



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ ΚΡΗΤΗΣ**  
**ΣΧΟΛΗ ΜΗΧΑΝΙΚΩΝ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ & ΔΙΟΙΚΗΣΗΣ**  
**ΕΡΓΑΣΤΗΡΙΟ ΜΙΚΡΟΚΟΠΗΣ & ΚΑΤΑΣΚΕΥΑΣΤΙΚΗΣ ΠΡΟΣΟΜΟΙΩΣΗΣ**

## **ΣΧΕΔΙΑΣΗ ΜΗΧΑΝΟΛΟΓΙΚΩΝ ΤΕΜΑΧΙΩΝ ΣΕ ΣΥΣΤΗΜΑ CAD ΚΑΙ ΕΝΤΑΞΗ ΤΟΥΣ ΣΕ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΛΟΓΙΣΜΙΚΟ**



**ΜΑΡΑΓΓΕΛΗΣ  
ΣΠΥΡΙΔΩΝ**

**ΕΠΙΒΛΕΠΩΝ: ΑΡΙΣΤΟΜΕΝΗΣ ΑΝΤΩΝΙΑΔΗΣ  
ΚΑΘΗΓΗΤΗΣ**

Ευχαριστώ την οικογένεια και τους φίλους μου  
για την υποστήριξή τους σε όλες τις επιλογές μου

Με την ολοκλήρωση αυτής της διπλωματικής θέλω να ευχαριστήσω τον καθηγητή Κ. Αριστομένη Αντωνιάδη καθώς και την Ιωάννα Πατεράκη και τον Μαρινάκη Άγγελο για την βοήθεια και την υποστήριξη τους

## ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ	7
2. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ	9
2.1 Κράματα μαγνησίου	9
2.2 Κράματα αλουμινίου	11
2.3 Metal Matrix Composites- σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας	14
2.4 Κράματα χαλκού	15
2.5 Σίδηρος	16
2.6 Άνθρακας και χάλυβες χαμηλών στοιχείων κράματος	20
2.7 Ανοξείδωτοι χάλυβες	25
2.8 Κονιομεταλλουργία (Powder Metallurgy) P/M Materials	27
2.9 Κράματα τιτανίου	28
2.10 Κράματα Νικελίου	30
3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ AUTODESK INVENTOR ΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΡΑΙΖΑΣ	33
3.1 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 1	33
3.2 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 2	34
3.3 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 3	35
3.4 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 4	36
3.5 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 5	37
3.6 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 6	38
3.7 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 7	39
3.8 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 8	40
3.9 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 9	41
3.10 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 10	42
3.11 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 11	43
3.12 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 12	44
3.13 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 13	45
3.14 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 14	46
3.15 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 15	47
3.16 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 16	48
3.17 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 17	49
3.18 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 18	50
3.19 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 19	51
3.20 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 20	52
3.21 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 21	53
3.22 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 22	54
3.23 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 23	55
3.24 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 24	56
3.25 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 25	57
3.26 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 26	58
3.27 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 27	59

3.28 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 28	60
3.29 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 29	61
3.30 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 30	62
3.31 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 31	63
3.32 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 32	64
3.33 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 33	65
3.34 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 34	66
3.35 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 35	67
3.36 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 36	68
3.37 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 37	69
3.38 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 38	70
3.39 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 39	71
3.40 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 40	72
3.41 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 41	73
3.42 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 42	74
3.43 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 43	75
3.44 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 44	76
3.45 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 45	77
3.46 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 46	78
3.47 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 47	79
3.48 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 48	80
3.49 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 49	81
3.50 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 50	82
3.51 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 51	83
3.52 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 52	84
3.53 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 53	85
 4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ AUTODESK INVENTOR ΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΡΝΟΥ	 86
4.1 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 1	86
4.2 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 2	87
4.3 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 3	88
4.4 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 4	89
4.5 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 5	90
4.6 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 6	91
4.7 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 7	92
4.8 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 8	93
4.9 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 9	94
4.10 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 10	95
4.11 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 11	96
4.12 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 12	97
4.13 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 13	98
4.14 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 14	99
4.15 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 15	100
4.16 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 16	101
4.17 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 17	102
4.18 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 18	103

4.19 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 19	104
4.20 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 20	105
4.21 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 21	106
4.22 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 22	107
4.23 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 23	108
4.24 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 24	109
4.25 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 25	110
4.26 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 26	111
4.27 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 27	112
4.28 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 28	113
4.29 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 29	114
4.30 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 30	115
4.31 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 31	116
4.32 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 32	117
4.33 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 33	118
4.34 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 34	119
4.35 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 35	120
4.36 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 36	121
4.37 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 37	122
4.38 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 38	123
4.39 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 39	124
4.40 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 40	125
4.41 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 41	126
4.42 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 42	127
4.43 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 43	128
4.44 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 44	129
4.45 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 45	130
4.46 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 46	131
4.47 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 47	132
4.48 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 48	133
4.49 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 49	134
4.50 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 50	135
4.51 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 51	136
4.52 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 52	137
4.53 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 53	138
4.54 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 54	139
4.55 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 55	140
4.56 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 56	141
4.57 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 57	142
4.58 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 58	143
4.59 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 59	144
4.60 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 60	145

## 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Ο όρος μηχανική κατεργασία αναφέρεται στην ευκολία ή τη δυσκολία με την οποία ένα δεδομένο υλικό (ή ομάδα υλικών) μπορούν να υποβληθούν σε μηχανική επεξεργασία. Οι παράγοντες που επηρεάζουν τη ικανότητα μηχανικής κατεργασίας των υλικών παρουσιάζονται σχηματικά στο Σχ. 11.1. Αρκετές ιδιότητες του υλικού επηρεάζουν την δυνατότητα κατεργασίας του, στα πιο σημαντικά καταλαμβάνονται, η χημική σύνθεση, η μικροδομή, οι μηχανικές ιδιότητες (π.χ. σκληρότητα, αντοχή σε εφελκυσμό και την ενδοτράχυνση) και οι φυσικές ιδιότητες (π.χ. θερμική αγωγιμότητα και διάχυση). Ωστόσο, η δυνατότητα κατεργασίας δεν είναι ιδιότητα του υλικού εργασίας, αλλά μάλλον ιδιότητα του κέντρου κατεργασίας που επηρεάζεται από το υλικό εργασίας, το υλικό του εργαλείου κατεργασίας, την εργαλειομηχανή, το εξάρτημα με το οποίο γίνεται η εργασία, την στερέωση, τα κοπτικά υγρά και τις συνθήκες κοπής. Όλα τα εξαρτήματα του κέντρου μηχανικής κατεργασίας επηρεάζουν φυσικές διεργασίες όπως η φθορά του εργαλείου ή η δημιουργία επιφάνειας που, όπως αναφέρεται παρακάτω, χρησιμοποιούνται γενικά ως κριτήρια μηχανικής κατεργασίας.

Σαν Αποτέλεσμα η δυνατότητα κατεργασίας πρέπει να αξιολογείται από δοκιμές κατεργασίας και η προκύπτουσα βαθμολογία να εξαρτάται από τις συνθήκες και τις παραμέτρους της κάθε δοκιμής για την ποσοτικοποίηση των αποτελεσμάτων. Η κατεργασιμότητα επομένως δεν μπορεί να οριστεί μοναδικά με ποσοτικούς όρους και μπορεί να έχει ποικίλες ή ακόμη και αντιφατικές έννοιες σε διαφορετικά πλαίσια. Για παράδειγμα, τεμάχια εργασίας από την ίδια οικογένεια υλικών μπορεί να απαιτούν παρόμοια ειδική ισχύ για τη μηχανή, αλλά μπορεί αποδίδουν διαφορετικούς ρυθμούς φθοράς του κοπτικού εργαλείου λόγω διαφορών στη συγκέντρωση λειαντικών σωματιδίων στη μήτρα. Χρησιμοποιώντας ένα κύριο κριτήριο για την δυνατότητα κατεργασίας, θα είχαμε σαν αποτέλεσμα όλα να εμφανίζουν παρόμοια ικανότητα κατεργασίας. Ωστόσο αν χρησιμοποιηθεί ένα κριτήριο ζωής εργαλείου, θα βρίσκαμε σημαντικές διαφορές στη μηχανική ικανότητα. Όταν αναθεωρηθεί αυτό το γεγονός, η ματαιότητα της προσπάθειας να ορίσουμε μια μοναδική βαθμολογία ικανότητας κατεργασίας ή κριτήριο που να ισχύει για όλες τις εφαρμογές ενός συγκεκριμένου υλικού εργασίας θα είναι πιο ξεκάθαρο, όπως και η ποιοτική παρά ποσοτική χρησιμότητα των συστημάτων αξιολόγησης μηχανικής ικανότητας.

Ο όρος μηχανική ικανότητα χρησιμοποιείται συχνά για λόγους σύγκρισης ή κατάταξης. Για παράδειγμα, μια λίστα υλικών για ένα τεμάχιο, μπορεί να ταξινομηθεί από τα περισσότερα έως τα λιγότερα επεξεργάσιμα. Σε αυτές τις περιπτώσεις το πρωταρχικό μέλημα είναι το συνολικό κόστος της διαδικασίας, το οποίο εξαρτάται περισσότερο από τη διάρκεια ζωής του εργαλείου και η επίτευξη αυτού εξαρτάται από τις συνθήκες παραγωγής.

Η κατάταξη μηχανικής ικανότητας συνήθως προσδιορίζεται με δοκιμές στην διάρκεια ζωής του εργαλείου, αν και, όπως θα συζητηθεί στη συνέχεια μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν και άλλα μέτρα απόδοσης. Για την εκτίμηση του κόστους και τον υπολογισμό μιας οικονομικής λύσης, μια κανονικοποιημένη βαθμολογία μηχανικής ικανότητας ή ένας δείκτης που τίθεται να συσχετιστεί με το κόστος μηχανικής κατεργασίας μπορεί επίσης να συσχετιστεί ανα υλικό.

Η αξιολόγηση ικανότητας κατεργασίας καθορίζεται συχνά από τα κανονικοποιημένα αποτελέσματα δοκιμών της διάρκειας ζωής του εργαλείου, αλλά μπορεί να λαμβάνει υπόψη διαφορές στις απαιτήσεις ισχύος, στον έλεγχο του αποβλήτου, όπως και τη δυσκολία φινιρίσματος μιας επιφάνειας.

Ο όρος μηχανική κατεργασία χρησιμοποιείται επίσης για να περιγράψει τις αποδεκτές εφαρμογές μηχανικής κατεργασίας για ένα δεδομένο υλικό. Τα δεδομένα μηχανικής κατεργασίας που συλλέγονται σε εγχειρίδια ή βάσεις δεδομένων αποτελούνται από συνιστώμενες ταχύτητες κοπής, ρυθμούς τροφοδοσίας και βάθη κοπής για συγκεκριμένα υλικά εργασίας. Συνήθως δίνονται χωριστές τιμές για διαφορετικές λειτουργίες και ποιότητες υλικού εργαλείου. Τα δεδομένα μηχανικής κατεργασίας συλλέγονται πειραματικά από εμπειρική παραγωγή και συνοψίζουν τις συνθήκες κατεργασίας που αποδίδουν αποδεκτή διάρκεια ζωής του εργαλείου και επιθυμητή ποιότητα εξαρτημάτων υπό κοινές συνθήκες λειτουργίας. Οι προτεινόμενες ταχύτητες και τροφοδοσίες αντιπροσωπεύουν μόνο τις πρωταρχικές συνθήκες εκκίνησης που θα πρέπει να τροποποιηθούν ανάλογα με τις ανάγκες βελτιστοποίησης της απόδοσης, στις μηχανικές κατεργασίες σε μια δεδομένη εφαρμογή. Δεδομένου ότι η εφαρμογή μηχανικής κατεργασίας αλλάζει λόγω των νέων εξελίξεων στα υλικά εργαλείων και στις δυνατότητες των εργαλειομηχανών, τα δεδομένα μηχανικής κατεργασίας πρέπει να ενημερώνονται συχνά.

Εκτεταμένα δεδομένα μηχανικής κατεργασίας από πρόσφατες εφαρμογές είναι διαθέσιμα από εργαστήρια που ειδικεύονται στις δοκιμές μηχανικής κατεργασίας και από κατασκευαστές εργαλείων κοπής με τη μορφή βοηθητικού ένθετου αξιολόγησης.



## 2. ΜΗΧΑΝΙΚΗ ΚΑΤΕΡΓΑΣΙΑ ΤΩΝ ΥΛΙΚΩΝ

Η μηχανική ικανότητα οποιουδήποτε κράματος επηρεάζεται κυρίως από το βασικό μέταλλο του. Τα κράματα αλουμινίου είναι γενικά πολύ επεξεργάσιμα, τα σιδηρούχα κράματα παρουσιάζουν μέτρια μηχανική ικανότητα κατεργασίας και τα κράματα υψηλής θερμοκρασίας έχουν γενικά κακή μηχανική κατεργασία. Η μικροδομή του μετάλλου παίζει επίσης σημαντικό ρόλο στη μηχανική κατεργασία. Ορισμένες σημαντικές μικροδομικές παράμετροι περιλαμβάνουν το μέγεθος των κόκκων, τον αριθμό και το μέγεθος των εγκλεισμάτων και τον τύπο ή τους τύπους των μεταλλικών κατασκευών που υπάρχουν. Γενικά, οι σκληρές δομές και οι λεπτοί κόκκοι έχουν ως αποτέλεσμα χαμηλότερη διάρκεια ζωής του εργαλείου. Η μηχανική ικανότητα βελτιώνεται για πιο μαλακές δομές και χονδροειδείς κόκκους. Μικρά σκληρά εγκλείσματα στη μήτρα προάγουν τη φθορά του εργαλείου λείανσης. Τα μαλακά εγκλείσματα είναι συχνά ευεργετικά για τη διάρκεια ζωής του εργαλείου. Τα υλικά που υπόκεινται σε ενδοτράχυνση έχουν χαμηλότερη μηχανική ικανότητα από εκείνα που δεν σκληραίνουν.

Το υπόλοιπο αυτής της ενότητας εξετάζει συγκεκριμένους παράγοντες που επηρεάζουν τη μηχανική ικανότητα των κοινών κατηγοριών σιδηρούχων και μη σιδηρούχων κραμάτων.

### 2.1 Κράματα μαγνησίου

Τα κράματα μαγνησίου είναι τα πιο κατεργάσιμα από τα κοινά κατασκευαστικά μέταλλα όσον αφορά τη διάρκεια ζωής του εργαλείου, τις δυνάμεις κοπής, την κατανάλωση ισχύος και το φινίρισμα της επιφάνειας. Επειδή τα κράματα μαγνησίου έχουν εξαγωνική δομή και χαμηλή ολκιμότητα, οι δυνάμεις κοπής και η κατανάλωση ισχύος είναι συνήθως πενήντα έως ογδόντα τοις εκατό χαμηλότερες από ό,τι για τα κράματα αλουμινίου υπό αντίστοιχες συνθήκες. Τα κράματα μαγνησίου έχουν επίσης χαμηλό σημείο τήξης (συνήθως μικρότερο από 650 ° C), έτσι ώστε οι θερμοκρασίες κοπής να είναι χαμηλές. Λόγω της εύθραυστης φύσης τους, σχηματίζουν κοντά, τμηματικά απόβλητα, τα οποία περιορίζουν το μήκος της επαφής μεταξύ εργαλείου και αποβλήτου. Τέλος, το μαγνήσιο έχει υψηλή θερμική αγωγιμότητα και δεν επιτρέπει τη συμμετοχή του σε κράμα με χάλυβα. Για όλους αυτούς τους λόγους, τα ποσοστά φθοράς του εργαλείου λόγω της θερμικής αποσκλήρυνσης και της διάχυσης είναι χαμηλά για τα εργαλεία καρβιδίου κοβαλτίου (WC) και ταχυχάλυβα (HSS). Οι περισσότερες πληροφορίες δείχνουν ότι η διάρκεια ζωής του εργαλείου όταν γίνεται ξηρή μηχανική κατεργασία κραμάτων μαγνησίου, είναι περίπου πέντε φορές μεγαλύτερη απ' ό,τι κατά την υγρή κατεργασία αλουμινίου υπό όλες τις άλλες συνθήκες σταθερές.

Η διάρκεια ζωής των εργαλείων της τάξης των εκατοντάδων ωρών, ή δεκάδων αλλαγών βάρδιας στη μαζική παραγωγή, ήταν εφικτή στις αρχές της δεκαετίας του 1960. Πιο πρόσφατα, τα εργαλεία PCD έχουν χρησιμοποιηθεί για την κατεργασία εξαρτημάτων από κράματα μαγνησίου που προκύπτουν από χύτευση, με αποτέλεσμα η διάρκεια ζωής του εργαλείου να πλησιάζει το ένα εκατομμύριο εξαρτήματα σε ορισμένες εργασίες φρεζαρίσματος και διάτρησης. Τα κράματα μαγνησίου αποκτούν λεπτές επιφάνειες υπό κανονικές συνθήκες κοπής με μέση επιφανειακή τραχύτητα έως 0,1  $\mu\text{m}$  που μπορεί να επιτευχθεί με τórνευση ή φρεζάρισμα σε υψηλές ή χαμηλές ταχύτητες, με ή χωρίς υγρά κοπής, έτσι ώστε οι εργασίες λείανσης και στίλβωσης να είναι συχνά περιττές.

Υπάρχουν δύο κυρίαρχοι προβληματισμοί όσων αφορά την κατεργασία μαγνησίου: το ρίσκο φωτιάς και ο σχηματισμός ψευδοκοπής από συσσώρευση υλικού.

Το μαγνήσιο όταν θερμαίνεται στη θερμοκρασία τήξης του καίγεται. Στη μηχανική κατεργασία μαγνησίου, οι πυρκαγιές είναι πιο πιθανό να συμβούν όταν παράγονται λεπτά γρέζια ή απόβλητα με υψηλή αναλογία επιφάνειας ως προς τον όγκο και αφήνονται να συσσωρευτούν. Ανάφλεξη μπορεί να προέλθει λόγω θέρμανσης από την τριβή που προκαλείται από ένα εργαλείο που είναι αμβλύ, σπασμένο, ακατάλληλα στερεωμένο, ή παραμένει ακίνητο στο τέλος μιας κοπής, καθώς και από σπινθήρες που δημιουργούνται εξωτερικά στη μηχανική κατεργασία. Για να ελαχιστοποιηθεί ο κίνδυνος πυρκαγιάς, θα πρέπει να τηρούνται οι ακόλουθες ενέργειες.

- 1) Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται τροχισμένα εργαλεία με τις μεγαλύτερες δυνατές γωνίες ελευθερίας.
- 2) Θα πρέπει να χρησιμοποιείται μεγάλη πρόωση ανα περιστροφή του κοπτικού εργαλείου, ώστε να παράγονται χοντρά απόβλητα, όταν είναι δυνατόν.
- 3) Θα πρέπει να μην ακουμπούν τα εργαλεία στο τεμάχιο στο τέλος της κοπής.
- 4) Τα απόβλητα θα πρέπει να συλλέγονται και να απομακρύνονται συχνά.
- 5) Πρέπει να χρησιμοποιούνται τα κατάλληλα ψυκτικά, όταν είναι απαραίτητος υψηλός ρυθμός πρόωσης.

Δεδομένου ότι τα ρινίσματα μαγνησίου αντιδρούν με το νερό με αποτέλεσμα να σχηματίσουν υδροξείδιο του μαγνησίου και να απελευθερώσουν υδρογόνο σε αερια μορφή, τα ψυκτικά με βάση το νερό αποφεύγονται. Η αποδεκτή εφαρμογή είναι η κατεργασία μαγνησίου σε ξερές συνθήκες, όταν είναι δυνατό, και η χρήση ψυκτικού από ορυκτελαίο όταν είναι απαραίτητο. Ωστόσο η ξηρή κατεργασία εξαρτημάτων μαγνησίου σε υψηλούς όγκους, παρουσίασε μακροχρόνια προβλήματα καθαριότητας, ειδικά όταν εφαρμόστηκαν διαδικασίες διάτρησης ή σπειρώματος που παρήγαγαν λεπτά απόβλητα. Τα ιπτάμενα σωματίδια, με τον καιρό, μπορούν να συσσωρευτούν σε σημεία όπως αεραγωγούς ηλεκτρικών μηχανημάτων και συστήματα θέρμανσης του χώρου με αποτέλεσμα να προκαλούν φωτιές. Τα τελευταία δέκα χρόνια, έχουν αναπτυχθεί ψυκτικά με βάση το νερό που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε μαγνήσιο χωρίς υπερβολική παραγωγή υδρογόνου. Ψυκτικά αυτής της κατηγορίας χρησιμοποιούνται πλέον στην παραγωγή σε ορισμένες εγκαταστάσεις και σύμφωνα με πληροφορίες αυξάνουν τη διάρκεια ζωής του εργαλείου και μειώνουν τον κίνδυνο πυρκαγιάς σε σύγκριση με την ξηρή μηχανική κατεργασία. Η λείανση ή η στίλβωση του μαγνησίου θα πρέπει να αποφεύγεται όταν είναι δυνατόν, αλλά, όταν είναι απαραίτητο, θα πρέπει να γίνεται με ειδικά μηχανήματα εξοπλισμένα με σύστημα συλλογής, υγρού τύπου, της σκόνης.

Παρατηρείται κατά τη μηχανική κατεργασία χυτών κραμάτων μαγνησίου-αλουμινίου με ξηρό με εργαλεία ταχυχύλυβα (HSS) ή καρβιδίου, ο σχηματισμός επιφανειακής προσκόλλησης υλικού. Ο σχηματισμός αυτός μπορεί να μειωθεί ή να εξαιρεθεί με την εφαρμογή ψυκτικού ορυκτελαίου ή με τη μετάβαση σε εργαλείο πολυκρυσταλικού διαμαντιού (PCD). Σε ταχύτητες κοπής άνω των 600 m/min, μπορεί επίσης να συμβεί συσσώρευση πλευρών λόγω πρόσφυσης ειδικά κατά την ξηρή κοπή. Αυτό μπορεί να έχει ως αποτέλεσμα αυξημένες δυνάμεις κοπής, μικροδομήσεις και κακό φινίρισμα της επιφάνειας.

Οι προμηθευτές μαγνησίου διαθέτουν εκτενείς πίνακες με συνιστώμενες ταχύτητες, τροφοδοσίες, βάθη κοπής και γεωμετρικές εργαλείων για διάφορες λειτουργίες. Γενικά, οι τόννευση και η διάτρηση εκτελούνται σε ταχύτητες μεταξύ 700 και 1700 m/min, ρυθμούς τροφοδοσίας μεγαλύτερους από 0,25 mm/στροφές και βάθη κοπής έως 12 mm με την χρήση εργαλείων με θετικές (έως 20°) γωνίες κλίσης, μεγάλη γωνία ελευθερίας και ακονισμένες άκρες.

Το φρεζάρισμα προσώπου μπορεί να πραγματοποιηθεί με ταχύτητες έως 3000 m/min, ρυθμούς τροφοδοσίας μεταξύ 0,05 και 0,5 mm/δόντι και βάθη κοπής έως 12 mm. Στο φινίρισμα χρησιμοποιείται μικρότερη τροφοδοσία και υψηλότερες ταχύτητες. Οι φρέζες που χρησιμοποιούνται έχουν θετικές γεωμετρικές κοπής και περίπου ένα τρίτο λιγότερα δόντια από κοπτικά εργαλεία αντίστοιχων διαμέτρων που χρησιμοποιούνται για την κατεργασία άλλων μετάλλων.

## 2.2 Κράματα αλουμινίου

Τα κράματα αλουμινίου είναι επίσης από τα πιο επεξεργάσιμα από τα κοινά μέταλλα. Οι δυνάμεις κοπής είναι γενικά χαμηλές και επειδή το αλουμίνιο είναι καλός αγωγός θερμότητας και τα περισσότερα κράματα τήκονται σε θερμοκρασίες μεταξύ 500 και 600 °C, οι θερμοκρασίες κοπής και τα ποσοστά φθοράς του εργαλείου είναι επίσης χαμηλά. Η διάρκεια ζωής του εργαλείου πλησιάζει το ένα εκατομμύριο εξαρτήματα και μπορεί να επιτευχθεί σε ορισμένες εργασίες μαζικής παραγωγής χρησιμοποιώντας εργαλεία από πολυκρυσταλικό διαμάντι (PCD). Όταν κατεργάζονται κάτω από κατάλληλες συνθήκες με αιχμηρά εργαλεία, τα κράματα αλουμινίου αποκτούν λεπτό φινίρισμα μέσω τόννευσης, διάτρησης και φρεζαρίσματος, ελαχιστοποιώντας την ανάγκη για εργασίες λείανσης και στίλβωσης.

Το αλουμίνιο κατεργάζεται συνήθως με εργαλεία ταχυχύλυβα (HSS), καρβιδίου και πολυκρυσταλικού διαμαντιού (PCD). Σε αλουμίνιο δεν χρησιμοποιούμε κεραμικά εργαλεία με βάση το νιτρίδιο του πυριτίου λόγω της υψηλής διαλυτότητας του πυριτίου στο αλουμίνιο. Οι κύριες ανησυχίες σχετικά με τη μηχανική κατεργασία με τα κράματα αλουμινίου περιλαμβάνουν τη διάρκεια ζωής του εργαλείου, τα χαρακτηριστικά και την απόρριψη του αποβλήτου, όπως και το φινίρισμα της επιφάνειας. Η διάρκεια ζωής του εργαλείου προκαλεί ανησυχία ειδικά για κράματα που περιέχουν σκληρά εγκλείσματα όπως οξειδίο του αργιλίου, καρβίδιο του πυριτίου ή ελεύθερο πυρίτιο (π.χ. τα υπερευκτητικά κράματα αλουμινίου-πυριτίου που συζητούνται παρακάτω).

Δύο κύριες κατηγορίες κραμάτων αλουμινίου που επεξεργάζονται συνήθως είναι τα χυτά κράματα, που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή συστημάτων μετάδοσης κίνησης και εξαρτημάτων αυτοκινήτων, και τα σφυρήλατα ή ψυχρά κράματα, που χρησιμοποιούνται σε δομικές εφαρμογές (π.χ. κατασκευή σκελετού αεροσκαφών).

Τα πιο συχνά επεξεργασμένα κράματα χυτού αλουμινίου με βάση την ποσότητα είναι τα χυτά κράματα αλουμινίου πυριτίου, τα οποία χρησιμοποιούνται ευρέως σε εφαρμογές αυτοκινήτων. Από πλευράς μηχανικής κατεργασίας είναι σύνηθες να γίνεται διάκριση σε ευτηκτικά κραμάτων που περιέχουν 6 έως 10 % πυρίτιο και υπερευκτητικά κράματα που περιέχουν 17 έως 23 % πυρίτιο. Στα ευτηκτικά κράματα ( και στα περισσότερα ειδικά κράματα εμβόλων), το πυρίτιο συναντάται μόνο σε ευτηκτική φάση. Στα υπερευκτητικά κράματα, η περιεκτικότητα σε πυρίτιο υπερβαίνει το ευτηκτικό όριο, έτσι ώστε σωματίδια πυριτίου ή καρβιδίου του πυριτίου να περιέχονται στη μήτρα. Όσον αφορά τη διάρκεια ζωής του εργαλείου, τα ευτηκτικά κράματα, όταν σκληρύνονται σωστά, παρουσιάζουν μικρές δυσκολίες, έτσι ώστε να επιτυγχάνεται μεγάλη διάρκεια ζωής του εργαλείου σε σχετικά υψηλές ταχύτητες κοπής. Οι ταχύτητες μπορεί να φτάσουν έως και 450 m/min όταν γίνεται χρήση εργαλείων καρβιδίου και ταχύτητες έως και 5000 m/min σε ορισμένες εφαρμογές φρεζαρίσματος με εργαλεία PCD.

Οι κατηγορίες καρβιδίου που χρησιμοποιούνται για το χυτοσίδηρο είναι κατάλληλες για κατεργασία κραμάτων αλουμινίου. Κατά τη διάτρηση, η φθορά γίνεται υπερβολική σε ταχύτητες πάνω από 200-400 m/min με τρυπάνια καρβιδίου, ενώ μπορούν να χρησιμοποιηθούν τρυπάνια με επίστρωση διαμαντιού σε ταχύτητες έως 600 m/min. Η χύτευση άμμου παράγει μια πιο τραχιά μικροδομή με μεγαλύτερα σωματίδια πυριτίου από τη μόνιμη χύτευση καλουπιού, και έτσι αποδίδει μικρότερη διάρκεια ζωής του εργαλείου και χαμηλότερες επιτρεπόμενες ταχύτητες κοπής. Η χύτευση υπο υψηλή πίεση αποδίδει την καλύτερη μικροδομή.

Ο σίδηρος, ο οποίος υπάρχει σε όλα τα κράματα χύτευσης, σχηματίζει επίσης σκληρά εγκλείσματα που έχουν αρνητικό αντίκτυπο στη διάρκεια ζωής του εργαλείου και στη δυνατότητα μηχανικής επεξεργασίας. Ο σίδηρος προστίθεται σκόπιμα στα κράματα χύτευσης για να ξεπεραστεί η συγκόλληση με το καλούπι. Η προσθήκη έως και 0,2 τοις εκατό μαγγανίου σε αυτά τα κράματα βελτιώνει τη δομή του σιδήρου και βελτιώνει τη διάρκεια ζωής του εργαλείου. Πολλές ανησυχίες σχετικά με τη μηχανική κατεργασία για χυτά κράματα που περιέχουν άλλα στοιχεία κράματος, όπως μαγνήσιο, ψευδάργυρο ή χαλκό, είναι πανομοιότυπες με αυτές για τα αντίστοιχα σφυρήλατα κράματα.

Τα σφυρήλατα ή κρύα κατεργασμένα κράματα ταξινομούνται σύμφωνα με τα κύρια στοιχεία κράματος και την ιδιοσυγκρασία. Χρησιμοποιείται ένα σύστημα ταξινόμησης 4 ψηφίων στο οποίο το πρώτο ψηφίο υποδεικνύει το κύριο στοιχείο κράματος. Μια εξαιρετική περίληψη του περιεχομένου του βαθμού και των ανησυχιών σχετικά με τη μηχανική κατεργασία δόθηκε από τον Chamberlain.

Οι ποιότητες που ονομάζονται 1xxx είναι εμπορεύσιμες καθαρές ποιότητες χωρίς να υπάρχει σημαντική περιεκτικότητα άλλων υλικών στο κράμα. Οι βαθμοί που ονομάζονται 3xxx έχουν το μαγγάνιο ως το κύριο στοιχείο κράματος. Οι ποιότητες 1xxx και 3xxx είναι μαλακές ποιότητες που δεν μπορούν να υποστούν θερμική επεξεργασία και έχουν παρόμοια χαρακτηριστικά μηχανικής κατεργασίας. Παρουσιάζουν λίγα προβλήματα όσον αφορά την διάρκεια ζωής του εργαλείου, αλλά υπόκεινται σε προβλήματα ελέγχου του αποβλήτου, ψευδοκοπή λόγω συσσώρευσης υλικού, φινιρίσματος και ακεραιότητας επιφάνειας, όπως συζητείται παρακάτω. Οι βαθμοί που ορίζονται ως 2xxx έχουν τον χαλκό ως το κύριο στοιχείο κράματος, αν και μπορεί να προσδιορίζονται και άλλα στοιχεία (π.χ. μαγνήσιο). Ο χαλκός σχηματίζει σκληρά σωματίδια στη μήτρα που αυξάνουν τη φθορά του εργαλείου με αποτέλεσμα να πρέπει να χρησιμοποιείται η κατάλληλη σκλήρυνση για να διασφαλιστεί ότι ο χαλκός συμμετέχει αποτελεσματικά. Τα κράματα 2xxx έχουν γενικά τη βέλτιστη μηχανική κατεργασία των σφυρήλατων κραμάτων αλουμινίου. Το 2011, που περιέχει βισμούθιο και μόλυβδο, και το 2024 είναι κοινές ελεύθερες ποιότητες μηχανικής κατεργασίας που αποδίδουν εξαιρετική διάρκεια ζωής του εργαλείου και χαρακτηριστικά αποβλήτου σε εφαρμογές τórνευσης και διάτρησης. Οι βαθμοί που ονομάζονται 5xxx έχουν το μαγνήσιο ως το βασικό στοιχείο κράματος. Αυτά είναι μαλακά κράματα που γενικά είναι σχεδόν το ίδιο εύκολα στην κατεργασία με αυτά που ο βαθμός τους είναι της μορφής 2xxx. Οι βαθμοί που ξεκινούμε 7xxx έχουν ψευδάργυρο ως κύριο στοιχείο κράματος, αλλά μπορεί επίσης να περιέχουν συγκεκριμένα επίπεδα χαλκού, μαγνησίου, χρωμίου και ζirkονίου. Αυτές είναι επίσης μαλακές ποιότητες που γενικά επεξεργάζονται εύκολα, αν και παράγουν συνεχή απόβλητα που μπορεί να παρουσιάσουν προβλήματα απόρριψης σε υψηλές ταχύτητες κοπής.

Το πυρίτιο και το μαγνήσιο είναι το κύριο στοιχείο κράματος σε ποιότητες που χαρακτηρίζονται ως 6xxx. Αυτές οι ποιότητες είναι δύσκολο να επεξεργαστούν επειδή το μαγνήσιο και το πυρίτιο

είναι συνδεδεμένα με σκληρά σωματίδια πυριτίου του μαγνησίου ( $Mg_2Si$ ). Το 6262 είναι το πιο εύκολο υλικό αυτής της σειράς για μηχανική επεξεργασία, επειδή περιέχει βισμούθιο που προστίθεται ειδικά για τη βελτίωση της ικανότητας επεξεργασίας. Ένας συνηθισμένος βαθμός σε αυτή τη σειρά είναι ο 6061, που χρησιμοποιείται για εφαρμογές συγκόλλησης και ανθεκτικές στη διάβρωση. Είναι σχετικά κακός αγωγός θερμότητας και πρέπει να κοπεί σε ταχύτητες χαμηλότερες από αυτές που χρησιμοποιούνται για το 2024 για να αποφευχθεί η τήξη του αποβλήτου και το επακόλουθο φινίρισμα της επιφάνειας καθώς και προβλήματα ακρίβειας διαστάσεων.

Οι βαθμοί που ξεκινούν με 4xxx έχουν πυρίτιο ως το βασικό στοιχείο κράματος. Αυτές είναι οι ποιότητες, οι οποίες χρησιμοποιούνται κυρίως σε σφυρηλάτηση και στη συγκόλληση και χαλκοσυγκόλληση, είναι γενικά οι πιο δύσκολες στη μηχανική επεξεργασία επειδή περιέχουν ελεύθερο πυρίτιο. Οι ποιότητες 8xxx περιλαμβάνουν κράματα λιθίου και αφορά διάφορες ποιότητες με συνήθως ενδιάμεση διάρκεια ζωής του εργαλείου.

Όπως σημειώθηκε παραπάνω, εκτός από τη διάρκεια ζωής του εργαλείου, στις κύριες ανησυχίες στη μηχανική κατεργασία αλουμινίου είναι ο έλεγχος των αποβλήτων, το φινίρισμα και η ακεραιότητα της επιφάνειας. Ο έλεγχος αποβλήτου είναι μια ιδιαίτερη ανησυχία στη διάτρηση και στη τόννευση σε υψηλές ταχύτητες κοπής.

Τρυπάνια με υψηλές γωνίες έλικας και σχέδια ανοιχτού (παραβολικού) αυλού είναι τα καλύτερα για κράματα αλουμινίου, επειδή ελαχιστοποιούν την απόφραξη και τη παραμονή του αποβλήτου.

Το γυάλισμα των αυλών προς την κατεύθυνση της ροής του αποβλήτου είναι αποτελεσματικό για την πρόληψη αυτών των προβλημάτων, όπως και η χρήση ψυκτικού μέσου μέσα από το εργαλείο. Κατά την τόννευση, προβλήματα ελέγχου αποβλήτου και προσκόλλησης στην επιφάνεια, παρουσιάζονται για κράματα που σχηματίζουν συνεχή απόβλητα, όπως η σειρά σφυρήλατων κραμάτων 7xxx. Άλλα κράματα, ιδίως τα περισσότερα χυτά κράματα και σφυρήλατα κράματα της σειράς 2xxx, σχηματίζουν γενικά κοντά, τμηματικά απόβλητα που απορρίπτονται πιο εύκολα. Ακόμη και για αυτά τα κράματα συνήθως απαιτείται ψυκτικό υγρό για έλεγχο του αποβλήτου σε υψηλότερες ταχύτητες κοπής. Προβλήματα φινιρίσματος επιφανειών παρουσιάζονται κατά την κατεργασία μαλακών κραμάτων όπως το 3190 και τα σφυρήλατα κράματα της σειράς 1xxx και 3xxx. Για αυτούς τους βαθμούς, προσκόλληση στην επιφάνεια μπορεί να σχηματιστεί στην κοπτική άκμη και το ίδιο το υλικό μπορεί να σχιστεί αντί να σχηματίσει ένα απόβλητο, δημιουργώντας και ανομοιόμορφη ή τραχιά κατεργασμένη επιφάνεια. Αυτά τα προβλήματα είναι πιο συνήθη για εργαλεία καρβίδιου παρά για τα εργαλεία πολυκρυσταλικών διαμαντιών (PCD). Η πιο κοινή προσέγγιση για την ελαχιστοποίηση αυτών των προβλημάτων είναι η αύξηση της ταχύτητας κοπής, υπό την προϋπόθεση ότι αυτό δεν έχει ως αποτέλεσμα δυσκολίες στον έλεγχο αποβλήτων. Άλλες αποτελεσματικές στρατηγικές περιλαμβάνουν τη χρήση ψυκτικού υγρού, και αιχμηρά χωρίς επίστρωση εργαλεία με υψηλές θετικές γωνίες κλίσης και γυαλισμένες επιφάνειες αποβλήτου.

### 2.3 Metal Matrix Composites- σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας

Τα σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας (MMC's) είναι μέταλλα ενισχυμένα με σωματίδια, ίνες ή «μουςτάκια» από σκληρότερα υλικά. Στις περισσότερες περιπτώσεις, η μεταλλική μήτρα είναι ένα κράμα αλουμινίου, αν και διατίθενται επίσης MMC από χάλυβα, μαγνήσιο και τιτάνιο. Κοινά ενισχυτικά υλικά περιλαμβάνουν το βόριο, το καρβίδιο του πυριτίου (SiC), το οξείδιο του αργιλίου, τον γραφίτη, το βολφράμιο και διάφορες τεχνητές ίνες όπως το KAOWOOL ή το SAFFIL. Γενικά, τα MMC είναι πιο δύσκολο να κατεργαστούν από το μη ενισχυμένο υλικό βάσης λόγω της αυξημένης λειαντικής τους ικανότητας. Στην περίπτωση σύνθετων υλικών ενισχυμένων με μουςτάκια και ινών, η αποκόλληση των ινών από τη μήτρα κατά τη μηχανική κατεργασία μπορεί επίσης να δημιουργήσει πρόσθετες ανησυχίες.

Τα κοινά ενισχυτικά υλικά περιλαμβάνουν το βόριο, το καρβίδιο του πυριτίου (SiC), το οξείδιο του αργιλίου, τον γραφίτη, το βολφράμιο και διάφορες ίνες όπως το κεραμικό κάλυμα (KAOWOOL). Γενικά, τα MMC είναι πιο δύσκολο να κατεργαστούν από το μη ενισχυμένο υλικό βάσης λόγω της αυξημένης λειαντικής τους ικανότητας. Στην περίπτωση σύνθετων υλικών ενισχυμένων με ίνες, η αποκόλληση των ινών από τη μήτρα κατά τη μηχανική κατεργασία μπορεί επίσης να δημιουργήσει επιπλέον ανησυχίες.

Τα MMC από αλουμίνιο ενισχυμένα με βόριο και SiC κατασκευάζονται με πρακτικές παρόμοιες με εκείνες που χρησιμοποιούνται για κράματα αλουμινίου-πυριτίου από χυτό υπερευνητικό (π.χ. αλουμίνιο 390). Λόγω της λειαντικής φύσης αυτών των υλικών, απαιτούνται συνήθως εργαλεία PCD, με μύτη με διαμάντι [6062] ή επικαλυμμένα με διαμάντια CVD εργαλεία. Συνήθως αυτά τα εργαλεία παρέχουν κοντινές ανοχές, εξαιρετικό φινίρισμα και ακεραιότητα επιφάνειας όταν ακολουθούνται οι συμβατικές πρακτικές κατεργασίας αλουμινίου με μικρές τροποποιήσεις.

Η διάρκεια ζωής του εργαλείου μειώνεται λόγω της αυξημένης λειαντικής φθοράς και του θρυμματισμού του εργαλείου. Ο σχηματισμός ψευδοκοπής (BUE) είναι επίσης ένα πρόβλημα με ορισμένα βασικά υλικά μήτρας (π.χ. αλουμίνιο 6061). Τα MMC αλουμινίου που είναι ενισχυμένα με ίνες διαφορετικές από το καρβίδιο του πυριτίου (SiC) μπορούν γενικά να κατεργάζονται με τórνευση και φρέζαρισμα χρησιμοποιώντας τυπικές πρακτικές κατεργασίας αλουμινίου με ικανοποιητικά αποτελέσματα. Στις περισσότερες περιπτώσεις επιτυγχάνεται μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του εργαλείου με αυτά τα υλικά απ' ό,τι με τα MMC ενισχυμένα με SiC, επειδή οι ίνες είναι λιγότερο λειαντικές από το SiC.

Τα MMC από αλουμίνιο που είναι ενισχυμένα με αλουμίνα είναι πιο δύσκολο να κατεργαστούν από τα ενισχυμένα με SiC υλικά. Έχουν δημοσιευθεί σχετικά λίγα δεδομένα με τη μηχανική κατεργασία αυτών των υλικών. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το καρβίδιο και όχι τα εργαλεία PCD μπορεί να παρέχουν καλύτερη διάρκεια ζωής του εργαλείου λόγω της αυξημένης σκληρότητάς του και της μειωμένης τάσης για θρυμματισμό.

Οι εργασίες κατασκευής οπών όπως διάτρηση, σπείρωμα και τρύπημα είναι συνήθως οι πιο κρίσιμες εργασίες κοπής με σύνθετα υλικά. Η τροφοδοσία είναι η πιο σημαντική παράμετρος που επηρεάζει τη διάρκεια ζωής του τρυπανιού και τις δυνάμεις του εργαλείου. Η αύξηση της τροφοδοσίας θα οδηγήσει σε αύξηση των δυνάμεων του εργαλείου και σημαντική βελτίωση στη διάρκεια ζωής του εργαλείου. Οι τροφοδοσίες πρέπει γενικά να είναι μεγαλύτερες από 0,10 mm/στροφές για να επιτευχθεί αποδεκτή διάρκεια ζωής του εργαλείου. Για την δημιουργία

οπών θα πρέπει να χρησιμοποιείται ψυκτικό υγρό υψηλής πίεσης/υψηλού όγκου για την απομάκρυνση σωματιδίων SiC.

Η αποκόλληση υλικών ενισχυμένων με ίνες αποτελεί ιδιαίτερη ανησυχία κατά την διάτρηση, ειδικά για τις διαμπερείς οπές. Αν και η τάση αποκόλλησης είναι σε μεγάλο βαθμό μια ιδιότητα του υλικού, ανάλογα με την αντοχή του δεσμού μεταξύ της μήτρας και της ενισχυτικής ίνας, η αποκόλληση μπορεί να αποφευχθεί χρησιμοποιώντας αιχμηρά τρυπάνια με υψηλές γωνίες έλικας. Για πιο λειαντικά υλικά αυτό περιορίζει σημαντικά τη διάρκεια ζωής του εργαλείου που μπορεί να επιτευχθεί με τα συμβατικά τρυπάνια ταχυχάλυβα (HSS).

Τα MMC μαγνησίου κατασκευάζονται με εφαρμογές παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται για τα MMC αλουμινίου. Τα MMC τιτανίου είναι πιο δύσκολο να κατεργαστούν από τα MMC από αλουμίνιο και συχνά κατασκευάζονται με λείζερ ή άλλες μη παραδοσιακές μεθόδους, αντί για τις συμβατικές διαδικασίες κοπής μετάλλων που σχηματίζουν απόβλητο.

Τα χαλύβδινα MMC τυπικά αποτελούνται από περίπου 25 έως 45% κατά όγκο εξαιρετικά σκληρούς κόκκους καρβιδίου του τιτανίου διασκορπισμένους σε μια μήτρα χάλυβα. Τα εργαλεία υψηλής περιεκτικότητας σε χρώμιο και υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα είναι πιο δύσκολο να κατεργαστούν τα υλικά με βάση το χάλυβα. Τα χαλύβδινα εξαρτήματα MMC επεξεργάζονται πιο εύκολα με μηχανική κατεργασία στο επιθυμητό σχήμα σε ανόπτηση (σκληρότητα 4450 Rc) χρησιμοποιώντας εργαλεία κοπής και συνθήκες παρόμοιες με αυτές που χρησιμοποιούνται για το βασικό υλικό με παρόμοια σκληρότητα. Μετά από αυτό, τα μέρη υποβάλλονται σε θερμική επεξεργασία και σκληρύνονται στους 6570 Rc. Οι κρίσιμες διαστάσεις στη συνέχεια υπολογίζονται σε αυτά τα σημεία.

## **2.4 Κράματα χαλκού**

Ο χαλκός και τα κράματά του, οι ορείχαλκοι και οι μπρούντζοι, στις περισσότερες περιπτώσεις είναι εύκολα κατεργάσιμα, αν και υπάρχουν αξιοσημείωτες εξαιρέσεις. Συνήθως έχουν σημεία τήξης χαμηλότερα από 1050 °C. Οι θερμοκρασίες αυτού του μεγέθους είναι επαρκείς για να μαλακώσουν πολλούς τύπους εργαλείων, αλλά σπάνια συμβαίνει στο σημείο κοπής του εργαλείου λόγω της υψηλής θερμικής αγωγιμότητας αυτών των υλικών και του γεγονότος ότι κόβονται συχνά σε χαμηλότερες ταχύτητες κοπής. Οι ορείχαλκοι, για παράδειγμα, συχνά κατεργάζονται σε μορφή σύρματος ή ράβδου σε αυτόματες μηχανές με βίδες (π.χ. στην κατασκευή ηλεκτρικών εξαρτημάτων ή εξαρτημάτων υδραυλικών γραμμών). Η μικρή διάμετρος που έχουν αυτές οι μηχανές περιορίζει τη μέγιστη δυνατή ταχύτητα κοπής. Συνήθως κατασκευάζονται με χρήση εργαλείων HSS ή καρβιδίου. Κοπτικά εργαλεία PCD θα μπορούσαν να χρησιμοποιηθούν για τη μηχανική κατεργασία πολλών κραμάτων χαλκού, όμως φαίνεται ότι δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ευρέως στην πράξη.

Ο καθαρός χαλκός και ο ορείχαλκος κατασκευάζονται συνήθως σε σφυρίλατη μορφή ή ράβδου. Ο καθαρός χαλκός είναι ένα δύσκολο υλικό στη μηχανική επεξεργασία επειδή είναι εξαιρετικά όλκιμο. Επιπλέον παράγει υψηλές δυνάμεις κοπής, ειδικά σε χαμηλές ταχύτητες κοπής, οι οποίες μπορεί να οδηγήσουν σε υπερβολική παραμόρφωση, κραδασμούς και θραύση εργαλείων, ειδικά τρυπανιών. Η υψηλή όλκιμότητα του οδηγεί σε δυσκολίες στο σπάσιμο των αποβλήτων και σε σχηματισμό μεγάλων γρεζιών. Επίσης σε χαμηλές ταχύτητες κοπής αποδίδει κακή μηχανική επεξεργασία. Ο καθαρός χαλκός πρέπει να κόβεται σε σχετικά υψηλές ταχύτητες κοπής (μεγαλύτερες από 200 m/min) χρησιμοποιώντας αιχμηρά εργαλεία. Η



μηχανική ικανότητα κατεργασίας του χαλκού βελτιώνεται με την ψυχρή εργασία, καθώς αυτό μειώνει την ολκιμότητα. Κράματα ηλεκτραγωγών ποιοτήτων με θείο ή τελλούριο εφαρμόζονται ώστε να σχηματιστούν οι ελεύθερες ποιότητες κοπής που βελτιώνουν επίσης τα χαρακτηριστικά θραύσης του αποβλήτου και την ικανότητα μηχανικής επεξεργασίας.

Το κράμα χαλκού με ψευδάργυρο και ο σχηματισμός ορείχαλκου βελτιώνει σημαντικά τη μηχανική του ικανότητα. Οι δυνάμεις του εργαλείου μειώνονται για ορείχαλκο 70/30 (κράματα τύπου μιας φάσης ή α) και ειδικά 60/40 (δύο φάσεων ή α-β) ορείχαλκο. (Τα Άλφα κράματα είναι μη θερμικά επεξεργάσιμα και πολύ συγκολλησιμα. Τα κράματα άλφα+βήτα έχουν συνθέσεις μείγματος α και β φάσεων και μπορεί να περιέχουν μεταξύ 10% και 50% βήτα φάση σε θερμοκρασία δωματίου.)

Ο α-ορείχαλκος αποδίδει ασυνεχή απόβλητο και κακό φινίρισμα επιφάνειας σε χαμηλές ταχύτητες κοπής. Άλλοι τύποι ορείχαλκου (π.χ. κόκκινος και ορείχαλκος φυσιγγίων) παράγουν συνεχόμενα απόβλητα που σπάνε ευκολότερα από αυτά που παράγονται με καθαρό χαλκό, αλλά μπορεί να παρουσιάζουν προβλήματα απόρριψης. Το σπάσιμο του τσιπ βελτιώνεται με την προσθήκη μολύβδου, το οποίο διαμοιράζεται σε μαλακά εγκλείσματα που παρέχουν λίπανση και αδύναμα σημεία στο Απόβλητο. Οι ορείχαλκοι κατεργασίας χωρίς μόλυβδο, που γενικά περιέχουν 2 έως 3 τοις εκατό μόλυβδο κατά βάρος, θεωρούνται ως εύκολα κατεργάσιμα υλικά. Χρησιμοποιούνται ειδικά στην τόννευση σε ταχύτητες κοπής έως και 300 m/min., αν και μπορούν να επιτευχθούν, σε υψηλότερες ταχύτητες, με κοπτικά καρβιδίου μεγαλύτερης διαμέτρου.

Τα κράματα χυτού χαλκού χρησιμοποιούνται συνήθως για εξαρτήματα, ρουλεμάν και δακτυλίδες. Από την άποψη της μηχανικής ικανότητας, αυτά τα κράματα μπορούν να χωριστούν σε τρεις ομάδες. Η πρώτη ομάδα περιλαμβάνει μονοφασικά κράματα πλούσια σε χαλκό αλλά περιέχουν μόλυβδο. Όπως και με τον ορείχαλκο ελεύθερης κατεργασίας με μόλυβδο, αυτοί κατεργάζονται εύκολα επειδή περιέχουν σωματίδια μολύβδου που διευκολύνουν το σπάσιμο των αποβλήτων. Η δεύτερη ομάδα περιλαμβάνει βαθμούς με δύο ή περισσότερες φάσεις, στις οποίες οι δευτερεύουσες φάσεις είναι πιο σκληρές ή πιο εύθραυστες από τη μήτρα. Τα υλικά αυτής της ομάδας περιλαμβάνουν πολλούς μπρούτζους αλουμινίου, μπρούτζους από πυρίτιο και μπρούτζους υψηλής περιεκτικότητας κασσίτερου. Οι εύθραυστες φάσεις βελτιώνουν τη δυνατότητα θραύσης των αποβλήτων, έτσι ώστε αυτά τα υλικά γενικά να παράγουν μικρά απόβλητα. Ωστόσο, οι σκληρές φάσεις αυξάνουν επίσης τη φθορά του εργαλείου, με αποτέλεσμα η μηχανική ικανότητα αυτών των βαθμών να ταξινομείται ως μέτρια. Η τρίτη ομάδα περιλαμβάνει μπρούτζους μαγγανίου υψηλής αντοχής και μπρούτζους αλουμινίου με υψηλή περιεκτικότητα σε σίδηρο ή νικέλιο. Αυτά τα υλικά είναι δύσκολο να επεξεργαστούν γιατί παράγουν συνεχή απόβλητα και περιέχουν σκληρές φάσεις που αυξάνουν τη φθορά του εργαλείου.

## 2.5 Σίδηρος

Ο σίδηρος κατασκευάζεται συνήθως σε χυτή μορφή και χρησιμοποιείται εκτενώς στην κατασκευή κινητήρων εσωτερικής καύσης και δομών εργαλειομηχανών. Τρεις βασικοί τύποι χυτοσίδηρου είναι σε ευρεία χρήση: ο γκρίζος σίδηρος, ο ελατός ή μαλακός σίδηρος και ο οζώδης ή όλκιμος σίδηρος. Ο γκρίζος χυτοσίδηρος [6568] αποτελείται κυρίως από περλίτη (συνήθως το 85% της μήτρας) και φερρίτη, αν και υπάρχουν επίσης φερριτικές ποιότητες



καθώς και οι περισσότερες ποιότητες περιέχουν κάποιο στεαδίτη ή ωστενίτη. Περιέχει 3%-5% γραφίτη σε νιφάδες ή ελασματοειδή μορφή. Ο Γραφίτης σε μορφή νιφάδας μειώνει την ολκιμότητα, διευκολύνει το σπάσιμο των αποβλήτων και δρα ως φυσικό εσωτερικό λιπαντικό. Ο γκριζος σίδηρος παράγει σχετικά μικρές δυνάμεις κοπής για τη σκληρότητά του και σχηματίζει κοντά, εύκολα σπασμένα Απόβλιττα. Η μικρή ολκιμότητα του μειώνει επίσης το μήκος επαφής εργαλείου-αποβλίτου και περιορίζει τις μέγιστες θερμοκρασίες κοπής. Για αυτούς τους λόγους συνήθως ταξινομείται ως υλικό που μπορεί να επεξεργαστεί εύκολα. Χρησιμοποιείται εκτενώς για μπλοκ κινητήρα και κεφαλές και άλλα εξαρτήματα αυτοκινήτου λόγω της καλής μηχανικής ικανότητας, του χαμηλού κόστους και της υψηλής εσωτερικής απόσβεσης.

Τα χυτά από γκριζο σίδηρο χρησιμοποιούνται συχνά σε εφαρμογές μαζικής παραγωγής. Για μια σταθερή χημεία σιδήρου, η διάρκεια ζωής του εργαλείου σε αυτές τις εφαρμογές συσχετίζεται έντονα με τη σκληρότητα χύτευσης, η οποία εξαρτάται από τον ρυθμό ψύξης και τη μεταλλουργική κατάσταση. Η σκληρότητα χύτευσης αυξάνεται καθώς αυξάνεται ο ρυθμός ψύξης. Γενικά, οι διαδικασίες κατεργασίας σε τέτοιες εφαρμογές έχουν σχεδιαστεί για να παρέχουν αποδεκτή διάρκεια ζωής του εργαλείου για μια σειρά τιμών σκληρότητας χύτευσης. Εάν μειωθούν οι χρόνοι ανακίνησης, με αποτέλεσμα πιο γρήγορη ψύξη, ενδέχεται να δημιουργηθούν προϊόντα χύτευσης με τιμές σκληρότητας που υπερβαίνουν το καθορισμένο όριο. Όταν συμβαίνει αυτό, η εφαρμογή του χυτηρίου πρέπει να τροποποιηθεί ώστε να μειωθεί η επερχόμενη σκληρότητα ή οι διαδικασίες κατεργασίας πρέπει να επανασχεδιαστούν (π.χ. με μείωση των ταχυτήτων κοπής ή των ρυθμών τροφοδοσίας) για να έχουμε μια αποδεκτή διάρκεια ζωής του εργαλείου με σκληρότερο σίδηρο. Η επιθεώρηση των εισερχόμενων χυτών για να διασφαλιστεί ότι η σκληρότητά τους είναι εντός ενός αποδεκτού εύρους μπορεί να βοηθήσει στη μείωση των διακοπόμενων προβλημάτων ζωής του εργαλείου που προκαλούνται από σκληρά χυτά. Η σκληρότητα και η μορφή γραφίτη (εξαγωνική κρυσταλλική δομή) εξαρτώνται επίσης από τη μεταλλουργική κατάσταση. Με την βοήθεια της ανόπτησης των χυτών πριν από τη μηχανική κατεργασία αυξάνεται σημαντικά η διάρκεια ζωής του εργαλείου και η δυνατότητα επεξεργασίας.

Άλλα προβλήματα μηχανικής κατεργασίας που αντιμετωπίζονται με το γκριζο σίδηρο μπορούν συχνά να οφείλονται σε μία από τις δύο αιτίες: σκληρά εγκλείσματα που σχηματίζονται κατά τη στερεοποίηση και άμμος που προσκολλάται ή παρασύρεται στο χυτό στρώμα. Αυτά τα φαινόμενα συνήθως προκύπτουν από κακή σχεδίαση ή μη ελεγχόμενη διαδικασία χύτευσης και εξαλείφονται καλύτερα μέσω αλλαγών στις πρακτικές χυτηρίου. Τα σκληρά εγκλείσματα περιλαμβάνουν φάσεις καρβιδίου του σιδήρου και εγκλείσματα μαρτενσίτη. Και τα δύο προκαλούνται συνήθως από υπερβολικά γρήγορη ψύξη ή ψύξη του χυτηρίου, που είναι ένα σύνηθες πρόβλημα στις γωνίες ή σε λεπτά τμήματα των χυτών, και από τον διαχωρισμό κατά τη στερεοποίηση. Τα σκληρά εγκλείσματα αυξάνουν τα ποσοστά φθοράς του λειαντικού και μπορεί επίσης να συμβάλουν στο θρυμματισμό ή τη θραύση του εργαλείου. Η βέλτιστη λύση είναι να εξαλειφθούν στο χυτήριο επανασχεδιάζοντας τη διαδικασία χύτευσης έτσι ώστε όλα τα τμήματα της χύτευσης να κρυσταλλώνουν με τον ίδιο ρυθμό. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί με την αλλαγή των πρακτικών ανακίνησης, τον επανασχεδιασμό των χυτών για την εξάλειψη των λεπτών τμημάτων και (σπανιότερα) με την προσθήκη στοιχείων του κράματος στο σίδηρο. Η προσκόλληση ή η μεταφερόμενη άμμος του καλουπιού ή σκωρία στην επιφάνεια του χυτού είναι ένα εγγενές πρόβλημα στην χύτευση σε άμμο. Η προσκόλληση της άμμου μπορεί να εξαλειφθεί με τον κατάλληλο καθαρισμό των χυτών, κυρίως με αμμοβολή. Η εξάλειψη της παρασυρόμενης άμμου απαιτεί αλλαγή του υλικού συγκράτησης στην άμμο. Όπως σημειώθηκε

παραπάνω, αυτά τα προβλήματα αντιμετωπίζονται καλύτερα στο χυτήριο. Μια λιγότερο κοινή πηγή προβλημάτων μηχανικής κατεργασίας είναι η διόγκωση του χυτηρίου ή η παραμόρφωση χύτευσης. Η ποσότητα του υλικού που έχει συγκρατηθεί λόγω προηγούμενης κατεργασίας και πρέπει να αφαιρεθεί κατά το ξεχόνδρισμα μπορεί να είναι πέρα από τις δυνατότητες της διεργασίας στην περίπτωση που υπάρχουν υπερβολικά παραμορφωμένα χυτά. Όπως και με άλλα ελαττώματα, η διόγκωση ή η παραμόρφωση χύτευσης θα πρέπει να επιλυθεί στο χυτήριο με επανασχεδιασμό της διαδικασίας στερεοποίησης και με προσεκτική επιθεώρηση των τελικών χυτών.

Τα στοιχεία κράματος έχουν επιρροή στην ικανότητα επεξεργασίας του γκριζου σιδήρου, αν και η επίδρασή τους είναι συνήθως λιγότερο έντονη από αυτή της σκληρότητας που αποκτούν λόγω της χύτευσης. Η προσθήκη χαλκού ή κασσίτερου στο σίδηρο συνήθως βελτιώνει τη δομή του περλίτη και μειώνει τον σχηματισμό καρβιδίου, με αποτέλεσμα την αύξηση της ικανότητας επεξεργασίας. Η προσθήκη χρωμίου ή νικελίου στα προϊόντα χύτευσης για να αυξηθεί η αντίσταση στη φθορά στην τριβή (π.χ. στους κυλίνδρους των μπλοκ κινητήρα) αυξάνει τη σκληρότητα της χύτευσης και τη φθορά του εργαλείου λείανσης. Η προσθήκη φωσφόρου σε συγκεντρώσεις περίπου 0,15% έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό στεαδίτη, ο οποίος αυξάνει τα ποσοστά φθοράς του λειαντικού και μειώνει τη δυνατότητα επεξεργασίας. Ο γκριζος σίδηρος είναι ένα διαβόητα βρώμικο υλικό για τη μηχανική επεξεργασία. Η κατεργασία σιδήρου σε υψηλές ταχύτητες σε εφαρμογές μαζικής παραγωγής μπορεί να οδηγήσει σε συσσώρευση σκόνης, που αποτελείται κυρίως από γραφίτη, στο σύστημα μηχανικής κατεργασίας. Η προσθήκη φωσφόρου σε συγκεντρώσεις περίπου 0,15% έχει ως αποτέλεσμα το σχηματισμό στεαδίτη, ο οποίος αυξάνει τα ποσοστά φθοράς του λειαντικού εργαλείου και μειώνει τη δυνατότητα επεξεργασίας. Η σκόνη γραφίτη έχει αρνητικό αντίκτυπο στη διάρκεια ζωής του μηχανήματος και σε ορισμένες περιπτώσεις η σκόνη μπορεί να περιέχει σωματίδια κραμάτων όπως το χρώμιο που αντιδρούν με το υγρό κοπής με αποτέλεσμα να σχηματίζουν λειαντικά οξειδία που επιταχύνουν τη φθορά των ρουλεμάν. Ο συχνός καθαρισμός των μηχανημάτων και η χρήση ψυκτικών μέσων (όταν το επιτρέπει το υλικό του εργαλείου) για τη μείωση της διασποράς της σκόνης είναι αποτελεσματικά στη μείωση των αστοχιών του μηχανήματος λόγω αυτού. Η ικανότητα μηχανικής κατεργασίας των περλιτικών γκρι σιδηρών βελτιώνεται καθώς η δομή του περλίτη γίνεται λεπτότερη, αν και τα στοιχεία κράματος που προστίθενται για την βελτιστοποίηση του περλίτη μπορεί να λειτουργούν αντίθετα από αυτό το αποτέλεσμα. Τα φερριτικά γκρι σίδηρα είναι γενικά πιο μαλακά και κατεργάζονται πιο εύκολα από τα περλιτικά σίδηρα, αν και μπορεί να υπόκεινται σε σχηματισμό ακμών. Οι φάσεις στεαδίτη και ωστενίτη αυξάνουν τη σκληρότητα και έχουν ως αποτέλεσμα αυξημένη λειαντική φθορά και μείωση της ικανότητας επεξεργασίας.

Ο γκριζος σίδηρος μπορεί να κατεργαστεί με τη χρήση, επικαλυμμένων ή μη επικαλυμμένων, κεραμικών καρβιδίου, αλουμίνας και νιτρίδιου του πυριτίου ή εργαλείων PCBN (Πολυκρυσταλλικό κυβικό νιτρίδιο του βορίου) [6971]. Μπορεί επίσης να φινιριστεί σε τórνευση με κεραμέα(κεραμέας είναι ένα σύνθετο υλικό από κεραμικά και μεταλλικά υλικά). Τα επικαλυμμένα καρβίδια μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τórνευση και φρεζάρισμα σε ταχύτητες έως 150 m/min. Τα ψυκτικά χρησιμοποιούνται συνήθως με εργαλεία καρβιδίου για τη μείωση της διασποράς της σκόνης. Η διάρκεια ζωής του εργαλείου της τάξης των 1000 ή 2000 εξαρτημάτων μπορεί να επιτευχθεί με εργαλεία καρβιδίου. Τα εργαλεία νιτρίδιου του πυριτίου χρησιμοποιούνται σε τórνευση, φρεζάρισμα και διάτρηση σε ταχύτητες μεταξύ 800 και 1300 m/min. Τα εργαλεία νιτρίδιου του πυριτίου χρησιμοποιούνται χωρίς ψυκτικά για την πρόληψη αστοχιών του εργαλείου λόγω θερμικού σοκ. Τα κοπτικά λοξοτομημένης ακμής

χρησιμοποιούνται συνήθως για την αποφυγή θρυμματισμού του εργαλείου, ειδικά σε διακοπτόμενες λειτουργίες. Η διάρκεια ζωής του εργαλείου μεταξύ 2000 και 10000 εξαρτημάτων μπορεί να επιτευχθεί με εργαλεία νιτριδίου του πυριτίου. Τα βάθη κοπής πρέπει να είναι μεγαλύτερα από το πάχος της χυτής στρώσης. Όταν αυτό δεν είναι δυνατό, θα πρέπει να χρησιμοποιούνται κεραμικά εργαλεία με βάση την αλουμίνα για ενισχυμένη αντοχή στη φθορά. Τα εργαλεία PCBN χρησιμοποιούνται ειδικά στο φρεζάρισμα και στο φινίρισμα σε ταχύτητες παρόμοιες με εκείνες του νιτριδίου του πυριτίου. Συχνά χρησιμοποιούνται ψυκτικά για την πρόληψη της διασποράς της σκόνης και της θερμικής διαστολής του τεμαχίου εργασίας, αλλά δεν απαιτούνται για βελτίωση της διάρκειας ζωής του εργαλείου. Η διάρκεια ζωής του εργαλείου άνω των 10000 εξαρτημάτων (συχνά έως και 50000 εξαρτημάτων) μπορεί να επιτευχθεί με εργαλεία PCBN. Αρνητικές γωνίες αποβλιπτου χρησιμοποιούνται για εργασίες τόννευσης, διάτρησης και φρεζαρίσματος με εργαλεία από αυτά τα υλικά. Στο γκρίζο σίδηρο μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τρύπες, τρυπάνια HSS, HSS-Co ή καρβιδίου. Για τρυπάνια ταχυχάλυβα HSS, η ταχύτητα κοπής διατηρείται συνήθως κάτω από 25 m/min για να εξασφαλίζεται επαρκής διάρκεια ζωής του εργαλείου (>1000 μέρη). Τρυπάνια μικρόκοκκων καρβιδίου με ψυκτικό μέσω στο εργαλείο μπορούν να εξασφαλίσουν διάρκειας ζωής του τρυπανιού (συχνά περισσότερα από 30000 εξαρτήματα με ταχύτητα κοπής 80 m/min) και την ποιότητα της διάνοιξης οπών [7274]. Τρυπάνια τύπου PCBN και νιτριδίου του πυριτίου έχουν χρησιμοποιηθεί περιστασιακά σε υψηλότερες ταχύτητες κοπής.

Ο μαλακτός χυτοσίδηρος, που μερικές φορές ονομάζεται χάλυβας ARMA, είναι πιο όλκιμος από τον γκρίζο σίδηρο και γενικά πιο δύσκολος στη μηχανική επεξεργασία. Παράγει μεγαλύτερο απόβλιπτο και ταυτόχρονα μεγαλύτερο μήκος επαφής εργαλείου-αποβλήτου, καθώς και υψηλότερες θερμοκρασίες κοπής. Παραδοσιακά, έχει υποστεί μηχανική επεξεργασία με επικαλυμμένα εργαλεία καρβιδίου. Συνήθως προτιμάται μια επίστρωση μαύρου οξειδίου επειδή αυξάνει την αντίσταση στην λειαντική φθορά. Μέχρι πρόσφατα, τα εργαλεία νιτριδίου του πυριτίου δεν χρησιμοποιούνταν για μαλακό σίδηρο επειδή οι θερμοκρασίες κοπής υπερβαίνουν τη θερμοκρασία τήξης των συνδετικών υαλώδους φάσης σε αυτά τα εργαλεία. Ωστόσο, οι πρόσφατες επικαλυμμένες ποιότητες νιτριδίου του πυριτίου, που αναπτύχθηκαν, είναι κατάλληλες για την κατεργασία ελατού σιδήρου. Δεν υπάρχουν αρκετές πληροφορίες σχετικά με τη μηχανική κατεργασία του μαλακού σιδήρου στη βιβλιογραφία, αν και οι κατάλογοι εργαλείων παρέχουν ορισμένες πληροφορίες σχετικά με τις κατάλληλες ταχύτητες, τροφοδοσίες και βάθη κοπής για συγκεκριμένες κατηγορίες εργαλείων. Πολλές από τις πληροφορίες που συζητούνται παρακάτω για τον όλκιμο σίδηρο μπορούν να εφαρμοστούν με μια γενική έννοια σε μαλακό σίδηρο.

Στον όλκιμο ή οζώδη σίδηρο, ο γραφίτης έχει μια σφαιρική ή οζώδη, αντί για νιφάδες, δομή. Όπως υποδηλώνει το όνομα, τα οζώδη σίδερα έχουν σημαντική ολκιμότητα (με επιμήκυνση μεταξύ 5 και 15 τοις εκατό). Χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που απαιτούν αντοχή στην κόπωση, π.χ. για στροφαλοφόρους άξονες, εκκεντροφόρους άξονες, καπάκια ρουλεμάν και περιβλήματα συμπλέκτη. Λόγω της αυξημένης ολκιμότητάς τους, τα οζώδη σίδερα παράγουν μεγαλύτερα μήκη επαφής εργαλείου-τσιπ και υψηλότερες θερμοκρασίες κοπής από το γκρίζο σίδηρο. Η οζώδης δομή του γραφίτη αναστέλλει επίσης τη διασπορά του στη διεπαφή εργαλείου-τσιπ και επομένως τη λιπαντική του δράση. Ως αποτέλεσμα, είναι συνήθως πιο δύσκολο να κατεργαστούν από τα γκρίζα σίδερα. Στην πραγματικότητα, ο οζώδης σίδηρος είναι συγκρίσιμος με τον χυτοσίδηρο από την άποψη της μηχανικής ικανότητας. Η μηχανική ικανότητα των οζωδών σιδήρων εξαρτάται από τη μικροδομή, την περιεκτικότητά τους σε κράμα, τη σκληρότητα και την ολκιμότητά τους. Τα οζώδη σίδερα μπορεί να έχουν κυρίως

περλιτική, φερριτική ή ωστεντιτική δομή. Οι περλιτικές δομές είναι κοινές και γενικά καταλήγουν σε ενδιάμεση σκληρότητα και ολκιμότητα.

Η επίδραση των στοιχείων κράματος στη μηχανική κατεργασία του οξώδους σιδήρου είναι παρόμοια με αυτή για τα γκρίζα μεταλλεύματα. Η προσθήκη χαλκού ή κασσίτερου μειώνει τη σκληρότητα και βελτιώνει την περλιτική δομή και οδηγεί σε αύξηση της ικανότητας επεξεργασίας. Η προσθήκη φωσφόρου προάγει το σχηματισμό στεαδίτη και μειώνει τη δυνατότητα επεξεργασίας. Η προσθήκη χρωμίου, νικελίου και μαγγανίου αυξάνει τη φθορά του εργαλείου λείανσης και μειώνει τη δυνατότητα επεξεργασίας.

Η αύξηση είτε της σκληρότητας είτε της ολκιμότητας μειώνει τη μηχανική ικανότητα. Η επίδραση της ολκιμότητας φαίνεται να είναι ισχυρότερη από αυτή της σκληρότητας για δεδομένα εντός των σύνηθων τιμών του πεδίου τιμών αυτών των μεταβλητών. Για παράδειγμα, μια κατηγορία με σκληρότητα Brinell 280 και επιμήκυνση 6 τοις εκατό, είναι συνήθως ευκολότερη στη μηχανική επεξεργασία (αποδίδει μεγαλύτερη διάρκεια ζωής του εργαλείου) από μια βαθμίδα με σκληρότητα Brinell 270 και επιμήκυνση 10 τοις εκατό.

Τα οξώδη σίδερα συνήθως κατεργάζονται με τórνευση ή φρεζάρισμα με εργαλεία καρβιδίου με επικάλυψη ή PCBN. Τα εργαλεία νιτριδίου του πυριτίου δεν χρησιμοποιούνται επειδή οι θερμοκρασίες κοπής υπερβαίνουν τη θερμοκρασία τήξης της συνθετικής φάσης υαλώδους μετάπτωσης του υλικού σε αυτά τα εργαλεία, με αποτέλεσμα τη γρήγορη φθορά του εργαλείου. Σε αντίθεση με το γκρίζο σίδερο, τα εργαλεία με θετική γωνία κοπής μπορούν να χρησιμοποιηθούν με ορισμένα οξώδη σίδερα για τη μείωση των δυνάμεων κοπής και των κραδασμών. Οι επικαλύψεις μαύρου οξειδίου προτιμώνται επειδή αυξάνουν την αντοχή στη φθορά λόγω τριβής. Η διάρκεια ζωής του εργαλείου γενικά αυξάνεται με την εφαρμογή ψυκτικού υγρού, υπό την προϋπόθεση ότι αυτό δεν έχει ως αποτέλεσμα να θρυμματιστεί η επίστρωση λόγω θερμικής διαφοράς. Οι επιτρεπόμενες ταχύτητες κοπής σε τórνευση, φρεζάρισμα και διάτρηση με εργαλεία καρβιδίου είναι συνήθως περίπου οι μισές από αυτές που αναφέρθηκαν παραπάνω για το γκρίζο σίδερο. Οι επιτρεπόμενες ταχύτητες για εργαλεία PCBN, τα οποία χρησιμοποιούνται ειδικά με σκληρότερες ποιότητες, είναι υψηλότερες, αλλά πολύ χαμηλότερες από αυτές που χρησιμοποιούνται για την κοπή του γκρίζου σιδήρου με εργαλεία νιτριδίου του πυριτίου [70,71]. συστάσεις για συγκεκριμένες κατηγορίες εργαλείων είναι διαθέσιμες από κατασκευαστές εργαλείων.

