



Τμήμα Σχεδιασμού και Τεχνολογίας Σύλου και Επίπλου

Σημειώσεις **ΜΕΛΕΤΗΣ ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΥ ΕΠΙΠΛΟΥ**



Θανάσης Μπάμπαλης MA (RCA)  
Βιομηχανικός Σχεδιαστής  
Καθηγητής Εφαρμογών

Σεπτέμβριος 2010



ΤΕΙ ΛΑΡΙΣΑΣ – ΠΑΡΑΡΤΗΜΑ ΚΑΡΔΙΤΣΑΣ

## Περιεχόμενα

### **1. ΞΥΛΟ 4**

1.1 Παράδειγμα σχεδιασμού και παραγωγής καρέκλας από κόντρα πλακέ 6

### **2. Δέρμα - Βιρσοδεψία και εφαρμογές 7**

### **3. Πετρώματα – ορυκτά. 10**

3.1 Μάρμαρο – Γρανίτης. 10

### **3.2 Κεραμικά 11**

Μερικές Διαδικασίες Παραγωγής Κεραμικών 13

3.2.1 Αγγειοπλαστική (Clay Throwing) 13

3.2.2 Χύτευση υγρών μειγμάτων κεραμικών - Slip Casting 14

3.2.3 Χύτευση κεραμικών με πίεση (Press Molding Ceramics) 17

Παραδείγματα μεθόδων παραγωγής γυάλινων προιόντων: 21

3.3.1 Μέθοδος παραγωγής επίπεδου γυαλιού Pilkington (για παράθυρα κτλ.) 21

Float Glass Rolling Process 21

3.3.2 Παραγωγή αντικειμένου με πίεση σε μονό καλούπτι 22

3.3.3 Παραγωγή δοχείου με χειρονακτική εμφύσηση με ή χωρίς καλούπτι (glass blowing) 22

3.3.4 Παραγωγή δοχείου με μηχανοποιημένη εμφύσησης σε καλούπτι 24

3.3.5. Παραγωγή δοχείου με έλαση ή πίεση ενός σωλήνα γυαλιού. 25

3.3.6 Διαμόρφωση λαιμού δοχείου με περιστροφική πίεση. 26

3.3.7 Δημιουργία γυάλινου δοχείου κτλ. με φυγόκεντρο δύναμη. 26

3.3.8 Δημιουργία φάλης με συμπίεση και εμφύσηση σε δύο καλούπτια. 27

3.3.9 Χάραξη γυαλιού (Glass Scoring). 27

3.3.10 Υδατοκοπή (Water Jet Cutting) 28

3.3.11 Κοπή με Λείζερ (Laser Cutting) 30

### **4. Μέταλλα. 32**

4.1 Περιστροφική Μορφοποίηση Μεταλλικού φύλλου (Metal Spinning) 32

4.2 Βαθιά Κοίλανση (Deep Drawing) 34

4.3 Υπερδιαμόρφωση (Superforming) 35

4.4 Χύτευση σε καλούπτια (Die Casting) 38

4.5 Χύτευση με την μέθοδο του “Χαμένου Κεριού” (Lost-Wax or Investment casting) 41

4.6 Φυγοκεντρική Χύτευση (Centrifugal Casting) 44

### **5. Πλαστικά 47**

5.1 Παραγωγή με Χύτευση υπό υψηλή πίεση (injection Molding) 47

5.2 Παραγωγή με Περιστροφική Χύτευση (Rotational Molding) 50

5.3 Παραγωγή με Διέλαση και Εμφύσηση (Extrusion Blow Molding) 53

5.4 Παραγωγή με Χύτευση Υψηλής Πίεσης και Εμφύσησης (Injection Blow Molding) 54

5.5 Παραγωγή με Χύτευση με χημική αντίδραση (Reaction Injection Molding) και ψυχρή διαμόρφωση αφρού (cold cure foam molding) 55

5.6 Παραγωγή με Συμπίεση σε καλούπτι (Compression Molding) 58

5.7 Παραγωγή με Διέλαση (Extrusion) 62

### **6. Σύνθετα υλικά (composite materials) 64**

### **7. Πρόσθετα Παραδείγματα εφαρμογής των διαδικασιών σε έπιπλα. 66**

7.1 Παραγωγή καρέκλας Nic, Werner Aisslinger, 2003, Magis 66

7.2 Παραγωγή καρέκλας Kit, A. Grinberg, 2002, prototype 67

### **Παράρτημα 68**

ΠΙΝΑΚΑΣ 1- Διευθύνσεις Διαδυτηρίου για νέα υλικά και προιόντα: 68

ΠΙΝΑΚΑΣ 2 - Λίστα ιστοσελίδων σχετικά με design: 69

### **Βιβλιογραφία 70**

## ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο σχεδιασμός συχνά τοποθετείται στο σταυροδρόμι των τεχνών. Ο ρόλος του βιομηχανικού σχεδιαστή είναι πολύπλοκος και απαιτητικός γιατί πρέπει να βρίσκει πάντα τη “χρυσή τομή” ανάμεσα στις μεθόδους παραγωγής, τη χρήση, την εμφάνιση, την αρτιότητα του σκελετού του αντικειμένου, την τιμή πωλησης και τις οικολογικές επιπτώσεις της παραγωγής και χρήσης του.

Αυτό σημαίνει ότι ο σχεδιαστής χρειάζεται πολλές γνώσεις και εργαλεία για να ανταποκριθεί σωστά σε όλες τις φάσεις της διαδικασίας σχεδιασμού, από την έρευνα και τη γέννηση της ιδέας, την επεξεργασία της, την αισθητική και χρηστική ανάλυση, την εργονομία, τα υλικά που θα επιλεγούν, τους τρόπους παραγωγής κ.α.

Ο σχεδιαστής χρειάζεται να δουλεύει ομαδικά μιάς και ποτέ δε θα έχει τις γνώσεις ενός εξειδικευμένου μηχανικού ή καλλιτέχνη και άλλων πολλών ειδικοτήτων ταυτόχρονα. Ωστόσο, πρέπει να έχει μια πολύπλευρη εκπαίδευση που συνδέει τη φόρμα με την τεχνική. Πρέπει πάντα να είναι ενημερωμένος σχετικά με τις εξελίξεις στην περιοχή των υλικών και των τρόπων παραγωγής, καθώς επίσης και σχετικά με τις νέες ανάγκες των ανθρώπων-χρηστών.

Στις σημειώσεις αυτές θα ερευνήσουμε περιληπτικά μερικά από τα υλικά που μπορεί να χρησιμοποιήσει ένας σχεδιαστής και επιλεγμένους τρόπους παραγωγής που αφορούν σε αυτά τα υλικά. Επίσης, θα δοθούν παραδείγματα χρήσης των συγκεκριμένων υλικών από σχεδιαστές επίπλων.

Λόγω της υπερκάλυψης με άλλα μαθήματα στην περιοχή των υλικών ξύλου και του μετάλλου και στις διαδικασίες παραγωγής αυτών, στις παρακάτω σημειώσεις θα αναφερθούν επιγραμματικά τα βασικά πάνω στα συγκεκριμένα υλικά.

## 1. ΞΥΛΟ

Είναι από τα πρώτα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στην κατασκευή επίπλου. Η ομορφιά, η ποικιλία, η αφθονία του στη φύση και η ευκολία στην επεξεργασία του το έχουν κάνει τον βασιλιά των υλικών!

Η εξέλιξη της μηχανής και συνεπώς της “βιομηχανοποιημένης παραγωγής”, όπως τη γνωρίζουμε σήμερα, ξεκίνησε με την βιομηχανική επανάσταση τον 19ο αιώνα, αρχικά στην Αγγλία και μετά στις υπόλοιπες δυτικές χώρες. Η αιτία της βιομηχανικής επανάστασης ήταν η ανακάλυψη του καύσιμου (αρχικά λιγνίτης) που θα τροφοδοτούσε σύντομα με ενέργεια τις μηχανές παραγωγής.

Χαρακτηριστικό της περιόδου ήταν οι διάφορες κατασκευές με χυτοσίδερο, από γέφυρες μέχρι έπιπλα εξωτερικού χώρου, καρέκλες, φωτιστικά δρόμων, αλλά και μικρότερα αντικείμενα, όπως κατσαρόλες και λοιπά είδη, που κατασκευάζονταν σε καλούπια και σε μεγάλες ποσότητες.



Παρόλο που ο χυτοσίδερος ήταν ο βασιλιάς της περιόδου, μια γερμανική εταιρεία η **Thonet**, έφερε τη “βιομηχανική επανάσταση” στην κατασκευή επίπλου (από ξύλο) και ιδιαίτερα της καρέκλας. Χρησιμοποιώντας την ενέργεια του λιγνίτη για τη δημιουργία ατμού, κατασκεύαζε καρέκλες που στηρίζονταν στην άτμιση και στην πλαστική παραμόρφωση ξύλινων μερών. Η συγκεκριμένη εταιρεία, έχοντας μια παρόμοια φιλοσοφία με τη σημερινή εταιρία IKEA, στηρίζονταν στην παραγωγή καρεκλών που πωλούνταν ασυναρμολόγητες και συνεπώς το κόστος μεταφοράς ήταν πολύ μικρό. Χαρακτηριστικά η καρέκλα no.14 σχεδιάστηκε και κατασκευάστηκε το 1859 με τη λογική να χωράνε 36 τέτοιες καρέκλες σε ένα κουτί ενός κυβικού μέτρου.

*Αριστερά : Παραλλαγή της καρέκλας no.14, Michael Thonet 1859.*



Η ίδια εταιρία συνέχισε να υποστηρίζει την ιδέα της απλότητας στη διαδικασία παραγωγής επίπλων με σύγχρονα υλικά (κόντρα πλακέ και μεταλλική σωλήνα) και στον 20ο αιώνα, υποστηρίζοντας τους σχεδιαστές του κινήματος BauHaus το 1930 αλλά και μετέπειτα.

Το επόμενο τεχνολογικό βήμα στην ιστορία του ξύλου ήρθε τον 20ο αιώνα με την εξέλιξη της διαδικασίας - δημιουργίας του **κόντρα - πλακέ** με χαρακτηριστικό παράδειγμα τις δημιουργίες των Charles και Ray Eames στις Ηνωμένες Πολιτείες του Alvar Aalto στην Ευρώπη, κ.α.

*Αριστερά - Καρέκλα από 100% διαμορφωμένο κόντρα- πλακέ, σχεδιαστές Charles και Ray Eames*



*Αριστερά - Σκαμπώ και Καρέκλα από κόντρα-πλακέ, σχεδιαστής Alvar Aalto. Artek, Finland.*

*Αριστερά – καρέκλα από διαμορφωμένο κόντρα - πλακέ, σχεδιαστής Marcel Breuer, 1936, Isokon Plus, London.*



Από τα τέλη του 20ου αιώνα κι έπειτα, με την εξέλιξη της τεχνολογίας και των υλικών συγκόλλησης γίνονται τεράστια βήματα στην παραγωγή βελτιωμένων υλικών με βάση το ξύλο όπως MDF, OSB, κτλ. Επίσης, το ξύλο αναμειγνύεται με άλλα συστατικά (οργανικές κόλλες, φελλό, φυτικές ίνες, Latex κτλ.) και παράγονται υλικά με βελτιωμένες ιδιότητες όπως:

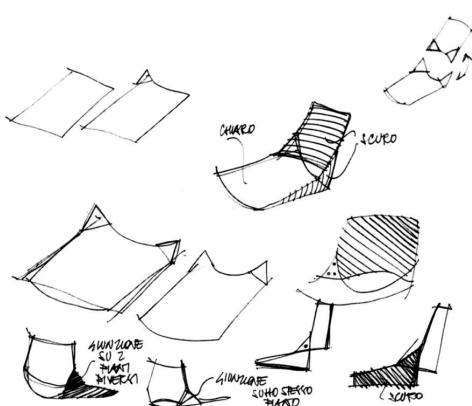
- το **Recoflex®** - chipboard, ελαστική μοριοσανίδα με στοιχεία ξύλου, φελλού, latex και με κόλλα πολυουρεθάνης, της εταιρείας BSW, Γερμανία. ([www.berleburger.de](http://www.berleburger.de))),
- το **Fasal®** - υλικό σε μορφή κόκκου από ανανεώσιμα υλικά, όπως ξύλο και καλαμπόκι που όταν αναμειγνύεται με φυσικές ρητίνες και πλαστικοποιητές μπορεί να διελαθεί ή να χυτευτεί με υψηλή πίεση σε καλούπια - όπως στην κατασκευή πλαστικού ή αλουμινίου, της εταιρείας Austel, Αυστρία),
- το **Cellupress®** - όπου η σουηδική εταιρεία κατασκευής επίπλων Lammhults ([www.lammhults.se/](http://www.lammhults.se/)) ανέπτυξε μια μέθοδο στην οποία χρησιμοποιεί θερμότητα και πίεση για τη συγκόλληση ίνων ξύλου, φλοιού δένδρων και άλλων ίνων κυτταρίνης για τη δημιουργία ενός δυνατού και λείου υλικού. Η εταιρεία ονομάζει την τεχνολογία Cellupress. Δεν χρησιμοποιούνται κόλλες ή άλλα συγκολλητικά υλικά, άρα δεν υπάρχουν στο υλικό τοξικές ουσίες όπως Ουρία Φορμαλδεήδη ή Πολυεστέρες. Το χρώμα των καρεκλών (Imprint) που δημιούργησε η εταιρεία εξαρτάται απόλυτα από τις αρχικές ίνες που χρησιμοποιήθηκαν: η ξυλεία από κωνοφόρα δημιουργεί ανοιχτόχρωμες καρέκλες ενώ η ξυλεία από φυλλοβόλα και άλλα σκούρα είδη (όπως σκούρους φλοιούς δένδρων ή φλοιό καρύδας) δημιουργεί σκούρες καρέκλες.



*Imprint shell chair, σχεδιασμός Peter & Johannes Lammhults, 2006.*

### 1.1 Παράδειγμα σχεδιασμού και παραγωγής καρέκλας από κόντρα πλακέ

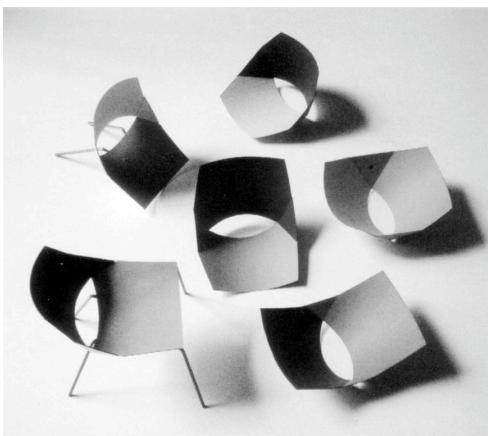
**Paper chair** – Raul Barbieri, Anna Giufrida, Κατασκευαστής: Plank Collezioni S.r.l., 2002.



Οι σχεδιαστές ονόμασαν την καρέκλα αυτή Paper chair γιατί η θέση και η πλάτη “δίπλωσαν” όπως ένα κομμάτι χαρτί.

Η θέση και η πλάτη είναι δύο ακριβώς όμοια κομμάτια κόντρα - πλακέ τα οποία συνδέονται μεταξύ τους με έναν έξυπνο μηχανισμό που επιτεύχτηκε μετά από πολλούς πειραματισμούς.

αριστερά - μερικά από τα πρώτα σκίτσα, και



μερικά από τα πρώτα μοντέλα σε κλίμακα (από χαρτί) όπου φαίνεται η αρχική ιδέα της επικάλυψης των δύο μερών (θέσης και πλάτης) η οποία δοκιμάστηκε αλλά τελικά απορρίφθηκε.



Αριστερά - Φωτογραφία του καλουπιού με ένα κομμάτι κόντρα - πλακέ αφού έχει κοπεί στη μηχανή CNC της εταιρίας.

Αριστερά Κάτω - Φωτογραφία κατά τη διαδικασία σύνδεσης των δύο κομματών από κόντρα - πλακέ με πλευρική πίεση σε καλούπι (ο μεταλλικός σύνδεσμος εισέρχεται και στα δύο κομμάτια).

**Paper chair** - Raul Barbieri, Anna Giufrida, Κατασκευαστής: Plank Collezioni S.r.l., 2002.

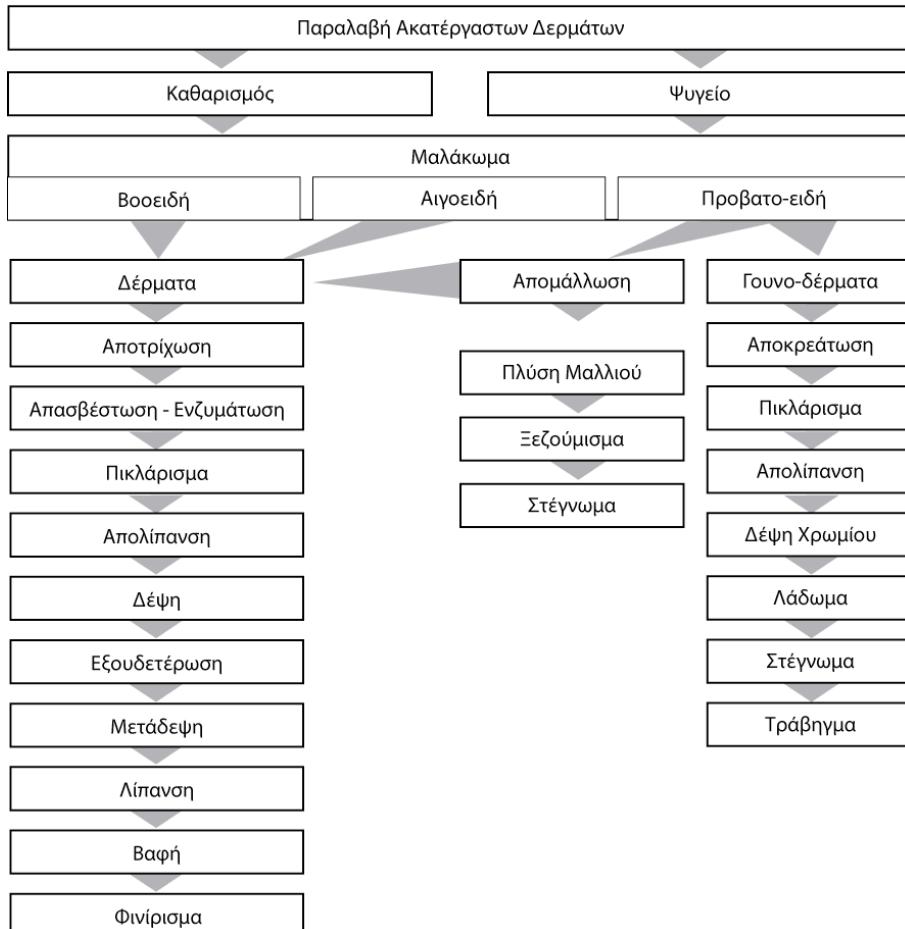


## 2. Δέρμα - Βυρσοδεψία και εφαρμογές

Το δέρμα είναι οργανικό υλικό. Για χιλιετίες το δέρμα έχει χρησιμοποιηθεί από τον άνθρωπο για την κατασκευή ρούχων, παπούτσιών και άλλων αντικειμένων και πιο πρόσφατα - με την εξέλιξη των τρόπων επεξεργασίας του - για τσάντες, πορτοφόλια, διακοσμητικά είδη, καθώς και για την επικάλυψη επίπλων και θέσεων αυτοκινήτων κ.α.

**Βυρσοδεψία** είναι η μετατροπή των ακατέργαστων δερμάτων σε ένα σταθερό υλικό που δεν σήπεται με τη μέθοδο της **δέψης**.

Διάγραμμα Λειτουργίας Βυρσοδεψείου



Εικόνα επάνω: Τυπικό Διάγραμμα Λειτουργίας Βυρσοδεψείου

Η βυρσοδεψία είναι η μετατροπή ακατέργαστων “δορών” (δερμάτων), υλικά πολύ επιδεκτικά σε σήψη, σε κατεργασμένο δέρμα, ένα σταθερό υλικό, το οποίο μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή μιας ευρείας γκάμας προϊόντων. Η όλη διεργασία περιλαμβάνει μια ακολουθία πολύπλοκων χημικών αντιδράσεων και μηχανικών διεργασιών. Μεταξύ αυτών, η **δέψη είναι το βασικό στάδιο**, το οποίο προσδίδει στο δέρμα τη σταθερότητα και το βασικό του χαρακτήρα.

Η βυρσοδεψία είναι μια εντατική από πλευράς ρύπανσης βιομηχανία. Οι επιπτώσεις των βυρσοδεψείων στο περιβάλλον προέρχονται από τις εκπομπές υγρών, στερεών και αερίων αποβλήτων και από την κατανάλωση πρώτων υλών όπως ακατέργαστες δορές, ενέργεια, χημικά και νερό. Στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις περιλαμβάνονται όχι μόνο το φορτίο και η συγκέντρωση των κλασσικών ρυπαντών, αλλά και η χρήση ορισμένων χημικών: π.χ., **βιοκτόνα, τασιενεργά και οργανικοί διαλύτες**. Από τα βυρσοδεψεία σε ολόκληρο τον

κόσμο, το 80 – 90 % χρησιμοποιούν στις δεψικές τους διεργασίες **άλατα χρωμίου**. Ο βαθμός τοξικότητας του χρωμίου είναι ίσως από τα πιο συζητημένα θέματα μεταξύ του εν λόγω κλάδου και των αρχών.



Η ποιότητα ενός κομματιού δέρματος εξαρτάται από την αρχική ποιότητά του και τις συνθήκες ζωής του ζώου από το οποίο προέρχεται. Η ποιότητα μπορεί να βελτιωθεί με φυσικές ή χημικές βαφές που προσθέτουν επιφανειακές στρώσεις οι οποίες καλύπτουν τα ελαττώματα του. Αυτές οι στρώσεις δημιουργούνται είτε με τον εμποτισμό της επιφάνειας με ένα πολυμερές, είτε με την θερμομεταφορά ενός στρώματος PVC.

*Καθαρίζοντας το δέρμα, βυρσοδεψείο, Gironde, Γαλλία, 1927*

### Συνθετικό δέρμα:

Το αυξημένο κόστος και η ευθραυστότητα του δέρματος ανάγκασαν τον άνθρωπο να ψάξει για εναλλακτικές λύσεις, όπως το συνθετικό δέρμα. Ο στόχος ήταν η παραγωγή ενός υποκατάστατου του δέρματος που να έχει ανάλογες ιδιότητες και χωρίς τα ελαττώματα. Δηλαδή να παρασκευάζεται σε μεγάλα μεγέθη και να έχει παρόμοιες ιδιότητες σε όλα τα σημεία της επιφάνειάς του.

Με το συνδυασμό κολλαγόνων (π.χ. οι κύριες πρωτείνες των συνδετικών ιστών στα θηλαστικά) και διάφορων φυσικών, αλλά και συνθετικών ινών, προέκυψαν προϊόντα που αντικατέστησαν το δέρμα, όπως το **Clarino®**, το **Corfam®** (DuPont, 1964), και το **Gore-tex®** (1976), στη δεκαετία του '70. Από τα πλέον αξιοσημείωτα είναι το **Skai®** (φώτο αριστερά) που ανακαλύφθηκε από τη Γερμανική εταιρεία Hornschuch στο τέλος της δεκαετίας του '50. Οι μηχανικοί της Hornschuch είχαν την ιδέα να επικαλύψουν ένα βαμβακερό (jersey) ύφασμα με ένα PVC plastisol coating (PVC στην υγρή του μορφή). Μέσα σε λίγα χρόνια το υλικό έγινε παγκόσμιο φαινόμενο!



Αριστερά: Εφαρμογή του υλικού Skai® σε εσωτερικό αυτοκινήτου.

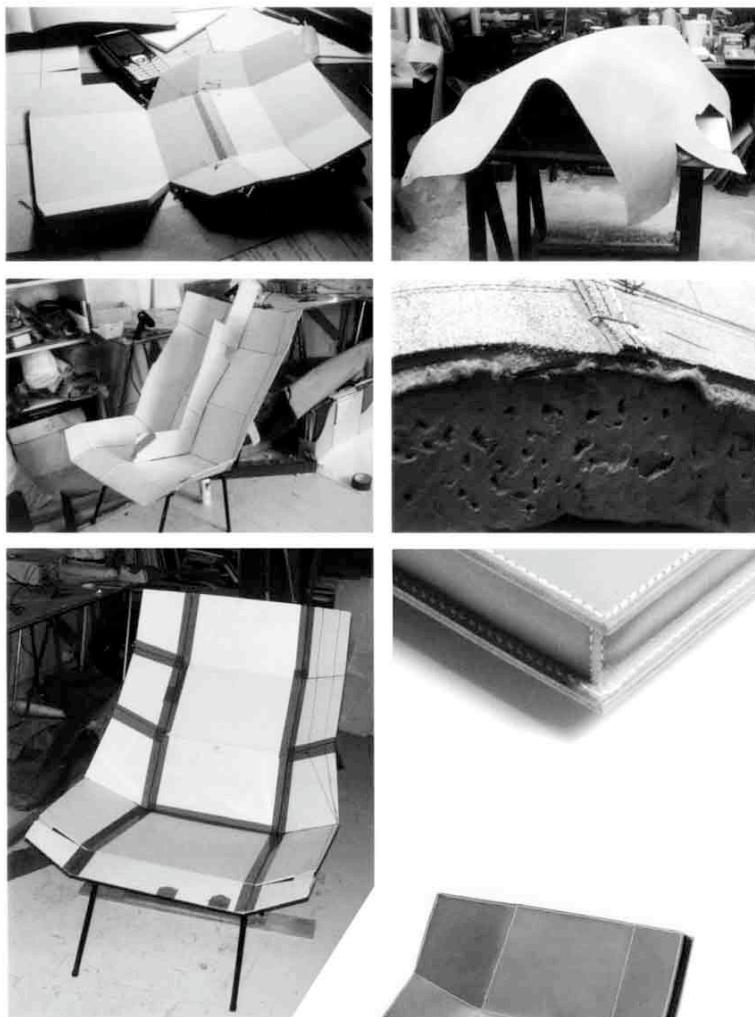


Δεξιά: καρέκλα **Sacco** σχεδιαστής Piero Gatti, Cesare Paolini & Franco Teodoro για την Zanotta 1968



Αριστερά: καρέκλα **Serbelloni** σχεδιαστής Vico Magistretti, De Padova, Ιταλία

Μελέτη Σχεδιασμού Επίπλου



Θανάσης Μπάμπαλης, 2010

Αριστερά:

**Francois Azanbourg,**  
καρέκλα από μέταλλο,  
πολυουρεθάνη και δέρμα,  
Hermes, Domeau & Peres,  
Γαλλία, 2005.

Στις φωτογραφίες αριστερά  
βλέπουμε το πατρόν  
(χαρτόνι) για το δέρμα που  
φτιάχτηκε κατά τη  
δημιουργία του πρωτότυπου,  
το κομμάτι δέρματος που  
χρησιμοποιήθηκε (επάνω  
δεξιά), λεπτομέρειες από τη  
ραφή του δέρματος και την  
τελική καρέκλα που  
συνδυάζεται με μεταλλικό  
σκελετό.



### 3. Πετρώματα – ορυκτά.

Ο εξωτερικός φλοιός της Γης αποτελείται από πετρώματα και ορυκτά. Υπάρχουν διάφορες κατηγορίες πετρωμάτων ανάλογα με τα χαρακτηριστικά τους, όπως σκληρά (π.χ.γρανίτης), μαλακά (π.χ.άμμος), μορφοποιήσιμα (π.χ.πηλός) ή υγρά (π.χ.πετρέλαιο).

#### 3.1 Μάρμαρο – Γρανίτης.

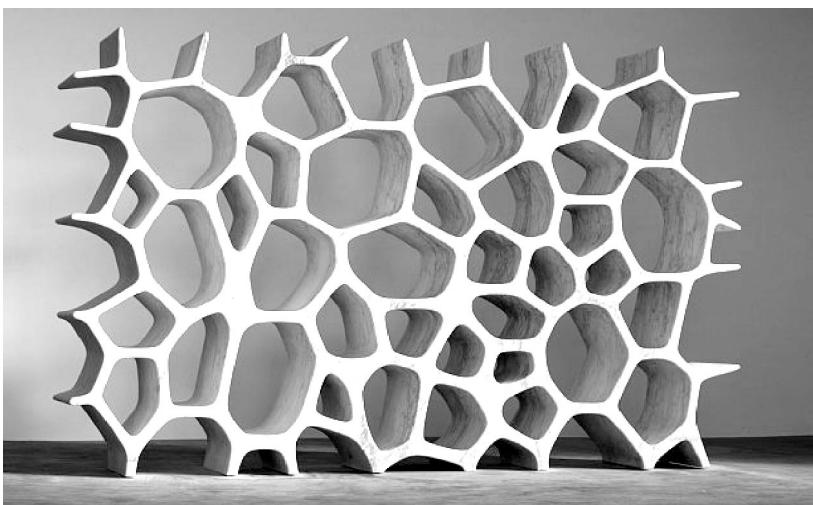
Από τα σκληρά πετρώματα, ιδιαίτερο ενδιαφέρον παρουσιάζουν για τους σχεδιαστές το μάρμαρο και ο γρανίτης. Χρησιμοποιούνται σε κατασκευές αντικειμένων, στη γλυπτική και στην κατασκευή σπιτιών από την αρχαιότητα.

Το βάρος αυτών των υλικών, η δυσκολία εξόρυξής τους και μορφοποιήσής τους, αλλά και η δυσκολία στη μεταφορά τους λόγω της εύθραυστης φύσης τους, σημαίνει ότι αντικείμενα μεγάλης κλίμακας ήταν πάντα δύσκολο να κατασκευαστούν από αυτά.



*Angelo Mangiarotti, Eros τραπέζια και σκαμπώ, Μάρμαρο, Ιταλία, 1969.*

Σύγχρονες μέθοδοι επεξεργασίας, όπως κοπή με νερό (CNC) και αυτοματοποιημένη λείανση, έχουν ανοίξει τους ορίζοντες στους σχεδιαστές.



**Mark Newson, 2005**  
Βιβλιοθήκη από ένα κομμάτι λευκό μάρμαρο,  
Διαστάσεις:  
180 X 280 X 40 εκ.

Ένα από τα οκτώ μοναδικά αντίτυπα.

Οι διαδικασίες επεξεργασίας μαρμάρων και γρανιτών είναι περιορισμένες:

1. Κοπή με μηχανικά μέσα
2. Κοπή με Υδατοκοπή (δες παρακάτω - σχετικά με γυαλί)
3. Επεξεργασία επιφάνειας (χάραξη κτλ.) με μηχανικά μέσα (CNC ή χειρονακτικά).
4. Λείανση με μηχανικά μέσα

### 3.2 Κεραμικά

Τα κεραμικά είναι υλικά του παρελθόντος αλλά και του μέλλοντος. Είναι το πιο ανθεκτικό από όλα τα άλλα υλικά (π.χ. κεραμικά πιάτα που κατασκευάστηκαν πρίν το 5000 Π.Χ. "επιβιώνουν" ακόμα), και είναι αυτή η ανθεκτικότητά τους - ειδικά εφόσον έχουν ψηθεί σε υψηλές θερμοκρασίες - που δημιουργεί τεράστιο ενδιαφέρον σε αυτά σήμερα.

Η λέξη "κεραμικό" προέρχεται από την Αρχαία Ελληνική λέξη "Κέραμος" και αναφερόταν αρχικά στην αγγειοπλαστική κεραμική, για ψημένα προϊόντα από πηλό. Σήμερα ο όρος κεραμικά υλικά έχει ευρύτερη χρήση και περιλαμβάνει όλα τα ανόργανα μη μεταλλικά υλικά που έχουν υποστεί θερμική κατεργασία σε υψηλές θερμοκρασίες ( $>1000^{\circ}\text{C}$ ) είτε κατά το στάδιο της επεξεργασίας είτε κατά το στάδιο της εφαρμογής.

Τα κεραμικά είναι κρυσταλλικά (ή μερικώς κρυσταλλικά) ανόργανα μείγματα. Είναι πολύ δύσκολο να δοθεί ένας απλός ορισμός του κεραμικού σαν υλικό μιάς και στην οικογένεια αυτή περιέχονται υλικά όπως τα τούβλα, ο γραφίτης, το τσιμέντο, τα καρβίδια του πυριτίου (silicon carbides), το γυαλί, η πορσελάνη κτλ..

**Τα κεραμικά είναι υλικά:**

1. πολύ σκληρά (π.χ. διαμάντια),
2. με πολύ καλές αντοχές στη συμπίεση,
3. υψηλό σημείο τύξης,
4. καλή θερμική συμπεριφορά (συστολή-διαστολή) αφού ψηθούν, αλλά επιρρεπή στο θερμικό σόκ
5. πολύ καλές αντοχές στα χημικά και
6. σχετικά εύθραυστα.

Τα **παραδοσιακά κεραμικά** που βασίζονται στον πηλό με προσμίξεις πυριτίου (silica) κτλ., είναι αρχικά εύπλαστα και μορφοποιούνται εύκολα πριν ψηθούν. Κατά το ψήσιμο μετατρέπονται σε πολύ σκληρά προϊόντα, όπως τούβλα, πήλινα σκεύη, πλακάκια, πορσελάνη κτλ.. Παραδοσιακό κεραμικό είναι ο πηλός. Οι ιστορικοί εκτιμούν ότι ο πηλός χρησιμοποιείται από τους ανθρώπους εδώ και δέκα χιλιάδες χρόνια. Στην αρχή ο πηλός απλά στέγνωνε στον ήλιο. Για να είναι τα πήλινα δοχεία αρκετά δυνατά, ο πηλός έμπαινε επάνω σε ένα σκληρό σκελετό από κάποιο ινώδες υλικό (π.χ. από λεπτό καλάμι ή άχυρο) για να βελτιωθεί η αντοχή του. Το 3000 Π.Χ. οι πρώτοι φούρνοι κεραμικών χρησιμοποιήθηκαν στη Συρία, όπου ο πηλός ψηνόταν σε θερμοκρασίες  $600^{\circ}\text{C}$ .



Ο αγγειοπλάστης Στέφανος Κουβδής κατασκευάζει μονοκόμματη στάμνα σε ποδοκίνητο τροχό.

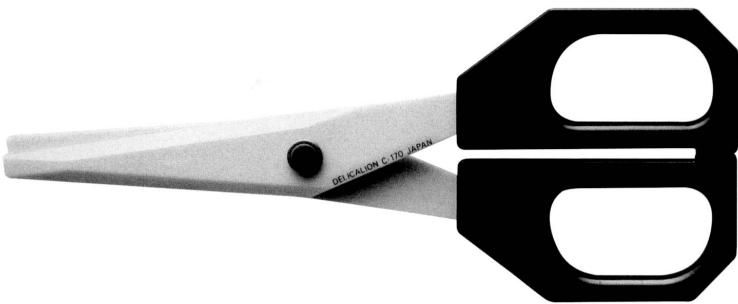
Άγιος Στέφανος Λέσβου,  
1978. (Αρχείο K.M.N.K.),  
από άρθρο της εφημερίδας  
*H Καθημερινή*  
22-8-1999

Τα **τεχνικά** (ή εξελιγμένα) **κεραμικά** αποτελούνται από μείγματα καθαρών στοιχείων που αναμειγνύονται και ενώνονται με χημικές αντιδράσεις. Τα στοιχεία που χρησιμοποιούνται για αυτά είναι η **αλουμίνια** (alumina) που ονομάζεται και **Οξείδιο Αλουμινίου** (Aluminum Oxide -  $\text{Al}_2\text{O}_3$ ), το **Καρβίδιο του Πυριτίου** (silicon carbide -  $\text{SiC}$ ), το **Νιτρίδιο Πυριτίου** (silicon nitride -  $\text{Si}_3\text{N}_4$ ), το **Καρβίδιο**

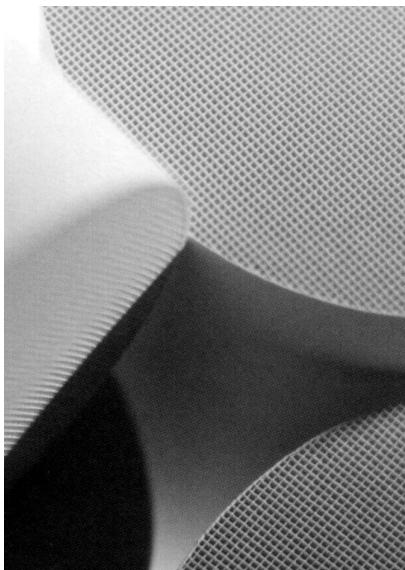
βορίου (boron carbide - B<sub>4</sub>C) και το Καρβίδιο Βολφραμίου (tungsten carbide - WC), το Οξείδιο Ζιργκονίου (zirconium oxide - ZrO<sub>2</sub>), το Νιτρίδιο Αλουμινίου (aluminum nitride - AlN) και άλλα.

*Εικόνα αριστερά:*

Ψαλίδι από κεραμικό υλικό.



άλλα κεραμικά μεταξύ τους με διάφορες κόλλες ή με διαφορετικές επεξεργασίες (σμάλτο κτλ.) μπορούν να εφαρμοστούν για να ομαλοποιηθεί (να γυαλίσει) ή για να χρωματιστεί η επιφάνειά τους.



*Εικόνα αριστερά: λεπτομέρεια από κυψελοειδές κεραμικό που χρησιμοποιείται στα καταλυτικά φίλτρα αυτοκινήτων.*

Τα τεχνικά κεραμικά χρησιμοποιούνται περισσότερο για την κατασκευή μηχανικών μερών που πρέπει να αντέχουν σε τριβές και υψηλές θερμοκρασίες και απαιτείται μικρό βάρος, όπως για παράδειγμα λεπίδες τουρμπίνων, στροφαλοφόροι μηχανών, εργαλεία κοπής, καλούπια διέλασης, φίλτρα, φλάντζες και ηλεκτρικοί μονωτές, θερμοαποροφητές σε ηλεκτρονικά κυκλώματα κ.α. Τα τελευταία χρόνια έχουν εξελιχθεί τόσο πολύ που οι χρήσεις τους έχουν πολλαπλασιαστεί σε τέτοιο βαθμό ώστε χρησιμοποιούνται πλέον και σε ενδύματα (κεραμικά νήματα), ιδιαίτερα εκεί που χρειάζεται προστασία από φωτιά και υψηλές θερμοκρασίες (στολές οδηγών Formula 1 κτλ.).<sup>1</sup>

### Σχεδιαστικές παρατηρήσεις:

- Το μέγεθος των κεραμικών αντικειμένων ποικίλει από τα πολύ μικρά, όπως τα μπουζί αυτοκινήτου, μέχρι τα πολύ μεγάλα, όπως οι μύτες των διαστημικών σκαφών.
- Οι υψηλές θερμοκρασίες στο φούρνο αποτρέπουν τη χρήση μεταλλικών ή άλλων μερών μέσα στα καλούπια κατά την παραγωγή.
- Τα σχήματα των προϊόντων πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο απλά με μεγάλες ανοχές. Η συστολή κατά το “στέγνωμα” μπορεί να φτάσει το 25%!
- Οι ακμές και γωνίες πρέπει να είναι στρογγυλεμένες και με μεγάλες, σχετικά, ακτίνες.
- Τα μεγάλα “αστρίκτα” κομμάτια πρέπει να αποφεύγονται,
- Τα συμμετρικά σχήματα με ομοιόμορφη διατομή είναι τα καλύτερα με “γωνία εξόδου” (draft angle) από το καλούπι τουλάχιστον 5 μοίρες.

