

Καθηγητής Dr.-Ing. habil. Dr.-Ing. E.h. Dr.h.c.

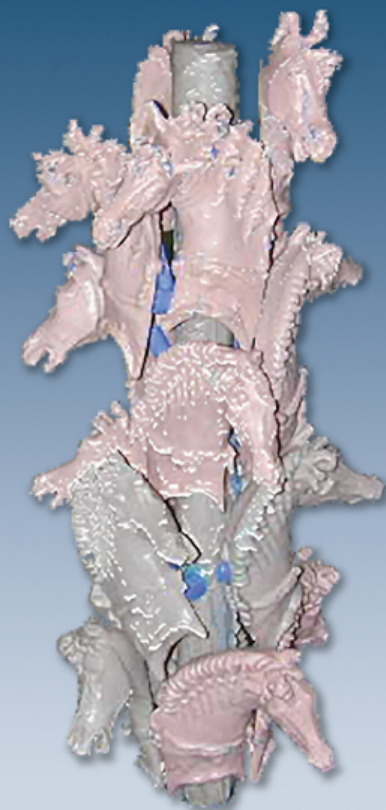
Κων/νος - Διονύσιος Ε. Μπουζάκης

ΤΜΗΜΑ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΩΝ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ

ΑΡΙΣΤΟΤΕΛΕΙΟΥ ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ

Μηχανουργικές μορφοποιήσεις της μη συνεκτικής ύλης

Εισαγωγή
στις μηχανουργικές
μορφοποιήσεις
της στερεάς ύλης



Μηχανουργικές μορφοποιήσεις της μη συνεκτικής ύλης
Εισαγωγή στις μηχανουργικές μορφοποιήσεις της στερεάς ύλης

ISBN 978-960-456-382-1

© Copyright 2013, Εκδόσεις ΖΗΤΗ, Κ.-Δ. Ε. Μπουζάκης

Το παρόν έργο πνευματικής ιδιοκτησίας προστατεύεται κατά τις διατάξεις του ελληνικού νόμου (Ν.2121/1993 όπως έχει τροποποιηθεί και ισχύει σήμερα) και τις διεθνείς συμβάσεις περί πνευματικής ιδιοκτησίας. Απαγορεύεται απολύτως η άνευ γραπτής άδειας του εκδότη κατά οποιοδήποτε τρόπο ή μέσο αντιγραφή, φωτοανατύπωση και εν γένει αναπαραγωγή, εκμίσθωση ή δανεισμός, μετάφραση, διασκευή, αναμετάδοση στο κοινό σε οποιαδήποτε μορφή (ηλεκτρονική, μηχανική ή άλλη) και η εν γένει εκμετάλλευση του συνόλου ή μέρους του έργου.

Φωτοστοιχειοθεσία

Εκτύπωση

Βιβλιοδεσία

Π. ΖΗΤΗ & Σία ΟΕ

18ο χλμ Θεσ/νίκης-Περαίας

Τ.Θ. 4171 • Περαία Θεσσαλονίκης • Τ.Κ. 570 19

Τηλ.: 2392.072.222 - Fax: 2392.072.229 • e-mail: info@ziti.gr



**ΕΚΔΟΣΕΙΣ
ΖΗΤΗ**

www.ziti.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ - ΚΕΝΤΡΙΚΗ ΔΙΑΘΕΣΗ:

Αρμενοπούλου 27, 546 35 Θεσσαλονίκη

Τηλ.: 2310.203.720, Fax: 2310.211.305 • e-mail: sales@ziti.gr

ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ ΑΘΗΝΩΝ - ΠΩΛΗΣΗ ΛΙΑΝΙΚΗ-ΧΟΝΔΡΙΚΗ:

Χαριλάου Τρικούπη 22, 106 79 Αθήνα

Τηλ.-Fax: 210.3816.650 • e-mail: athina@ziti.gr

ΣΤΟΑ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ - ΕΝΩΣΗ ΕΚΔΟΤΩΝ ΒΙΒΛΙΟΥ ΘΕΣΣΑΛΟΝΙΚΗΣ:

Πεσμαζόγλου 5, 105 64 Αθήνα • Τηλ.-Fax: 210.3211.097

ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΚΟ ΒΙΒΛΙΟΠΩΛΕΙΟ: www.ziti.gr

Οι τεχνικές μορφοποιήσεων τεμαχίων αποτελούν μια βασική γνωστική περιοχή του επαγγελματικού αντικειμένου των Μηχανολόγων Μηχανικών. Το μάθημα της εισαγωγής στις Μηχανουργικές Μορφοποιήσεις αποσκοπεί στο να φέρει σε πρώτη συστηματική επαφή τους σπουδαστές Μηχανολόγους Μηχανικούς με το γνωστικό αυτό αντικείμενο.

Το παρόν βοήθημα αναφέρεται συνοπτικά σε τρεις μεγάλες κατηγορίες κατεργασιών:

- σε κατεργασίες μέσω επίτευξης συνοχής της ύλης από διάφορες αρχικές, μη συνεκτικές, καταστάσεις της
- σε κατεργασίες με αφαίρεση υλικού, και
- σε αυτές με παραμόρφωση του υλικού των τεμαχίων κατά τις διαδικασίες μορφοποίησής τους.

Εν προκειμένω αποσκοπείται η κατανόηση βασικών αρχών των μεθόδων μορφοποίησης, για την παραγωγή τεμαχίων, σε συγκεκριμένες ποσότητες, που να εκπληρώνουν υψηλές απαιτήσεις διαστατικής ακρίβειας και εν γένει ιδιοτήτων.

Επειδή το γνωστικό αντικείμενο των μορφοποιήσεων μέσω επίτευξης συνοχής της ύλης (χυτεύσεις, πυροσυσσωματώσεις) δεν θεραπεύεται πλέον αναλυτικά σε άλλα μαθήματα, γίνεται εκτενέστερη αναφορά σε αυτό.

Μέσω επιλεγμένων εργαστηριακών ασκήσεων μηχανουργικών κατεργασιών, καθώς επίσης και μετροτεχνικών διαδικασιών, επιδιώκεται η απόκτηση των πρώτων σχετικών εμπειριών στη γνωστική αυτή περιοχή. Τέλος, οι επισκέψεις σε χαρακτηριστικά εργοστάσια, δίδουν τη δυνατότητα της άμεσης εποπτείας των εφαρμογών των μεθόδων μηχανουργικών μορφοποιήσεων στη βιομηχανική πράξη.

Θεσσαλονίκη, Μάρτιος 2013

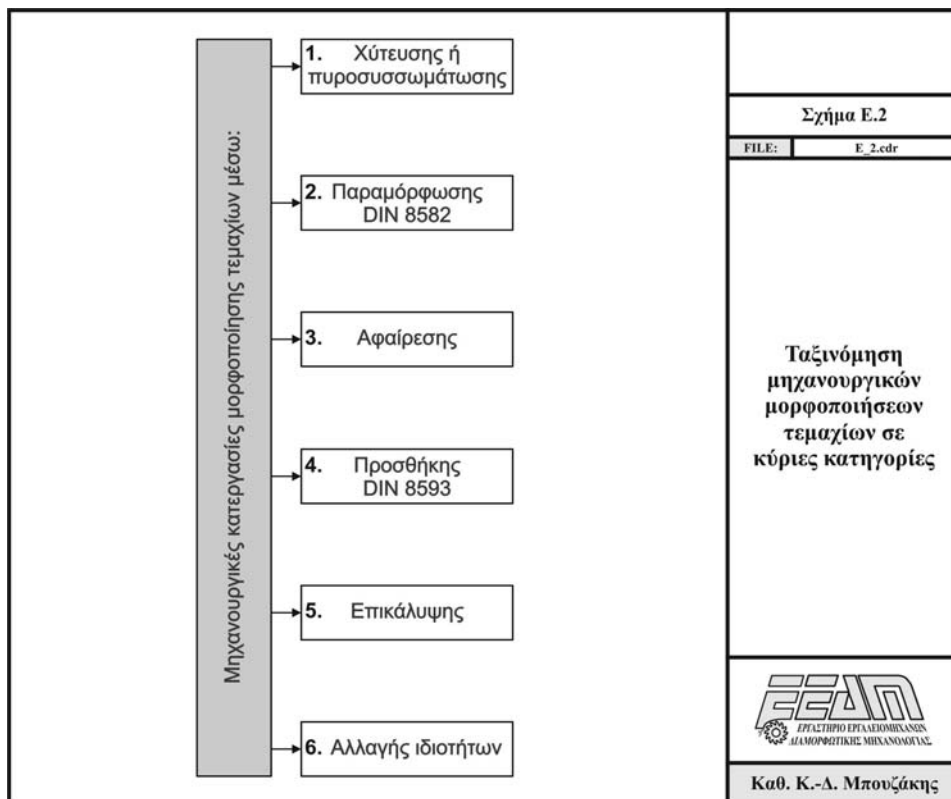
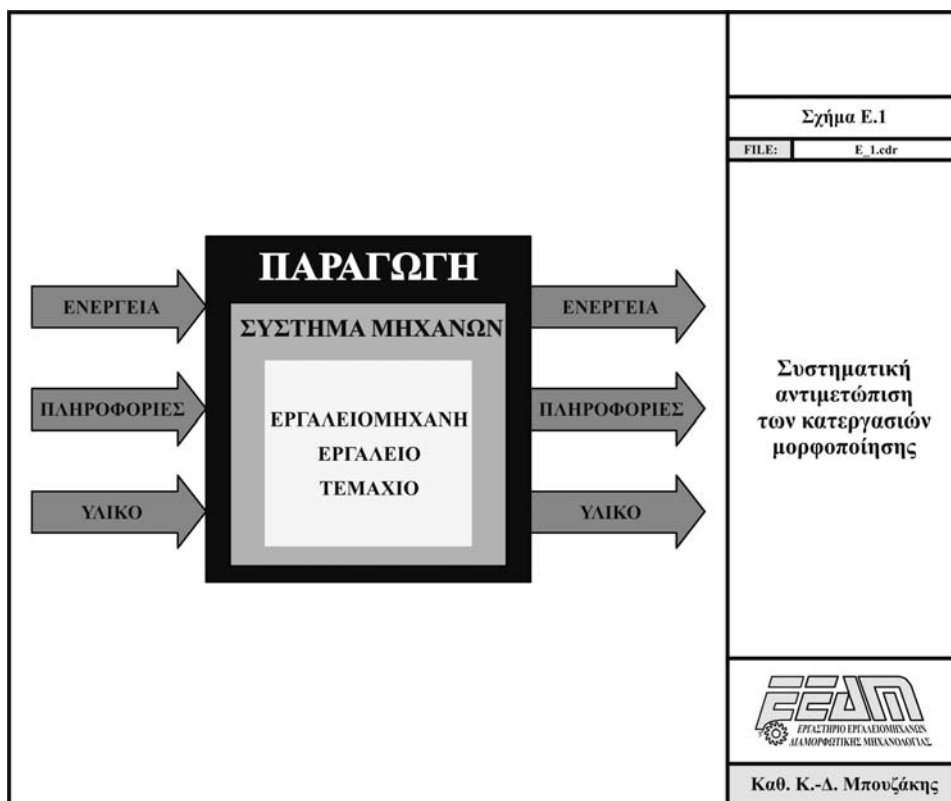