Σε αντίθεση με τα γκρίζα σίδερα, τα οξώδη σίδερα υπόκεινται σε συσσώρευση και προσκόλληση γρέζιων [7678]. Η προσκόλληση υλικού στις πλευρές μπορεί να μειωθεί ή να εξαλειφθεί μειώνοντας τον ρυθμό τροφοδοσίας, χρησιμοποιώντας θετικές γωνίες αποβλήτου, αυξάνοντας τις γωνίες ελευθερίας και χρησιμοποιώντας ψυκτικό υγρό.

Τέλος, ότι αφορά τα ελαττώματα του χυτηρίου όπως η ψύξη, η προσκόλληση άμμου και η διόγκωση στη μηχανική κατεργασία, που δόθηκαν παραπάνω για το γκρίζο σίδηρο, ισχύει επίσης για τον ελατό και οξώδη σίδηρο.

## **2.6 Άνθρακας και χάλυβες χαμηλών στοιχείων κράματος**

Οι χάλυβες ποικίλλουν πολύ ως προς το χημικό περιεχόμενο και τη μικροδομή. Αυτά τα υλικά είναι πιο σκληρά από τον άνθρακα και τον χάλυβα χαμηλού κράματος και γενικά είναι πολύ πιο δύσκολο να επεξεργαστούν. Μια ένδειξη της διάρκειας ζωής του εργαλείου που μπορεί να

αναμένεται για αυτά τα υλικά σε σύγκριση με χάλυβες χαμηλού κράματος παρέχεται από πίνακες δεικτών μηχανικής κατεργασίας. Συστάσεις για την κατεργασία συγκεκριμένων κραμάτων μπορούν να ληφθούν από εξειδικευμένες μελέτες, άρθρα ή από τους κατασκευαστές χάλυβα ή εργαλείων που έχουν εμπειρία με το εν λόγω υλικό.

Η μηχανική ικανότητα του χάλυβα εξαρτάται από τη σκληρότητα, τη χημεία, τη μικροδομή, τη μηχανική κατάσταση και τα χαρακτηριστικά από την εργασία σκλήρυνσης. Όπως συμβαίνει με τα περισσότερα υλικά, η δυνατότητα επεξεργασίας μειώνεται με την αύξηση της σκληρότητας. Η αύξηση της σκληρότητας αυξάνει τις δυνάμεις κοπής, τις θερμοκρασίες και τις τάσεις στο σημείο κοπής του εργαλείου. για εργαλεία HSS και πυροσυσσωματωμένου καρβιδίου, οι υπερβολικές θερμοκρασίες και τάσεις οδηγούν σε πλαστική κατάρρευση της κοπτικής ακμής. Υπάρχουν γραφήματα περιορισμού των ταχυτήτων και ρυθμών τροφοδοσίας για την αποφυγή πλαστικής κατάρρευσης σε καθορισμένα επίπεδα σκληρότητας (Εικ. 11.7). Η μηχανική κατάσταση του υλικού, ιδιαίτερα ο βαθμός προηγούμενης ψυχρής εργασίας, επηρεάζει τις δυνάμεις κοπής και τα χαρακτηριστικά θραύσης αποβλήτων. Οι ανοπτημένοι χάλυβες παράγουν χαμηλότερες δυνάμεις κοπής και θερμοκρασίες, αλλά λόγω της αυξημένης ολκιμότητας παράγονται απόβλητα που είναι πιο δύσκολο να σπάσουν. Τα υλικά που έχουν υποστεί ψυχρή επεξεργασία παράγουν υψηλότερες δυνάμεις αλλά τα απόβλητα που παράγουν σπάνε ευκολότερα. Τα χαρακτηριστικά που αποκτούν από εργασίες σκλήρυνσης επηρεάζουν τις δυνάμεις και τις θερμοκρασίες κοπής. Τα κράματα που σκληραίνουν γρήγορα παράγουν πιο γρήγορη φθορά του εργαλείου, κυρίως φθορά με εγκοπές, σε σχέση με εκείνα που σκληραίνουν πιο αργά.

Οι ανθρακούχοι χάλυβες μπορούν να ταξινομηθούν ως χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (περιέχουν λιγότερο από 0,3 % C, βαθμούς AISI 1005 έως 1029), μεσαίου άνθρακα (που περιέχει μεταξύ 0,3 και 0,6% άνθρακα, ποιότητες AISI 1030 έως 1059) και υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα (περιέχει πάνω από 0,6% C ; βαθμοί AISI 1060-1095). Οι ελασματοποιημένοι χάλυβες χαμηλού άνθρακα αποτελούνται κυρίως από φερρίτη, αν και υπάρχουν και άλλες φάσεις, όπως ο περλίτης. Η περιεκτικότητα σε περλίτη (και η σκληρότητα) αυξάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα. Οι τυλιγμένοι χάλυβες μεσαίου άνθρακα έχουν δομή περλίτη-φερρίτη και είναι κυρίως περλιτικοί όταν η περιεκτικότητα σε άνθρακα υπερβαίνει το 0,4%. Οι ελασματοποιημένοι χάλυβες υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα έχουν περλιτική μήτρα, με σεμεντίτη, το σκληρότερο συστατικό του χάλυβα, που κυριαρχεί για χάλυβες με περιεκτικότητα σε άνθρακα μεγαλύτερη από 0,8%. Γενικά, οι ανθρακούχοι χάλυβες με έλαση γίνονται πιο σκληροί και λιγότερο επεξεργάσιμοι καθώς αυξάνεται η περιεκτικότητα σε άνθρακα. Οι ανθρακούχοι χάλυβες που έχουν υποστεί θερμική επεξεργασία μπορεί να οδηγήσουν στο σχηματισμό φάσεων μπαινίτη ή σκληρυμένου μαρτενσίτη. Παρ'ότι αυτές οι φάσεις είναι πιο σκληρές από τον περλίτη ή τον φερρίτη, μπορούν να βοηθήσουν στο σπάσιμο του αποβλήτου, με έμμεσο αποτέλεσμα η σκλήρυνση να αυξάνει τη δυνατότητα κατεργασίας.

Οι ανθρακούχοι χάλυβες συνήθως κατεργάζονται με επικαλυμμένα εργαλεία καρβιδίου. Οι κατηγορίες καρβιδίου κοπής χάλυβα είναι, εργαλεία επικαλυμμένα με καρβίδιο του τιτανίου (TiC) για μείωση της φθοράς του κρατήρα. Οι επικαλύψεις με βάση το νιτρίδιο του τιτανίου (TiN-χρυσές επικαλύψεις) χρησιμοποιούνται επίσης συχνά για τη μείωση ελαττωμάτων κρατήρα λόγω διάχυσης. Χρησιμοποιούνται συχνότερα εργαλεία αρνητικής γωνίας αποβλήτου και ακονισμένης ακμής. Επιπλέον τα κοπτικά που χρησιμοποιούνται συνήθως στην τόννευση είναι χυτευμένα με θραύστη αποβλήτου. Οι ανθρακούχοι χάλυβες μπορούν επίσης να φινιριστούν

με κεραμέα, να κατεργαστούν σε τórνο και να τρυπηθούν με κεραμικά εργαλεία με βάση την αλουμίνα καθώς και να κατεργαστούν σε εργαλειομηχανές με εργαλεία PCBN. Τα κεραμικά εργαλεία με βάση το νιτρίδιο του πυριτίου δεν χρησιμοποιούνται για τη μηχανική κατεργασία χάλυβα επειδή οι θερμοκρασίες κοπής που παράγονται συνήθως υπερβαίνουν τους 900 °C, και είναι η θερμοκρασία στην οποία λιώνει το συνδετικό υαλώδους φάσης σε τέτοια εργαλεία. Ομοίως, τα εργαλεία PCD δεν χρησιμοποιούνται για χάλυβα επειδή η υψηλή διαλυτότητα του άνθρακα στο σίδηρο οδηγεί σε ταχεία φθορά λόγω διάχυσης. Η διάτρηση, το ξεχόνδρισμα και η σπειροτόμηση ανθρακούχων χαλύβων μπορούν να πραγματοποιηθούν με χρήση εργαλείων HSS, HSS-Co ή καρβιδίου. Τα εργαλεία τórνευσης συχνά επικαλύπτονται με επιστρώσεις με βάση το TiN για τη μείωση του σχηματισμού κρατήρων. Οι περισσότερες εργασίες κατεργασίας ανθρακούχου χάλυβα εκτελούνται με χρήση ψυκτικού υγρού για τον έλεγχο της θερμοκρασίας του εργαλείου και του τεμαχίου εργασίας.

Οι χάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα έχουν γενικά την υψηλότερη μηχανική ικανότητα από τους χάλυβες άνθρακα. Περιστρέφονται συνήθως με ταχύτητες περίπου 200 m/min και ρυθμούς τροφοδοσίας περίπου 0,15 mm/στροφή. Το φρεζάρισμα πραγματοποιείται με κάπως υψηλότερες ταχύτητες και χαμηλότερους ρυθμούς τροφοδοσίας. Η διάτρηση εκτελείται σε διάφορες ταχύτητες που είναι γενικά κάτω από 20 m/min για ένα τρυπάνι HSS. Ο ρυθμός τροφοδοσίας έχει συχνά μεγαλύτερη επίδραση στους μέγιστους ρυθμούς διείσδυσης από ότι η ταχύτητα, επειδή επηρεάζει τη θραύση του τρυπανιού. Σε συνθήκες έλασης ή ανόπτησης, η μηχανική ικανότητα είναι γενικά καλύτερη για χάλυβες με περιεκτικότητα σε άνθρακα μεταξύ 0,15 και 0,25%. Σε χαμηλότερα επίπεδα άνθρακα, το υλικό είναι πιο όλκιμο και προσκολλάται στο εργαλείο, αυξάνοντας τη δυσκολία θραύσης των αποβλήτων, με αποτέλεσμα ψευδοκοπής που οδηγεί σε κακό φινίρισμα της επιφάνειας. Οι ποιότητες χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα, όπως το AISI 1010 ή το 1008, είναι επιρρεπείς σε αυτές τις δυσκολίες στην κατάσταση ανόπτησης. Επιπλέον, δεδομένου ότι αυτά τα υλικά κατασκευάζονται συχνά από ανακυκλωμένα σίδερα όταν λαμβάνονται σε μορφή ράβδου, ενδέχεται να παρουσιάζουν σημαντικές διαφοροποιήσεις ανα κύκλο εργασιών μαζικής παραγωγής, εκτός εάν διασφαλίζεται η ποιότητα του εισερχόμενου υλικού με αυστηρή επιθεώρηση. Η διαμόρφωση εν ψυχρό μειώνει την ολκιμότητα και συνήθως αυξάνει τη μηχανική ικανότητα. Είναι ιδιαίτερα αποτελεσματικό στην εξάλειψη των προβλημάτων θραύσης του αποβλήτου και του σχηματισμού ψευδοκοπής (BUE).

Οι χάλυβες μέσης περιεκτικότητας άνθρακα είναι σκληρότεροι από τους χάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα και αποδίδουν υψηλότερες δυνάμεις κοπής υπό ισοδύναμες συνθήκες. Περιέχουν επίσης υψηλότερες αναλογίες σκληρότερων φάσεων, ιδιαίτερα σεμεντίτη, που επιταχύνει τη φθορά του εργαλείου λείανσης. Ως αποτέλεσμα, κατεργάζονται σε χαμηλότερες ταχύτητες κοπής από τους χάλυβες χαμηλού άνθρακα. Οι ταχύτητες θα πρέπει να μειώνονται βαθμωτά όσο αυξάνεται η περιεκτικότητα σε άνθρακα. Η ανόπτηση και η κανονικοποίηση αυτών των χαλύβων τραχύνει τη δομή του περλίτη και βελτιώνει τη μηχανική ικανότητα. Οι χάλυβες μέσου άνθρακα υπόκεινται λιγότερο σε δυσκολίες θραύσης αποβλήτου και σχηματισμό ψευδοκοπής (BUE) από τους χάλυβες χαμηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα. Οι χάλυβες υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα περιέχουν μεγαλύτερη αναλογία σκληρών φάσεων (π.χ. σεμεντίτης) από τους χάλυβες μέσης περιεκτικότητας άνθρακα και επομένως παράγουν υψηλότερες δυνάμεις κοπής, θερμοκρασίες και ταχύτητες φθοράς λειαντικών εργαλείων.

Ως αποτέλεσμα, κατεργάζονται σε χαμηλότερες ταχύτητες κοπής και ταχύτητες τροφοδοσίας, όπως και οι χάλυβες μέσου άνθρακα, η επιτρεπόμενη ταχύτητα κοπής για να έχουμε μια αποδεκτή διάρκεια ζωής του εργαλείου μειώνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα. Όπως σημειώθηκε παραπάνω, οι ποιότητες που περιέχουν περισσότερο από 0,8% άνθρακα έχουν περίσσεια σεμεντίτη στη μήτρα σε κατάσταση έλασης ή αερόψυξης και είναι ιδιαίτερα δύσκολο να επεξεργαστούν. Κατά την ανόπτηση τείνει να σταθεροποιεί τον σεμεντίτη σε μεγαλύτερα σωματίδια και συνήθως βελτιώνει τη μηχανική ικανότητα. Επίσης μια σφαιροειδής μικροδομή βελτιώνει τα χαρακτηριστικά μηχανικής κατεργασίας χάλυβα υψηλότερης περιεκτικότητας σε άνθρακα. Η τοποθέτηση καρβιδίων σε σφαιροειδή μορφή βελτιώνει τη δράση κοπής και μειώνει τη φθορά του εργαλείου. Οι χονδροειδείς δομές σφαιροειδίτη ή περλίτη παρέχουν καλύτερη μηχανική ικανότητα από τις λεπτές δομές. Οι χάλυβες με υψηλή περιεκτικότητα σε άνθρακα τείνουν να σκληραίνουν στον αέρα, με αποτέλεσμα τα προβλήματα ακεραιότητας της επιφάνειας όπως η υπολειπόμενη τάση και ο σχηματισμός λευκού στρώματος να αποτελούν ιδιαίτερη ανησυχία εάν ο όγκος του ψυκτικού υγρού είναι ανεπαρκής ή ασυνεπής. Οι χάλυβες υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα παρουσιάζουν συνήθως λίγα προβλήματα ελέγχου των αποβλήτων και δεν είναι επιρρεπείς στο σχηματισμό ψευδοκοπής (BUE).

Οι σκληρυμένοι χάλυβες υψηλής περιεκτικότητας σε άνθρακα περιέχουν λειαντικές φάσεις μαρτενσίτη και μπαινίτη και είναι οι πιο δύσκολοι από τους απλούς ανθρακούχους χάλυβες στη μηχανική επεξεργασία. Όταν απαιτείται σκλήρυνση, οι χάλυβες πρέπει να υποβάλλονται σε ξεχώνδρισμα πριν από τη σκλήρυνση και να κατεργαστούν στην τελική τους διάσταση μετά τη σκλήρυνση. Η προσθήκη στοιχείων κράματος στο χάλυβα γενικά αυξάνει τη σκληρότητα στις συνθήκες έλασης και ανόπτησης, με αποτέλεσμα να έχουμε μειωμένη μηχανική ικανότητα και μείωση των ταχυτήτων κοπής και των ρυθμών τροφοδοσίας ώστε να υπάρχει αποδεκτή διάρκεια ζωής του εργαλείου. Τα στοιχεία κράματος μεταβάλλουν τις μηχανικές ιδιότητες όπως το βάθος σκλήρυνσης και την ικανότητα σκλήρυνσης σε παραμόρφωση. Ο κύριος λόγος για τη φτωχότερη μηχανική κατεργασία των κραματοποιημένων χάλυβων είναι ότι γενικά κατεργάζονται σε σκληρότερη και ισχυρότερη κατάσταση. Ορισμένα στοιχεία συνδυάζονται με άνθρακα για να σχηματίσουν πολύ σκληρά, λειαντικά καρβίδια, τα οποία μειώνουν τη διάρκεια ζωής του εργαλείου. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για στοιχεία κράματος όπως το χρώμιο, το νικέλιο και το μαγγάνιο που συχνά προστίθενται ειδικά για την αύξηση της σκληρότητας και της αντοχής στη φθορά. Το αντίκτυπο των στοιχείων κράματος στην ικανότητα επεξεργασίας εξαρτάται από την περιεκτικότητα του κράματος. Η μηχανική κατεργασία χάλυβα χαμηλού ή καθαρού κράματος μοιάζει πολύ περισσότερο με ανθρακοχάλυβες παρά με αντίστοιχες ποιότητες υψηλής κραματοποίησης. Μια σφαιροειδής δομή σε κράματα χάλυβα έχει ως αποτέλεσμα βελτιωμένη απόδοση κατά την μηχανική κατεργασία επειδή μειώνει τη σκληρότητα και διαμορφώνει τη σκληρή φάση του καρβιδίου σε σφαιροειδή, γεγονός που μειώνει τη λειαντική δράση των καρβιδίων. Τα επισκληρυμένα κραματα χάλυβα παράγουν καλύτερο φινιρίσμα επιφάνειας από τους ανοπτημένους χάλυβες επειδή η σκληρυμένη δομή μειώνει ή εξαλείφει το σχηματισμό ακμών (BUE). Όπως σημειώθηκε παραπάνω, οι πίνακες μηχανικής κατεργασίας μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την αξιολόγηση της αναμενόμενης διάρκειας ζωής του εργαλείου από συγκεκριμένες ποιότητες υψηλών κραμάτων σε σύγκριση με ποιότητες απλού άνθρακα. Για τον σκοπό αυτό μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν τύποι για τον υπολογισμό μιας ισοδύναμης περιεκτικότητας σε άνθρακα από την περιεκτικότητα σε κράμα

Υπάρχουν, ωστόσο, στοιχεία κράματος, τα οποία προστίθενται στον χάλυβα ειδικά για να αυξήσουν τη δυνατότητα επεξεργασίας. Σε αυτά περιλαμβάνονται μόλυβδος, θείο, θειούχο μαγγάνιο, φώσφορο, ασβέστιο, βισμούθιο, σελήνιο και τελλούριο. Συνήθως αυτά τα πρόσθετα, τα οποία χρησιμοποιούνται σε συνδυασμό, έχουν ως αποτέλεσμα αδιάλυτα εγκλείσματα στη μήτρα. Αυτά τα εγκλείσματα αναγκάζουν τη μεταλλική μήτρα να παραμορφώνεται πιο εύκολα και να διευκολύνει τη διάδοση των ρωγμών, με αποτέλεσμα μειωμένες δυνάμεις κοπής, ενισχυμένη δυνατότητα θραύσης και βελτιωμένο φινίρισμα επιφάνειας. Οι προκύπτουσες ποιότητες χαρακτηρίζονται ως χάλυβες ελεύθερης κατεργασίας, ελεύθερης κοπής ή ενισχυμένης κατεργασίας.

Οι θειούχοι χάλυβες ελεύθερης κατεργασίας έχουν υψηλή περιεκτικότητα σε θείο. Το θείο προστίθεται συχνά με τη μορφή θειούχου μαγγανίου,  $MnS$ , ενός στερεού λιπαντικού που σχηματίζει εγκλείσματα στη μήτρα. Κατά τη διάρκεια της κοπής, το θειούχο μαγγάνιο  $MnS$  επικαλύπτει και λιπαίνει την επιφάνεια αποβλήτου του εργαλείου, μειώνοντας την τριβή, τις θερμοκρασίες μεταξύ αποβλήτου και εργαλείου και τους ρυθμούς φθοράς του εργαλείου. Τα εγκλείσματα ενισχύουν επίσης το σπάσιμο των αποβλήτων. Ανάλογα με την ποσότητα θειούχου μαγγανίου, μπορεί να επηρεαστούν αρνητικά άλλες μηχανικές ιδιότητες του χάλυβα, όπως η αντίσταση στη διάβρωση, η ολκιμότητα, η σκληρότητα, η μορφοποίηση και η δυνατότητα συγκόλλησης. Υπάρχει μεγάλη γκάμα θειούχων κραμάτων που ανταλλάσσουν μία ή περισσότερες από αυτές τις ιδιότητες για βελτιωμένη μηχανική ικανότητα. Οι χάλυβες ελεύθερης κατεργασίας με μόλυβδο περιέχουν μόλυβδο, ο οποίος σχηματίζει επίσης εγκλείσματα στη μήτρα του χάλυβα που χρησιμεύουν για τη λίπανση της επιφάνειας αποβλήτου του κοπτικού εργαλείου και για τη θραύση των αποβλήτων. Οι περισσότερες ποιότητες μολύβδου περιλαμβάνουν επίσης άλλα ελεύθερα πρόσθετα μηχανικής κατεργασίας όπως  $MnS$  και φώσφορο. Ως αποτέλεσμα, παρέχουν γενικά καλύτερη μηχανική ικανότητα από τις μη μολυβδόχους θειούχες ποιότητες. Λόγω των γνωστών δυσμενών επιπτώσεων του μολύβδου στην υγεία, υπάρχει ανησυχία στις Ηνωμένες Πολιτείες ότι η έκθεση των εργαζομένων στον μόλυβδο θα ρυθμίζεται όλο και περισσότερο από τη νομοθεσία. Αυτό έχει αποθαρρύνει ορισμένους κατασκευαστές από το να εξαρτώνται από ποιότητες μολύβδου και έχει προκαλέσει ενδιαφέρον για την ανάπτυξη μη μολυβδόχων χάλυβων ελεύθερης κατεργασίας (π.χ. ποιότητες που περιέχουν βισμούθιο). Σε εφαρμογές μαζικής παραγωγής στις οποίες μια σειρά μηχανημάτων είναι συνδεδεμένα σε ένα ενιαίο σύστημα ψύξης με ανακύκλωση, θα πρέπει να λαμβάνεται αυστηρή μέριμνα για την αλλαγή του ψυκτικού σε τακτά χρονικά διαστήματα. Εάν δεν γίνει αυτό, μπορεί να συσσωρευτεί μόλυβδος σε μη αποδεκτά επίπεδα στο κάρτερ του ψυκτικού. Μερικές φορές προστίθεται ασβέστιο σε αποξειδωτικούς παράγοντες στα τελικά στάδια της παραγωγής χάλυβα. Η αποξείδωση του ασβεστίου μειώνει τη φθορά του λειαντικού εργαλείου και βελτιώνει τη μηχανική ικανότητα, ειδικά για υψηλές περιεκτικότητες άνθρακα. Όπως και με άλλες βελτιωμένες ποιότητες μηχανικής κατεργασίας, η αύξηση της ικανότητας κατεργασίας προκύπτει από το σχηματισμό μαλακών εγκλεισμάτων στη μήτρα. Η χημική σύνθεση των εγκλεισμάτων εξαρτάται από τα άλλα αποξειδωτικά στοιχεία που χρησιμοποιούνται. Οι κραματομένοι χάλυβες που περιέχουν μικρές ποσότητες σκληρών στοιχείων όπως το βανάδιο και το βολφράμιο. Συχνά προορίζονται για χρήση σε συνθήκες σφυρηλάτησης σε εφαρμογές που συνήθως απαιτούν σφυρήλατο και θερμικά επεξεργασμένο (σκληρυμένο) χάλυβα, π.χ. ζ., για στροφαλοφόρους άξονες υψηλής αντοχής σε κινητήρες φορτηγών.



## 2.7 Ανοξείδωτοι χάλυβες

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες περιέχουν υψηλή αναλογία χρωμίου, γενικά πάνω από 11 τοις εκατό. Οι ανοξείδωτοι χάλυβες θεωρούνται δύσκολο να κατεργαστούν λόγω της υψηλής αντοχής σε εφελκυσμό, της υψηλής ολκιμότητας, του υψηλού ρυθμού σκλήρυνσης, της χαμηλής θερμικής αγωγιμότητας και του λειαντικού χαρακτήρα τους. Αυτός ο συνδυασμός ιδιοτήτων συχνά έχει ως αποτέλεσμα υψηλές δυνάμεις κοπής, θερμοκρασίες και ρυθμούς φθοράς εργαλείου, καθώς και ευαισθησία στη φθορά από εγκοπές, δυσκολίες θραύσης αποβλήτου, σχηματισμό ψευδοκοπής (BUE) και κακή επιφάνεια κατεργασίας. Διάφορα στοιχεία κράματος μπορούν να προστεθούν για να μειωθούν ορισμένες από αυτές τις δυσκολίες, με αποτέλεσμα την ελεύθερη ποιότητα κοπής με σχετικά καλή μηχανική ικανότητα.

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες ταξινομούνται συνήθως σε τέσσερις κατηγορίες ανάλογα με το κύριο συστατικό της μήτρας: φερριτικό, μαρτενσιτικό, ωστενιτικό και διπλό (συνδυασμένο φερριτικό/ωστενιτικό). Μπορούν επίσης να ταξινομηθούν με βάση τη θερμική κατεργασία τους (κράματα που σκληρύνονται με κατακρήμνιση έναντι κράματων χωρίς κατακρήμνιση) ή τα χαρακτηριστικά μηχανικής κατεργασίας (βαθμίδας ελεύθερης κατεργασίας έναντι μη ελεύθερης κατεργασίας).

Οι φερριτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες είναι κραματοποιημένοι κυρίως με χρώμιο, αν και μολυβδαίνιο, τιτάνιο ή νιόβιο μπορούν να προστεθούν σε ορισμένες ποιότητες για τη βελτίωση της αντοχής στη διάβρωση ή των ιδιοτήτων συγκολλησης. Τα φερριτικά κράματα είναι γενικά πιο επεξεργάσιμα από άλλα κράματα. Χρησιμοποιούνται σε ανόπτηση ή ψυχρή επεξεργασία, αλλά δεν υποβάλλονται σε θερμική επεξεργασία, έτσι ώστε η σκληρότητά τους να είναι συγκριτικά χαμηλή. Η ικανότητα επεξεργασίας τους γενικά μειώνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε χρώμιο.

Εκτός από το χρώμιο, τα μαρτενσιτικά κράματα μπορεί να περιέχουν άνθρακα, μολυβδαίνιο και/ή νικέλιο για αύξηση της αντοχής. Η μηχανική ικανότητα των μαρτενσιτικών ανοξείδωτων χάλυβων επηρεάζεται από τη σκληρότητα, την περιεκτικότητα σε άνθρακα, την περιεκτικότητα σε νικέλιο και τη μεταλλουργική δομή. Όπως συμβαίνει με τα περισσότερα υλικά, η αυξανόμενη σκληρότητα συνήθως μειώνει τη διάρκεια ζωής του εργαλείου και τη δυνατότητα επεξεργασίας. Η αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα αυξάνει την αναλογία των λειαντικών καρβιδίων του χρωμίου στη μήτρα και μειώνει τη διάρκεια ζωής του εργαλείου και τη δυνατότητα επεξεργασίας. Η αύξηση της περιεκτικότητας σε νικέλιο αυξάνει τη σκληρότητα λόγω ανόπτησης και επίσης μειώνει τη δυνατότητα επεξεργασίας.

Ο μεταλλουργικός παράγοντας που έχει την ισχυρότερη επίδραση στη μηχανική ικανότητα είναι η αναλογία ελεύθερου φερρίτη στη μήτρα. Γενικά η μηχανική ικανότητα αυξάνεται με την ελεύθερη περιεκτικότητα σε φερρίτη.

Οι ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες, εκτός από χρώμιο περιέχουν άζωτο, άνθρακα και νικέλιο ή μαγγάνιο. Παρουσιάζουν υψηλή αντοχή, ολκιμότητα και σκληρότητα και είναι συνήθως πιο δύσκολο να κατεργαστούν από φερριτικούς ή μαρτενσιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες. Οι δυσκολίες που συναντώνται κατά την κατεργασία ωστενιτικών ανοξείδωτων χάλυβων περιλαμβάνουν υψηλούς ρυθμούς φθοράς λόγω υψηλών δυνάμεων και θερμοκρασιών κοπής, σχηματισμό ψευδοκοπής BUE, προβλήματα ελέγχου αποβλήτου, κακή ποιότητα επιφανείας (σκληρυμένες επιφάνειες) και τάση για κραδασμούς.

Η κακή διάρκεια ζωής του εργαλείου σχετίζεται με την σκληρότητα λόγω ανόπτησης, η οποία αυξάνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε άζωτο. Η αύξηση της περιεκτικότητας σε άνθρακα αυξάνει τον ρυθμό σκλήρυνσης της εργασίας και επίσης μειώνει τη μηχανική ικανότητα. Στη μήτρα ενδέχεται να σχηματιστούν Ενώσεις λειαντικού άνθρακα/αζώτου και να μειώσουν τη διάρκεια ζωής του εργαλείου. Αυτά μπορούν να ελεγχθούν με την προσθήκη τιτανίου ή νιοβίου. Όπως και με άλλους ανοξείδωτους χάλυβες, η σκληρότητα αυξάνεται και η δυνατότητα επεξεργασίας μειώνεται με την αύξηση της περιεκτικότητας σε νικέλιο. Η κατεργασία του υλικού κάτω από τη θερμοκρασία ανακρυστάλωσης συνήθως αυξάνει τη δυνατότητα επεξεργασίας μειώνοντας την τάση για σχηματισμό ψευδοκοπής BUE και βελτιώνοντας το φινίρισμα και την ακεραιότητα της επεξεργασμένης επιφάνειας.

Τα διπλα κράματα (duplex alloys) έχουν χημεία παρόμοια με τους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες, αλλά γενικά είναι πιο δύσκολο να κατεργαστούν λόγω της υψηλής αντοχής τους σε ανόπτηση. Η μηχανική κατεργασία κραμάτων αυτών μπορεί να είναι ιδιαίτερα δύσκολη επειδή δεν υπάρχουν τυπικές βελτιωμένες κατηγορίες μηχανικής κατεργασίας.

Οι φερριτικοί, μαρτενσιτικοί και ωστενιτικοί ανοξείδωτοι χάλυβες ενισχυμένης ή ελεύθερης κατεργασίας περιέχουν στοιχεία κράματος με σκοπό να βελτιώσουν τη μηχανική ικανότητα. Τα κοινά πρόσθετα μηχανικής κατεργασίας περιλαμβάνουν θείο, σελήνιο, τελλούριο, μόλυβδο, βισμούθιο, φώσφορο. Όπως και με άνθρακα και χάλυβες χαμηλής κραματοποίησης, αυτά τα πρόσθετα είναι αποτελεσματικά επειδή σχηματίζουν ενώσεις που έχουν χαμηλή διαλυτότητα στη μήτρα και καθιζάνουν ως εγκλείσματα που χρησιμεύουν για τη λίπανση του σημείου επαφής εργαλείου-αποβλήτου καθώς βοηθούν και στην απόσπαση του. Το θείο είναι το πιο συχνά χρησιμοποιούμενο πρόσθετο, ακολουθούμενο από το σελήνιο. Η δυνατότητα μηχανικής επεξεργασίας μπορεί επίσης να βελτιωθεί μεταβάλλοντας τους αποοξειδωτικούς παράγοντες που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή χάλυβα για τον έλεγχο των εγκλεισμάτων οξειδίων στη μήτρα.

Οι γενικές οδηγίες για την κατεργασία ανοξείδωτου χάλυβα περιλαμβάνουν:

Χρήση χαμηλότερης ταχύτητας κοπής και ταχύτητες αφαίρεσης μετάλλων σε σχέση με τους ανθρακούχους χάλυβες.

Χρήση άκαμπτων εργαλείων και στερέωση για να αποφεύγονται οι δονήσεις.

Διατήρηση της πρόωσης πάνω από ένα ελάχιστο επίπεδο για να αποφεύγεται η κακή επιφάνεια.

Χρήση αιχμηρών εργαλείων με λεπτό φινίρισμα για να αποφεύγεται ο σχηματισμός ακμών (BUE).

Χρήση κατάλληλων υγρών κοπής με επαρκείς ρυθμούς ροής για την απομάκρυνση της θερμότητας.

Οι ανοξείδωτοι χάλυβες μπορούν επίσης να κατεργαστούν με κεραμικά και PCBN εργαλεία. οδηγίες για την εφαρμογή συγκεκριμένων κατηγοριών εργαλείων μπορούν να ληφθούν από κατασκευαστές εργαλείων.

## 2.8 Κονιομεταλλουργία (Powder Metallurgy) P/M Materials

Τα εξαρτήματα κονιομεταλλουργίας, παράγονται μέσω συμπίεσεως ή πυροσυσσωματώσεως μεταλλικών σκονών (κόνεως) υπό πίεση. Γενικά απαιτούν λίγη μηχανική κατεργασία, αν και οι εργασίες λείανσης, διάτρησης και σπειρώματος είναι συχνά απαραίτητες για την επίτευξη αυστηρών ανοχών και την παραγωγή χαρακτηριστικών όπως εγκάρσιες ή κοχλιωτομημένες οπές. Τα τεμάχια κονιομεταλλουργίας μπορεί να είναι κατασκευασμένα από πολλά υλικά όπως αλουμίνιο, σίδηρος, νικέλιο και χαλκό. Οι πρακτικές μηχανικής κατεργασίας για αυτά τα υλικά είναι παρόμοιες με εκείνες των χυτών ή επεξεργασμένων υλικών με παρόμοια χημική σύνθεση, αλλά επηρεάζονται από τα μοναδικά χαρακτηριστικά των υλικών P/M όπως το πορώδες, οι διακυμάνσεις στην πυκνότητα και τη θερμική αγωγιμότητα και την αυξημένη λειαντικότητα. Σε αυτή την ενότητα συζητάμε τη μηχανική κατεργασία των υλικών κονιομεταλλουργίας, εστιάζοντας ιδιαίτερα στους δομικούς χάλυβες. Η επίδραση ιδιοτήτων όπως το πορώδες στην ικανότητα κατεργασίας είναι παρόμοια για τα συντηγμένα μέταλλα που κατασκευάζονται από άλλα υλικά.

Γενικά, η αύξηση της πυκνότητας των υλικών αυτών αυξάνει τη μηχανική ικανότητα. Η βέλτιστη μηχανική ικανότητα επιτυγχάνεται συχνά για υλικά με πυκνότητες μεγαλύτερες από το 90% του θεωρητικού μέγιστου. Σε αυτή την περίπτωση, η μηχανική ικανότητα των εξαρτημάτων P/M είναι συγκρίσιμη με εκείνη των αντίστοιχων χυτών ή σφυρήλατων εξαρτημάτων. Η πυκνότητα μπορεί να αυξηθεί με σφυρηλάτηση εξαρτημάτων μετά την πυροσυσσωμάτωση.

Η δυνατότητα επεξεργασίας αυξάνεται με την πυκνότητα επειδή μειώνεται το πορώδες. Το αυξημένο πορώδες έχει αρνητική επίδραση στη μηχανική ικανότητα για διάφορους λόγους. Το πορώδες προκαλεί ασυνεχή επαφή μεταξύ του εργαλείου και του τεμαχίου εργασίας, με αποτέλεσμα τη διακοπή της κοπής που αυξάνει τις δυνάμεις και τοπικές τάσεις στο εργαλείο. Ως αποτέλεσμα, το εργαλείο φθείρεται πιο γρήγορα και μπορεί να σπάσει επειδή υπόκειται σε κρουστικό φορτίο και αυξημένους κραδασμούς. Το πορώδες επηρεάζει επίσης τις θερμικές ιδιότητες. Το αυξανόμενο πορώδες γενικά μειώνει τη θερμική αγωγιμότητα, με αποτέλεσμα υψηλότερες θερμοκρασίες κοπής και αυξημένη χημική (θερμικά ενεργοποιημένη) φθορά.

Οι αυξημένες θερμοκρασίες κοπής που προκαλούνται από το υψηλό πορώδες μπορεί επίσης να επιταχύνουν τη φθορά του λειαντικού. Τα ποσοστά φθοράς λειαντικών εργαλείων είναι γενικά υψηλότερα ακόμη και για υλικά κονιομεταλλουργίας χαμηλού πορώδους από ό,τι για αντίστοιχα χυτά ή σφυρήλατα υλικά, επειδή σχηματίζουν ένα κονιοποιημένο απόβλητο που μπορεί να περιλαμβάνει ελεύθερα σωματίδια σκληρών υλικών. Καθώς οι θερμοκρασίες αυξάνονται, υπάρχει μια τάση για αυξημένη οξειδωση των υπολειμμάτων μηχανικής κατεργασίας, με αποτέλεσμα υψηλότερη συγκέντρωση σωματιδίων οξειδίων λείανσης. Η βέλτιστη μηχανική ικανότητα μπορεί επίσης να επιτευχθεί με τη μηχανική κατεργασία υλικών σε προσυντεταγμένη κατάσταση και την προεργασία που πραγματοποιείται για να εξατμιστούν και να καούν τα λιπαντικά που χρησιμοποιούνται στην συμπίεση, πριν από τη θέρμανση εξαρτημάτων υπό πίεση για να συγχωνευτεί η μεταλλική σκόνη. Τα προσυντεταγμένα μέρη είναι ευκολότερα στη μηχανή από τα συντηγμένα μέρη επειδή είναι συνήθως πιο μαλακά και λιγότερο λειαντικά. Ωστόσο, η μηχανική κατεργασία στην προσυντεταγμένη κατάσταση μειώνει την ακρίβεια (μεγαλώνει την ανοχή) και τα χαρακτηριστικά φινιρίσματος.

Τέλος, η ικανότητα μηχανικής κατεργασίας των εξαρτημάτων κονιομεταλλουργίας μπορεί να αυξηθεί μέσω της χρήσης ελεύθερων πρόσθετων μηχανικής κατεργασίας. Για τους χάλυβες, τα τυπικά πρόσθετα περιλαμβάνουν θείο, θειούχο μαγγάνιο, μόλυβδο, βισμούθιο, χαλκό, γραφίτη, τελλούριο και σεληνίο. Αυτά τα πρόσθετα είναι αποτελεσματικά για υλικά P/M για τους

ιδίους ουσιαστικά λόγους που είναι αποτελεσματικά σε χυτοσίδηρο και σφυρήλατο χάλυβα, και καταλήγουν στο σχηματισμό εγκλεισμάτων στη μήτρα υλικών τα οποία χρησιμεύουν για τη λίπανση της επαφής εργαλείου-αποβλήτου και τη μείωση της τριβής και της θερμοκρασίας κοπής. Τα πρόσθετα γενικά μειώνουν επίσης τις δυνάμεις κοπής, μειώνουν το σχηματισμό ψευδοκοπής, βελτιώνουν το φινίρισμα της επιφάνειας και αυξάνουν τη δυνατότητα θραύσης του αποβλήτου. Για τους χάλυβες κονιομεταλλουργίας, το θειούχο μαγγάνιο είναι το πιο κοινό και αποτελεσματικό πρόσθετο, ακολουθούμενο από το θείο και τον μόλυβδο. Το βισμούθιο, ο γραφίτης, το τελλούριο και το σελήνιο είναι επίσης συνήθως αποτελεσματικά. Ο χαλκός είναι αποτελεσματικός όταν οδηγεί σε σημαντική αύξηση της θερμικής αγωγιμότητας.

## 2.9 Κράματα τιτανίου

Τα κράματα τιτανίου έχουν υψηλή αναλογία αντοχής προς βάρος και χρησιμοποιούνται σε πολλές αεροδιαστημικές εφαρμογές. Το καθαρό τιτάνιο υφίσταται μεταλλουργικό μετασχηματισμό στους περίπου 830 °C, μεταβάλλοντας από μια εξαγωνική κλειστή δομή (φάση άλφα) σε μια κυβική δομή με κέντρο το σώμα (φάση βήτα). Η προσθήκη στοιχείων κράματος μπορεί να αλλάξει σημαντικά τη θερμοκρασία μετασχηματισμού, έτσι ώστε η βήτα φάση να σταθεροποιείται και να μπορεί να διατηρηθεί σε θερμοκρασία δωματίου.

Υπάρχουν τέσσερις κύριες ομάδες κραμάτων τιτανίου: Κράμα τιτανίου, το οποίο μερικές φορές περιέχει μικρές ποσότητες οξυγόνου ή σιδήρου για αυξημένη αντοχή.

Κράματα άλφα, τα οποία περιέχουν σταθεροποιητές άλφα φάσης όπως αλουμίνιο, οξυγόνο, άζωτο και άνθρακα.

Κράματα άλφα-βήτα, τα οποία περιέχουν τόσο φάσεις άλφα όσο και βήτα και τα οποία είναι κράματα με σταθεροποιητές άλφα και βήτα.

Βήτα κράματα, τα οποία είναι κράματα με βήτα σταθεροποιητές όπως το μολυβδαίνιο, το βανάδιο, το νιόβιο, ο χαλκός και το πυρίτιο.

Τα περισσότερα κράματα που χρησιμοποιούνται σε αεροδιαστημικές εφαρμογές, π.χ. Το Ti-6Al4V, είναι κράματα άλφα-βήτα. Γενικά, η αύξηση της περιεκτικότητας σε βήτα φάση αυξάνει την αντοχή και μειώνει τη δυνατότητα επεξεργασίας, αν και σε ορισμένες περιπτώσεις η αύξηση της περιεκτικότητας σε βήτα φάση βελτιώνει τον σχηματισμό αποβλήτου και οδηγεί σε αύξηση της ικανότητας επεξεργασίας.

Τα κράματα τιτανίου θεωρούνται δύσκολα στη μηχανή για τους ακόλουθους λόγους: Διατηρούν υψηλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες, αυξάνοντας τις δυνάμεις κοπής και τις τάσεις του εργαλείου.

Παράγουν λεπτά απόβλητα, τα οποία αυξάνουν τις θερμοκρασίες κοπής και τις καταπονήσεις στην αιχμή του εργαλείου.

Έχουν συγκριτικά χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, γεγονός που αυξάνει περαιτέρω τις θερμοκρασίες κοπής.

Έχουν υψηλή χημική αντιδραστικότητα με όλα σχεδόν τα υλικά εργαλείων σε υψηλές θερμοκρασίες.

Λόγω των θερμομηχανικών τους ιδιοτήτων, παράγουν συχνά ασυνεχή ή τοπικά τεμαχισμένα απόβλητα.

Έχουν χαμηλό συντελεστή ελαστικότητας, που μπορεί να οδηγήσει σε υπερβολική εκτροπή του τεμαχίου εργασίας και σε δονήσεις.

Είναι ευαίσθητα σε επιφανειακές ζημιές κατά τη μηχανική κατεργασία και δεν αποδίδουν καλά επεξεργασμένα φινιρίσματα επιφάνειας υπό αρκετές συνθήκες. Επιπλέον μπορεί να αναφλεγούν κατά τη μηχανική κατεργασία λόγω των υψηλών θερμοκρασιών κοπής που δημιουργούνται συχνά.

Εξαιτίας όλων αυτών των παραγόντων, η διάρκεια ζωής του εργαλείου και οι επιτρεπόμενοι ρυθμοί κατεργασίας είναι χαμηλότερες για τα κράματα τιτανίου από ό,τι για τα περισσότερα άλλα μέταλλα. Ειδικότερα, η επιλογή των υλικών εργαλείων είναι περιορισμένη λόγω της υψηλής χημικής αντιδραστικότητας. Στις περισσότερες περιπτώσεις, τα κράματα τιτανίου επεξεργάζονται με χρήση εργαλείων HSS ή μη επικαλυμμένων καρβιδίων. Οι χάλυβες υψηλής ταχύτητας κοβαλτίου (ποιοτήτες HSS-Co) αποδίδουν συνήθως καλύτερη διάρκεια ζωής του εργαλείου από τους απλούς τύπους HSS. Μεταξύ των ευθύγραμμων ποιοτήτων, τα υλικά υψηλής κραματοποίησης όπως τα T5, T15, M33 και M40 συνήθως αποδίδουν καλύτερα από ποιοτήτες γενικής χρήσης όπως M1, M2, M7 και M10. Για εργαλεία καρβιδίου, οι καθαρές ποιοτήτες όπως C2 (ISO K20) αποδίδουν καλύτερα από τις ποιοτήτες κοπής χάλυβα όπως C8 (βαθμός ISO PO1). Οι ποιοτήτες κοπής χάλυβα, οι οποίες είναι κραματοποιημένες με TiC και TaC, φθείρονται πιο γρήγορα με τη διάχυση. Τα επικαλυμμένα εργαλεία καρβιδίου φθείρονται επίσης πιο γρήγορα από τα μη επικαλυμμένα είδη. Μεταξύ των προηγμένων υλικών, τα κεραμικά όπως τα υλικά με βάση το σιαλόν και την αλουμίνα δεν είναι κατάλληλα για κατεργασία τιτανίου λόγω της γρήγορης χημικής και λειαντικής φθοράς. Τα εργαλεία PCBN και PCD αναφέρουν ότι παρέχουν αποδεκτές επιδόσεις, αλλά χρησιμοποιούνται σπάνια λόγω του υψηλότερου κόστους τους και των χαμηλών ρυθμών παραγωγής. Όπως σημειώθηκε παραπάνω, τα κράματα τιτανίου παράγουν οδοντωτά ή τμηματικά απόβλητα στις περισσότερες συνθήκες κοπής. Ο σχηματισμός αποβλήτου που εντοπίζεται σε διάτμηση προκύπτει από την υψηλή αντοχή, τη χαμηλή θερμική διάχυση και τη συμπεριφορά μαλάκυνσης λόγω της θερμοκρασίας του υλικού. Αυτός ο τύπος σχηματισμού αποβλήτου μπορεί να οδηγήσει σε μεγάλες διακυμάνσεις στις δυνάμεις κοπής και να προκαλέσει μικροδομήσεις. Οι κακές θερμικές ιδιότητες του τιτανίου μπορεί επίσης να οδηγήσουν σε κακή ακεραιότητα της επιφάνειας κατεργασίας λόγω της εμφάνισης απότομων αλλαγών θερμοκρασίας και διαφοροποίησης της ψύξης του επιφανειακού στρώματος. Το τιτάνιο προσκολλάται επίσης ισχυρά στα κοινά υλικά εργαλείων, με αποτέλεσμα την υψηλή τριβή και την τάση για επιφανειακή ζημιά λόγω παραμόρφωσης και σχηματισμού ψευδοκοπής.

Ως αποτέλεσμα αυτών των περιορισμών στα υλικά, οι ακόλουθες γενικές οδηγίες θα πρέπει να ακολουθούνται στη μηχανική κατεργασία κραμάτων τιτανίου :

Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται χαμηλές ταχύτητες κοπής για τον περιορισμό των θερμοκρασιών κοπής.

Θα πρέπει να διατηρούνται υψηλοί ρυθμοί τροφοδοσίας για την αποφυγή ζημιών στην επιφάνεια.

Θα πρέπει να διατηρούνται υψηλοί όγκοι ψυκτικού για να μειωθούν οι θερμοκρασίες και να καθαριστούν τα τσιπ. Θα πρέπει να χρησιμοποιούνται αιχμηρά εργαλεία για να αποφευχθεί ο σχηματισμός ψευδοκοπής (BUE).

Θα πρέπει να αποφεύγεται η παραμονή του εργαλείου πάνω στο τεμάχιο εργασίας για να μειωθεί η ζημιά στην επιφάνεια.

Σταθερές ρυθμίσεις εργαλείων και στερέωσης θα πρέπει να χρησιμοποιούνται για να αποφευχθούν οι υπερβολικές παραμορφώσεις του τεμαχίου εργασίας και οι κραδασμοί.

Η τórνευση πρέπει να πραγματοποιείται με χρήση εργαλείων καρβιδίου όταν είναι δυνατόν. Αρνητική γωνία αποβλήτου χρησιμοποιείται για καλύτερη τραχύτητα με εργαλεία καρβιδίου, ενώ οι θετικές γωνίες χρησιμοποιούνται για φινίρισμα στην τórνευση και με εργαλεία HSS.

Το φρεζάρισμα των κραμάτων τιτανίου είναι πιο δύσκολο από την τórνευση ή την διάνοιξη οπών, επειδή τα απόβλητα μπορεί να προσκολληθούν στο εργαλείο κατά τη διάρκεια περιόδων που δεν γίνεται κοπή ή σε διακοπόμενη κοπή, με αποτέλεσμα να κοπεί ή να σπάσει το εργαλείο. Οι εργασίες φρεζαρίσματος εκτελούνται συχνά σε χαμηλότερες ταχύτητες κοπής από την τórνευση ή τη διάνοιξη, και συχνά προτιμάται η χρήση εργαλείων HSS και όχι καρβιδίου. Το φρεζάρισμα με φορά ίδια με την κατεύθυνση κίνησης προτιμάται από το συμβατικό φρεζάρισμα όταν είναι δυνατόν για να μειωθεί ο θρυμματισμός του εργαλείου. Όταν γίνεται ξεχόνδρισμα σε μεγάλες επιφάνειες, η άτρακτος πρέπει να γέρνει έτσι ώστε οι πίσω ακμές κοπής να μην τρίβονται πάνω στην κατεργασμένη επιφάνεια.

Η διάτρηση θα πρέπει να εκτελείται χρησιμοποιώντας αιχμηρά τρυπάνια με μεγάλες γωνίες κοπής ή γεωμετρίες σπειροειδών ακμών. Για την απαγωγή της θερμότητας πρέπει να χρησιμοποιείται ψυκτικό σε όλη την επιφάνεια ή (κατά προτίμηση) μέσω του εργαλείου. Θα πρέπει να αποφεύγεται η παραμονή του τρυπανιού στο κάτω μέρος της οπής. Καλύτερη διάρκεια ζωής του εργαλείου επιτυγχάνεται με καρβίδιο από ό,τι με τρυπάνια HSS. Στην περίπτωση που χρησιμοποιούνται τρυπάνια HSS, οι επικαλύψεις χρωμίου ή οξειδίου είναι συχνά αποτελεσματικές για τη μείωση της θλίψης στα περιθώρια.

## **2.10 Κράματα Νικελίου**

Τα κράματα νικελίου είναι γενικά δύσκολο να επεξεργαστούν. Έχουν υψηλή αντοχή και ολκιμότητα και σκληραίνουν γρήγορα. Λόγω αυτού του συνδυασμού ιδιοτήτων, υπόκεινται σε πολλές από τις δυσκολίες μηχανικής κατεργασίας που συναντώνται στους ωστενιτικούς ανοξείδωτους χάλυβες. Τα χαρακτηριστικά σκλήρυνσης εργασίας του νικελίου είναι η πηγή πολλών δυσκολιών στη μηχανική κατεργασία. Δεδομένου ότι σκληραίνουν γρήγορα, παράγουν υψηλές τάσεις και θερμοκρασίες στο εργαλείο, οι οποίες μπορούν να επιταχύνουν τη φθορά του. Ο ρυθμός σκλήρυνσης εργασίας είναι υψηλότερος για υλικά σε ανόπτηση ή θερμοκατεργασμένα. Μια κοινή μέθοδος βελτίωσης της μηχανικής κατεργασίας είναι η μετάδοση ψυχρής εργασίας στο υλικό πριν από τη μηχανική κατεργασία, στις περιπτώσεις που είναι εφικτό. Το αποτέλεσμα της σκλήρυνσης μπορεί επίσης να μειωθεί χρησιμοποιώντας αιχμηρά εργαλεία με θετικές γωνίες αποβλήτου. Συνιστώνται επίσης υψηλοί ρυθμοί τροφοδοσίας και βάθη κοπής για τη μείωση της ζημιάς στην κατεργασμένη επιφάνεια που προκαλείται από υπερβολική θέρμανση λόγω τριβής. Οι υψηλές δυνάμεις που δημιουργούνται

κατά τη μηχανική κατεργασία μπορούν επίσης να οδηγήσουν σε παραμόρφωση του εξαρτήματος και σε δονήσεις. Για να αποφευχθεί η παραμόρφωση. Είναι συχνά σκόπιμο τα ακατέργαστα μέρη που πλησιάζουν την τελική διάσταση, να ανακουφίζονται από τις τάσεις που τους ασκούνται και στη συνέχεια να αποπερατώνονται. Από την άλλη πλευρά, η παρουσία σκληρών φάσεων όπως καρβίδια, νιτρίδια, οξειδία και πυριτικά άλατα αυξάνουν τη φθορά του εργαλείου φινιρίσματος και μειώνουν τη διάρκεια ζωής του.

Από την άποψη της μηχανικής κατεργασίας, τα κράματα νικελίου μπορούν να ταξινομηθούν σε πέντε ομάδες [98]:

Ομάδα Α, που αποτελείται από κράματα που περιέχουν περισσότερο από 95 τοις εκατό νικέλιο (π.χ. ποιότητες καθαρού νικελίου στο εμπόριο). Ομάδα Β, που αποτελείται από τα περισσότερα κράματα νικελίου-χαλκού (π.χ. Monel 400 και κράμα Nilo 48). Ομάδα Γ, που αποτελείται από στερεό διάλυμα νικελίου χρωμίου και κράματα νικελίου-χρωμίου-σιδήρου (Inconel 600 και Incoloy 800). και Ομάδα Δ, αποτελούμενη από κράματα που σκληρύνονται λόγω ηλικίας (π.χ. Incoloy 925 και Inconel 718). και Ομάδα Ε, που αποτελείται από την ελεύθερη κατεργασία (Monel Κράμα R-45). Τα κράματα της ομάδας Α έχουν μέτρια αντοχή και υπόκεινται σε προβλήματα σχηματισμού ψευδοκοπής BUE και ελέγχου αποβλήτου σε κατάσταση ανόπτησης ή θερμής κατεργασίας. Όταν είναι δυνατόν, θα πρέπει να υποβάλλονται σε ψυχρή κατεργασία πριν από τη μηχανική κατεργασία. Τα κράματα της ομάδας Β έχουν υψηλότερη αντοχή και χαμηλότερη ολκιμότητα από τα κράματα της ομάδας Α. Θα πρέπει να κατεργαστούν σε ψυχρή κατάσταση για βέλτιστα αποτελέσματα. Τα κράματα της ομάδας C υπόκεινται σε σχηματισμό σκληρής φάσης και θα πρέπει να επανέρχονται σε θερμοκρασία δωματίου και να εκτονώνονται από τις τάσεις πριν από την κατεργασία. Τα κράματα της ομάδας Δ έχουν υψηλή αντοχή και σκληρότητα και είναι τα πιο δύσκολα στην κατεργασία. Παράγουν υψηλές δυνάμεις κοπής και υπόκεινται σε παραμόρφωση. Θα πρέπει να υποβάλλονται σε μηχανική επεξεργασία σε μη παλαιωμένη κατάσταση. Υλικά που έχουν υποστεί βαφή έχουν τη χαμηλότερη σκληρότητα και την καλύτερη μηχανική ικανότητα. Τα κράματα της Ομάδας Ε είναι το πιο επεξεργάσιμο από τα κράματα νικελίου και είναι κατάλληλα για εφαρμογές υψηλής παραγωγής σε αυτόματες μηχανές ράβδων.

Τα κράματα νικελίου κατασκευάζονται πιο συχνά με χρήση εργαλείων HSS και καρβιδίου. Επειδή έχουν χαμηλή χημική αντιδραστικότητα με το νικέλιο, τα κεραμικά με βάση την αλουμίνα και τα εργαλεία PCBN είναι επίσης κατάλληλα. Τα κεραμικά αλουμίνια μπορεί να σπάσουν σε διακοπόμενες εργασίες κοπής, όμως έρευνα δείχνει ότι τα ενισχυμένα κεραμικά μπορεί να είναι κατάλληλα για αυτές τις εργασίες. Όπως και με τον χάλυβα, οι υψηλές θερμοκρασίες κοπής που δημιουργούνται καθιστούν τα κεραμικά εργαλεία με βάση το νιτρίδιο του πυριτίου ακατάλληλα για κατεργασία κραμάτων νικελίου. Η ευρεία χρήση κεραμικών εργαλείων έχει παρεμποδιστεί από το γεγονός ότι πολλά κράματα νικελίου σχηματίζουν απόβλητα που εμφανίζουν διάτμηση σε υψηλές ταχύτητες κοπής, γεγονός που περιορίζει αποτελεσματικά και τις μέγιστες ταχύτητες κοπής που μπορούν να χρησιμοποιηθούν (συχνά κάτω από 30 m/min).

Τα εργαλεία καρβιδίου χρησιμοποιούνται συχνότερα στις εργασίες τόννευσης. Οι θετικές γωνίες αποβλήτου, οι μεγάλες ακτίνες κοπτικού και οι χυτευμένοι καταστροφείς αποβλήτου χρησιμοποιούνται για την πρόληψη του σχηματισμού ψευδοκοπής (BUE), του σπασίματος του εργαλείου και των προβλημάτων ελέγχου του αποβλήτου. Το φρεζάρισμα πραγματοποιείται συχνά με τη χρήση κοπτικών ταχυχάλυβα (HSS) επειδή οι κοπτικές ακμές από καρβίδιο τείνουν να θρυμματίζονται ή να σπάνε σε διακοπόμενες λειτουργίες. Απαιτούνται αμεταβλητες

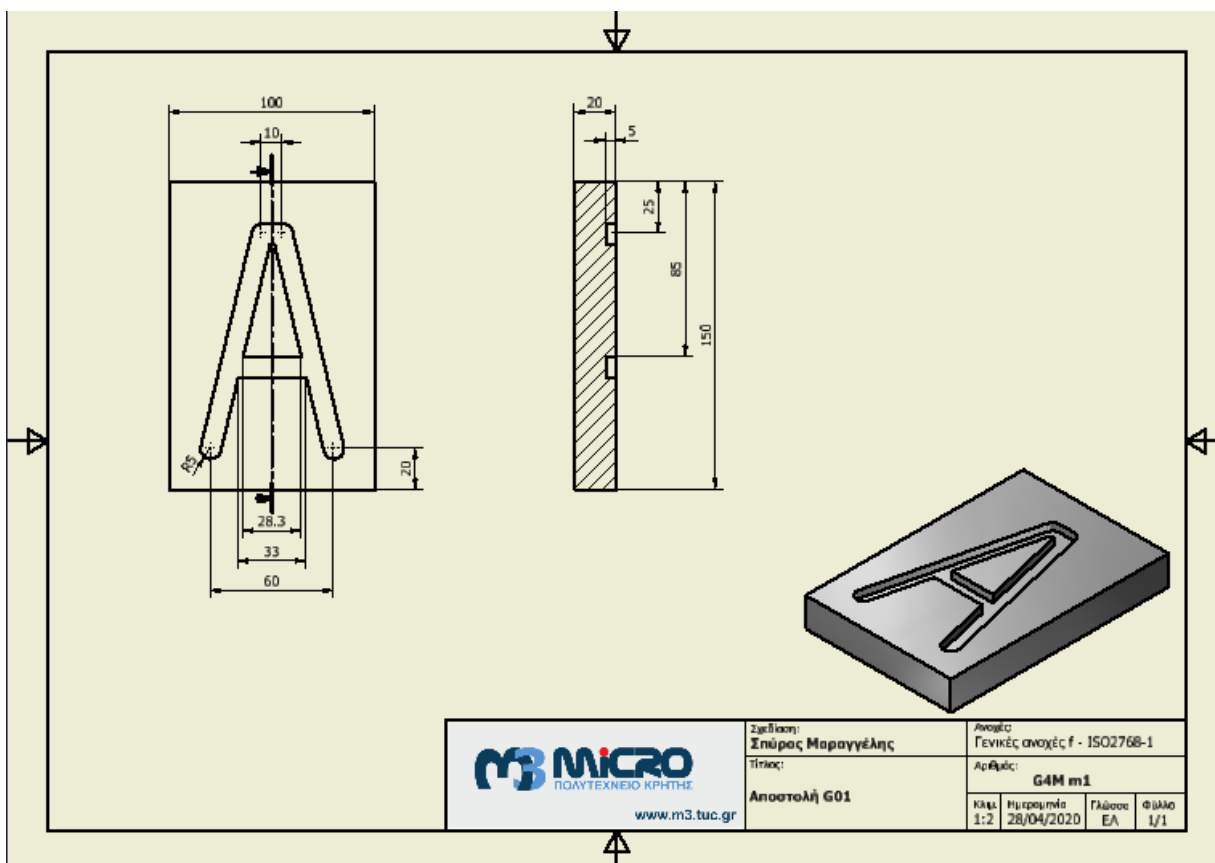
ρυθμίσεις εργαλείων και εξαρτημάτων για τη διατήρηση της ακρίβειας και την αποφυγή κραδασμών. Η διάτρηση μπορεί να πραγματοποιηθεί με τρυπάνια HSS. Όπως και με τα κράματα τιτανίου, θα πρέπει να χρησιμοποιείται θετική πρόωση για να αποφευχθεί η παραμονή του τρυπανιού στο κάτω μέρος της οπής. Τα τρυπάνια και τα τρυπάνια με λεπίδες καρβιδίου παρέχουν καλύτερη απόδοση σε εφαρμογές βαθιάς οπής.



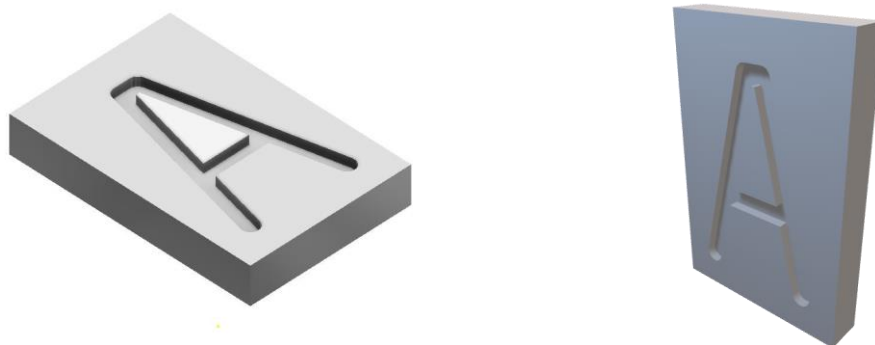
### 3. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ AUTODESK INVENTOR ΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΦΡΑΙΖΑΣ

#### 3.1 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 1

Η αποστολή 1 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G01- κατεργασία με ευθύγραμμη κίνηση με καθορισμένη πρόωση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.1 και το σχήμα 3.2



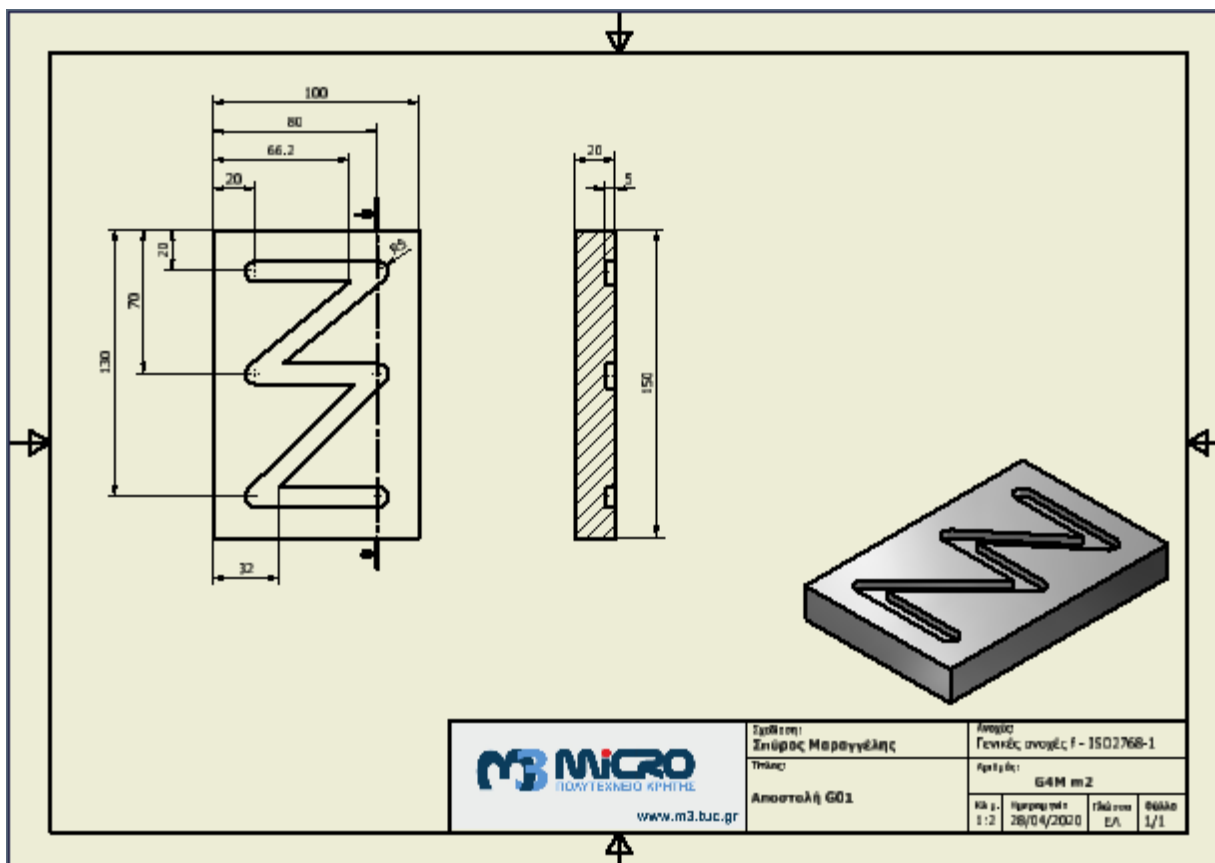
Σχήμα 3.1: Μηχανολογικό σχέδιο Αποστολής 1



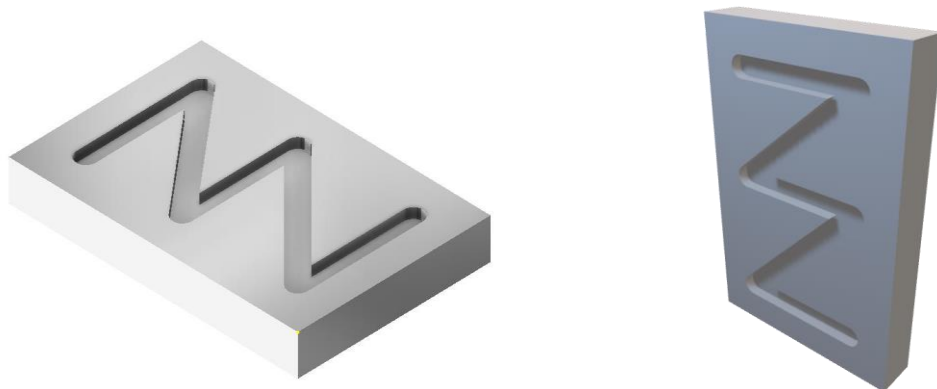
Σχήμα 3.2: Εικόνα και 3D μοντέλο κατεργασμένου τεμαχίου αποστολής 1

### 3.2 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 2

Η αποστολή 2 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G01- κατεργασία με ευθύγραμμη κίνηση με καθορισμένη πρόωση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.3 και το σχήμα 3.4



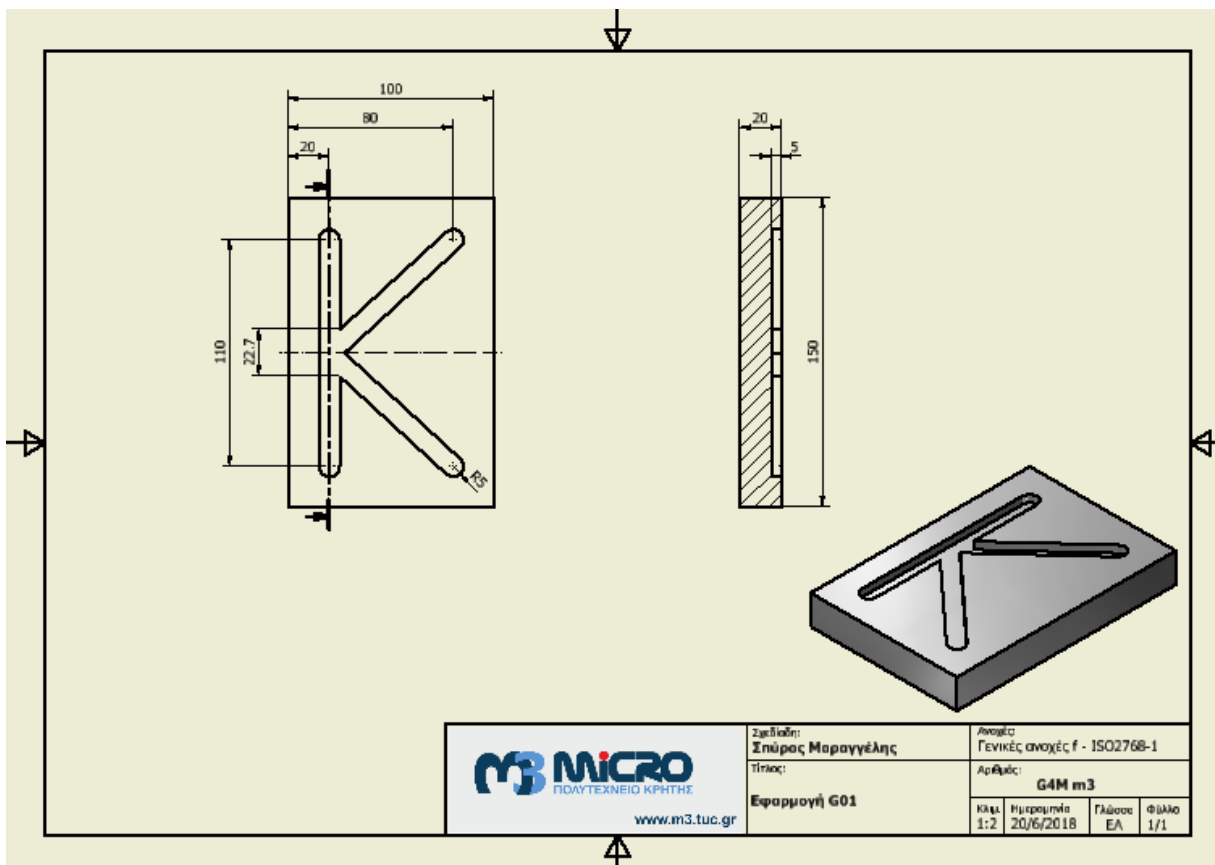
Σχήμα 3.3: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 2



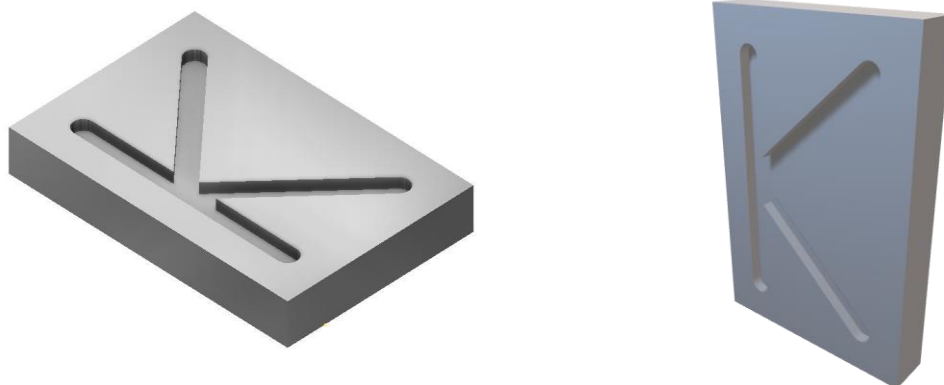
Σχήμα 3.4: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 2

### 3.3 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 3

Η αποστολή 3 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G01- κατεργασία με ευθύγραμμη κίνηση με καθορισμένη πρόωση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.5 και το σχήμα 3.6



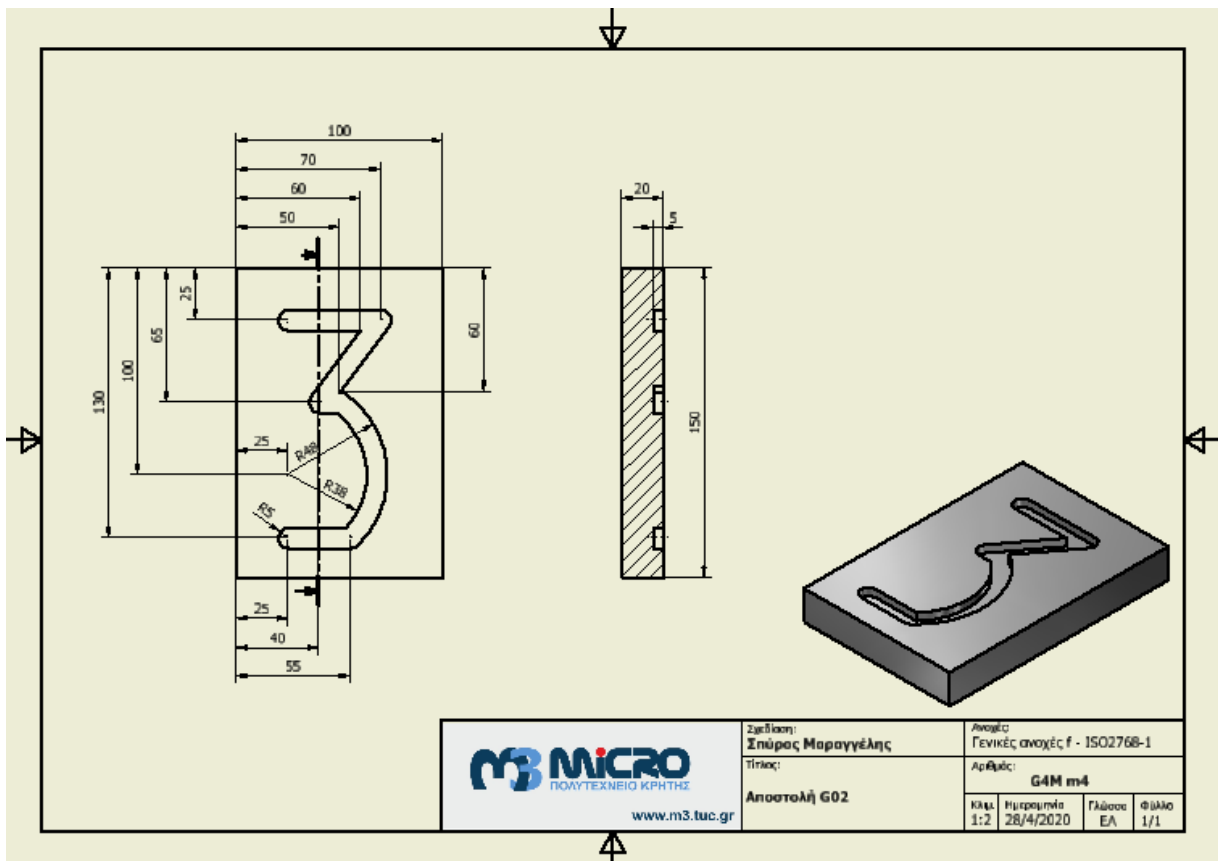
Σχήμα 3.5: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 3