<sup>1</sup> [www.aquafil.com](http://www.aquafil.com), [www.mmm.com/ceramics](http://www.mmm.com/ceramics),

## Μερικές Διαδικασίες Παραγωγής Κεραμικών

### 3.2.1 Αγγειοπλαστική (Clay Throwing)

Τα κεραμικά προϊόντα τα οποία είναι συμμετρικά γύρω από ένα άξονα περιστροφής μπορούν να κατασκευαστούν στον τροχό του αγγειοπλάστη. Το στυλ, το σχήμα και η λειτουργία κάθε κομματιού ποικίλουν ανάλογα με τον αγγειοπλάστη που τα κατασκευάζει και κάθε εργαστήριο/studio υιοθετεί και αναπτύσσει τις δικές του τεχνικές. Η αγγειοπλαστική (Clay throwing αλλά γνωστή και ως turning) χρησιμοποιείται για την παραγωγή επίπεδων και κοίλων γεωμετριών οι οποίες είναι συμμετρικές ως προς τον άξονα περιστροφής τους. Από τη φύση της διαδικασίας όλα τα κομμάτια είναι συμμετρικά ως προς τον άξονα περιστροφής. Για την δημιουργία ασύμμετρων σχημάτων, άλλες τεχνικές όπως παραμόρφωση με τα χέρια, σκάλισμα και πίεση συνδυάζονται με αυτή την τεχνική. Λαβές, πόδια, στόμια και άλλα διακοσμητικά στοιχεία μπορούν να προστεθούν μετά την πρώτη περιστροφική διαδικασία.

Εφαρμογές	Κόστη	Παραγωγή	Ποιότητα
Κουζινικά, επιτραπέζια είδη, είδη κήπου κτλ.	Μηδενικές - χαμηλές δαπάνες σε καλούπια. Χαμηλό - μέτριο κόστος ανά μονάδα προϊόντος	Μικρή παραγωγή. Κύκλος κατεργασίας (15-45 λεπτά), ανάλογα με το μέγεθος και την πολυπλοκότητα, Χρόνος ψησίματος (8-12 ώρες)	Ποικίλει (χειρονακτική εργασία)

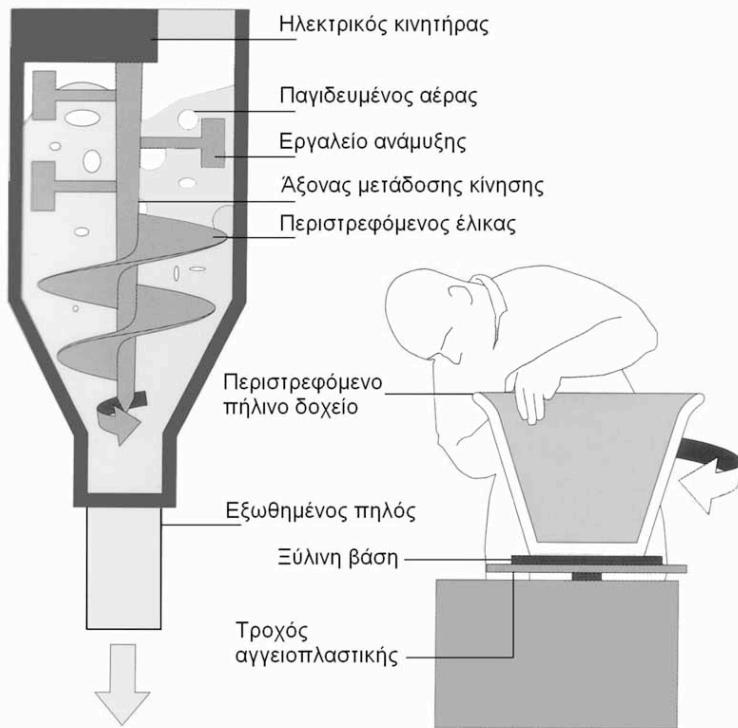
#### Χαρακτηριστικά - περιορισμοί:

- Ο πηλός είναι το πιο συνηθισμένο υλικό στην κεραμική. Είναι εύθραυστο και πορώδες και χρειάζεται στίλβωση με γυαλιστικό ώστε να γίνει υδατοστεγές. Τα πήλινα προϊόντα κήπου είναι επιρρεπή στο σπάσιμο σε πολύ χαμηλές θερμοκρασίες λόγο του ότι απορροφούν νερό. Πήλινα υλικά όπως earthenware, stoneware και πορσελάνη μπορούν να χρησιμοποιηθούν στον τροχό του αγγειοπλάστη. Η πορσελάνη είναι το δυσκολότερο υλικό στην κατεργασία ενώ το earthenware είναι το ευκολότερο, επειδή είναι πιο ανθεκτικό και επιτρέπει τη διόρθωση μικρών λαθών.
- Το μέγεθος του κομματιού περιορίζεται από την ικανότητα του αγγειοπλάστη, την ποιότητα του τροχού, το πάχος τοιχώματος και το μέγεθος του κλιβάνου. Το πάχος τοιχώματος κυμαίνεται από 5mm για μικρά κομμάτια, έως 25mm.
- Ο κύκλος κατεργασίας είναι μεσαίας διάρκειας, και εξαρτάται από το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του κομματιού. Για παράδειγμα, απλά κομμάτια μπορούν να παραχθούν μέσα σε περίπου 15 λεπτά, ενώ τα ιδιαιτέρως ψηλά και μεγάλα κομμάτια κατασκευάζονται σε στάδια, επιμηκύνοντας τον κύκλο κατεργασίας. Ο χρόνος ψησίματος μπορεί να είναι πολύ μεγάλος και καθορίζεται από το αν τα κομμάτια ψήνονται σε δύο στάδια (biscuit fired – glaze fired), ή αν ψήνονται σε ένα στάδιο.
- Οι εργατικές δαπάνες είναι μέτριες επειδή απαιτείται υψηλού επιπέδου τεχνική ικανότητα από κάθε αγγειοπλάστη που δημιουργεί ακριβή προϊόντα.
- Η διαδικασία αυτή δεν παράγει επιβλαβή παραπροϊόντα. Το παραμικρό απόρριμμα ανακυκλώνεται άμεσα. Η διαδικασία ψησίματος είναι ενεργοβόρα. Επομένως ο κλιβανος γεμίζει εντελώς σε κάθε κύκλο ψησίματος. Το ψήσιμο σε ένα στάδιο μειώνει τις απαιτήσεις σε ενέργεια.

#### Διαδικασία:

Στο στάδιο 1 για τον τροχό του αγγειοπλάστη, ο πηλός σχηματίζεται σε μια μηχανή ανάμειχης. Η διαδικασία αυτή έχει 2 βασικές λειτουργίες: αναμιγνύει πολύ καλά και προετοιμάζει τον πηλό, και απομακρύνει ορισμένους από τους θύλακες αέρα. Κάποιες

## Αγγειοπλαστική (Clay Throwing)



Στάδιο 1: Γέμισμα μύλου

Στάδιο 2: Πλάσιμο

πηλό κάθετα από το πάνω μέρος, δημιουργώντας έναν κύλινδρο με ομοιόμορφο πάχος τοιχωμάτων. Η αγγειοπλαστική (Clay throwing) θα πρέπει πάντα να ξεκινάει με αυτόν τον τρόπο, ώστε να εξασφαλιστεί το ομοιόμορφο πάχος τοιχωμάτων και να κατανεμηθεί η πίεση, αν και το σχήμα μπορεί ακολούθως να μεταμορφωθεί σε διάφορες γεωμετρίες.

Η βάση με τον πηλό απομακρύνονται έπειτα από τον τροχό, και ψήνονται μαζί για 1 ώρα ή έως ότου ο πηλός είναι σκληρός σαν “δέρμα”. Η θερμοκρασία και οι συνθήκες του περιβάλλοντος επηρεάζουν τον χρόνο που απαιτεί ο πηλός για να στεγνώσει. Σε αυτό το σημείο το κομμάτι καθαρίζεται από τα περιττά στοιχεία, και συναρμολογούνται τα διάφορα κομμάτια όπως πόδια, χερούλια ή στηρίγματα.

Η διαδικασία ψησίματος διεξάγεται με διπλό ή μονό ψήσιμο. Κομμάτια με εκλεπτυσμένα χαρακτηριστικά, όπως φλιτζάνια με χερούλια, πρώτα ψήνονται ελαφρώς (biscuit fired) ώστε να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος σπασίματος κατά την διάρκεια του τελικού ψησίματος (glaze firing). Το υγρό γυαλιστικό «σμάλτο» (glaze) εφαρμόζεται πριν το τελικό ψήσιμο. Το πηλίνο κομμάτι τοποθετείται στον κλίβανο για το τελικό ψήσιμο στους  $1700^{\circ}\text{C}$  ( $3092^{\circ}\text{F}$ ) για 8-12 ώρες, μετά το πέρας των οποίων απομακρύνεται από τον κλίβανο.

### 3.2.2 Χύτευση υγρών μειγμάτων κεραμικών - Slip Casting

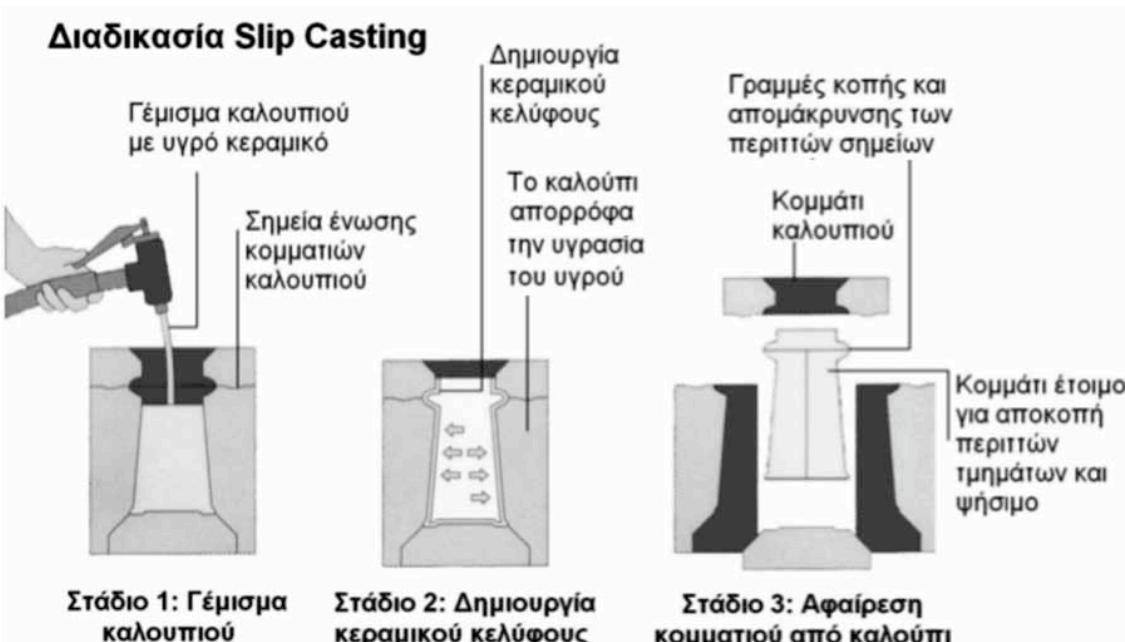
Η διαδικασία παραγωγής κεραμικών με **Slip Casting** είναι ιδανική για την κατασκευή πολλαπλών παρόμοιων προϊόντων. Μια μόνιμη γύψινη φόρμα παράγει μέχρι 50 κομμάτια έως ότου χρειαστεί να αντικατασταθεί, ενώ οι αυτοματοποιημένες slip casting τεχνικές παράγουν πολλές χιλιάδες κομμάτια. Πολυάριθμα οικιακά αντικείμενα και επιτραπέζια σκεύη παράγονται με αυτή τη διαδικασία.

μηχανές ανάμειξης είναι εξοπλισμένες με μια αντλία κενού για την απομάκρυνση ακόμη περισσότερου αέρα. Ο εφοδιασμός γίνεται συνήθως στην αρχή της μέρας, για περίπου 1 ώρα, ώστε να παραχθεί αρκετή ποσότητα πηλού για την υπόλοιπη ημέρα. Προτού ξεκινήσει η κατεργασία ο πηλός δουλεύεται με το χέρι ώστε το μήγμα να αποκτήσει την απαραίτητη συνοχή.

**Στο στάδιο 2**, η προκαθορισμένη ποσότητα πηλού τοποθετείται σε μία βάση, η οποία με την σειρά της τοποθετείται στον τροχό. Ο πηλός κεντράρεται στον περιστρεφόμενο τροχό, ο οποίος τροφοδοτείται από έναν ηλεκτρικό κινητήρα αλλά μπορεί να κινηθεί και με το πόδι.

Καθώς ο τροχός περιστρέφεται, ο μύλος σταδιακά ρίχνει τον

Εφαρμογές	Κόστη	Παραγωγή	Ποιότητα
Κουζινικά, επιτραπέζια είδη, είδη υγιεινής, φωτισμός κτλ.	Χαμηλές δαπάνες σε καλούπια. Μεσαίο έως υψηλό κόστος μονάδος	Μικρή παραγωγή. Κύκλος κατεργασίας (20 λεπτά - 4 ώρες), ανάλογα με το μέγεθος και την πολυπλοκότητα, Χρόνος ψησίματος (μέχρι 48 ώρες)	Ποιότητα επιφάνειας καθορισμένη από το καλούπι, τη στίλβωση (σμάλτο) και την ικανότητα του χειριστή



#### Περιγραφή Διαδικασίας Slip Casting:

- Στο **στάδιο 1**, καθαρίζεται το καλούπι από τυχόν υπολείμματα της προηγούμενης διαδικασίας. Για πολύπλοκα καλούπια και μικρές λεπτομέρειες χρησιμοποιείται λεπτή σκόνη για υποβοήθηση του ανοίγματος των καλουπιών. Τα καλούπια στερεώνονται μεταξύ τους καλά μια και η εσωτερική πίεση είναι μεγάλη (το μήγμα είναι δύο φορές το βάρος του νερού). Το μήγμα χύτευσης (slip) προετοιμάζεται με την ανάμειξη πηλού, άλατος, άνυδρου ανθρακικού νατρίου και νερού. Η συνοχή μίγματος χύτευσης (slip) είναι βασική για την επιτυχία του χυτού. Το καλούπι γεμίζει με μίγμα χύτευσης (slip) και αφήνεται για 5 με 25 λεπτά. Ο χρόνος παραμονής του μίγματος χύτευσης (slip) στο καλούπι και η θερμοκρασία περιβάλλοντος καθορίζει το πάχος του τοιχώματος.
- Στο **στάδιο 2**, το πήλινο καλούπι απορροφά την υγρασία από το μίγμα χύτευσης (slip), προκαλώντας κομμάτια πηλού να μαζευτούν γύρω από τα τοιχώματα του καλουπιού και έτσι δημιουργείται μια κεραμική επίστρωση – κέλυφος (shell). Μόλις επιτευχθεί το ιδανικό πάχος τοιχώματος το μίγμα χύτευσης (slip) στραγγίζεται (ή χύνεται) από το καλούπι. Το καλούπι αφήνεται για 1 έως 24 ώρες ώστε να διασφαλιστεί ότι το περιβλήμα είναι επαρκώς σκληρό (σαν δέρμα) ώστε να απομακρυνθεί από το καλούπι.
- Στο **στάδιο 3**, το χυτό απομακρύνεται προσεκτικά από το καλούπι και καθαρίζεται από μικρές ανωμαλίες (όπως flash). Τα επόμενα στάδια της διαδικασίας εξαρτώνται από την κατεργασία της επιφάνειας που θα ακολουθήσει. Τα κομμάτια αφήνονται να στεγνώσουν στον αέρα έτσι ώστε να υποστηρίζουν τον εαυτό τους (self-supporting) και να αντέχουν την κατεργασία με τα χέρια. Ο χρόνος καθορίζεται από τις περιβαλλοντικές συνθήκες, και αυτό γιατί σε ένα ζεστό περιβάλλον ο πηλός θα ξεραθεί γρηγορότερα. Ακολουθεί κόψιμο, συναρμολόγηση και σφουγγάρισμα, και εν συνεχείᾳ τα κομμάτια παραμένουν στον αέρα για ξήρανση έως ότου το χρώμα του κεραμικού γίνει προς το

λευκό, γνωστό ως 'greenware'. Τα κομμάτια είναι τότε έτοιμα να ψηθούν πάλι (*biscuit fired*), ώστε να αφαιρεθεί εντελώς η υγρασία. Αυτό γίνεται σε ένα ξηραντήριο για 8 ώρες. Η θερμοκρασία των κομματιών ανεβαίνει στους 1125°C (2057°F) και διατηρείται εκεί για μια ώρα προτού αρχίσουν να ψύχονται σταδιακά.

- Μετά το πρώτο ψήσιμο γίνονται όλες οι υπόλοιπες διαδικασίες επεξεργασίας της επιφάνειας όπως διακόσμηση με το χέρι ή τοποθέτηση σμάλτου κλπ. Το αντικείμενο ('*biscuitware*') ψήνεται πάλι με τον ίδιο τρόπο (*biscuit firing*). Όταν τα έτοιμα κεραμικά αφαιρούνται από τον φούρνο είναι σκληρά και αδιάβροχα.

*Εικ. δεξιά: Γύψινο καλούπι και σκεύος πορσελάνης πριν το ψήσιμο.*



#### Χαρακτηριστικά - Περιορισμοί:

- Ο πηλός κεραμικής (γνωστός ως slurry) είναι ένα πολύ λεπτο-τριμμένο (μέγεθος σκόνης περίπου 1 micron) μείγμα πηλού, ορυκτών, παραγόντων διασκόρπισης και νερού. Παραδοσιακά, ο τύπος του κεραμικού πηλού καθορίζονταν από τη τοποθεσία του εργοστασίου που χρησιμοποιούσε τον τοπικό πηλό στην διαδικασία.
- Pottery είναι ο γενικός όρος που χρησιμοποιείται για να περιγράψει τα κεραμικά υλικά που είναι κατάλληλα για slip casting. Γνωστοί τύποι υλικών pottery περιλαμβάνουν earthenware, terracotta (χαρακτηριστικά κοκκινο-πορτοκαλί χρώματος που αλλάζει από χώρα σε χώρα), creamware (τύπος κεραμικού που παράγεται από άσπρο πηλό Κορνουάλλης με διάφανο σμάλτο), stoneware και πορσελάνη (porcelain). Earthenware, terracotta και creamware είναι τα πιο πορώδη και γι' αυτό πρέπει να στιλβώνονται για την στεγανοποίηση τους, τα Stoneware και η πορσελάνη, από την άλλη, έχουν πολύ καλύτερες μηχανικές ιδιότητες, αν και είναι επίσης πολύ εύθραυστα. Ο πηλός αναμιγνύεται με νερό και διάφορα ορυκτά δημιουργώντας διάφορα κεραμικά slips. Άλλες ουσίες (Deflocculants) προστίθενται στο slip για να μειωθεί η ποσότητα του νερού που απαιτείται για τη ρευστοποίηση του. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στην διαδικασία slip casting είναι γενικά πολύ εύθραυστα και πορώδη, το οποίο σημαίνει ότι δεν είναι πολύ ανθεκτικά και τείνουν να σπάνε παρά να παραμορφώνονται υπό πίεση.
- Αυτή η διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή μιας ποικιλίας τόσο απλών όσο και τρισδιάστατων πολύπλοκων επιφανειών και κοίλων αντικειμένων. Οι απλές μορφές μπορούν να χυτευτούν (slip cast) σε μια διαδικασία, δίχως καμία συναρμολόγηση: για παράδειγμα, μια κωνική ή ίσιων επιφανειών κανάτα με λαβή και στόμιο εκροής μπορεί να μορφοποιηθεί σαν ένα κομμάτι/μέρος. Σε αντίθεση, αντικείμενα με undercuts ή άλλες περίπλοκες λεπτομέρειες, πιθανών να απαιτούν μορφοποίηση σε πολλά κομμάτια και εν συνεχείᾳ τη συναρμολόγηση τους, ή μορφοποίηση σε ένα πολλαπλό καλούπι. Οι διαδικασίες συναρμολόγησης είναι προτιμότερο να αποφεύγονται εξαιτίας του κόστους, αλλά ορισμένες φορές είναι αναπόφευκτες. Είναι πολύ σημαντικό το προϊόν να σχεδιάζεται λαμβάνοντας υπ' όψιν τη διαδικασία.
- Η slip casting διαδικασία βασίζεται σε ένα πορώδες κεραμικό καλούπι το οποίο απορροφά την υγρασία από το slip με "τριχοειδή" τρόπο (capillary action). Το slip πρέπει να είναι στη σωστή πυκνότητα και το κεραμικό καλούπι επαρκώς στεγνό ώστε να δουλεύουν αρμονικά. Ο σχεδιασμός και η κατασκευή του κεραμικού καλουπτιού έχει

αντίκτυπο στη ποιότητα της διαδικασίας slip casting. Τα κεραμικά καλούπια κατασκευάζονται απευθείας από το πρωτότυπο, το οποίο κατασκευάζεται από πηλό, ξύλο, καουτσούκ ή άλλα υλικά μακέτας. Οι διαχωριστικές γραμμές του καλουπιού (parting lines) καθορίζονται με προσοχή για να βελτιωθεί η παραγωγικότητα και να μειωθούν οι διαδικασίες συναρμολόγησης.

- Η συρρίκνωση κυμαίνεται περίπου στο 8%, αλλά εξαρτάται από τον τύπο του υλικού. Οι γωνίες δεν αποτελούν πρόβλημα λόγο του ότι τα καλούπια είναι κοίλα εσωτερικά.
- Το μέγεθος του κομματιού που μπορεί να παραχθεί με slip casting περιορίζεται για πρακτικούς λόγους όπως το βάρος και το πόσο εύθραυστο είναι το υλικό. Ωστόσο, τα μεγάλα κομμάτια, όπως οι μπανιέρες, μπορούν να κατασκευαστούν με ceramic slip casting.
- Το γύψινο καλούπι συνήθως παράγεται από καουτσούκ ή πηλό, και απαιτεί πολύ μεγάλη ικανότητα για τη κατασκευή του. Πρέπει να κατασκευάζονται όχι μόνο για να εξαλείφουν τα undercuts, αλλά και να περιέχουν επίσης το μικρότερο αριθμό κομματιών. Ιδανικά τα καλούπια γύψου αποτελούνται από 2-3 μέρη για να λογικοί οι χρόνοι της διαδικασίας.
- Οι εργατικές δαπάνες είναι μέτριες ως υψηλές λόγο του απαιτούμενου επιπέδου εξειδίκευσης, και μπορεί να είναι ιδιαιτέρως υψηλές στα χειροποίητα κομμάτια.
- Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας slip casting το 15% της πρώτης ύλης απορρίπτεται. Το περισσότερο μπορεί να ανακυκλωθεί απευθείας σαν slip. Ωστόσο, εάν τα κομμάτια έχουν ψηθεί τότε το κεραμικό πταύει να είναι κατάλληλο για ανακύκλωση. Δεν υπάρχουν επιβλαβή παραπροϊόντα από αυτές τις διαδικασίες. Η διαδικασία ψησίματος είναι ενεργοβόρα.

### 3.2.3 Χύτευση κεραμικών με πίεση (Press Molding Ceramics)

Στη διαδικασία αυτή, ο πηλός οδηγείται στις επίπεδες επιφάνειες με τη βοήθεια μόνιμων καλουπιών. Τα κομμάτια συμπίεζονται ώστε να έχουν ομοιόμορφο πάχος τοιχωμάτων. Η **χύτευση κεραμικών με πίεση (Press molding)** χρησιμοποιείται συχνά για την μαζική παραγωγή δημοφιλών κεραμικών μαχαιροπήρουνων και κεραμιδιών. Οι δύο κύριες τεχνικές που χρησιμοποιούνται για την συμπίεση των κεραμικών είναι η jiggering (γνωστή και ως jolleying στην περίπτωση που το καλούπι είναι περισσότερο σε επαφή με την εξωτερική επιφάνεια του κομματιού παρά με την εσωτερική) και η Συμπίεση σε καλούπι (Ram pressing). Αν και οι δύο αυτές διαδικασίες μπορούν να είναι αυτοματοποιημένες, οι jiggering και jolleying συνήθως διεξάγονται χειροκίνητα και μόνο σε σχήματα συμμετρικά ως προς τον άξονα περιστροφής τους. Η Συμπίεση σε καλούπι (Ram pressing), μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή μη συμμετρικών αντικειμένων όπως οιβάλ, τετραγωνικά, τριγωνικά και ακανόνιστα.

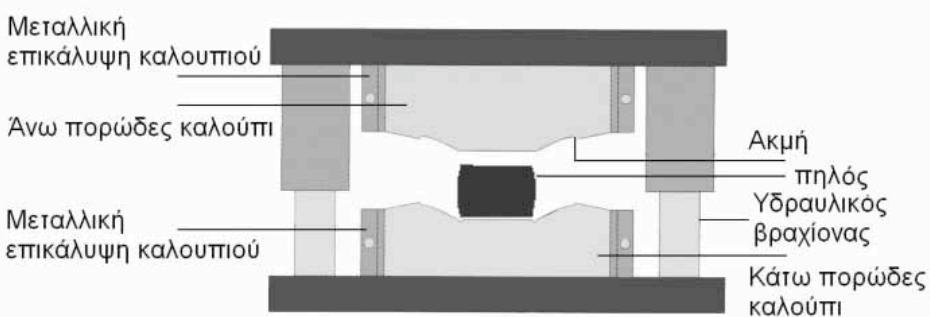
Εφαρμογές	Κόστη	Παραγωγή	Ποιότητα
Κουζινικά, επιτραπέζια είδη, νεροχύτες, λεκάνες, κεραμίδια, πλακάκια κτλ.	Χαμηλές - μέτριες δαπάνες σε καλούπια. Χαμηλό - μέτριο κόστος μονάδος	Μικρή - μεγάλη παραγωγή. Γρήγορος κύκλος κατεργασίας (1-6 ανά λεπτό), ανάλογα με το επίπεδο αυτοματισμού. Χρόνος ψησίματος (μέχρι 48 ώρες)	Υψηλής ποιότητας τελική επιφάνεια

#### 1. Συμπίεση σε καλούπι (Ram pressing)

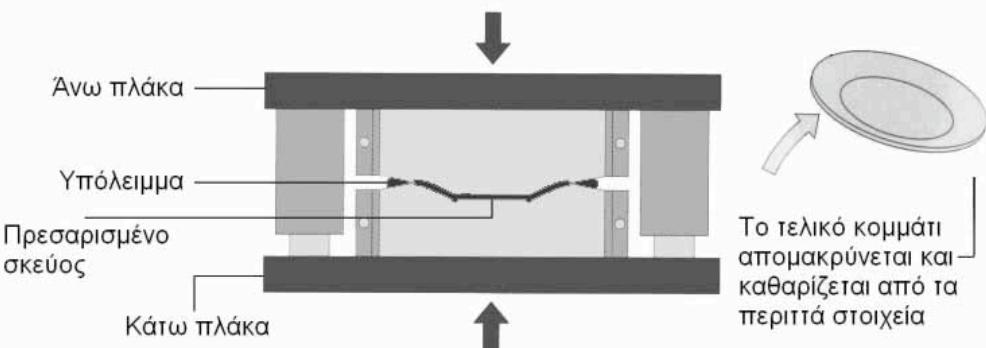
- Ο πηλός που χρησιμοποιείται στην Συμπίεση σε καλούπι (Ram pressing), πρέπει να είναι ελαφρώς πιο σκληρός από αυτόν που χρησιμοποιείται στην jiggering. Μετρημένες ποσότητες αναμιγμένου πηλού βγαίνουν από την μηχανή ανάμιξης.

- Οι ποσότητες αυτές του πηλού τοποθετούνται πάνω στο χαμηλότερη κοιλότητα του καλουπιού και τα δύο μισά του καλουπιού ενώνονται. Η πίεση εξαναγκάζει τον πηλό να ρέει πλαστικά διαμέσου της κοιλότητας του καλουπιού και να ξεχειλίζει από τις άκρες. Το περιττό υλικό κόβεται καθώς ενώνονται τα καλούπια και έρχονται σε επαφή οι άκρες από τις κοιλότητες των καλουπιών.
- Τα καλούπια χωρίζονται και το περιττό υλικό απομακρύνεται γρήγορα και επαναχρησιμοποιείται. Τα πήλινα κομμάτια εκτινάσσονται άμεσα με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα, ο οποίος οδηγείται μέσα από τους πόρους του καλουπιού.
- Τα κομμάτια είναι αρκετά σκληρά μόλις βγουν από το καλούπι επειδή η διαδικασία Συμπίεση σε καλούπι (Ram pressing), αφυδατώνει τον πηλό κατά τη διάρκεια του κύκλου συμπίεσης, και τον σκληραίνει επαρκώς για ψήσιμο (biscuit firing). Τα προϊόντα της διαδικασίας αυτής δέχονται το γυάλισμα και άλλες διακοσμήσεις πολύ καλά, καθώς η επιφάνεια τους είναι ομοιογενής και συμπιεσμένη.

### Διαδικασία Συμπίεσης σε καλούπι (Ram Pressing)



**Στάδιο 1: Άνοιγμα καλουπιού, απομάκρυνση κατεργασμένου κομματιού και τοποθέτηση ακατέργαστου**

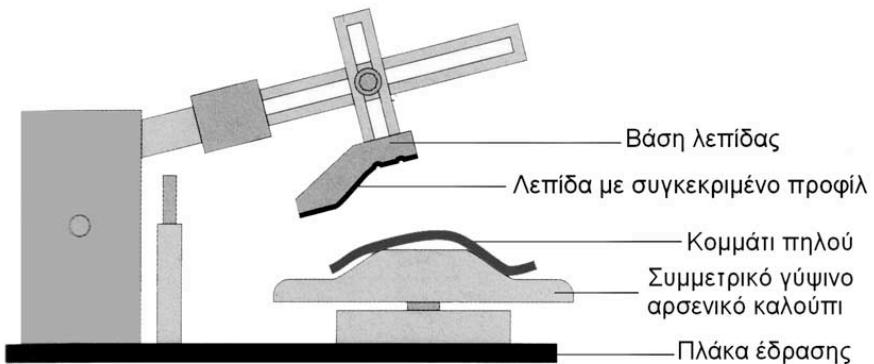


**Στάδιο 2: Κλείσιμο καλουπιού**

## 2. Περιστροφική Σφράγιση - Jigging / Jolleying

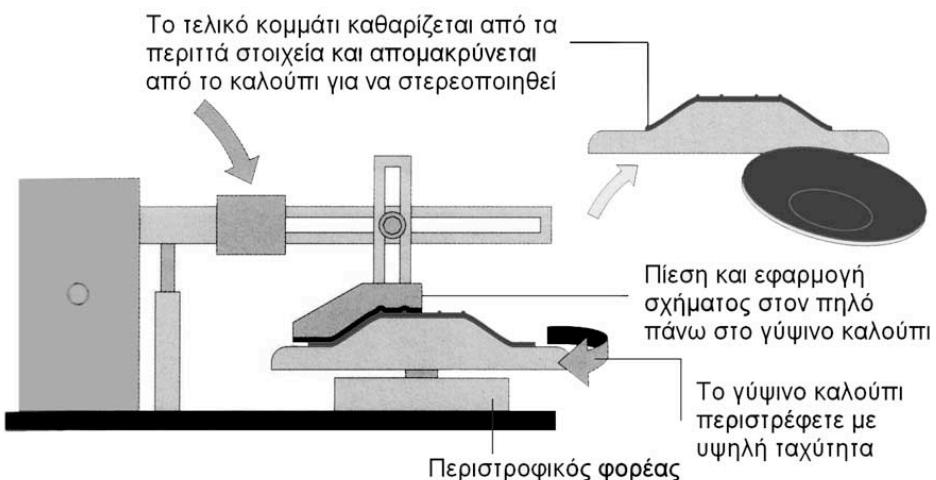
- Ένα γύψινο 'αρσενικό' καλούπι χρησιμοποιείται στην διαδικασία jigging και ένα 'θηλυκό' στην διαδικασία jolleying.
- Στο στάδιο 1, το καλούπι προσαρμόζεται σε μία μεταλλική βάση η οποία συνδέεται με ηλεκτροκινητήρα που την περιστρέφει με υψηλή ταχύτητα. Μια ποσότητα αναμιγμένου πηλού τοποθετείται στο καθαρό καλούπι.
- Στο στάδιο 2, καθώς το καλούπι με τον πηλό περιστρέφονται, ο jigging βραχίονας κατεβαίνει προς τον πηλό. Ένα εργαλείο διαμόρφωσης του προφίλ (profiled former) με ένα μαχαίρι μορφοποίησης, το οποίο διαφέρει για κάθε σχήμα καλουπιού, εξαναγκάζει τον πηλό να πάρει την μορφή του περιστροφικά συμμετρικού καλουπιού. Το εργαλείο

διαμόρφωσης του προφίλ (profiled former) καθορίζει την μία πλευρά του πήλινου κομματιού και το καλούπι καθορίζει την άλλη. Η διαδικασία είναι πολύ γρήγορη και



Στάδιο 1: Άνοιγμα φόρμας, απομάκρυνση κατεργασμένου κομματιού και τοποθέτηση ακατέργαστου

### Διαδικασία Περιστροφικής Σφράγισης (Jigging Process)



Στάδιο 2: Κλείσιμο φόρμας

διαρκεί λιγότερο από ένα λεπτό.

- Μόλις ολοκληρωθεί το τελικό σχήμα και κοπούν τα περιττά μέρη από τις άκρες του, το καλούπι με τον πηλό απομακρύνονται από την μεταλλική βάση. Το πήλινο κομμάτι παραμένει στο καλούπι έως ότου γίνει επαρκώς στεγνό (ή πράσινο - 'green') για να αφαιρεθεί. Εάν το κομμάτι ξεφορμαριστεί αμέσως θα παραμορφωθεί επειδή ο πηλός είναι ακόμη πολύ μαλακός. Ο απαιτούμενος χρόνος καθορίζεται από τη θερμοκρασία και τις συνθήκες του περιβάλλοντος: ζεστό περιβάλλον θα ξηράνει τον πηλό γρηγορότερα. Στην περίπτωση που απαιτούνται επιπλέον κατεργασίες, όπως τρύπημα ή συναρμολόγηση, τότε το πήλινο κομμάτι μεταφέρεται σε ένα 'θηλυκό' καλούπι υποστήριξης.

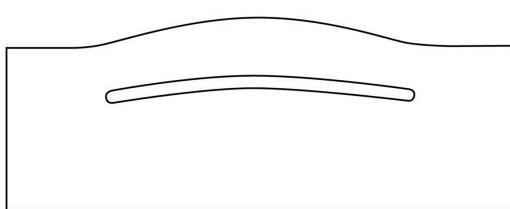
### 3.3 Γυαλί

Το γυαλί, παρόλο που ανήκει στη γενικότερη οικογένεια των κεραμικών, θα το μελετήσουμε ξεχωριστά λόγω των ιδιαίτερων χαρακτηριστικών και χρήσεών του.

Το γυαλί κατασκευάζεται κυρίως από άμμο πυριτίου, ασβεστόλιθο, και ανθρακικό άλας καλίου ή νάτριο (silica sand, lime, + sodium or potassium carbonate) και άλλα υλικά σε μικρότερες ποσότητες. Το γυαλί υπάρχει πολύ πριν από την εξέλιξη της ζωής στη Γη σε τρείς φυσικές μορφές:

α. Τεκτίτης, που δημιουργείται από την σύγκρουση μετεωριτών στην επιφάνεια της Γης, β. Φουλγουρίτης (Fulgurites), που δημιουργείται όταν κεραυνοί χτυπούν αμμώδεις επιφάνειες και γ. ηφαιστειώδες γυαλί όπως ο Βασάλτης και Οψιδιανός (obsidian). Ο Οψιδιανός χρησιμοποιήθηκε στους πρό-Κολομβιανούς πολιτισμούς.

Η κατασκευή γυάλινων αντικειμένων ανακαλύφτηκε από τους Αιγύπτιους (4000 Π.Χ.) και μετά οι Ρωμαίοι αντί να εισάγουν από την Αίγυπτο, έφτιαξαν τα πρώτα εργαστήρια γυαλιού στη Ρώμη. Αργότερα η Βενετία έγινε η πρωτεύουσα του γυαλιού στην Ευρώπη παρόλο που έχασε κομμάτι της υπεροχής της τον 16ο αιώνα Μ.Χ. όταν πόλεις όπως η Πράγα εξέλιξαν τα περίτεχνα χαραγμένα γυαλιά Βοημίας. Παρόλα αυτά στη Βενετία κατασκευάστηκαν τα πρώτα διαφανή γυαλιά για παράθυρα στο τέλος του 15ου αιώνα. Η βιομηχανική παραγωγή του γυαλιού ξεκίνησε στην Αγγλία τον 17ο αιώνα, το οποίο οδήγησε και σε άλλες βελτιώσεις στην ποιότητα και καθαρότητα του γυαλιού.



Εικόνα αριστερά: **καρέκλα Ghost**, σχεδιαστές Cini Boeri και Tomo Katanayagi, εταιρεία FIAM, Ιταλία 1987.

Επάνω βλεπουμε το σχήμα του γυαλιού που κόπηκε πριν θερμανθεί και μορφοποιηθεί σε κατάλληλα καλούπια.



Δεξιά: το τελικό προιόν.

#### Σημαντικές εξελίξεις στην τεχνολογία του γυαλιού:

- Το 1903 ο Edouard Benedictus ανακάλυψε το προιόν με το εμπορικό όνομα “Triplex” που ήταν ένα σάντουιτς από δύο επιφάνειες γυαλιού και μια στρώση συγκολλητικής ουσίας στη μέση (cellulose acetate).
- Το 1915 οι E.Sullivan και W.Taylor της Corning Glass Works (ΗΠΑ) κατασκεύασαν το πρώτο PYREX γυαλί για χρήση στον φούρνο της κουζίνας.
- Το 1965 ανακαλύφτηκε η χημική επεξεργασία ενδυνάμωσης του γυαλιού και αύξησης της αντοχής του σε κρούση από τέσσερεις μέχρι και δέκα φορές (chemical tempering) που αντικατέστησε την μέχρι τότε θερμική επεξεργασία του με απότομη ψύξη της επιφάνειάς του με αέρα (tempering).
- Το 1968 ο καναδός Norman Franz ανακάλυψε την κοπή με συμπιεσμένο νερό (water-jet cutting) που εφαρμόστηκε σε διάφορα υλικά και στη δεκαετία του 1980 χρησιμοποιήθηκε αρκετά στην κοπή κομματιών γυαλιού και δημιουργίας επίπλων, όπως η καρέκλα Ghost (βλ. προηγούμενη σελίδα).
- Οι λάμπες ηλεκτρισμού παράγονται σε μια μηχανή που μετατρέπει μια λωρίδα γυαλιού σε περίπου 10.000 λάμπες την ώρα.
- Το Φωτο-χρωμικό γυαλί αλλάζει χρώμα όταν πέφτει UV ακτινοβολία επάνω του.

