

B'

ΑΡΧΕΓΟΝΗ ΜΟΡΦΟΠΟΙΗΣΗ

1. ΧΥΤΕΥΣΗ

1.1 Γενικά

Η χύτευση είναι μία από τις πιο παλιές μεθόδους διαμόρφωσης που ανακάλυψε ο άνθρωπος. Στη χύτευση, λιωμένο μέταλλο χύνεται σε ένα καλούπι (βλέπε [σχήμα 1.1](#)), το οποίο συνήθως είναι φτιαγμένο από άμμο ή από μέταλλο και έχει κοιλότητα ενός συγκεκριμένου σχήματος. Το υλικό στη συνέχεια ψύχεται, το καλούπι αφαιρείται και έτσι δημιουργείται το χυτό προϊόν. Η χύτευση πρωτοεμφανίστηκε γύρω στο 3,500 π.Χ. στη Μεσοποταμία και χρησιμοποιήθηκε για παραγωγή χάλκινων εξαρτημάτων, κυρίως επίπεδων, με καλούπια από πέτρα ή ψημένο πηλό. Γύρω στο 2,000 π.Χ. η χύτευση εξελίχθηκε περισσότερο. Για πρώτη φορά χρησιμοποιήθηκαν πυρήνες από ψημένο πηλό (αντίστοιχες με τις σημερινές «καρδιές»), για να φτιάχνονται εσωτερικές κοιλότητες μέσα στα χυτά.



Σχήμα 1.1 : Χύτευση

Η τεχνολογία της χύτευσης εξελίχθηκε στη συνέχεια από τους Κινέζους γύρω στο 1,500 π.Χ.. Οι Κινέζοι, παρά το ότι δεν είχαν χρησιμοποιήσει μέχρι τότε τη χύτευση, την υιοθέτησαν και την ανέπτυξαν, ιδιαίτερα στον τομέα του καλουπιού. Η αρχαιολογική σκαπάνη έχει ανακαλύψει καλούπια κατασκευασμένα με ξεχωριστή τέχνη. Οι Κινέζοι χρησιμοποιούσαν διαιρετά καλούπια με πολλά εξαρτήματα που προσδένονταν μεταξύ τους (μέχρι και τριάντα). Εκτός από τους Κινέζους, ιδιαίτερη τέχνη στη χύτευση παρουσίασαν και οι Ινδοί, που χύτευαν χαλκό και μπρούντζο για εργαλεία, όπλα, σκεύη κ.λπ.. Τέλος, η χύτευση του σιδήρου πρωτοεμφανίστηκε γύρω στα 1000 π.Χ. στη Συρία και στην Περσία.

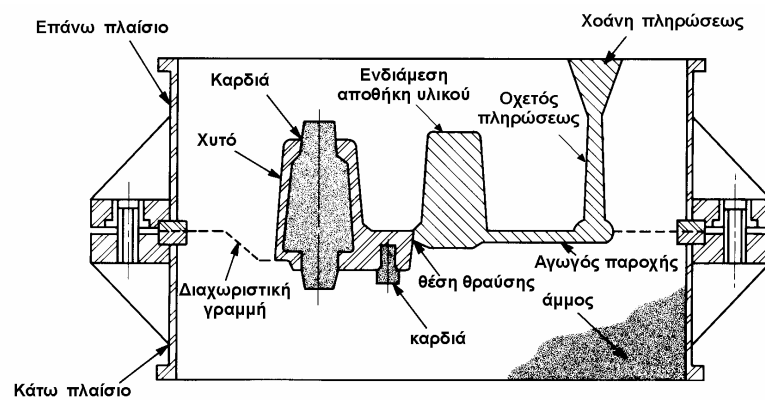
Σήμερα η χύτευση είναι μία από τις σημαντικότερες κατεργασίες μορφοποίησης προϊόντων. Υπάρχουν ειδικές μονάδες για την παραγωγή χυτών αντικειμένων, που ονομάζονται **χυτήρια** και που παράγουν μεταλλικά προϊόντα, σχεδόν στην τελική τους μορφή. Τα προϊόντα της χύτευσης ποικίλλουν σε υλικά (χρησιμοποιούνται κυρίως μέταλλα), σε πολυπλοκότητα και διαστάσεις. Αρχίζουν από λίγα χιλιοστά και βάρους μερικά κλάσματα του γραμμαρίου, όπως είναι τα δοντάκια των φερμουάρ, και καταλήγουν σε μεγέθη που πλησιάζουν τα 10 m και βάρη μερικών τόνων, όπως είναι οι προπέλες των υπερωκεανίων. Τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα μεταλλικά υλικά είναι ο χυτοσίδηρος, ο χάλυβας, το αλουμίνιο, ο μπρούντζος, ο ορείχαλκος, το μαγνήσιο και τα κράματα του ψευδαργύρου. Με τη συνεχή εξέλιξη της τεχνολογίας έχουν αναπτυχθεί πολλές μέθοδοι χύτευσης. Μία κατηγοριοποίηση βασίζεται στο είδος του καλουπιού.

Έτσι, η χύτευση διακρίνεται σε :

- **Χύτευση σε καλούπια μίας χρήσης** (χύτευση σε άμμο, γύψο, κεραμικό καλούπι κ.λπ.). Τα καλούπια σε αυτού του τύπου τη χύτευση καταστρέφονται προκειμένου να αποκαλυφθεί το χυτό.
- **Χύτευση σε καλούπια πολλαπλών χρήσεων** (χύτευση με βαρύτητα, υπό πίεση, φυγοκεντρική χύτευση κ.λπ.). Τα καλούπια σε αυτού του τύπου τη χύτευση χρησιμοποιούνται για πολλές συνεχόμενες χυτεύσεις.

1.2 Μοντέλα – Ορολογία χύτευσης

Ένα τυπικό καλούπι για χύτευση σε υγρή άμμο (πράσινη), στο οποίο φαίνεται η βασική ορολογία των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται στα περισσότερα είδη χύτευσης, παρουσιάζεται στο σχήμα 1.2. Τα καλούπια, που είναι ο σημαντικότερος παράγοντας σε μία χύτευση, τις περισσότερες φορές, αλλά όχι πάντα, είναι διαιρετά και αποτελούνται από δύο μέρη. Εξαιρεση αποτελεί η χύτευση με μοντέλα από κερί ή θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη, που εκεί χρησιμοποιείται ένα ολόσωμο καλούπι, καθώς και η χύτευση με μήτρα και γενικά όλες οι χυτεύσεις που επαναχρησιμοποιούν τα καλούπια. Σε αυτές τις χυτεύσεις χρησιμοποιούνται καλούπια ή μήτρες με περισσότερα από δύο μέρη προκειμένου να χυτευθούν πολύπλοκα αντικείμενα.