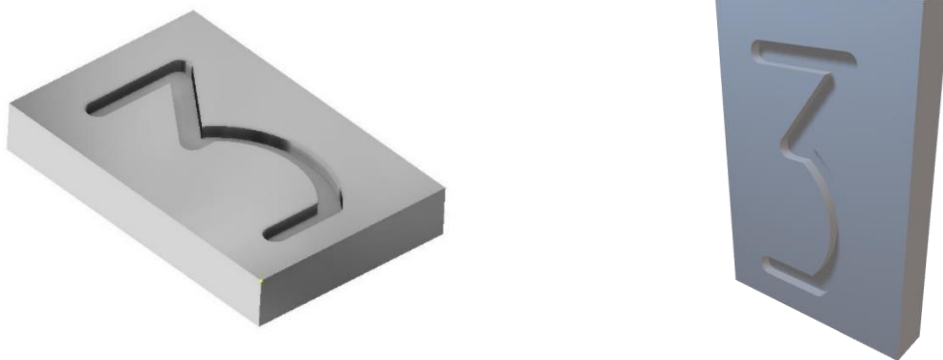
Σχήμα 3.6: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 3

### 3.4 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 4

Η αποστολή 4 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G02. Η εντολή G02 χρησιμοποιείται για την κατεργασία κύκλου ή κυκλικού τμήματος δεξιόστροφα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.7 και το σχήμα 3.8



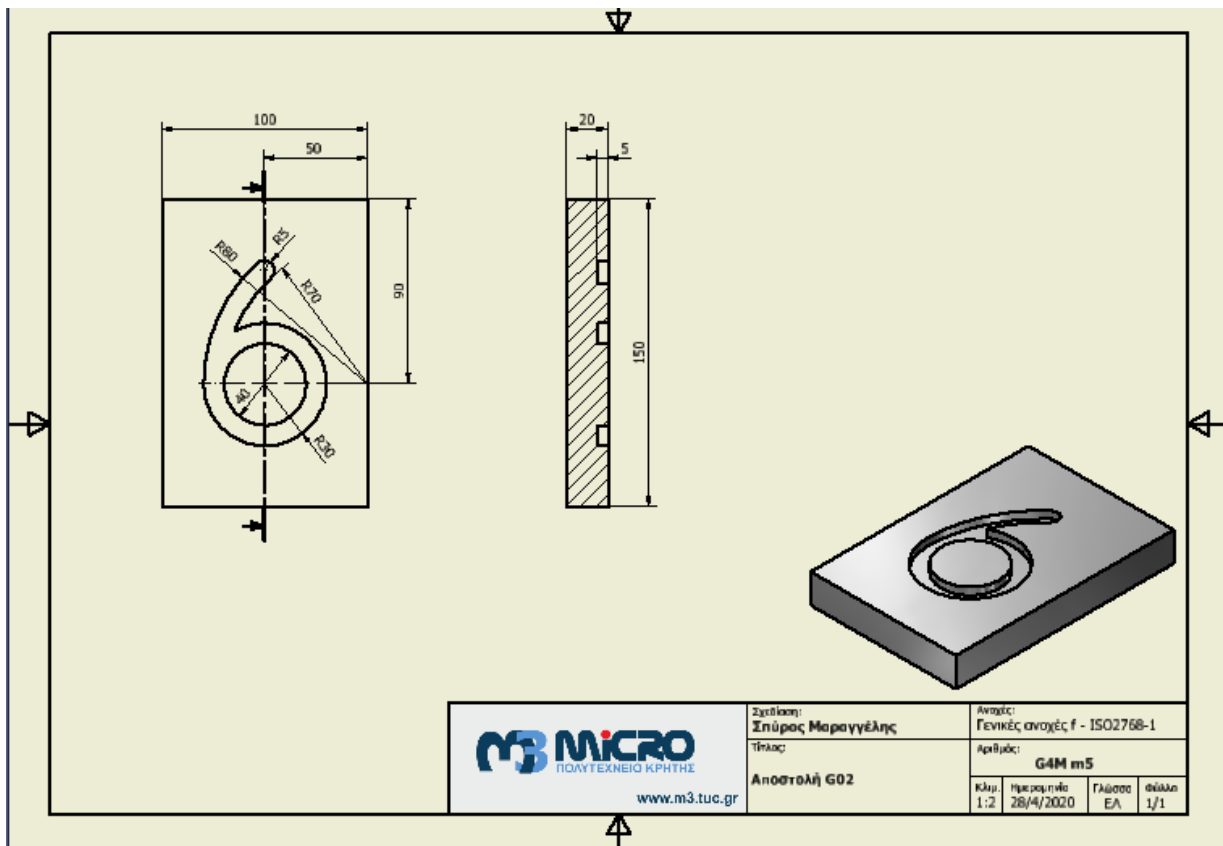
Σχήμα 3.7: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 4



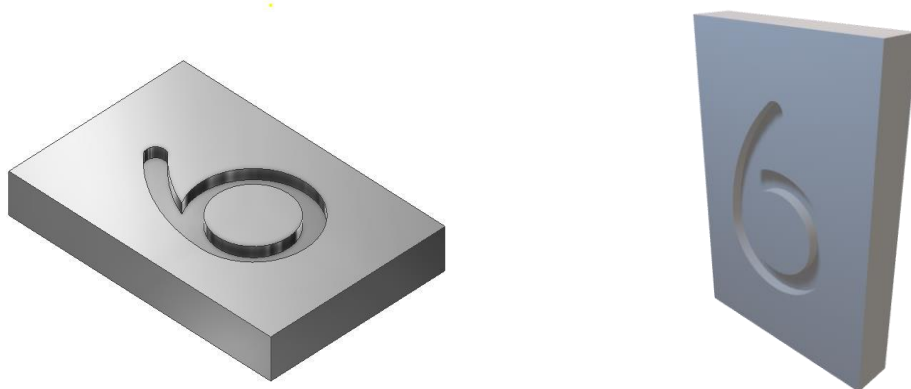
Σχήμα 3.8: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 4

### 3.5 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 5

Η αποστολή 5 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G02. Η εντολή G02 χρησιμοποιείται για την κατεργασία κύκλου ή κυκλικού τμήματος δεξιόστροφα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.9 και το σχήμα 3.10



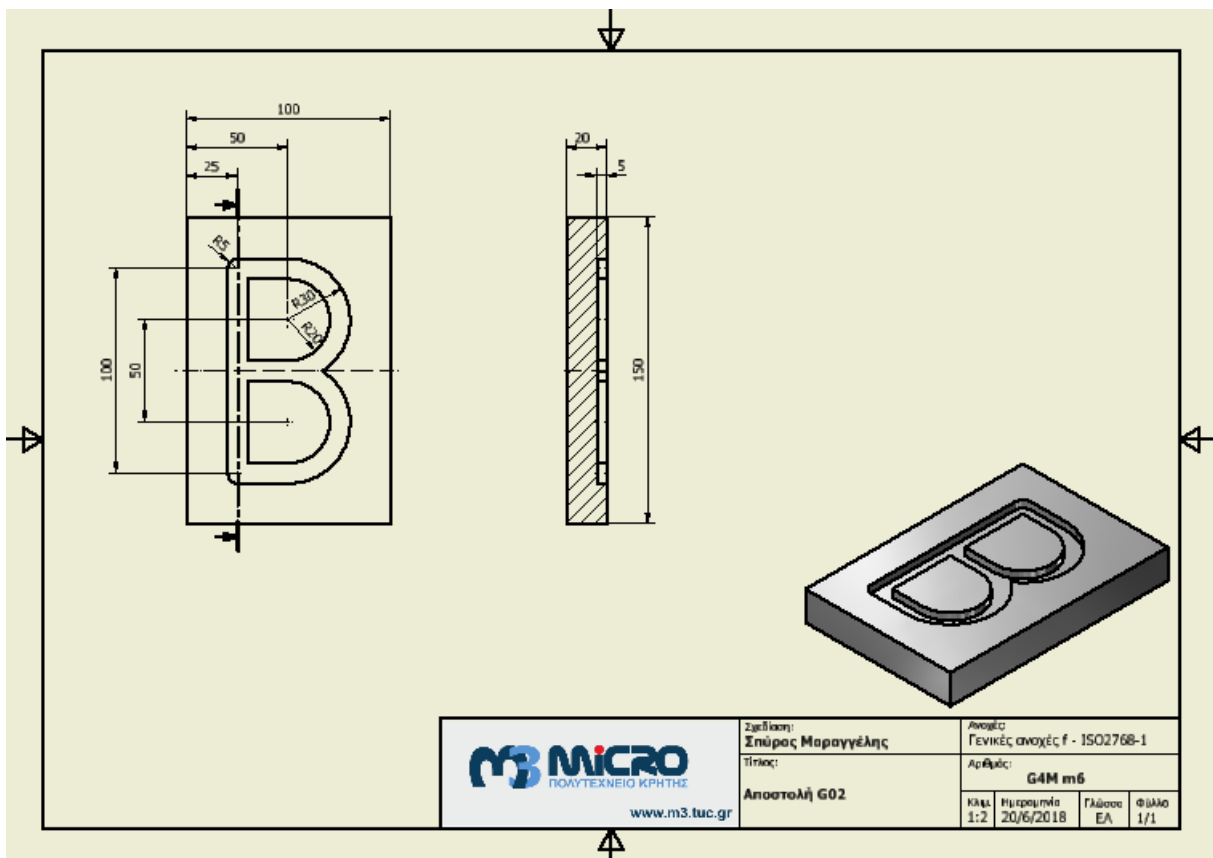
Σχήμα 3.5: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 5



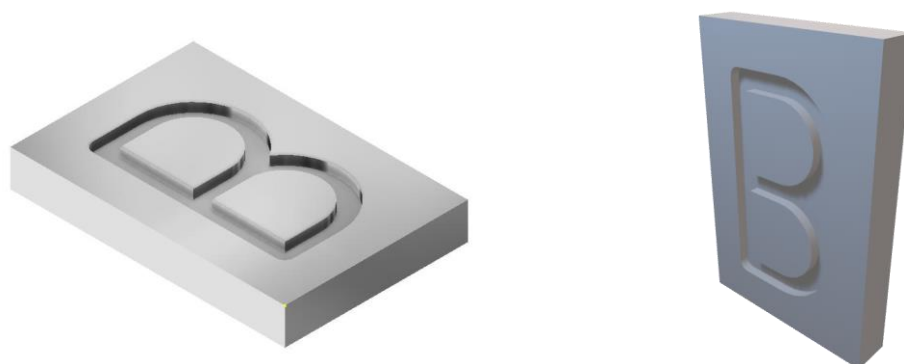
Σχήμα 3.4: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 5

### 3.6 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 6

Η αποστολή 6 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G02. Η εντολή G02 χρησιμοποιείται για την κατεργασία κύκλου ή κυκλικού τμήματος δεξιόστροφα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.11 και το σχήμα 3.12



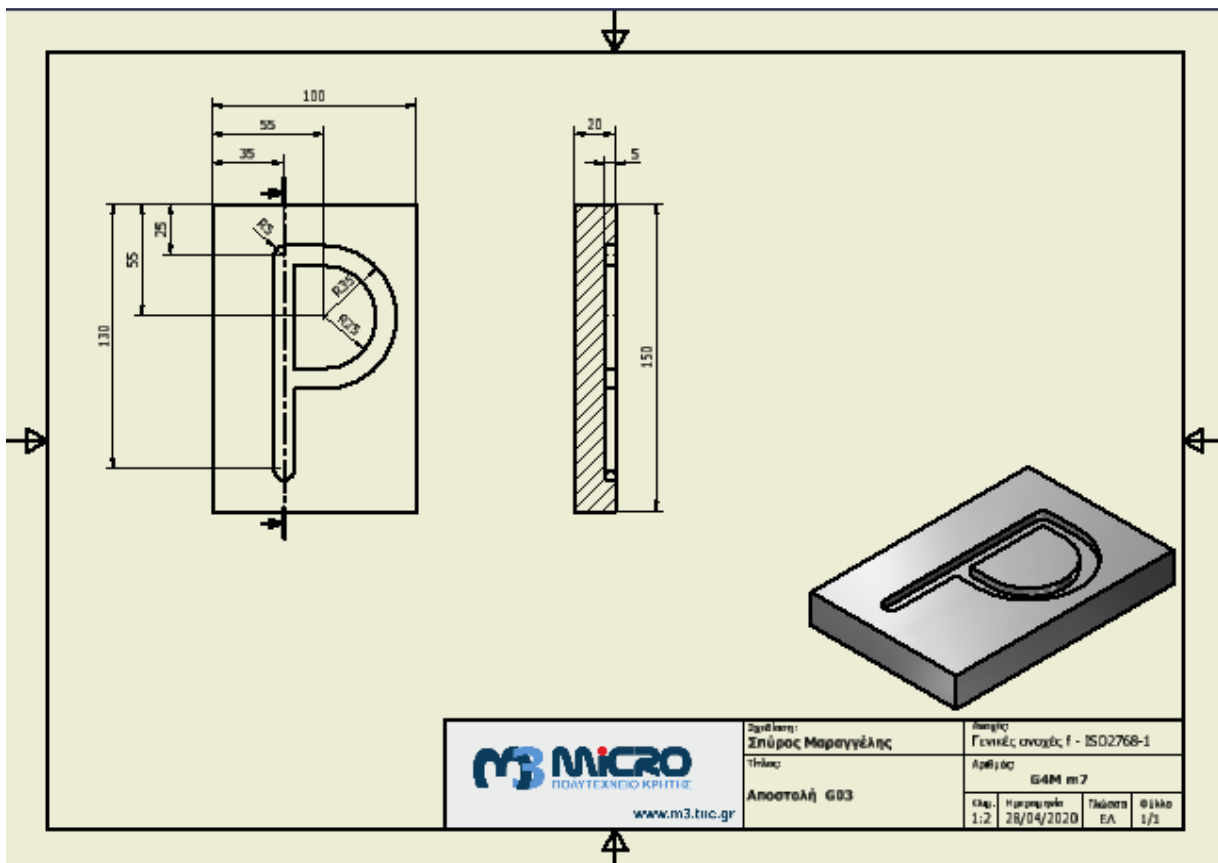
Σχήμα 3.11: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 6



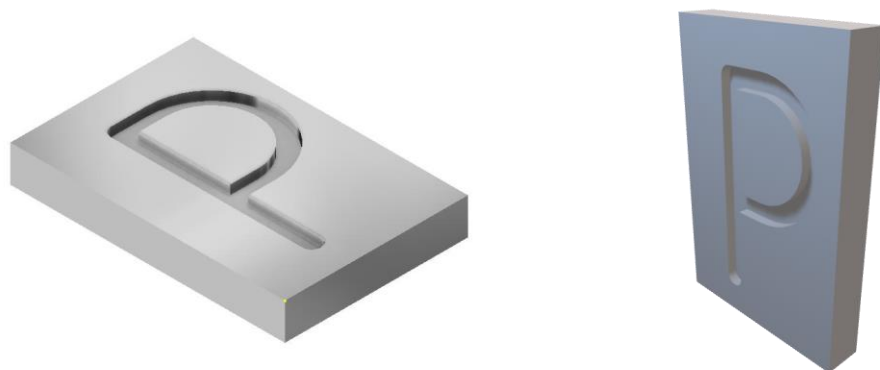
Σχήμα 3.12: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 6

### 3.7 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 7

Η αποστολή 7 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G03. Η εντολή G03 χρησιμοποιείται για την κατεργασία κύκλου ή κυκλικού τμήματος αριστερόστροφα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.13 και το σχήμα 3.14



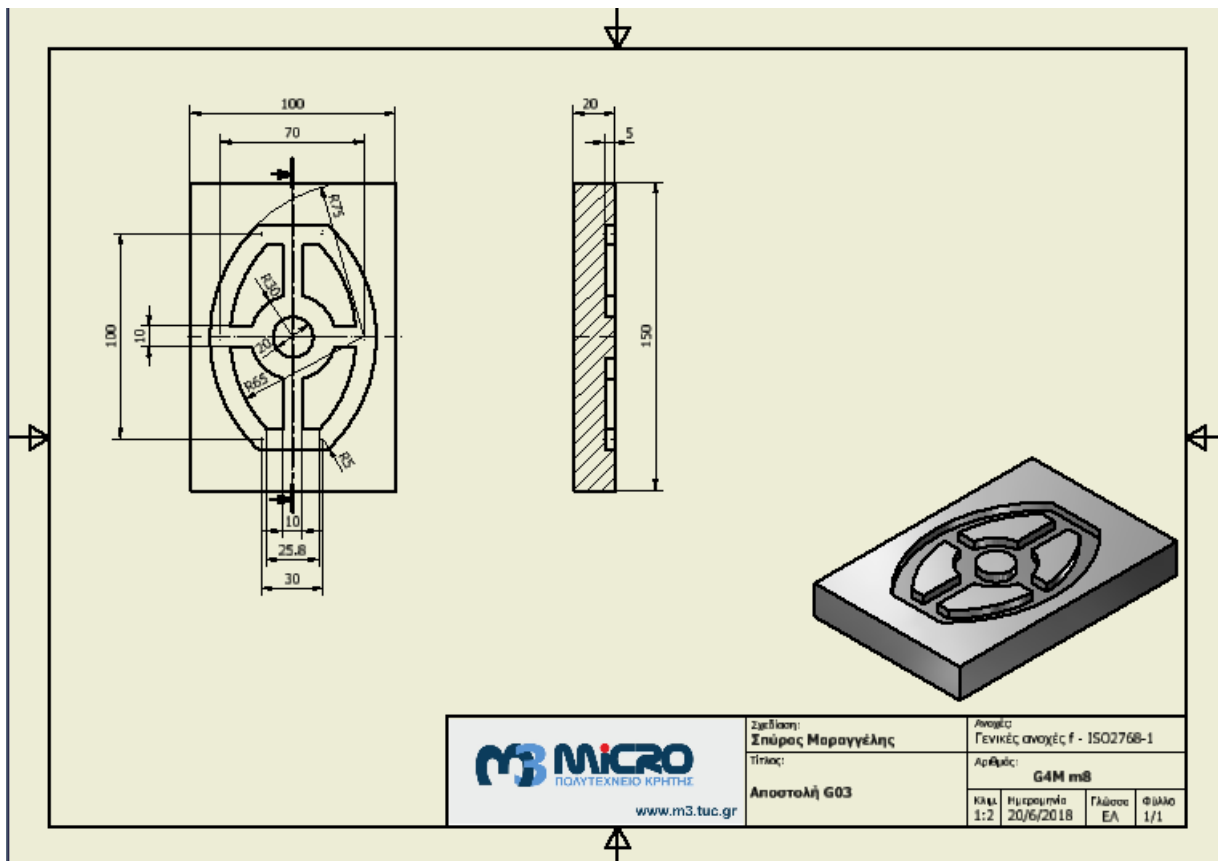
Σχήμα 3.13: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 7



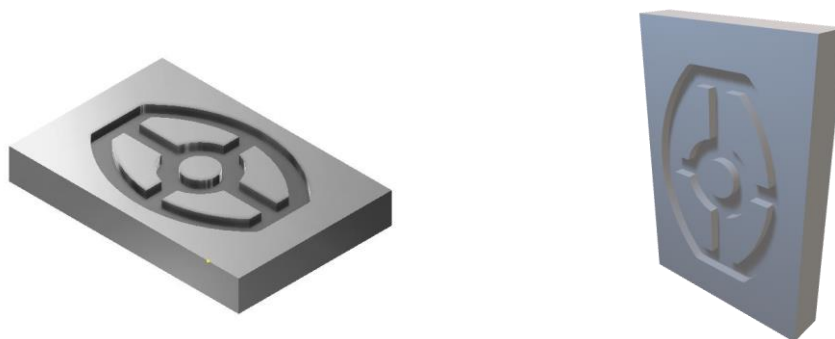
Σχήμα 3.14: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 7

### 3.8 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 8

Η αποστολή 8 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G03. Η εντολή G03 χρησιμοποιείται για την κατεργασία κύκλου ή κυκλικού τμήματος αριστερόστροφα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.15 και το σχήμα 3.16



Σχήμα 3.15: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 8

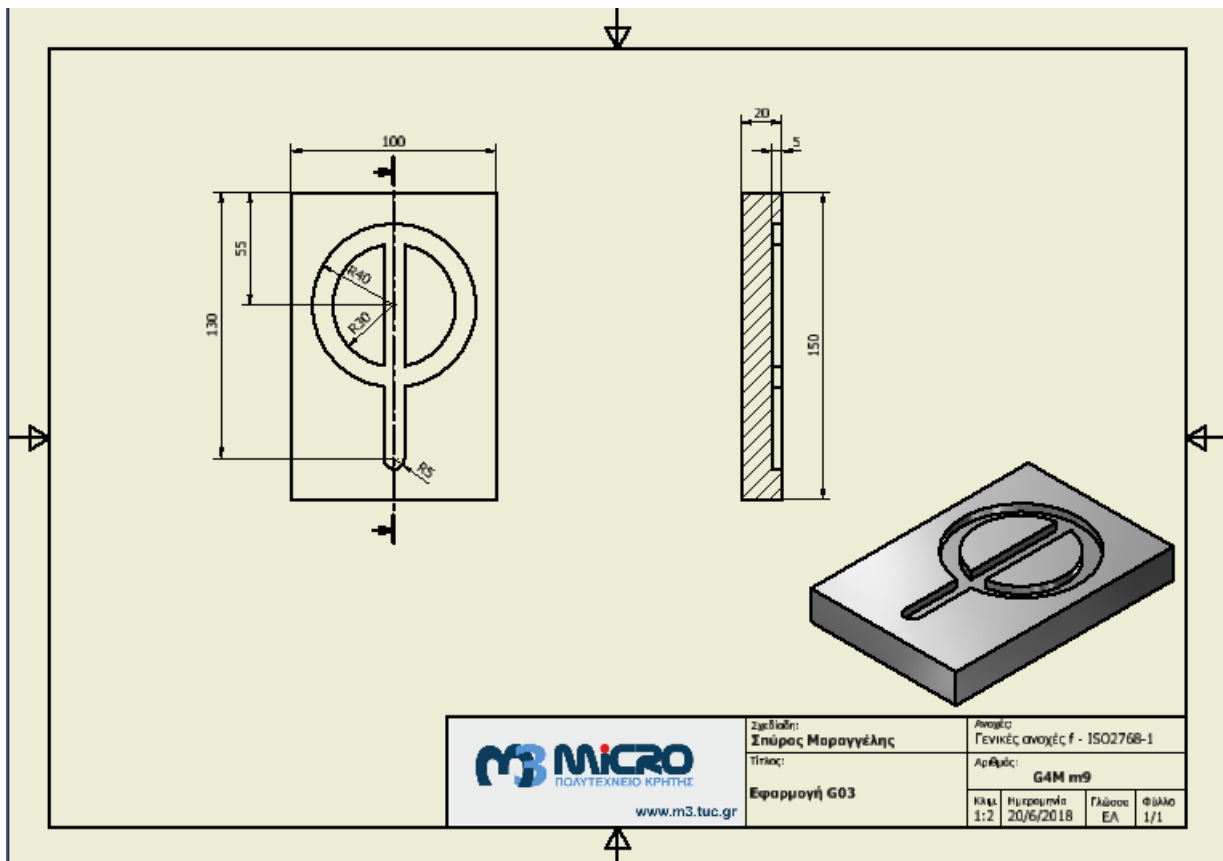


Σχήμα 3.16: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 8

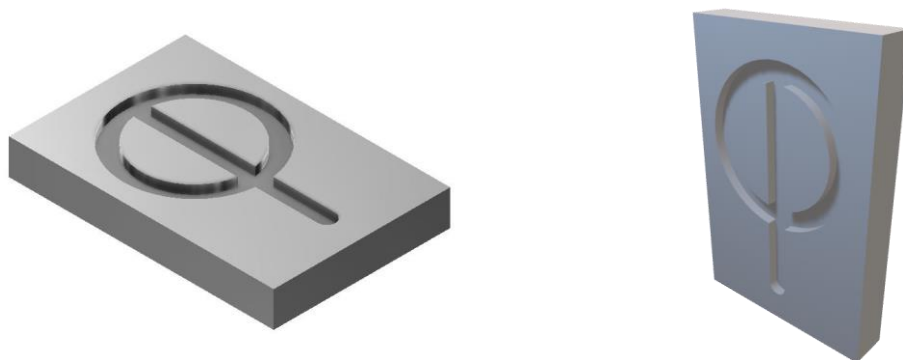


### 3.9 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 9

Η αποστολή 9 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G03. Η εντολή G03 χρησιμοποιείται για την κατεργασία κύκλου ή κυκλικού τμήματος αριστερόστροφα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.17 και το σχήμα 3.18



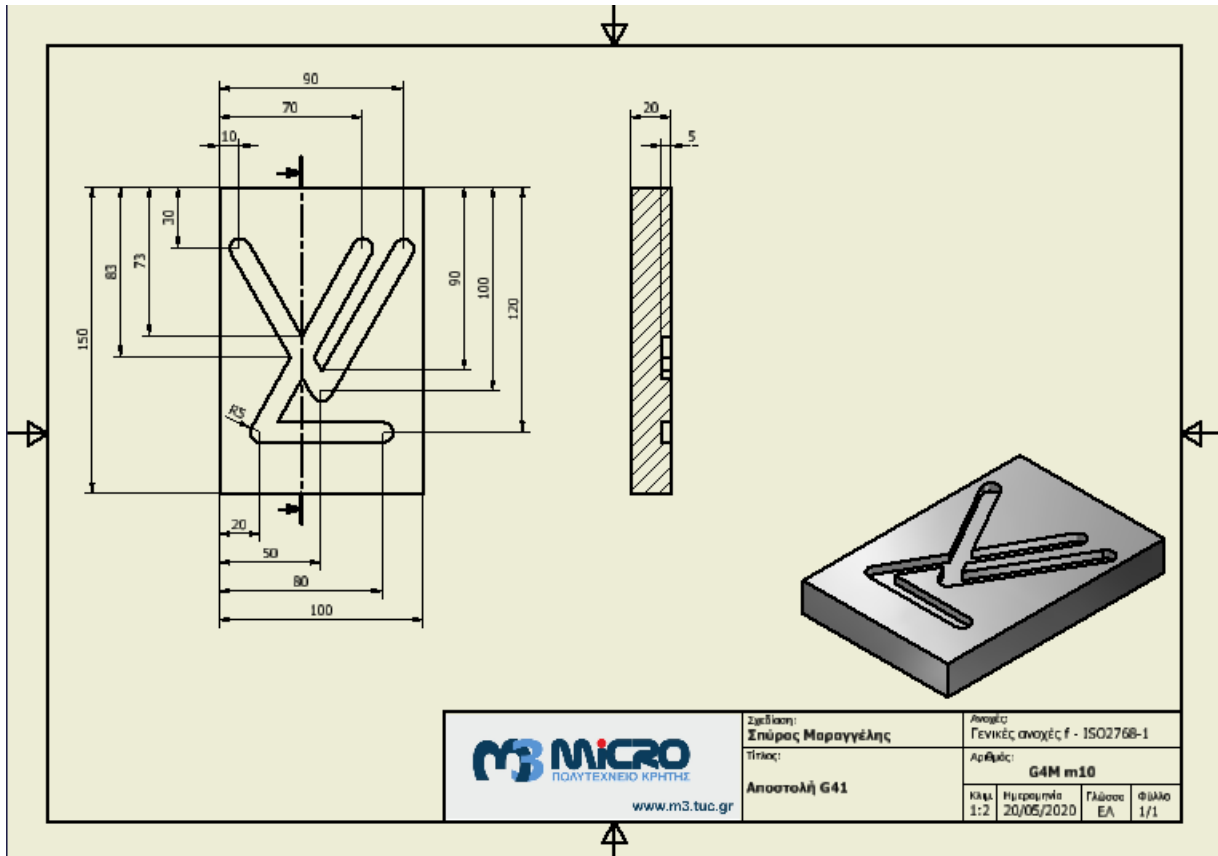
Σχήμα 3.17: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 9



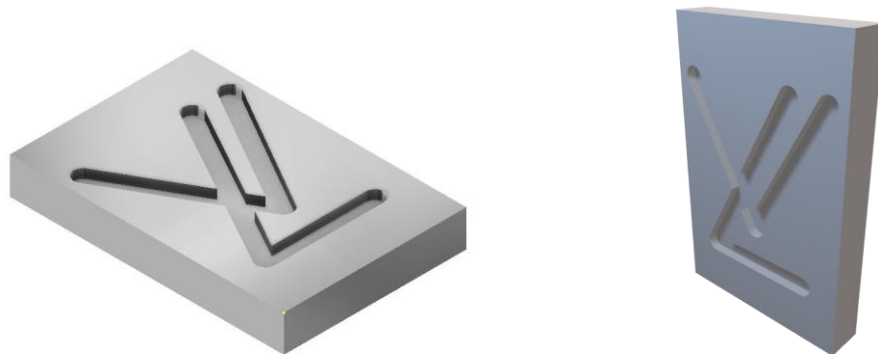
Σχήμα 3.18: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 9

### 3.10 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 10

Η αποστολή 10 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G40 G41 G42. Οι εντολές G41 G42 χρησιμοποιούνται για να συνυπολογιστεί στην κατεργασία η ακτίνα του εργαλείου με σκοπό την επιθυμητή διάσταση, κινείται δηλαδή από αριστερά ή δεξιά της προγραμματισμένης διαδρομής. Η σύνταξη των εντολών είναι αναγκαίο να συνοδεύεται από μετακίνηση θέσης είτε G01 ευθεία κίνηση με κοπή, είτε G00 γρήγορη ευθεία κίνηση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.19 και το σχήμα 3.20



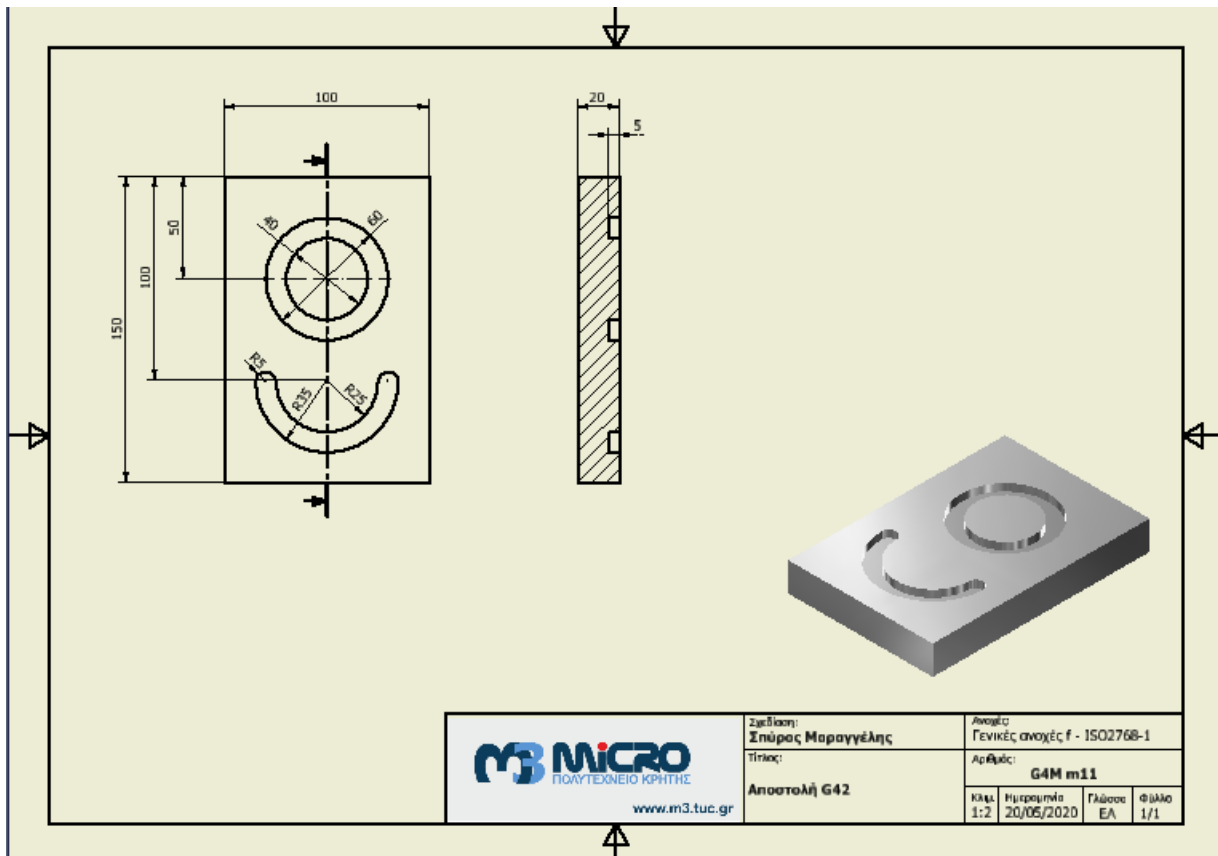
Σχήμα 3.19: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 10



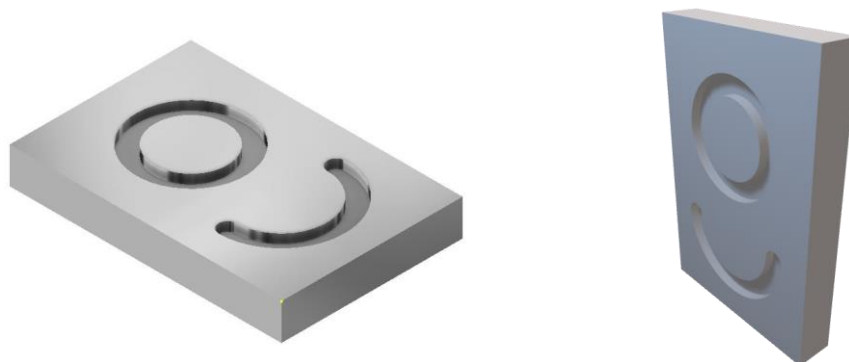
Σχήμα 3.20: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 10

### 3.11 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 11

Η αποστολή 11 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G40 G41 G42. Οι εντολές G41 G42 χρησιμοποιούνται για να συνυπολογίστει στην κατεργασία η ακτίνα του εργαλείου με σκοπό την επιθυμητή διάσταση, κινείται δηλαδή από αριστερά ή δεξιά της προγραμματισμένης διαδρομής. Η σύνταξη των εντολών είναι αναγκαίο να συνοδεύεται από μετακίνηση θέσης είτε G01 ευθεία κίνηση με κοπή, είτε G00 γρήγορη ευθεία κίνηση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.21 και το σχήμα 3.22



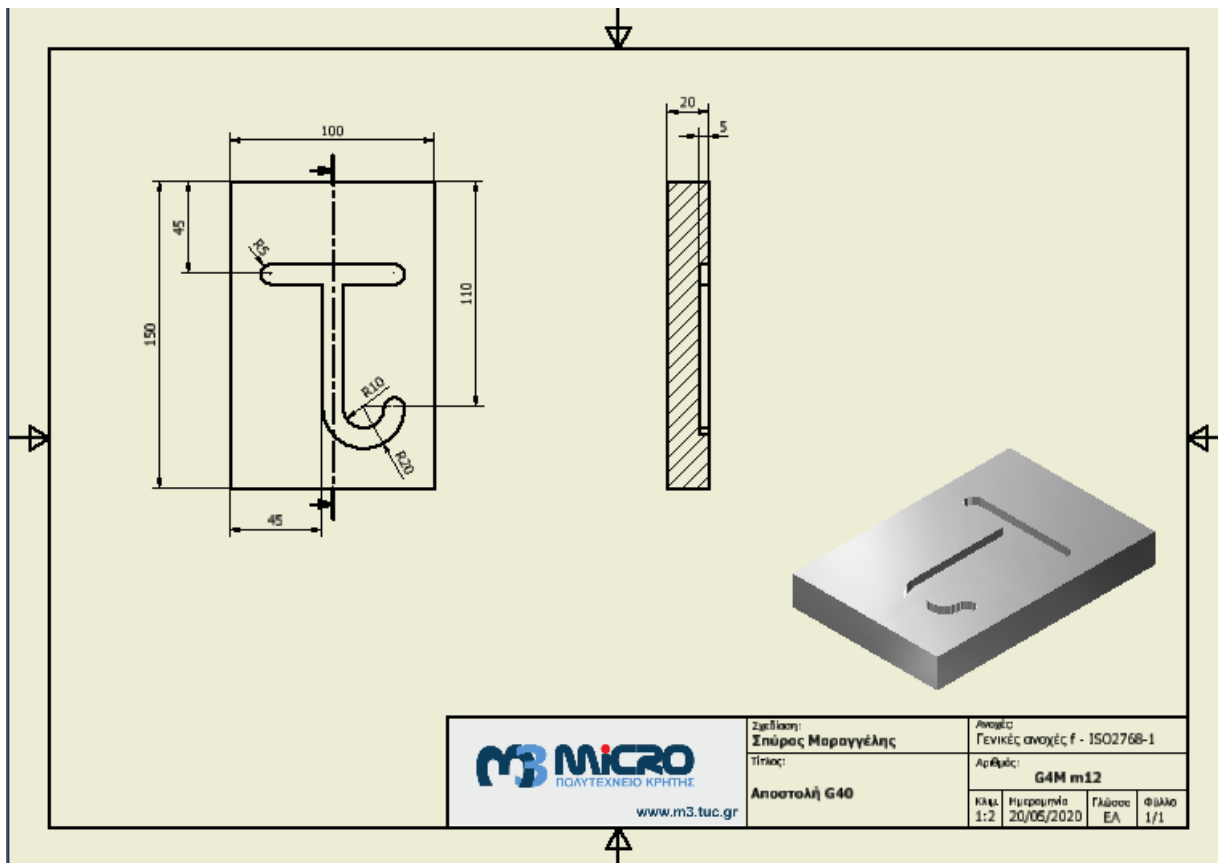
Σχήμα 3.21: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 11



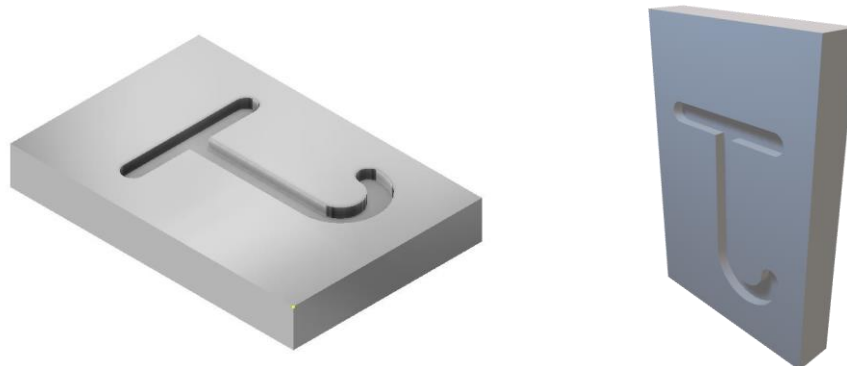
Σχήμα 3.22: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 11

### 3.12 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 12

Η αποστολή 12 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G40 G41 G42. Οι εντολές G41 G42 χρησιμοποιούνται για να συνυπολογιστεί στην κατεργασία η ακτίνα του εργαλείου με σκοπό την επιθυμητή διάσταση, κινείται δηλαδή από αριστερά ή δεξιά της προγραμματισμένης διαδρομής. Η σύνταξη των εντολών είναι αναγκαίο να συνοδεύεται από μετακίνηση θέσης είτε G01 ευθεία κίνηση με κοπή, είτε G00 γρήγορη ευθεία κίνηση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.23 και το σχήμα 3.24



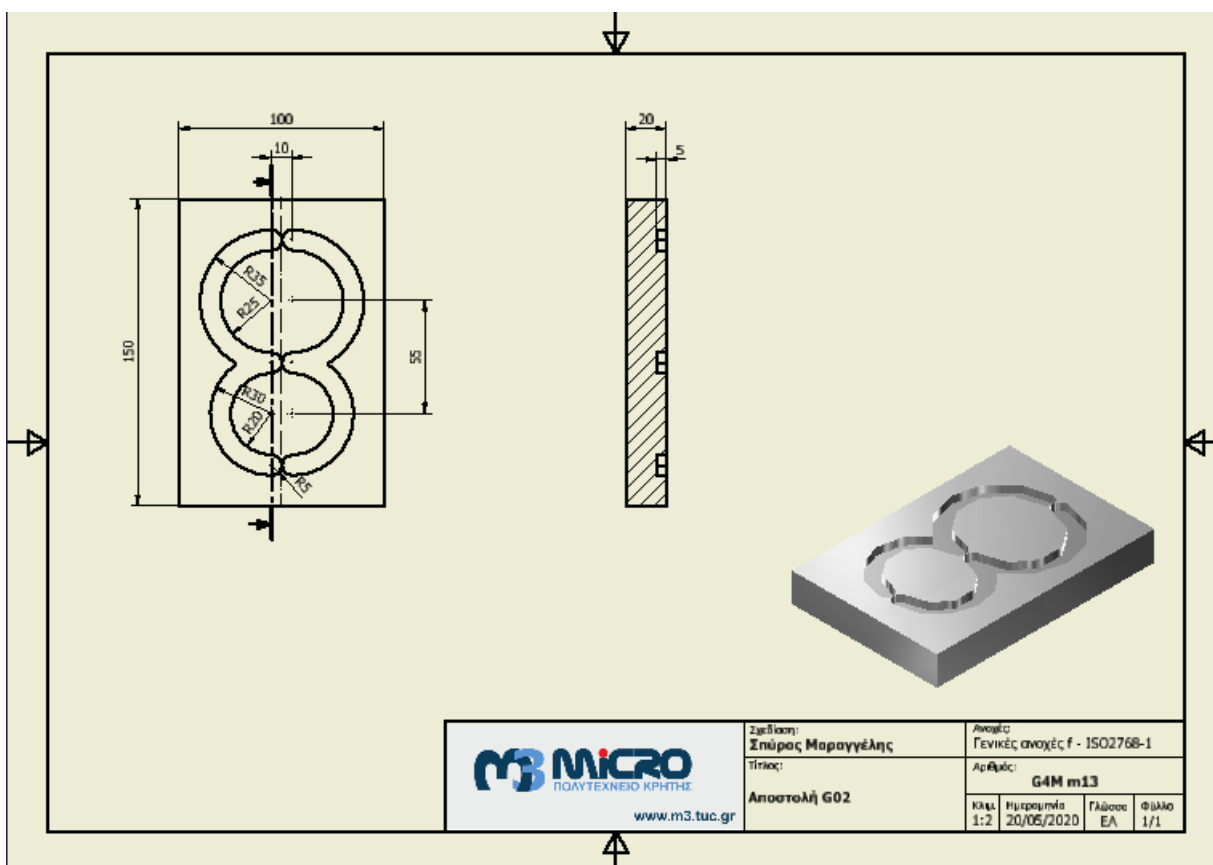
Σχήμα 3.23: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 12



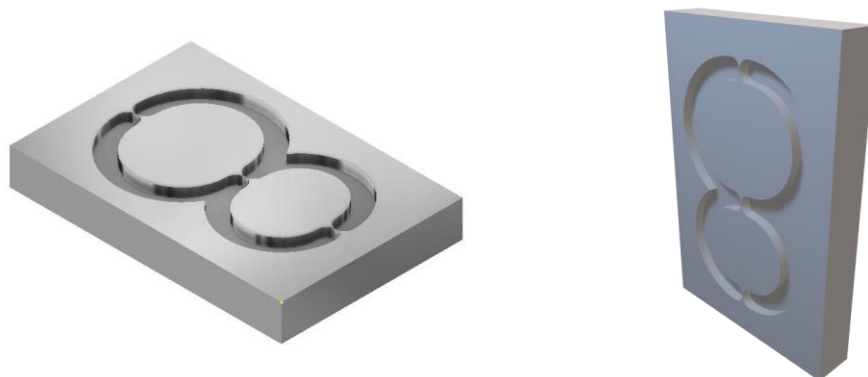
Σχήμα 3.24: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 12

### 3.13 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 13

Η αποστολή 13 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G40 G41 G42. Οι εντολές G41 G42 χρησιμοποιούνται για να συνυπολογίσει στην κατεργασία η ακτίνα του εργαλείου με σκοπό την επιθυμητή διάσταση, κινείται δηλαδή από αριστερά ή δεξιά της προγραμματισμένης διαδρομής. Η σύνταξη των εντολών είναι αναγκαίο να συνοδεύεται από μετακίνηση θέσης είτε G01 ευθεία κίνηση με κοπή, είτε G00 γρήγορη ευθεία κίνηση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.25 και το σχήμα 3.26



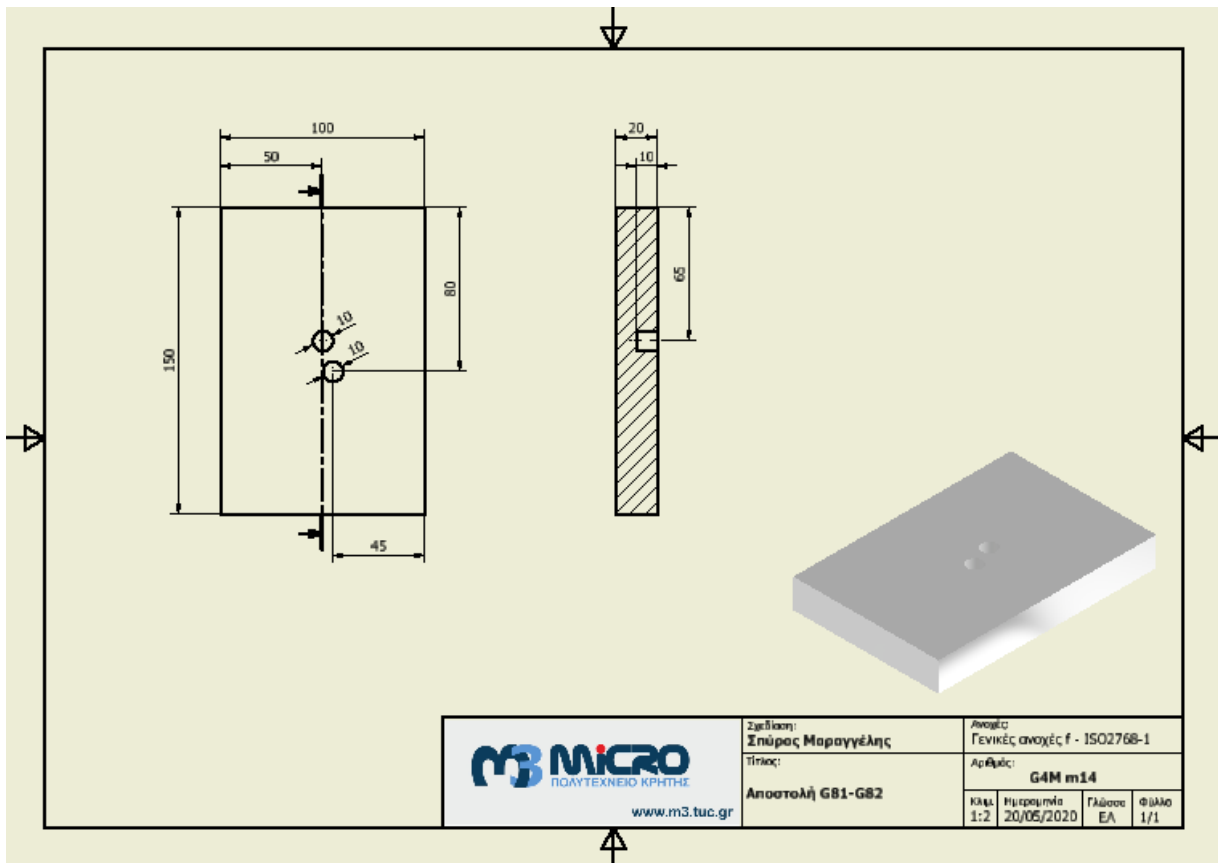
Σχήμα 3.25: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 13



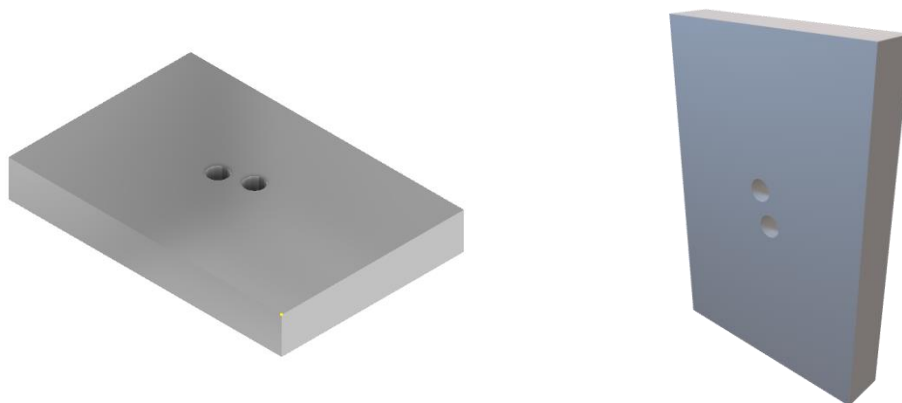
Σχήμα 3.26: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 13

### 3.14 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 14

Η αποστολή 14 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G81 G82. Με την εντολή G81 εκτελείται κύκλος κατεργασίας τρυπήματος με τρυπάνι, μέχρι να ακυρωθεί η εντολή ή να επιλεγεί ένας άλλος κύκλος κατεργασίας. Για να εκτελεστεί σωστά ο κύκλος κατεργασίας G81 θα πρέπει ήδη να έχουμε εκτελέσει σημειακό τρύπημα με τον κύκλο G82 στα ίδια σημεία. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.27 και το σχήμα 3.28



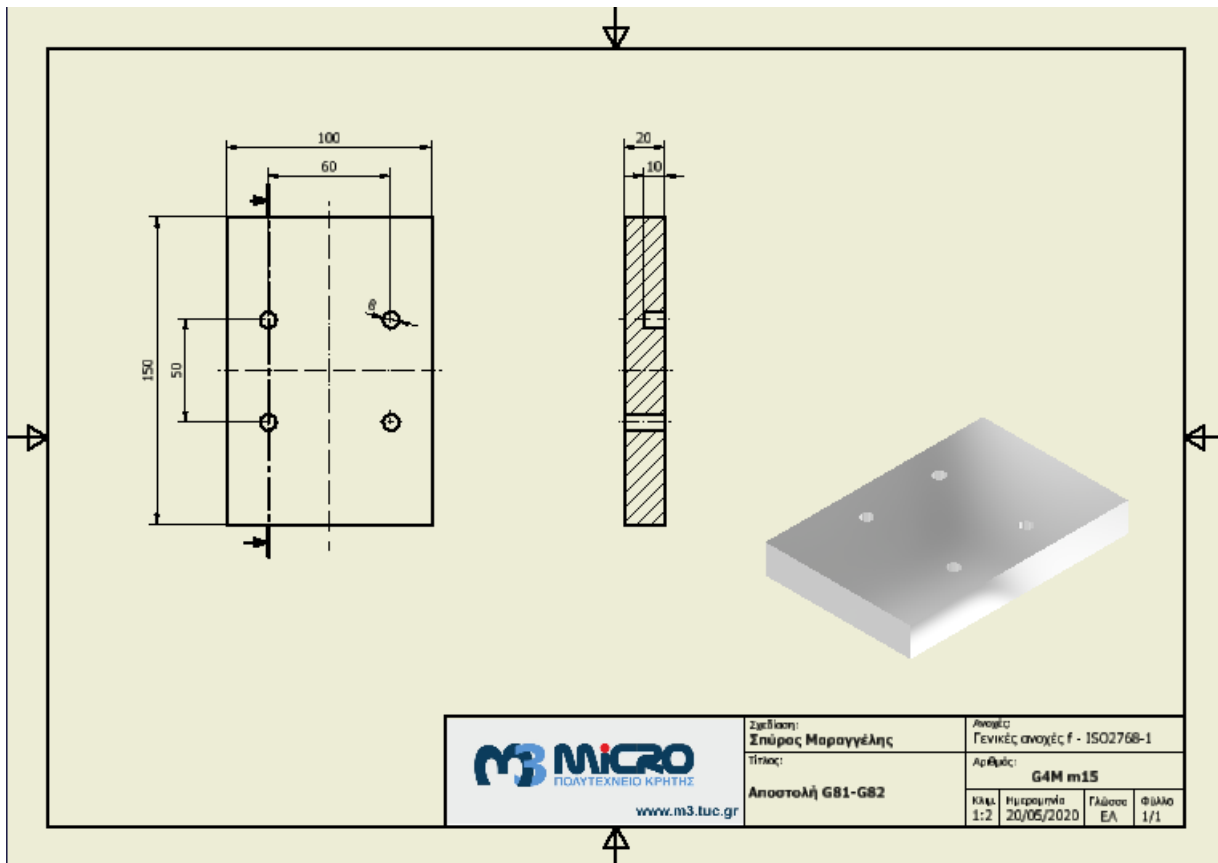
Σχήμα 3.27: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 14



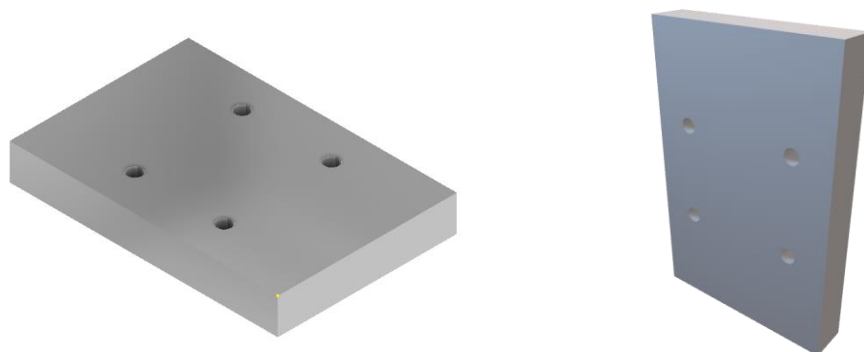
Σχήμα 3.28: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 14

### 3.15 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 15

Η αποστολή 15 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G81 G82. Με την εντολή G81 εκτελείται κύκλος κατεργασίας τρυπήματος με τρυπάνι, μέχρι να ακυρωθεί η εντολή ή να επιλεγεί ένας άλλος κύκλος κατεργασίας. Για να εκτελεστεί σωστά ο κύκλος κατεργασίας G81 θα πρέπει ήδη να έχουμε εκτελέσει σημειακό τρύπημα με τον κύκλο G82 στα ίδια σημεία. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.29 και το σχήμα 3.30



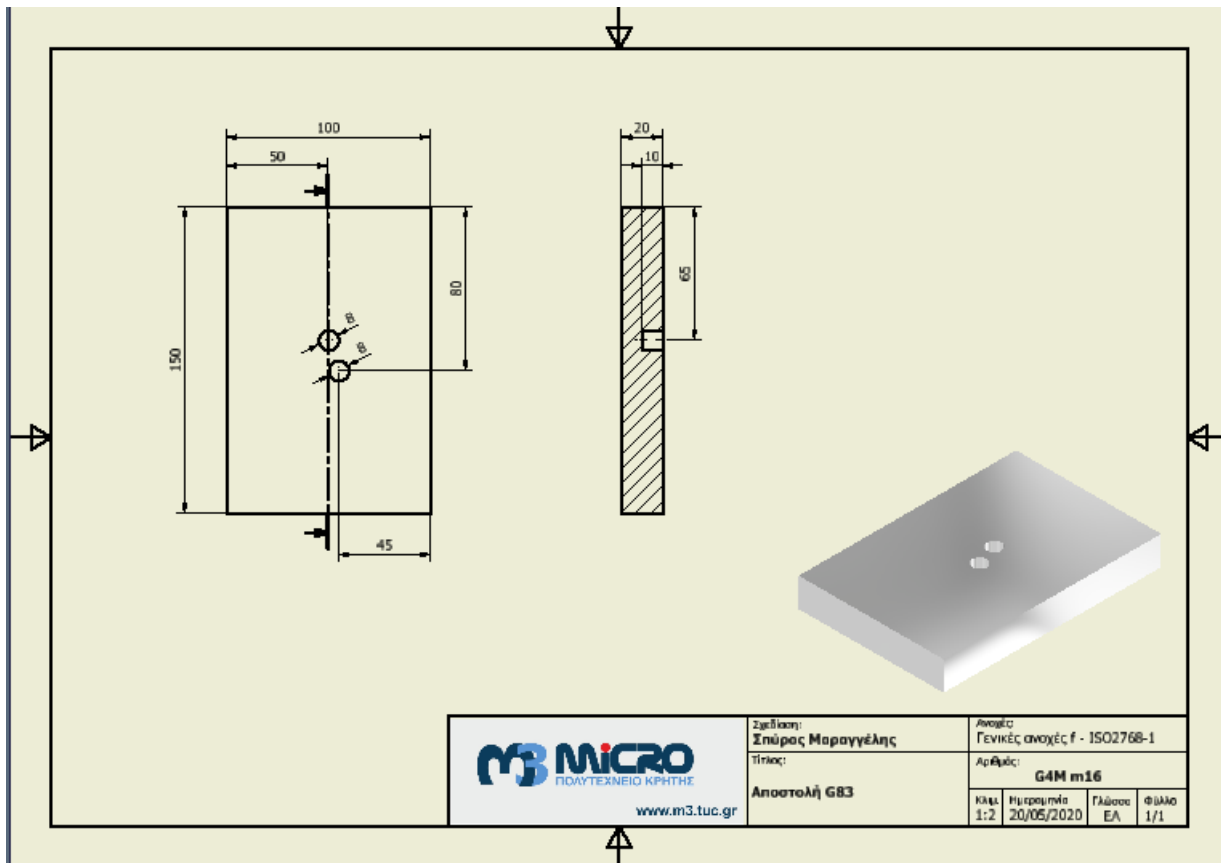
Σχήμα 3.29: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 15



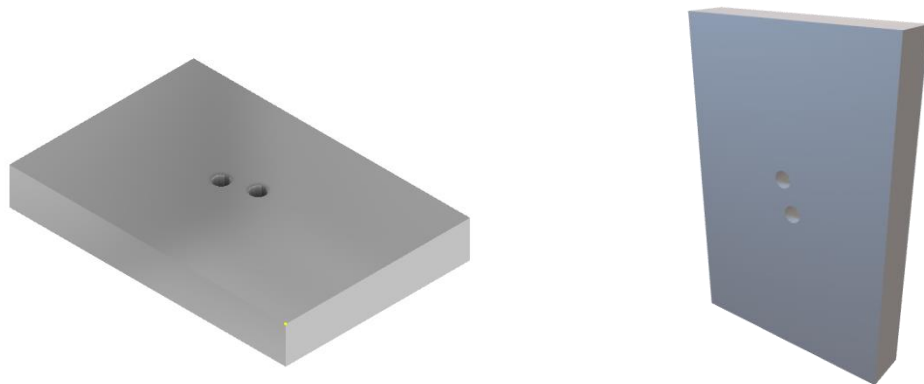
Σχήμα 3.30: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 15

### 3.16 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 16

Η αποστολή 16 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G83. Η εντολή αυτή είναι παροιμία με την εντολή G81 με την μονή διάφορα πως στην συγκεκριμένη εντολή η δημιουργία της οπής γίνεται σε σταδιακά πάσα, το κοπτικό εργαλείο βυθίζεται στο τεμάχιο κάθε φορά με το βάθος που του έχουμε ορίσει ως πάσο και θα επανέρχεται στο σημείο επαναφοράς. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.31 και το σχήμα 3.32



Σχήμα 3.31: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 16

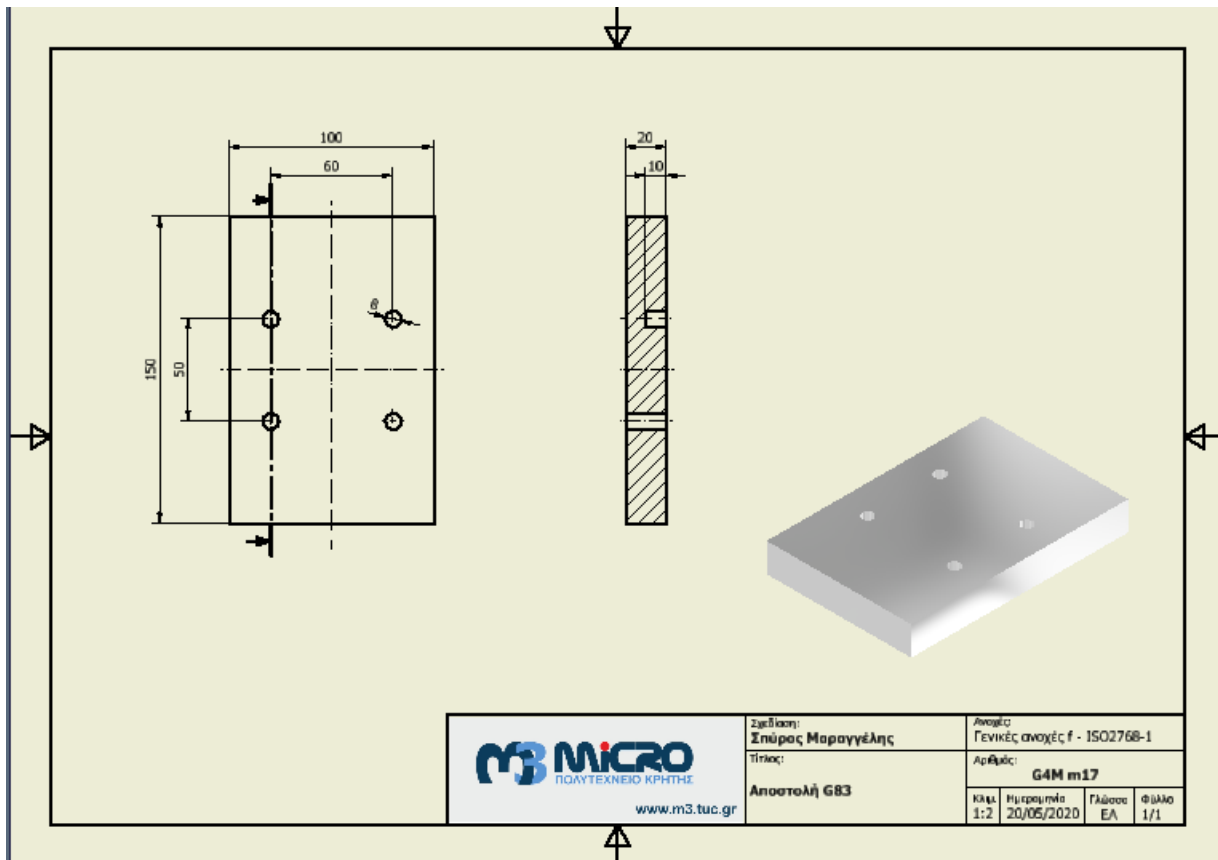


Σχήμα 3.32: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 16

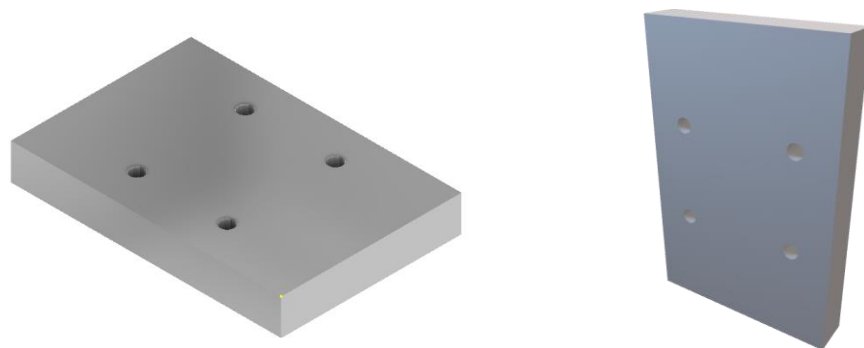


### 3.17 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 17

Η αποστολή 17 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G83. Η εντολή αυτή είναι παροιμία με την εντολή G81 με την μονή διάφορα πως στην συγκεκριμένη εντολή η δημιουργία της οπής γίνεται σε σταδιακά πάσα, το κοπτικό εργαλείο βυθίζεται στο τεμάχιο κάθε φορά με το βάθος που του έχουμε ορίσει ως πάσο και θα επανέρχεται στο σημείο επαναφοράς. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.33 και το σχήμα 3.34



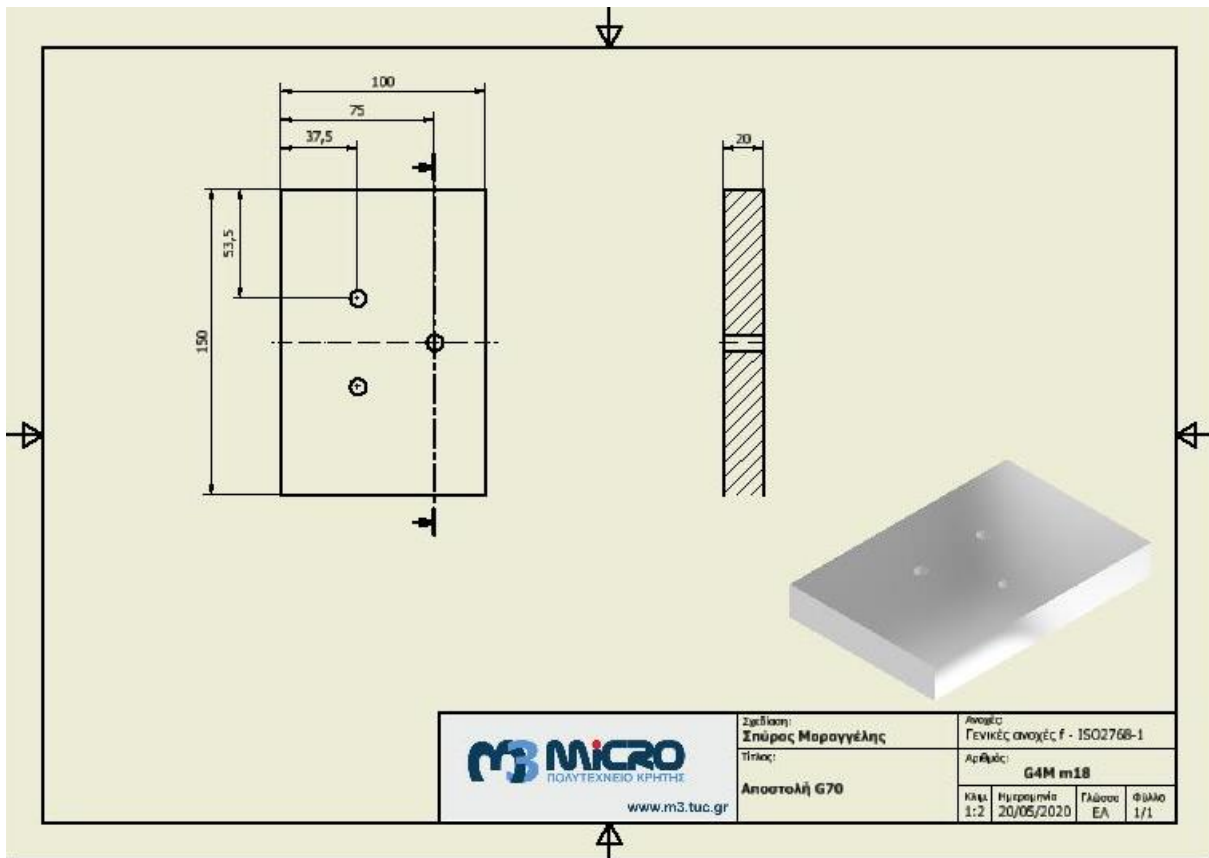
Σχήμα 3.33: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 17



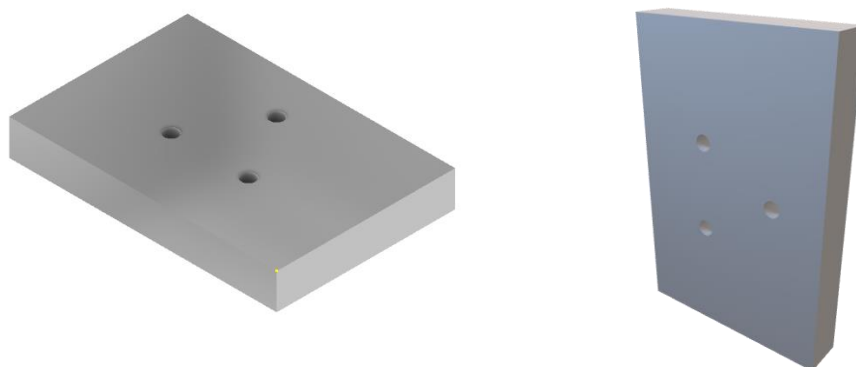
Σχήμα 3.34: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 17

### 3.18 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 18

Η αποστολή 18 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G70. Η εντολή G70 χρησιμοποιείται για τη δημιουργία οπών πάνω σε τροχιά κύκλου. Για την εκτέλεση του κύκλου κατεργασίας πρέπει η εντολή να συνδυαστεί με τις εντολές G81, G82, G83, G84, G76, G85, G89. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.35 και το σχήμα 3.36



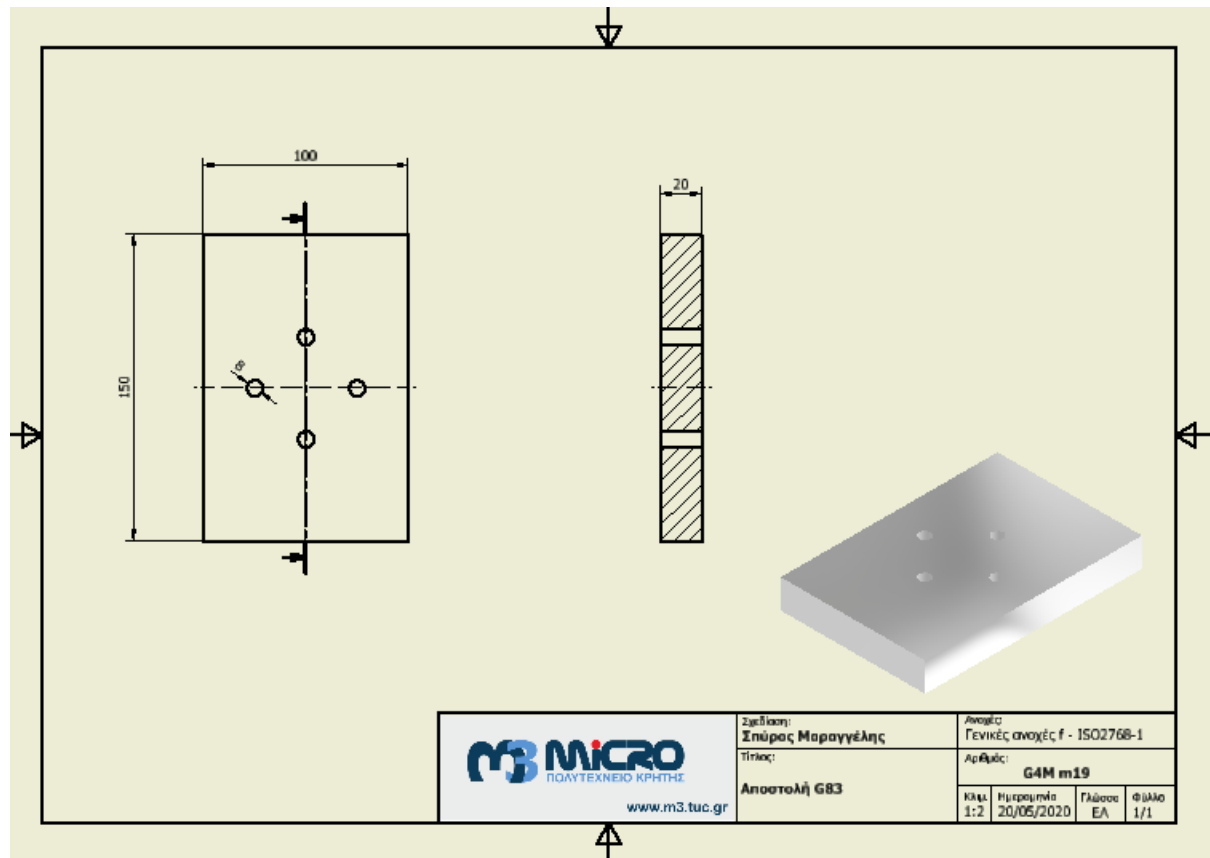
Σχήμα 3.35: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 18