- Το Φωτο-ευαίσθητο γυαλί θαμπώνει όταν πέφτει UV ακτινοβολία επάνω του ή όταν θερμαίνεται.
- Η προσθήκη Φθορίου ή Θείου σε διάφορα ποσοστά μας δίνει από σχεδόν διαφανές μέχρι άσπρο (γαλακτερό) χρώμα.
- Με μια ασημένια επίστρωση στην μια επιφάνειά του επιτυνχάνεται μια 100% αντανάκλαση του φωτός (ο καθρέπτης).
- Η προσθήκη μεταλλικών οξέων παράγει έγχρωμο γυαλί. Το νικέλιο δίνει μια μώβ απόχρωση, το κοβάλτιο μια μπλέ απόχρωση κ.ο.κ.



*Εικόνα αριστερά: Litracon, τούβλα από τοιμέντο και οπτικές ίνες που επιτρέπουν στο φώς να μπει σε ένα δωμάτιο χωρίς παράθυρα, εταιρία Litracon, Γερμανία.*

Τώρα πλέον, προιόντα από γυαλί χρησιμοποιούνται παντού γύρω μας. Ίνες γυαλιού χρησιμοποιούνται σε σύγχρονα σύνθετα υλικά, σε υφάσματα και οπτικές ίνες. Οι βελτιώσεις σε συγκολλητικές ουσίες επιτρέπουν τη συγκόλληση γυαλιού με γυαλί και άλλα υλικά. Με τόσες βελτιώσεις και νέες εφαρμογές καθημερινά, το μέλλον του γυαλιού είναι λαμπρό!

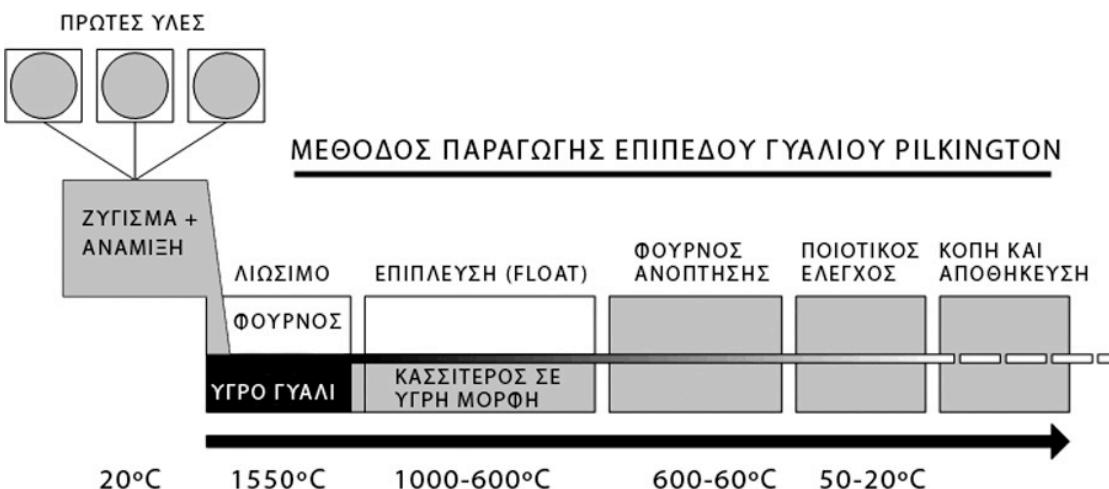
#### Παραδείγματα μεθόδων παραγωγής γυάλινων προϊόντων:

Το γυαλί μορφοποιείται χρησιμοποιώντας θερμότητα (στο πλαστικό ή υγρό στάδιο του) με πρεσσάρισμα, με εμφύσηση αέρα (με ή χωρίς καλούπια), περιστροφική χύτευση, θέρμανση σε καλούπι, διέλαση κτλ. και πρέπει να κριώσει με ελεγχόμενο ρυθμό έτσι ώστε να αποφευχθούν οι εσωτερικές τάσεις του. Μερικά παραδείγματα παραγωγής βλέπουμε πιο κάτω:

##### 3.3.1 Μέθοδος παραγωγής επίπεδου γυαλιού Pilkington (για παράθυρα κτλ.)

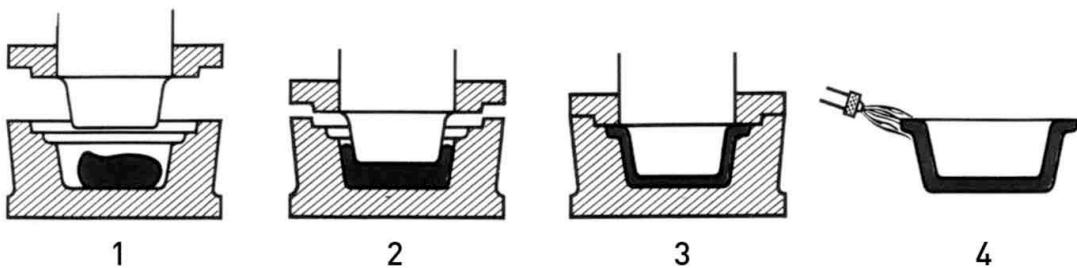
###### Float Glass Rolling Process

σχεδιάγραμμα κάτω:



Οι πρώτες ύλες αναμιγνύονται στις σωστές αναλογίες και προωθούνται στο φούρνο όπου λιώνουν σε θερμοκρασίες 1550-1600°C και δημιουργούν το υγρό γυαλί. Το υγρό γυαλί, στην συνέχεια, επιπλέει σε ένα "μπάνιο" θερμού κασσίτερου σε υγρή μορφή (FLOAT), όπου αποκτά λεία επιφάνεια, το επιθυμητό πάχος (με μηχανική υποβοήθηση) και παράλληλα ψύχεται. Σε θερμοκρασία 600°C εισέρχεται στον φούρνο Ανόπτησης όπου γίνεται ελεγχόμενη ψύξη του γυαλιού στους 60°C για να αποφευχθούν εσωτερικές τάσεις (οι οποίες καθιστούν το γυαλί πολύ εύθραυστο). Τότε το γυαλί παιρνάει από ποιοτικό έλεγχο όπου ελέγχεται με Οπτικούς Σαρωτές για ατέλειες (οι οποίες στο στάδιο της κοπής απομακρύνονται) και τέλος το γυαλί κόβεται στις επιθυμητές διαστάσεις και αποθηκεύεται.

### 3.3.2 Παραγωγή αντικειμένου με πίεση σε μονό καλούπτι



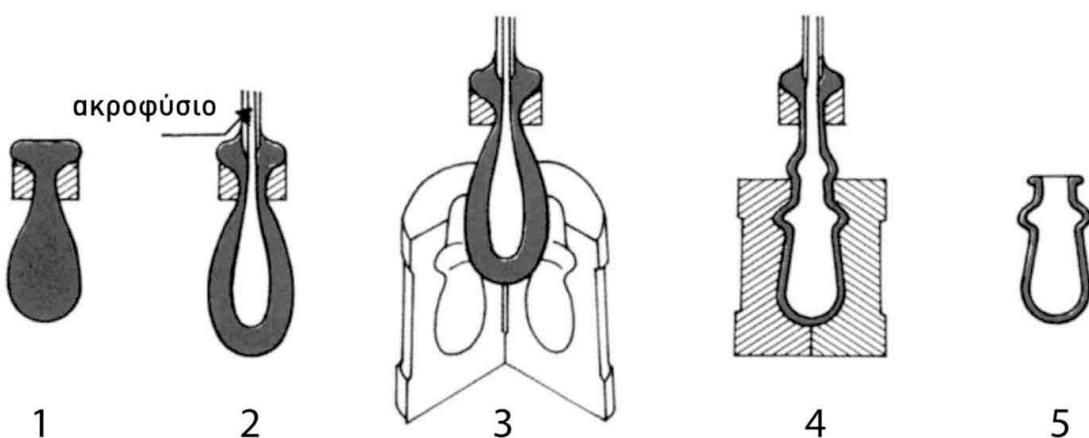
σχεδιάγραμμα διαδικασίας - επάνω

- Βάζουμε ένα κομμάτι υγρού γυαλιού (με το ίδιο βάρος όπως το τελικό προιόν) στον πάτο του καλουπτιού (το οποίο έχει θερμανθεί). Το γυαλί πρέπει να πιεστεί για να πάρει την μορφή του καλουπτιού.
- Το έμβολο (με ένα δαχτυλίδι που σφραγίζει το καλούπτι) κατεβαίνει και πιέζει το υγρό γυαλί να γεμίσει το καλούπτι καθώς ο αέρας διαφεύγει από την επάνω ένωση.
- Το έμβολο σταματάει από την πίεση του υγρού γυαλιού που "παγιδεύτηκε" μέσα στο καλούπτι. Οποιαδήποτε διαφορά στο αρχικό βάρος μεταφράζεται σε διαφορά στο πάχος του τοιχώματος του γυάλινου προιόντος. Το γυαλί μένει στο καλούπτι μέχρι να ψυχθεί αρκετά έτσι ώστε να είναι δυνατή η αφαίρεση του χωρίς να σπάσει.
- Μια απλή διαρροή γυαλιού ανάμεσα στο καλούπτι και το δαχτυλίδι δημιουργεί ατέλειες στο τελικό προιόν. Αυτές οι ατέλειες αφαιρούνται με το φλόγηστρο (το γυαλί λυώνει τοπικά και η ατέλεια εξαφανίζεται).

### 3.3.3 Παραγωγή δοχείου με χειρονακτική εμφύσηση με ή χωρίς καλούπτι (glass blowing)

#### 1. Διαδικασία χειρονακτικής εμφύσησης σε καλούπτι:

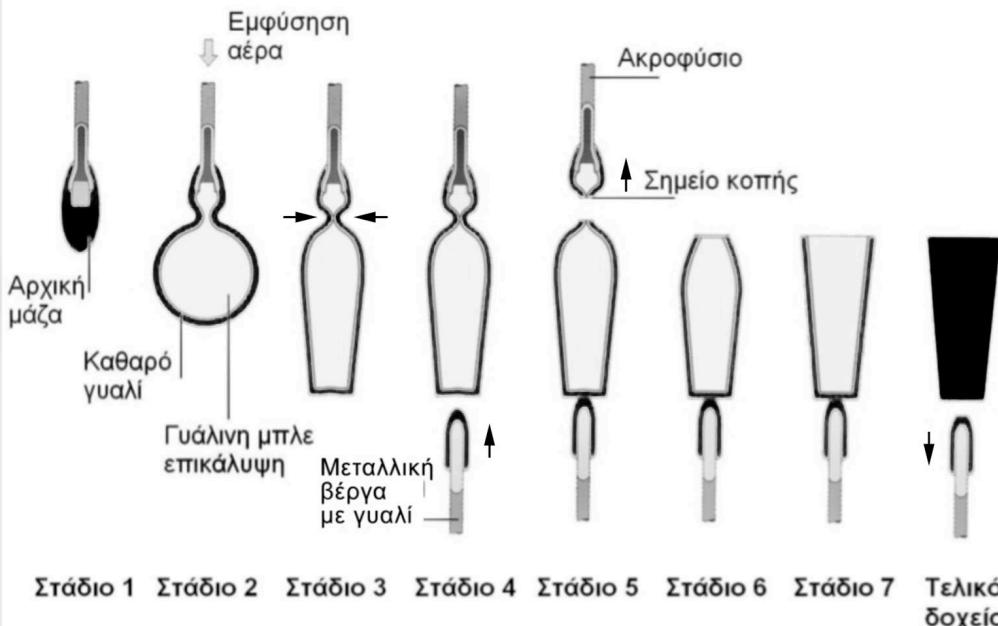
- Πέρνουμε ένα κομμάτι θερμού γυαλιού από το φούρνο.
- Φυσάμε λίγο αέρα μέσα (από το ακροφύσιο)
- Το γυαλί μπαίνει στο καλούπτι
- Συμπιεσμένος αέρας πιέζει το γυαλί και αυτό πταίρνει το σχήμα του καλουπτιού.
- Το τελικό προιόν μετά την κοπή του λαιμού.



διάγραμμα: απλοποιημένη διαδικασία εμφύσησης σε καλούπτι

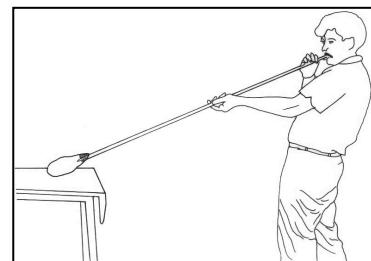
#### 2. Διαδικασία χειρονακτικής εμφύσησης με ή χωρίς καλούπτι (αναλυτικά):

## Διαδικασία χειρονακτικής εμφύσησης γυαλιού (Studio Glassblowing Process)



διάγραμμα: αναλυτική διαδικασία χειρονακτικής εμφύσησης γυαλιού

- Στο **στάδιο 1**, η άκρη του ακροφυσίου προθερμαίνεται σε ένα μικρό κλίβανο, ανεβάζοντας την θερμοκρασία του πάνω από τους  $600^{\circ}\text{C}$ . Μόλις κοκκινίσει από την υψηλή θερμοκρασία ένα μικρό κομμάτι χρωματιστού γυαλιού προσκολλάται στο κάτω μέρος του σωλήνα εμφύσησης. Η μάζα (parison) του ζεστού γυαλιού ζετυλίγεται πάνω σε ένα τραπέζι 'marvering'<sup>2</sup>, το οποίο έχει γυαλισμένη μεταλλική επιφάνεια. Η διαδικασία 'marvering' ξεκινάει τη μορφοποίηση του γυαλιού.
- Στο **στάδιο 2** αέρας εμφυσάτε στο εσωτερικό και κατά διαστήματα εισέρχεται στην 'gloryhole' για να διατηρήσει τη θερμοκρασία του πάνω από  $600^{\circ}\text{C}$  ( $1112^{\circ}\text{F}$ ). Το 'gloryhole' είναι ένας θάλαμος θερμαινόμενος με καύση γκαζού (gas-fired), και χρησιμοποιείται για την διατήρηση του γυαλιού σε θερμοκρασία λειτουργίας
- Στο **στάδιο 3**, ειδικά εργαλεία διαμόρφωσης ή καλούπια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την ακριβή διαμόρφωση του γυαλιού.
- Στο **στάδιο 4**, μεταλλικές λαβίδες (rucellas: sprung metal tongs) χρησιμοποιούνται για την μείωση της διαμέτρου του γυάλινου δοχείου. Πάλι εργαλεία διαμόρφωσης χρησιμοποιούνται για τον έλεγχο της μορφοποίησης του γυαλιού και την επίτευξη ευθύγραμμων πλευρών κτλ., για παράδειγμα. Στο στάδιο 4, το κομμάτι προς επεξεργασία μεταφέρεται πάνω στο punting iron, ή 'punty'. Αυτό είναι μιά μεταλλική βέργα με μιά μικρή μάζα γυαλιού επάνω, το οποίο συνδέεται με τον πάτο του κομματιού για να συνεχιστεί η διαδικασία (ο χειριστής κρατάει το κομμάτι από εκεί).
- Στο στάδιο **5**, το γυάλινο δοχείο διαχωρίζεται από τον σωλήνα εμφύσησης και στα στάδια **6** και **7** διαμορφώνεται από την επάνω μεριά.
- Το τελικό προϊόν τοποθετείται σε έναν ειδικό κλίβανο ανόπτησης (annealing). Ανόπτηση (annealing) είναι η διαδικασία σταδιακής ψύξης του γυαλιού για παρατεταμένη περίοδο. Η



<sup>2</sup> **Marvering** is the pre-shaping of the glass gathered on the pre-heated end of the blowing iron. This pre-shaping is carried out by rolling the glass backwards and forwards across a marvering table (or marver plate), adjusting the angle of the blowing iron to give the approximate shape desired.

Διαδικασία αυτή είναι βασική λόγω των τάσεων που αναπτύσσονται σε γυαλιά με διαφορετικό πάχος τοιχωμάτων, όταν ψύχονται με διαφορετικούς ρυθμούς προκαλώντας τον θρυμματισμό τους. Η διαδικασία ανόπτησης μειώνει σταδιακά αυτές τις τάσεις.

### 3.3.4 Παραγωγή δοχείου με μηχανοποιημένη εμφύσησης σε καλούπι

Η διαδικασία μηχανοποιημένης παραγωγής γυάλινων δοχείων ξεκινάει στο τμήμα ανάμιξης, όπου αναμιγνύονται τα ακατέργαστα υλικά. Σε αυτό το στάδιο είτε γίνεται ο χρωματισμός με πρόσθετα, ή προστίθεται αποχρωστική ουσία δημιουργώντας καθαρό γυαλί. Τοποθετούνται μέσα σε ένα φούρνο λιωσίματος γυαλιού μαζί με ρινίσματα γυαλιού στους  $1500^{\circ}\text{C}$  όπου τίκονται σχηματίζοντας μια ομογενοποιημένη λιωμένη μάζα. Το γυαλί αποσπάται (drawn) από το φούρνο και προετοιμάζεται (ψύχεται σταδιακά) στη θερμοκρασία κατεργασίας, περίπου, στους  $1150^{\circ}\text{C}$ . Η διαδικασία αυτή διαρκεί 24 ώρες.

Το προετοιμασμένο γυαλί ρέει από τον πάτο του forehearth<sup>3</sup> και κόβεται σε σταγόνες (gobs). Αυτές οδηγούνται σε μία μηχανή δημιουργίας μπουκαλιών. Υπάρχουν 2 διαφορετικοί μέθοδοι που χρησιμοποιούνται, είτε **πίεση και εμφύσηση** (press and blow molding) ή **εμφύσηση και εμφύσηση** (blow and blow molding). Οι διαδικασίες είναι σε γενικές γραμμές ίδιες, με τη διαφορά ότι η προσχηματισμένη μάζα γυαλιού (parison) συμπιέζεται ή εμφυσείται.

#### 1. Η μέθοδος πίεσης και εμφύσησης (Press and Blow Molding)

Είναι για βάζα με ανοιχτό λαιμό, σε αντίθεση με την μέθοδο εμφύσησης με εμφύσηση η οποία χρησιμοποιείται για δοχεία (containers) με στενό λαιμό.

Στο στάδιο 1, η μάζα λιωμένου γυαλιού οδηγείται μέσα στο καλούπι.

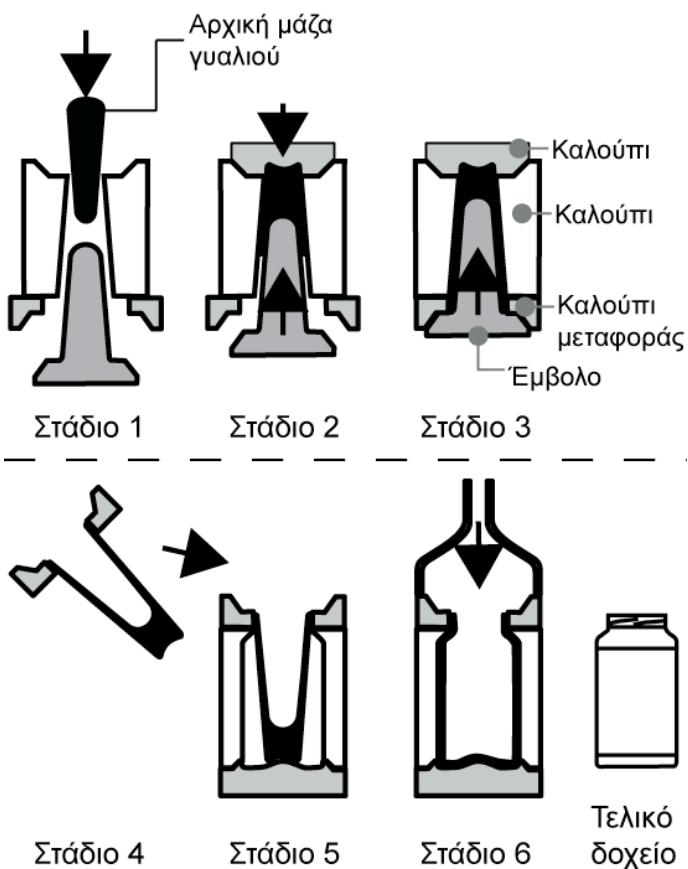
Στο στάδιο 2, ένα έμβολο ανεβαίνει και δημιουργεί ένα λαιμό μέσα στο λιωμένο γυαλί,

και στο στάδιο 3, η διαδικασία πίεσης ολοκληρώνεται.

Στο στάδιο 4, το καλούπι ανοίγει και ένα μερικώς μορφοποιημένο σκεύος απελευθερώνεται και αναστρέφεται κατά  $180^{\circ}$ .

Στο στάδιο 5, το μπουκάλι τοποθετείται στο δεύτερο καλούπι.

Στο στάδιο 6, αέρας εγχέεται διαμέσου του λαιμού εμφυσώντας το βάζο στην τελική του μορφή. Το γυαλί κρυώνει πάνω στα τοιχώματα του καλουπιού προτού ανοίξει το καλούπι και απελευθερωθεί το κομμάτι. Τα σκεύη έπειτα υφίστανται μια «ζεστή» (hot end) επιφανειακή κατεργασία για την εφαρμογή μιας εξωτερικής επίστρωσης, η



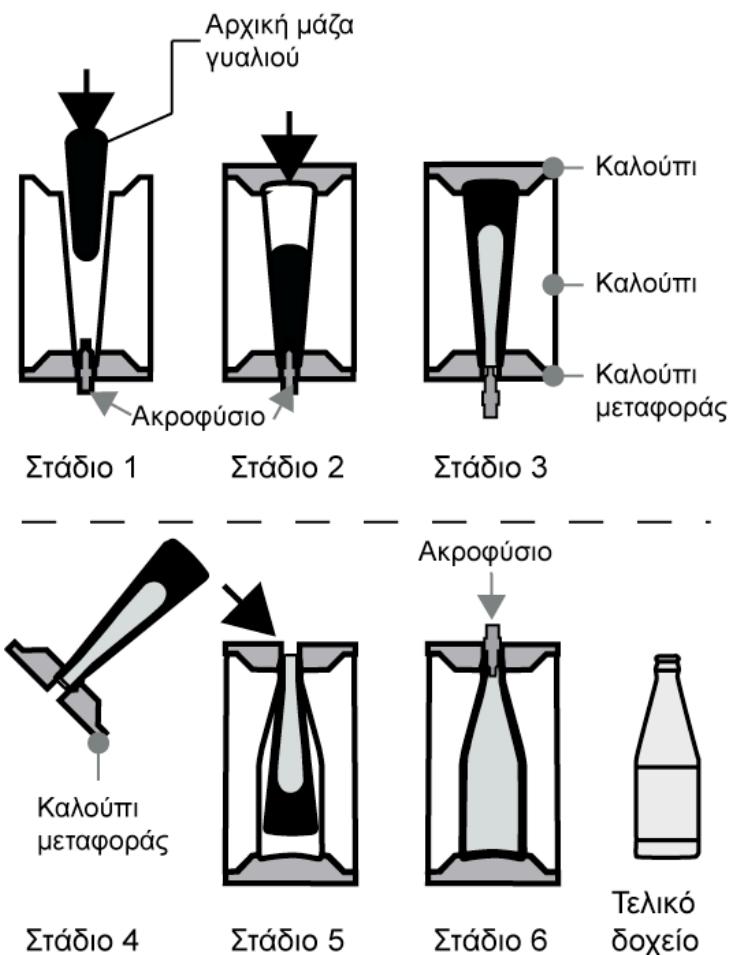
<sup>3</sup> Ένας ενδιάμεσος χώρος/δοχείο που ο σκοπός του είναι να υποδεχτεί το ζεστό γυαλί από το φούρνο, να κατεβάσει την θερμοκρασία του και να το στείλει στα καλούπια.

οποία βοηθάει το γυαλί να διατηρήσει την αντοχή του κατά τη διάρκεια της ζωής του. Τα σκεύη μεταφέρονται μέσω κυλιόμενων επιφανειών (conveyor belt) μέσα στο θάλαμο ελεγχόμενης ψύξης για να απαλλαχτούν από τάσεις. Μια δεύτερη κατεργασία επιφάνειας προστίθεται στο «ψυχρό μέρος» (cold end) του θαλάμου για τη βελτίωση της αντίστασης σε σκάλισμα και γδάρσιμο. Κάθε παρτίδα εν συνεχείᾳ περνάει από αυστηρούς ελέγχους, συμπεριλαμβανομένων της σάρωσης των πλευρικών τοιχωμάτων και της βάσης, δοκιμές πίεσης, κτλ..

## 2. Η μέθοδος εμφύσησης και εμφύσησης (Blow and Blow Molding)

χρησιμοποιείται για παραγωγή μπουκαλιών διαφόρων μορφών και χρήσεων. Το κύριο ακατέργαστο συστατικό, άμμος οξειδίου του πυριτίου, αποτελεί περίπου το 70% του τελικού προϊόντος. Τα διάφορα συστατικά αναμιγνύονται και λιώνουν σχηματίζοντας το λιωμένο γυαλί, το οποίο μετά από αρκετό χρόνο στο φούρνο, ρέει από την κορυφή του forehearth<sup>4</sup> και κόβεται σε σταγόνες (gobs). Οι μάζες τροφοδοτούν τα καλούπια (στάδιο 1), μέσα στα οποία το λιωμένο γυαλί κατακάθεται (settles) και διαμορφώνεται ο λαιμός (στάδιο 2) και μετά γίνεται μερική εμφύσηση (στάδιο 3). Τα ημιμορφοποιημένα αυτά μπουκάλια (parisons) μεταφέρονται εν συνεχείᾳ στα τελικά καλούπια εμφύσησης (στάδια 4-5). Ρομποτικοί βραχίονες περιστρέφουν τα μίγματα (parisons) κατά 180°

Μηχανική Διαμόρφωση με Εμφύσηση και Εμφύσηση (Blow and Blow Molding)

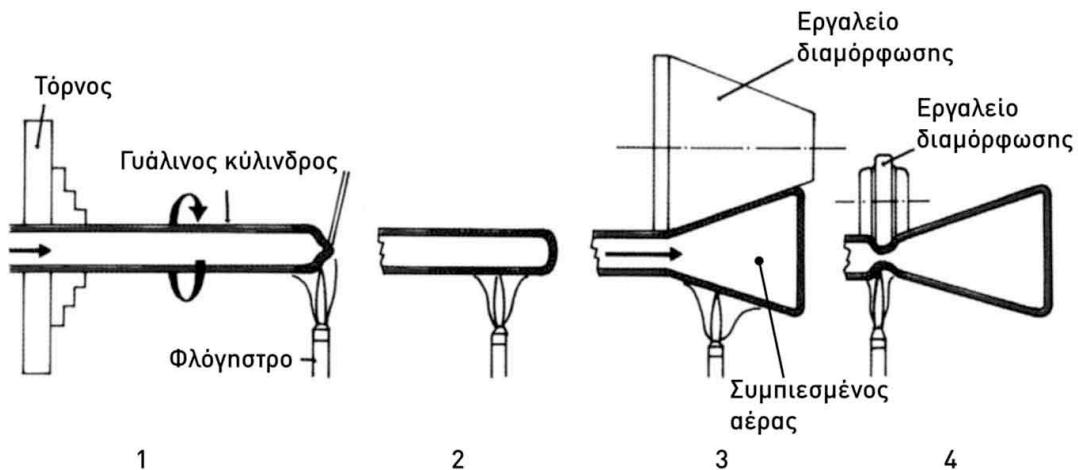


καθώς απομακρύνονται τα φρεσκο-εμφυσημένα μπουκάλια. Το καλούπι κλείνει (στάδιο 6) και τα μπουκάλια γεμίζουν με συμπιεσμένο αέρα ωθώντας το λιωμένο γυαλί προς την επιφάνεια του κρύου καλουπιού.

Τα πολλαπλά καλούπια παράγουν μπουκάλια συνεχώς, καθ' όλη τη διάρκεια του χρόνου και τα διανέμουν πάνω σε μία ζώνη μεταφοράς η οποία μεταφέρει τα ζεστά γυάλινα προϊόντα (550°C) σε ένα κλίβανο αερίου για Ανόπτηση (ελεγχόμενη ψύξη). Βγαίνοντας από τον κλίβανο, η παρτίδα μπουκαλιών μεταφέρεται στην περιοχή ελέγχου και επιθεώρησης. Τα τελικά προϊόντα οδηγούνται με συνεχόμενη ροή σε μια αυτόματη μηχανή για πακετάρισμα.

### 3.3.5. Παραγωγή δοχείου με έλαση ή πίεση ενός σωλήνα γυαλιού.

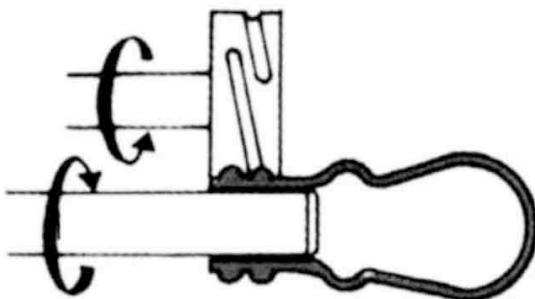
<sup>4</sup> δές προηγούμενη αναφορά



- Ο σωλήνας μπαίνει στον τόρνο και η μια πλευρά του κλείνεται με φλόγηστρο έτσι ώστε να μπορέσουμε να χρησιμοποιήσουμε αέρα υπό πίεση από την άλλη μεριά του.
- Η περιοχή που θα διαμορφωθεί θερμαίνεται μέχρι να μαλακώσει (πλαστικό στάδιο).
- Ο αέρας πιέζει τη μαλακή περιοχή και διογκώνεται μέχρι να συναντήσει το πρώτο εργαλείο διαμόρφωσης.
- Η περιοχή του λαιμού μπορεί να διαμορφωθεί με ένα δεύτερο εργαλείο διαμόρφωσης. Ακολουθεί το κόψιμο του λαιμού.

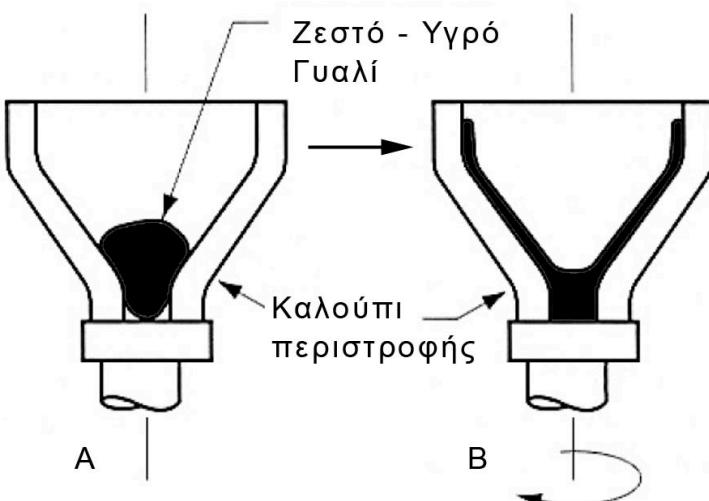
### 3.3.6 Διαμόρφωση λαιμού δοχείου με περιστροφική πίεση.

Όταν, μερικές φορές, η αποτύπωση της λεπτομέρειας που χρειάζεται ο λαιμός δεν επιτυγχάνεται σωστά μέσα στο καλούπι, τότε το δοχείο πιέζεται με περιστροφικό καλούπι για καλύτερα αποτελέσματα.

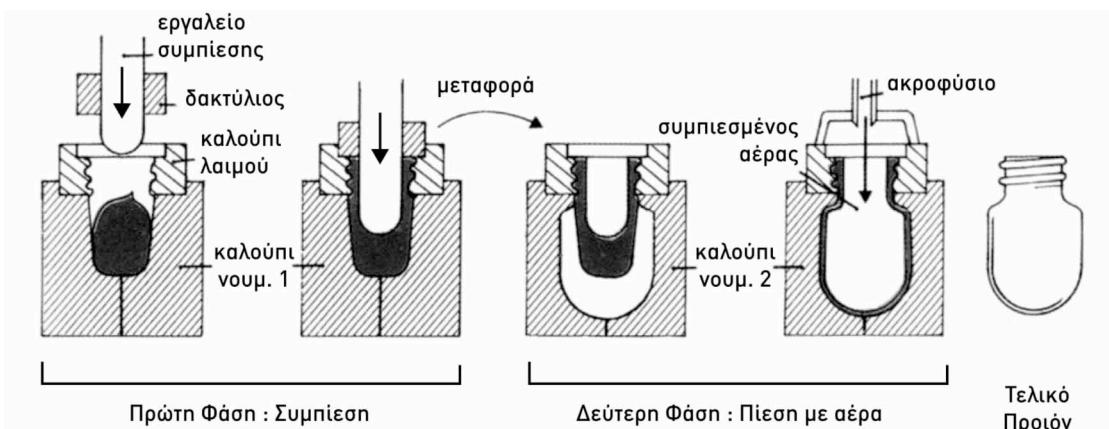


### 3.3.7 Δημιουργία γυάλινου δοχείου κτλ. με φυγόκεντρο δύναμη.

- Βάζουμε υγρό γυαλί στο καλούπι που θα περιστραφεί.
- Το καλούπι αρχίζει την περιστροφή και λόγω της περιστροφικής δύναμης το γυαλί “ανεβαίνει” στα τοιχώματα του καλουπιού.



### 3.3.8 Δημιουργία φιάλης με συμπίεση και εμφύσηση σε δύο καλούπια.



- Στην πρώτη φάση βάζουμε υγρό γυαλί στο πρώτο καλούπι που έχει και ένα ξεχωριστό καλούπι λαιμού.
- Το μηχανικό εργαλείο συμπίεσης (έμβολο) συμπιέζει το γυαλί και αυτό παίρνει τη φόρμα του πρώτου καλουπιού (και την φόρμα του λαιμού).
- Στην δεύτερη φάση, μεταφέρουμε το γυαλί σε ένα δεύτερο καλούπι που θα δώσει την τελική μορφή στο αντικείμενο και
- Πεπιεσμένος αέρας εισέρχεται από την μεριά του λαιμού και το κάτω μέρος του γυαλιού “φουσκώνει” και παίρνει το σχήμα του δεύτερου καλουπιού. Το γυαλί ψύχεται και διατηρεί την φόρμα που του δώσαμε.

### 3.3.9 Χάραξη γυαλιού (Glass Scoring).

Η Χάραξη γυαλιού (Glass scoring) είναι η δημοφιλέστερη τεχνική που χρησιμοποιείται στη διαμόρφωση και κοπή γυάλινων φύλλων πάχους από 0.5 mm έως 20 mm. Χρησιμοποιείται τόσο για βιομηχανικές όσο και για διακοσμητικές εφαρμογές. Η διαδικασία μπορεί να γίνει χειρονακτικά ή μηχανικά σε ένα plotter καθοδηγούμενο από υπολογιστή (CNC). Η μηχανική μέθοδος είναι μια διαδικασία κοπής υψηλής ταχύτητας, ακρίβειας και μεθοδικότητας. Χειροκίνητα εργαλεία χάραξης χρησιμοποιούνται ευρέως, ειδικά για απλά, επιμήκη και “καθαρά” κοψίματα. Η Χάραξη γυαλιού (Glass scoring) ενδείκνυται για υλικά πάχους έως 20 mm. Εναλλακτικές μέθοδοι κοπής είναι η **Κοπή με πίεση νερού** (Water jet cutting) όπου είναι δυνατή η κοπή γυάλινων φύλλων πάχους έως 70 mm και η **κοπή με λέιζερ** (Laser cutting) η οποία δίνει πολύ καλή επιφάνεια κοπής με λιγότερες ατέλειες από τις υπόλοιπες διαδικασίες κοπής.



Η Χάραξη γυαλιού (Glass scoring) μπορεί να διεξαχθεί είτε με το χέρι ή σε plotter καθοδηγούμενο κατά τους άξονες x, y από υπολογιστή (cnc). Το διάγραμμα παρακάτω παρουσιάζει τη διαδικασία χάραξης οδηγούμενη από υπολογιστή.

Πάνω στην περιστρεφόμενη κεφαλή είναι προσαρτημένος ο τροχός κοπής κατασκευασμένος από καρβίδιο του βολφραμίου. Καθώς ο τροχός κοπής μετακινείται κατά μήκος της επιφάνειας του γυαλιού ασκείται πάνω του μικρή πίεση.

Με αυτό τον τρόπο δημιουργείται ένα ράγισμα το οποίο δημιουργεί ένα σπάσιμο ακριβώς μπροστά από τον τροχό κοπής. Το σπάσιμο αυτό είναι γνωστό ως median ή vent crack και το βάθος του είναι 1 mm (0.04 in.).

Μόλις ολοκληρωθεί η διαδικασία, το γυάλινο φύλλο απομακρύνεται από το τραπέζι κοπής. Εφαρμόζεται πίεση στο γυαλί μεταφέροντας το επιφανειακό σπάσιμο σε ολόκληρο το βάθος του γυαλιού και τα δύο μέρη του γυαλιού σπάνε. Οι ευθείες πλευρές μπορούν να σπάσουν με το χέρι. Οι κυκλικές και οι υπόλοιπες επιφάνειες σπάνε με 'πένσες διαχωρισμού'. Αυτά σπάνε το γυαλί έξω από το επιθυμητό σχήμα, προκαλώντας το να σπάσει κατά μήκος του median crack (διάμεσος ρωγμή). Το ρηχό σπάσιμο που προκαλείται από τον τροχό είναι ορατό. Η χάραξη προκαλεί μικρά πλευρικά σπασίματα. Για να έχουμε μια κλίμακα μεγέθους, το πάχος τους είναι μόλις 3 mm Η μέθοδος αυτή δίνει καλής ποιότητας επιφάνεια κοπής..

