουδέτερο διάλυμα ενός βιοκτόνου.

Για να αποφευχθεί η υδρόλυση, σε υψηλές τιμές του pH, απαιτείται η αποθήκευσή του σε ψυγείο για μεγάλο χρονικό διάστημα ή η στερέωσή του με τον εμποτισμό ενός στερεωτικού διαλύματος, που επιτρέπει το στέγνωμα του αντικειμένου, αλλά παρεμποδίζει την είσοδο του νερού και του αέρα στη διαβρωμένη κρούστα. Συγκεκριμένα, το γυάλινο αντικείμενο αρχικά βυθίζεται σε 50% αιθανόλη και 50% νερό για μία ώρα και στη συνέχεια εμβαπτίζεται σε αυξανόμενες περιεκτικότητες του στερεωτικού διαλύματος, έως ότου να βυθιστεί σε διάλυμα στερεωτικού κανονικής περιεκτικότητας.

Όταν το γυαλί προέρχεται από στεγνές περιοχές, πρέπει να παραμένει σε ξηρές συνθήκες, ενώ τα κομμάτια αποθηκεύονται σε κλειστές σακούλες και τοποθετούνται οριζόντια σε κουτιά από σκληρό χαρτόνι που γεμίζονται με πολυεστέρα ή με χαρτί. Εδώ, αποφεύγεται το βαμβάκι, επειδή οι ίνες του είναι δύσκολο να απομακρυνθούν από ευαίσθητα γυάλινα αντικείμενα, και η αποθήκευση πρέπει να γίνεται σε σχετική υγρασία (RH) μεγαλύτερη από 42%, για να αποφευχθεί η παραπέρα διάβρωση του γυάλινου αντικειμένου.

Εδώ, η συρρίκνωση της επιφάνειας του γυαλιού προέρχεται και από μηχανικές τάσεις του υπερκείμενου βάρους του εδάφους. Όταν το γυαλί αποκαλυφθεί από την ανασκαφή μαζί με χώμα, πρέπει να διατηρηθεί η υγρασία του χώματος με συσκευασία σε σακούλες - κουτιά και να γίνει άμεση επέμβαση. Κάθε αφυδάτωση θα θρυμματίσει πρώτα το χώμα και θα προκληθούν εξωτερικά προβλήματα στο αντικείμενο.

Όταν το γυαλί αποκαλυφθεί από την ανασκαφή μαζί με μέταλλα, όπως στα σμάλτα όπου υπάρχει κράμα χαλκού, παρουσιάζονται προβλήματα αποθήκευσης, π.χ. για να παραμείνει ο χαλκός, το αντικείμενο αποθηκεύεται σε σακούλα πολυαιθυλενίου με σχετική υγρασία (RH) μεταξύ 40% και 50% και τοποθετείται στη σακούλα silica gel. Αυτό, όμως, γίνεται, όταν το γυαλί προέρχεται από ξηρό περιβάλλον και όχι όταν πρόκειται για βρεγμένο γυαλί.

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ

Καθαρισμός διαλυτών επικαθίσεων

Οι διαλυτές επικαθίσεις απομακρύνονται με απιονισμένο νερό, με απαλό τρίψιμο, ανάλογα με την περίπτωση, ή με σφουγγαράκι βουτηγμένο σε νερό, αιθανόλη, ακετόνη, white spirit, προπανοδιόλη, industrial methylated spirit (I.M.S., δηλ. ένας όγκος νέφτι και 19 όγκοι αιθανόλη 95% κ.ό.) και σε αραιό διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2).

Άσκηση 1. Να γίνουν καθαρισμοί δοκιμίων γυαλιού με τη χρήση απιονισμένου νερού για τις διαλυτές επικαθίσεις και οργανικών διαλυτών (αιθανόλης, ακετόνης) για τις λιπαρές επικαθίσεις.

Καθαρισμός αδιάλυτων επικαθίσεων

Ο καθαρισμός της κρούστας των αδιάλυτων συστατικών γίνεται εκλεκτικά, ώστε να αποφεύγεται η απομάκρυνση των σμάλτων και των κομματιών του διαβρωμένου γυαλιού.

Η απομάκρυνση της κρούστας απαιτείται, διότι πολλές φορές ιριδίζει, δημιουργεί ένα μαύρισμα ή αδιαφάνεια, και συνολικά καλύπτει το πραγματικό χρώμα του αντικειμένου.

Αρχικά, ο καθαρισμός γίνεται μηχανικά με νυστέρι, με ξύλινη βελόνα και με μαλακή βούρτσα. Έχουν, επίσης, αναφερθεί μέθοδοι καθαρισμού με αραιά διαλύματα ανόργανων οξέων όπως υδροχλωρικού οξέος (HCl) ή νιτρικού οξέος (HNO_3) για επικαθίσεις ανθρακικών (CO_3^{2-}), πυριτικών (SiO_3^{2-}), σιδήρου (Fe^{2+}), μαγγανίου (Mn^{2+}). Αυτό, όμως, πολλές φορές είναι επικίνδυνο, διότι τα οξέα παραμένουν στους πόρους και στις σχισμές του γυαλιού με κίνδυνο για το αντικείμενο, ενώ παράλληλα δρουν τα διαλυτά άλατα, σαν παραπροϊόντα. Επίσης, η παρουσία των οξέων είναι επικίνδυνη και για το ίδιο το υλικό του γυαλιού.

Υπάρχουν περιπτώσεις που η κρούστα των αδιάλυτων επικαθίσεων μαλακώνει με τη χρήση προσροφητικών αργίλων όπως σεπιόλιθου ή ατταπουλγίτη και στη συνέχεια απομακρύνεται με τη χρήση κάποιας μηχανικής μεθόδου.

Πολλές φορές χρησιμοποιούνται αντιδραστήρια σε πάστες για την απομάκρυνση κρούστας ή εκλεκτική απομάκρυνση διάφορων ιόντων, όπως είναι το E.D.T.A. για τα ιόντα ασβεστίου (Ca^{2+}) και μαγνησίου (Mg^{2+}), αν και είναι επικίνδυνο για το γυαλί σε υψηλές τιμές pH, διότι επιδρά στο σμάλτο στην επιχρύσωση, και συμπλοκοποιεί το μόλυβδο στα κρύσταλλα. Ο καθαρισμός αδιάλυτων επικαθίσεων στο μη διαβρωμένο γυαλί χωρίς χρώματα ή σμάλτα γίνεται μηχανικά με νυστέρι, με συσκευή υπερήχων ή συσκευή αέρα. Πολλά κομμάτια γυαλιού χρειάζονται στερέωση πριν από τον καθαρισμό και κατά τη διάρκειά του.

Μερικές φορές οι επικαθίσεις μαλακώνουν με τον ατμό ενός διαλύτη για λίγη ώρα και μετά απομακρύνονται μηχανικά με νυστέρι ή με σφουγγάρι.

Άσκηση 2. Να γίνουν καθαρισμοί δοκιμίων γυαλιού με αδιάλυτες επικαθίσεις, με τη χρήση παστών ουδέτερου χαρτιού ή προσροφητικής αργίλου αραιών διαλυμάτων E.D.T.A., NaHCO_3 , NH_4HCO_3 .

Καθαρισμός βιολογικών επικαθίσεων

Ο καθαρισμός βιολογικών επικαθίσεων γίνεται με διάφορα βιοκτόνα όπως Desogen, Dowside I, Prevantol, φορμαλδεΰδη, Primatol, Vancide 51 κτλ. με την πρόσθεσή τους μέσα σε διάφορες πάστες καθαρισμού ή με τρίψιμο με μαλακή βούρτσα με μεγάλη προσοχή για την αποφυγή της δημιουργίας λεκέδων.

Επίσης, για την απομάκρυνση βιολογικών επικαθίσεων χρησιμοποιείται διάλυμα perhydrol (αραιό διάλυμα υπεροξειδίου του υδρογόνου (H_2O_2)) με ελαφρό τρίψιμο και με μεγάλη προσοχή, όταν υπάρχουν χρώματα επάνω στην επιφάνεια του γυαλιού.

Για τον καθαρισμό βιολογικών επικαθίσεων χρησιμοποιούνται τα προηγούμενα αντιδραστήρια σε μορφή πάστας από προσροφητικές αργίλους, ενώ μπορεί να χρησιμοποιηθούν και επιθέματα προσροφητικών αργίλων χωρίς την παρουσία αντιδραστηρίων.

Άσκηση 3. Να γίνουν καθαρισμοί δοκιμίων γυαλιού με βιολογικές επικαθίσεις, με τη χρήση αραιού διαλύματος perhydrol.

Καθαρισμός υλικών προηγούμενης συντήρησης

Τα υλικά προηγούμενης συντήρησης μπορεί να είναι διάφορες κόλλες, στερεωτικά και υλικά συμπλήρωσης, χρωματισμένα με διάφορα χρώματα. Αφού γίνει δοκιμή σε κατάλληλο δείγμα, επιλέγεται ο κατάλληλος διαλύτης, που μπορεί να είναι ζεστό ή κρύο νερό, αιθανόλη, ακετόνη, I.M.S., white spirit, τολουόλιο, ξυλόλιο και διχλωρομεθάνιο. Επίσης, μπορεί να χρησιμοποιηθεί συσκευή θερμού αέρα με μεγάλη κλίμακα θερμοκρασιών. Μετά το μαλάκωμα το υλικό απομακρύνεται με μαλακή βούρτσα ή με νυστέρι.

Άσκηση 4. Να γίνουν καθαρισμοί δοκιμίων γυαλιού με υλικά προηγούμενων επεμβάσεων συντήρησης (συγκολλητικά, στερεωτικά κτλ.) με τη χρήση οργανικών διαλυτών (αιθανόλης, ακετόνης) και θερμού αέρα.

β. Γυαλί που δεν προέρχεται από ανασκαφή (ιστορικό γυαλί)

Όταν το γυαλί δεν προέρχεται από ανασκαφή και προορίζεται για καθαρισμό, πρώτα εξετάζεται για σημάδια από προηγούμενη συντήρηση και καθαρίζεται με όχι ζεστό απιονισμένο νερό σε δοχείο από πολυαιθυλένιο, για να αποφευχθούν σπασίματα από πιθανό γλίστρημα του αντικειμένου.

Μερικές φορές προστίθεται ένα ουδέτερο απορρυπαντικό (Texapon, Teepol, Synperonic N) στο νερό του καθαρισμού, όχι όμως σε μεγάλη ποσότητα, επειδή το γυαλί δε διακρίνεται σε πολλές σαπουνάδες. Για τον καθαρισμό μπαίνει μόνο ένα αντικείμενο σε κάθε δοχείο.

Γενικά, αποφεύγονται μεγάλες πιέσεις κατά τον καθαρισμό, ειδικά σε εύθραυστες περιοχές, π.χ. στο χείλος και στον πάτο του ποτηριού.

Μετά τον καθαρισμό το γυαλί αφήνεται σε χαρτί, για να στεγνώσει, και τα σπασμένα κομμάτια τοποθετούνται, έτσι ώστε να μην πιέζονται. Μερικές φορές αντί του χαρτιού χρησιμοποιείται και μαλακό πανί χωρίς πίεση, και το αντικείμενο παραμένει σε πάγκο στρωμένο με ύφασμα, για να μην γλιστρήσει.

Όταν το γυαλί “ιδρώνει” ή “κλαίει”, αρχικά υφίσταται πλύσιμο με απιονισμένο νερό και σταδιακά λουτρά με I.M.S. και αφήνεται να στεγνώσει. Αυτή η περιποίηση καθυστερεί την αποσύνθεση του γυαλιού και βελτιώνει την εμφάνισή του, επειδή απομακρύνονται από την επιφάνεια τα διαλύματα που προκύπτουν από το “ιδρώμα” του γυαλιού και οι διάφορες επικαθίσεις που προσροφώνται από αυτά.

Αυτή η μέθοδος συντήρησης δεν είναι βέβαια μακροπρόθεσμη, ειδικά αν το γυαλί εκτεθεί πάλι σε υγρή ατμόσφαιρα. Η διάβρωση αναστέλλεται, μόνο αν το γυάλινο αντικείμενο αποθηκευτεί σε περιβάλλον με RH περίπου 42%.

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ

ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ

Η εφαρμογή του στερεωτικού γίνεται με ψεκασμό, με επάλειψη ή με κομπρέσα, με χρήση σύριγγας σε περιοχές που είναι δύσκολο να εισχωρήσει διαφορετικά, και στην περίπτωση που το αντικείμενο δεν είναι πολύ σαθρό εφαρμόζεται και στερέωση σε συσκευή κενού. Η τελευταία μέθοδος εφαρμόζεται, ειδικά όταν το αντικείμενο δεν είναι πολύ βρεγμένο και περιέχει αέρα ανάμεσα από τα στρώματα των ιριδισμών. Εδώ η ελάττωση πίεσης απομακρύνει τον αέρα από τους πόρους και από τα τριχοειδή του υλικού, στη συνέχεια τροφοδοτείται το στερεωτικό διάλυμα, και με την επαναφορά στην ατμοσφαιρική πίεση εισχωρεί στους πόρους του υλικού με την ταυτόχρονη εξάτμιση του διαλύτη. Η απότομη ελάττωση της πίεσης μπορεί να προκαλέσει θραύση στο υλικό, επειδή δημιουργούνται φυσαλίδες αέρα πολύ γρήγορα, και η πίεση στη συσκευή κενού δεν πρέπει να γίνει πολύ χαμηλή.

Αναλυτικότερα οι μέθοδοι στερέωσης είναι:

1. Εμβάπτιση του αντικειμένου στο διάλυμα του στερεωτικού υλικού. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε μικρά αντικείμενα και σε περιπτώσεις όπου η επιφάνεια του γυάλινου αντικειμένου είναι σε σχετικά καλή κατάσταση. Το αντικείμενο εμβαπτίζεται ολόκληρο σε ειδική δεξαμενή που περιέχει το διάλυμα του στερεωτικού υλικού, σε πίεση και θερμοκρασία περιβάλλοντος.

Σε περίπτωση που θέλουμε να εφαρμοστεί η μέθοδος σε αντικείμενο με σαθρή επιφάνεια, εφαρμόζουμε γύρω από την επιφάνειά του λεπτό φύλλο ουδέτερου χαρτιού.

2. Εφαρμογή του στερεωτικού διαλύματος με επάλειψη στην επιφάνεια του γυάλινου αντικειμένου. Χρησιμοποιούνται ειδικά μαλακά πινέλα και το αντικείμενο τοποθετείται μέσα σε ειδικό δοχείο για τη συλλογή και για την ανακύκλωση του στερεωτικού διαλύματος που περισσεύει. Η μέθοδος αποφεύγεται στις περιπτώσεις όπου το αντικείμενο έχει πολύ σαθρή επιφάνεια, διότι υπάρχει κίνδυνος να απομακρυνθούν φύλλα του αποφλοιωμένου γυαλιού.

3. Εφαρμογή του στερεωτικού διαλύματος με κομπρέσα που έχει εμποτιστεί με το διάλυμα του στερεωτικού υλικού. Για την κατασκευή της κομπρέσας χρησιμοποιείται ουδέτερο χαρτί σε μικρά κομμάτια και, όταν αυτή εφαρμοστεί στην επιφάνεια, καλύπτεται με φύλλο κάποιου πολυμερούς, που είναι αδρανές στο διαλύτη του στερεωτικού, για να αποφεύγεται η γρήγορη εξάτμιση του διαλύτη από την κομπρέσα. Η μέθοδος εφαρμόζεται συνήθως σε αντικείμενα με λίγο έως πολύ σαθρή επιφάνεια, όπου αποφεύγεται η απομάκρυνση των διάφορων αποφλοιώσεων και επιτυγχάνεται η στερέωσή τους.

4. Εφαρμογή του στερεωτικού διαλύματος με ψεκάσμο. Εδώ ψεκάζεται η επιφάνεια του αντικειμένου με το στερεωτικό διάλυμα. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται σε στερεώσεις επί τόπου και στο εργαστήριο και χαρακτηρίζεται από σημαντική εισχώρηση του στερεωτικού στους πόρους του υλικού του αντικειμένου. Ο ψεκάσμος γίνεται με ειδική συσκευή πεπιεσμένου αέρα, με την οποία τροφοδοτείται το στερεωτικό διάλυμα σε διάφορες συγκεντρώσεις.

