

Φθορές και Αποκατάσταση - Συντήρηση Έργων Τέχνης από Κεραμικό

Ευρύκλεια Καραγιαννίδου
Χημικός MSc, Συγγραφέας
evrykleia21@hotmail.com

Περίληψη

Κάθε μουσείο και γενικά συλλογή έργων τέχνης περιλαμβάνει πολλά κεραμικά αντικείμενα - από μικρά και εθιμοτυπικά βάζα μέχρι μεγάλης κλίμακας αγάλματα. Τα αντικείμενα αυτά προέρχονται από ολόκληρο το διάστημα της καταγεγραμμένης ανθρώπινης ιστορίας και γι' αυτό αποτελούν έναν παράγοντα - κλειδί για τη διατήρηση του παρελθόντος μας. Ο πηλός είναι ένα παλιό υλικό που χρησιμοποιήθηκε από πολλούς ανθρώπους στην αρχαιότητα. Τη νεολιθική εποχή, η αγγειοπλαστική αναπτύχθηκε κυρίως σε τρεις χώρες: στην Αίγυπτο, στην Ελλάδα και στην Ετρουρία. Γύρω στο 10.000 π.Χ. οι νεολιθικοί άνθρωποι χρησιμοποιούσαν τον πηλό για να φτιάχνουν αγγεία για την αποθήκευση φαγητού και νερού. Αιώνες αργότερα, την περίοδο 4000-3500 π.Χ. οι Αιγύπτιοι χρησιμοποιούσαν τον πηλό για την κατασκευή αγγείων με γραμμικά ή γεωμετρικά σχέδια όπως και σχήματα ζώων και ανθρώπων. Το 1100 π.Χ. οι Έλληνες κατασκεύαζαν δοχεία διακοσμημένα με γεωμετρικά σχέδια. Αργότερα οι σχεδιαστές σχεδίαζαν φυτά και ζώα και τον 6^ο αιώνα π.Χ. πολεμιστές και επαγγελματικές φιγούρες κοσμούσαν μερικά από τα καλύτερα παραδείγματα των πήλινων αντικειμένων που φτιάχτηκαν ποτέ.

Λέξεις-κλειδιά: Αρχαία Κεραμικά, Φθορές, Πολυμερή, Συντήρηση.

1. Εισαγωγή

1.1. Παρασκευή των Κεραμικών αντικειμένων

Τα κεραμικά αντικείμενα φτιάχνονται από ένα μίγμα φυσικών υλικών τα οποία συνδυάζονται, παίρνουν σχήμα με μια ποικιλία διεργασιών, και μεταμορφώνονται με τη θέρμανση σε μια στέρεη, εύθραυστη ουσία που δε βρίσκεται στη φύση. Διαφορετικές θερμοκρασίες ψησίματος παράγουν αντικείμενα με μεγάλες διαφορές στη σκληρότητα και στο πορώδες. Τα περισσότερα πήλινα αντικείμενα είναι ένα μίγμα υλικών, όπως πηλός, αλκαλικών οξειδίων (σόδα, μίκα, κάλιο, μαγνησία ή άσβεστο) και μη πλαστικών προσθέτων. Τα τελευταία προστίθενται στον πηλό για να μειώσουν τη συρρίκνωση και το σπάσιμο κατά τη διάρκεια του ψησίματος και στεγνώματος και να αυξήσουν το πορώδες του τελικού αντικειμένου, ενώ με την προσθήκη των αλκαλικών οξειδίων μειώνεται η θερμοκρασία ψησίματος του πηλού. Τα αλκαλικά οξείδια μπορούν επίσης να βρεθούν και σε φυσικά εναποθέματα πηλού.