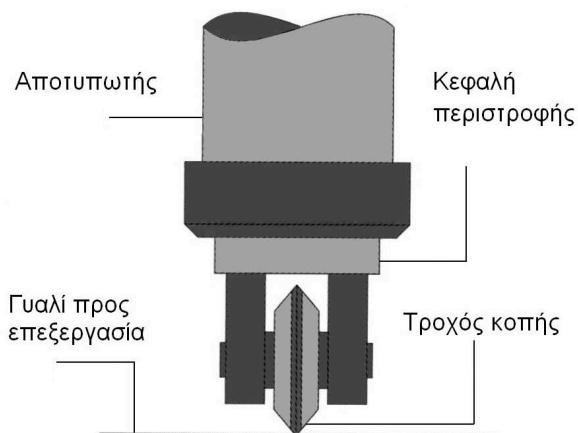
#### Χαρακτηριστικά - Περιορισμοί:

- Είναι εφικτό το κόψιμο ευθειών ή καμπύλων γραμμών οποιουδήποτε μήκους, αλλά δεν μπορούν να κατασκευαστούν εσωτερικές μορφές, μόνο εξωτερικά προφίλ.
- Κάθε εγκοπή πρέπει να τρέξει από πλευρά σε πλευρά, ή ως συνεχόμενο σχήμα. Συνεπώς είναι ιδανική για το κόψιμο δίσκων, ορθογωνίων και απλών ακανόνιστων σχημάτων. Σχήματα με εσωτερικές γεωμετρίες (indents) στο προφίλ, όπως ένα σχήμα με μορφή μισοφέγγαρου, δεν μπορούν εύκολα να κατασκευαστούν.
- Επίσης, γωνίες με ακρίβεια και πολύπλοκα σχήματα δεν είναι πρακτικά λόγο του ότι πιθανόν να μην είναι εφικτό το σπάσιμο τους από το φύλλο σε ένα μόνο κομμάτι.
- Ο κύκλος κατεργασίας είναι γρήγορος, με τυπικές ταχύτητες κοπής 100 μ (328 ft) το λεπτό.
- Οι εργατικές δαπάνες είναι χαμηλές για της αυτοματοποιημένες διαδικασίες και υψηλές για τις χειροκίνητες διαδικασίες όπως το βαμμένο γυαλί.
- Δεν υπάρχουν απορρίμματα σε αυτή τη διαδικασία: ότι περισσεύει ανακυκλώνεται. Η διαδικασία έχει ελάχιστες απαιτήσεις σε ενέργεια.

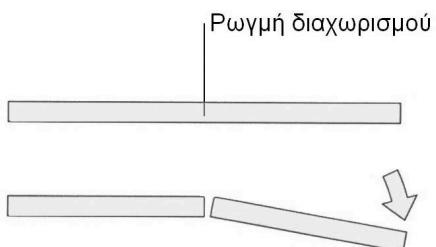
#### 3.3.10 Υδατοκοπή (Water Jet Cutting)

Είναι μια ψυχρή και μεταβλητή διαδικασία κοπής φύλλων μετάλλου, γυαλιού και άλλων υλικών. Χρησιμοποιείται σε εμπορικές βιομηχανικές εφαρμογές από τη δεκαετία του 1970 και εξελίσσεται συνεχώς. **Η κοπή γίνεται είτε μόνο με νερό ή με μίγμα νερού με λειαντικά υπό πίεση 4000 bar.** Ο υπερηχητικός πίδακας καθαρού νερού διαβρώνει τα υλικά και επιτυγχάνει την κοπή. Στην **υδατοκοπή με λειαντικές ουσίες (abrasive water jet cutting)** μικρά σωματίδια αιχμηρού υλικού αιωρούνται στον υψηλής ταχύτητας πίδακα νερού ενισχύοντας την διαδικασία κοπής σκληρών υλικών. Σε αυτή την περίπτωση η κοπή εκτελείται από τα σωματίδια του λειαντικού καθώς συγκρούονται με το υλικό. Η ακρίβεια των δύο μεθόδων είναι μεγάλη με ανοχές μικρότερες από 500 microns.

#### Διαδικασία χάραξης γυαλιού (Glass scoring process)



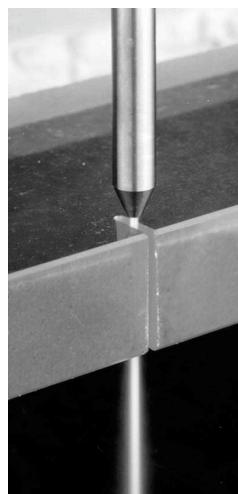
Στάδιο 1: Χάραξη



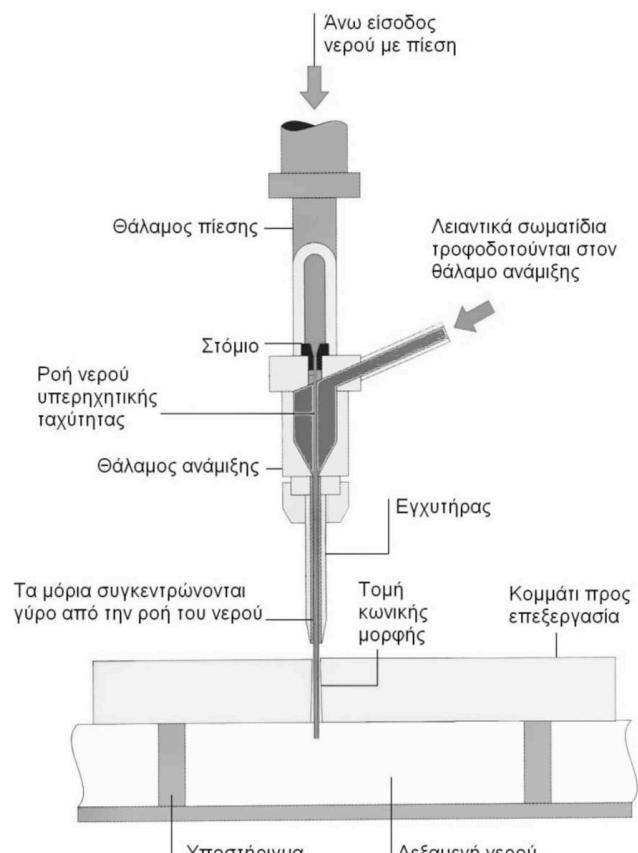
Στάδιο 2: Σπάσιμο

### Χαρακτηριστικά - Περιορισμοί:

- Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα αυτής της διαδικασίας αποτελεί το γεγονός ότι είναι **ψυχρή** διαδικασία και δεν δημιουργεί μια περιοχή που επιτρέπεται από την θερμότητα η οποία επιτρέπει πολλά μέταλλα. Έτσι δεν υπάρχει αποχρωματισμός κατά μήκος της επιφάνειας κοπής επιτρέποντας την κοπή επικαλυμμένων και προ-τυπωμένων υλικών.
- Η κοπή με καθαρό νερό δίνει καθαρότερη επιφάνεια κοπής** από τα λειαντικά συστήματα. Και στις δύο διαδικασίες, δεν υπάρχει επαφή μεταξύ του εργαλείου και του αντικειμένου, έτσι αποφεύγεται η παραμόρφωση της επιφάνειας. Ωστόσο η ροή του νερού παραμορφώνεται σε υλικά με μεγαλύτερο βάθος λόγο μειωμένης πίεσης παράγοντας έτσι μια τραχύτερη επιφάνεια. Η διαδικασία επιβραδύνει σε σκληρότερα υλικά αυξάνοντας τον κύκλο κατεργασίας.
- Με την διαδικασία αυτή μπορούν να κοπούν τα περισσότερα φύλλα υλικών με πάχος από 0.5 mm έως 100 mm. Η σκληρότητα του υλικού καθορίζει το μέγιστο πάχος. Για παράδειγμα, αφρός πολυμερούς πάχους 100 mm κόβεται με ελάχιστη αντίσταση, ενώ το μέγιστο πάχος για ανοξείδωτο χάλυβα είναι 60 mm με σημαντικά αυξημένο τον χρόνο του κύκλου κατεργασίας.
- Μοναδικά αντίτυπα και μετρίου μεγέθους παραγωγή μπορούν να παραχθούν επειδή το κόστος εξοπλισμού (καλούπια κτλ.) είναι μηδενικό. Επίσης, η κλίμακα του κομματιού δεν αυξάνει δραματικά το κόστος. Συνεπώς, η διαδικασία αυτή είναι ιδανική για δημιουργία πρωτόπων και πειραματισμών. Τα υλικά μπορούν να εναλλάσσονται και να δοκιμάζονται με μοναδικό κόστος τον χρόνο.
- Εξωτερικά και εσωτερικά προφίλ μπορούν να κοπούν σε μία διαδικασία. Τα σημεία εισόδου (Entry holes) μπορεί να προκαλέσουν σπάσιμο στην κρούση. Η διαδικασία αυτή δε δημιουργεί τάσεις στο κομμάτι, έτσι μπορούν αδημιουργηθούν μικρά και περίπλοκα προφίλ.
- Μειώνοντας την διάρκεια του κύκλου κατεργασίας μειώνεται το κόστος της διαδικασίας. Οι απότομες γωνίες και οι στενές γωνίες επιβραδύνουν την διαδικασία; η υδατοκοπή θα επιβραδύνει στις γωνίες – το οποίο αυξάνει την γωνία (taper) κοπής. Επίσης, οπές με διάμετρο μικρότερη από το πάχος του υλικού πρέπει να γίνονται με τρυπάνι.



**Διαδικασία κοπής με νερό  
(Abrasive water jet process)**



- Τα αιχμηρά σωματίδια που χρησιμοποιούνται στην υδατοκοπή με λειαντικές ουσίες (abrasive water jet cutting) ποικίλουν σε μέγεθος όπως και του γυαλόχαρτου (120,80 and 50). Διαφορετικό μέγεθος στους κόκκους επηρεάζει την ποιότητα της τελικής επιφάνειας. Λεπτοί κόκκοι (μεγαλύτερος αριθμός) κάνουν πιο αργή τη διαδικασία και παράγουν υψηλότερης ποιότητας τελική επιφάνεια.
- Η τελική ακρίβεια του κομματιού καθορίζεται από συνδυασμό πολλών παραγόντων όπως η σταθερότητα του υλικού, το πάχος και η σκληρότητα, η ακρίβεια της επιφάνειας («κρεββάτι») κοπής (cutting bed), η διατήρηση της υψηλής πίεσης και ταχύτητας του νερού κατά τη διαδικασία.
- Πολύ λεπτά υλικά μπορεί να σπάσουν πριν το τέλος της διαδικασίας κοπής, λόγο του βάρους του υλικού από την μεριά που δεν έχει κοπεί. Για την αποφυγή αυτού μπορούν να σχεδιαστούν συγκρατητές (tabs), ή να εισαχθούν σφήνες (δέες εικόνα δεξιά) που θα συγκρατούν το κομμάτι. Οι συγκρατητές (tabs) απαιτούν δευτερεύουσες διαδικασίες επειδή θα πρέπει να αφαιρεθούν μετά το τέλος της διαδικασίας.

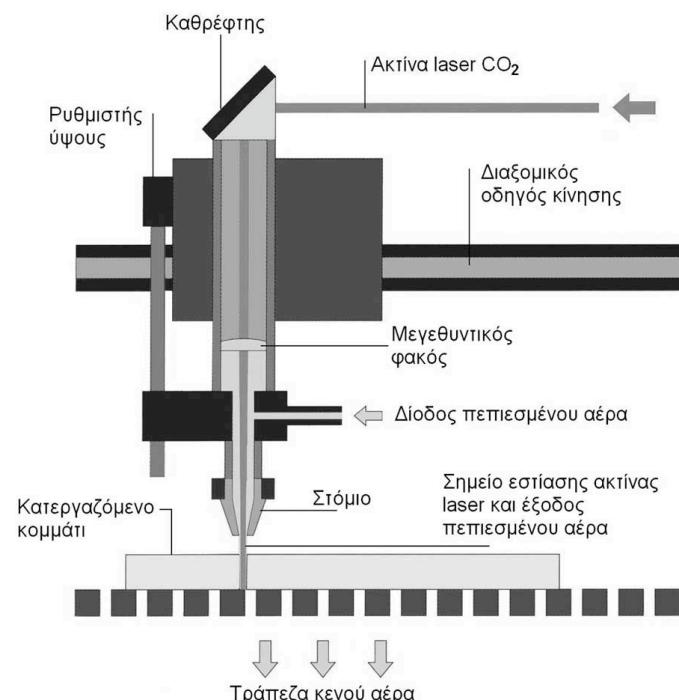


### 3.3.11 Κοπή με Λέιζερ (Laser Cutting)

Είναι μια διαδικασία CNC υψηλής ακρίβειας που μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κοπή, χάραξη και σημάδεμα ποικιλίας φύλλων υλικού όπως μέταλλο, πλαστικό, ξύλο, ύφασμα, γυαλί, κεραμικό και δέρμα.

Οι δύο βασικοί τύποι λέιζερ που χρησιμοποιούνται στη διαδικασία αυτή, είναι οι CO<sub>2</sub> και Nd: YAG. Η αρχή λειτουργίας τους βασίζεται στην εστίαση θερμικής ενέργειας σε μία πλάτους από 0.1 έως 1 mm προκαλώντας το λιώσιμο ή την εξαέρωση του υλικού που κόβεται. Η ταχύτητα λειτουργίας είναι πολύ μεγάλη, με ανοχές ακρίβειας και παραγωγή κομματιών μεγάλης ακρίβειας με πολύ υψηλής ποιότητας επιφάνεια. Η βασική διαφορά τους είναι η παραγόμενη ακτίνα, το CO<sub>2</sub> λέιζερ παράγει μια υπέρυθρη ακτίνα μήκους κύματος 10 micron σε αντίθεση με το λέιζερ Nd:YAG που παράγει μια περισσότερο ευέλικτη υπέρυθρη ακτίνα μήκους κύματος 1 micron.

**Διαδικασία κοπής με laser (Laser Cutting Process)**



Οι δέσμες CO<sub>2</sub> και Nd: YAG οδηγούνται στο ακροφύσιο κοπής με μια σειρά τροποποιημένων καθρεπτών. Λόγο του μικρότερου μήκους κύματος, η δέσμη λέιζερ Nd: YAG μπορεί να οδηγηθεί στο ακροφύσιο με εύκαμπτες οπτικές ίνες. Έτσι είναι δυνατή η κοπή σε 5 άξονες αφού η κεφαλή μπορεί να περιστρέφεται ελεύθερα προς κάθε κατεύθυνση.

Η δέσμη λέιζερ εστιάζει μέσω φακών που συγκεντρώνουν την ακτίνα σε σημείο πάχους μεταξύ 0.1mm και 1mm. Το ύψος των φακών μπορεί να προσαρμοστεί εστιάζοντας το λέιζερ στην επιφάνεια του κομματιού. Η υψηλής συγκέντρωσης δέσμη με την επαφή του λιώνει ή εξαερώνει το υλικό. Το υπο-πίεση βοηθητικό αέριο που φυσιέται κατά μήκος του μονοπατιού

που δημιουργεί η δέσμη λέιζερ και απομακρύνει τα υπολείμματα κοπής από το “κανάλι” κοπής.

*Εικόνα δεξιά:  
στάδια από την  
κονή φύλλου  
αλουμινίου με  
μηχανή Laser  
Nd: YAG*



#### Χαρακτηριστικά - Περιορισμοί:

- Το πλεονέκτημα της διαδικασία κοπής με λέιζερ είναι η πολύ καλή κοπή των θερμοπλαστικών, και των λεπτών φύλλων άλλων υλικών, δίχως να απαιτείται περατέρω φινιρισμα. Η διαδικασία κοπής αφήνει μια λεία ακμή. Η επιλογή του υλικού καθορίζει την ποιότητα της κοπής. Η διαδικασία λέιζερ παράγει κάθετα, λεία, καθαρά κοψίματα με στενό “κανάλι” κοπής στα περισσότερα υλικά.
- Στα συστήματα Laser, λειτουργούν με βάση τα διανύσματα. Τα λέιζερ ακολουθούν μια σειρά γραμμών από σημείο σε σημείο. Τα αρχεία συνήθως προέρχονται από αρχεία CAD, τα οποία διαιρούνται σε στρώσεις, οι οποίες καθορίζουν το βάθος κάθε κοπής. Είναι σημαντικό όλες οι γραμμές να είναι συνεχόμενες (pedited) έτσι ώστε το λέιζερ να κόβει σε ένα συνεχόμενο μονοπάτι.
- Η κοπή με λέιζερ μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί στο σημάδεμα και την χάραξη. Η μέθοδος **Χάραξης Ράστερ** (Raster-engraving) μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή λογότυπων, εικόνων και γραμμάτων πάνω στην επιφάνεια των υλικών σε διαφορετικά βάθη.
- Η διαδικασία κοπής με λέιζερ μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κοπή μεγάλου αριθμού υλικών όπως ξύλο, χαρτί και κάρτα, συνθετικό μάρμαρο, εύκαμπτοι μαγνήτες, μαλλί και ύφασμα, καουτσούκ και συγκεκριμένα γυαλιά και πλαστικά. Συμβατά πλαστικά είναι το πολυπροπυλένιο (PP), πολυ-μεθακρυλικό μεθυλίο (PMMA), πολυκαρβονικό (PC), το τροποποιημένο τερεφθαλικό πολυαιθυλαίνιο-γλυκόλη (PETG), ίνες χάλυβα, πολυαμίδιο (PA), πολυοξυμεθυλαίνιο (POM) και πολυστυρένιο (PS). Όσο αφορά τα μέταλλα, ο χάλυβας για παράδειγμα κόβεται καλύτερα από τα κράματα αλουμινίου και χαλκού, επειδή τα κράματα δεν είναι τόσο ανακλαστικά στο φώς και την θερμική ενέργεια. Η διαδικασία κοπής με Laser εφαρμόζεται ιδανικά στην κοπή φύλλων μετάλλου πάχους από 0.2mm έως 40mm. Τα παχύτερα υλικά μειώνουν αισθητά την ταχύτητα κοπής. Διαφορετικές διαδικασίες απαιτούν διαφορετικής ισχύος λέιζερ. Για παράδειγμα, χαμηλής ισχύος λέιζερ (150 watts) είναι καταλληλότερα για την κοπή πλαστικών επειδή αφήνουν μια γυαλισμένη επιφάνεια. Υψηλής ισχύος λέιζερ (1 to 2 kilowatts) εφαρμόζονται στην κοπή μετάλλων, ειδικά στα ανακλαστικά και αγώγιμα κράματα.
- Η διαδικασία κοπής με λέιζερ δεν καταπονεί το κομμάτι, όπως η κοπή με λεπτίδα, επιτρέποντας τη δημιουργία μικρών και περίπλοκων λεπτομερειών δίχως να στρεβλώσει το κομμάτι ή να μειωθεί η αντοχή του. Ως εκ τούτου πολύ λεπτά και εκλεπτυσμένα υλικά μπορούν να κοπούν με τη διαδικασία αυτή.
- Η διαδικασία κοπής με λέιζερ, λόγω της ανάπτυξης υψηλής θερμότητας στην περιοχή κοπής, μπορεί να “χρωματίσει” (δες κάψει) την ακμή του υλικού και πολλές φορές αυτό είναι ανεπιθύμητο.

## 4. Μέταλλα.

Σε αυτό το κεφάλαιο θα περιγραφούν μερικές διαδικασίες μορφοποίησης μετάλλων που έχουν ιδιαίτερη σημασία για τους σχεδιαστές επίπλων και αντικειμένων.

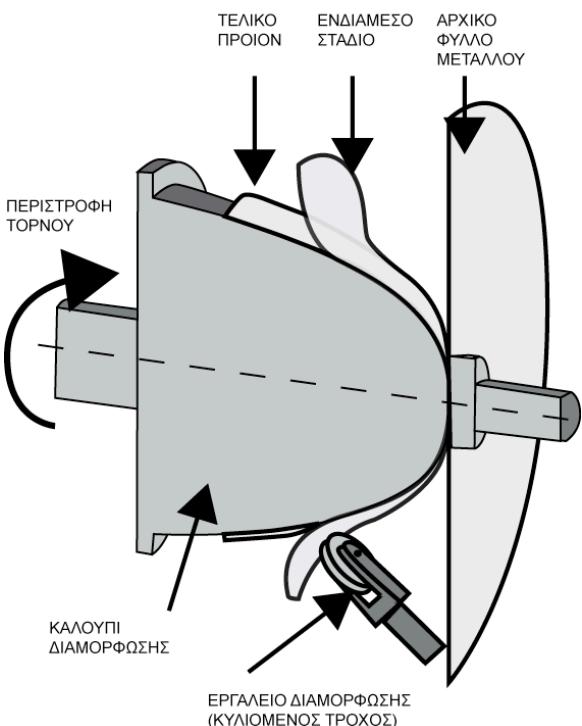
### 4.1 Περιστροφική Μορφοποίηση Μεταλλικού φύλλου (Metal Spinning)

Η περιστροφική μορφοποίηση (metal spinning) είναι η διαδικασία περιστροφικής μορφοποίησης συμμετρικών προφίλ από επίπεδες μεταλλικές επιφάνειες. Επιτυγχάνεται σε ένα μονόπλευρο καλούπι, με προοδευτική πίεση.

Εφαρμογές	Κόστη	Παραγωγή	Ποιότητα
Φωτιστικά, έπιπλα, κοσμήματα, και άλλες βιομηχανικές εφαρμογές.	Χαμηλές δαπάνες σε καλούπια. Μέτριο κόστος μονάδος προιόντος	Μικρή - μεγάλη παραγωγή. Μέτριος - γρήγορος κύκλος κατεργασίας, ανάλογα με το επίπεδο αυτοματισμού, πολυπλοκότητα και πάχος	Ποιότητα τελικής επιφάνειας καλή έως πολύ καλή (ικανότητα χειριστή και ταχύτητα)

Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται στη βιομηχανία επίπλου, φωτισμού, εξοπλισμού κουζίνας, αυτοκινήτου, αεροδιαστηματικής και κοσμημάτων. Συχνά συνδυάζεται με διάτρηση, επεξεργασία ή πίεση παρέχοντας μεγαλύτερο εύρος σχεδιαστικών δυνατοτήτων όπως ασύμμετρες επιφάνειες και διάτρητα σχήματα.

ΠΕΡΙΣΤΡΟΦΙΚΗ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΦΥΛΛΟΥ  
(METAL SPINNING PROCESS)



παρέχοντας μεγαλύτερο εύρος σχεδιαστικών δυνατοτήτων όπως ασύμμετρες επιφάνειες και διάτρητα σχήματα.



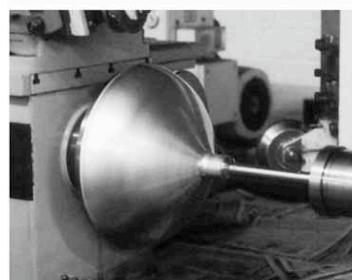
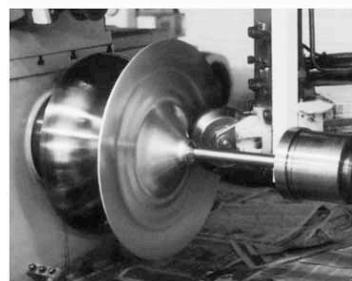
#### Διαδικασία:

Στο στάδιο 1 της περιστροφικής μορφοποίησης μετάλλου ένα μεταλλικό φύλλο υλικού κυκλικού σχήματος τοποθετείται στην άκρη του καλουπιού/ών. Στο στάδιο 2, η μεταλλική φόρμα και ο άξονας περιστρέφονται στον τόρνο και ένας κυλιόμενος τροχός ωθεί το φύλλο

μετάλλου στην επιφάνεια της μεταλλικής φόρμας. Αυτό το στάδιο της διαδικασίας είναι παρόμοιο με το ρίξιμο πηλού σε τροχό αγγειοπλάστη. Το μέταλλο σταδιακά διαμορφώνεται και λεπταίνει καθώς συμπιέζεται επάνω στην μεταλλική φόρμα. Σε αυτή την περίπτωση το τελικό κομμάτι δεν μπορεί να αποκολληθεί από τον περιστροφικό οδηγό έως ότου αφαιρεθούν τα υπολείμματα. Στο τρίτο στάδιο το κομμάτι κόβεται στην κορυφή και τη βάση του και ξεφορμάρεται. Η όλη διαδικασία διαρκεί λιγότερο από ένα λεπτό.

### Χαρακτηριστικά - Περιορισμοί:

- Πολύ καλό φινίρισμα είναι δυνατόν να επιτευχθεί από έμπειρους χειριστές με χειροκίνητες και αυτοματοποιημένες διαδικασίες. Η ποιότητα της εσωτερικής επιφάνειας καθορίζεται από το καλούπι και της εξωτερικής από το εργαλείο. Χειροκίνητες και αυτοματοποιημένες τεχνικές συχνά συνδυάζονται για την καλύτερη δυνατή ποιότητα. Στην περιστροφική μορφοποίηση μετάλλου μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν πλέγματα και διάτρητα επίπεδα υλικά. Ραβδώσεις, πτυχώσεις και η υφή της επιφάνειας ολοκληρώνονται σε μία και μόνο περιστροφική διαδικασία. Σκαλοπάτια ή ραβδώσεις μειώνουν το πάχος των τοιχωμάτων παράγοντας λεπτότερα και οικονομικότερα τεμάχια.
- Η περιστροφική μορφοποίηση μετάλλου **περιορίζεται στα συμμετρικά προφίλ** αντικειμένων. Το ιδανικό σχήμα για αυτή την διαδικασία είναι το ημισφαίριο, όπου η διάμετρος είναι μεγαλύτερη ή ίση από το διπλάσιο του βάθους. Τα κομμάτια που έχουν μεγαλύτερο βάθος από τη διάμετρο μπορούν να κατασκευαστούν αλλά με αυξημένο κόστος. Παράλληλες πλευρές και ανάποδες γωνίες είναι επίσης εφικτό να κατασκευαστούν. Ωστόσο, αυτό απαιτεί πολλαπλές εμπλεκόμενες φόρμες με αύξηση κόστους.
- Η **σκλήρηνση του υλικού** μέσω αυτής της κατεργασίας είναι ένα πλεονέκτημα. Για παράδειγμα, η σκλήρηνση μπορεί να αυξήσει την ανθεκτικότητα του κομματιού. Ωστόσο, τα κομμάτια που χρειάζονται να επεξεργαστούν μετά την περιστροφική διαδικασία πρέπει να κατεργάζονται θερμικά για να απαλλάσσονται από τις εσωτερικές πιέσεις, το οποίο είναι ένα μειονέκτημα.
- Με αυτή τη διαδικασία μπορούν να κατασκευαστούν αντικείμενα και προφίλ από πολύ μικρές διαστάσεις **μέχρι και 2.5 μέτρα σε διάμετρο** με ανοχές γύρο στο 1-1.5 χιλιοστό.
- Οι δαπάνες σε καλούπια μπορεί να είναι πολύ χαμηλές**, ειδικά για την παραγωγή πρωτοτύπων και για μικρή παραγωγή. Τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ξύλο, πλαστικό, αλουμίνιο και ατσάλι. Για μεγάλη παραγωγή οι δαπάνες σε φόρμες και καλούπια είναι σημαντικά μικρότερες από άλλες διαδικασίες επειδή αυτή η διαδικασία χρησιμοποιεί ένα μονόπλευρο καλούπι/φόρμα και όχι δύο. Η μεταλλική φόρμα μπορεί να είναι αρσενική η θηλυκή ανάλογα με τη γεωμετρία του κομματιού. Και στις δύο περιπτώσεις απαιτείται μία μόνο φόρμα/καλούπι. Επομένως, οι αλλαγές είναι σχετικά φθηνές και το κόστος εξοπλισμού είναι αισθητά μειωμένο.
- Υλικά όπως:** μαλακό ατσάλι, ανοξείδωτο ατσάλι, ορείχαλκος, χαλκός, αλουμίνιο και τιτάνιο μπορούν όλα να κατεργαστούν με την περιστροφική μορφοποίηση μετάλλου.
- Ο κύκλος κατεργασίας** καθορίζεται από το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του κομματιού, την επιλογή χειροκίνητης ή αυτοματοποιημένης παραγωγής (CNC), καθώς και από την επιλογή του υλικού. Η κατεργασία του αλουμινίου είναι πολύ γρηγορότερη από αυτήν του ατσαλιού λόγο της ολικιμότητας και της ευπλαστότητας του. Το ατσάλι μπορεί επίσης να χρειαστεί θερμική κατεργασία, η οποία αυξάνει κι άλλο τον κύκλο κατεργασίας.



ΕΙΚΟΝΕΣ ΕΠΑΝΩ: κατασκευή φωτιστικού καπέλου Grito, σχεδιαστές El Ultimo Grito

## 4.2 Βαθιά Κοίλανση (Deep Drawing)

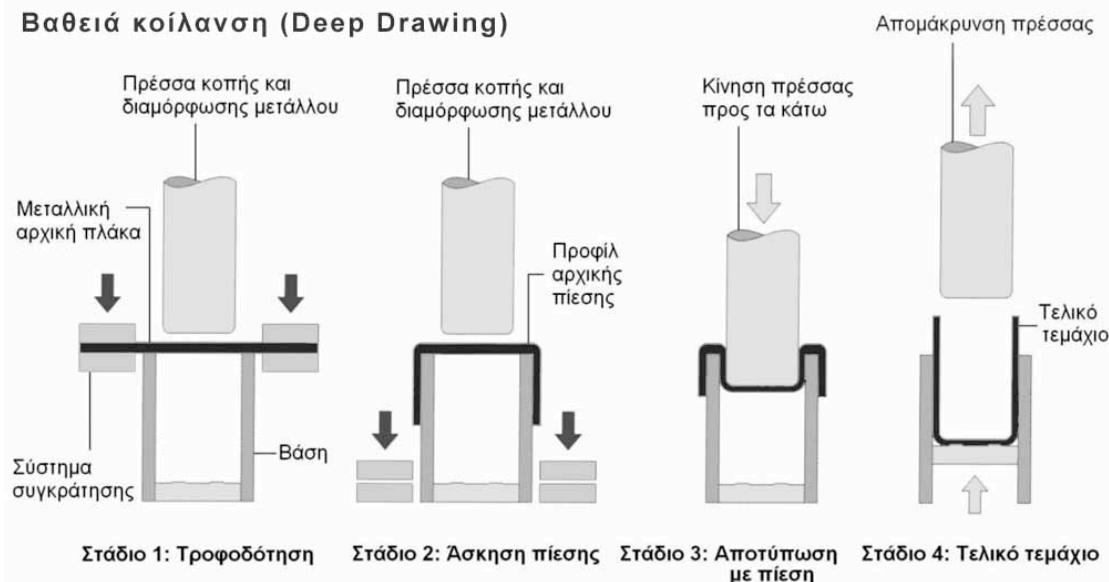
Σε αυτήν την εν ψυχρώ διαδικασία, το προϊόν κατασκευάζεται από ένα καλούπι/πρέσσα το οποίο ωθεί ένα επίπεδο μεταλλικό φύλλο σε ένα καλούπι/εσοχή και το αποτέλεσμα είναι βαθιά και κοίλα γεωμετρικά σχήματα. Κομμάτια με μεγάλο βάθος μπορούν να κατασκευαστούν με την χρήση προοδευτικών καλουπιών.

Εφαρμογές	Κόστη	Παραγωγή	Ποιότητα
Φωτιστικά, έπιπλα, συσκευασίες, αυτοκινητά κτλ..	Υψηλές δαπάνες σε καλούπια. Μέτριο κόστος μονάδος προιόντος	Μέτρια - μεγάλη παραγωγή. Γρήγορος κύκλος κατεργασίας, από μερικά δευτερόλεπτα μέχρι αρκετά λεπτά (πολυπλοκότητα)	Ποιότητα τελικής επιφάνειας καλή.

Η ψυχρή συμπίεση μετάλλου είναι γνωστή ως «Βαθιά διαμόρφωση - κοίλανση» (deep drawing) όταν το βάθος του σχεδίου είναι μεγαλύτερο από τη διάμετρο (μερικές φορές όταν το βάθος είναι μόνο 0,5 φορές μεγαλύτερο από τη διάμετρο). Η διαδικασία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή επιφανειών χωρίς ραφές δίχως να απαιτούνται περαιτέρω εργασίες συγκόλλησης ή μορφοποίησης. Όταν χρειάζονται πλευρικές κοπές και επεξεργασίες αυτές συνήθως είναι υπερβολικά ακριβές για να ενσωματωθούν στον κύκλο κατεργασίας της Βαθιάς Κοίλανσης (deep drawing), έτσι συνήθως διεξάγονται μετά την κατεργασία.

Με αυτή τη διαδικασία μπορούν να παραχθούν ποικίλες μορφές γεωμετρικών σχημάτων, συμπεριλαμβανομένων κυλινδρικών, τετράγωνων και ακανόνιστων μορφών, οι οποίες σχηματίζονται με ίσιες ή υπό γωνία ή καμπυλωμένες πλευρές.

### Βαθιά κοίλανση (Deep Drawing)

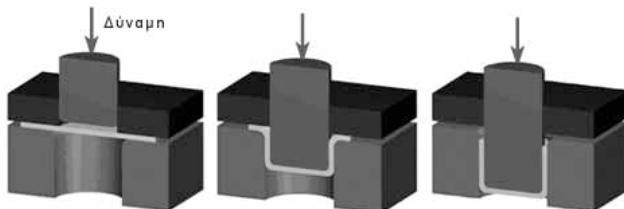


Εικόνα επάνω: διαδικασία Βαθιάς Κοίλανσης με αντίστροφη σχεδίαση

Η διαδικασία Βαθιάς Κοίλανσης (deep drawing) διεξάγεται με διαφορετικούς τρόπους. Η μέθοδος της διαδικασίας καθορίζεται από την πολυπλοκότητα του σχήματος, το βάθος σχεδιασμού, το υλικό και το πάχος του.

- Στο στάδιο 1, μια επίπεδη μεταλλική πλάκα τοποθετείται στην υδραυλική πρέσα και συγκρατείται σφικτά με το σύστημα συγκράτησης.
- Στο στάδιο 2, καθώς το σύστημα συγκράτησης κινείται σταδιακά κατακόρυφα το υλικό ρέει στις επιφάνειες της κάτω κοιλότητας σχηματίζοντας συμμετρικά το σχήμα κούπας.

- Στο στάδιο 3, η πρέσσα διαμόρφωσης μετάλλου ωθεί το υλικό διαμέσου της κάτω κοιλότητας προς την αντίθετη κατεύθυνση. Το μέταλλο ρέει στην άκρη της κάτω κοιλότητας παίρνοντας το σχήμα της πρέσσας.
- Στο στάδιο 4, το κομμάτι απομακρύνεται.



εικόνα αριστερά: διάγραμμα απλής διαδικασίας Βαθιάς Κοίλανσης



#### Χαρακτηριστικά - περιορισμοί:

• Η δύναμη πίεσης της πρέσσας καθορίζεται από τον εξοπλισμό. Οτιδήποτε πάνω από 1,000 τόνους μπορεί να εφαρμοστεί σχηματίζοντας μια μακριά και μεγάλη επιφάνεια.

- Υπάρχει περιορισμός στο μέγεθος διαμόρφωσης μιάς μεταλλικής επιφάνειας σε μία μόνο διαδικασία, ενώ ο τύπος και το πάχος του υλικού καθορίζουν το μέγεθος της παραμόρφωσης. Μία ποικιλία τεχνικών χρησιμοποιείται κατ' επέκταση για την παραγωγή διαφορετικών σχημάτων. Απλά σχήματα παράγονται σε μία μόνο διαδικασία, ενώ τα πολύ βαθιά και πολύπλοκα σχήματα κατασκευάζονται με την χρησιμοποίηση προοδευτικών καλουπιών ή την τεχνική αντίστροφης σχεδίασης. Η αντίστροφη σχεδίαση συμπλίζει το υλικό δύο φορές σε κάθε διαδικασία, αντιστρέφοντας το κομμάτι μετά την πρώτη συμπίεση. Αυτή η διαδικασία επιταχύνει τον κύκλο κατεργασίας και μειώνει τον αριθμό των απαιτούμενων προοδευτικών καλουπιών.
- Undercuts μπορούν να γίνουν με προοδευτικά καλούπια ή με πλευρική-κάθετη στην επιφάνεια πίεση. Ωστόσο, αυτό αυξάνει κατακόρυφα το κόστος εξοπλισμού.
- Ανάλογα με τον τύπο και το πάχος του υλικού, κομμάτια με διάμετρο από 5mm έως 500mm (0.2-19.69 ίντσες) μπορούν να μορφοποιηθούν με αυτή τη διαδικασία. Το μήκος (βάθος) της διαμόρφωσης του κομματιού μπορεί να φτάσει μέχρι πέντε φορές τη διάμετρο του. Κομμάτια με μεγαλύτερο μήκος απαιτούν υλικά με μεγαλύτερο πάχος λόγο του γεγονότος ότι το πάχος του υλικού μειώνεται σε πολύ βαθιά κοίλανση.
- Η Βαθιά Κοίλανση (deep drawing) βασίζεται στο συνδυασμό της ευπλαστότητας του μετάλλου και της αντοχής του σε φθορά. Τα καταλληλότερα υλικά είναι ατσάλι, τσίγκος, χαλκός και κράματα αλουμινίου. Τα μέταλλα με μεγάλη αντοχή σε φθορά είναι λιγότερο πιθανό να σκιστούν, να τσαλακώσουν ή να σπάσουν κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, έτσι για το ξεκίνημα μπορούν να χρησιμοποιηθούν λεπτότερα φύλλα μετάλλου.
- Το κόστος εξοπλισμού είναι πολύ υψηλές επειδή το η πρέσσα κοπής και διαμόρφωσης μετάλλου και το καλούπι πρέπει να κατασκευαστούν με μεγάλη ακρίβεια. Απαιτούνται εργαλεία προηγμένης τεχνολογίας για την παραγωγή πολύπλοκων ή ιδιαίτερα βαθιά αντικείμενα, αυξάνοντας αισθητά το κόστος της διαδικασίας.
- Ο κύκλος κατεργασίας είναι αρκετά γρήγορος αλλά εξαρτάται από τον αριθμό των σταδίων του κύκλου συμπίεσης, ενώ οι δαπάνες προσωπικού είναι μέτριες λόγο του επιπέδου αυτοματισμού.

#### 4.3 Υπερδιαμόρφωση (Superforming)

Είναι μια διαδικασία μορφοποίησης εν θερμώ η οποία έχει αναπτυχθεί τελευταία και χρησιμοποιείται για την παραγωγή επίπεδων μεταλλικών κομματιών βασιζόμενη στις αρχές της θερμοδιαμόρφωσης (thermoforming): μια μεταλλική πλάκα θερμαίνεται και μορφοποιείται υπό πίεση σε ένα εργαλείο μιας όψης.

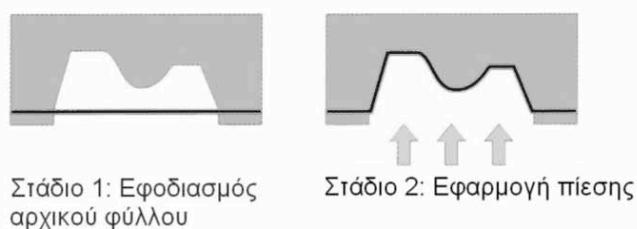
Εφαρμογές	Κόστη	Παραγωγή	Ποιότητα
Φωτιστικά, έπιπλα, συσκευασίες, αυτοκινητα κτλ..	Χαμηλές - μέτριες δαπάνες σε καλούπια. Μέτριο - υψηλό κόστος μονάδος προιόντος	Χαμηλή - Μέτρια παραγωγή. Γρήγορος κύκλος κατεργασίας, (5 - 20 λεπτά)	Ποιότητα τελικής επιφάνειας πολύ καλή.

