

Τ.Ε.Ι. ΚΡΗΤΗΣ

**Σχολή Τεχνολογικών Εφαρμογών
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών**



ΘΕΜΑ ΠΤΥΧΙΑΚΗΣ:

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΓΥΑΛΙΟΥ (GLASS TECHNOLOGY)



ΛΑΓΟΥΔΑΚΗΣ ΓΕΩΡΓΙΟΣ

ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ: ΚΩΣΤΑΣ ΣΑΒΒΑΚΗΣ

ΙΟΥΝΙΟΣ 2016

ΠΙΝΑΚΑΣ ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΩΝ

| | ΣΕΛΙΔΑ |
|------------------------------------|--------|
| ΕΙΣΑΓΩΓΗ | 3 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 | 4 |
| 1.1 Ιστορική αναδρομή | 4 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 | 7 |
| Δομή και ιδιότητες | 8 |
| 2.1 Χημική σύσταση | 8 |
| 2.2 Θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά | 9 |
| 2.3 Οπτικές ιδιότητες | 10 |
| 2.4 Ηχομονωτικές ιδιότητες | 10 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 | 13 |
| Μηχανικές ιδιότητες του γυαλιού | 13 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 | 21 |
| Μέθοδοι παραγωγής και μορφοποίησης | 21 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 | 36 |
| Κατηγορίες γυαλιού | 36 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 | 46 |
| Εφαρμογές του γυαλιού | 46 |
| ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 | 58 |
| Ανακύκλωση του γυαλιού | 58 |
| Συμπεράσματα | 62 |
| Βιβλιογραφία | 63 |

ΠΙΝΑΚΑΣ ΣΧΗΜΑΤΩΝ

- Εικόνα 1 Εργαστήριο υαλοποιίας, Wadi Natrun, Αίγυπτος, 1ος - 2ος αιν. μ.Χ. (Nenna et al. 2000)
- Εικόνα 2 Εργαστήριο υαλουργίας, Βασ. Ηρακλείου 45, Θεσσαλονίκη, 6ος - 7ος αιν. μ. Χ. (Αρχαιολογικό μουσείο Θεσσαλονίκης)
- Εικόνα 3 Η βασική χημική αντίδραση με την οποία δημιουργείται το γυαλί.
- Εικόνα 3 Ο νόμος των συχνοτήτων στην θεωρία και στην πράξη μέσα από διαγράμματα.
- Εικόνα 4 Ο νόμος των μαζών στην θεωρία και στην πράξη μέσα από διαγράμματα.
- Εικόνα 5 Διαγραμματική απεικόνιση της παραμόρφωσης του γυαλιού.
- Εικόνα 6 Επιφάνεια θραύσης υάλινου κυλίνδρου που έσπασε με κάμψη. Το σημείο έναρξης υποδεικνύεται από το βέλος.
- Εικόνα 7 Διαγραμματική απεικόνιση της δυναμικής ενέργειας κατά την θραύση.
- Εικόνα 8 Θραύση διαφορετικών τύπων γυαλιού.
- Εικόνα 9 Κατανομή των στρωμάτων υπό τάση σε ένα γυαλί με την μέθοδο της θερμικής ενίσχυσης.
- Εικόνα 10 Χημική αντίδραση για την μείωση των αλκαλίων.
- Εικόνα 11 Συστάσεις % κ.β. ορισμένων βιομηχανικών υάλων.
- Εικόνα 12 Κλίβανος ασυνεχούς λειτουργίας
- Εικόνα 13 Κλίβανος συνεχούς λειτουργίας παραγωγής επίπεδου γυαλιού
- Εικόνα 14 Κλίβανος παραγωγής φιαλών
- Εικόνα 15 Μέθος fourcault
- Εικόνα 16 Συγκριση μεθόδων Fourcault – Pittsburgh
- Εικόνα 17 Μέθοδος Libbey – Owens
- Εικόνα 18 Μέθοδος επίπλευσης (1959)
- Εικόνα 19 Παραγωγή φιαλών με την μέθοδο της μηχανικής πίεσης
- Εικόνα 20 Μέθοδος εμφύσησης αέρα
- Εικόνα 21 Μέθοδος Gossler και Schuller
- Εικόνα 23 Συσκευή Pot-Melter
- Εικόνα 22 Τράβηγμα ρευστού υποβοηθούμενου
- Εικόνα 23 Μικτή διαδικασία
- Εικόνα 24 Παραγωγή οπτικών ινών
- Εικόνα 25 Διπλό γυαλί με θερμομονωτικές ιδιότητες
- Εικόνα 26 Σύγκριση ενισχύσεων διαφόρων τύπων ινών σε σχέση με το κόστος τους.
- Εικόνα 29 Διεργασίες που πραγματοποιούνται για την κατασκευή του γυαλιού από gel πυριτίου.
- Εικόνα 30 Οι κυριότερες εφαρμογές του γυαλιού σε βιομηχανικό επίπεδο.
- Εικόνα 31 Αρχιτεκτονικό αριστούργημα σε δάσος στην Ελβετία.
- Εικόνα 272 Ηλιακός συσσωρευτής με επιφάνεια γυαλιού και αλουμίνιο.
- Εικόνα 33 Φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες τελευταίας τεχνολογίας με ενσωμάτωση στο πλαίσιο γυάλινων επιφανειών.
- Εικόνα 34 Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με φωτοβολταϊκά πάνελ.
- Εικόνα 35 Διαδικασία Ανακύκλωσης Γυαλιού
- Εικόνα 36 Ευρωπαϊκός χάρτης Ανακύκλωσης Γυαλιού

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Το γυαλί αποτελεί ένα υλικό στερεό και σε γενικές γραμμές άμορφο, με την έννοια ότι δεν παρουσιάζει κάποια κρυσταλλική δομή. Σε πρωτογενή μορφή είναι ημιδιάφανο ή διάφανο και συνήθως εύθραυστο, άκαμπτο και σκληρό. Από την πλευρά του υλικού αυτού κάθε αυτού, είναι ένα αδρανές υλικό από χημική και βιολογικής άποψης. Μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες στην σύγχρονη εποχή είναι η δυνατότητα του για πλήρη ανακύκλωση, για αυτό τον λόγο και χρησιμοποιείται ευρέως ως υλικό συσκευασίας τροφίμων και ποτών.

Το κοινό γυαλί παρασκευάζεται με σύντηξη χαλαζιακής άμμου (SiO_2) (73,7%), ανθρακικού νατρίου (κοιν. Σόδα, Na_2CO_3) (16%), οξειδίου του καλίου (K_2O) (0,5%) (συλλιπάσματα) και ανθρακικού ασβεστίου (κοιν. ασβεστόλιθου (CaCO_3)) (5,2%) ανθρακικού μαγνησίου (MgCO_3) (3,6%) και οξειδίου του αργιλίου (Al_2O_3) (1%) (σταθεροποιητές).

Μία από τις κυριότερες ιδιότητες του γυαλιού είναι η υψηλή σκληρότητα του η οποία αγγίζει το 7 στην κλίμακα Mohs. Επίσης, είναι εύθραυστο ενώ τα θραύσματά του είναι οξύληκτα. Είναι διαφανές για το φάσμα του ορατού φωτός και αδιάφανο στην υπεριώδη ακτινοβολία. Ακόμα, η ιδιότητα του ως δυσθερμαγωγό και μονωτικό υλικό συνετέλεσε στην χρήση του σε κτήρια και οχήματα.

Το γυαλί συναντάται κυρίως σε αυτούς τους βασικούς τύπους. Αρχικά στο κοινό γυαλί, το οποίο είναι ιδιαίτερος φθινό στην παραγωγή του σε σχέση με τα υπόλοιπα, και χρησιμοποιείται κυρίως για κοινά αντικείμενα της καθημερινότητας μας. Το γυαλί μόλυβδου έχει περίπου τις ίδιες ιδιότητες με το κοινό γυαλί, αλλά και λόγω της διαθλαστικότητας τους για την δημιουργία φακών και οπτικών οργάνων. Μία άλλη βασική κατηγορία είναι αυτή του γυαλιού από βόριο, γνωστό ως «PYREX» με μεγάλη απήχηση στην κατασκευή εργαστηριακών οργάνων λόγω του χαμηλού συντελεστή διαστολής του σε υψηλές θερμοκρασίες. Τέλος, οι οπτικές ίνες έχουν εισβάλει για τα καλά στην καθημερινότητα μας με την χρήση τους κυρίως στις τηλεπικοινωνίες και στα δίκτυα ηλεκτρονικών υπολογιστών.

Πριν ολοκληρωθεί η εισαγωγή, σκόπιμο είναι να αναφερθούν και κάποιοι ειδικοί τύποι γυαλιού, όπως το γυαλί αργιλίου το οποίο αντέχει σε πολύ υψηλές θερμοκρασίες έως 750°C και χρησιμοποιείται κυρίως σε λαμπτήρες και θαλάμους καύσεων και τέλος το γυαλί αλκαλίων-βαρίου το οποίο τοποθετείται στις οθόνες των τηλεοράσεων και των υπολογιστών καθώς απορροφούν επικίνδυνες ακτινοβολίες.

Κλείνοντας, θα πρέπει να αναφερθεί ότι υπάρχουν και άλλοι τύποι οι οποίοι σκοπίμως δεν αναφέρθηκαν στην εισαγωγή με σκοπό την ανάλυση του στο κύριο μέρος της μελέτης. Από τις μέχρι στιγμής αναφορές στο γυαλί, έχει γίνει κατανοητό ότι η χρήση του είναι απαραίτητη στην καθημερινότητα μας, ακόμα και αν δεν το αντιλαμβανόμαστε κάποιες στιγμές.

ΠΕΡΙΛΗΨΗ (SUMMARY)

The present thesis covers different important parameters of glass technology. The contents cover the fundamental topics of importance in glass technology, including glass formation, crystallization, phase separation and structure of glasses. Additional chapters discuss the most important properties of glasses, including discussion of physical, optical, electrical, chemical and mechanical properties. A final chapter provides an introduction to a number of methods used to form technical glasses, including glass sheet, bottles, insulation fibre, optical fibres and other common commercial products. In addition, the book contains discussion of the effects of phase separation and crystallization on the properties of glasses, which is neglected in other texts.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 Ιστορική αναδρομή

Η ανακάλυψη του γυαλιού προσδιορίζεται περίπου πριν από 5.000 χιλιάδες έτη. Σύμφωνα με ιστορικά στοιχεία και ότι διασώζεται από τα ανθρώπινα δημιουργήματα εκείνων των εποχών, η Αίγυπτος ήταν πρωτοπόρος στην δημιουργία του γυαλιού κυρίως από άμμο στάχτη και ξύλο, και κατάφεραν να δημιουργήσουν κυρίως διακοσμητικά αντικείμενα και κοσμήματα. Στην συνέχεια της ιστορίας, η αρχαία Ρώμη λόγω της επέκτασης της σε ολόκληρη την Ευρώπη, έκανε ευρέως γνωστή της χρήση του γυαλιού με διάφορες χρήσης του, και συνήθως αποτελούσε ένδειξη πλούτου σε όποιον το κατείχε.



Εικόνα 28 Εργαστήριο υαλοποιίας, Wadi Natrun, Αίγυπτος, 1ος - 2ος αιν. μ.Χ. (Nenna et al. 2000)

Η κατασκευή του γυαλιού απαιτούσε πλινθόκτιστους κλιβάνους, μέσα στους οποίους η άμμος και το νάτριο στις υψηλές θερμοκρασίες δημιουργούσαν το γυαλί. Το μέγεθος των κλιβάνων ήταν περίπου 2 μέτρα επί 4 μέτρα μέσα στο χώμα. Προκειμένου να αφαιρεθεί το γυαλί που είχε παραχθεί το μεγαλύτερο τμήμα της κατασκευής έπρεπε να καταστραφεί.

Πολλές ανασκαφές έχουν δείξει ότι το γυαλί μετά την παραγωγή του ομαδοποιούνταν σε μικρά πακέτα των 25 κιλών περίπου.



Εικόνα 29 Εργαστήριο υαλουργίας, Βασ. Ηρακλείου 45, Θεσσαλονίκη, 6ος - 7ος αιν. μ. Χ. (Αρχαιολογικό μουσείο Θεσσαλονίκης)

Σημαντική ανακάλυψη σε αυτήν την ιστορική αναδρομή, ήταν αυτή της τέχνης του φυσήματος του γυαλιού, το οποίο αποδίδεται κυρίως σε Σύριους τεχνίτες, οι οποίοι με την βοήθεια ενός μεταλλικού σωλήνα, κατάφεραν να δίνουν νέες μορφές στο γυαλί, ενώ άξιο αναφοράς είναι το γεγονός ότι η τεχνική αυτή δεν έχει διαφοροποιηθεί ιδιαίτερα ακόμα και σήμερα.

Κατά την διάρκεια του 11^{ου} αιώνα, μία νέα τεχνική ήρθε στο προσκήνιο, αυτή την φορά από Γερμανούς υαλουργούς, οι οποίοι κατάφεραν να παράγουν επίπεδα φύλλα γυαλιού. Η τεχνική αυτή είχε την εξής διαδικασία, η οποία μετά το φύσημα μίας σφαιρικού σχήματος γυαλιού, ακολουθούσε μία κάθετη ταλάντευση, όπου με την βοήθεια της βαρύτητας δημιουργούνταν γυαλί κυλινδρικού σχήματος μήκους 3 μέτρων έως και 45 εκατοστών. Η χρήση αυτών των επιφανειών χρησιμοποιήθηκε ευρέως για την δημιουργία παραθύρων σε εκκλησίες, βασιλικά ανάκτορα, και γενικά σε οικίες επιφανών οικογενειών. Προς το τέλος του μεσαίωνα γίνεται και η εμφάνιση της διακόσμησης Βιτρό, τα οποία τοποθετούνται

επίσης σε οίκους πλουσίων της εποχής και κυρίως αναπαριστούν ιστορικές σκηνές με διάφανα και χρωματιστά γυαλιά.

Στην συνέχεια αυτής της ιστορικής αναδρομής ακολουθεί το γυαλί μόλυβδου, του οποίου η ανακάλυψη οφείλεται στον Άγγλο υαουργό George Ravenscroft (1618-1681), ο οποίος και επίσημα κατοχύρωσε την ανακάλυψη του το 1674 με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας. Η αποστολή του είχε ξεκινήσει όταν του ζητήθηκε να δημιουργήσει ένα υποκατάστατο του ενετικού κρυστάλλου το οποίο ήταν βασισμένο στην καθαρή άμμο χαλαζία και το ανθρακικό κάλιο. Με τη χρήση του μόλυβδου στην θέση του ανθρακικού καλίου, κατάφερε την παραγωγή ενός λαμπρού γυαλιού, με υψηλότερο δείκτη διαθλάσεως.

Φτάνοντας στην σύγχρονη εποχή, η συνταγή η οποία καθιερώθηκε για την κατασκευή του γυαλιού αποτελείται κατά 59% άμμο, 19% σόδα, 13% μαρμαρόσκονη, 5% δολομολίτη (ορυκτό με ανθρακικό μαγνήσιο και ανθρακικό ασβέστιο) και 5% άστριο (ορυκτό από αργιλικό πέτρωμα). Η σύνθεση αυτών των υλικών πραγματοποιείται σε κλιβάνους τήξης όπου το γυαλί βρίσκεται σε υγρή μορφή σε θερμοκρασίες μεταξύ 5.000° με 6.000 °C . Οι ανάγκες της Ευρώπης σε γυαλί ανέρχεται στους 34,7 τόνους ενώ η ελληνική αγορά περίπου στους 170.000 τόνους. Σημαντικό να αναφερθεί είναι ότι η βιομηχανία για την κάλυψη των ανθρωπίνων αναγκών για γυαλί είναι ιδιαίτερως μεγάλη, και σύμφωνα με στοιχεία της Ευρωπαϊκής Ένωσης περίπου 210.000 υπάλληλοι εργάζονται και ζουν από την παραγωγή του γυαλιού.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

Δομή και ιδιότητες

Ένα από τους ορισμούς του γυαλιού το κατατάσσει ως την παγωμένη κατάσταση ενός υγρού το οποίο χωρίς κρυστάλλωση στερεοποιείται. Η πιο σημαντική πρώτη ύλη για την κατασκευή του γυαλιού είναι η άμμος.

2.1 Χημική σύσταση

Η κατασκευή του γυαλιού βασίζεται σε μια απλή διαδικασία κατά την οποία αναμιγνύονται τρεις ανόργανες ουσίες που στη συνέχεια θερμαίνονται μέχρι να συγχωνευτούν. Οι ουσίες αυτές είναι η άμμος που μας δίνει το πυρίτιο, το ανθρακικό νάτριο (η σόδα) που χαμηλώνει το σημείο τήξης της άμμου, και το ανθρακικό ασβέστιο (ο ασβεστόλιθος) που σταθεροποιεί το γυαλί για να μην διαλυθεί στο νερό.

Στα βασικά αυτά συστατικά μπορούν να προστεθούν διάφορα μεταλλικά οξείδια για να γίνει το γυαλί κατάλληλο για συγκεκριμένες χρήσεις και να πάρει διάφορα χρώματα. Όταν οι ουσίες που προστίθενται περιέχουν σίδηρο το γυαλί γίνεται καφέ ή πράσινο, όταν περιέχουν χρώμιο ή κοβάλτιο το γυαλί γίνεται πράσινο ή μπλε. Σχεδόν όλοι όμως οι παρασκευαστές γυαλιού χρησιμοποιούν κι ένα άλλο χρήσιμο υλικό: τα γυάλινα κατάλοιπα που ανακυκλώνονται και ξαναχρησιμοποιούνται.

Το κοινό γυαλί παρασκευάζεται με σύντηξη χαλαζιακής άμμου (SiO_2) (73,7%), ανθρακικού νατρίου (κοιν. Σόδα, Na_2CO_3) (16%), οξειδίου του καλίου (K_2O) (0,5%) (συλλιπάσματα) και ανθρακικού ασβεστίου (κοιν. ασβεστόλιθου (CaCO_3)) (5,2%) ανθρακικού μαγνησίου (MgCO_3) (3,6%) και οξειδίου του αργιλίου (Al_2O_3) (1%) (σταθεροποιητές). Ανάλογα με τον τύπο και το ποσοστό των συλλιπασμάτων και των σταθεροποιητών λαμβάνονται και οι διάφοροι τύποι γυαλιού.



Εικόνα 30 Η βασική χημική αντίδραση με την οποία δημιουργείται το γυαλί.

Πέρα απο την χημικη συσταση του κοινου γυαλιου κρισηκε σκοπιμο να αναφερθούν οι συστάσεις κάποιων βασικών τύπων καθώς και οι ιδιότητες και η χρήση για την οποία προορίζονται σύμφωνα με την αλλαγή που δημιουργείται στην σύσταση τους από τις διάφορες παραλλαγές τόσο σε χημικά στοιχεία όσο και στα ποσοστά της σύνθεσης τους.

| Όνομα | Σύσταση | Ιδιότητες | Χρήση |
|------------------------|--|---|-----------------------------|
| Quartz (silica) | SiO ₂ >96% | Θερμική αντοχή Υψηλό σημείο μαλακύνσεως Διάφανο στο UV | Φακοί Όργανα εργαστηρίου |
| Κοινό γυαλί | SiO ₂ 70% Na ₂ O 15% CaO 10% | Μικρή θερμική αντοχή | Φιάλες Υαλοπίνακες |
| Βοριοπυριτικό γυαλί | SiO ₂ 60-80% B ₂ O ₃ 10-25% | Αντοχή σε μεταβολές θερμοκρασίας | Πυράντοχο γυαλί (Pyrex) |
| Κρύσταλλο (flint) | SiO ₂ 30-70% PbO 20-60% Na ₂ O 5-20% | Μεγάλη πυκνότητα Μεγάλος δείκτης διάθλασης | Οπτικά όργανα Κρύσταλλα |
| Αλουμινοπυριτικό γυαλί | SiO ₂ 70% Al ₂ O ₃ 10% | Μεγάλη θερμική και χημική αντοχή | Λεπτά φιλμ |

2.2 Θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά

Βασικό χαρακτηριστικό του γυαλιού αποτελούν τα θερμοδυναμικά χαρακτηριστικά του. Λόγω της ακαθόριστης μορφής του, το γυαλί έχει την δυνατότητα να μετασχηματίζεται από στερεή σε υγρή μορφή με μία εμβέλεια μεταξύ 520 και 550 °C. Η θερμοκρασίες στις οποίες το γυαλί έχει την ικανότητα να αναπλάθεται είναι κοντά στους 600 °C.

Η αγωγιμότητα των υλικών μετριέται σε W/mK και καθορίζει τη θερμότητα που χρειάζεται να διαπεράσει από την μία άκρη ως την άλλη του υλικού, στην περίπτωση μας το

γυαλί, σε συγκεκριμένο χρονικό διάστημα καθώς η θερμοκρασία συνεχίζει να αυξάνεται. Η θερμική αγωγιμότητα του γυαλιού σύμφωνα με τις συνθήκες που μόλις αναφέρθηκαν αγγίζει τα 0,8 W/mK.

Κάποια στοιχεία τα οποία είναι κρίσιμο να αναφερθούν αποτελούν η πυκνότητα, η σκληρότητα και ο συντελεστής ελαστικότητας.

Το φυσικό μέγεθος της πυκνότητα αποτελεί βασικό χαρακτηριστικό της ύλης και εκφράζει τη μάζα του υλικού που περιέχεται σε μία μονάδα όγκου. Πιο συγκεκριμένα, η πυκνότητα του γυαλιού είναι περίπου 2500 kg/m³ πράγμα που σημαίνει ότι για μία επιφάνεια πάχους ενός χιλιοστού, το βάρος του αγγίζει τα 2,5 kg.

Η σκληρότητα είναι η αντίσταση που εμφανίζουν τα υλικά σε εγχάραξη, πράγμα που σημαίνει ότι τόσο σκληρότερα όσο τα άτομά τους είναι μικρότερα και πυκνότερα. Για τη μέτρηση της ιδιότητας αυτής χρησιμοποιείται η δεκαβάθμια σκληρομετρική κλίμακα Mohs. Σε αυτή την κλίμακα, το κοινό γυαλί μετρήθηκε με περίπου 7 βαθμούς της κλίμακας Mohs.

Η ελαστικότητα ενός υλικού ορίζεται από την ελαστική επιμήκυνση μίας λεπτής κυλινδρικής δομής του υλικού, στην οποία ασκείται δύναμη με στόχο να λυγίσει. Ο βαθμός ελαστικότητας του γυαλιού μετριέται στα 70.000 MPa.

