

ΠΡΩΤΕΣ ΥΛΕΣ ΥΑΛΟΥΡΓΙΑΣ

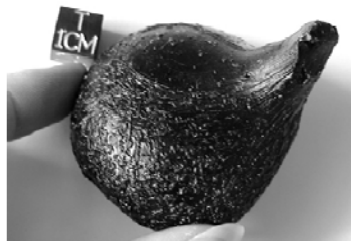


Φυσικά γυαλιά

Ηφαιστειακό γυαλί



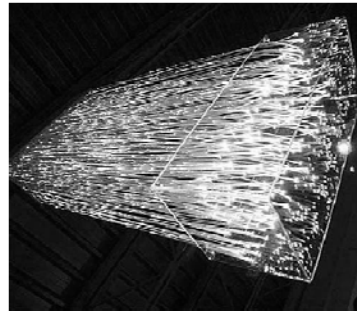
Τηκτίτες



Φουλγουρίτες



Τεχνητό γυαλί



Υαλουργία

η τέχνη της παραγωγής και επεξεργασίας του γυαλιού.

Γυαλί

- Ανήκει στην κατηγορία των άμορφων στερεών.
- Σχηματίζεται κατά τη στερεοποίηση του τήγματος ορισμένων ενώσεων που έχουν την ιδιότητα όταν ψύχονται γρήγορα να μη κρυσταλλώνονται αλλά τα άτομά τους να εξακολουθούν να είναι άτακτα ταξινομημένα όπως ακριβώς είναι και σε υγρή κατάσταση.
- Αποτελείται από τετράεδρα SiO_4 τυχαία κατανεμημένα στο χώρο, συνδεδεμένα με κοινά οξυγόνα.

Ιστορική αναδρομή



Ιστορική αναδρομή

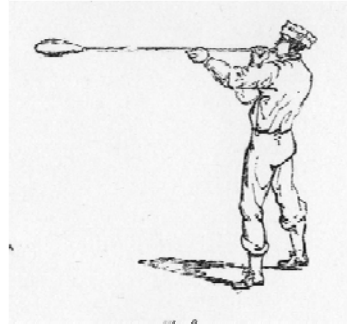
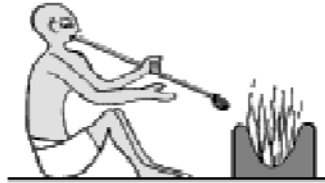
...το γυαλί το ανακάλυψαν (ή μάλλον τυχαία συνειδητοποίησαν την ύπαρξή του) φοίνικες έμποροι που μετέφεραν λίθους στην περιοχή της Συρίας γύρω στο 5000 π.χ.

...οι έμποροι αφού αποβίβαστηκαν στην ακτή, τοποθέτησαν τα μαγειρικά τους σκεύη στη φωτιά στηριγμένα πάνω σε κομμάτια νιτρικού άλατος. Με την υψηλή θερμοκρασία της φωτιάς, τα κομμάτια του νιτρικού άλατος έλειωσαν, ανεμείχθησαν με την άμμο της παραλίας με αποτέλεσμα μία θαμπή υαλόμαζα.

Πλίνιος (23 μ.χ. - 79 μ.χ.)

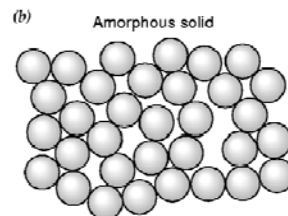
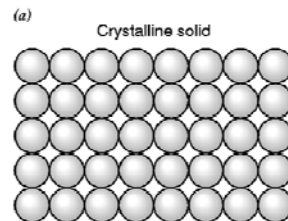
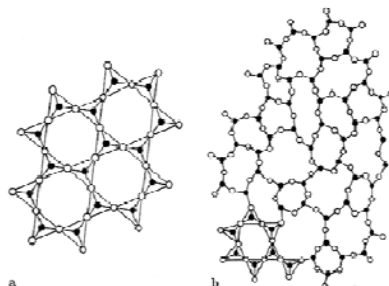
Ιστορική αναδρομή

- 4000 π.Χ. Αίγυπτος (γυάλινες βελόνες, χάντρες)
- 27 π.χ.-14 μ.χ. Σιδώνα, Βαβυλώνα: φυσικό γυαλί από Σύριους τεχνίτες.
- 1-5^{ος} αιώνας μ.Χ. Ρωμαϊκή αυτοκρατορία (Αλεξάνδρεια, Κολωνία)
- 7-9^{ος} αιώνας μ.Χ. (νάτρον → ανθρακικό κάλιο).
- 11^{ος} αιώνας μ.Χ. Τεχνικές παραγωγής γυαλιού σε φύλλα.
- 12-16^{ος} αιώνας μ.Χ. Βενετία, Μουράνο, Αλτάρε.
- 17^{ος} αιώνας μ.Χ. (Κρύσταλλα Βοημίας).