5. Εφαρμογή του στερεωτικού διαλύματος στην επιφάνεια του αντικειμένου σε κενό αέρα. Είναι μέθοδος με την οποία επιτυγχάνεται καλύτερη εισχώρηση του στερεωτικού μέσα στους πόρους του υλικού του αντικειμένου. Για τη μέθοδο απαιτείται να υπάρχει, στο χώρο του εργαστηρίου, θάλαμος κενού αέρα με δύο εισόδους, τη μία για την απομάκρυνση του αέρα και την άλλη για την είσοδο του διαλύματος του στερεωτικού. Αρχικά, το αντικείμενο, που πρόκειται να στερεωθεί, τοποθετείται μέσα στο θάλαμο κενού και, αν μειωθεί η πίεση στα 500 mmHg περίπου, τότε ένα μεγάλο μέρος του αέρα, που υπάρχει στους πόρους και ανάμεσα στα διαδοχικά στρώματα της διάβρωσης του γυαλιού, απομακρύνεται. Επομένως, διευκολύνεται ο εμποτισμός με το διάλυμα του στερεωτικού, διότι, όταν η πίεση αποκατασταθεί λόγω του κενού που έχει δημιουργηθεί μέσα στους πόρους του υλικού, θα έχει αναπτυχθεί πίεση από έξω προς τα μέσα, η οποία ωθεί το διάλυμα του στερεωτικού στο εσωτερικό των πόρων, και αυτό συνεχίζεται έως ότου ισορροπήσουν μεταξύ τους η ασκούμενη από μέσα και από έξω πίεση. Στις περισσότερες πάντως περιπτώσεις αποφεύγεται η εφαρμογή της μεθόδου του κενού σε γυάλινα αντικείμενα με σαθρή επιφάνεια, και η μόνη μέθοδος που μπορεί να εφαρμοστεί στην περίπτωση αυτή είναι η (3) με την τοποθέτηση κομπρέσας.

ΥΛΙΚΑ ΣΤΕΡΕΩΣΗΣ

Ως στερεωτικά υλικά του γυαλιού έχουν χρησιμοποιηθεί:

- οξικό πολυβινύλιο (PVA) (Vinavil, Mowilith),
- μεθακρυλικές ρητίνες (Paraloid B72),
- εποξειδικές ρητίνες (Hxtal Nyl-1),
- ακρυλικά γαλακτώματα (Primal AC33),
- Carbowax 6000 με θερμοκρασία εφαρμογής 80 °C,
- πολυαιθυλενογλυκόλη (PEG 4000),
- διάφορες οργανικές λάκκες κτλ.

Άσκηση 5. Να γίνουν στερεώσεις σαθρής επιφάνειας δοκιμίων γυαλιού με τη χρήση αραιών διαλυμάτων ακρυλικών και εποξειδικών ρητινών.

ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΣΥΓΚΟΛΛΗΣΗΣ

Για την επιλογή του κατάλληλου τρόπου συγκόλλησης του γυαλιού πρέπει να ληφθούν υπόψη το μέγεθος των θραυσμάτων, το πλάτος τους, το είδος, η κατάσταση του γυαλιού κτλ. Αναφέρονται τρεις τρόποι συγκόλλησης του γυαλιού:

α. Ανάταξη των γυάλινων κομματιών και συναρμολόγησή τους με κόλλα νιτρικής κυτταρίνης (π.χ. UHU Hart, HMG, Durafix). Τα κομμάτια συγκολλώνται ένα ένα με κόλλα νιτρικής κυτταρίνης, και τα συγκολλημένα κομμάτια υποστηρίζονται με αυτοκόλλητη ταινία ή μέσα σε αμμοδόχο, με τοποθέτηση χαρτοβάμβακα ανάμεσα στο γυαλί και την άμμο. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε αρχαιολογικό γυαλί, αλλά, όταν υπάρχει στην επιφάνειά του απολέπιση, ευαίσθητη διακόσμηση ή ανάγλυφη επιφάνεια, δε χρησιμοποιείται αυτοκόλλητη ταινία αλλά μόνο η αμμοδόχος.

β. Ανάταξη και ταυτόχρονη συγκράτηση των κομματιών μεταξύ τους με λωρίδες “magic tape”, προσωρινά. Ακολουθεί η συγκόλληση με μια κατάλληλα επιλεγμένη ρητίνη. Τα κομμάτια συναρμολογούνται με λεπτές ταινίες αυτοκόλλητες, τοποθετημένες εναλλάξ στις δύο επιφάνειες του γυαλιού κατά μήκος της ρωγμής και κάθετα σ’ αυτήν. Όταν ολοκληρωθεί η συναρμολόγηση, τοποθετείται στις ρωγμές μια ρευστή εποξειδική ή άλλου είδους κόλλα με τη βοήθεια ενός αιχμηρού εργαλείου και αφήνεται να ρέει μέσα στη ρωγμή με τριχοειδή εισχώρηση. Η κόλλα που περισσεύει απομακρύνεται ύστερα από 24 ώρες, όταν θα έχει σκληρυνθεί αρκετά, με ελαφρό τίναγμα της σπάτουλας ή με βαμβάκι που έχει μόλις υγρανθεί σε ασετόν. Η μέθοδος εφαρμόζεται σε διαφανές άχρωμο γυαλί με υγιή επιφάνεια και σε λεπτά γυαλιά που συναρμολογούνται από πολλά κομμάτια.

γ. Ανάταξη και προσωρινή συγκράτηση των κομματιών με σταγόνες κυανοακρυλικής ρητίνης (π.χ. Loctite, Eastman, Permabond). Ακολουθεί η συγκόλλησή τους με μια κατάλληλα επιλεγμένη ρητίνη. Η μέθοδος εφαρμόζεται, όταν δεν μπορεί το αντικείμενο να συναρμολογηθεί με αυτοκόλλητη ταινία, και χρησιμοποιούνται σταγόνες κυανοακρυλικής κόλλας στην άκρη κάθε ρωγμής, για να το συγκρατήσουν κατά την τοποθέτηση της εποξειδικής ή άλλου είδους κόλλας.

ΕΙΔΗ ΣΥΓΚΟΛΛΗΤΙΚΩΝ ΓΥΑΛΙΟΥ

1. Ablebond 342-1, εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών. Στερεοποιείται ύστερα από 48 ώρες και μετά τη στερεοποίησή της δεν παρουσιάζει μικρορωγμές, φυσαλίδες και γαλακτώδεις περιοχές. Παρά το γεγονός ότι η σταθερότητα της Ablebond κάτω από την επίδραση του φωτός είναι σχετικά καλή, ο σκληρυντής της κιτρινίζει σημαντικά σε χρονική διάρκεια μικρότερη από δύο χρόνια.

2. Araldite AY 103 με σκληρυντή HY 956, συνθετικό θερμοσκληρυνόμενο συγκολλητικό της κατηγορίας των εποξειδικών ρητινών, οι οποίες παράγονται με αντίδραση μιας πολυεποξειδικής ρητίνης και ενός βασικού ή όξινου σκληρυντή.

Η Araldite, και γενικότερα οι εποξειδικές κόλλες, παρουσιάζουν το μειονέκτημα ότι ως θερμοσκληρυνόμενες είναι πολύ δύσκολα έως καθόλου αντιστρεπτές, ειδικά για πορώδεις υλικό και ότι έχουν μεγάλη ισχύ συγκόλλησης. Επίσης, παρουσιάζουν μεγάλη ευαισθησία στις υπεριώδεις με αποτέλεσμα κιτρίνισμα και κρακελάρισμα.

3. Araldite 2020, εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών, με καλή ρευστότητα και σχετική ευαισθησία στην επίδραση των υπεριωδών ακτίνων.

4. Hxtal Nyl-1, εποξειδική ρητίνη δύο συστατικών. Είναι μία σχετικά σταθερή στο φως συγκολλητική ουσία, αλλά, όπως και οι περισσότερες εποξειδικές ρητίνες, έχει την ιδιότητα να κιτρινίζει υπό την επίδραση της θερμότητας.

5. Loctite glass bond, μια φωτοευαίσθητη κυανοακρυλική ρητίνη που έχει την ιδιότητα να κιτρινίζει εύκολα κατά την επίδραση του φωτός και της θερμοκρασίας, φαινόμενο αρνητικό για τη συγκόλληση γυάλινων αντικειμένων.

6. Uhu instant, κυανοακρυλική κόλλα που κιτρινίζει εύκολα με την επίδραση του φωτός και της θερμοκρασίας.

7. Uhu hart, νιτρική κυτταρίνη της οποίας το χρώμα αλλοιώνεται αισθητά με την έκθεσή της σε ηλιακό φως.

8. HMG, ακρυλική (Paraloid B72). Εμφανίζει σχετική σταθερότητα κατά των οξειδωτικών μέσων, κατά της υπεριώδους ακτινοβολίας και κατά της ήπιας θερμοκρασίας, καθώς διαθέτει και διαύγεια, μηχανική αντοχή και αντιστρεψιμότητα. Παρουσιάζει, όμως, ως μειονέκτημα τη σταδιακή εξασθένιση με την επίδραση του νερού.

Τρόπος ελέγχου των συγκολλητικών

Για να χρησιμοποιηθεί η κάθε κόλλα, πρέπει να γίνει καταγραφή και έλεγχος των παρακάτω χαρακτηριστικών της:

1. Τρόπος παρασκευής.
2. Τρόπος εφαρμογής.
3. Χρώμα ύστερα από τη σκλήρυνση.
4. Ιξώδες.
5. Χρόνος σκλήρυνσης.
6. Αποτελεσματικότητα συναρτήσεως του χρόνου.
7. Πρόσφυση στο γυαλί.
8. Επίδραση των υπεριωδών ακτίνων.
9. Επίδραση της θερμοκρασίας.
10. Επίδραση της υγρασίας.
11. Αντιστρεψιμότητα.
12. Δείκτης διάθλασης σχετικά με το γυαλί.



Διαδικασία συγκόλλησης γυάλινου αντικειμένου με *magic tape* και με εποξειδική ρητίνη.



Διαδικασία συγκόλλησης γυάλινου αντικειμένου με *magic tape* και με εποξειδική ρητίνη.

Άσκηση 6. Να γίνουν ανατάξεις και συγκολλήσεις θραυσμάτων γυάλινου αγγείου, με τη χρήση ακρυλικών και εποξειδικών ρητινών.

ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗ ΤΟΥ ΓΥΑΛΙΟΥ

ΓΕΝΙΚΑ

Οποιαδήποτε διαδικασία συμπλήρωσης εξαρτάται, αρχικά, από τη σοβαρότητα της κατάστασης του αντικειμένου, από τον εξοπλισμό και τα υλικά που έχουμε στη διάθεσή μας και από τις αρχές που διέπουν τον οργανισμό στον οποίο βρίσκεται το αντικείμενο, ο οποίος μπορεί να είναι μουσείο, εφορία Αρχαιοτήτων, ιδιωτική συλλογή, γκαλερί, τράπεζα.

Έτσι, έχουν αναφερθεί:

α. Η ολοκληρωτική συμπλήρωση κενών - παραδοσιακή μέθοδος, όπως αναφέρεται στη σχετική βιβλιογραφία από τους Newton και Davison (1989).

β. Η εσωτερική υποστήριξη του γυαλιού, κατά Fisher και Norman (1987).

γ. Η υποστήριξη ή συμπλήρωση των διάφορων θραυσμάτων σε “στρατηγικά σημεία”, κατά Hogan (1993).

Στην περίπτωση σπασμένων γυάλινων αντικειμένων που πρόκειται να συμπληρωθούν με μια συνθετική ρητίνη το σημαντικό είναι να αποφασιστεί εάν μια τέτοια διαδικασία είναι αποδεκτή, σε ηθικά βέβαια πλαίσια, και πραγματοποιήσιμη με επιτυχία.

Η συμπλήρωση πρέπει να εγγυάται τη σταθερότητα της δομής του αντικειμένου, καθώς επίσης και την αισθητική αποκατάστασή του.

Η επιτυχής πραγματοποίηση της διαδικασίας συμπλήρωσης καθορίζεται από το ποσοστό του σωζόμενου αντικειμένου, από το σχήμα, από το πάχος του γυαλιού, από την κατάσταση, καθώς και από τον τύπο διακόσμησής του. Έτσι, πρέπει να αποφασιστεί ποια μέθοδος κρίνεται ως η πλέον κατάλληλη με βάση το ποσοστό επιτυχίας που φαίνεται να έχει.

Παρ' όλο που κάθε περίπτωση συμπλήρωσης ενός αντικειμένου θεωρείται μοναδική, όπως άλλωστε ισχύει γενικότερα στον τομέα της συντήρησης, είναι δυνατόν να πραγματοποιηθεί μια αρχική ταξινόμηση των διάφορων μεθόδων συμπλήρωσης, οι οποίες έχουν εφαρμοστεί κατά το παρελθόν.

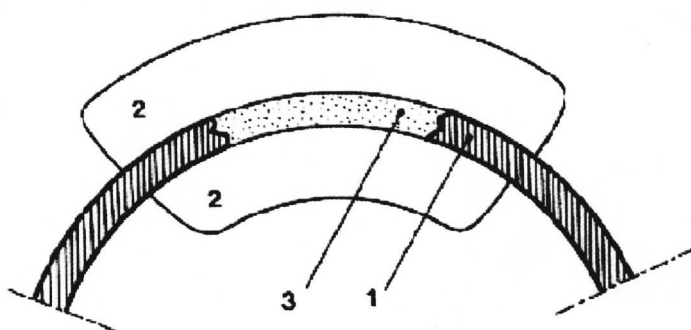
ΜΕΘΟΔΟΙ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ

1. Αγγεία μερικώς συμπληρωμένα, θραύσματα συγκρατημένα προσωρινά:

Όταν σώζεται ένα μικρό μέρος του αγγείου, χρησιμοποιούνται λωρίδες από υαλοπίλημα κομμένες στις σωστές διαστάσεις, οι οποίες γεφυρώνουν τα κενά του γυαλιού και έτσι συγκρατούνται τα κομμάτια που υπάρχουν στις σωστές θέσεις.

2. Συμπλήρωση κενών με καλούπια που αποτυπώνουν μέρος της σωζόμενης επιφάνειας του αγγείου.

Αυτό πραγματοποιείται με ανοιχτά ή με κλειστά καλούπια από οδοντιατρικό κερί, από γύψο καλλιτεχνίας ή από λάστιχο σιλικόνης και με αποτύπωση του ήδη σωζόμενου τμήματος.



1. Γυαλί
2. Οδοντιατρικό κερί ή γύψος ή λάστιχο σιλικόνης
3. Ρητίνη

Σχήμα καλούπιού με οδοντιατρικό κερί ή γύψο ή λάστιχο σιλικόνης.

3. Συμπλήρωση κενών με καλούπια που αποτυπώνουν μια αντιγραφόμενη θέση ή μια προσωρινή συμπλήρωση.

Αυτό πραγματοποιείται με ανοιχτά ή με κλειστά καλούπια από οδοντιατρικό κερί, από γύψο καλλιτεχνίας ή από λάστιχο σιλικόνης και με αποτύπωση του τμήματος που έχει αντιγραφεί με πηλό ή με πλαστελίνη.

4. Συμπλήρωση κενών, όπου το εσωτερικό του αγγείου είναι απρόσιτο για εργασία.

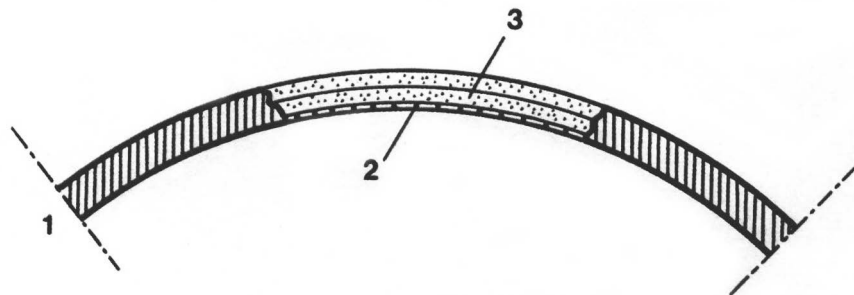
Η συμπλήρωση πραγματοποιείται μακριά από το αντικείμενο, αφού προηγηθεί η συγκόλληση των θραυσμάτων γύρω από την περιοχή του κενού και το τμήμα συγκολλάται κατόπιν στο υπόλοιπο αντικείμενο.

5. Συμπλήρωση εύθραυστου γυάλινου αντικειμένου με λεπτά τοιχώματα,

α. όταν δεν μπορεί να χρησιμοποιηθεί καλούπι,

β. όταν είναι απαραίτητη η συμπλήρωσή του με ανοικτό καλούπι.