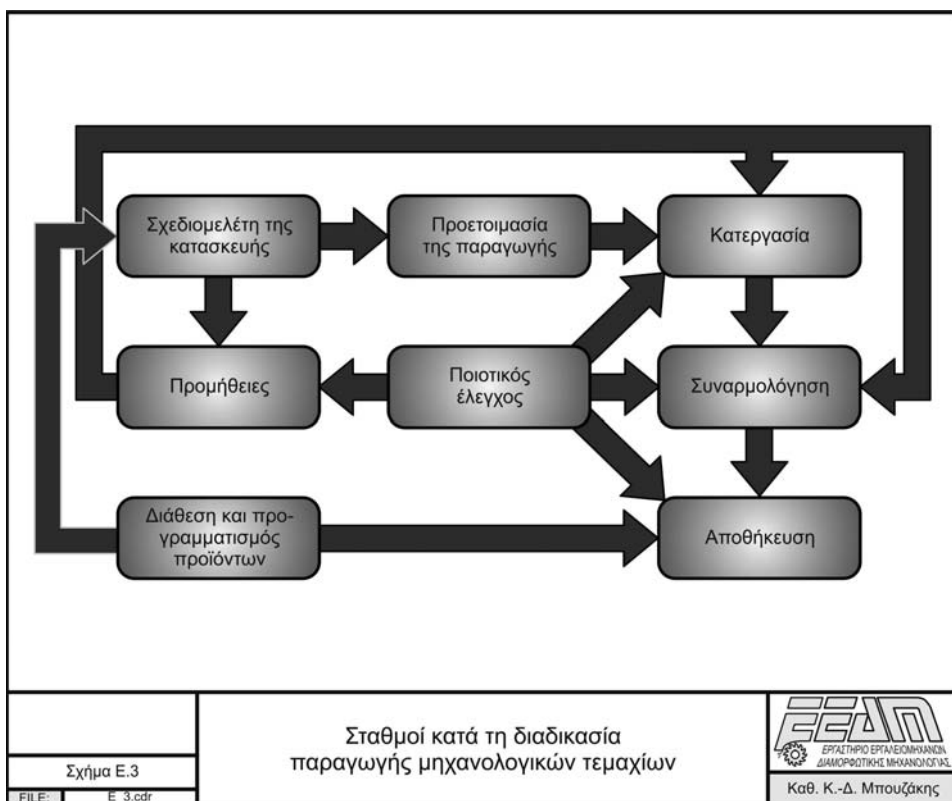
Εισαγωγή

Περιεχόμενα: Εισαγωγή

Δυνατότητες μορφοποίησης τεμαχίων

Σχήμα Ε.1	Συστηματική αντιμετώπιση των κατεργασιών μορφοποίησης	9
» Ε.2	Δυνατότητες μηχανουργικών μορφοποιήσεων τεμαχίων	9
» Ε.3	Σταθμοί κατά τη διαδικασία παραγωγής μηχανολογικών τεμαχίων	10







ΚΕΦΑΛΑΙΟ

1

**Μηχανουργικές μορφοποιήσεις
μέσω επιτεύξης συνοχής της ύλης**

Περιεχόμενα: Κεφάλαιο 1

1.0 Εισαγωγή στις μηχανουργικές μορφοποιήσεις μέσω επίτευξης συνοχής της ύλης	16
1.1 Μηχανουργικές μορφοποιήσεις με υγρή αρχική κατάσταση της ύλης	
1.1.1 Χύτευση υπό την επίδραση πεδίου βαρύτητας της τηγμένης ύλης	18
1.1.1.1 Αμμοχύτευση σε καλούπια μίας χρήσης	19
1.1.1.1.1 Κατασκευή μοντέλου και εξαρτημάτων του	22
1.1.1.1.2 Προετοιμασία άμμου καλουπιών	26
1.1.1.1.2.1 Περιεχόμενα υλικά σε άμμους καλουπιών	26
1.1.1.1.2.1.α Υλικά – φορείς άμμων χύτευσης	27
1.1.1.1.2.1.β Συνδετικά υλικά	29
1.1.1.1.2.1.γ Υλικά ενεργοποίησης μηχανισμών διόγκωσης	31
1.1.1.1.2.1.δ Πρόσθετα υλικά, επιβελτιωτικά διαφορών ιδιοτήτων της άμμου	34
1.1.1.1.2.2 Βελτίωση μηχανικών ιδιοτήτων άμμων χύτευσης μέσω συμπίεσης	35
1.1.1.1.2.3 Μετροτεχνικός έλεγχος των ιδιοτήτων άμμων χύτευσης	37
1.1.1.1.2.3.1 Έλεγχος μηχανικών ιδιοτήτων άμμων χύτευσης	38
1.1.1.1.2.3.2 Έλεγχος κοκκομετρίας άμμων χύτευσης	38
1.1.1.1.2.3.3 Προσδιορισμός ποσοστού ύδατος άμμου χύτευσης	40
1.1.1.1.2.3.4 Έλεγχος συμπιεστικότητας άμμου χύτευσης	41
1.1.1.1.2.3.5 Έλεγχος ρευστότητας άμμου χύτευσης	42
1.1.1.1.2.3.6 Έλεγχος διαπερατότητας αερίων διαμέσω κόκκων άμμου	44
1.1.1.1.2.3.7 Έλεγχος περιεκτικότητας λασπωδών υλικών άμμων χύτευσης	44
1.1.1.1.3 Μορφοποίηση καλουπιών	45
1.1.1.1.3.1 Μηχανικές διατάξεις μορφοποίησης καλουπιών μέσω συμπίεσης άμμου	45
1.1.1.1.3.2 Μηχανικές διατάξεις μορφοποίησης εκ περιστροφής συμμετρικών καλουπιών, μέσω περιστροφής κατατομών	51
1.1.1.1.3.3 Διαμόρφωση και υπολογισμός αγωγών εισροής τήγματος σε καλούπια	53
1.1.1.1.3.3.1 Διαμόρφωση αγωγών έγχυσης	54
1.1.1.1.3.3.2 Υπολογισμός συνολικής διατομής αγωγού έγχυσης	56

1.1.1.1.3.4 Διαμόρφωση και υπολογισμός αγωγών υπερχειλίσσης και τροφοδοσίας	60
1.1.1.1.3.5 Συναρμολόγηση καλουπιών και υπολογισμός φορτίσεων	65
1.1.1.1.4 Πυρήνες καλουπιών χύτευσης	68
1.1.1.1.4.1 Γεωμετρικές διαμορφώσεις πυρήνων	68
1.1.1.1.4.2 Μορφοποίηση πυρήνων χύτευσης	70
1.1.1.2 Μέθοδος Croning	
Σχήμα 1.62 Διαδικασίες κατασκευής καλουπιού (κελύφους) και χύτευσης κα- τά τη μέθοδο Croning	72
» 1.63 Κατασκευή καλουπιού (κελύφους) με τη μέθοδο Croning	72
1.1.1.3 Χύτευση με τηκόμενα μοντέλα	
Σχήμα 1.64 Διαδικασίες κατά τη δημιουργία του μοντέλου κατά τη χύτευση με τηκόμενα μοντέλα	73
Σχήμα 1.65 Αξονικός τομογράφος καθοδηγούμενος από ηλεκτρονικό υπολογιστή	73
Σχήμα 1.65A Αρχή λειτουργίας της αξονικής τομογραφίας και τομογραφία ενός αντικειμένου (κεφαλή αλόγου)	74
Σχήμα 1.65B Διαδικασίες κατασκευής των κέρινων μοντέλων	74
Σχήμα 1.65C Δείγμα των δημιουργούμενων τομών	75
Σχήμα 1.65D Κατασκευή των κέρινων μοντέλων με τον εκτυπωτή στερεών αντικει- μένων (ThermoJet)	75
Σχήμα 1.65E Δενδρίτης με κέρινες κεφαλές	76
Σχήμα 1.65F Διαδικασίες προετοιμασίας του καλουπιού	76
Σχήμα 1.65G Εισαγωγή του καλουπιού σε δοχείο ελεγχόμενης απόψυξης (αριστερά) και χύτευση (δεξιά)	77
Σχήμα 1.65H Μοντέρνες τεχνολογίες καθιστούν δυνατή την αναπαραγωγή πολύτιμων καλλιτεχνικών δημιουργιών της αρχαιότητας	77
1.1.1.4 Χύτευση με εξαερούμενα μοντέλα	
Σχήμα 1.66 Χύτευση με εξαερούμενα μοντέλα	78
1.1.1.5 Απλή χύτευση σε καλούπια πολλαπλής χρήσης	
Σχήμα 1.67 Καλούπι πολλαπλής χρήσης με πυρήνα από άμμο για την κατασκευή χιτωνίων	78
1.1.1.6 Σύγκριση μεθόδων χύτευσης σε καλούπια μίας χρήσης σε σχέση με τη διαστατική τους ακρίβεια	
Σχήμα 1.68 Σύγκριση διαφόρων μεθόδων χύτευσης σε σχέση με τη διαστατική ακρίβεια που μπορεί να επιτευχθεί	79
1.1.2 Χύτευση υπό πίεση	
Σχήμα 1.69 Συγκριτικά τεχνολογικά στοιχεία διαφόρων μεθόδων χύτευσης με καλούπια μίας χρήσης	79