Γυαλιά

- Άμορφα στερεά
- Χωρίς κρυσταλλική δομή
- Μοιάζουν με "παγωμένα ρευστά"



Εκτός από το SiO_4 υπάρχουν και άλλα ιόντα που μπορεί

- είτε να σχηματίσουν «πλέγμα γυαλιού» (“glass formers”),
- είτε να μεταβάλουν τις ιδιότητες του γυαλιού (“modifiers”),
- είτε να δρουν και σαν glass formers και σαν modifiers (“intermediates”).

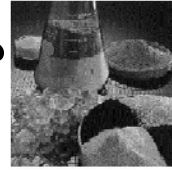
Τα τελευταία, ενώ δεν μπορούν να σχηματίσουν μόνα τους πλέγμα γυαλιού, αντικαθιστούν μερικά από τα Si και συγχρόνως μεταβάλλουν τις ιδιότητες του γυαλιού.

- **Glass-formers** : Si^{4+} , Ge^{4+} , Sb^{5+} , As^{3+} , B^{3+} , P^{5+} .
- **Modifiers** : Ca^{2+} , S^{2+} , Ba^{2+} , Li^+ , Na^+ , K^+ , Rb^+ , Cs^+ .
- **Intermediates**: Ti^{4+} , S^{4+} , Al^{3+} , Zr^{4+} (κυρίως αντικαταστάτες Si).
 Fe^{3+} , Be^{2+} , Mg^{2+} , Ni^{2+} , Zn^{2+} , C^{4+} , Fe^{2+} (αντικαταστάτες Si ή modifiers). Pb^{2+} , (κυρίως modifier).

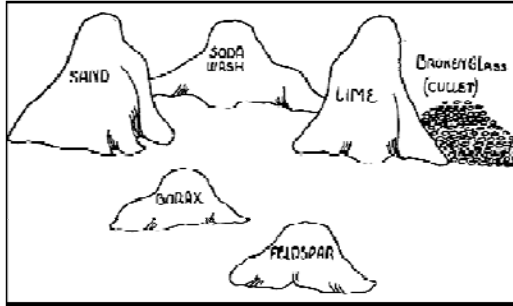
Κατασκευή Γυαλιού

- **Απαιτήσεις**
 - Το υλικό πρέπει να έχει υψηλό ιξώδες στο σημείο τήξης
 - Το υλικό πρέπει να εμφανίζει δυσκολία στην δημιουργία κρυστάλλων
- **Διαδικασία**
 - Τήξη υλικού για να εξαφανίσουμε την κρυσταλλική δομή
 - Ταχεία ψύξη του υλικού διαμέσου της θερμοκρασίας τήξης
 - Ψύξη έως τη στερεοποίηση

Ποιες είναι οι πρώτες ύλες?



- Άμμος - SiO_2 (T: 2000 °C)
- Συλλίπασμα – για να χαμηλώσουμε τη T – πχ. σόδα (1700 – 900°C)
- Σταθεροποιητής – για να μετριασθεί η υδατοδιαλυτότητα του γυαλιού – πχ. CaO , συνήθως με τη μορφή ασβεστίτη

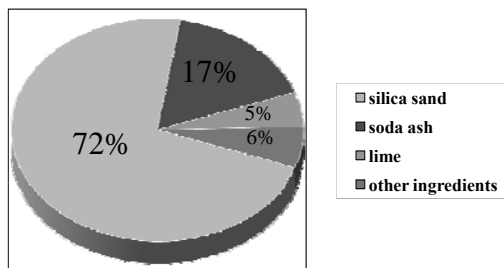


Ποιες είναι οι πρώτες ύλες?