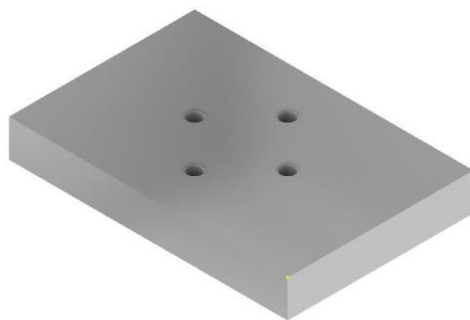
Σχήμα 3.36: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 18

### 3.19 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 19

Η αποστολή 19 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G70. Η εντολή G70 χρησιμοποιείται για τη δημιουργία οπών πάνω σε τροχιά κύκλου. Για την εκτέλεση του κύκλου κατεργασίας πρέπει η εντολή να συνδυαστεί με τις εντολές G81, G82, G83, G84, G76, G85, G89. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.37 και το σχήμα 3.38



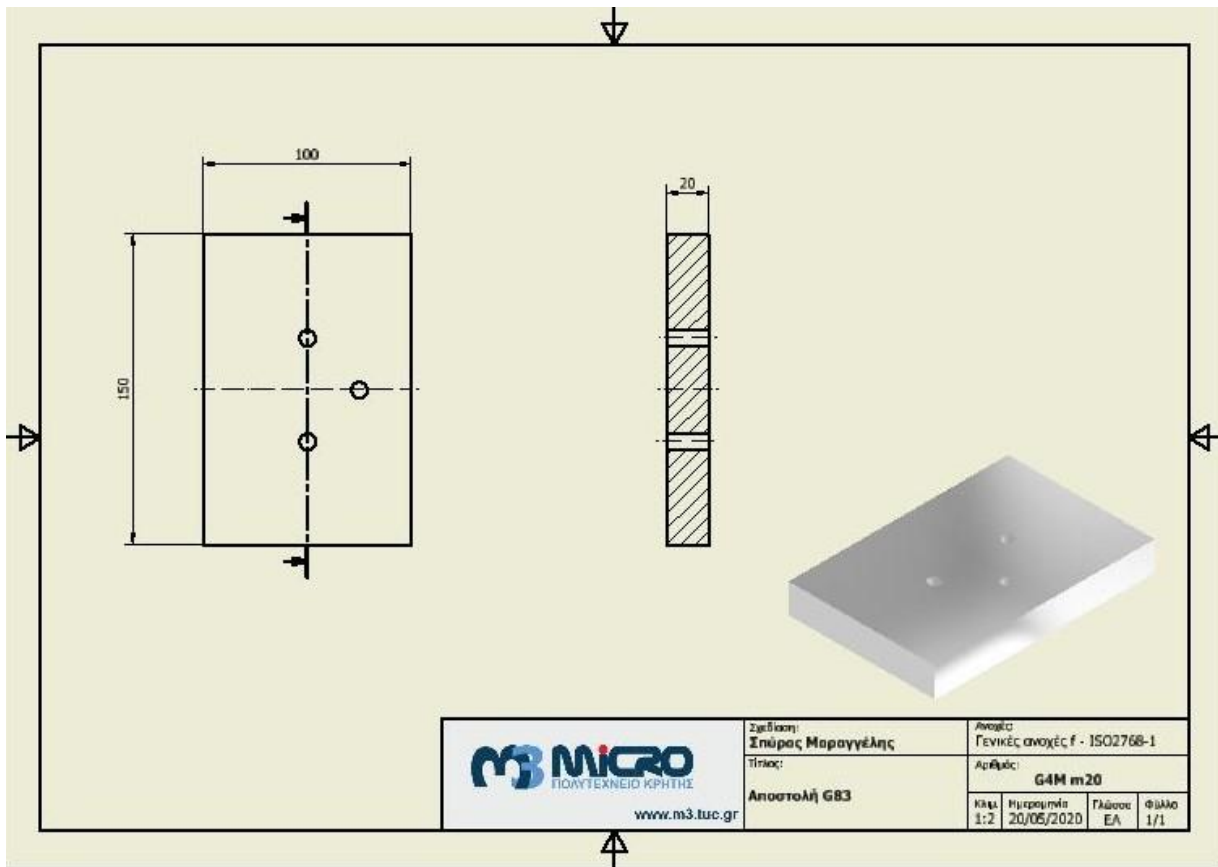
Σχήμα 3.37: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 19



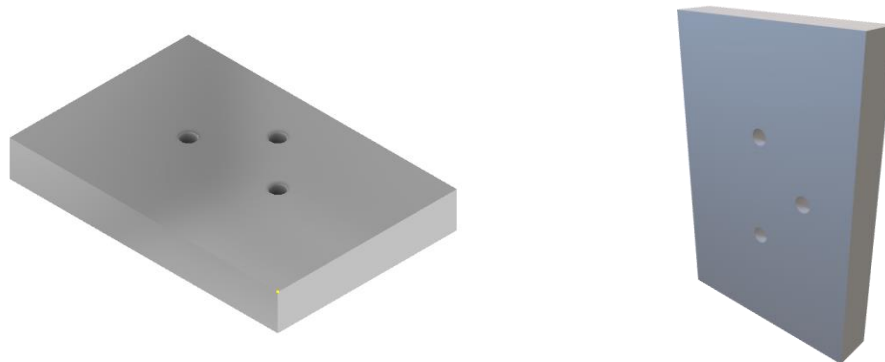
Σχήμα 3.38: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 19

### 3.20 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 20

Η αποστολή 20 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G71. Η εντολή G71 χρησιμοποιείται για τη δημιουργία σπών πάνω σε μήκος τόξου κύκλου. Για την εκτέλεση του κύκλου κατεργασίας πρέπει η εντολή να συνδυαστεί με τις εντολές G81, G82, G83, G84, G76, G85, G89. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.39 και το σχήμα 3.40



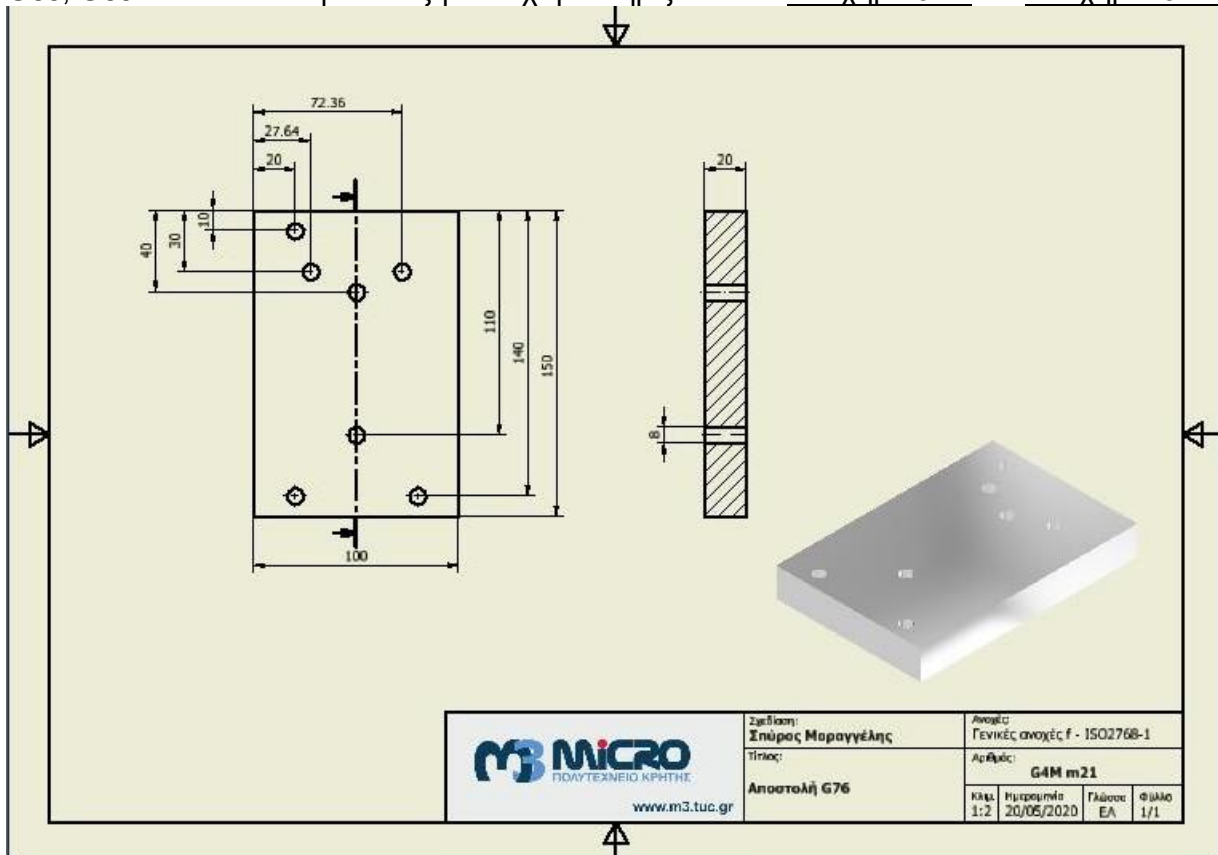
Σχήμα 3.39: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 20



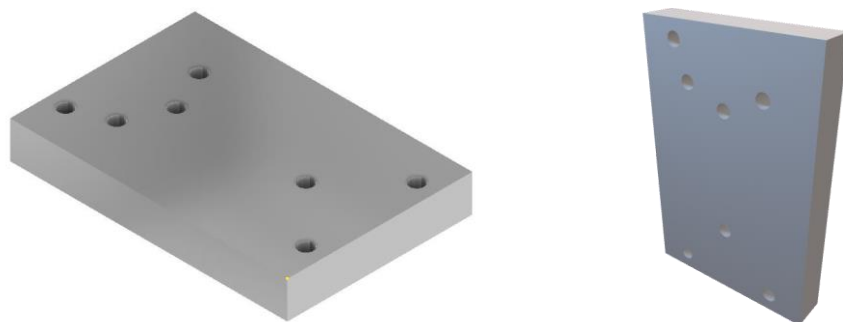
Σχήμα 3.40: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 20

### 3.21 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 21

Η αποστολή 21 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G71. Η εντολή G71 χρησιμοποιείται για τη δημιουργία σπών πάνω σε μήκος τόξου κύκλου. Για την εκτέλεση του κύκλου κατεργασίας πρέπει η εντολή να συνδυαστεί με τις εντολές G81, G82, G83, G84, G76, G85, G89. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.41 και το σχήμα 3.42



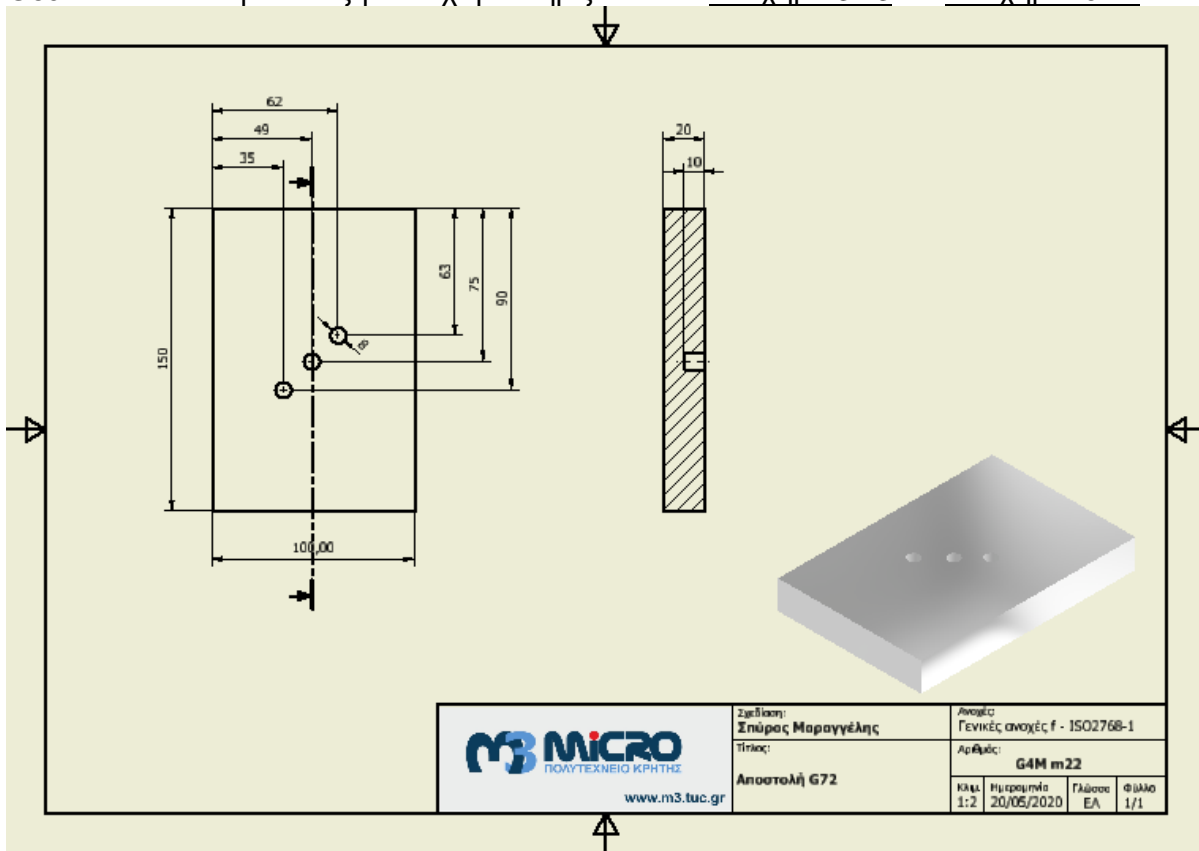
Σχήμα 3.41: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 21



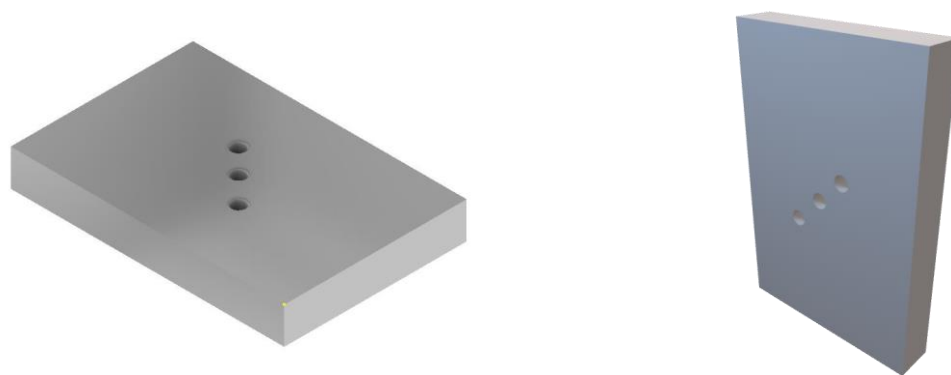
Σχήμα 3.42: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 21

### 3.22 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 22

Η αποστολή 22 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G72. Η εντολή G72 χρησιμοποιείται για τη δημιουργία σε γραμμική διάταξη υπό γωνία. Για την εκτέλεση του κύκλου κατεργασίας πρέπει η εντολή να συνδυαστεί με τις εντολές G81, G82, G83, G84, G76, G85, G89. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.43 και το σχήμα 3.44



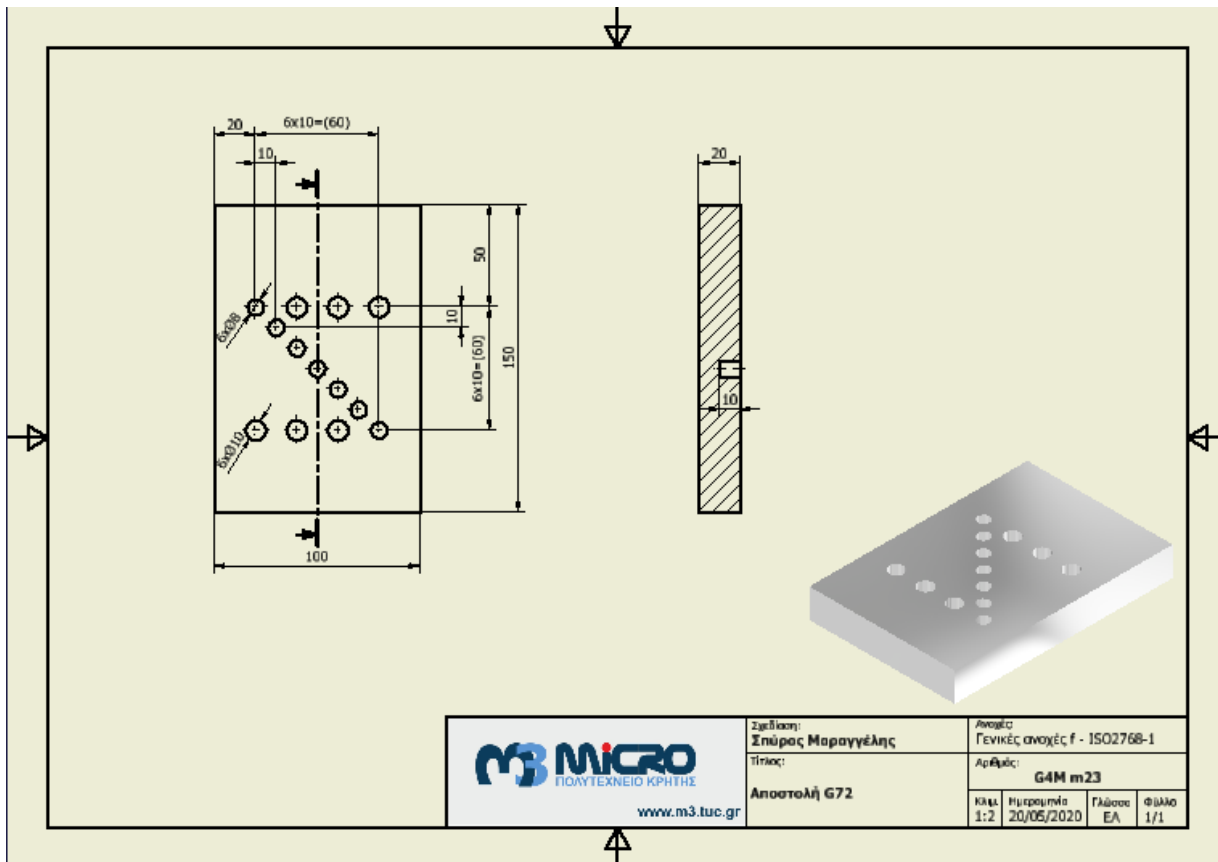
Σχήμα 3.43: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 22



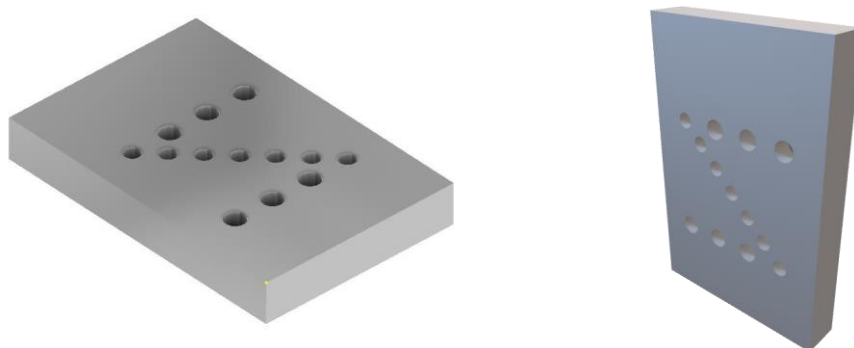
Σχήμα 3.44: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 22

### 3.23 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 23

Η αποστολή 23 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G72. Η εντολή G72 χρησιμοποιείται για τη δημιουργία σε γραμμική διάταξη υπό γωνία. Για την εκτέλεση του κύκλου κατεργασίας πρέπει η εντολή να συνδυαστεί με τις εντολές G81, G82, G83, G84, G76, G85, G89. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.45 και το σχήμα 3.46



Σχήμα 3.45: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 23



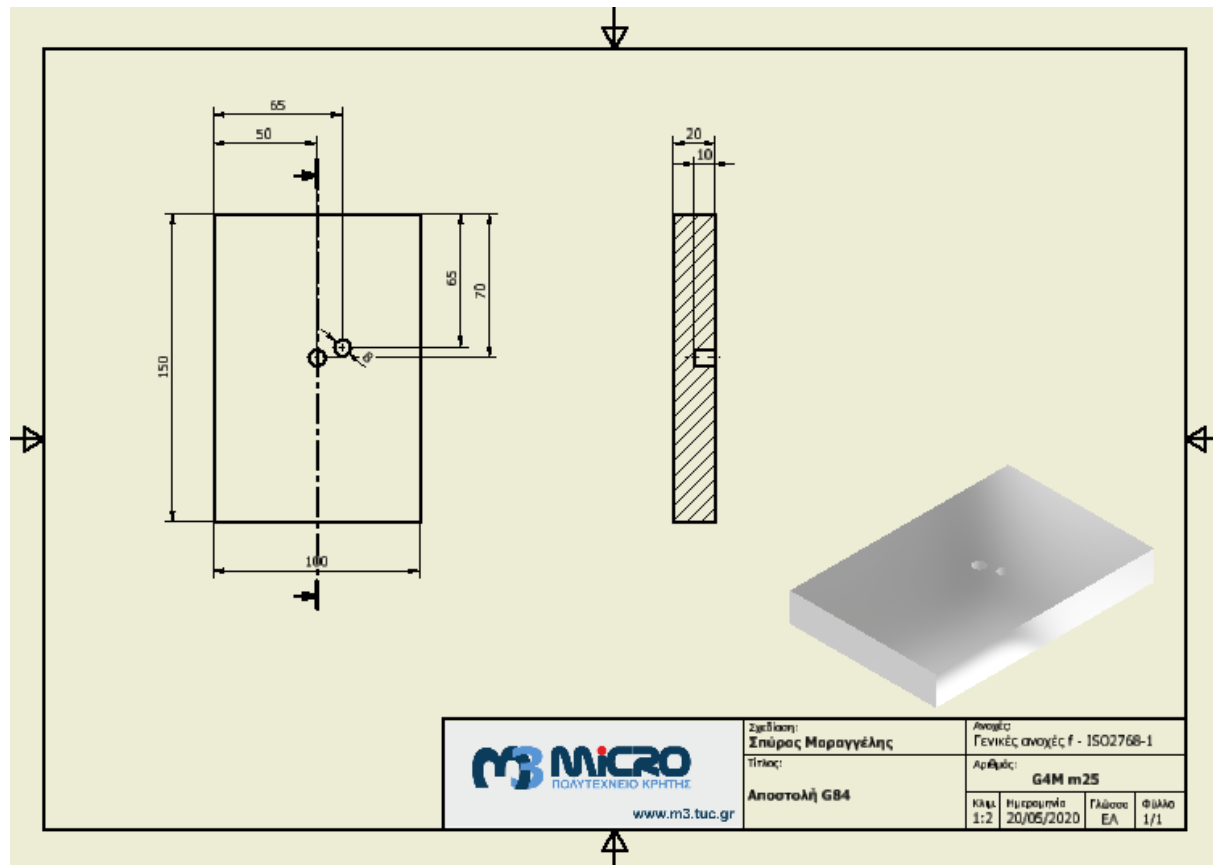
Σχήμα 3.46: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 23



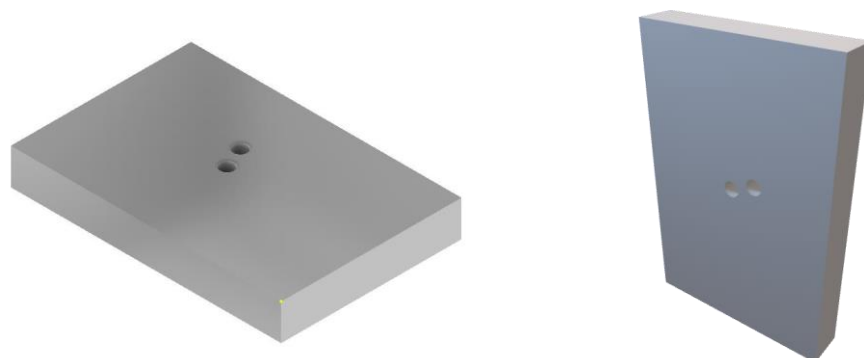


### 3.25 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 25

Η αποστολή 25 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G84. Με την εντολή G84 εκτελείται κύκλος κατεργασίας τρυπήματος με σπειρότομο, μέχρι να ακυρωθεί η εντολή ή να επιλεγεί ένας άλλος κύκλος κατεργασίας. Για να εκτελεστεί σωστά ο κύκλος κατεργασίας G84 θα πρέπει ήδη να έχουμε εκτελέσει σημειακό τρύπημα με τον κύκλο G82 και G81 στα ίδια σημεία. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.49 και το σχήμα 3.50



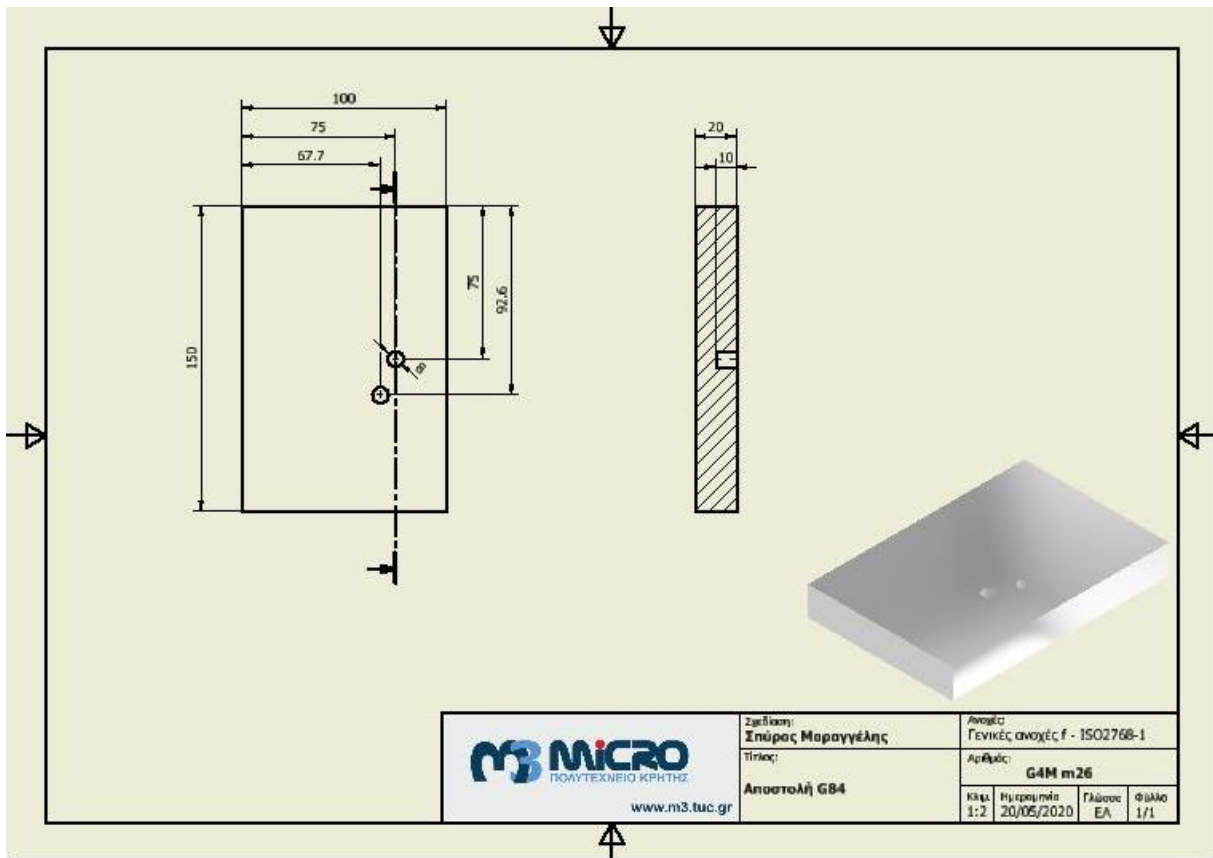
Σχήμα 3.49: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 25



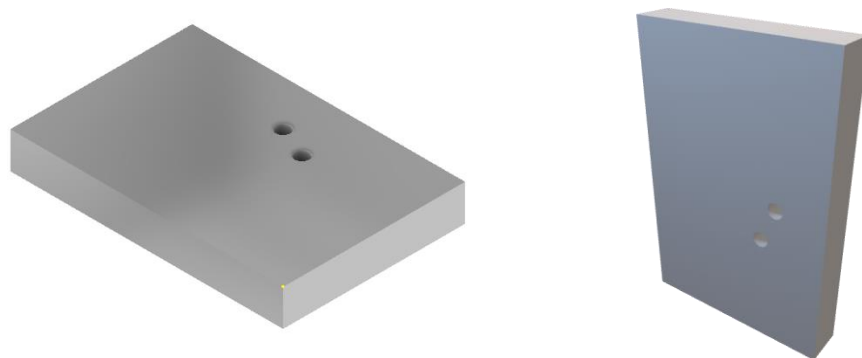
Σχήμα 3.50: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 25

### 3.26 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 26

Η αποστολή 26 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G84. Με την εντολή G84 εκτελείται κύκλος κατεργασίας τρυπήματος με σπειρότομο, μέχρι να ακυρωθεί η εντολή ή να επιλεγεί ένας άλλος κύκλος κατεργασίας. Για να εκτελεστεί σωστά ο κύκλος κατεργασίας G84 θα πρέπει ήδη να έχουμε εκτελέσει σημειακό τρύπημα με τον κύκλο G82 και G81 στα ίδια σημεία. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.51 και το σχήμα 3.52



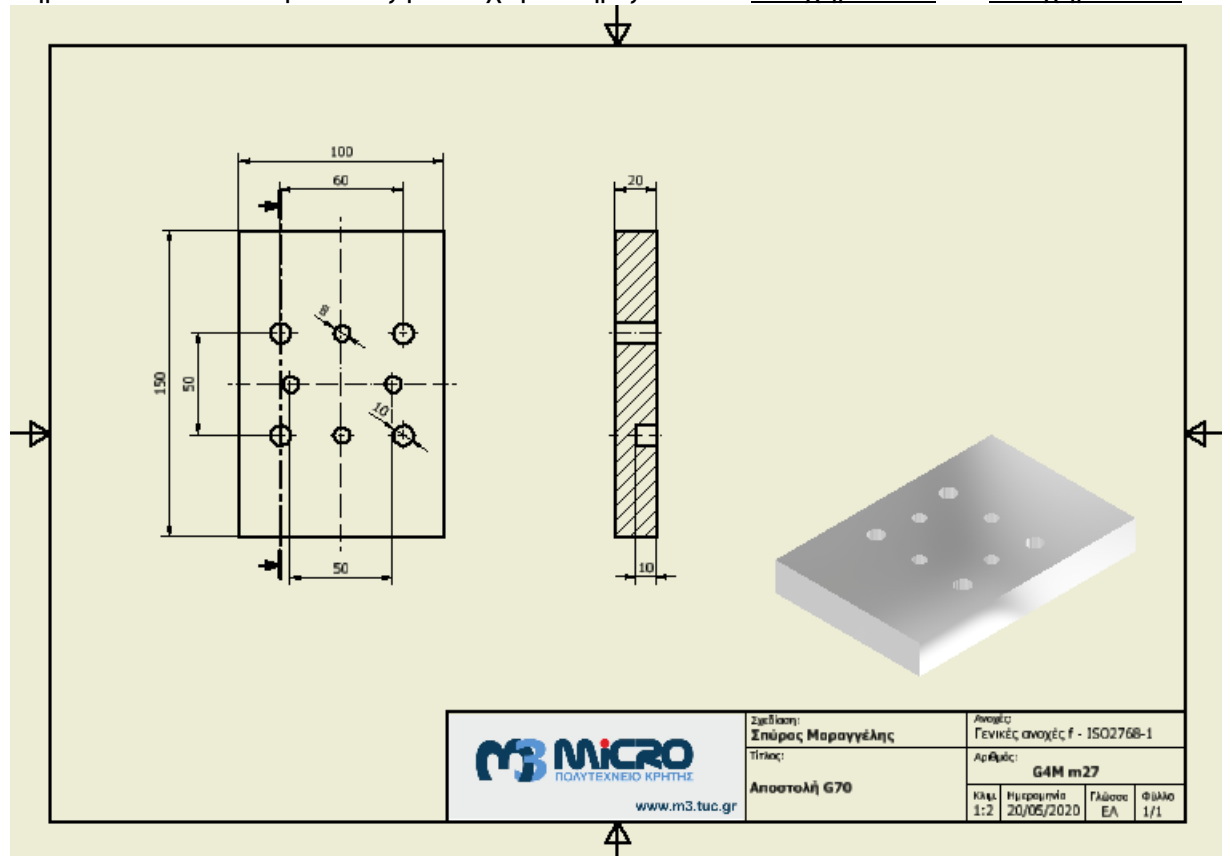
Σχήμα 3.51: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 26



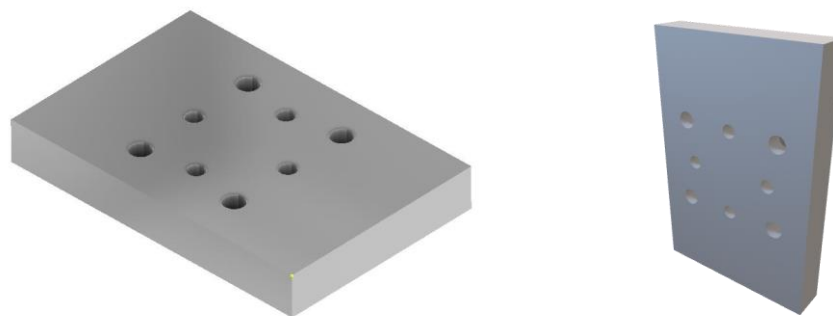
Σχήμα 3.52: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 26

### 3.27 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 27

Η αποστολή 27 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G84. Με την εντολή G84 εκτελείται κύκλος κατεργασίας τρυπήματος με σπειρότομο, μέχρι να ακυρωθεί η εντολή ή να επιλεγεί ένας άλλος κύκλος κατεργασίας. Για να εκτελεστεί σωστά ο κύκλος κατεργασίας G84 θα πρέπει ήδη να έχουμε εκτελέσει σημειακό τρύπημα με τον κύκλο G82 και G81 στα ίδια σημεία. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.53 και το σχήμα 3.54



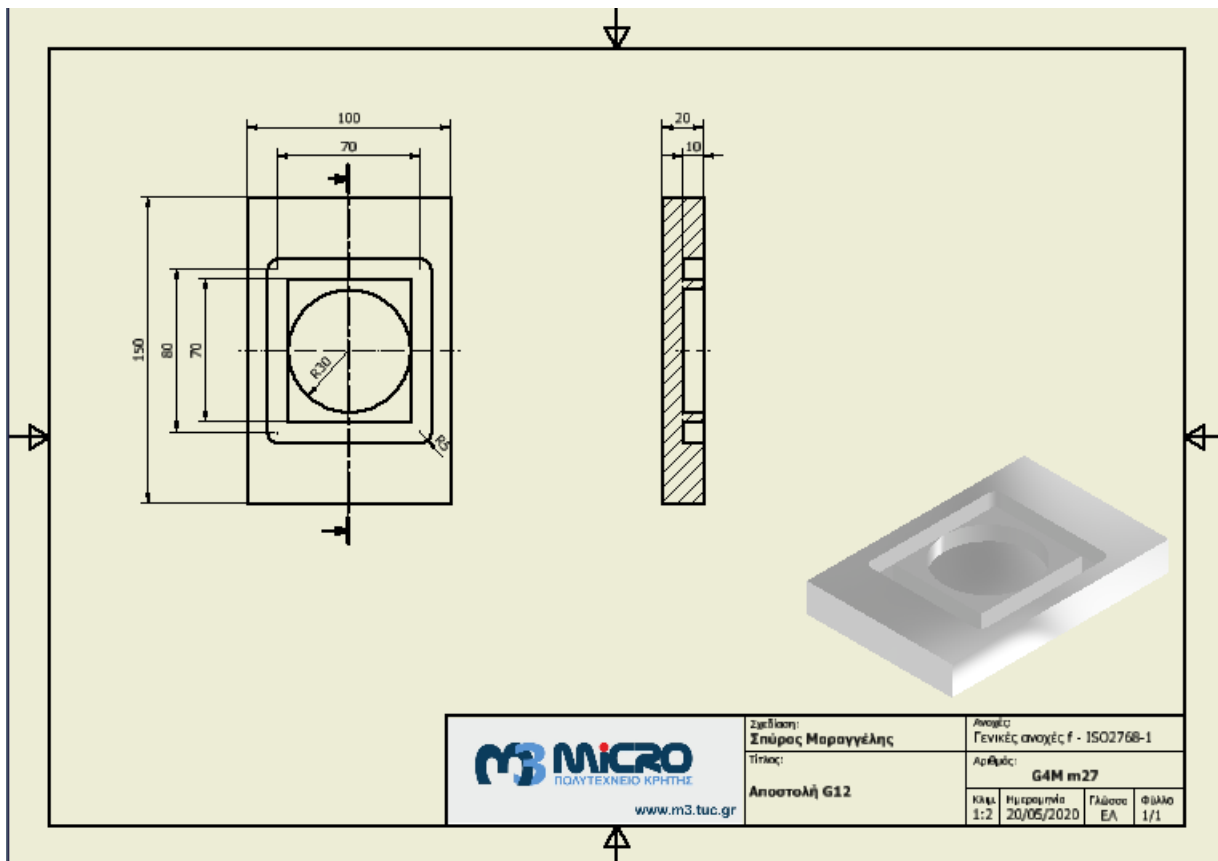
Σχήμα 3.53: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 27



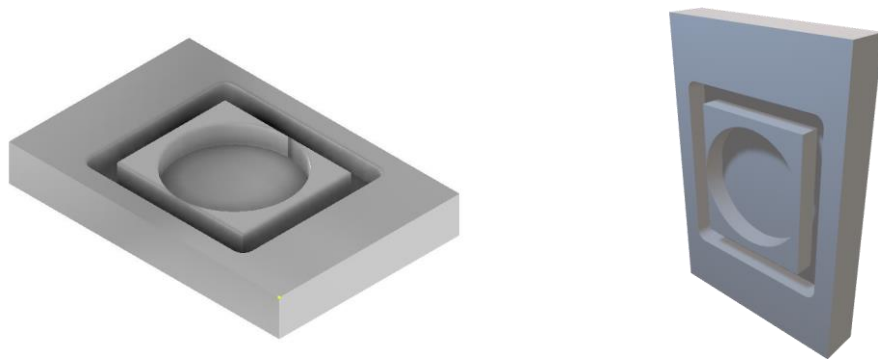
Σχήμα 3.54: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 27

### 3.28 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 28

Η αποστολή 28 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G12. Η εντολή αυτή δημιουργεί κυκλική εσοχή (rocket) με κυκλικές κινήσεις που έχουν ωρολογιακή φορά. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.55 και το σχήμα 3.56



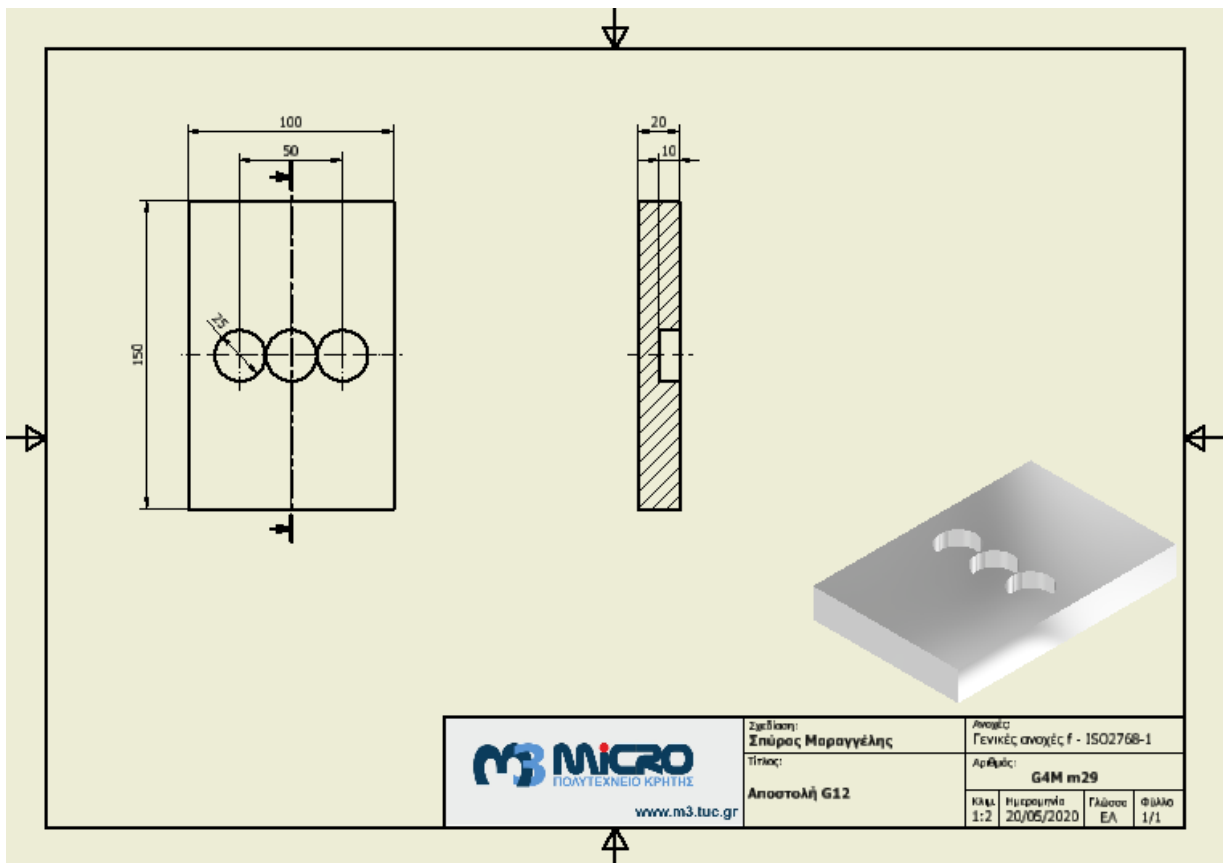
Σχήμα 3.55: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 28



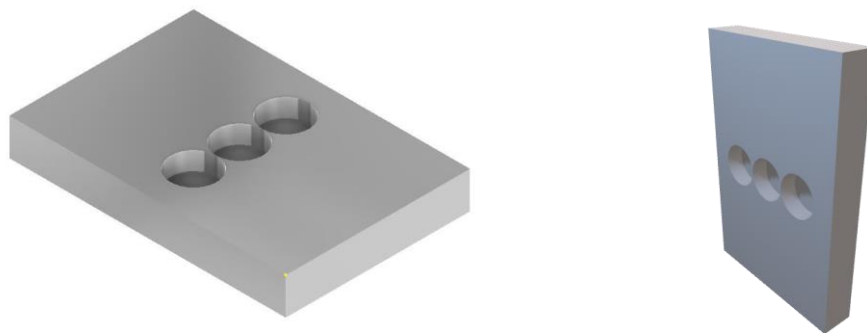
Σχήμα 3.56: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 28

### 3.29 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 29

Η αποστολή 29 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G12. Η εντολή αυτή δημιουργεί κυκλική εσοχή (rocket) με κυκλικές κινήσεις που έχουν ωρολογιακή φορά. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.57 και το σχήμα 3.58



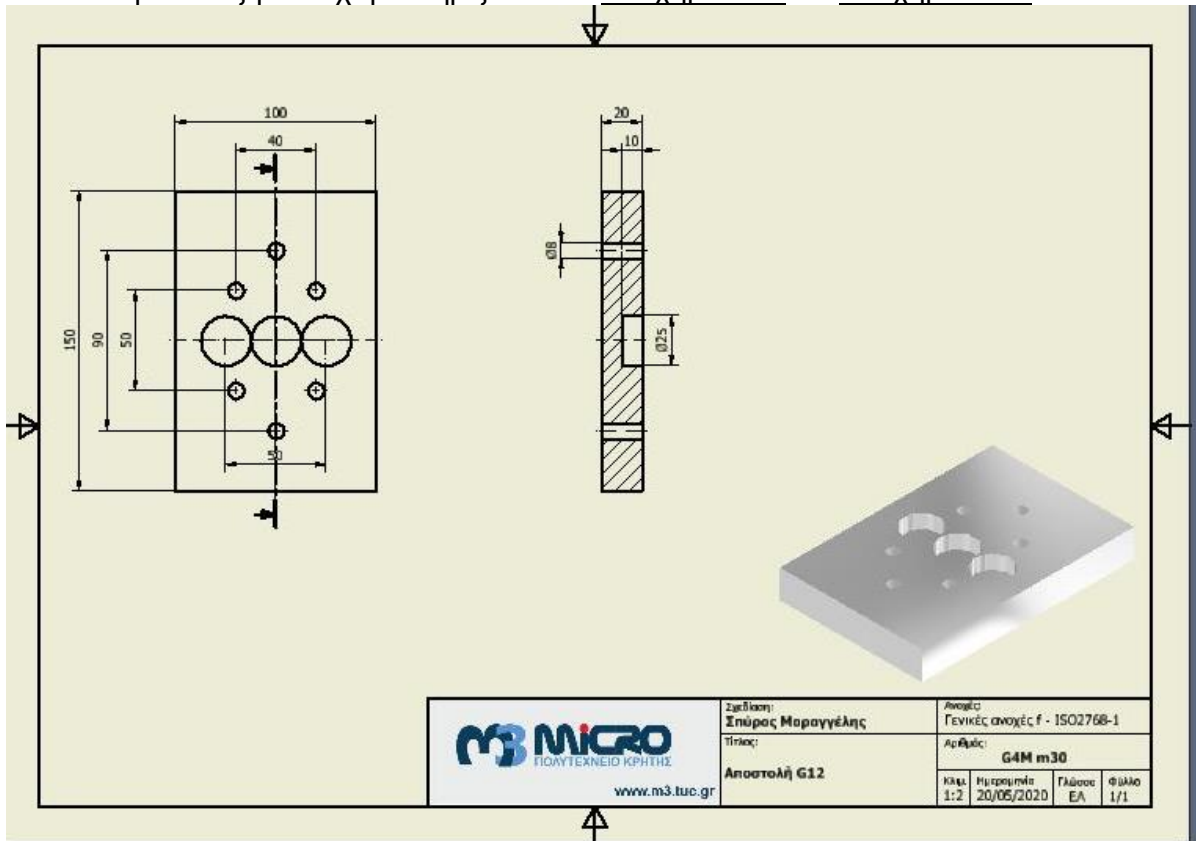
Σχήμα 3.57: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 29



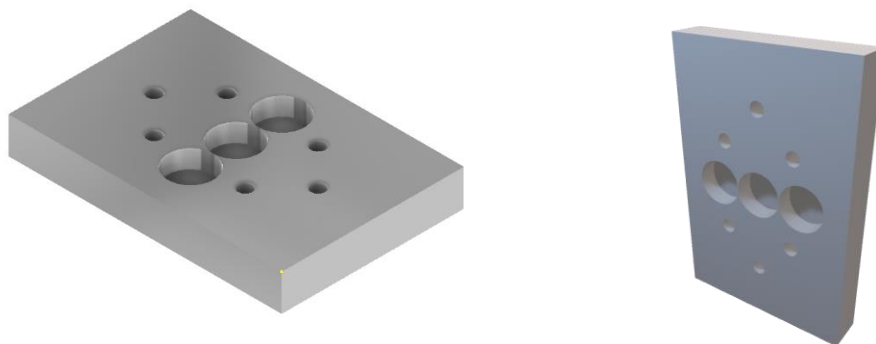
Σχήμα 3.58: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 29

### 3.30 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 30

Η αποστολή 30 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G12. Η εντολή αυτή δημιουργεί κυκλική εσοχή (rocket) με κυκλικές κινήσεις που έχουν ωρολογιακή φορά. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.59 και το σχήμα 3.60



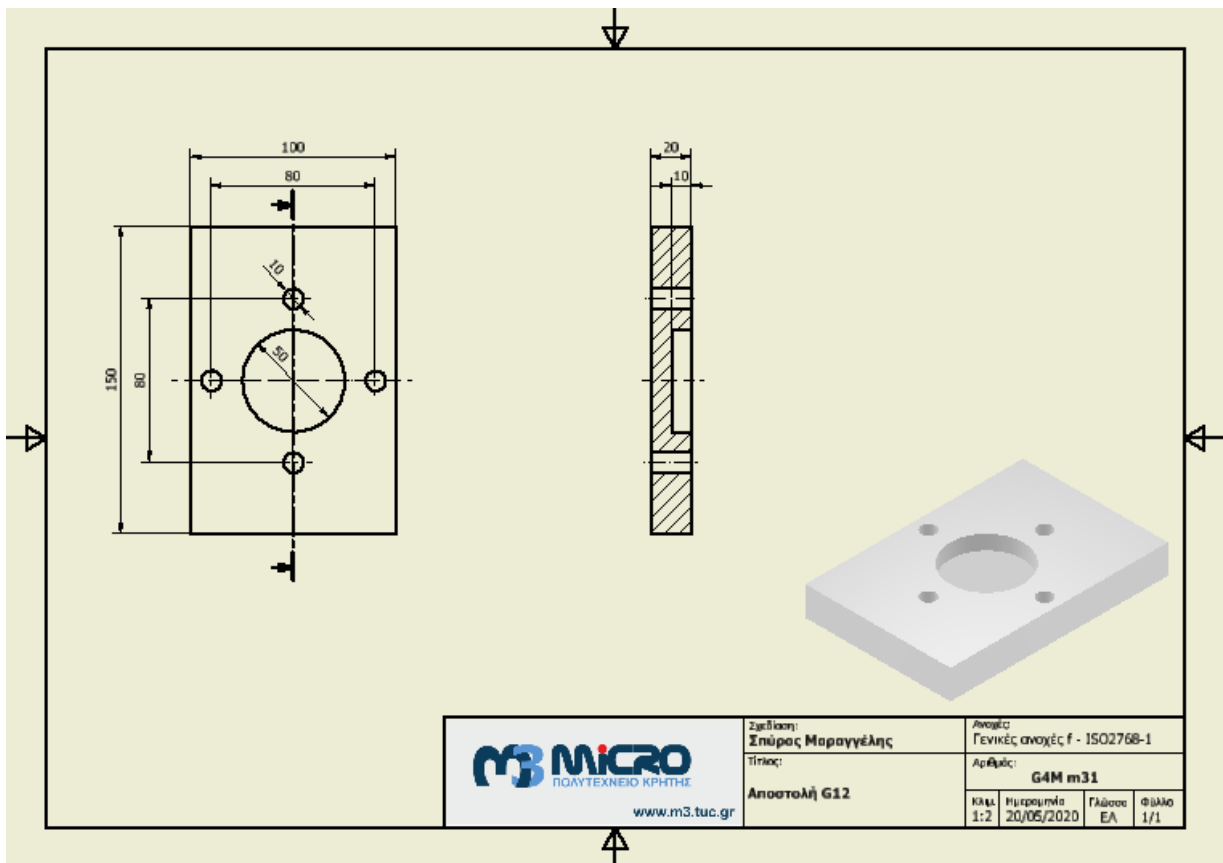
Σχήμα 3.59: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 30



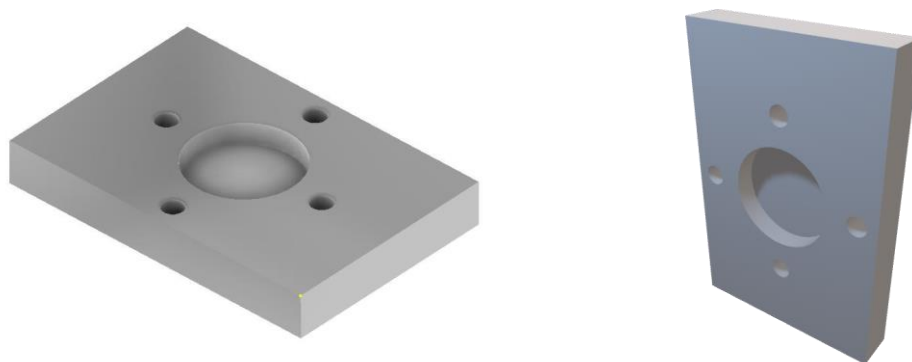
Σχήμα 3.60: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 30

### 3.31 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 31

Η αποστολή 31 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G12. Η εντολή αυτή δημιουργεί κυκλική εσοχή (rocket) με κυκλικές κινήσεις που έχουν ωρολογιακή φορά. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.61 και το σχήμα 3.62



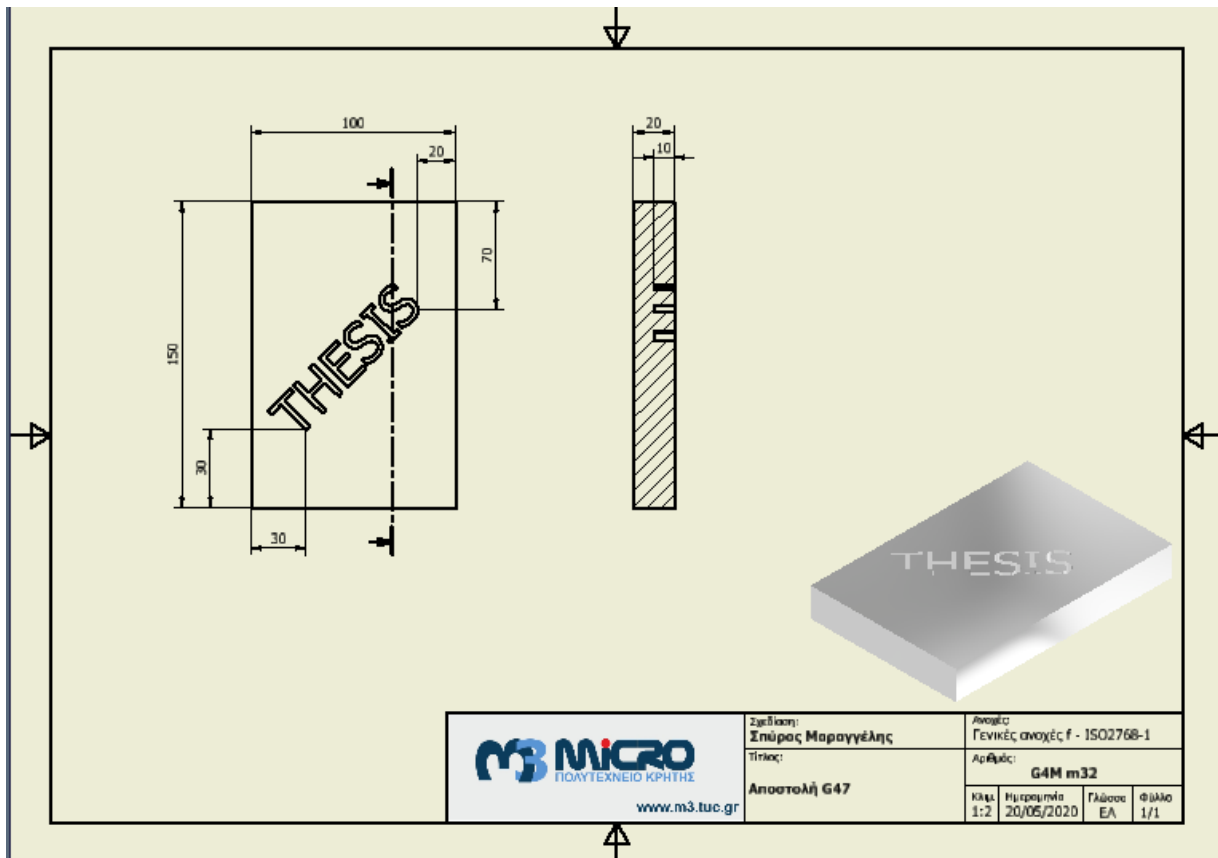
Σχήμα 3.61: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 31



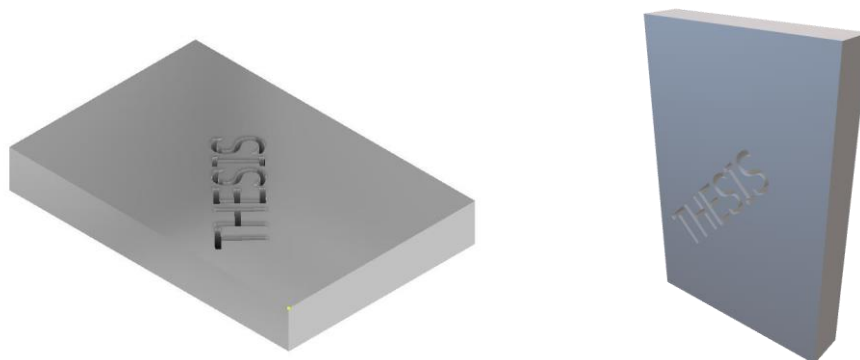
Σχήμα 3.62: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 31

### 3.32 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 32

Η αποστολή 32 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G47. Ο κύκλος κατεργασίας G47 χρησιμοποιείται για την χάραξη κειμένου, αριθμών και συμβόλων με βάση τους αντίστοιχους κωδικούς τους στον πίνακα ASCII ανάλογα με τα ορίσματα που θα δοθούν στην σύνταξη του. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.63 και το σχήμα 3.64.



Σχήμα 3.63: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 32

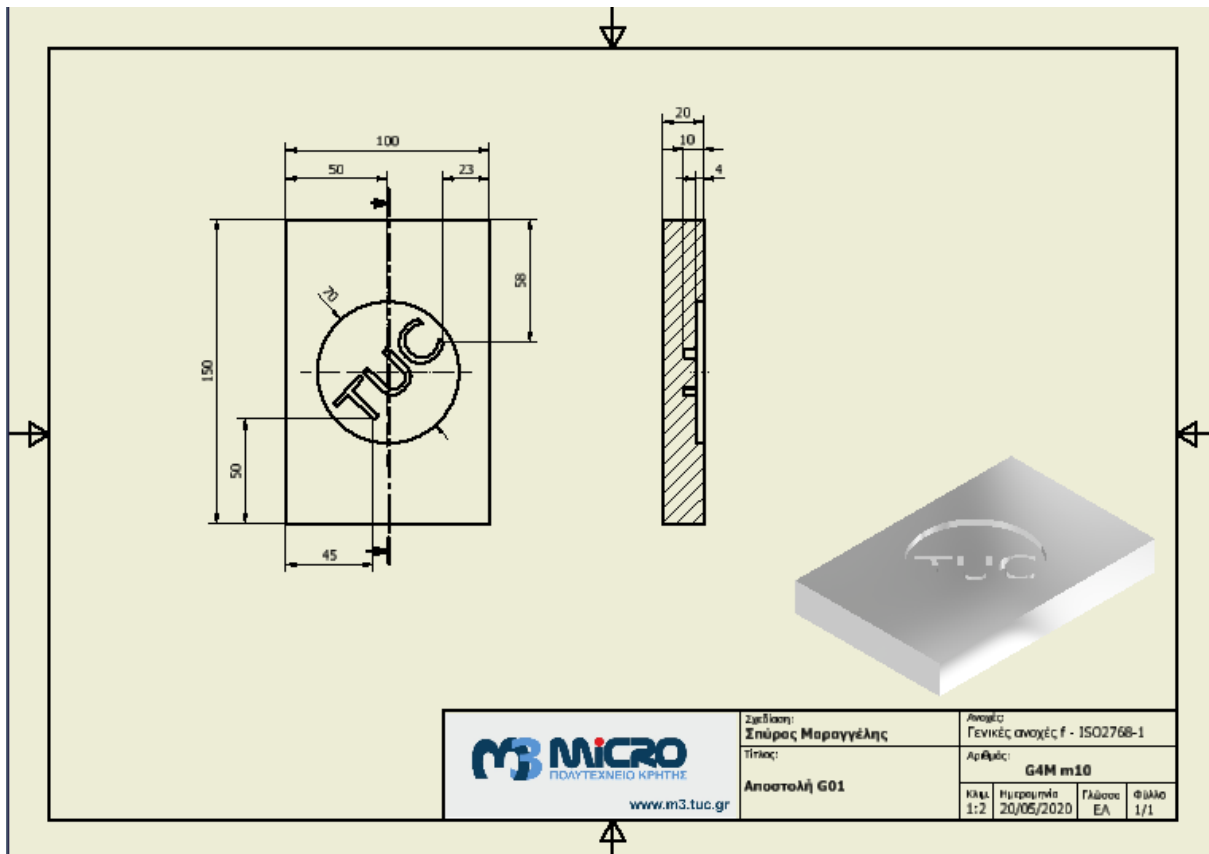


Σχήμα 3.64: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 32

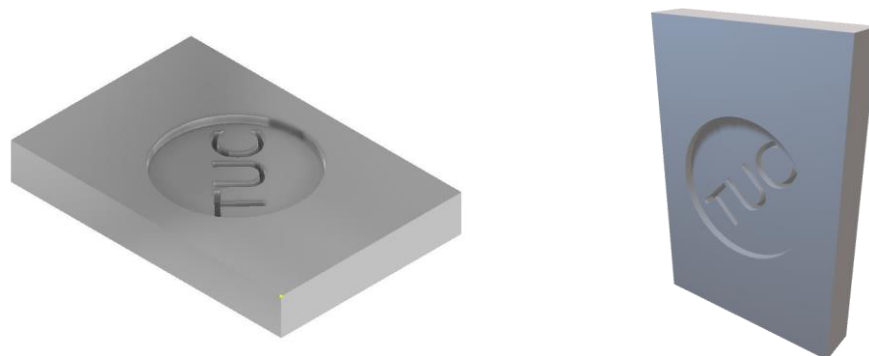


### 3.33 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 33

Η αποστολή 33 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G47. Ο κύκλος κατεργασίας G47 χρησιμοποιείται για την χάραξη κειμένου, αριθμών και συμβόλων με βάση τους αντίστοιχους κωδικούς τους στον πίνακα ASCII ανάλογα με τα ορίσματα που θα δοθούν στην σύνταξη του. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.65 και το σχήμα 3.66



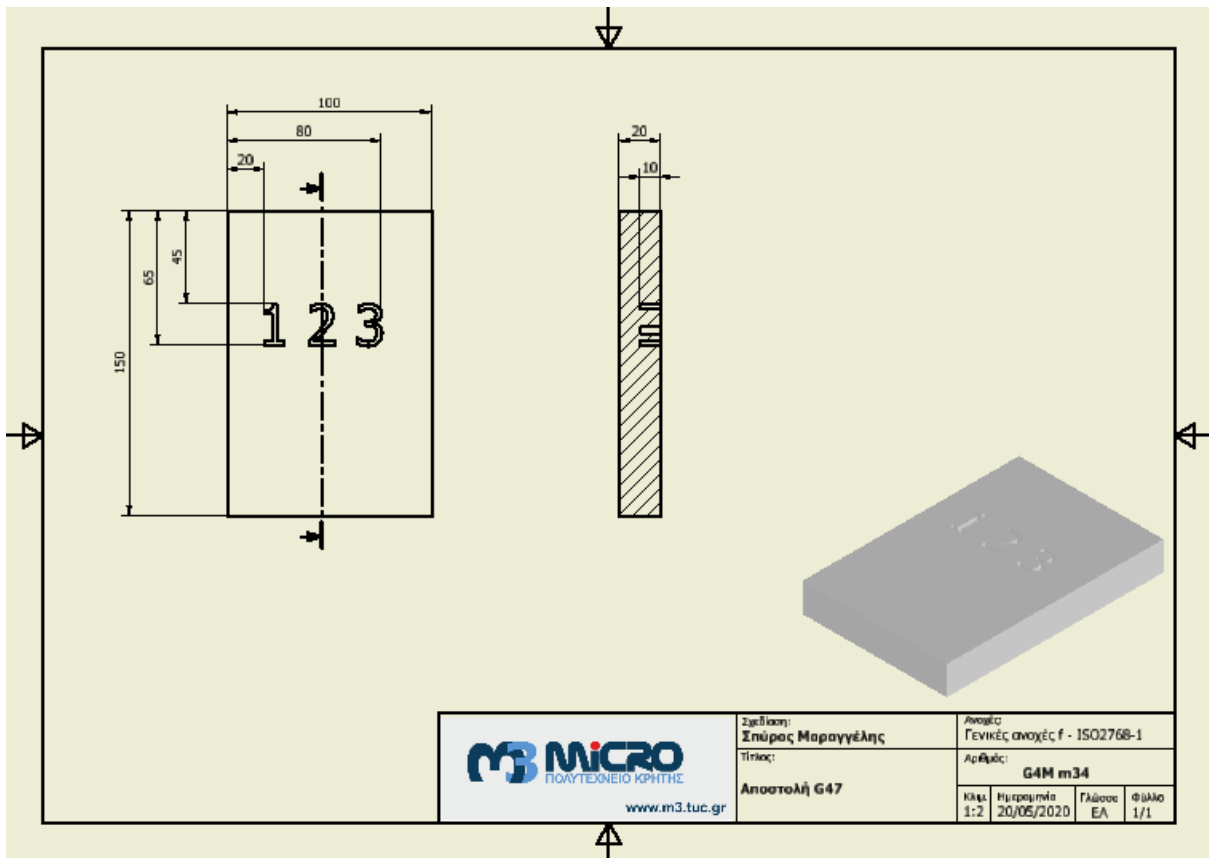
Σχήμα 3.65: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 33



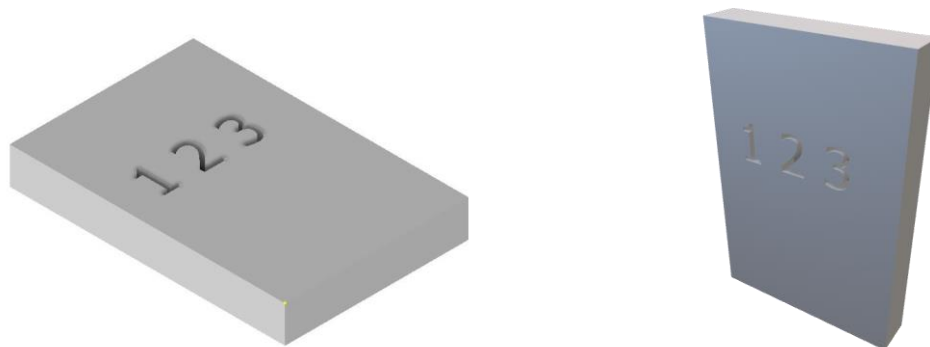
Σχήμα 3.66: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 33

### 3.34 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 34

Η αποστολή 34 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G47. Ο κύκλος κατεργασίας G47 χρησιμοποιείται για την χάραξη κειμένου, αριθμών και συμβόλων με βάση τους αντίστοιχους κωδικούς τους στον πίνακα ASCII ανάλογα με τα ορίσματα που θα δοθούν στην σύνταξη του. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.67 και το σχήμα 3.68



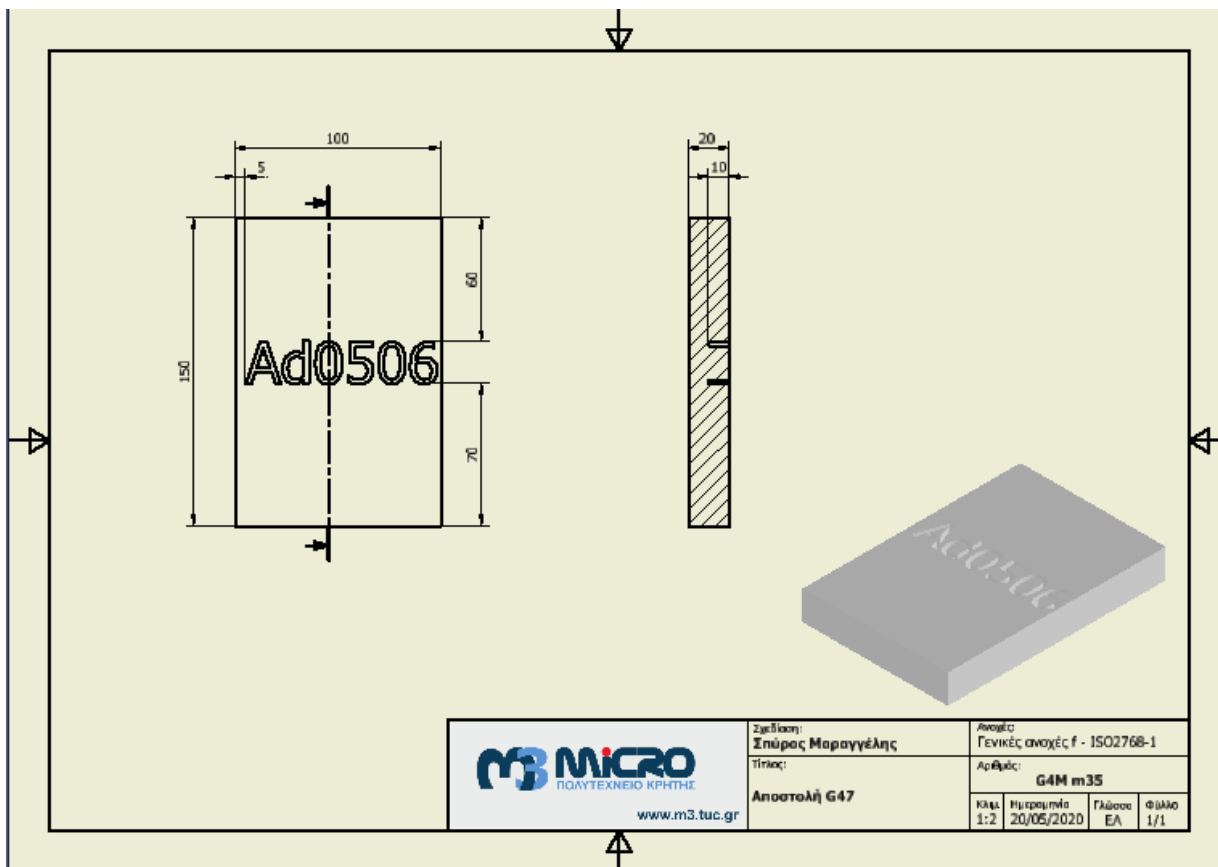
Σχήμα 3.67: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 34



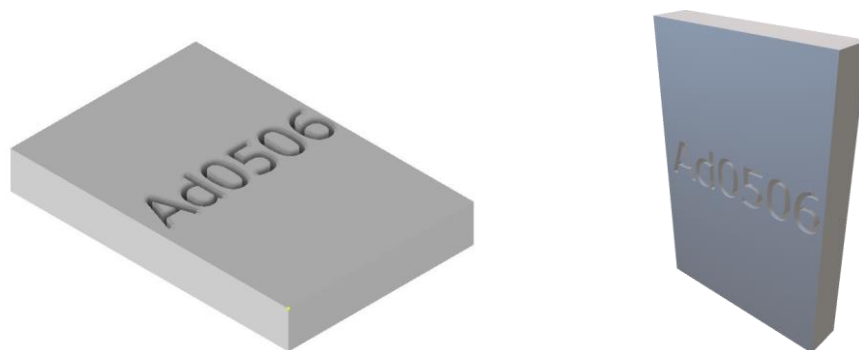
Σχήμα 3.68: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 34

### 3.35 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 35

Η αποστολή 35 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G47. Ο κύκλος κατεργασίας G47 χρησιμοποιείται για την χάραξη κειμένου, αριθμών και συμβόλων με βάση τους αντίστοιχους κωδικούς τους στον πίνακα ASCII ανάλογα με τα ορίσματα που θα δοθούν στην σύνταξη του. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.69 και το σχήμα 3.70



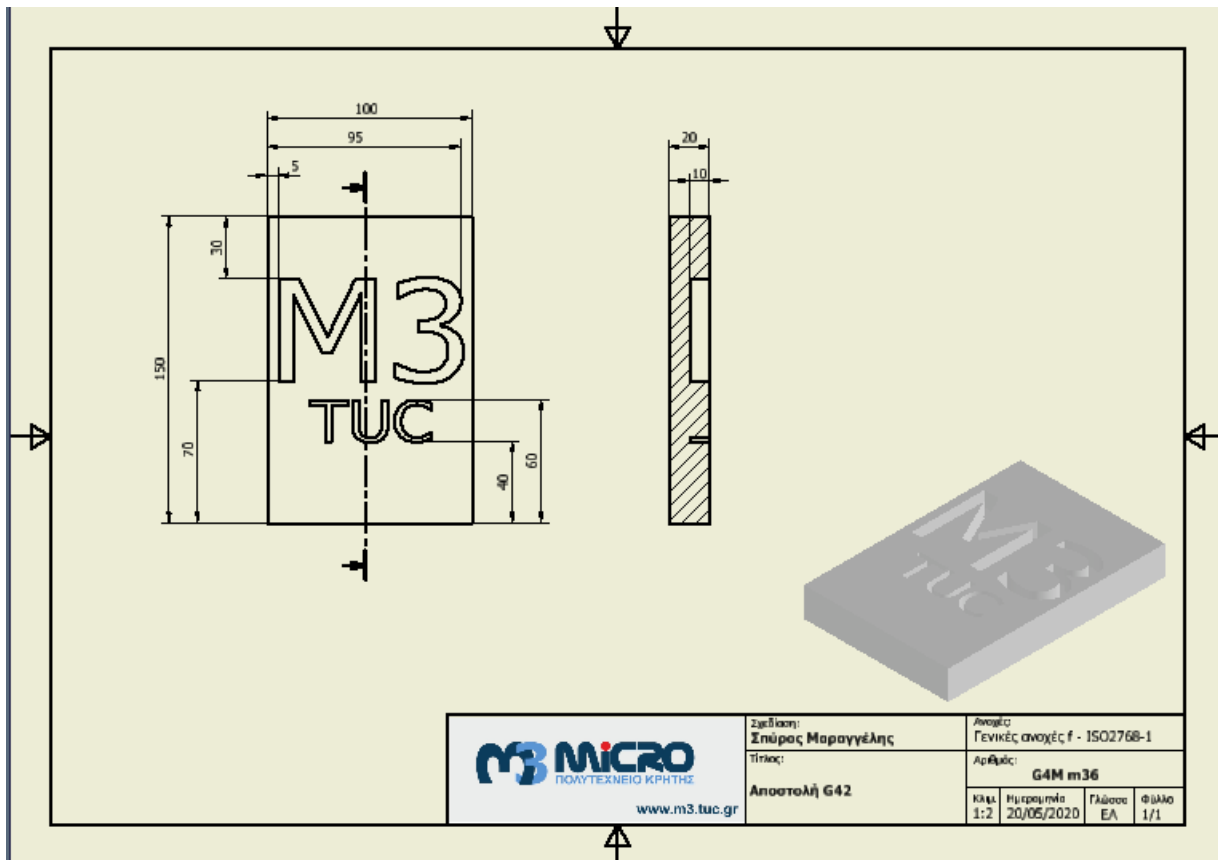
Σχήμα 3.69: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 35