Η πρώτη ύλη του πηλού είναι οι άργιλοι, που είναι πολύπλοκα ορυκτά αργιλίου και πυριτίου με ασβέστιο, μαγνήσιο, σίδηρο, κάλιο, νάτριο και νερό. Οι άργιλοι είναι προϊόντα αλλοίωσης διαφόρων ηφαιστειακών ορυκτών π.χ. καολινίτης ($2Al_2O_3 \cdot 4SiO_2 \cdot 4H_2O$). Οι άργιλοι έχουν μικροκρυσταλλική μορφή και αποτελούνται από πλακοειδείς κρυστάλλους με μεγάλη ποσότητα νερού ανάμεσά τους. Το νερό αυτό δρα ως λιπαντικό και δημιουργεί ολίσθηση στους κρυστάλλους προσδίδοντας στον πηλό την πλαστική ιδιότητα. Έτσι μια πλαστική άργιλος μπορεί να συγκρατήσει μέχρι 70% νερό χωρίς να σάζει. Όταν το κεραμικό στεγνώσει, το νερό ανάμεσα στους κρυστάλλους εξατμίζεται και επέρχεται η συρρίκνωση του αντικειμένου και το χάσιμο της πλαστικότητας του πηλού. Ενώ όταν ο πηλός θερμανθεί σε μια υψηλή θερμοκρασία αλλάζουν τόσο οι χημικές όσο και οι φυσικές ιδιοτητές του και



μετατρέπεται από πορώδες και εύθρυπτο υλικό σε υλικό σκληρό, εύθραυστο και αδιαπέραστο από τα υγρά.

Αφού σχηματιστούν τα πήλινα αντικείμενα θερμαίνονται σε υψηλές θερμοκρασίες ή «ψήνονται». Αυτή η δράση προκαλεί φυσικές και χημικές αλλαγές στον πηλό. Μετά το ψήσιμο, τα αντικείμενα αποκτούν σκληρά, εύθραυστα χαρακτηριστικά και δε χάνουν αυτές τις ιδιότητες όταν βρέχονται. Σκοπός του φούρνου είναι να στεγνώσει τα αντικείμενα και να τα κρατήσει σε σταθερές συνθήκες οξυγόνου και θέρμανσης. Η διεργασία της ξήρανσης και του ψησίματος περιλαμβάνει μια σειρά από ελεγχόμενα στάδια. Αρχικά, αφού σχηματιστεί το αντικείμενο θα πρέπει αργά να ξηραθεί στον αέρα. Αρκετό από το νερό (μέχρι και 25% του παρασκευασμένου πηλού) εξατμίζεται, καθώς το αντικείμενο στεγνώνει. Εάν η διεργασία ξήρανσης με αέρα δε γίνει προσεκτικά, μπορεί να δούμε ρωγμές συρρίκνωσης στο αντικείμενο. Μετά από μια ή δύο μέρες ξήρανσης, τα αντικείμενα διατηρούν το σχήμα τους, αλλά η επιφάνειά τους μπορεί ακόμα να δουλευτεί εύκολα. Συχνά ο κεραμοποιός κάνει το τελικό φινιρίσμα, γυάλισμα και ζωγράφισμα σε αυτό το σημείο. Τη στιγμή που η ξήρανση με αέρα έχει τελειώσει το περισσότερο από το ελεύθερο νερό ανάμεσα στα μόρια του πηλού έχει εξατμιστεί. Η διεργασία ψησίματος προχωρά στη συνέχεια μέσω ενός αριθμού σταδίων:

α. 100-110°C: απομακρύνεται το υπόλοιπο νερό που συγκρατείται από τον πηλό με τις φυσικές δυνάμεις της ρόφησης.

β. 200-600°C: η προστιθέμενη φυτική ύλη καίγεται.

γ. $\theta > 400^\circ\text{C}$: απομακρύνεται το νερό που είναι χημικά συνδεδεμένο με την άργιλο.

δ. 400-700°C: αρχίζει η αποσύνθεση του πηλού – ο χαλαζίας του κεραμικού υλικού αλλάζει κρυσταλλική μορφή και διαστέλλεται κατά 2%. Εάν το στάδιο αυτό ξεπεραστεί γρήγορα, η μικρή μεταβολή του όγκου μπορεί να προκαλέσει το σπάσιμο των κεραμικών αντικειμένων.