2.3 Οπτικές ιδιότητες

Μία από τις σημαντικότερες ιδιότητες του γυαλιού ως υλικό σχετίζεται με τις οπτικές του δυνατότητες. Το γυαλί έχει αποδειχθεί ότι μπορεί να διατηρήσει τις οπτικές του ιδιότητες για αρκετά έτη και σε συνδυασμό με την δυνατότητα να παραχθεί σε φύλλα, αποδείχθηκε αρκετά χρήσιμο για την ανθρωπότητα, καθώς χρησιμοποιήθηκε με ποικίλους τρόπους στην ζωή μας τα τελευταία χρόνια.

Η ικανότητα ανάκλασης του γυαλιού είναι συνάρτηση της κατάστασης της επιφάνειας του, του μήκους κύματος και της διεύθυνσης της δέσμης του προσπίπτοντος φωτός. Τα συνήθη γυαλιά έχουν συνήθως δείκτη διάθλασης περίπου 1,5 για το πράσινο φως και άρα η απώλεια της έντασης του φωτός λόγω ανάκλασης είναι της τάξης του περίπου 4%.

Όσον αφορά την διαπερατότητα του υλικού, η ιδιότητα αυτή καθορίζεται από την ανάκλαση της επιφάνειας και την οπτική απορρόφηση μέσα στο γυαλί. Η διαπερατότητα είναι συνάρτηση του μήκους κύματος και για τα γυαλιά έχει ένα εύρος που ορίζεται από την απορρόφηση του υλικού στην υπεριώδη περιοχή του φάσματος και στην υπέρυθρη.

2.4 Ηχομονωτικές ιδιότητες

Παράδειγμα ηχομείωσης υαλοπινάκων

Κάθε υαλοπίνακας που προσαρμόζεται σε ένα πλαίσιο παρέχει ηχομείωση ανάλογη με τον τύπο του. Η ακουστική συμπεριφορά των κοινών μονών υαλοπινάκων υπακούει στους εξής ακουστικούς νόμους, δηλαδή τον νόμο των συχνοτήτων και τον νόμο των μαζών.

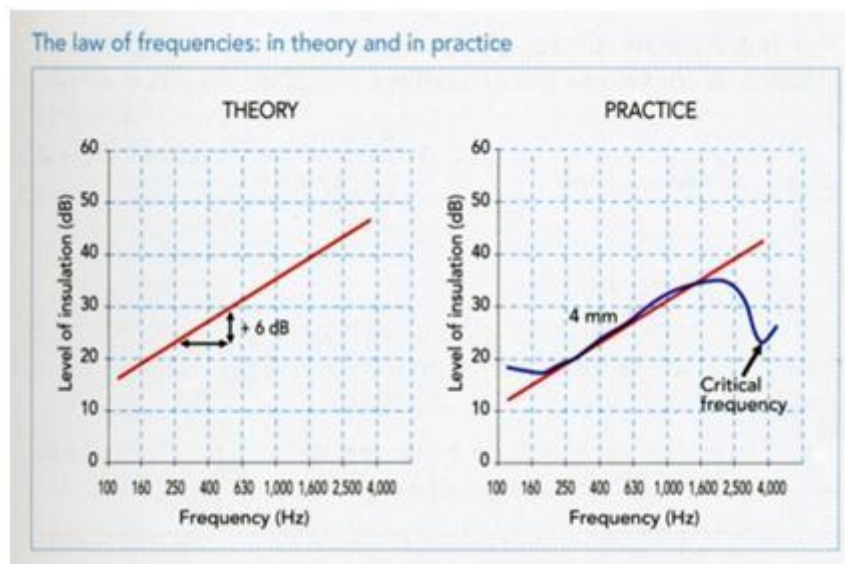
Ο νόμος των συχνοτήτων δηλώνει ότι για λεπτά τεμάχια οποιουδήποτε μεγέθους, η ηχομείωση αυξάνεται κατά 6 dB με τον διπλασιασμό της μέσης συχνότητας.

Στην πράξη, αυτός ο νόμος δεν ισχύει πάντα και υπάρχουν τρεις ζώνες σε ένα ηχητικό φάσμα:

Στην πρώτη, ο νόμος των συχνοτήτων ισχύει σχεδόν πάντα και η μόνωση αυξάνει με την συχνότητα.

Στην δεύτερη, η ηχομείωση μειώνεται λόγω της κρίσιμης συχνότητας του γυαλιού, η οποία σε θερμοκρασία περιβάλλοντος δίδεται από τον τύπο $f_{cr} = 12800/e$, όπου e είναι το πάχος του γυαλιού, εκφρασμένο σε mm.

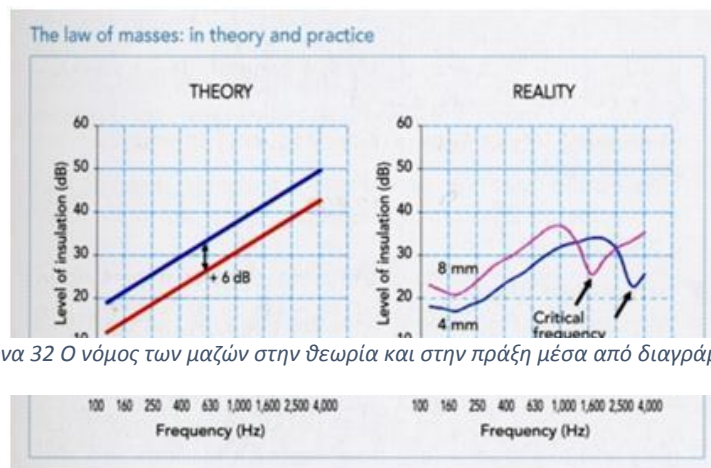
Στην τρίτη, η μόνωση αυξάνεται απότομα με τον διπλασιασμό της συχνότητας, θεωρητικά κατά 9 dB, αλλά στην πράξη λιγότερο.



Εικόνα 31 Ο νόμος των συχνοτήτων στην θεωρία και στην πράξη μέσα από διαγράμματα.

Ο νόμος των μαζών δηλώνει ότι θεωρητικά, αν η μάζα ενός τμήματος διπλασιαστεί, τότε η ηχομείωση που επιτυγχάνεται αυξάνεται κατά 6 dB σε σταθερή συχνότητα.

Πρακτικά, ο νόμος ισχύει στις περισσότερες περιπτώσεις εκτός από την ζώνη σύμπτωσης.



Εικόνα 32 Ο νόμος των μαζών στην θεωρία και στην πράξη μέσα από διαγράμματα.

Από τα παραπάνω είναι εύκολο να εξαχθεί το συμπέρασμα ότι:

- Σύμφωνα με τον νόμο των συχνοτήτων, όλα τα υλικά παρέχουν καλύτερη ηχομείωση στις υψηλές συχνότητες, παρά στις χαμηλές. Βέβαια οι θόρυβοι για τους οποίους ένα κτίριο χρειάζεται ηχομείωση, περιέχουν συνήθως χαμηλές συχνότητες.
- Η αύξηση του πάχους ενός μονού υαλοπίνακα, θεωρητικά και της ηχομείωσής του, έχει το μειονέκτημα ότι μετατοπίζει το βάθος της κρίσιμης συχνότητας προς χαμηλότερες συχνότητες, εξασθενώντας την ηχομείωση που παρέχει έναντι των χαμηλού τόνου θορύβων.
- Οι μονοί υαλοπίνακες παρέχουν ένα επίπεδο μόνωσης (R_w) από περίπου 29 dB για πάχος 4 mm μέχρι 35 dB για πάχος 12mm.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

Μηχανικές ιδιότητες του γυαλιού

Παρ' όλο που η καθημερινή εμπειρία των ανθρώπων οδηγεί στην εντύπωση ότι το γυαλί είναι ένα εξαιρετικά άκαμπτο υλικό, στην πραγματικότητα η συμπεριφορά του στη συνήθη θερμοκρασία είναι χαρακτηριστική ελαστικού στερεού σώματος. Μπορεί να υποστεί λογισμό ή να παραμορφωθεί κατά οποιονδήποτε τρόπο, υπό την προϋπόθεση όμως ότι δεν θα ξεπεραστεί το όριο θραύσης του μετά την άρση της μηχανικής τάσης, το γυαλί επανακτά το σχήμα που είχε αρχικά, πριν από την επιβολή της. Πράγματι, πολλές από τις σύγχρονες εφαρμογές του γυαλιού θα ήταν ανέφικτες αν το υλικό αυτό δεν διέθετε κάποιον περιορισμένο στο ελάχιστο βαθμό ευκαμψίας.

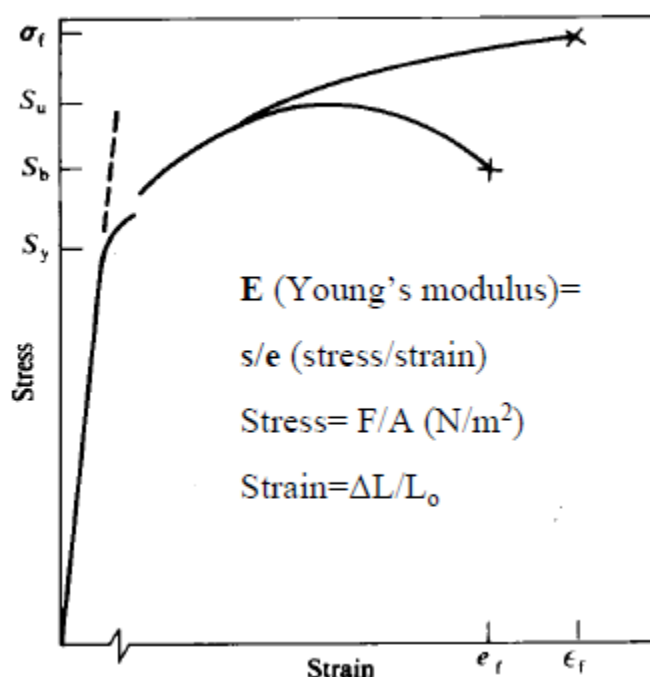
Επίσης, αν και η καθημερινή εμπειρία δημιουργεί την εντύπωση ότι το γυαλί είναι εύθραυστο υλικό με μειωμένη αντοχή, στην πραγματικότητα είναι αρκετά ανθεκτικό, ιδίως στην επιβολή θλιπτικών δυνάμεων. Το σπάσιμο του γυαλιού, όταν συμβαίνει, οφείλεται σε κρούση και ξεκινάει ως αδυναμία του υλικού να αντέξει σε εφελκυσμό.

Όταν το γυαλί είναι απαλλαγμένο από επιφανειακά ελαττώματα, χαρακτηρίζεται από υψηλή αντοχή στην επιβολή μηχανικών τάσεων. Επικρατεί η αντίληψη ότι η κατάρρευση του γυαλιού λόγω κόπωσης επιτείνεται από τυχόν χημικές προσβολές. Από την στιγμή που υφίσταται μέσα στο υλικό κάποια μικρορωγμή είναι πλέον εύκολη η διάχυση των ιόντων του πυριτίου στην προσβαλλόμενη βάση της ρωγμής. Παρόλο που η διάνοιξη της ρωγμής συνεχίζεται με τον τρόπο αυτό αρχικά πολύ αργά, τυχόν επιβολή μηχανικής τάσης κάποια χρονική στιγμή είναι ενδεχόμενο να οδηγήσει σε γρήγορη εξέλιξη του φαινομένου, στη μάζα του υλικού με ταχύτητα που πραγματικά ξεπερνάει και αυτήν του ήχου.

Η παραμόρφωση του γυαλιού είναι μια ιδιότητα καλά γνωστή που εύκολα διαπιστώνεται σε σύγκριση με ένα μεταλλικό υλικό.

Όταν η εφαρμοζόμενη τάση περάσει μια συγκεκριμένη τιμή (εξαρτάται από το κάθε υλικό) η παραμόρφωση που προκαλείται είναι μη αντιστρεπτή. Λέμε τότε ότι το υλικό υφίσταται πλαστική παραμόρφωση ενώ η ελάχιστη τιμή της τάσης (S_y) που την προκαλεί

ονομάζεται όριο διαρροής (yield strength). Η τιμή αυτή S_u είναι η μεγαλύτερη που μπορεί να χρησιμοποιηθεί κατά την διεργασία πλαστικής παραμόρφωσης όλκιμων υλικών για την σκλήρυνση τους μέσω πλαστικής παραμόρφωσης (strain hardening). Η πραγματική τιμή της τάσης θραύσης είναι μεγαλύτερη από την τιμή S_B καθώς η αλλαγή της διατομής του δοκιμίου επηρεάζει την μέτρηση. (σ_f είναι η πραγματική τάση θραύσης)



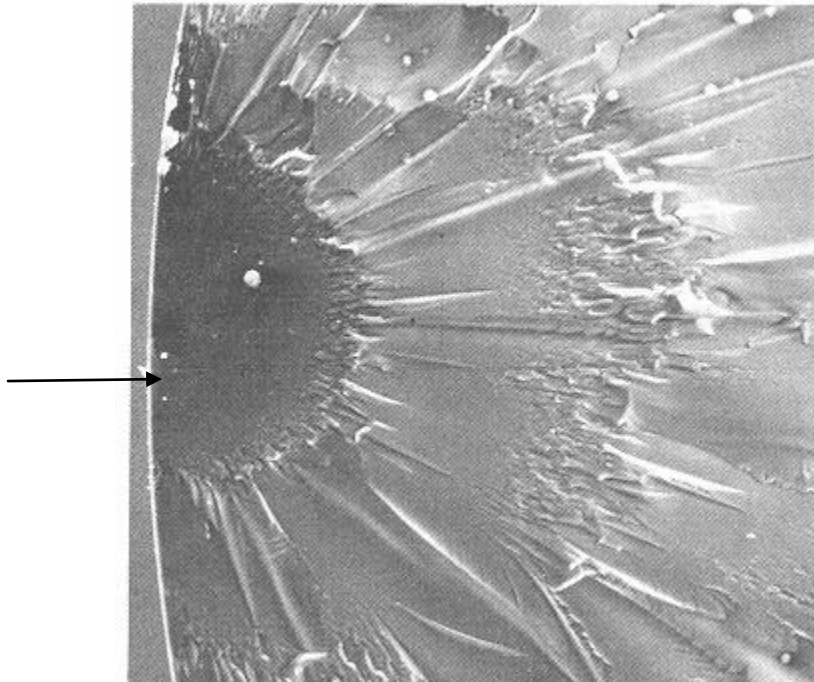
Εικόνα 33 Διαγραμματική απεικόνιση της παραμόρφωσης του γυαλιού.

Το γυαλί σε σύγκριση με τα όλκιμα μέταλλα παρουσιάζουν μια τελείως διαφορετική συμπεριφορά υπό την επίδραση της εφελκυστικής τάσης. Το γυαλί έχει την ιδιότητα να παραμορφώνεται μέχρι του σημείου όπου γίνεται η θραύση χωρίς να προηγηθεί μία μόνιμη παραμόρφωση.

Η θραύση του γυαλιού ξεκινά σε μία διεύθυνση περίπου κάθετη προς την διεύθυνση της εφαρμοζόμενης εφελκυστικής τάσης.

Για να γίνει πιο κατανοητό, έστω σε μία κυλινδρική ράβδο όπου εφαρμόζεται η εφελκυστική τάση, η θραύση αρχίζει σε ένα σημείο της επιφάνειας και συνεχίζεται στο ίδιο επίπεδο κατά μήκος ολόκληρης της τομής ή ακόμα και με διακλαδώσεις.

Έτσι, αυτή η αντίδραση της απότομης θραύσης δίχως να προηγηθεί κάποια παραμόρφωση με μόνιμα αποτελέσματα είναι μία από τις βασικές ιδιότητες του γυαλιού.



Εικόνα 34 Επιφάνεια θραύσης υάλινου κυλίνδρου που έσπασε με κάμψη. Το σημείο έναρξης υποδεικνύεται από το βέλος.

Οι γραμμές αυτές παράγονται από την αλληλεπίδραση του μετώπου της ρωγμής σε σχέση με ελαστικά κύματα τα οποία παράγονται από την σύγκρουση του κυρίως μετώπου της ρωγμής με ατέλειες στην επιφάνεια του γυαλιού.

Όπως είναι εμφανές, το αποτέλεσμα αυτής της σύγκρουσης είναι η τροποποίηση του επιπέδου της διάδοσης της ρωγμής, όπως και το ίχνος που δημιουργεί.

Στην συνέχεια, όπως η ταχύτητα αυξάνει και αγγίζει την μέγιστη, παρατηρείται ότι η ρωγμή, σε μικροσκοπικό επίπεδο, θρυμματίζεται πράγμα που προκαλεί ταυτόχρονα μία

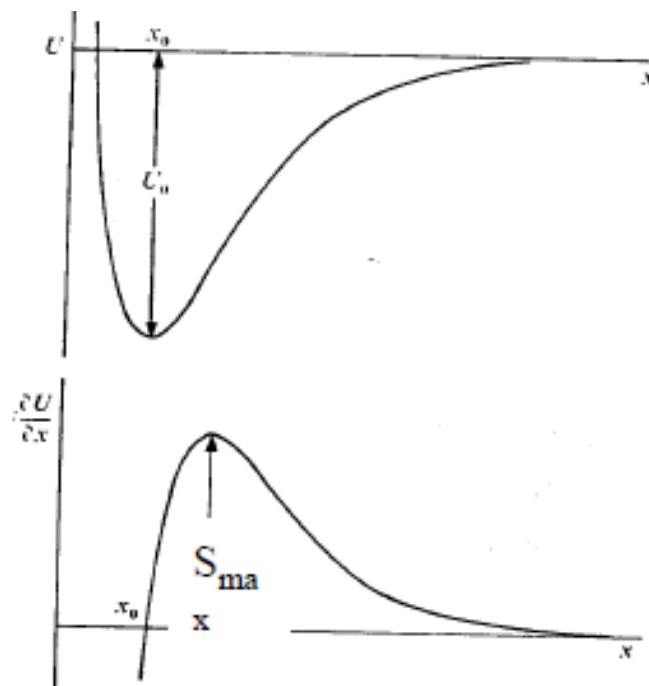
τραχύτητα στην επιφάνεια. Αυτή η περιοχή ορίζεται ως περιοχή αδιαφάνειας την οποία και έλαβε από την ματ εμφάνιση που προσδίδεται στην περιοχή.

Στην περιοχή αυτή, η συσσωρευμένη ελαστική ενέργεια ξεκινά να εκτονώνεται, με συνέπεια κάθε ρωγή να πολλαπλασιάζεται και σε αυτό το σημείο μπορεί να διαπιστωθεί ότι υφίσταται την μέγιστη ταχύτητα διάδοσης.

Θεωρητική ανάλυση της μέγιστης τάσης θραύσης

$$U=U_0[\exp(-2a(x-x_0))-2\exp(-a(x-x_0))]$$

Η παραπάνω εξίσωση περιγράφει την δυναμική ενέργεια ανά μονάδα επιφάνειας, των επιφανειών θραύσης που διαχωρίζονται με μία απόσταση x .



Εικόνα 35 Διαγραμματική απεικόνιση της δυναμικής ενέργειας κατά την θραύση.

Το παράπανω διάγραμμα περιγράφει την ανωτέρω εξίσωση κατά την διαδικασία της θραύσης του γυαλιού.

$$S_{th} = \sqrt{E\gamma/4x_0}$$

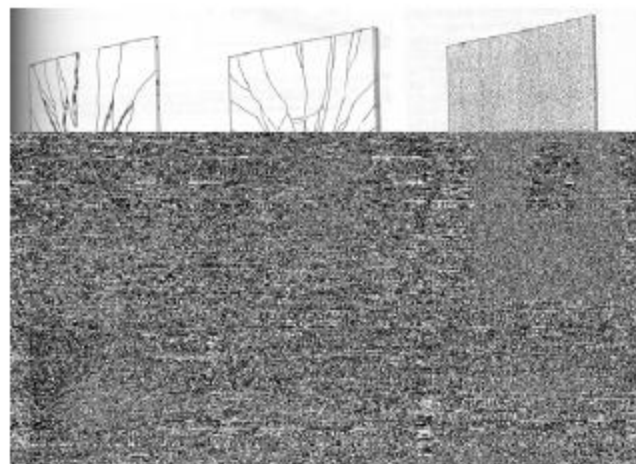
Η ανωτέρω σχέση, και στις τιμές γ και x_0 για το SiO_2 , έχουμε αποτελέσματα για την θεωρητική τάση της θραύσης με τιμές από 1.8×10^{10} έως $2.2 \times 10^{10} \text{ Nm}^{-2}$.

Για την αποτροπή αυτής της ιδιότητας του γυαλιού, μέσα από επιστημονικές μεθόδους και αναλύσεις, έχουν δημιουργηθεί διάφοροι τύποι γυαλιού που αντιδρούν διαφορετικά σε σχέση με το κοινό γυαλί.

Δύο είναι οι βασικές κατηγορίες του γυαλιού το οποίο έχει υποστεί κάποια επεξεργασία με σκοπό την πιο ήπια αντίδραση του στην θραύση και είναι τα εξής:

- Ασφαλείας – Πολυστρωματικό (safety glass-laminated)
- Ασφαλείας θερμικά ενισχυμένο (tempered glass)

Παρακάτω ακολουθεί ο τρόπος θραύσης αυτών των δύο τύπων γυαλιού σε σχέση με το κοινό γυαλί που αναπτύχθηκε και αναλύθηκε ανωτέρω.



μετά από ανόπτηση
Annealed glass

Ασφαλείας
πολυστρωματικό
(safety glass-
laminated)

Ασφαλείας θερμικά
ενισχυμένο
(tempered glass)

Ανάλυση των μεθόδων ενίσχυσης του γυαλιού ενάντια της θραύσης

Η ποικιλία των εφαρμογών του γυαλιού στην καθημερινότητα του ανθρώπου οδήγησε στην ανάπτυξη μεθόδων οι οποίες ενισχύουν το γυαλί ενάντια στην θραύση τους, όπου ουσιαστικά αποτελεί μία ιδιότητα του λιγότερη χρήσιμη.