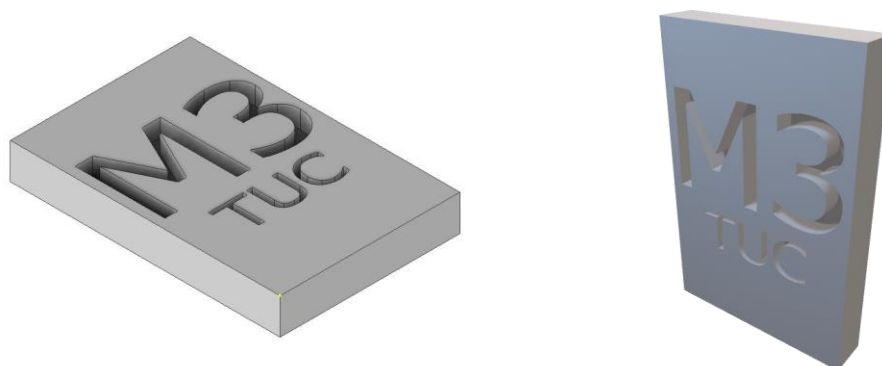
Σχήμα 3.70: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 35

### 3.36 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 36

Η αποστολή 36 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G47. Ο κύκλος κατεργασίας G47 χρησιμοποιείται για την χάραξη κειμένου, αριθμών και συμβόλων με βάση τους αντίστοιχους κωδικούς τους στον πίνακα ASCII ανάλογα με τα ορίσματα που θα δοθούν στην σύνταξη του. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.71 και το σχήμα 3.72



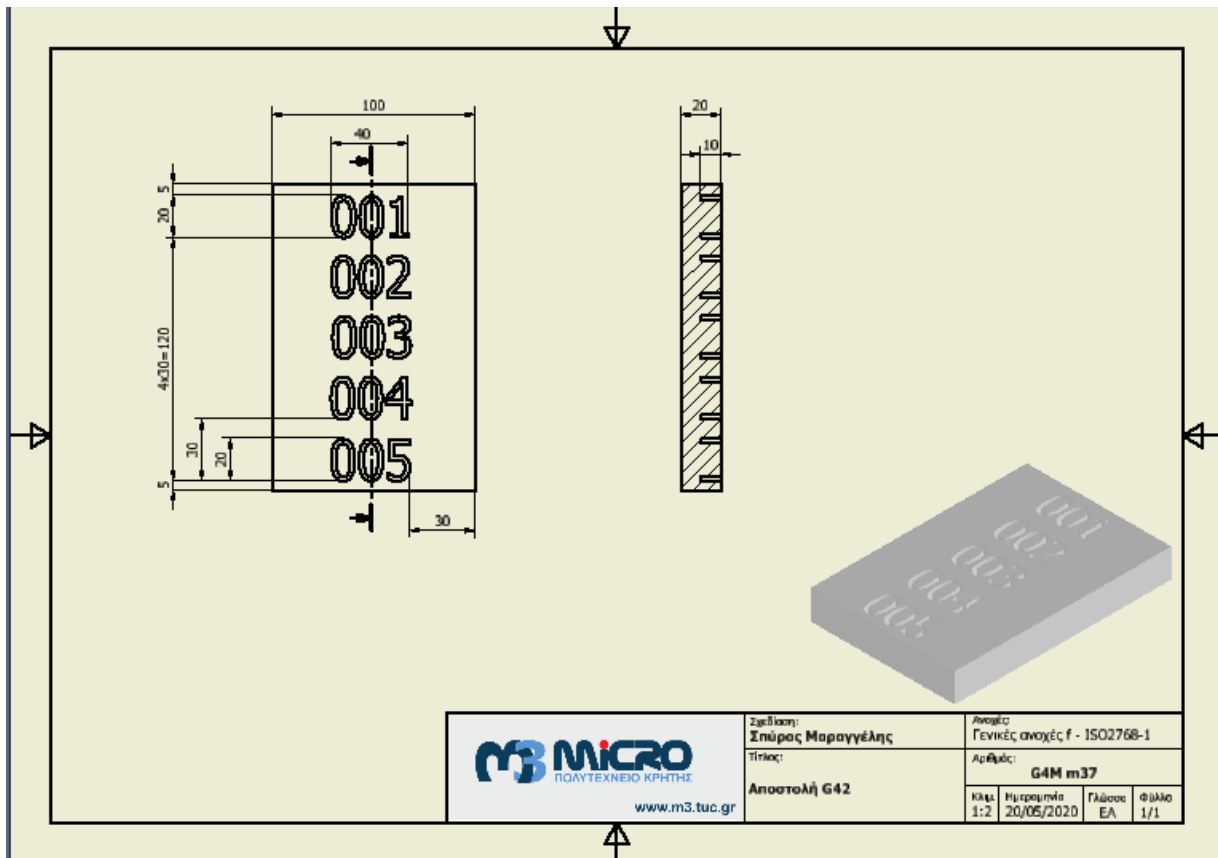
Σχήμα 3.71: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 36



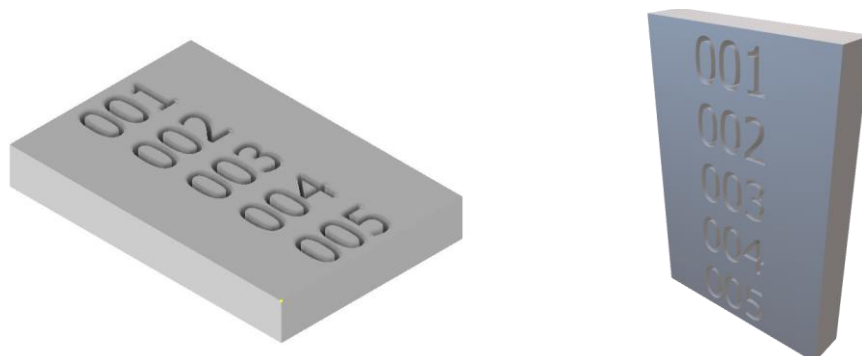
Σχήμα 3.72: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 36

### 3.37 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 37

Η αποστολή 37 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G47. Ο κύκλος κατεργασίας G47 χρησιμοποιείται για την χάραξη κειμένου, αριθμών και συμβόλων με βάση τους αντίστοιχους κωδικούς τους στον πίνακα ASCII ανάλογα με τα ορίσματα που θα δοθούν στην σύνταξη του.. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.73 και το σχήμα 3.74



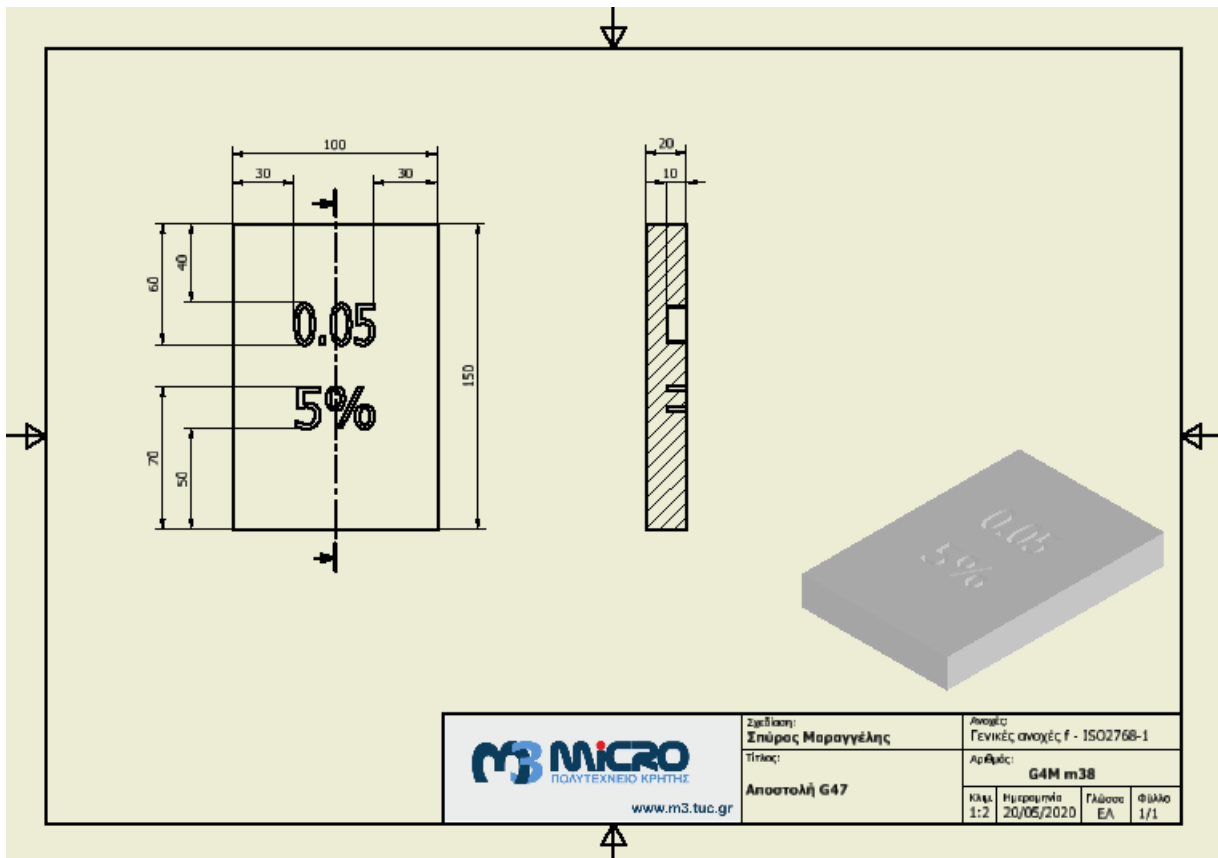
Σχήμα 3.73: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 37



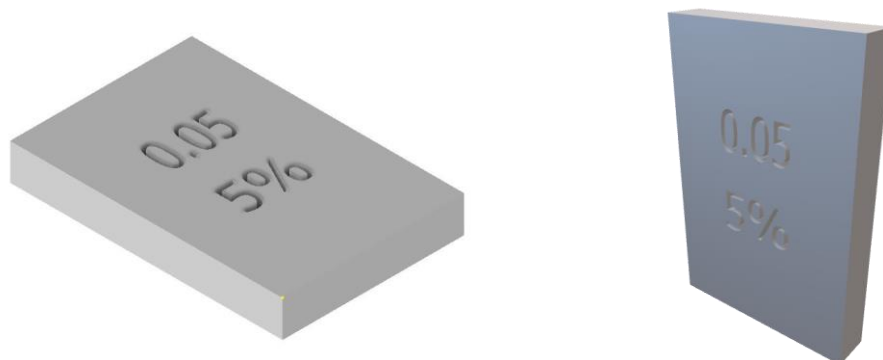
Σχήμα 3.74: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 37

### 3.38 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 38

Η αποστολή 38 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G47. Ο κύκλος κατεργασίας G47 χρησιμοποιείται για την χάραξη κειμένου, αριθμών και συμβόλων με βάση τους αντίστοιχους κωδικούς τους στον πίνακα ASCII ανάλογα με τα ορίσματα που θα δοθούν στην σύνταξη του. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.75 και το σχήμα 3.76



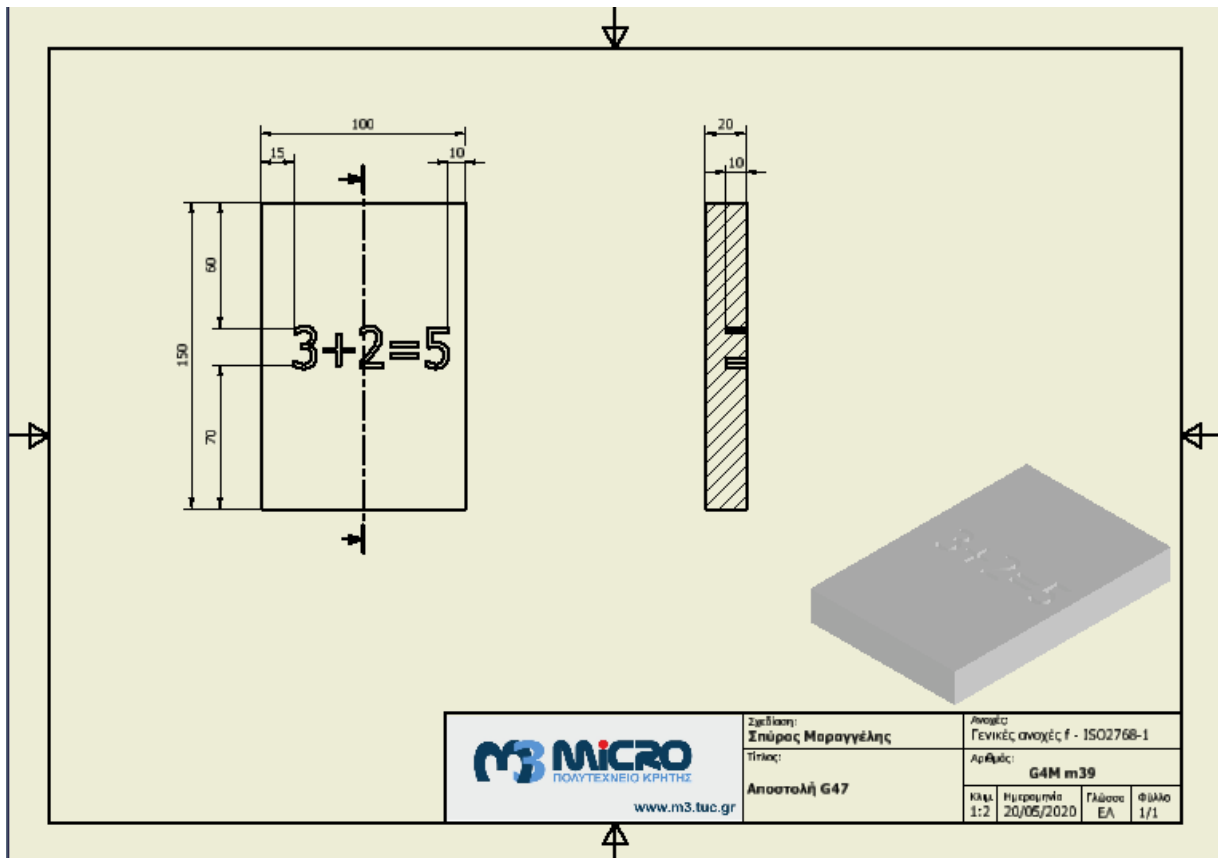
Σχήμα 3.75: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 38



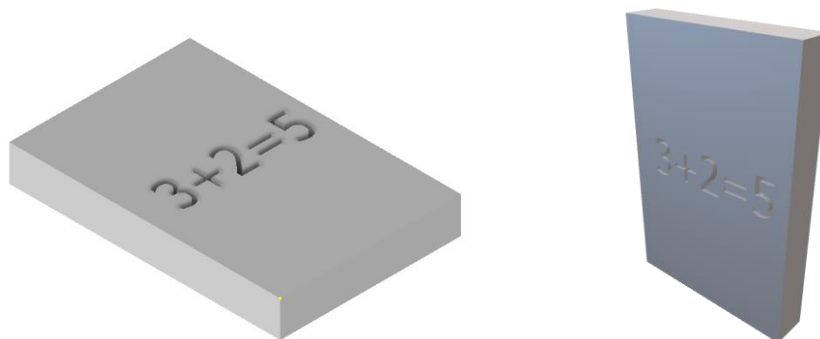
Σχήμα 3.76: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 38

### 3.39 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 39

Η αποστολή 39 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G47. Ο κύκλος κατεργασίας G47 χρησιμοποιείται για την χάραξη κειμένου, αριθμών και συμβόλων με βάση τους αντίστοιχους κωδικούς τους στον πίνακα ASCII ανάλογα με τα ορίσματα που θα δοθούν στην σύνταξη του. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.77 και το σχήμα 3.78



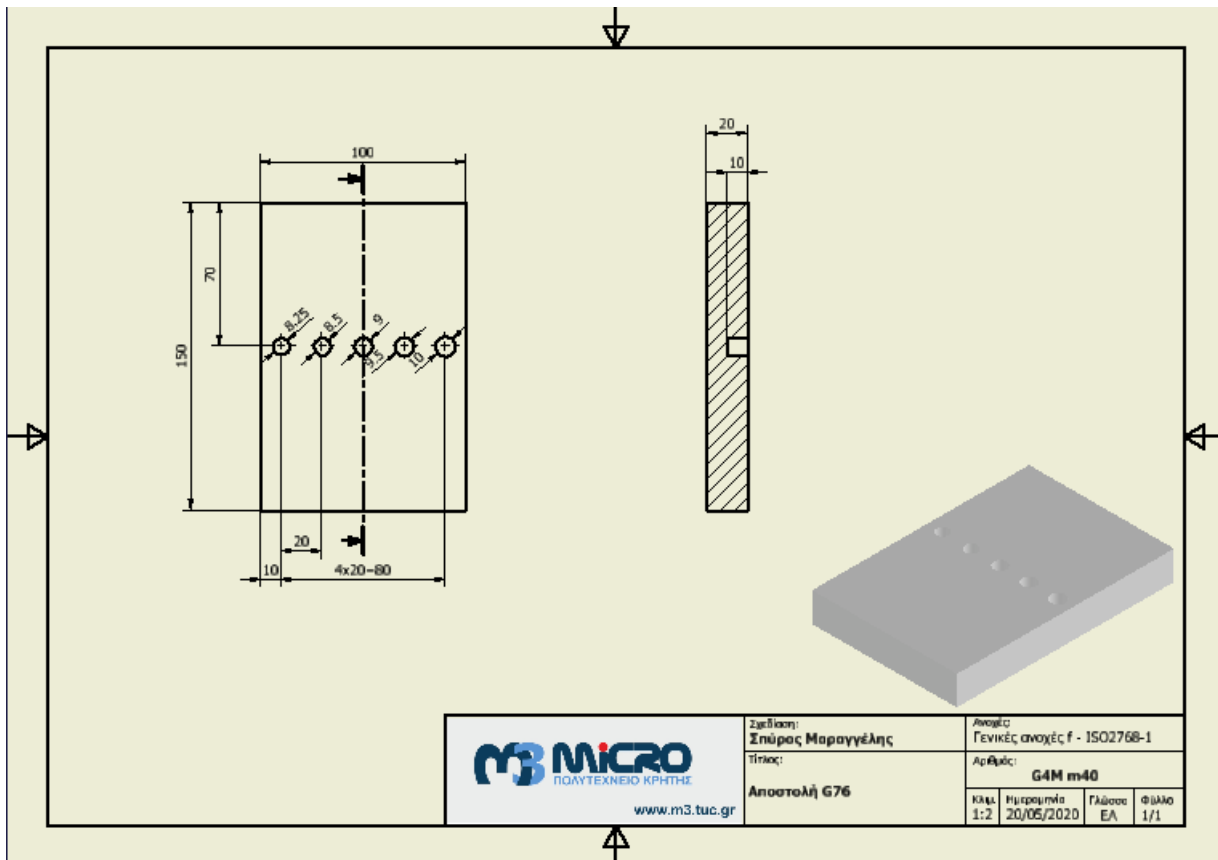
Σχήμα 3.77: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 39



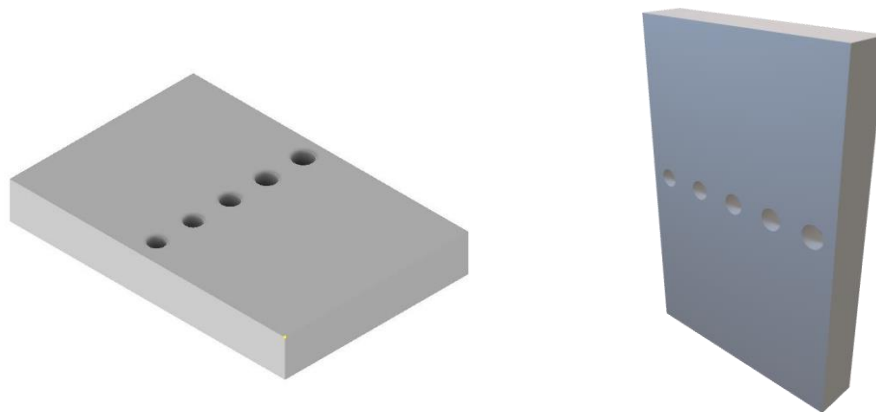
Σχήμα 3.78: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 39

### 3.40 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 40

Η αποστολή 40 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G76. Ο κύκλος κατεργασίας boring χρησιμοποιείται για την διάνοιξη τρυπάς στην επιθυμητή διάσταση με μεγάλη ακρίβεια που δεν μπορεί να επιτευχθεί εξ αρχής με τρυπάνι, για παράδειγμα μια τρύπα για να εδράσει ένα έδρανο κύλισης. Για την εκτέλεση του boring είναι απαραίτητη η χρήση των εντολών G82 και G81 ή G83. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.79 και το σχήμα 3.80



Σχήμα 3.79: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 40

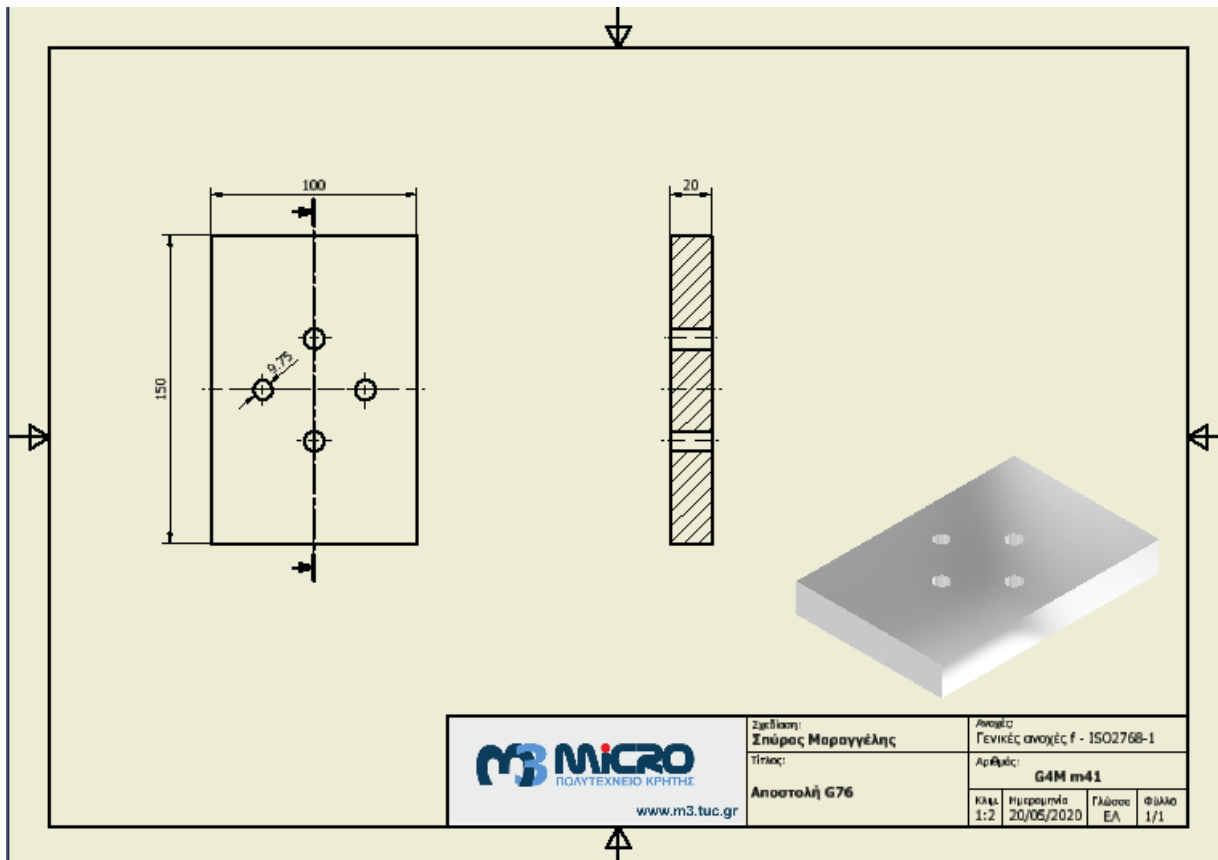


Σχήμα 3.80: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 40

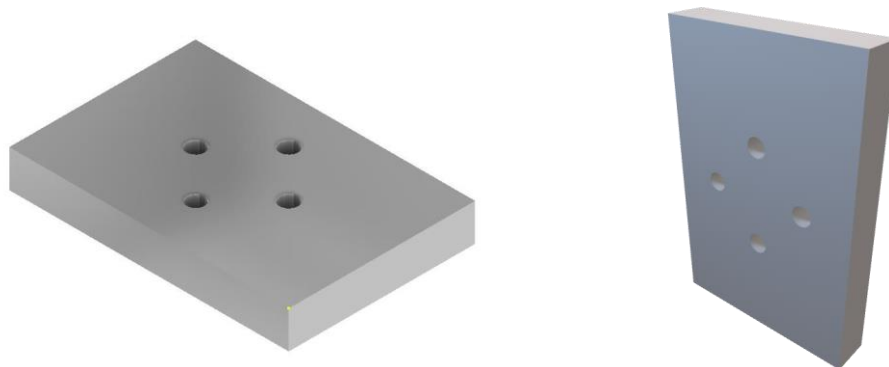


### 3.41 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 41

Η αποστολή 41 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G76. Ο κύκλος κατεργασίας boring χρησιμοποιείται για την διάνοιξη τρυπάς στην επιθυμητή διάσταση με μεγάλη ακρίβεια που δεν μπορεί να επιτευχθεί εξ αρχής με τρυπάνι, για παράδειγμα μια τρύπα για να εδράσει ένα έδρανο κύλισης. Για την εκτέλεση του boring είναι απαραίτητη η χρήση των εντολών G82 και G81 ή G83. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.81 και το σχήμα 3.82



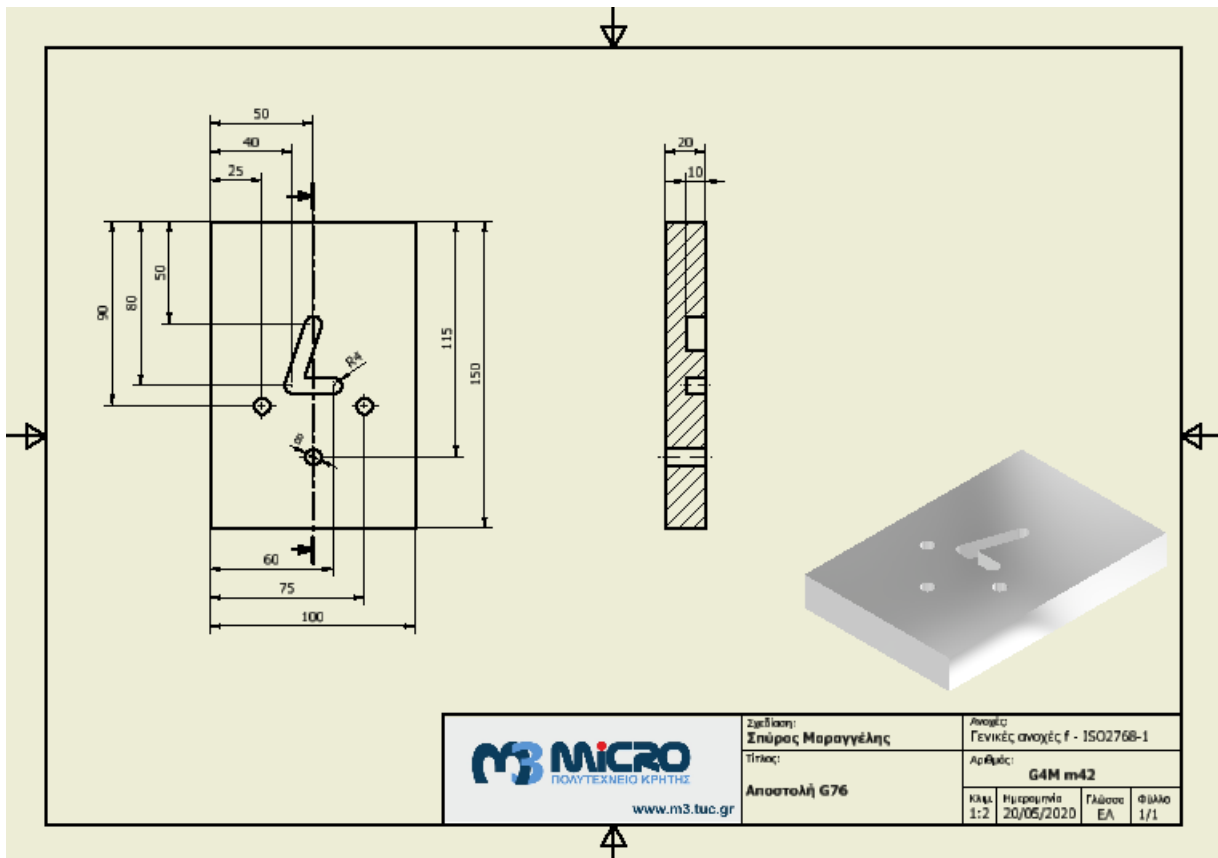
Σχήμα 3.81: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 41



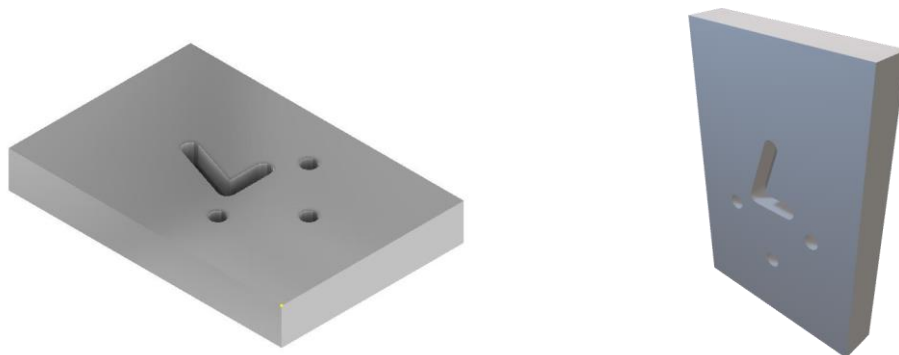
Σχήμα 3.82: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 41

### 3.42 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 42

Η αποστολή 42 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G76. Ο κύκλος κατεργασίας boring χρησιμοποιείται για την διάνοιξη τρυπάς στην επιθυμητή διάσταση με μεγάλη ακρίβεια που δεν μπορεί να επιτευχθεί εξ αρχής με τρυπάνι, για παράδειγμα μια τρύπα για να εδράσει ένα έδρανο κύλισης. Για την εκτέλεση του boring είναι απαραίτητη η χρήση των εντολών G82 και G81 ή G83. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.83 και το σχήμα 3.84



Σχήμα 3.83: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 42

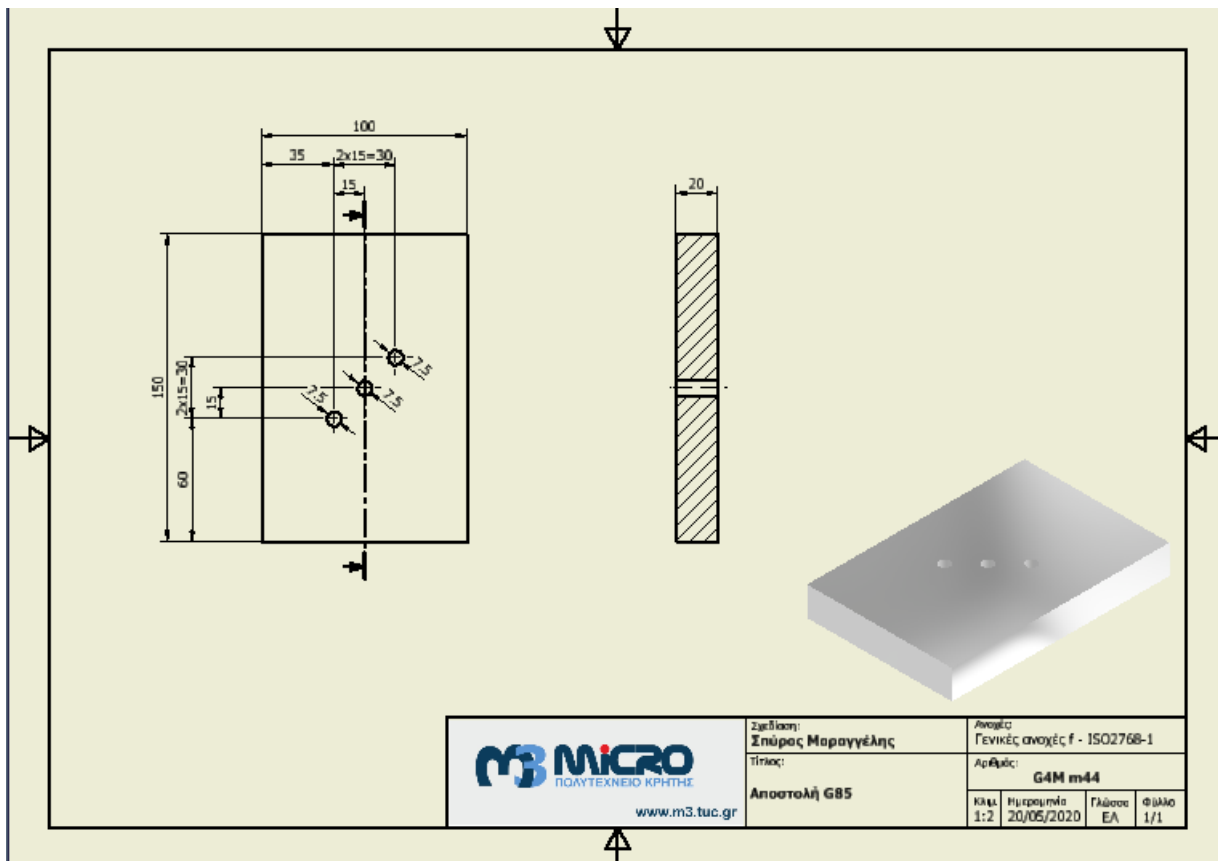


Σχήμα 3.84: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 42

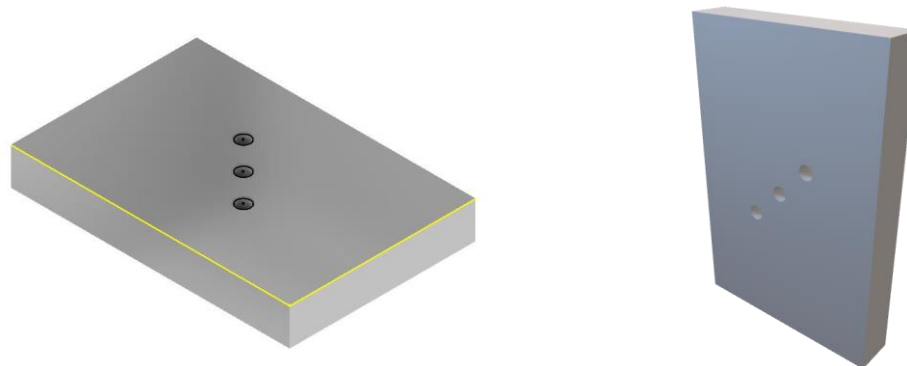


### 3.44 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 44

Η αποστολή 44 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G85. Ο κύκλος κατεργασίας boring χρησιμοποιείται για την διάνοιξη τρυπάς στην επιθυμητή διάσταση με μεγάλη ακρίβεια που δεν μπορεί να επιτευχθεί εξ αρχής με τρυπάνι, για παράδειγμα μια τρύπα για να εδράσει ένα έδρανο κύλισης. Για την εκτέλεση του boring είναι απαραίτητη η χρήση των εντολών G82 και G81 ή G83. Η διαφορά που παρουσιάζεται εδώ σε σχέση με την εντολή G76 είναι πως η μετατόπιση για την διάνοιξη της τρυπάς γίνεται χειροκίνητα με ρύθμιση του κοχλία που υπάρχει στην μανέλα του boring. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.87 και το σχήμα 3.88



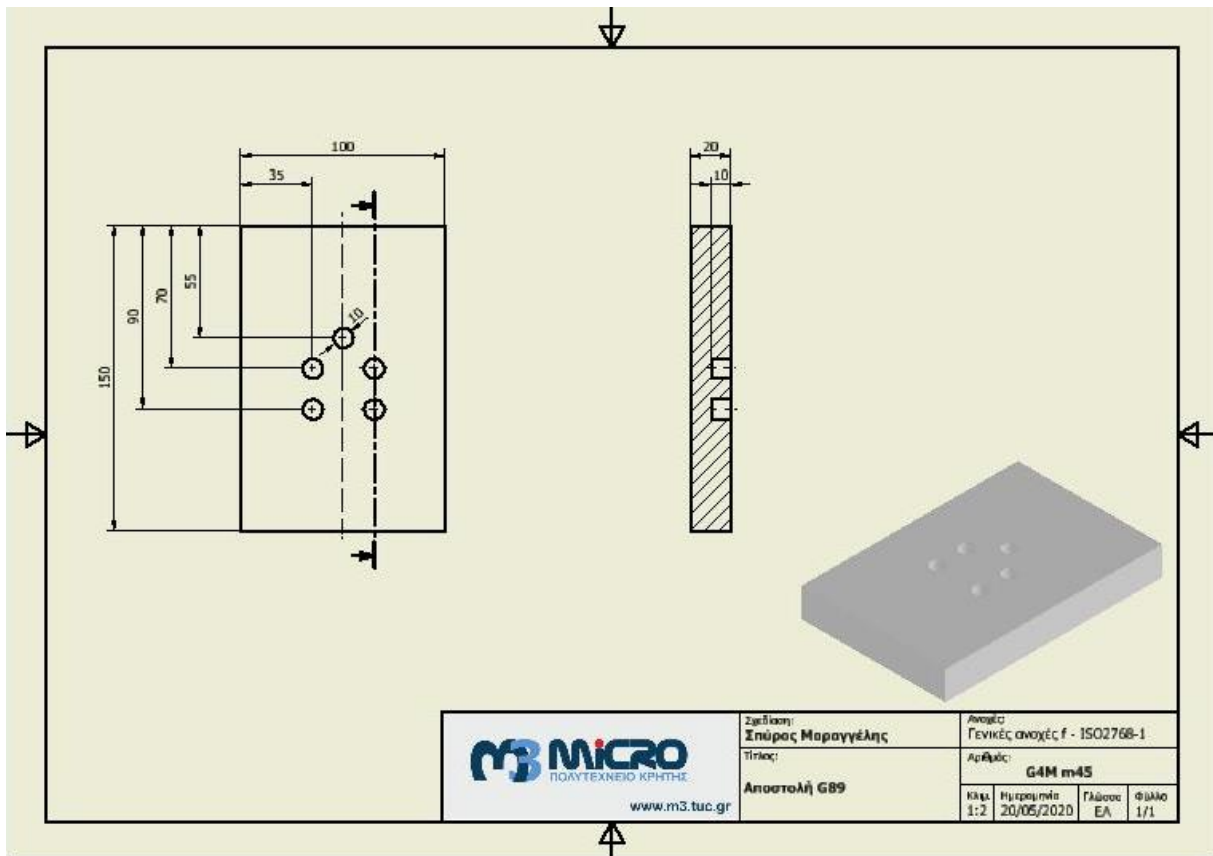
Σχήμα 3.87: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 44



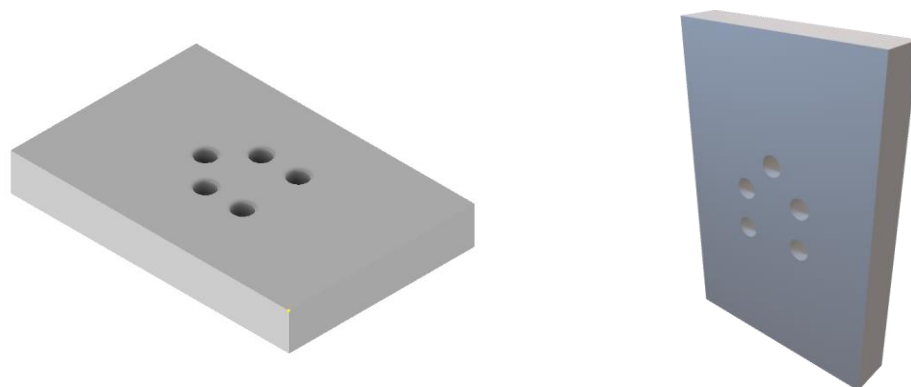
Σχήμα 3.88: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 44

### 3.45 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 45

Η αποστολή 45 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G89. Ο κύκλος κατεργασίας boring G89 τη μονή διαφορά που εμφανίζει με την εντολή G85 είναι πως υπάρχει δυνατότητα χρονικής παραμονής στο μέγιστο βάθος για την αποσυμφόρηση του γρεζιού. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.89 και το σχήμα 3.90



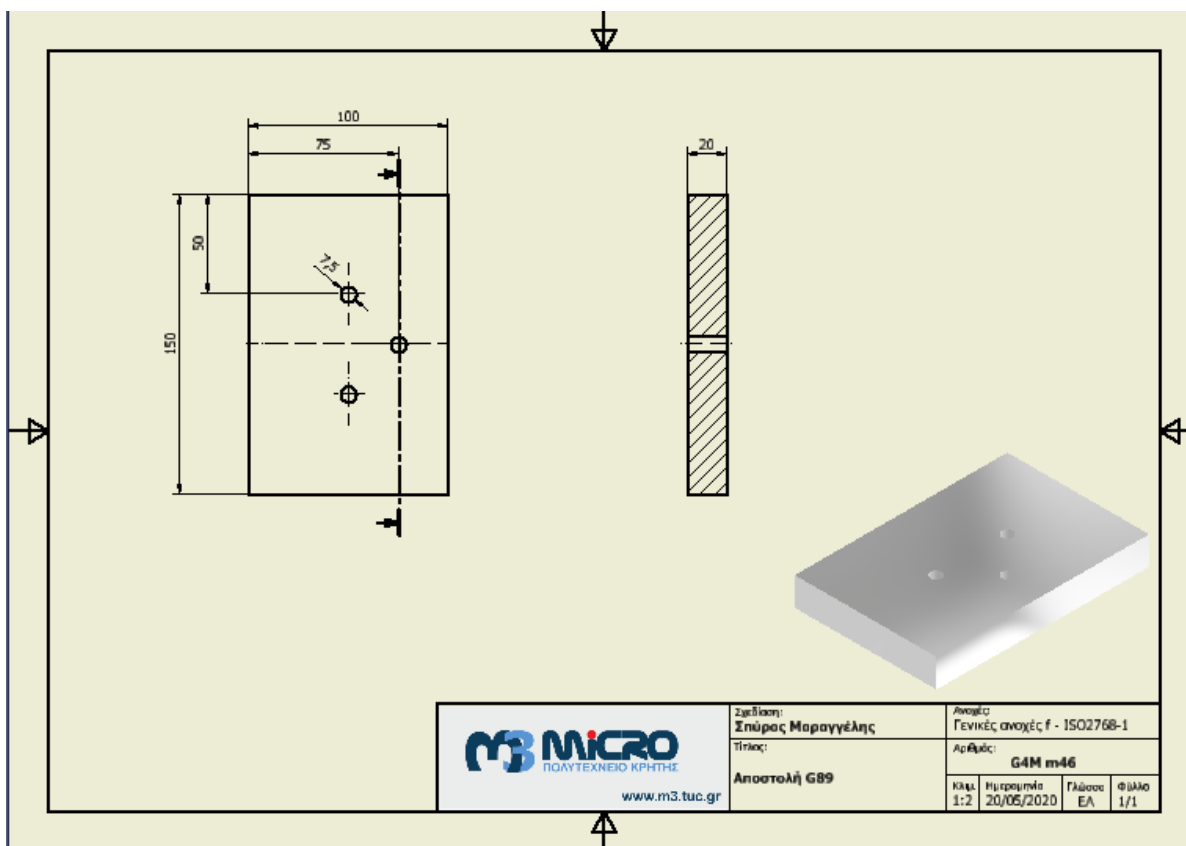
Σχήμα 3.89: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 45



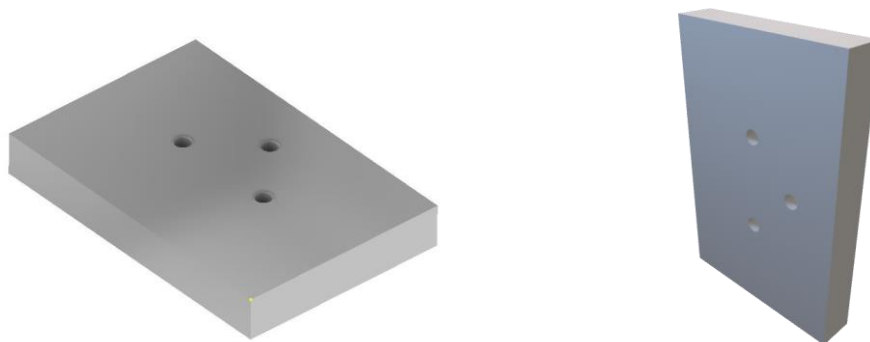
Σχήμα 3.90: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 45

### 3.46 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 46

Η αποστολή 46 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G89. Ο κύκλος κατεργασίας boring G89 τη μονή διαφορά που εμφανίζει με την εντολή G85 είναι πως υπάρχει δυνατότητα χρονικής παραμονής στο μέγιστο βάθος για την αποσυμφόρηση του γρεζιού. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.91 και το σχήμα 3.92



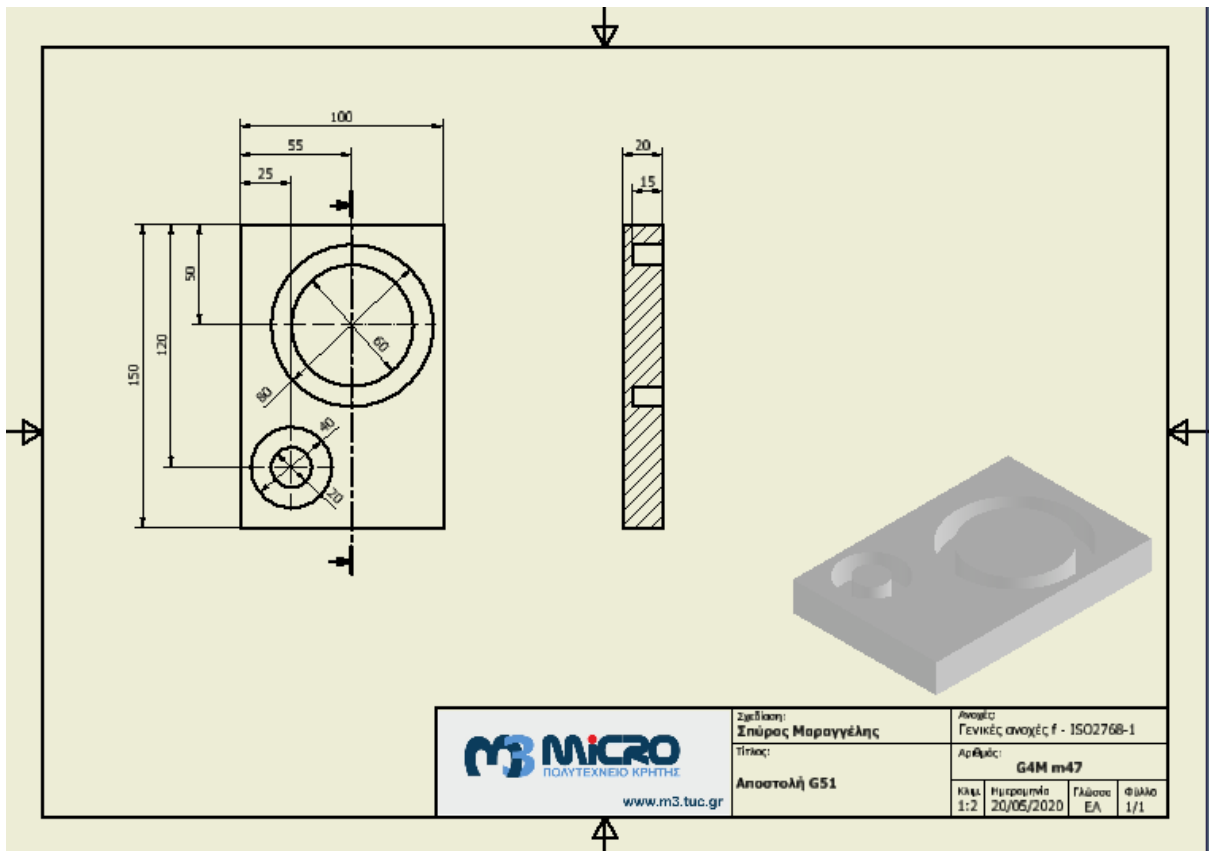
Σχήμα 3.91: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 46



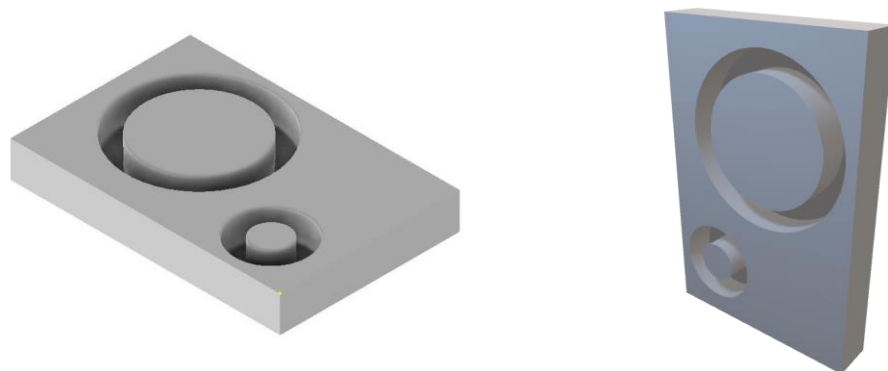
Σχήμα 3.92: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 46

### 3.47 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 47

Η αποστολή 47 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G51. Η εντολή G51 χρησιμοποιείται για την μεγέθυνση σχεδίων τα όποια σχεδιάζονται μέσω ενός υποπρογράμματος που καλείται μέσα στο κύριο πρόγραμμα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.93 και το σχήμα 3.94



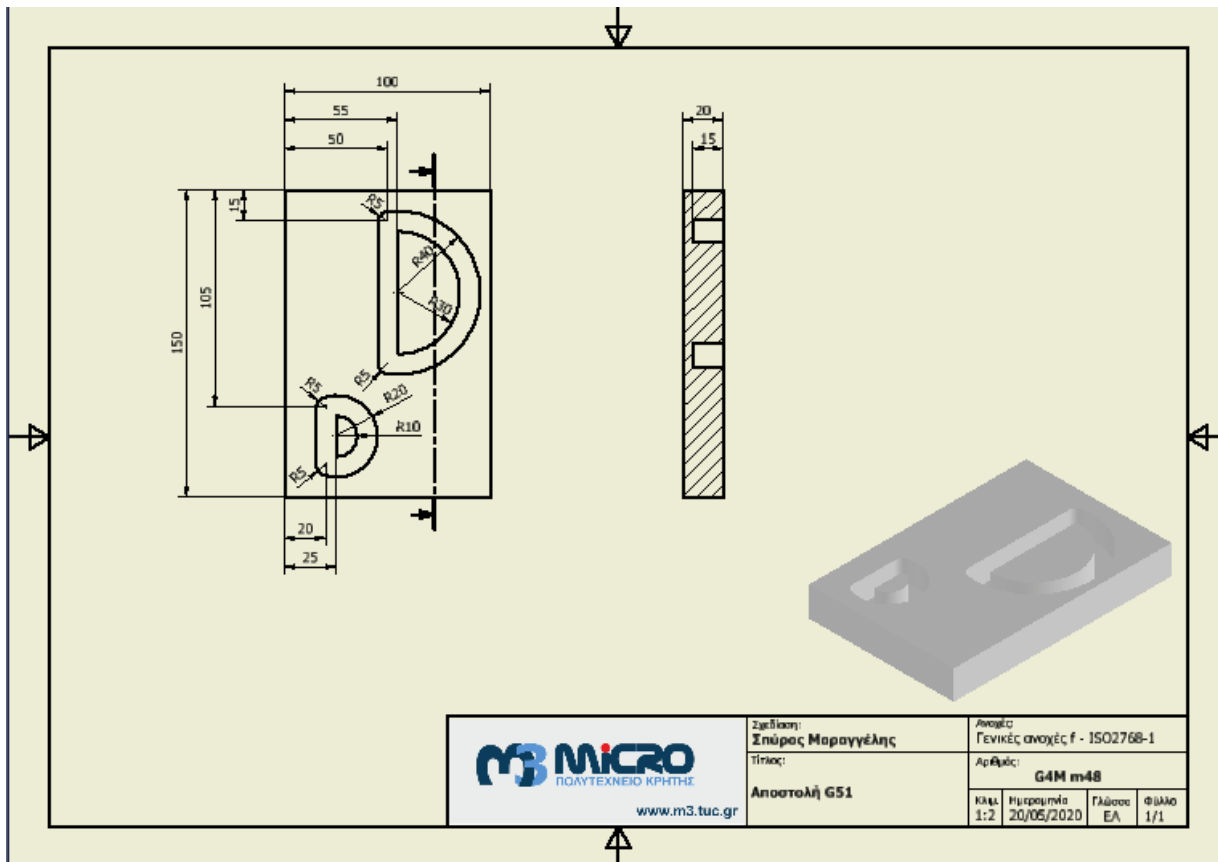
Σχήμα 3.93: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 47



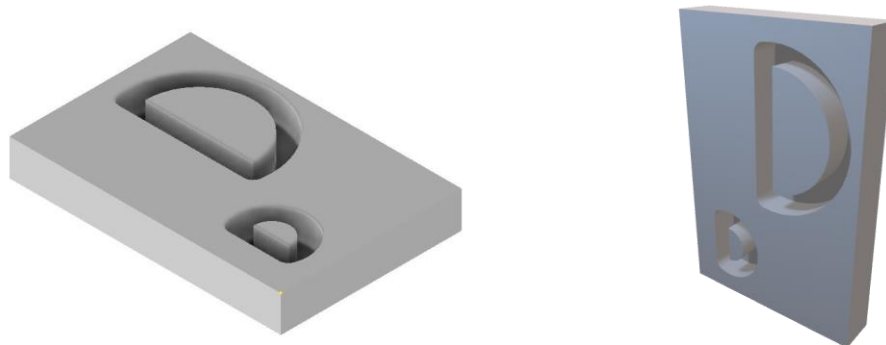
Σχήμα 3.94: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 47

### 3.48 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 48

Η αποστολή 48 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G51. Η εντολή G51 χρησιμοποιείται για την μεγέθυνση σχεδίων τα όποια σχεδιάζονται μέσω ενός υποπρογράμματος που καλείται μέσα στο κύριο πρόγραμμα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.95 και το σχήμα 3.96



Σχήμα 3.95: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 48

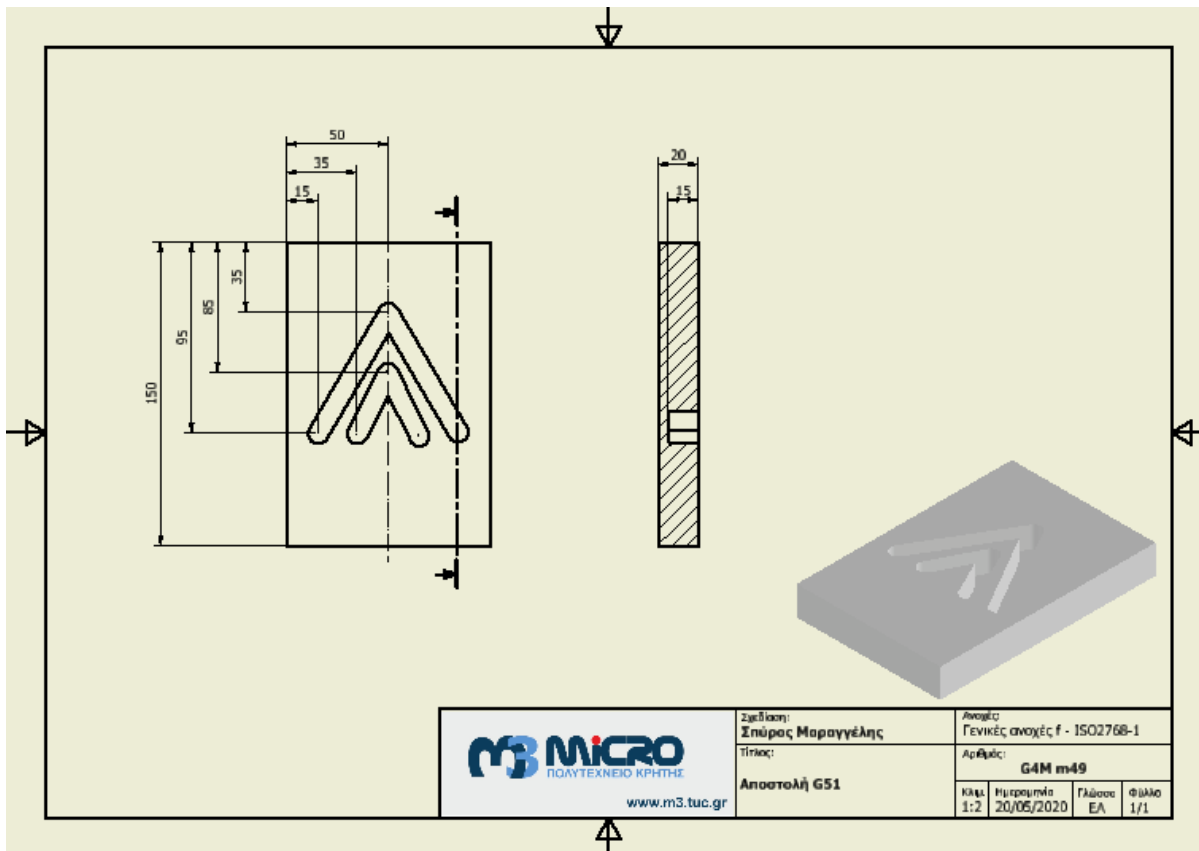


Σχήμα 3.96: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 48

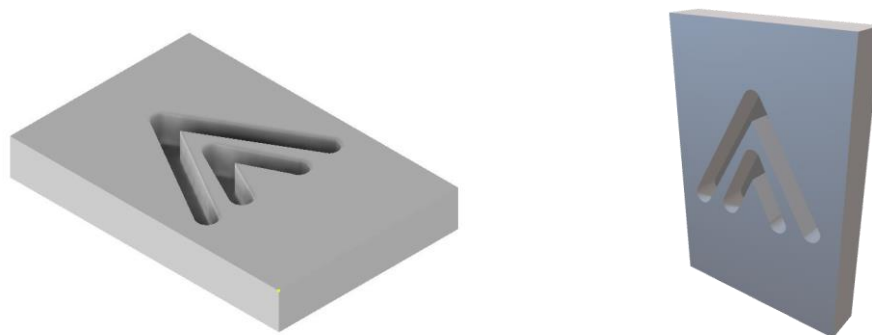


### 3.49 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 49

Η αποστολή 49 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G51. Η εντολή G51 χρησιμοποιείται για την μεγέθυνση σχεδίων τα οποία σχεδιάζονται μέσω ενός υποπρογράμματος που καλείται μέσα στο κύριο πρόγραμμα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.97 και το σχήμα 3.98



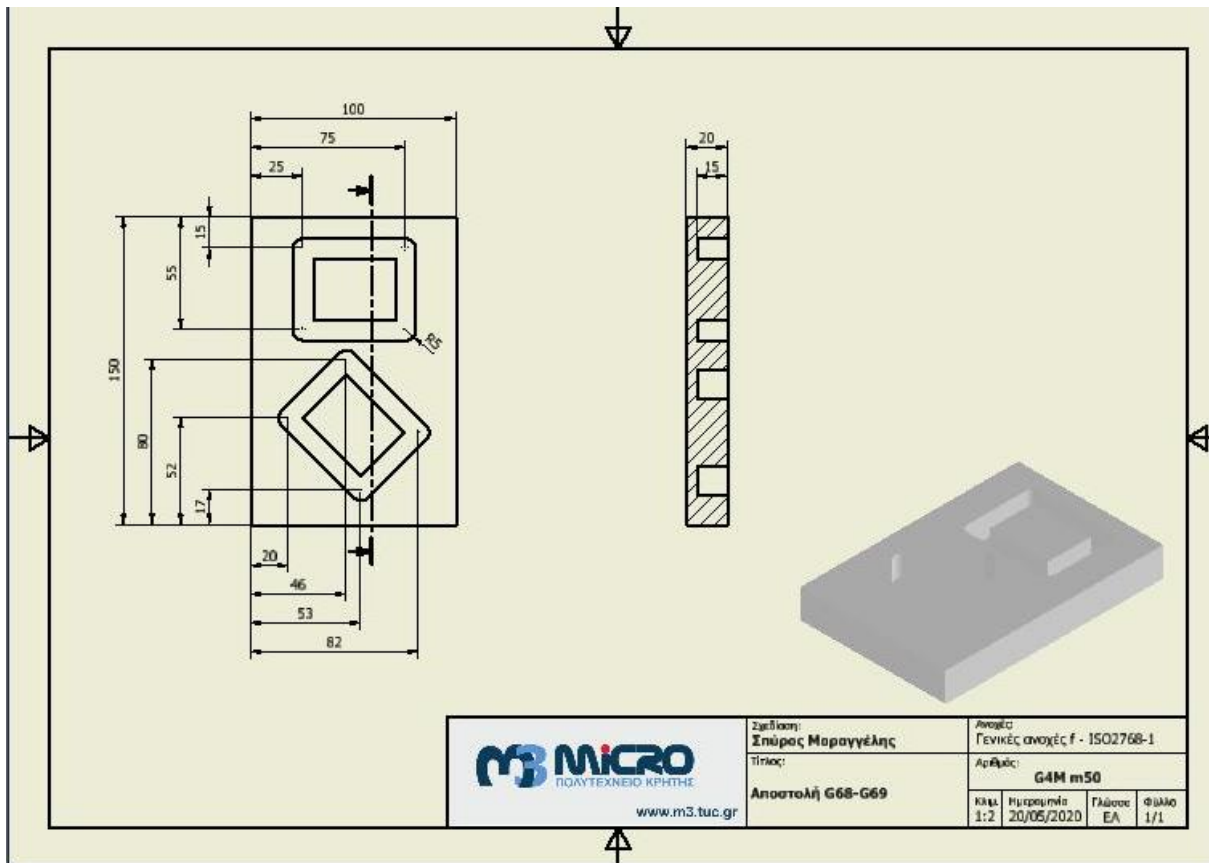
Σχήμα 3.97: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 49



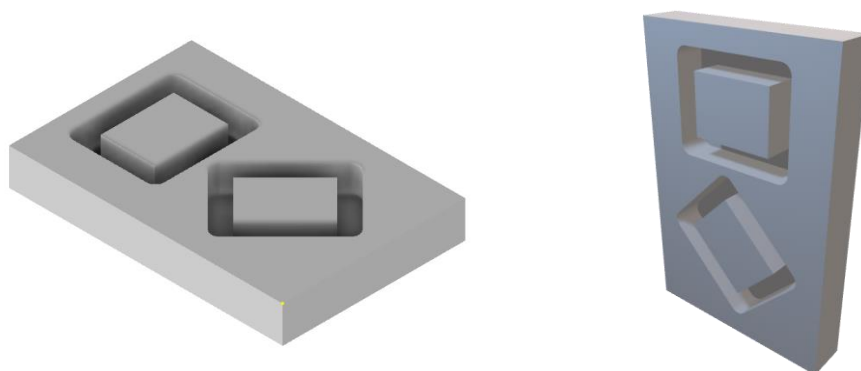
Σχήμα 3.98: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 49

### 3.50 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 50

Η αποστολή 50 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G68 και G69. Η εντολή G68 χρησιμοποιείται για την περιστροφή σχεδίων τα όποια σχεδιάζονται μέσω ενός υποπρόγραμμα που καλείται μέσα στο κύριο πρόγραμμα. Με την εντολή G69 να είναι για την ακύρωση της περιστροφής. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.99 και το σχήμα 3.100



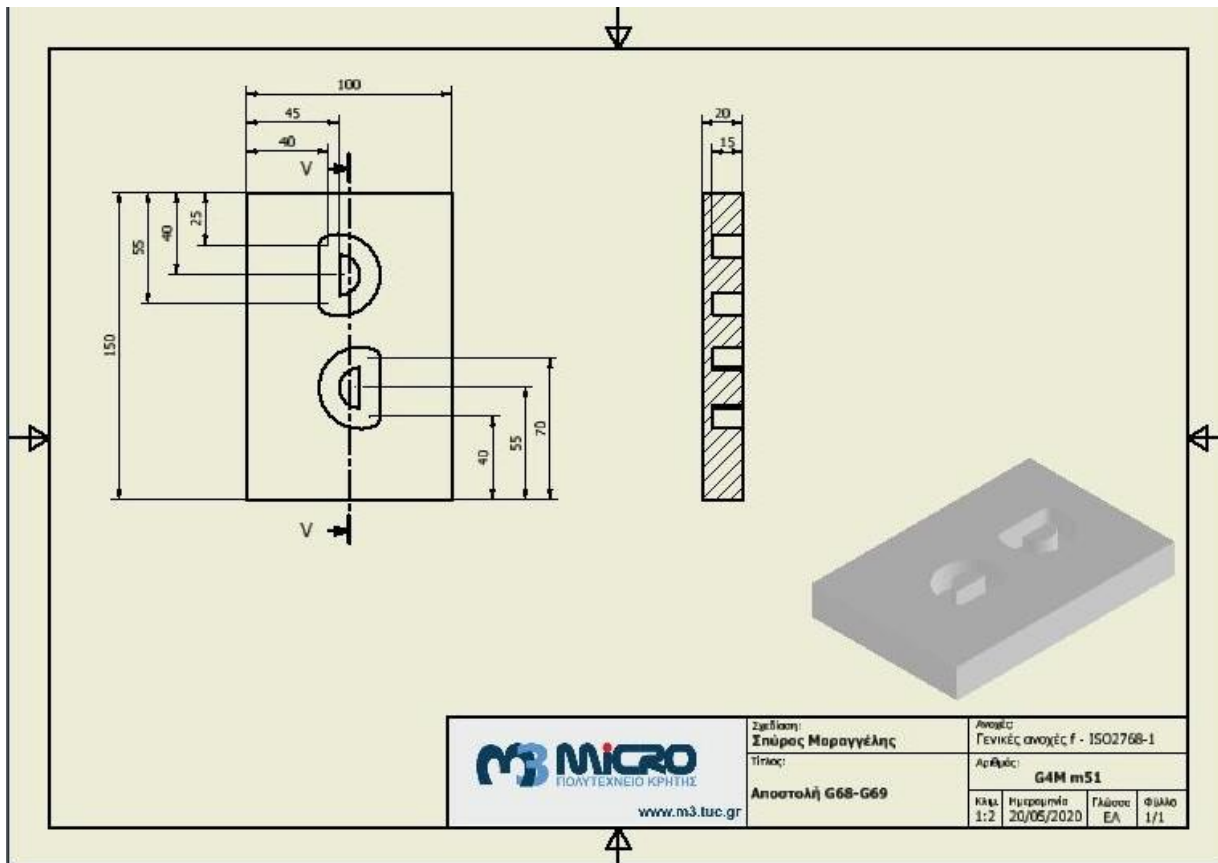
Σχήμα 3.99: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 50



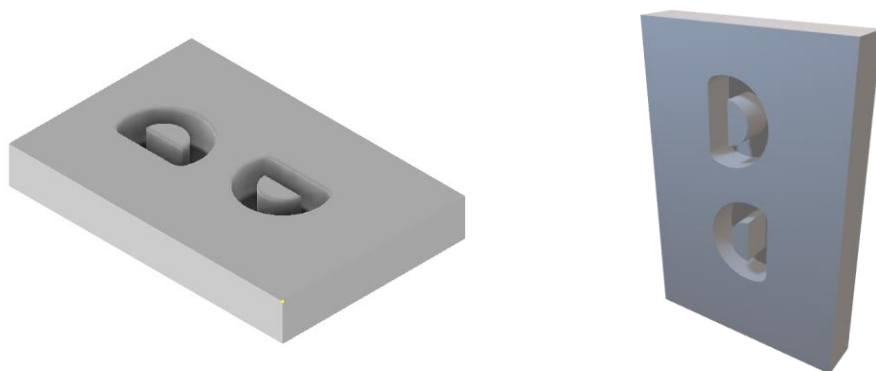
Σχήμα 3.100: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 50

### 3.51 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 51

Η αποστολή 51 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G68 και G69. Η εντολή G68 χρησιμοποιείται για την περιστροφή σχεδίων τα όποια σχεδιάζονται μέσω ενός υποπρόγραμμα που καλείται μέσα στο κύριο πρόγραμμα. Με την εντολή G69 να είναι για την ακύρωση της περιστροφής. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.101 και το σχήμα 3.102



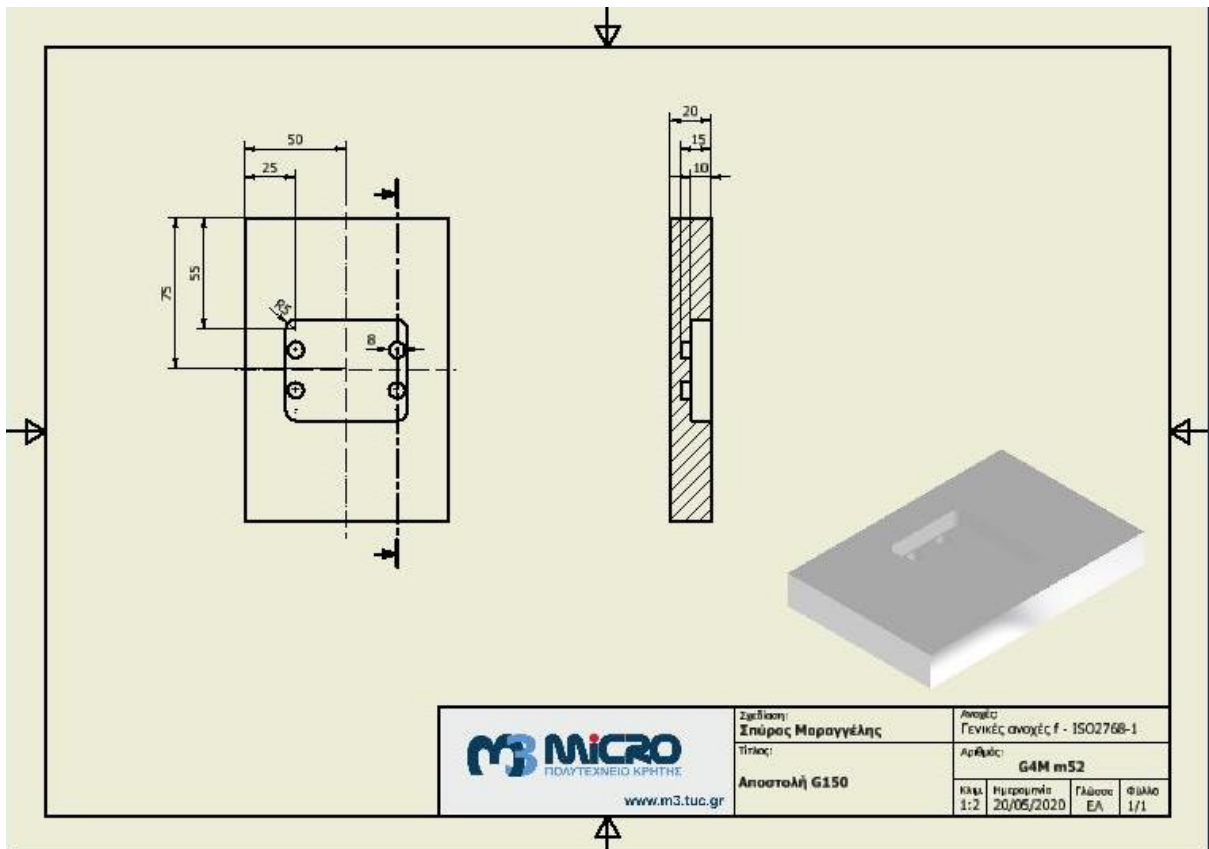
Σχήμα 3.101: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 51