ε. 700-900°C: εάν η ατμόσφαιρα είναι οξειδωτική, καίγεται ο άνθρακας του καυσίμου και κάθε οργανική ύλη που υπάρχει μέσα στον πηλό καθώς επίσης προκαλείται η μεγαλύτερη δυνατή οξείδωση των μετάλλων με αποτέλεσμα το χρωματισμό του πηλού. Αντίθετα εάν η ατμόσφαιρα μέσα στο φούρνο είναι αναγωγική, εξακολουθεί να παραμένει η οργανική ύλη που ενδεχομένως υπήρχε στον πηλό και τα μεταλλικά οξείδια ανάγονται στο μικρότερο δυνατό βαθμό οξείδωσης. Έτσι, με ρύθμιση της ατμόσφαιρας οι αρχαίοι τεχνίτες πετύχαιναν το επιθυμητό χρωματικό αποτέλεσμα, κόκκινο ή μαύρο αντίστοιχα, από τα οξείδια του σιδήρου.

στ. Πυροσυσσωμάτωση (Sintering): συμβαίνει, καθώς η θέρμανση αυξάνεται και τα μόρια στο κεραμικό αντικείμενο αρχίζουν να ενώνονται μαζί σε σημεία επαφής. Η πυροσυσσωμάτωση δίνει συνεκτική δύναμη σε κεραμικά ψημένα σε χαμηλή θερμοκρασία.

ζ. Υαλοποίηση (Vitrification): συμβαίνει σε υψηλότερες θερμοκρασίες που εξαρτώνται από το μίγμα του πηλού με τα αλκαλικά οξείδια. Κατά τη διάρκεια της υλοποίησης τα λιωμένα μόρια ρέουν μαζί και το αντικείμενο ως ένα σύνολο συρρικνώνεται. Τα υαλοποιημένα κεραμικά είναι μη πορώδη. Δεν είναι όλα τα κεραμικά πλήρως υαλοποιημένα.



Εικόνα 1. Κεραμικά



1.2. Κατηγορίες Κεραμικών

Ανάλογα με τον τύπο του πηλού και με τις θερμοκρασίες ψησίματος, τα κεραμικά χωρίζονται σε τέσσερις κατηγορίες:

α. Τις τερακότες (terracotta): πρόκειται για ψημένο μίγμα πηλού, του οποίου η μάζα είναι πορώδης και δεν καλύπτεται από υάλωμα. Αυτό το υλικό χρησιμοποιείται για κατασκευές κτιρίων (τούβλα, κεραμίδια, πλακάκια), για διακόσμηση (γλάστρες, βάζα) αλλά μπορεί να βρεθεί συχνά σε αγάλματα και σε συλλογές μουσείων.

β. Πήλινα σκεύη (earthenwares): πρόκειται για μίγμα πηλού ψημένο σε θερμοκρασία 950-1100°C. Σε αυτή τη θερμοκρασία, συμβαίνει πυροσυσσωμάτωση αλλά όχι υαλοποίηση. Το κεραμικό που παράγεται έχει μικρότερο πορώδες από τις τερακότες, είναι γενικά μαλακό και γδέρνεται εύκολα. Μπορεί γρήγορα να απορροφήσει νερό, εκτός εάν υαλωθεί, ενώ υπάρχει καθαρή διάκριση ανάμεσα στο σώμα του κεραμικού και σε οποιοδήποτε υάλωμα (glaze). Τα αντικείμενα αυτά έχουν χρώμα κόκκινο από την παρουσία του σιδήρου στον πηλό, ενώ άλλα συνήθη χρώματα στα οποία συναντώνται είναι το μαύρο και το κίτρινο. Στην κατηγορία αυτή των κεραμικών ανήκουν τα Νεολιθικά, Ελληνικά, Ρωμαϊκά και Κινέζικα έργα τέχνης όπως και η Hispano-Mogresque κεραμική, η Ιταλική μαγιόλικα, η Γαλλική faience, η Ολλανδική delft, η Ισλαμική κεραμική με υαλώματα μολύβδου και η Αγγλική κεραμική από το Staffordshire.

