

Κεφάλαιο 11

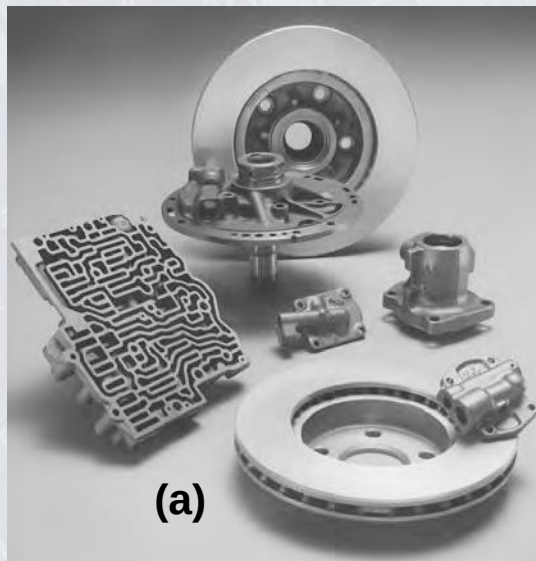
Κατεργασίες και εξοπλισμός χύτευσης

(με βάση Κεφ. 11, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serop Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

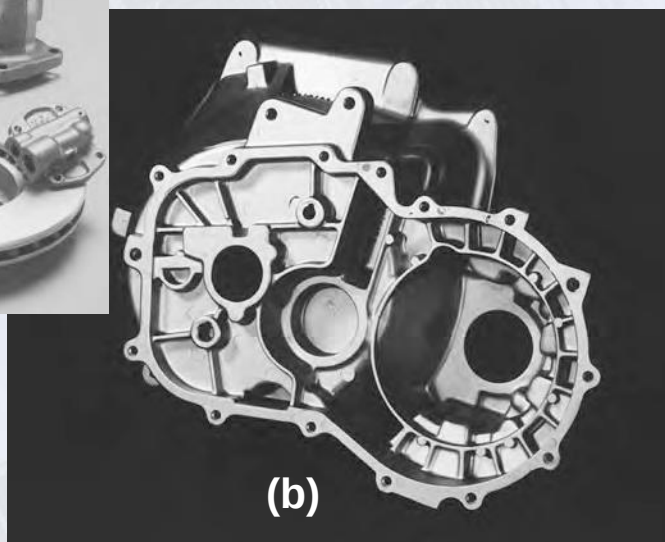


Δρ. Ι. Παπαντωνίου

Συνοπτική παρουσίαση κατεργασιών χύτευσης		
Κατεργασία	Πλεονεκτήματα	Περιορισμοί
Χύτευση με καλούπι από άμμο	Σχεδόν οποιοδήποτε μέταλλο μπορεί να χυτευθεί με αυτή τη μέθοδο· δεν υπάρχει όριο ως προς το μέγεθος, το σχήμα, ή το βάρος των παραγόμενων προϊόντων· χαμηλό κόστος εργαλείων	Απαιτείται αποπεράτωση-φινίρισμα σε κάποιο βαθμό· σχετικά τραχιά ποιοτικά χαρακτηριστικά επιφάνειας· μεγάλες ανοχές
Χύτευση με χρήση κελύφους	Καλή διαστατική ακρίβεια και ποιότητα επιφάνειας· υψηλός ρυθμός παραγωγής	Περιορισμοί ως προς το μέγεθος παραγόμενων εξαρτημάτων· υψηλό κόστος μοδέλων και εξοπλισμού
Χύτευση με εξατμιζόμενο μοντέλο	Μπορούν να χυτευθούν τα περισσότερα μέταλλα, χωρίς όριο μεγέθους· δυνατότητα παραγωγής εξαρτημάτων με γεωμετρίες αυξημένης πολυπλοκότητας	Τα μοντέλα έχουν χαμηλή αντοχή και ενδεχομένως να είναι δαπανηρά για μικρές παραγωγές
Χύτευση με καλούπι από γύψο	Δυνατότητα παραγωγής εξαρτημάτων με γεωμετρίες αυξημένης πολυπλοκότητας· καλή διαστατική ακρίβεια και ποιότητα επιφάνειας· χαμηλό πορώδες	Περιορίζεται σε μη-σιδηρούχα μέταλλα· περιορισμένο μέγεθος παραγόμενων εξαρτημάτων και όγκου παραγωγής· σχετικά μεγάλοι χρόνοι κατασκευής καλουπιών·
Χύτευση με κεραμικό καλούπι	Δυνατότητα παραγωγής εξαρτημάτων με γεωμετρίες αυξημένης πολυπλοκότητας και εξαρτημάτων με σφιχτές ανοχές· καλή ποιότητα επιφάνειας· χαμηλός ρυθμός ψύξης	Περιορισμένο μέγεθος παραγόμενων εξαρτημάτων
Χύτευση με επένδυση	Δυνατότητα παραγωγής εξαρτημάτων με γεωμετρίες αυξημένης πολυπλοκότητας· άριστη ποιότητα επιφάνειας και ακρίβεια· μπορεί να χυτευθεί σχεδόν οποιοδήποτε μέταλλο	Περιορισμένο μέγεθος παραγόμενων εξαρτημάτων· υψηλό κόστος μοδέλων, καλουπιών και εργασίας
Χύτευση με μόνιμο καλούπι	Καλή ποιότητα επιφάνειας και διαστατική ακρίβεια· χαμηλό πορώδες· υψηλός ρυθμός παραγωγής	Υψηλό κόστος καλουπιών· περιορισμοί ως προς τη γεωμετρία και πολυπλοκότητα των παραγόμενων εξαρτημάτων· ακατάλληλη για μέταλλα υψηλού σημείου τήξης
Χύτευση υπό πίεση	Άριστη διαστατική ακρίβεια και ποιότητα επιφάνειας· υψηλός ρυθμός παραγωγής	Υψηλό κόστος μήτρας· περιορισμένο μέγεθος παραγόμενων εξαρτημάτων· γενικά, περιορισμένη εφαρμογή σε μη-σιδηρούχα μέταλλα· μεγάλος χρόνος υστέρησης
Φυγοκεντρική χύτευση	Κατάλληλη για μεγάλα, κυλινδρικά ή σωληνοειδή εξαρτήματα, με καλή ποιότητα· υψηλός ρυθμός παραγωγής	Ακριβός εξοπλισμός· περιορισμένες γεωμετρίες παραγόμενων εξαρτημάτων



(a)



(b)



(c)



(d)

Figure 11.1 (α) Τυπικά χυτά εξαρτήματα από φαιό χυτοσίδηρο που χρησιμοποιούνται σε αυτοκίνητα: σώμα βαλβίδας του συστήματος μετάδοσης (αριστερά) και στροφέιο δισκόφρενου (μπροστά). Πηγή: Central Foundry Division της General Motors Corporation. (β) Περίβλημα από χυτευμένο υπό πίεση μαγνήσιο για τη φωτογραφική μηχανή Olympus E-3· Πηγή: Olympus Inc. (γ) Χυτό περίβλημα συστήματος μετάδοσης. (δ) Χυτά στροφεία από αλουμίνιο για στροβιλοϋπερπληρωτές αυτοκινήτων. Πηγή: (γ) και (δ) American Foundry Society.

ΠΙΝΑΚΑΣ 11.2

Γενικά χαρακτηριστικά κατεργασιών χύτευσης								
	Καλούπι άμμου	Κέλυφος	Εξατμιζόμενο μοδέλο	Καλούπι γύψου	Χυτ. με επένδυση	Μόνιμο καλούπι	Υπό πίεση	Φυγοκεντρική
Τυπικά υλικά για χύτευση	Όλα	Όλα	Όλα	Μη-σιδηρούχα (Al, Mg, Zn, Cu)	Όλα	Όλα	Μη-σιδηρούχα (Al, Mg, Zn, Cu)	Όλα
Βάρος (kg):								
Ελάχιστο	0.01	0.01	0.01	0.01	0.001	0.1	<0.01	0.01
Μέγιστο	Χωρίς όριο	5–25	100+	100+	50+	100+	300	5000+
		1–3	5–25	1–2	0.3–2	2–6	1–2	2–10
Τυπική ποιότητα επιφάνειας (<i>Ra</i> σε μm)								
Πορώδες ¹	3–5	4–5	3–5	4–5	5	2–3	1–3	1–2
Πολυπλοκότητα γεωμετρίας ¹	1–2	2–3	1–2	1–2	1	2–3	3–4	3–4
Διαστατική ακρίβεια ¹	3	2	3	2	1	1	1	3
Πάχος διατομής (mm):								
Ελάχιστο	3	2	2	1	1	2	0.5	2
Μέγιστο	Χωρίς όριο	—	—	—	75	50	12	100
Τυπικές ανοχές διαστάσεων (mm)	1.6–4 mm (0.25 mm για μικρά εξαρτήματα)	±0.003		±0.005–0.010	±0.005	±0.015	± 0.001–0.005	0.015
Εξοπλισμός	3–5	3	2–3	3–5	3–5	2	1	1
Μοδέλο/καλούπι	3–5	2–3	2–3	3–5	2–3	2	1	1
Εργατικό κόστος	1–3	3	3	1–2	1–2	3	5	5
Τυπικός χρόνος προετοιμασίας ²	Ημέρες	Εβδομάδες	Εβδομάδες	Ημέρες	Εβδομάδες	Εβδομάδες	Εβδομάδες έως μήνες	Μήνες
Τυπικός ρυθμός παραγωγής ² (εξαρτήματα/ώρα χύτευσης)	1–20	5–50	1–20	1–10	1–1000	5–50	2–200	1–1000
Ελάχιστη ποσότητα ²	1	100	500	10	10	1000	10,000	10–10,000

Σημειώσεις: 1. Σχετική κλίμακα κατάταξης: 1= βέλτιστο, 5 = χειρίστο. Για παράδειγμα, η χύτευση υπό πίεση έχει σχετικά χαμηλό πορώδες , μέτρια έως ,μικρή πολυπλοκότητα γεωμετρίας, υψηλή διαστατική ακρίβεια, υψηλό κόστος εξοπλισμού και χαμηλό κόστος εργασίας. Οι συγκεκριμένες "βαθμολογίες" είναι μόνο ενδεικτικές· στην πράξη μπορεί να υπάρχουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ανάλογα με τις χρησιμοποιούμενες μεθόδους παραγωγής.

2. Προσεγγιστικές τιμές, χωρίς χρήση τεχνολογιών ταχείας πρωτοτυποποίησης· σε εφαρμογές ταχείας πρωτοτυποποίησης η ελάχιστη ποσότητα είναι 1.