Η συμπλήρωση πραγματοποιείται με τη χρήση καλουπιού από την εσωτερική περιοχή και με τοποθέτηση της ρητίνης σε στρώσεις.

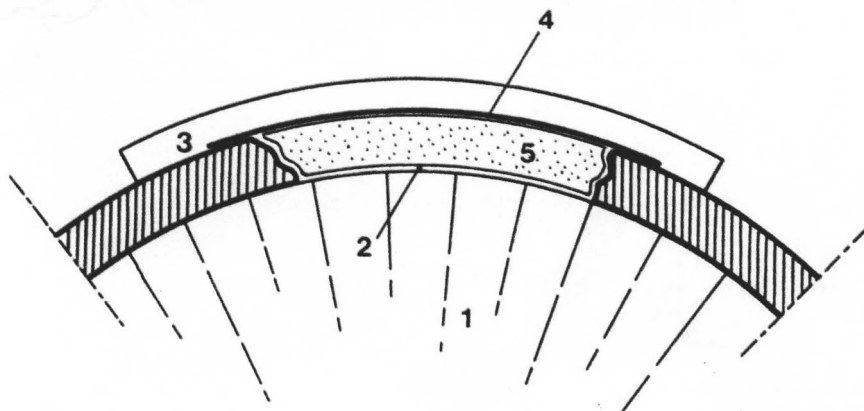


1. Γυαλί
2. Υαλοπίλημα
3. Ρητίνη σε στρώσεις

Σχήμα συμπλήρωσης με τη χρήση καλουπιού από την εσωτερική περιοχή και ρητίνης σε στρώσεις.

6. Συμπλήρωση κενών με τοποθέτηση ακρυλικού φύλλου.

Το ακρυλικό φύλλο ύστερα από κοπή στο σχήμα του κενού παίρνει τη φόρμα με τη χρήση ζεστού αέρα και συγκολλάται στην περιοχή συμπλήρωσης.



1. Μπαλόني, 2. Μονωτικό μέσο: α. Rhodorsil ή β. Spray σιλικόνης ή γ. Ζελατίνη διαφανής (εμπορίου), 3. Φύλλο Melinex, 4. Μονωτικό μέσο του Melinex (Paraloid), 5. Πολυεστερική ρητίνη.

Σχήμα συμπλήρωσης γυαλιού με τη χρήση μπαλονιού.

7. Συμπλήρωση κενών με τοποθέτηση ενός μέσου υποστήριξης.

Η ρητίνη συμπλήρωσης χυτεύεται μακριά από το αντικείμενο, και με το σχεδιασμό των κενών επάνω σε οδοντιατρικό κερί γίνεται κοπή των κενών στο φύλλο της ρητίνης, τα οποία κενά συγκολλώνται στη συνέχεια στις περιοχές συμπλήρωσης.

8. Υποστήριξη κενών με φουσητό γυαλί.

Κατασκευάζονται καλούπια από γύψο και το εσωτερικό τους καλύπτεται με γραφίτη, και μια μπάλα γυαλιού που έχει επιμηκυνθεί εισχωρεί με φύσημα, και με την πίεση που έχει αποκτά το επιθυμητό σχήμα.

9. Τεχνική συμπλήρωσης με μπαλόني.

Το εσωτερικό τμήμα του καλουπιού αποτελείται από ένα μπαλόني που έχει φουσκώσει και έχει πάρει το σχήμα του εσωτερικού του αντικειμένου.

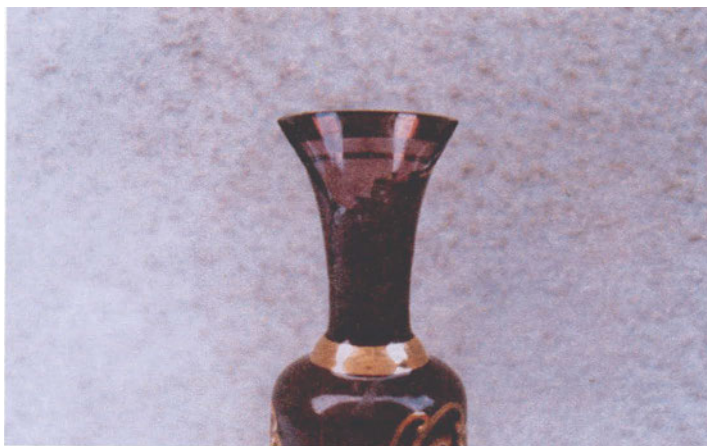
10. Τεχνική συμπλήρωσης με ελαστικό λεπτό σωλήνα.

Πραγματοποιείται, όταν το εσωτερικό του αντικειμένου είναι απρόσιτο για εργασία, οπότε κατασκευάζεται μόνο εξωτερικό καλούπι και η ρητίνη χυτεύεται από το στόμιο με τη βοήθεια ελαστικού λεπτού σωλήνα.

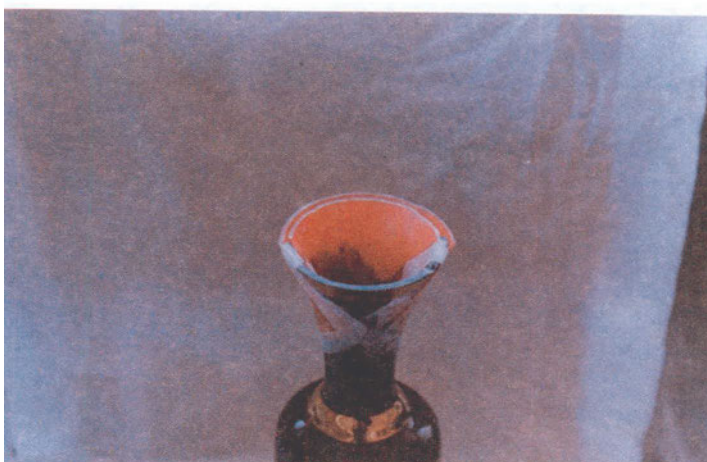
ΥΛΙΚΑ ΣΥΜΠΛΗΡΩΣΗΣ

Οι ρητίνες που χρησιμοποιούνται στη συμπλήρωση του γυαλιού είναι:

1. Trylon Shallowcast EM400PA (πολυεστερική).
2. Tiranti's (πολυεστερική).
3. Technovit 4004-a (ακρυλική).
4. H-210 (πολυεστερική).



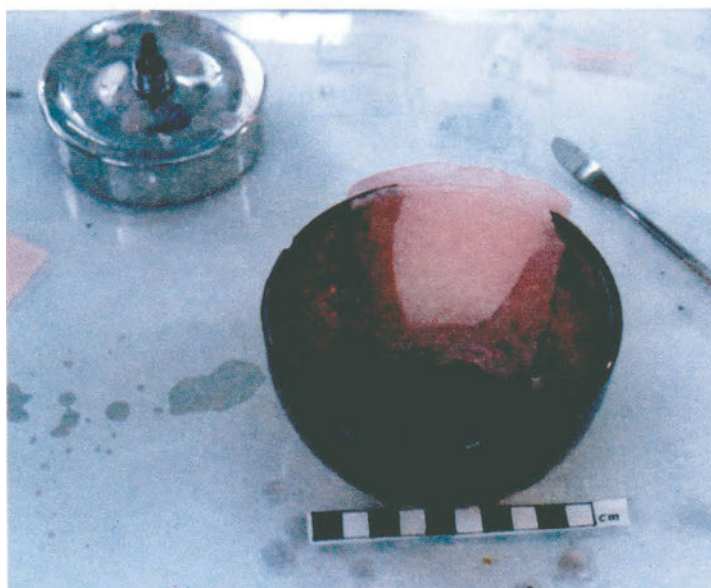
Διαδικασία συμπλήρωσης γυάλινου αντικειμένου με τη χρήση καλουπιού από οδοντιατρικό κερί.



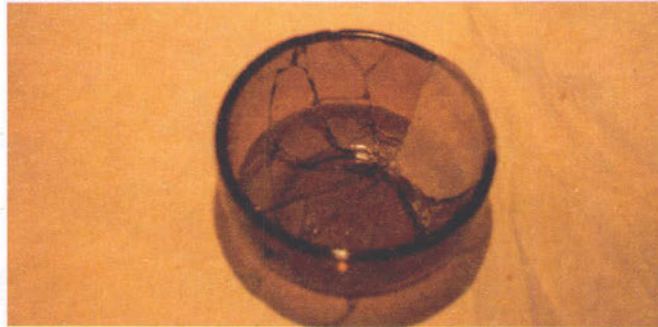
Διαδικασία συμπλήρωσης γυάλινου αντικειμένου με τη χρήση καλουπιού από οδοντιατρικό κερί.



Διαδικασία συμπλήρωσης γυάλινου αντικειμένου με τη χρήση καλουπιού από οδοντιατρικό κερί.



Διαδικασία συμπλήρωσης γυάλινου αντικειμένου με τη χρήση καλουπιού από οδοντιατρικό κερί.



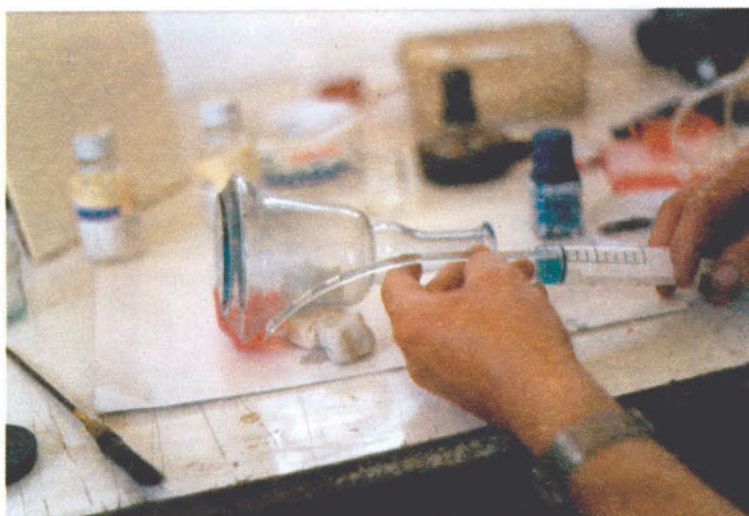
Διαδικασία συμπλήρωσης γυάλινου αντικειμένου με τη χρήση καλουπιού από οδοντιατρικό κερί.



Διαδικασία συμπλήρωσης γυάλινου αντικειμένου με τη χρήση καλουπιού από οδοντιατρικό κερί.



Διαδικασία συμπλήρωσης γυάλινου αντικειμένου με τη χρήση καλουπιού από οδοντιατρικό κερί.



Διαδικασία συμπλήρωσης γυάλινου αντικειμένου με τη χρήση λεπτού ελαστικού σωλήνα.



Γυάλινο αντικείμενο ύστερα από συγκόλληση και συμπλήρωση.

Άσκηση 7. Να γίνουν συμπληρώσεις περιοχών που λείπουν σε γυάλινο αντικείμενο, με τη χρήση εκμαγείου από οδοντιατρικό κερί και με υλικό χύτευσης διαφανή πολυεστέρα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Bradley S.M.,
“Evaluation of Hxtal Nyl-1 and Loctite 350 adhesives for glass conservation”.
The Conservator, N. 14, 1990.
2. Bradley S.M. and Wilthew S.E.,
“The Valuation of Some Polyester and Epoxy Resins used in the Conservation of glass”. ICOM 1984.
3. Brain C. and Brain S.,
“Estimating the refractive index of glass”.
Conservation news 35, p. 21 (1988).
4. Caley E.R.,
Analysis of Ancient Glasses, 1790-1975, Vol. 1, (1962).
Corning Museum of glass.
5. Clairmont C.W.,
Catalogue of Ancient Islamic glass.
Benaki Museum, 1977.
6. Cronyn J.M.,
The Elements of Archaeological Conservation.
Routledge, 1990.
7. Davison S.,
“A review of adhesives and consolidants used in glass antiquities.
Adhesives and consolidants”, IIC 1984, Paris.
8. Down J.L.,
“The Yellowing of Epoxy Adhesives: Report on High - Intensity Light Aging”.
Studies in Conservation, 13 (1986) p. 159-170.
9. Down J.L.,
“The Yellowing of Epoxy Adhesives: Report on Natural Dark Aging”.
Studies in Conservation 29(1984) 63-76.

10. Δρανδάκη Π.,
Μεγάλη Ελληνική Εγκυκλοπαίδεια. Τόμος Α'.
11. El-Shamy T.M. and Douglas R.W.,
"Kinetics of the Reaction of Water with Glass".
Glass Technology 13, p. 77-80 (1972).
12. El-Shamy T.M., Lewins J. and Douglas R.W.,
"The dependence on the pH of decomposition of glass by aqueous solutions".
Glass Technology 13, p. 81-87 (1972).
13. Glass vessels in Ancient Greece.
Ministry of Culture.
Publications of the archaeologikon deltion No 47, 1992.
Archaeological receipts foundation.
14. Harden D.B., Painter K.S., Pinder - Wilson R.H., Tait H.,
Masterpieces of Glass.
British Museum, 1968.
15. Hlavac J.,
The technology of glass and ceramics.
Ed. Elsevier 1983.
16. Hogan L.,
"An improved method of making supportive resin fills for glass".
Conservation News 50, March 1993.
17. Horie C.V.,
Materials for Conservation.
Ed. Butterworths, 1987.
18. Horie C.V.,
"Reversibility of Polymer Treatment". Resins in Conservation p.3-6, 1982.

19. Καμπούρη Ε.Μ.,
Τεχνολογία πολυμερών.
Τόμοι Ι και ΙΙ.
Ε.Μ.Π. Αθήνα 1971.
20. Κοντού Ε.Κ., Κοτζαμάνη Δ.Δ., Λαμπρόπουλου Β.Ν.,
Γυαλί, Τεχνολογία Διάβρωση και Συντήρηση.
Αθήνα 1995.
22. Krumbein W.E., Urzi C., Gehramann C.,
“Biocorrosion and Biodeterioration of Antique and Medieval glass”.
23. Λαμπρόπουλου Β.Ν.,
Διάβρωση και Συντήρηση της Πέτρας.
24. Λαμπρόπουλου Β.Ν.,
Κεραμικά, Τεχνολογία Διάβρωση και Συντήρηση.
Αθήνα 1996.
25. Λαμπρόπουλου Β.Ν., Μανέτα Χ.Α.,
Πορσελάνη, Τεχνολογία Διάβρωση και Συντήρηση.
Αθήνα 1993.
26. Neuburg F.,
Glass in antiquity.
Salisbury Square London 1949.
27. Newby M., Painter K. and others,
Roman Glass: Two centuries of Art and Invention. The society of Antiquaries of
London, 1991.
28. Newton R., Davison S.,
Conservation of Glass.
Butterworths 1989.
29. Newton R.G. and Werner A.E.,
“Definition of the term “devitrification””.
British Academy CVMA.
Occasional papers, 1974.

30. Newton R.G.,
The durability of glass: A review".
Glass Technology 26, p. 21-38 (1985).
31. Paul A.,
Chemistry of glasses.
Chapman and Hall 1982.
32. Phillips P.,
The encyclopedia of glass.
Spring books 1987.
33. Plenderleith H.J. and Werner A.E.A.,
Conservation of Antiquities and Works of Art,
(Treatment, Repair and Restoration).
Oxford University Press, 1956.
34. Pliny.,
Natural History, Books XXXVI - XXXVII.
Translation by D.E. Eichholz.
The Loeb Classical Library.
E.H. Warmington, M.A., F.R. Hist. Soc.
35. Sayre E.V.,
The International use of antimony and manganese in ancient glass,
Matson and Rindone, p. 263-282, (1963).
36. Tait H.,
Five thousand years of glass, British Museum publications Ltd, 48
Bloomsburg Street, London WCB3QQ, 1991.
37. Tennent N.H. and Townsend J.H.,
"The photofading of dyestuffs in epoxy, polyester and acrylic resins".
ICOM 1984, Copenhagen.
38. Tennent N.H. and Townsend J.H.,
"The Significance of the Refractive Index of Adhesives for Glass Repair,
Adhesives and Consolidants".
IIC, Paris 1984.

39. Tite M.S.,
Methods of physical examination in Archaeology,
Seminar Press London and N.Y. 1972.

40. Uhlmann D.R. and Kolbeck A.G.,
“Phase Separation and the revolution in concepts of glass structure”.
Phys. Chem. Glasses 17, p. 147-157, (1976).