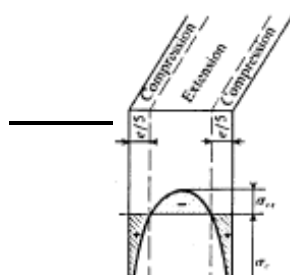
Δύο είναι οι βασικές μέθοδοι με τις οποίες γίνεται η ενίσχυση του γυαλιού και αυτές είναι οι εξής:

- Θερμική ενίσχυση
- Χημική ενίσχυση

Θερμική ενίσχυση

Η μέθοδος αυτή ξεκινά με την θέρμανση του υλικού στο σημείο το οποίο αρχίζει να μαλακώνει (softening point). Στην συνέχεια απομακρύνεται από τον φούρνο και τις υψηλές θερμοκρασίες και ψύχεται σε σύντομο χρονικό διάστημα η επιφάνεια του γυαλιού έτσι ώστε να δημιουργηθεί ένα επιφανειακό στρώμα ενώ το εσωτερικό παραμένει ρευστό λόγω της αρχικής υψηλής θερμοκρασίας. Με τον τρόπο αυτό, το γυαλί εσωτερικά αποκτά εφελκυστικές τάσεις ενώ το εξωτερικό στρώμα θλιπτικές.

Η μέθοδος αυτή καταφέρνει να δώσει θλιπτική τάση στην επιφάνεια του γυαλιού περίπου σε διπλάσιο βαθμό από την εφελκυστική στα εσωτερικά στρώματα. Επίσης, άξιο αναφοράς είναι ότι οι τάσεις περίπου στο 1/5 της επιφάνειας είναι μηδενικές.



+ θλιπτική τάση
-εφελκυστική τάση

Το σύστημα είναι σε ισορροπία και οποιαδήποτε διαταραχή οδηγεί σε γρήγορη θραύση του υλικού στο σύνολό του.

Εικόνα 37 Κατανομή των στρωμάτων υπό τάση σε ένα γυαλί με την μέθοδο της θερμικής ενίσχυσης.

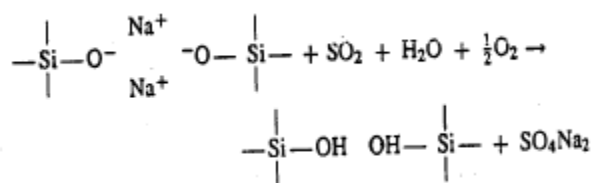
Χημική ενίσχυση

Με τις χημικές μεθόδους ενίσχυσης του γυαλιού, τα αποτελέσματα είναι εξίσου ισχυρά με την θερμική μέθοδο. Υπάρχουν διάφοροι μέθοδοι για την ενίσχυση του κοινού γυαλιού με βασικότερες τις εξής:

- Απομάκρυνση των αλκαλίων
- Διαδικασία Schott
- Ιοντοανταλλαγή

Απομάκρυνση των αλκαλίων

Είναι γνωστό ότι ο συντελεστής θερμικής διαστολής τείνει να μειώνεται όσο μικρότερο είναι το περιεχόμενο του γυαλιού σε οξείδιο του νατρίου. Βασική λογική της μεθόδου είναι η μείωση των αλκαλίων από το κοινό γυαλί.



Εικόνα 38 Χημική αντίδραση για την μείωση των αλκαλίων.

Διαδικασία Schott

Η διαδικασία Schott αναφέρει συγκεκριμένα την συγκόλληση ενός επιφανειακού στρώματος γυαλιού με χαμηλότερο συντελεστή θερμικής διαστολής στο αρχικό γυαλί. Κατά την διαδικασία της ψύξης αυτών, το στρώμα το οποίο βρίσκεται στην επιφάνεια έχει την ιδιότητα να συστέλλεται λιγότερο, πράγμα που οδηγεί στο

συμπέρασμα ότι η θλιπτική του τάση έχει μειωθεί με συνέπεια την ενίσχυση του αρχικού κοινού γυαλιού.

Οι θλιπτικές τάσεις που παράγονται μετά την επεξεργασία αγγίζουν περίπου τα 240 έως και τα 280 MN m².

Ιοντοανταλλαγή

Η συγκεκριμένη μέθοδος χημικής ενίσχυσης αποτελεί ίσως τον πιο σύγχρονο τρόπο ενίσχυσης του γυαλιού. Με αυτή τη μέθοδο, το γυαλί τοποθετείται σε ένα ειδικό λουτρό τηγμένων αλάτων ώστε να προκληθεί χημικά η ιοντοανταλλαγή στην επιφάνεια, καθώς τα ιόντα αλκαλίων διαχέονται από την επιφάνεια στο λουτρό ενώ παράλληλα άλλα κατιόντα από το τήγμα εισέρχονται στο γυαλί.

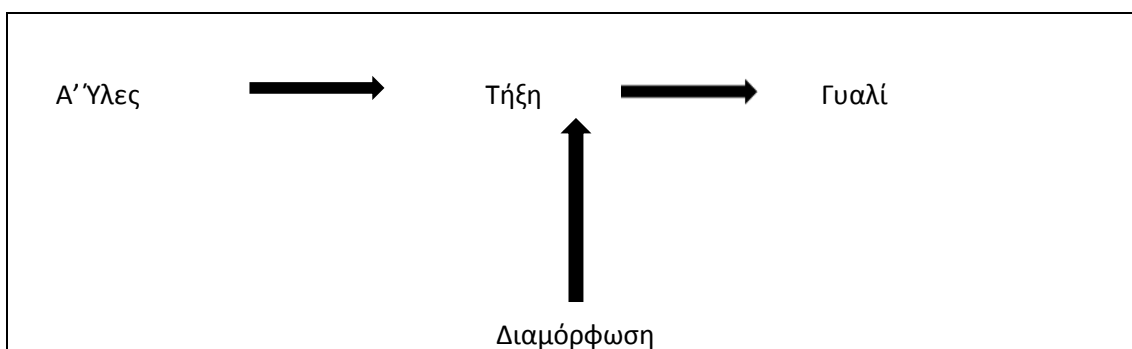
Πιο συγκεκριμένα υπάρχουν δύο περιπτώσεις:

- Το κατιόν στο γυαλί αντικαθίσταται με άλλο μικρότερου μεγέθους. Π.χ. το Na⁺ (r=0.98 Å) Li⁺ (r=0.78 Å) χρησιμοποιώντας ένα λουτρό τηγμένου άλατος λιθίου. Η διαδικασία πρέπει να γίνει σε θερμοκρασία υπεράνω της T_g. Το τελικό γυαλί επιφανειακά έχει χαμηλότερο συντελεστή θερμικής διαστολής και με την ψύξη η επιφάνεια του γίνεται θλιπτική.
- Το κατιόν στο γυαλί αντικαθίσταται με άλλο μεγαλύτερο μεγέθους. Π.χ. το Na⁺ (r=0.98 Å) K⁺ (r=1,33 Å) χρησιμοποιώντας ένα λουτρό τηγμένου άλατος KNO₃. Το κατιόν εισερχόμενο δημιουργεί μια διαστολή του πλέγματος επιφανειακά δημιουργώντας έτσι θλιπτικές τάσεις.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

Μέθοδοι παραγωγής και μορφοποίησης

Η παραγωγή γυαλιού ξεκινά με την ανάμειξη των αρχικών υλικών που αποτελούνται στο μεγαλύτερο μέρος τους από φυσικά ορυκτά (άμμος, ασβεστόλιθος) και σε μικρότερες ποσότητες βιομηχανικά ορυκτά (Na_2CO_3) σε κατάλληλες αναλογίες.



Η παραπάνω απεικόνιση δείχνει την βασική διαδικασία η οποία χρησιμοποιείται για την παραγωγή του κοινού γυαλιού.

Α΄Υλες

Είναι ευρύτερα γνωστό ότι σχεδόν όλα τα βιομηχανικά γυαλιά είναι κυρίως γυαλί οξειδίων. Αυτό σημαίνει ότι παράγονται σχεδόν όλα με τον ίδιο τρόπο με πολύ μικρές παραλλαγές.

Οι κυριότερες πρώτες ύλες οι οποίες χρησιμοποιούνται για την παραγωγή του γυαλιού χωρίζονται στις παρακάτω κύριες κατηγορίες που είναι οι εξής:

- Υαλοσχηματιστές

- Τροποποιητές
- Άλλα συστατικά

Υαλοσχηματιστές

Οι υαλοσχηματιστές είναι ουσιαστικά η βασική πρώτη ύλη από την οποία δημιουργείται και παράγεται το γυαλί. Το κυριότερο συστατικό, SiO_2 , σε μορφή άμμου με καθαρότητα περίπου στο 99,00% με λιγότερο από 0,2% προβληματικές ακαθαρσίες.

Αμέσως μετά, το B_2O_3 , κυρίως στην μορφή σμάλτων, το οποίο χρησιμοποιείται ως βορικό οξύ H_3BO_3 ή $2\text{B}_2\text{O}_3 \text{ Na}_2\text{CO}_3$ (1%).

Ακόμα ένα από τα βασικά συστατικά αποτελούν τα αλουμίνα. Al_2O_3 βρίσκεται στην μορφή ηφαιστειακών λίθων (αλουμινοπυριτικά). Επίσης με την μορφή άστριων. Γενικά πάντως εισάγεται ως επεξεργασμένη $\text{Al}(\text{OH})_3$ από τον βωξίτη.

Τέλος, ο φώσφορος, με χημική ταυτότητα P_2O_5 , υλικό το οποίο χρησιμοποιείται για την παραγωγή κυρίως ειδικών τύπων γυαλιού με ιδιαίτερες ιδιότητες.

Τροποποιητές

Ως τροποποιητές ορίζονται τα στοιχεία εκείνα τα οποία συμβάλουν κατά την διαδικασία της τήξης να γίνει η μετατροπή στην χημική σύσταση των υαλοσχηματιστών.

Οι κυριότεροι υαλοσχηματιστές είναι εξής:

- Τα οξειδία του Na_2O και K_2O τα οποία είναι γνωστά με την καθημερινή ορολογία ως σόδα και ποτάσα αντίστοιχα, τα οποία αποτελούν υλικά ευτήκτικα και συντελούν στην μείωση της θερμοκρασίας κατά την παρασκευή του γυαλιού τα οποία βρίσκονται σε αρκετές εκατοντάδες βαθμούς.
- Το οξείδιο του καλίου K_2O , είναι λίγο ακριβότερο υλικό και για αυτόν τον λόγο χρησιμοποιείται σε μεγάλο βαθμό για την παρασκευή κρυστάλλων και χρωματιστών τύπων γυαλιού.
- Το οξείδιο του ασβεστίου CaO συμβάλει κυρίως στην σταθερότητα του παραγόμενου υλικού. Εισάγεται στο μίγμα με την μορφή κιμωλίας, ασβεστόλιθος ή μάρμαρο ή μαζί με MgO ως δολομίτης ή BaO ως ανθρακικό ή θειικό.

Άλλα συστατικά

Τα υπόλοιπα υλικά τα οποία συμβάλλουν στην παραγωγική διαδικασία του γυαλιού δεν υπερβαίνουν το 1% και προστίθενται για λόγους όπως το χρώμα ή για μεταβολή των συνθηκών της παρασκευής. Αυτά τα συστατικά είναι κυρίως As_2O_3 και Sb_2O_3 όπως επίσης και MnO_2 ή Se για να αντισταθμίσουν το χρώμα από την ύπαρξη σιδήρου.

Παρασκευή γυαλιού

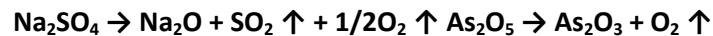
Τήξη

Η τήξη, ανάλογα με την σύσταση του γυαλιού η θερμοκρασία φτάνει τους 1300 – 1400 ° C. Μέχρι η θερμοκρασία να αγγίξει τα ανώτατα επίπεδα, στις χαμηλότερες θερμοκρασίες πραγματοποιούνται αρκετές χημικές αντιδράσεις, κατά τις οποίες υπάρχει η διάσπαση ανθρακικών και θειικών με την απελευθέρωση των CO₂, SO₂, SO₃, όπως επίσης και ο σχηματισμός πυριτικών ενώσεων με αντιδράσεις στην στερεά κατάσταση και η τήξη των πρώτων υλών σε αρκετά χαμηλότερες θερμοκρασίες.

Ομοιογενοποίηση

Κατά την διαδικασία της τήξης το γυαλί δεν είναι ομοιογενές, καθώς περιέχει αρκετές φυσαλίδες οι οποίες προέρχονται από τις χημικές αντιδράσεις κυρίως με τα πυρίμαχα και τα αέρια της ατμόσφαιρας του φούρνου και εγκλωβίζονται στο υψηλό ιξώδες τήγμα. Η διαδικασία της ομοιογενοποίησης ελαχιστοποιεί το πρόβλημα με της παρακάτω διαδικασίες:

- Με την αύξηση της θερμοκρασίας μεταξύ 1450-1550 ° C.
- Μέσα από την ανάδευση και την ροή του αέρα
- Η προσθήκη χημικών ενώσεων



Διαμόρφωση – Μορφοποίηση

Μετά την διαδικασία της ομοιογενοποίησης του γυαλιού, ακολουθεί η διαδικασία της μορφοποίησης. Έτσι, ενώ η θερμοκρασία βρίσκεται ακόμα σε υψηλό επίπεδο και το ιξώδες του γυαλιού ιδιαίτερα χαμηλό, το γυαλί δεν μπορεί να διαμορφωθεί με ευκολία. Για να πραγματοποιηθεί αυτό, η θερμοκρασία μειώνεται περίπου στους 1200-1000 ° C, όπου είναι ιδιαίτερα εύκολο να δοθεί οποιαδήποτε μορφή σε αυτές τις συνθήκες.

Για να ολοκληρωθεί αυτή η μικρή ενότητα κρίθηκε σκόπιμο να αναφερθούν οι συστάσεις ορισμένων βιομηχανικών γυαλιών τα οποία παρατίθενται στον παρακάτω πίνακα.

| | SiO ₂ | B ₂ O ₃ | Al ₂ O ₃ | P ₂ O ₅ | Na ₂ O | K ₂ O | CaO | BaO | MgO | PbO | ZnO | Fe ₂ O ₃ |
|-----------------------------|------------------|-------------------------------|--------------------------------|-------------------------------|-------------------|------------------|------|-----|------|-----|-----|--------------------------------|
| plate glass, window glass | 72.5 | | 1.5 | | 13 | 0.3 | 9.3 | | 3 | | | 0.1 |
| container glass | 73 | | 1 | | 15 | | 10 | | | | | 0.05 |
| electric light bulbs | 73 | | 1 | | 16 | 0.6 | 5.2 | | 3.6 | | | |
| borosilicate (Pyrex) | 80.6 | 12.6 | 2.2 | | 4.2 | | 0.1 | | 0.05 | | | 0.05 |
| aluminosilicate (fibers) | 54.6 | 8.0 | 14.8 | | ±0.6 | | 17.4 | | 4.5 | | | |
| "crystal" glass | 55.5 | | | | | 11.0 | | | | | 33 | |
| optical glass (heavy flint) | 28 | | | | 1 | 1 | | | | | 70 | |
| sodium lamp envelopes | | 36 | 27 | | | | | 27 | 10 | | | |

Μηχανήματα της παραγωγικής διαδικασίας του γυαλιού

Η βιομηχανοποίηση της παραγωγής του γυαλιού κατά την διάρκεια των αιώνων οφείλεται ιδιαίτερα στην εξέλιξη των μηχανημάτων που πλαισιώνουν την διαδικασία της παραγωγής. Σε αυτή την ενότητα, πρόκειται να πραγματοποιηθεί μία ανάλυση των επιμέρους μηχανημάτων που χρησιμοποιούνται από την αρχή μέχρι την ολοκλήρωση της παραγωγής των τελικού προϊόντος.

Κλίβανοι

Ο κλίβανος είναι ίσως το κυριότερο μηχάνημα για την παραγωγή του γυαλιού, το οποίο διατηρήθηκε με διάφορες μορφές όλα αυτά τα χρόνια. Στον κλίβανο πραγματοποιείται η τήξη των υλικών που συνθέτουν το γυαλί, πράγμα που σημαίνει ότι αναπτύσσονται τεράστιες θερμοκρασίες όπως αναφέρθηκαν και σε προηγούμενες ενότητες.

Οι κυριότεροι κλίβανοι είναι οι εξής:

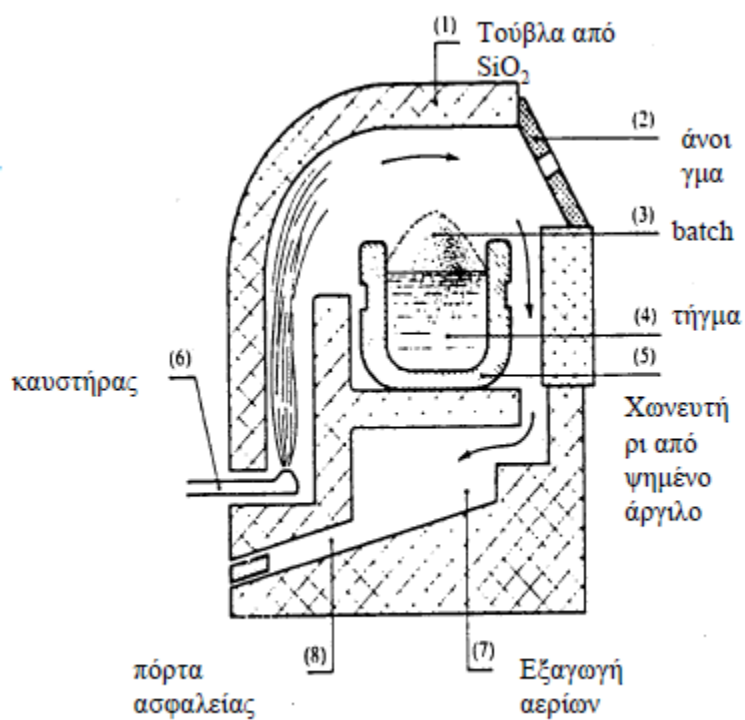
- Κλίβανοι τήξης ασυνεχούς λειτουργίας
- Κλίβανοι τήξης συνεχούς λειτουργίας
- Κλίβανοι για φιάλες.

Κλίβανοι τήξης ασυνεχούς λειτουργίας

Ο κλίβανος τήξης με ασυνεχή λειτουργία, διαθέτει συνήθως 10 χωνευτήρια έτσι ώστε να προσφέρει και κάποια οικονομία με χωρητικότητα περίπου των 1000 λίτρων. Τα χωνευτήρια είναι κατασκευασμένα από πηλό ο οποίος έχει ψηθεί περίπου στους 1500° C.

Η διάρκεια της τήξης σε αυτού του τύπου τον κλίβανο κυμαίνεται μεταξύ 6 με 8 ωρών ενώ η διαδικασία της ομοιογενοποίησης μεταξύ των 4 με 6 ωρών. Μία ακόμα σημαντική πληροφορία είναι ότι ο χρόνο ζωής των χωνευτηρίων είναι έως 20 τήξεις ή αλλιώς 10-12 εβδομάδες.

Παρακάτω υπάρχει σχηματική απεικόνιση του κλιβάνου με τα επιμέρους στοιχεία που τον συνθέτουν.



Εικόνα 40 Κλίβανος ασυνεχούς λειτουργίας

Κλίβανος συνεχούς λειτουργίας

Σε αυτή την κατηγορία των κλιβάνων υπάρχουν δύο υποκατηγορίες που αφορούν:

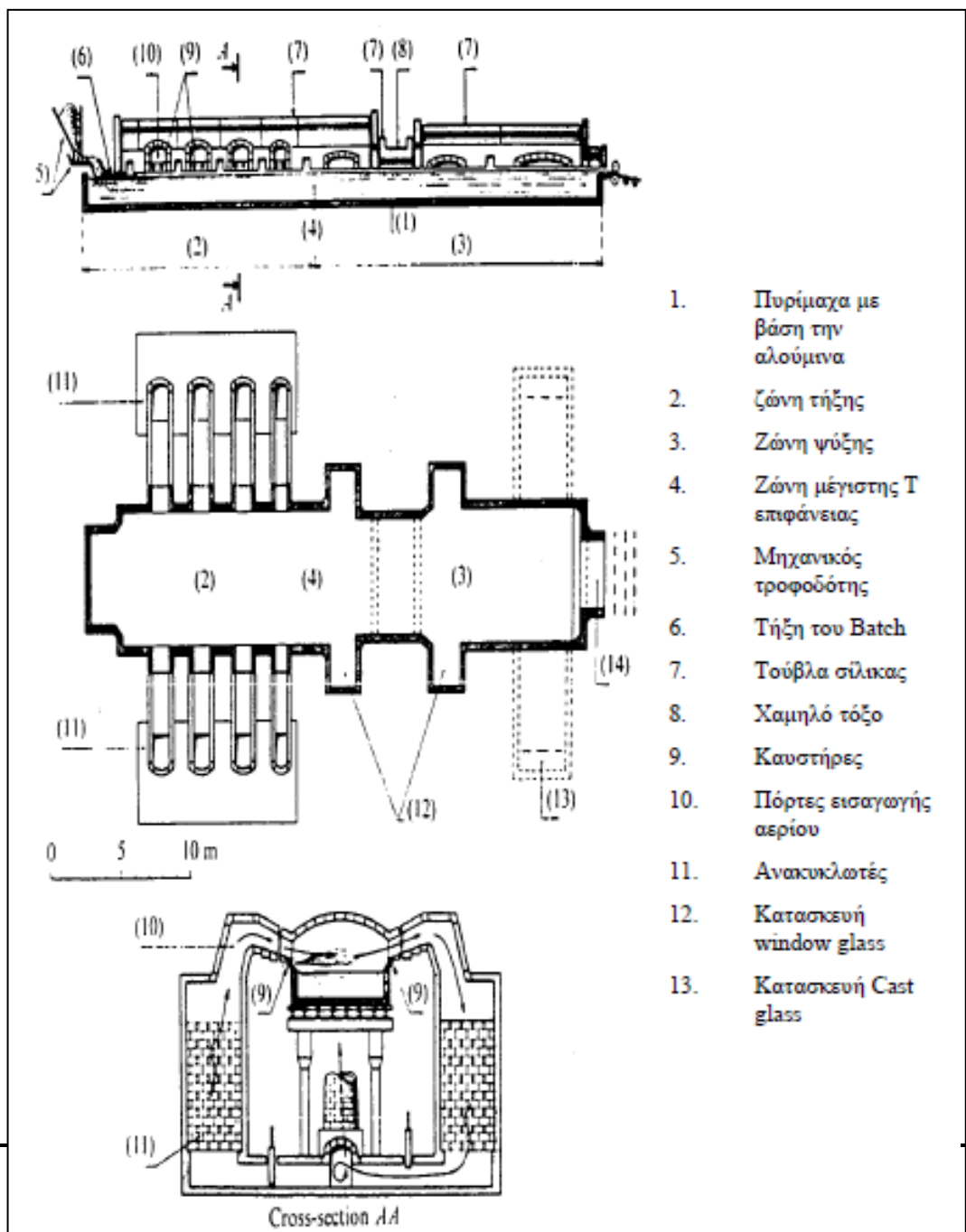
- Κλίβανος παραγωγής επίπεδου γυαλιού
- Κλίβανος για φιάλες και άλλα

Κλίβανος παραγωγής επίπεδου γυαλιού

Τα χαρακτηριστικά αυτού του τύπου έχουν δυνατότητες μαζικών παραγωγών. Το ύψος της δεξαμενής του κυμαίνεται από 1 έως 1,5 μέτρο ενώ η χωρητικότητά τους αγγίζει περίπου τους 1000 τόνους. Η επιφάνεια τους είναι περίπου στα 300 m² ενώ η παραγωγική τους ικανότητα φτάνει τους 2 τόνους την ημέρα για ένα διάστημα 6 με 8 χρόνων.