γ. Φαγεντιανά: ονομάζονται γενικά όλα τα πορώδη κεραμικά που καλύπτονται με κάποιο υάλωμα.

δ. Υαλώδη κεραμικά (stonewares): ψήνονται στους 1100-1350°C. Είναι μερικώς υαλωμένα, σκληρότερα και πυκνότερα από τα πήλινα σκεύη (earthenwares) και δε γδέρνονται εύκολα. Μαζί με την πορσελάνη, αποτελούν τα μη πορώδη κεραμικά και διαφέρουν από αυτή στο ότι δεν έχουν διαφάνεια. Με ελαφρό χτύπημα πάνω στο σώμα του κεραμικού παράγεται ένας ευδιάκριτος ήχος. Το υάλωμα και το σώμα του κεραμικού είναι σφιχτά συγκολλημένα. Συνήθη χρώματα για τα κεραμικά αυτά είναι το καφέ και το γκρι. Παραδείγματα αυτής της κατηγορίας είναι η Κινέζικη κεραμική (Chinese Yueh), η Αγγλική (Staffordshire stonewares και τα Wedgwood's unglazed προϊόντα).

ε. Πορσελάνη: ψήνεται σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες, συνήθως πάνω από 1300°C. Η πορσελάνη φτιάχνεται από ένα ειδικό πηλό που ονομάζεται καολινίτης. Αυτός ο πηλός δουλεύεται δύσκολα και ψήνεται κάτω από ειδικές και ακριβείς συνθήκες. Η πορσελάνη έχει συγκεκριμένα χαρακτηριστικά. Το σώμα της είναι πλήρως υαλοποιημένο και αδιαπέραστο από το νερό (μη πορώδες). Είναι διαφανής και η μάζα της είναι πολύ λευκή και εξαιρετικά σκληρή και εύθραυστη. Με ένα ελαφρό χτύπημα το κεραμικό παράγει έναν ήχο σε υψηλότερο τόνο από ότι τα υαλώδη κεραμικά (stonewares). Το βερνίκι και το σώμα του κεραμικού είναι σχεδόν αδιάκριτα. Χαρακτηριστικά παραδείγματα της κατηγορίας αυτής είναι οι Κινέζικες και Ιαπωνέζικες πορσελάνες και τα κεραμικά προϊόντα από τη Βιέννη, το Μπρίστολ και το Πλίμουθ.



Εικόνα 2. Κατηγορίες κεραμικών



2. Φθορές έργων τέχνης από κεραμικό

Η κατάσταση ενός έργου τέχνης εξαρτάται από δύο κυρίως παράγοντες – το υλικό από το οποίο είναι κατασκευασμένο και τις συνθήκες στις οποίες αυτό έχει εκτεθεί κατά τη διάρκεια της ζωής του. Όποιος και αν είναι ο μηχανισμός της φθοράς που υφίστανται χημικός, φυσικός και/ ή βιολογικός, οι περιβαλλοντικές συνθήκες έχουν μια σημαντική επίδραση πάνω στο μέγεθος της φθοράς και ιδιαίτερα η παρουσία αέρα και υγρασίας.

Η φθορά των κεραμικών αντικειμένων οφείλεται σε *ενδογενείς* και *εξωγενείς* παράγοντες. Στους ενδογενείς παράγοντες ανήκουν οι ατέλειες του κεραμικού αντικειμένου που μπορεί να οφείλονται σε ψήσιμο που έγινε σε χαμηλή θερμοκρασία ή σε απότομη άνοδο της θερμοκρασίας ή σε μη σταδιακό στέγνωμα. Οι ατέλειες αυτές κάνουν την επιφάνεια, αλλά και το σώμα του κεραμικού να φαίνονται σαθρά και προκαλούν ρωγμές στην επιφάνειά του. Εκτός από τις ατέλειες, στους ενδογενείς παράγοντες ανήκει και η διαφορά στο συντελεστή θερμικής διαστολής - συστολής μεταξύ υαλώματος και σώματος. 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, όποτε 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 ανάμεσα στο υάλωμα και τελικά το κρακελάρισμα του υαλώματος.