Σχήμα 1.70	Αρχή λειτουργίας χυτόπρεσσας με θερμό θάλαμο πίεσης	80
» 1.71	Χυτόπρεσσα με ψυχρό θάλαμο πίεσης	80
» 1.72	Διαδικασία κατά τη χύτευση υπό πίεση	81
» 1.73	Χυτόπρεσσα (χύτευση υπό πίεση)	81
» 1.74	Διαμόρφωση πυρήνων για καλούπια χύτευσης υπό πίεση	82
1.1.3	Καταθλιπτική χύτευση	
Σχήμα 1.75	Χύτευση χαμηλής πίεσης	82
1.1.4	Φυγοκεντρική χύτευση	
Σχήμα 1.76	Οριζόντια φυγοκεντρική χύτευση	83
1.1.5	Συνεχής χύτευση	
Σχήμα 1.77	Συνεχής χύτευση	83
» 1.78	Συνεχής χύτευση	84
1.1.6	Προκύπτουσες διαστάσεις τεμαχίων κατά τη χύτευση	
Σχήμα 1.79	Γεωμετρική μορφή και δημιουργούμενες εσωτερικές τάσεις λόγω διαφορετικού ρυθμού απόψυξης σε διάφορες περιοχές του χυτού	84
» 1.80	Σχηματική παράσταση φαινομένων κατά την πήξη του χυτού	85
1.1.7	Ευνοϊκές διαμορφώσεις χυτών τεμαχίων	
Σχήμα 1.81	Ευνοϊκή διαμόρφωση χυτών υπό το πρίσμα της περαιτέρω κατεργασίας τους	85
» 1.82	Ευνοϊκή διαμόρφωση χυτών υπό το πρίσμα της λειτουργίας των καταπονήσεων	86
» 1.83	Παραδείγματα ευνοϊκής διαμόρφωσης χυτών	86
1.1.8	Παραδείγματα τεμαχίων μορφοποιημένων με χύτευση	
» 1.84	Παραδείγματα τεμαχίων μορφοποιημένων με χύτευση	87
» 1.85	Παράδειγμα τεμαχίου αμμοχυτευμένου	87
» 1.86	Χύτευση βάσης λειαντικής μηχανής σε κοίλη μορφή για εξουδετέρωση γεωμετρικών σφαλμάτων που δημιουργούνται από εσωτερικές τάσεις	88
» 1.87	Παράδειγμα τεμαχίου χυτευμένου με τη μέθοδο Croning	88
» 1.88	Ετοιμο μοντέλο (για χύτευση με τηκόμενα μοντέλα)	89
» 1.89	Παράδειγμα τεμαχίου χυτευμένου υπό πίεση	89
1.1.8	Συγκρίσεις μεταξύ μεθόδων χύτευσης	
Σχήμα 1.90	Συγκριτικά τεχνολογικά στοιχεία διαφόρων μεθόδων χύτευσης με καλούπια πολλών χρήσεων	90
» 1.91	Σύγκριση της διαδικασίας και του κόστους παραγωγής κατά την κατασκευή του ίδιου τεμαχίου με κοπή ή χύτευση με τηκόμενα μοντέλα	90

Σχήμα 1.92	Κόστος παραγωγής σε διάφορες διαδικασίες χύτευσης ενός τεμαχίου	91
------------	---	----

1.2. Μηχανουργικές μορφοποιήσεις μέσω επίτευξης συνοχής πλαστικής ή ημιστερεάς ύλης

Σχήμα 1.93:	Διάγραμμα φάσεων πυριτίου	91
Σχήμα 1.94:	Τρισδιάστατη γεωμετρία ζάντας	92
Σχήμα 1.95:	Οριακές συνθήκες του προσομοιωτικού μοντέλου της ζάντας δημιουργούμενες από το λογισμικό πρόγραμμα ProCAST	92
Σχήμα 1.96:	Διάγραμμα ταχύτητας πλήρωσης ζάντας και αντίστοιχα αποτελέσματα πλήρωσης μέσω FEM προσομοίωσης	93

1.3. Μηχανουργικές μορφοποιήσεις μέσω επίτευξης συνοχής ρευστής ύλης

Σχήμα 1.97:	Σχηματική παράσταση διάταξης καλουπιού διέλασης κεραμικού υλικού	93
Σχήμα 1.98:	Αρχή της πειραματικής διάταξης, γεωμετρία του υπολογιστικού μοντέλου και διακριτοποίηση του πηλού με πεπερασμένα στοιχεία	94
Σχήμα 1.99:	Εξέλιξη της δύναμης και της ταχύτητας του εμβόλου με τη μετατόπισή του για μέσες ταχύτητες εμβόλου $v = 46,5\text{mm/s}$ και 235mm/s	94

1.4. Κονιομεταλλουργία

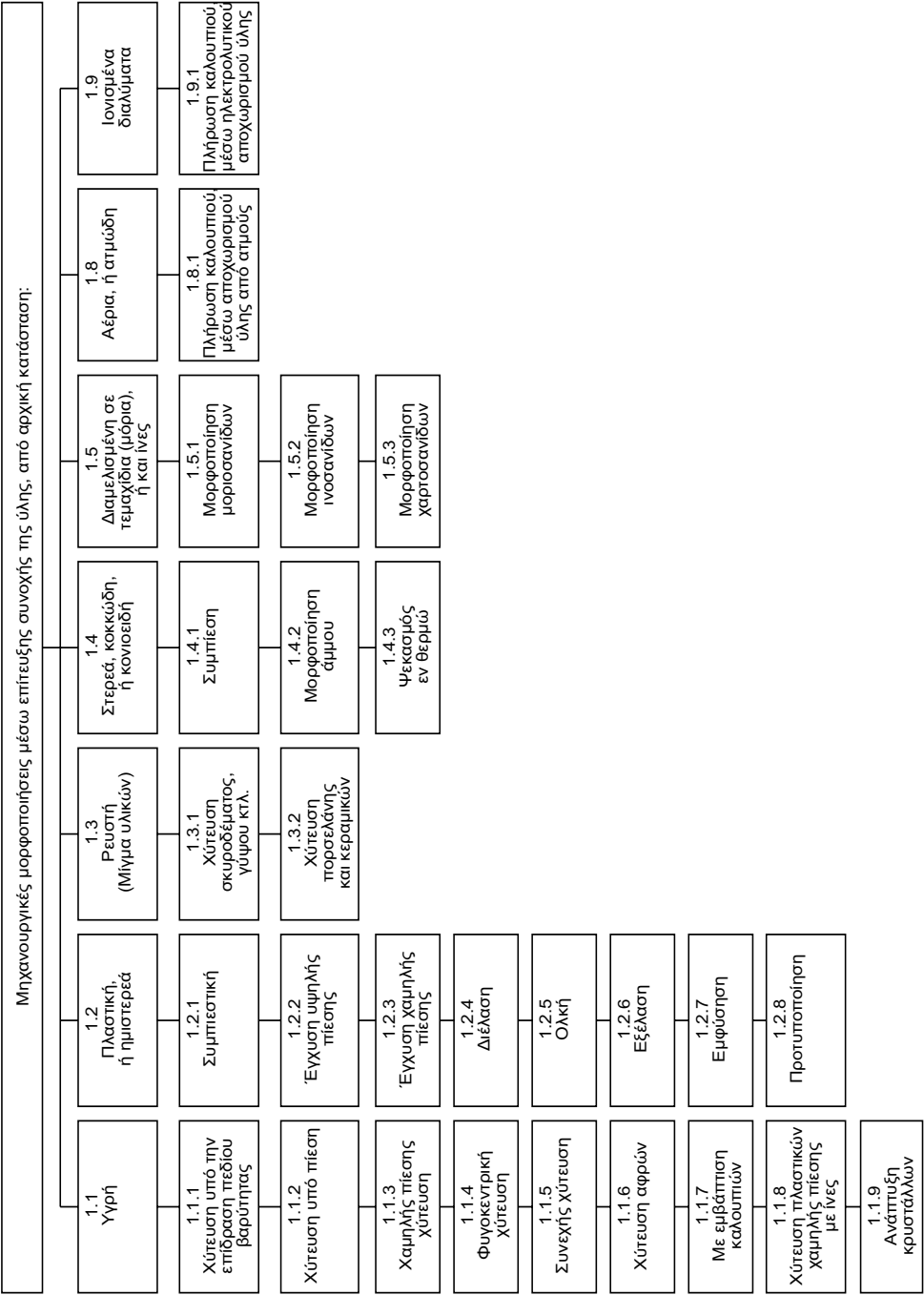
Σχήμα 1.100	Συμπίεση και εξαγωγή τεμαχίου μέσω εμβόλου	95
» 1.101	Συμπίεση και εξαγωγή τεμαχίου μέσω κίνησης της μήτρας συμπίεσης	95
» 1.102	Κονιομεταλλουργικά παραγμένα πολυστρωματικά ελάσματα μέσω εξέλασης	96
» 1.103	Επίδραση της πίεσης συμπίεσης επί της επιτυγχανόμενης πυκνότητας κονιομεταλλουργικού σιδηρούχου υλικού	96
» 1.104	Μεταβολή της πυκνότητας υλικών κατά διάφορα στάδια της κονιομεταλλουργικής παραγωγής τους	97
» 1.105	Αύξηση της αντοχής σιδηρούχων υλικών, κονιομεταλλουργικά παραγμένων, μέσω συμπίεσης μετά την πυροσυσσωμάτωση	97
» 1.106	Πυροσυσσωμάτωση	98
» 1.107	Αρχέγονη μορφοποίηση με τη μέθοδο της κονιομεταλλουργίας ...	98

1. Εισαγωγή στις μηχανουργικές μορφοποιήσεις μέσω επίτευξης συνοχής της ύλης

Οι κατεργασίες, με επίτευξη συνοχής της ύλης έχουν ιδιαίτερη πρακτική σημασία, καθόσον επιτρέπουν με ανταγωνιστικό κόστος, σε σχέση με άλλες μεθόδους, τη μορφοποίηση τεμαχίων, συχνά ιδιαιτέρως πολυπλόκων γεωμετριών και βάρους από περίπου ένα γραμμάριο, έως αρκετές εκατοντάδες τόνους. Τυπικά τεμάχια είναι μικρά εξαρτήματα μηχανισμών, δομικά στοιχεία μηχανών και διαφόρων μηχανικών διατάξεων, έλικες πλοίων κ.ά.

