

Μηχανουργική Τεχνολογία

Τόμος Α΄: Κατεργασίες Διαμόρφωσης

Δρ. Μηχ. Αριστομένης Αντωνιάδης

**Τίτλος πρωτοτύπου: ΜΗΧΑΝΟΥΡΓΙΚΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ,
Τόμος Α΄: Κατεργασίες Διαμόρφωσης
Αριστομένης Αντωνιάδης**

Αποκλειστικότητα:

ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ

Κεντρικό: Φιλίππου 91, Τ.Κ. 54635, Τηλ. 2310 247887, 2310 213912, Fax 2310 210729
Αρμενοπούλου 23, Τ.Κ. 54635 Θεσσαλονίκη, Τηλ./Fax 2310 219184

Internet:

e-mail: info@tziola.gr
<http://www.tziola.gr>

Κατάστημα Αθηνών:

Πεσμαζόγλου 5 (Πανεπιστημίου 39)
ΣΤΟΑ ΤΟΥ ΒΙΒΛΙΟΥ - Αρσάκειο Μέγαρο
Κατάστημα 18,105 64,
Τηλ./Fax 210 3211097

Copyright © 2012 ΕΚΔΟΣΕΙΣ ΤΖΙΟΛΑ

Copyright © 2012 TZIOLAS PUBLICATIONS

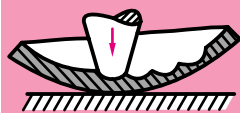
ISBN: 978-960-418-297-8

Απαγορεύεται η αναπαραγωγή οποιουδήποτε τμήματος του βιβλίου με οποιοδήποτε μέσο (φωτοτυπία, εκτύπωση, μικροφίλμ, αποθήκευση σε αρχείο πληροφοριών ή άλλη μηχανική ή ηλεκτρονική μέθοδο) χωρίς την έγγραφη άδεια του εκδότη.

No part of this publication may be reproduced or distributed in any form or by any means, or stored in data base or retrieval system, without the prior written permission of the publisher.

Αφιερώνεται με πολλή αγάπη

*στον Κυριάκο,
το Θοδωρή,
την Κατερίνα και
τη Βαγγελιώ!*



Πρόλογος κ. Μήτση

Η παρουσία, ανάπτυξη και εξέλιξη της μηχανουργικής τεχνολογίας είναι ένας σημαντικός τομέας που συμβάλει ουσιαστικά στην εκπαίδευση των φοιτητών Μηχανολόγων Μηχανικών. Το παρόν βιβλίο καλύπτει ένα μέρος του εκτεταμένου γνωστικού αντικειμένου της Μηχανουργικής Τεχνολογίας και συγκεκριμένα των κατεργασιών διαμόρφωσης.

Στο βιβλίο περιλαμβάνονται εννέα κεφάλαια και παρουσιάζονται με σαφήνεια οι βασικές αρχές των αρχέγονων μορφοποιήσεων, οι παράμετροι που επηρεάζουν την ποιότητα του αποτελέσματος κάθε κατεργασίας και οι εργαλειομηχανές διαμόρφωσης. Η ουσιαστική, συντονισμένη και με μεθοδικό τρόπο παρουσίαση από το συγγραφέα των εννοιών, συμβάλουν στην κατοχύρωση των γνώσεων και την ανάπτυξη του ενδιαφέροντος του φοιτητή για τις κατεργασίες διαμόρφωσης. Σημαντικός παράμετρος για την κατανόηση των εννοιών αποτελούν ο μεγάλος αριθμός πρωτότυπων σχεδίων, φωτογραφιών, πινάκων και παραδειγμάτων που περιέχει το βιβλίο.

Το νέο αυτό βιβλίο, με την ελκυστική παρουσίαση του, επιτυγχάνει τους παιδαγωγικούς του στόχους, συμβάλλοντας στην κατανόηση και εμπέδωση της ύλης καθώς και στην ανάπτυξη της πρωτοβουλίας και της ερευνητικής διάθεσης των φοιτητών στον τομέα της Μηχανουργικής Τεχνολογίας.

Το παρόν βιβλίο αποτελεί τον πρώτο τόμο «Μηχανουργική Τεχνολογία - Κατεργασίες Διαμόρφωσης» της σειράς «Μηχανουργική Τεχνολογία» του καθηγητή Αριστομένη Αντωνιάδη από το Πολυτεχνείο Κρήτης. Το εξαιρετικό αυτό βιβλίο είναι γραμμένο για τους φοιτητές, αλλά αποτελεί ένα σημαντικό βοήθημα και για τον επαγγελματία Μηχανικό. Κατά συνέπεια, είμαι στην ευχάριστη θέση να συγχαρώ τον πρώην φοιτητή μου Δρ. Αριστομένη Αντωνιάδη για τη συγγραφή αυτής της μονογραφίας, που θα συμβάλει στην ανάπτυξη της δημιουργικότητας του Μηχανολόγου Μηχανικού.