Σχήμα 1.2 : Καλούπι για χύτευση σε άμμο σε τομή

Για να δοθεί στην κοιλότητα του καλουπιού το κατάλληλο σχήμα, ώστε να χυτευθεί το υλικό και να παραχθεί το χυτό, χρησιμοποιούνται τα **μοντέλα**. Τα μοντέλα είναι πιστά αντίγραφα του προϊόντος που πρόκειται να παραχθεί. Συνήθως κατασκευάζονται από ξύλο (λόγω του χαμηλού του κόστους), μέταλλο, γύψο ή συνθετικές ρητίνες. Τα μεταλλικά μοντέλα έχουν μεγάλο κόστος παραγωγής και κατασκευάζονται από αλουμίνιο, μπρούντζο, χυτοσίδηρο κ.λπ..

Ανάλογα με το υλικό, που πρόκειται να χυτευθεί, πρέπει να υπολογισθεί η συστολή που θα συμβεί στο μέταλλο μετά την απόψυξη. Η συστολή αυτή, που εκτείνεται προς όλες τις κατευθύνσεις, εξαρτάται από το υλικό και από τον όγκο του χυτού και πρέπει να ληφθεί υπόψη στη δημιουργία του μοντέλου, ώστε το τελικό χυτό να είναι στις διαστάσεις που προβλέπονται από το μηχανολογικό σχέδιο. Έτσι, τα μοντέλα φτιαχόνται λίγο μεγαλύτερα από το χυτό που θέλουμε να παραχθεί.

Στις περισσότερες διαδικασίες χύτευσης χρησιμοποιούνται **πυρήνες ή καρδιές**, που είναι φτιαγμένες από άμμο ή μέταλλο, μέσα στην κοιλότητα του καλουπιού, για να δημιουργήσουν εσωτερικές διαμορφώσεις στο χυτό. Κάθε καλούπι διαθέτει επίσης ένα σύστημα καναλιών για να κατανεμηθεί το λιωμένο μέταλλο και κατακόρυφους αγωγούς για τροφοδοσία. Ιδιαίτερα για τα κομμάτια που έχουν μεγάλο όγκο, χρησιμοποιούνται στα καλούπια **ενδιάμεσες αποθήκες υλικού**. Ο ρόλος των αποθηκών αυτών είναι πολύ σημαντικός, γιατί στις περιπτώσεις μεγάλων κομματιών δημιουργούνται κενά στο χυτό από τη στερεοποίηση των εξωτερικών επιφανειών πριν από το εσωτερικό του χυτού. Με τη χρήση τους, τα σφάλματα στερεοποίησης δημιουργούνται σε αυτές και το χυτό παραμένει χωρίς κενά. Σημαντικό ρόλο παίζουν οι ενδιάμεσες αποθήκες, όταν πρόκειται να χυτευθούν πολύ καθαρά μέταλλα, μια και μαζεύονται σε αυτές οι τυχόν ακαθαρσίες, ενώ το χυτό παραμένει καθαρό.

1.3 Μέθοδοι χύτευσης

Οι μέθοδοι χύτευσης που χρησιμοποιούνται σήμερα είναι πολλές και εμφανίζονται με πολλές παραλλαγές. Στον Πίνακα Π.1.1 παρουσιάζονται οι βασικότερες μέθοδοι χύτευσης με σύντομη περιγραφή και χαρακτηριστικά, ενώ αναλύονται περισσότερο στα επόμενα κεφάλαια.

Χύτευση		Περιγραφή	Υλικά	Σύνηθες μέγεθος
νέα χρήση του μοντέλου και καταστροφή του καλούπιού	...σε άμμο	το καλούπι κατασκευάζεται από άμμο γύρω από ξύλινο ή μεταλλικό μοντέλο.	όλα τα κοινά υλικά	από μικρά κομμάτια έως εξαιρετικά μεγάλα
	...σε κέλυφος	Το καλούπι κατασκευάζεται από άμμο και ρητίνη που σκληραίνει τοπικά γύρω από θερμαινόμενο μοντέλο.	Κυρίως σιδηρούχα υλικά, χαλκός και αλουμίνιο	μικρά κομμάτια έως 45 Kg.
	...σε γύψο	το καλούπι γίνεται με εμβάπτιση σε γύψο. Το καλούπι ψήνεται, αφού βγει το μοντέλο.	κυρίως αλουμίνιο και χαλκός	μικρά κομμάτια έως 45 Kg.
	...σε κεραμικό καλούπι	το καλούπι γίνεται με εμβάπτιση σε πυρίμαχα υλικά.	όλα τα κοινά υλικά	από μικρά κομμάτια έως εξαιρετικά μεγάλα
νέα χρήση του καλούπιού	...σε μήτρα	Το καλούπι είναι μεταλλικό Το λιωμένο μέταλλο συμπιέζεται σε μήτρα με μεγάλη πίεση.	κυρίως ψευδάργυρος, μαγνήσιο, αλουμίνιο και μερικοί χάλυβες	μικρά κομμάτια έως περίπου 23 Kg.
	...με χαμηλή πίεση	Το λιωμένο μέταλλο ρέει μέσα στο καλούπι με χαμηλή πίεση.	κυρίως αλουμίνιο	μικρά κομμάτια έως περίπου 23 Kg.
	...σε μόνιμο καλούπι	Το καλούπι είναι μεταλλικό και χωρισμένο σε δύο τμήματα. Το λιωμένο μέταλλο ρέει στο καλούπι με τη βαρύτητα.	κυρίως μη σιδηρούχα υλικά.	0,5-23 kgf
	...φυγοκεντρική	Η χύτευση γίνεται σε περιστρεφόμενο καλούπι μέσω της φυγόκεντρης δύναμης.	τα περισσότερα μέταλλα	Μεγάλα, πάνω από 45 Kg
	...σφυρηλάτησης	Το λιωμένο μέταλλο συμπιέζεται σε μήτρα από ένα έμβολο, όπως στη σφυρηλάτηση.	Κυρίως μη σιδηρούχα υλικά	μέχρι 4 Kg
καταστροφή του καλούπιού και καταστροφή του μοντέλου	...με την τεχνική του χαμένου κεριού	Το μοντέλο κατασκευάζεται από κερί ή πλαστικό και λιώνει δημιουργώντας το καλούπι.	χάλυβες, μη σιδηρούχα μέταλλα	Πολύ μικρά, περίπου 2 Kg
	... με εξατμιζόμενο μοντέλο	Το μοντέλο κατασκευάζεται από πολυστυρένιο και εξατμίζεται, όταν έρθει σε επαφή με το λιωμένο μέταλλο.	όλα τα μέταλλα, κυρίως σίδηρος.	Πολύ μικρά, 2 Kg και πάνω

Πίνακας Π.1.1 : Συγκεντρωτικός πίνακας βασικότερων μεθόδων χύτευσης

1.4 Προβλήματα κατά τη χύτευση

Τα προβλήματα που εμφανίζονται συχνά στη χύτευση σχετίζονται κυρίως με σφάλματα στη δημιουργία του καλούπιού, στη σχεδίαση του μοντέλου και των καρδιών, στην τοποθέτηση των οχετών εισόδου ή των ενδιάμεσων αποθηκών λιωμένου υλικού, στη διαδικασία της χύτευσης κ.λπ.. Τα σφάλματα αυτά δημιουργούν ελαττώματα στα χυτά αντικείμενα, που συνήθως είναι :