Οι κατεργασίες μέσω επίτευξης συνοχής της ύλης περιλαμβάνονται κατά τον κανονισμό DIN 8580 του Γερμανικού Ινστιτούτου Τυποποιήσεων, στην κύρια ομάδα 1 (βλέπε εισαγωγή). Οι κατεργασίες αυτές χαρακτηρίζονται και σαν αρχέγονες, καθόσον μέσω αυτών, η υγρή, ή γενικά μη συνεκτική ύλη, μέσω στερεοποίησης λαμβάνει μία μορφή (γένεση της αρχικής γεωμετρίας), που σε ορισμένες περιπτώσεις είναι και η τελική. Στην κύρια ομάδα 1, διακρίνονται επτά κατηγορίες μορφοποιήσεων, όπως εξηγείται στο **σχήμα 1.1**. Η ειδοποιός διαφορά για την ταξινόμηση των μεθόδων αυτών σε κατηγορίες, είναι η αρχική κατάσταση της ύλης του μορφοποιούμενου τεμαχίου, η οποία αποκτά τη συνοχή της κατά τη διάρκεια της κατεργασίας, ή μετά από αυτήν. Η αρχική κατάσταση της ύλης μπορεί να είναι υγρή, ρευστή, κοκκώδης, κονιοειδής, ή και διαμελισμένη. Τέλος, σε αέριες, ατμώδεις, ή ιονισμένων διαλυμάτων αρχικές μορφές (φάσεις) της ύλης, το τεμάχιο μορφοποιείται μέσω αποχωρισμού υλικού από την εκάστοτε φάση. Στο παρόν κεφάλαιο, οι κατηγορίες 1.1, 1.2 και 1.4 περιγράφονται περισσότερο λεπτομερώς, λόγω της μεγάλης βιομηχανικής σπουδαιότητάς τους και της συχνής εφαρμογής τους.

Η πρακτική σημασία των υπολοίπων κατηγοριών όπως π.χ. της 1.3 είναι προφανής, συνεκτιμώντας τις πολυπληθείς εφαρμογές, π.χ. του σκυροδέματος, στην κατασκευή οικοδομών και έργων υποδομής (1.3.1). Η χύτευση ρευστών μαζών για τη μορφοποίηση τεμαχίων από πορσελάνη (1.3.2) αποτελεί ιδιαίτερη περίπτωση κατεργασιών με μεγάλη παράδοση. Η συνεχής χύτευση κεραμικών υλικών σε ρευστή κατάσταση είναι η βασική εφαρμοζόμενη μέθοδος σε βιομηχανίες παραγωγής οικοδομικών υλικών, όπως π.χ. τούβλων, κεραμιδιών κ.λπ. Επίσης, οι διαδικασίες μορφοποιήσεων της κατηγορίας 1.5, προσελκύουν ιδιαίτερο βιομηχανικό ενδιαφέρον, λόγω της ευρείας χρησιμοποίησης μοριοσανίδων, ινοσανίδων και χαρτοσανίδων. Τέλος, οι κατηγορίες μορφοποιήσεων 1.8 και 1.9 περιλαμβάνουν εφαρμογές προηγμένων τεχνολογιών, κερδίζοντας συνεχώς σε σπουδαιότητα.



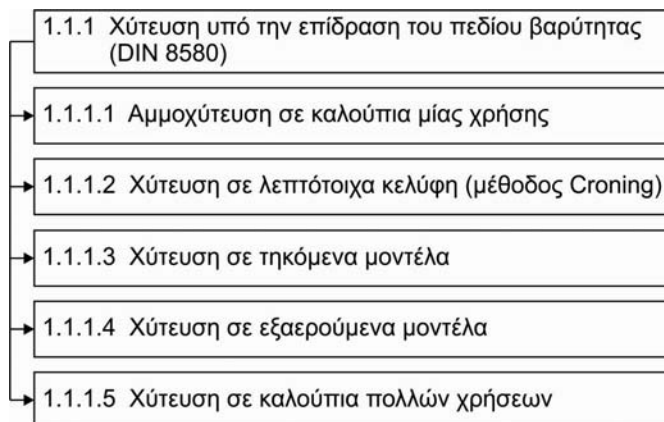
Σχήμα 1.1: Ταξινόμηση μηχανουργικών μορφοποιήσεων μέσω επίτευξης συνοχής της ύλης κατά DIN 8580 (Οι θέσεις 1.6 και 1.7 είναι κενές για την εναρμόνιση των κατηγοριών, με αυτές της κύριας ομάδας 5 (επικαλύψεις)).

1.1 Μηχανουργικές μορφοποιήσεις με υγρή αρχική κατάσταση της ύλης

Οι μορφοποιήσεις αυτές χαρακτηρίζονται σαν χυτεύσεις, λόγω της εισροής της υγρής ύλης σε μηχανικές διατάξεις (καλούπια), υπό την επίδραση του πεδίου βαρύτητας, ή με εξάσκηση πίεσης, ή και μέσω άλλων μεθόδων υποβοηθητικών της ροής του τηγμένου υλικού, μέσα στα καλούπια. Η λέξη καλούπι, αντιδάνειο από ανατολικές γλώσσες (αραβικά, περσικά, τουρκικά), προέρχεται από την αρχαία “καλάπους” (σύγχρονη καλαπόδι) και έχει επικρατήσει για τον χαρακτηρισμό των σχετικών διατάξεων, οι οποίες επίσης περιγράφονται και σαν μήτρες, φόρμες, ή τύποι. Η γεωμετρία του εσωτερικού χώρου των καλουπιών, σχεδόν ταυτίζεται με την αντίστοιχη εξωτερική των προς μορφοποίηση τεμαχίων. Στις επόμενες παραγράφους του παρόντος κεφαλαίου, οι διάφορες μέθοδοι χύτευσης περιγράφονται με τη σειρά που είναι ταξινομημένες στο σχήμα 1.1.

1.1.1 Χύτευση υπό την επίδραση πεδίου βαρύτητας της τηγμένης ύλης

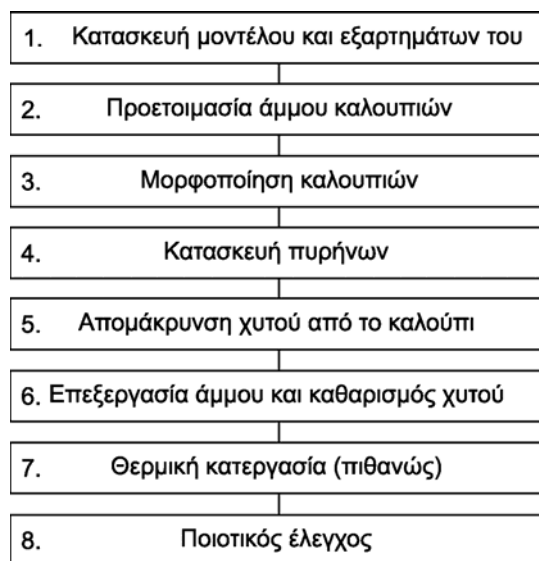
Οι μέθοδοι χύτευσης υπό την επίδραση του πεδίου βαρύτητας είναι οι πλέον παραδοσιακές και ιστορικά, αναπτύχθηκαν πρώτα από όλες. Στις μεθόδους αυτές, όπως φαίνεται και στο **σχήμα 1.2**, συγκαταλέγονται οι χυτεύσεις σε καλούπια από άμμο (αμμοχυτεύσεις), σε λεπτότοιχα κελύφη, καθώς και αυτές σε καλούπια, τα οποία περικλείουν πρότυπα (μοντέλα), που εξαερώνονται, όταν έρχονται σε επαφή με το τηγμένο υλικό. Τέλος, μεγάλο βιομηχανικό ενδιαφέρον έχουν και οι χυτεύσεις υπό την επίδραση πεδίου βαρύτητας, σε επαναχρησιμοποιούμενα καλούπια.



Σχήμα 1.2: Χυτεύσεις υπό την επίδραση του πεδίου βαρύτητας.

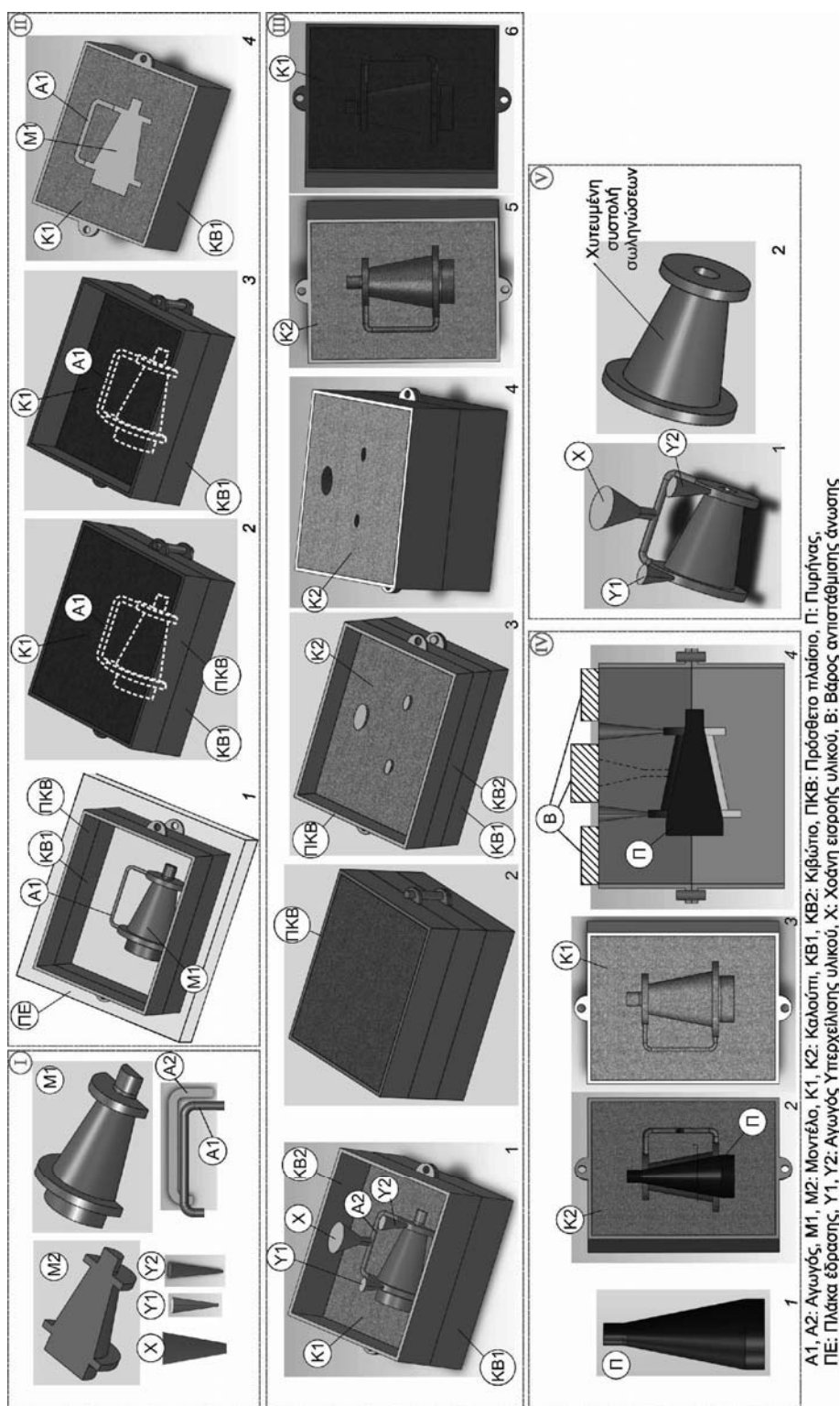
1.1.1.1 Αμμοχύτευση σε καλούπια μίας χρήσης