Καθηγήτρια Σεβαστή Μήτση
Τμήμα Μηχανολόγων Μηχανικών
Αριστοτέλειο Πανεπιστήμιο Θεσσαλονίκης



Πρόλογος

Το παρόν βιβλίο με τίτλο «Μηχανουργική τεχνολογία, τόμος Α': Κατεργασίες διαμόρφωσης» απευθύνεται σε φοιτητές Τμημάτων Μηχανολόγων Μηχανικών, Ναυπηγών Μηχανικών αλλά και γενικά ειδικοτήτων Μηχανικών με επαφή στις κατασκευαστικές τεχνολογίες. Αποτελεί τον πρώτο τόμο μιας σειράς βιβλίων με θέματα τεχνολογιών παραγωγής και περιλαμβάνει την αρχέγονη μορφοποίηση και τις κατεργασίες διαμόρφωσης.

Οι κατεργασίες με διαμόρφωση αποτελούν τις πρωτογενείς μηχανουργικές κατεργασίες στα πρώτα στάδια της παραγωγής. Στις περισσότερες περιπτώσεις δημιουργούν με άμεσο τρόπο μια πρώτη μορφή του προϊόντος το οποίο σε επόμενη φάση ολοκληρώνεται με δευτερεύουσες κατεργασίες όπως είναι η αφαίρεση υλικού, οι επιφανειακές και θερμικές κατεργασίες. Καθοριστικής σημασίας παράμετροι στις κατεργασίες με διαμόρφωση είναι η συμπεριφορά των υλικών σε συνθήκες παραμόρφωσης καθώς και οι απαιτήσεις σε ισχύ για την πραγματοποίηση αυτών των παραμορφώσεων.

Στόχος του παρόντος βιβλίου είναι να αποτελέσει ένα βασικό βοήθημα, χρησιμοποιώντας τη δύναμη των εικόνων και σχημάτων. Ο φοιτητής καλείται να εντρυφήσει σε μια γνωστική περιοχή με πολλές διαφορετικές, όσον αφορά τη διαδικασία και το μηχανισμό υλοποίησης, τεχνολογίες, οι οποίες όμως έχουν τελικό στόχο την παραγωγή ενδιάμεσου ή και τελικού προϊόντος. Έτσι, ο φοιτητής μέσα από αυτό το βιβλίο θα πάρει εκείνα τα εφόδια τα οποία θα του επιτρέψουν να αναγνωρίζει αλλά και να επιλέγει στη συνέχεια τις κατάλληλες μεθόδους για τη μορφοποίηση των προϊόντων. Ο τελικός σκοπός αυτού του βιβλίου είναι αφενός η παρουσίαση των μεθόδων διαμόρφωσης των υλικών αλλά κυρίως, σε συνδυασμό και με τον τόμο Β' με τις κατεργασίες με αφαίρεση υλικού, ο φοιτητής να γνωρίσει «...πως φτιάχνεται ...τί».

Το βιβλίο αποτελείται από δέκα κεφάλαια με το ένατο κεφάλαιο να αποτελείται από πίνακες που έχουν άμεση σχέση με τις μηχανικές διαμορφώσεις και το δέκατο κεφάλαιο τη βιβλιογραφία. Στο **πρώτο κεφάλαιο** γίνεται εκτενής αναφορά στις βασικές μεθόδους αρχέγονης μορφοποίησης όπου περιγράφονται και αναλύονται οι διάφορες συμβατικές και μη συμβατικές τεχνικές χύτευσης (χύτευση σε άμμο, χύτευση σε καλούπι, χύτευση με τεχνική του χαμένου κεριού, φυγοκεντρική χύτευση, κ.λπ.) ενώ επίσης παρουσιάζονται οι μέθοδοι της κονιομεταλλουργίας, με τις οποίες κατασκευάζονται από σκόνες μετάλλων ή κεραμικών υλικών πολλά εξαρτήματα κατασκευών και στοιχεία μηχανών. Στο **δεύτερο κεφάλαιο** γίνεται μια σύντομη ιστορική αναδρομή στις κατεργασίες με διαμόρφωση ενώ στη συνέχεια παρουσιάζονται αυτές συνοπτικά και το κεφάλαιο ολοκληρώνεται με την παρουσίαση των βασικών αρχών και εννοιών της πλαστικότητας των μετάλλων.