Πηγή: Δεδομένα προερχόμενα από το J.A. Schey, *Schey, Introduction to Manufacturing Processes, 3rd ed., McGraw-Hill, 2000.*

(με βάση Κεφ. 11, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serop Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Κατεργασίες χύτευσης με αναλώσιμο καλούπι και μόνιμο μοδέλο

Χύτευση σε άμμο (sand casting)

Χύτευση σε άμμο (sand casting)

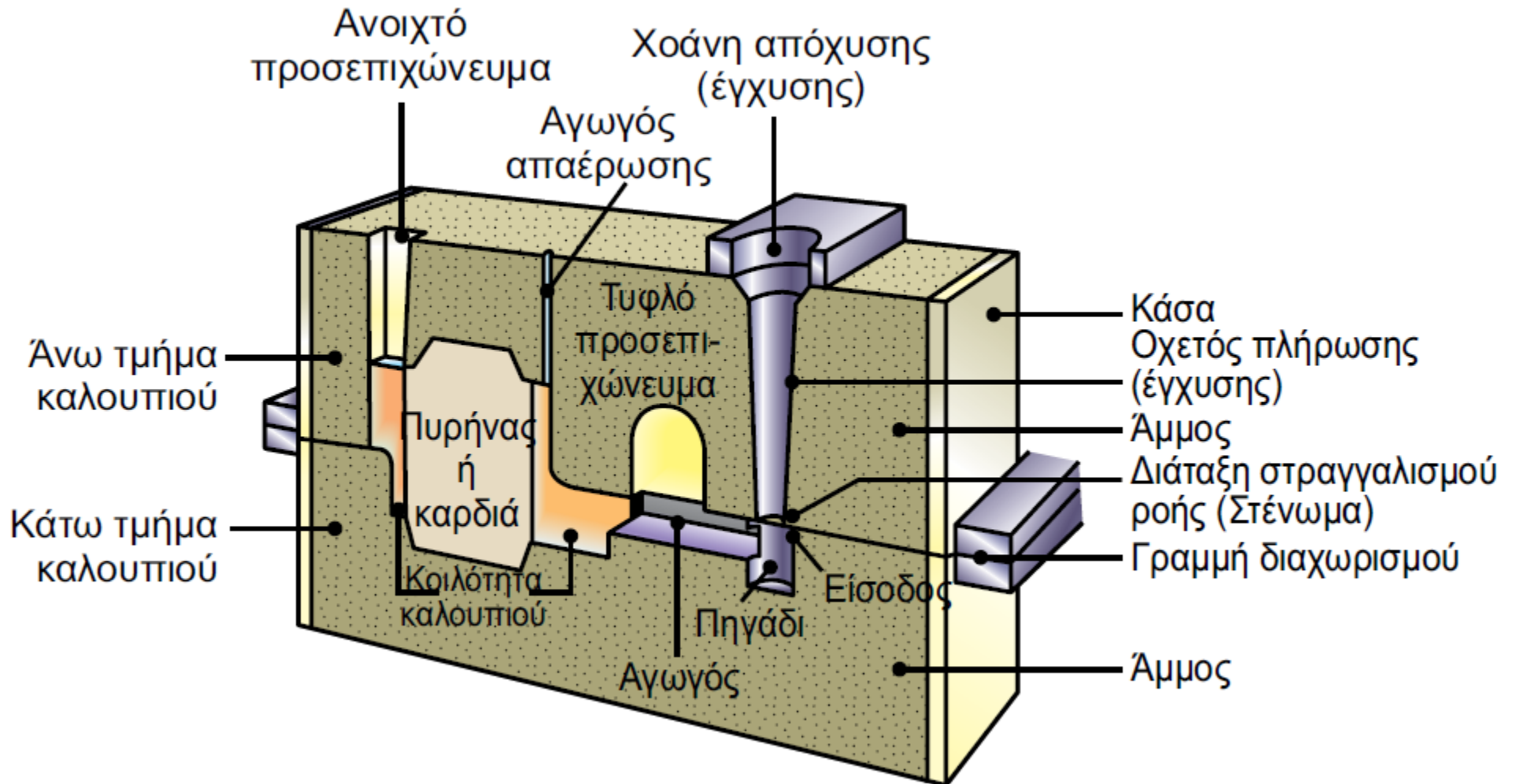
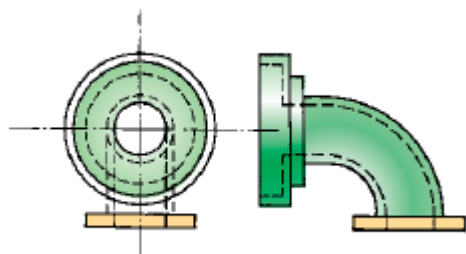
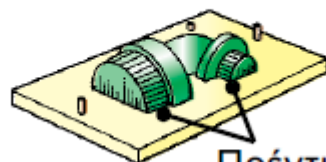


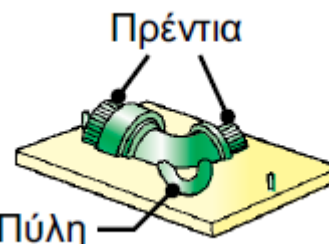
Figure: Σχηματική αναπαράσταση καλουπιού άμμου, με εμφανή διάφορα χαρακτηριστικά.



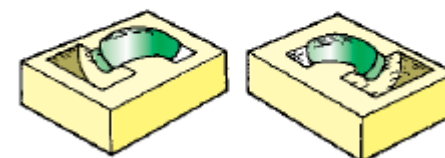
(α) Μηχανολογικό σχέδιο του εξαρτήματος



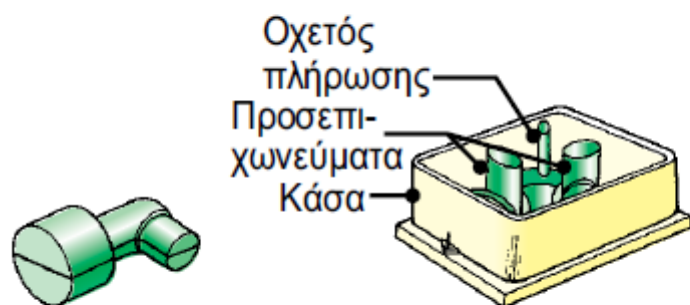
(β) Πλάκα με το άνω ήμισυ του μοντέλου - πρέντια



(γ) Πλάκα με το κάτω ήμισυ του μοντέλου - πρέντια, είσοδος

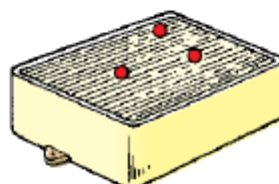


(δ) Πλαίσιο πυρήνα

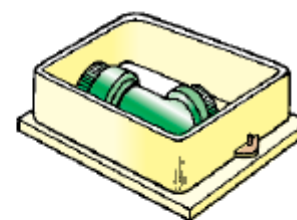


(ε) Τα δύο μισά του πυρήνα κολλημένα μαζί

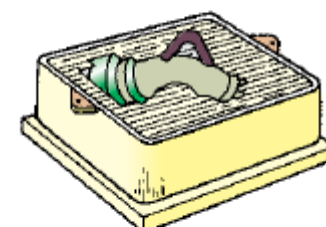
(στ) Η άνω κάσα είναι έτοιμη να πληρωθεί με άμμο - Προσεπιχώνευμα, οχετοί, κάσα



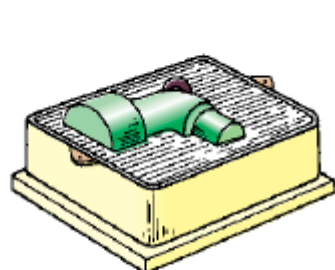
(ζ) Η άνω κάσα αφού έχει γεμιστεί με άμμο και έχει κοπανηθεί και έχουν αφαιρεθεί το μοντέλο και οι ράβδοι των οχετών και των προσεπιχωνευμάτων



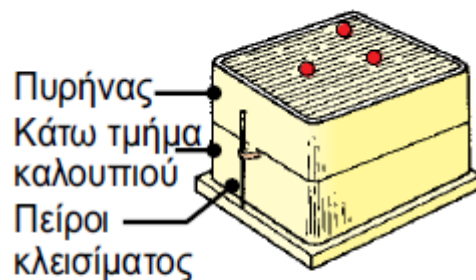
(η) Η κάτω κάσα είναι έτοιμη να πληρωθεί με άμμο



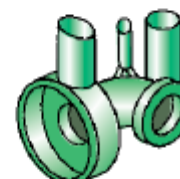
(θ) Η κάτω κάσα μετά την αφαίρεση του μοντέλου



(ι) Η κάτω κάσα με τοποθετημένο τον πυρήνα



(κ) Η άνω και η κάτω κάσα συναρμολογημένες μαζί και έτοιμες για την έγχυση - άνω κάσα, κάτω κάσα, πείρος



(λ) Το τεμάχιο όπως απομακρύνεται από το καλούπι



(μ) Το τελικό τεμάχιο

Χύτευση σε άμμο (sand casting)

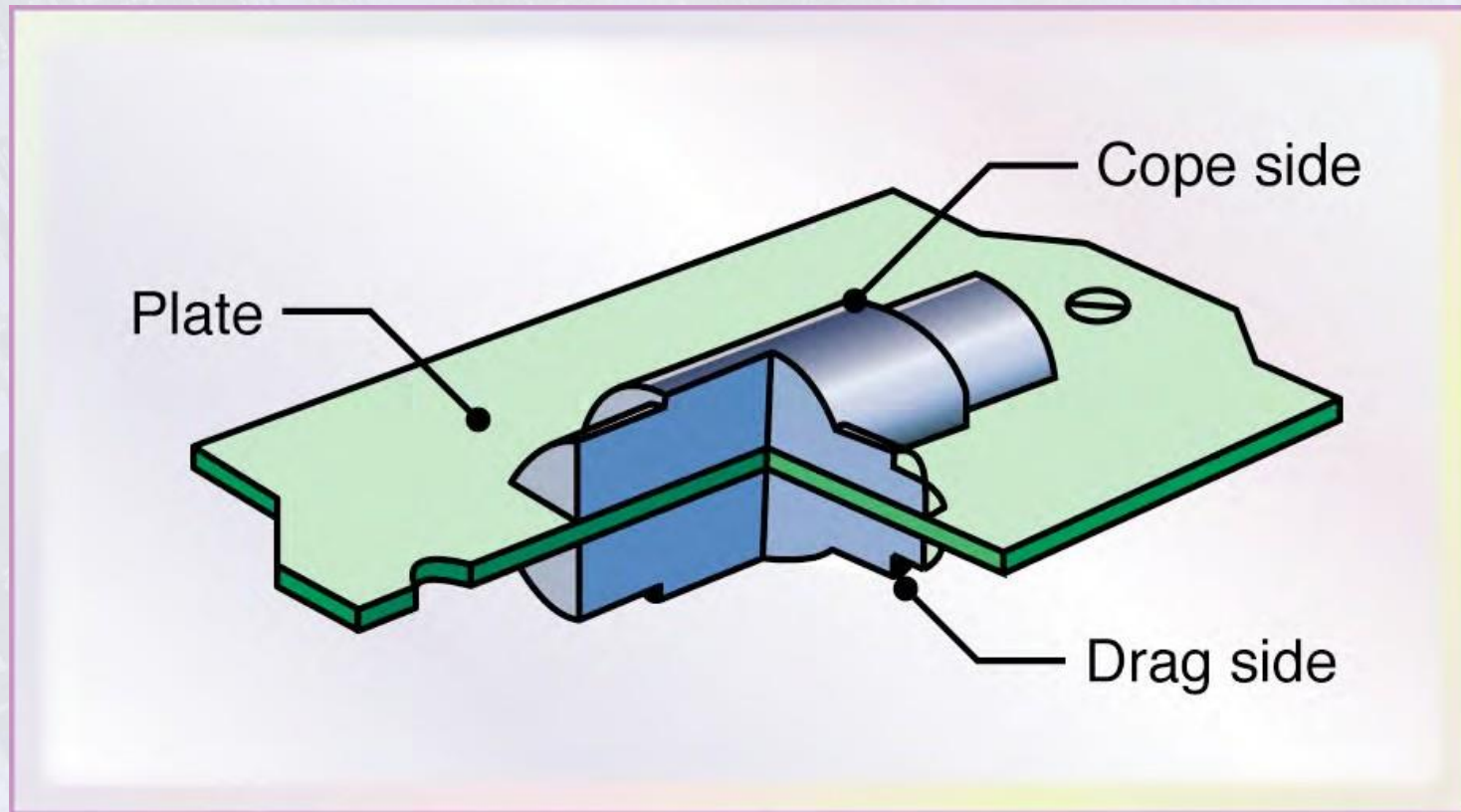


Figure: Τυπικό διαιρετό μοντέλο με πλάκα, κατασκευασμένο από μεταλλικό υλικό, το οποίο χρησιμοποιείται για χύτευση σε άμμο.