Η τήξη ενός υλικού είναι προϋπόθεση για τη διεξαγωγή της χύτευσης του. Η προετοιμασία του υγρού υλικού, αποτελεί αντικείμενο της φυσικής μεταλλουργίας [ΚΟΝ 64, 65, 67]. Κατά την διεξαγωγή μίας αμμοχύτευσης, διακρίνονται τυπικές διαδικασίες, που συνοψίζονται στο **σχήμα 1.3**. Οι κύριες μέθοδοι μορφοποίησης των μοντέλων των σχετικών εξαρτημάτων τους, της προετοιμασίας της άμμου, όπως και οι διαδικασίες για την κατασκευή και συναρμολόγηση των καλουπιών και των πυρήνων τους, την απομάκρυνση του χυτού από αυτά, καθώς και την επαναχρησιμοποίηση της άμμου, θα περιγραφθούν εκτενέστερα. Κατεργασίες μορφοποίησης άμμου, σύμφωνα με τον κανονισμό DIN 8580, ταξινομούνται στην ομάδα 1.4.2 (βλέπε σχήμα 1.1). Τα χυτευμένα τεμάχια, μετά τον καθαρισμό τους, υποβάλλονται ανά περίπτωση, πιθανώς και σε θερμική κατεργασία, καθώς και σε ποιοτικό έλεγχο, πριν αποδοθούν προς περαιτέρω κατεργασίες, ή χρήση.



Σχήμα 1.3: Τυπικές διαδικασίες κατά τη διεξαγωγή αμμοχυτεύσεων.

Στο **σχήμα 1.4** περιγράφονται εποπτικά οι διαδικασίες μορφοποίησης και συναρμολόγησης ενός καλουπιού για τη χύτευση τεμαχίου και συγκεκριμένα, μίας συστολής σωληνώσεων. Το πρότυπο (μοντέλο) στην εξεταζόμενη περίπτωση, αποτελείται από δύο τεμάχια, τα M1 και M2, που είναι τα αποτυπώματα των δύο περιοχών της γεωμετρίας του τεμαχίου στη θερμοκρασία τήξεως (βλέπε ενότητα Ι του σχήματος).



Οι δύο αυτές περιοχές επιλέγονται κατάλληλα, έτσι ώστε να είναι δυνατή η απομάκρυνση των μοντέλων M1 και M2 από τα σχετικά μέρη K1 και K2 του καλουπιού, τα οποία δημιουργούνται, όπως εκτίθεται στην ενότητα II του σχήματος. Για τη μορφοποίηση του πρώτου μέρους του καλουπιού K1, το μοντέλο M1, μαζί με την κατά μήκος τομή του σχετικού αγωγού A1, ροής του τήγματος, τοποθετούνται επί οριζοντίας πλάκας έδρασης ΠΕ, εντός του μεταλλικού πλαισίου (κιβωτίου) KB1, για τον εγκιβωτισμό άμμου, κατάλληλης χημικής σύστασης (βλέπε ενότητα II/1). Για την επίτευξη συγκεκριμένου βαθμού συμπίεσης της άμμου, τοποθετείται επί του κιβωτίου KB1, το πρόσθετο πλαίσιο ΠΚΒ, ύψους, αναλόγου με τον επιδιωκόμενο βαθμό συμπίεσης. Με άμμο πληρώνονται και τα δύο πλαίσια όπως εικονίζεται στην ενότητα II/2. Κατά τη συμπίεση της άμμου εκκενώνεται το πλαίσιο ΠΚΒ (βλέπε ενότητα II/3). Στη συνέχεια, αναστρέφεται το κιβώτιο KB1, απομακρύνεται η πλάκα έδρασης ΠΕ και εμφανίζεται η επιφάνεια του μοντέλου M1, καθώς και του αγωγού A1 (II/4). Επί των επιφανειών αυτών προσαρμόζονται οι αντίστοιχες επιφάνειες των τεμαχίων M2, A2, καθώς και η χοάνη εισροής X και οι αγωγοί υπερχείλισης Y1, Y2 του τήγματος, συνήθως μέσω καταλλήλων πείρων συναρμολόγησης (III/1). Τα εξαρτήματα αυτά περικλείονται από το πλαίσιο KB2. Πάνω στο πλαίσιο αυτό, τοποθετείται το ΠΚΒ για να εγκιβωτίσουν και τα δύο μαζί άμμο (III/2). Η άμμος συμπιέζεται μέχρι το άδειασμα του πρόσθετου κιβωτίου ΠΚΒ, για τη δημιουργία του δεύτερου μέρους K2 του καλουπιού (III/3). Από το τεμάχιο αυτό απομακρύνονται οι περίπου κωνικά διαμορφωμένοι αγωγοί υπερχείλισης Y1, Y2, και η χοάνη εισροής X (III/4). Επίσης αποχωρίζονται τα μέρη K1 (III/5) και K2 (III/6) του καλουπιού και αφαιρούνται από αυτά, τα μοντέλα M1 και M2.

Στο καλούπι K2 τοποθετείται ο πυρήνας Π (IV/1), ο οποίος εδράζεται στις ήδη κατάλληλα προδιαμορφωμένες περιοχές του καλουπιού (IV/2). Οι πυρήνες χαρακτηρίζονται και σαν καρδιές. Η κατασκευή, καθώς και η έδραση του πυρήνα, μέσα στο καλούπι θα σχολιασθεί σε επόμενη παράγραφο.

Μεταξύ των πυρήνων και των σχετικών επιφανειών του καλουπιού υπάρχουν διάκενα, τα οποία κατά τη χύτευση πληρώνονται με το υγρό υλικό, που στερεοποιείται μετά την απόψυξη.

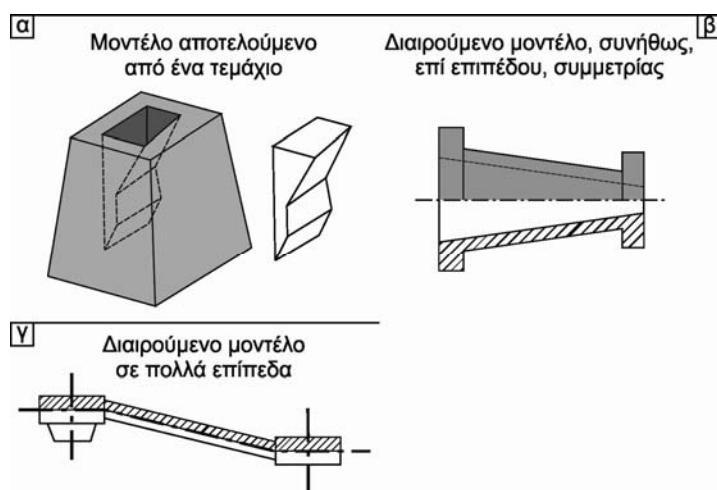
Στη συνέχεια, τα επιμέρους τμήματα K1 (IV/3) και K2 του καλουπιού επανασυναρμολογούνται και εάν είναι αναγκαίο, αφού τοποθετηθούν τα βάρη B για την υπερνίκηση της υδροστατικής πίεσης, που εξασκεί το υγρό υλικό στην άνω εσωτερική επιφάνεια του καλουπιού, διεξάγεται η χύτευση (IV/4). Η υδροστατική πίεση, που μπορεί να προκαλέσει και την καταστροφή του καλουπιού λόγω υπερφόρτισης, δημιουργείται λόγω της διαφοράς στάθμης της άνω εσωτερικής επιφάνειας του καλουπιού, από την άνω επιφάνεια του υγρού υλικού στον αγωγό χύτευσης. Οι πυρήνες, λόγω της εμβάπτισής τους κατά τη διάρκεια της χύτευσης

στο υγρό υλικό, φορτίζονται μέσω της δημιουργούμενης άνωσης, και πρέπει να αντέξουν τις σχετικές τάσεις. Για το λόγο αυτό, το υλικό τους πρέπει να έχει συνήθως μεγαλύτερη αντοχή σε μηχανικές καταπονήσεις, συγκριτικά με αυτό των καλουπιών. Μετά τη χύτευση, απομακρύνονται τα πλαίσια εγκιβωτισμού, καταστρέφεται το καλούπι, όπως θα περιγραφθεί περαιτέρω και έτσι αποκτάται το χυτευμένο τεμάχιο ($V/1$), από το οποίο απομακρύνονται οι αγωγοί υπερχειλίσσης, καθώς και η χοάνη εισροής ($V/2$). Η τοιουτοτρόπως μορφοποιημένη συστολή σωληνώσεων αποδίδεται για περαιτέρω κατεργασίες, όπως των οπών υποδοχής κοχλιών σύσφιξης, των επιφανειών συναρμολόγησης με τις σωληνώσεις κα.

1.1.1.1.1 Κατασκευή μοντέλου και εξαρτημάτων του

Η εξωτερική επιφάνεια ενός μοντέλου σχεδόν ταυτίζεται με την αντίστοιχη του πραγματικού τεμαχίου. Οι διαστάσεις της όμως είναι διαφορετικές, για να ληφθούν υπόψη η συστολή του χυτευμένου αντικειμένου από τη θερμοκρασία της χύτευσης σε θερμοκρασία περιβάλλοντος, καθώς και πιθανές υπερδιαστασιολογήσεις επιφανειών, που θα υποβληθούν μετά τη χύτευση του τεμαχίου σε περαιτέρω κατεργασίες.