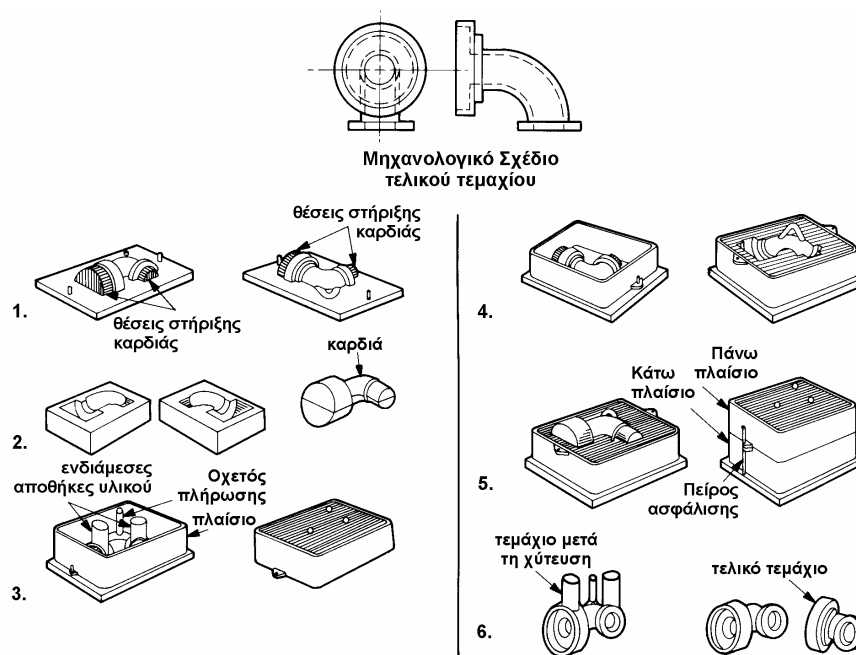
- **Ρωγμές** που προέρχονται από τη συρρίκνωση του υλικού του χυτού λόγω συστολής κατά την απόψυξη.
- **Εγκλείσματα** από οξειδία που παραμένουν στο χυτό.
- **Σπηλαιώσεις** που οφείλονται στη παρουσία αερίων στο μέταλλο κατά τη στερεοποίηση.
- **Ασυνέχειες** στο χυτό.

Ο έλεγχος των χυτών γίνεται χρησιμοποιώντας μη καταστροφικές μεθόδους. Μία από αυτές τις μεθόδους είναι η **ραδιογραφία** με τη βοήθεια της οποίας ελέγχεται η συνέχεια και η ομοιομορφία του υλικού, του χυτού αντικειμένου. Στη ραδιογραφία, προσπίπτουν ακτίνες Χ στα χυτά, η μεταβολή της έντασης των οποίων καταγράφεται σε φωτογραφικό φιλμ. Οι ατέλειες που μπορούν να διαπιστωθούν, πρέπει να έχουν μέγεθος μεγαλύτερο του 2% του πάχους του ελεγχόμενου χυτού αντικειμένου.

1.5 Χύτευση σε καλούπια μιας χρήσης

1.5.1 Χύτευση σε άμμο

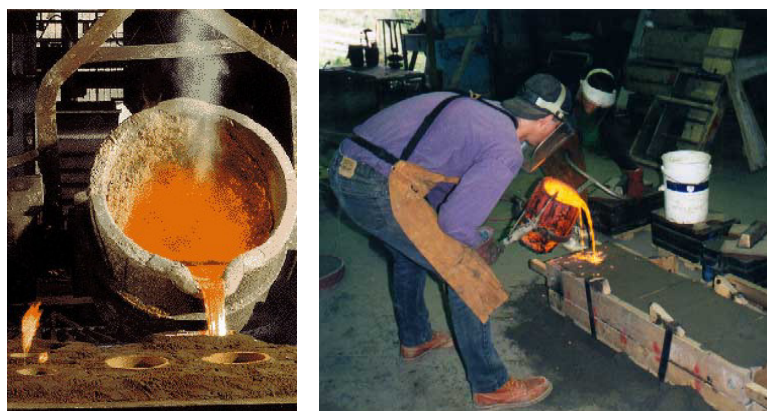
Η χύτευση σε άμμο είναι η παραδοσιακή μέθοδος χύτευσης, η οποία χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες. Ακόμα και σήμερα, μεγάλο ποσοστό της παραγωγής χυτών αντικειμένων πραγματοποιείται με αυτή τη μέθοδο. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί την άμμο (SiO_2) για τη δημιουργία του καλούπιού, εκμεταλλευόμενη το μικρό της κόστος και την αντίστασή της στις υψηλές θερμοκρασίες. Η άμμος συνήθως χρησιμοποιείται αναμειγμένη με διάφορα πρόσθετα που αυξάνουν ακόμα τις ιδιότητές της. Τέτοια πρόσθετα είναι η άργιλος που χρησιμοποιείται ως συνδετικό υλικό και το νερό. Ένα τυπικό παράδειγμα χύτευσης σε άμμο φαίνεται στο **σχήμα 1.3**. Στο σχήμα αυτό διακρίνονται τα στάδια στα οποία πραγματοποιείται η χύτευση αυτή.



Σχήμα 1.3 : Χύτευση σε άμμο

Η πρώτη εργασία στη χύτευση με άμμο είναι η δημιουργία του **μοντέλου** (βήμα 1 του σχήματος). Το μοντέλο είναι αντίγραφο του τεμαχίου που πρόκειται να χυτευθεί και φτιάχνεται κυρίως από ξύλο ή μέταλλο, ανάλογα με τον αριθμό των χυτεύσεων που θα γίνουν και το μέγεθος του χυτού. Μοντέλα από ξύλο έχουν μικρό κόστος και είναι ιδανικά για λίγες χυτεύσεις. Συνήθως φτιάχνονται από ξύλο καρδιάς ή βελανιδιάς και γενικά από ξύλα που κατεργάζονται εύκολα. Τα μεταλλικά μοντέλα έχουν μεγαλύτερο κόστος και φτιάχνονται από αλουμίνιο, χυτοσίδηρο και μπρούντζο, ενώ μοντέλα φτιάχνονται και από συνθετικές ρητίνες, γύψο κ.λπ..