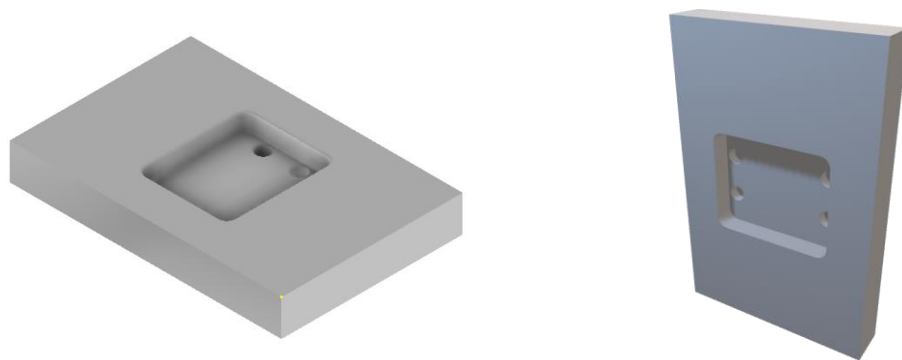
Σχήμα 3.102: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 51

### 3.52 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 52

Η αποστολή 52 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G150- Η εντολή G150 παρέχει τη δυνατότητα κατεργασίας εσοχής τετράγωνη μορφής. Η μορφή πρέπει να οριστεί χωριστά, μέσα σε ένα υποπρόγραμμα, με μια σειρά εντολών (G01, G02, G03 κλπ.) αναλόγως. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.103 και το σχήμα 3.104



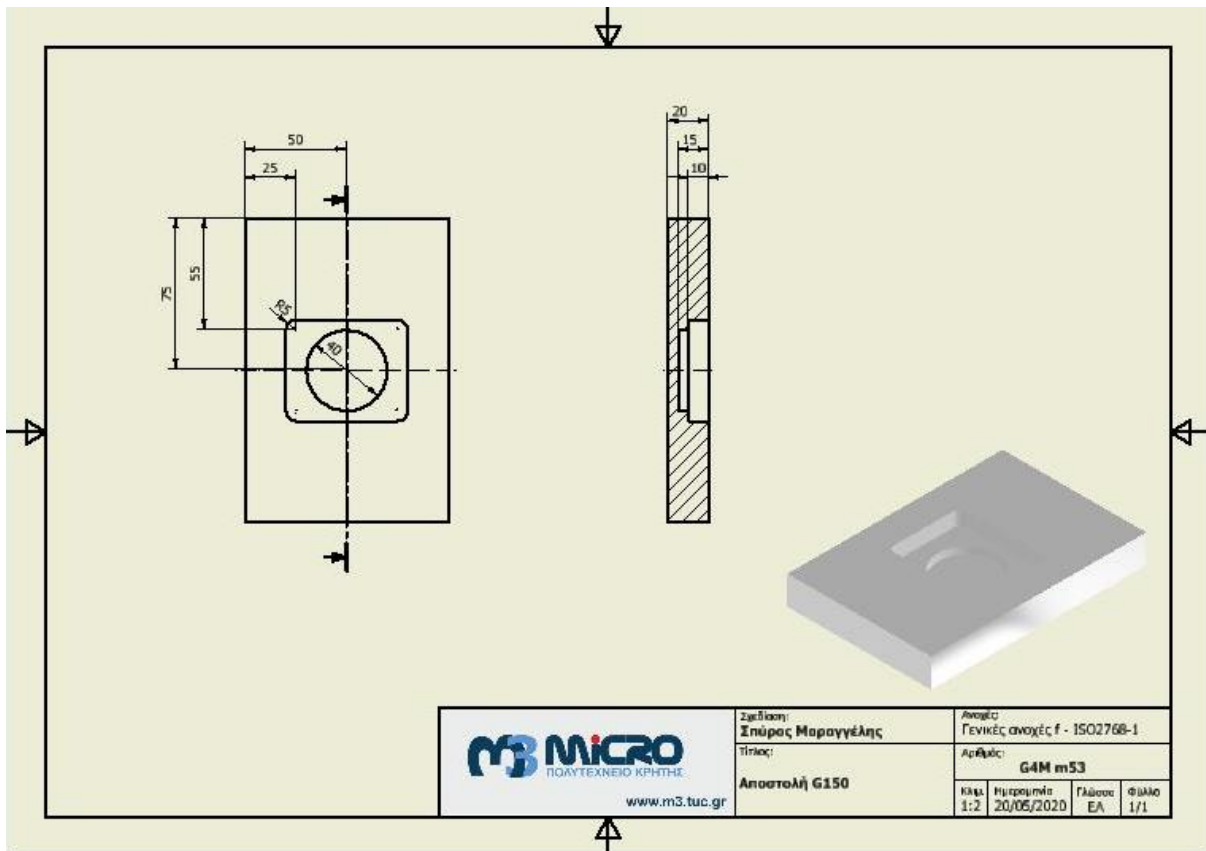
Σχήμα 3.103: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 52



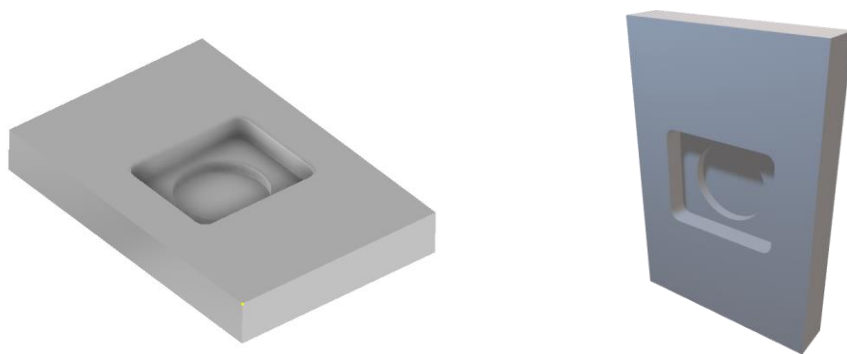
Σχήμα 3.104: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 52

### 3.53 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 53

Η αποστολή 53 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G150- Η εντολή G150 παρέχει τη δυνατότητα κατεργασίας εσοχής τετράγωνη μορφής. Η μορφή πρέπει να οριστεί χωριστά, μέσα σε ένα υποπρόγραμμα, με μια σειρά εντολών (G01, G02, G03 κλπ.) αναλόγως. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 3.105 και το σχήμα 3.106



Σχήμα 3.105: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 53

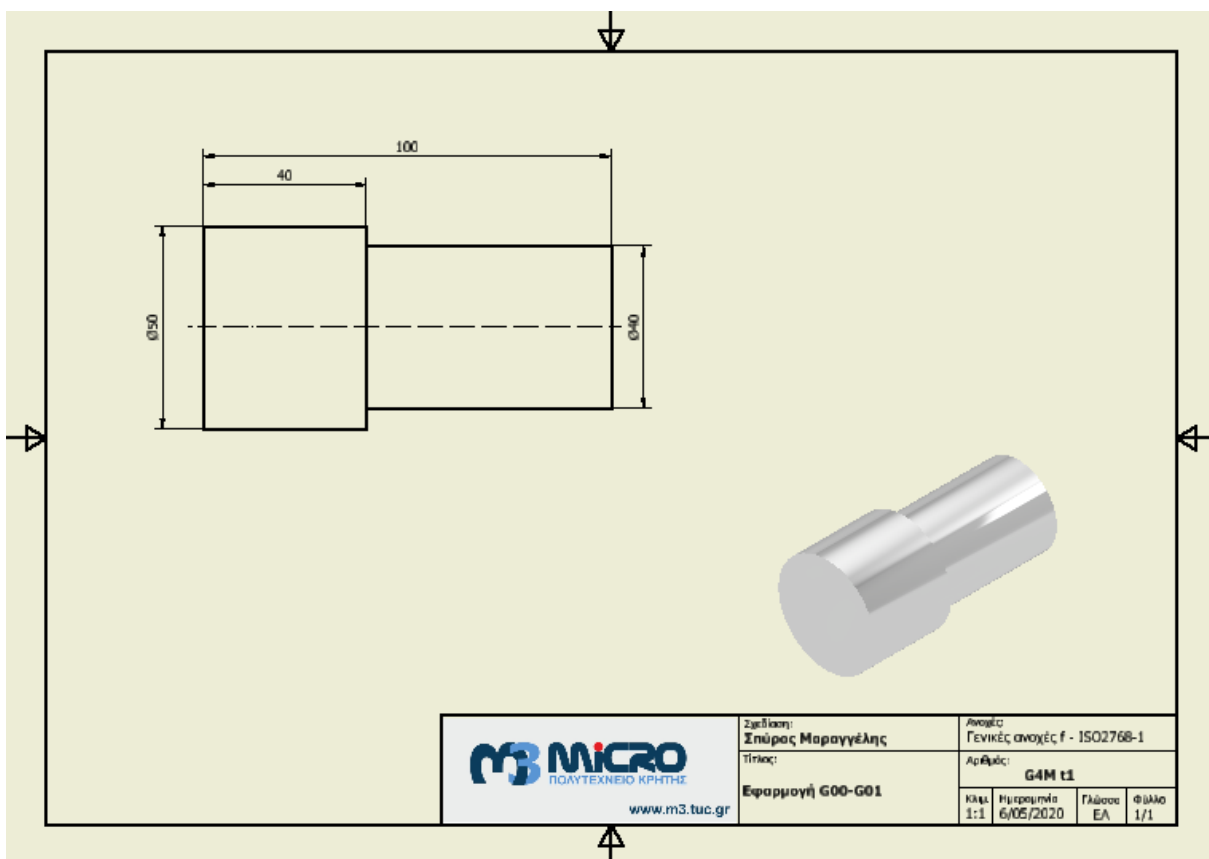


Σχήμα 3.106: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 53

## 4. ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΜΟΝΤΕΛΩΝ ΚΑΙ ΣΧΕΔΙΩΝ ΜΕ ΧΡΗΣΗ ΤΟΥ AUTODESK INVENTOR ΓΙΑ ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΕΣ ΕΦΑΡΜΟΓΕΣ ΤΟΡΝΟΥ

### 4.1 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 1

Η αποστολή 1 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G01. Η εντολή G00-G01 κινεί ευθύγραμμο το κοπτικό εργαλείο, με γρήγορη κίνηση από τη θέση που βρίσκεται σε μια νέα θέση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.1 και το σχήμα 4.2



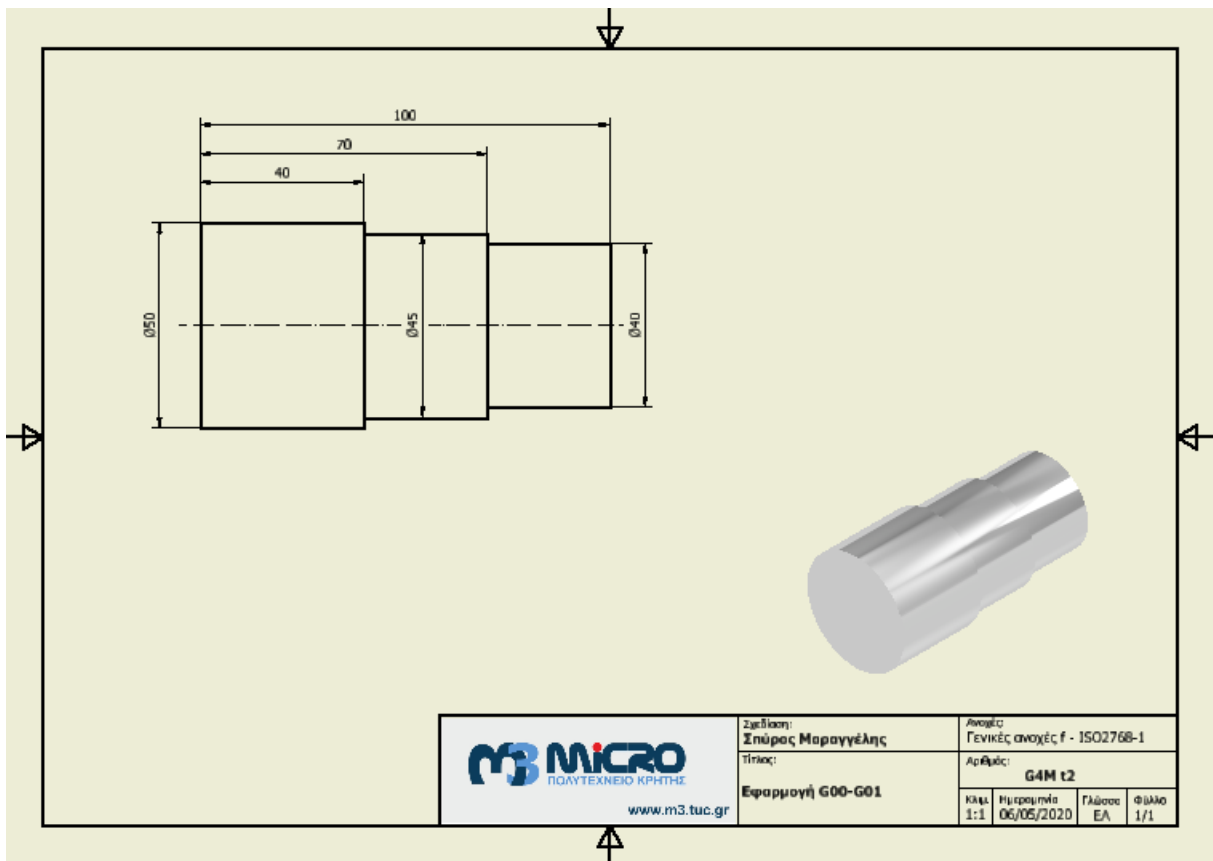
Σχήμα 4.1: Μηχανολογικό σχέδιο Αποστολής 1



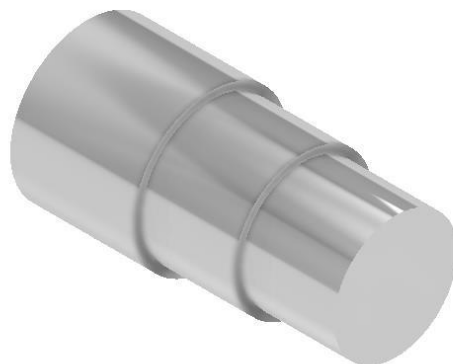
Σχήμα 4.2: Εικόνα και 3D μοντέλο κατεργασμένου τεμαχίου αποστολής 1

## 4.2 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 2

Η αποστολή 2 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G01. Η εντολή G00-G01 κινεί ευθύγραμμα το κοπτικό εργαλείο, με γρήγορη κίνηση από τη θέση που βρίσκεται σε μια νέα θέση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.3 και το σχήμα 4.4



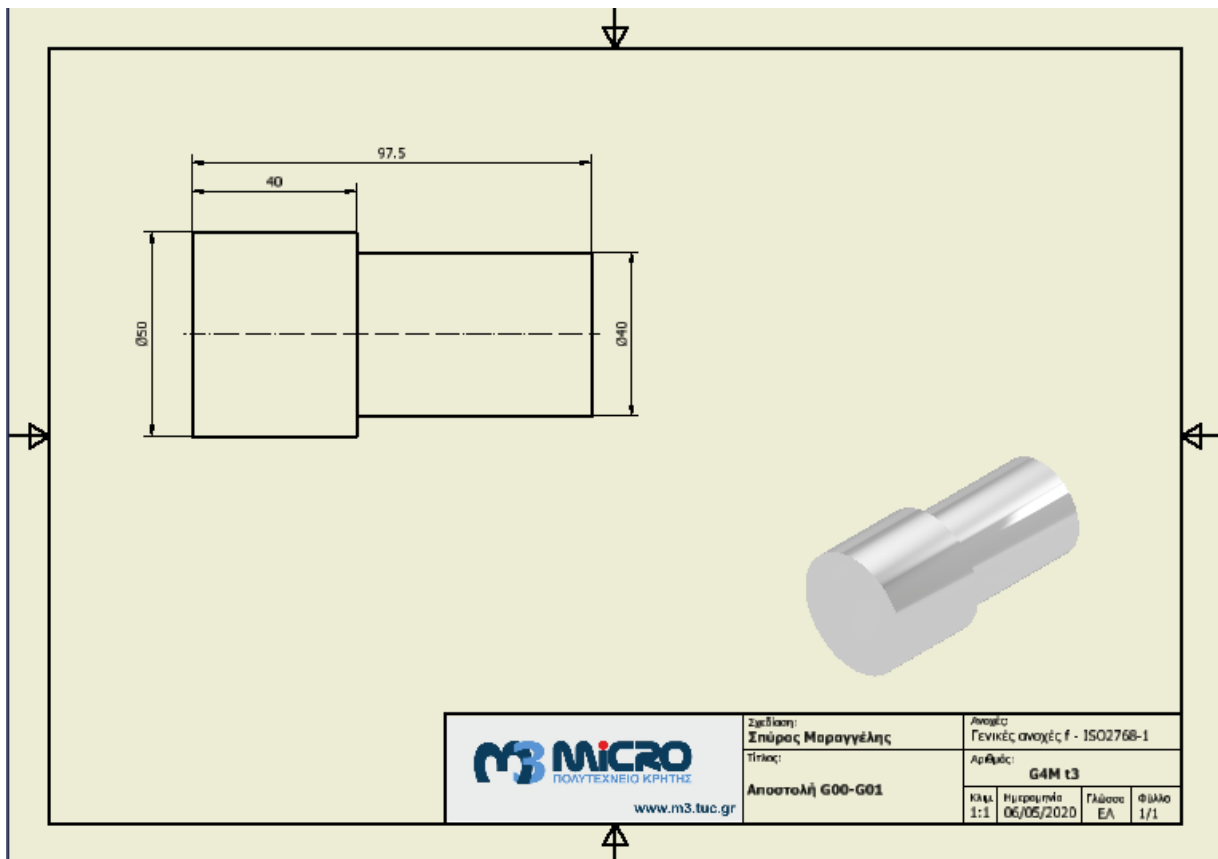
Σχήμα 4.3: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 2



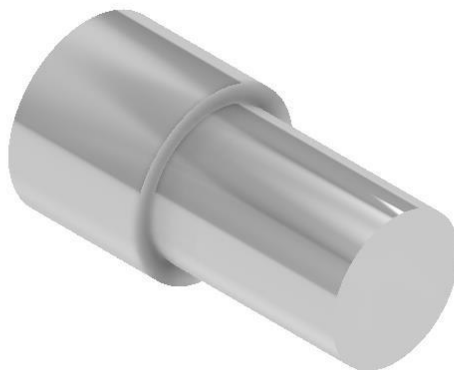
Σχήμα 4.4: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 2

### 4.3 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 3

Η αποστολή 3 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G01. Η εντολή G00-G01 κινεί ευθύγραμμα το κοπτικό εργαλείο, με γρήγορη κίνηση από τη θέση που βρίσκεται σε μια νέα θέση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.5 και το σχήμα 4.6



Σχήμα 4.5: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 3

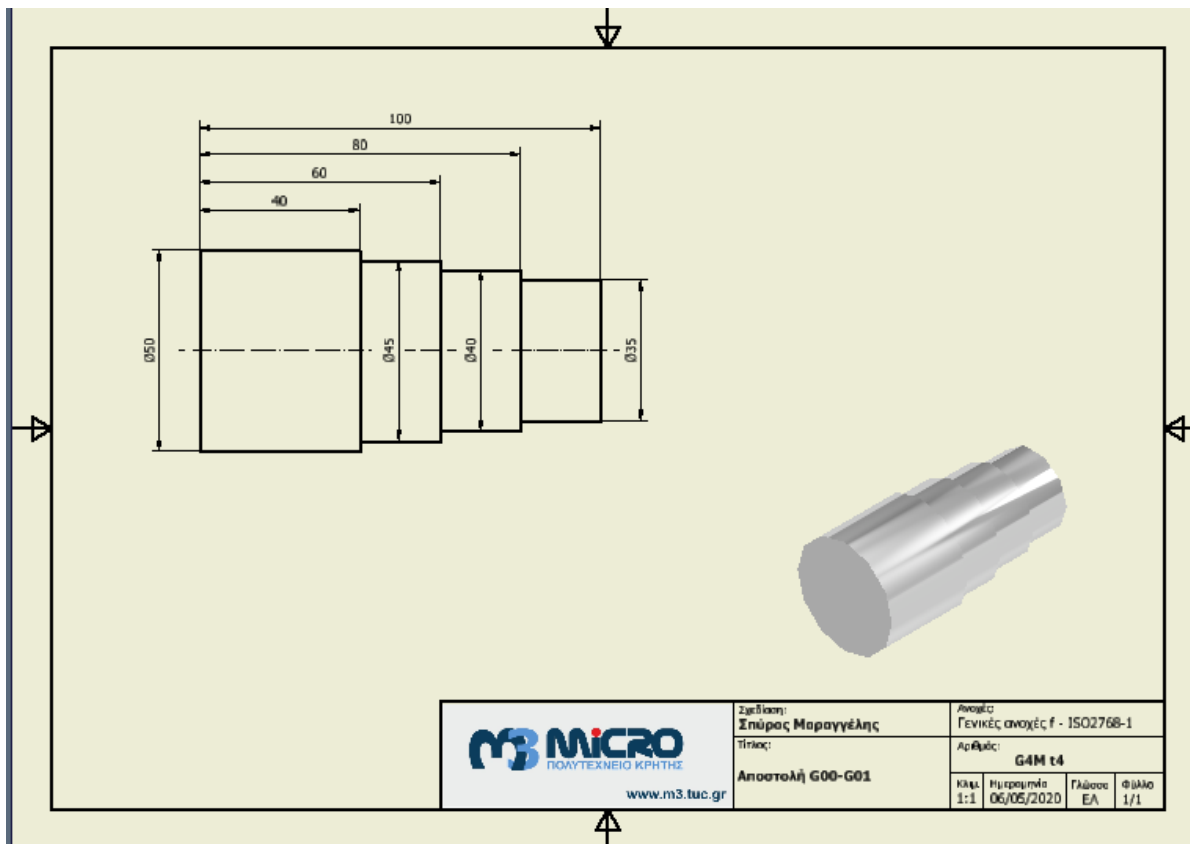


Σχήμα 4.6: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 3

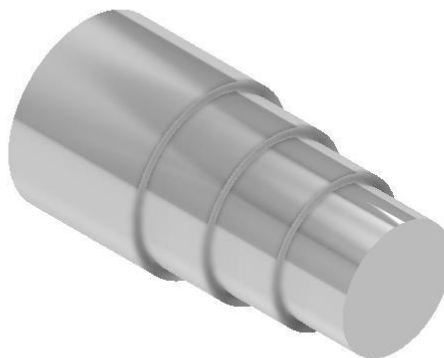


#### 4.4 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 4

Η αποστολή 4 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G01. Η εντολή G00-G01 κινεί ευθύγραμμα το κοπτικό εργαλείο, με γρήγορη κίνηση από τη θέση που βρίσκεται σε μια νέα θέση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.7 και το σχήμα 4.8



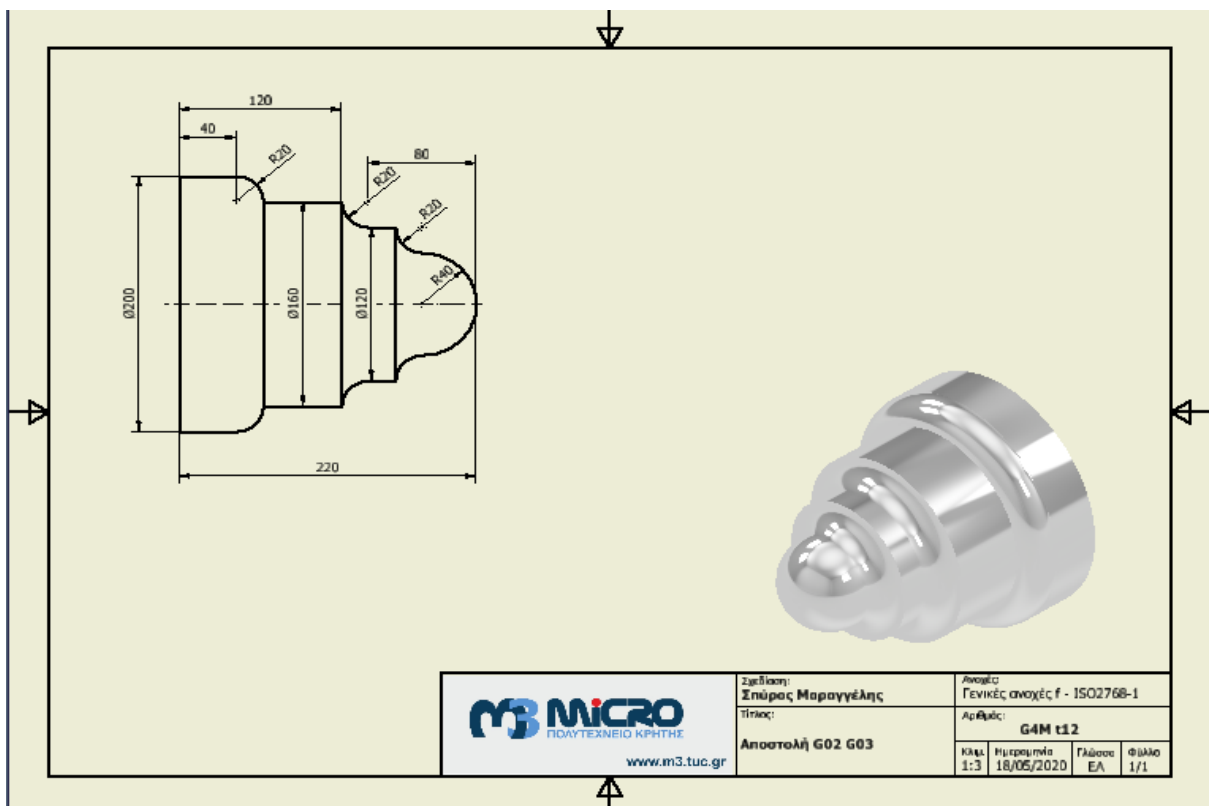
Σχήμα 4.7: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 4



Σχήμα 4.8: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 4

#### 4.5 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 5

Η αποστολή 5 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G02 Η εντολή G02 κινεί το κοπτικό εργαλείο δεξιόστροφα από τη θέση που βρίσκεται με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Για την εντολή αυτή, εκτός από τις συντεταγμένες του σημείου που θα μετακινηθεί το εργαλείο (X, Y, Z), χρειάζεται και ο προσδιορισμός της ακτίνας του τόξου ή τις συντεταγμένες του κέντρου του (I, J, K), όπου I η απόσταση από τον X άξονα, J η απόσταση από τον Y άξονα και K η απόσταση από τον Z άξονα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.9 και το σχήμα 4.10



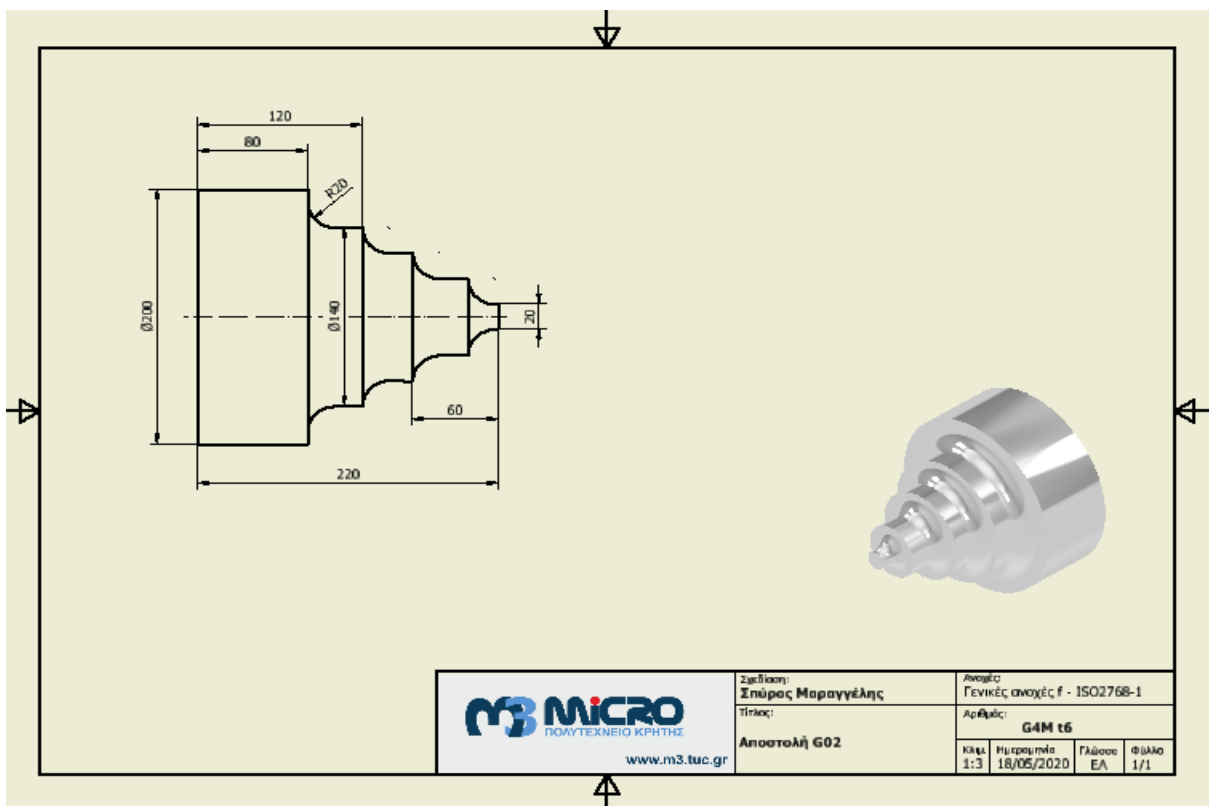
Σχήμα 4.9: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 5



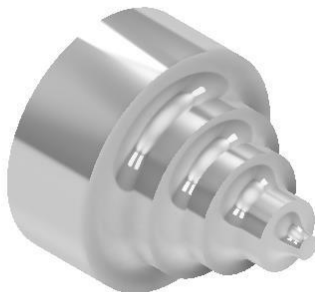
Σχήμα 4.10: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 5

#### 4.6 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 6

Η αποστολή έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G02. Η εντολή G02 κινεί το κοπτικό εργαλείο δεξιόστροφα από τη θέση που βρίσκεται με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Για την εντολή αυτή, εκτός από τις συντεταγμένες του σημείου που θα μετακινηθεί το εργαλείο (X, Y, Z), χρειάζεται και ο προσδιορισμός της ακτίνας του τόξου ή τις συντεταγμένες του κέντρου του (I, J, K), όπου I η απόσταση από τον X άξονα, J η απόσταση από τον Y άξονα και K η απόσταση από τον Z άξονα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.11 και το σχήμα 4.12



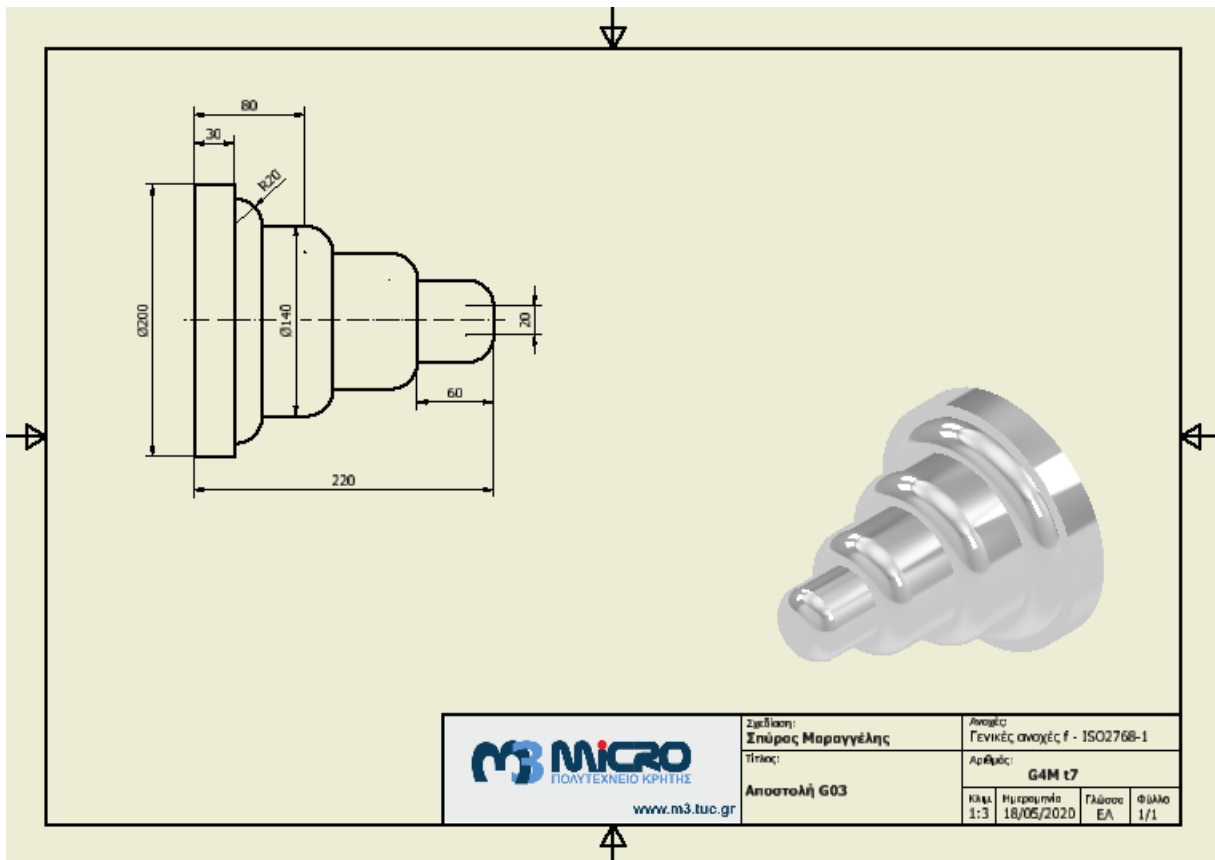
Σχήμα 4.11: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 6



Σχήμα 4.12: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 6

#### 4.7 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 7

Η αποστολή 7 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G03. Η εντολή G03 κινεί το κοπτικό εργαλείο σε αριστερόστροφη κίνηση από τη θέση που βρίσκεται σε μια νέα θέση, με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Σε αυτήν την εντολή πρέπει επίσης να προσδιοριστεί η ακτίνα του τόξου ή οι συντεταγμένες του κέντρου του. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.13 και το σχήμα 4.14



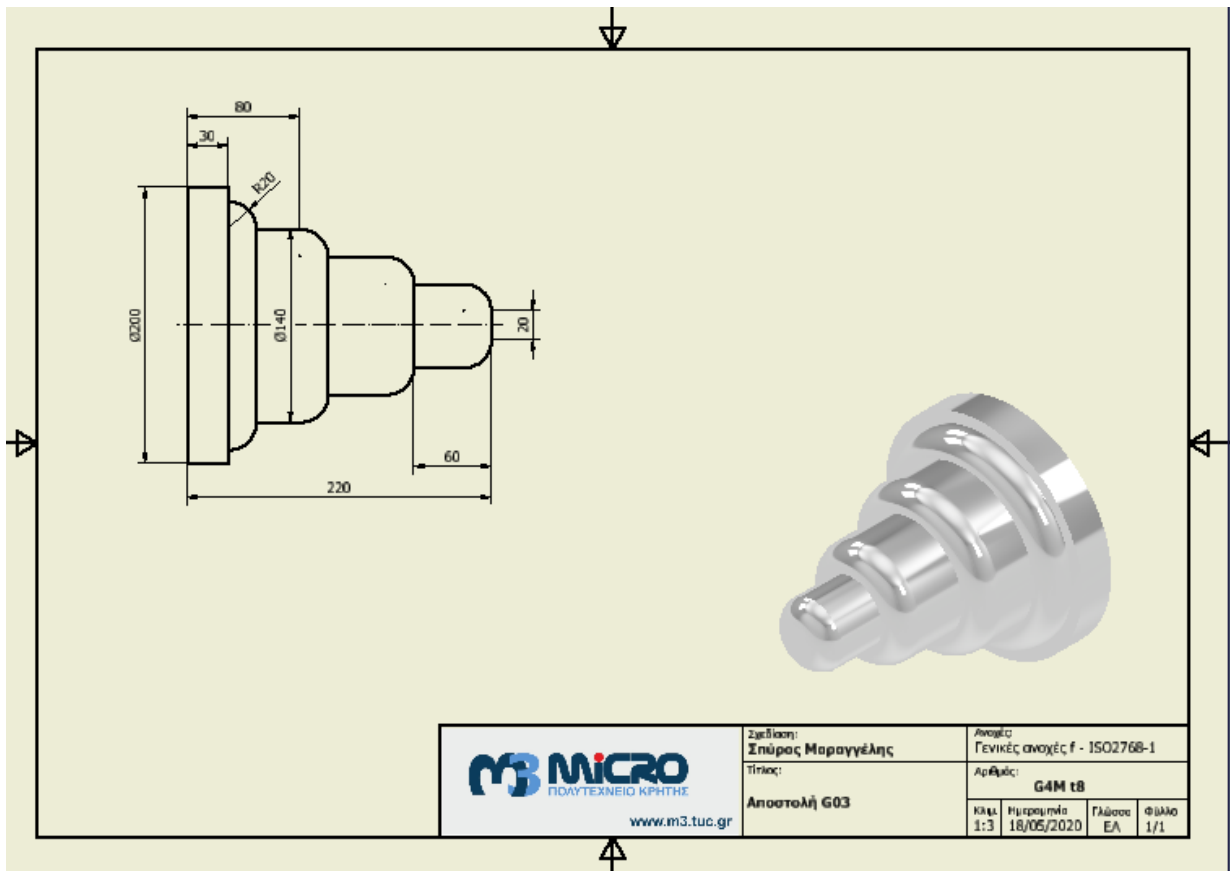
Σχήμα 4.13: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 7



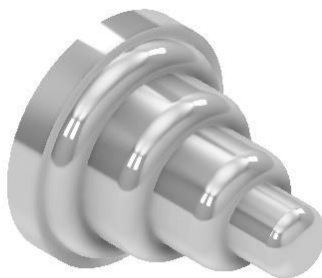
Σχήμα 4.14: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 7

#### 4.8 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 8

Η αποστολή 8 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G03. Η εντολή G03 κινεί το κοπτικό εργαλείο σε αριστερόστροφη κίνηση από τη θέση που βρίσκεται σε μια νέα θέση, με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Σε αυτήν την εντολή πρέπει επίσης να προσδιοριστεί η ακτίνα του τόξου ή οι συντεταγμένες του κέντρου του. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.15 και το σχήμα 4.16



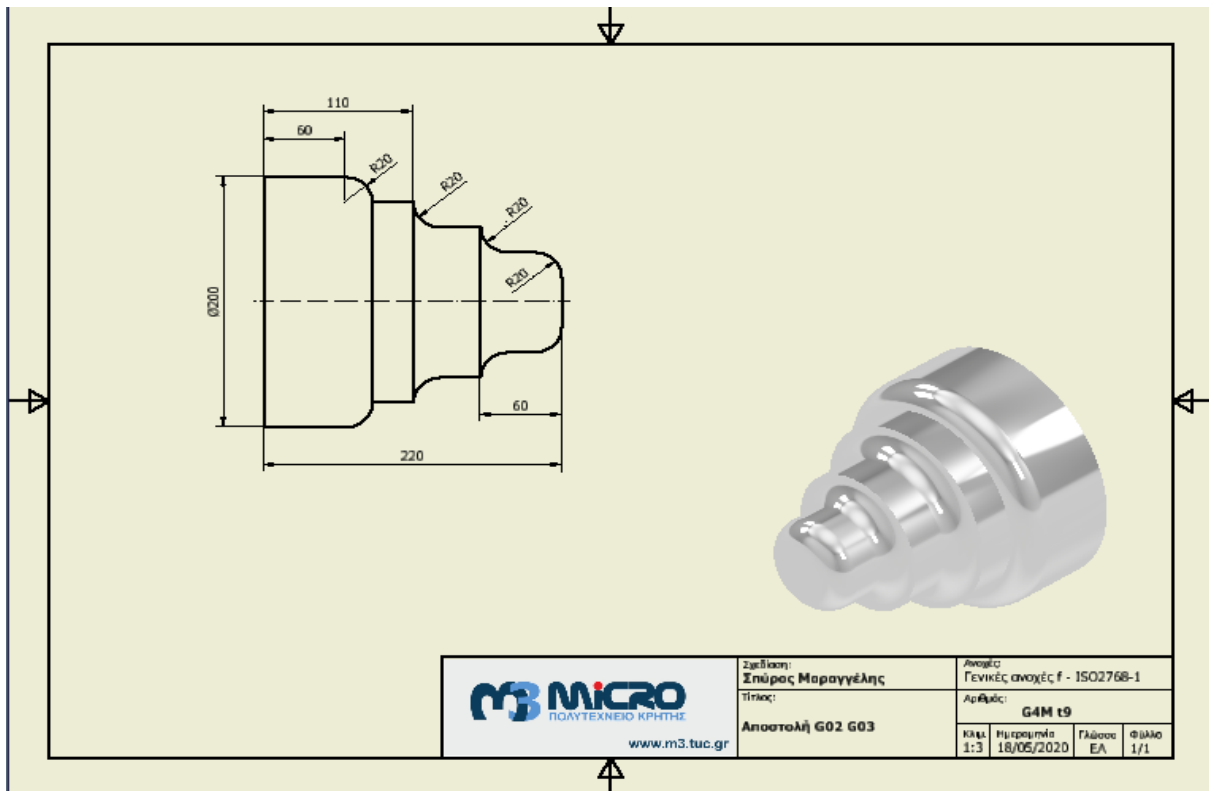
Σχήμα 4.15: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 8



Σχήμα 4.16: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 8

#### 4.9 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 9

Η αποστολή 9 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G02 και G03. Η εντολή G02 κινεί το κοπτικό εργαλείο δεξιόστροφα από τη θέση που βρίσκεται με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Η εντολή G03 κινεί το κοπτικό εργαλείο σε αριστερόστροφη κίνηση από τη θέση που βρίσκεται σε μια νέα θέση, με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.17 και το σχήμα 4.18



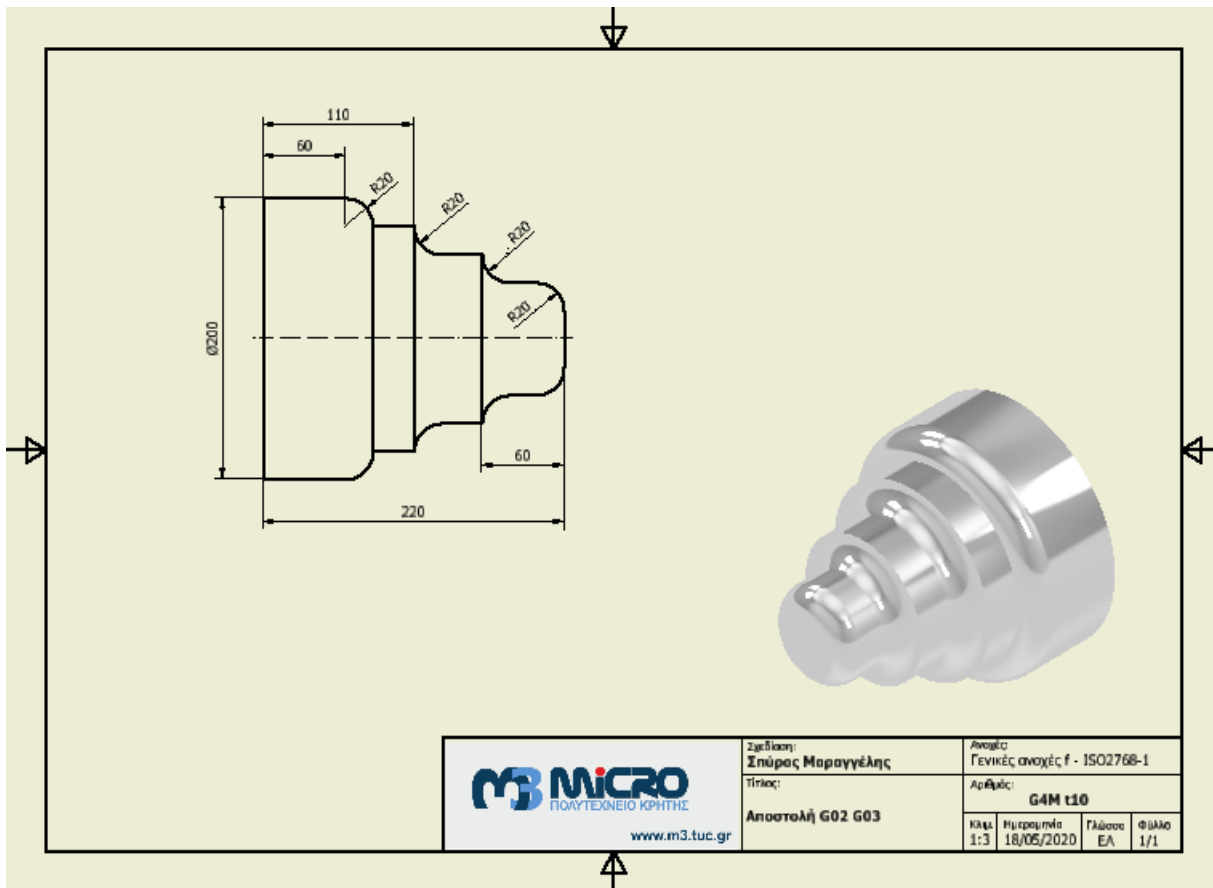
Σχήμα 4.17: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 9



Σχήμα 4.18: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 9

#### 4.10 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 10

Η αποστολή 10 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G02 και G03. Η εντολή G02 κινεί το κοπτικό εργαλείο δεξιόστροφα από τη θέση που βρίσκεται με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Η εντολή G03 κινεί το κοπτικό εργαλείο σε αριστερόστροφη κίνηση από τη θέση που βρίσκεται σε μια νέα θέση, με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.19 και το σχήμα 4.20



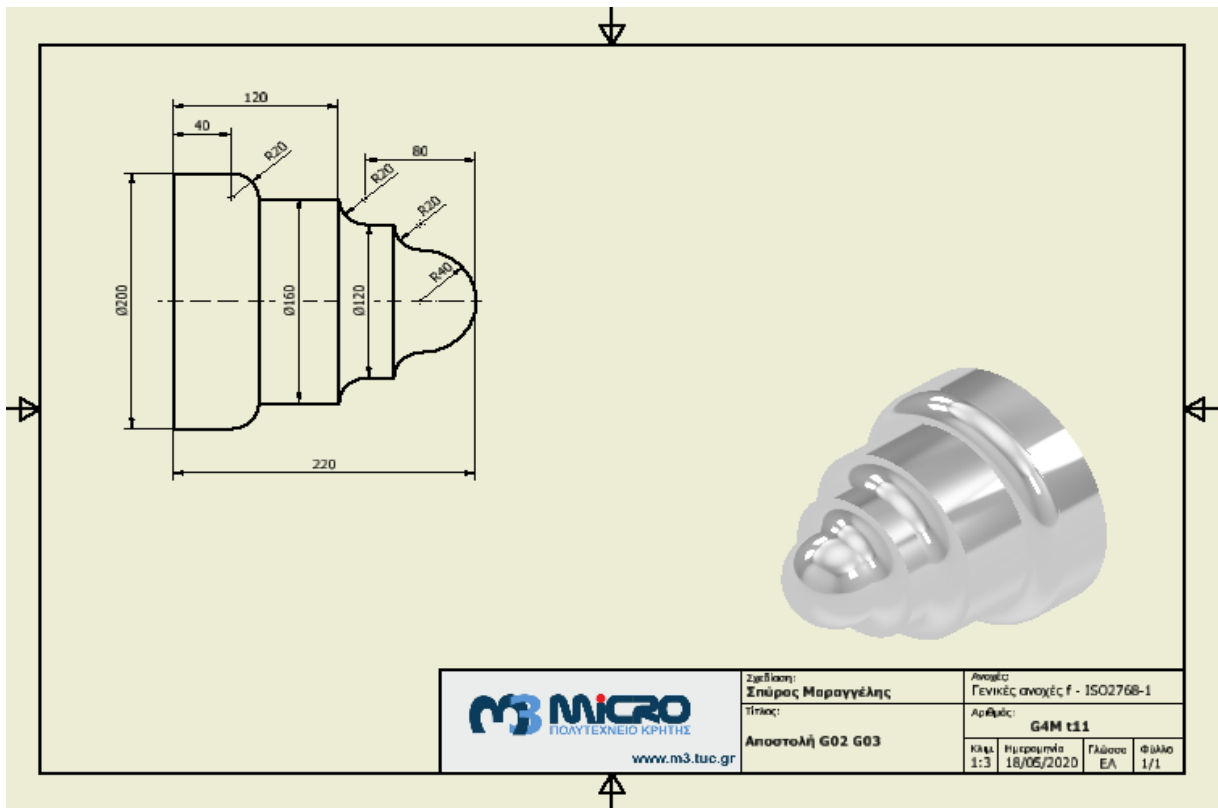
Σχήμα 4.19: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 10



Σχήμα 4.20: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 10

#### 4.11 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 11

Η αποστολή 11 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G02 και G03. Η εντολή G02 κινεί το κοπτικό εργαλείο δεξιόστροφα από τη θέση που βρίσκεται με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Η εντολή G03 κινεί το κοπτικό εργαλείο σε αριστερόστροφη κίνηση από τη θέση που βρίσκεται σε μια νέα θέση, με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.21 και το σχήμα 4.22



Σχήμα 4.21: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 11

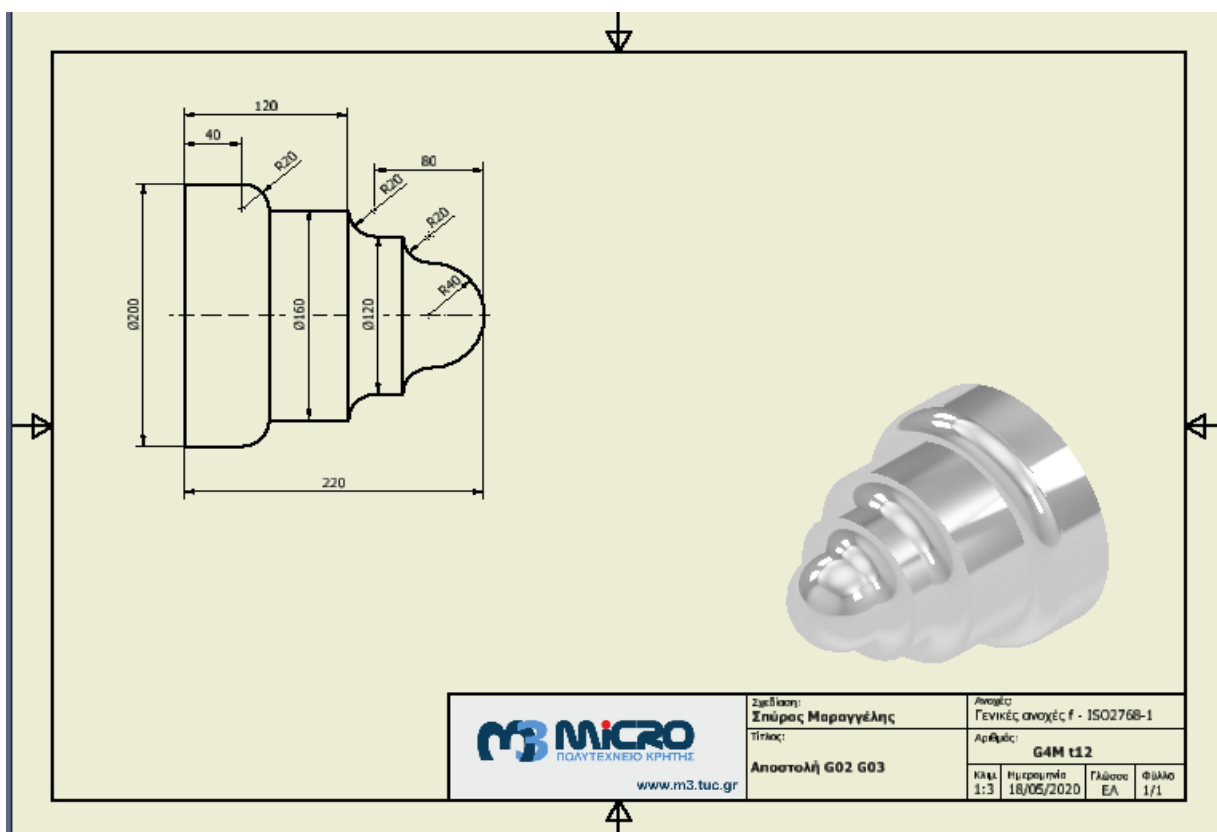


Σχήμα 4.22: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 11



#### 4.12 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 12

Η αποστολή 12 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G02 και G03. Η εντολή G02 κινεί το κοπτικό εργαλείο δεξιόστροφα από τη θέση που βρίσκεται με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Η εντολή G03 κινεί το κοπτικό εργαλείο σε αριστερόστροφη κίνηση από τη θέση που βρίσκεται σε μια νέα θέση, με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.23 και το σχήμα 4.24



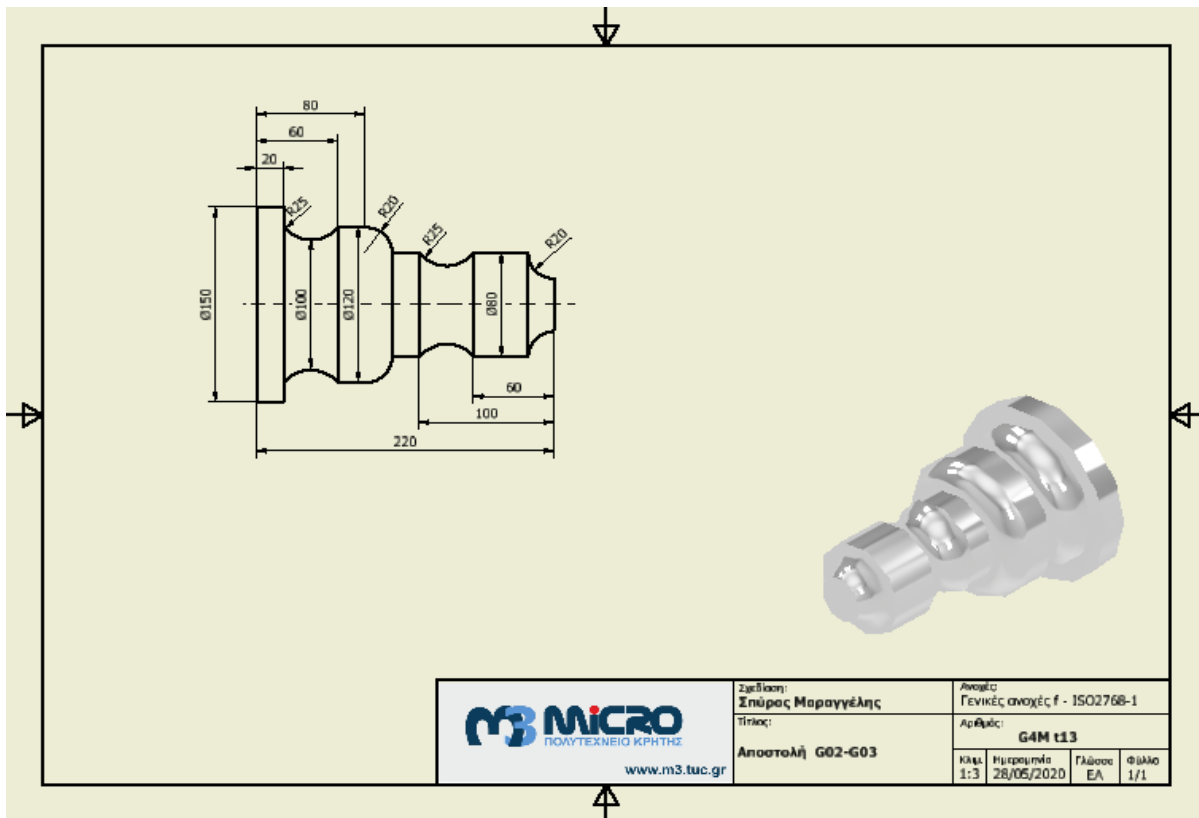
Σχήμα 4.23: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 12



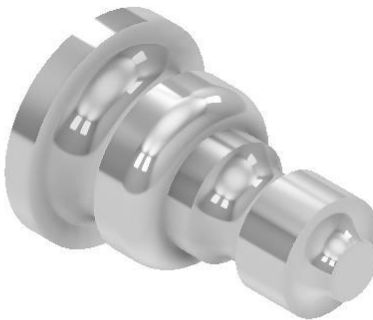
Σχήμα 4.24: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 12

#### 4.13 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 13

Η αποστολή 13 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G02 και G03. Η εντολή G02 κινεί το κοπτικό εργαλείο δεξιόστροφα από τη θέση που βρίσκεται με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Η εντολή G03 κινεί το κοπτικό εργαλείο σε αριστερόστροφη κίνηση από τη θέση που βρίσκεται σε μια νέα θέση, με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.25 και το σχήμα 4.26



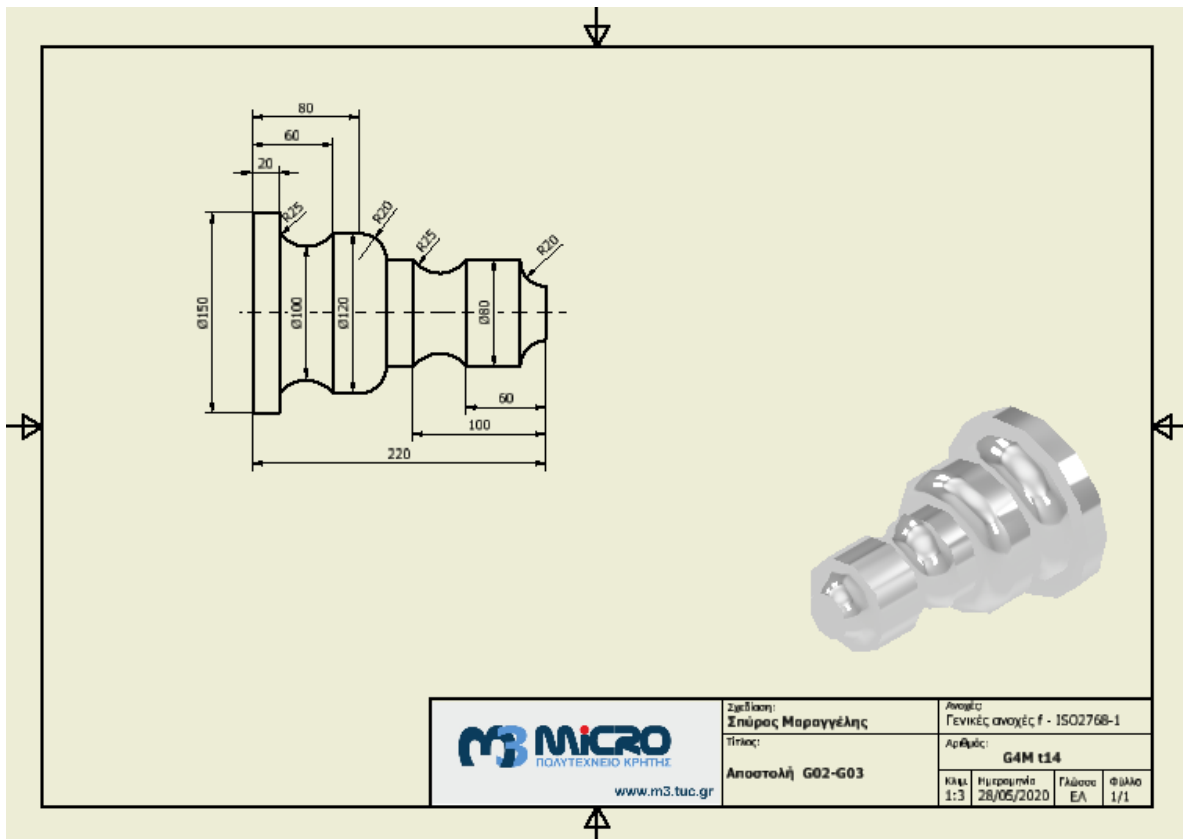
Σχήμα 4.25: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 13



Σχήμα 4.26: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 13

#### 4.14 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 14

Η αποστολή 14 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G02 και G03. Η εντολή G02 κινεί το κοπτικό εργαλείο δεξιόστροφα από τη θέση που βρίσκεται με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Η εντολή G03 κινεί το κοπτικό εργαλείο σε αριστερόστροφη κίνηση από τη θέση που βρίσκεται σε μια νέα θέση, με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.27 και το σχήμα 4.28



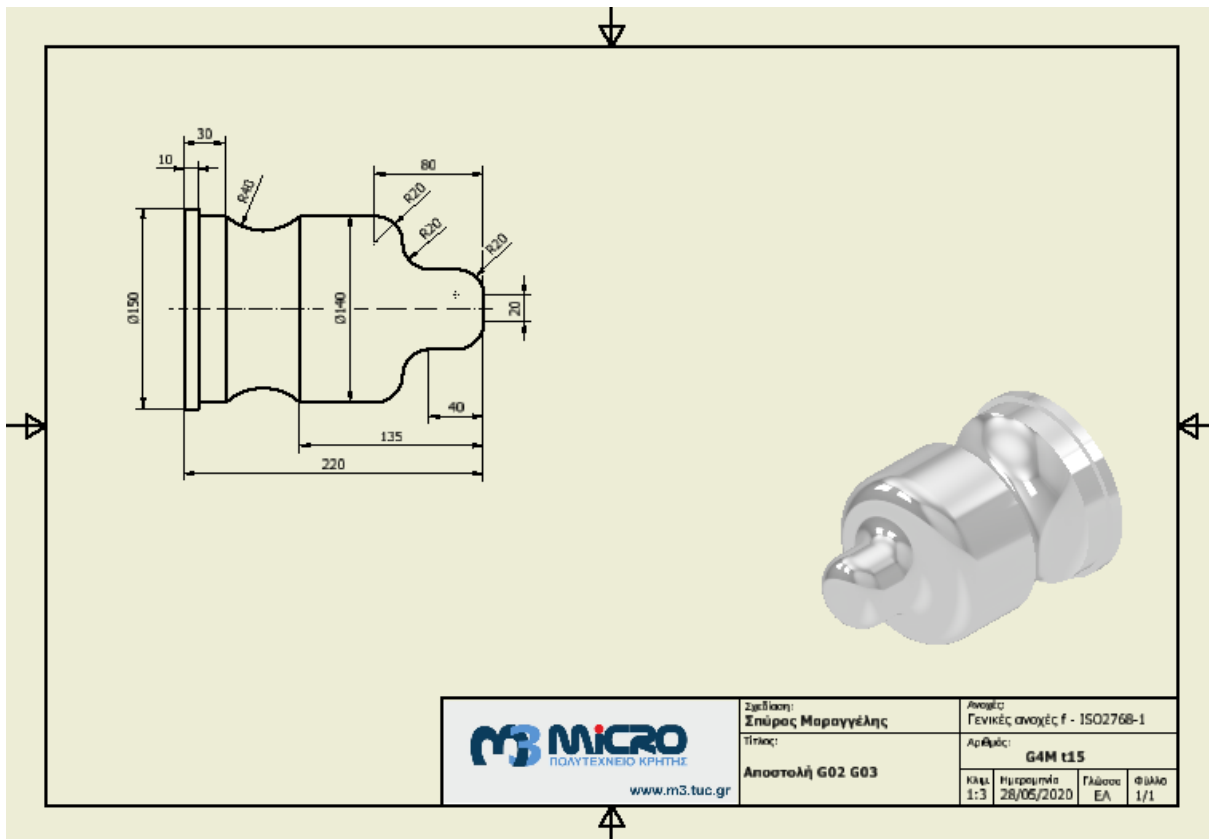
Σχήμα 4.27: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 14



Σχήμα 4.28: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 14

#### 4.15 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 15

Η αποστολή 15 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G02 και G03. Η εντολή G02 κινεί το κοπτικό εργαλείο δεξιόστροφα από τη θέση που βρίσκεται με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Η εντολή G03 κινεί το κοπτικό εργαλείο σε αριστερόστροφη κίνηση από τη θέση που βρίσκεται σε μια νέα θέση, με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.29 και το σχήμα 4.30



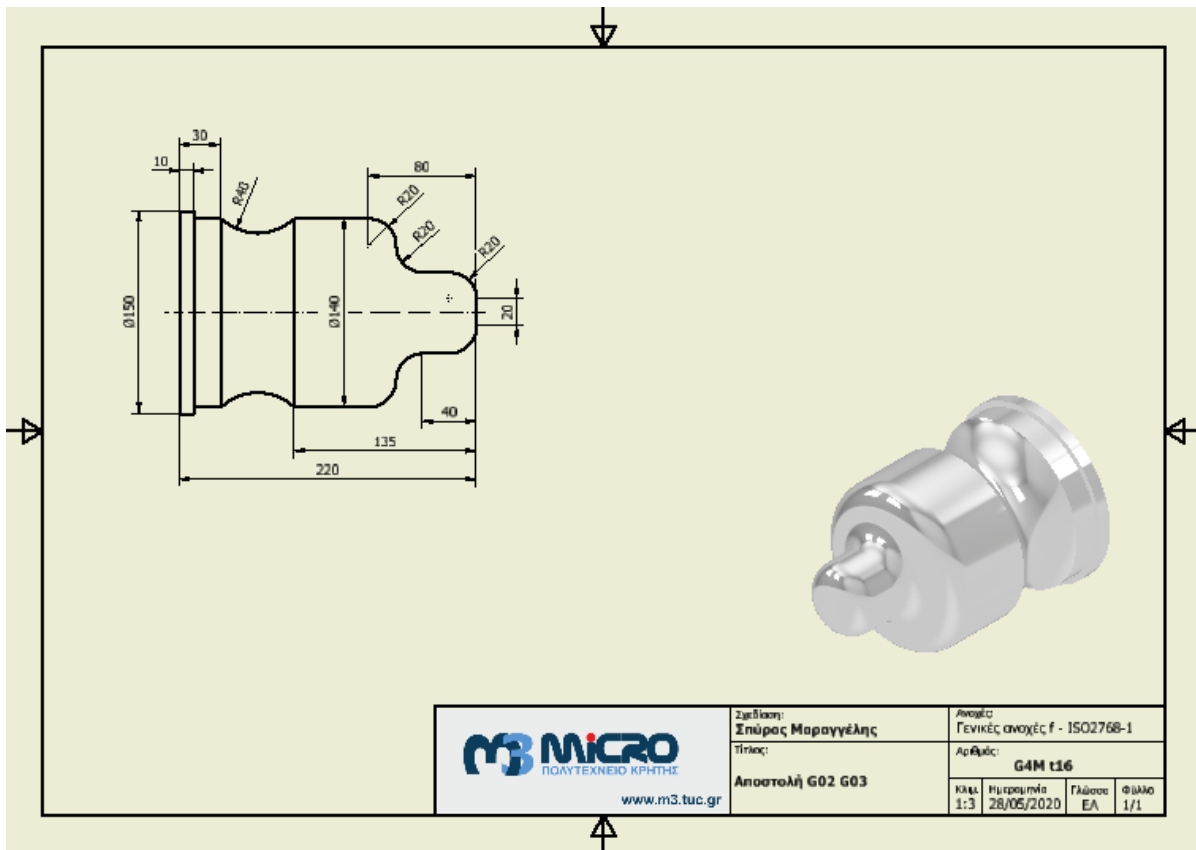
Σχήμα 4.29: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 15



Σχήμα 4.30: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 15

#### 4.16 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 16

Η αποστολή 16 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G02 και G03. Η εντολή G02 κινεί το κοπτικό εργαλείο δεξιόστροφα από τη θέση που βρίσκεται με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Η εντολή G03 κινεί το κοπτικό εργαλείο σε αριστερόστροφη κίνηση από τη θέση που βρίσκεται σε μια νέα θέση, με τόξο συγκεκριμένης ακτίνας και συγκεκριμένη πρόωση. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.31 και το σχήμα 4.32



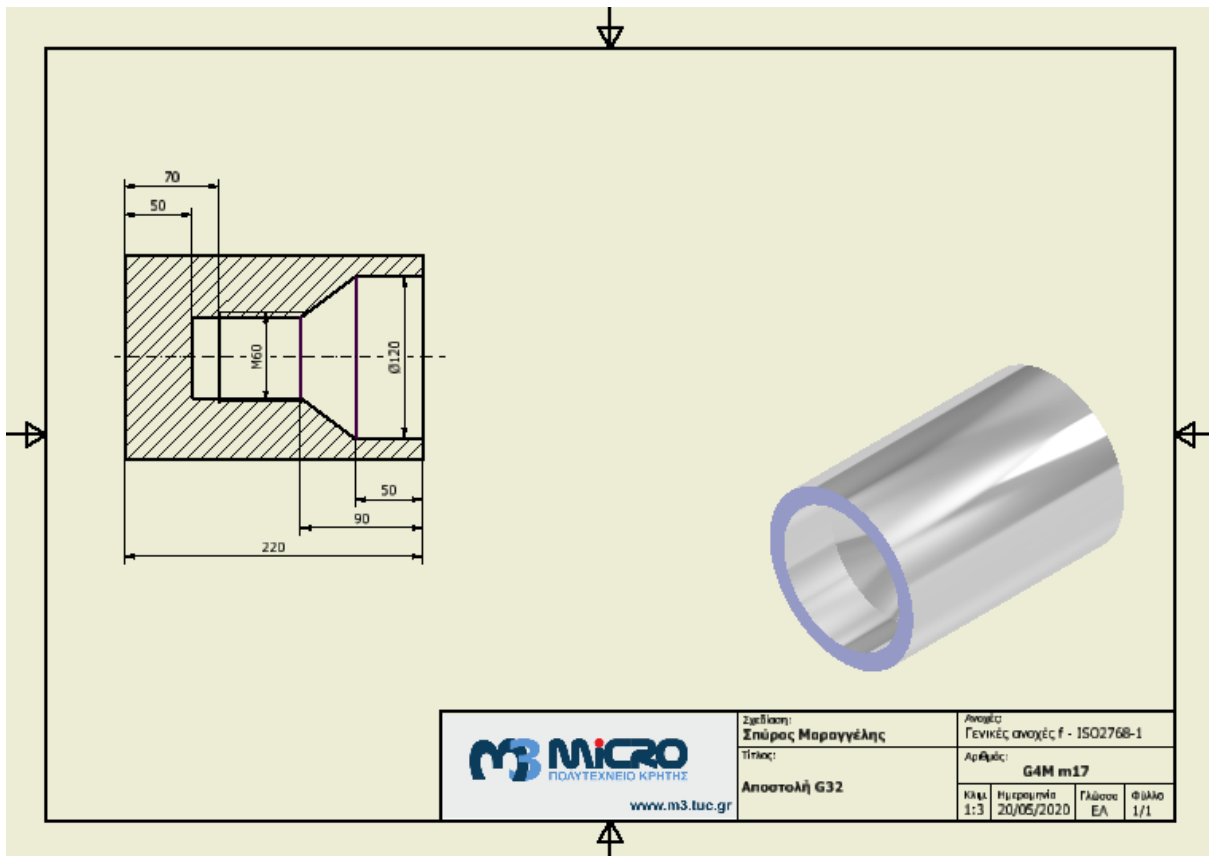
Σχήμα 4.31: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 16



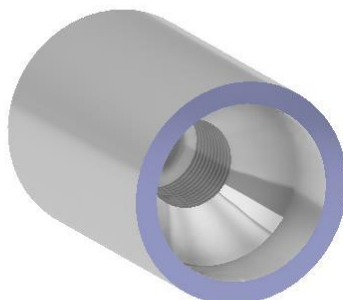
Σχήμα 4.32: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 16

#### 4.17 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 17

Η αποστολή 17 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G32. Η εντολή G32 ενεργοποιεί τον κύκλο κατεργασίας σπειρώματος και στο σχετικό και στο απόλυτο σύστημα συντεταγμένων και συνοδεύεται από το βήμα του σπειρώματος (F), το οποίο δεν πρέπει να αλλάζει κατά τη διάρκεια της κοπής. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.33 και το σχήμα 4.34