Το καύσιμο που χρησιμοποιούν για την λειτουργία τους είναι συνήθως αέρια με μία μέση κατανάλωση των 0,2kg/kg πρώτης ύλης γυαλιού. Για την διατήρηση και την δυνατότητα συνεχούς λειτουργίας ο κλίβανος αναστρέφει την θερμοκρασία του κάθε 15 λεπτά της ώρας.

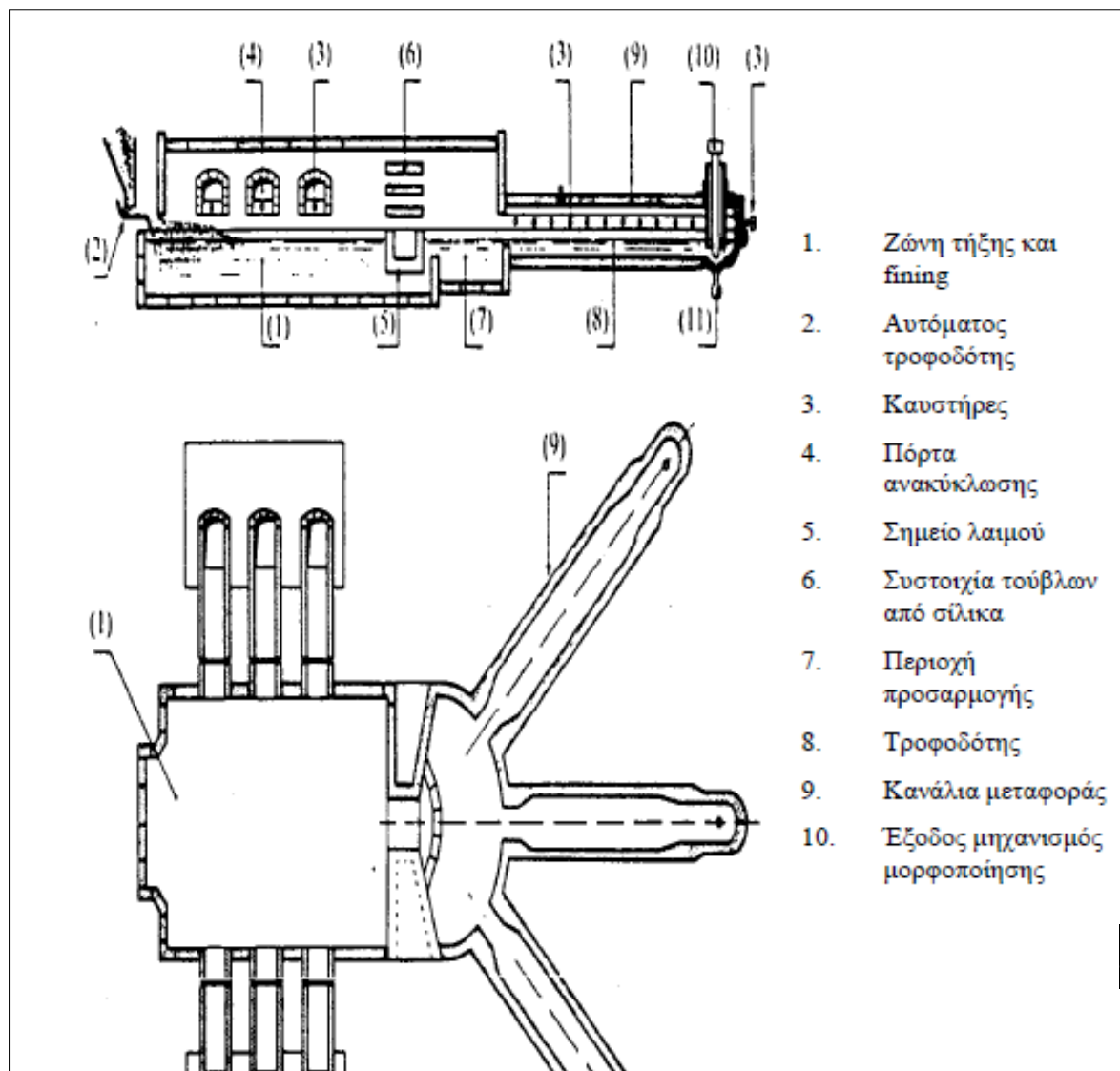
Παρακάτω εμφανίζονται εικόνες από τον κλίβανο αυτού του τύπου με επεξηγήσεις για τα επιμέρους τμήματα.



Κλίβανος για φιάλες και άλλα

Ο τύπος αυτός χρησιμοποιείται για μαζική παραγωγή συγκεκριμένων αντικειμένων από γυαλί όπως είναι οι φιάλες. Βασική διαφορά με τον προηγούμενο τύπο αποτελεί η χρήση ηλεκτρικού ρεύματος για την ανάπτυξη υψηλών θερμοκρασιών μέσω ηλεκτρικών αντιστάσεων.

Η κατανάλωση του ρεύματος αγγίζει περίπου την 1KWh ανά κιλό παραγόμενου προϊόντος. Παρακάτω βρίσκεται ανάλυση του κλιβάνου και των επιμέρους τμημάτων.



Διαμόρφωση – Μορφοποίηση γυαλιού

Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενη ενότητα, μετά την διαδικασία της ομοιογενοποίησης του γυαλιού, ακολουθεί το επόμενο βήμα όπου δίδεται το επιθυμητό σχήμα και μέγεθος ανάλογα με την χρήση για την οποία προορίζεται το γυαλί. Για να επιτευχθεί αυτό και μάλιστα σε επίπεδο μαζικών παραγωγών έχουν κατασκευαστεί εξειδικευμένα μηχανήματα τα οποία ειδικεύονται σε αυτό το κομμάτι της παραγωγικής διαδικασίας του γυαλιού.

Οι κυριότερες μορφές του γυαλιού οι οποίες χρησιμοποιούνται κατά κόρον για εμπορική και βιομηχανική χρήση είναι οι εξής:

- Επίπεδο γυαλί
- Κοινό γυαλί
- Ίνες γυαλιού

Επίπεδο γυαλί

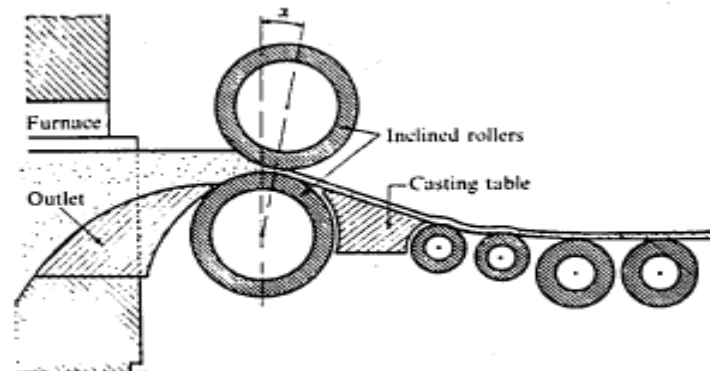
Για την παραγωγή του επίπεδου γυαλιού υπάρχουν τρεις βασικές μέθοδοι πάνω στις οποίες βασίστηκαν και οι κατασκευαστές των μηχανημάτων μαζικής παραγωγής επίπεδου γυαλιού. Αυτές οι μέθοδοι είναι οι εξής:

- Με κύλιση
- Με τράβηγμα
- Με επίπλευση

Παραγωγή με κύλιση

Μετά την ομοιογενοποίηση του γυαλιού, το θερμό γυαλί για να μπορέσει να διαμορφωθεί απαιτείται μια μείωση της θερμοκρασίας του κατά 200 με 250 ° C και στην συνέχεια ακολουθεί η έξοδος του σε κυλινδρικούς τροχούς από σίδηρο, άμμο, λιπαντικά καθώς και οξειδία του σιδήρου ώστε να προκύψουν πλάκες από γυαλί.

Η δυνατότητες αυτής της μεθόδου όπως και των μηχανημάτων αυτού του τύπου μπορούν να παράγουν συνεχής ταινία γυαλιού πάχους από 3 χιλιοστά έως και 15 χιλιοστά σε φύλλα πλάτους έως και 3,6 μέτρα.

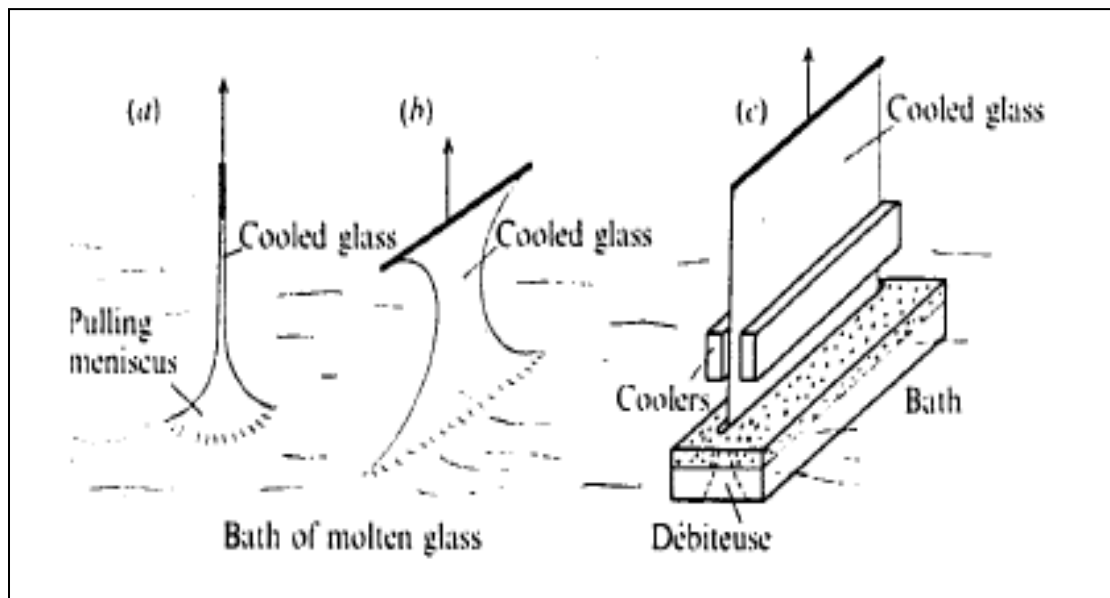


Στην ανωτέρω εικόνα είναι εμφανής ο τρόπος με τον οποίο παράγονται τα φύλλα γυαλιού με την μέθοδο της κύλισης.

Παραγωγή με τράβηγμα

Μέθοδος Fourcault

Η μέθοδος Fourcault η οποία εντάσσεται στην κατηγορία της παραγωγής με τράβηγμα, έχει την δυνατότητα να παράγει γυαλί πάχους έως 19 χιλιοστών και μέγιστων πλάτους της επιφάνειας τα 2,7 μέτρα. Η ταχύτητα με την οποία γίνεται το τράβηγμα είναι άμεσα συνδεδεμένη με το πάχος του γυαλιού και μπορεί να κυμανθεί από 70m/h έως και 25m/h για γυαλί πάχους 6 χιλιοστών.

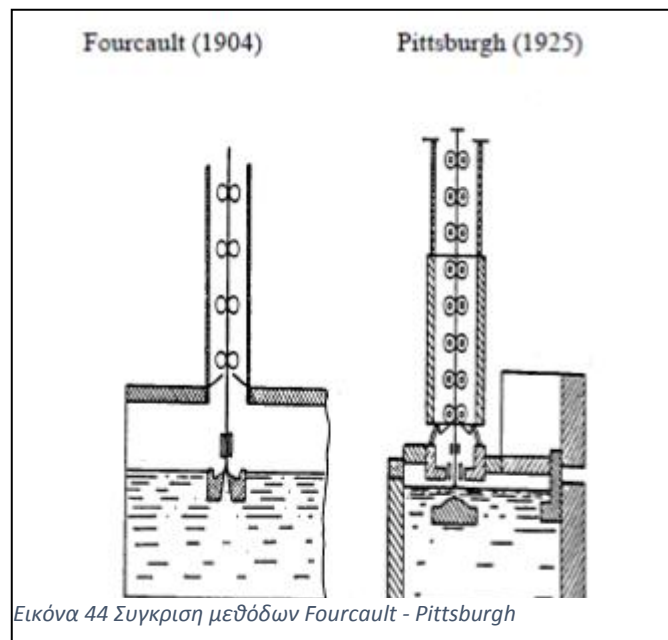


Εικόνα 43 Μέθος fourcault

Μέθοδος Pittsburgh

Σύμφωνα με αυτή τη μέθοδο, η ταχύτητα με την οποία πραγματοποιείται είναι μεγαλύτερη και αγγίζει περίπου τα 100m/h. Τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου σε σύγκριση με την προηγούμενη είναι η μείωση των ατελειών στην επιφάνεια του γυαλιού, ενώ για την επίτευξη αυτού του αποτελέσματος απαιτείται καλύτερος έλεγχος της θερμοκρασίας κατά το στάδιο της ομοιογένειας.

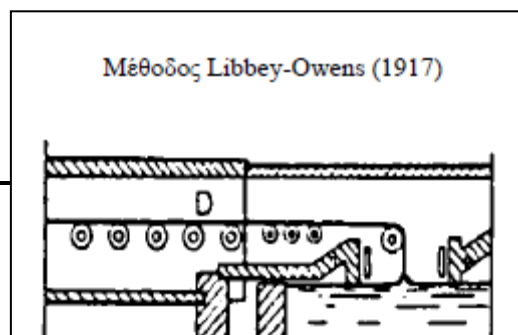
Παρακάτω δίνεται μία συγκριτική εικόνα των δύο μεθόδων.



Εικόνα 44 Συγκριση μεθόδων Fourcault - Pittsburgh

Μέθοδος Libbey – Owens

Η συγκεκριμένη μέθοδος έχει αρκετές διαφορές σε σύγκριση με τις δύο προηγούμενες. Με αυτή την μέθοδο το γυαλί λυγίζει περίπου σε 90° σε απόσταση 1 μέτρου από τη επιφάνεια του τήγματος. Η ταχύτητα με την οποία γίνεται το τράβηγμα του γυαλιού αγγίζει τα 140m/h και η παραγωγή του γυαλιού έχει μέγιστο πλάτος τα 3,6m επιφάνειας ενώ το πάχος του γυαλιού βρίσκεται στα ίδια επίπεδα με της προηγούμενες μεθόδους.

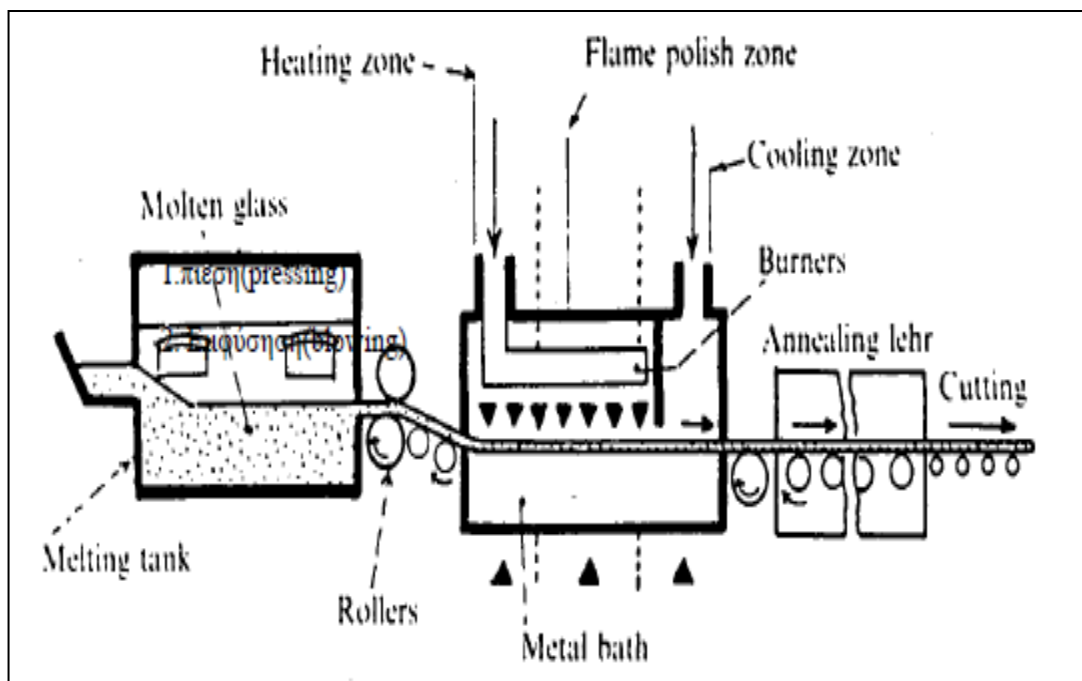


Μέθοδος επίπλευσης

Σε αυτή την μέθοδο, για την παραγωγή επίπεδου γυαλιού ασκείται επιφανειακή τάση, και υπάρχει η δυνατότητα για την δημιουργία γυαλιού πάχους έως και 6,5 εκατοστά, δηλαδή διπλάσιου πάχους σε σχέση με τις άλλες μεθόδους.

Κυριότερα πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι η υψηλή οπτική ποιότητα των φύλλων γυαλιού, η απουσία στίλβωσης και κυρίως η μεγαλύτερη ταχύτητα παραγωγής η οποία είναι 5 έως και 10 φορές ταχύτερη σε σχέση με τις υπόλοιπες.

Βασικότερο μειονέκτημα της μεθόδου επίπλευσης είναι η δυσκολία η οποία συναντάται για τον έλεγχο της ατμόσφαιρας λόγω υψηλών θερμοκρασιών όπως επίσης και της επιφανειακής τάσης η οποία απορρέει από την πρώτη αιτία.



Εικόνα 46 Μέθοδος επίπλευσης (1959)

Κλίβανος γυάλινων κοίλων σκευών

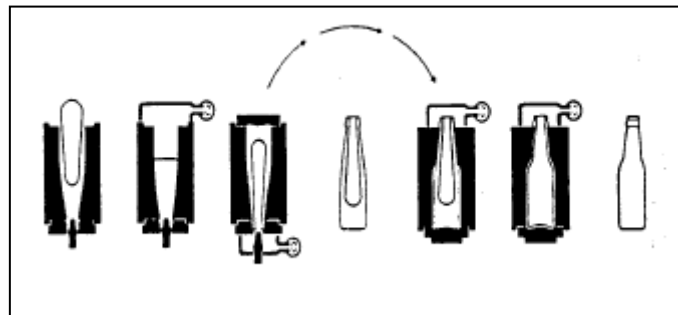
Η βιομηχανική παραγωγή φιαλών έχει εξελιχθεί ιδιαίτερα τα τελευταία χρόνια λόγω των αυξημένων αναγκών της αγοράς. Αυτό είχε ως συνέπεια την εξέλιξη των μηχανημάτων παραγωγής τα οποία πλέον διαθέτουν τεράστιες δυνατότητες παραγωγής.

Κυριότερες μέθοδο για την παραγωγή των φιαλών είναι οι εξής:

- Με μηχανική πίεση
- Με εμφύσηση αέρα

Μηχανική πίεση

Με την μηχανική πίεση το ρευστό ομοιογενές γυαλί τοποθετείται σε καλούπια τα οποία είναι κατασκευασμένα από ανθεκτικό αστάλι με επιφάνειες από χρώμιο. Στην συνέχεια με μία αυτοματοποιημένη διαδικασία και με την βοήθεια της μηχανικής πίεσης το καλούπι δημιουργεί το σχήμα της επιθυμητής φιάλης.



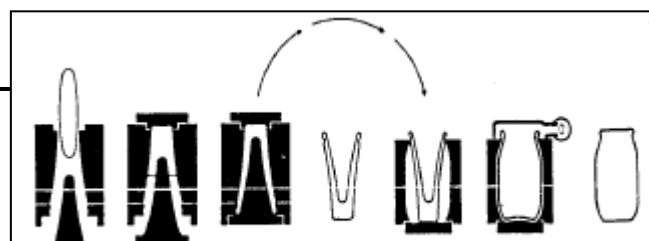
Εικόνα 47 Παραγωγή φιαλών με την μέθοδος της μηχανικής πίεσης

Εμφύσηση αέρα

Η μέθοδος εμφύσησης αέρα έρχεται από τα βάθη των αιώνων όπως έχει αναφερθεί και στην ιστορική αναδρομή της πρώτης ενότητας. Η βιομηχανική εξέλιξη αυτής της μεθόδου είναι δυνατόν να παράγει έως και 500.000 φιάλες την ημέρα.

Το καλούπι μέσα στο οποίο γίνεται η έγχυση του ρευστού γυαλιού, τοποθετείται ένα ακροφύσιο από το οποίο εισάγεται ο αέρας, με συνέπεια το γυαλί να παίρνει το σχήμα που έχει τοποθετηθεί στο καλούπι.

Η μέθοδος αυτή είναι ίσως η πιο εξελιγμένη για αυτού του είδους την παραγωγή και παρακάτω ακολουθεί η απεικόνιση της διαδικασίας.