Οι εξωγενείς παράγοντες είναι εκείνοι που έχουν σχέση με την επίδραση του περιβάλλοντος στο αντικείμενο. Αυτοί είναι:

α. Οι θραύσεις από μηχανικούς παράγοντες όπως από χτυπήματα ή πτώσεις που έγιναν κατά τη διάρκεια της ανασκαφής, τη μεταφορά και την αποθήκευση των αντικειμένων.

β. 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 σε αυτό.

γ. Στην περίπτωση των αρχαιολογικών κεραμικών φθορά μπορεί να προκληθεί από την παρουσία αλάτων τα οποία έχουν απορροφηθεί μέσα στο κεραμικό από το χώμα μέσα στο οποίο ήταν θαμμένα. Αυτά τα άλατα μπορούν να απορροφήσουν υγρασία από τον αέρα όταν τα επίπεδα υγρασίας είναι υψηλά. Η απορρόφηση υγρασίας προκαλεί τη διόγκωση των αλάτων πράγμα που μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ρωγμών ή στην αποχώρηση επιφανειακών στρωμάτων από το κεραμικό αντικείμενο.

δ. Φθορές επίσης προκαλούνται και από τη χημική δράση μικροοργανισμών, όπως είναι οι μύκητες, τα διάφορα είδη φυκών, τα βακτήρια και οι λειχήνες. Οι μικροοργανισμοί αυτοί παράγουν συνήθως οξέα που προσβάλλουν τις ανθρακικές προσμίξεις των κεραμικών.

ε. Στις φθορές ανήκουν και οι λεκέδες ή ο χρωματισμός που μπορούν να προκληθούν από ακατάλληλη χρήση (για παράδειγμα από υλικά που κατά καιρούς αποθηκεύτηκαν μέσα στα κεραμικά) ή κατά την έκθεση (για παράδειγμα λεκέδες στις μύτες και τα γόνατα κεραμικών αγαλμάτων σε μουσειακές εκθέσεις) ή από τον καθαρισμό και τις διεργασίες αποκατάστασης. Χρήση ακατάλληλων ή φτωχών σε ποιότητα και αντοχή ρητινών (οι οποίες υφίστανται φθορές από τη θερμοκρασία, την υγρασία, τις υπεριώδεις ακτίνες ή την ατμοσφαιρική ρύπανση) που χρησιμοποιούνται ως κόλλες ή ως στερεωτικά επάνω στα κεραμικά αντικείμενα μπορούν να οδηγήσουν σε μη αντιστρέψιμο κιτρίνισμα, κρακελάρισμα και δημιουργία μηχανικών τάσεων επάνω στα κεραμικά αντικείμενα. Όταν μια κόλλα ή ένα στερεωτικό παρουσιάσει διαφορές ως προς τη μηχανική αντοχή ή το συντελεστή θερμικής



διαστολής - συστολής σε σχέση με το κεραμικό υλικό, τότε μπορεί να προκληθεί φθορά στον αρμό ή στην επιφάνεια του κεραμικού που έχει στερεωθεί.

3. Αποκατάσταση/ Συντήρηση έργων τέχνης από κεραμικό

Η αποκατάσταση ενός κεραμικού αντικειμένου περιλαμβάνει γενικά τις αναλύσεις του υλικού του κεραμικού, του υαλώματος, του χρώματος αν υπάρχει και των επικαθίσεων, τον καθαρισμό της επιφάνειας από τις διάφορες επικαθίσεις, τη στερέωση της σαθρής επιφάνειας και της επιφάνειας που έγιναν οι διάφοροι καθαρισμοί, την κόλληση των κομματιών που έχουν βρεθεί και τη συμπλήρωση των κομματιών του αντικειμένου που λείπουν.