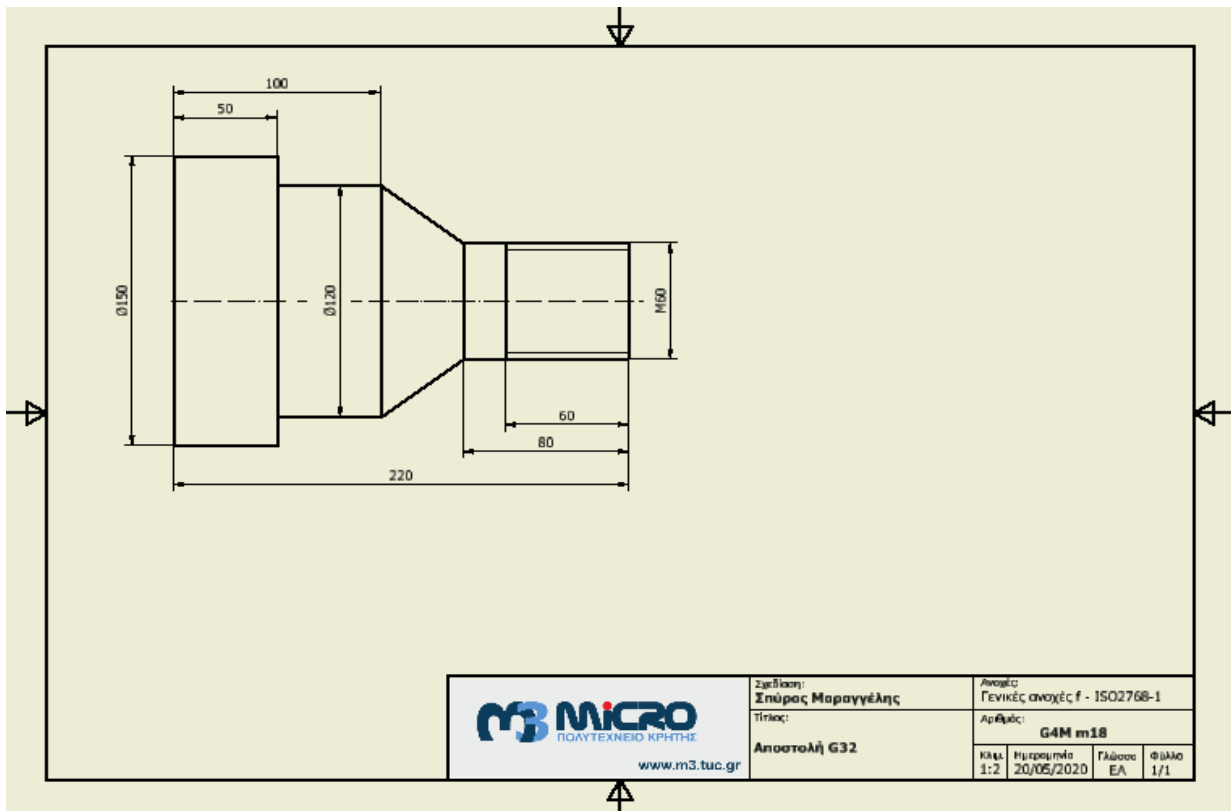
Σχήμα 4.33: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 17



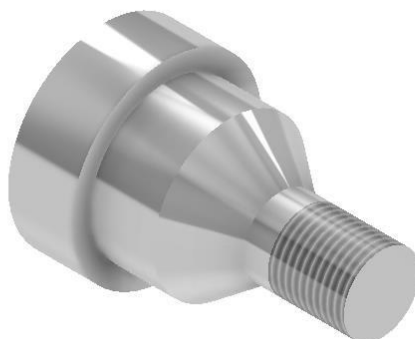
Σχήμα 4.34: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 17

#### 4.18 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 18

Η αποστολή 18 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G32. Η εντολή G32 ενεργοποιεί τον κύκλο κατεργασίας σπειρώματος και στο σχετικό και στο απόλυτο σύστημα συντεταγμένων και συνοδεύεται από το βήμα του σπειρώματος (F), το οποίο δεν πρέπει να αλλάζει κατά τη διάρκεια της κοπής. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.35 και το σχήμα 4.36



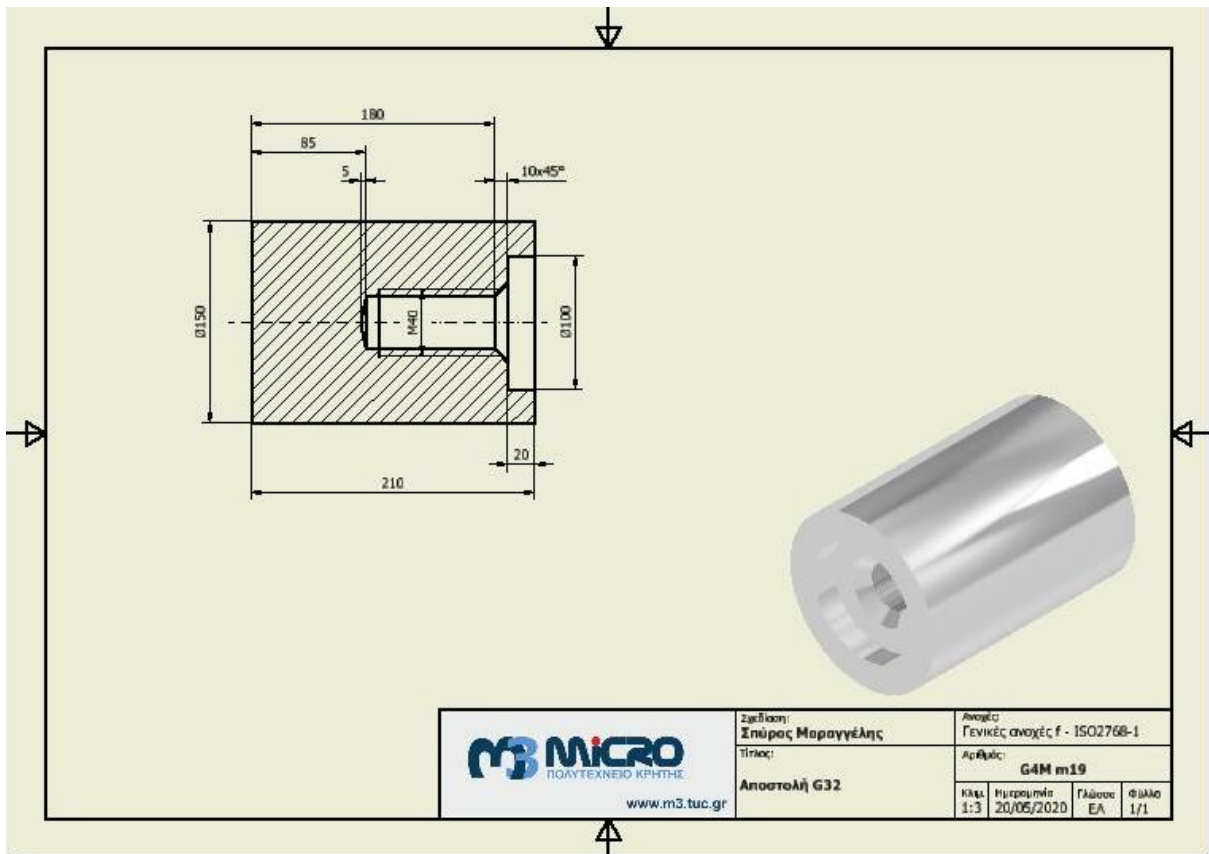
Σχήμα 4.35: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 18



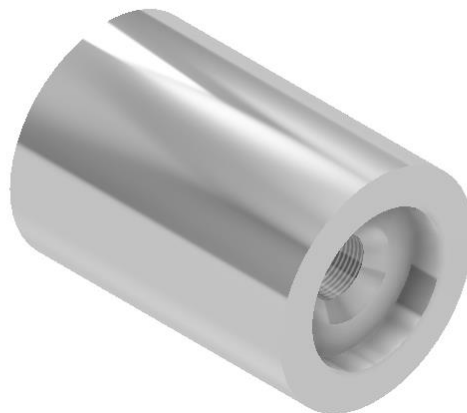
Σχήμα 4.36: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 18

#### 4.19 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 19

Η αποστολή 19 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G32. Η εντολή G32 ενεργοποιεί τον κύκλο κατεργασίας σπειρώματος και στο σχετικό και στο απόλυτο σύστημα συντεταγμένων και συνοδεύεται από το βήμα του σπειρώματος (F), το οποίο δεν πρέπει να αλλάζει κατά τη διάρκεια της κοπής. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.37 και το σχήμα 4.38



Σχήμα 4.37: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 19

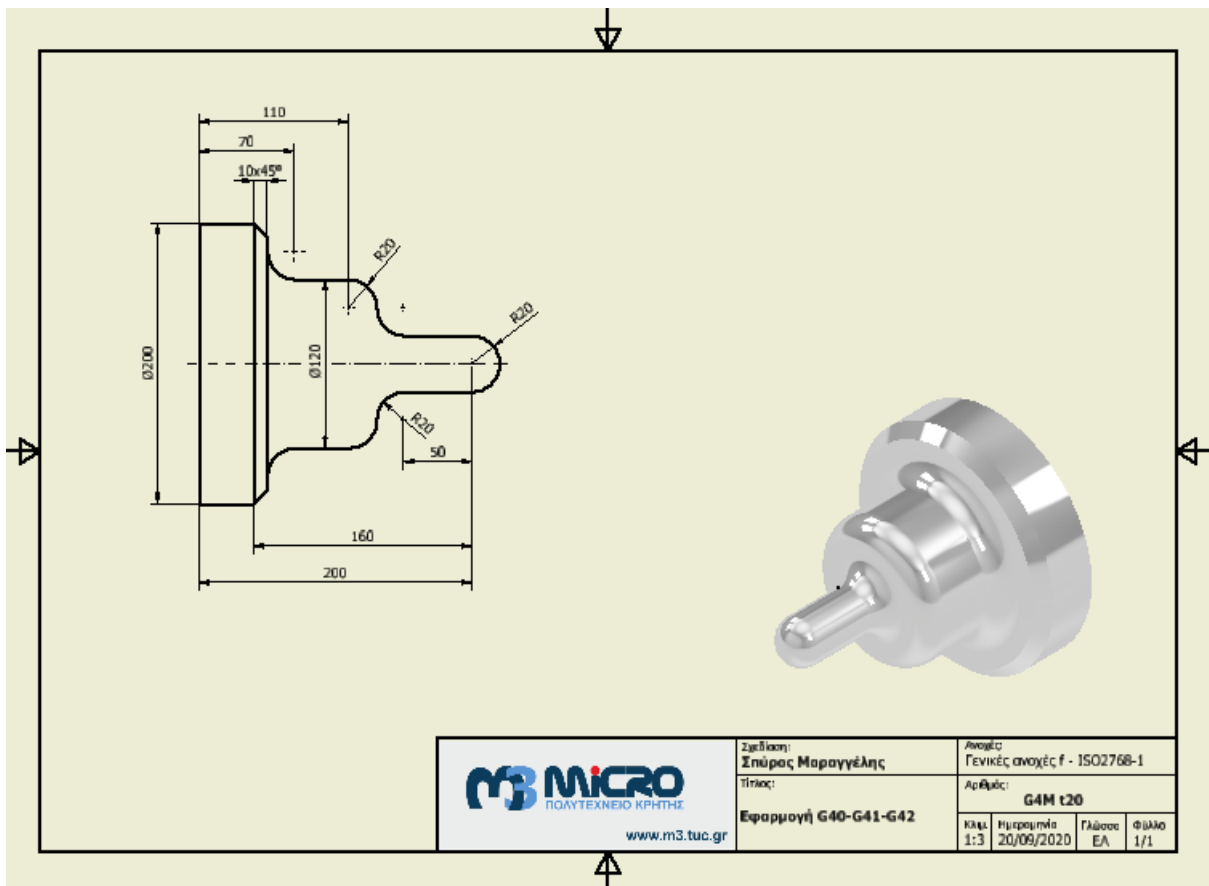


Σχήμα 4.38: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 19



#### 4.20 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 20

Η αποστολή 20 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G41/G42. Η εντολή G41 χρησιμοποιείται για να δώσει τη δυνατότητα στις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές, να λαμβάνουν υπόψη τους για τον προγραμματισμό κινήσεων τις διαστάσεις του κοπτικού εργαλείου ώστε να προγραμματίζονται οι κινήσεις του σύμφωνα με το περίγραμμα του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Στην αριστερή αντιστάθμιση το κοπτικό εργαλείο κινείται αριστερά ενώ στην δεξιά αντιστάθμιση το κοπτικό εργαλείο κινείται δεξιά από το περίγραμμα του τεμαχίου. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.39 και το σχήμα 4.40



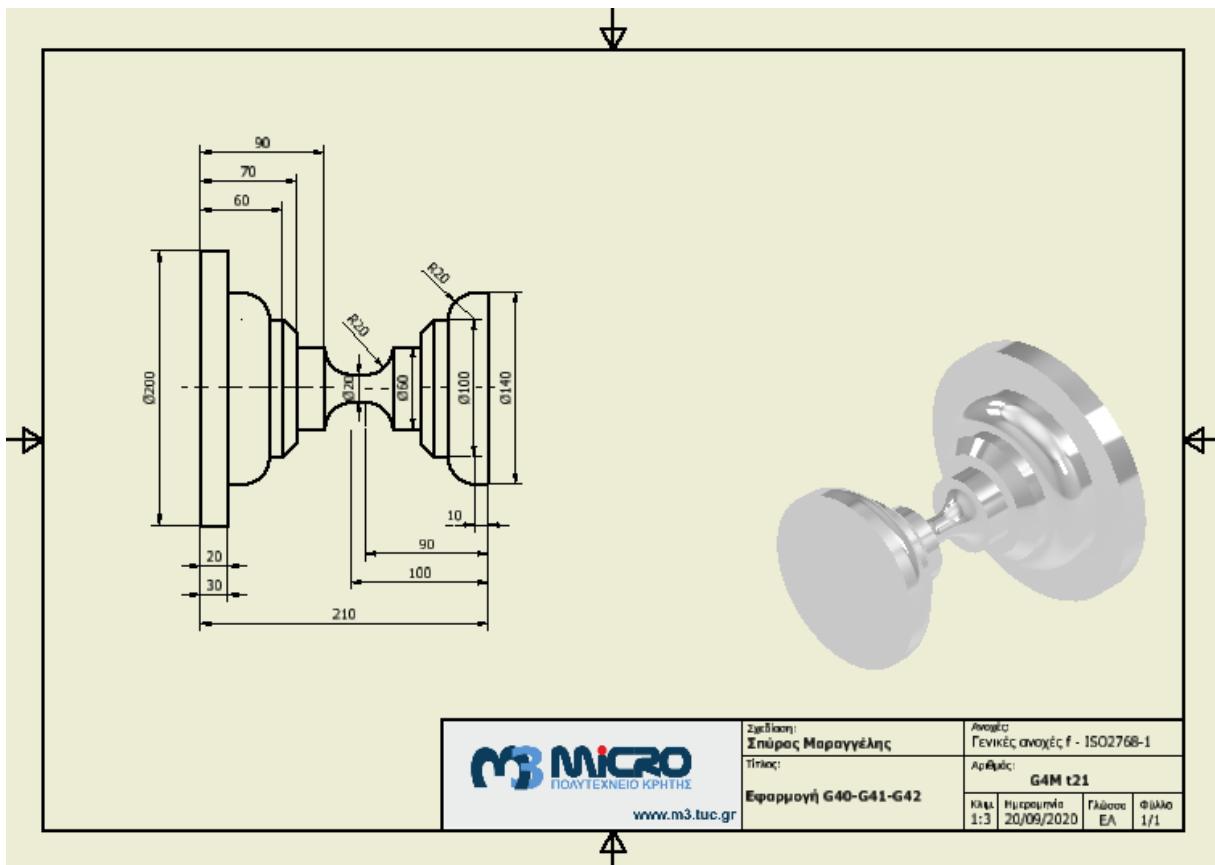
Σχήμα 4.39: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 20



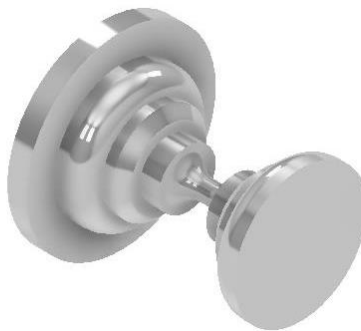
Σχήμα 4.40: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 20

#### 4.21 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 21

Η αποστολή 21 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G41/G42. Η εντολή G41 χρησιμοποιείται για να δώσει τη δυνατότητα στις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές, να λαμβάνουν υπόψη τους για τον προγραμματισμό κινήσεων τις διαστάσεις του κοπτικού εργαλείου ώστε να προγραμματίζονται οι κινήσεις του σύμφωνα με το περίγραμμα του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Στην αριστερή αντιστάθμιση το κοπτικό εργαλείο κινείται αριστερά ενώ στην δεξιά αντιστάθμιση το κοπτικό εργαλείο κινείται δεξιά από το περίγραμμα του τεμαχίου. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.41 και το σχήμα 4.42



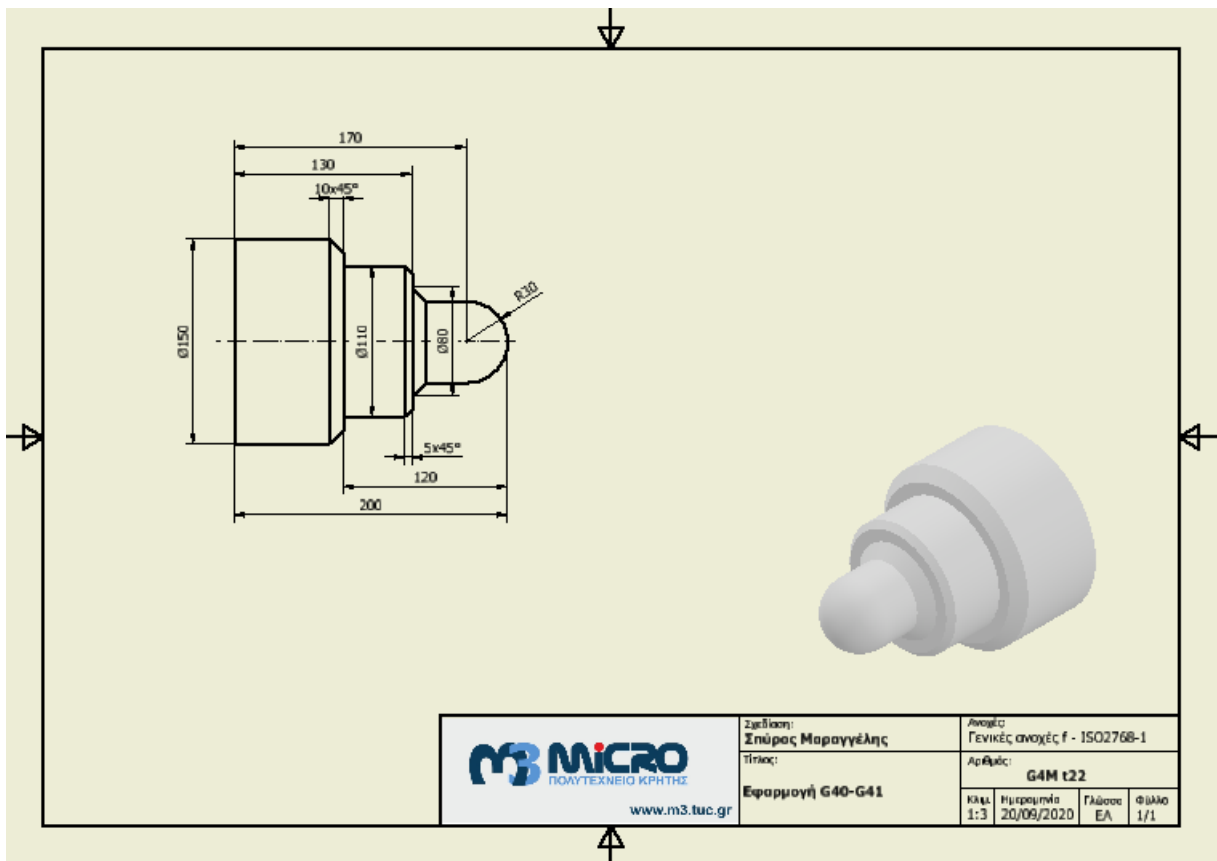
Σχήμα 4.41: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 21



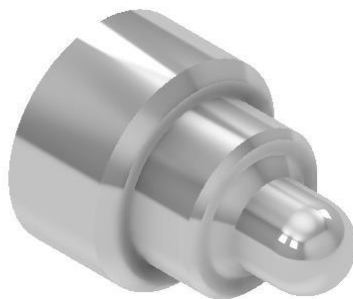
Σχήμα 4.42: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 21

#### 4.22 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 22

Η αποστολή έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με τις εντολές G41/G42. Η εντολή G41 χρησιμοποιείται για να δώσει τη δυνατότητα στις ψηφιακά καθοδηγούμενες εργαλειομηχανές, να λαμβάνουν υπόψη τους για τον προγραμματισμό κινήσεων τις διαστάσεις του κοπτικού εργαλείου ώστε να προγραμματίζονται οι κινήσεις του σύμφωνα με το περίγραμμα του κατεργαζόμενου τεμαχίου. Στην αριστερή αντιστάθμιση το κοπτικό εργαλείο κινείται αριστερά ενώ στην δεξιά αντιστάθμιση το κοπτικό εργαλείο κινείται δεξιά από το περίγραμμα του τεμαχίου. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.43 και το σχήμα 4.44



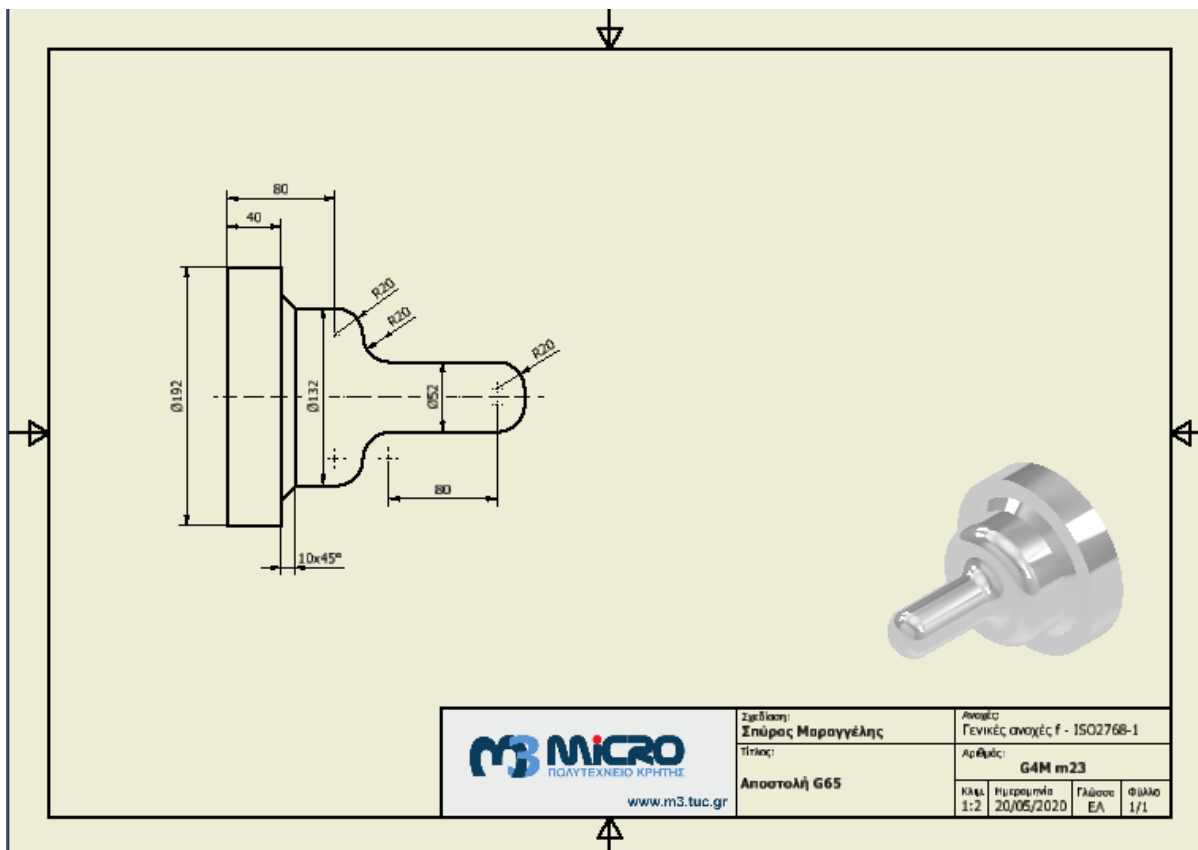
Σχήμα 4.43: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 22



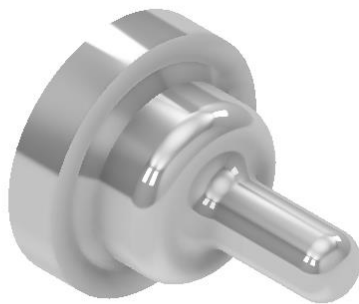
Σχήμα 4.44: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 22

#### 4.23 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 23

Οι εργαλειομηχανές CNC διαθέτουν ένα σετ από λειτουργίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους κατασκευαστές εργαλείων ή τους χρήστες για να εφαρμόσουν τις αρχικές λειτουργίες της μηχανής. Ένα πρόγραμμα που δημιουργείται από αυτό το σετ λειτουργιών, λέγεται μακροπρόγραμμα, το οποίο καλείται από τις εντολές G65. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.45 και το σχήμα 4.46



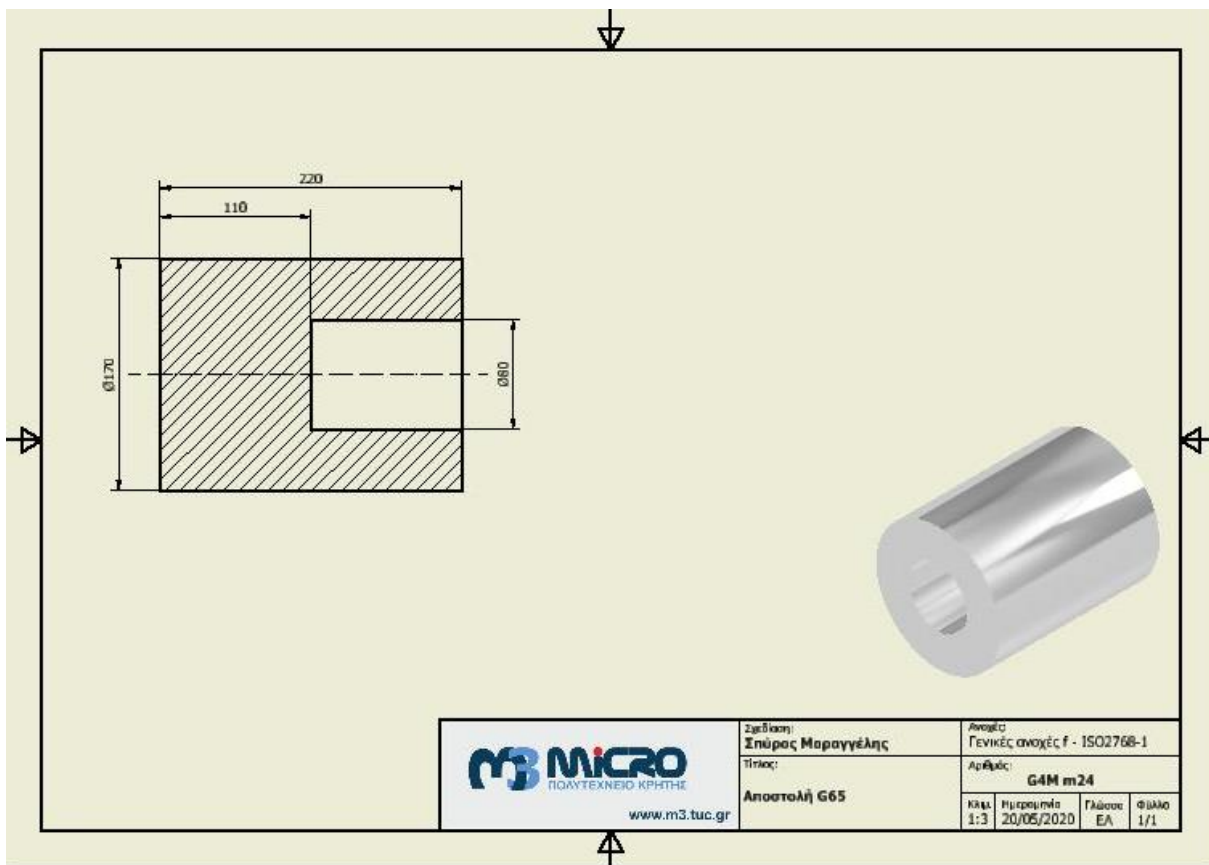
Σχήμα 4.45: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 23



Σχήμα 4.46: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 23

#### 4.24 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 24

Οι εργαλειομηχανές CNC διαθέτουν ένα σετ από λειτουργίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους κατασκευαστές εργαλείων ή τους χρήστες για να εφαρμόσουν τις αρχικές λειτουργίες της μηχανής. Ένα πρόγραμμα που δημιουργείται από αυτό το σετ λειτουργιών, λέγεται μακροπρόγραμμα, το οποίο καλείται από τις εντολές G65. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.47 και το σχήμα 4.48



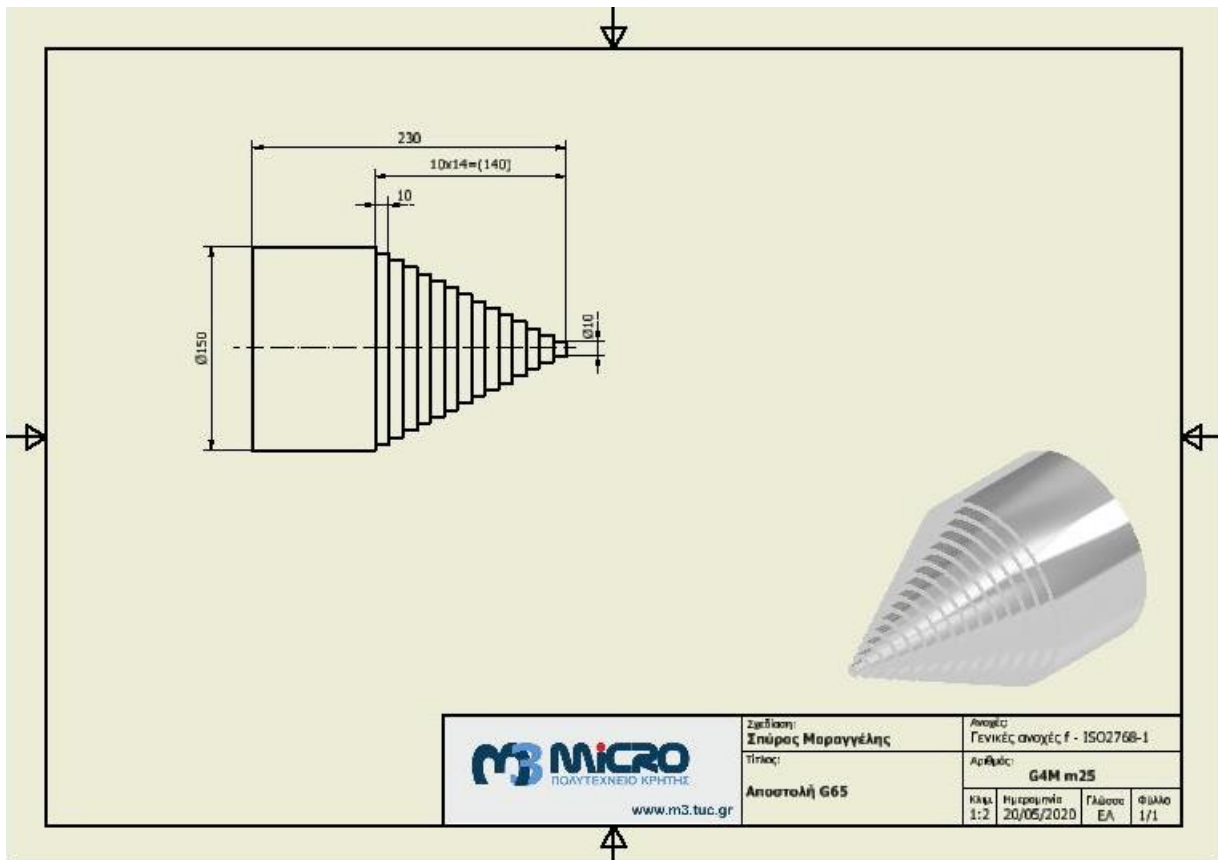
Σχήμα 4.47: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 24



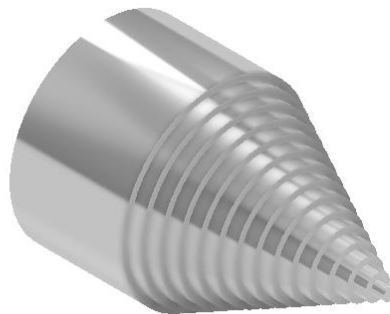
Σχήμα 4.48: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 24

#### 4.25 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 25

Οι εργαλειομηχανές CNC διαθέτουν ένα σετ από λειτουργίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν από τους κατασκευαστές εργαλείων ή τους χρήστες για να εφαρμόσουν τις αρχικές λειτουργίες της μηχανής. Ένα πρόγραμμα που δημιουργείται από αυτό το σετ λειτουργιών, λέγεται μακροπρόγραμμα, το οποίο καλείται από τις εντολές G65. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.41 και το σχήμα 4.42



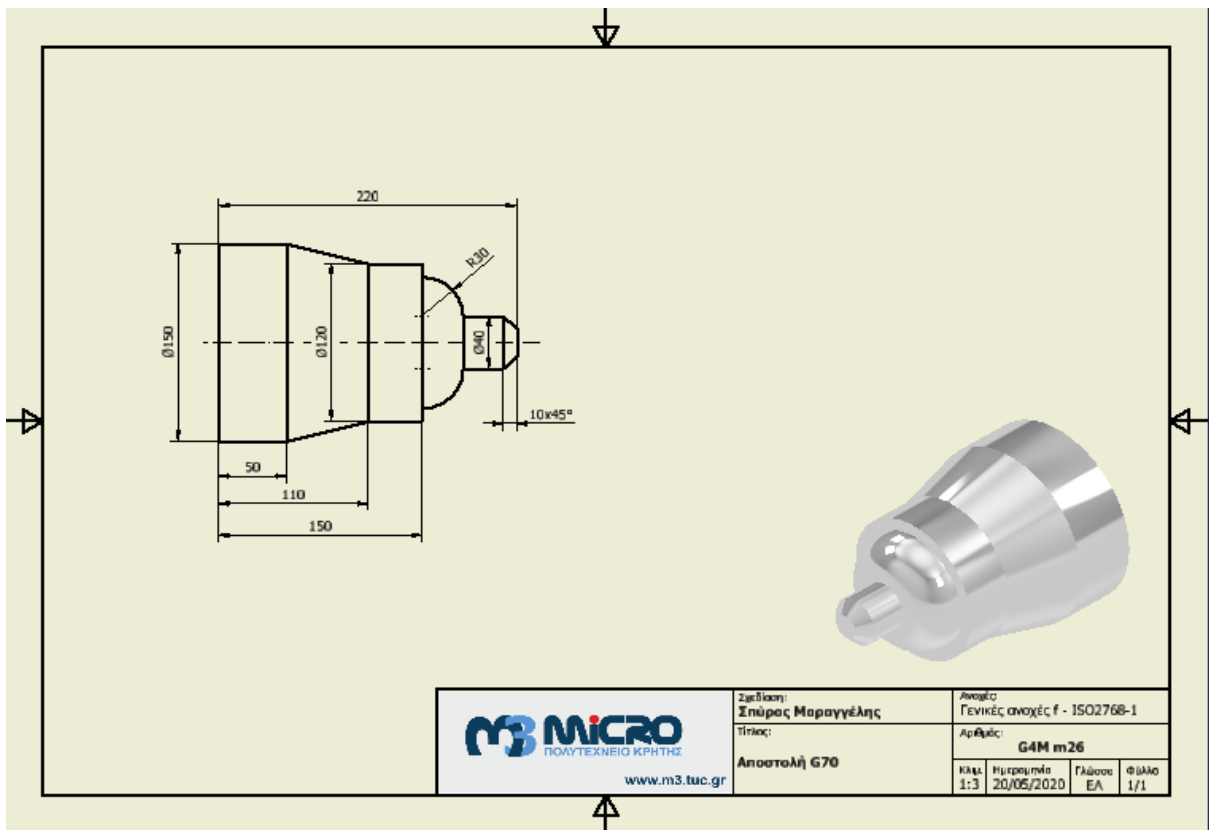
Σχήμα 4.49: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 25



Σχήμα 4.50: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 25

#### 4.26 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 26

Η αποστολή 21 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G70. Η εντολή G70 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Τα ήδη κατεργασμένα τεμάχια με τους κύκλους κατεργασίας μπορούν να αποπερατωθούν (φινίρισμα) με την εντολή G70, η οποία δημιουργεί την τελική επιφάνεια στο κατεργαζόμενο τεμάχιο. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.41 και το σχήμα 4.42



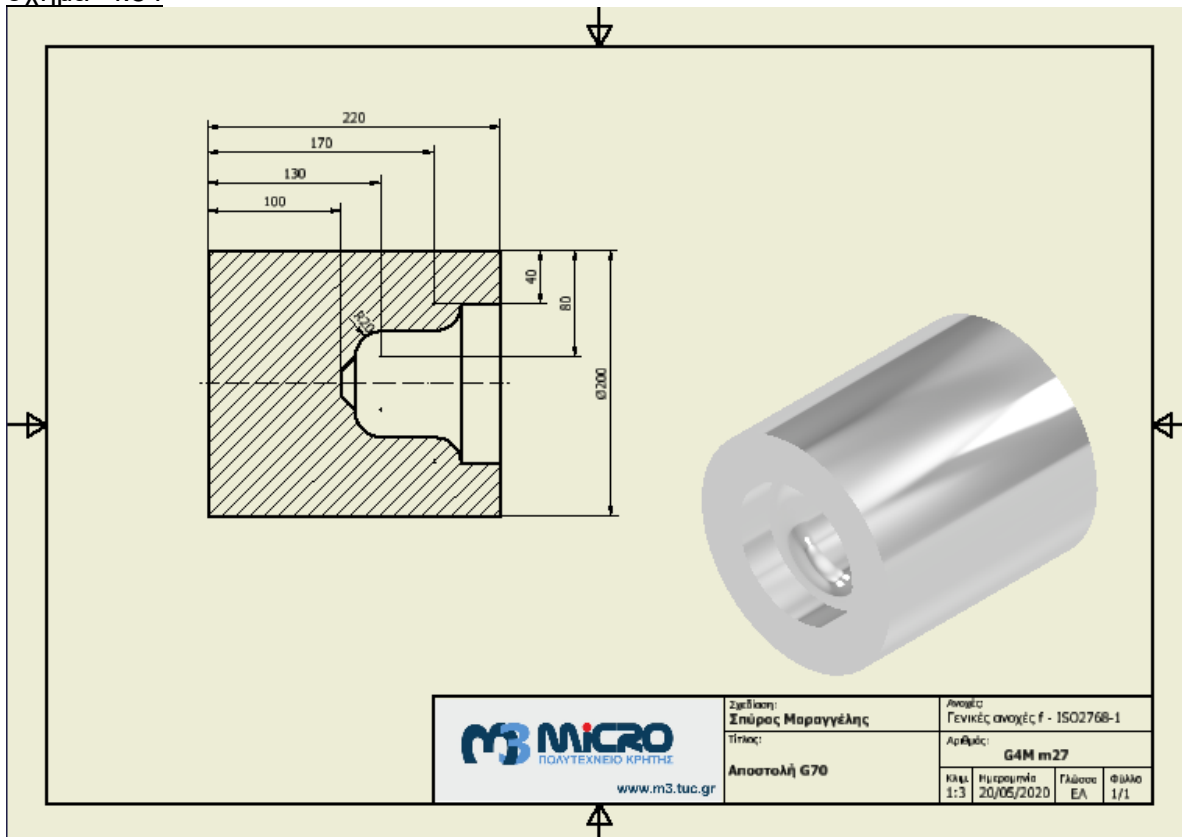
Σχήμα 4.51: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 26



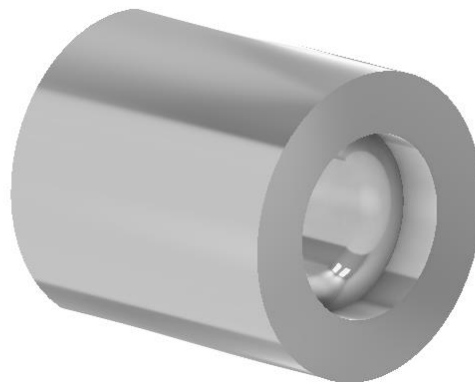
Σχήμα 4.52: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 26

#### 4.27 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 27

Η αποστολή έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G70. Η εντολή G70 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Τα ήδη κατεργασμένα τεμάχια με τους κύκλους κατεργασίας μπορούν να αποπερατωθούν (φινίρισμα) με την εντολή G70, η οποία δημιουργεί την τελική επιφάνεια στο κατεργαζόμενο τεμάχιο. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.53 και το σχήμα 4.54



Σχήμα 4.53: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 27

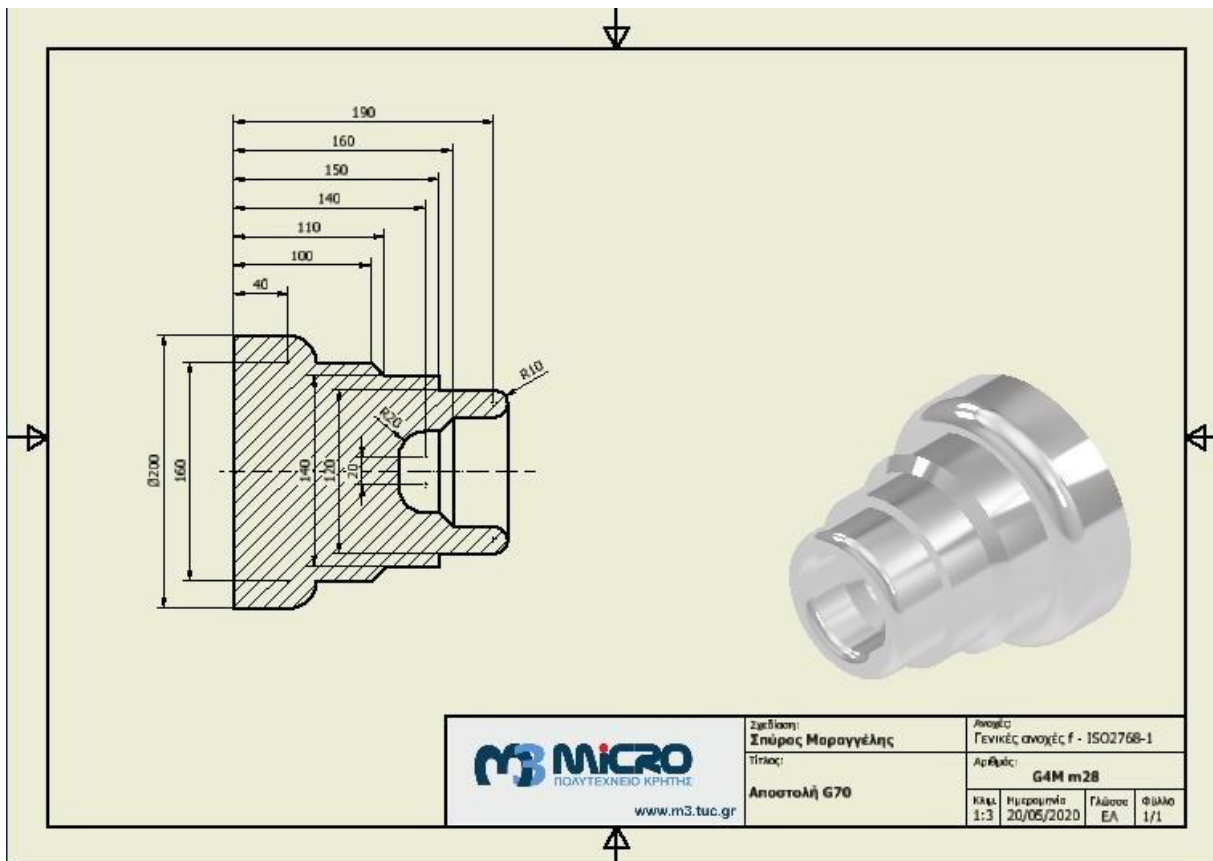


Σχήμα 4.54: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 27

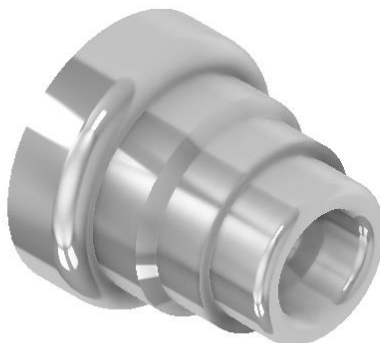


#### 4.28 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 28

έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G70. Η εντολή G70 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Τα ήδη κατεργασμένα τεμάχια με τους κύκλους κατεργασίας μπορούν να αποπερατωθούν (φινίρισμα) με την εντολή G70, η οποία δημιουργεί την τελική επιφάνεια στο κατεργαζόμενο τεμάχιο. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.55 και το σχήμα 4.56



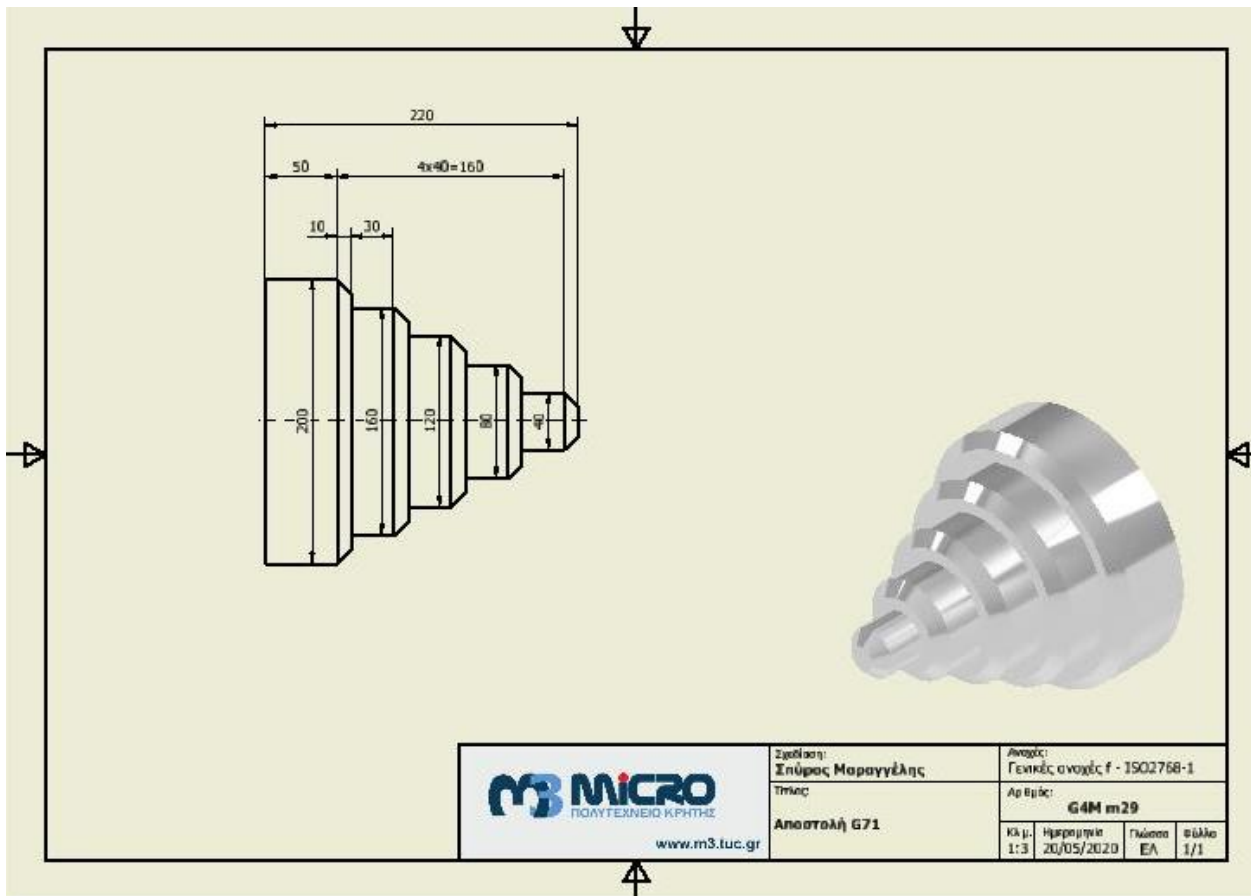
Σχήμα 4.55: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 28



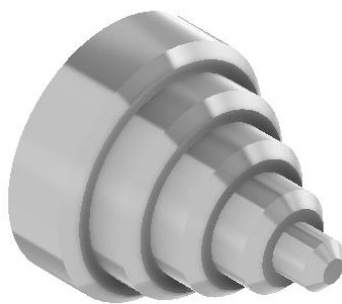
Σχήμα 4.56: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 28

#### 4.29 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 29

Η αποστολή 29 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G71. Ο κύκλος κατεργασίας G71 έχει σκοπό την εκτέλεση 2 εργασιών : Α) την εκχόνδριση μέχρι μία τελική διάμετρο, μέσω διαδοχικών περασμάτων, παράλληλων με τον άξονα Z, και Β) το φινίρισμα. Το κοπτικό εργαλείο διεισδύει κατά μήκος του κατεργαζόμενου τεμαχίου, χωρίς να αποκόπτει συνολικά μία ορθογώνια ή κωνική επιφάνεια αλλά ακολουθώντας το τελικό περίγραμμα του τεμαχίου. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.57 και το σχήμα 4.58



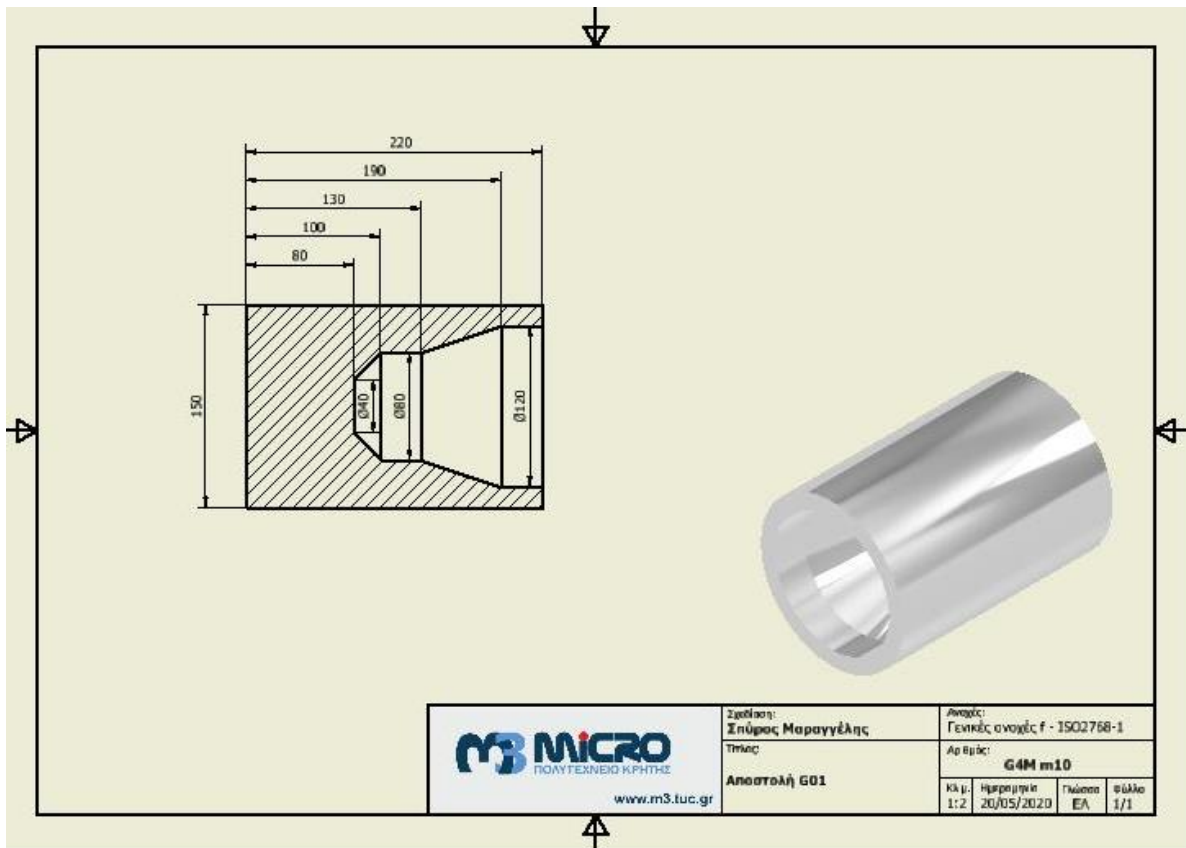
Σχήμα 4.57: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 29



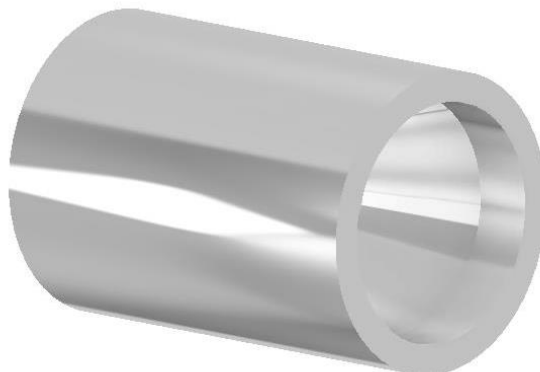
Σχήμα 4.58: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 29

#### 4.30 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 30

Η αποστολή 30 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G71. Ο κύκλος κατεργασίας G71 έχει σκοπό την εκτέλεση 2 εργασιών : Α) την εκχόνδριση μέχρι μία τελική διάμετρο, μέσω διαδοχικών περασμάτων, παράλληλων με τον άξονα Z, και Β) το φινίρισμα. Το κοπτικό εργαλείο διεισδύει κατά μήκος του κατεργαζόμενου τεμαχίου, χωρίς να αποκόπτει συνολικά μία ορθογώνια ή κωνική επιφάνεια αλλά ακολουθώντας το τελικό περίγραμμα του τεμαχίου. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.59 και το σχήμα 4.60



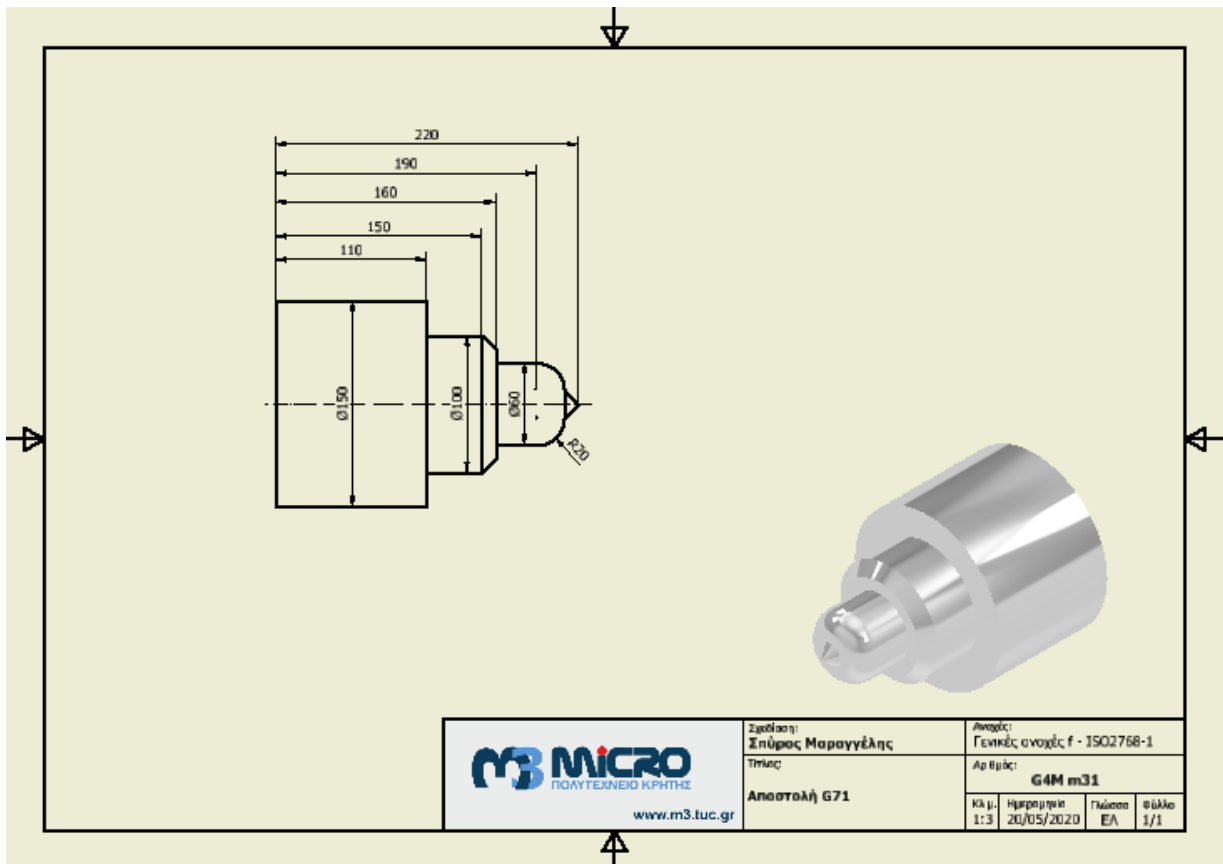
Σχήμα 4.59: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 30



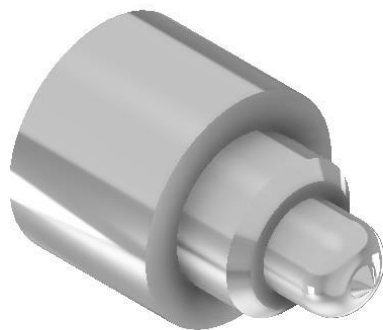
Σχήμα 4.60: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 30

#### 4.31 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 31

Η αποστολή 31 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G71. Ο κύκλος κατεργασίας G71 έχει σκοπό την εκτέλεση 2 εργασιών : Α) την εκχόνδριση μέχρι μία τελική διάμετρο, μέσω διαδοχικών περασμάτων, παράλληλων με τον άξονα Z, και Β) το φινίρισμα. Το κοπτικό εργαλείο διεισδύει κατά μήκος του κατεργαζόμενου τεμαχίου, χωρίς να αποκόπτει συνολικά μία ορθογώνια ή κωνική επιφάνεια αλλά ακολουθώντας το τελικό περίγραμμα του τεμαχίου. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.61 και το σχήμα 4.62



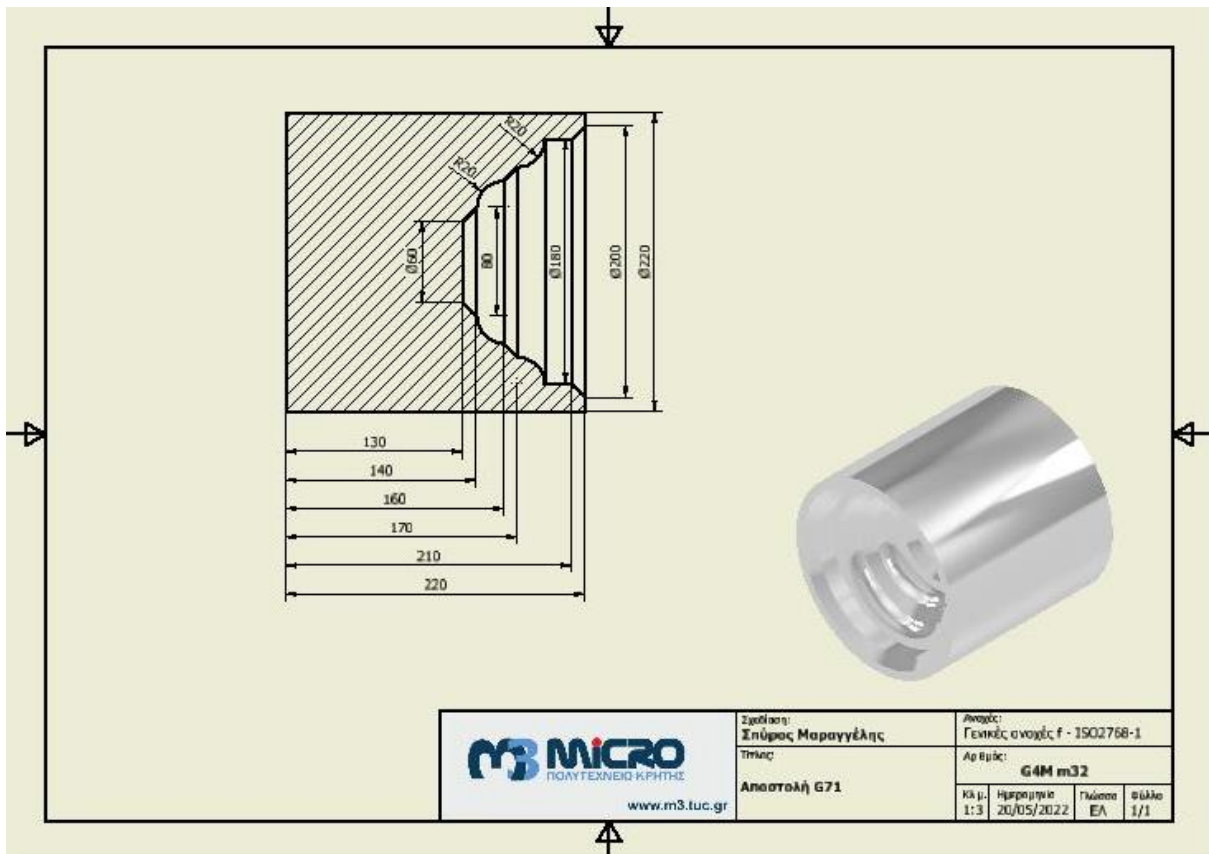
Σχήμα 4.61: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 31



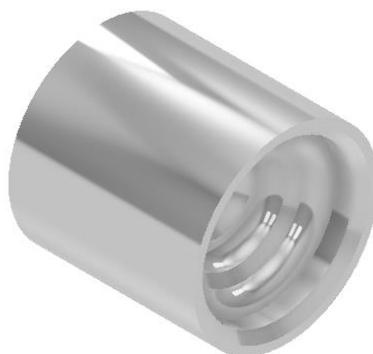
Σχήμα 4.62: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 31

#### 4.32 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 32

Η αποστολή 32 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G71. Ο κύκλος κατεργασίας G71 έχει σκοπό την εκτέλεση 2 εργασιών : Α) την εκχόνδριση μέχρι μία τελική διάμετρο, μέσω διαδοχικών περασμάτων, παράλληλων με τον άξονα Z, και Β) το φινίρισμα. Το κοπτικό εργαλείο διεισδύει κατά μήκος του κατεργαζόμενου τεμαχίου, χωρίς να αποκόπτει συνολικά μία ορθογώνια ή κωνική επιφάνεια αλλά ακολουθώντας το τελικό περίγραμμα του τεμαχίου. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.63 και το σχήμα 4.64



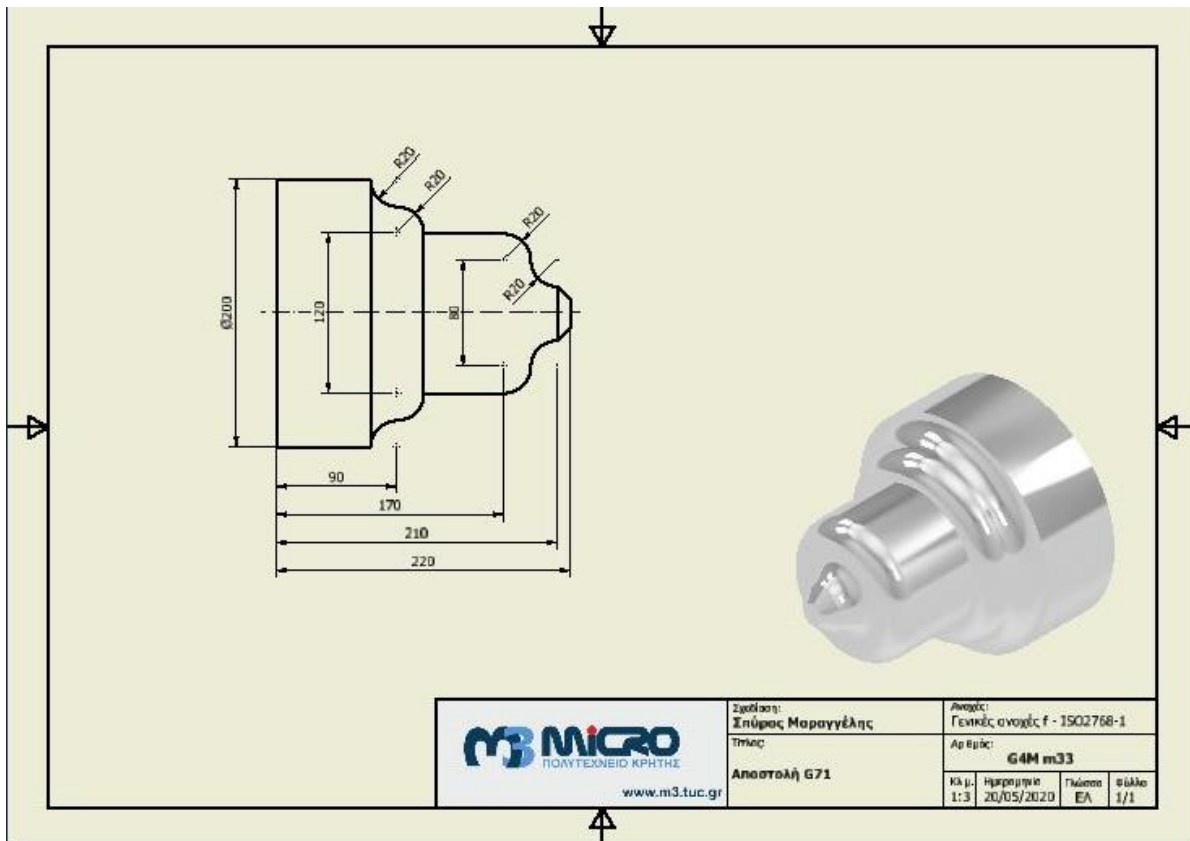
Σχήμα 4.63: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 32



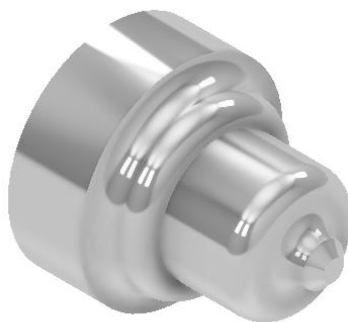
Σχήμα 4.64: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 32

#### 4.33 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 33

Η αποστολή 33 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G71. Ο κύκλος κατεργασίας G71 έχει σκοπό την εκτέλεση 2 εργασιών : Α) την εκχόνδριση μέχρι μία τελική διάμετρο, μέσω διαδοχικών περασμάτων, παράλληλων με τον άξονα Z, και Β) το φινίρισμα. Το κοπτικό εργαλείο διεισδύει κατά μήκος του κατεργαζόμενου τεμαχίου, χωρίς να αποκόπτει συνολικά μία ορθογώνια ή κωνική επιφάνεια αλλά ακολουθώντας το τελικό περίγραμμα του τεμαχίου. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.65 και το σχήμα 4.66



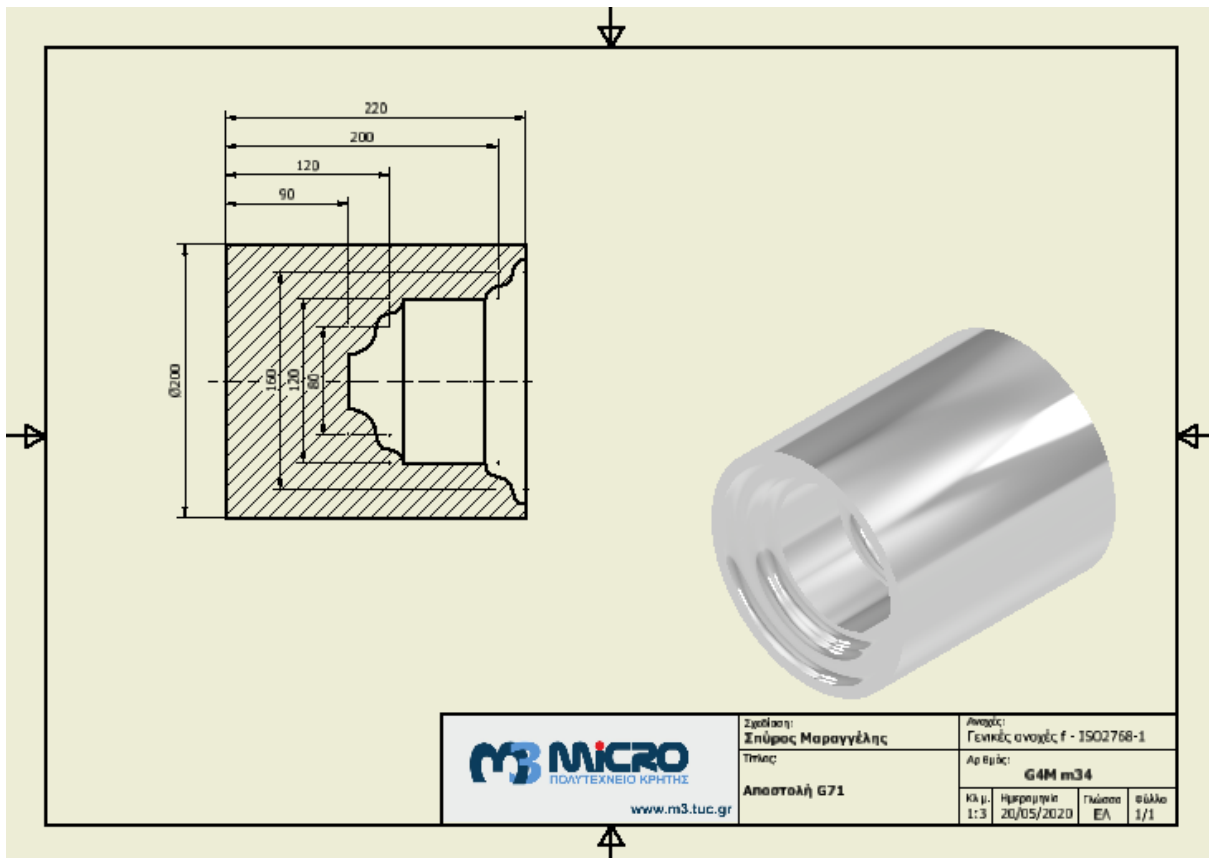
Σχήμα 4.65: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 33



Σχήμα 4.66: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 33

#### 4.34 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 34

Η αποστολή 34 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G71. Ο κύκλος κατεργασίας G71 έχει σκοπό την εκτέλεση 2 εργασιών : Α) την εκχόνδριση μέχρι μία τελική διάμετρο, μέσω διαδοχικών περασμάτων, παράλληλων με τον άξονα Z, και Β) το φινίρισμα. Το κοπτικό εργαλείο διεισδύει κατά μήκος του κατεργαζόμενου τεμαχίου, χωρίς να αποκόπτει συνολικά μία ορθογώνια ή κωνική επιφάνεια αλλά ακολουθώντας το τελικό περίγραμμα του τεμαχίου. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.67 και το σχήμα 4.68



Σχήμα 4.67: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 34

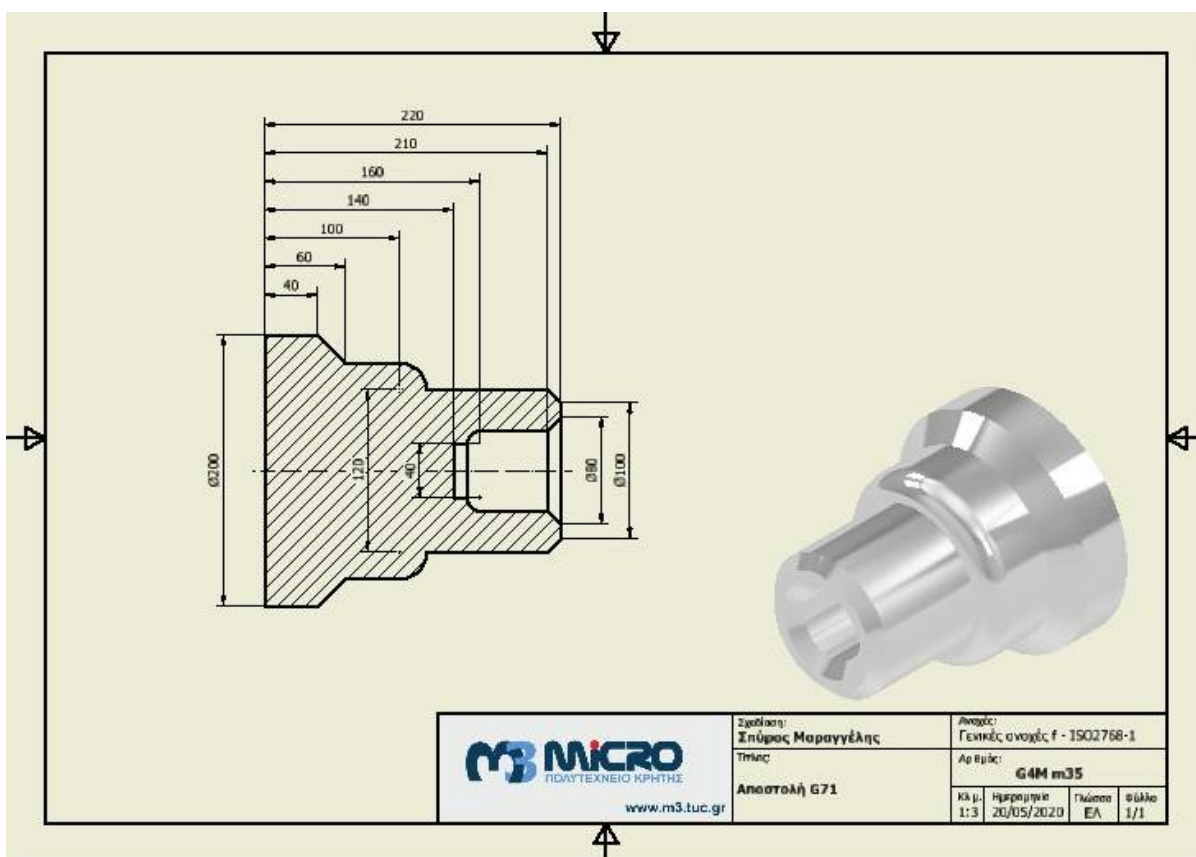


Σχήμα 4.68: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 34

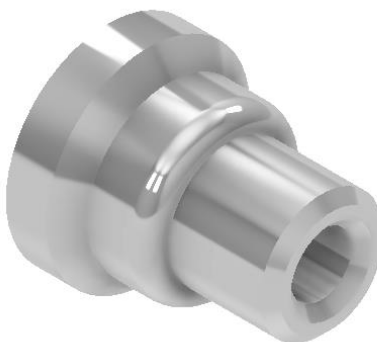


#### 4.35 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 35

Η αποστολή 35 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G71. Ο κύκλος κατεργασίας G71 έχει σκοπό την εκτέλεση 2 εργασιών : Α) την εκχόνδριση μέχρι μία τελική διάμετρο, μέσω διαδοχικών περασμάτων, παράλληλων με τον άξονα Z, και Β) το φινίρισμα. Το κοπτικό εργαλείο διεισδύει κατά μήκος του κατεργαζόμενου τεμαχίου, χωρίς να αποκόπτει συνολικά μία ορθογώνια ή κωνική επιφάνεια αλλά ακολουθώντας το τελικό περίγραμμα του τεμαχίου. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.69 και το σχήμα 4.70