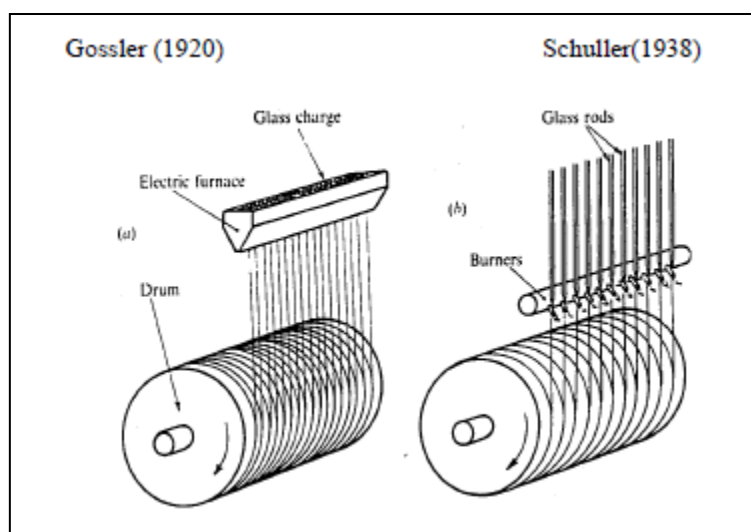


Παραγωγή υάλινων ινών

Η παραγωγή βιομηχανικών υάλινων ινών μπορεί να επιτευχθεί με μία από τις παρακάτω μεθόδους:

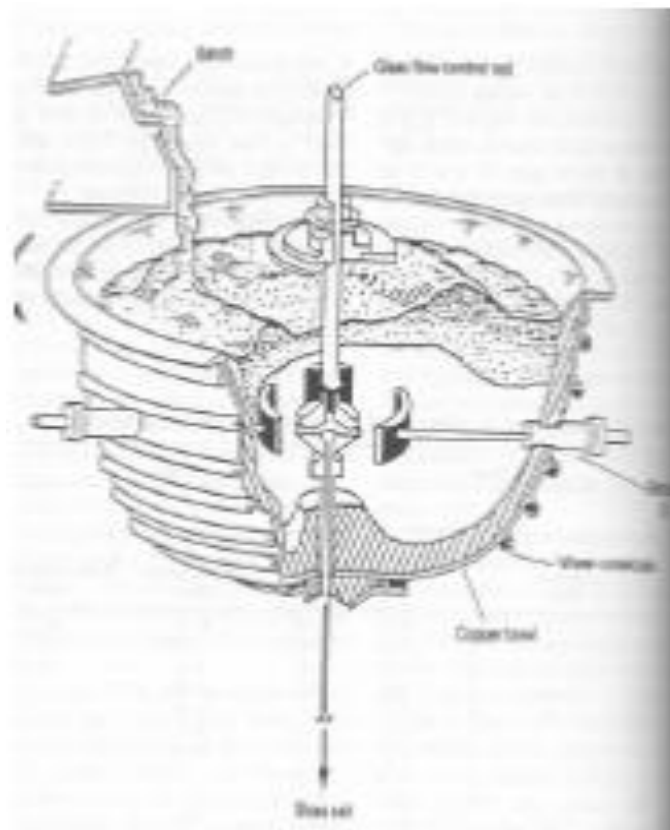
- Μηχανικό τράβηγμα
- Φυγοκεντρικό τράβηγμα
- Τράβηγμα με την βοήθεια αερίου
- Μικτή διαδικασία

Με το μηχανικό τράβηγμα το ρευστό ομοιογενές γυαλί διαχέεται γραμμωτά στον κύλινδρο όπως και στην περίπτωση των επιφανειών όπου σταθεροποιείται σε μεγάλο βαθμό. Κυριότερες μέθοδοι είναι του Gossler και του Schuller.

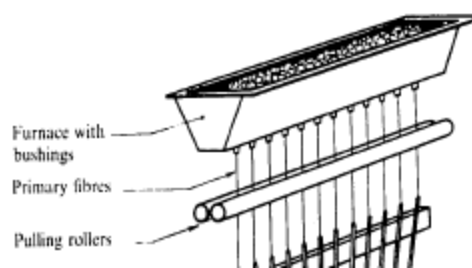


Εικόνα 49 Μέθοδος Gossler και Schuller

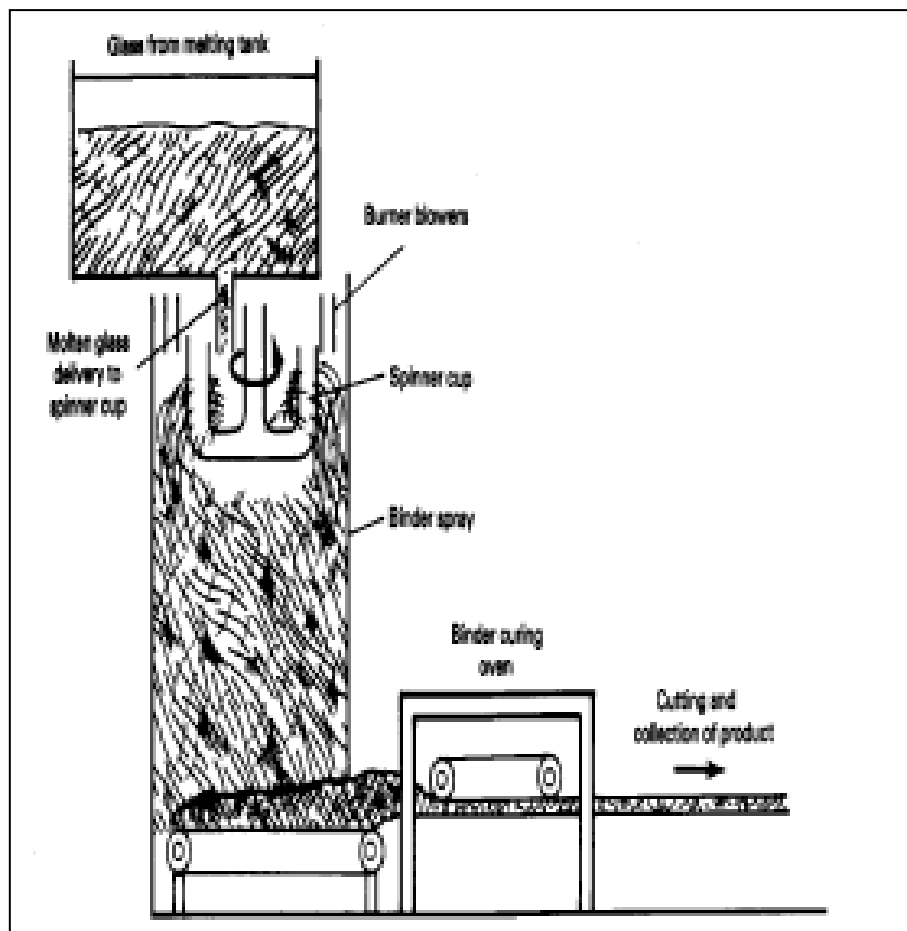
Στην συνέχεια η ηλεκτρική συσκευή Pot-Melter για την Παρασκευή ινών τύπου textile fiberglass με δυνατότητα παραγωγής έως και 20 τόνους.



Εικόνα 23 Συσκευή Pot-Melter

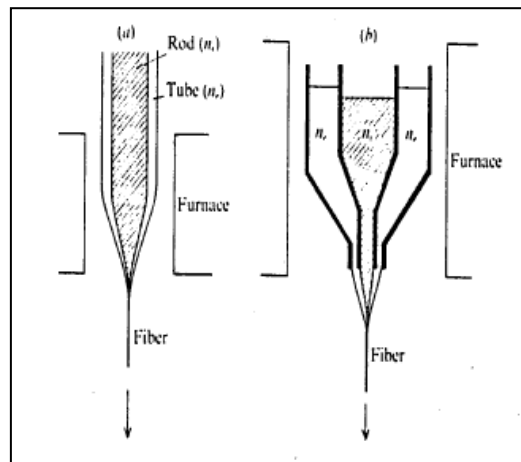


Η μικτή διαδικασία για την οποία έγινε αναφορά παραπάνω χρησιμοποιείται κυρίως για την παραγωγή των wool – fibers, και σχετική αναφορά γίνεται στην παρακάτω εικόνα.



Εικόνα 51 Μικτή διαδικασία

Τέλος ίσως ένα από τα σημαντικότερα παράγωγα του γυαλιού η οπτική ίνα, για την οποία θα γίνουν και παρακάτω αναφορές παράγεται σύμφωνα με τον τρόπο που αναλύεται στην παρακάτω επεξηγηματική εικόνα.



Εικόνα 52 Παραγωγή οπτικών ινών

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5

Κατηγορίες γυαλιού

Η τεχνολογική εξέλιξη κατά την διάρκεια όλων αυτών των αιώνων απέδειξε ότι η χρήση του γυαλιού σε εφαρμογές όπως οι κατοικίες, τα αυτοκίνητα και η επιστήμη ήταν κρίσιμη και πολύτιμη.

Σημαντικά μειονεκτήματα του γυαλιού σε σχέση με τη χρήση του, στους παραπάνω τομείς οδήγησε στην κατασκευή σύνθετων υλικών με βάση το γυαλί. Έτσι δημιουργήθηκαν μία σωρεία γυαλιών με διαφορετικές ιδιότητες, τα οποία και θα αναλύσουμε στην παρούσα ενότητα.

Κρυσταλλικό γυαλί

Τα κρύσταλλα με πάχος έως 3 χιλιοστά ονομάζονται ημικρύσταλλα και είναι σε μεγαλύτερο βαθμό διαφανή ενώ παράλληλα έχουν μεγαλύτερη αντοχή στην θραύση σε σχέση με το κοινό γυαλί.

Κατασκευάζονται κυρίως από καλιομολυβδούχο γυαλί ενώ μετά την ψύξη τους υποβάλλονται σε λείανση και στίλβωση με στόχο να είναι τελείως επίπεδα και διαφανή. Ένα ακόμα χαρακτηριστικό των κρυστάλλων είναι ο ήχος που εκπέμπουν όταν κρούονται.

Οπλισμένο κρυσταλλικό γυαλί

Σε αυτόν τον τύπο γυαλιού ενσωματώνεται ένα χαλύβδινο πλέγμα, με το πάχος του σύρματος να αγγίζει τα 12,5 χιλιοστά. Με αυτό τον τρόπο η αντοχή του οπλισμένου αυτού τύπου αυξάνεται ραγδαία σε περίπτωση κρούσης καθώς επίσης μειώνει την δημιουργία θραυσμάτων. Τέλος, άλλη μία ιδιότητα του είναι η αντοχή και σε θερμοκρασίες.

Χυτοί υαλοπίνακες

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν τρεις υποκατηγορίες που είναι οι εξής:

- Κοινοί χυτοί
- Αυλακωτοί – Σφυρήλατοι χυτοί
- Διακοσμητικοί χυτοί
- Οπλισμένοι χυτοί

Σε όλες τις παραπάνω κατηγορίες αλλά φυσικά με κάποιες μικρές παραλλαγές σε κάθε τύπο ισχύει ότι κατά την διαδικασία της τήξης, εισάγονται μίγματα ασβεστονατριούχου γυαλιού τα οποία έχουν προθερμαθεί σε χιτοσιδηρά επιφάνεια. Η διαδικασία συνεχίζεται με την κλασική κυλίνδρωση και την βαθμιδωτή ψύξη του υλικού.

Ειδική τύποι Γυαλιού

- **Αδιαφανές ή Ματ**

Η ανάγκη για αδιαφάνεια του γυαλιού και μειωμένη ορατότητα σε χώρους ,όπως γραφεία με την χρήση διαχωριστικών, οδήγησε στην δημιουργία γυαλιών που με την επεξεργασία της αμμοβολής χάνουν την διαφανή ιδιότητα τους.

- **Ανάγλυφο ή Διαμαντέ**

Η χρήση τους γίνεται κυρίως για διακοσμητικούς σκοπούς και συνήθως παρουσιάζουν μειωμένη διαφάνεια όπως η προηγούμενη κατηγορία.

- **Χρωματιστό**

Η κατασκευή τους απαιτεί κυρίως προσθήκη μικρών ποσοτήτων από μέταλλα και οξειδία μετάλλων τα οποία δίνουν διάφορους χρωματισμούς.

- **Θερμοαπορροφητικό**

Το θερμοαπορροφητικό γυαλί έχει την ιδιότητα να απορροφά ερυθρές και υπέρυθρες ακτινοβολίες ενώ η απορροφητικότητα του φτάνει έως και το 75% της ακτινοβολίας που προσπίπτει στην επιφάνεια του.

- **Αντηλιακό**

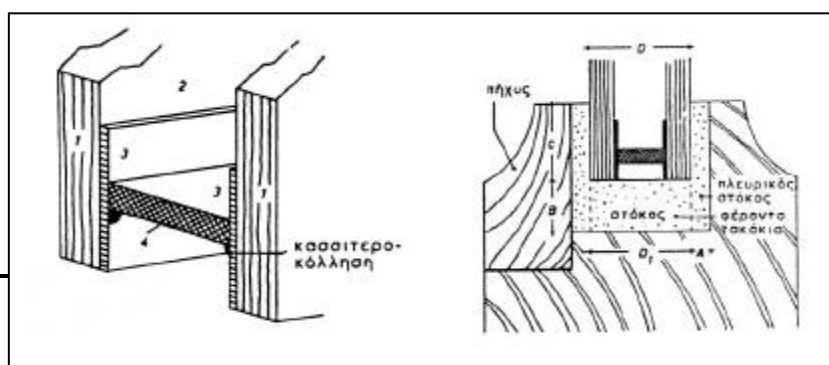
Αυτός ο τύπος γυαλιού διαθέτει επιστρώσεις από μεταλλοξείδια και η διαπερατότητα του κυμαίνεται μεταξύ 25 έως και 65%.

Γυαλί με θερμομονωτικές ιδιότητες

Το θερμομονωτικό γυαλί είναι ένα διάφανο γυαλί, το οποίο έχει επίστρωση μικροσκοπικών μεταλλικών οξειδίων στη μια του πλευρά. Αυτή η επίστρωση δεν επιτρέπει τη μεταφορά θερμότητας από τον εσωτερικό χώρο στον εξωτερικό και αντίστροφα. Έχει όμοια όψη με ένα κοινό γυαλί αλλά μειώνει την εισερχόμενη ακτινοβολία σε ποσοστό μέχρι και 75%. Η εφαρμογή του στοχεύει κυρίως στην χρήση του σε κατοικίες αφού επιτυγχάνει την μείωση κόστους σε ψύξη το καλοκαίρι, διατηρώντας τη υψηλή θερμοκρασία έξω από την κατοικία, όπως και αποδοτικότερη θερμομόνωση το χειμώνα αφού διατηρεί την θερμοκρασία εντός της κατοικίας.

Αυτή η επίστρωση αντανακλά την ενέργεια της υπέρυθρης ακτινοβολίας, με αποτέλεσμα να κατακρατείται η ακτινοβολούμενη θερμότητα από την ίδια πλευρά του γυαλιού από την οποία προέρχεται, ενώ ταυτόχρονα επιτρέπει τη διέλευση του ορατού φωτός.

Συνηθέστεροι είναι οι διπλοί υαλοπίνακες, οι οποίοι είναι σύστημα δύο κοινών υαλοπινάκων ή κρυσταλλοπινάκων σε απόσταση μεταξύ τους. Τα διάκενα, το οποίο περιέχει ξηρό αέρα, κλείνεται περιμετρικά αεροστεγώς με μόλυβδο ή ειδική μαστίχη, ώστε να εμποδίζεται η είσοδος της υγρασίας και των υδρατμών.



Εικόνα 53 Διπλό γυαλί με θερμομονωτικές ιδιότητες

Γυαλί Ασφαλείας

Σε αυτή την κατηγορία ανήκουν οι σύνθετοι υαλοπίνακες ασφαλείας και οι προεντεταμένοι υαλοπίνακες ασφαλείας.

Σύνθετοι Υαλοπίνακες Ασφαλείας

Κατασκευάζονται από δύο ή περισσότερους κοινούς υαλοπίνακες με ενδιάμεσο στρώμα ή στρώματα από λεπτές, ελαστικές, πλήρως διαφανείς τεχνητές ρητίνες. Η συγκόλληση γίνεται με συμπίεση στους 150° C περίπου.

Η διαπερατότητα του φωτός στους σύνθετους υαλοπίνακες κυμαίνεται από 85 έως και 90 % ενώ η θραύση τους, λόγω συγκόλλησης, δεν προκαλεί επικίνδυνα θραύσματα.

Για μεγαλύτερη ασφάλεια κατασκευάζονται σύνθετοι με τρεις ή περισσότερους συγκολλημένους υαλοπίνακες ή κατασκευάζονται οπλισμένοι. Χρησιμοποιούνται σε παράθυρα και πόρτες ασφάλειας, σε υαλοχωρίσματα και σε κλιμακοστάσια.

Προεντεταμένοι Υαλοπίνακες Ασφαλείας

Η προένταση επιτυγχάνεται με τη βαφή κρυσταλλοπινάκων, θέρμανση στους 700° C περίπου και απότομη ψύξη με αεροβολή και των δύο επιφανειών.

Οι προεντεταμένοι υαλοπίνακες παρουσιάζουν μεγάλη ανθεκτικότητα στις παραμορφώσεις. Το βασικό τους πλεονέκτημα είναι ότι η αντοχή τους σε κάμψη είναι πενταπλάσια της αντίστοιχης στους κοινούς υαλοπίνακες. Χαρακτηρίζονται από υψηλή αντοχή σε κρούση και ανθεκτικότητα στις απότομες μεταβολές της θερμοκρασίας.

Όταν θραύονται δημιουργούνται μικρά σφαιρικά θραύσματα. Χρησιμοποιούνται σε πόρτες χωρίς πλαίσιο, σε προσθήκες, σε υαλοστάσια, για σκαλοπάτια κ.λπ.

Προηγμένα Συστήματα Υαλοπινάκων Γενικά

Η προσπάθεια για βελτίωση της απόδοσης των υαλοπινάκων, οδήγησε σε νέα χημική κατεργασία της χρωματιστής υάλου, ώστε να τροποποιηθούν οι ιδιότητές της. Συγχρόνως η εξέλιξη των υλικών επιστρώσεις μείωσε τις θερμικές απώλειες, τη θάμβωση, το συντελεστή εκπομπής θερμικής ακτινοβολίας και αύξησε την επιλεκτική διέλευση τμημάτων του ηλιακού φάσματος.

Τα σημαντικότερα είδη προηγμένων συστημάτων υαλοπινάκων είναι τα εξής :

- Ηλεκτροχρωμικοί Υαλοπίνακες
- Θερμοχρωμικοί Υαλοπίνακες
- Φωτοχρωμικοί Υαλοπίνακες
- Υαλοπίνακες Διάχυσης του Φωτός
- Πρισματικοί Υαλοπίνακες
- Διπλοί Υαλοπίνακες Με Ολογραφικό Υμένιο Στο Εσωτερικό

Ίνες Γυαλιού

Οι ίνες γυαλιού είναι από τους πλέον διαδεδομένους τύπους ενισχυτικών ινών στα σύνθετα πολυμερικής μήτρας. Η δομική βάση τους είναι τα οξείδια πυριτίου, ασβεστίου, βορίου, αλουμινίου, κα. Θεωρούνται από τα πιο φθηνά ενισχυτικά υλικά.

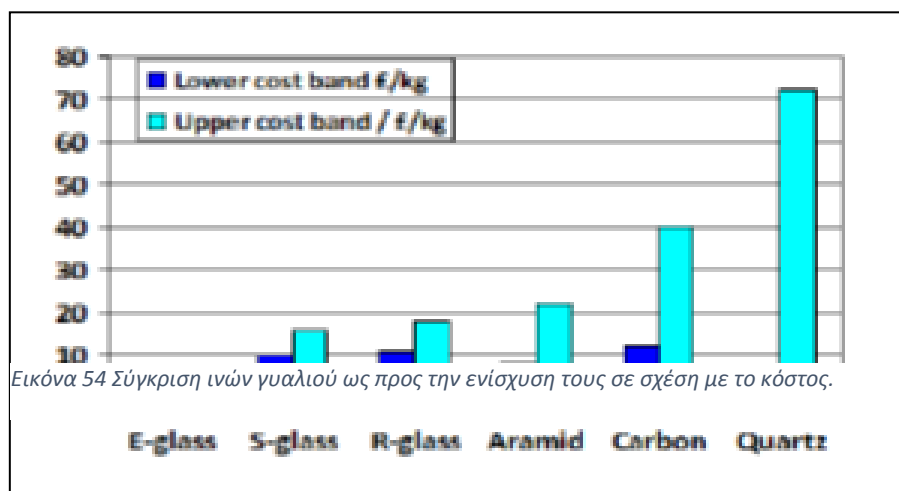
Ανάλογα με τη χημική τους σύσταση οι ίνες γυαλιού χαρακτηρίζονται ως τύπου E, C και S, των οποίων οι κύριες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες παρουσιάζονται στον πίνακα.

Διαδικασία παραγωγής ινών γυαλιού

- E-glass (E=electrical): Πρόκειται για τα συχνότερα χρησιμοποιούμενα υαλονήματα με καλές ηλεκτρικές ιδιότητες, αντοχή και δυσκαμψία.
- C-glass (C=corrosion): Υαλονήματα με υψηλή αντίσταση στη χημική διάβρωση, αλλά και με καλύτερες μηχανικές ιδιότητες από τις ίνες τύπου E, από τις οποίες όμως είναι ακριβότερες.

- S-glass (S=stiffness): Ακριβότερο υλικό από το E-glass, αλλά με υψηλότερη δυσκαμψία και θερμική αντοχή. Χρησιμοποιείται κυρίως στην αεροπορική βιομηχανία.

Τα βασικότερα πλεονεκτήματα των υαλονημάτων είναι το χαμηλό κόστος και η υψηλή αντοχή, ενώ στα κύρια μειονεκτήματά τους εντάσσονται το χαμηλό μέτρο ελαστικότητας και η μικρή αντοχή τους στις φθορές. Στο παρακάτω σχήμα παρουσιάζεται η σύγκριση ως προς το εύρος κόστους των διάφορων τύπων υλικών που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή για την ενίσχυση σύνθετων πολυμερών.



Εικόνα 54 Σύγκριση ινών γυαλιού ως προς την ενίσχυση τους σε σχέση με το κόστος.

Εικόνα 55 Σύγκριση ενισχύσεων διαφόρων τύπων ινών σε σχέση με το κόστος τους.

Υαλοκεραμικά

Τα υαλοκεραμικά υλικά ανακαλύφθηκαν κάπως, τυχαία, και στην κυριολεξία από κάποιον λάθος, το 1953. Από τότε μέχρι σήμερα, έχουν δημοσιευτεί πολύ μεγάλος αριθμός επιστημονικών άρθρων αλλά και διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας (πατεντών) από πολλά ερευνητικά ινστιτούτα, πανεπιστήμια και εταιρίες κατασκευής υλικών σε ολόκληρο τον κόσμο.