Τα συνθετικά υλικά που χρησιμοποιούνται στη συντήρηση (στερέωση, κόλληση) είναι διάφορα πολυμερή και η επιλογή τους γίνεται με βάση τις ιδιότητες και τις αντοχές τους στους διάφορους διαβρωτικούς παράγοντες του περιβάλλοντος. Τα περισσότερα πολυμερή εφαρμόζονται στα διάφορα αντικείμενα με την ελπίδα η επανάληψη της εφαρμογής να γίνει το ελάχιστο μετά από είκοσι έως 100 χρόνια στις περισσότερες περιπτώσεις. Ωστόσο, τα πολυμερικά φιλμ παρουσιάζουν με το χρόνο πολλές αλλοιώσεις όπως για παράδειγμα κιτρίνισμα, ευθραυστότητα, αδιαλυτότητα, συστολή ή διαστολή, ρευστότητα, ρηγματώσεις ή απορρόφηση σκόνης. Από αυτές το κιτρίνισμα, η ευθραυστότητα και αδιαλυτότητα οφείλονται σε χημικές αντιδράσεις διάσπασης ή διασταύρωσης (cross-linking) των μακρομοριακών αλυσίδων του πολυμερούς και προκαλούνται από το φως (υπεριώδη ακτινοβολία), τη θέρμανση και κυρίως το οξυγόνο.

Έτσι, για να μπορεί να θεωρηθεί κατάλληλο για χρήση στη συντήρηση, ένα πολυμερικό υλικό θα πρέπει να ικανοποιεί ορισμένες απαιτήσεις. Δε θα πρέπει να αντιδρά με την επιφάνεια του κεραμικού, δε θα πρέπει να μεταβάλλει τα φυσικά και χημικά χαρακτηριστικά του αντικειμένου κατά την εφαρμογή του επάνω σε αυτό, να μπορεί να απομακρυνθεί πλήρως από το αντικείμενο οποιαδήποτε στιγμή χρειαστεί στο μέλλον, χωρίς να καταστραφεί το αντικείμενο (αντιστρέψιμη διαδικασία), να διατηρεί σταθερές τις φυσικές και χημικές του ιδιότητες με την πάροδο του χρόνου και να μην επηρεάζει το αντικείμενο και η κατανομή του στερεωτικού στο αντικείμενο θα πρέπει να είναι όσο το δυνατόν περισσότερο ομοιόμορφη για να είναι μειωμένες οι πιέσεις στις διεπιφάνειες. Στην περίπτωση της κόλλας, θα πρέπει να λαμβάνονται επιπλέον υπόψη το μέγεθος των θραυσμάτων, το πλάτος τους, το είδος τους και η κατάσταση του κεραμικού. Ένα σύστημα κόλλησης, θα πρέπει να επιτρέπει γενικά το αντικείμενο να αποσυναρμολογηθεί ξανά.

4. Σύγχρονες κόλλες. Τύποι και Χαρακτηριστικά

Οι σύγχρονες κόλλες ταξινομούνται από τον τρόπο που χρησιμοποιούνται ή από το χημικό τους τύπο. Οι πιο ισχυρές κόλλες στερεοποιούνται με μια χημική αντίδραση. Έτσι έχουμε:

α. Αναερόβιες. Βασίζονται πάνω σε ακρυλικές ρητίνες. Παρουσιάζουν σχετικά ταχύτατη σκλήρυνση όταν έρθουν σε επαφή με μέταλλο και ο αέρας αποκλείεται, αλλά λόγω της διεργασίας σκλήρυνσης δεν έχουν την ικανότητα συμπλήρωσης.

β. Κυανοακρυλικό εστέρες ή “super glues”. Οι κόλλες αυτές σκληραίνουν με την υγρασία που κρατείται πάνω στην προς κόλληση επιφάνεια. Συνήθως στερεοποιούνται μέσα σε δευτερόλεπτα αλλά κιτρινίζουν εύκολα με την επίδραση του φωτός και της θερμοκρασίας. Χρησιμοποιούνται συχνά σαν προσωρινές κόλλες για τη συγκράτηση των κομματιών πριν την εφαρμογή μιας μόνιμης εποξειδικής κόλλας.