Η υπερδιαμόρφωση είναι μία θερμή διαδικασία μορφοποίησης μετάλλου (κραμάτων αλουμινίου και κραμάτων μαγνησίου) βασισμένη στις αρχές της θερμοδιαμόρφωσης πλαστικών. Ένα φύλλο αλουμινίου θερμαίνεται στους 450-500°C και εν συνεχεία οδηγείται με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα σε ένα μονής επιφάνειας θηλυκό ή αρσενικό καλούπι. Οι τέσσερις κυριότεροι τύποι υπερδιαμόρφωσης είναι: **κοιλότητας, φυσαλίδας, πίεσης από πίσω και διαφράγματος**. Κάθε μία από αυτές τις τεχνικές έχει αναπτυχθεί ώστε να εκπληρώνει συγκεκριμένες απαιτήσεις διαφορετικών εφαρμογών.

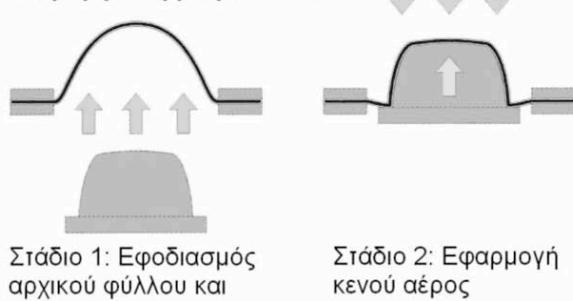
Η διαμόρφωση **Κοιλότητας** ενδείκνυται για μεγάλα και περίπλοκα κομμάτια όπως το σασί αυτοκινήτου στην αυτοκινητοβιομηχανία και είναι εξαιρετική στη μορφοποίηση του 5083 κράματος αλουμινίου. Το θερμό φύλλο μετάλλου εξωθείται στην εσωτερική επιφάνεια του εργαλείου με τη χρήση πεπιεσμένου αέρα 1-30 bar. Το θερμό μέταλλο είναι υπερπλαστικό και έτσι σχηματίζει εύκολα πολύπλοκες και περίπλοκες μορφές. Αυτή η διαδικασία συνήθως χρησιμοποιείται για την κατασκευή μεγάλων ρηχών κομματιών.

Η διαμόρφωση **Φυσαλίδας** είναι κατάλληλη για βαθιά πολύπλοκα μέρη, ειδικά στις περιπτώσεις όπου το πάχος τοιχωμάτων πρέπει να παραμείνει σχετικά αμετάβλητο. Αυτή η διαδικασία μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή σχημάτων τα οποία είναι αδύνατο να κατασκευαστούν με οποιαδήποτε άλλη διαδικασία. Στο πρώτο στάδιο, το θερμό φύλλο μετάλλου εμφυσάτε και φουσκώνει σε φυσαλίδα και το καλούπι ανεβαίνει. Στο δεύτερο στάδιο, αντιστρέφεται η πίεση και η φυσαλίδα με το μέταλλο εξωθείται στην εξωτερική επιφάνεια του καλουπιού. Το πάχος των τοιχωμάτων είναι ομοιόμορφο λόγω του ότι η πίεση τανύζει την επιφάνεια ομοιόμορφα πρίν την

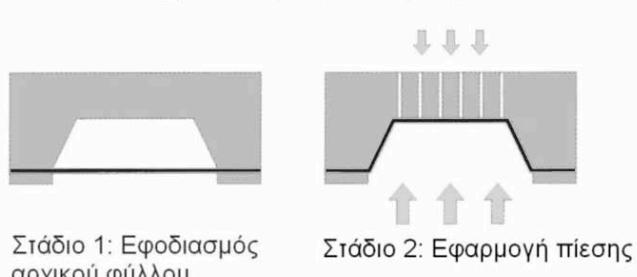
#### Διαμόρφωση σε κοιλότητα



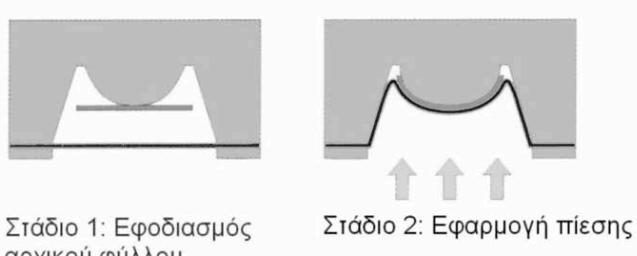
#### Διαμόρφωση με φυσαλίδα



#### Διαμόρφωση με πίεση στη πλάτη της κοιλότητας



#### Διαμόρφωση με διάφραγμα



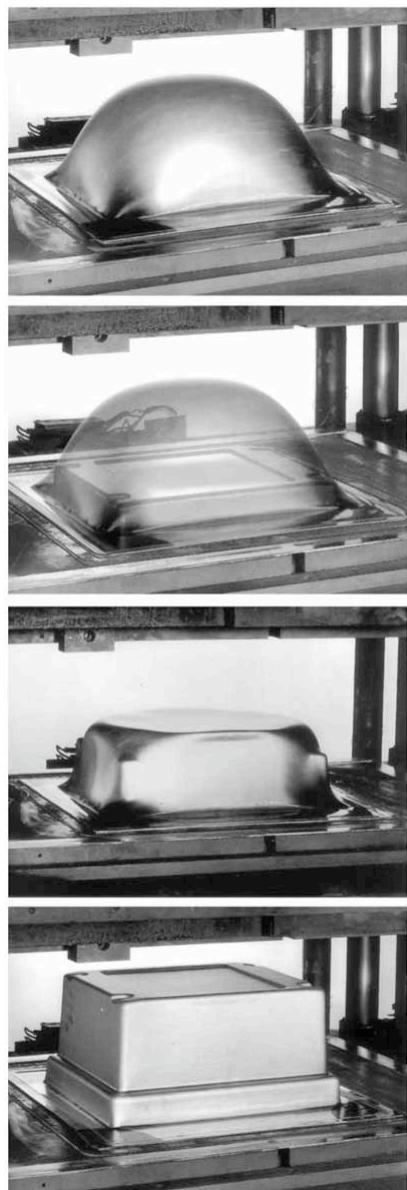
### διαμόρφωση.

Η διαμόρφωση με **πίεση από την πλάτη** της κοιλότητας αναπτύχθηκε για την παραγωγή μερών αεροσκαφών από κράματα 7475. Αν και παρόμοια με την διαμόρφωση κοιλότητας, διαφέρει στη χρησιμοποίηση πεπιεσμένου αέρα και στις δύο πλευρές του φύλλου. Με αυτό τον τρόπο η διαδικασία ελέγχεται καλύτερα και μειώνονται οι τάσεις στο θερμό φύλλο μετάλλου. Εφαρμόζεται σταδιακά στην επιφάνεια του καλουπιού με τη βοήθεια μικρής διαφοράς πίεσης. Έτσι διατηρείται η ακέραιο το φύλλο και δίνει τη δυνατότητα της μορφοποίησης δύσκολων κραμάτων.

Η διαμόρφωση με **Διάφραγμα** αναπτύχθηκε για την υπερδιαμόρφωση των αυτοαποκαλούμενων «μή υπερελαστικών» (non-superplastic) κραμάτων. Χρησιμοποιείται για το σχηματισμό πολύπλοκων σχημάτων σε κράματα όπως 2014, 2024, 2219 και 6061, καθιστώντας τη ιδανική για την παραγωγή δομικών εξαρτημάτων. Το μεταλλικό διάφραγμα υποστηρίζει το ζεστό φύλλο μετάλλου και βοηθάει τη ροή του υλικού μέσα σε πολύπλοκα τρισδιάστατα προφίλ, επιτρέποντας την ελεύθερη κίνηση του προς διαμόρφωση φύλλου υλικού.

Και στις 4 διαδικασίες υπερδιαμόρφωσης ένα φύλλο μετάλλου τοποθετείται στη μηχανή, συγκρατείται σταθερά και θερμαίνεται μεταξύ **450°C and 500°C**. Η θερμοκρασία καθορίζεται από τον τύπο και το πάχος του φύλλου.

*Εικόνα δεξιά: Η διαδικασία διαμόρφωσης με **Φυσαλίδα** δείχνει πως υπερδιαμορφώνεται το αλουμίνιο. Το θερμό φύλλο μετάλλου εμφυσείται και φουσκώνει σαν μία φυσαλίδα μέσα στο θάλαμο μορφοποίησης. Το καλούπι ανέρχεται εντός της φυσαλίδας μετάλλου. Μόνο μία εικονική απεικόνιση αυτού του σταδίου της διαδικασίας εμφανίζεται εξαιτίας της διαφάνειας του φύλλου μετάλλου. Καθώς το καλούπι ανέρχεται το θερμό μέταλλο εξωθείται πάνω στην επιφάνεια με τη βοήθεια πεπιεσμένου αέρα. Το καλούπι συνεχίζει να ανέρχεται και το μέταλλο οδηγείται πάνω του ώστε η διαδικασία ολοκληρωθεί και το καλούπι να μπορεί να απομακρυνθεί. Το κομμάτι έχει μορφοποιηθεί και είναι έτοιμο για οποιαδήποτε άλλη μετα-μορφωποιητική (post-forming) κατεργασία.*



Εικόνες επάνω: καρέκλα Tom Bloc, 2007, Ron Arad, και ποδήλατο Biomega MN01, 2008, Marc Newson

#### 4.4 Χύτευση σε καλούπτια (Die Casting)

Υπάρχουν διάφορες τεχνικές Χύτευσης σε καλούπτια (Die Casting), όπως υψηλής πίεσης χύτευση σε καλούπτια (high pressure Die Casting), χαμηλής πίεσης χύτευση σε καλούπτια (low pressure Die Casting) και χύτευση σε καλούπτια με βαρύτητα (gravity Die Casting).

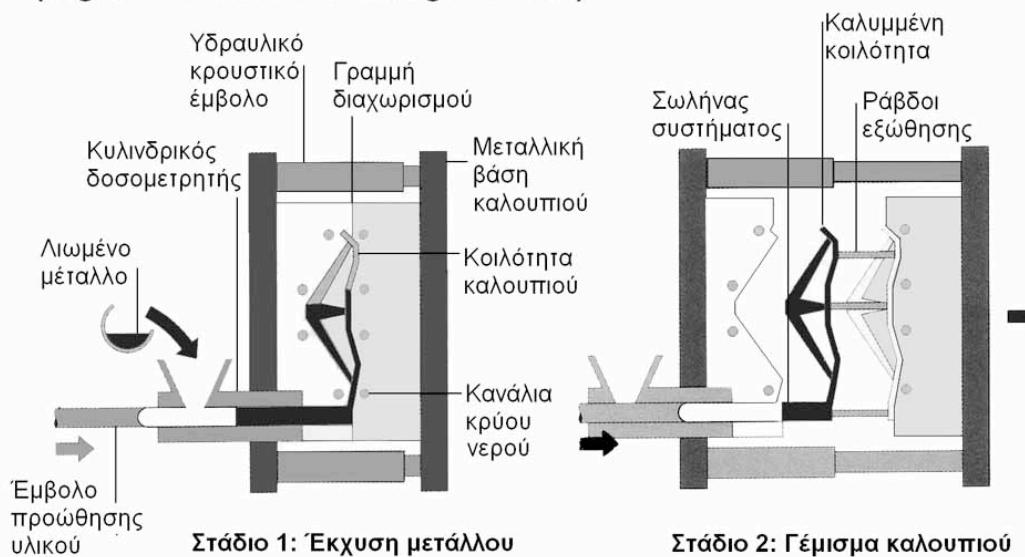
Εφαρμογές	Κόστη	Παραγωγή	Ποιότητα
Φωτιστικά, μέρη κουζίνας έπιπλα, συσκευασίες, αυτοκινητά κτλ..	Χαμηλές - μέτριες δαπάνες σε καλούπτια. Χαμηλό κόστος μονάδος προϊόντος	Υψηλή παραγωγή. Γρήγορος κύκλος κατεργασίας.	Υψηλή ποιότητα τελικής επιφάνειας.

Η **υψηλής πίεσης χύτευση σε καλούπτια (Die Casting)** είναι μια διαδικασία πολλαπλών εφαρμογών και ο γρηγορότερος τρόπος μορφοποίησης μη σιδηρούχων μεταλλικών κομματιών. Το λιωμένο μέταλλο ωθείται υπό υψηλή πίεση μέσα στην κοιλότητα χύτευσης (die cavity), μορφοποιώντας το κομμάτι. Η υψηλή πίεση επιτρέπει τη μορφοποίηση μικρών κομματιών, τμημάτων με λεπτά τοιχώματα, περίπλοκων λεπτομερειών και την επίτευξη πολύ καλής ποιότητας επιφανειών. Τα εργαλεία και ο εξοπλισμός είναι πολύ ακριβά, και γι αυτό η διαδικασία αυτή ενδείκνυται μόνο για υψηλού μεγέθους παραγωγή.

Στην **χαμηλής πίεσης χύτευση σε καλούπτια (Die Casting)** το λιωμένο υλικό ωθείται εντός της κοιλότητας χύτευσης (die cavity), με τη βοήθεια αερίου χαμηλής πίεσης. Οι αναταράξεις κατά την ροή του υλικού είναι πολύ μικρές και έτσι το κομμάτι έχει καλές μηχανικές ιδιότητες. Η διαδικασία αυτή είναι κατάλληλη για συμμετρικά ως προς τον άξονα περιστροφής τους κομμάτια κραμάτων με χαμηλό σημείο τήξης. Ένα παράδειγμα θα ήταν ο τροχός από κράμα αλουμινίου.

Η **χύτευση σε καλούπτια (Die Casting) με βαρύτητα** είναι γνωστή και ως μόνιμη χύτευση με καλούπτια. Τα καλούπτια από χάλυβα είναι το μόνο στοιχείο που την διαφοροποιεί από την διαδικασία Χύτευσης σε καλούπτια άμμου sand casting. Ο χειρισμός των καλουπιών μπορεί να γίνει με το χέρι ή αυτόματα για μεγαλύτερου μεγέθους παραγωγή. Η χαμηλότερη πίεση σημαίνει χαμηλότερο κόστος εργαλείων και εξοπλισμού, έτσι η διαδικασία αυτή συνήθως χρησιμοποιείται για μικρού μεγέθους παραγωγή, οι οποίες είναι ασύμφορες οικονομικά για άλλες διαδικασίες χύτευσης.

#### Διαδικασία έκχυσης σε καλούπτια με υψηλή πίεση (High Pressure Die Casting Process)



Η υψηλής πίεσης χύτευση σε καλούπια (Die Casting) γίνεται σε θερμούς ή ψυχρούς θαλάμους. Η μόνη διαφορά είναι ότι στην μέθοδο θερμού θαλάμου το λιωμένο μέταλλο αντλείται απευθείας από τον κλίβανο μέσα στην κοιλότητα χύτευσης. Το μέγεθος της μηχανής κυμαίνεται από 500 τόνους έως πάνω από 3,000 τόνους. Η απαιτούμενη δύναμη σύσφιξης καθορίζεται από το μέγεθος και την περιπλοκότητα του προς κατασκευή κομματιού.

Μεταλλικοί ράβδοι και απορρίμματα, λιώνουν σε κλίβανο που δουλεύει 24 ώρες την ημέρα. Στο στάδιο 1 της μεθόδου κρύου θαλάμου, μία χοάνη συλλέγει μια ποσότητα λιωμένου μετάλλου και την εναποθέτει μέσα στον δοκιμαστικό κύλινδρο.

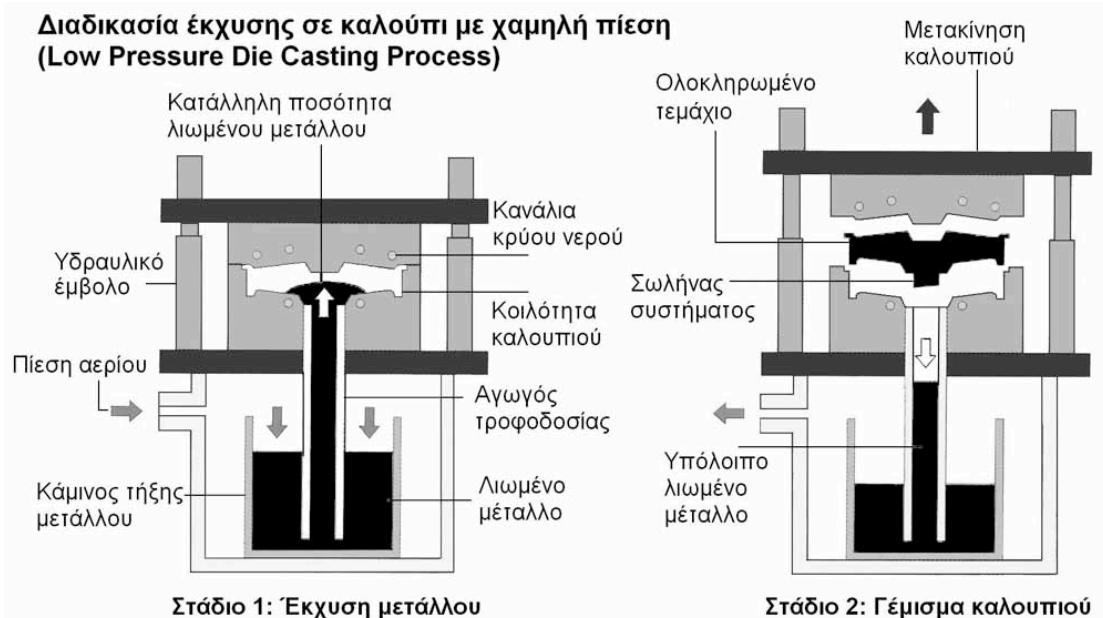
Στην μέθοδο ζεστού θαλάμου ο κύλινδρος τροφοδοτείται από τον κλίβανο. Το ζεστό υγρό μέταλλο ωθείται μέσα στην κοιλότητα χύτευσης, με πιστόνι υπό υψηλή πίεση. Η πίεση διατηρείται έως ότου το κομμάτι στερεοποιηθεί. Κανάλια νερού διατηρούν την θερμοκρασία του καλουπιού χαμηλότερα από αυτή του υλικού επιταχύνοντας την ψύξη μέσα στην κοιλότητα χύτευσης.

Στο στάδιο 2, αφού τα κομμάτια έχουν ψυχθεί επαρκώς -αυτό διαρκεί συνήθως από μερικά δευτερόλεπτα έως αρκετά λεπτά ανάλογα με το μέγεθος του κομματιού- τα δύο τμήματα του καλουπιού ανοίγουν και το κομμάτι απομακρύνεται. Τα απορρίμματα τύπου flash και τα συστήματα αγωγών (runners) πρέπει να απομακρυνθούν προτού το κομμάτι είναι έτοιμο για διαδικασίες συναρμολόγησης και φινιρίσματος. Τα υψηλής πίεσης χυτευμένα κομμάτια απαιτούν ελάχιστη κατεργασία ή φινίρισμα, επειδή επιτυγχάνεται πολύ καλή τελική επιφάνεια μέσα στο καλούπι.

Στην χαμηλής πίεσης χύτευση σε καλούπια (Die Casting) το καλούπι και ο κλίβανος συνδέονται με ένα σωλήνα τροφοδοσίας. Το καλούπι συνδέεται (mounted) στο πάνω μέρος του κλίβανου με μία οριζόντια διαχωριστική γραμμή.

- Στο στάδιο 1, το λιωμένο υλικό ωθείται μέσο του σωλήνα τροφοδοσίας στην κοιλότητα χύτευσης με τη βοήθεια αερίου υπό πίεση πάνω στην επιφάνεια του μετάλλου στον κλίβανο. Η πίεση του αερίου παραμένει έως ότου το κομμάτι στερεοποιηθεί.
- Στο στάδιο 2, όταν απελευθερώνεται η πίεση του αερίου, το λιωμένο υλικό που παραμένει στον σωλήνα τροφοδοσίας επιστρέφει πίσω στην χοάνη. Το κομμάτι αφήνεται για λίγο ώστε να στερεοποιηθεί προτού το πάνω μισό του καλουπιού σηκωθεί και αποκολληθεί το κομμάτι.

#### Διαδικασία έκχυσης σε καλούπι με χαμηλή πίεση (Low Pressure Die Casting Process)



Από τη φύση της η διαδικασία αυτή ταιριάζει καλύτερα σε κομμάτια συμμετρικά γύρω από τον άξονα περιστροφής τους.

### Χαρακτηριστικά - Περιορισμοί:

- Τα κομμάτια από Χύτευση σε καλούπια (Die Casting) έχουν ανώτερη ποιότητα επιφάνειας, η οποία βελτιώνεται με την πίεση. Οι υψηλής ταχύτητας μέθοδοι ψεκασμού προκαλούν αναταράξεις στην ροή του μετάλλου, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό πόρων κατά την χύτευση. Τα διάκενα και οι πόροι αποτελούν αναπόφευκτο κομμάτι της χύτευσης μετάλλου και μπορούν να περιοριστούν κατά την κατασκευή του προϊόντος στα αρχικά στάδια. Προσομοιωτές ροής χρησιμοποιούνται για την βελτιστοποίηση της πλήρωσης της κοιλότητας του καλουπιού και την εξάλειψη σχηματισμού διάκενων και πόρων. Διάφορες αναλύσεις αντοχών διεξάγονται πριν την κατασκευή για την δοκιμή των μηχανικών ιδιοτήτων του κομματιού.
- Τα πλεονεκτήματα της Χύτευσης σε καλούπια (Die Casting) είναι πολλά όταν οι ποσότητες δικαιολογούν την χρήση της. Περίπλοκες και ογκώδεις κατασκευές μπορούν να επανασχεδιαστούν ώστε να γίνουν οικονομικότερες, ελαφρύτερες και με μεγαλύτερη αντοχή. Για παράδειγμα, τρύπες σε φύλλα μετάλλου (σε άλλες διαδικασίες) είναι απορρίμματα, ενώ τρύπες κατά την χύτευση σε καλούπια (Die Casting) είναι εξοικονόμηση υλικού επειδή παράγονται απευθείας στο καλούπι μειώνοντας την κατανάλωση υλικού.
- Οι διαδικασίες αυτές χρησιμοποιούνται στην παραγωγή πολύπλοκων σχημάτων με εσωτερικούς πυρήνες και ραβδώσεις. Μέθοδοι υψηλής πίεσης αναπαράγουν πολύ καλές λεπτομέρειες και μπορούν να μορφοποιήσουν λεπτότερα τμήματα τοιχωμάτων από τις υπόλοιπες διαδικασίες. Τα κομμάτια παράγονται με υψηλές ανοχές και συνήθως δεν απαιτούν καμία κατεργασία. Εξωτερικά σπειρώματα και προσθήκες μπορούν να χυτευτούν κατευθείαν στο κομμάτι.
- Η διαδικασία υψηλής πίεσης έχει παρόμοια τεχνικά θέματα με την Παραγωγή με **Χύτευση υπό υψηλή πίεση πλαστικών** (injection molding). Αυτά είναι: ο σχεδιασμός των **νευρώνων** (rib design), οι **γωνίες εξόδου** (draft angles - 1,5° είναι συνήθως επαρκή), **εσοχές** (recesses), εξωτερικά χαρακτηριστικά, η **ροή στο καλούπι** (mold flow) και οι **γραμμές διαχωρισμού** (partition lines). Το κομμάτι πρέπει να σχεδιαστεί λαμβάνοντας υπ' όψιν όλα τα χαρακτηριστικά της διαδικασίας χύτευσης, από την κατασκευή των εργαλείων μέχρι το φινίρισμα, έτσι όλοι οι εμπλεκόμενοι φορείς πρέπει να ενημερωθούν νωρίς κατά την διαδικασία σχεδίασης για το βέλτιστο αποτέλεσμα.
- Η χύτευση (Die casting) είναι καταλληλότερη για μικρά κομμάτια επειδή ο εξοπλισμός από χάλυβα είναι πολύ ακριβός και ογκώδης για κομμάτια πάνω από 9 kg. Καλούπια με πλευρικές κινήσεις (side action molds) και πυρήνες (cores), αυξάνουν αισθητά το κόστος εξοπλισμού. Ωστόσο, υπάρχει ένα πλεονέκτημα όταν π.χ. αυξάνοντας την αντοχή - μειώνεται το πάχος τοιχωμάτων.
- Οι δαπάνες εξοπλισμού είναι υψηλές επειδή τα εργαλεία φτιάχνονται από χάλυβα ώστε να αντέχουν τις θερμοκρασίες των λιωμένων κραμάτων. Στην διαδικασία Χύτευση σε καλούπια (Die Casting) με **βαρύτητα**, πυρήνες άμμου (sand cores) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περίπλοκες μορφές και μικρές γωνίες επανεισόδου.
- Όταν χρησιμοποιείται πολλαπλής κοιλότητας καλούπι, ο κύκλος κατεργασίας είναι γρήγορος και κυμαίνεται από μερικά δευτερόλεπτα έως αρκετά λεπτά, ανάλογα με το μέγεθος της χύτευσης.
- Οι δαπάνες προσωπικού είναι χαμηλές για τις αυτοματοποιημένες μεθόδους χύτευσης σε καλούπια (Die Casting).



Εικόνα δεξιά: chair one σχεδιασμός konstantin grcic για την magis

#### 4.5 Χύτευση με την μέθοδο του “Χαμένου Κεριού” (Lost–Wax or Investment casting)

Με τη διαδικασία αυτή, στην οποία χρησιμοποιούνται μη μόνιμα κεραμικά καλούπια, δημιουργούνται πολύπλοκα και περίπλοκα σχήματα από μέταλλα σε ρευστή κατάσταση. Είναι μια μεταβλητή διαδικασία χύτευσης μετάλλου. Είναι ακριβότερη από την Χύτευση σε καλούπι (die casting), αλλά οι δυνατότητες που παρέχει αντισταθμίζουν την διαφορά στην τιμή σε πολλές εφαρμογές. Λόγο των πλεονεκτημάτων της, η μέθοδος “χαμένου κεριού” χρησιμοποιείται στην παραγωγή μεγάλης ποικιλίας προϊόντων, βάρους από λίγα γραμμάρια έως πάνω από 35 kg.

Εφαρμογές	Κόστη	Παραγωγή	Ποιότητα
Αεροδιαστηματική, μέρη επίπλων, οικιακές συσκευές και ηλεκτρονικά κτλ.	Χαμηλές - μέτριες δαπάνες σε καλούπια (κεριού). Μή μόνιμα καλούπια. Μέτριο - υψηλό κόστος μονάδος προιόντος	Χαμηλή - υψηλή παραγωγή. Μεγάλος κύκλος κατεργασίας (24 ώρες).	Υψηλή ποιότητα.

Η μέθοδος “χαμένου κεριού” αποτελείται από 3 στοιχεία:

- το αναλώσιμο σχέδιο/μοντέλο (pattern),
- το προσωρινό και αναλώσιμο κεραμικό καλούπι και
- τη χύτευση μετάλλου.

Τα αναλώσιμα σχέδια – μοντέλα είναι συνήθως κέρινα κατασκευασμένα με χύτευση υπό υψηλή πίεση (injection molded), αλλά χρησιμοποιούνται και άλλα υλικά, συμπεριλαμβανομένων μακετών γρήγορης πρώτο-τυποποίησης (rapid prototyped models).

Η διαδικασία είναι κατάλληλη τόσο για μικρού όσο και για μεγάλου μεγέθους παραγωγή, από τη δημιουργία πρωτοτύπων έως τη μαζική παραγωγή 40,000 και πλέον κομματιών τον μήνα. Είναι επίσης εφικτή η παραγωγή πολύπλοκων, περίπλοκων κομματιών με λεπτά και χοντρά πάχη τοιχωμάτων τα οποία δεν μπορούν να κατασκευαστούν με άλλο τρόπο.

Υπάρχουν πολλά στάδια της διαδικασίας “χαμένου κεριού” τα οποία χωρίζονται:

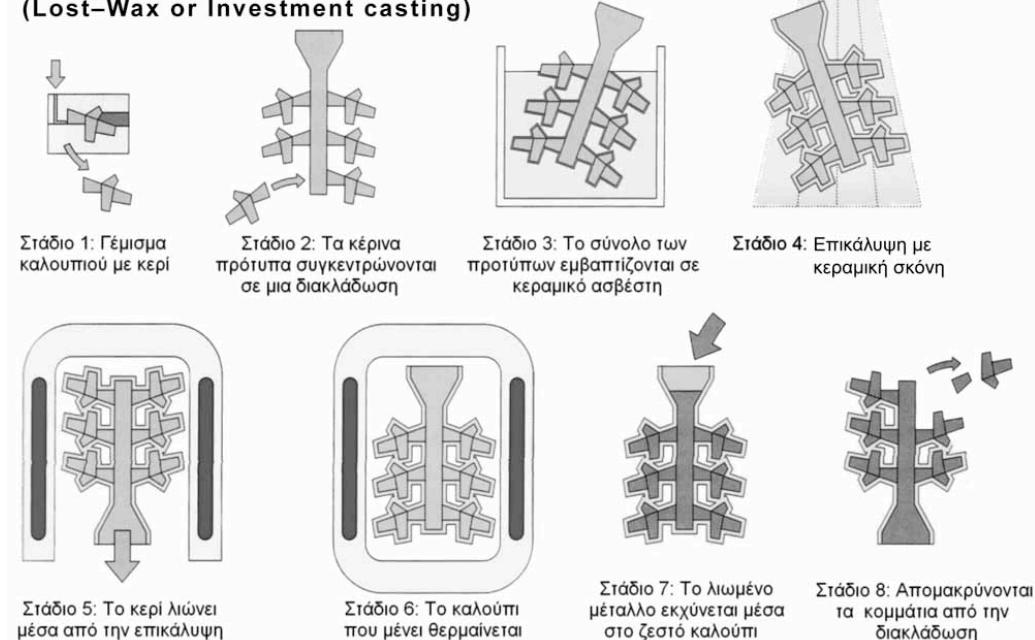
- στην κατασκευή του σχεδίου/μοντέλου,
- στην κατασκευή του κεραμικού καλουπτιού και
- στην χύτευση.

αναλυτικά:

- Στο **1ο** στάδιο, σχηματίζεται το αναλώσιμο σχέδιο/μοντέλο, το οποίο στην περίπτωση αυτή είναι έκχυση κεριού (wax injection). Τα καλούπια είναι συνήθως από αλουμίνιο. Σε αντίθεση με την συμβατική παραγωγή με χύτευση υπό υψηλή πίεση (injection molding), τα καλούπια αυτά έχουν πολλά κομμάτια, τα οποία συναρμολογούνται με το χέρι. Το κερί εγχέεται σε χαμηλή πίεση, έτσι υπάρχει ελάχιστο flash (υπέρ-έγχυση), ή άλλα προβλήματα που σχετίζονται με τις τεχνικές έκχυσης σε υψηλή πίεση (high-pressure injection). Τα κέρινα κομμάτια διαμορφώνονται με την “πύλη” (gate) και τους αγωγούς ροής (runner system) σαν ένα κομμάτι.
- Στο **2ο** στάδιο, ολόκληρη η συναρμογή (δένδρο - tree) τοποθετείται σε ένα σύστημα κεντρικής τροφοδότησης. Τα πάντα είναι κέρινα και έτσι μπορούν να λιώσουν και να ενωθούν μεταξύ τους. Κάθε συναρμογή (δένδρο - tree) μπορεί να συγκρατεί δεκάδες ή και εκατοντάδες προϊόντα, ανάλογα με το μέγεθος των κομματιών, αυξάνοντας τους ρυθμούς παραγωγής.
- Στο **3ο** και **4ο** στάδιο, η συναρμογή βυθίζεται σε κεραμικό διάλυμα και εν συνεχείᾳ καλύπτεται με σκόνη κεραμικού υλικού. Η πρωταρχική επικάλυψη αποτελείται από πολύ μικρά σωματίδια, τα οποία διασφαλίζουν καλή ποιότητα επιφάνειας στο εσωτερικό του κελύφους του καλουπτιού. Ο αριθμός των επιστρώσεων εξαρτάται από το μέγεθος του κομματιού και από τον τύπο του μέταλλου. Αυτή η διαδικασία, επαναλαμβάνεται 7

με 15 φορές με προοδευτικά ταχύτερη σκόνη. Μεταξύ κάθε κύκλου το κέλυφος

**Χύτευση με την μέθοδο του “Χαμένου Κεριού”  
(Lost-Wax or Investment casting)**



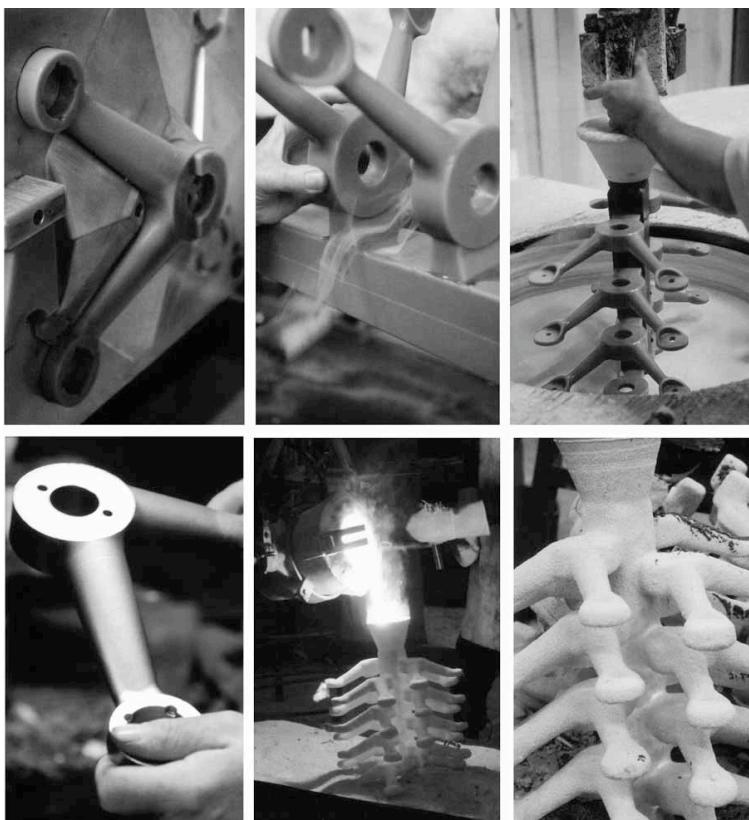
αφήνεται να στεγνώσει για 3 ώρες.

- Στο **5ο** και **6ο** στάδιο, τα κέρινα σχεδία/μοντέλα και οι αγωγοί ροής λιώνουν σε μια συσκευή θέρμανσης με ατμό και μετά το κεραμικό κέλυφος ψήνεται στους 1095°C. Απομακρύνεται από τον κλίβανο σε θερμοκρασία μεταξύ 500°C και 1095°C ανάλογα με το μέταλλο που χρησιμοποιείται.
- Στο **7ο** στάδιο, και ενώ το κέλυφος είναι ακόμη πολύ ζεστό, χύνεται μέσα το λιωμένο μέταλλο. Στις περισσότερες περιπτώσεις η πλήρωση γίνεται με την βοήθεια της βαρύτητας. Είναι επίσης εφικτή η ώθηση του λιωμένου μετάλλου με την χρήση κενού αέρος, ή με τη βοήθεια πίεσης.
- Μόλις το χυτό στερεοποιηθεί και κρυώσει, στο **8ο** στάδιο βγαίνει από το καλούπι με τη βοήθεια κρούσης και δονήσεων. Για εκλεπτυσμένα και εύθραυστα κομμάτια, το καλούπι απομακρύνεται με τη χρήση χημικών διαλυτικών ή νερού υψηλής πίεσης.
- Τα κομμάτια απομακρύνονται από τους αγωγούς ροής και καθαρίζονται. Απαιτείται κατεργασία για τον καθαρισμό της επιφάνειας που ήταν σε επαφή με τους αγωγούς ροής (runner system). Στο τελικό στάδιο τα κομμάτια στιλβώνονται, ή αφήνονται όπως είναι, επειδή η τελική επιφάνεια είναι γενικά πολύ καλή.

### Χαρακτηριστικά - Περιορισμοί:

- Το καλούπι (για το κερί) είναι 3% μεγαλύτερο από το τελικό μεταλλικό προϊόν, επιτρέποντας την συρρίκνωση του κεριού κατά 1% και του μετάλλου κατά 2%.
- Τα τμήματα των τοιχωμάτων δεν έχουν ομοιόμορφο πάχος; μερικές φορές απαιτείται μεγαλύτερο πάχος τμημάτων για την υποβοήθηση της ροής του μετάλλου στην κοιλότητα του καλουπιού. Είναι δυνατή η τροφοδοσία μετάλλου στην κοιλότητα μέσω πολλαπλών εισόδων, διασφαλίζοντας καλύτερη διάχυση γύρω από πολύπλοκα σχήματα. Το πάχος του τοιχώματος εξαρτάται από το κράμα. Το τυπικό πάχος τοιχώματος για το αλουμίνιο και τον ψευδάργυρο είναι μεταξύ 2 mm and 3 mm (0.079-0.118 in.), αν και είναι εφικτή η χύτευση πάχους τοιχώματος 1.5 mm (0.059 in.). Τα κράματα χαλκού και χάλυβα απαιτούν μεγαλύτερα πάχη, συνήθως μεγαλύτερα από 3 mm (0.118 in.), αλλά σε μικρές επιφάνειες ένα πάχος 2 mm (0.079 in.) είναι εφικτό.

- Τα χυτευμένα κομμάτια έχουν ακρίβεια διαστάσεων και απαιτούν ελάχιστη κατεργασία. Ωστόσο, τα εσωτερικά σπειρώματα (threads) και οι μεγάλες τυφλές οπές μπορούν να μορφοποιηθούν σαν δευτερεύουσες διαδικασίες. Όπως και στις υπόλοιπες διαδικασίες χύτευσης, τα χυτευμένα κομμάτια είναι ενισχυμένα με νευρώνες (ribbed) και ενισχύονται για την εξάλειψη της παραμόρφωσης και της στρέβλωσης κατά την ψύξη τους.
- Η μέθοδος “χαμένου κεριού” δεν έχει τους περιορισμούς των άλλων τεχνικών όσο αφορά τα σχήματα. Αυτό ισχύει επειδή ούτε το σχέδιο/μοντέλο, ούτε το μεταλλικό κομμάτι χρειάζεται να αφαιρεθεί πιοτέ. Το σχέδιο/μοντέλο και το καλούπι είναι και τα δυο αναλώσιμα: το κερί λιώνει από το κεραμικό καλούπι, το οποίο με την σειρά του σπάει γύρω από το τελικό προϊόν. Με άλλα λόγια, είναι δυνατή η χύτευση σχημάτων με undercuts και ποικίλα πάχη τοιχωμάτων, τα οποία δεν μπορούν να κατασκευαστούν με καμία άλλη τεχνική. Αυτό εξαλείφει τις δαπανηρές διαδικασίες κατασκευής.
- Η διαδικασία αυτή έχει πολύ λίγα απορρίμματα τα οποία ανακυκλώνονται απευθείας στον κλίβανο. Το λιωμένο κερί επαναχρησιμοποιείται στους αγωγούς ροής των καλουπιών (runner systems).
- Τα κεραμικά κελύφη (shells) δεν ανακυκλώνονται, αλλά τα υλικά τους είναι αδρανή και μη τοξικά. Ο καπνός και τα σωματίδια που παράγονται κατά τη χύτευση αιχμαλωτίζονται από κεραμικά φίλτρα.
- χεδόν όλα τα σιδηρούχα και μη σιδηρούχα κράματα μετάλλων μπορούν να χυτευτούν με αυτή τη μέθοδο. Η διαδικασία αυτή είναι κατάλληλη για την χύτευση μετάλλων που δεν μπορούν να δουλευτούν και να κατεργαστούν με άλλο τρόπο, όπως τα superalloys. Τα συνηθέστερα υλικά είναι οι άνθρακούχοι και χαμηλής ανάμιξης σίδηροι (low alloy steels), ο ανοξείδωτος χάλυβας, το αλουμίνιο, το τιτάνιο, ο ψευδάργυρος, τα κράματα χαλκού και τα πολύτιμα μέταλλα. Τα κράματα νικελίου, κοβαλτίου και τα μαγνητικά κράματα μπορούν επίσης να χυτευτούν.