Η ελεγχόμενη διεργασία της κεραμοποίησης (δηλαδή της κρυστάλλωσης) οδηγεί σε ένα φάσμα υλικών με προοδευτική διαβάθμιση των ιδιοτήτων. Έτσι προκύπτουν υλικά με πολύ

ελκυστικές ιδιότητες, οι οποίες αποκτούν ιδιαίτερο όταν συνδυάζουν, με ασυνήθιστο τρόπο διαφορετικές ιδιότητες το ίδιο υλικό.

Τα κύρια πλεονεκτήματα των υαλοκεραμικών μπορούν να συνοψιστούν ως ακολούθως:

- Μπορούν να κατασκευαστούν με διεργασίες μαζικής παραγωγής με τεχνικές παραγωγής υάλων.
- Μπορεί ο κατασκευαστής να σχεδιάσει εκ των προτέρων τη νανοδομή και μικροδομή του υλικού ανάλογα με τις απαιτήσεις της κάθε εφαρμογής που αυτό προορίζεται να χρησιμοποιηθεί.
- Έχουν πολύ μικρό ή και μηδενικό πορώδες.
- Μπορούν να συνδυάσουν σε άριστο βαθμό ποικιλία ιδιοτήτων.

Στη βιομηχανία, υπάρχουν διάφορες τεχνικές προσεγγίσεις ώστε να επιτευχθεί η ελεγχόμενη κρυστάλλωση μίας υάλου προς υαλοκεραμικό υλικό: Στις περισσότερες περιπτώσεις, στη βασική σύσταση της υάλου προστίθενται αντιδραστήρια που ευνοούν την πυρηνοποίηση (nucleating agents), π.χ. ευγενή μέταλλα, φλορίδια, και οξειδία όπως ZrO_2 , TiO_2 , P_2O_5 , Cr_2O_3 ή Fe_2O_3 .

Οι υποκατηγορίες των υαλοκεραμικών είναι οι εξής:

- **Εμπορικά υαλοκεραμικά**

Το πρώτο βιώσιμο εμπορικά υαλοκεραμικό αναπτύχθηκε για τη βιομηχανία της αεροδιαστημικής προς τα τέλη του 1950 για την προστασία των radar των αεροσκαφών και των πυραύλων. Υαλοκεραμικά εκείνα έπρεπε να συνδυάζουν σταθερότητα στις ιδιότητές τους (όπως ομοιογένεια, χαμηλή διηλεκτρική σταθερά, χαμηλό συντελεστή θερμικής διαστολής, χαμηλή διηλεκτρική απώλεια, υψηλές μηχανικές ιδιότητες και αντίσταση στη φθορά) στις ακραίες συνθήκες λειτουργίας λόγω της ατμόσφαιρας και της βροχής. Υαλοκεραμικά χρησιμοποιούνται όμοια και σήμερα σε αεροσκάφη υψηλής απόδοσης και πυραύλους. Σημειώνεται ότι δε υπάρχει κανένα μέταλλο, ύαλος ή μονοκρυσταλλικό υλικό που να μπορεί να ικανοποιήσει όλες τις παραπάνω ιδιότητες.

- **Καταναλωτικά προϊόντα**

Το πιο σπουδαίο σύστημα για την κατασκευή αυτών των υλικών είναι το τριμερές σύστημα $Li_2O-Al_2O_3-SiO_2$, γνωστό ως LAS, στο οποίο έχουν προστεθεί σε μικρότερες ποσότητες και άλλα οξειδία όπως CaO , MgO , ZnO , BaO , P_2O_5 , Na_2O και K_2O . Προσθήκη As_2O_5 και SnO_2 συντελεί στο καλύτερο τελικό φινίρισμα. Το ZrO_2

σε συνδυασμό με TiO_2 είναι τα πλέον συνηθισμένα πρόσθετα για προαγωγή της πυρηνοποίησης. Η κύρια φάση που κρυσταλλώνεται είναι στερεό διάλυμα χαλαζία, το οποίο είναι έντονα ανισοτροπικό και προσδίδει τον αρνητικό συντελεστή διαστολής. Έτσι, τα υαλοκεραμικά τύπου LAS μπορούν να αντέξουν σε ταχείες μεταβολές της θερμοκρασίας από τους $800^\circ C$ έως τους $1000^\circ C$.

- **Υαλοκεραμικά σε θερμικές εφαρμογές**

Η εταιρία Schott κατασκεύασε ένα άλλο πολύ σημαντικό υαλοκεραμικό, το Zerodur, το οποίο είναι ημιδιαφανές και χωρίς πόρους. Ο συντελεστής θερμικής διαστολής του Zerodur είναι εξαιρετικά μικρός ($0.00 \pm 0.02 \times 10^{-6}/K$ μεταξύ $0^\circ C$ και $50^\circ C$), ο οποίος για ορισμένες θερμοκρασίες μπορεί να γίνει και μηδέν. Το υαλοκεραμικό αυτό είναι εξαιρετικά ομοιογενές. Ακόμα και σε μεγάλα δοκίμια, είναι αδύνατον να εντοπιστούν ατέλειες και ασυνέχειες στις μηχανικές και στις θερμικές ιδιότητες. Η διαφάνειά του σε πάχος από 400 μέχρι 2.300 nm επιτρέπει την επιβεβαίωση της ποιότητας του εσωτερικού του, όπως είναι η παντελής έλλειψη φυσσαλίδων ή εγκλεισμάτων. Οι ιδιότητες αυτές καθιστούν το Zerodur ιδανικό ως ένα ελαφρύ υλικό για χρήσεις σε κυψελίδες καθρεφτών που χρησιμοποιούνται στους δορυφόρους.

- **Κατεργάσιμα υαλοκεραμικά**

Τα υλικά αυτά έχουν υψηλό συντελεστή διαστολής ο οποίος, όμως είναι κοντά με το συντελεστή διαστολής πολλών μετάλλων καθώς και υάλων που χρησιμοποιούνται για ερμητικές συγκολλήσεις και εμφράξεις. Έχουν μηδενικό πορώδες και έχουν πολύ μεγάλη ηλεκτρική αντίσταση σε υψηλή τάση, ιδανική για χρήση σε μονωτές, καθώς και σε διάφορες συχνότητες και υψηλές θερμοκρασίες. Η κατεργασία τους μπορεί να γίνει με τρόπους και εργαλεία όπως και τα μεταλλικά υλικά, εύκολα, με ακρίβεια στις διαστάσεις και οικονομικά. Μετά τη μορφοποίηση, τα υλικά αυτά δεν χρειάζεται να ξαναψηθούν.

- **Υαλοκεραμικά υψηλής μηχανικής αντοχής**

Η μεγάλη αντοχή των υαλοκεραμικών αυτών οφείλεται βασικά στη μικροδομή η οποία ουσιαστικά μπορεί να αντιστέκεται και να αναστέλλει τη διάδοση ρωγμών οι οποίες οδηγούν στην κατάρρευση του υλικού. Άλλες τεχνικές μηχανικής ενίσχυσης

των υαλοκεραμικών είναι η ενίσχυση με ίνες, η ενίσχυση με χημική κατεργασία με μεθόδους ιονανταλλαγής και η ανάπτυξη λεπτών επιφανειακών στρωμάτων με μικρότερο συντελεστή θερμικής διαστολής από ότι το εσωτερικό του υλικού ώστε να επάγεται προς το εσωτερικό (από την επικάλυψη) θλιπτική τάση.

Παρά τα παραπάνω, ο αριθμός των υαλοκεραμικών που είναι σε εμπορική χρήση είναι σχετικά μικρός, εφόσον κάποιο υαλοκεραμικό κατασκευαστεί, τότε φαίνεται ότι παραμένει με επιτυχία στην αγορά για αρκετές δεκαετίες. Πράγματι, από τις χιλιάδες των πατεντών, μόνο μερικές δεκάδες υαλοκεραμικών υλικών έχουν φτάσει μέχρι την αγορά με επιτυχία. Πάντως, πολλές από αυτές τις πατέντες και οι αναθεωρημένες εκδόσεις τους, είναι πάντα εδώ, και αρκετές έχουν πουληθεί για πολλά εκατομμύρια.

Αν και γνωρίζουμε ήδη πολλά για την τεχνολογία των υλικών αυτών, είναι διάχυτο στην επιστημονική και τεχνολογική κοινότητα ότι τα καλύτερα και τα ενδιαφέροντα είναι μπροστά μας. Αυτά συμπεριλαμβάνουν σχεδιασμό νέων συστάσεων, και πράγματι υπάρχουν πάρα πολλές εναλλακτικές συστάσεις για να εξερευνηθούν, να δοκιμαστούν άλλα αντιδραστήρια προαγωγής της πυρηνοποίησης και φυσικά και άλλες προηγμένες διεργασίες κρυστάλλωσης.

Βιοϋαλοι

Τα βιοϋλικά σχεδιάζονται για να αντικαθιστούν κατεστραμμένα ή ασθενή τμήματα του σώματος και επομένως, από βιολογική άποψη, στοχεύεται να είναι αποδεκτά από τον οργανισμό (βιοσυμβατά). Τα βιοϋλικά ταξινομούνται σε τέσσερις γενικά κατηγορίες:

- Μέταλλα (και κράματα)
- Κεραμικά και βιοϋαλοι
- Πολυμερή
- Σύνθετα υλικά.

Τα υλικά αυτά μπορούν επίσης ανάλογα με τις ιδιότητες των επιφανειών τους να καταταγούν σε πέντε επί μέρους κατηγορίες:

Τύπος 1: Υλικά σχεδόν αδρανή με λείες επιφάνειες.

Τύπος 2: Υλικά σχεδόν αδρανή με μικροπορώδεις επιφάνειες.

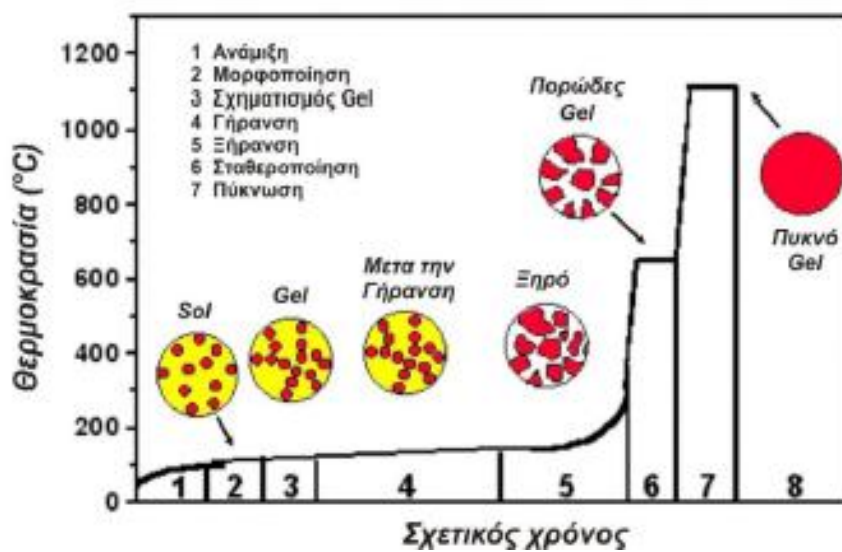
Τύπος 3: Υλικά με ελεγχόμενες επιφάνειες, σε ό, τι αφορά στις επιφανειακές αντιδράσεις.

Τύπος 4: Βιοαπορροφήσιμα υλικά, δηλαδή αυτά που μπορούν να αφομοιωθούν από τον οργανισμό.

Τύπος 5: Υλικά που αντικαθιστούν τα αντίστοιχα όργανα και μιμούνται τα βιολογικά υλικά τα οποία αντικαθιστούν (βιομιμητικά, biomimetics). Τα υλικά αυτά, όταν κατασκευαστούν θα είναι τα πλέον ιδανικά.

Βιοϋαλοι κολλοειδούς γέλης (Sol-gel)

Στο διάλυμα (sol ή solution) εκτελούνται χημικές διεργασίες οι οποίες εξελίσσονται σταδιακά για το σχηματισμό μιας μορφής διφασικού συστήματος που περιέχει μια υγρή και μια στερεά φάση, δηλαδή η μορφολογία του είναι ανάμεσα σε διακριτά σωματίδια και συνεχή δίκτυα πολυμερών. Πρωτογενής ουσίες είναι τα μεταλλικά αλκοξίδια και τα μεταλλικά χλωριούχα άλατα, τα οποία υφίστανται υδρόλυση και αντιδράσεις πολυσυμπύκνωσης για να σχηματίσουν το κολλοειδές.



Εικόνα 29 Διεργασίες που πραγματοποιούνται για την κατασκευή του γυαλιού από gel πυριτίου.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6

Εφαρμογές του γυαλιού

Το επίπεδο γυαλί χρησιμοποιείται κυρίως στην αρχιτεκτονική και στην αυτοκινητοβιομηχανία. Οι απαιτήσεις στη αυτοκινητοβιομηχανία για καμπυλωτά παράθυρα ικανοποιούνται με την επικάλυψη λεπτών στρώσεων επίπεδου γυαλιού με πλαστικά υλικά και το καλούπιασμα στην απαιτούμενη μορφή και μέγεθος. Ξεχωριστή ποιότητα επίπεδου γυαλιού χρησιμοποιείται σε καθρέφτες, εικόνες, βιτρίνες, έπιπλα και πολλές άλλες χρήσεις.

Η κατασκευαστική αγορά έχει πολλές απαιτήσεις από το πολλαπλών στρώσεων ενισχυμένου πλέγματος γυαλί μέχρι το απλό γυαλί για παράθυρα πάχους 4 mm. Καθώς οι παραγωγοί γυαλιού προσανατολίζονται περισσότερο προς τις ανάγκες της αγοράς, νέα προϊόντα εμφανίζονται προσθέτοντας ξεχωριστή προστιθέμενη αξία στο τομέα του διαφανούς γυαλιού.

Η εξέλιξη ξεκίνησε με το ελαφρώς χρωματισμένο διάφανο γυαλί για παράθυρα και έχει τώρα εξελιχθεί σε ειδικό γυαλί διέλευσης φάσματος του φωτός που μπορεί να έχει επίσης ανακλαστική επίστρωση.

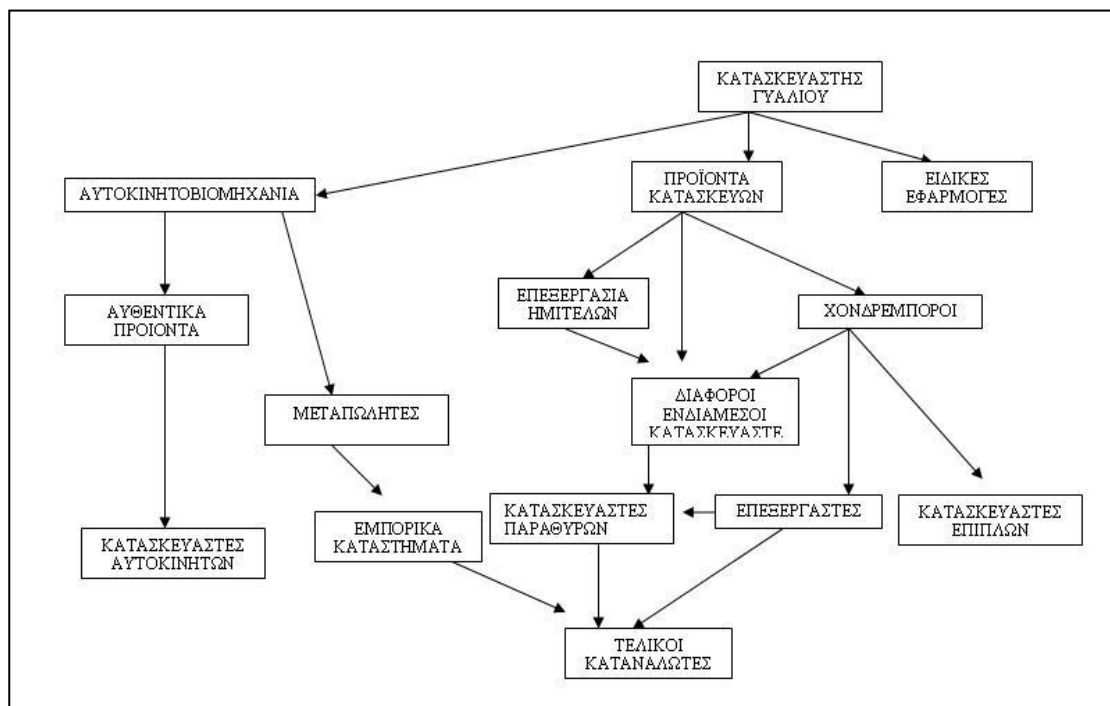
Βέβαια ανάλογα με το σε ποιο μέρος του κόσμου το τελικό προϊόν θα χρησιμοποιηθεί, οι απαιτήσεις μπορεί να αφορούν στον περιορισμό της απώλειας θερμότητας στην ατμόσφαιρα έξω από το δωμάτιο ώστε να εξοικονομείται ενέργεια από την θέρμανση του

δωματίου, ή στον περιορισμό της θερμότητας που εκπέμπεται από το εξωτερικό περιβάλλον στο δωμάτιο εξοικονομώντας ενέργεια από την χρήση κλιματισμού.

Οι καθρέφτες αποτελούν επίσης μεγάλο τμήμα της κατανάλωσης γυαλιού. Η νέα τεχνολογία για την εφαρμογή αντανάκλαστικών υλικών δημιουργεί πιο φιλικές προς το περιβάλλον διαδικασίες επεξεργασίας του καθρέφτη ενώ παράλληλα σημειώνεται βελτίωση και στην ποιότητα.

Οι εφαρμογές στα έπιπλα εξελίσσονται επίσης σε μεγάλη αγορά για το επίπεδο γυαλί καθώς οι σχεδιαστές αρχίζουν να καταλαβαίνουν την βελτίωση στην ασφάλεια των επικαλυμμένων επιπέδων γυαλιών στις πόρτες των ερμαρίων.

Στην παρακάτω σχηματική παράσταση περιγράφονται οι χρήσεις του γυαλιού:



Εικόνα 30 Οι κυριότερες εφαρμογές του γυαλιού σε βιομηχανικό επίπεδο.

Με λίγα λόγια θα μπορούσε κανείς να πει ότι ο επίπεδος υαλοπίνακας, αποτελεί τον πυρήνα για κάθε δραστηριότητα στον χώρο της υαλοουργίας, καθώς αποτελεί την βασική πρώτη ύλη μιας σειράς βιομηχανικών δραστηριοτήτων στο χώρο όπως:

1. Των κατασκευών:

- Αρχιτεκτονική (εξωτερικού χώρου).
- Διακόσμηση (εσωτερικού χώρου).

2. Των μεταφορικών μέσων

- Αυτοκίνητα
- Τραίνα
- Λεωφορεία, τράμ, κλπ
- Αεροπλοΐα
- Ναυσιπλοΐα.

3. Των εξειδικευμένων βιομηχανιών:

- οικιακών συσκευών (φούρνοι, φούρνοι μικροκυμάτων, ...).
- τοποθέτησης κορνιζών.
- για οθόνες υπολογιστών, κινητά τηλέφωνα.
- Ηλιακών συσσωρευτών
- Φωτοβολταϊκών.

Κατασκευές

Το ποσοστό γυαλιού που χρησιμοποιείται στα σημερινά κτήρια αυξάνεται συνεχώς. Ολοένα και περισσότερα κτήρια σήμερα έχουν ολόκληρο σκελετό καλυμμένο με γυαλί. Επιπλέον, οι απαιτήσεις για καλύτερη ποιότητα, για σύγχρονα γυάλινα προϊόντα καθώς και για γυάλινες κατασκευές που εντυπωσιάζουν, αυξάνονται. Η παρούσα εργασία αναφέρεται στο γυαλί ως δομικό υλικό. Παρουσιάζονται όλα τα είδη γυαλιού και δίνεται έμφαση σε αυτό που χρησιμοποιείται περισσότερο στις κατασκευές. Αναφέρονται διάφορες μέθοδοι επεξεργασίας του, (όπως η θερμική επεξεργασία) ώστε να επιτευχθούν υαλοπίνακες με τις καλύτερες δυνατές ιδιότητες, οι μηχανικές ιδιότητές του (όπως η αντοχή του σε κάμψη) καθώς και τα φυσικά χαρακτηριστικά του. Δεδομένου ότι το γυαλί είναι εύθραυστο υλικό, ο σχεδιασμός με αυτό θα πρέπει να είναι ρεαλιστικός και η επίλυση επιβάλλεται να γίνεται με διάφορα πιθανά σενάρια αστοχίας. Στον υπολογισμό, συγκρίνεται η τάση από τα εξωτερικά φορτία με την επιτρεπόμενη τάση. Τέλος, αναφέρονται οι σύγχρονες εξελίξεις στη βιομηχανία του γυαλιού και το μέλλον του στην κατασκευή.

Ανάλογα με το τρόπο επεξεργασίας, υπάρχουν οι παρακάτω τύποι γυαλιού για δομική χρήση:

- Το Θερμικώς σκληρυμένο γυαλί (ESG). Το γυαλί θερμαίνεται και ψύχεται άμεσα με ειδικό ψεκασμό κρύου αέρα. Έτσι, σκληραίνεται η επιφάνεια του γυαλιού δίνοντας

περισσότερο χρόνο στο εσωτερικό να κρυώσει. Αυτό επιτρέπει στο εξωτερικό στρώμα να κρυσταλλοποιηθεί σε ευρύτερο πλέγμα ενώ στο εσωτερικό στρώμα να στερεοποιείται με μεγαλύτερη συμπίεση από το κρυσταλλικό πλέγμα.