γ. Ακρυλικοί και Μεθακρυλικοί εστέρες. Οι κόλλες αυτές παρέχονται σε δύο συστατικά (ρητίνη και εκκινητής) και συνήθως αναμιγνύονται πριν την εφαρμογή, αλλά μπορεί να



εφαρμοστούν και ξεχωριστά στις επιφάνειες που πρόκειται να κολληθούν. Είναι διαθέσιμες στην αγορά με μια ευρεία ποικιλία ταχυτήτων σκλήρυνσης, παρουσιάζουν υψηλή αντοχή, χωρίς καμιά απαίτηση για προετοιμασία της επιφάνειας προς κόλληση και αντιστρεψιμότητα. Παρουσιάζουν όμως το μειονέκτημα της σταδιακής εξασθένησης με την επίδραση του νερού.

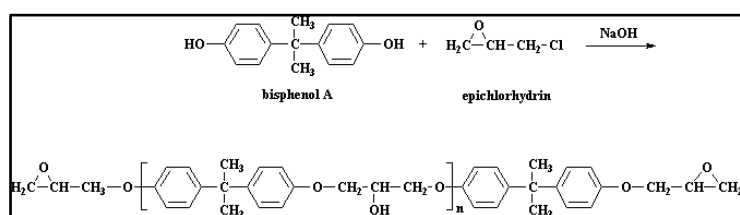
δ. Κόλλες που σκληραίνουν με την υπεριώδη ακτινοβολία. Πρόκειται για ειδικά τροποποιημένες ακρυλικές και εποξειδικές κόλλες, οι οποίες μπορούν να σκληρυνθούν γρήγορα με έκθεση στην υπεριώδη ακτινοβολία.

ε. Πολυουρεθάνες. Έχουν χαμηλό κόστος, διάρκεια και δημιουργούν δυνατούς, ελαστικούς αρμούς ανθεκτικούς στις κρούσεις. Η ιδιότητα αυτή κάνει τις κόλλες αυτές κατάλληλες για την κόλληση ανόμοιων υλικών, γιατί αντισταθμίζουν τη συστολή και διαστολή μεταξύ των επιφανειών.

στ. Εποξειδικές κόλλες. Αναπτύχθηκαν κατά τη διάρκεια της δεκαετίας του 1950. Εξαιτίας της υψηλής αντοχής και ικανότητας στην πλήρωση κενών χρησιμοποιήθηκαν και για τη στερέωση και αποκατάσταση της πέτρας. Οι κόλλες αυτές αποτελούνται από μια εποξειδική ρητίνη και έναν σκληρυντή. Τα πιο επιθυμητά χαρακτηριστικά τους, πέρα από τους εξαιρετικά δυνατούς και ανθεκτικούς δεσμούς που δημιουργούν με τα περισσότερα υλικά, είναι ότι δεν υφίστανται συρρίκνωση κατά τη σκλήρυνση και παρουσιάζουν εξαιρετική πρόσφυση με διάφορα υποστρώματα (ιδιότητα που οφείλεται στις υδροξυλικές ομάδες που υπάρχουν στο μακρομόριο και στην ανάπτυξη δεσμών υδρογόνου και Van der Waals). Μειονεκτήματά τους είναι ότι είναι μη αντιστρεπτές (δεν μπορούν να διαλυθούν αλλά μπορούν να μαλακώσουν με διχλωρομεθάνιο και να απομακρυνθούν μηχανικά), παρουσιάζουν μειωμένη οξειδωτική σταθερότητα με κάποια ευαισθησία στην υγρασία και συχνά χρωματίζονται με τον χρόνο. Ο πιο εκτενώς χρησιμοποιούμενος τύπος εποξειδικής κόλλας στη συντήρηση έργων τέχνης είναι μια μεγάλη αρωματική ένωση, ο «διγλυκίδυλο αιθέρας της δισφαινόλης - Α» (κόλλες περισσότερο γνωστές ως Araldites) και ο «υδρογονωμένος διγλυκίδυλο αιθέρας της δισφαινόλης - Α» (κόλλα γνωστή ως Hxtal Nyl-1).