41. Wihr R.,
“Repair and Reproduction of ancient glass”.
Recent Advances in Conservation, London, p.152-155 (1963).

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Με τον όρο ψηφιδωτό εννοούμε συνήθως μια αρχιτεκτονική επιφάνεια, δάπεδο, τοίχο, οροφή, η οποία καλύπτεται από ένα διακοσμητικό στρώμα αποτελούμενο από ψηφίδες. Οι ψηφίδες αυτές μπορεί να είναι από φυσικά υλικά, όπως πέτρες, μάρμαρα, φίλντισι, κοράλλι, ημιπολύτιμους λίθους, κόκαλο, κοχύλια κ.ά., ή από κατασκευασμένα υλικά, όπως κεραμίδι, υαλόμαζα, γυαλί κ.ά.

Οι ψηφίδες είναι στερεωμένες πάνω στην επιφάνεια που διακοσμούν με τη βοήθεια ενός κονιάματος, ενός είδους λάσπης.

Συνώνυμο της λέξης ψηφιδωτό είναι η λέξη “μωσαϊκό”, η οποία απαντά σε λατινικά κείμενα.

Ο τεχνίτης που κατασκεύαζε τα ψηφιδωτά ονομαζόταν ψηφοθέτης ή κυβευτής. Στα λατινικά κείμενα γίνεται διάκριση μεταξύ του ψηφοθέτη δαπέδων και του ψηφοθέτη εντοιχίων ψηφιδωτών.

Τα ψηφιδωτά δαπέδου στα αρχαία κείμενα αναφέρονται ως “λιθόστρωτα”, που σημαίνει τον τύπο δαπέδου με πετρώδες υλικό. Ορισμένοι μελετητές ως λιθόστρωτο αναφέρουν και τα δάπεδα με μαρμάρινες ψηφίδες.

ΙΣΤΟΡΙΚΑ ΣΤΟΙΧΕΙΑ

ΠΡΟΕΛΕΥΣΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ

Σχετικά με τον τόπο προέλευσης του ψηφιδωτού διχάζονται οι απόψεις των μελετητών. Άλλοι θεωρούν ως τόπο προέλευσης του ψηφιδωτού την Ελλάδα (Κρήτη) και άλλοι την Ανατολή (Μεσοποταμία).

Οι μελετητές που υποστηρίζουν την προέλευση του ψηφιδωτού από την ανατολή αναφέρουν την ψηφιδωτή παράσταση που ανακαλύφθηκε στο Ουρ της Μεσοποταμίας. Αυτή είναι κατασκευασμένη με κώνους από ψημένη άργιλο, ένθετους στον τοίχο, με τις βάσεις τους να προεξέχουν και βαμμένες με διάφορα χρώματα. Επίσης, αναφέρουν τα υαλοποιημένα πλακάκια που στόλιζαν τους τοίχους αιγυπτιακών κτηρίων. Αυτές οι παραστάσεις δεν μπορούν να θεωρηθούν ψηφιδωτά, διότι δεν υπάρχει τίποτα σε αυτά κοινό με την τέχνη των ψηφιδωτών.

Στον ελληνικό χώρο τα πρώτα δείγματα ψηφιδωτής τέχνης είναι τα δάπεδα από κομμένες πέτρες ή από ποταμίσις ή θαλασσίνα χαλίκια. Δείγματα αυτής της ψηφιδωτής τέχνης έχουμε από την προανακτορική εποχή στην Κρήτη, όπως και από τη Σαντορίνη, όπου έχουν βρεθεί κομμάτια λάσπης ανακατεμένα με χαλίκια.



Ψηφιδωτό δαπέδου-Κυνήγι λιονταριού Πέλλα 300 π.Χ. Το ψηφιδωτό αυτό κατασκευάστηκε με χαλίκια γλυμμένα από το νερό. Μια θαυμάσια σειρά ψηφιδωτών με βότσαλα βρέθηκε στην Πέλλα περί το τέλος του 4ου π. Χ. αιώνα.

ΤΟ ΨΗΦΙΔΩΤΟ ΣΤΗΝ ΑΡΧΑΙΑ ΕΛΛΑΔΑ

Τα αρχαιότερα ψηφιδωτά δάπεδα βρέθηκαν στην Όλυθο, η οποία καταστράφηκε το 384 π.Χ. Είναι κατασκευασμένα με χαλίκια ποταμίσις στρογγυλεμένα και χρονολογούνται στα τέλη του 5ου αιώνα π.Χ. Την ίδια εποχή συνεχίζεται η τέχνη του ψηφιδωτού με βότσαλα στην Πέλλα, στη Σικυώνα, στην Ολυμπία, στην Κόρινθο και στη Ρόδο. Οι πόλεις αυτές μας έδωσαν τα ωραιότερα ψηφιδωτά δάπεδα της κλασικής περιόδου.

Οι παραστάσεις που απεικονίζουν τα ψηφιδωτά αποδίδονται με λεπτομέρειες παρά τους χρωματικούς περιορισμούς των βοτσάλων. Το ψηφιδωτό παίρνει τη μορφή που απο-

δίδει ο ορισμός του στην κλασική περίοδο. Χαρακτηριστικό παράδειγμα αποτελεί ένα ψηφιδωτό της Ρόδου, που αποδεικνύει το πέρασμα από τα βότσαλα στις ψηφίδες. Το ψηφιδωτό δαπέδου φέρει κεντρική παράσταση και το διακοσμητικό πλαίσιο είναι κατασκευασμένο με βότσαλα ενώ η κεντρική παράσταση με ψηφίδες άσπρες και μαύρες.

ΤΟ ΨΗΦΙΔΩΤΟ ΣΤΗΝ ΕΛΛΗΝΙΣΤΙΚΗ - ΡΩΜΑΪΚΗ ΕΠΟΧΗ

Η τέχνη του ψηφιδωτού παίρνει την τελική μορφή της ήδη από τον 5ο - 4ο αιώνα π.Χ. Τα ψηφιδωτά είναι κατασκευασμένα από βότσαλα, σε φυσικούς χρωματισμούς, γεγονός που περιορίζει τον καλλιτέχνη ως προς τις χρωματικές επιλογές.

Με το πέρασμα του χρόνου οι συνθέσεις των ψηφιδωτών αντιγράφουν ζωγραφικά έργα. Έτσι γίνεται απαραίτητος ο εμπλουτισμός της υπάρχουσας ποικιλίας χρωμάτων και εξελίσσεται σταδιακά η τεχνική που αφορά την παρασκευή και τη χρήση τους.

Οι τεχνίτες χρησιμοποιούν την “κυβική” ψηφίδα, της οποίας η χρήση ξεκίνησε σε ψηφιδωτά της Αλεξάνδρειας, η οποία ήταν το σπουδαιότερο κέντρο της ελληνιστικής περιόδου.



Μουσικοί, ψηφιδωτό του Διοσκουρίδη του Σάμιου 3ος αι. π.Χ. Έπαυλη του Κικέρωνα στην Πομπηία. Δείγμα της δεξιοτεχνίας του ψηφοθέτη για τη δημιουργία ζωγραφικής εντύπωσης.

*Είναι ίσως αντίγραφο ζωγραφικού πίνακα της ελληνιστικής εποχής
(Εθνικό Μουσείο Νάπολη).*

Το ψηφιδωτό καταλαμβάνει τη θέση του ανάμεσα στις άλλες τέχνες, και οι καλλιτέχνες αρχίζουν να υπογράφουν τα έργα τους. Η Πέργαμος αποτέλεσε μια από τις πόλεις με την καλύτερη σχολή και τη μεγαλύτερη παράδοση στην τέχνη των ψηφιδωτών με καλλιτέχνες όπως το Σώσο και το Διοσκουρίδη το Σάμιο.

Παρ' όλο που το ψηφιδωτό έχει τις ρίζες του στον ελλαδικό χώρο, οι Ρωμαίοι είναι αυτοί οι οποίοι συνέβαλαν στην εξέλιξη της τεχνικής του και διέδωσαν αυτή τη μορφή τέχνης από τη Βρετανία ως την Ασία και τη Β. Αφρική· οι ίδιοι χρησιμοποίησαν το ψηφιδωτό για τη διακόσμηση τόσο δημόσιων κτηρίων όσο και ιδιωτικών κατοικιών.



Περιστέρια γύρω από ένα κύπελλο 2ος αι. μ.Χ. Έπαυλη του Ανδριανού. Ίσως είναι αντίγραφο του μωσαϊκού του Σώσου από την Πέργαμο για το οποίο μιλά ο Πλίνιος ο Πρεσβύτερος (Μουσείο Καπιτωλίου, Ρώμη).

Το ψηφιδωτό στους ρωμαϊκούς χρόνους θεωρείται αρχικά είδος πολυτελείας και κοσμει κυρίως δημόσια κτήρια, ιερά, ανάκτορα και οικίες πλουσίων. Την τελευταία περίοδο της ρωμαϊκής αυτοκρατορίας, τον 1ο αιώνα π.Χ., το ψηφιδωτό αποτελεί την πιο διαδεδομένη μορφή τέχνης και η Ιταλία αποτελεί το σημαντικότερο κέντρο κατασκευής ψηφιδωτών. Την περίοδο αυτή εμφανίζονται διάφορες παραλλαγές στην τεχνική κατασκευής των ψηφιδωτών. Την ίδια περίοδο τα ψηφιδωτά δε διακοσμούν μόνο δάπεδα και τοίχους αλλά και αρχιτεκτονικά μέλη των κτηρίων.

ΤΟ ΨΗΦΙΔΩΤΟ ΣΤΟΥΣ ΒΥΖΑΝΤΙΝΟΥΣ ΧΡΟΝΟΥΣ

Κατά τους πρώτους χριστιανικούς χρόνους τα πρώτα ψηφιδωτά με μαρμάρινες ψηφίδες τα συναντά κανείς ως διακοσμητικά στοιχεία στους θόλους στις κατακόμβες. Ως τόποι λατρείας χρησιμοποιήθηκαν αρχικά οι ρωμαϊκές βασιλικές, τις οποίες με διάφορες προσθήκες και μεταρρυθμίσεις τις μετέτρεψαν σε ναούς. Ακολούθησαν την ψηφιδωτή διακόσμηση που είχαν αρχικά τα κτήρια, και οι πρώτες χριστιανικές βασιλικές που κτίστηκαν ως λατρευτικοί χώροι διακοσμήθηκαν με ψηφιδωτά με θέματα από τη ρωμαϊκή και την αλεξανδρινή περίοδο.

Στα θέματα αυτά ανέμειξαν διάφορα χριστιανικά σύμβολα όπως ψάρια, αμπέλια, πλοία, ενώ κατασκεύασαν παραστάσεις φυτών και ζώων, καθώς και σκηνές από την καθημερινή ζωή. Η τεχνική κατασκευής τους ακολουθεί τους ρωμαϊκούς τρόπους. Τα ψηφιδωτά διακοσμούν τους τοίχους των κτηρίων, ενώ στο φόντο παρατηρείται η χρήση του χρυσού, που αντικαθιστά το λευκό χρώμα δίνοντας μια νέα όψη στα ψηφιδωτά της περιόδου αυτής.

Τη βυζαντινή περίοδο, και συγκεκριμένα από τον 6ο - 12ο αιώνα μ.Χ., η τέχνη του ψηφιδωτού φτάνει στην κορύφωσή της. Η θεματολογία των παραστάσεων αφορά εικόνες προφητών, αποστόλων και μαρτύρων.



Η Σταύρωση τέλη 11ου αι. Μονή Δαφνίου (καθολικό). Η χρήση των χρυσών ψηφίδων ως φόντο κάνει πιο έντονη την απόδοση του μαρτυρίου του Χριστού.

Για να αντιμετωπιστεί το πρόβλημα των περιορισμένων χρωμάτων από τη χρήση των φυσικών λίθων, χρησιμοποιούνται χρωματιστές υαλοψηφίδες, ενώ οι ψηφίδες από μάρμαρο χρησιμοποιούνται, για να αποδώσουν τους τόνους της σάρκας.

Εκτός από τα εντοιχία ψηφιδωτά κα από τα ψηφιδωτά δαπέδου, κατασκευάζονταν φορητά ψηφιδωτά μικρών διαστάσεων με πολύ μικρές ψηφίδες.

ΤΟ ΨΗΦΙΔΩΤΟ ΑΠΟ ΤΟ 16ο ΑΙΩΝΑ ΕΩΣ ΣΗΜΕΡΑ

Με τη διάλυση της βυζαντινής αυτοκρατορίας η τέχνη του ψηφιδωτού συνεχίζεται στη Β.Α. Ιταλία και κυρίως στη Βενετία, η οποία αποτέλεσε το κέντρο της ψηφοθετικής τεχνικής και της υαλουργίας, όπου επικρατεί η βυζαντινή τεχνική κατασκευής τους.

Το 18ο αιώνα το εργαστήριο κατασκευής ψηφιδωτών του Βατικανού επιλέγει για τη θεματολογία του διάφορα έργα ζωγράφων της Αναγέννησης με όλες τις ζωγραφικές λεπτομέρειές τους. Για την κατασκευή τους χρησιμοποιήθηκαν ψηφίδες σε διάφορες αποχρώσεις, οι οποίες δημιουργήθηκαν με την εξέλιξη της υαλουργίας.

Την ίδια χρονική περίοδο στη Γαλλία δημιουργήθηκαν εργαστήρια ψηφιδωτών. Έργα τους χρησιμοποιήθηκαν για τη διακόσμηση αιθουσών στο Λούβρο, καθώς και για τη διακόσμηση διάφορων εκκλησιών.

ΣΤΟΙΧΕΙΑ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΩΝ ΨΗΦΙΔΩΤΩΝ

ΠΡΟΕΤΟΙΜΑΣΙΑ ΥΠΟΣΤΡΩΜΑΤΟΣ

Τα πρώτα ψηφιδωτά που κατασκευάστηκαν ήταν ψηφιδωτά δαπέδου που απεικόνιζαν απλά γεωμετρικά σχέδια. Η τεχνική κατασκευής τους εξελίσσεται με τη χρήση νέων υλικών.

Γραπτές μαρτυρίες για τον τρόπο προετοιμασίας του εδάφους σώζονται σε περιγραφές του Βιτρούβιου και του Πλίνιου του πρεσβύτερου, οι οποίοι αναφέρουν ότι οι τεχνίτες ακολουθούσαν την εξής διαδικασία:

α. Έσκαβαν το έδαφος σε βάθος από 50 cm μέχρι 1 m.

β. Έβρεχαν το έδαφος και το χτυπούσαν, για να γίνει στερεό, και στη συνέχεια το αλά-διαζαν.

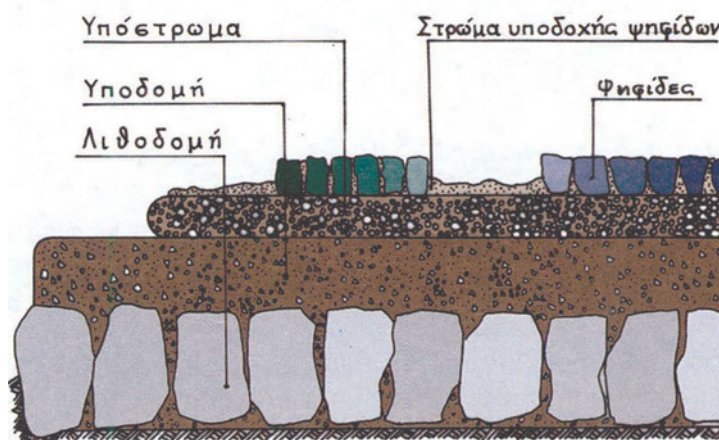
γ. Τοποθετούσαν χοντρές πέτρες ή χαλίκια ποταμίσια - θαλασσινά, και έφτιαχναν αυτό το οποίο ονόμαζαν **λιθοδομή**.

δ. Επάνω στο πρώτο στρώμα (λιθοδομή) έφτιαχναν δεύτερο από σπασμένο κεραμίδι και θηραϊκή γη, πάχους 7 - 8 cm, το οποίο ονομαζόταν **στρώμα υποδομής**.

ε. Ακολουθούσε η κατασκευή τρίτου στρώματος, πάχους 2-5 cm, από ασβέστη (σβησμέ-νο), μαρμαρόσκονη, θηραϊκή γη και κεραμιδόσκονη, το οποίο ονομαζόταν **υπόστρωμα**.