- Το θερμικώς ενισχυμένο γυαλί (TVG). Κατασκευάζεται με τον ίδιο τρόπο που γίνεται και το (ESG), μόνο που ψύχεται πιο αργά έτσι οι τιμές της παραμένουσας παραμόρφωσης έχουν μικρότερη τιμή. Επομένως το TVG έχει μικρότερη καμπτική αντοχή. Η εικόνα θραύσης των υαλοπινάκων είναι όμοια με αυτή του πλωτού γυαλιού μόνο που τα κομμάτια εδώ είναι μεγαλύτερα αλλά και πιο αιχμηρά. Όταν χρησιμοποιείται στην οικοδομή θα πρέπει να στηρίζεται περιμετρικά ώστε σε περίπτωση θραύσης να μην ξεκολλάνε κομμάτια γυαλιού. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί και για τη κατασκευή γυαλιών Triplex.
- Το χημικά επεξεργασμένο γυαλί. Με την χημική επεξεργασία καταφέρνουμε να έχουμε μια μόνιμη τάση στην επιφάνεια του γυαλιού και να έχουμε το χημικά σκληρυμένο γυαλί. Αυτό επιτυγχάνεται με μια αλλαγή στην σύνθεση και συγκεκριμένα με ιονική ανταλλαγή. Κατά συνέπεια δημιουργείται μια ζώνη πίεσης στο γυαλί. Η ιονική αυτή ανταλλαγή επιτυγχάνεται μέχρι 300mm βάθος. Πολύ λεπτά γυαλιά τα οποία είναι πολύ δύσκολο να κατεργαστούν θερμικά τα επεξεργαζόμαστε χημικά. Για μια χημική επεξεργασία μεγαλύτερης διάρκειας απαιτείται μεγαλύτερο κόστος. Άρα αυτού του είδους γυαλιά στην οικοδομή χρησιμοποιούνται μόνο σε ειδικές περιπτώσεις όπως για παράδειγμα όταν απαιτούνται καμπύλα γυαλιά με ιδιαίτερη γεωμετρία.
- Το γυαλί Triplex. Αποτελείται από δύο εξωτερικούς υαλοπίνακες και ενδιάμεση πλαστική μεμβράνη πολυβινυλομπουτυραλίου (PVB). Η μεμβράνη λειτουργεί σαν συγκολλητικό υλικό και κρατάει το γυαλί στην θέση του αν σπάσει. Έτσι, αν η δύναμη του χτυπήματος υπερβαίνει την αντοχή του γυαλιού, το γυαλί σπάει, αλλά τα κομμάτια του μένουν κολλημένα στην πλαστική μεμβράνη και δεν είναι επικίνδυνα. Έτσι αποφεύγονται σοβαροί τραυματισμοί που μπορεί να προκαλέσουν τα κομμάτια γυαλιού.

Μελλοντικά, η χρήση του γυαλιού σε κτήρια προβλέπεται να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Οι τεχνικές αλλά και οι αισθητικές απαιτήσεις οι οποίες συνεχώς αυξάνονται, πληρούνται όλο και πιο εύκολα με τις καινούριες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί στην επεξεργασία του γυαλιού.



Εικόνα 31 Αρχιτεκτονικό αριστούργημα σε δάσος στην Ελβετία.

Μεταφορικά μέσα

Οι πρώτες ιδέες και κατοχυρώσεις το υαλικών επιφανειών σε ένα αυτοκίνητο ξεκίνησαν από τις αρχές κιόλας του περασμένου αιώνα και με το πέρασ του χρόνου έχουμε όλο και πιο καινούργιους τρόπους στο που και πώς θα έχουμε υάλινη επιφάνεια σένα όχημα. Κυρίως στις πρώτες αυτοκινητοβιομηχανίες τις Αμερικής όπου και ξεκινούσαν από τις πρώτες μαζικές παραγωγές οχημάτων όπως και από τις πρώτες αγορές αυτοκινήτων και ιδιωτική ή εμπορική χρήση.

Μέσα σε 40 χρόνια, η υαλική επιφάνεια ανά όχημα έχει διπλασιαστεί. Κατά τη διάρκεια αυτής της περιόδου η υαλοποίηση έχει προηχθεί σημαντικά και σε τεχνική λειτουργία και στη πολυπλοκότητα. Δίνοντας μεγάλη προσοχή στις προσδοκίες των αυτοκινήτων και στις ανάγκες των κατασκευαστών αυτοκινήτων έχουν δημιουργηθεί νέες λύσεις για να παράσχουν στους χρήστες την καλύτερη δυνατή όραση, μεγαλύτερη άνεση (θερμική, ακουστική, ατμοσφαιρική) και μεγαλύτερα επίπεδα ασφαλείας και προστασίας.

Κυριότερες εφαρμογές στα επιβατικά αυτοκίνητα είναι οι εξής:

- **Εμπρόσθιος υαλοπίνακας**

Είναι το κύριο στοιχείο στην ενεργή αυτοκίνητη ασφάλεια. Η Hydrofobic θέρμανση και οι αντί-αντανεκλαστικές λειτουργίες βελτιώνουν την ορατότητα. Άλλες επιλογές παρέχουν προστασία από τη ζέστη. Κεραίες μπορούν επίσης να ενσωματωθούν στον υαλοπίνακα.

- **Κρυσταλοποιημένος υαλοπίνακας οροφής**

Προσφέρει φως και την αίσθηση της ελευθερίας στους επιβάτες. Ο αυξανόμενος εφαρμοσμένος υαλοπίνακας οροφής μπορεί να χρωματιστεί ή να ενσωματωθεί σε αυτόν ένα ηλεκτροχρωμικό σύστημα.

- **Εμπρόσθια πλαϊνά παράθυρα**

Η υαλοποίηση με ελαστικότητα βελτιώνει την ασφάλεια και προστασία όπως και την ακουστική άνεση. Όταν συνδυαστεί με την χρωματοποίηση ή την υπέρυθρη αντανάκλαση, τα ελαστικοποιημένα πλαϊνά παράθυρα μπορούν επίσης να παράσχουν προστασία από την ζέστη και η ορατότητα μπορεί να βελτιωθεί με την μέθοδο Hydrofobic.

- **Πλαϊνά και πίσω παράθυρα**

Η θερμική άνεση και η προσωπική προστασία των πίσω επιβατών μπορεί να βελτιωθεί με τη χρήση μαύρου χρωματισμού των παραθύρων. Κεραίες μπορούν επίσης να ενσωματωθούν στα πλαϊνά παράθυρα.

- **Όπισθεν υαλοπίνακας**

Μπορεί να εξοπλιστεί με χρωματοποίηση ή μαύρη χρωματοποίηση ή ακόμα με στρώμα αντανάκλασης υπέρυθρης ακτινοβολίας για την προστασία από τη ζέστη. Επίσης αν εξοπλιστεί με Hydrofobic ή θερμαντική μέθοδο επίστρωσης μπορεί να επιτευχτεί μια υψηλότερου επιπέδου οπτική άνεση. Τα πίσω παράθυρα μπορούν να παραχθούν σε διπλή επίστρωση και επίσης να ενσωματωθεί κεραία σε αυτά.

Ένα από τα πλεονεκτήματα της εφαρμογής του γυαλιού στο αυτοκίνητο και γενικότερα τα μέσα μεταφοράς αποτελεί και η μείωση της εκτίναξης. Το γυαλί διπλού κρυστάλλου χρησιμοποιείται στους ανεμοθώρακες από την αρχή της δεκαετίας του ογδόντα. Αποτελείται από δύο στρώσεις από γυαλί που ενώνονται από μια στρώση από υψηλής ποιότητας πλαστικό(PVB). Έτσι, στην περίπτωση ενός ατυχήματος το γυαλί θα ραγίσει αλλά θα παραμείνει ανέπαφο, μικραίνοντας το ρίσκο της εκτίναξης από το όχημα. Σήμερα τα διπλά κρύσταλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε όλες τις γυάλινες επιφάνειες.

Τέλος, ένα ακόμα βασικό πλεονέκτημα της χρήσης του γυαλιού είναι η ασφάλεια ενάντια των κλοπών. Είναι ευρέως γνωστό, ότι τα τζάμια με διπλά κρύσταλλα μειώνουν επίσης τους κινδύνους κλοπής. Με το να αυξηθεί ο χρόνος που χρειάζεται για να σπάσει το παράθυρο βοηθάει στη μείωση βανδαλισμών, κλοπής αντικειμένων που είναι

εγκατεστημένα ή εκτεθειμένα στο αυτοκίνητο και φυσικά την κλοπή του ίδιου του αυτοκινήτου.

Εξειδικευμένη βιομηχανία

Κινητά τηλέφωνα

Τα τελευταία χρόνια τα smartphone έχουν αλλάξει κατα πολύ. Έχει αυξηθεί θεαματικά η ποιότητα τους, σε θέματα όπως η διάρκεια ζωής της μπαταρίας τους, αφού η καθημερινότητα επιβάλλει την ολοένα και αυξανόμενη χρήση τους και όσο μεγαλύτερη είναι η σύγκλιση ανάμεσα στα προϊόντα που προσφέρουν όλοι οι κατασκευαστές, τόσο περισσότερο τα υλικά και ο σχεδιασμός ενός τηλεφώνου γίνονται ολοένα και πιο σημαντικά.

Σχεδόν κάθε κατασκευαστής κάνει μια αλλαγή στο υλικό του σχεδιασμού των συσκευών του, καθώς η αγορά γίνεται όλο και πιο κορεσμένη και ανταγωνιστική. Ο κύκλος αναβάθμισης των συσκευών έχει επιμηκυνθεί, και καθώς οι άνθρωποι βρίσκουν όλο και λιγότερους λόγους για να αναβαθμίσουν στην τελευταία και καλύτερη συσκευή, οι κατασκευαστές πρέπει να βρουν τρόπους για να αντιμετωπίσουν τη μείωση της ανάπτυξης.

Υπάρχουν πάρα πολλοί καταναλωτές που απλά δεν ασχολούνται με τα υλικά και το σχεδιασμό.

Δεν είναι ασυνήθιστο να ακούσει κανείς το επιχείρημα ότι ο σχεδιασμός μιας συσκευής δεν πρέπει να έχει ιδιαίτερη σημασία, ότι δεν τους απασχολούν τα υλικά αλλά οι λειτουργίες. Συχνά λέγεται ότι οι συσκευές αλουμινίου είναι λιγότερο ανθεκτικές, πιο βαριές, και με χειρότερη λήψη από αυτές που είναι κατασκευασμένες από πολυανθρακικό, καθώς επίσης ότι ζεσταίνονται περισσότερο. Το υψηλότερο κόστος είναι επίσης ένα πρόβλημα για τους κατασκευαστές. Για το γυαλί είναι σχεδόν καθολικά αποδεκτό ότι είναι εύθραυστο.

Ηλιακοί συσσωρευτές

Ο ηλιακός συσσωρευτής είναι ένα ενεργητικό ηλιοθερμικό σύστημα παραγωγής ζεστού νερού χρήσης χρησιμοποιώντας την ηλιακή ενέργεια. Χρησιμοποιείται ευρύτατα στις χώρες που έχουν μεγάλη ηλιοφάνεια, όπως για παράδειγμα στις χώρες της Μεσογείου. Ο ηλιακός συσσωρευτής είναι η απλούστερη και η γνωστότερη ηλιακή συσκευή.

Κατά την λειτουργία του γίνεται εκμετάλλευση δυο φυσικών φαινομένων. Με την αρχή του συσσωρευτή επιτυγχάνεται η κυκλοφορία του νερού με φυσικό τρόπο χωρίς μηχανικά

μέρη (αντλίες κλπ.) ενώ η θέρμανση του νερού γίνεται με την εκμετάλλευση του φαινομένου του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στους συλλέκτες του.

Οι ηλιακοί συσσωρευτές, ανεξάρτητα από το είδος τους, αποτελούνται από δύο βασικά μέρη:

- Το τμήμα συλλογής (οι ηλιακοί συλλέκτες, η επιφάνεια απορρόφησης της ηλιακής ακτινοβολίας)
- Το τμήμα αποθήκευσης (η δεξαμενή αποθήκευσης του νερού)

Τα δύο αυτά μέρη είναι συναρμολογημένα μαζί και συνδέονται με σωληνώσεις, αλλά σε μεγαλύτερα συστήματα μπορούν να είναι και χωριστά και να χρησιμοποιούνται αντλίες για την κυκλοφορία του θερμαινόμενου μέσου, ειδικά όταν το τμήμα αποθήκευσης δεν βρίσκεται στον ίδιο χώρο με το τμήμα συλλογής.

Το τμήμα αποθήκευσης διαθέτει και ηλεκτρική αντίσταση με θερμοστάτη, για να μπορεί να παράγεται ζεστό νερό και σε άσχημες καιρικές συνθήκες. Οι ηλιακοί θερμοσίφωνες διαθέτουν και κάποια εξαρτήματα ελέγχου όπως βαλβίδα υπερπίεσης και αυτόματα εξαεριστικά.

Ηλιακοί συλλέκτες

Το κυριότερο μέρος ενός ηλιακού συσσωρευτή είναι οι ηλιακοί συλλέκτες (ή καθρέπτες), που είναι η επιφάνεια συλλογής της ηλιακής ακτινοβολίας. Αυτή αποτελείται από τέσσερα μέρη:

- Την πλάκα συλλογής της ακτινοβολίας
- Τους σωλήνες ροής του νερού
- Την κάλυψη (κρύσταλλο) της πλάκας απορρόφησης και
- Το θερμικά μονωμένο πλαίσιο πάνω στο οποίο στερεώνονται τα υπόλοιπα εξαρτήματα.

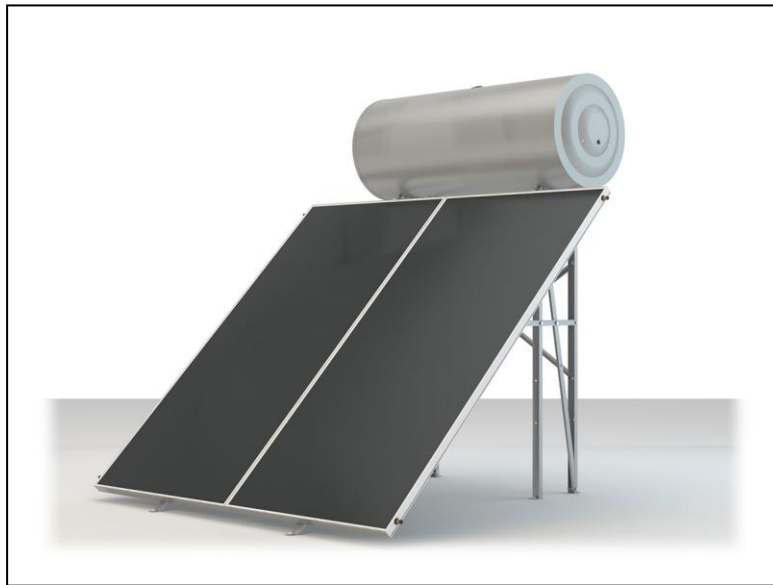
Λειτουργία ηλιακών συλλεκτών

Η λειτουργία των συλλεκτών του ηλιακού συσσωρευτή βασίζεται στο φαινόμενο του θερμοκηπίου που αναπτύσσεται στο χώρο ανάμεσα στην πλάκα απορρόφησης και τη γυάλινη επικάλυψη.

Καταρχήν, η ηλιακή ακτινοβολία πέφτει στην συνήθως μαύρη απορροφητική πλάκα, ανεβάζοντας τη θερμοκρασία της. Η πλάκα με τη σειρά της εκπέμπει μεγάλους μήκους κύματος ακτινοβολία (θερμική ακτινοβολία) για την οποία το τζάμι που καλύπτει την πλάκα είναι σχεδόν αδιαφανές.

Έτσι η μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία παγιδεύεται ανάμεσα στην πλάκα και το τζάμι, με αποτέλεσμα να αυξάνεται η απόδοση όσον αφορά τη θέρμανση του νερού που κυκλοφορεί σε σωλήνες που είναι σε επαφή με την γυάλινη επιφάνεια στο πίσω μέρος της ή ενσωματωμένοι σ' αυτή.

Οι κρίσιμοι παράγοντες για την καλή απόδοση του συστήματος είναι η μεγάλη απορροφητικότητα της γυάλινης επιφάνειας στην ηλιακή ακτινοβολία, ο μικρός συντελεστής εκπομπής της επιφάνειας στη μεγάλου μήκους κύματος ακτινοβολία και η μεγάλη αδιαφάνεια του κρυστάλλου για τη δεύτερη. Τα υλικά που προσφέρουν την καλύτερη σχέση απόδοσης-τιμής είναι γυαλί και επιφάνεια από αλουμίνιο.



Εικόνα 562 Ηλιακός συσσωρευτής με επιφάνεια γυαλιού και αλουμίνιο.
<http://www.monachos.gr/forum/content.php/483-iliakoi-thermosifones>

Φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες

Η τεχνολογία δημιούργησε ένα νέο τομέα το συνδυασμό της αρχιτεκτονικής σχεδίασης με τη χρήση φωτοβολταϊκών πλαισίων. Ο συνδυασμός αυτός μας δίνει τη δυνατότητα να δημιουργήσουμε ένα κτίριο που θα παράγει ενέργεια χωρίς να υπονομεύεται ή να αλλάζει η αισθητική του. Οι μεγαλύτερες επιφάνειες ενός κτιρίου που μπορούμε να εκμεταλλευτούμε για την παραγωγή ενέργειας είναι τα παράθυρά του. Επειδή όμως τα

ανοίγματα παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο και στον ηλιασμό και στις απώλειες του κτιρίου πρέπει να ληφθούν υπ' όψιν η φωτοδιαπερατότητα όπως και η μόνωση του υαλοπίνακα.

Τα φωτοβολταϊκά στοιχεία στους υαλοπίνακες τοποθετούνται στο εσωτερικό τους σε διπλά ή τριπλά τζάμια ή στην επιφάνεια του τζαμιού. Ανάλογα με τη διαφάνεια που επιθυμούμε, αλλάζει και η απόδοση – όσο μικρότερη η διαφάνεια, τόσο μεγαλύτερη η απόδοση. Η τεχνολογία πλέον μας επιτρέπει να χρησιμοποιούμε φωτοβολταϊκούς υαλοπίνακες ακόμα και σε προσόψεις, χωρίς τον κατάλληλο προσανατολισμό, για παράδειγμα σε μια βόρεια πρόσοψη, με την ανάλογη μείωση της απόδοσης των στοιχείων φυσικά.

Σήμερα, έχει αναπτυχθεί ένα μεγάλο εύρος φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων σχεδιασμένων ειδικά για τοποθέτηση σε κτίρια. Δεν αποτελούν απλά φωτοβολταϊκά πλαίσια, έχουν σχεδιαστεί ειδικά ως γυαλί ασφαλείας κατάλληλο για δόμηση, ώστε να τηρούν τις απαραίτητες προϋποθέσεις για την κατασκευή ενός κτιρίου. Λειτουργούν κάτω από όλες τις καιρικές συνθήκες, ακόμα και σε περιπτώσεις συννεφιάς και είναι διαθέσιμα σε διαφορετικά πάχη, μεγέθη, χρώματα και βαθμό διαφάνειας. Ένα επιπλέον πολύ σημαντικό πλεονέκτημα είναι ο χρόνος απόσβεσης της ενέργειας που απαιτείται για την κατασκευή τους, ο χρόνος δηλαδή που απαιτείται για να παραχθεί η ενέργεια που καταναλώθηκε για την κατασκευή των φωτοβολταϊκών στοιχείων που είναι μικρότερος απ' ό,τι στα συμβατικά φωτοβολταϊκά πλαίσια.

Οι κατηγορίες των φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων είναι οι εξής:

- **Ημιδιαφανές φωτοβολταϊκό γυαλί**

Το φωτοβολταϊκό γυαλί κατασκευάζεται τοποθετώντας φωτοβολταϊκές κυψέλες σε ένα γυάλινο πλαίσιο. Ρυθμίζοντας την απόσταση μεταξύ των κυψελών, αλλάζει η φωτοδιαπερατότητα και συνεπώς, ο βαθμός σκίασης στο εσωτερικό του κτιρίου. Όσο μεγαλύτερη η απόσταση, τόσο μεγαλύτερη η διαφάνεια.

- **Φωτοβολταϊκά με επίστρωση ειδικών επιφανειών πάνω σε γυαλί**

Τα φωτοβολταϊκά αυτού του τύπου μπορούν να τοποθετηθούν πάνω σε μια γυάλινη επιφάνεια σε αρκετές λεπτές στρώσεις. Η κατασκευή τους απαιτεί λιγότερα υλικά από τις κρυσταλλικές κυψέλες και τοποθετούνται στη μια πλευρά του γυαλιού, όχι στο εσωτερικό ενός διπλού ή τριπλού υαλοπίνακα, καθώς είναι ήδη ενσωματωμένα σε ένα γυάλινο πλαίσιο κατά την κατασκευή τους.

- **Φωτοβολταϊκό υαλοστάσιο με μόνωση**

Τα διπλά ή τριπλά τζάμια παρέχουν και μόνωση στο κτίριο. Η τοποθέτηση κυψελών στο εσωτερικό τους παρέχει και τη δυνατότητα παραγωγής ενέργειας. Σύμφωνα με μελέτες η απόδοση φωτοβολταϊκών στοιχείων στην πρόσοψη ενός κτιρίου συγκριτικά με σταθερά φωτοβολταϊκά πλαίσια στην οροφή, είναι περίπου στο 70%, ενώ το κόστος διάφανων φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων συγκριτικά με τα συμβατικά πλαίσια είναι 8 έως 20 φορές μεγαλύτερο.

Παρ' όλα αυτά, σε ένα ψηλό κτίριο με περιορισμένο χώρο στην ταράτσα, τα ενσωματωμένα φωτοβολταϊκά αποτελούν την καλύτερη λύση. Ο βέλτιστος συνδυασμός, τόσο από άποψη κόστους, όσο και απόδοσης, είναι η τοποθέτηση φωτοβολταϊκών σκιάστρων στα σημεία που δεν απαιτείται φωτοδιαπερατότητα και διάφανων φωτοβολταϊκών μόνο όπου είναι απαραίτητος η ηλιασμός και η διαφάνεια. Ο ηλιασμός αλλά και η σωστή σκίαση ενός κτιρίου, παίζουν πολύ σημαντικό ρόλο στις απαιτήσεις θέρμανσης και ψύξης του μειώνοντας παράλληλα τα αντίστοιχα κόστη.

Ένα σημαντικό επιπλέον κέρδος, είναι η ενσωμάτωση των φωτοβολταϊκών στοιχείων στο κτίριο, είναι η αντικατάσταση δομικών υλικών με τα φωτοβολταϊκά πλαίσια. Η ενσωμάτωση δηλαδή, μειώνει το κόστος της κατασκευής του κτιρίου καθώς εξοικονομείται το κόστος των δομικών στοιχείων που αντικαθιστούνται με τα πλαίσια. Η σύνδεση των φωτοβολταϊκών υαλοπινάκων διαφέρει από αυτή των συμβατικών πλαισίων και ένα μειονέκτημα των ενσωματωμένων φωτοβολταϊκών είναι το μικρό μέγεθος της αγοράς προς το παρόν και η εξειδίκευση που απαιτείται για την εγκατάστασή τους. Το ρεύμα που παράγεται μπορεί είτε να διοχετευθεί στο δίκτυο είτε να τροφοδοτήσει ένα αυτόνομο σύστημα.