- Άμμος - SiO_2 (T: 2000 °C)
- Συλλίπασμα – για να χαμηλώσουμε τη T – πχ. σόδα (1700 – 900°C)
- Σταθεροποιητής – για να μετριασθεί η υδατοδιαλυτότητα του γυαλιού – πχ. CaO , συνήθως με τη μορφή ασβεστίτη

% αναλογία των συστατικών του γυαλιού



Πρώτες ύλες στην υαλουργία

- Επειδή το σημείο τήξης του SiO_2 είναι πολύ υψηλό (2000°C) προσθέτουμε σόδα που είναι εύτηκτο υλικό (οι κόκκοι της περιβάλλουν το πυρίτιο, το οποίο τήκεται σε χαμηλότερη θερμοκρασία και η παρασκευή γυαλιού γίνεται σε $1600-1650^\circ \text{C}$).
- Στο γυαλί αυτό προσθέτουμε μαρμαρόσκονη ή δολομίτη για να αποφεύγονται τα θολώματα που δημιουργεί η υγρασία της ατμόσφαιρας και το νερό.
- Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνταν μέχρι πρόσφατα στην Ελληνική Υαλουργία:
 - Χαλαζιακή άμμος (εισάγεται από Ολλανδία και Βέλγιο αφού η Ελληνική είναι ακατάλληλη λόγω μεγάλων ποσοτήτων Al)
 - Σόδα έως 15% (από τη χημική βιομηχανία)
 - CaO 5-10% (από ασβεστόλιθο με περιεκτικότητα σε $\text{Fe} < 0,1\%$)
 - Ανακυκλωμένο γυαλί του ίδιου τύπου με αυτό που παρασκευάζεται 40-50%.

- Οι προσμίξεις που υπάρχουν στο SiO_2 χρωματίζουν το γυαλί. Για χρωματισμό προσθέτουμε οξειδία μετάλλων.
 - Για παράδειγμα 0,3% σίδηρος δίνει πράσινο και
 - 1% σίδηρος δίνει κίτρινο-καφέ χρώμα.
 - Για να πάρουμε άχρωμο γυαλί χρησιμοποιούμε NaNO_3 που οξειδώνει τις προσμίξεις, H_3BO_3 (βορικό οξύ) ή $\text{Na}_2\text{B}_4\text{O}_7 \cdot 10\text{H}_2\text{O}$ (βόρακας), Na_2SO_4 , Na_2SO_3 σε συνδυασμό με Co.
- Για αντοχές προστίθεται Al_2O_3 με τη μορφή άστριου η νεφελίνη.
- Ως διαυγαστές χρησιμοποιούνται NaCl , $(\text{NH}_4)_2\text{SO}_4$, NH_4NO_3 κ.α.
- Για κρύσταλλα προσθέτουμε 10-37% PbO . Ο μόλυβδος προκαλεί το χαρακτηριστικό καμπάνισμα και τη διαύγεια του κρύσταλλου.
- Για λευκή οπαλίνα προσθέτουμε κρυόλιθο (NaF).
- Το γυαλί pyrex παρασκευάζεται με προσθήκη βορικών αλάτων, και έχει βάση το βόριο και όχι το πυρίτιο.

Κύριες κατηγορίες γυαλιών

- **Aluminosilicate Glass**
- **Borosilicate Glass**
- **Lithia Glass**
- **Phosphate Glass**
- **Opal Glass**

Glass Formers

- SiO_2 από χαλαζιακή άμμο, χαλαζίτες και κρυσταλλικό χαλαζία.
- Βορικό οξύ από βορικά ορυκτά (βλέπε αντίστοιχο κεφάλαιο).
- Φωσφορικό οξύ από απατίτη και κολλοφανή.

Modifiers

- CaO από ασβεστόλιθο, δολομίτη
- BaO από βαρύτη, βιθερίτη
- SrO από στροντιανίτη, σελεστίτη
- MnO από πυρολουσίτη, ψιλομέλανα, μαγγανίτη

Intermediates

- Al_2O_3 από βωξίτη.