Τα μοντέλα, όπως φαίνεται στο **σχήμα 1.5**, ανάλογα με τη γεωμετρία του τεμαχίου, μπορεί να αποτελούνται από ένα (σχήμα 1.5α), ή περισσότερα μέρη (σχήματα 1.5β,γ). Σε διαιρούμενα μοντέλα, τα επιμέρους τεμάχια συναρμολογούνται μέσω πείρων, ή ειδικών υποδοχών. Η βασική πλάκα υποδοχής των μερών διαιρούμενων μοντέλων επί πολλών επιπέδων, είναι και αυτή αντίστοιχα πολυέπιπεδη. Τα μέρη των μοντέλων συγκρατούνται επί της εκάστοτε βασικής πλάκας συνήθως μέσω πείρων.



Σχήμα 1.5: Διαμόρφωση μοντέλων.



ΚΕΦΑΛΑΙΟ

2

**Μορφοποίηση τεμαχίων
με πλαστική παραμόρφωση
του υλικού των τεμαχίων**

Περιεχόμενα: Κεφάλαιο 2

2.0 Εισαγωγή

Σχήμα 2.1	Ταξινόμηση κατεργασιών με πλαστική παραμόρφωση υλικού κατά DIN 8583 σύμφωνα με το είδος της καταπόνησής του	102
-----------	---	-----

2.1 Ταξινόμηση κατεργασιών με πλαστική παραμόρφωση τεμαχίων σύμφωνα με τη βασική γεωμετρία τους

Σχήμα 2.2	Δυνατότητες μορφοποίησης με πλαστική παραμόρφωση	102
-----------	--	-----

2.2 Επίδραση παραμόρφωσης στην κρυσταλλική δομή του κατεργαζόμενου τεμαχίου και στην αντίσταση παραμόρφωσης

Σχήμα 2.3	Επίδραση της μετατόπισης αταξιών και της ανακρυστάλλωσης στις μηχανικές ιδιότητες παραμορφωμένου υλικού	103
» 2.4	Διαδοχικές ανοπήσεις ανακρυστάλλωσης και βελτίωσης κρυσταλλικού πλέγματος για την αποφυγή θραύσεων κατά την ψυχρή παραμόρφωση ..	103
» 2.5	Αντίσταση παραμόρφωσης σε ψυχρή και θερμή διαμόρφωση	104

2.3 Πλαστική παραμόρφωση τεμαχίων

Σφυρηλασία

Σχήμα 2.6	Σφυρηλασία σε αμμώνι	104
» 2.7	Σφυρηλασία διπλής δράσης	105
» 2.8	Σφυρηλασία με ανοικτά καλούπια	105
» 2.9	Σφυρηλασία με κλειστά καλούπια	106

Έλαση με σφυρηλασία

Σχήμα 2.10	Έλαση με σφυρηλασία	106
» 2.11	Έλαση με σφυρηλασία και χρήση εσωτερικού εργαλείου. Στο σχήμα παριστάνονται δύο από τα τρία καλούπια	107

Έλαση με κυλινδρικά έλαστρα

Σχήμα 2.12	Έλαση σωλήνων τετραγωνικής τελικής διατομής με κυλινδρικά έλαστρα	107
------------	---	-----

Έλαση

Σχήμα 2.13	Έλαση με δισκοειδή έλαστρα	108
» 2.14	Έλαση με κωνικά έλαστρα και διάνοιξη οπής	108
» 2.15	Έλαση με βαρελοειδή έλαστρα και διάνοιξη οπής	109
» 2.16	Έλαση πολύσφηνου	109
» 2.17	Έλαση σπειρώματος	110
» 2.18	Εισωθητική και ανάστροφη διέλαση	110

Ολκή

Σχήμα 2.19	Ολκή με ολίσθηση κυλινδρικών τεμαχίων	111
Σχήμα 2.20	Ολκή με ολίσθηση παραλληλεπίπεδων τεμαχίων	111
» 2.21	Ολκή με ολίσθηση δια μέσου ακίνητης ράβδου διάνοιξης (πρώωση μέσω ελκυσμού τεμαχίου)	112
» 2.22	Ολκή με ολίσθηση μέσω ελεύθερης ράβδου διάνοιξης (πρώωση μέσω ελκυσμού τεμαχίου)	112
» 2.23	Ολκή με ολίσθηση (πρώωση μέσω ώθησης της μήτρας)	113

2.4 Πλαστική παραμόρφωση ελασμάτων

Κάμψη

Σχήμα 2.24	Διαδοχικές φάσεις για την μορφοποίηση ενός ελάσματος με κάμψη με τη βοήθεια καλουπιού	113
» 2.25	Γεωμετρικά σφάλματα που μπορεί να προκύψουν κατά διάφορες μεθοδολογίες κάμψης	114
» 2.26	Ευθυγραμμοποίηση (επιπεδοποίηση) μέσω διαδοχικών διορθωτικών κάμψεων	114
» 2.27	Συναρμολογούμενο εργαλείο από επιμέρους τυποποιημένα τεμάχια για την περιστροφική (ακτινική) κάμψη ελασμάτων	115
» 2.28	Παραδείγματα διατομών κεκαμένων ελασμάτων	115
» 2.29	Επίδραση θερμής παραμόρφωσης στην κρυσταλλική δομή του κατεργαζόμενου τεμαχίου	116
» 2.30	Διαδοχικά στάδια κατά την κυκλική κάμψη	116


Βαθεία κοίλανση

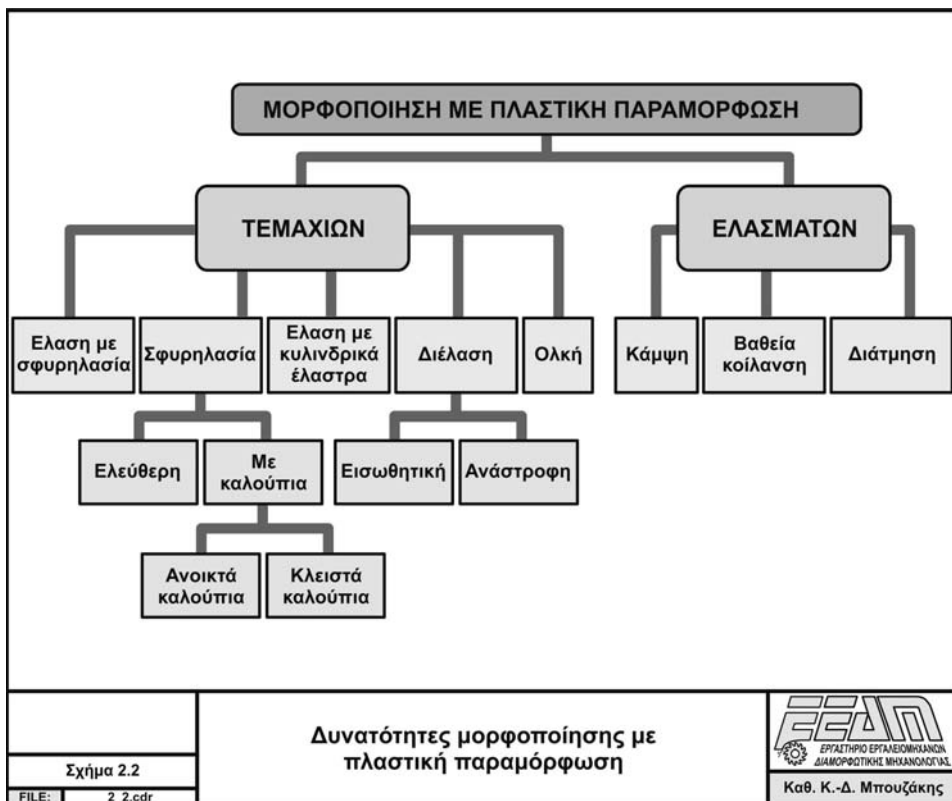
Σχήμα 2.31	Βαθεία κοίλανση τεμαχίου χωρίς συγκράτηση	117
» 2.32	Μορφοποίηση ενός κυαθίου μέσω βαθείας κοίλανσης	117
» 2.33	Βαθεία κοίλανση σε περισσότερες φάσεις	118

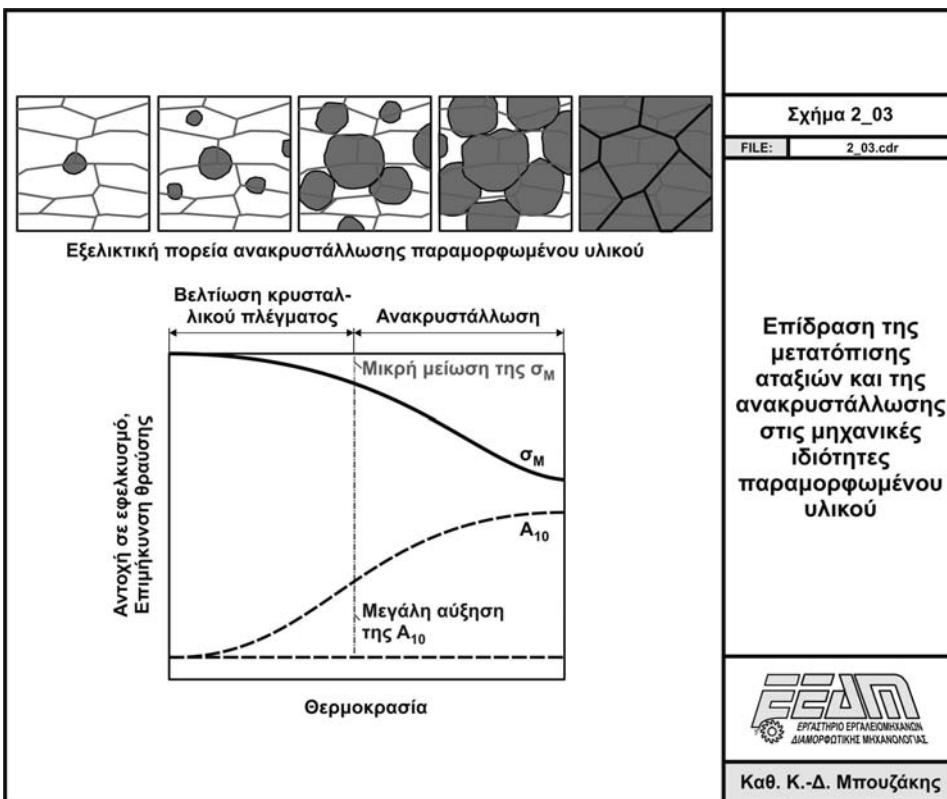
Απότμηση

Σχήμα 2.34	Είδη διάτμησης αναφορικά με το τεμάχιο	118
» 2.35	Μορφοποίηση τεμαχίων μέσω διαφόρων παραλλαγών διάτμησης	119
» 2.36	Είδη φορτίσεων και παραμορφώσεων υλικού κατά την πορεία της διάτμησης και δημιουργούμενες επιφάνειες (εσωτερική, εξωτερική)	119
» 2.37	Χρονική μεταβολή επενεργουσών δυνάμεων κατά τη διάτμηση ακριβείας	120
» 2.38	Σύγκριση τυπικών επιφανειών που δημιουργούνται κατά τη διάτμηση και την διάτμηση ακριβείας	120
» 2.39	Διατάξεις εργαλείων απότμησης ψηφιακά καθοδηγούμενης πρέσσας απότμησης πολλών εμβόλων	121
» 2.40	Παραδείγματα τεμαχίων μορφοποιημένων με διάτμηση	121