**εικόνες αριστερά:** στάδια από την παραγωγή με τη μέθοδο “Χαμένου κεριού”: από το κέρινο ομείωμα (αριστερά επάνω), το “δένδρο” (επάνω κέντρο), τον εμβαπτισμό σε κεραμικό υγρό (επάνω δεξιά), την επίστρωση με κεραμική σκόνη (κάτω δεξιά), την χύτευση με μέταλλο (κάτω κέντρο) μέχρι το μεταλλικό τελικό αντικείμενο (αριστερά κάτω)

#### 4.6 Φυγοκεντρική Χύτευση (Centrifugal Casting)

Η φυγοκεντρική χύτευση (Centrifugal Casting) είναι μια οικονομική διαδικασία κατάλληλη για χύτευση μετάλλων, πλαστικών, συνθετικών και γυαλιού. Λόγο του χαμηλού κόστους εξοπλισμού, η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται τόσο στην παραγωγή πρωτοτύπων όσο και στην μαζική παραγωγή εκατομμυρίων κομματιών.

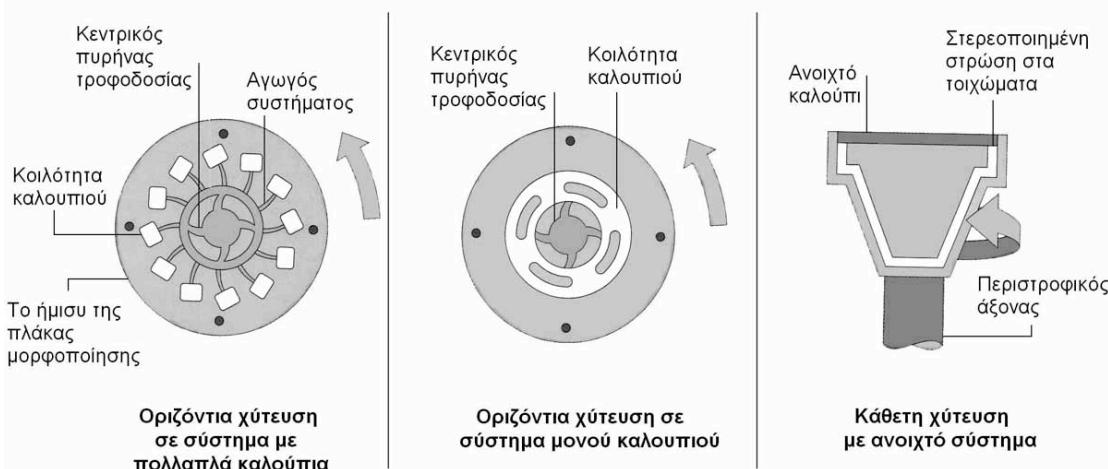
Εφαρμογές	Κόστη	Παραγωγή	Ποιότητα
Κοσμήματα, μέρη επίπλων, εξαρτήματα μπάνιου, πρωτότυπα κτλ.	Χαμηλές δαπάνες σε καλούπια. Χαμηλό κόστος μονάδος προιόντος	Χαμηλή και υψηλή παραγωγή. Γρήγορος κύκλος κατεργασίας (0.5 - 5 λεπτά).	Υψηλή ποιότητα αναπαραγωγής.

Η φυγοκεντρική χύτευση (Centrifugal Casting) καλύπτει ένα εύρος περιστροφικών διαδικασιών, οι οποίες χρησιμοποιούνται στην μορφοποίηση μετάλλων (κτλ.) στην υγρή τους κατάσταση. Με την περιστροφή σε υψηλή ταχύτητα το υλικό ωθείται διαμέσου των κοιλοτήτων του καλουπιού.

Το υλικό του καλουπιού – **σιλικόνη ή μέταλλο** – διαχωρίζει τους δύο βασικούς τύπους της φυγοκεντρικής χύτευσης (Centrifugal Casting):

- **Μικρά κομμάτια, βάρους από μερικά γραμμάρια έως 1.5kg**, μπορούν να χυτευτούν σε καλούπια σιλικόνης. Η τεχνική αυτή είναι χαμηλού κόστους για την παραγωγή οποιασδήποτε ποσότητας μικρών κομματιών από μοναδικά αντίτυπα έως υψηλού μεγέθους παραγωγή, λόγο χαμηλού κόστους και ταχύτητας κατασκευής των καλουπιών. Τα υλικά που μπορούν να χυτευτούν περιλαμβάνουν τα λευκά μέταλλα, κασσίτερο, ψευδάργυρο και πλαστικό.
- **Μεγαλύτερα κομμάτια και υλικά με υψηλότερο σημείο τήξης** (χάλυβας, αλουμίνιο και γυαλί) χυτεύονται σε μεταλλικά καλούπια. Η τεχνική αυτή επιλέγεται συνήθως για προϊόντα συμμετρικά γύρω από ένα άξονα περιστροφής με διάμετρο 1m ή μεγαλύτερη. Το σχήμα και η πολυπλοκότητα του κομματιού περιορίζεται από τη φύση της διαδικασίας.

#### Διαδικασία φυγόκεντρης χύτευσης (Centrifugal Casting Process)



εικόνα επάνω: οι τρεις βασικές τεχνικές φυγόκεντρης χύτευσης

- Οι δύο οριζόντιες τεχνικές χύτευσης που περιγράφονται πιο πάνω χρησιμοποιούν εξοπλισμό από σιλικόνη ή από μέταλλο. Το λιωμένο υλικό τροφοδοτείται κατά μήκος του κεντρικού πυρήνα τροφοδοσίας, ο οποίος βρίσκεται σε κατακόρυφη θέση. Καθώς περιστρέφεται το καλούπι, το μέταλλο ωθείται κατά μήκος του συστήματος

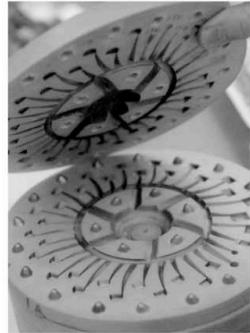
τροφοδοσίας/ροής (runner system) μέσα στις κοιλότητες του καλουπιού. Ξεχείλισμα (flash) σχηματίζεται στο σημείο ένωσης των δύο κομματιών του καλουπιού. Κοιλότητες ροής (Runners) μπορούν να ενσωματωθούν στον εξοπλισμό διευκολύνοντας την ροή του αέρα έξω από την κοιλότητα του καλουπιού.

- Η **κατακόρυφη μέθοδος** χύτευσης είναι παρόμοια με τη διαδικασία Περιστροφικής χύτευσης πλαστικών (rotational molding). Η διαφορά του είναι ότι στην φυγοκεντρική χύτευση (Centrifugal Casting) το καλούπι περιστρέφεται γύρω από έναν άξονα, σε αντίθεση με την διαδικασία Περιστροφική χύτευση (rotation molding) όπου τα καλούπια περιστρέφονται γύρω από 2 ή περισσότερους άξονες. Στην πράξη, μια στρώση λιωμένου υλικού σχηματίζεται στην εσωτερική επιφάνεια του καλουπιού, δημιουργώντας επίπεδες ή κοίλες γεωμετρίες.



**εικόνα δεξιά: παραγωγή με φυγόκεντρο χύτευση σε καλούπι σιλικόνης.**

#### Χαρακτηριστικά - περιορισμοί:



- Το πλεονέκτημα αυτής της διαδικασίας σε σχέση με τις άλλες είναι ότι συνδυάζει το σχετικά **χαμηλό κόστος** για μικρά κομμάτια με ένα **σημείο τήξης κάτω από 500°C**. Το κόστος εξοπλισμού για μεγαλύτερα κομμάτια και υλικά με υψηλότερο σημείο τήξης μπορεί επίσης να είναι χαμηλό, επειδή είναι διαδικασία χαμηλής πίεσης.
- Η περιστροφή του καλουπιού σε υψηλή ταχύτητα ωθεί το υλικό διαμέσου μικρών κοιλοτήτων του καλουπιού. Οι λεπτομέρειες της επιφάνειας, πολύπλοκα σχήματα και λεπτά τοιχώματα αναπαράγονται πολύ καλά. Σε μικρά κομμάτια ανοχές της τάξης των 250 microns είναι αποδεκτές.
- Το γεγονός ότι η φυγοκεντρική χύτευση (Centrifugal Casting) είναι διαδικασία χαμηλής πίεσης έχει πλεονεκτήματα και περιορισμούς για την ποιότητα του υλικού. Για παράδειγμα, **τα υλικά δεν συμπιέζονται τόσο καλά** μέσα στην κοιλότητα του καλουπιού – όπως στην χύτευση υπό υψηλή πίεση (injection molding) και στην χύτευση σε μήτρα υπό υψηλή πίεση (pressure die casting) – **και έστι τα κομμάτια είναι περισσότερο πορώδη**. Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται σε κομμάτια που **δεν προορίζονται να αντέχουν μεγάλα φορτία**. Ωστόσο, το πλεονέκτημα της χαμηλής πίεσης είναι ότι υπάρχει λιγότερη στρέβλωση κατά την ψύξη και συρρίκνωση του κομματιού.
- Οι βασικές δυνατότητες για τους σχεδιαστές συνδέονται με την φυγοκεντρική χύτευση (Centrifugal Casting) με τη χρήση σιλικόνης. Η τεχνική αυτή μπορεί να παράγει από 1 έως 100 κομμάτια σε ένα κύκλο κατεργασίας.
- Στα καλούπια σιλικόνης τα πάχη τοιχωμάτων κυμαίνονται από 0,25 mm έως 12 mm, ενώ στα μεταλλικά καλούπια τα πάχη τοιχωμάτων μπορούν να είναι πολύ μεγαλύτερα. Τα μέταλλα που παράγονται σε καλούπια σιλικόνης έχουν χαμηλό σημείο τήξης (όπως λευκό μέταλλο, κασσίτερος και ψευδάργυρος). Ως εκ τούτου, **δεν έχουν την ίδια αντοχή και ανθεκτικότητα** με μέταλλα που παράγονται με άλλες διαδικασίες. Για να ξεπεραστεί αυτό το πρόβλημα **μπορεί να αυξηθεί το πάχος τοιχωμάτων και να προστεθούν ραβδώσεις** (νευρώνες) στο κομμάτι.
- Τα μεταλλικά καλούπια χρησιμοποιούνται στη χύτευση των περισσότερων υπόλοιπων μετάλλων, σκόνης (μετάλλου, πλαστικού, κεραμικού και γυαλιού) και σύνθετων υλικών (metal matrix composites).
- Ο κύκλος κατεργασίας για μέταλλα με χαμηλό σημείο τήξης και πλαστικά κυμαίνεται από 0,5 έως 5 λεπτά. Τα προϊόντα από γυαλί απαιτούν πολλές ημέρες σκλήρυνσης,

ανάλογα με το πάχος του υλικού. Οι εργατικές δαπάνες είναι γενικά χαμηλές.

- Το λευκό μέταλλο και ο κασσίτερος είναι κράματα μολύβδου. Εξαίρεση στον κανόνα αποτελεί ο British Standard κασσίτερος, ο οποίος δεν περιέχει μόλυβδο. Ο μόλυβδος, αν και είναι φυσικό υλικό, σε μεγάλες ποσότητες είναι μολυντής: για παράδειγμα, προκαλεί προβλήματα στο νευρικό σύστημα όταν απορροφηθεί σε μεγάλες ποσότητες. Ως εκ τούτου, ο μόλυβδος δεν θα πρέπει να χρησιμοποιείται σε προϊόντα που σχεδιάζονται για τροφή και πόση.

*εικόνα δεξιά: παραγωγή με φυγόκεντρο χύτευση σε μεταλλικό καλούπι*



## 5. Πλαστικά

Η ιστορία των πλαστικών μπορεί να θεωρηθεί ότι ξεκίνησε το 1840 με την ανακάλυψη του Charles Goodyear της μεθόδου “βουλκανισμού” του φυσικού καουτσούκ. Διαδικασία σύμφωνα με την οποία κατά την κατεργασία του καουτσούκ με θείο προσδίδονται σε αυτό ελαστικές ιδιότητες. Οι εξελίξεις συνεχίστηκαν με χημικές βελτιώσεις φυσικών υλικών μέχρι το 1909 που ο Leo Baekeland (Βέλγος μετανάστης στις Η.Π.Α.) μετά από επτά χρόνια έρευνας δημιούργησε τον Βακελίτη (από φαινόλη και φορμαλδεύδη), το πρώτο απόλυτα συνθετικό υλικό. Τότε ξεκινάει η ουσιαστική ιστορία των πλαστικών, και η μεγάλη περιπέτεια...

Στο κεφάλαιο αυτό δεν θα ασχοληθούμε με τους τύπους πλαστικών και τη σχετική χημεία τους αλλά θα εστιάσουμε στις μεθόδους παραγωγής αντικειμένων με πλαστικά. Έτσι θα μπορέσουμε να κατανοήσουμε καλύτερα τους τρόπους με τους οποίους τα πλαστικά αντικείμενα (και πολλά έπιπλα πλέον!) κατασκευάζονται.

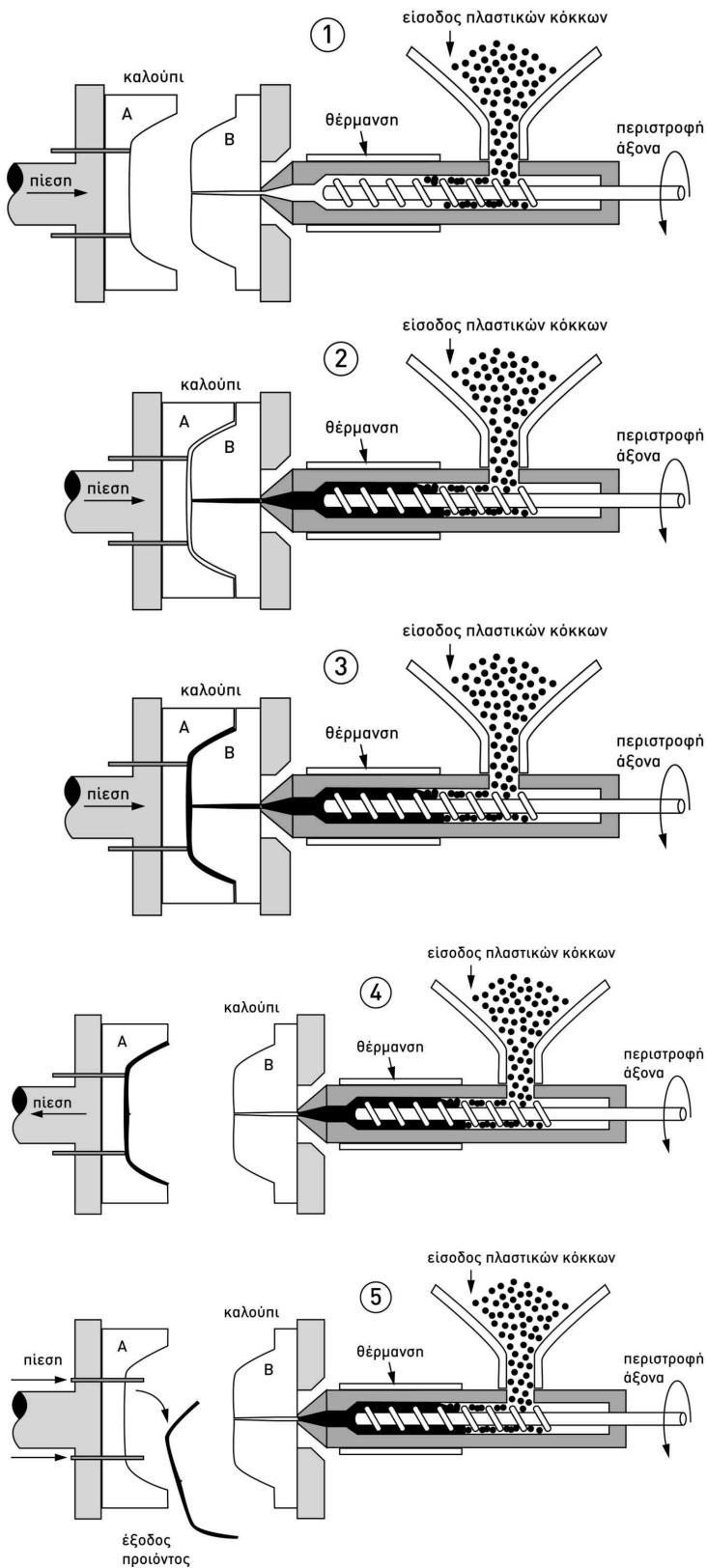
### 5.1 Παραγωγή με Χύτευση υπό υψηλή πίεση (injection Molding)

Εφαρμογές	Κόστη	Παραγωγή	Ποιότητα
Μικρά μέρη αυτοκινήτων, ηλεκτρον. είδών και συσκευών, βιομηχανικών και οικιακών προϊόντων, μικρά έπιπλα κτλ.	Πολύ υψηλές δαπάνες σε καλούπια. Πολύ χαμηλό κόστος ανά μονάδα προϊόντος	Μαζική παραγωγή Διάρκεια της διαδικασίας: 30 - 60 δευτερόλεπτα	Υψηλή ποιότητα επιφάνειας Δυνατότητα ακριβούς επανάληψης

Αυτή η μέθοδος είναι η καλύτερη μέθοδος μαζικής παραγωγής γιά σχετικά μικρά και πολύπλοκα πλαστικά μέρη αντικειμένων όπου χρειάζεται υψηλή ακρίβεια διαστάσεων. Η ποιότητα της επιφάνειας είναι εξαιρετική και μπορεί να αλλάξει σε ότι μορφή θέλουμε αλλάζοντας την επιφάνεια του καλουπιού. Αυτή η διαδικασία είναι κατάλληλη μόνο για μαζική παραγωγή των προϊόντων. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές παραλαγές της διαδικασίας, όπως: χύτευση υπό υψηλή πίεση με υποβοήθηση αέρα (air assisted), πολλαπλή χύτευση (multi shot) υπό υψηλή πίεση και διακόσμηση μέσα στο καλούπι (in-mold decoration) κτλ..

Η μέθοδος παραγωγής με χύτευση υπό υψηλή πίεση, μας δίνει τόσες πολλές δυνατότητες σχεδίασης, που συνήθως ο μόνος περιορισμός είναι το οικονομικό. Η διαδικασία είναι οικονομικότερη όταν χρησιμοποιούμε τριπλά καλούπια (triple split mold). Ακριβότερες είναι οι πιο πολύπλοκες μορφές, οποιουδήποτε μεγέθους από έπιπλα μέχρι περίτεχνα μικροαντικείμενα. Κινούμενοι πυρήνες που λειτουργούν με εκκεντροφόρους ή υδραυλικά βοηθούν στη δημιουργία πολύπλοκων, εσωτερικά, αντικειμένων. Μέθοδοι διακόσμησης των επιφανειών μέσα στο καλούπι όπως οι **in-mold** και **insert film decoration** συνδυάζονται συχνά, βοηθώντας έτσι την κατάργηση περαιτέρω διαδικασιών φινιρίσματος. Χαρακτηριστικά όπως άλλα αντικείμενα μέσα στο προϊόν (inserts) και συνδέσεις τύπου snap-fit χυτεύονται με το προϊόν για να ευκολύνουν την συναρμολόγηση. Η πολλαπλή χύτευση (Multishot injection molding) μπορεί να συνδυάσει μέχρι και έξι υλικά σε ένα προϊόν. Οι πιθανότητες συνδυασμών καλύπτουν, μεταξύ άλλων, διάφορες ιδιότητες όπως την πυκνότητα, την αντοχή, το χρώμα, την ποιότητα της επιφάνειας και την διαφάνεια.

Σχήμα αριστερά: Διαδικασία Χύτευσης υπό υψηλή πίεση (injection molding).



παράγονται με αυτό τον τρόπο γιατί τα προϊόντα αυτά έχουν πάνω στην επιφάνειά τους τα διακριτικά σημάδια της συγκεκριμένης διαδικασίας (χτυπήματα από τους δευτερεύοντες άξονες, η γραμμή ανάμεσα στα δύο ή τρία καλούπια, κ.α.).

Η διαδικασία χρησιμοποιεί υψηλές πιέσεις και απαιτεί την κατασκευή καλουπιών ακριβείας με υψηλό κόστος. Αυτό σημαίνει ότι το αρχικό κόστος είναι υψηλό. Σε προϊόντα που παράγονται

### Περιγραφή διαδικασίας χύτευσης υπό υψηλή πίεση (injection molding)

Το πλαστικό (η πρώτη ύλη σε μορφή κόκκων) εισάγεται στο σωλήνα θέρμανσης και πίεσης (στάδιο 1) και σταδιακά γίνεται ρευστό, ενώ ο άξονας/έμβιολο με τα σπειρωειδή πτερύγια του το πιέζει προς το καλούπι (στάδιο 2). Το ρευστό πλαστικό μπαίνει στην κοιλότητα του καλουπιού και την γεμίζει (στάδιο 3), σε αυτό το σημείο σταματάει η παροχή πλαστικού στο καλούπι. Το μεταλλικό καλούπι (το οποίο ψύχεται με νερό) απορροφά την θερμότητα του πλαστικού και έτσι το πλαστικό στερεοποιείται. Στο στάδιο 4 βλέπουμε το αριστερό μέρος του καλουπιού να “ανοίγει” και να παρασύρει μαζί του το στερεό πλαστικό. Τέλος, στο στάδιο 5 γίνεται η εξαγωγή του προιόντος από το καλούπι με πίεση από δευτερεύοντες άξονες που σπρώχνουν το προϊόν για να αποκολληθεί από το καλούπι. Το καλούπι, μετά κλείνει και η διαδικασία συνεχίζεται από την αρχή. Η διάρκεια του κύκλου αυτού εξαρτάται από τον όγκο του προιόντος και τον τύπο του πλαστικού που επηρεάζουν την ταχύτητα ψύξης του. Η συνήθης διάρκεια είναι μερικά δευτερόλεπτα!

Είναι σχετικά εύκολο να διακρίνουμε ποιά προϊόντα

σε μεγάλους αριθμούς, όπως για παράδειγμα τα κινητά τηλέφωνα, ο μεγάλος αριθμός προιόντων που σκοπεύουμε να παράξουμε δικαιολογεί απόλυτα την αρχική επένδυση.

### Σχεδιαστικές Παρατηρήσεις

Ο σχεδιασμός της παραγωγής με χύτευση υπό υψηλή πίεση είναι μία σύνθετη και απαιτητική εργασία στην οποία εμπλέκονται σχεδιαστές, τεχνολόγοι πολυμερών, μηχανικοί, κατασκευαστές εξαρτημάτων και κατασκευαστές καλουπιών. Η πλήρης συνεργασία αυτών, τους βοηθά να ανακαλύψουν και να αξιοποιήσουν τα πολλά οφέλη αυτής της διαδικασίας.

- Η χύτευση υπό υψηλή πίεση λαμβάνει χώρα **σε υψηλές θερμοκρασίες** και εγχέει πλαστικοποιημένο υλικό (πλαστικό διαφόρων τύπων) στην κοιλότητα του καλουπιού **με υψηλή πίεση**. Αυτό σημαίνει ότι **διάφορα προβλήματα μπορεί να προκύψουν λόγω της συρρίκνωσης και της αύξησης των εσωτερικών τάσεων του υλικού**. Η συρρίκνωση μπορεί να προκαλέσει στρέβλωση, παραμόρφωση, ράγισμα και επιφανειακές υποχωρήσεις (sink marks). Τάσεις μπορεί να προκύψουν σε περιοχές με αιχμηρές γωνίες και μικρές γωνίες αποκόλλησης (draft angles). Οι γωνίες αποκόλλησης (draft angles) πρέπει να είναι τουλάχιστον 0.50 μοίρες για να αποφεύγετε η πίεση του κομματιού κατά την αποκόλληση από το καλούπι.
- Το “υγρό” και πλαστικοποιημένο υλικό, όταν εισέρχεται στο καλούπι, ακολουθεί την δίοδο με την λιγότερη αντίσταση. Έτσι **το υλικό πρέπει να μπει στο καλούπι στο παχύτερο σημείο της κοιλότητας και να πάει στις μικρότερες διατομές στο τέλος**. Για τα καλύτερα αποτελέσματα το πάχος των τοιχωμάτων του αντικειμένου (wall sections) που θα κατασκευάσουμε θα πρέπει να είναι όμοια ή τουλάχιστον με απόκλιση το πολύ 10%.
- **Ανόμοια πάχη τοιχωμάτων θα προκαλέσουν ανόμοιες ταχύτητες ψύξης του υλικού που θα προκαλέσει στρέβλωση στο αντικείμενο.** Οι παράγοντες που προσδιορίζουν το ιδανικό πάχος τοιχωμάτων είναι το κόστος, οι χρηστικές ανάγκες και η ικανότητα χύτευσης.
- **Οι αρμοί (νευρώνες – Ribs) έχουν διπλό σκοπό στον σχεδιασμό των πλαστικών αντικειμένων:** α. αυξάνουν τη δύναμη του αντικειμένου (μειώνοντας το πάχος των τοιχωμάτων) και β. βοηθούν την ροή του υλικού κατά την χύτευση. Οι αρμοί (νευρώνες – Ribs) δεν πρέπει να ξεπερνούν το πενταπλάσιο του ύψους του τοιχώματος, και σαν συνέπεια συνίσταται να χρησιμοποιούνται πολλές και μικρές ραβδώσεις αντί για λίγες και μεγάλες.
- Όλα τα επιφανειακά χαρακτηριστικά που προεξέχουν πρέπει να τα επεξεργαζόμαστε όπως τους αρμούς (νευρώνες – Ribs) (να τα συνδέουμε με τα τοιχώματα με παρόμοιο τρόπο) για να αποφευχθεί η παγίδευση φυσαλίδων αέρα και η πιθανή αύξηση τάσεων στα σημεία αυτά. Το ίδιο ισχύει και για τις τρύπες και τα βαθουλώματα.
- Τα αντικείμενα που παράγονται με χύτευση υπό υψηλή πίεση φινίρονται (στο καλούπι) έτσι ώστε να εξαφανιστούν οι επιφανειακές ατέλειες. Οι γυαλισμένες επιφάνειες είναι ακριβότερες από τις ματ ή τις πιο άγριες.

### ΠΕΡΙΒΑΛΛΟΝΤΙΚΕΣ ΕΠΙΠΤΩΣΕΙΣ

Τα θερμοπλαστικά απορρίμματα ανακυκλώνονται άμεσα κατά τη διάρκεια της διαδικασίας. Μερικές εφαρμογές των θερμοπλαστικών προϊόντων, όπως η ιατρική και η συσκευασία τροφίμων, απαιτούν ένα υψηλό επίπεδο καθαρού υλικού, ενώ άλλες εφαρμογές, όπως τα έπιπλα κήπου, απαιτούν μόνο 50% καθαρού υλικού για να είναι ανθεκτικά, να έχουν καλή ποιότητα χρώματος και να πληρούν τους κανόνες υγιεινής.

Τα προϊόντα που παράγονται με χύτευση υπό υψηλή πίεση συνήθως είναι αναλώσιμα προϊόντα (μιας χρήσης). Ωστόσο, είναι δυνατό να δημιουργηθούν προϊόντα που είναι εύκολη

η αποσυναρμολόγησή τους, γεγονός που διευκολύνει τη συντήρηση και ανακύκλωσή τους (δες εικόνα πιηδαλίου, δεξιά). Εάν χρησιμοποιούνται διαφορετικοί τύποι υλικών, τότε οι συνδέσεις τύπου snap fit και οι άλλες μηχανικές συνδέσεις τα καθιστούν καταλληλότερα για την αποσυναρμολόγηση και απόρριψη των κομματιών με ελάχιστες περιβαλλοντικές επιπτώσεις.

Η επιλογή της πρώτης ύλης, επίσης, παίζει τεράστιο ρόλο στις περιβαλλοντικές επιπτώσεις. Σήμερα υπάρχουν πολλές εναλλακτικές λύσεις φυσικών θερμοπλαστικών υλικών που είναι φιλικά προς το περιβάλλον.



## 5.2 Παραγωγή με Περιστροφική Χύτευση (Rotational Molding)

Εφαρμογές	Κόστη	Παραγωγή	Ποιότητα
Μεγάλα αντικείμενα: Μέρη αυτοκινήτων, Έπιπλα, Κάδοι, Παιχνίδια, Διακοσμητικά αντικείμενα κτλ.	Μέτριες δαπάνες σε καλούπια. Χαμηλό - Μέτριο κόστος ανά μονάδα προϊόντος (3-4 φορές το κόστος υλικού)	Χαμηλή - Μέτρια παραγωγή. Διάρκεια της διαδικασίας: 30 - 90 λεπτά	Καλή ποιότητα επιφάνειας Χαμηλές εσωτερικές τάσεις υλικού.

Η μέθοδος αυτή είναι εξαιρετικά ευέλικτη και μια από τις λίγες μεθόδους όπου μπορούν να παραχθούν αντικείμενα με εσωτερικό κενό και συνεπώς με λιγότερο υλικό. Η χαμηλή πίεση που χρησιμοποιείται έχει σαν αποτέλεσμα να μην έχουμε την καλύτερη ποιότητα στην επιφάνεια του προιόντος και γενικώς προτιμούνται τα σχήματα με καμπύλες γωνίες και χαμηλή λεπτομέρεια στην επιφάνεια. Αντικείμενα, όπως κάδοι σκουπιδιών, κώνοι οδικής κυκλοφορίας αλλά και πλαστικές καρέκλες και πολλά άλλα αντικείμενα φτιάχνονται έτσι. Οι φόρμες/καλούπια είναι συγκριτικά φθηνά επειδή δεν είναι απαραίτητο να ταιριάζουν ακριβώς με τους εσωτερικούς πυρήνες ούτε να αντέχουν σε υψηλές πιέσεις. Ακόμα κι έτσι, με αυτή τη διαδικασία μπορούμε να παράγουμε κομμάτια με καλές ανοχές σε διάφορα σημεία εφαρμογής. Όπως και με τη χύτευση υπό υψηλή πίεση (injection molding), μπορεί να εφαρμοστεί η διακόσμηση του καλουπιού με γραφιστικά που μειώνει τις διαδικασίες φινιρίσματος.

εικόνα δεξιά: σκαμπό Flod, σχεδιαστές Azuamoline Ispania



Η διαδικασία:

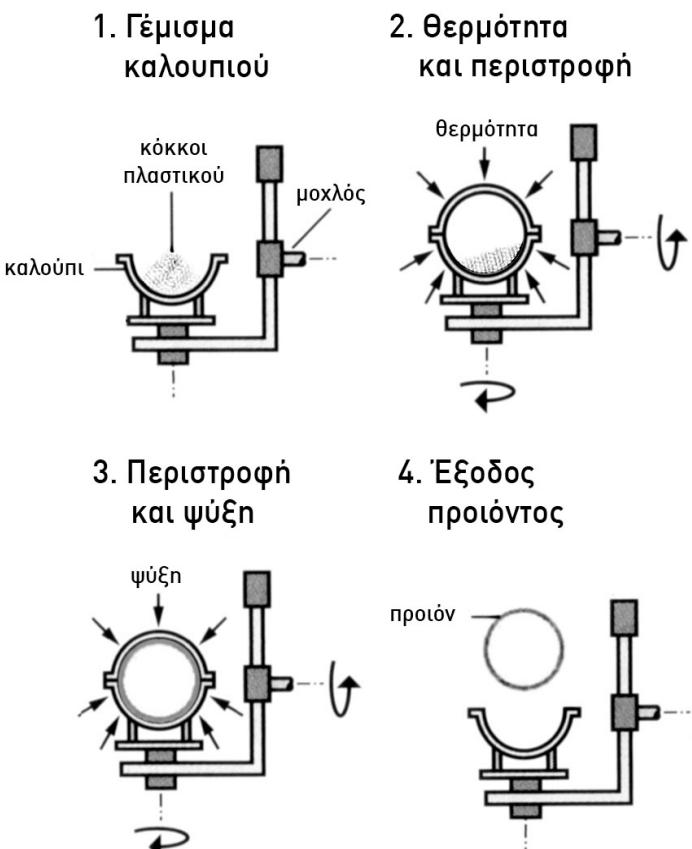
1. Βάζουμε μια μικρή ποσότητα πλαστικού σε μορφή κόκκων στο ψυχρό καλούπι. Η ποσότητα είναι προκαθορισμένη σε βάρος έτσι ώστε να επιτευχθεί το σωστό πάχος.

2. Το καλούπι κλείνει, και ο περιστρεφόμενος βραχίονας περνά τις φόρμες μέσα από ένα θάλαμο θέρμανσης όπου θερμαίνεται και περιστρέφεται (μέχρι τους  $250^{\circ}\text{C}$  για 25 λεπτά περίπου). Οι κόκκοι λυώνουν και κολλάνε στην εσωτερική επιφάνεια του καλουπιού.

3. Ο περιστρεφόμενος βραχίονας περνά τις φόρμες μέσα από ένα θάλαμο ψύξης, όπου εισάγεται φρέσκος αέρας και υγρασία και ψύχεται για 25 λεπτά. Το πλαστικό αντικείμενο στερεοποιείται.

4. Το πλαστικό αντικείμενο αφαιρείται από το καλούπι.

και η διαδικασία επαναλαμβάνεται...



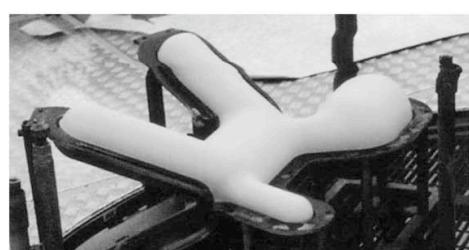
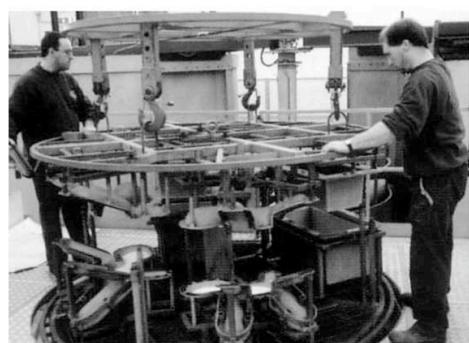
### Χαρακτηριστικά - περιορισμοί:

- Το πολυαιθυλένιο (PE) είναι το συνηθέστερο υλικό για τη διαδικασία περιστροφικής χύτευσης. Πολλά άλλα θερμοπλαστικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν, όπως το πολυαμίδιο (PA), το πολυπροπυλένιο (PP), το πολυβινυλικό χλωρίδιο (PVC) και το οξικό άλας βινυλίου αιθυλενίου (EVA).
- Αυτή η διαδικασία είναι σχετικά φθηνή για χαμηλή έως μέση παραγωγή και είναι κατάλληλη για μικρά και μεγάλα προϊόντα έως  $10 \text{ m}^3$ . Μερικά προϊόντα μπορούν να φορμαριστούν ανά ζεύγος και έπειτα να χωριστούν μετά την χύτευση.
- Οι φόρμες/καλούπια μπορούν να κατασκευαστούν κατευθείαν από πρωτότυπα σε πραγματική κλίμακα ξύλου, αλουμινίου ή ρητίνης, διευκολύνοντας τη μετάβαση μεταξύ ρητίνης και της παραγωγής.
- Οι δαπάνες εξοπλισμού είναι σχετικά μικρές, επειδή τα καλούπια δεν είναι απαραίτητο να κατασκευαστούν για να αντέχουν στις υψηλές πιέσεις και δεν έχουν εσωτερικό μέρος καλουπιού, έτσι μικρές αλλαγές μπορούν να γίνουν εύκολα. Τα ατσάλινα καλούπια είναι τα ακριβότερα κι ακολουθούν τα καλούπια αλουμινίου. Τα καλούπια ρητίνης είναι τα φθηνότερα κι κατάλληλα για την παραγωγή περίπου 100 κομματιών.
- Ο κύκλος κατεργασίας είναι συνήθως μεταξύ 30 και 90 λεπτών ανάλογα με το πάχος των τοιχωμάτων και της επιλογής του υλικού. Πολλά καλούπια τοποθετούνται στους περιστρεφόμενους βραχίονες, μειώνοντας τη διάρκεια του κύκλου κατεργασίας.
- Η περιστροφική χύτευση σαν διαδικασία απαιτεί πολλές εργατο-ώρες. Η πλήρως αυτοματοποιημένη διαδικασία είναι διαθέσιμη για μικρά κομμάτια και μεγάλες ποσότητες με μειωμένες δαπάνες.
- Η χαμηλή πίεση παράγει χαμηλής μοριακής μάζας υλικά που έχουν χαμηλή μηχανική αντοχή. Εντούτοις, αυτό μπορεί να αντιμετωπιστεί προσθέτωντας αρμούς-νευρώνες (ribs) στο σχεδιασμό. Οι απότομες αλλαγές στα τοιχώματα δεν είναι δυνατές, και οι

αιχμηρές και στενές γωνίες πρέπει να αποφεύγονται. Οι μικρές ακτίνες μπορούν να επιτευχθούν σε αναδιπλώσεις πρός μία κατεύθυνση, αλλά δεν είναι κατάλληλες για τις γωνίες. Η χαμηλή πίεση περιορίζει τα υψηλής ποιότητας φινιρίσματα.

- Το μήκος προϊόντων περιορίζεται στο τετραπλάσιο της διαμέτρου τους, για να αποτραπεί η ανομοιόμορφη κατανομή υλικού στο κύκλο κατεργασίας.
- Τοιχώματα που περιέχουν αφρό υλικού ή άλλα πολυστρωματικά τοιχώματα μπορούν να παραχθούν με σύνθετα πολυμερή, τα οποία ενεργοποιούνται σε ποικίλες θερμοκρασίες. Τα πάχη των τοιχωμάτων στα στερεά τμήματα δεν είναι μεγαλύτερα από 6mm. Το μέγιστο πάχος καθορίζεται από τη θερμοκρασία της φόρμας και τη θερμική αγωγιμότητα του πολυμερούς.
- Ενσωμάτωση άλλων αντικειμένων ή προφορμαρισμένων αντικειμένων (με σπείρωμα κα.) διαφορετικών χρωμάτων και διακόσμηση καλουπιού με γραφιστικά είναι διάφορες άλλες διαδικασίες που μπορούν να γίνουν παράλληλα με την χύτευση.
- Επι-χύτευση ενός υλικού πάνω από ένα προ-φορμαρισμένο αντικείμενο, είναι μιά διαδικασία που ρίχνει το κόστος συναρμολόγησης και παράγει καλής ποιότητας αποτελέσματα.
- Πρόσθετα υλικά μπορούν να χρησιμοποιηθούν για να κάνουν τα αντικείμενα της χύτευσης ανθεκτικά σε ακτίνες UV ή αδιάβροχα, με αντίσταση στη φωτία, αντιστατικά ή κατάλληλα για συσκευασίες και σκεύη τροφίμων.