Διαδικασία κατασκευής γυαλιού

- Οι πρώτες ύλες σε αυστηρά καθορισμένες αναλογίες, κονιοποιούνται και αναμειγνύονται καλά για να ομογενοποιηθούν.
- Οι κόκκοι πρέπει να είναι ισοδιαμετρικοί.
- Κατόπιν τοποθετούνται στην υαλουργική κάμινο στους 1600- 1650 °C όπου συντήκονται.
- Μετά από 24 ώρες προκύπτει μια διαυγής μάζα, η υαλόμαζα.
- Τότε η θερμοκρασία μειώνεται στους 1100-1200 °C. ώστε η υαλόμαζα να γίνει παχύρρευστη και κατεργάσιμη.
- Τέλος το γυαλί μορφοποιείται και ψύχεται ως τους 700 °C που αρχίζει η στερεοποίηση.

Υαλουργικές κάμινοι

- Οι υαλουργικές ανακυκλωτικές κάμινοι είναι σχεδιασμένες για συνεχή λειτουργία και παραγωγή.
- Τα τοιχώματά τους είναι πυρίμαχα και η διάρκεια ζωής τους εξαρτάται από το υλικό που είναι κατασκευασμένες και το είδος γυαλιού που παράγεται.
- Οι συνήθεις διαστάσεις είναι: πλάτος 4,5 m, μήκος 9 m.
- Η χωρητικότητα υπερβαίνει τους 1000 τόνους.
- Θερμαίνονται με πετρέλαιο ή αέρια καύσιμα. Η δαπανηρή χρησιμοποίηση ηλεκτρισμού γίνεται για ειδικούς τύπους γυαλιού. Υπάρχουν σημαντικές διαφορές μεταξύ γυαλιού και κρυσταλλικών υλικών.

Διάφορες ιδιότητες του γυαλιού

- Το γυαλί είναι ισότροπο
- Σε επαναλαμβανόμενη διαδικασία θέρμανσης-ψύξης δεν αποχωρίζεται κρυσταλλική φάση
- Δεν υπάρχει σαφές σημείο τήξης, αλλά το γυαλί μαλακώνει σταδιακά κατά την άνοδο της θερμοκρασίας
- Υπάρχει ένα εύρος θερμοκρασιών περίπου 50-100° C, στις οποίες το γυαλί είναι εύπλαστο και οι ιδιότητές του μεταβάλλονται απότομα:
Transformation range.

Μορφοποίηση του γυαλιού

- Στηρίζεται στο ότι το ιξώδες αυξάνεται με τη μείωση της θερμοκρασίας.
- Υπάρχουν διάφορες τεχνικές:
 - A. Εμφύσηση (Blown glass)
 - B. Περιστροφή (Rotated glass)
 - Γ. Έλξη (Drawn glass)
 - Δ. Κύλιση (Rolled glass)
 - E. Επίπλευση (Float glass)
 - Στ. Συμπίεση (Compressed glass)
 - Z. Χύτευση (Cast glass, extruded glass)

Μορφοποίηση του γυαλιού

A. Εμφύσηση (Blown glass).

- Χρησιμοποιείται ράβδος, κενή στο εσωτερικό, που βυθίζεται στην υαλόμαζα στους 1000 °C και αποσπά μια μικρή ποσότητα.
- Ο τεχνίτης, φυσώντας μέσα από τη ράβδο, δημιουργεί ένα ψυχρό εσωτερικό στρώμα και εσωτερική πίεση.
- Περιστρέφοντας τη ράβδο, δίνει με κατάλληλα εργαλεία σχήμα στο γυαλί ενώ δημιουργείται και ένα εξωτερικό ψυχρό στρώμα.
- Το πάχος του αντικειμένου ρυθμίζεται με το φύσημα και τη συνεχή αλλαγή της θέσης της ράβδου ώστε να ελέγχεται το ποσοστό του γυαλιού που ρέει ανάμεσα στις δύο ψυχρές επιφάνειες.



Μορφοποίηση του γυαλιού

B. Περιστροφή (Rotated glass)

- Μια σταγόνα υαλόμαζας πέφτει σε ειδικό καλούπι που περιστρέφεται, και το γυαλί παίρνει τη μορφή του καλουπιού.
- Κατασκευάζονται είδη οικιακής χρήσεως όπως πολύφωτα κ.α.