Για την περίπτωση που το αντικείμενο που πρόκειται να χυτευθεί έχει εσωτερική κοιλότητα, χρησιμοποιείται η **καρδιά**, δηλαδή ένας πυρήνας που θα παραμείνει κατά τη διάρκεια της χύτευσης μέσα στο καλούπι και θα εξασφαλίσει τη διαμόρφωση της κοιλότητας. Οι καρδιές μπορούν να είναι κι αυτές από άμμο και φτιάχνονται σε ειδικά, για το σκοπό αυτό, πλαίσια (βήμα 2). Η κατασκευή των καρδιών απαιτεί και αυτή ιδιαίτερη προσοχή ως προς τις διαστάσεις και τη μορφή και περιλαμβάνει, εκτός από την καρδιά, και τα σημεία στήριξής της στο καλούπι. Στο βήμα 3 φαίνεται το πάνω πλαίσιο του καλουπιού, στο οποίο έχει τοποθετηθεί το μισό μοντέλο, ο **οχετός πλήρωσης** και οι **ενδιάμεσες αποθήκες υλικού**. Οι ενδιάμεσες αποθήκες υλικού εκτός από την αποφυγή δημιουργίας κενών στο χυτό, όπως ήδη αναφέρθηκε, παίζουν εδώ και το ρόλο των εξαεριστικών, για να απάγονται τα αέρια που δημιουργούνται κατά τη χύτευση. Στη διπλανή εικόνα στο βήμα 3 φαίνεται το ίδιο πλαίσιο, αφού συμπληρώθηκε με άμμο και κατόπιν αφαιρέθηκαν με προσοχή το μοντέλο από τη βάση, οι αποθήκες και ο οχετός πλήρωσης. Στο βήμα 4 διαμορφώνεται αντίστοιχα το κάτω πλαίσιο με το άλλο μισό μοντέλο, ενώ στο βήμα 5 τοποθετείται η καρδιά στο κάτω πλαίσιο και συμπληρώνεται το καλούπι με το πάνω πλαίσιο. Τέλος, μετά τη χύτευση (βλ. σχήμα 1.4), την απόψυξη και τον καθαρισμό, στο βήμα 6 φαίνεται το τελικό τεμάχιο πριν και μετά την αφαίρεση των δύο ενδιάμεσων αποθηκών και του οχετού πλήρωσης.



Σχήμα 1.4 : Χύτευση σε καλούπι από άμμο

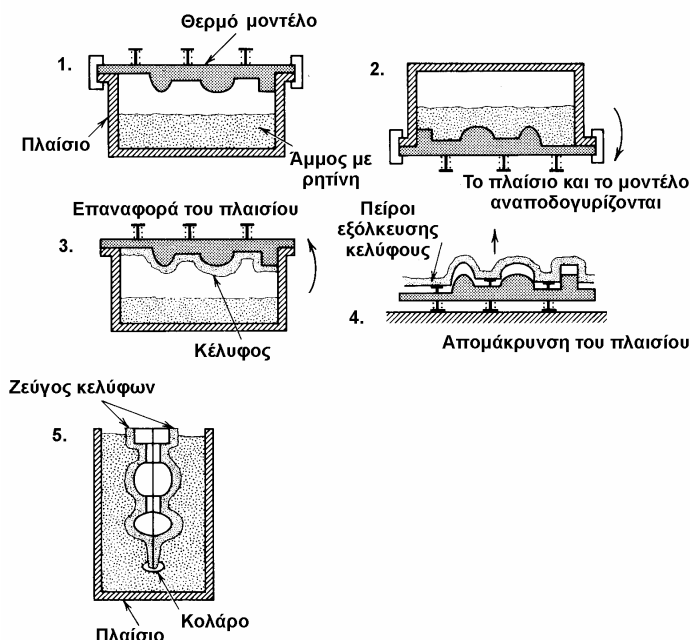
Όλα τα στάδια που προαναφέρθηκαν απαιτούν λεπτούς χειρισμούς και επιδεξιότητα από τον τεχνίτη που πραγματοποιεί τη χύτευση. Ειδικά η κατασκευή του μοντέλου απαιτεί μεγάλη επιδεξιότητα μια και πρέπει να έχει προβλεφθεί να απομακρύνεται εύκολα, χωρίς να καταστρέφει το αποτύπωμα στην άμμο, καθώς και η συστολή που θα υποστεί το τεμάχιο μετά την απόψυξή του. Αντίστοιχη επιδεξιότητα απαιτείται και στην κατασκευή των πυρήνων (καρδιών). Η άμμος που χρησιμοποιείται στη χύτευση χαρακτηρίζεται από το μέγεθος των κόκκων της. Έτσι, για μεγάλα κομμάτια χρησιμοποιείται η χονδρόκοκκη άμμος, ενώ λεπτόκοκκη άμμος χρησιμοποιείται για χύτευση μικρών αντικειμένων. Επίσης, η άμμος μπορεί να είναι υγρή (πράσινη) για τη χύτευση μικρών αντικειμένων, ενώ για τη χύτευση μεγαλύτερων χρησιμοποιείται άμμος αποξηραμένη σε φούρνους. Για τη δημιουργία των καλουπιών με άμμο, χυτών ιδιαίτερα μεγάλων διαστάσεων, χρησιμοποιείται ειδική μηχανή τροφοδοσίας της άμμου.

1.5.2 Χύτευση κελύφους

Η μέθοδος αυτή πρωτοεμφανίστηκε κατά τη διάρκεια του 2^{ου} Παγκοσμίου Πολέμου. Στη μέθοδο αυτή το υλικό από το οποίο φτιάχνεται το καλούπι είναι λεπτή άμμος και 2,5-4% θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη. Το μοντέλο είναι μεταλλικό και θερμαίνεται σε θερμοκρασία 175-270°C. Η διαδικασία της χύτευσης κελύφους ακολουθεί πέντε στάδια που περιγράφονται παρακάτω και φαίνονται στο σχήμα 1.5. Τα στάδια αυτά είναι :

1. Το μείγμα από την άμμο και τη θερμοσκληρυνόμενη ρητίνη τοποθετείται σε ένα πλαίσιο που σκεπάζεται από πάνω με το θερμό μεταλλικό μοντέλο (εικόνα 1). Το πλαίσιο αναποδογυρίζεται και η άμμος πέφτει πάνω στο μοντέλο (εικόνα 2). Η θερμότητα του μοντέλου σκληραίνει τοπικά μία περιοχή πάχους περίπου 3,2 mm από την άμμο και τη ρητίνη και δημιουργεί το κέλυφος.

2. Το πλαίσιο γυρίζεται στην αρχική του θέση, η άμμος πέφτει στη βάση του πλαισίου και το κέλυφος παραμένει με το μοντέλο (εικόνα 3). Το μοντέλο μαζί με το κέλυφος τοποθετούνται σε φούρνο για μερικά λεπτά, ώστε το κέλυφος να σκληρυνθεί καλύτερα και να λάβει την τελική του μορφή.
3. Το κέλυφος απομακρύνεται από το μοντέλο (εικόνα 4).
4. Δύο ίδια τμήματα του κελύφους ενώνονται και δημιουργούν το καλούπι (εικόνα 5).
5. Το καλούπι που δημιουργήθηκε με τον τρόπο αυτό, τοποθετείται σε ένα πλαίσιο με άμμο για υποστήριξη του κελύφους κατά τη χύτευση.