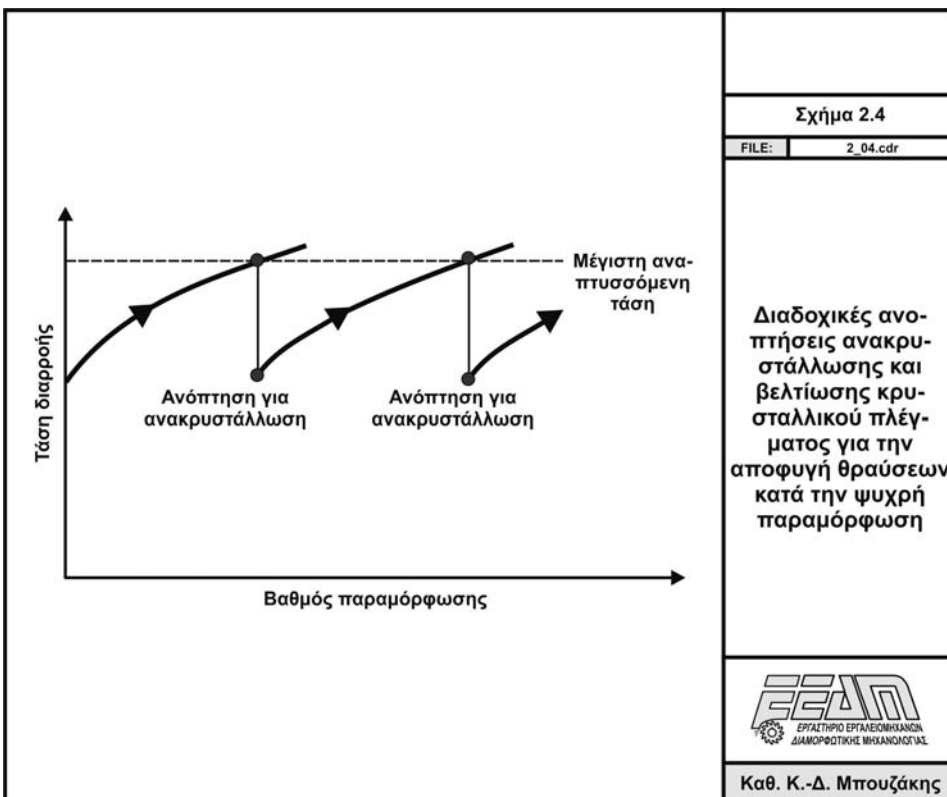
1	2	3	4	5
Θλιπτική παραμόρφωση	Θλιπτική εφελκυστική παραμόρφωση	Εφελκυστική παραμόρφωση	Καμπτική παραμόρφωση	Διατμητική παραμόρφωση
1.1 Ελαση με περιστρεφόμενα εργαλεία	2.1 Διέλαση με ολκή	3.1 Επιμήκυνση	4.1 Με ευθύγραμμη κίνηση εργαλείου	5.1 Διαβάθμιση (ευθύγραμμα κινούμενα εργαλεία)
1.2 Ελεύθερη σφυρηλασία	2.2 Βαθεία κοίλανση	3.2 Διεύρυνση	4.2 Κάμψη με περιστρεφόμενα εργαλεία	5.2 Στρέβλωση (στρεφόμενα εργαλεία)
1.3 Σφυρηλασία με εργαλεία μορφής	2.3 Περιστροφική συμπίεση (μασαλάς)			
1.4 Τοπική συμπίεση	2.4 Διαμόρφωση λαιμού	3.3 Βάθυνση		
1.5 Διέλαση	2.5 Πτύχωση			

Σχήμα 2_01	
FILE:	2_01.cdr
Ταξινόμηση κατεργασιών με παραμόρφωση υλικού κατά DIN 8583 σύμφωνα με το είδος της καταπόνησής του	
	
Καθ. Κ.-Δ. Μπουζάκης	





Επίδραση της μετατόπισης αταξιών και της ανακρυστάλλωσης στις μηχανικές ιδιότητες παραμορφωμένου υλικού





ΚΕΦΑΛΑΙΟ

3

**Μορφοποιήσεις
με αφαίρεση υλικού**

Περιεχόμενα: Κεφάλαιο 3

3.0 Εισαγωγή

Σχήμα 3.1 Ταξινόμηση κατεργασιών με αφαίρεση υλικού	130
---	-----

3.1 Τεχνολογία μορφοποιήσεων με αφαίρεση υλικού

3.1.1 Κοπτικά εργαλεία μεθόδων μορφοποίησης με αφαίρεση υλικού, προκαθορισμένης γεωμετρίας κόψης

3.1.1.1 Γεωμετρία κόψης

Σχήμα 3.1.1 Γεωμετρία κοπτικού εργαλείου τόνρευσης	130
--	-----

3.1.1.2 Δημιουργία και είδη αποβλίττου

Σχήμα 3.1.2 Συνθήκες κατά την κοπή	131
--	-----

» 3.1.3 Θέση δημιουργίας αποβλίττου	131
---	-----

» 3.1.4 Μορφές αποβλίττου σε σχέση με ιδιότητες του υλικού του κατεργαζόμενου τεμαχίου	132
--	-----

3.1.1.3 Ψευδόκοψη

Σχήμα 3.1.5 Δημιουργία ψευδόκοψης κατά την αφαίρεση υλικού	132
--	-----

» 3.1.6 Χαρακτηριστική μορφή ψευδόκοψης και κατανομή σκληρότητας	133
--	-----

» 3.1.7 Περιοδικός σχηματισμός ψευδόκοψης	133
---	-----

3.1.1.4 Μεταβολές ενέργειας στην κόψη του εργαλείου

Σχήμα 3.1.8 Πηγές θερμότητας κατά την κοπή	134
--	-----

3.1.1.5 Κατανομή θερμοκρασίας στο τεμάχιο, το απόβλιττο και το εργαλείο

Σχήμα 3.1.9 Κατανομή θερμοκρασίας στο τεμάχιο, απόβλιττο και εργαλείο κατά την κοπή χάλυβα	134
--	-----

» 3.1.10 Ενδεικτική κατανομή έργου κοπής σε σχέση με το πάχος του αποβλίττου κατά την κοπή (τορνάρισμα)	135
---	-----

3.1.1.6 Μηχανισμοί καταπόνησης του κοπτικού εργαλείου. Δυνάμεις κοπής

Σχήμα 3.1.11 Δύναμη κοπής και οι συνιστώσες της στην τόνρευση	135
---	-----

» 3.1.12 Επίδραση της ταχύτητας κοπής στο δυναμικό και στο στατικό μέρος της δύναμης κοπής	136
--	-----

3.1.2 Υλικά κοπτικών εργαλείων προκαθορισμένης γεωμετρίας κόψεων και κοπτικές ιδιότητές τους

3.1.2.1 Υλικά κοπής

Σχήμα 3.1.13 Κύριες ιδιότητες των βασικών υλικών των κοπτικών εργαλείων	136
---	-----

3.1.2.2 Ταχυχάλυβες

Σχήμα 3.1.14 Ταξινόμηση ταχυχαλύβων σύμφωνα με τη χημική τους σύνθεση και τις κοπτικές ιδιότητές τους	137
---	-----

3.1.2.3. Σκληρομέταλλα

Σχήμα 3.1.15	Κρυσταλλική δομή σκληρομετάλλου	137
» 3.1.16	Χημική σύνθεση και ιδιότητες διαφόρων σκληρομετάλλων	138
» 3.1.17	Επίδραση της σύνθεσης και της κρυσταλλικής δομής στις ιδιότητες των σκληρομετάλλων	138

3.1.2.4. Επικαλύψεις

Σχήμα 3.1.18	Μέθοδοι παραγωγής λεπτών σκληρών επικαλύψεων και τυπικές πιέσεις και θερμοκρασίες κατά την διεξαγωγή τους	139
» 3.1.18A	Μικροδομή της επικάλυψης TiAlN μέσω διαφόρων διαδικασιών εναπόθεσης	139
» 3.1.18B	Σύγκριση της απόδοσης κατά το φραιζάρισμα επικαλυμμένων και ακάλυπτου κοπτικών πλακιδίων σκληρομετάλλου	140
» 3.1.18C	Εξέλιξη φθοράς επιφάνειας ελευθερίας της στιβάδας TiAlN για διαφορετικούς τρόπους παραγωγής πλάσματος κατά την PVD εναπόθεση της επικάλυψης	140

3.1.2.5. Μηχανισμοί φθοράς εργαλείων με προκαθορισμένη γεωμετρία κόψης

3.1.2.5.1 Φθορά κοπτικού εργαλείου

Σχήμα 3.1.19	Φθορά εργαλείου	141
» 3.1.20	Μηχανισμοί φθοράς της επικάλυψης	141
» 3.1.21	Μορφές φθοράς και γεωμετρικά μεγέθη περιγραφής της	142
» 3.1.22	Μηχανισμοί φθοράς κατά την κοπή	142

3.1.2.5.2 Παράγοντες που επιδρούν στην φθορά

Δημιουργία ψευδόκοψης

Σχήμα 3.1.23	Φθορά επιφάνειας ελευθερίας και σχηματισμός της ψευδόκοψης	143
--------------	--	-----

Συνθήκες κατεργασίας

Σχήμα 3.1.24	Φθορά επιφάνειας ελευθερίας σε εργαλεία τόνρευσης	143
--------------	---	-----

Υγρά κοπής

Σχήμα 3.1.25	Η επίδραση των διαφόρων υγρών κοπής στη διάρκεια ζωής εργαλείων τόνρευσης	144
--------------	---	-----