Απομάκρυνση του μοντέλου

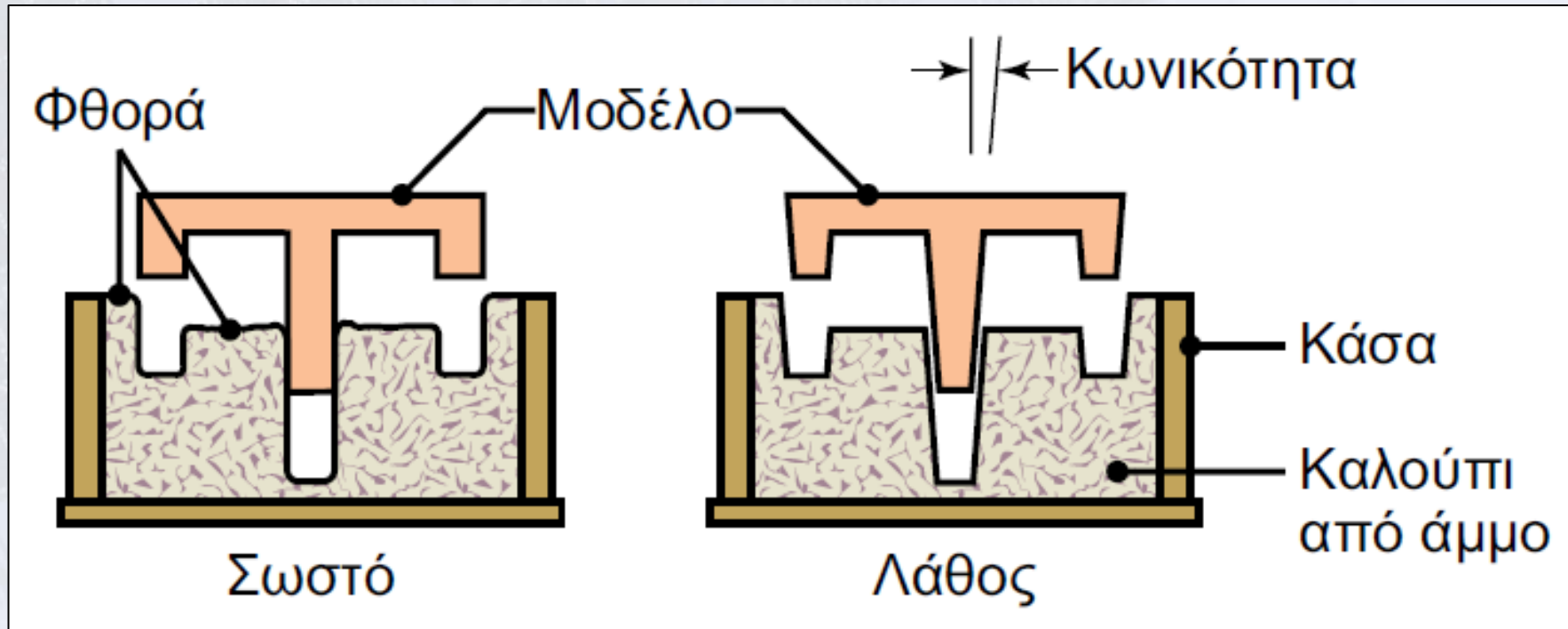


Figure: Κωνικότητα σε μονέλα για εύκολη απομάκρυνσή τους από το καλούπι.

Πυρήνες (cores)

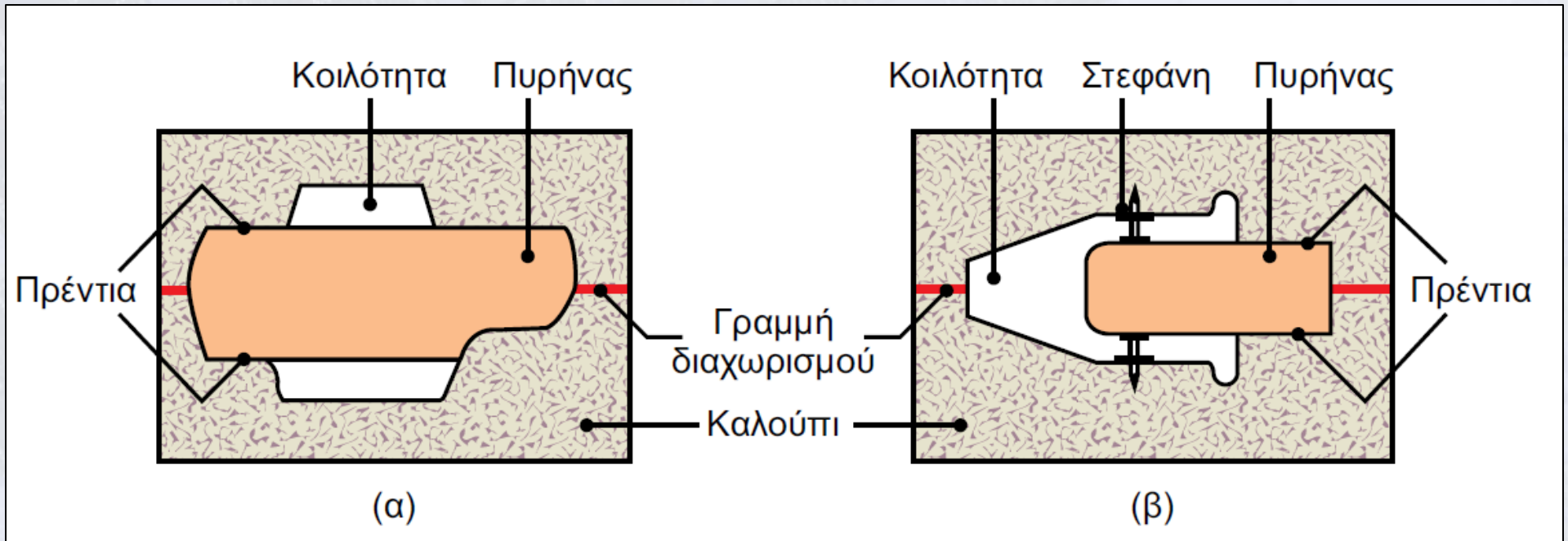


Figure: Παραδείγματα πυρήνων από άμμο· για τη στήριξή τους χρησιμοποιούνται πρέντια και στεφάνες.

Κατακόρυφη χύτευση σε άμμο χωρίς κάσα

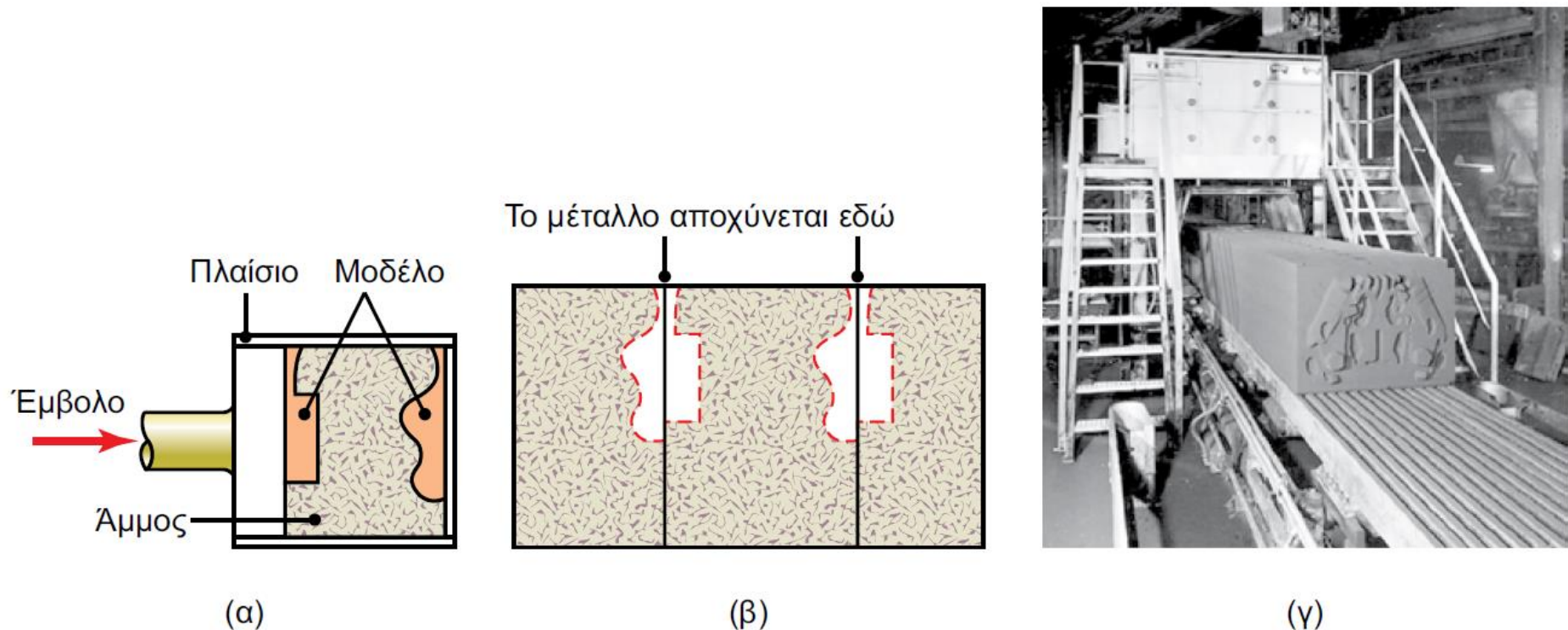


Figure: Κατακόρυφη χύτευση χωρίς κάσα. (α) Συμπίεση άμμου ανάμεσα στα δύο μισά του μοδέλου. (β) Τα συναρμολογημένα καλούπια στέλνονται για απόχυση/πλήρωση κατά μήκος μιας γραμμής παραγωγής. (γ) Φωτογραφία καλουπιού για κατακόρυφη χύτευση χωρίς κάσα. Πηγή: American Foundry Society.

Χύτευση με χρήση κελύφους

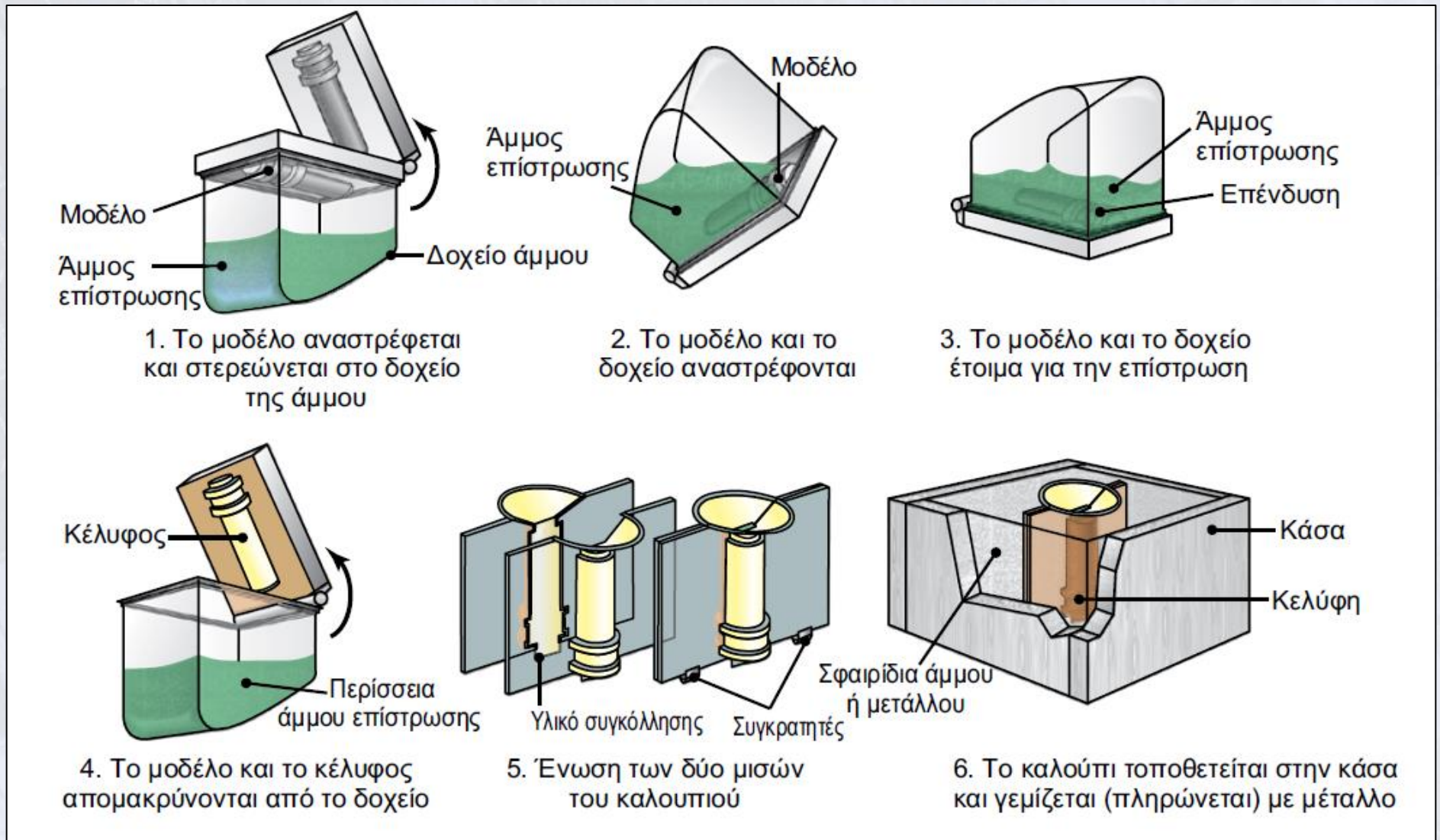


Figure: Η κατεργασία χύτευσης με χρήση κελύφους.