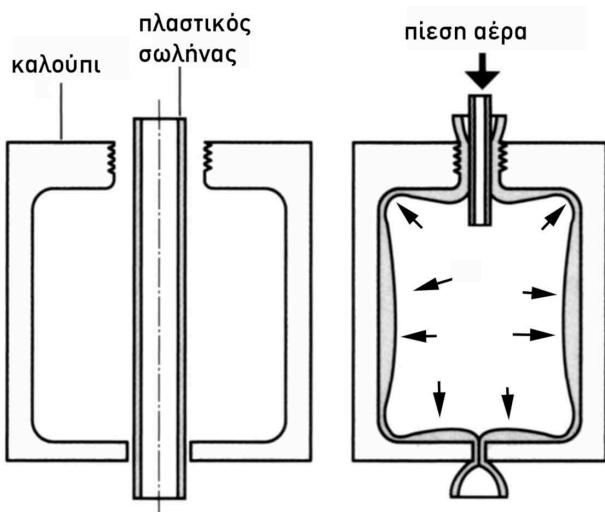
**Εικόνες δεξιά:** Εικόνες από την παραγωγή του παιδικού παιχνιδιού “Grande Puppy” από την εταιρεία Magis, Ιταλία.



### 5.3 Παραγωγή με Διέλαση και Εμφύσηση (Extrusion Blow Molding)

Εφαρμογές	Κόστη	Παραγωγή	Ποιότητα
Συσκευασίες	Μέτριες δαπάνες σε καλούπια. Χαμηλό κόστος ανά μονάδα προϊόντος.	Πολύ μεγάλη παραγωγή. Διάρκεια της διαδικασίας: 1-2 λεπτά	Υψηλή ποιότητα, Λεπτά τοιχώματα, Υψηλής ποιότητας επιφάνεια.

Η μέθοδος αυτή είναι σαν την αντίστοιχη μέθοδο Εμφύσησης που χρησιμοποιείται για την παραγωγή γυάλινων αντικειμένων αλλά προσαρμοσμένη για τη χρήση πλαστικών.

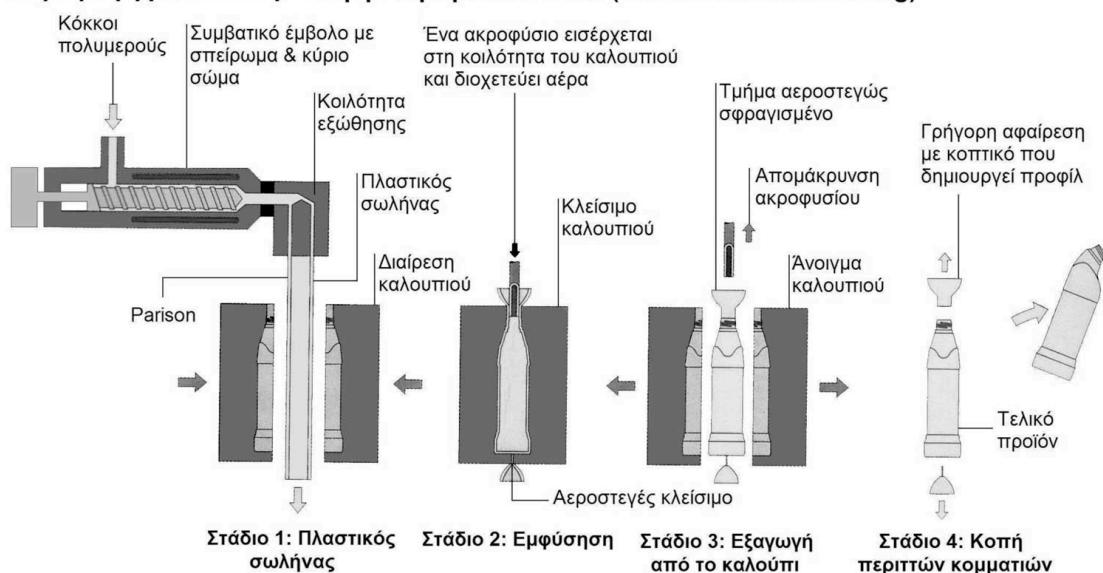


Όπως φαίνεται στο πρώτο σχήμα αριστερά: η πρώτη ύλη είναι πλαστικό που έχει προδιαμορφωθεί σε κυλινδρικό σωλήνα, με **διέλαση**, και ενώ είναι ζεστό και εύπλαστο το εισάγουμε στο διπλό καλούπι, το οποίο κλείνει, και παράλληλα εισάγουμε ένα ακροφύσιο από το οποίο εισέρχεται αέρας με πίεση και προκαλεί την παραμόρφωση του πλαστικού σωλήνα που "φουσκώνει" και κολλάει στα τοιχώματα του καλουπιού. Το πλαστικό ψύχεται και στερεοποιείται και μετά εξάγεται από το καλούπι, και τελικά

αφαιρούνται τα κομμάτια που περισσεύουν με μηχανικούς τρόπους. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται για την παραγωγή PET μπουκαλιών, εργαλειοθηκών, προφυλακτήρων για αυτοκίνητα, και γενικώς για μέτρια με μεγάλα αντικείμενα με εσωτερικά κενά και λεπτά τοιχώματα.

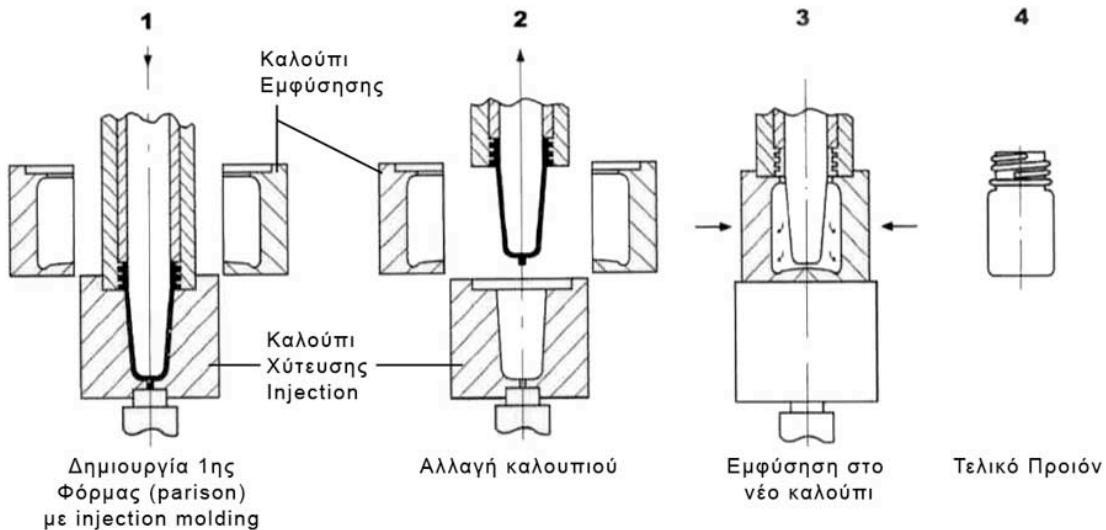
διάγραμμα κάτω: αναλυτική περιγραφή διαδικασίας Διέλασης και Εμφύσησης

#### Παραγωγή με διέλαση και εμφύσηση σε καλούπι (Extrusion Blow Molding)



#### 5.4 Παραγωγή με Χύτευση Υψηλής Πίεσης και Εμφύσησης (Injection Blow Molding)

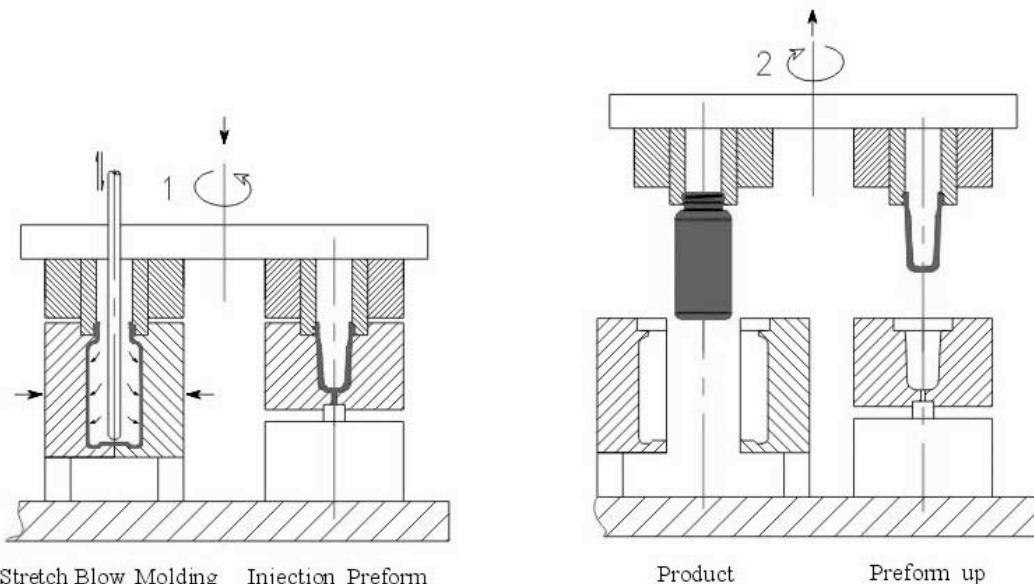
Η διαδικασία αυτή είναι παρόμοια με την προηγούμενη αλλά στο πρώτο στάδιο, αντί της Διέλασης γίνεται παραγωγή μιάς πρώτης (μικρότερης) Φόρμας με Χύτευση Υψηλής Πίεσης (injection molding), η οποία μετά εισάγεται στο καλούπι εμφύσησης. Η διαδικασία αυτή αφορά περισσότερο σε σκληρότερα πλαστικά και υψηλότερη ακριβεία διαστάσεων.



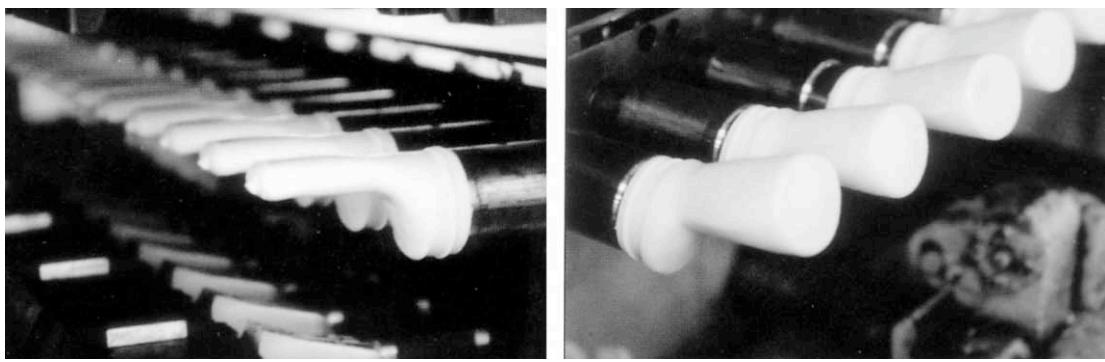
διάγραμμα επάνω: Χύτευση Υψηλής Πίεσης και Εμφύσησης

#### Περιγραφή Διαδικασίας Χύτευσης Υψηλής Πίεσης και Εμφύσησης (Injection Blow Molding):

- Στο στάδιο 1, το πλαστικό εγχέεται μέσα σε μεταλλικά καλούπια με όλες τις λεπτομέρειες του λαιμού της πρώτης φόρμας (parison ή preform).
- Στο στάδιο 2, η πρώτη φόρμα και το πάνω καλούπι μεταφέρονται στο στάδιο εμφύσησης.
- Στο στάδιο 3, ο αέρας εμφυσείται στην πρώτη φόρμα εξαναγκάζοντάς την να πάρει τη μορφή του καλουπιού εμφύσησης.
- Στο στάδιο 4, αφού ψυχθεί ικανοποιητικά, το κομμάτι εξάγεται από το καλούπι. Δεν είναι απαραίτητη καμμιά αφαίρεση σφαλμάτων.



Μιά παραλλαγή της παραπάνω διαδικασίας χρησιμοποιεί ένα μεταλλικό άξονα που υποβοηθεί στο στάδιο εμφύσησης πιέζοντας το πλαστικό κατά μήκος του καλουπιού. Σχήμα κάτω:

εικόνες επάνω: αριστερά - πρώτες φόρμες και δεξιά τελικό προϊόν διαδικασίας *Injection Blow Molding*

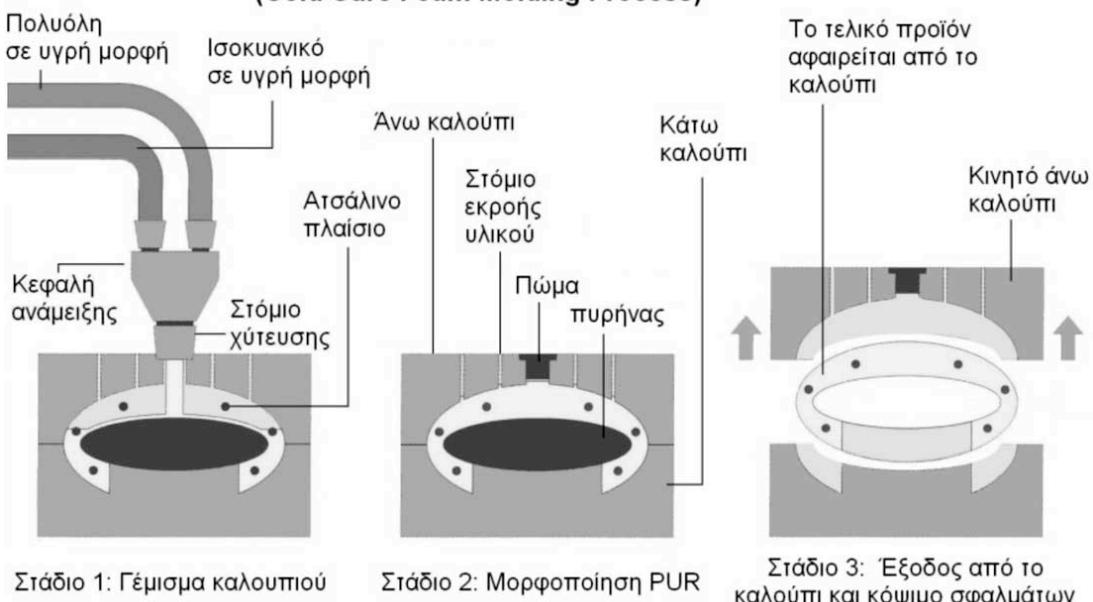
### 5.5 Παραγωγή με Χύτευση με χημική αντίδραση (Reaction Injection Molding) και ψυχρή διαμόρφωση αφρού (cold cure foam molding)

Εφαρμογές	Κόστη	Παραγωγή	Ποιότητα
Έπιπλα, μέρη αυτοκινήτων, αθλητικά είδη και παιχνίδια	Χαμηλές - Μέτριες δαπάνες σε καλούπια. Χαμηλό - μέτριο κόστος ανά μονάδα προϊόντος.	Μικρή - μέτρια παραγωγή. Διάρκεια της διαδικασίας: 5-15 λεπτά	Υψηλή ποιότητα, καλή λεπτομέρεια.

Η χύτευση με χημική αντίδραση (Reaction Injection Molding - RIM) περιλαμβάνει και την ψυχρή διαμόρφωση αφρού (cold cure foam molding). Οι δύο διαδικασίες χρησιμοποιούνται για να σχηματίσουν θερμοσκληρυνόμενο (thermosetting) αφρό εγχέοντας θερμοσκληρυνόμενη (thermosetting) ρητίνη πολυουρεθάνιου (PUR) σε ένα καλούπι, η οποία αντιδρώντας σχηματίζει ένα αφρώδες ή στερεό κομμάτι.

Σχήμα κάτω: διαδικασία ψυχρής διαμόρφωσης αφρού (cold cure foam molding)<sup>5</sup>

#### Διαδικασία ψυχρής διαμόρφωσης αφρού (Cold Cure Foam Molding Process)



Στάδιο 1: Γέμισμα καλουπιού

Στάδιο 2: Μορφοποίηση PUR

Στάδιο 3: Έξοδος από το καλούπι και κόψιμο σφαλμάτων

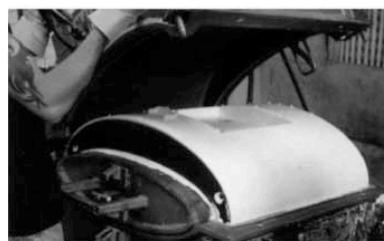
5 Η πολυουρεθάνη (PUR) είναι ένα κυψελοειδές θερμοπλαστικό που προέρχεται από την εξώθερμη αντίδραση μιας Πολυόλης (polyol) και ενός ισοκυανικού (isocyanate)

Οι διαδικασίες αυτές είναι χαμηλής πίεσης. Η διαδικασία ψυχρής διαμόρφωσης αφρού (cold cure foam molding) χρησιμοποιείται γενικά στη μορφοποίηση πολυουρεθάνιου (PUR) αφρού για ταπετσαρίες επίπλων και αθλητικό εξοπλισμό, ενώ η χύτευση με χημική αντίδραση (RIM) καλύπτει τις μορφοποιήσεις όλων των τύπων πολυουρεθάνιου (PUR) συμπεριλαμβανομένου και του αφρού. Και στις δυο διαδικασίες η πυκνότητα και η δομή του πολυουρεθάνιου (PUR) επιλέγεται με βάση το τελικό προϊόν.

εικόνες δεξια: παραγωγή καρέκλας Eye, [www.interfoam.co.uk](http://www.interfoam.co.uk)

### Χαρακτηριστικά και περιορισμοί:

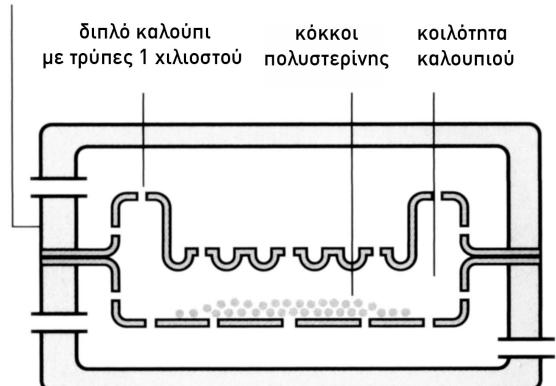
- Η διαδικασία αυτή συνήθως χρησιμοποιείται για τη δημιουργία πρωτότυπων και μικρή παραγωγή. Αυτά, εν συνεχεία θα χυτευτούν υπό υψηλή πίεση (injection molded) λόγω του χαμηλότερου κόστους ανά μονάδα προιόντος, καθώς και την υψηλή ακρίβεια και επαναληψιμότητα.
- Η διαδικασία αυτή χρησιμοποιείται για την κατασκευή διαφόρων αντικειμένων, όπως μαλακών καθισμάτων, συσκευασίες τροφίμων σε εστιατόρια fast food, σωσίβια, προστατευτικά υλικά σε συσκευασίες (πολυστερίνη) ηλεκτρονικών και άλλων προιόντων. Δημοφιλείς εφαρμογές περιλαμβάνουν έπιπλα οικιακών και επαγγελματικών χώρων όπως καρέκλες, καθίσματα τρένων και αεροπλάνων, μπράτσα και μαξιλάρια. Οι διαδικασίες αυτές είναι επίσης κατάλληλες για εφαρμογές απορρόφησης κραδασμών στα παπούτσια, όπως οι σόλες, αλλά και για την ασφάλεια και την υφή παιχνιδιών. Επιλέγεται κατά κόρων στην αυτοκινητοβιομηχανία για προϊόντα όπως προφυλακτήρες, μηχανικά μέρη και το εσωτερικά αυτοκινήτων και βρίσκει εφαρμογές στην ιατρική και στη βιομηχανία αεροσκαφών για σπάνια προιόντα και χαμηλής παραγωγής διαδικασίες.
- Η ποιότητα φινιρίσματος καθορίζεται από την επιφάνεια της φόρμας. Τα καλούπτια κατασκευάζονται από πλαστικό με ενίσχυση ινών γυαλιού (glass reinforced plastic - GRP), μέταλλο ή κράμα ατσαλιού. Αν και είναι διαδικασία υπό χαμηλή πίεση, το υγρό πολυουρεθάνιο (PUR) αναπαράγει εξαιρετικές υφές επιφάνειας και αποτυπώνει πολύ καλά τις λεπτομέρειες.
- Είναι μια εξαιρετικά ευπροσάρμοστη διαδικασία. Η ευκαμψία του αφρού κυμαίνεται από ημιάκαμπτος έως πολύ άκαμπτος, και η πυκνότητα μπορεί να προσαρμοστεί από 40 kg/m<sup>3</sup> έως 400 kg/m<sup>3</sup> (2.5-25 lb/ft<sup>3</sup>). Η επιφάνεια και το εσωτερικό του αφρού μπορούν να παρουσιάζουν διαφορετικές



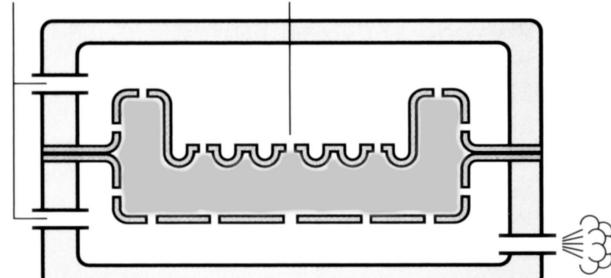
ιδιότητες, σχηματίζοντας για παράδειγμα κομμάτια με άκαμπτο εξωτερικό περίβλημα και ελαφρύ πυρήνα αφρού. Τα κομμάτια μπορούν να είναι τραχιά και οι επιφάνειες να διαμορφωθούν με την διαδικασία in-mold decoration. Προσχηματισμένα υλικά χρησιμοποιούνται για την διακόσμηση της επιφάνειας του κομματιού.

- Η χύτευση με χημική αντίδραση (RIM) έχει πολλά πλεονεκτήματα σε σχέση με άλλες διαδικασίες μορφοποίησης πλαστικού. Για παράδειγμα, τόσο λεπτά όσο και χοντρά τμήματα τοιχωμάτων από 5 mm και πάνω μπορούν να μορφοποιηθούν στο ίδιο κομμάτι. Επίσης, πρόσθετα όπως αντικολλητά φύλλα, πλαστικά χυτευμένα προϊόντα, λεπτομέρειες με στείρωμα και μεταλλικές κατασκευές μπορούν να μορφοποιηθούν (μέσα και) μαζί με το κομμάτι. Ενισχυτικές ίνες μπορούν να ενσωματωθούν στο πλαστικό βελτιώνοντας την αντοχή και την ακαμψία του τελικού προϊόντος. Η διαδικασία αυτή είναι γνωστή ως SRIM (structural injection molding) ή RRIM (reinforced reaction molding). Εν τέλει, επιφάνειες ινών και άλλα υφάσματα μπορούν να χυτευτούν μαζί, βελτιώνοντας την αντοχή σε ρηγμάτωση και τάνυση.
- Το μέγεθος του τεμαχίου που μπορεί να μορφοποιηθεί μπορεί να είναι από πολύ μικρό έως πολύ μεγάλο (έως 3 μέτρα μήκος). Το πολυμερές είναι πολύ ρευστό πρίν μορφοποιηθεί, έτσι ρέει εύκολα γύρω από μεγάλες και πολύπλοκες φόρμες. Όταν ο αφρός μορφοποιηθεί πάνω από μεταλλικό πλαίσιο, ο αφρός πρέπει να είναι τουλάχιστον 10 - 15 mm μεγαλύτερος από το πλαίσιο, ώστε η δομή του πλαισίου να μην είναι ορατή στην επιφάνεια του αφρού.
- Οι δαπάνες καλουπιών κυμαίνονται από μικρές έως μεσαίες. Είναι σημαντικά μικρότερες σε σχέση με τον εξοπλισμό που χρησιμοποιείται στην Παραγωγή με χύτευση υπό υψηλή πίεση (injection molding) λόγω της μειωμένης πίεσης και θερμοκρασίας. Ο εξοπλισμός καλουπιού από πλαστικό και ίνες γυαλιού (GRP) είναι φθηνότερος από τα αντίστοιχα από αλουμίνιο και ατσάλι.

κουτί θερμού ατμού



θερμός ατμός "φουσκωμένο" προϊόν



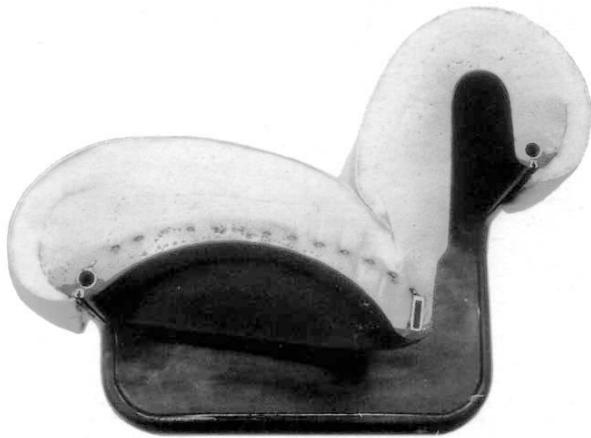
Θερμότητας η πολυστερίνη διαστέλλεται και γεμίζει την κοιλότητα παίρνοντας το σχήμα του καλουπιού.

• Ο κύκλος κατεργασίας είναι αρκετά γρήγορος (5-15 λεπτά). Μια τυπική μορφοποίηση παράγει 50 εξαρτήματα την ημέρα.

• Οι δαπάνες προσωπικού κυμαίνονται από χαμηλές έως μεσαίες και οι αυτοματοποιημένες διαδικασίες μειώνουν σημαντικά αυτές τις δαπάνες. Η δημιουργία πρωτοτύπων καθώς και η χαμηλή παραγωγή απαιτούν μεγαλύτερο κόστος προσωπικού.

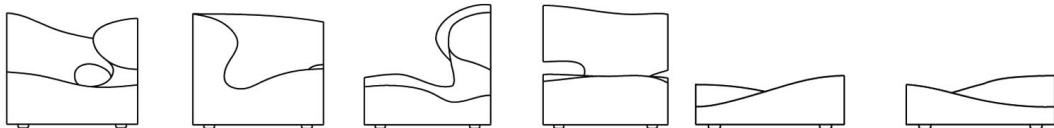
• Το ισοκυανικό (isocyanate) το οποίο εκλύεται κατά τη διάρκεια της αντίδρασης είναι επιβλαβές και προκαλεί άσθμα.

Στο σχήμα αριστερά βλέπουμε μιά παρόμοια διαδικασία παραγωγής, με κόκκους πολυστερίνης οι οποίοι τοποθετούνται στην κοιλότητα του καλουπιού και με την επίδραση της



*Εικόνα αριστερά: Τομή πολυθρόνας Bonanza, σχεδιαστές Afra & Tobia Scarpa, 1970, B&B*

*Εικόνα κάτω: Πολυθρόνες Spring του Ron Arad για την εταιρία Moroso με την ίδια μέθοδο.*



### 5.6 Παραγωγή με Συμπίεση σε καλούπτι (Compression Molding)

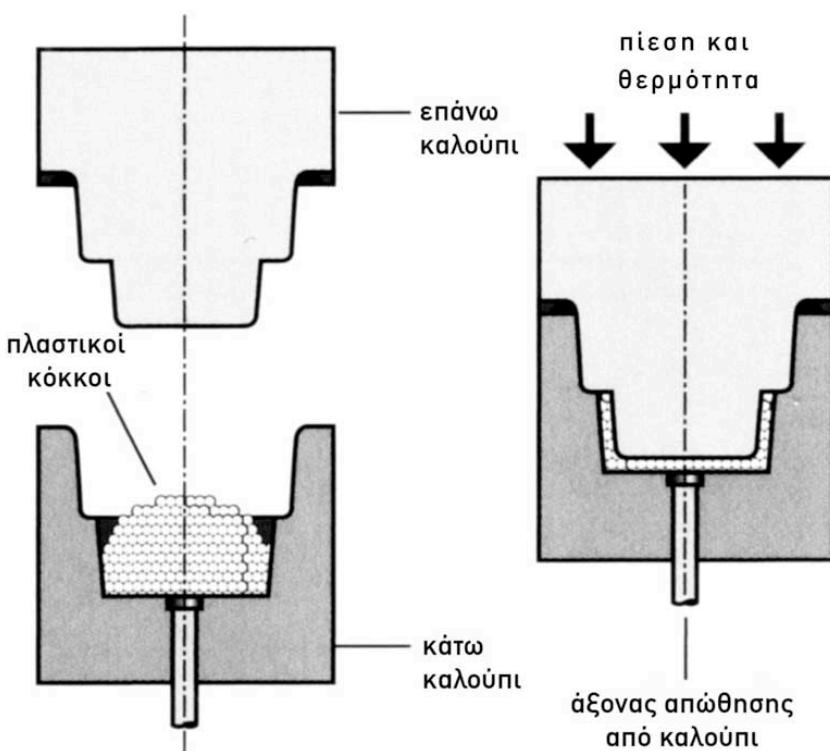
Εφαρμογές	Κόστη	Παραγωγή	Ποιότητα
Εξαρτήματα αυτοκινήτου, Ηλεκτρολογικά κουτιά και εξαρτήματα κουζίνας, Σφραγίδες, φλάντζες και πληκτρολόγια	Μέτριες δαπάνες σε καλούπτια. Χαμηλό κόστος ανά μονάδα προϊόντος.	Μεσαία - μεγάλη παραγωγή. Διάρκεια της διαδικασίας: πλαστικό 2 λεπτά, λάστιχο 10 λεπτά	Υψηλή ποιότητα, αντοχή, και ποιότητα επιφάνειας.

Η διαμόρφωση με συμπίεση (compression molding) είναι κατάλληλη για συγκεκριμένα υλικά και εφαρμογές με συγκεκριμένες απαιτήσεις, όπως η θερμική και η ηλεκτρική μόνωση. Μερικές χαρακτηριστικές εφαρμογές περιλαμβάνουν τον ηλεκτρικό εξοπλισμό μιας κατοικίας, τον εξοπλισμό κουζινών, σταχτοδοχεία, τους διακόπτες και τον εξοπλισμό φωτισμού. Πρόσφατα η ζήτηση αυξήθηκε για εσωτερικό εξοπλισμό στα ηλεκτροκίνητα αυτοκίνητα επειδή τα θερμοσκληραινόμενα (thermosetting) υλικά παρέχουν ηλεκτρική μόνωση και σταθερότητα. Το θερμοσκληραινόμενο καουτσούκ μπορεί να διαμορφωθεί με συμπίεση (compression

molding), χύτευση υπό υψηλή πίεση (injection molding) και έκχυση σε κενό αέρος (vacuum casting). Χρησιμοποιείται για να παράγει μια σειρά προϊόντων όπως εύκαμπτα πληκτρολόγια, αριθμητικά πληκτρολόγια, σφραγίδες και φλάντζες. Τα λογότυπα και άλλα διακοσμητικά σχήματα των παπουτσιών για τρέξιμο, οι σόλες παπουτσιών και άλλα αθλητικά είδη, γίνονται επίσης με αυτή τη διαδικασία. Ολόκληρα κελύφη ηλεκτρολογικών και ηλεκτρονικών συσκευών μπορούν να χυτευτούν σαν ένα κομμάτι καουτσούκ, το οποίο προστατεύει τον μηχανισμό και τον κρατά αδιάβροχο. Με αυτή τη μέθοδο επίσης παράγονται πλαστικά και σύνθετα (composite) πλαστικά προϊόντα όπως πιάτα, χειρολαβές οικιακών σκευών, καπάκια δοχείων, πάνελ και προφυλακτήρες αυτοκινήτων.

Αυτή η διαδικασία επίσης χρησιμοποιείται για να μορφοποιήσει το καουτσούκ και άλλα πλαστικά σε επίπεδες και ογκώδης επιφάνειες. Είναι κατάλληλη για την μορφοποίηση τόσο των θερμοπλαστικών (thermoplastics) όσο και των θερμοσκληραινόμενων υλικών (thermoset plastics). Χρησιμοποιείται επίσης για την διαμόρφωση με συμπίεση (compression molding) μεγάλων ινών FRP (Fibre Reinforced Plastics), που είναι γνωστές σαν χύτευση **DMC** και **SMC (Dough and Sheet Molding Compound)**.

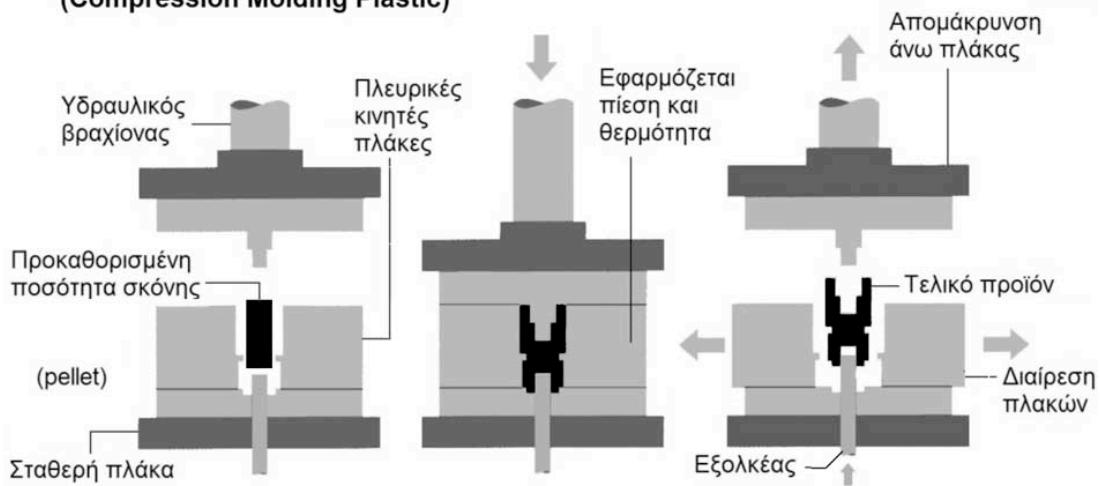
Η διαμόρφωση με συμπίεση (compression molding) και η χύτευση υπό υψηλή πίεση (injection molding) είναι συναφείς διαδικασίες. Απαιτούν και οι δύο παρόμοιο εξοπλισμό (αν και ο εξοπλισμός της compression molding είναι πιο οικονομικός) και η διαδικασία γίνεται υπό πίεση με τη βοήθεια θερμότητας. Η διαφορά τους είναι ότι η χύτευση υπό υψηλή πίεση (injection molding) χρησιμοποιείται κυρίως σε θερμοπλαστικά ενώ η διαμόρφωση με συμπίεση



(compression molding) σε θερμοσκληραινόμενα (thermosetting) πλαστικά.

Στο διπλανό (σε απλοποιημένη μορφή) και στην επόμενη σελίδα (πιό αναλυτικά) σχήμα βλέπουμε τη διαδικασία παραγωγής όπου κόκκοι του πλαστικού συμπιέζονται σε ένα καλούπι και ενώνονται μεταξύ τους με θέρμανση και πίεση και δημιουργούν το προϊόν. Στο καλούπι μπορεί να προστεθούν και ίνες γυαλιού ή εποξικές κόλλες κτλ. για εφαρμογές όπου απαιτείται περισσότερη αντοχή σε καταπονήσεις. Το κόστος των καλουπιών είναι μέτριο και η ποιότητα της επιφάνειας του προϊόντος εξαρτάται από τις προσμίξεις και άλλους παράγοντες.

### Διαμόρφωση πλαστικού με συμπίεση (Compression Molding Plastic)

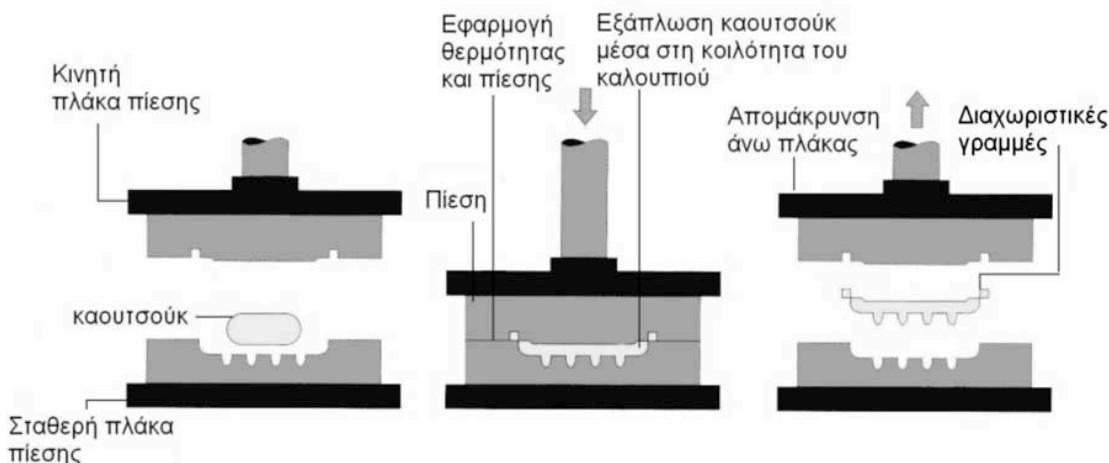


Στάδιο 1: Εφοδιασμός Στάδιο 2: Μορφοποίηση Στάδιο 3: Ξεφορμάρισμα

**Σχήματα προηγούμενη σελίδα και κάτω: Διαδικασία διαμόρφωσης με συμπίεση (compression molding) θερμοπλαστικού υλικού**

**Σχήμα κάτω: Διαδικασία διαμόρφωσης με συμπίεση (compression molding) ελαστομερούς υλικού (καουτσούκ)**

### Διαμόρφωση καουτσούκ με συμπίεση (Compression Molding Rubber)



Στάδιο 1: Εφοδιασμός Στάδιο 2: Μορφοποίηση Στάδιο 3: Παραλαβή προϊόντος

Η διαδικασία της διαμόρφωσης **καουτσούκ** με συμπίεση είναι παρόμοια με τη διαμόρφωση **πλαστικού** με συμπίεση με τη διαφορά ότι ο κύκλος κατεργασίας είναι ελαφρώς μεγαλύτερος σε χρόνο:

- Στο στάδιο 1, το καουτσούκ προετοιμάζεται για να αφαιρεθεί οποιαδήποτε κρυσταλλική του μορφή, που πιθανών να απέκτησε κατά την παραγωγή του. Κατόπιν μια ποσότητα του προετοιμασμένου καουτσούκ τοποθετείται στο κάτω κομμάτι του καλουπιού.
- Στο στάδιο 2, τα δύο μισά του καλουπιού, ενώνονται και εφαρμόζεται πίεση βαθμιαία για να εξαναγκάσει το υλικό να ρεύσει ανάμεσά τους. Μετά από 10 λεπτά το καουτσούκ αποκαθιστάται πλήρως και διαμορφώνεται η μοριακή δομή του.
- Στο στάδιο 3, τα καλούπια χωρίζονται και το προϊόν αποκολλάται από τη κοιλότητα του καλουπιού. Οι διαχωριστικές γραμμές (tear lines) των καλουπιών είναι ενσωματωμένες στο σχέδιο έτσι ώστε να μειώσουν τις δευτερεύουσες διαδικασίες, το περίσσευμα (flash) να διαχωρίζεται εύκολα όταν αφαιρείται και να αφήνει καλή λεπτομέρεια ακμής.