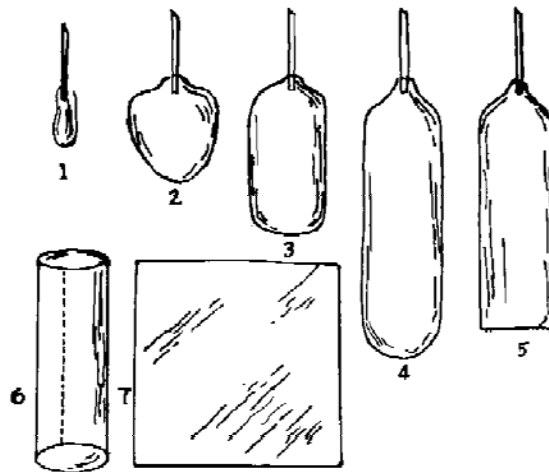


FIG. 41 Steps in the process of making window glass by the cylinder-glass method. A cylinder about five feet long and one foot in diameter was blown; then the end was cut off, the blowpipe was cracked off, and the cylinder was slit and opened out into a flat sheet. (Photo by The Corning Museum of Glass, illustration copied from K. M. Wilson's drawing in Glass in New England, an Old Sturbridge Village booklet)

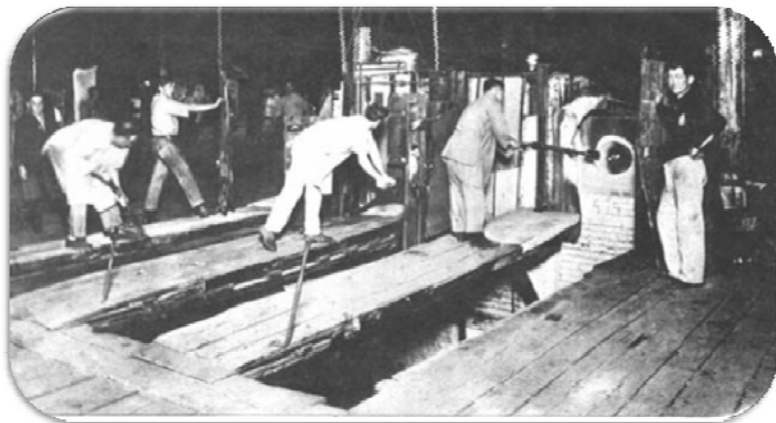
Μορφοποίηση του γυαλιού

Γ. Έλξη (Drawn glass)

- Φύλλα γυαλιού βγαίνουν από το φούρνο και σύρονται χάνω σε μεταλλική κυλιόμενη ταινία της οποίας οι άκρες ψύχονται σε κυλίνδρους. Έτσι ψύχονται οι επιφάνειες του γυαλιού συγκρατώντας ανάμεσα τους το ρευστό υλικό.

Δ. Κύλιση (Rolled glass)

- Γαλόμαζα περνάει ανάμεσα σε κυλίνδρους που ψύχονται με νερό. Το πάχος ρυθμίζεται από την απόσταση των κυλίνδρων. Με τις δύο τελευταίες μεθόδους παίρνουμε μεγάλα επίπεδα λεία κομμάτια γυαλιού π.χ. υαλοπίνακες.





Μορφοποίηση του γυαλιού

Ε. Επίπλευση (Float glass)

- Ταινίες γυαλιού επιπλέουν σε τήγμα Zn σε ελεγχόμενες συνθήκες πίεσης- θερμοκρασίας. Το γυαλί που παίρνουμε είναι λεπτό και επίπεδο χωρίς οπτικές παραμορφώσεις.

Στ. Συμπίεση (Compressed glass)

- Για απλά αντικείμενα που το άνοιγμά τους είναι μεγαλύτερο από τη βάση τους, χρησιμοποιούνται καλούπια και πρέσα. Η μέθοδος επιτρέπει την αυτοματοποίηση της παραγωγής. Συνήθη προϊόντα είναι πιάτα, ποτήρια, μπουκάλια, φανάρια αυτοκινήτων.

Μορφοποίηση του γυαλιού

Ζ. Χύτευση (Cast glass, extruded glass)

- Γαλόμαζα εξάγεται και στερεοποιείται σε μεγάλα κομμάτια, που χρησιμοποιούνται για αποθήκευση γυαλιού και χρήση του μετά από θέρμανση.

Ανόπτηση

- Απομάκρυνση των τάσεων που έχουν δημιουργηθεί από τη μορφοποίηση.
- Χωρίς αυτή τη διαδικασία το γυαλί θα ήταν πάρα πολύ εύθραυστο.
- Πραγματοποιείται σε κλίβανο με ελεγχόμενη πτώση της θερμοκρασίας, από τους 700 °C μέχρι τη θερμοκρασία περιβάλλοντος σε διάστημα δύο ωρών.