Σχήμα 1.5 : Χύτευση κελύφους

Στη μέθοδο αυτή, η ακρίβεια που επιτυγχάνεται στις διαστάσεις του χυτού είναι μόνο μερικά εκατοστά του χιλιοστού. Αυτό οφείλεται στη σχεδόν μηδενική συρρίκνωση που υφίσταται το κέλυφος.

1.5.3 Χύτευση με εξαμιζόμενο μοντέλο

Η μέθοδος αυτή εφαρμόζεται σε περιπτώσεις που γίνεται μικρός αριθμός χυτεύσεων. Στις περιπτώσεις αυτές, το κόστος κατασκευής των μοντέλων γίνεται ιδιαίτερα υψηλό. Έτσι, με τη μέθοδο αυτή, κατασκευάζονται μοντέλα από πολυστυρένιο, γύρω από τα οποία τοποθετείται άμμος και δημιουργείται το καλούπι. Το μοντέλο παραμένει μέσα στο καλούπι και όταν έρθει σε επαφή με το λιωμένο μέταλλο εξαμιζείται, δημιουργώντας έτσι την κοιλότητα του καλουπιού. Με τη μέθοδο αυτή μπορούν να χυτευθούν αρκετά πολύπλοκα αντικείμενα με μικρό κόστος.

1.5.4 Χύτευση σε γύψο

Σε αυτή τη μέθοδο χύτευσης, το καλούπι είναι φτιαγμένο από γύψο με πρόσθετα, όπως είναι ίνες αμιάντου, ορυκτά του μαγνησίου και του πυριτίου. Τα υλικά αυτά αναμειγνύονται με νερό και το διάλυμα χύνεται και περιβάλλει το μοντέλο. Όταν το διάλυμα στερεοποιηθεί, απομακρύνεται το μοντέλο και το καλούπι, αφού ξηραίνεται σε θερμοκρασία 200°C περίπου, είναι έτοιμο για τη χύτευση. Επειδή το καλούπι από γύψο αντέχει μέχρι τη θερμοκρασία των 1200°C, η μέθοδος χύτευσης με γύψο χρησιμοποιείται μόνο για χύτευση αλουμινίου, μαγνησίου, ψευδαργύρου και κραμάτων του χαλκού.

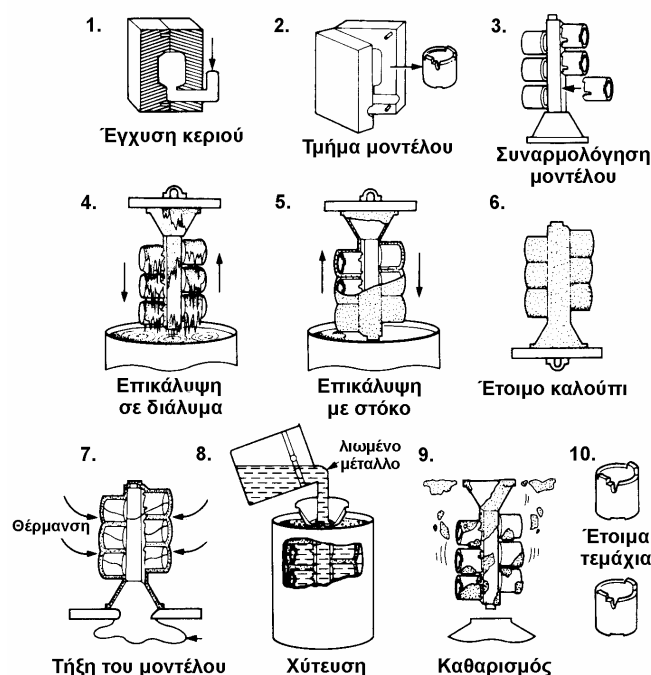
Η χύτευση με γύψο δίνει πολύ καλή επιφάνεια του χυτού και λόγω της μικρής συρρίκνωσης του καλουπιού δίνει πολύ μεγάλη ακρίβεια στις διαστάσεις. Έτσι η μέθοδος αυτή και η μέθοδος χύτευσης με την τεχνική του χαμένου κεριού και της χύτευσης σε κεραμικό καλούπι (που περιγράφονται παρακάτω) είναι γνωστές ως μέθοδοι χύτευσης ακριβείας.

1.5.5 Χύτευση σε κεραμικό καλούπι

Η χύτευση σε κεραμικό καλούπι δε διαφέρει πολύ από τη χύτευση σε γύψο. Η ουσιαστική διαφορά βρίσκεται στα υλικά που χρησιμοποιούνται για το καλούπι. Το αντίστοιχο διάλυμα, που χύνεται γύρω από το μοντέλο για να δημιουργηθεί το καλούπι, είναι από ανθεκτικά υλικά στις υψηλές θερμοκρασίες, όπως το οξειδίο του Αλουμινίου (Al_2O_3), το οξειδίο του πυριτίου (SiO_2) και το ορυκτό ζirkon ($ZrSiO_4$). Τα υλικά αυτά δίνουν τη δυνατότητα χύτευσης μετάλλων και κραμάτων με υψηλό σημείο τήξης, όπως είναι τα σιδηρούχα κράματα. Η μέθοδος αυτή έχει σχετικά μεγάλο κόστος, αλλά δίνει πολύ ικανοποιητικά αποτελέσματα στην ποιότητα της επιφάνειας του χυτού και στην ακρίβεια των διαστάσεών του.

1.5.6 Χύτευση με την τεχνική του χαμένου κεριού

Η χύτευση με την τεχνική του χαμένου κεριού είναι από τις πιο παλιές μεθόδους χύτευσης που χρησιμοποιήθηκαν. Στη μέθοδο αυτή το μοντέλο κατασκευάζεται από κεριό ή πλαστικό και καταστρέφεται σε κάθε χύτευση. Στο σχήμα 1.6 φαίνονται τα στάδια της μεθόδου.



Σχήμα 1.6 : Χύτευση με την τεχνική του χαμένου κεριού.

1. Το μοντέλο φτιάχνεται σε διαιρούμενο καλούπι με έγχυση κεριού ή πλαστικού.
2. Το μοντέλο απομακρύνεται από το καλούπι του.
3. Δημιουργείται το συνολικό μοντέλο της χύτευσης.
4. Το μοντέλο βυθίζεται μερικές φορές σε διάλυμα πυρίμαχων υλικών, όπως είναι η άμμος και συνδετικών υλικών, όπως το πυριτικό αιθύλιο και το πυριτικό νάτριο. Αφού κάθε φορά ξηραθεί το στρώμα της επικάλυψης, το μοντέλο ξαναβυθίζεται στο διάλυμα, ώστε να αυξηθεί το πάχος της επικάλυψης (3 έως 6mm).
5. Το μοντέλο βυθίζεται σε στόκο και επικαλύπτεται με αυτόν.
6. Το έτοιμο μοντέλο.
7. Το επικαλυμμένο μοντέλο τοποθετείται σε φούρνο γύρω στους $1100^{\circ}C$, όπου λιώνει το κεριό ή το πλαστικό και απομένει το έτοιμο καλούπι.
8. Πραγματοποιείται η χύτευση.
9. Το καλούπι καθαρίζεται σπάζοντας την επικάλυψη.
10. Έτοιμα χυτά κομμάτια, αφού αφαιρεθούν οι αγωγοί τροφοδοσίας και η χράνη πληρώσεως.