εικόνα κάτω: φωτογραφίες από διαδικασία μορφοποίησης με συμπίεση προιόντος από σιλικόνη σε πολύ απλό καλούπι



#### Χαρακτηριστικά - Περιορισμοί:

- Είναι μια υψηλής ποιότητας διαδικασία. Πολλά από τα χαρακτηριστικά οφείλονται στα υλικά που χρησιμοποιούνται, όπως φαινόλες με αντοχή στη θερμότητα και ηλεκτρική μόνωση ή εύκαμπτες και ανθεκτικές σιλικόνες. Τα θερμοσκληραινόμενα (thermosetting) πλαστικά είναι περισσότερο κρυσταλλικά άρα και περισσότερο ανθεκτικά στη θερμότητα, στα οξέα και άλλα χημικά.
- Οι κύριες δυνατότητες σχεδιασμού συνδέονται με τις ιδιότητες των υλικών. Τα θερμοσκληραινόμενα (thermosetting) υλικά έχουν πολλές συμφέρουσες ιδιότητες σε σύγκριση με τα θερμοπλαστικά. Μπορούν να εμπλουτιστούν με ίνες γυαλιού, ταλκ, με ίνες βαμβακιού ή σκόνη ξύλου αυξάνοντας τη δύναμη, τη διάρκεια, την αντοχή σε θραύση, τη διηλεκτρική ανθεκτικότητα και τις μονωτικές τους ιδιότητες.
- Η διαμόρφωση με συμπίεση (compression molding) του καουτσούκ, παραγάγει τεμάχια με διάφορα επίπεδα ευκαμψίας. Εσωτερικοί αρμοί και αυλακώσεις μπορούν να ενσωματωθούν στο σχέδιο για να εξαλείψουν τις δευτερεύουσες διαδικασίες. Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα του καουτσούκ είναι ότι οι γωνίες εύκολης χύτευσης (draft angles) μπορούν να εξαλειφτούν επειδή το υλικό είναι εύκαμπτο και μπορεί έτσι να απλωθεί πάνω σε έναν πυρήνα μορφοποίησης (mold core). Οι γωνίες εύκολης χύτευσης (draft angles) μπορούν να μειωθούν σε λιγότερο από 0,50 εάν τα εργαλεία και το σύστημα εκτίναξης σχεδιαστεί προσεκτικά.
- Το φινίρισμα της επιφάνειας και η απόδοση της λεπτομέρειας είναι πολύ ικανοποιητικά. Με τη συμπίεση, σε αντίθεση με τον ψεκασμό (injection) του υλικού, στην κοιλότητα του καλουπιού τα προϊόντα έχουν **μειωμένη πίεση και παρουσιάζουν λιγότερη στρέβλωση**.
- Οι δαπάνες εξοπλισμού είναι μέτριες και **πολύ φθηνότερες από αυτές της χύτευσης υπό πίεση** (injection molding). Ειδικά για συγκεκριμένα καουτσούκ επίπεδα σχήματα, τα οποία μπορούν να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας απλό και φθηνό χειροκίνητο εξοπλισμό.
- Το μέγεθος του προϊόντος μπορεί να είναι από 0,1kg μέχρι 8kg (σε μία πρέσα 400 τόνων). Οι συνολικές διαστάσεις περιορίζονται από την πίεση που μπορεί να ασκηθεί κατά μήκος μιας επιφάνειας, η οποία επηρεάζεται από τη γεωμετρία του τεμαχίου και το σχεδιασμό. Ένας άλλος σημαντικός παράγοντας που επηρεάζει το μέγεθος του κομματιού είναι η μέθοδος με την οποία τα αέρια εξέρχονται από το θερμοσκληραινόμενο (thermosetting) υλικό καθώς διαμορφώνεται και θερμαίνεται. Αυτό παίζει σημαντικό ρόλο στο σχεδιασμό των εργαλείων, ο οποίος στοχεύει να απομακρύνει τα αέρια με τη χρήση οπών εξαερισμού και με την ενσωμάτωση ραβδώσεων στο εργαλείο.
- Το **πάχος των τοιχωμάτων** των τεμαχίων μπορεί να κυμανθεί από λιγότερο του 1mm, μέχρι 50mm ή περισσότερο. Οι διαφορετικές βαθμίδες μεταξύ των διαφορετικών παχών των τοιχωμάτων δεν είναι πρόβλημα, η μετάβαση μπορεί να είναι άμεση. Το πάχος των τοιχωμάτων στα πλαστικά μέρη περιορίζεται από τη φύση της θερμοσκληραινόμενης (thermosetting) αντίδρασης επειδή είναι εξώθερμη. Τα χοντρά τμήματα των τοιχωμάτων

είναι επιρρεπή στις εκδορές και άλλες ατέλειες ως άμεσο αποτέλεσμα της καταλυτικής αντίδρασης. Είναι επομένως καλύτερα να μειωθεί το πάχος των τοιχωμάτων και να ελαχιστοποιηθεί η κατανάλωση πρώτης ύλης. Για αυτόν τον λόγο, τα ογκώδη μέρη σχεδιάζονται με εσωτερικό κενό. Εντούτοις, μερικές εφαρμογές απαιτούν χοντρά τοιχώματα, όπως τα κομμάτια που πρέπει να αντέχουν σε υψηλά επίπεδα διηλεκτρικών δονήσεων.

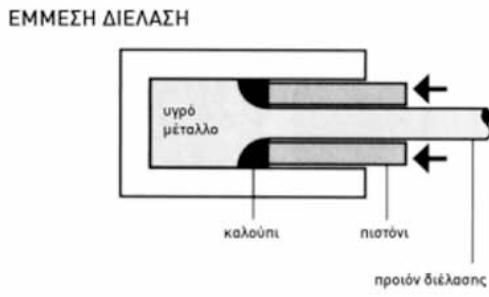
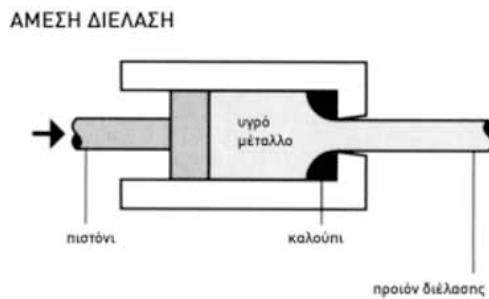
- Ένα επιπλέον πλεονέκτημα είναι η δυνατότητα ενσωμάτωσης μεγάλης **ποικιλίας χρωμάτων** κατά τη διαμόρφωση με συμπίεση (compression molding) του καουτσούκ. Είτε εισάγονται στα αρχικά προϊόντα, όπως στα κουμπιά ή τα λογότυπα, είτε εισάγονται κατά την περαιτέρω επεξεργασία. Τα αρχικά προϊόντα καουτσούκ παρέχουν μια καθαρότερη ανάμειξη χρωμάτων.
- Οι θερμοσκληρανόμενες (thermosetting) ρητίνες, αφ' ετέρου, είναι λιγότερο ζωηρόχρωμες, ειδικά οι φαινόλες. Η φαινολική ρητίνη έχει από τη φύση της σκοτεινό καφέ χρώμα και κατά συνέπεια μόνο σκούρα χρώματα μπορούν να επιτευχθούν, όπως τα παραδοσιακά σκούρα καφέ προϊόντα βακελίτη (bakelite), της δεκαετίας του 1920. Εάν είναι απαραίτητο, τα ζωηρά χρώματα εφαρμόζονται στις τελικές διαδικασίες.
- Ένα άλλο σημαντικό πλεονέκτημα της διαμόρφωσης με συμπίεση (compression molding) είναι ο σχετικά φθηνός εξοπλισμός, ειδικά για τη μορφοποίηση καουτσούκ. Επίσης τα μεταλλικά ένθετα και τα ηλεκτρικά εξαρτήματα μπορούν να μορφοποιηθούν τόσο στα μέρη καουτσούκ όσο και στα πλαστικά.
- Οι κυριότερες περιβαλλοντικές επιπτώσεις προκύπτουν ως αποτέλεσμα των χρησιμοποιούμενων υλικών. Τα θερμοσκληρανόμενα (thermosetting) πλαστικά απαιτούν υψηλότερες θερμοκρασίες μορφοποίησης. Χαρακτηριστικά μεταξύ 170°C και 180°. Τα θερμοσκληρανόμενα (thermosetting) πλαστικά δεν είναι εφικτό να ανακυκλωθούν άμεσα, λόγω της μοριακής δομής τους, η οποία είναι σε μορφή διασταυρωμένων ινών (Cross linking). Αυτό σημαίνει ότι οποιοδήποτε παραχθέν απόρριμμα, όπως τα flash και τα περισσεύματα, πρέπει να καταστρέφονται.

## 5.7 Παραγωγή με Διέλαση (Extrusion)

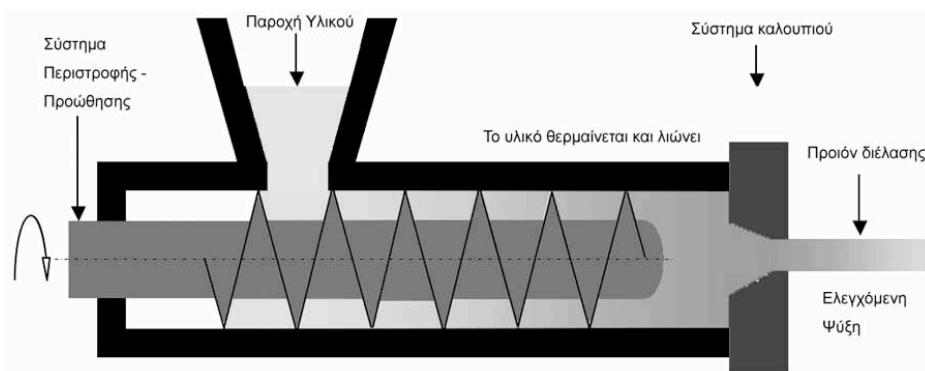
Η συγκεκριμένη μέθοδος χρησιμοποιείται για την μορφοποίηση διαφόρων υλικών, όπως μέταλλα, κεραμικά και πλαστικά. Στο σχήμα δίπλα βλέπουμε την διαδικασία Άμεσης και Έμμεσης Διέλασης, που αφορά στα μέταλλα κυρίως.

Ένα πιστόνι πιέζει το υγρό και Θερμό μέταλλο και μέσα από ένα καλούπι στο τέλος εξάγεται το προιόν της διέλασης το οποίο ψύχεται ελεγχόμενα. Στην έμμεση διέλαση το ιστόνι και το καλούπι κινούνται μαζί προς την αντίθετη μεριά του προϊόντος.

Στο σχήμα (επόμενη σελίδα) βλέπουμε την ανάλογη διαδικασία για πλαστικά: βλέπουμε ότι το πλαστικό σε μορφή κόκκων μπαίνει σε ένα θερμαίνομενο θάλαμο με ένα άξονα με πτερύγια (σαν βίδα). Ο άξονας αυτός πιέζει το πλαστικό, το οποίο λυώνει και όταν φτάσει στο τέλος του θαλάμου (δεξιά) - όπου υπάρχει ένα καλούπι με το προφίλ που θέλουμε να δώσουμε στο πλαστικό - περνάει από το καλούπι και παίρνει τη τελική του μορφή. Το πλαστικό, βγαίνοντας από το καλούπι είναι ζεστό και ψύχεται ελεγχόμενα για να μην παραμορφωθεί. Στη συνέχεια, το προιόν κόβεται σε κομμάτια και αποθηκεύεται. Η διαδικασία θυμίζει τον τρόπο που βγαίνει η οδοντόπαστα από τη



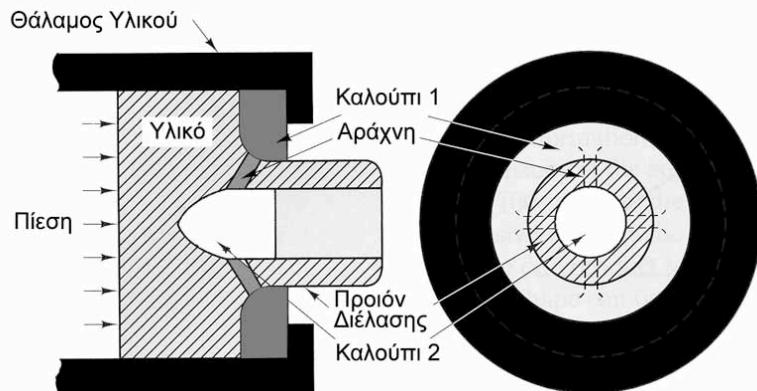
συσκευασία της. Η μέθοδος χρησιμοποιείται για την παραγωγή σωλήνων ή άλλων ανοικτών ή κλειστών προφίλ, φίλμ, φύλλων κτλ.. Στην παραγωγή φίλμ και φύλλων τα καλούπια είναι πολύ φαρδιά και με χαμηλό ύψος.



Εικόνα επάνω: διέλαση για την παραγωγή πλαστικού προφίλ.

Εικόνα δεξιά: καλούπι διέλασης για την παραγωγή σωλήνα

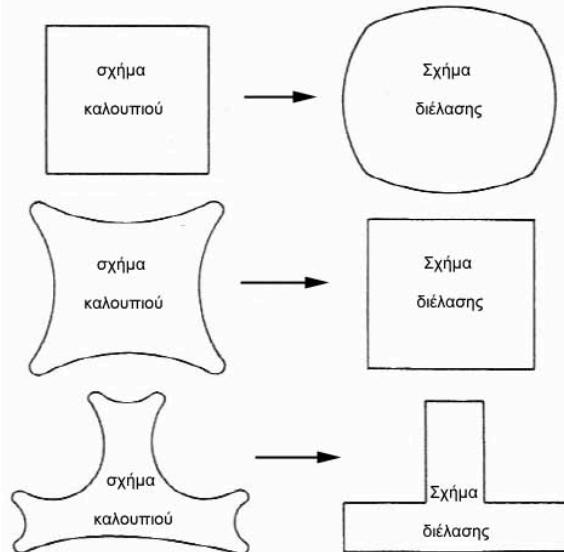
Στην παραγωγή ή σωλήνων υπάρχει και δεύτερο καλούπι που συνδέεται με "αράχνη" με το πρώτο καλούπι.



Το παραγόμενο σχήμα - προφίλ έχει άμεση σχέση με το σχήμα - προφίλ του καλούπιού αλλά δεν είναι ποτέ το ίδιο ακριβώς. Στο σχήμα δεξιά βλέπουμε ενδεικτικά τα σχήματα καλούπιών και το παραγόμενο σχήμα προφίλ του προϊόντος.

Εικόνα δεξιά: σχήματα καλούπιών διέλασης και τελικά σχήματα - προφίλ προϊόντων.

Υπάρχουν και διαδικασίες διπλής, τριπλής κτλ. διέλασης (**co-extrusion**) που παράγουν προιόντα με πολλαπλές στρώσεις διαφορετικών υλικών για διάφορες χρήσεις όπου αυτό απαιτείται.



Εικόνα αριστερά: πλαστική σωλήνα με τρία διαφορετικά υλικά που δημιουργήθηκε με Co-Extrusion

## 6. Σύνθετα υλικά (composite materials)

**Σύνθετα** είναι τα υλικά που περιέχουν συνδυασμούς δύο ή περισσότερων **συστατικών υλικών**, τα οποία έχουν διαφορετικές φυσικές και μηχανικές ιδιότητες μεταξύ τους αλλά και σε σχέση με το παραγώμενο τελικό υλικό.

Το ένα, από τα συστατικά μέρη, χαρακτηρίζεται ως **συστατικό ενίσχυσης** και προσδίδει στο σύνθετο βελτιωμένες μηχανικές, κυρίως, ιδιότητες. Το δεύτερο συστατικό καλείται **μήτρα** (είναι συνήθως χαμηλής πτυκνότητας) και η συμμετοχή του εξασφαλίζει τη μέγιστη δυνατή εκμετάλλευση των ιδιοτήτων του συστατικού ενίσχυσης.

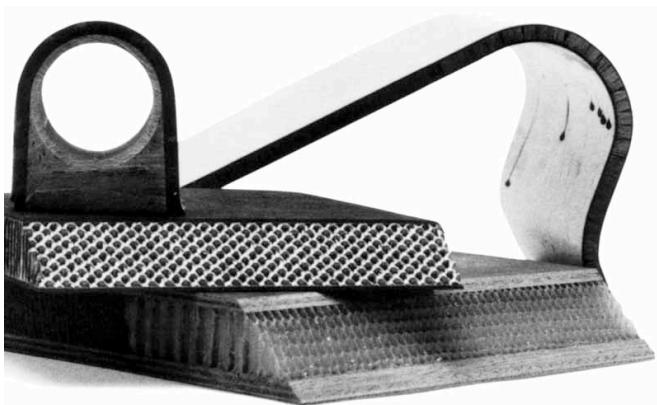
Η ιδέα των σύνθετων υλικών δεν είναι καινούργια. Τα κτίσματα με λάσπη και καλάμια είναι οι πρόγονοι των ανθρακονημάτων του σήμερα.

Το πρώτο σύνθετο υλικό βασισμένο σε μήτρα πλαστικού εμφανίστηκε τη δεκαετία του 1920 και επρόκειτο για μίγμα ινιδίων ξύλου με φαινολική φορμαλδεϋδη, γνωστό αργότερα ως βακελίτης προς τιμή του Βέλγου επιστήμονα Leo Baekeland.

Η μεγάλη δύναμη, το μικρό βάρος και η δυνατότητα δημιουργίας διαφόρων περίπλοκων σχημάτων είναι οι κυριότερες ιδιότητες των συγκεκριμένων υλικών. Με αυτά δημιουργούμε σήμερα βάρκες, καρέκλες, ρακέτες του τέννις, αεροπλάνα κ.α.. Παρόλο που τα αντικείμενα που δημιουργούνται με αυτά τα υλικά μοιάζουν “πλαστικά” το περιεχόμενό τους είναι κυρίως ίνες - νήματα άλλων υλικών.

**Τα σύνθετα υλικά διακρίνονται σε τρεις κατηγορίες:**

- **Σύνθετα υλικά ινών (fibrous composites)** αποτελούμενα από ίνες εμποτισμένες σε ρητίνη ή μη. Το προιόν είναι ένα απλό επίπεδο φύλλο ή ένα φύλλο που δημιουργείται σε ένα καλούπι για να αποκτήσει ένα συγκεκριμένο σχήμα (το σχήμα του προιόντος).
- **Σύνθετα υλικά στρωμάτων (laminated composites)** αποτελούμενα από επίπεδα διαφόρων υλικών. Σαν παράδειγμα: το σάντουιτς λεπτών φύλλων που διαχωρίζονται από ένα κεντρικό πυρήνα δυνατού αλλά πορώδους υλικού (κυψελοειδές χαρτί ή αλουμίνιο ή αφρώδες πο-λυμερές υλικό κ.α.). Τα εξωτερικά φύλλα μπορεί να είναι από ανθρακονήματα (carbon-fibers) ή υαλονήματα
- **Σύνθετα υλικά σωματιδίων (particulate composites)** αποτελούμενα από σωματίδια διαφόρων υλικών σε ένα σώμα. Για παράδειγμα, η μίξη κεραμικού με σωματίδια μετάλλου προσδίδει στο κεραμικό μαγνητικές, και άλλες, ιδιότητες.



Εικόνα αριστερά: παραδείγματα υλικών στρωμάτων



Εικόνες επάνω: Alberto Meda, "Light light chair", Alias, Ιταλία, 1987, επάνω δεξιά διακρίνεται το καλούπι κατασκευής της θέσης-πλάτης από ανθρακονήματα και ρητίνες. Συνολικό βάρος καρέκλας 980 γραμμάρια.



Εικόνα αριστερά: Ron Arad, "Oh Void" καρέκλα, 2004, από ανθρακονήματα και ρητίνες

Οι αμέτρητες πιθανότητες συνδυασμών ανάμεσα σε διαφορετικά, παλιά και καινούργια υλικά, σε συνδυασμό με την εξέλιξη στις τεχνολογίες και μεθόδους παραγωγής, κάνουν το μέλλον των σύνθετων υλικών να υπόσχεται πολλά!

Οι διαδικασίες παραγωγής αντικειμένων από σύνθετα υλικά είναι πολλές και διάφορες ανάλογα με το προϊόν. Για παράδειγμα, συχνές διαδικασίες είναι οι εξής:

1. **Resin Formulation** (ανάμιξη εποξικών ρητίνων με άλλα υλικά),
  2. **Prepregging**, (Ο εμποτισμός με εποξικές ρητίνες φύλλων ανθρακονημάτων κτλ.),
  3. **Wet Filament Winding** (δημιουργία σχημάτων με ίνες που περιτιλύγονται πάνω σε μία φόρμα - οι ίνες εμποτίζονται με ρητίνη προηγουμένως),
  4. **Hand Lay-up of Prepreg**, όπου το προϊόν του Prepregging (δές 2) τοποθετείται σε φόρμα με τα χέρια και στερεώνεται με κενό αέρα και ψήνεται.
  5. **Automated Tape Placement**, όπου το προϊόν του Prepregging (δές 2) σε μορφή ταινίας καλύπτει μια φόρμα.
  6. **Resin Transfer Molding** όπου γίνεται χύτευση της ρητίνης σε καλούπι όπου ήδη έχει τοποθετηθεί ένα ή περισσότερα φύλλα ανθρακονημάτων κτλ.
  7. **Vacuum Bagging, Autoclave Cure**, όπου το φύλλο και η ρητίνη καλύπτουν μιά φόρμα και όλα μαζί μπαίνουν σε σακούλα κενού και φούρνο.
  8. **Injection Molding**, η όμοια διαδικασία παραγωγής πλαστικών μόνο αντικειμένων αλλά με μίξη ινών...
- κτλ.

## 7. Πρόσθετα Παραδείγματα εφαρμογής των διαδικασιών σε έπιπλα.

### 7.1 Παραγωγή καρέκλας Nic, Werner Aisslinger, 2003, Magis6

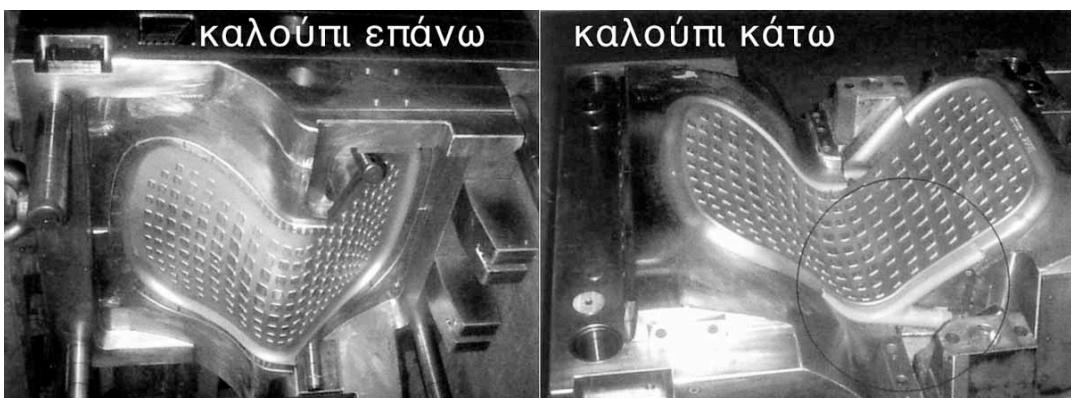


Τα υλικά που χρησιμοποιήθηκαν στη συγκεκριμένη καρέκλα είναι:

α. Στο πλαστικό κάθισμα: 88% πολυπροπυλένιο (PP) και 12% υαλονήματα (fiberglass), άρα σύνθετο υλικό, β. Συνδέσεις για τα πόδια (βλ. φώτο παρακάτω): 50% Polyamide και 50% υαλονήματα, άρα σύνθετο υλικό γ. Πόδια: Σωλήνα από ανοξείδωτο ατσάλι με διάμετρο 22 χιλιοστά και 2 χιλ. πάχος τοιχώματος, επιχρωμιομένη.

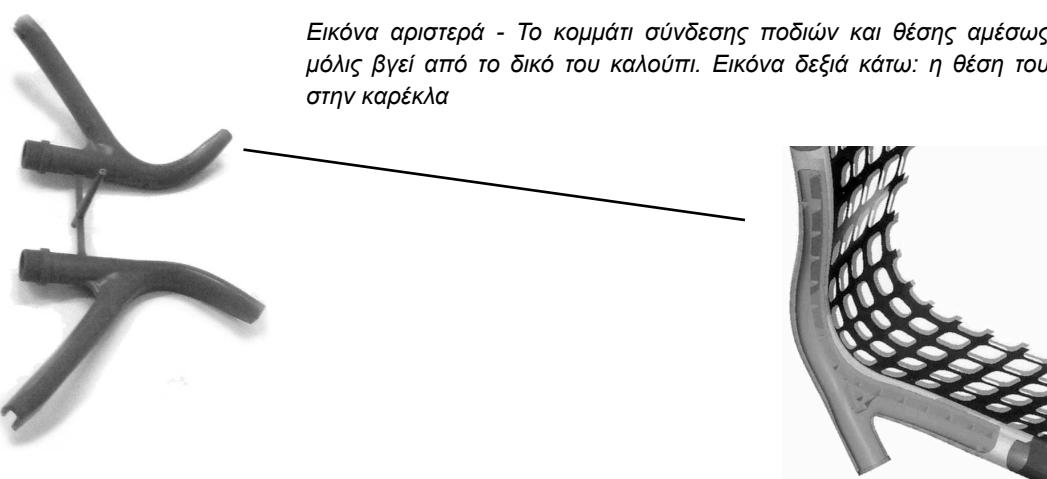
Η θέση / πλάτη κατασκευάζεται με μια μέθοδο χύτευσης υπό πίεση σε μεταλλικό καλούπι ακριβείας, αλλά επιπλέον γίνεται και εισαγωγή αέρα στο καλούπι με αποτέλεσμα το πλαστικό προϊόν να έχει κενά μέσα – άρα ελαφρύτερο.

Στις εικόνες επάνω διακρίνεται το μεταλλικό καλούπι



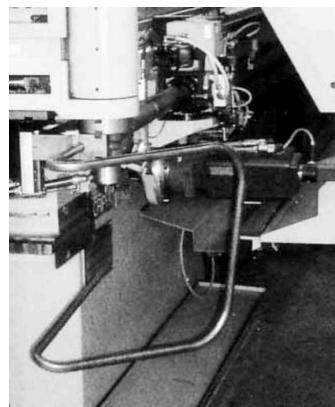
για την παραγωγή του καθίσματος και επίσης το ενισχυτικό κομμάτι που μπαίνει στο καλούπι πριν τη χύτευση. Αυτό είναι επίσης πλαστικό με υαλονήματα που δημιουργήθηκε πιο νωρίς με παρόμοια μέθοδο.

*Εικόνα αριστερά - Το κομμάτι σύνδεσης ποδιών και θέσης αμέσως μόλις βγεί από το δικό του καλούπι. Εικόνα δεξιά κάτω: η θέση του στην καρέκλα*



6 εικόνες από το βιβλίο: New Chairs, Mel Byars, 2006, Chronicle Books LLC

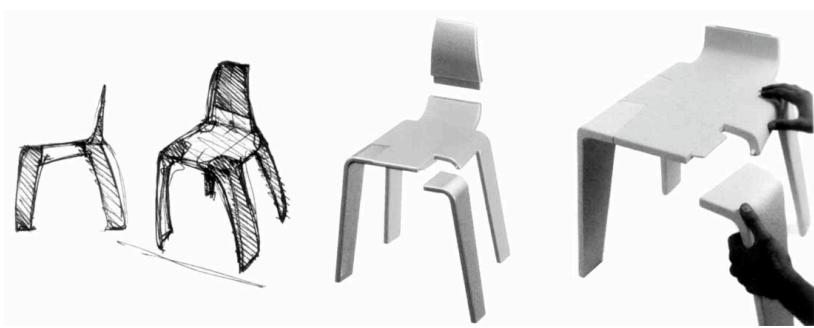
Η μεταλλική σωλήνα είναι ένα κομμάτι που διαμορφώνεται σε αυτόματο μηχάνημα και εισέρχεται στο πλαστικό κάθισμα.



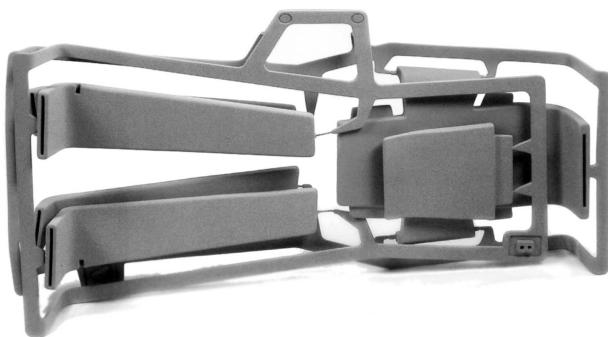
*Εικόνα δεξιά: - Τα πόδια είναι ένα κομμάτι (χωρίς κολλήσεις) που κόβεται και διαμορφώνεται αυτόματα σε σύγχρονο κέντρο εργασίας.*

### 7.2 Παραγωγή καρέκλας Kit, A. Grinberg, 2002, prototype

Εμπνευσμένος από τα συναρμολογούμενα, πλαστικά παιχνίδια, ο σχεδιαστής δημιούργησε μια καρέκλα με την ίδια λογική παραγωγής και σύνδεσης.



Τα κομμάτια της καρέκλας παράγονται με χύτευση υπό πίεση (με PVC) και σαν δύο ομάδες (βλ. φώτο πιο κάτω) τις οποίες αγοράζει ο πελάτης, σπάζει τα κομμάτια και τα συναρμολογεί σύμφωνα με τις οδηγίες.



*Εικόνα δεξιά - Η τελική καρέκλα.*

*Εικόνα αριστερά -Τα κομμάτια της καρέκλας όπως βγαίνουν από το καλούπι και όπως τα αγοράζει ο πελάτης - χρήστης. Ο πελάτης θα σπάσει τα κομμάτια και θα τα συναρμολογήσει.*



## Παράτημα

### ΠΙΝΑΚΑΣ 1- Διευθύνσεις Διαδυτλίου για νέα υλικά και προϊόντα:

#### Πλαστικά και Οικολογικά πλαστικά:

gasinjection :	<a href="http://www.studiorob.co.uk">www.studiorob.co.uk</a>
Βιοδιασπάσιμα πλαστικά:	
<a href="http://www.greenplastics.com">www.greenplastics.com</a>	<a href="http://www.european-bioplastics.org">www.european-bioplastics.org</a> .
<a href="http://www.sustainablebizness.com/greenplastics.htm">www.sustainablebizness.com/greenplastics.htm</a>	
<a href="http://www.bir.org">www.bir.org</a>	<a href="http://www.biopolymer.net">www.biopolymer.net</a>
<a href="http://www.envirosw.com">www.envirosw.com</a>	<a href="http://www.yemmhart.com">www.yemmhart.com</a>
<a href="http://www.materbi.com">www.materbi.com</a>	
<a href="http://www.pandoradesign.it">www.pandoradesign.it</a>	
Cellulose Acetate (από άμυλο) :	<a href="http://www.ideo.com">www.ideo.com</a> , <a href="http://www.eastman.com">www.eastman.com</a>
Διαλυτό κέλυφος ή συσκευασία:	
PVA :	
<a href="http://www.amtrexintl.com">www.amtrexintl.com</a>	<a href="http://www.aquasol-ltd.com">www.aquasol-ltd.com</a>
<a href="http://www.stamelco.devisland.net">www.stamelco.devisland.net</a>	<a href="http://www.stamelco.com">www.stamelco.com</a>
PLANTIC:	<a href="http://www.plantic.com.au">www.plantic.com.au</a>
Συνδυασμός Ξύλου-Πλαστικού:	<a href="http://www.wtl-int.com">www.wtl-int.com</a>
NATRAPLAST	<a href="http://www.hackwellgroup.co.uk">www.hackwellgroup.co.uk</a>
Ανακυκλωμένο Πολυεθυλένιο (Polyethylene) :	<a href="http://www.smile-plastics.co.uk">www.smile-plastics.co.uk</a>
Πολυεθυλένιο Χαμηλής Πυκνότητας (LDPE) :	<a href="http://www.rotomolding.org">www.rotomolding.org</a>
Πλαστικό από Καλαμπόκι (Polylactide – PLA) :	<a href="http://www.natureworksllc.com">www.natureworksllc.com</a>

#### Διάφορα:

<a href="http://composites-by-design.com/">http://composites-by-design.com/</a>		
<a href="http://www.bendywood.com">www.bendywood.com</a>	<a href="http://www.treeplast.com">www.treeplast.com</a>	<a href="http://www.durapalm.com">www.durapalm.com</a>
<a href="http://www.vanceva.com">www.vanceva.com</a>	<a href="http://www.gdk.de">www.gdk.de</a>	<a href="http://www.forms-surfaces.com">www.forms-surfaces.com</a>
<a href="http://www.mikroworld.com">www.mikroworld.com</a>	<a href="http://www.npw.co.uk">www.npw.co.uk</a>	<a href="http://www.sigg.ch">www.sigg.ch</a>
<a href="http://www.metalimpact.com">www.metalimpact.com</a>	<a href="http://www.prym.com">www.prym.com</a>	<a href="http://www.allfoils.com">www.allfoils.com</a>
<a href="http://www.memory-metalle.de">www.memory-metalle.de</a>	<a href="http://www.memry.com">www.memry.com</a>	<a href="http://www.alusion.com">www.alusion.com</a>
<a href="http://www.cymat.com">www.cymat.com</a>	<a href="http://www.alucobond.com">www.alucobond.com</a>	<a href="http://www.erg aerospace.com">www.erg aerospace.com</a>
<a href="http://www.corusspace.com">www.corusspace.com</a>		<a href="http://www.world-aluminum.com">www.world-aluminum.com</a>
<a href="http://www.suck-uk.com">www.suck-uk.com</a>	<a href="http://www.steel.org">www.steel.org</a>	<a href="http://www.uksteel.org.uk">www.uksteel.org.uk</a>
<a href="http://www.e-panelite.com">www.e-panelite.com</a>	<a href="http://www.titanium.org">www.titanium.org</a>	<a href="http://www.ise.fhg.de">www.ise.fhg.de</a>
<a href="http://www.powdercoating.org">www.powdercoating.org</a>		<a href="http://www.metals4design.com">www.metals4design.com</a>
<a href="http://www.zinc.org">www.zinc.org</a>		<a href="http://www.magnesium.com">www.magnesium.com</a>
<a href="http://www.zipperling.de">www.zipperling.de</a>	<a href="http://www.dynalloy.com">www.dynalloy.com</a>	<a href="http://www.besin.com">www.besin.com</a>
<a href="http://www.fems.org">www.fems.org</a>	<a href="http://www.matersci.net">www.matersci.net</a>	<a href="http://www.tms.org">www.tms.org</a>
<a href="http://www.azom.com">www.azom.com</a>		<a href="http://www.key-to-metals.com">www.key-to-metals.com</a>
<a href="http://www.instmat.co.uk">www.instmat.co.uk</a>	<a href="http://www.castmetals.com">www.castmetals.com</a>	<a href="http://www.superform-aluminium.com">www.superform-aluminium.com</a>
<a href="http://www.mpif.org">www.mpif.org</a>	<a href="http://www.aec.org">www.aec.org</a>	<a href="http://www.alusion.com">www.alusion.com</a>
<a href="http://www.nuovopovero.com">www.nuovopovero.com</a>	<a href="http://www.materialise.be">www.materialise.be</a>	<a href="http://www.dsmsomos.com">www.dsmsomos.com</a>

**ΠΙΝΑΚΑΣ 2 - Λίστα ιστοσελίδων σχετικά με design:**

- |   |   |
|---|---|
| <a href="http://www.designboom.com/eng/">http://www.designboom.com/eng/</a> | <a href="http://www.dexigner.com/">http://www.dexigner.com/</a>                               |
| <a href="http://www.core77.com/">http://www.core77.com/</a>                 | <a href="http://www.designdirectory.cc/">http://www.designdirectory.cc/</a>                   |
| <a href="http://www.designaddict.com">http://www.designaddict.com</a>       | <a href="http://www.framemag.com">http://www.framemag.com</a>                                 |
| <a href="http://wallpaper.com/">http://wallpaper.com/</a>                   | <a href="http://mocoloco.com/">http://mocoloco.com/</a>                                       |
| <a href="http://www.architonic.com">http://www.architonic.com</a>           | <a href="http://www.stylepark.com/srv.do?lang=en">http://www.stylepark.com/srv.do?lang=en</a> |
| <a href="http://www.designws.com/">http://www.designws.com/</a>             | <a href="http://www.internimagazine.it">http://www.internimagazine.it</a>                     |
| <a href="http://www.designdirectory.cc/">http://www.designdirectory.cc/</a> | <a href="http://www.japandesign.ne.jp/">http://www.japandesign.ne.jp/</a>                     |
| <a href="http://www.axisinc.co.jp">http://www.axisinc.co.jp</a>             | <a href="http://www.productdose.com">http://www.productdose.com</a>                           |
| <a href="http://www.designsingapore.org">http://www.designsingapore.org</a> | <a href="http://www.treehugger.com/">http://www.treehugger.com/</a>                           |
| <a href="http://www.yatzer.com">www.yatzer.com</a>                          |   |

Οι παραπάνω διευθύνσεις αφορούν μόνο σε ένα πρώτο ξεκίνημα στην έρευνά σας σχετικά με το design στο ίντερνετ.

## Βιβλιογραφία

Ashby M. & Johnson K., **Materials and Design**, - Elsevier Butterworth-Heinemann, 2002

Guidot R., **Industrial Design Techniques and Materials** – Flammarion, 2006

Antonelli Paola, **Mutant Materials in Contemporary Design**, MOMA, 1995

Manzini E., **The Material of Invention** – The Design Council, 1989

Lesko J., **Materials and Manuf/ring guide: Ind. Design**, John Wiley & Sons, 1999

Byars Mel, **New Chairs**, Chronicle Books LLC, 2006

Blokland T., editor, **Material World 2**, Frame Publishers, 2006

Lefteri Chris, **Wood – Materials for inspirational design**, Rotovision, 2005

Lefteri Chris, **Plastics 2 – Materials for inspirational design**, Rotovision, 2006

Hudson J., **Process**, Lawrence King, 2008

Viction:Workshop, **SimplyMaterial**, Viction:ary, 2007