Σκλήρυνση

- Προσδίδει μεγαλύτερη αντοχή σε πιέσεις.
- Πραγματοποιείται με διοχέτευση ρεύματος αέρα ή ανταλλαγή ιόντων με φυσικοχημικές μεθόδους η με ανάπτυξη κρυστάλλων στην επιφάνεια του γυαλιού.

Διακόσμηση

- Επέμβαση στην εξωτερική επιφάνεια του γυάλινων αντικειμένων που εκτός της διακόσμησης δίνει μεγαλύτερη αντοχή και μειώνει τις επιφανειακές φθορές.
 - ❖ **Σκάλισμα:** Με αδαμαντοφόρα μηχανήματα δίνουμε μορφή στην επιφάνεια αφαιρώντας κομμάτια γυαλιού
 - ❖ **Θερμή διακόσμηση:** Βάφουμε το γυαλί εξωτερικά με υαλοχρώματα (μείγμα έγχρωμου γυαλιού τριμμένου σε σκόνη με λάδι). Το γυαλί στη συνέχεια τοποθετείται σε κλίβανο στους 600 °C. Το υαλόχρωμα τήκεται πάνω στην επιφάνεια και γίνεται ένα με το γυάλινο αντικείμενο.
 - ❖ **Ψυχρή διακόσμηση:** Βάφουμε το γυαλί με διάφορα χρώματα και βερνίκια χωρίς να το θερμάνουμε.
 - ❖ **Δημιουργία φυσαλίδων:** Φέρνουμε το τήγμα του γυαλιού σε επαφή με πριονίδι που καίγεται, ώστε τα αέρια που δημιουργούνται να εγκλωβίζονται στη μάζα του.

Αφυέλωση

- Η υελώδης κατάσταση είναι δυνατόν να μετατραπεί με την πάροδο του χρόνου σε κρυσταλλική, εφ' όσον η κρυσταλλική κατάσταση περιέχει μικρότερη ελεύθερη ενέργεια από την άμορφη. Η διαδικασία αυτή ονομάζεται **αφυέλωση** και γίνεται με βάση τους παρακάτω κανόνες:
 - ❖ Το γυαλί έχει την τάση να κρυσταλλώνεται σε θερμοκρασίες πάνω από την transformation range, ώστε τα ιόντα του πλέγματος να μετακινούνται ελεύθερα.
 - ❖ Η τάση για κρυστάλλωση και η ταχύτητα αναπτύξεως των κρυστάλλων εξαρτώνται, πλην των άλλων, και από τη χημική σύσταση του γυαλιού. Όσο πλησιέστερα στην χημική σύσταση ενός συγκεκριμένου ορυκτού βρίσκεται η σύσταση του γυαλιού, τόσο πιθανότερη και ταχύτερη θα είναι η κρυστάλλωση.

Αφυέλωση

- ❖ Η τάση αφυελώσεως εξαρτάται από την ύπαρξη πυρήνων κρυσταλλώσεως. Υπάρχει μία θερμοκρασία στην οποία σχηματίζεται ο μέγιστος αριθμός πυρήνων κρυσταλλώσεως. Οι πυρήνες αυτοί σχηματίζονται στα σημεία εκείνα του πλέγματος γυαλιού που παρουσιάζουν τη μεγαλύτερη τάση, εφ' όσον στα σημεία αυτά η απαιτούμενη ενέργεια είναι λιγότερη. Υψηλότερα της θερμοκρασίας σχηματισμού του μέγιστου αριθμού πυρήνων κρυσταλλώσεως βρίσκεται η θερμοκρασία της μέγιστης ταχύτητας αναπτύξεως των κρυστάλλων.

Ανομοιογένειες στο γυαλί

- Η διάταση του γυαλιού προκαλεί οπτική ανισοτροπία (το γυαλί γίνεται διπλοθλαστικό).
- Η διάσπαση ανθρακικών, θειικών ή ένυδρων ενώσεων, που είναι δυνατόν να περιέχονται σε πρώτες ύλες, δημιουργεί φυσαλίδες.
- Η ατελής ομογενοποίηση του τήγματος έχει σαν συνέπεια τη δημιουργία ραβδώσεων ή κηλίδων, που διακρίνονται από το διαφορετικό δείκτη διαθλάσεως.
- Η ατελής διάλυση των πρώτων υλών ή η τοπική αφύελωση προκαλούν τη δημιουργία κρυστάλλων στην μάζα του γυαλιού. Οι πιο συνηθισμένες περιπτώσεις είναι κρύσταλλοι τριδυμίτη, χριστοβαλίτη, μουλλίτη, κορουντίου, ή και ελεύθερος σίδηρος και μόλυβδος.
- Η αφύελωση ευνοείται από την ύπαρξη πυρήνων κρυσταλλώσεως.