Με τη μέθοδο αυτή κατασκευάζονται σύνθετα κομμάτια που είναι δύσκολο ή ανοικονομικό να κατασκευασθούν με άλλη μέθοδο χύτευσης. Τυπικά παραδείγματα είναι : υδραυλικές βάνες, πτερύγια αεροστροβίλων κ.λπ..

Σε σύγκριση με άλλες μεθόδους, η μέθοδος με την τεχνική του χαμένου κεριού έχει αρκετά πλεονεκτήματα, αλλά και μειονεκτήματα. Αυτοματοποιείται εύκολα, ιδιαίτερα για παραγωγή πολύ μικρών αντικειμένων και έτσι έχει χαμηλό κόστος. Από την άλλη μεριά απαιτεί πολλές διαφορετικές φάσεις για την πραγματοποίησή της και γι' αυτό δεν είναι προτιμότερη από τη χύτευση σε άμμο, εκτός από την περίπτωση που τα χυτά κομμάτια πρέπει να έχουν μεγάλη ακρίβεια και καλή τελική επιφάνεια. Ως κανόνας, σε σύγκριση με άλλες μεθόδους που δίνουν καλή ακρίβεια σε διαστάσεις και ποιότητα επιφάνειας, η χύτευση με την τεχνική του χαμένου κεριού προτιμάται για παραγωγή σύνθετων αντικειμένων σε μικρές διαστάσεις. Αντίθετα, η χύτευση σε κέλυφος προτιμάται για παραγωγή απλών αντικειμένων με μεγάλες όμως διαστάσεις.

1.6 Χύτευση με καλούπια πολλαπλών χρήσεων

1.6.1 Χύτευση σε μόνιμο καλούπι

Στη μέθοδο αυτή το καλούπι είναι κατασκευασμένο, ανάλογα με το υλικό που θα χυτευθεί, από χυτοσίδηρο, χάλυβα, μπρούντζο ή πυρίμαχα κράματα μετάλλων. Το καλούπι είναι χωρισμένο σε δύο τμήματα και κλείνει με μηχανικό τρόπο. Μετά την εισαγωγή του λιωμένου μετάλλου, το καλούπι ανοίγει και το χυτό απομακρύνεται. Η παροχή του λιωμένου μετάλλου γίνεται με βαρύτητα σε αντίθεση με τη **χύτευση σε μήτρα**, όπου το λιωμένο μέταλλο αναγκάζεται να εισέλθει στο καλούπι με πίεση. Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιείται κυρίως για μη σιδηρούχα κράματα, μόλυβδο, ψευδάργυρο, κράματα μαγνησίου, μπρούντζο και χυτοσίδηρο και έχει πλεονέκτημα τη μεγάλη της παραγωγικότητα. Τυπικά παραδείγματα προϊόντων που παράγονται με αυτή τη μέθοδο είναι : έμβολα μηχανών εσωτερικής καύσης, block κυλίνδρων για συμπιεστές ψυγείων, εξαρτήματα γραφομηχανών από αλουμίνιο κ.λπ.. Η χύτευση σε μόνιμο καλούπι γίνεται συνήθως χειροκίνητα, αλλά σε ορισμένες περιπτώσεις γίνεται και με μηχανικό τρόπο. Στην περίπτωση αυτή το καλούπι μεταφέρεται σε διάφορες θέσεις εργασίας για καθαρισμό, τοποθέτηση των καρδιών, κλείσιμο, ψύξη, άνοιγμα και απομάκρυνση του χυτού.

1.6.2 Χύτευση με χαμηλή πίεση

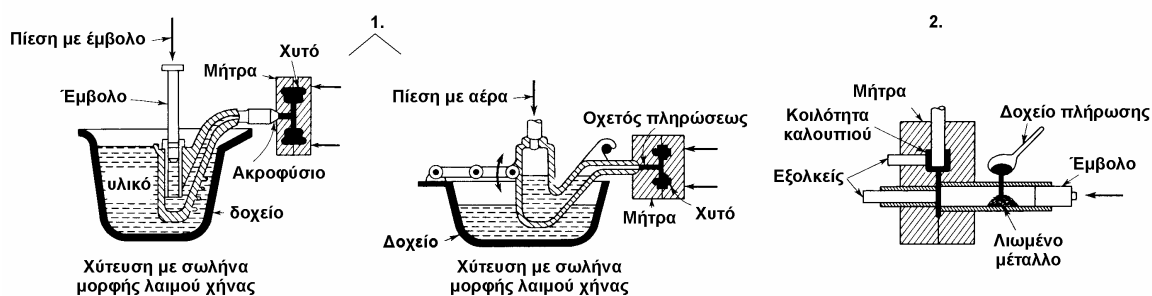
Η χύτευση με χαμηλή πίεση διαφέρει από τη χύτευση σε μόνιμο καλούπι στη διαδικασία εισόδου του λιωμένου μετάλλου. Το λιωμένο μέταλλο βρίσκεται σε ειδικό δοχείο που θερμαίνεται συνεχώς και αναγκάζεται να εισέλθει στο καλούπι μέσω πίεσης, η οποία παραμένει μέχρι το υλικό να στερεοποιηθεί. Μόλις σταματήσει η πίεση, το χυτό απομακρύνεται, ενώ το παραμένον λιωμένο μέταλλο στον αγωγό επιστρέφει στο δοχείο. Η μέθοδος αυτή δίνει μεσαίας τάξης ποιότητα επιφάνειας στο χυτό και διαστατική ακρίβεια. Χρησιμοποιείται για τη χύτευση αλουμινίου σε γύψινα καλούπια και χυτοσιδήρου. Παραλλαγή της μεθόδου αυτής είναι η **χύτευση σε κενό**. Στη μέθοδο αυτή, η άμμος συγκρατείται στο καλούπι με τη βοήθεια κενού. Τα δύο τμήματα του καλουπιού επικαλύπτονται με λεπτό στρώμα πλαστικού, ώστε να διατηρείται το κενό αυτό. Τα μοντέλα στη μέθοδο αυτή κατασκευάζονται, όπως και στις προηγούμενες μεθόδους.