Στο **τρίτο κεφάλαιο** παρουσιάζονται αναλυτικά οι κυριότερες κατεργασίες διαμόρφωσης συμπαγούς υλικού και ειδικότερα η σφυρηλασία, η έλαση και η διέλαση. Αντίστοιχα στο **τέταρτο κεφάλαιο** περιγράφονται αναλυτικά οι κυριότερες κατεργασίες διαμόρφωσης ελάσματος και ειδικότερα η απότμηση, η βαθεία κοίλανση, η κάμψη και η περιώθηση. Αυτές οι μηχανουργικές κατεργασίες με παραμόρφωση αποτελούν και τις βασικές τεχνολογίες με διαμόρφωση. Ειδικές εφαρμογές τους όπως είναι η διαμόρφωση σπειρωμάτων, σύρματος, σωλήνων, κ.λπ. περιγράφονται στο **έκτο κεφάλαιο**.

Στο **έβδομο κεφάλαιο** αναφέρονται οι σημαντικότερες από τις μεθόδους διαμόρφωσης πλαστικών, όπως π.χ. χύτευση με έγχυση, χύτευση με συμπίεση, εξώθηση, χύτευση με εμφύσηση, θερμοδιαμόρφωση, κ.λπ.. Τέλος, στο **ογδοο κεφάλαιο** παρουσιάζονται οι βασικές μέθοδοι συ-

γκολλήσεων των μετάλλων, όπως οι συγκολλήσεις αερίου (π.χ. οξυγονοκόλληση), συγκολλήσεις τόξου (ηλεκτροσυγκολλήσεις, MIG, TIG, κ.λπ.), συγκολλήσεις αντίστασης, ετερογενείς συγκολλήσεις (κασσιτεροκολλήσεις, μπρουντζοκολλήσεις), κ.λπ.. Επίσης αναφέρονται μερικές από τις μη συμβατικές συγκολλήσεις όπως η συγκόλληση με τριβή και η συγκόλληση με δέσμη laser.

Επιθυμώ να ευχαριστήσω όλους όσους στήριξαν την προσπάθεια συγγραφής του παρόντος βιβλίου και ιδιαίτερα:

- τον την καλή φίλη και συνεργάτη Δρ. Μηχ. **Τέση Κατσαμάκη** καθώς και το Διπλωματούχο Μηχανικό **Δημήτρη Βακόνδιο** και για τη βοήθεια που μου παρείχαν, όποτε τους ζητήθηκε,
- την κ. **Ευαγγελία Στρογγυλού** για την επιμέλεια των σχημάτων,
- την κ. **Ματούλα Τσάρη** για την άριστη συνεργασία στην επιμέλεια του βιβλίου και την κ. **Γιώτα Φαρμάκη** για τη σχεδίαση του εξωφύλλου.

Τέλος, θέλω να απευθύνω ένα μεγάλο ευχαριστώ στην οικογένειά μου, στους συναδέλφους και τους φίλους, για την ενθάρρυνση, συμπαράσταση και κατανόηση σε όλο το διάστημα της συγγραφής του βιβλίου.

Αριστομένης Αντωνιάδης



Περιεχόμενα

Κεφάλαιο 1

Αρχέγονη μορφοποίηση

1.1 Χύτευση	11
1.1.1 Γενικά	11
1.1.2 Μοντέλα – Ορολογία χύτευσης	14
1.1.3 Μέθοδοι χύτευσης	15
1.1.4 Χύτευση σε καλούπια μιας χρήσης	16
1.1.5 Χύτευση με καλούπια πολλαπλών χρήσεων	23
1.1.6 Προβλήματα κατά τη χύτευση	27
1.2 Κονιομεταλλουργία	32
1.2.1 Παραγωγή και επεξεργασία των κόνεων	33
1.2.2 Συμπύεση των κόνεων	35
1.2.3 Πυροσυσσωμάτωση	38

Κεφάλαιο 2

Βασικές αρχές μηχανικών διαμορφώσεων

2.1 Σύντομη ιστορική αναδρομή	41
2.2 Μέθοδοι διαμόρφωσης	42
2.2.1 Ταξινόμηση σύμφωνα με την Γερμανική τυποποίηση DIN	42
2.2.2 Ταξινόμηση σύμφωνα με τη θερμοκρασία υλοποίησης της παραμόρφωσης	43
2.2.3 Είδη μηχανικών διαμορφώσεων	45
2.3 Πλαστικότητα	48
2.3.1 Βασικοί ορισμοί	48
2.3.2 Τάσεις	48
2.3.3 Παραμορφώσεις	49
2.3.4 Τρισδιάστατο σύστημα τάσεων	53
2.3.5 Διατήρηση του όγκου	56
2.3.6 Κρυσταλλική δομή	57