5. Χημεία των Εποξειδικών Ρητινών

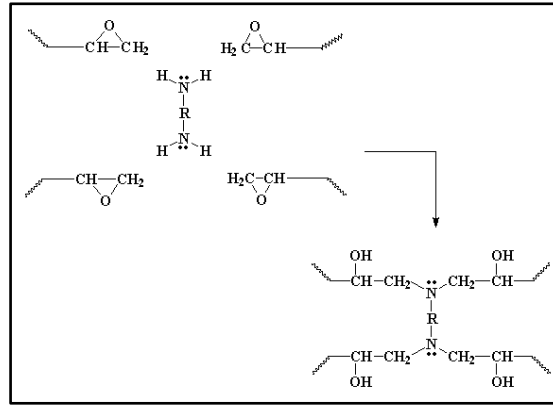
Το συστατικό Α των εποξειδικών ρητινών είναι ο διγλυκίδυλο αιθέρας της δισφαινόλης - Α (DGEBA) και παράγεται από την αντίδραση της δισφαινόλης - Α με την επιχλωρυδρίνη (Σχήμα 1).



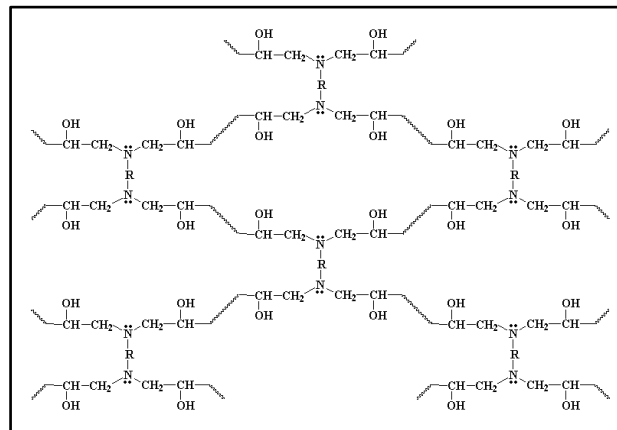
Σχήμα 1.

Στη συνέχεια, τα υδρογόνα μιας αμίνης (συστατικό Β) μπορούν να αντιδράσουν με τις εποξειδικές ομάδες του διγλυκίδυλο αιθέρας της δισφαινόλης - Α (DGEBA) (Σχήμα 2.) και με αυτόν τον τρόπο μπορεί να δημιουργηθεί ένα διασταυρωμένο δίκτυο εποξειδικής ρητίνης (Σχήμα 3.).





Σχήμα 2.



Σχήμα 3.

Βιβλιογραφικές αναφορές

- Almeida, J. R. M., & Monteiro S. N. (1996). The Effect of the Resin/ Hardener Ratio on the Compressive behavior of an epoxy system. *Polymer Testing*, 15, 329-339.
- Charles, S. (1992). *Epoxy Resins in Stone Conservation*. USA: Getty Conservation Institute.
- Clayton, A. M. (1998). *Epoxy Resins Chemistry and Technology*. New York: Marcel Dekker.
- Horie, C. V. (1997). *Materials for Conservation – Organic consolidants, adhesives and coatings*. New York: Architectural Press.
- J. Sage (Ed.). (1994). Display Materials: The good, the bad and the ugly. In *Exhibitions and Conservation, Pre-Prints of the Conference held at the Royal College of Physicians* (pp. 79-87). Edinburg: The Scottish Society for Conservation & Restoration (SSCR).
- Plenderleith, H. J., & Werner, A. E. A. (1979). *The Conservation of antiquities and Works of Art - Treatment, Repair and Restoration*. Oxford: Oxford University Press.