1.6.3 Χύτευση σε μήτρα

Η χύτευση σε μήτρα μοιάζει με τη χύτευση σε μόνιμο καλούπι και σε χαμηλή πίεση. Στη μέθοδο αυτή ασκείται πίεση στο λιωμένο μέταλλο που βρίσκεται σε ένα δοχείο, ώστε να γεμίσει ταχύτατα την κοιλότητα μίας μήτρας. Οι μήτρες αυτές κατασκευάζονται από χαλυβοκράματα ή ανθρακούχους χάλυβες, ανάλογα του υλικού που πρόκειται να χυτευθεί. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι :

- η μεγάλη της παραγωγικότητα. Η παραγωγή μπορεί να φτάσει τα 1000 κομμάτια την ώρα, ανάλογα με το σχήμα και το μέγεθος του κομματιού που θα χυτευθεί,
- μεγάλη διαστατική ακρίβεια και καλή ποιότητα επιφάνειας στα χυτά,
- χυτά με αυξημένη μηχανική αντοχή και
- πολύ μικρή συρρίκνωση λόγω συστολής στο χυτό, που οφείλεται στην πίεση που ασκείται κατά τη χύτευση και τη στερεοποίηση.

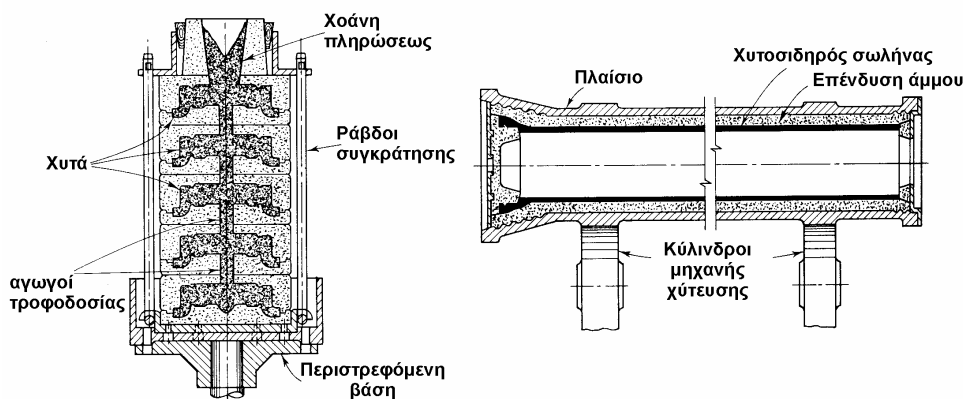
Η χύτευση σε μήτρα εμφανίζεται σε δύο βασικούς τύπους, στη χύτευση, όπου το λιωμένο μέταλλο βρίσκεται σε θερμό θάλαμο μέσα στη μηχανή χύτευσης (που λέγεται **χυτόπρεσα**), και στη χύτευση, όπου το λιωμένο μέταλλο λιώνει εκτός της μηχανής χύτευσης και τοποθετείται σε θάλαμο, όπου συμπιέζεται και οδηγείται στη μήτρα. Στο σχήμα 1.7 φαίνονται οι δύο αυτές μέθοδοι. Στις δύο πρώτες εικόνες του σχήματος, το λιωμένο μέταλλο μεταφέρεται στην κοιλότητα του καλουπιού με τη βοήθεια πίεσης που ασκείται από ένα έμβολο ή με πίεση από αέρα και μέσω ενός αγωγού σε μορφή “λαιμού χήνας”. Η μέθοδος αυτή λέγεται και **μέθοδος θερμού θαλάμου**. Στη χύτευση της εικόνας 2 το λιωμένο μέταλλο μεταφέρεται με δοχείο και χύνεται στο εσωτερικό ενός αγωγού. Στη συνέχεια, με τη βοήθεια εμβόλου, το λιωμένο μέταλλο συμπιέζεται και γεμίζει τη μήτρα. Η μέθοδος αυτή λέγεται και **μέθοδος ψυχρού θαλάμου**. Και στις δύο προαναφερόμενες περιπτώσεις, το έτοιμο χυτό απομακρύνεται με κατάλληλους εξολκείς και η διαδικασία επαναλαμβάνεται.



Σχήμα 1.7 : Χύτευση σε μήτρα

1.6.4 Φυγοκεντρική χύτευση

Στη φυγοκεντρική χύτευση χύνεται, με σταθερή παροχή, λιωμένο μέταλλο σε ένα περιστρεφόμενο μεταλλικό καλούπι. Οι φυγόκεντρες δυνάμεις, που αναπτύσσονται με την περιστροφή, οδηγούν το λιωμένο μέταλλο στην εσωτερική επιφάνεια του καλουπιού. Με αυτή τη μέθοδο μπορούν να κατασκευασθούν χυτοσιδηροί σωλήνες μεγάλων διαμέτρων, κύλινδροι και γενικά τεμάχια συμμετρικά εκ περιστροφής. Πλεονεκτήματα της μεθόδου είναι το χαμηλό κόστος, η καλή ποιότητα του χυτού και η οικονομία στο υλικό, μια και δε χρησιμοποιούνται αγωγοί πλήρωσης, ενδιάμεσες αποθήκες κ.λπ.. Η οικονομία που γίνεται στο υλικό φθάνει το 40%. Στο σχήμα 1.8 φαίνονται, η κατακόρυφη και οριζόντια φυγοκεντρική χύτευση. Από την κατακόρυφη χύτευση του σχήματος προκύπτει μία δέσμη τροχών (ζάντες), ενώ από την οριζόντια ένας χυτοσιδηρός σωλήνας.



Σχήμα 1.8 : Κατακόρυφη και οριζόντια φυγοκεντρική χύτευση

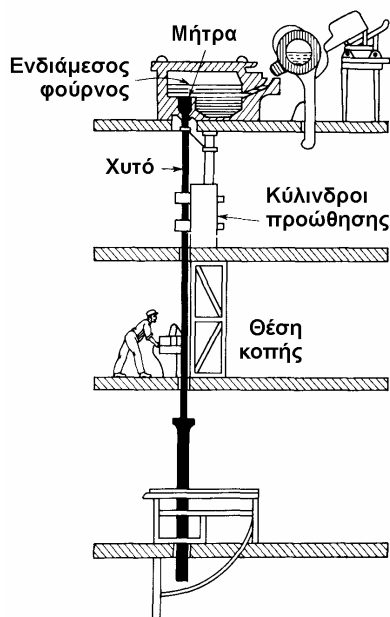
1.6.5 Χύτευση σφυρηλάτησης

Η χύτευση με σφυρηλάτηση είναι σχετικά νέα μέθοδος χύτευσης και πρωτοεμφανίστηκε στη δεκαετία του '60. Η μέθοδος αυτή μοιάζει με τη σφυρηλάτηση, επειδή χρησιμοποιείται μία μήτρα στην οποία μέσα χύνεται το λιωμένο μέταλλο, ένα έμβολο που διαμορφώνει το υλικό με πίεση (όπως στη σφυρηλάτηση) και ένας εξολκείας για να απομακρύνει το χυτό.