στ. Η κατασκευή του τέταρτου στρώματος, πάχους 5 - 12 cm, γινόταν με τη χρήση ασβέστη και κεραμιδόσκονης, και αποτελούσε **το υπόστρωμα του στρώματος με τις ψηφίδες**.

ζ. Το τελευταίο, πέμπτο, στρώμα, πάχους 2-3 cm, το κατασκεύαζαν από λεπτή άμμο, ασβέστη και μαρμαρόσκονη, και επάνω σ' αυτό τοποθετούσαν τις ψηφίδες. Αυτό αποτε-λεί το **στρώμα υποδοχής των ψηφίδων**.



Σχηματική απεικόνιση των στρωμάτων ψηφιδωτού δαπέδου.

Τα εντοιχία ψηφιδωτά διαφέρουν από τα ψηφιδωτά δαπέδου ως προς το σημείο τοποθέτησής τους και ως προς την κατασκευή του υποστρώματός τους.

Δύο είναι τα χαρακτηριστικά του υποστρώματος των εντοιχίων ψηφιδωτών:

1. Τα στρώματα υποδομής είναι μικρότερου πάχους από τα αντίστοιχα των ψηφιδωτών δαπέδου.
2. Τα υλικά είναι πιο λεπτόκοκκα από τα υλικά των ψηφιδωτών δαπέδου. Δεν υπάρχει ένας συγκεκριμένος τύπος κονιάματος. Η σύσταση του κονιάματος πολλές φορές εξαρτιόταν από το σημείο τοποθέτησης του ψηφιδωτού.

Η προετοιμασία του υποστρώματος για την κατασκευή των εντοιχίων ψηφιδωτών γινόταν με τον εξής τρόπο:

α. Το πρώτο στρώμα κατασκευαζόταν από χοντρή άμμο, ασβέστη και κεραμιδόσκονη, το τοποθετούσαν επάνω στις πέτρες ή στα τούβλα και χρησίμευε για την ισοπέδωση του τοίχου. Το στρώμα στηριζόταν στους τοίχους με μεγάλα καρφιά.

β. Αφού το πρώτο στρώμα στέγνωνε καλά, τοποθετούσαν στην ανώμαλη επιφάνειά του, για να συγκρατεί το επόμενο στρώμα, το δεύτερο στρώμα από τα ίδια υλικά σε λεπτότερη κοκκομετρία και το άφηναν να στεγνώσει.

γ. Το τρίτο υπόστρωμα είχε πάχος 5 mm και αποτελούνταν από ασβέστη, λεπτόκοκκη μαρμαρόσκονη, κεραμιδόσκονη, και, για να αυξηθούν οι μηχανικές αντοχές του, προσέθεταν στο μείγμα κόλλες και αβγό. Στο στρώμα αυτό πολλές φορές υπήρχαν χρώματα ή εγχαράξεις του προσχεδίου. Επάνω σ' αυτό, ενώ ήταν ακόμα νωπό, τοποθετούσαν το χαρτί, στο οποίο ήταν κολλημένες οι ψηφίδες σύμφωνα με το σχέδιο, και κτυπούσαν, ώστε να εισχωρήσουν οι ψηφίδες στο υπόστρωμα.

Μετά τη στερεοποίηση του υποστρώματος με τις ψηφίδες αυτό βρεχόταν, ώστε να ξεκολλήσει το χαρτί ή το ύφασμα και να αποκαλυφθούν οι ψηφίδες.

Η κατασκευή του υποστρώματος και της υποδομής των ψηφιδωτών δεν είναι πάντα ίδια, αλλά διαφέρει πολλές φορές ανάλογα με τη χρονική περίοδο ή με τη γεωγραφική περιοχή που αντιπροσωπεύει.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ

Πρωταρχικό στοιχείο για την κατασκευή ενός ψηφιδωτού είναι η εύρεση του σχεδίου ή της παράστασης που θα απεικονίζει.

Η κατασκευή των ψηφιδωτών δαπέδου γινόταν με τον εξής τρόπο:

α. Το πρώτο στάδιο περιλάμβανε το σχεδιασμό του ψηφιδωτού σε χαρτόνι, επάνω στο οποίο σημειώνονταν τα χρώματα που θα τοποθετούσε ο ψηφοθέτης.

β. Το σχέδιο μεταφερόταν, στη συνέχεια, στην επιφάνεια τοποθέτησης του ψηφιδωτού, προσαρμοσμένο στις αναλογίες του διαθέσιμου χώρου. Η μεταφορά του σχεδίου γινόταν στο στρώμα τοποθέτησης, όπου ο ψηφοθέτης τοποθετούσε τις ψηφίδες.

γ. Στο τελευταίο στάδιο ο ψηφοθέτης τοποθετούσε στο νωπό κονίαμα τις χρωματιστές ψηφίδες. Μερικές φορές, για να διευκολυνθεί στην εργασία του, χώριζε το σχέδιο με λεπτά ελάσματα, τα οποία αφαιρούσε με την ολοκλήρωση της εργασίας του ή σε ορισμένες περιπτώσεις τα άφηνε επάνω.

Τα εντοίχια ψηφιδωτά κατασκευάζονταν στο εργαστήριο και κατόπιν τοποθετούνταν στον τοίχο.

α. Ζωγράφιζαν επάνω σε σκληρό χαρτί ή σε ύφασμα ανεστραμμένη την εικόνα η οποία επρόκειτο να ψηφοθετηθεί.

β. Κολλούσαν τις ψηφίδες που αντιστοιχούσαν σε κάθε χρώμα σε μικρή απόσταση μεταξύ τους, με την κανονική επιφάνειά τους κολλημένη στο χαρτί και ελεύθερη την επιφάνεια που θα εισχωρούσε στο υγρό κονίαμα.

γ. Στη συνέχεια τοποθετούσαν τις ψηφίδες σε νωπό κονίαμα στον τοίχο και αφαιρούσαν το χαρτί ή το ύφασμα αποκαλύπτοντας την ψηφιδωτή επιφάνεια.

ΥΛΙΚΑ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ

Για την προετοιμασία του υποστρώματος χρησιμοποιήθηκαν κάποια κονιάματα τα οποία όσο πλησίαζαν προς την επιφάνεια του ψηφιδωτού γίνονταν πιο λεπτόκοκα.

Το υλικό σύνδεσης στα κονιάματα είναι ο σβησμένος ασβέστης και η θηραϊκή γη, που προσδίδουν (κυρίως ο ασβέστης) μεγάλη σκληρότητα στα κονιάματα.

Ως αδρανή υλικά χρησιμοποιούνταν η άμμος, η κεραμιδόσκονη και το κεραμάλευρο.

Στην αρχή κατασκευής του ψηφιδωτού ως ψηφίδες χρησιμοποιήθηκαν στρογγυλεμένα χαλίκια και στη συνέχεια χαλίκια κομμένα σε κύβους.

Για την κατασκευή πολύχρωμων ψηφιδών χρησιμοποιήθηκαν από τους τεχνίτες χρωματιστά μάρμαρα, ενώ σε πιο περίτεχνες συνθέσεις χρησιμοποιήθηκαν και άλλα υλικά όπως φίλντισι, κοράλλι και ημιπολύτιμοι λίθοι.

Η εξέλιξη στην τεχνική κατασκευής του ψηφιδωτού και η ανάπτυξη της υαλουργίας έδωσαν τη δυνατότητα στους ψηφοθέτες να χρησιμοποιήσουν ψηφίδες από υαλόμαζα, στις οποίες έδιναν μεγάλη ποικιλία χρωμάτων. Σ' αυτές συμπεριλαμβάνονταν η χρυσή και η αργυρή ψηφίδα.

Οι ψηφίδες αυτές αποτελούνταν από υαλώδη αδιαφανή μάζα, η οποία έπαιρνε το χρωματισμό της με τη χρήση μεταλλικών οξειδίων, όπως είναι τα οξείδια σιδήρου για το κίτρινο και το καστανό, το οξείδιο χαλκού για το πράσινο και το κόκκινο, το οξείδιο κοβαλτίου για το μπλε.

Ο τρόπος κατασκευής αναφέρεται στο κεφάλαιο συντήρησης του γυαλιού.

Άσκηση 1. Κατασκευή μικρού δείγματος ψηφιδωτής επιφάνειας και συγκόλλησή της σε κονίαμα.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ

ΓΕΝΙΚΑ

Κάθε υλικό τείνει να ισορροπήσει με το περιβάλλον στο οποίο βρίσκεται. Οποιαδήποτε αλλαγή στις συνθήκες του περιβάλλοντος διαταράσσει την υπάρχουσα ισορροπία, με αποτέλεσμα κάθε υλικό να πρέπει να προσαρμοστεί στις νέες συνθήκες, γεγονός που οδηγεί στη φθορά του.

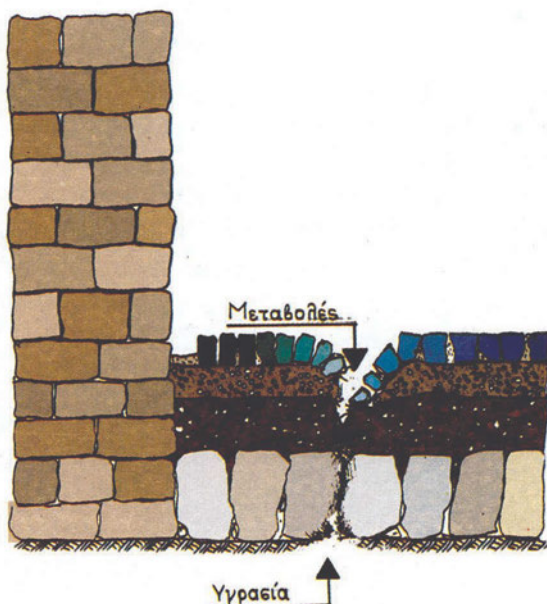
Οι συνεχείς αυτές μεταβολές, οι οποίες αλλάζουν τις φυσικοχημικές ιδιότητες των υλικών, έχουν ως συνέπεια τη διάβρωση του αντικειμένου. Η φθορά του ψηφιδωτού από τους παράγοντες που αναφέρονται παρακάτω έχουν μελετηθεί αναλυτικά στο κεφάλαιο συντήρησης της πέτρας.

ΦΘΟΡΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΑΠΟ ΤΗΝ ΕΠΙΔΡΑΣΗ ΤΟΥ ΝΕΡΟΥ

ΓΕΝΙΚΑ

Η παρουσία του νερού αποτελεί τη σημαντικότερη αιτία διάβρωσης τόσο των κονιαμάτων όσο και των ψηφίδων (γυάλινων, μαρμάρινων). Το νερό εισχωρεί στο εσωτερικό των στρωμάτων κονιαμάτων και ψηφιδωτών:

- α. με τη συμπύκνωση των υδρατμών,
- β. με τη διείσδυση του νερού της βροχής και
- γ. με τριχοειδή αναρρίχηση από το υπέδαφος.



Το νερό εισχωρεί στο εσωτερικό των κονιαμάτων και μεταφέρει διαλυτά άλατα από την ατμόσφαιρα και από το έδαφος, και καλύπτει σημαντικό ποσοστό των πόρων του υλικού. Στη δράση του νερού περιλαμβάνεται και η διάλυση κάποιων συστατικών των κονιαμάτων.

Σχηματίζονται ευδιάλυτες ενώσεις, με αποτέλεσμα την απώλεια υλικού, τη μετατροπή των κονιαμάτων σε σκόνη με την απομάκρυνση της υγρασίας και γενικά την αποσύνθεσή τους.

Η διάβρωση του ψηφιδωτού από την υγρασία και τις ατμοσφαιρικές μεταβολές.

Το νερό με το φαινόμενο της τριχοειδούς αναρρίχησης κινείται από το επίπεδο της υποδομής των ψηφιδωτών προς την επιφάνειά τους και, όταν φτάσει σε ελεύθερη επιφάνεια, εξατμίζεται.

Όταν η ποσότητα του νερού που εξατμίζεται είναι μικρότερη από την ποσότητα που είναι μέσα στους πόρους των κονιαμάτων, τότε η περίσσεια του νερού αποθηκεύεται με τη μορφή υγρασίας. Η συνεχής αυτή κίνηση του νερού προς την άνω επιφάνεια των ψηφιδωτών έχει ως αποτέλεσμα τη συσσώρευση αλάτων σ' αυτήν, που οδηγεί στη φθορά των κονιαμάτων και των ψηφίδων, στην ανάπτυξη επιφανειακών τάσεων, στη δημιουργία ρωγμών, στην αποκόλληση των ψηφίδων και βαθμιαία ακόμα και σε αποσύνθεση των υλικών.

ΠΑΓΕΤΟΣ

Όταν το νερό που βρίσκεται μέσα στους πόρους των υλικών με τη μείωση της θερμοκρασίας μετατρέπεται σε πάγο, τότε αυξάνεται ο όγκος του, με αποτέλεσμα να ασκεί πιέσεις που διασπούν τα τοιχώματα των πόρων, μειώνοντας την αντοχή και τη συνοχή των υλικών, γεγονός που μπορεί να οδηγήσει στο θρυμματισμό τους.

ΚΡΥΣΤΑΛΛΩΣΗ ΤΩΝ ΔΙΑΛΥΤΩΝ ΑΛΑΤΩΝ

Τα άλατα (ανθρακικά, θειικά, χλωριούχα) που βρίσκονται διαλυμένα στο νερό μέσα στους πόρους των υλικών κρυσταλλοποιούνται με τις μεταβολές της θερμοκρασίας και της σχετικής υγρασίας. Το νερό μετακινείται προς την εξωτερική επιφάνεια των ψηφιδωτών και εξατμίζεται, ενώ τα άλατα συσσωρεύονται και κρυσταλλώνονται στους επιφανειακούς πόρους με τη μορφή κρυστάλλων. Εάν ο κενός χώρος μέσα στους πόρους όπου σχηματίζονται οι κρύσταλλοι δεν είναι επαρκής, τότε αναπτύσσονται τάσεις που προκαλούν ρωγμές ή αποσάθρωση του υλικού.

ΦΘΟΡΑ ΑΠΟ ΧΗΜΙΚΗ ΑΠΟΣΥΝΘΕΣΗ

Το νερό της ατμόσφαιρας είναι όξινο, αφού διαλύει το διοξείδιο του άνθρακα που υπάρχει στον αέρα. Το όξινο διάλυμα αντιδρά με τα ανθρακικά άλατα που περιέχονται στα κονιάματα και στις ψηφίδες σχηματίζοντας ουσίες διαλυτές στο νερό.

Σε περίπτωση ατμοσφαιρικής ρύπανσης η παρουσία του διοξειδίου του θείου στην ατμόσφαιρα οδηγεί στο σχηματισμό θειικού οξέος παρουσία υγρασίας στον αέρα.

Το θειικό οξύ που σχηματίζεται, επιδρώντας σε ανθρακικές, πυριτικές, και αργιλικές ενώσεις, οδηγεί στο σχηματισμό υδατοδιαλυτών ενώσεων, που απομακρύνονται από το κονίαμα και από τις ψηφίδες, αυξάνοντας το πορώδες και μειώνοντας την αντοχή των υλικών.

Εάν κάποια σημεία του ψηφιδωτού προστατεύονται από τη βροχή, τότε τα άλατα που σχηματίζονται μαζί με τη σκόνη και με τον καπνό σχηματίζουν σκληρές επικαθίσεις στην ψηφιδωτή επιφάνεια.

ΦΘΟΡΑ ΑΠΟ ΒΙΟΛΟΓΙΚΟΥΣ ΠΑΡΑΓΟΝΤΕΣ

Ως κυριότεροι παράγοντες μπορούν να αναφερθούν τα βακτήρια, οι μύκητες, τα φύκη, οι λειχήνες και τα βρύα. Το περιβάλλον που ευνοεί την ανάπτυξή τους είναι η παρουσία υγρασίας, οργανικών ουσιών, ανόργανων αλάτων, φως και μέτριας θερμοκρασίας.

Αποτέλεσμα της δράσης τους με όξινες ή με αλκαλικές εκκρίσεις, σε συνδυασμό και με τους άλλους παράγοντες φθοράς, είναι ο σχηματισμός ευδιάλυτων ενώσεων που απομακρύνονται, η αύξηση του πορώδους, η μείωση της αντοχής τους και σε μεγαλύτερο βαθμό η διάβρωση ή η αποσάθρωση των υλικών κατασκευής των ψηφιδωτών, ενώ ορισμένα προκαλούν λεκέδες στην επιφάνεια των ψηφιδωτών.