Οξείδωση

Σχήμα 3.1.26	Ζώνες οξείδωσης σε εργαλεία τόνρευσης από σκληρομέταλλο	144
--------------	---	-----

Διάχυση

Σχήμα 3.1.27	Σχηματική παράσταση διαδικασιών διάχυσης σε εργαλεία από σκληρομέταλλο	145
--------------	--	-----

3.1.2.5.3. Θραύσεις

Σχήμα 3.28	Δημιουργία διαμήκων και εγκάρσιων μικρορωγμών κατά την κοπή	145
------------	---	-----

3.2 Κινηματικές κατεργασιών μορφοποίησης με αφαίρεση υλικού με προκαθορισμένη γεωμετρίας κόψης

3.2.1 Κατεργασίες διεξαγόμενες σε τόρνο

Σχήμα 3.2.1	Κινήσεις κατά τη διαμήκη τórνευση (DIN 8589)	146
» 3.2.2	Είδη μετωπικού (εγκάρσιου) τορναρίσματος	146
» 3.2.3	Βασική δομή τórνου	147
» 3.2.4	Υπολογισμός του κύριου χρόνου κοπής στην τórνευση	147
Σχήμα 3.2.5	Γεωμετρικά μεγέθη για τον υπολογισμό της διατομής του αποβλίττου στο τορνάρισμα	148
» 3.2.6	Εργαλείο τórνευσης με συγκολλημένο πλακίδιο από σκληρομέταλλο ..	148
» 3.2.7	Στέλεχος συγκράτησης ένθετων πλακιδίων χωρίς οπή	149
» 3.2.8	Τυποποιημένες κατά DIN μορφές εργαλείων εξωτερικής τórνευσης	149
» 3.2.9	Μορφές ένθετων πλακιδίων	150
» 3.2.10	Σύγκριση ένθετων πλακιδίων με θετική και αρνητική γωνία αποβλίττου .	150
» 3.2.11	Εργαλείο τórνευσης αποφλοίωσης	151
» 3.2.12	Τórνευση αντιγραφής	151
» 3.2.13	Τórνευση τεμαχίων μη κυκλικής διατομής	152
» 3.2.14	Διαδοχικά στάδια κατά την κοπή σπειρωμάτων	152

3.2.2 Κατεργασίες διεξαγόμενες σε φραιζομηχανή

Σχήμα 3.2.15	Κινηματική και είδη φραιζαρίσματος	153
» 3.2.16	Κινηματική κοπής κατά τα διάφορα είδη φραιζαρίσματος	153
» 3.2.17	Δυνάμεις κατά την κατεύθυνση της πρόωσης στο αντίρροπο και ομόρροπο φραιζάρισμα	154
» 3.2.18	Μέθοδοι φραιζαρίσματος αποπεράτωσης	154
» 3.2.19	Βασική δομή οριζόντιας φραιζομηχανής	155
» 3.2.20	Βασική δομή και δυνατότητες κίνησης φραιζοδραπάνων με τράπεζα	155
» 3.2.21	Βασική δομή και δυνατότητες κίνησης φραιζοδραπάνων με πλάκα έδρασης	156
» 3.2.22	Κοπτική γεωμετρία σε φραιζα με ένθετα πλακίδια	156
» 3.2.23	Εργαλείο μετωπικού περιφερικού φραιζαρίσματος	157
» 3.2.24	Σύνθετη περιφερική φραιζα με αντίρροπες ελικώσεις	157
» 3.2.25	Σχηματισμός μεταβατικών περιοχών σε φραιζάρισμα με κονδυλοειδή εργαλεία	158
» 3.2.26	Μορφές κονδυλοειδών εργαλείων	158
» 3.2.27	Εργαλεία φραιζαρίσματος με παραδείγματα χρήσης τους	159
» 3.2.28	Εργαλεία φραιζαρίσματος διαφόρων προφίλ	159

3.2.3. Κατεργασίες διεξαγόμενες σε τρυπάνι (δράπανο)

Σχήμα 3.2.29 Κοπτική γεωμετρία ελικοειδούς τρυπανιού	160
» 3.2.30 Δυνάμεις σε ελικοειδή τρυπάνια	160
» 3.2.31 Ελικοειδή τρυπάνια	161
» 3.2.32 Ελικοειδή τρυπάνια για διάφορα υλικά	161
» 3.2.33 Γωνίες αιχμής και ελίκωσης ελικοειδών τρυπανιών	162
» 3.2.34 Εργαλεία διάτρησης με υπολοιπόμενο πυρήνα	162
» 3.2.35 Εργαλεία βαθείας διάτρησης	163
» 3.2.36 Παραδείγματα βαθείας διάτρησης	163
Σχήμα 3.2.37 Ποιότητα κατά ISO διαφόρων μεθόδων διάτρησης	164
» 3.2.38 Εργαλεία διαπλάτυνσης	164
» 3.2.39 Εργαλεία γλύφανσης	165
» 3.2.40 Εργαλεία γλύφανσης	165
» 3.2.41 Σπειροτόμος	166

3.2.4. Κατεργασίες πλάνησης και πριονίσματος διάνοιξης

Σχήμα 3.2.42 Σχηματισμοί αποβλίττου κατά την πλάνηση	166
» 3.2.43 Δομή μηχανικής πλάνης	167
» 3.2.44 Υδραυλική πλάνη	167
» 3.2.45 Γεωμετρίες κοπτικών εργαλείων πριονίσματος	168
» 3.2.46 Μέθοδοι πριονίσματος	168
» 3.2.47 Σύγκριση μεταξύ διαφόρων μεθόδων πριονίσματος	169
» 3.2.48 Σχηματισμός αποβλίττου κατά την διάνοιξη	169
» 3.2.49 Εργαλεία για εσωτερική διάνοιξη	170

3.3 Μορφοποίηση με αφαίρεση υλικού με κοπτικά εργαλεία μη προκαθορισμένης γεωμετρίας κόψης

3.3.1. Κατεργασίες λείανσης

Σχήμα 3.3.1 Κινηματική μεθόδων λείανσης	170
» 3.3.2 Σχηματική παράσταση διαφόρων κατεργασιών λείανσης	171
» 3.3.3α Παράσταση συνθηκών κατεργασίας για τις βασικότερες μεθόδους λείανσης (DIN 8589)	171
» 3.3.3β Δομή εργαλειομηχανής επίπεδης λείανσης	172
» 3.3.3γ Σύστημα ψύξης-λίπανσης	172
» 3.3.3δ Βασική δομή εργαλειομηχανής εξωτερικής κυλινδρικής λείανσης	173

3.3.2. Λειαντικοί τροχοί

» 3.3.4 Δυνατότητες καλυτέρευσης της αντοχής λειαντικών σωμάτων	173
---	-----

» 3.3.5	Σχηματική παράσταση της κωδικής ονομασίας ενός δίσκου λείανσης κατά DIN 69100	174
» 3.3.6	Δομή ενός δίσκου λείανσης κατά DIN 69100	174
Υλικά λειαντικών τροχών		
Σχήμα 3.3.7	Σύγκριση σκληρότητας διαφόρων υλικών λείανσης με διάφορα καρβίδια ..	175
» 3.3.8	Θερμική ευστάθεια μερικών υλικών λείανσης σε σύγκριση με το καρβίδιο του βολφραμίου	175
Σκληρότητα λειαντικών τροχών		
Σχήμα 3.3.9	Εξέταση σκληρότητας λειαντικού δίσκου με τη μέθοδο της αμμοβολής ..	176
» 3.3.10	Εξέταση με τη μέθοδο Grindo-Sonic	176
Μέγεθος κόκκων λειαντικών τροχών		
Σχήμα 3.3.11	Επίδραση των διαστάσεων των κόκκων επί της μέσης τιμής της απόστασης μεταξύ των κόκκων	177
3.3.3. Δημιουργία αποβλίττων κατά τη λείανση		
» 3.3.12	Μορφολογία κόψεων λειαντικού τροχού	177
» 3.3.13	Σχηματική παράσταση αφαίρεσης υλικού κατά τη λειαντική αφαίρεση υλικού	178
» 3.3.14	Μηχανική-θερμική επίδραση στον λειαντικό κόκκο	178
3.3.4. Φθορά λειαντικών τροχών		
Σχήμα 3.3.15	Μηχανισμοί φθοράς στον λειαντικό τροχό	179
» 3.3.16	Είδη φθοράς στον κόκκο και στο συνδετικό υλικό	179
» 3.3.17	Είδη φθοράς ενός λειαντικού δίσκου	180
» 3.3.18	Ακτινική φθορά και φθορά ακμής σε ένα λειαντικό δίσκο	180
3.3.5. Εκλογή λειαντικών τροχών		
Σχήμα 3.3.19	Κριτήρια για την εκλογή λειαντικού σώματος	181
» 3.3.20	Απαιτήσεις σε ένα λειαντικό δίσκο κατά την εκχόνδριση και το φινίρισμα	181
» 3.3.21	Περιοχές χρησιμοποίησης συμβατικών και νεότερων υλικών λείανσης ..	182
3.3.6. Εργαλεία τροχίσματος λειαντικών τροχών		
Σχήμα 3.3.22	Ταξινόμηση των συνηθέστερων εργαλείων διάνοιξης λειαντικών τροχών	182
» 3.3.23	Διάφορα εργαλεία ανοίγματος λειαντικών τροχών	183
3.3.7. Αζυγοσταθμίες και ταχύτητα θραύσης λειαντικών τροχών		
Σχήμα 3.3.24	Αιτίες για αζυγοσταθμίες σε λειαντικούς τροχούς	183
» 3.3.25	Περιφερική ταχύτητα θραύσης λειαντικών δίσκων σε συνάρτηση με τον λόγο των διαμέτρων	184
» 3.3.26	Περιφερική ταχύτητα θραύσης λειαντικών δίσκων σε συνάρτηση της διαμέτρου των κόκκων και της σκληρότητας	184

3.3.8. Υπερλείανση

Σχήμα 3.3.27 Κινηματική κατά την υπερλείανση με στιβαρή σύνδεση κόκκων (honning)	185
» 3.3.28 Υπερλείανση με ελεύθερους κοπτικούς κόκκους (lapping)	185

3.3.9 Σύγκριση διαφόρων μεθόδων μηχανουργικών μορφοποιήσεων ως προς τη διαστατική τους ακρίβεια

Σχήμα 3.3.29 Δυνατότητες διαφόρων κατεργασιών ως προς τη διαστατική ακρίβεια και τυπικά παραδείγματα εξαρτημάτων	186
--	-----