Κατεργασίες χύτευσης με αναλώσιμο καλούπι και μοδέλο

Χύτευση με εξατμιζόμενο μοδέλο (Lost-foam Process)

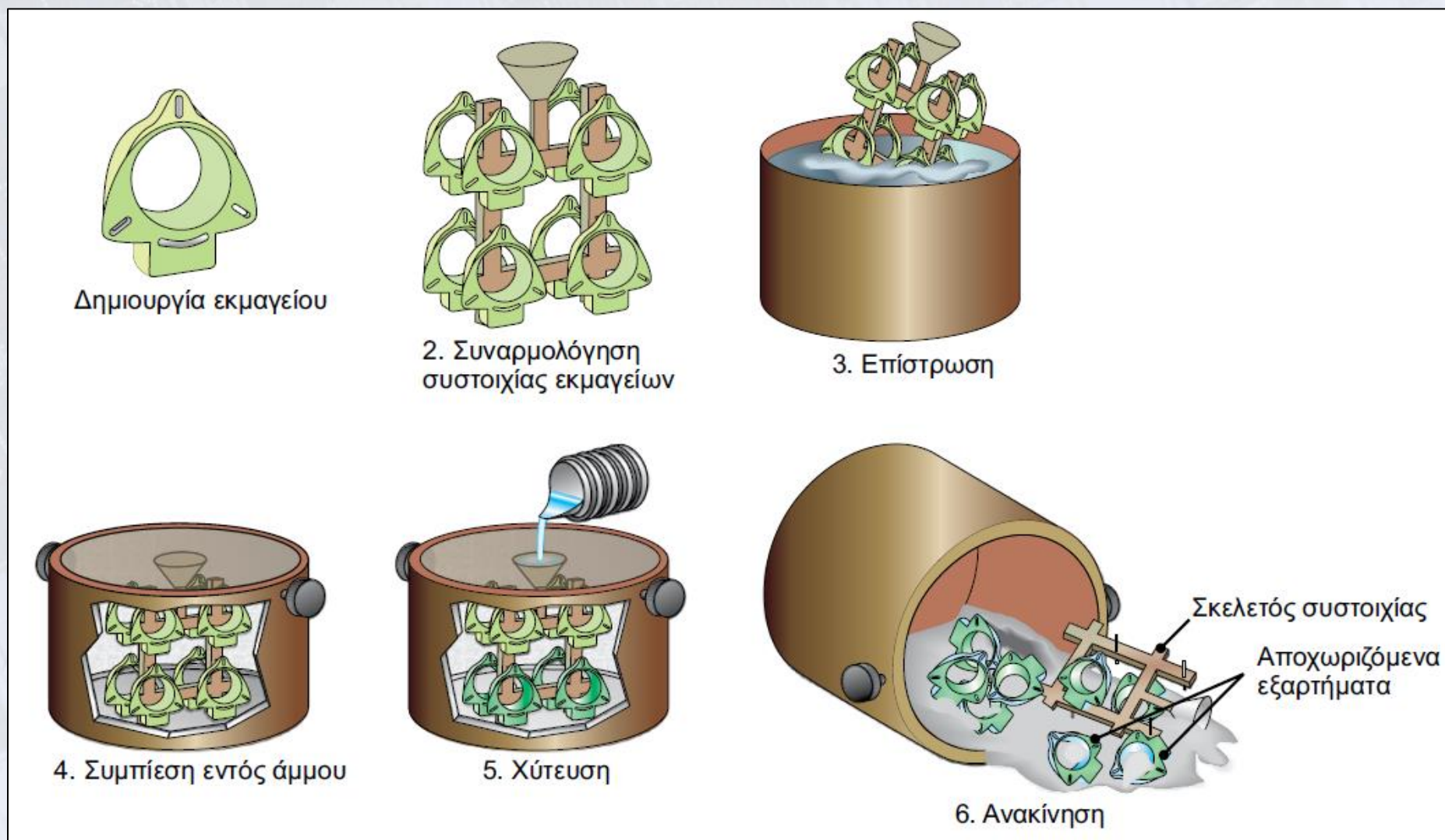


Figure: Σχηματική αναπαράσταση της κατεργασίας χύτευσης με αναλώσιμο μοδέλο, γνωστή και ως χύτευση χαμένου αφρού ή χύτευση με εξατμιζόμενο μοδέλο.

Χύτευση με εξατμιζόμενο μοντέλο (Lost-foam Process)



(a)



(b)

Figure: (α) Απόχυση μετάλλου σε καλούπι για χύτευση (με τη μέθοδο χαμένου αφρού) ενός τρικύλινδρου κινητήρα 40 ίππων για σκάφη· (β) η τελική μορφή του μπλοκ κινητήρα. Source: Courtesy of Mercury Marine.

Χύτευση με επένδυση (Investment Casting Process)

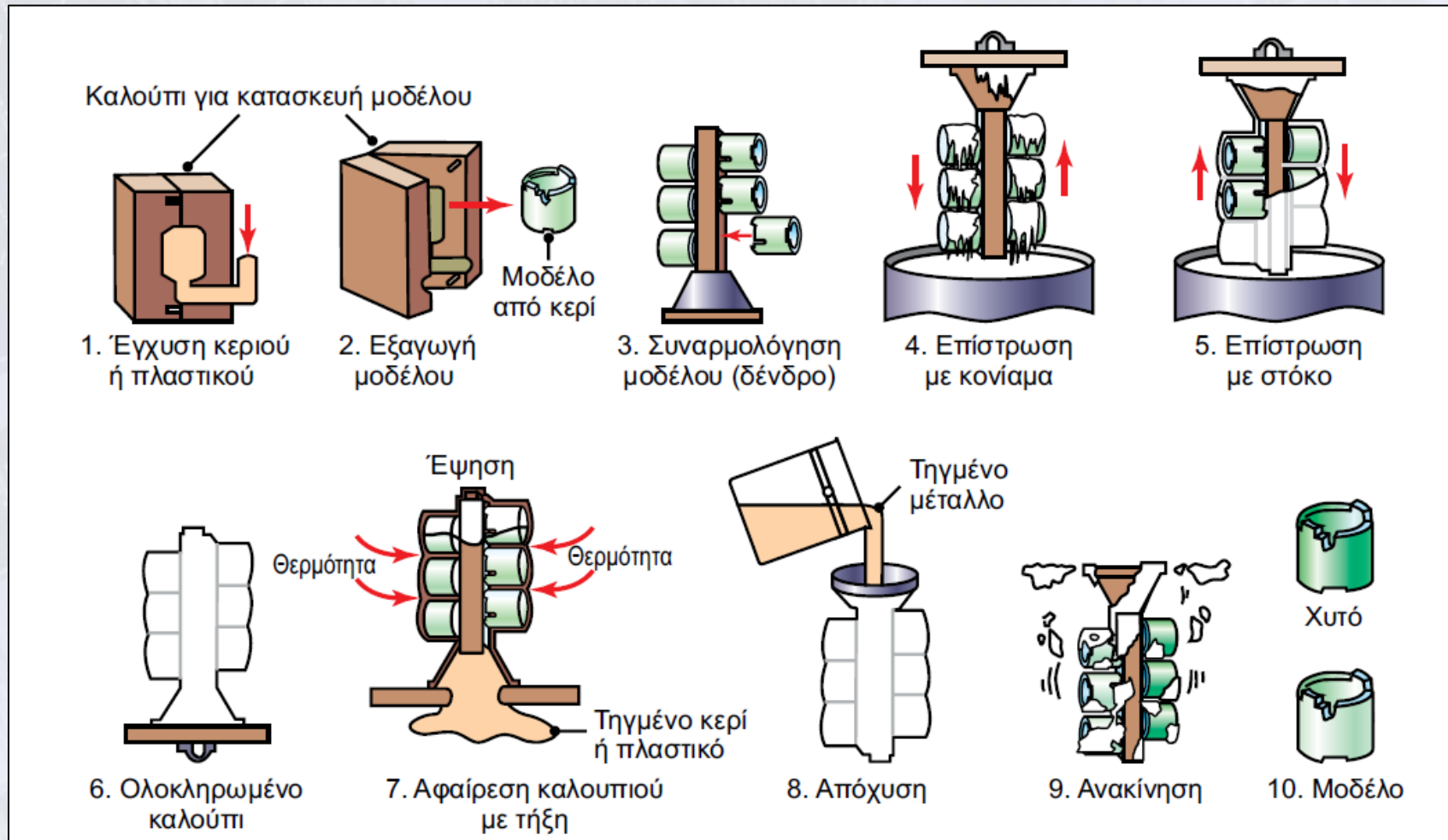


Figure: Σχηματική αναπαράσταση της χύτευσης με επένδυση (κατεργασία χαμένου κεριού). Με αυτή τη μέθοδο μπορούν να παραχθούν χυτά με πολύ υψηλό επίπεδο λεπτομέρειας και από ποικιλία μεταλλικών υλικών. Πηγή: Steel Founders' Society of America.

Κατασκευή στροφείου για αεριοστρόβιλο

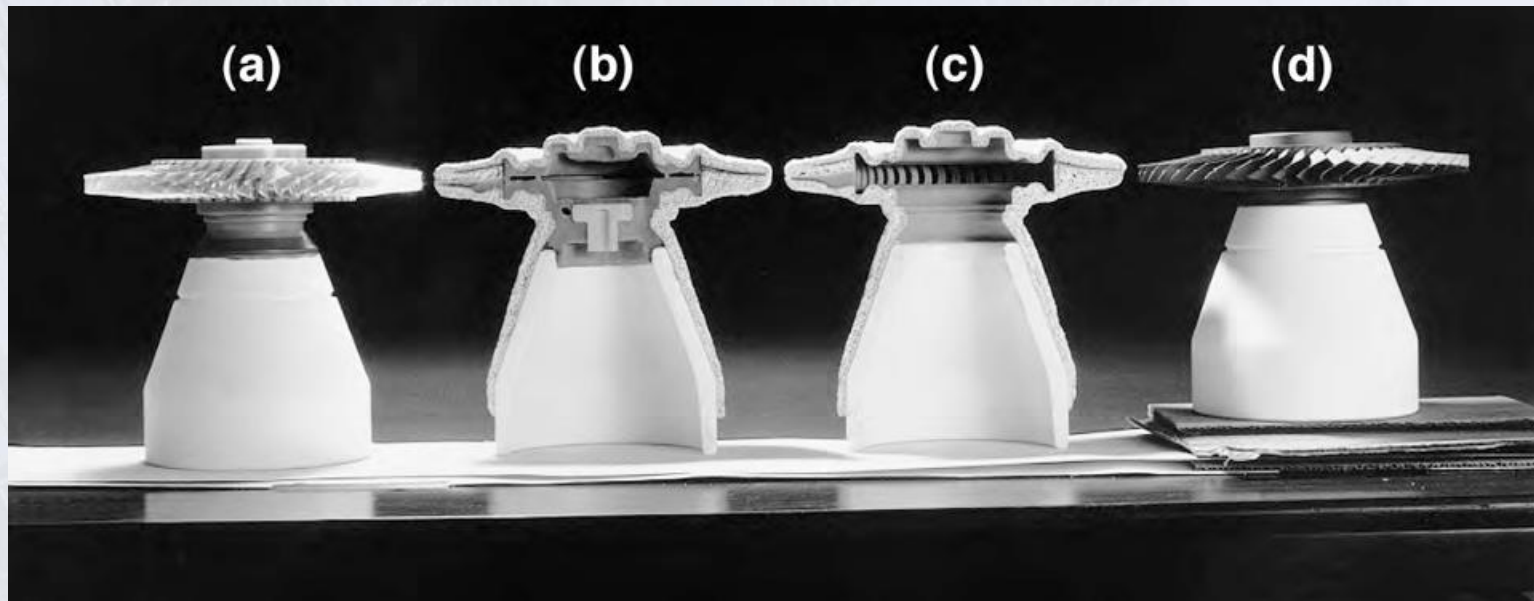


Figure: Κατασκευή στροφείου για αεριοστρόβιλο με την κατεργασία χύτευσης με επένδυση. (α) Ενιαίο μοντέλο από κερί. (β) Κεραμικό κέλυφος γύρω από το μοντέλο. (γ) Το κερί απομακρύνεται με τήξη και το καλούπι γεμίζει, υπό συνθήκες κενού, με τηγμένο υπερκράμα. (δ) Το χυτό στροφείο παράγεται σε τελικό ή σχεδόν-τελικό σχήμα. Πηγή: Howmet Corporation.