Τμήμα ψηφιδωτού όπου οι ψηφίδες και το κονίαμα έχουν καλυφθεί με λειχήνες.



Διάβρωση των ψηφιδωτών από βρύα.



Η ανάπτυξη φυτών ανάμεσα στις ψηφίδες του ψηφιδωτού.



Αποσύνθεση του ψηφιδωτού από τη δράση των φυτών.

Τα φυτά τα οποία αναπτύσσονται στους αρμούς, μεταξύ των ψηφίδων του ψηφιδωτού, αποτελούν σημαντικό παράγοντα διάβρωσής του. Οι ρίζες των φυτών που εισχωρούν στο κονίαμα ασκούν μεγάλες πιέσεις και δημιουργούν ρωγμές, και βαθμιαία οδηγούν στην πλήρη αποσύνθεση του ψηφιδωτού.

Η ΜΟΡΦΗ - ΦΥΣΗ ΤΩΝ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΔΙΑΒΡΩΣΗΣ

ΑΠΟ ΑΝΑΣΚΑΦΗ

Θρυμματισμός

Σε υγρά εδάφη όλα τα συγκολλητικά υλικά των κονιαμάτων χάνουν τη συνοχή τους. Η άργιλος απορροφά υγρασία, η γύψος και η σβησμένη άσβεστος διαλύονται αργά, ενώ η άσβεστος και οι αργιλοπυριτικές ουσίες αποσυντίθενται αργά και οδηγούν σε θρυμματισμό και σε μορφή σκόνης τα συστατικά.

Οι τρίχες και το άχυρο που χρησιμοποιούνται στα αρχαία κονιάματα σαπίζουν και εξασθενούν. Εάν η άμμος που υπάρχει ως συστατικό σε γυψοκονίαμα είναι πολύ λεπτή, θα έχει ως αποτέλεσμα το θρυμματισμό του κονιαμάτος. Τα ασβεστοκονιάματα - γυψοκονιάματα τα οποία έχουν καεί «επί τόπου» μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό οξειδίου του ασβεστίου, εάν η τιμή της θερμοκρασίας είναι αρκετά υψηλή.

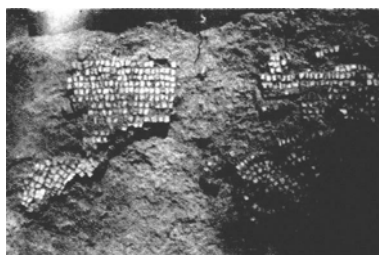
Τα ψηφιδωτά που βρίσκονται θαμμένα κάποια εκατοστά μέσα στο έδαφος είναι συνήθως ιδιαίτερα ευαίσθητα στη φωτιά, διότι η αύξηση της θερμοκρασίας διαλύει την ψηφιδωτή επιφάνεια και το κονίαμα.

Επικαθίσεις

Στρώματα αδιάλυτων αλάτων σχηματίζονται στην επιφάνεια των ψηφιδωτών. Η φθορά των ασβεστοκονιαμάτων - γυψοκονιαμάτων συμβάλλει στο σχηματισμό τους. Εάν η σβησμένη άσβεστος ήταν ατελής, θα παρουσιαστούν εξογκώματα από το σχηματισμό του $\text{Ca}(\text{OH})_2$. Εάν ένα ψηφιδωτό δαπέδου έχει καεί είτε κατά τη διάρκεια της ταφής του είτε επειδή έχει βρεθεί εκτεθειμένο στο περιβάλλον, τότε η άργιλος την οποία περιέχει μετατρέπεται σε κεραμικό.

Διάσπαση - Αποσύνθεση

Εάν το έδαφος στο οποίο βρίσκεται τοποθετημένο το ψηφιδωτό παρουσιάσει καθίζηση από την κατάρρευση προϋπαρχόντων κενών στο εσωτερικό του, το ψηφιδωτό στο σημείο αυτό θα μετατοπίζεται από την αρχική θέση του χωρίς να διαταράσσεται η συνοχή κονιαμάτος - ψηφιδωτής επιφάνειας. Εάν το κονίαμα είναι πολύ εύθριπτο, τότε παρατηρείται αποσύνθεση της ψηφιδωτής επιφάνειας.



Αποκάλυψη σπαραγμάτων ψηφιδωτού σε ανασκαφική έρευνα.

ΔΙΑΒΡΩΣΗ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΑΝΑΣΚΑΦΗ

Θρυμματισμός - απολεπίσεις, εμφάνιση λευκών επικαθίσεων

Τα υλικά κατασκευής των ψηφιδωτών είναι πορώδη και, επομένως, όταν ένα ψηφιδωτό αποκαλύπτεται κατά τη διάρκεια ανασκαφικής έρευνας από ένα έδαφος πλούσιο σε άλατα, θα παρουσιάσει διάβρωση από διαλυτά άλατα με τη μορφή λευκών επικαθίσεων στην επιφάνεια του ψηφιδωτού ή με τη μορφή ρωγμών και απολεπίσεων εξαιτίας των τάσεων που ασκούν τα άλατα, όταν βρίσκονται μέσα στους πόρους των υλικών.

Όταν ένα συστατικό έχει εξασθενήσει κατά τη διάρκεια της ταφής, με την αποκάλυψή του και την έκθεσή του στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον, καθώς και με την απομάκρυνση - εξάτμιση της υγρασίας θα θρυμματιστεί προκαλώντας φθορά του κονιάματος.

Σκλήρυνση του κονιάματος

Με την απομάκρυνση της υγρασίας τα πορώδη υλικά επανακτούν τη σκληρότητα και τη συνοχή μεταξύ τους, όχι όμως αυτές που υπήρχαν αρχικά κατά την κατασκευή του ψηφιδωτού. Όταν, όμως, η απομάκρυνση της υγρασίας συνοδεύεται από σκλήρυνση και συρρίκνωση της σκόνης, καθώς και από κρυστάλλωση των αλάτων, τότε προκαλείται φθορά στο ψηφιδωτό.

Διάβρωση από την έκθεση στο περιβάλλον

Τα υλικά τα οποία έχουν υποστεί διάβρωση κατά τη διάρκεια της ταφής είναι επίσης αρκετά ευπαθή σε περαιτέρω διάβρωση από την έκθεσή τους για μεγάλο χρονικό διάστημα στο ατμοσφαιρικό περιβάλλον.

Ο άνεμος, η βροχή και ο παγετός, καθώς και η ανάπτυξη των φυτών (ρίζες και όξινη έκκριση) προκαλούν διάβρωση. Το ξερίζωμα των φυτών είναι επίσης καταστρεπτικό, διότι προκαλεί θραύση των κονιαμάτων και αποκόλληση των ψηφιδών. Τα διαλυτά άλατα αποτελούν σημαντικό πρόβλημα. Καθώς η επιφάνεια των πορωδών υλικών στεγνώνει στον αέρα ή στον ήλιο, το νερό που περιέχει διαλυτά άλατα κινείται από το εσωτερικό προς την επιφάνεια, για να εξατμιστεί. Τα άλατα κρυσταλλώνονται, ενώ το νερό εξατμίζεται, και αποσαθρώνουν την εκτεθειμένη επιφάνεια του ψηφιδωτού προκαλώντας διάβρωση.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ

ΑΠΟΚΑΛΥΨΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΔΑΠΕΔΟΥ

Κατά τη διάρκεια των ανασκαφικών ερευνών αποκαλύπτονται τμήματα ψηφιδωτών ή ολόκληρα ψηφιδωτά. Για την αποκάλυψή τους η απομάκρυνση του χώματος γίνεται προσεκτικά, ώστε να:

1. Μην παρασυρθούν αποκολλημένες ψηφίδες με την αφαίρεση του χώματος.
2. Μην καταρρεύσει το στρώμα των ψηφίδων σε περίπτωση που το υπόστρωμα είναι σαθρό και σε ορισμένα σημεία παρουσιάζει κενά εξαιτίας της απώλειας υλικού.

Εάν το ψηφιδωτό βρίσκεται στην επιφάνεια του εδάφους, τότε τμήματα της επιφάνειάς του καλύπτονται με φυτά. Για την αποκάλυψή του τα φυτά αυτά κόβονται με κατάλληλα εργαλεία, ώστε να εμφανιστούν οι ψηφίδες και το κονίαμα.

Δεν πρέπει να ξεριζώνουμε τα φυτά (με τράβηγμα), διότι υπάρχει κίνδυνος να παρασυρθούν τμήματα του ψηφιδωτού και να καταστραφεί το δάπεδο.

ΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΔΙΑΤΗΡΗΣΗΣ

Μετά την απομάκρυνση του χώματος και των φυτών η επιφάνεια του ψηφιδωτού καθαρίζεται προσεκτικά για την απομάκρυνση όλων των επικαθίσεων, ιδιαίτερα μεταξύ των κενών των ψηφίδων, ώστε να εμφανιστούν οι ρωγμές που μπορεί να υπάρχουν στο κονίαμα, οι οποίες δεν αποκαλύπτονται από την αρχή σε όλη την έκτασή τους.

Για τον καθαρισμό των επιφανειών των ψηφίδων χρησιμοποιούνται σφουγγάρια βρεγμένα με νερό.



Καθαρισμός ψηφιδωτού επιφάνειας μετά την απομάκρυνση χώματος.

Μετά τον καθαρισμό διακρίνονται οι μορφές διάβρωσης, καθώς και ο βαθμός διάβρωσης του ψηφιδωτού δαπέδου:

1. Εάν το ψηφιδωτό βρίσκεται σε αρκετά καλή κατάσταση, παραμένει στη θέση εύρεσής του, και οι εργασίες συντήρησης και η αποκατάστασή του γίνονται επί τόπου.

2. Η απόσπαση του ψηφιδωτού από τη θέση του κρίνεται αναγκαία στις εξής περιπτώσεις:

α. Εάν το υπόστρωμα - κονίαμα του ψηφιδωτού είναι πολύ σαθρό και έχουν δημιουργηθεί κενά εξαιτίας της απώλειας υλικού.

β. Εάν έχουν σχηματιστεί μεγάλες ρωγμές και ανωμαλίες στην επιφάνεια, οι οποίες οφείλονται σε μετακινήσεις του εδάφους.

γ. Εάν σε ένα ψηφιδωτό που διατηρείται σε καλή κατάσταση έχουμε αποκόλληση των ψηφιδών, τότε αυτές επανατοποθετούνται στην αρχική θέση τους πριν από κάθε άλλη εργασία συντήρησής του.

δ. Όταν το ψηφιδωτό αποσπάται από τη θέση του, για να πραγματοποιηθούν οι εργασίες συντήρησής του, τότε οι ψηφίδες που έχουν απομακρυνθεί από το κονίαμα επανασυνδέονται με τρόπους που θα αναφερθούν αναλυτικά σε επόμενη ενότητα.

Εάν το ψηφιδωτό είναι μικρών διαστάσεων, αποσπάται και μεταφέρεται ολόκληρο, ενώ ψηφιδωτά μεγάλων διαστάσεων χωρίζονται σε μικρότερα τμήματα, τα οποία ενώνονται ξανά για την επανατοποθέτησή τους.

ΠΡΟΛΗΠΤΙΚΗ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΔΑΠΕΔΟΥ

Η φθορά που προκαλείται μετά την ανασκαφή με την εξάτμιση της υγρασίας και με το φως μπορεί να εμποδιστεί με τον έλεγχο αυτών των περιβαλλοντικών συνθηκών.

Εάν η συντήρηση ή η απόσπαση του ψηφιδωτού δαπέδου δεν πραγματοποιηθεί σε σύντομο χρονικό διάστημα από την αποκάλυψή του, τότε θα πρέπει να καλυφθεί η ψηφιδωτή επιφάνειά του, ώστε να αποφευχθεί περαιτέρω διάβρωσή του.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την προστατευτική κάλυψη του ψηφιδωτού θα πρέπει:

α. Να επιτρέπουν την κυκλοφορία των υδρατμών αλλά όχι του νερού, διότι θα δημιουργηθεί διάβρωση εξαιτίας της υγρασίας.

β. Να εμποδίζουν τη φθορά από τον παγετό και τη διάβρωση από την ατμοσφαιρική ρύπανση.

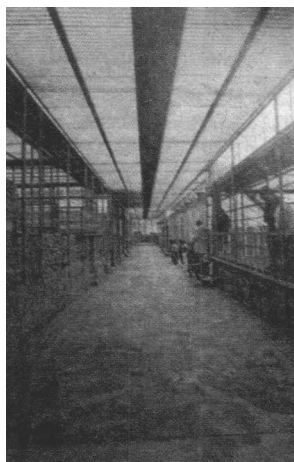
Για τους λόγους αυτούς αποφεύγεται η χρήση φύλλων πολυαιθυλενίου, και χρησιμοποιείται ένα αδρανές υλικό, ο βερμικουλίτης.

Συγκεκριμένα, ο τρόπος κάλυψης της ψηφιδωτής επιφάνειας γίνεται ως εξής:

1. Επάνω στην ψηφιδωτή επιφάνεια τοποθετείται διογκωμένη άργιλος.
2. Στη συνέχεια τοποθετείται ένα πλαστικό πλέγμα το οποίο καλύπτεται με βερμικουλίτη σε περίπτωση που είναι δύσκολο να προμηθευτούμε το υλικό αυτό μπορεί να χρησιμοποιηθεί χώμα.

Επειδή τα ψηφιδωτά αποτελούν μέρος της αρχιτεκτονικής δομής ενός κτηρίου, είναι προτιμότερο να μη μεταφέρονται και να συντηρούνται στη θέση τους.

Στις περιπτώσεις που αυτό δεν είναι δυνατόν προτιμότερη μέθοδος είναι η απομάκρυνση του ψηφιδωτού πλήρως, η σταθεροποίηση της ψηφιδωτής επιφάνειας σε νέο κονίαμα και η επανατοποθέτηση του ψηφιδωτού στην αρχική θέση του, στην οποία θα προστατεύεται με στέγαστρα και με συστήματα αποστράγγισης.



Κατασκευές στεγάστρων για την προστασία των ψηφιδωτών δαπέδου.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΔΑΠΕΔΟΥ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ

Μετά τον καθαρισμό του δαπέδου αποκαλύπτονται οι ρωγμές και τα κενά που υπάρχουν στο υπόστρωμα του ψηφιδωτού καθώς και η φθορά που έχουν υποστεί οι ψηφίδες.

Το πρώτο στάδιο συντήρησης περιλαμβάνει την ενίσχυση και τη συμπλήρωση των κενών του υποστρώματος. Για τον εμποτισμό απομακρύνονται μερικές ψηφίδες, ώστε να δημιουργηθεί κατάλληλη επιφάνεια όπου θα γίνουν τα **ενέματα**.

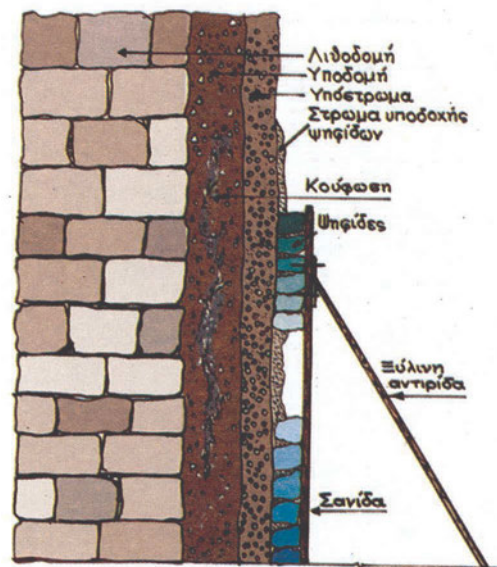
Προτού γίνει η πλήρωση των εσωτερικών κενών με το κονίαμα, γίνεται στερέωση της επιφάνειας με Primal AC33.

Το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί για τη συμπλήρωση των κενών μπορεί να είναι αραιό ασβεστοκονίαμα παρόμοιας σύστασης με αυτήν του αρχικού ή διάλυμα Ledan σε νερό. Η εισχώρηση του υλικού γίνεται με τη χρήση σύριγγας, ώσπου να γεμίσει το κενό.

Αφού επιβεβαιωθεί ότι τα εσωτερικά κενά του υποστρώματος του ψηφιδωτού έχουν πληρωθεί, γίνεται η συγκόλληση των ψηφίδων που είχαν αφαιρεθεί, καθώς και αυτών που είχαν αποκολληθεί, με τη χρήση πυκνού διαλύματος Ledan TB1 ή Primal AC33 σε νερό ή Paraloid B72 σε ακετόνη.

ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΕΝΤΟΙΧΙΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΕΠΙ ΤΟΠΟΥ

Για τη συντήρηση ενός εντοίχιου ψηφιδωτού βασικό στάδιο είναι η πλήρωση των κενών που υπάρχουν στο κονίαμα. Ακολουθείται η ίδια διαδικασία όπως στη συντήρηση του ψηφιδωτού δαπέδου. Για να αποφευχθούν τυχόν πιέσεις που μπορεί να ασκήσει το υλικό πλήρωσης στην ψηφιδωτή επιφάνεια, με αποτέλεσμα τη μετατόπισή της προς τα έξω, τοποθετούνται ξύλινα στηρίγματα, για να τη διατηρήσουν στη σωστή θέση της.

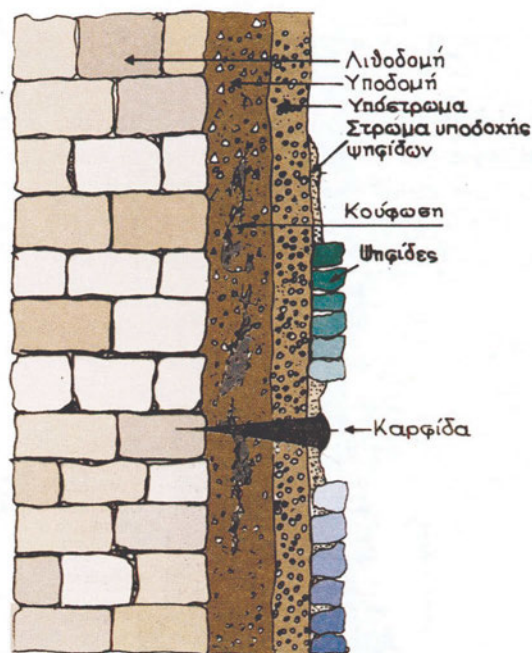


Διαδικασία στερέωσης της ψηφιδωτής εντοίχιας επιφάνειας με ξύλινα στηρίγματα.

Μια άλλη μέθοδος εφαρμογής είναι η εξής:

1. Στην επιφάνεια του κονιάματος ανοίγονται οπές οι οποίες φτάνουν μέχρι την τοιχοδομή του κτηρίου.
2. Στις οπές αυτές τοποθετούνται υατ· σε αυτά βιδώνονται πλαστικές βίδες στις οποίες έχουν περαστεί πλαστικές ροδέλες.
3. Όταν η βίδα βιδώνεται αργά, η ροδέλα συγκρατεί τις ψηφίδες στην επιφάνεια που τοποθετείται υλικό πλήρωσης των κενών, επαναφέρει την ψηφιδωτή επιφάνεια στην αρχική θέση της και συγκολλάται στο νέο κονίαμα στην τοιχοδομή του κτηρίου.

Με την ολοκλήρωση της στερέωσης της ψηφιδωτής επιφάνειας στα στρώματα των κονιαμάτων οι ροδέλες και οι βίδες που έχουν τοποθετηθεί στο κονίαμα χρωματίζονται με την απόχρωση των γειτονικών ψηφιδών τους, για να μην αλλοιώνουν αισθητικά την άποψη της ψηφιδωτής σύνθεσης.



Διαδικασία στερέωσης της ψηφιδωτής εντοίχιας επιφάνειας με την εφαρμογή καρφίδων.

Άσκηση 2. Πλήρωση των κενών που παρατηρούνται στο κονίαμα και στερέωση της ψηφιδωτής επιφάνειας σε αυτό.

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΨΗΦΙΔΩΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Η επιλογή της μεθόδου καθαρισμού εξαρτάται από τον τύπο των φθορών που θέλουμε να απομακρύνουμε από την επιφάνεια του ψηφιδωτού, από την κατάσταση που βρίσκεται η επιφάνεια αυτή και από το βαθμό διάβρωσής της.

Μηχανικός καθαρισμός

Η στερεωμένη πλέον επιφάνεια στη συνέχεια καθαρίζεται προσεκτικά από τις επικαθίσεις, από τα άλατα και από τους μικροοργανισμούς.

Για την απομάκρυνση των αλάτων και των επικαθίσεων εφαρμόζονται οι μέθοδοι καθαρισμού που βασίζονται στη χρήση νερού όπως περιγράφονται στο κεφάλαιο της συντήρησης της πέτρας.

Επίσης, μπορούν να χρησιμοποιηθούν μηχανικά μέσα όπως ιατρικά εργαλεία, οδοντιατρικός τροχός και δονούμενη ακίδα, τα οποία απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή στην εφαρμογή τους, ώστε να μην προκαλέσουν φθορά στις ψηφίδες.

Χημικός καθαρισμός

Η απομάκρυνση των αλάτων και των επικαθίσεων μπορεί να γίνεται με την εφαρμογή στην επιφάνεια του ψηφιδωτού επιθεμάτων με κατάλληλες χημικές ουσίες, όπως είναι οι πάστες Mora, E.D.T.A. και AB57, ή με τη χρήση προσροφητικών αργίλων. Η εφαρμογή τους ακολουθεί την ίδια διαδικασία όπως στην περίπτωση της συντήρησης της πέτρας. Για την απομάκρυνση των βιολογικών επικαθίσεων (μικροοργανισμών) μπορούν να χρησιμοποιηθούν βιοκτόνα όπως το Desogen σε συνδυασμό με προσροφητικές αργίλους ή το Lito 3, το οποίο χρειάζεται προσοχή στην εφαρμογή του, διότι είναι τοξικό.

Οι ψηφίδες από υαλόμαζα που είναι έντονα διαβρωμένες μπορούν να στερεωθούν με τη χρήση ακρυλικής ρητίνης, Paraloid B72 ή Primal AC33.

Στη συνέχεια κρίνεται αναγκαία η ενίσχυση του ψηφιδωτού στις άκρες του, καθώς και των αρμών μεταξύ των ψηφίδων. Στην πρώτη περίπτωση χρησιμοποιούμε ένα ασβεστοκονίαμα (ασβέστης, άμμος, κεραμιδόσκονη, μαρμαρόσκονη) που προσδίδει μεγάλες μηχανικές αντοχές, ενώ με πιο αραιό κονίαμα συμπληρώνονται οι αρμοί μεταξύ των ψηφίδων.

Άσκηση 3. Απομάκρυνση των αλάτων και των βιολογικών παραγόντων από την επιφάνεια του ψηφιδωτού με τη χρήση μηχανικών και χημικών μέσων.

Η ΑΠΟΣΠΑΣΗ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΚΑΙ ΣΥΝΤΗΡΗΣΗ ΤΟΥ

ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΔΩΝ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΠΡΙΝ ΑΠΟ ΤΗΝ ΑΠΟΣΠΑΣΗ

Πριν από την απόσπαση του ψηφιδωτού δαπέδου πραγματοποιείται σχεδίαση της ψηφιδωτής επιφάνειας με αποτύπωσή της σε κλίμακα 1:1. Η σχεδίαση γίνεται προσεκτικά αποδίδοντας όλες τις λεπτομέρειες των φθορών και της θέσης των ψηφίδων στο κονίαμα. Το σχέδιο αυτό είναι αναγκαίο για τους εξής λόγους:

- α.** Διευκολύνει το συντηρητή να μελετήσει και να σημειώσει τα σημεία τεμαχισμού του δαπέδου, εάν η απόσπασή του γίνει σε περισσότερα από ένα τμήματα.
- β.** Καταγράφονται τα τμήματα με τις ψηφίδες που πρέπει να αφαιρεθούν αρχικά, για να απομακρυνθούν τα τμήματα του δαπέδου, και γίνεται αρίθμηση τους.
- γ.** Με γνώμονα τα στοιχεία που έχουν σημειωθεί στο σχέδιο θα γίνει η επανατοποθέτηση των τεμαχίων στη σωστή, αρχική θέση τους.

ΟΡΙΣΜΟΣ ΤΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΔΑΠΕΔΟΥ

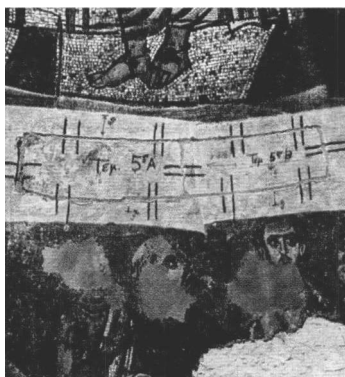
Με σημείο αναφοράς τις πληροφορίες που έχουν καταγραφεί στο σχέδιο, αφαιρούνται τα τμήματα των ψηφίδων, ώστε να δημιουργηθούν ανάμεσα στα διαχωριζόμενα τμήματα του ψηφιδωτού μεγάλοι αρμοί που θα βοηθήσουν στην απόσπασή τους.

Για την απομάκρυνση των ψηφίδων αλλά και για τη διατήρηση του σημείου τοποθέτησής τους συγκολλάται στην επιφάνειά τους ύφασμα (κάμποτο) και αναγράφονται τα στοιχεία αρίθμησής τους.

Για την επιλογή των σημείων σχηματισμού των αρμών λαμβάνονται υπόψη τα εξής:

- α. Τα σημεία στα οποία παρατηρείται σαθρότητα του κονιάματος των ψηφίδων.
- β. Ο χρωματισμός των ψηφίδων. Στην περίπτωση αυτή ο αρμός μπορεί να σχηματίζει καμπύλη γραμμή.
- γ. Δε σχηματίζονται αρμοί σε αναπαραστάσεις προσώπων, καθώς και σε παραστάσεις που βρίσκονται στο κέντρο του ψηφιδωτού, οι οποίες πρέπει να απομακρυνθούν ολόκληρες, ενώ σχηματίζονται αρμοί στη διακόσμηση που τις περιβάλλει.

Μετά το διαχωρισμό των τμημάτων, στην άνω επιφάνεια των ψηφίδων συγκολλώνται **τουλπάνι** και **κάμποτο** για τη συγκράτηση των ψηφίδων στη θέση τους και για την απόσπαση των τεμαχίων.



Σχηματισμός αρμών για την απόσπαση των τεμαχίων του ψηφιδωτού.

Αρχικά επικολλάται το τουλπάνι επάνω στις ψηφίδες, το οποίο περιβάλλει κάθε ψηφίδα, ώστε να μην υπάρχει περίπτωση αποκόλλησής τους κατά την απόσπαση.

Αφήνεται να στεγνώσει εντελώς και στη συνέχεια επικολλάται το κάμποτο, το οποίο στερεώνει την ψηφιδωτή επιφάνεια και προσδίδει ικανοποιητικές αντοχές κατά την αποκόλλησή της από το κονίαμα.

Εάν η επιφάνεια είναι στεγνή, ως συγκολλητικό υλικό μπορεί να χρησιμοποιηθεί:

- α. ψαρόκολλα (ψαρόκολλα, αλεύρι, ξίδι, μέλι, νερό, χολή βοδιού),
- β. ακρυλικό γαλάκτωμα,
- γ. οξικό πολυβινύλιο (Vinavil, Mowilith).

Αφού όλη η επιφάνεια του δαπέδου έχει καλυφθεί με κάμποτο, με βάση το σχέδιο σημειώνονται σε κάθε τεμάχιο το νούμερο αρίθμησης και τα σημεία συνένωσης.

ΑΠΟΣΠΑΣΗ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ ΔΑΠΕΔΟΥ Ή ΕΝΤΟΙΧΙΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ

Για την απόσπαση ψηφιδωτών δαπέδου ή εντοίχιων ψηφιδωτών έχουν εφαρμοστεί κατά καιρούς δύο μέθοδοι:

α. η απόσπασή τους σε τμήματα.

β. η απόσπαση ολόκληρης της ψηφιδωτής επιφάνειας ενιαία.

α. Απόσπαση του ψηφιδωτού δαπέδου ή του εντοίχιου ψηφιδωτού σε τμήματα

Είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος με τη μεγαλύτερη δυνατότητα εφαρμογής.

Στα σημεία των αρμών κόβεται το κάμποτο, και διαχωρίζονται τα τεμάχια που θα αποκολληθούν.

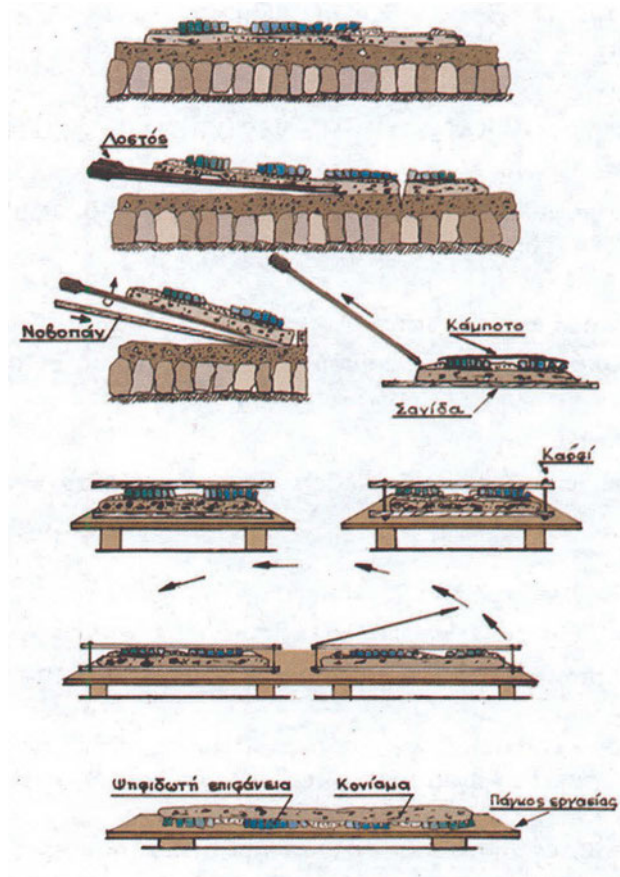
Στην περίπτωση του εντοίχιου ψηφιδωτού ιδιαίτερη προσοχή δίνεται στη θέση στην οποία είναι τοποθετημένο. Τα εντοίχια ψηφιδωτά βρίσκονται κυρίως σε κάθετη ή σε κοίλη θέση.

Προκειμένου, λοιπόν, να διατηρηθούν μετά την απόσπαση το αρχικό σχήμα και η φορά του σε σχέση με την τοιχοποιία πάνω στην οποία ήταν προσαρτημένο το ψηφιδωτό, τοποθετείται επάνω στα στερεωμένα πανιά ανοξείδωτο πλέγμα, το οποίο σταθεροποιείται με γάζες και με συγκολλητικό υλικό.

Στο κενό που έχουν σχηματίσει οι αρμοί τοποθετείται ένα καλέμι το οποίο διαχωρίζει την ψηφιδωτή επιφάνεια και το στρώμα υποδοχής τους από την υπόλοιπη υποδομή. Στα κενά που σχηματίζονται μεταξύ τους τοποθετούνται μεταλλικές λάμες σε οριζόντια - καμπύλη θέση, οι οποίες εισχωρούν παράλληλα κάτω από το στρώμα των ψηφίδων και το αποχωρίζουν από την υπόλοιπη υποδομή.

Το αποκολλημένο αυτό τεμάχιο, το οποίο αποτελείται από τις ψηφίδες και από ένα λεπτό στρώμα κονιάματος, τοποθετείται επάνω σε κομμάτι “νοβοπάν”. Το πανί με τις ψηφίδες ακουμπά στο “νοβοπάν” αφήνοντας ελεύθερη την πίσω επιφάνειά του. Το κάμποτο κερφώνεται πάνω στο νοβοπάν ενισχύοντας τη μεταξύ τους ένωση.

Τα εντοίχια ψηφιδωτά που απομακρύνονται από κοίλες επιφάνειες τοποθετούνται επάνω σε ένα καλούπι το οποίο έχει κατασκευαστεί από μεταλλικό πλαίσιο, στο οποίο προσαρμόζεται το ψηφιδωτό με το ανοξείδωτο πλέγμα.



Μέθοδος απόσπασης ψηφιδωτού σε τμήματα.

β. Απόσπαση της ψηφιδωτής επιφάνειας δαπέδου ενιαία

Ο τρόπος αυτός απόσπασης μπορεί να επιλεγεί, όταν είναι δύσκολο να γίνει διαχωρισμός της ψηφιδωτής επιφάνειας, και το στρώμα υποδοχής είναι αρκετά σαθρό. Πρόκειται όμως για μέθοδο αρκετά δύσκολη, μη πρακτική, η οποία απαιτεί κατάλληλα διαμορφωμένο χώρο εργασίας.