1.6.6 Συνεχής Χύτευση

Στη συνεχή χύτευση εισέρχεται λιωμένο μέταλλο από το ένα άκρο ενός καλουπιού, που είναι ανοικτό και από τις δύο άκρες, ψύχεται απότομα και εξέρχεται στερεοποιημένο από το άλλο άκρο του καλουπιού, έχοντας μία συγκεκριμένη μορφή. Υλικά που χυτεύονται με αυτή τη διαδικασία είναι ο χαλκός, ο μπρούντζος, το αλουμίνιο και σε ειδικές περιπτώσεις χάλυβας, χυτοσίδηρος κ.λπ..

Μία τυπική διαδικασία συνεχούς χύτευσης φαίνεται στο σχήμα 1.9. Το υλικό χύνεται μέσα στο καλούπι ή σε μήτρα από ένα ενδιάμεσο φούρνο. Το πάνω μέρος του καλουπιού ψύχεται με ψεκασμό νερού, ώστε το λιωμένο μέταλλο να ψύχεται και να στερεοποιείται γρήγορα. Το στερεό πλέον μέταλλο απομακρύνεται συνεχώς με τη βοήθεια περιστρεφόμενων κυλίνδρων και κόβεται στο μήκος που είναι επιθυμητό. Η διαδικασία ξεκινά με μια αρχική ράβδο στην οποία χύνεται το πρώτο μέταλλο.



Σχήμα 1.9 : Συνεχής χύτευση

Η συνεχή χύτευση χρησιμοποιείται για παραγωγή τυποποιημένων ράβδων διαφόρων διατομών, είτε αυτές είναι κοίλες είτε γεμάτες. Οι διαστάσεις μπορούν να κυμαίνονται από μερικά mm σε διάμετρο, έως περίπου 250mm, ενώ το μήκος των ράβδων που παράγονται φθάνει τα 6m. Οι μήτρες ή τα καλούπια που χρησιμοποιούνται είναι κατασκευασμένα από χαλκό ή γραφίτη, είναι απλά στην κατασκευή τους και οικονομικά.

2. ΚΟΝΙΟΜΕΤΑΛΛΟΥΡΓΙΑ

Με τον όρο **Κονιομεταλλουργία** εννοούμε το σύνολο των τεχνικών, σύμφωνα με τις οποίες πραγματοποιείται η μορφοποίηση εξαρτημάτων, χρησιμοποιώντας σκόνες των πρώτων υλών, οι οποίες δε λιώνουν κατά τη διάρκεια της κατεργασίας. Η κονιομεταλλουργία αποτέλεσε, από αρχαιοτάτων χρόνων, βασική μέθοδο κατασκευής κεραμικών δοχείων, αμφορέων και άλλων αντικειμένων, ξεκινώντας από πηλό. Τα πρώτα βιομηχανικά προϊόντα κονιομεταλλουργίας κατασκευάστηκαν το 1829 από τον Wollaston, ο οποίος μορφοποίησε τα πρώτα χωνευτήρια πλατίνες για τη χημική βιομηχανία και βιοτεχνία, ξεκινώντας από σκόνη πλατίνης. Το υψηλό σημείο τήξεως της πλατίνης (1772°C) καθιστά δύσκολη και με υψηλές ενεργειακές απαιτήσεις (μεγάλη κατανάλωση ενέργειας για τη θέρμανση και τήξη της σκόνης) τη διαμόρφωση προϊόντων πλατίνης με χύτευση.

Τα πιο συνήθη, στη βιομηχανική πρακτική, στάδια της Κονιομεταλλουργίας είναι τα ακόλουθα :

- (1) **Παραγωγή κόνων των πρώτων υλών**, κατάλληλου μεγέθους και σχήματος.
- (2) **Ανάμειξη κόνων των συστατικών** του προς μορφοποίηση εξαρτήματος.
- (3) **Συμπύεση του μείγματος κόνων**, είτε εν ψυχρώ είτε εν θερμώ, οδηγεί στη δημιουργία πορώδους συμπίεσματος.
- (4) **Πυροσυσσωμάτωση**, δηλαδή έψηση του πορώδους συμπίεσματος σε θερμοκρασία κατώτερη του σημείου τήξεως του πιο δύστηκτου συστατικού.

2.1 Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της Κονιομεταλλουργίας

Η Κονιομεταλλουργία παρουσιάζει τα ακόλουθα **πλεονεκτήματα** :

- Εφαρμόζεται στην περίπτωση μορφοποίησης δύστηκτων υλικών (μετάλλων και κεραμικών), επειδή δεν απαιτείται τήξη των συστατικών της σκόνης.
- Είναι η πλέον κατάλληλη για την μορφοποίηση υλικών που διασπώνται ή οξειδώνονται με την τήξη τους (καρβίδια, νιτρίδια).
- Δεν υπάρχει κίνδυνος διάλυσης αερίων ή εισαγωγής ακαθαρσιών, όπως συμβαίνει στη χύτευση
- Δεν καταναλώνονται μεγάλα ποσά ενέργειας, διότι δεν απαιτείται τήξη του υλικού.
- Το εξάρτημα Κονιομεταλλουργίας διαμορφώνονται στην τελική τους γεωμετρία, χωρίς μεγάλες μεταβολές όγκου, όπως π.χ. η συρρίκνωση που παρατηρείται στα χυτά.
- Η ποιότητα της επιφάνειας είναι ικανοποιητική και δεν απαιτείται, τις περισσότερες φορές, κατεργασία αποπεράτωσης (π.χ. λείανση).

Εμφανίζει επίσης τα ακόλουθα **μειονεκτήματα** :

- Λόγω των υψηλών πιέσεων που εφαρμόζονται (ιδίως στην περίπτωση μορφοποίησης κεραμικών) απαιτούνται υψηλής αντοχής καλούπια και έμβολα μορφοποίησης.
- Η πυροσυσσωμάτωση μπορεί να είναι χρονοβόρος διαδικασία (μπορεί να διαρκέσει ίσως και αρκετές ώρες).
- Στα προϊόντα της Κονιομεταλλουργίας υπάρχει πάντοτε ένα μικρό ποσοστό πορώδους με αρνητικά αποτελέσματα στη συνολική αντοχή του υλικού.

2.2 Εφαρμογές Κονιομεταλλουργίας

Οι κατεργασίες της Κονιομεταλλουργίας εφαρμόζονται για την κατασκευή βιομηχανικών εξαρτημάτων όπως :

- Κεραμικών υλικών, κυρίως κοπτικών εργαλείων από καρβίδια, αλλά και άλλων στοιχείων μηχανών, όπως π.χ. τριβέων, εδράνων, οδοντωτών τροχών κ.λπ..
- Πορωδών υλικών, όπως π.χ. φίλτρων.
- Αυτολιπαινόμενων εδράνων με συγκεκριμένο πορώδες.
- Νημάτων και αντιστάσεων από δύστηκτα και πυρίμαχα μέταλλα, όπως π.χ. βολφραμίου, τανταλίου, μολυβδαινίου, νιοβίου κ.λπ..
- Εξαρτημάτων πολύπλοκης γεωμετρίας, των οποίων η κατασκευή με συμβατικές κατεργασίες θα ήταν ασύμφορη και χρονοβόρος.