Επιφανειακή τάση

- Σε ένα υγρό οι δυνάμεις συνοχής των μορίων που βρίσκονται στην επιφάνεια κατευθύνονται προς το εσωτερικό, με αποτέλεσμα τη δημιουργία της επιφανειακής τάσης, ενώ των μορίων που βρίσκονται στο εσωτερικό κατευθύνονται προς όλες τις διευθύνσεις.
- Η επιφανειακή τάση πυριτικού τήγματος είναι ίση με αυτή των μετάλλων, και 3 - 4 φορές μεγαλύτερη από αυτή του νερού.

Επιφανειακή τάση

- Αν η επιφανειακή τάση ενός στερεού ως προς υγρό με το οποίο βρίσκεται σε επαφή είναι μικρή, τότε διαποτίζεται εύκολα από το υγρό.
- Η ιδιότητα αυτή έχει ευρεία εφαρμογή στην επικάλυψη κεραμικών από υαλοβερνίκια.
- Γενικά η διαπότιση κεραμικών και πυρίμαχων από τήγματα γυαλιού είναι εύκολη.
- Η επιφανειακή τάση επηρεάζεται έντονα από την ύπαρξη οξειδίων As, V, Mo, S και Cr, ενώ η ύπαρξη άλλων οξειδίων δεν έχει σημαντική επίδραση.

Χρήσεις του γυαλιού

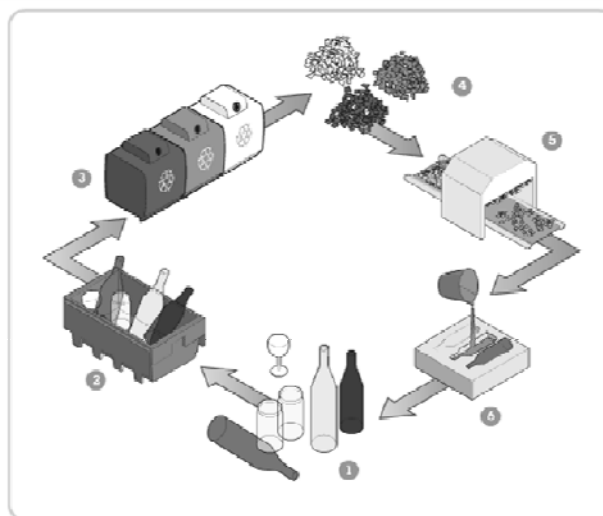
Οι σημαντικότερες χρήσεις είναι:

- ✓ υαλοπίνακες,
- ✓ θερμομονωτικά - ηχομονωτικά υλικά,
- ✓ δομικά υλικά (γυάλινα κεραμίδια και τούβλα),
- ✓ οικιακά σκεύη,
- ✓ οπτικά,
- ✓ ηλεκτρικά δίκτυα,
- ✓ αύξηση σκληρότητας και στεγανότητας υλικών,
- ✓ ενίσχυση οδοστρωμάτων,
- ✓ ειδικά χρώματα,
- ✓ τηλεπικοινωνίες,
- ✓ ολοκληρωμένα κυκλώματα,
- ✓ microchips.