Κεφάλαιο 3

Εργαλειομηχανές διαμόρφωσης

3.1 Πηγή ενέργειας	59
3.1 Σφύρες (Hammers)	61
3.2 Πρέσσες	63
3.2.1 Τύποι πλαισίου	63
3.2.2 Είδη πρεσών	65

Κεφάλαιο 4**Διαμόρφωση συμπαγούς υλικού**

4.1 Σφυρηλασία	69
4.1.1 Είδη σφυρηλασίας	69
4.1.2 Σφυρηλασία σε ανοικτές μήτρες	72
4.1.3 Σφυρηλασία σε κλειστές μήτρες	73
4.1.4 Μήτρες σφυρηλάτησης	75
4.1.5 Άλλες συγγενείς με τη σφυρηλάτηση μέθοδοι	77
4.2 Έλαση	81
4.2.1 Κινηματική της έλασης	83
4.2.2 Είδη έλασης	85
4.2.4 Προβλήματα κατά την έλαση	90
4.3 Εξώθηση	92
4.3.1 Ροή μετάλλου στην εξώθηση	93
4.3.2 Προβλήματα στην εξώθηση	94

Κεφάλαιο 5**Διαμόρφωση επιπέδου ελάσματος**

5.1 Απότμηση	97
5.1.1 Μηχανισμός της απότμησης	98
5.1.2 Δυνάμεις απότμησης	100
5.1.3 Σημείο εφαρμογής της δύναμης απότμησης	101
5.1.4 Χάρη στην απότμηση	108
5.1.5 Συντελεστής εκμετάλλευσης υλικού	109
5.1.6 Εργαλεία απότμησης	110
5.1.5 Έργο απότμησης	112
5.2 Βαθεία κοίλανση	113
5.2.1 Λόγος κοίλανσης	114
5.2.2 Ανάπτυγμα ελάσματος	116
5.2.3 Εφαρμογή υπολογισμού διαμέτρου αρχικού ελάσματος	124
5.2.4 Δύναμη κοίλανσης	125
5.2.5 Δύναμη συγκράτησης ελάσματος	126
5.2.6 Συνολική δύναμη και έργο κοίλανσης	127
5.2.7 Χάρη κοίλανσης	128
5.2.9 Εργαλεία βαθείας κοίλανσης	129
5.2.10 Ταχύτητα κοίλανσης	130
5.2.11 Λίπανση κατά την κοίλανση	131
5.2.12 Ανακοίλανση	131
5.2.13 Εφαρμογή υπολογισμών στην κοίλανση	133
5.3 Κάμψη	137
5.3.1 Μηχανισμός κάμψης	138
5.3.2 Επαναφορά μετά από κάμψη	140
5.3.3 Ανάπτυγμα ελάσματος	143
5.3.4 Είδη κάμψης	144
5.3.5 Εργαλεία κάμψης	147
5.3.6 Υλικά εργαλείων κάμψης	151
5.3.7 Δύναμη κάμψης	151
5.3.8 Έργο κάμψης	153
5.3.9 Παράδειγμα	154
5.4 Περιώθηση	156
5.4.1 Συμβατική περιώθηση	157

5.4.2 Διαμητική περιώθηση	158
5.4.3 Περιώθηση σωλήνων	160

Κεφάλαιο 6

Ειδικές εφαρμογές

6.1 Ολκή και συρματοποίηση	161
6.1.1 Γενικά για την ολκή	161
6.1.2 Ιστορική αναδρομή	162
6.1.3 Εξοπλισμός ολκής	163
6.2 Αποτύπωση	165
6.3 Διαμόρφωση σπειρώματος	165
6.4 Διαμορφώσεις σωλήνων	166
6.5 Ψαλιδισμός	167
6.6 Διαμορφώσεις υψηλού ρυθμού ενέργειας παραμόρφωσης	167