Κατασκευή στροφείου για αεριοστρόβιλο

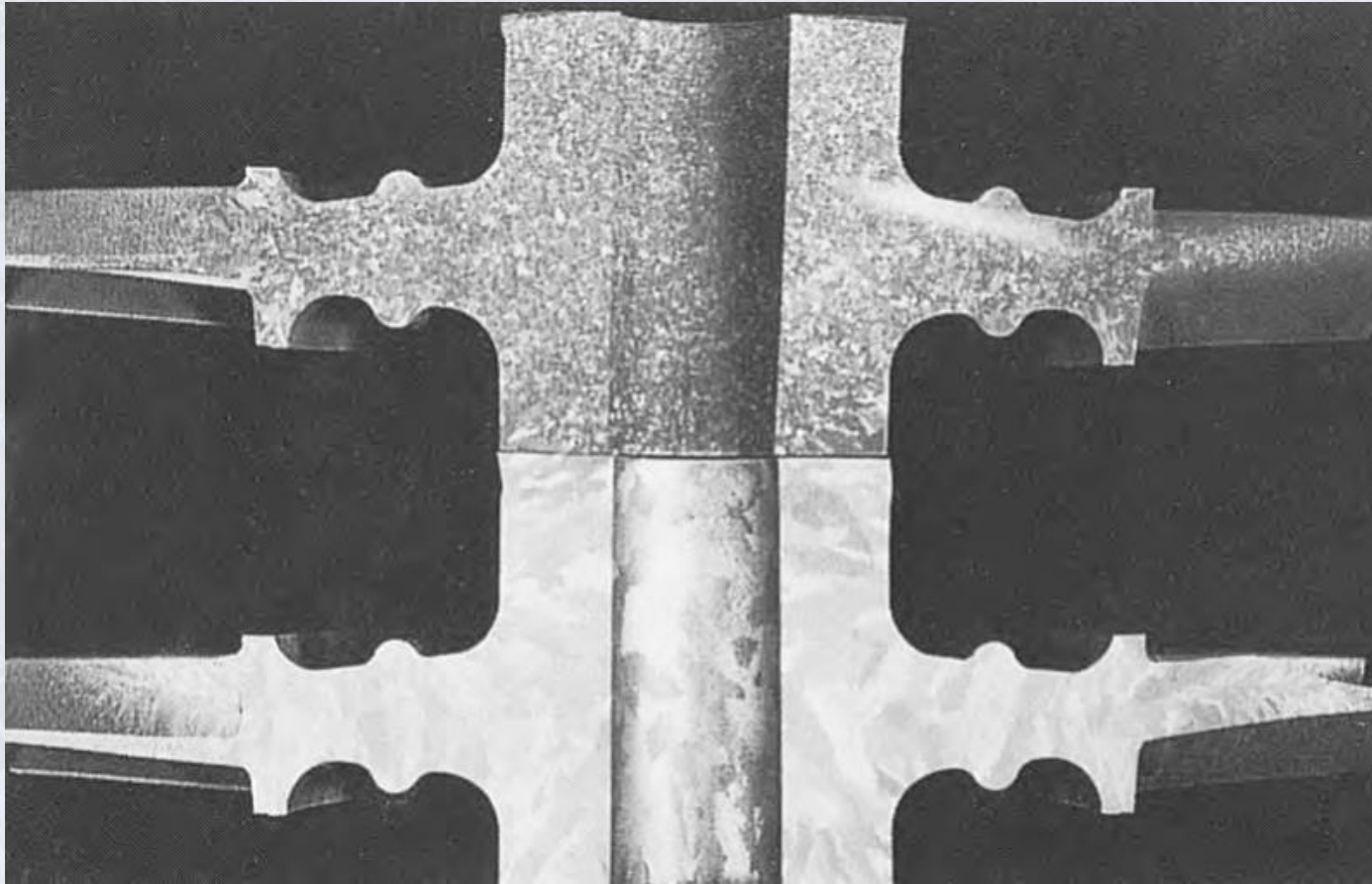


Figure: Διατομή και μικροδομή δύο στροφείων: παραγόμενου με χύτευση υπερκράματος με επένδυση (πάνω) και συμβατικά χυτευμένου (κάτω). Πηγή: ASM International.

Κατεργασίες χύτευσης με μόνιμο καλούπι

(με βάση Κεφ. 11, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serop Kalpakjian & Steven R. Schmid,
επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Χύτευση εν κενώ

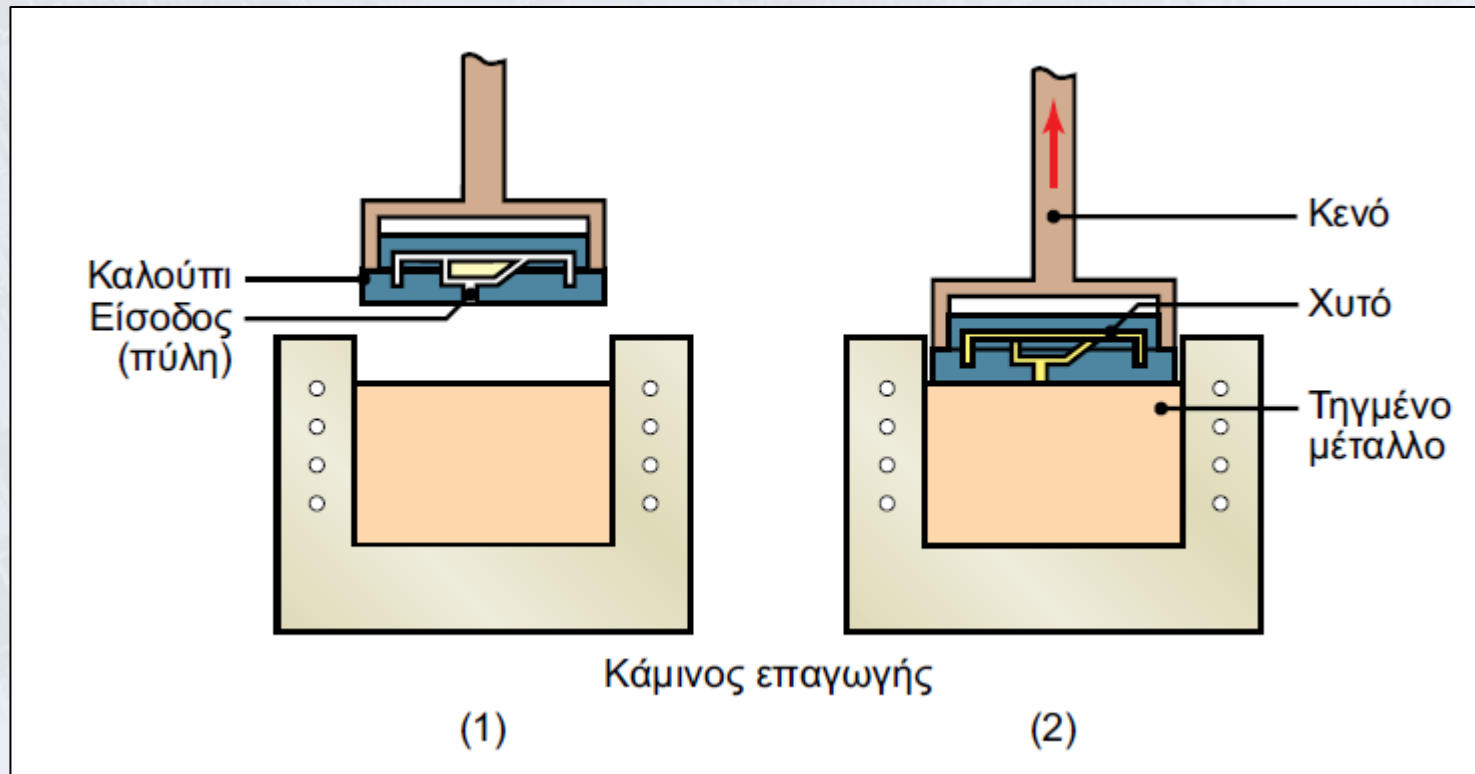


Figure: Σχηματική αναπαράσταση της κατεργασίας χύτευσης εν κενώ· παρατηρήστε την κάτω πύλη στο καλούπι. (α) Πριν και (β) μετά την εμβύθιση του καλουπτιού στο τηγμένο μέταλλο. Πηγή: R. Blackburn.

Κατεργασία χύτευσης υπό πίεση (die-casting)

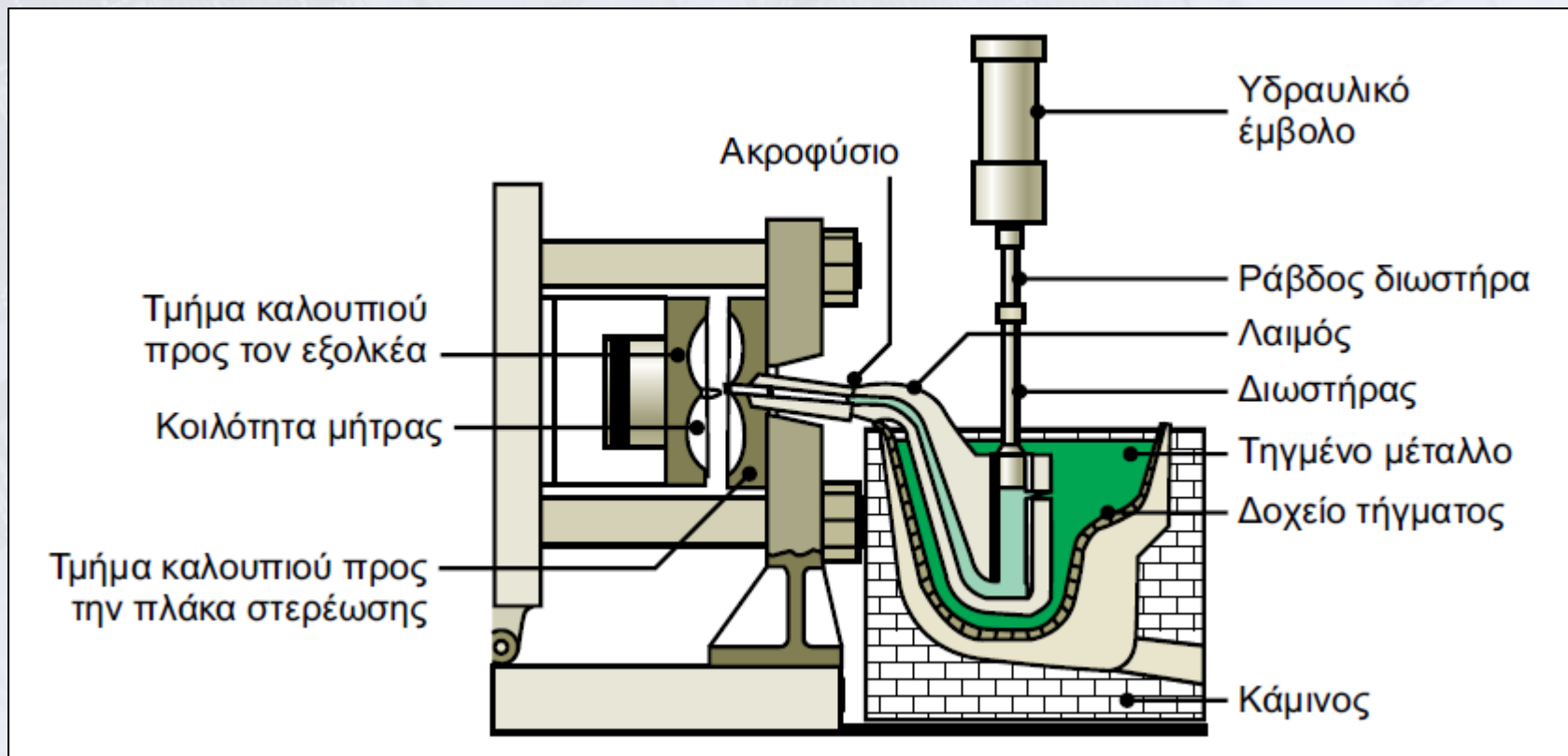


Figure: Σχηματική αναπαράσταση της κατεργασίας χύτευσης υπό πίεση σε θερμό θάλαμο.