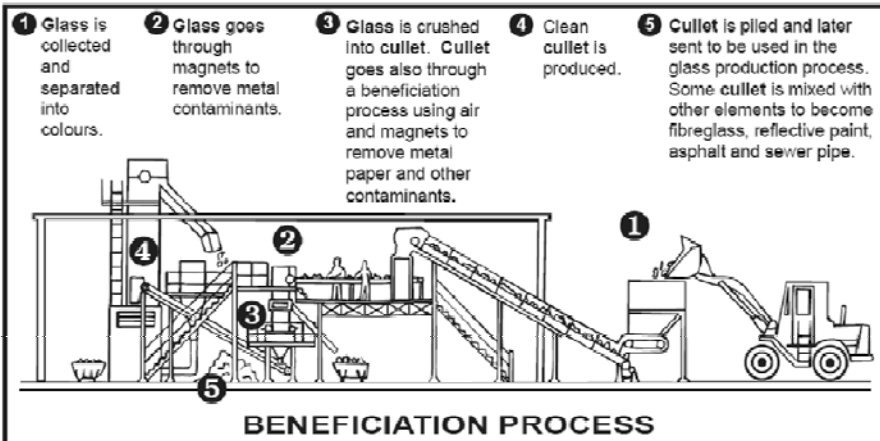
Ανακύκλωση

- Το γυαλί ανακυκλώνεται πλήρως.
- Εδώ και 10 χρόνια έχει αρχίσει η ανακύκλωσή του μέσω τραπεζών γυαλιού. Υπάρχουν περίπου 3000 τράπεζες σε όλο τον κόσμο.
- Στην Αθήνα μερικοί δήμοι έχουν αρχίσει πειραματικά προσπάθειες ανακύκλωσης.

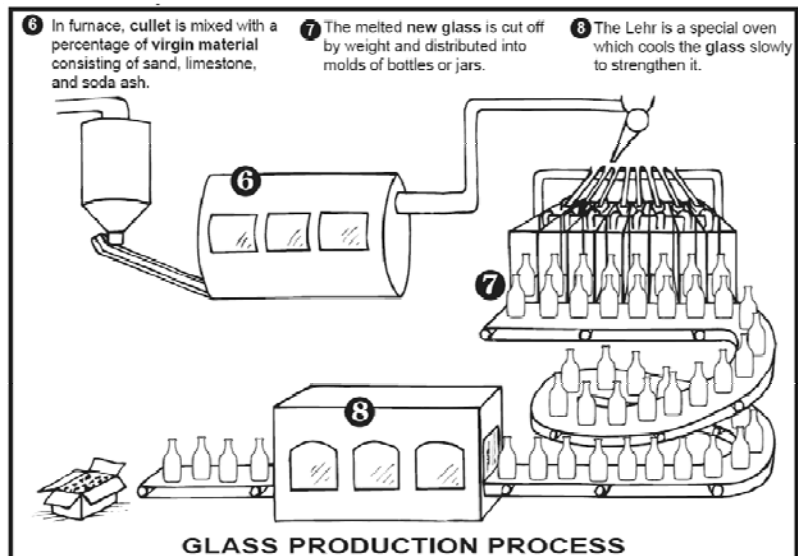
Ανακύκλωση



Διάγραμμα ροής για την παραγωγή γυαλιού



Διάγραμμα ροής για την παραγωγή γυαλιού



Bluewater Recycling Association - Sept/93

Glazes (σμάλτο, υαλοβερνίκι)

- Υελώδες υλικό που καλύπτει την επιφάνεια των κεραμικών ώστε να γίνουν λείες και αδιάβροχες.
- Το βερνίκι απλώνεται στο κεραμικό είτε με ψεκασμό είτε με βύθιση του κεραμικού σε υδατικό διάλυμα βερνικιού.
- Όταν το κεραμικό δε φρύσσεται, η θερμοκρασία στερεοποίησής του πρέπει να είναι η ίδια με αυτή του βερνικιού. Στα υπόλοιπα κεραμικά η θερμοκρασία στερεοποίησης του βερνικιού πρέπει να είναι μικρότερη από την θερμοκρασία φρύξεως του κεραμικού.
- Κύριο συστατικό είναι το SiO_2 , ενώ μπορεί να υπάρχει B_2O_3 και P_2O_5

Glazes (σμάλτο, υαλοβερνίκι)

- Το βερνίκι μπορεί να γίνει αδιαφανές με προσθήκη λεπτομερούς υλικού (κασιτερίτης, ζιρκόνιο) ώστε το φως να ανακλάται στα θραύσματα των κρυστάλλων,
- Γίνεται αλαμπές (mat) με προσθήκη οξειδίων Mg , Al , Ca , Zn ώστε να δημιουργηθούν λεπτομερείς κρύσταλλοι κατά την αφύελωση, ή κρυσταλλικό (για διακοσμητικούς λόγους) με αργή ψύξη ώστε να αναπτυχθούν μεγαλύτεροι κρύσταλλοι.