Στη μέθοδο αυτή, αντί για τουλπάνι και κάμποτο, συγκολλώνται με το ίδιο συγκολλητικό υλικό δύο τουλπάνια για μεγαλύτερη ενίσχυση.

Στη μικρότερη σε διάσταση πλευρά του ψηφιδωτού αφαιρούνται σταδιακά τα στρώματα υποδομής, και στο κενό που σχηματίζεται τοποθετούνται ξύλινα υποστηρίγματα, ενώ η ψηφιδωτή επιφάνεια διατηρείται στην αρχική θέση. Στο σημείο αυτό τοποθετείται ξύλινος κύλινδρος, ο οποίος στηρίζεται σε δύο παράλληλες κατασκευές στήριξής του. Το κάμποτο στερεώνεται στην επιφάνεια του κυλίνδρου, στον οποίο τυλίγεται το στρώμα των ψηφίδων με το κονίαμα σύνδεσής τους.

Η διαδικασία αυτή γίνεται σταδιακά, δηλαδή μέρος του ψηφιδωτού δαπέδου απελευθε-

ρώνεται από την υποδομή, τυλίγεται στον κύλινδρο, και η εργασία επαναλαμβάνεται για την ολοκλήρωση της αποκόλλησης του ψηφιδωτού. Μετά την απόσπασή του το ψηφιδωτό στηρίζεται στον κύλινδρο και δένεται γερά με κατάλληλους ιμάντες.

Στη συνέχεια το ψηφιδωτό ξετυλίγεται σε κατάλληλο χώρο, με την επιφάνεια των ψηφιδών στο κάτω μέρος και το σημείο συνένωσής τους με το κονίαμα στο άνω μέρος για τις εργασίες καθαρισμού.



Απόσπαση ψηφιδωτού σε ρολό από το βαπτιστήριο του S. Giovanni στη Φλωρεντία 1895.

Άσκηση 4. Καθορισμός των τμημάτων αποκόλλησης και εφαρμογή της διαδικασίας απόσπασής τους.

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ (ΠΙΣΩ ΠΛΕΥΡΑ ΤΟΥ ΨΗΦΙΔΩΤΟΥ)

Η απόσπαση της ψηφιδωτής επιφάνειας έχει πραγματοποιηθεί μαζί με ένα στρώμα κονιάματος λεπτού πάχους, το οποίο στρώμα πρέπει να αφαιρεθεί για την καλή εφαρμογή των ψηφιδών στα νέα υποστρώματα. Στρώμα κονιάματος μικρού πάχους διατηρείται στα σημεία των αρμών για τη συγκράτηση των ψηφιδών.



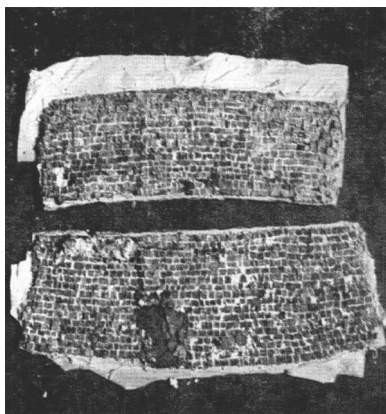
Πίσω μέρος αποτοιχισμένου ψηφιδωτού.

Ο καθαρισμός της πίσω επιφάνειας γίνεται με καλέμια διάφορων μεγεθών, με οδοντιατρικά εργαλεία, με νυστέρια, με οδοντιατρικό τροχό, με δονούμενη ακίδα και με πινέλα μαλακά ή σκληρά.

Η αφαίρεση του κονιάματος πραγματοποιείται εξαιτίας των μηχανικών τάσεων που ασκούνται στην επιφάνειά του.

Ο καθαρισμός θα πρέπει να φτάσει σε τέτοιο στάδιο,

ώστε να αποκαλυφθεί η πίσω επιφάνεια των ψηφίδων και να επιτευχθεί καλή συνοχή τους με το νέο στρώμα υποδοχής τους (κονίαμα).



Τελικός καθαρισμός πίσω πλευράς τεμαχίων εντοίχιου ψηφιδωτού.

ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΝΕΑΣ ΥΠΟΔΟΜΗΣ ΚΑΙ ΕΠΑΝΑΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΗΣ ΨΗΦΙΔΩΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Η νέα υποδομή κατασκευάζεται με τον ίδιο περίπου τρόπο και με τα ίδια υλικά που είχαν χρησιμοποιηθεί για την αρχική κατασκευή. Πραγματοποιούνται αναλύσεις οι οποίες μας παρέχουν πληροφορίες για τη σύσταση και για την αναλογία των συστατικών κάθε στρώματος.

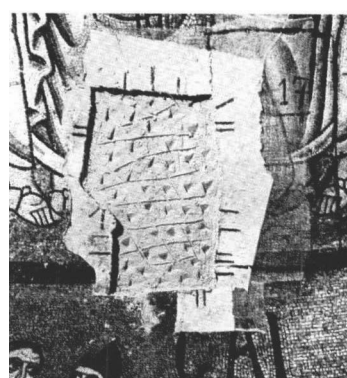
Για την επανατοποθέτηση της ψηφιδωτής επιφάνειας απομακρύνονται τα υπολείμματα των προηγούμενων στρωμάτων υποδομής μέχρι την αποκάλυψη του χώματος του εδάφους (ψηφιδωτό δαπέδου) ή της τοιχοδομής (εντοίχιο ψηφιδωτό).

Στο χώρο τοποθέτησης του ψηφιδωτού κατασκευάζονται όλα τα υποστρώματα και αφήνονται να στεγνώσουν. Στο τελευταίο υπόστρωμα δημιουργούνται ανωμαλίες και εσοχές για την καλύτερη εισχώρηση και σύνδεση της ψηφιδωτής επιφάνειας σε αυτό.

Η επιφάνεια με τα στρώματα υποδομής βρέχεται και επάνω της τοποθετείται το νωπό κονίαμα, στο οποίο θα στερεωθούν οι ψηφίδες και το οποίο θα πληρώσει τους αρμούς μεταξύ τους. Το στρώμα αυτό φέρει και ένα χρωματικό τόνο που δίνει ενιαία χρωματική αποκατάσταση μαζί με την ψηφιδωτή επιφάνεια.



Επανατοποθέτηση ψηφιδωτής επιφάνειας.



Τοποθέτηση κονιάματος στον τοίχο.

Η επανατοποθέτηση της ψηφιδωτής επιφάνειας γίνεται ως εξής:

α. Εάν το ψηφιδωτό έχει απομακρυνθεί τμηματικά, τότε γίνεται η τοποθέτηση κάθε κομματιού ξεχωριστά, αφού ληφθούν υπόψη η αρίθμηση και τα σημεία σύνδεσης που έχουν σημειωθεί στα πανιά και στο “νοβοπάν”.

β. Εάν το ψηφιδωτό έχει αποσπαστεί ενιαία, τότε το κονίαμα τοποθετείται σε όλη την επιφάνεια του υποστρώματος, και η επανατοποθέτηση όλης της ψηφιδωτής επιφάνειας γίνεται σε μία φάση.

Στο σημείο που έχει τοποθετηθεί το νωπό κονίαμα επικάθονται οι ψηφίδες, που είναι ακόμη κολλημένες στο κάμποτο (έχει απομακρυνθεί το “νοβοπάν”), και πιέζονται, ώστε να εισχωρήσουν στο στρώμα υποδοχής τους.

Ιδιαίτερη προσοχή απαιτείται, για να επιτευχθεί σωστή σύνδεση των τμημάτων του ψηφιδωτού μεταξύ τους, καθώς και ο σχηματισμός μιας επίπεδης, ενιαίας επιφάνειας.

Για τη συγκόλληση των ψηφίδων σε κάθετη ή σε κοίλη επιφάνεια τοποθετούνται σε κατάλληλα σημεία αντιστηρίγματα, με στόχο να ενισχύσουν την επανατοποθέτηση των τεμαχίων και την ικανοποιητική εισχώρηση της ψηφιδωτής επιφάνειας στο στρώμα υποδοχής τους.

Εάν το ψηφιδωτό δεν επανατοποθετηθεί στην αρχική θέση του, τότε η ψηφιδωτή επιφάνεια στερεώνεται σε κονίαμα ενισχυμένο με μεταλλική κατασκευή. Κατασκευάζεται ένα πλαίσιο από ράβδους αλουμινίου, στο οποίο προσαρμόζεται ανοξείδωτο πλέγμα και τοποθετείται στην πίσω πλευρά της ψηφιδωτής επιφάνειας. Στη συνέχεια τοποθετείται το κονίαμα σύνδεσης των ψηφίδων και το αφήνουμε να στεγνώσει.

Άσκηση 5. Απομάκρυνση των παλαιών κονιαμάτων και επανατοποθέτηση της ψηφιδωτής επιφάνειας σε καινούριο κονίαμα.

ΚΑΘΑΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΤΟΠΟΘΕΤΗΣΗ ΤΩΝ ΨΗΦΙΔΩΝ ΠΟΥ ΕΙΧΑΝ ΑΠΟΣΠΑΣΤΕΙ ΣΤΟΥΣ ΑΡΜΟΥΣ

Μετά την επανατοποθέτηση της ψηφιδωτής επιφάνειας στο στρώμα υποδοχής αφαιρούνται τα πανιά και αποκαλύπτεται η άνω πλευρά της. Η αφαίρεσή τους γίνεται με εμποτισμό τους με νερό, εάν το συγκολλητικό υλικό είναι υδατοδιαλυτό, ή με οργανικούς διαλύτες, εάν έχουν χρησιμοποιηθεί ρητίνες. Τα υπολείμματα συγκολλητικής ουσίας που έχουν απομείνει στις επιφάνειες των ψηφίδων απομακρύνονται με τον ίδιο τρόπο, καθώς και με μηχανικό καθαρισμό με νυστέρι.

Εάν το ψηφιδωτό έχει αποσπαστεί τμηματικά, τότε μεταξύ των τεμαχίων εμφανίζονται οι αρμοί που είχαν δημιουργηθεί για την αποκόλλησή τους. Στα σημεία των αρμών απομακρύνεται προσεκτικά με μηχανικά μέσα ένα στρώμα κονιάματος. Το σημείο αυτό συμπληρώνεται με νωπό κονίαμα, στο οποίο επανατοποθετούνται οι ψηφίδες μία προς μία προσεκτικά με τη βοήθεια του σχεδίου και των ενδείξεων των ταινιών στις οποίες είχαν κολληθεί οι ψηφίδες των αρμών. Το κονίαμα που χρησιμοποιείται είναι ίδιο με το κονίαμα που χρησιμοποιήθηκε για την επανατοποθέτηση των τεμαχίων.

Με την ολοκλήρωση της επανατοποθέτησης του ψηφιδωτού στην αρχική θέση του, ακολουθεί το επόμενο στάδιο συντήρησης το οποίο περιλαμβάνει τον καθαρισμό των ψηφιδων από επικαθίσεις μικροοργανισμών και αλάτων. Η διαδικασία και τα υλικά εφαρμογής έχουν αναφερθεί στον καθαρισμό ψηφιδωτού επί τόπου.

Άσκηση 6. Καθαρισμός της ψηφιδωτής επιφάνειας και επανασυγκόλληση των ψηφιδων που είχαν αποσπαστεί.

ΑΙΣΘΗΤΙΚΗ ΑΠΟΚΑΤΑΣΤΑΣΗ ΤΗΣ ΨΗΦΙΔΩΤΗΣ ΕΠΙΦΑΝΕΙΑΣ

Τόσο στα σημεία των αρμών όσο και σε άλλα σημεία στα οποία εμφανίζονται τυχόν κενά ή ρωγμές από κονίαμα, γίνεται συμπλήρωση με αραιό κονίαμα. Αυτό απλώνεται σε όλη την επιφάνεια του δαπέδου, ώστε να εισχωρεί παντού.

Όταν στεγνώσει λίγο, απομακρύνεται το κονίαμα από τις ψηφίδες με μηχανικά μέσα (νυστέρι, βουρτσάκια, σκουπάκια), αποκαλύπτοντας την άνω επιφάνειά τους. Όταν αποκατασταθεί πλήρως η αρχική εικόνα του ψηφιδωτού δαπέδου, τότε η επιφάνειά του καθαρίζεται με πλύσιμο με νερό. Απομακρύνονται έτσι ό,τι υπολείμματα κονιάματος έχουν απομείνει και καθαρίζονται οι ψηφίδες.



Η Γέννηση του Χριστού, τέλη 11ου αι. (εντοίχιο ψηφιδωτό μονής Δαφνίου). Αισθητική αποκατάσταση των σημείων της ψηφιδωτής επιφάνειας που δεν σώζονται με κονίαμα.



Ο Προφήτης Σωφονίας 1290 μ.Χ. (εντοίχιο ψηφιδωτό Παρηγορήτισσα Άρτας). Αισθητική αποκατάσταση των σημείων της ψηφιδωτής επιφάνειας που δεν σώζονται με κονίαμα.

Άσκηση 7. Συμπλήρωση των αρμών των ψηφιδων με κονίαμα και περιφερειακή συμπλήρωση με κονίαμα.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Cronyn J.,
Elements of Archaeological Conservation.
Routledge, London, 1992.
2. ICCROM.,
La conservazione sullo scavo archeologico.
Roma 1986.
3. ICCROM
Mosaics II
4. ICCROM
Mosaics III
5. Κολέφας Ι.,
Η τεχνική του ψηφιδωτού.
Ε.Ο.Μ.Μ.Ε.Χ. 1983.
6. Λαμπρόπουλου Β.Ν.,
Διάβρωση και Συντήρηση της Πέτρας.
Αθήνα 1993.
7. Παβέλης Χ., Κατάκος Θ., Σοφιανόπουλος Π.,
Μελέτη κονιαμάτων για τη συντήρηση των ψηφιδωτών.
Πτυχιακή εργασία, Τ.Ε.Ι. Αθήνας 1991.
8. Πάλλας Δ.,
Ψηφιδωτά.
Ανάπτυξη της Θρησκευτικής και Ηθικής Εγκυκλοπαίδειας, τομ. ΙΒ
Αθήνα 1968.
The conservation of the Orpheus mosaic of Paphos, Cyprus.
Ed. N. Stanley, Getty trust publications 1991.
9. Χρυσόπουλος Δ.,
Συντήρηση ψηφιδωτού.
Σημειώσεις του Τμήματος Συντήρησης Αρχαιοτήτων και Έργων Τέχνης.
Τ.Ε.Ι. Αθήνας 1989.

Βάσει του ν. 3966/2011 τα διδακτικά βιβλία του Δημοτικού, του Γυμνασίου, του Λυκείου, των ΕΠΑ.Λ. και των ΕΠΑ.Σ. τυπώνονται από το ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ και διανέμονται δωρεάν στα Δημόσια Σχολεία. Τα βιβλία μπορεί να διατίθενται προς πώληση, όταν φέρουν στη δεξιά κάτω γωνία του εμπροσθόφυλλου ένδειξη «ΔΙΑΤΙΘΕΤΑΙ ΜΕ ΤΙΜΗ ΠΩΛΗΣΗΣ». Κάθε αντίτυπο που διατίθεται προς πώληση και δεν φέρει την παραπάνω ένδειξη θεωρείται κλεψίτυπο και ο παραβάτης διώκεται σύμφωνα με τις διατάξεις του άρθρου 7 του νόμου 1129 της 15/21 Μαρτίου 1946 (ΦΕΚ 1946,108, Α').

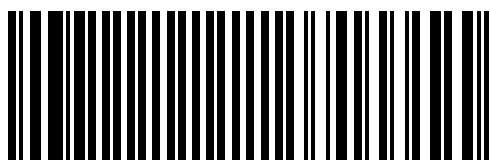
Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος αυτού του βιβλίου, που καλύπτεται από δικαιώματα (copyright), ή η χρήση του σε οποιαδήποτε μορφή, χωρίς τη γραπτή άδεια του Υπουργείου Παιδείας και Θρησκευμάτων / ΙΤΥΕ - ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ.

ITYE
ΔΙΟΦΑΝΤΟΣ



Ινστιτούτο
Τεχνολογίας
Υπολογιστών & Εκδόσεων

Κωδικός βιβλίου: 0-24-0173
ISBN Set 978-960-06-3185-2
Τ.Α΄ 978-960-06-3186-9



(01) 000000 0 24 0173 7