Κατεργασία χύτευσης υπό πίεση (die-casting)

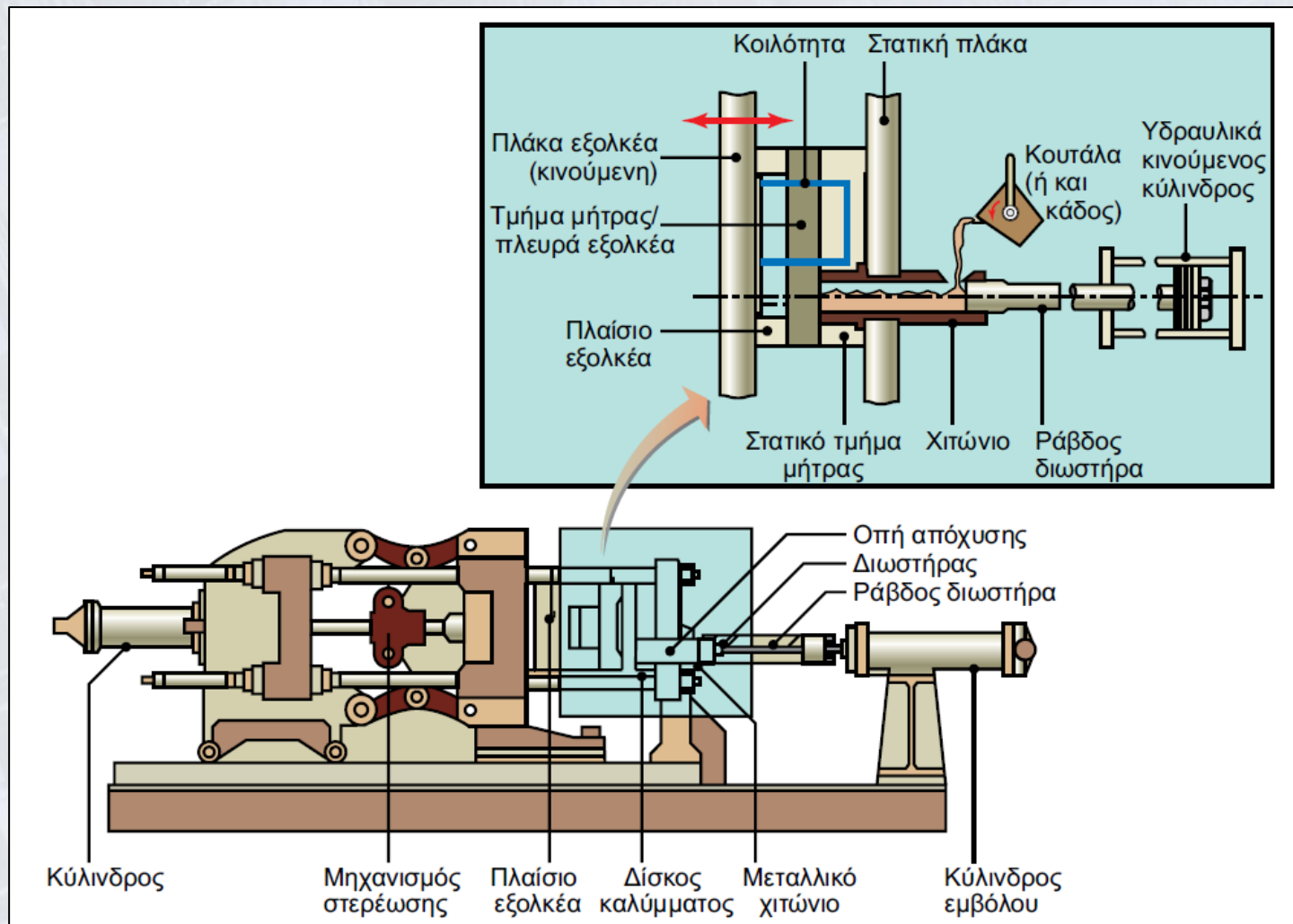


Figure: Σχηματική αναπαράσταση της κατεργασίας χύτευσης υπό πίεση σε ψυχρό θάλαμο. Οι χρησιμοποιούμενες μηχανές είναι μεγάλες σε σχέση με το μέγεθος των παραγόμενων χυτών, λόγω των υψηλών δυνάμεων που απαιτούνται ώστε να συγκρατούνται και να παραμένουν κλειστά τα δύο τμήματα της μήτρας ενόσω βρίσκονται υπό πίεση κατά τη διάρκεια της χύτευσης.

Ιδιότητες και τυπικές εφαρμογές επιλεγμένων κραμάτων για χύτευση υπό πίεση

Ιδιότητες και τυπικές εφαρμογές επιλεγμένων κραμάτων για χύτευση υπό πίεση

Κράμα	Όριο αντοχής σε εφελκυσμό (MPa)	Όριο διαρροής (MPa)	Επιμήκυνση στα 50 mm (%)	Εφαρμογές
Αλουμίνιο				
380 (3.5 Cu–8.5 Si)	320	160	2.5	Συσκευές οικιακής/γενικής χρήσης, εξαρτήματα αυτοκινήτων, πλαίσια για ηλεκτρικούς κινητήρες
13 (12 Si)	300	150	2.5	Αντικείμενα πολύπλοκης γεωμετρίας, με λεπτά τοιχώματα· εξαρτήματα που απαιτούν αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες
Ορείχαλκος 858 (60 Cu)	380	200	15	Διατάξεις συγκράτησης υδραυλικών στοιχείων, εξοπλισμός για κλειδαριές, αντιτριβικοί δακτύλιοι, διακοσμητικά χυτά αντικείμενα
Μαγνήσιο				
AZ91 B (9 Al–0.7 Zn)	230	160	3	Ηλεκτρικά εργαλεία, εξαρτήματα αυτοκινήτων, είδη άθλησης
Ψευδάργυρος				
No. 3 (4 Al)	280	—	10	Εξαρτήματα αυτοκινήτων, εξοπλισμός γραφείου, σκεύη οικιακής χρήσης, εξοπλισμός κατασκευών, παιχνίδια
No. 5 (4 Al–1 Cu)	320	—	7	Συσκευές οικιακής/γενικής χρήσης, εξαρτήματα αυτοκινήτων, εξοπλισμός κατασκευών, εξοπλισμός γραφείου

Πηγή: Τιμές προερχόμενες από: North American Die Casting Association, Wheeling, Illinois.

Τύποι κοιλοτήτων σε μήτρα χύτευσης υπό πίεση

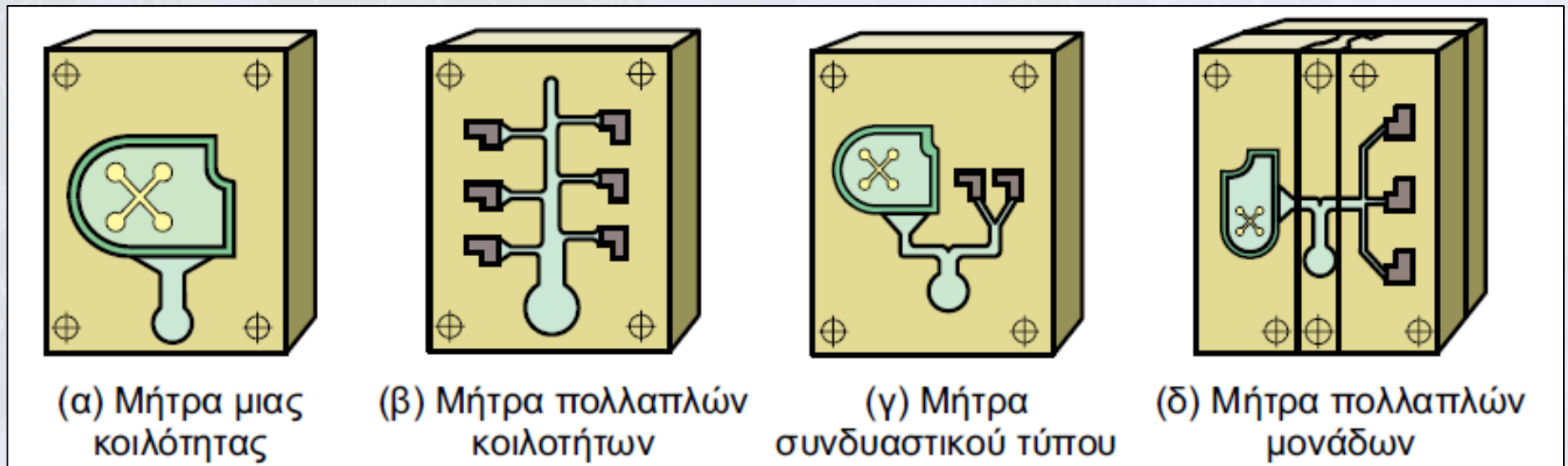


Figure: Διάφοροι τύποι κοιλοτήτων σε μήτρα χύτευσης υπό πίεση. Πηγή: Οι εικόνες προέρχονται από το North American Die Castin Association, Wheeling, Illinois.

Φυγοκεντρική χύτευση

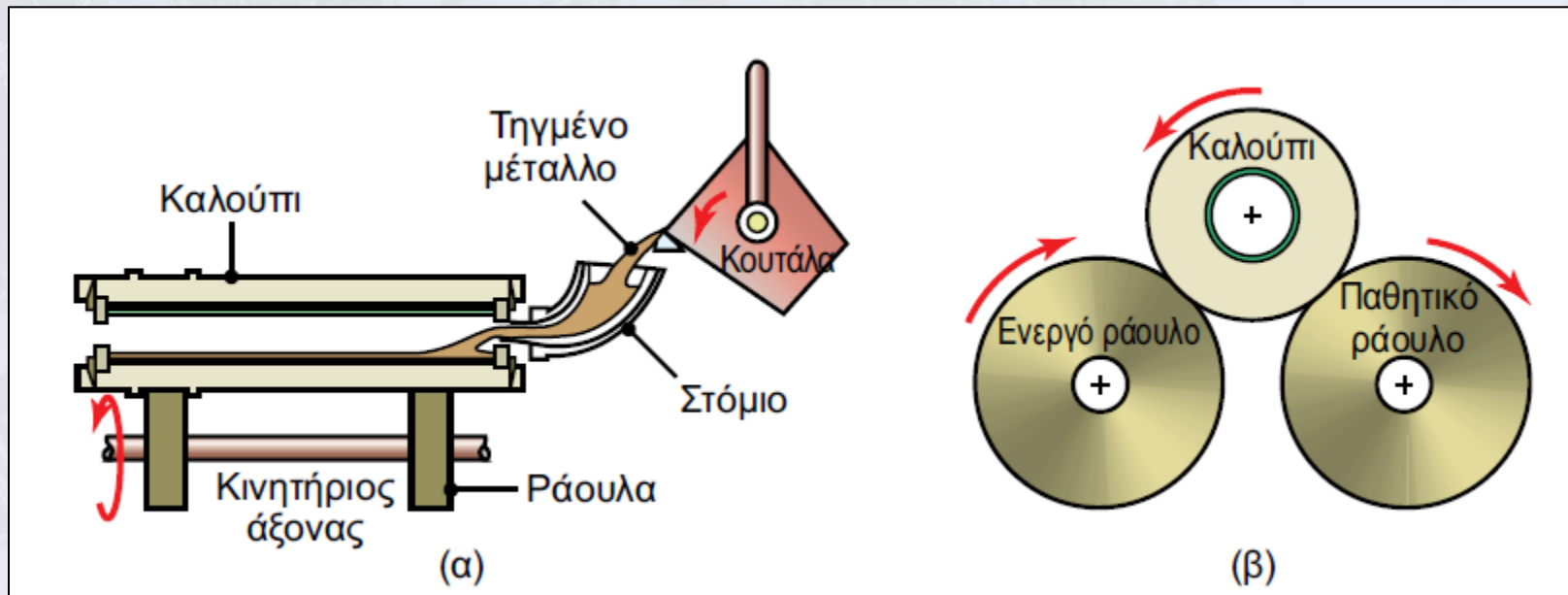


Figure: (α) Σχηματική αναπαράσταση της φυγοκεντρικής χύτευσης: σωλήνες, χιτώνια κυλίνδρων και παρόμοια διαμορφωμένα αντικείμενα μπορούν να χυτεύονται με αυτή την κατεργασία. (β) Πλευρική όψη της μηχανής.