Κεφάλαιο 7

Διαμορφώσεις πλαστικών

7.1 Πλαστικά – Ιστορική εξέλιξη	169
7.2 Είδη πλαστικών	172
7.2.1 Θερμοπλαστικά	172
7.2.2 Θερμοσκληρυνόμενα	172
7.2.3 Ελαστομερή	172
7.3 Μέθοδοι διαμορφώσεων πλαστικών	173
7.3.1 Χύτευση με συμπίεση	173
7.3.2 Χύτευση με μεταφορά	175
7.3.3 Χύτευση με έγχυση	176
7.3.4 Χύτευση με συμπίεση και έγχυση	178
7.3.5 Χύτευση με εμφύσηση	179
7.3.6 Περιτροφική χύτευση	181
7.3.7 Θερμοδιαμόρφωση	182

Κεφάλαιο 8

Στοιχεία συγκολλήσεων

8.1 Γενικά για τις συγκολλήσεις	185
8.2 Συγκολλητικότητα των υλικών	187
8.3 Έλεγχος συγκολλήσεων	188
8.3.1 Μη καταστροφικές μέθοδοι	188
8.3.2 Καταστροφικές δοκιμές	189
8.4 Συμβολισμοί συγκολλήσεων	189
8.5 Αυτογενείς συγκολλήσεις	189
8.5.1 Συγκόλληση με οξυγονοασετυλίνη	189
8.5.2 Συγκόλληση τόξου	196
8.5.3 Ηλεκτροσυγκόλληση σε αδρανή ατμόσφαιρα	199
8.5.4 Ηλεκτροσυγκόλληση με αντίσταση (ηλεκτροπόντα)	200
8.5.5 Άλλες μέθοδοι συγκολλήσεων	201
8.5.6 Συγκόλληση πλαστικών	202
8.6 Ετερογενείς Συγκολλήσεις	202
8.6.1 Μαλακές συγκολλήσεις	202
8.6.2 Σκληρές συγκολλήσεις	203

Κεφάλαιο 9

Χρήσιμοι πίνακες

9.1	Τυπολόγιο γεωμετρικών σχημάτων	205
9.2	Τυπολόγιο στερεών	208
9.3	Περίμετροι και εμβαδά κύκλων διαμέτρων από 1 έως 150mm	211
9.4	Περίμετροι και εμβαδά κύκλων διαμέτρων από 151 έως 300mm	212
9.5	Μάζες κυκλικών, τετραγωνικών, εξαγωνικών ράβδων χάλυβα	213
9.6	Μάζες πλακών	214
9.7	Σύγχρονη (EN) και παλαιά (DIN) ονοματολογία υλικών	215
9.7.1	Κοινοί χάλυβες κατασκευών	215
9.7.2	Χάλυβες επιβελτίωσης	215
9.7.3	Χάλυβες επιβελτίωσης	216
9.7.4	Χάλυβες εργαλειών	216
9.7.5	Ταχυχάλυβες (HSS)	217
9.7.6	Ανοξειδωτοι χάλυβες	217
9.7.7	Χάλυβες για ελάσματα βαθείας κοίλανσης	217
9.7.8	Χάλυβες κατασκευής κοχλίων και περικοχλίων	217
9.7.9	Ελατά κράματα αλουμινίου	219
9.7.10	Χυτοσίδηροι	219
9.7.11	Χυτοχάλυβες	219
9.7.12	Μαλακοί ορείχαλκοι (για ψυξηλασία)	219
9.8	Διεθνείς τυποποιήσεις και ονοματολογία υλικών - Γενικοί χάλυβες	219
9.9	Διεθνείς τυποποιήσεις και ονοματολογία υλικών - Ανοξειδωτοι χάλυβες και χυτοσίδηροι ..	222
9.10	Διεθνείς τυποποιήσεις και ονοματολογία υλικών - Μη σιδηρούχα υλικά	222
9.11	Ιδιότητες μηχανολογικών υλικών	224
9.11.1	Κοινοί χάλυβες κατασκευών κατά DIN EN 10025 (DIN 17100).....	225
9.11.2	Χάλυβες κατά DIN EN 10130 (DIN 1623 T1) <3mm πάχος	225
9.11.3	Χάλυβες ενανθράκωσης κατά DIN 17210	225
9.11.4	Χάλυβες επιβελτίωσης κατά DIN EN 10083 (DIN 17200)	225
9.11.5	Χυτοχάλυβες κατά DIN EN 1559 (DIN 1681)	227
9.11.6	Χυτοσίδηροι κατά DIN EN 1561 (DIN 1691)	227
9.11.7	Χυτοσίδηροι κατά DIN EN 1561 (DIN 1693)	227
9.12	Καμπύλες παραμόρφωσης υλικών	227

Βιβλιογραφία

Ελληνική Βιβλιογραφία	231
Ξενόγλωσση Βιβλιογραφία	231