Οι φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε πάρα πολλές εφαρμογές ανοίγοντας το δρόμο για φτηνή και καθαρή ενέργεια. Από κτίρια γραφείων, κατοικίες μέχρι και θερμοκήπια ή μεγάλους δημόσιους χώρους. Το αστικό περιβάλλον είναι διαθέσιμο για τέτοιες εφαρμογές και οι νέες τεχνολογίες μας δίνουν τη δυνατότητα να έχουμε το επιθυμητό αισθητικό αποτέλεσμα.

Η τεχνολογία των φωτοβολταϊκών προχωράει καθημερινά δίνοντας νέες ιδέες για καθαρή ενέργεια, όπως οι φωτοβολταϊκές οροφές αυτοκινήτων και τα

φωτοβολταϊκά χρώματα για τους τοίχους του σπιτιού μας και μειώνοντας το κόστος κατασκευής των πλαισίων καθιστώντας την ηλιακή ενέργεια την καλύτερη λύση για το περιβάλλον, την τσέπη μας και την καθημερινότητά μας.

Εικόνα 33 Φωτοβολταϊκοί υαλοπίνακες τελευταίας τεχνολογίας με ενσωμάτωση στο πλαίσιο γυάλινων επιφανειών.



Εικόνα 34 Μονάδα παραγωγής ηλεκτρικού ρεύματος με φωτοβολταϊκά πάνελ.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7

Ανακύκλωση του γυαλιού

Ένας τόνος ανακυκλώσιμου γυαλιού εξοικονομεί 100κιλά καυσίμου(40 για τη διαδικασία λιωσίματος και 60 για την εξαγωγή και μεταφορά πρώτης ύλης) και 10% θραύσματα γυαλιού απαλλάσσει CO2 εκπομπές μέχρι 5% λιγότερο.

Ωστόσο, ενώ το γυαλί μπορεί να είναι εξολοκλήρου ανακυκλώσιμο, οι σημερινές διαδικασίες παραγωγής γυαλιού μαζί με τις διαφορές στην ποιότητα (οπτικό, χρώμα, διάσταση, μηχανικό) του τελικού προϊόντος όπως τα δοχεία γυαλιού μαζί ή γυαλιά αυτοκινήτων, προσθέτουν τους περιορισμούς στην ποιότητα του θραύσματος γυαλιού. Περαιτέρω το γυαλί για οχήματα συχνά αναμιγνύονται με "ρυπαντικές ουσίες" όπως το πλαστικό (προφίλ, πλαίσια, θερμική άνεση σε υαλοπίνακες διπλού γυαλιού), σταθεροποιητικά στοιχεία πχ σμάλτο.

Το γυαλί των οχημάτων μπορεί ανακτηθεί και να ανακυκλωθεί ακολουθώντας 2 διαδρομές: Η αγορά αντικατάστασης και η διαδρομή απόσυρσης οχημάτων. Η κάθε μια έχει διαφορετική διαχείριση υλικού και περιορισμούς αποσυναρμολόγησης τα οποία θα αναλυθούν παρακάτω.

Ανακύκλωση γυαλιού μέσω της αγοράς

Στην αγορά αντικατάστασης, ουσιαστικά μόνο οι υαλοπίνακες είναι επανεκμεταλεύσιμα. Οι ανακτημένοι υαλοπίνακες μετατρέπονται σε άχρηστα απόβλητα για τους αποσυναρμολογητές που συνήθως πληρώνουν για να πεταχτούν σε χωράφια.

Οι υαλοπίνακες και γενικότερα, οποιοδήποτε τύπος γυάλινης επίστρωσης δεν είναι συνήθως ανακτήσιμα για επαναπώληση, γι αυτό δεν δίδεται και ιδιαίτερη προσοχή στην αποσυναρμολόγηση αν και ακόμα οι άνθρωποι που τα αποσυνθέτουν μπουκ στην διαδικασία να τα αποσυναρμολογήσουν. Έτσι οι ανακυκλώσιμες ποσότητες γυαλιού μετά το πέρας του κύκλου ζωής τους εξαρτώνται στην προσοχή που θα λαμβάνουν κατά την αποσύνθεσή τους.

Για παράδειγμα, τα μέρη του υαλοπίνακα μπορούν να κοπούν χρησιμοποιώντας ροδέλα κοπής ή ειδικό κοπίδι. Ωστόσο λόγω του υψηλού κόστους εργατικών στις αναπτυγμένες χώρες, η ανάκτηση επιστρώσεων και των γυαλιών γενικότερα είναι πολύ δαπανηρή και μπορεί να υπολογιστεί σε μερικά εκατοντάδες ευρώ ανά τόνο ανακτησίμων θραυσμάτων γυαλιού.

Μόλις το γυαλί αφαιρεθεί από τα πλαίσια ακολουθεί διαφορετικές διαδικασίες πριν ανακυκλωθεί σαν θραύσμα γυαλιού ή πρώτη ύλη. Οι υαλοπίνακες κόβονται σε μικρά κομμάτια διαμέσου 2 επιτυχημένων βημάτων κομματιάσματος. Το πρώτο βήμα είναι σε 50-100εκ μεγέθους και το δεύτερο σε 3-5εκ μέγεθος.

Άλλα τμήματα κομματιάζονται σε μικρά μέρη και αυτά που περιέχουν άργυρο διαχωρίζονται χρησιμοποιώντας τη μέθοδο απομετάλλωσης. (με τη χρήση ρευμάτων ηλεκτρικού-μαγνητικού πεδίου που αποσπά τα μεταλλικά στοιχεία)

Οι κινούμενοι υαλοπίνακες τα οποία ουσιαστικά δεν έχουν περαστεί με σμάλτο μπορούν να ανακυκλωθούν στην αρχική τους κατάσταση. Εμαγιέ παράθυρα πρέπει να χωριστούν σε κομμάτια με σμάλτο ή χωρίς. Η τελευταία τεχνολογία που χρησιμοποιείται από τους επεξεργαστές θραυσμάτων για να διαχωρίσουν το σμάλτο είναι μια διαδικασία χρήσης λέιζερ εντοπισμού σε συνδυασμό με φουσητήρα αέρα. Μπορούμε να συμπεραίνουμε από αυτήν τη περιγραφή ότι είναι δύσκολο να διαχωρίσουμε το γυαλί από μόνιμα δεμένα στοιχεία όπως το πλαστικό, το σμάλτο, κ.α. Το περισσότερο σμάλτο χρησιμοποιείται στα μολύβδινα περιεχόμενα, τα οποία χαρακτηρίζονται σαν τοξικές ουσίες που μπορούν να μολύνουν το έδαφος.

Τα θραύσματα από τα γυαλιά μπορούν να ανακυκλωθούν στα ακόλουθα προϊόντα:

- **Εύκαμπτο επίπεδο γυαλί**

Το γυαλί αυτό έχει τις υψηλότερες ποιοτικές προϋποθέσεις όπως η βιομηχανία κατασκευών κτηρίων και οι αυτοκινητοβιομηχανίες απαιτούν. Προϋποθέσεις στα γυάλινα παράθυρα (υαλοπίνακες) με πολύ λίγα ορατά ελαττώματα ή ακαθαρσίες και πολύ υψηλά φασματοφωτομετρικά δεδομένα (στοιχεία). Αυτές υποχρεώνουν τους κατασκευαστές γυαλιών να προσαρμόζουν τις ποσότητες των θραυσμάτων, ταξινομημένες ανά χρώμα και χωρίς ακαθαρσίες, αναμιγμένα με τις πρώτες ύλες. Οι κλίβανοι ευκαμψίας ήδη ανακυκλώνουν τα θραύσματα ερχόμενα από το εύκαμπτο γυαλί της παραγωγικής διαδικασίας.

- **Γυάλινα δοχεία**

Στις μέρες μας το μεγαλύτερο ποσοστό ανακυκλωσιμότητα επιτυγχάνεται στη βιομηχανία παραγωγής γυάλινων δοχείων. Το ποσοστό ανακυκλωσιμότητα των γυάλινων δοχείων φτάνει τα επίπεδα του 85-90% σε κάποιες χώρες. Αυτά τα υψηλά ποσοστά φέρνουν σημαντικά προνόμια σε θέματα εκπομπής CO₂, εξοικονόμησης ενέργειας και κατανάλωσης πρώτων υλών. Ωστόσο επιβάλλονται σοβαροί περιορισμοί στη ποιότητα του συλλεγόμενου γυαλιού το οποίο πρέπει να διαχωριστεί κατά χρώμα και να είναι τελείως ελεύθερο από άλλες ακαθαρσίες γιατί μπορούν να επηρεάσουν την ποιότητα του τελικού δοχείου και τη σωστή αποτελεσματικότητα των κλιβάνων που λιώνουν το γυαλί.

Ως αποτέλεσμα αυτού το υψηλού ποσοστού ανακυκλώσιμων μπουκαλιών, η βιομηχανία παραγωγής γυάλινων δοχείων μπορεί να είναι ικανή να απορροφήσει περισσότερο ανακυκλώσιμο γυαλί.

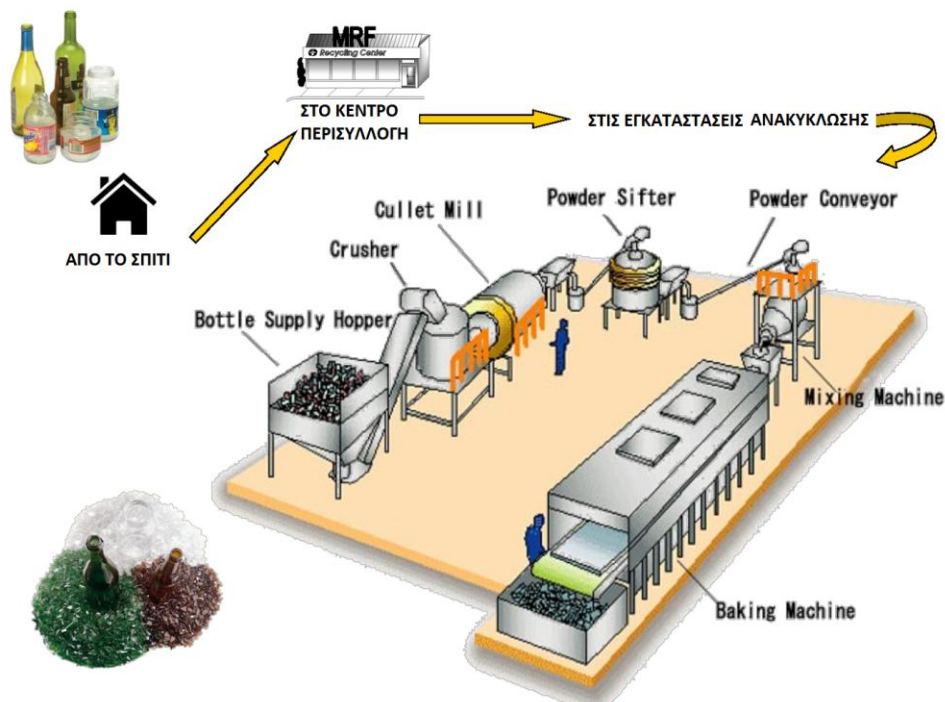
Εναλλακτικές αγορές θραυσμάτων γυαλιού

Υπάρχουν και άλλες διέξοδοι για τα θραύσματα του γυαλιού, όπως είναι οι ίνες υάλου, οι οποίες είναι πιο ανεκτικές ως προς την ποιότητα, επειδή τα προϊόντα μπορούν να περιέχουν και άλλα στοιχεία όπως χαρτί ή πλαστικό. Παρόλα αυτά τα θραύσματα γυαλιού πρέπει μην περιέχουν ή ακόμα και περιορισμένες ποσότητες από επικίνδυνες προσμίξεις. Τέτοιες εφαρμογές είναι οι εξής:

- Ίνες υάλου για μόνωση μπορεί να πραγματοποιηθούν με τη χρήση έως και 60% των γυάλινων θραυσμάτων χωρίς να επηρεάζουν την ποιότητα
- αφρώδες γυαλί χρησιμοποιείται για σκοπούς μόνωσης και αντοχής στην υγρασία, ή ακόμη για απορρόφηση πετρελαιοκηλίδας
- γυαλί μπορεί να χρησιμοποιηθεί για λειαντικό μέσω

- ένα γυαλί σύνθετου πολυμερούς GPC σωλήνα για αποχέτευση είναι ένα σωλήνας αποχέτευσης από χυτό γυαλί
- σύνθετη ρητίνη που είναι πιο οξύ -ανθεκτική, ελαφριά και υπόκειται λιγότερο σε αποτυχιές από σωλήνες σκυροδέματος
- Στέγες και πλακάκια πεζοδρόμιου μπορούν να γίνουν χρησιμοποιώντας θραύσματα γυαλιού
- "Τσιμεντογυάλι" είναι ένα μίγμα από τσιμέντο τύπου Portland με θραύσματα γυαλιού
- "Ασφαλτόγυαλο" είναι ένα μίγμα από θραύσματα γυαλιού με μεγέθη που μπορούν να χρησιμοποιηθούν ως υπόστρωμα στο δρόμο ή επιφανειακό υλικό, θραύσματα μπορούν να ενισχύσουν τη νυκτερινή ορατότητα και τη διαδικασία τήξης του χιονιού

ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΑΝΑΚΥΚΛΩΣΗΣ ΓΥΑΛΙΟΥ



Εικόνα 35 Διαδικασία Ανακύκλωσης Γυαλιού

Στατιστικά στοιχεία για την Ανακύκλωση του Γυαλιού

Η Ελλάδα εξακολουθεί να παραμένει στην τελευταία θέση στην ανακύκλωση γυαλιού σε πανευρωπαϊκό επίπεδο, σύμφωνα με έρευνα της FEVE. Η χώρα προηγείται μόνο της Κύπρου και της Τουρκίας, οι οποίες βρίσκονται στο χαμηλό ποσοστό του 20%, ανακυκλώνοντας μόλις το 24% των συσκευασιών γυαλιού, όταν ο μέσος όρος ανακυκλωμένου γυαλιού στην Ευρώπη είναι 66,86%.

Η ανακύκλωση γυαλιού, θεωρείται σε γενικές γραμμές πιο εύκολη σε σχέση με άλλα προϊόντα τα οποία είναι ανακυκλώσιμα και μπορεί να αποφέρει εξαιρετικά περιβαλλοντικά και οικονομικά οφέλη, χωρίς να απαιτούνται ιδιαίτερες και δαπανηρές διαδικασίες.

Η έκθεση της FEVE (European Container Glass Federation), η οποία συλλέγει στοιχεία σχετικά με την κατανάλωση γυάλινων συσκευασιών για κάθε έτος και συμπεριλαμβάνει στα στατιστικά της τα κράτη-μέλη της Ε.Ε, την Ουκρανία, την Τουρκία, την Νορβηγία, την Ελβετία και την Κροατία.

Οι πρωταγωνιστές της Ανακύκλωσης

Με τεράστια ποσοστά σε σχέση με την Ελλάδα στον τομέα της ανακύκλωσης του γυαλιού είναι το Βέλγιο, στο οποίο ανακυκλώνονται το 96% των γυάλινων συσκευασιών. Ακολουθεί η Ελβετία με ποσοστό 94%, το Λουξεμβούργο με 92% και η Ολλανδία με την Σουηδία βρίσκονται στο 91%.

Πολύ κοντά σε σχέση με τις προηγούμενες βρίσκεται η Νορβηγία 89%, η Δανία 88% και η Αυστρία 85%. Η Γερμανία ανακυκλώνει το 81%, η Ιταλία το 74% και η Γαλλία, λίγο πάνω από τον μέσο όρο, το 68%. Εδώ ο χάρτης της FEVE.



Εικόνα 36 Ευρωπαϊκός χάρτης Ανακύκλωσης Γυαλιού

Η ανακύκλωση γυαλιού αποφέρει εξαιρετικά αποτελέσματα, τόσο σε περιβαλλοντικό όσο και σε οικονομικό επίπεδο. Υπολογίζεται ότι η συνολική ποσότητα ανακυκλωμένων γυάλινων προϊόντων στην Ευρώπη, ξεπέρασε τα 25 δις συσκευασίες συνολικού βάρους 11 εκ τόνων, αποφέροντας αποτροπή 7 εκατομμυρίων τόνων εκπομπών άνθρακα επιπλέον ή την επιπλέον κίνηση 4 εκατομμυρίων οχημάτων. Σύμφωνα με την σχετική Οδηγία της Ευρωπαϊκής Ένωσης, οι χώρες μέλη πρέπει να ανακυκλώνουν το 60% και πλέον των γυάλινων συσκευασιών.

Ένα μεγάλο ποσοστό ανακύκλωσης γυάλινων συσκευασιών πανευρωπαϊκά και το πλέον εύκολο για καταναλωτές και παραγωγούς, γίνεται δια της μεθόδου της επαναχρησιμοποίησης τους, αφού προηγουμένως ο πελάτης της εκάστοτε εταιρίας τα επιστρέφει στο σημείο πώλησης, και αυτά επιστρέφουν στις μονάδες παραγωγής για απολύμανση και επαναχρησιμοποίηση.

Η συγκεκριμένη διαδικασία θεωρείται ιδιαιτέρως δύσκολη για χώρες όπως η Ελλάδα και η Κύπρος, όταν στην υπόλοιπη ευρώπη υπάρχουν δήμοι και τοπικές κοινωνίες που υποχρεώνουν τους πολίτες τους να επιστρέφουν τις γυάλινες συσκευασίες προς ανακύκλωση, ή άλλοι που έχουν διαμορφώσει ειδικό κατάλογο αποζημίωσης των

καταναλωτών ανάλογα με το μέγεθος της γυάλινης συσκευασίας που επιστρέφουν προς ανακύκλωση, όπως Δανία.

Σύμφωνα με την FEVE η μέθοδος αποζημιώσεων παίζει καταλυτικό ρόλο στην διαδικασία της ανακύκλωσης. Σημαντικό ρόλο επίσης παίζει και η εφαρμογή της υφιστάμενης νομοθεσίας.

Για παράδειγμα το Βέλγιο το οποίο βρίσκεται στην πρώτη θέση πανευρωπαϊκά στην ανακύκλωση γυαλιού, επέβαλε αυστηρά χρηματικά πρόστιμα σε όσους δεν συμμορφώνονταν, ενώ στην Ελλάδα, ενώ ο νόμος είναι σαφής και ξεκάθαρος, απλώς δεν εφαρμόζεται.

Για παράδειγμα, στην Ελλάδα σύμφωνα με τα στοιχεία της FEVE, χρησιμοποιήθηκαν 125 εκ. γυάλινες συσκευασίες εκ των οποίων επιστράφηκαν για ανακύκλωση μόλις τα 30 εκ. Αντίστοιχα σε μία χώρα με παρόμοια μεγέθη κατανάλωσης, την Ιρλανδία, από τα 142 εκ. συσκευασιών επιστράφηκαν τα 105 προς ανακύκλωση.

Εξαιτίας της σύστασής του, η οποία προέρχεται από σύντηξη προϊόντων που προέρχονται από το φυσικό περιβάλλον το γυαλί είναι ιδανικό προς ανακύκλωση υλικό και απόλυτα υγιές προς εκ νέου κατανάλωση. Τα υλικά από τα οποία προέρχεται το μετατρέπουν άλλωστε και στο πλέον υγιές και φυσικό υλικό συσκευασιών τροφίμων και ποτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8

Συμπεράσματα

Ίσως το γυαλί από την στιγμή που ανακαλύφθηκε να μην είχε τόσο σημαντική αξία όσο αυτή που έχει σήμερα στην ζωή μας, καθώς με το πέρασμα των αιώνων διετέλεσε πολύ σημαντικό ρόλο στην δημιουργία και στην εφαρμογή πολλών αντικειμένων που βρίσκονται στην καθημερινότητά μας.

Η χρήση του ως δομικό, ιατρικό και παραγωγικό υλικό, έχει καταστήσει το γυαλί όλο και περισσότερο στην σημερινή εποχή και θα εξακολουθεί να είναι ένα αναπόσπαστο κομμάτι λόγω των ιδιαίτερων ιδιοτήτων και αναγκαίων χρήσεων που έχει.

Μελλοντικά, η χρήση του γυαλιού σε κτήρια, τεχνολογικά αγαθά και εξειδικευμένες επιστημονικές εφαρμογές προβλέπεται να αυξηθεί ακόμα περισσότερο. Οι τεχνικές αλλά και οι αισθητικές απαιτήσεις οι οποίες συνεχώς αυξάνονται, πληρούνται όλο και πιο εύκολα με τις καινούριες τεχνολογίες που έχουν αναπτυχθεί στην επεξεργασία του γυαλιού.

Όσον αφορά το τμήμα της ανακύκλωσης του γυαλιού, είναι σαφές ότι η πολιτεία πρέπει να ωθήσει του πολίτες προς την ανακύκλωση έτσι ώστε να γεφυρωθεί το χάσμα μεταξύ της Ελλάδας και της υπόλοιπης Ευρώπης, και το γυαλί ίσως αποτελεί το πιο εύκολα ανακυκλώσιμο υλικό για την εφαρμογή πιλοτικών διατάξεων.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

- “Introduction to Glass Science and Technology”, J. E. Shelby, Royal Society of Chemistry, 2005
- “Glass Ceramic Technology”, W. Holand , George H. Beall , 2nd Edition, 2012
- “Introduction to Glass Science”, L. Pye Springer, Science & Business Media, 2012
- “Τεχνολογία Υλικών και Υαλοκεραμικών”, Μ.Καρακασίδη, Παν.Ιωαννίνων, 2015
- “Glass Construction” , Schittich C, Staib G, Balkow D, Schuler M, Sobek W,1999
- “Glass as a building material”, Balkow D , 1999
- Κλαδική μελέτη του Εθνικού Παρατηρητηρίου για τις μικρομεσαίες επιχειρήσεις πάνω στον “Κλάδο κατασκευής γυαλιού και προϊόντων από γυαλί.”
- Άρθρο καθηγητή Edyer Dutra Zanotto από www.lawar.ufscar.br

- Ιστοσελίδα «Wikipedia» , www.wikipedia.com
- Ιστοσελίδα «Ανακύκλωση Σύρου» , recyclingsyros.blogspot.com