Ημιφυγοκεντρική χύτευση

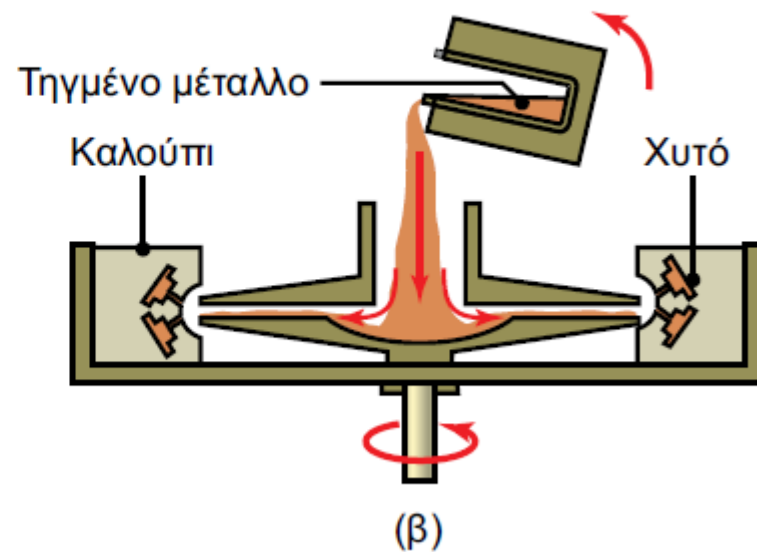
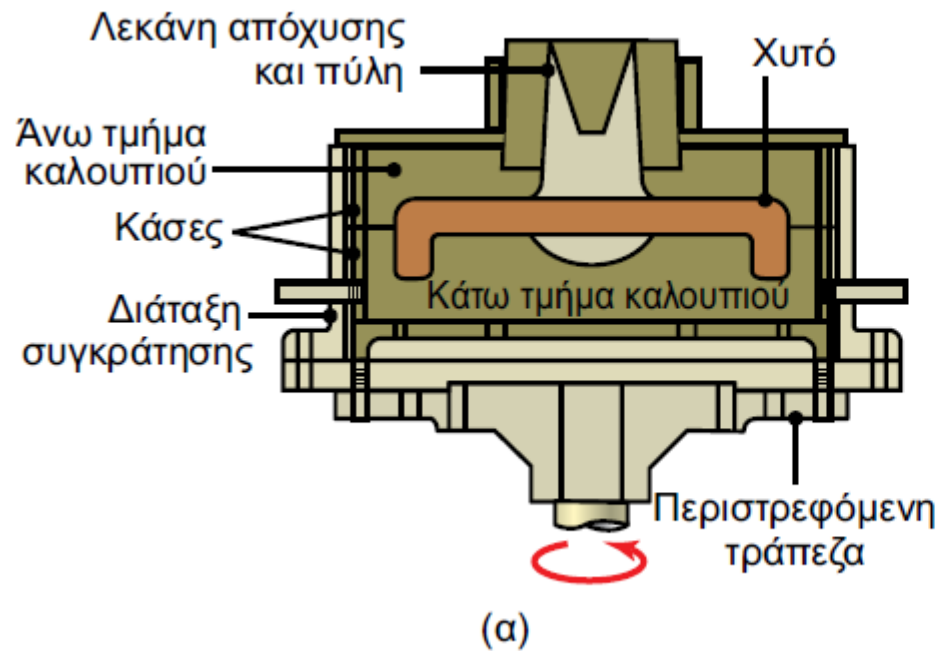


Figure: (α) Σχηματική αναπαράσταση της ημιφυγοκεντρικής χύτευσης· με αυτή την κατεργασία μπορούν να χυτευθούν ακτινωτοί τροχοί. (β) Σχηματική αναπαράσταση της χύτευσης με φυγοκέντρωση· τα καλούπια τοποθετούνται στην περιφέρεια της μηχανής και το τηγμένο μέταλλο διοχετεύεται σε αυτά υπό την επίδραση φυγόκεντρης δύναμης.

Ημιφυγοκεντρική χύτευση



Time = 0.00

Temperature (deg-C)

1576.85

1501.49

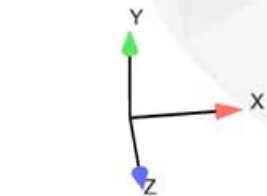
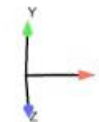
1426.13

1350.78

1275.42



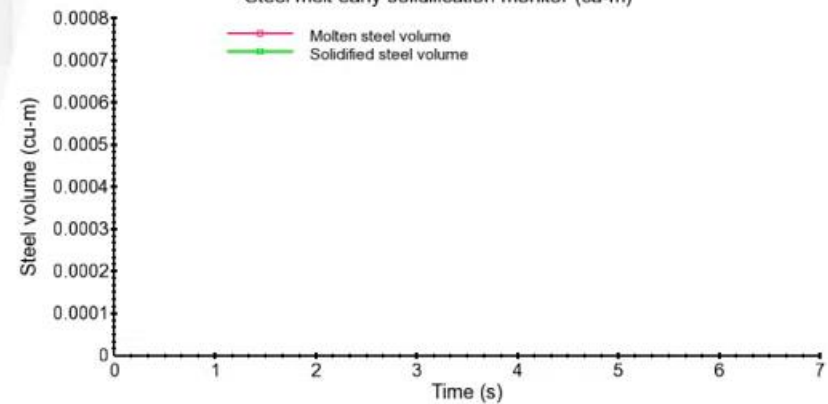
Solid Fraction



FLOW-3D
CAST

Steel melt early solidification monitor (cu-m)

—●— Molten steel volume
—●— Solidified steel volume



Χύτευση συμπίεσης και χύτευση από ημι-στερεά κατάσταση (Squeeze-Casting)

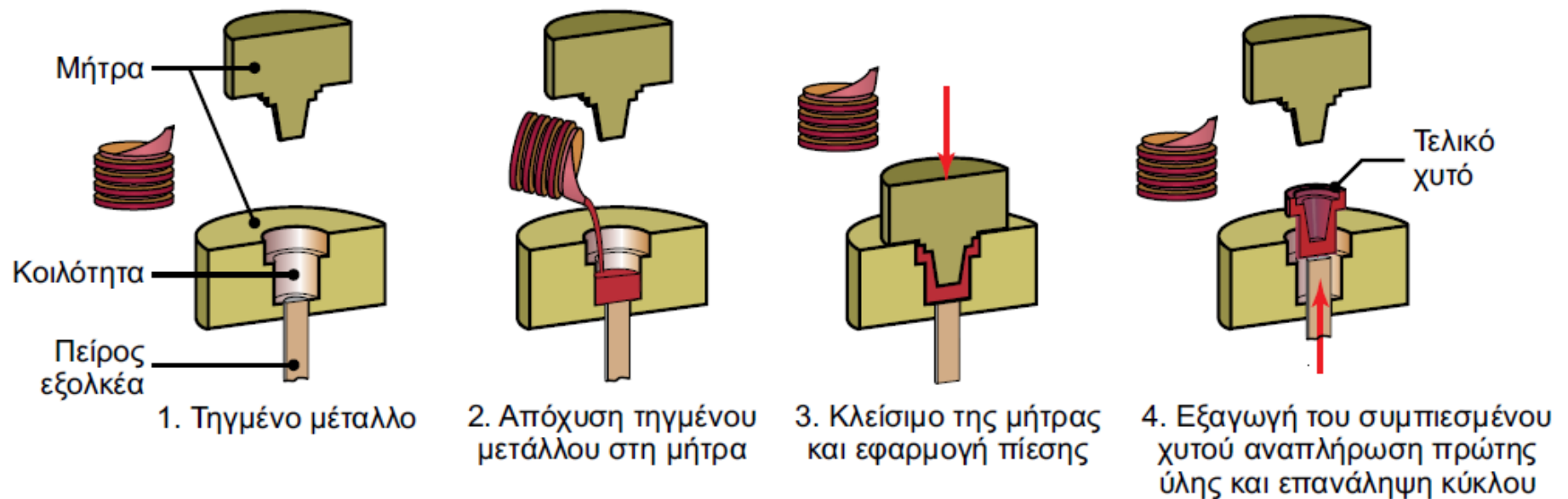


Figure: Φάσεις της κατεργασίας χύτευσης συμπίεσης· αυτή η κατεργασία συνδυάζει τα πλεονεκτήματα της χύτευσης και της σφυρηλάτησης.

Ταχεία στερεοποίηση

(με βάση Κεφ. 11, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serop Kalpakjian & Steven R. Schmid,
επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Περιδίνηση τήγματος (Melt-Spinning)

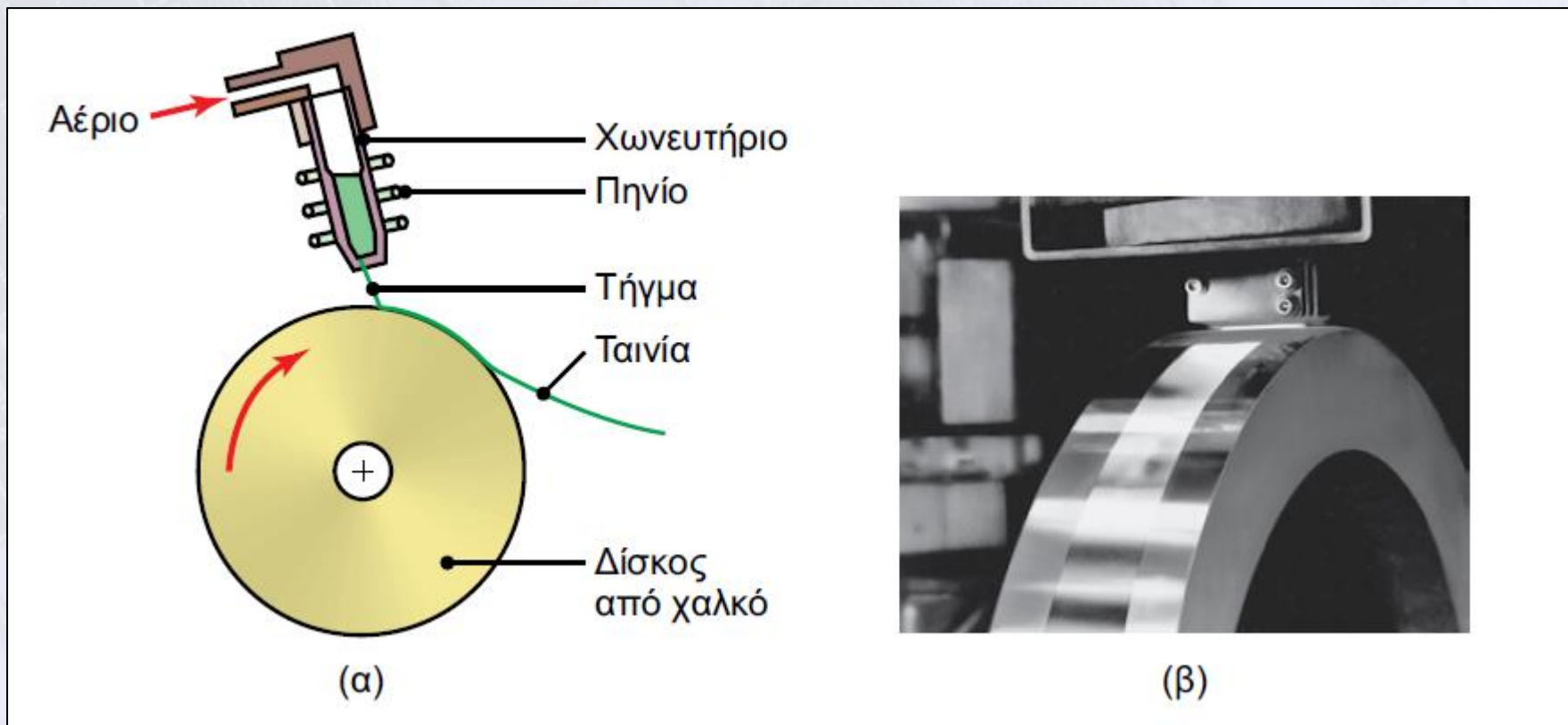
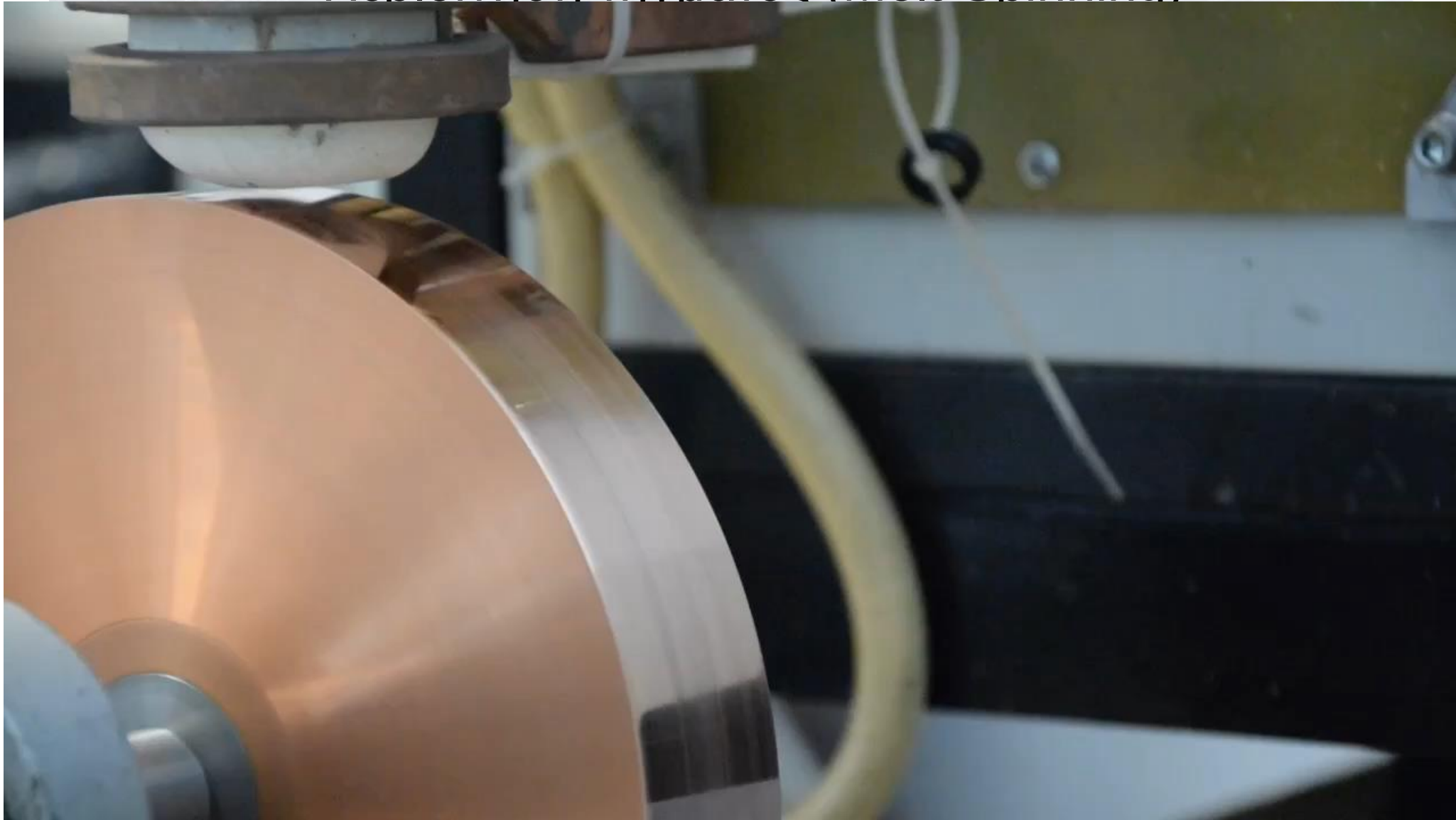


Figure: (α) Σχηματική αναπαράσταση της κατεργασίας περιδίνησης τήγματος για παραγωγή λεπτών ταινιών άμορφου μετάλλου. (β) Φωτογραφία παραγωγής κράματος νικελίου μέσω περιδίνησης τήγματος. Πηγή: Siemens AG.

Περιδίνηση τήνματος (Melt-Spinning)



(με βάση Κεφ. 11, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serop Kalpakjian & Steven R. Schmid, επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Τεχνικές χύτευσης για μονοκρυσταλλικά εξαρτήματα

(με βάση Κεφ. 11, Μηχανουργική επιστήμη και τεχνολογία, Serop Kalpakjian & Steven R. Schmid,
επιστημονική επιμέλεια Δ. Μανωλάκος & Α. Μαρκόπουλος, εκδ. Τζιόλα)

Μέθοδοι χύτευσης πτερυγίων στροβίλων

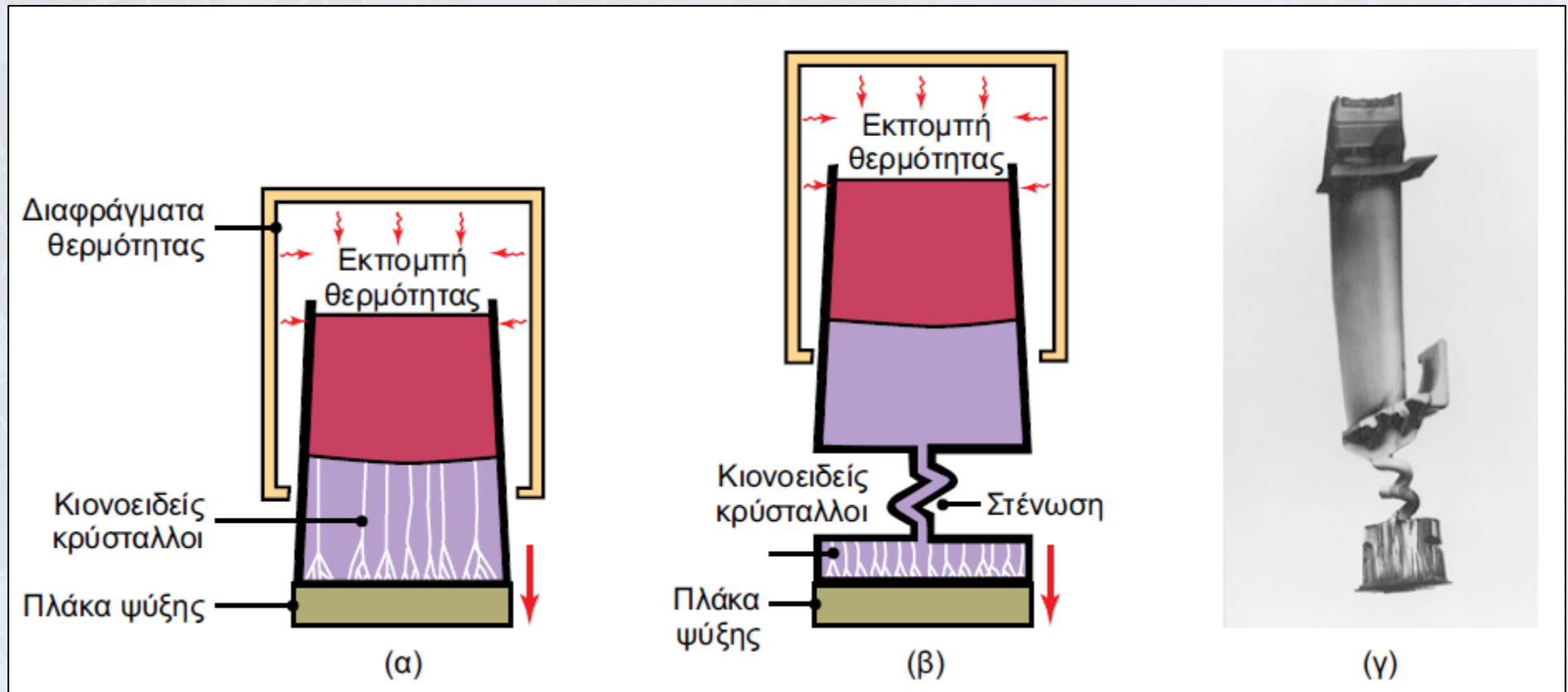


Figure: Μέθοδοι χύτευσης πτερυγίων στροβίλων: (α) κατευθυντική στερεοποίηση· (β) μέθοδος παραγωγής μονοκρυσταλλικού πτερύγιου· (γ) μονοκρυσταλλικό πτερύγιο με το τμήμα στένωσης (βλ. επίσης Σχ. 1.1) Πηγή: (α) και (β): B.H. Kear, (γ): ASM International.

Ανάπτυξη μονοκρυστάλλων

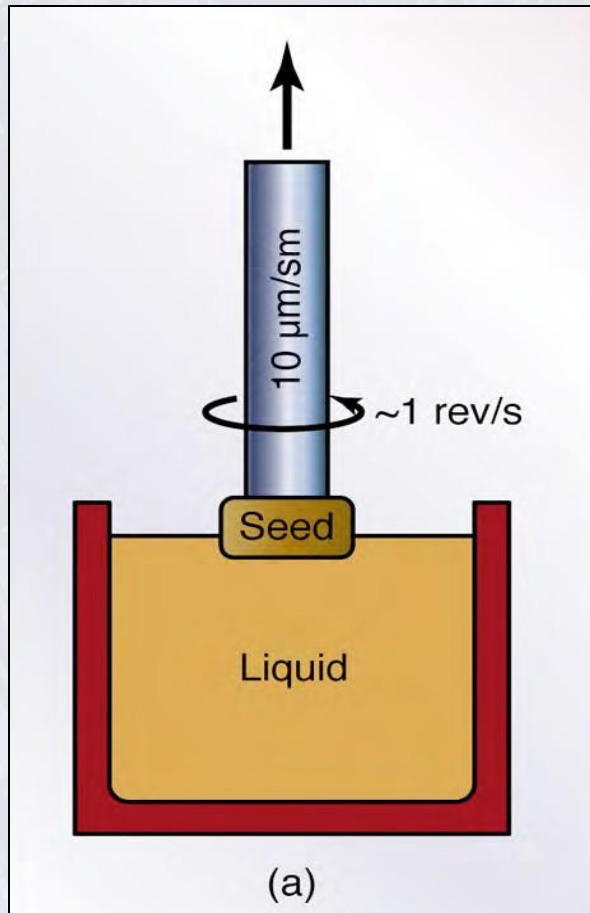


Figure: (α) Μέθοδος ανάπτυξης μονοκρυστάλλων (μέθοδος Czochralski). Η ανάπτυξη μονοκρυστάλλων είναι ιδιαίτερα σημαντική για τη βιομηχανία των ημιαγωγών. (β) Ράβδος μονοκρυστάλλου που έχει παραχθεί με τη μέθοδο Czochralski. Πηγή: Intel Corporation.