Σχήμα 4.69: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 35

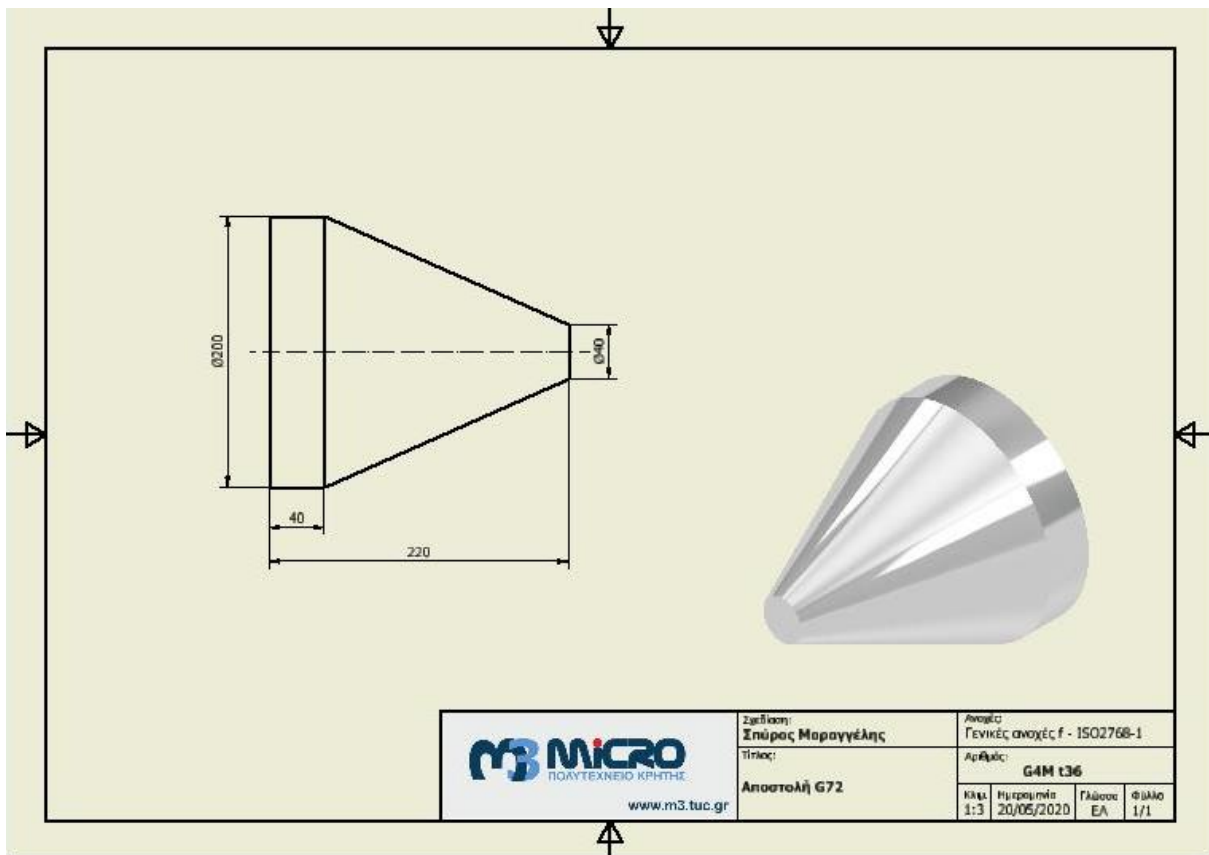


Σχήμα 4.70: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 35

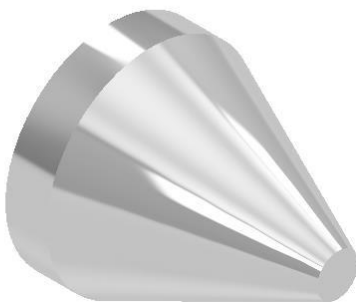


#### 4.36 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 36

Η αποστολή 36 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G72. Ο κύκλος κατεργασίας G72 κινεί το κοπτικό εργαλείο στην εγκάρσια κατεύθυνση. Επιτυγχάνεται η εκχόνδριση και το φινίρισμα, αλλά η εκχόνδριση γίνεται μέχρι μία τελική διάμετρο, μέσω διαδοχικών περασμάτων κάθετων με τον άξονα Z. Σε αυτή την περίπτωση το κοπτικό εργαλείο δεν αποκόπτει μία ορθογώνια ή κωνική περιοχή, αλλά ακολουθεί το τελικό περίγραμμα του τεμαχίου, σταματώντας κατά τη διάρκεια διείσδυσης του σε διαφορετικό σημείο ως προς τον άξονα X. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.71 και το σχήμα 4.72



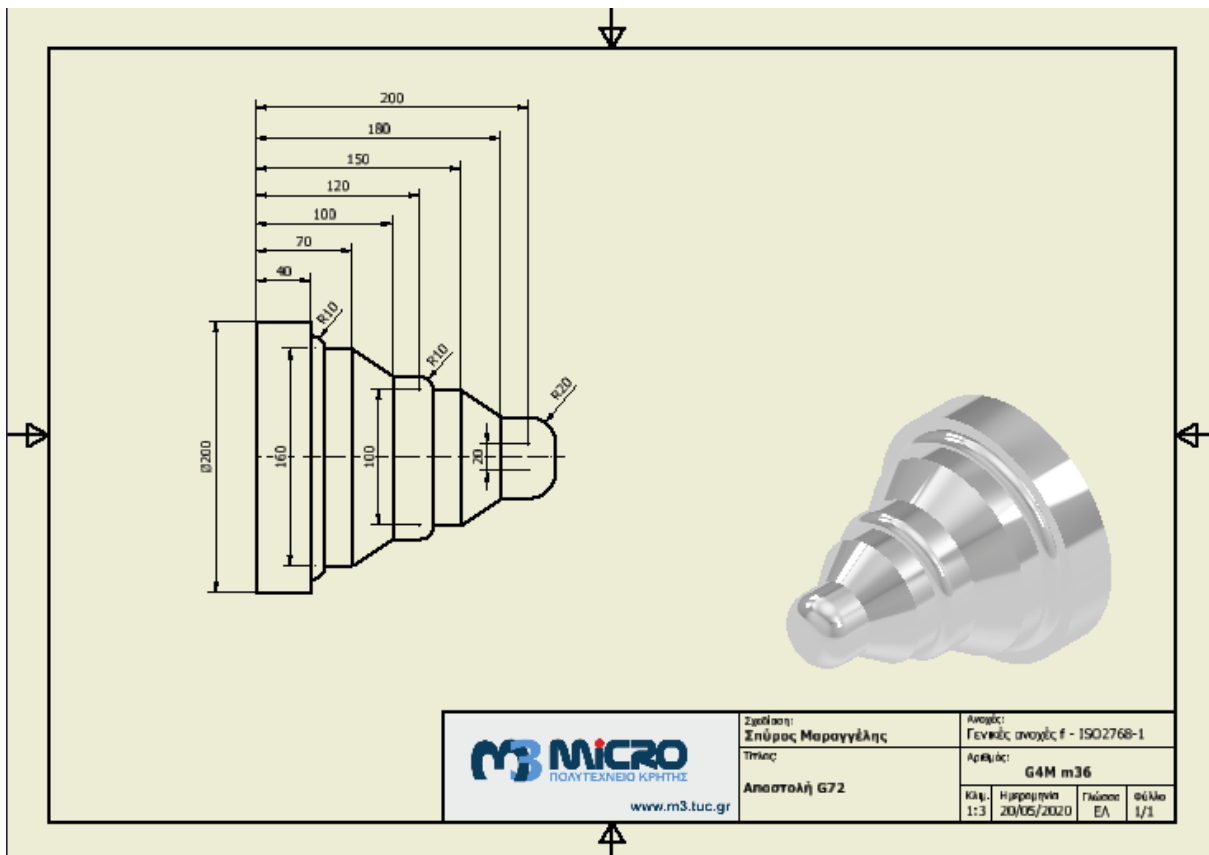
Σχήμα 4.71: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 36



Σχήμα 4.72: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 36

#### 4.37 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 37

Η αποστολή 37 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G72. Ο κύκλος κατεργασίας G72 κινεί το κοπτικό εργαλείο στην εγκάρσια κατεύθυνση. Επιτυγχάνεται η εκχόνδριση και το φινίρισμα, αλλά η εκχόνδριση γίνεται μέχρι μία τελική διάμετρο, μέσω διαδοχικών περασμάτων κάθετων με τον άξονα Z. Σε αυτή την περίπτωση το κοπτικό εργαλείο δεν αποκόπτει μία ορθογώνια ή κωνική περιοχή, αλλά ακολουθεί το τελικό περίγραμμα του τεμαχίου, σταματώντας κατά τη διάρκεια διείσδυσης του σε διαφορετικό σημείο ως προς τον άξονα X. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.73 και το σχήμα 4.74



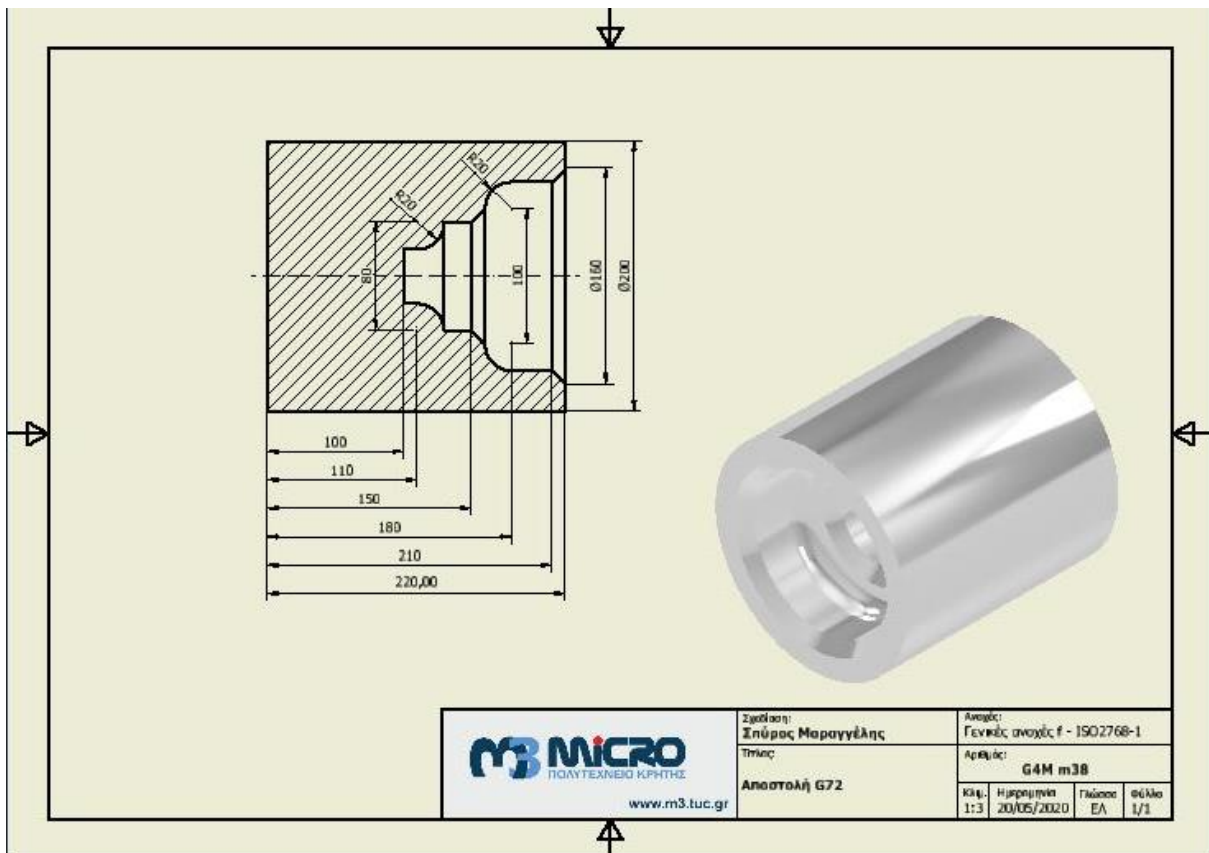
Σχήμα 4.73: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 37



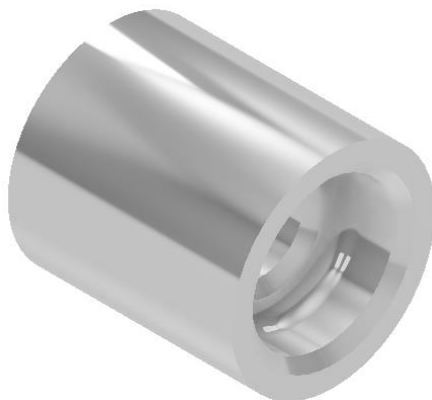
Σχήμα 4.74: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 37

#### 4.38 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 38

Η αποστολή 38 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G72. Ο κύκλος κατεργασίας G72 κινεί το κοπτικό εργαλείο στην εγκάρσια κατεύθυνση. Επιτυγχάνεται η εκχόνδριση και το φινίρισμα, αλλά η εκχόνδριση γίνεται μέχρι μία τελική διάμετρο, μέσω διαδοχικών περασμάτων κάθετων με τον άξονα Z. Σε αυτή την περίπτωση το κοπτικό εργαλείο δεν αποκόπτει μία ορθογώνια ή κωνική περιοχή, αλλά ακολουθεί το τελικό περίγραμμα του τεμαχίου, σταματώντας κατά τη διάρκεια διείσδυσης του σε διαφορετικό σημείο ως προς τον άξονα X. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.75 και το σχήμα 4.76



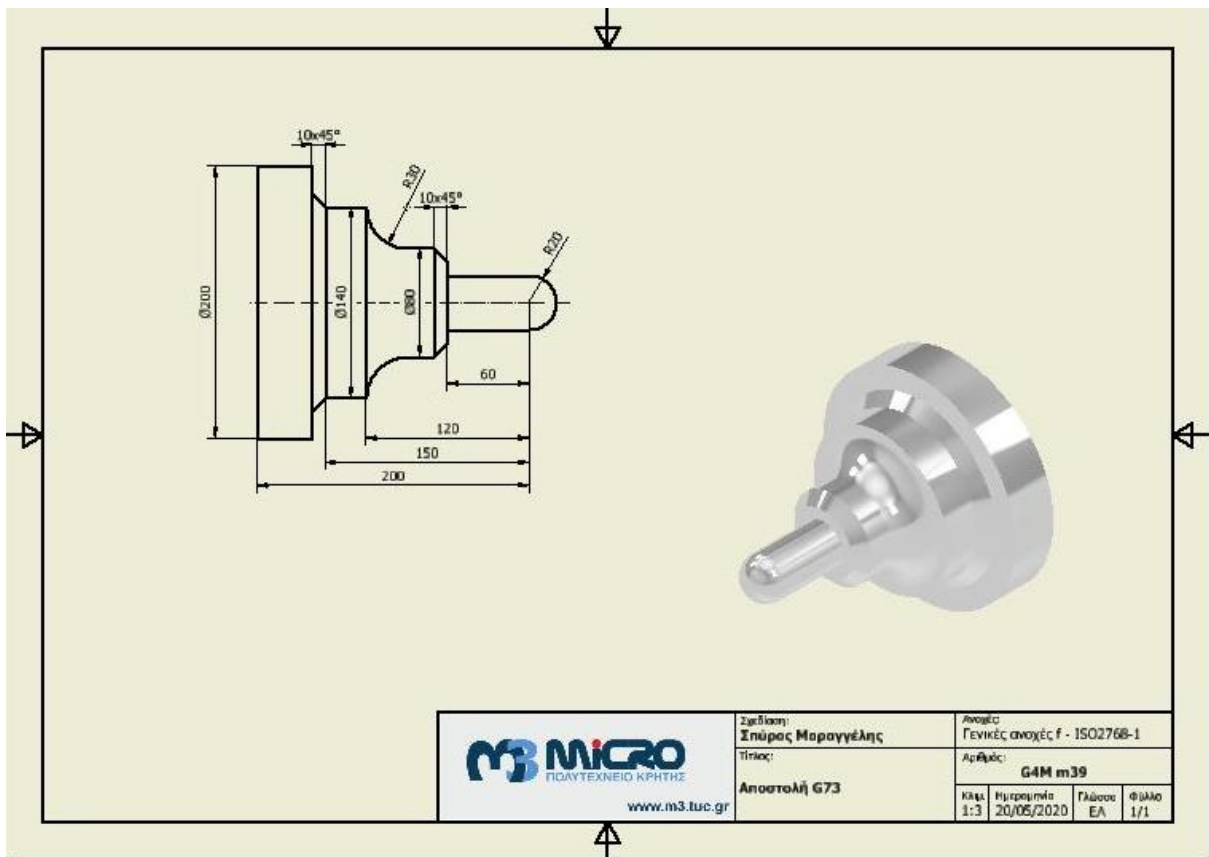
Σχήμα 4.75: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 38



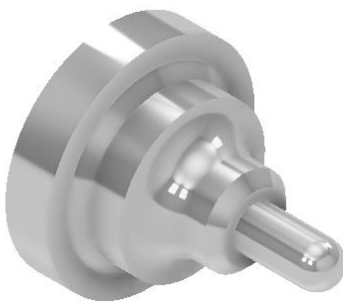
Σχήμα 4.76: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 38

#### 4.39 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 39

Η αποστολή 39 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G73. Η εντολή G73 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί κάθε εντολή κίνησης του Χ και/ή Υ θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Η εντολή αυτή είναι περισσότερο αποτελεσματική όταν το τελικό σχήμα του κατεργαζόμενου κομματιού έχει παρόμοιο σχήμα με το αρχικό και με τη χρησιμοποίηση της επιτυγχάνεται και η εκχόνδριση και το φινίρισμα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.77 και το σχήμα 4.78



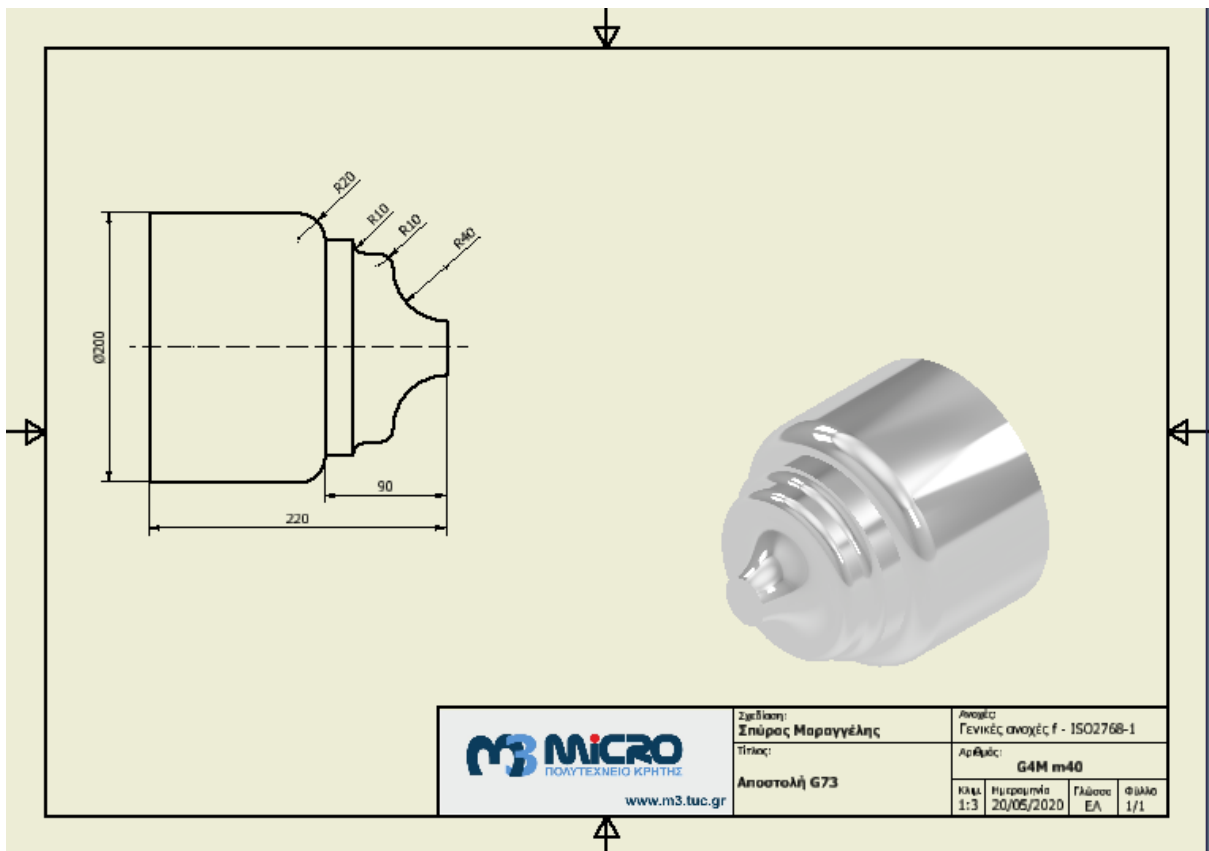
Σχήμα 4.77: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 39



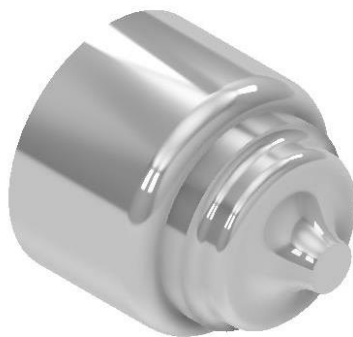
Σχήμα 4.78: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 39

#### 4.40 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 40

Η αποστολή έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G73. Η εντολή G73 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί κάθε εντολή κίνησης του Χ και/ή Υ θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Η εντολή αυτή είναι περισσότερο αποτελεσματική όταν το τελικό σχήμα του κατεργαζόμενου κομματιού έχει παρόμοιο σχήμα με το αρχικό και με τη χρησιμοποίηση της επιτυγχάνεται και η εκχόνδριση και το φινίρισμα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.79 και το σχήμα 4.80



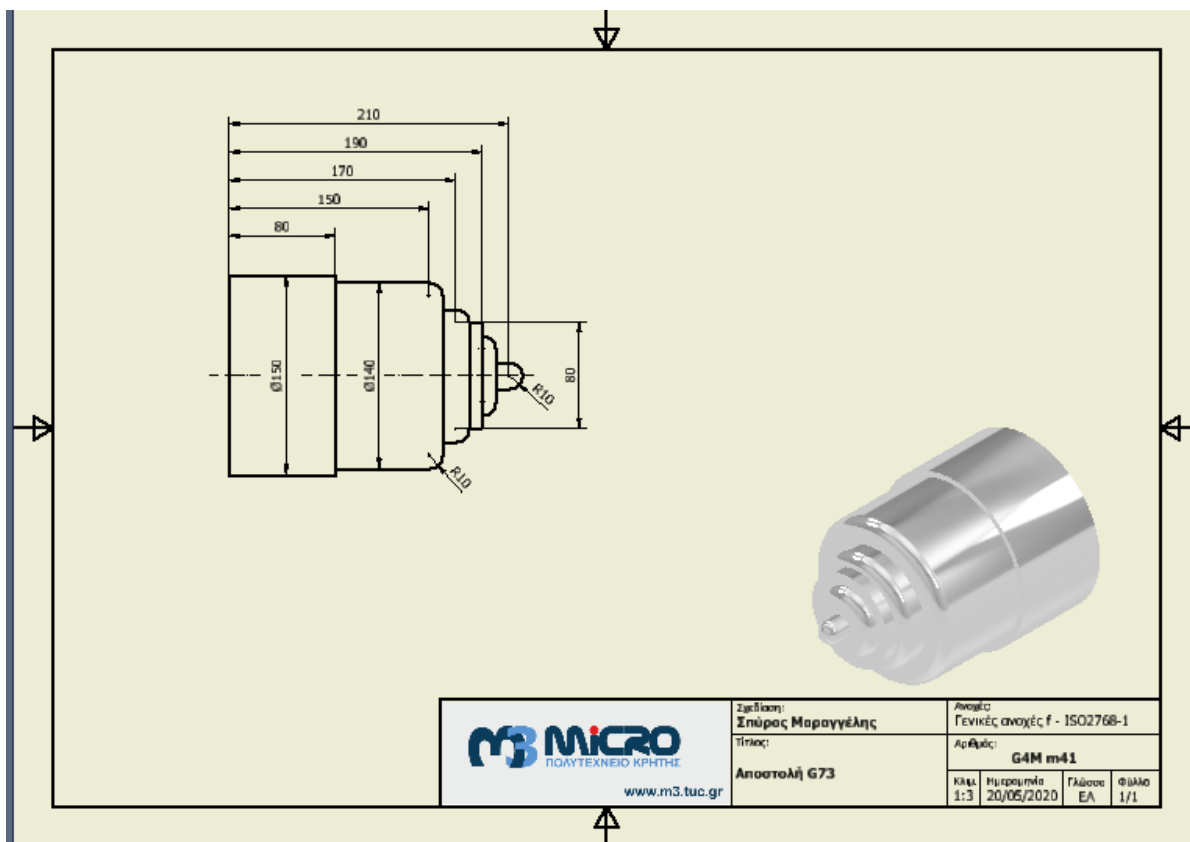
Σχήμα 4.79: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 40



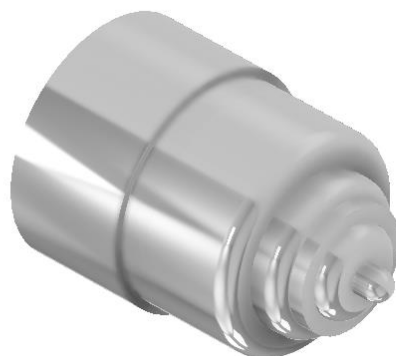
Σχήμα 4.80: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 40

#### 4.41 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 41

Η αποστολή 41 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G73. Η εντολή G73 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί κάθε εντολή κίνησης του Χ και/ή Υ θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Η εντολή αυτή είναι περισσότερο αποτελεσματική όταν το τελικό σχήμα του κατεργαζόμενου κομματιού έχει παρόμοιο σχήμα με το αρχικό και με τη χρησιμοποίηση της επιτυγχάνεται και η εκχόνδριση και το φινίρισμα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.81 και το σχήμα 4.82



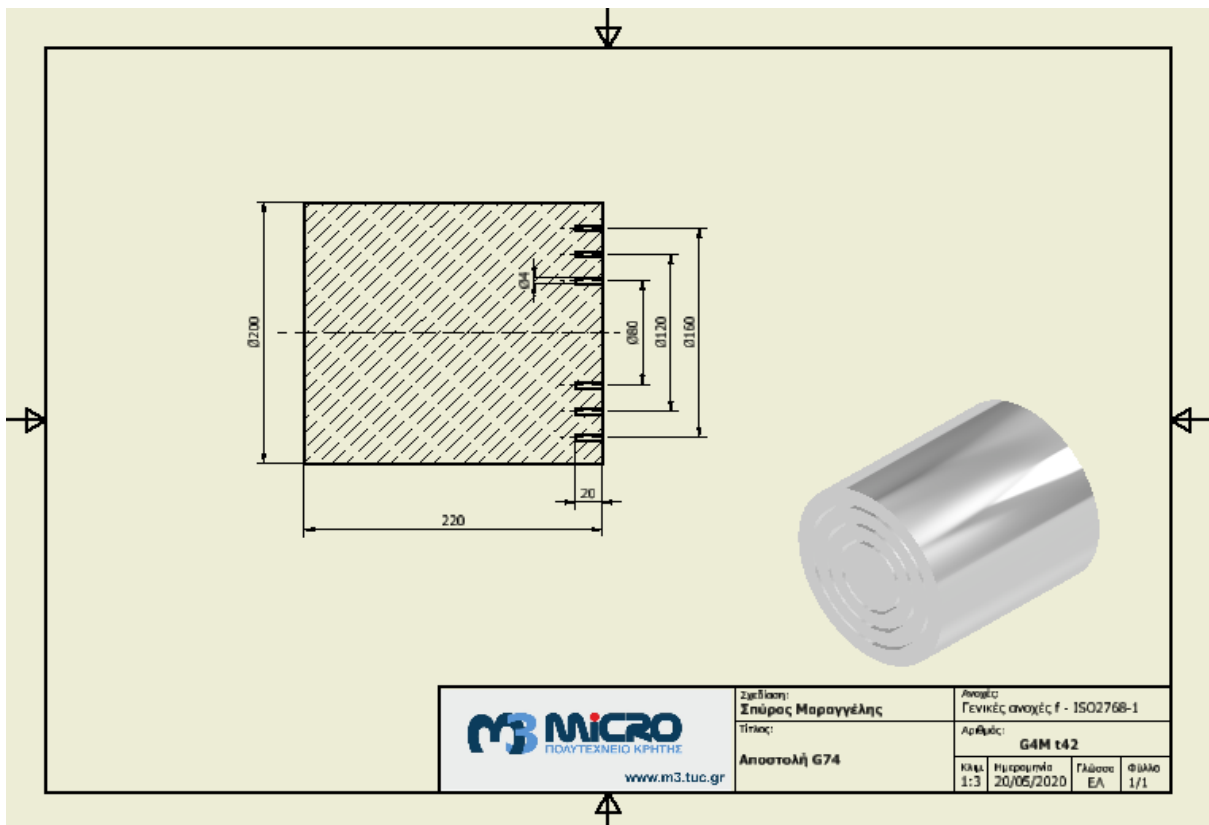
Σχήμα 4.81: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 41



Σχήμα 4.82: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 41

#### 4.42 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 42

Η αποστολή 42 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G74. Η εντολή G74 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Με την εντολή G74 επιτυγχάνεται η διάτρηση μίας τρύπας, η οποία πραγματοποιείται με διαδοχικές διεισδύσεις του εργαλείου στο τεμάχιο και όχι με μία διείσδυση, παράλληλων στον άξονα Z. Το κοπτικό εργαλείο απομακρύνεται κάθε φορά μετά από μία διείσδυση κατά δοσμένο διάστημα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.83 και το σχήμα 4.84



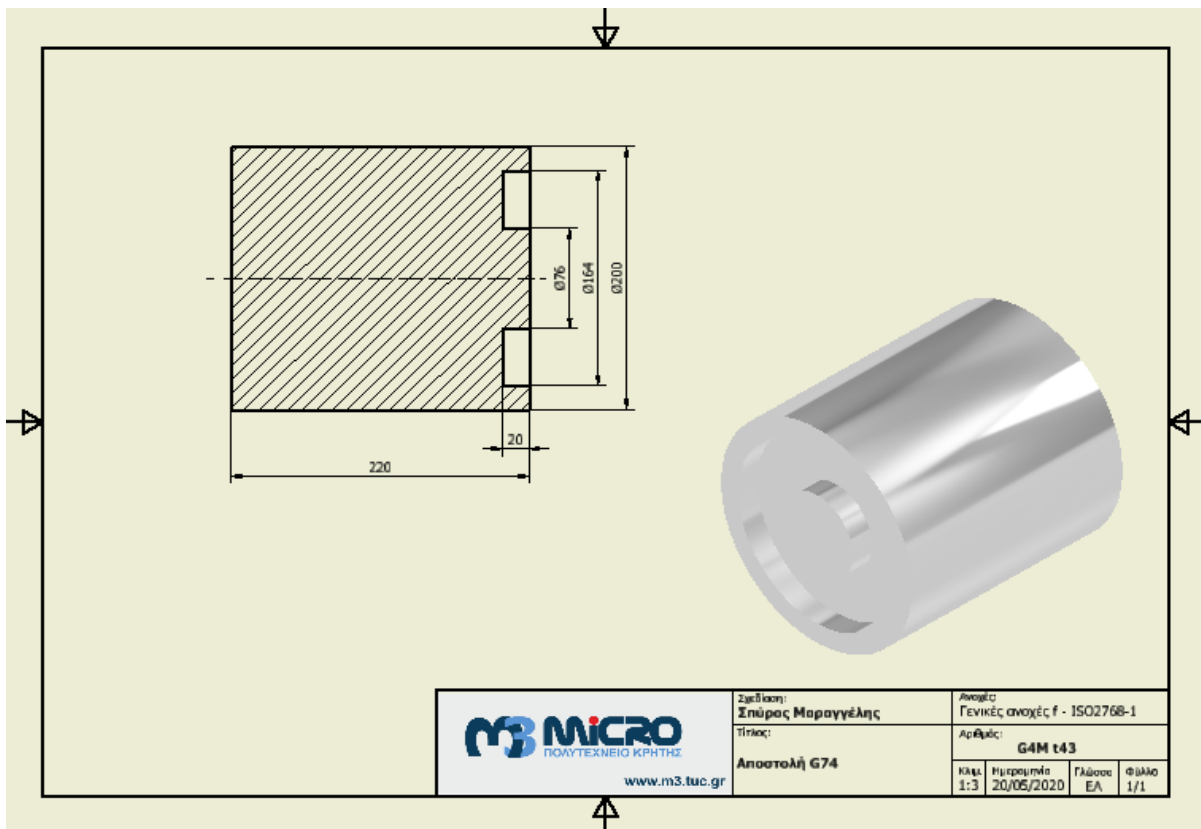
Σχήμα 4.83: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 42



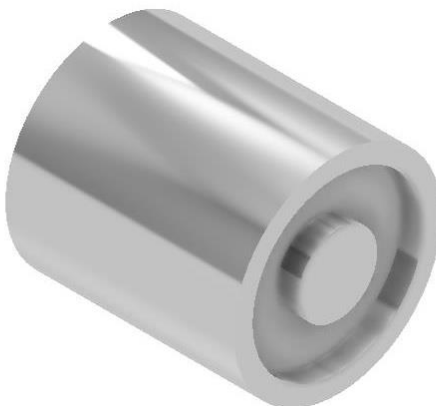
Σχήμα 4.84: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 42

#### 4.43 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 43

Η αποστολή έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G74. Η εντολή G74 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Με την εντολή G74 επιτυγχάνεται η διάτρηση μίας τρύπας, η οποία πραγματοποιείται με διαδοχικές διεισδύσεις του εργαλείου στο τεμάχιο και όχι με μία διείσδυση, παράλληλων στον άξονα Z. Το κοπτικό εργαλείο απομακρύνεται κάθε φορά μετά από μία διείσδυση κατά δοσμένο διάστημα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.85 και το σχήμα 4.86



Σχήμα 4.85: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 43

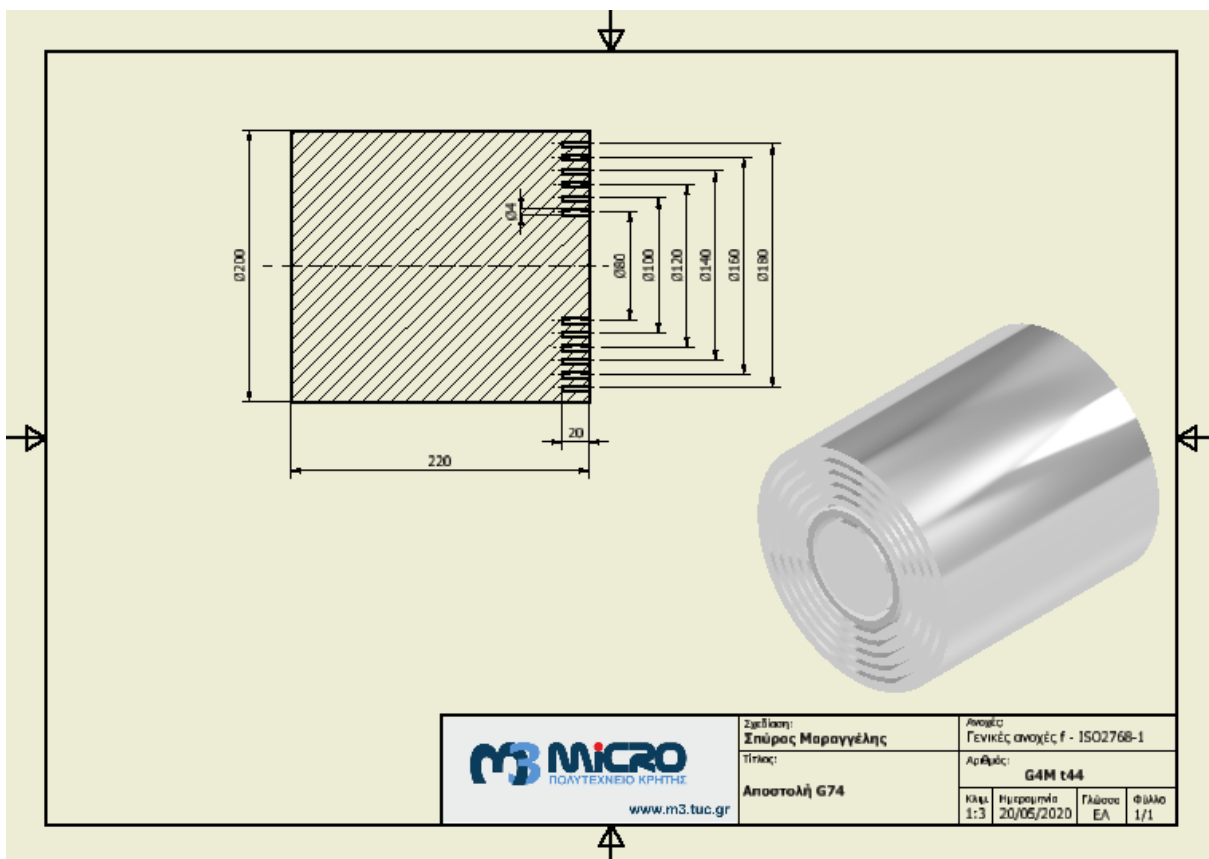


Σχήμα 4.86: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 43

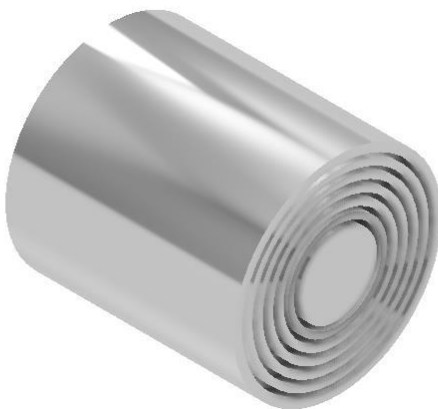


#### 4.44 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 44

Η αποστολή 44 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G74. Η εντολή G74 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Με την εντολή G74 επιτυγχάνεται η διάτρηση μίας τρύπας, η οποία πραγματοποιείται με διαδοχικές διεισδύσεις του εργαλείου στο τεμάχιο και όχι με μία διείσδυση, παράλληλων στον άξονα Z. Το κοπτικό εργαλείο απομακρύνεται κάθε φορά μετά από μία διείσδυση κατά δοσμένο διάστημα. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.87 και το σχήμα 4.88



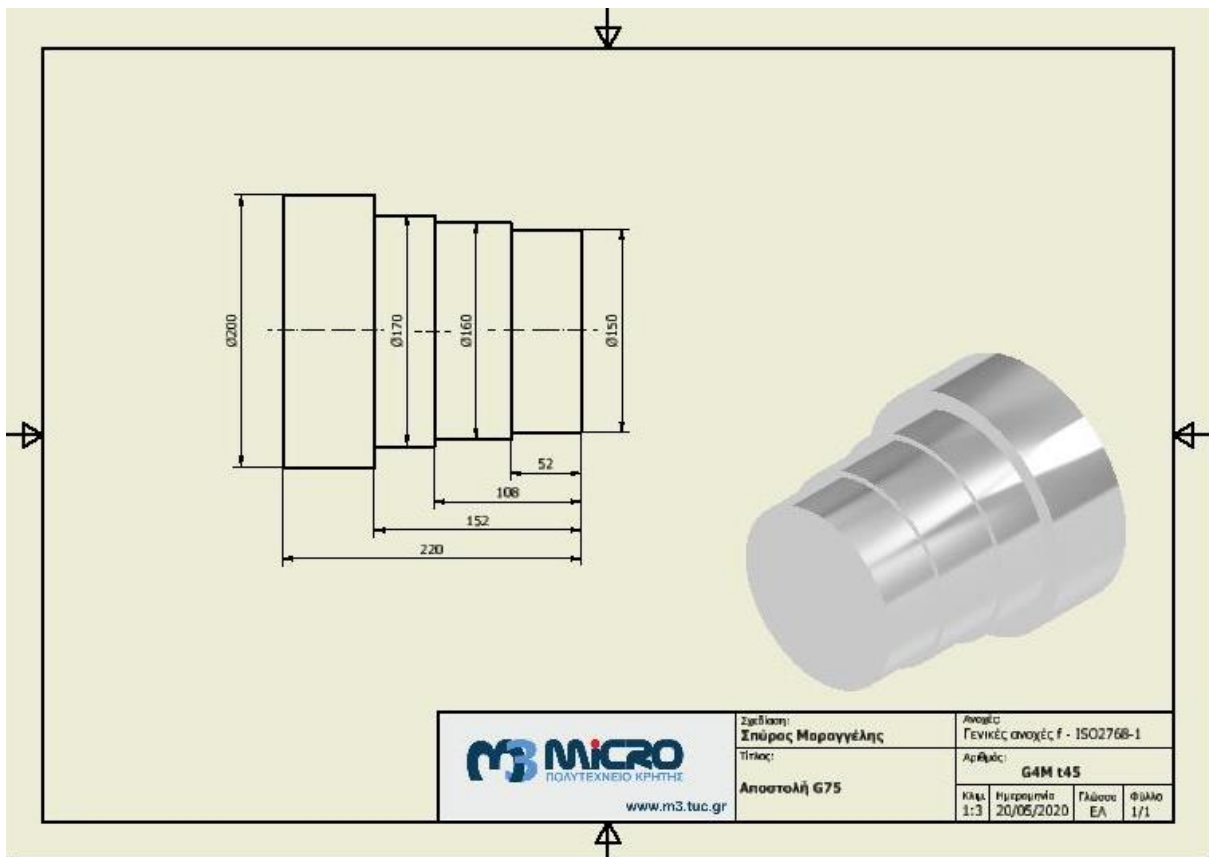
Σχήμα 4.87: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 44



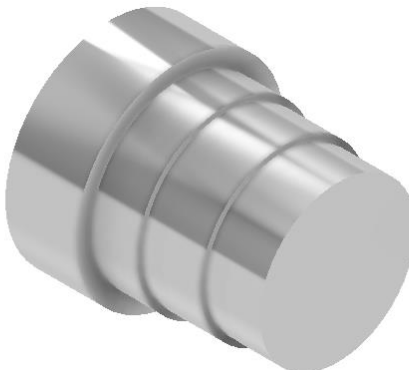
Σχήμα 4.88: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 44

#### 4.45 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 45

Η αποστολή 45 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G75. Η εντολή G75 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Με την εντολή G75 επιτυγχάνεται η διάτρηση μίας τρύπας, η οποία πραγματοποιείται με διαδοχικές διεισδύσεις του εργαλείου στο τεμάχιο και όχι με μία διείσδυση, παράλληλων στον άξονα Χ. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.89 και το σχήμα 4.90



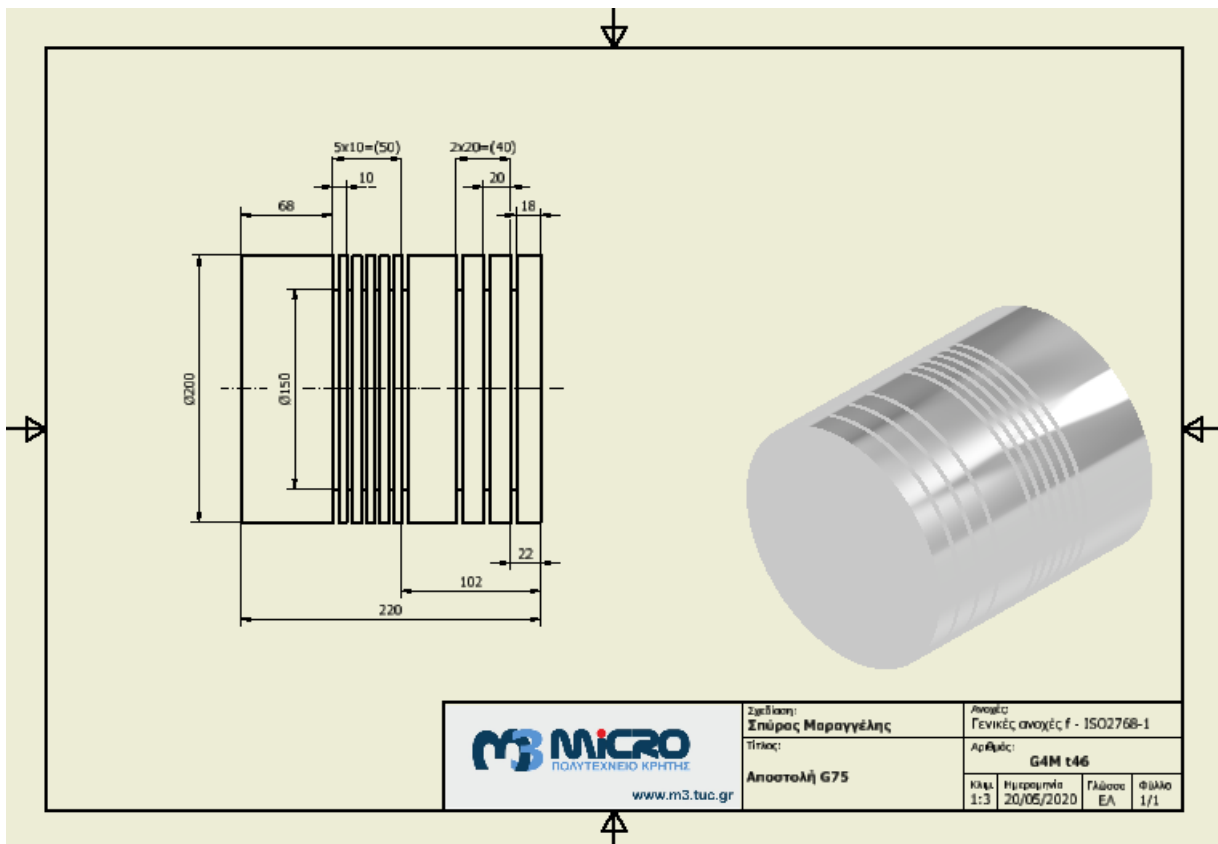
Σχήμα 4.89: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 45



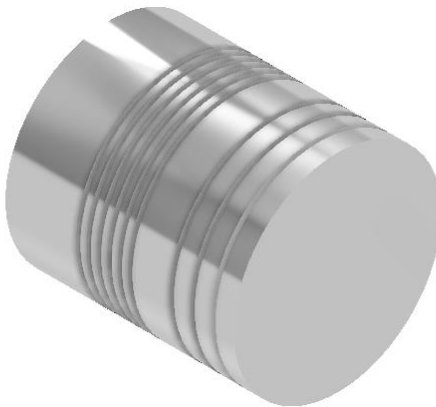
Σχήμα 4.90: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 45

#### 4.46 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 46

Η αποστολή 46 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G75. Η εντολή G75 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Με την εντολή G75 επιτυγχάνεται η διάτρηση μίας τρύπας, η οποία πραγματοποιείται με διαδοχικές διεισδύσεις του εργαλείου στο τεμάχιο και όχι με μία διείσδυση, παράλληλων στον άξονα Χ. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.91 και το σχήμα 4.92



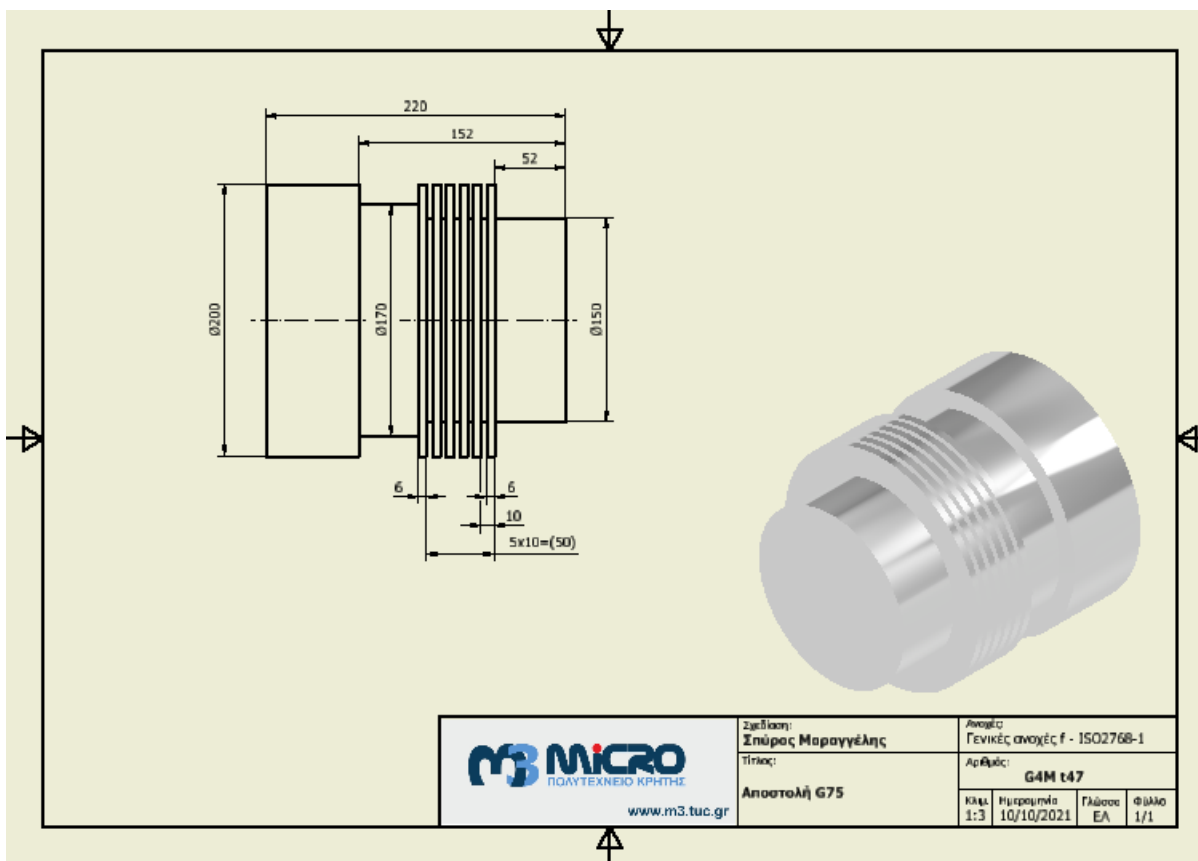
Σχήμα 4.91: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 46



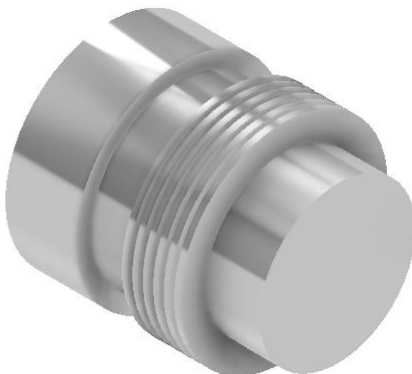
Σχήμα 4.92: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 46

#### 4.47 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 47

Η αποστολή 47 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G75. Η εντολή G75 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Με την εντολή G75 επιτυγχάνεται η διάτρηση μίας τρύπας, η οποία πραγματοποιείται με διαδοχικές διεισδύσεις του εργαλείου στο τεμάχιο και όχι με μία διείσδυση, παράλληλων στον άξονα Χ. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.93 και το σχήμα 4.94



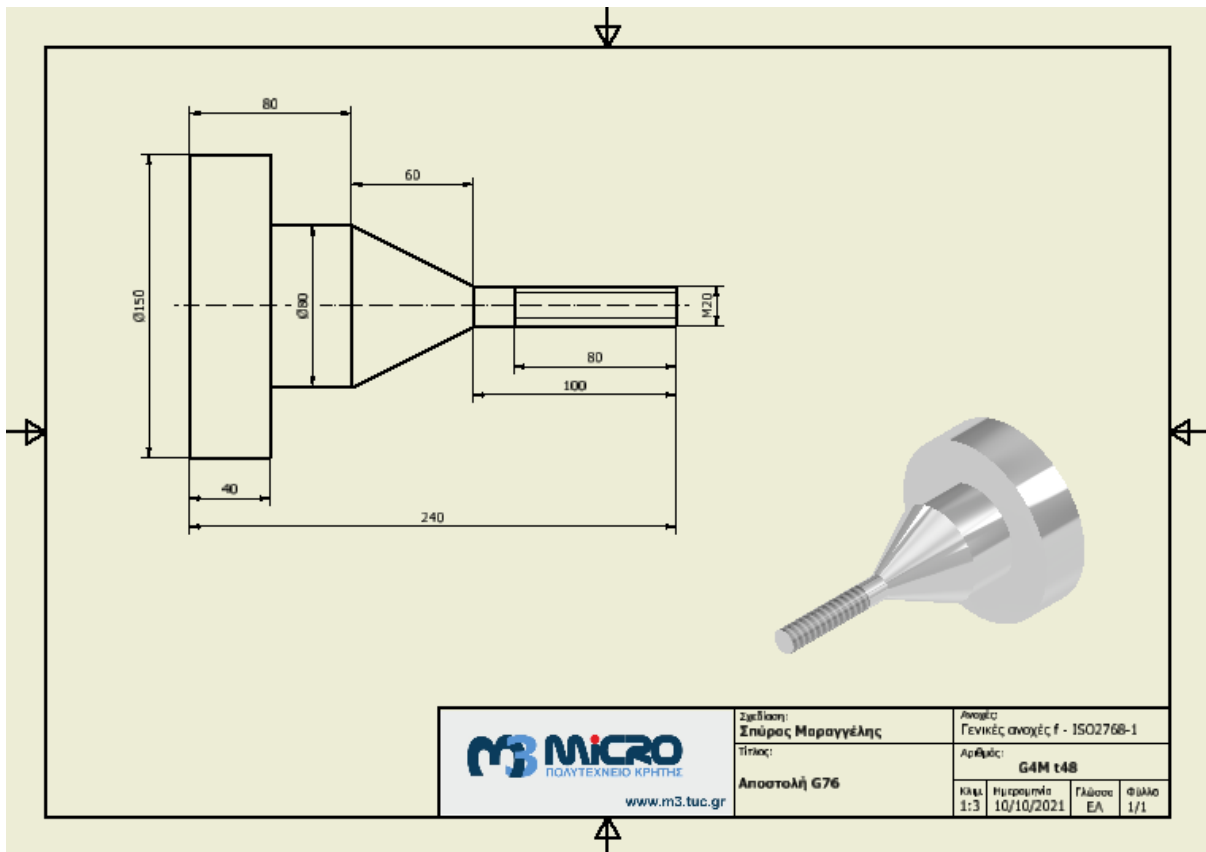
Σχήμα 4.93: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 47



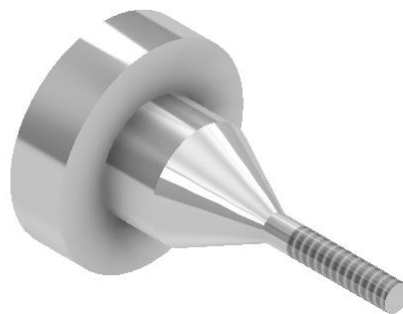
Σχήμα 4.94: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 47

#### 4.48 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 48

Η αποστολή 48 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G76. Η εντολή G76 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Με την εντολή G76 επιτυγχάνεται η δημιουργία ευθυγράμμου σπειρώματος ή σπείρωμα κωνικού σχήματος, στο οποίο η μύτη του κοπτικού εργαλείου βρίσκεται υπό γωνία. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.95 και το σχήμα 4.96



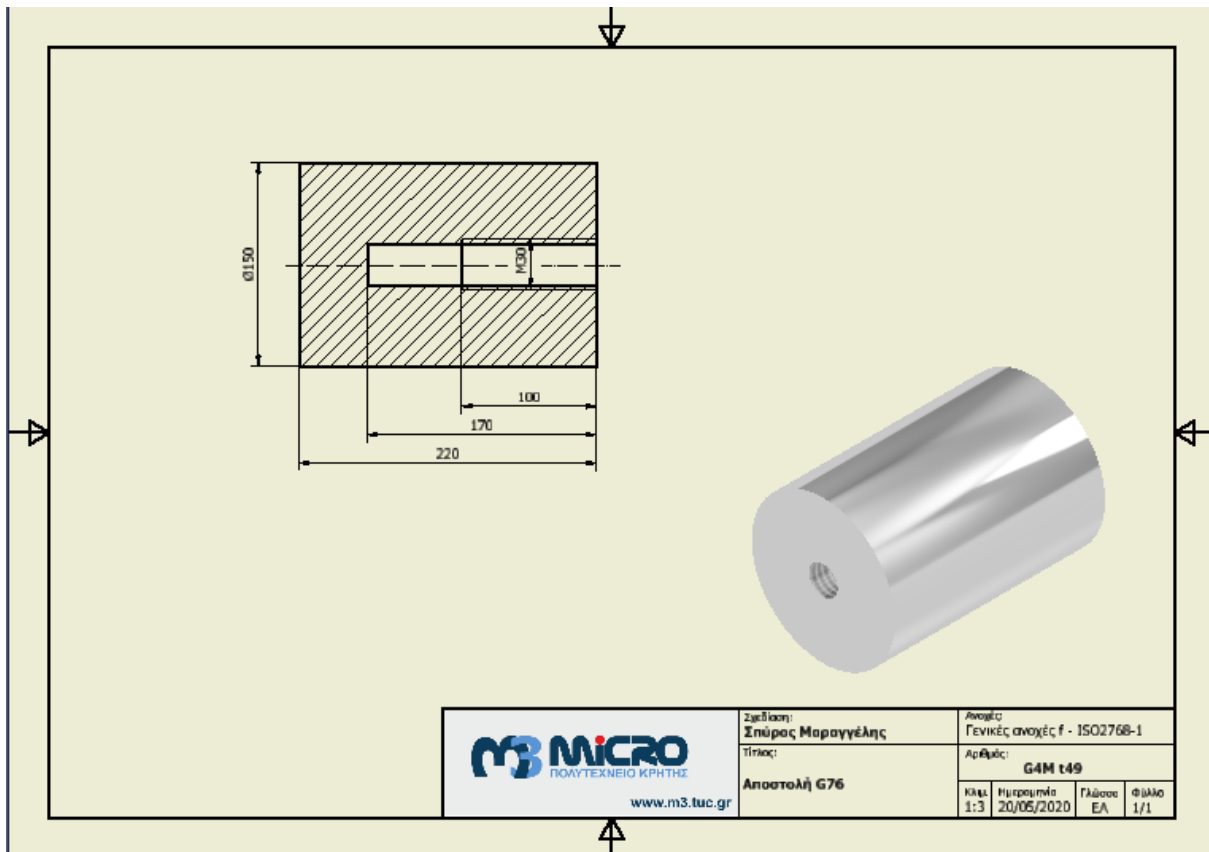
Σχήμα 4.95: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 48



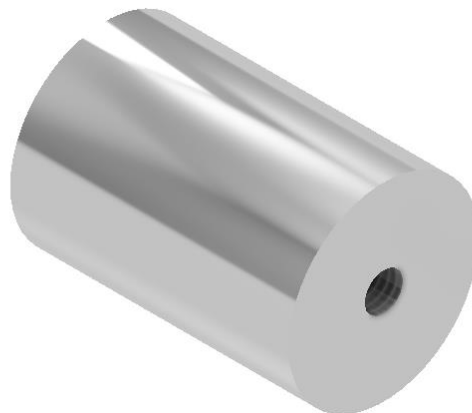
Σχήμα 4.96: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 48

#### 4.49 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 49

Η αποστολή 49 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G76. Η εντολή G76 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Με την εντολή G76 επιτυγχάνεται η δημιουργία ευθυγράμμου σπειρώματος ή σπείρωμα κωνικού σχήματος, στο οποίο η μύτη του κοπτικού εργαλείου βρίσκεται υπό γωνία. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.97 και το σχήμα 4.98



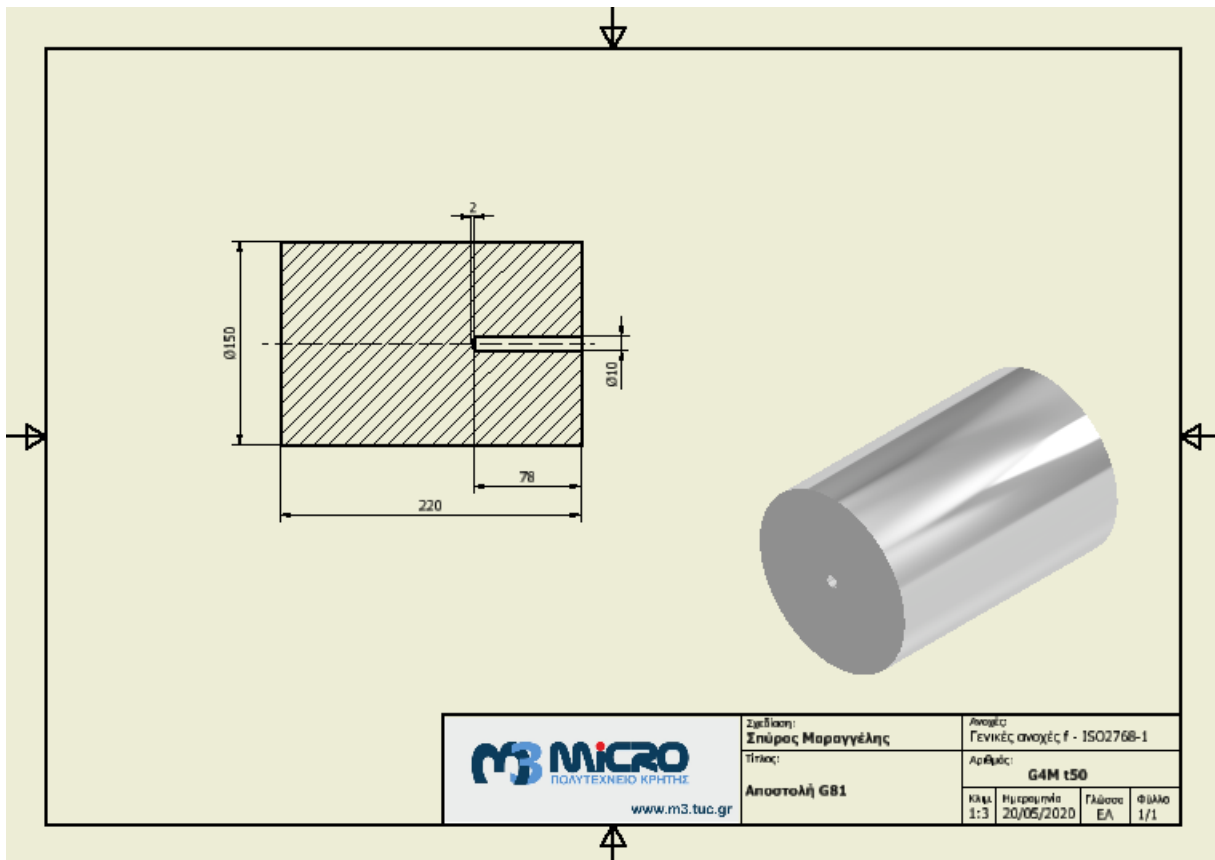
Σχήμα 4.97: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 49



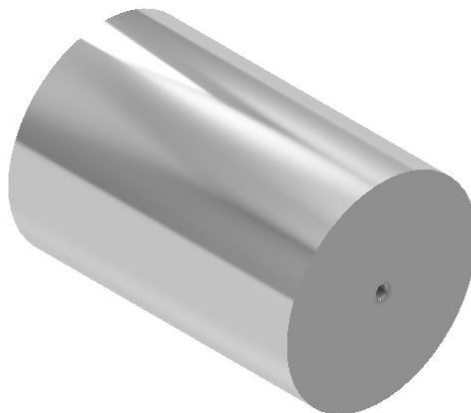
Σχήμα 4.98: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 49

#### 4.50 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 50

Η αποστολή 50 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G81. Η εντολή G81 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί κάθε εντολή κίνησης του X και ή του Z θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.99 και το σχήμα 4.100



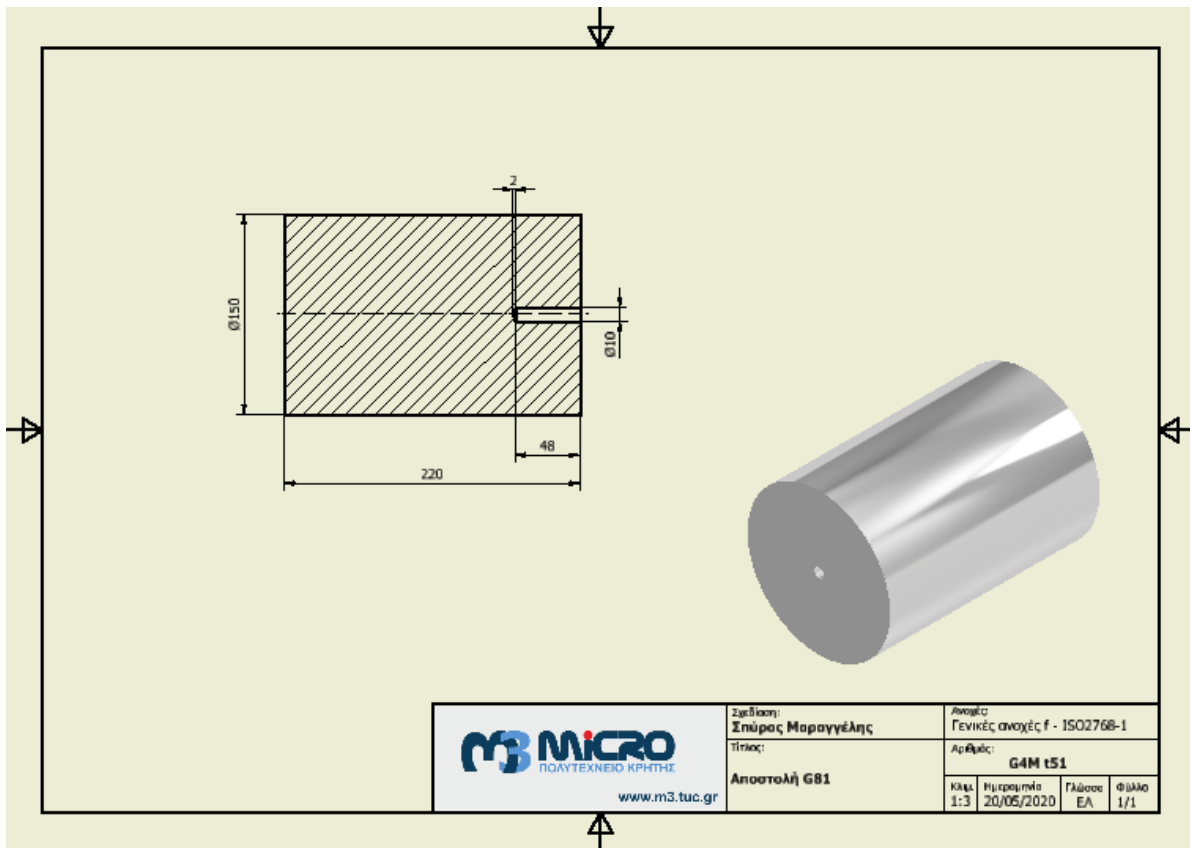
Σχήμα 4.99: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 50



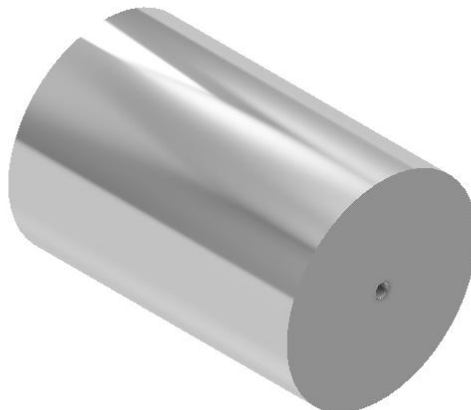
Σχήμα 4.100: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 50

#### 4.51 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 51

Η αποστολή 51 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G81. Η εντολή G81 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί κάθε εντολή κίνησης του X και ή του Z θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.101 και το σχήμα 4.102



Σχήμα 4.101: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 51

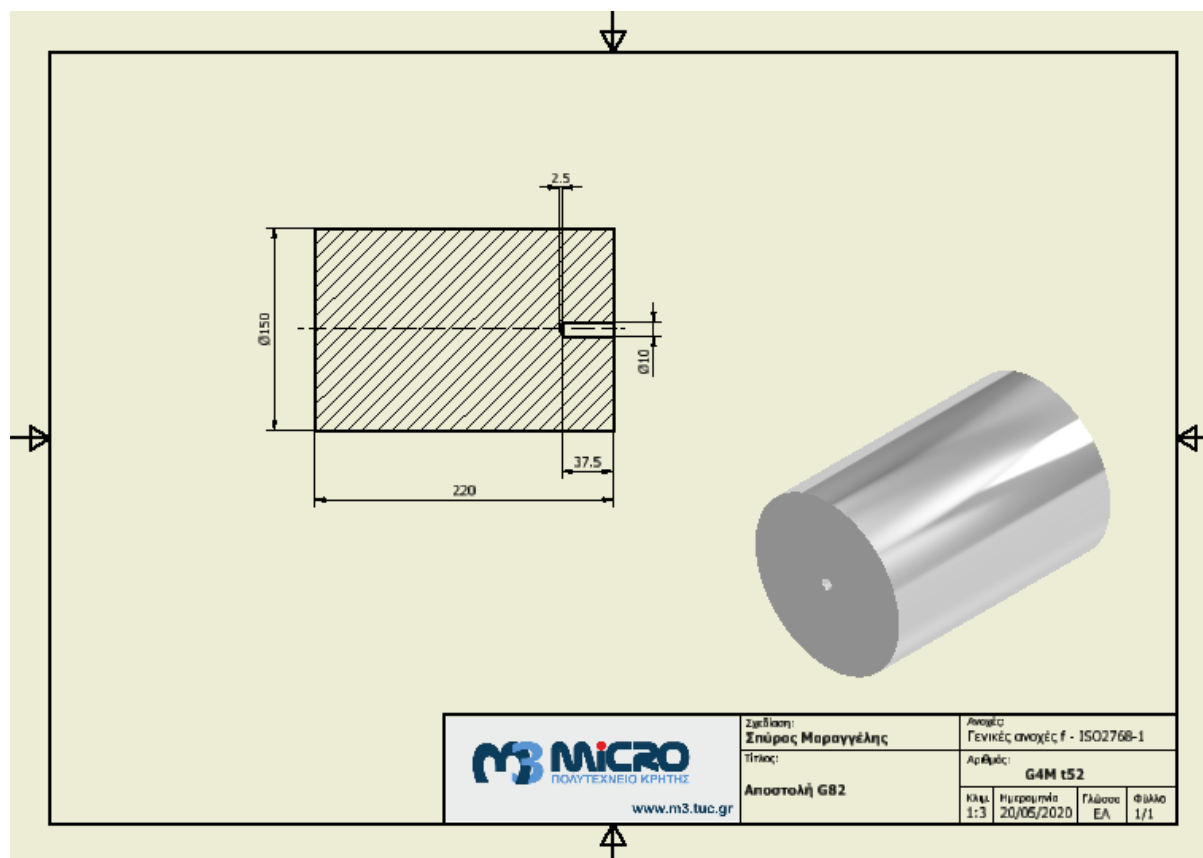


Σχήμα 4.102: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 51

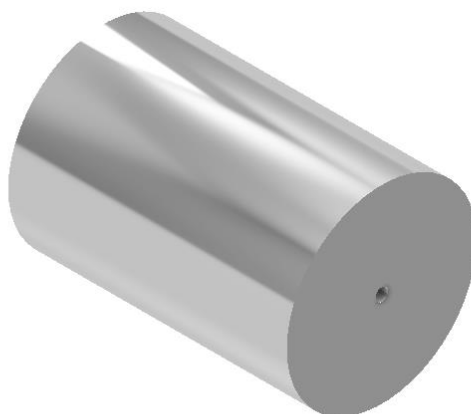


#### 4.52 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 52

Η αποστολή 52 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G82. Η εντολή G82 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί κάθε εντολή κίνησης του X και/ή του Z θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.103 και το σχήμα 4.104



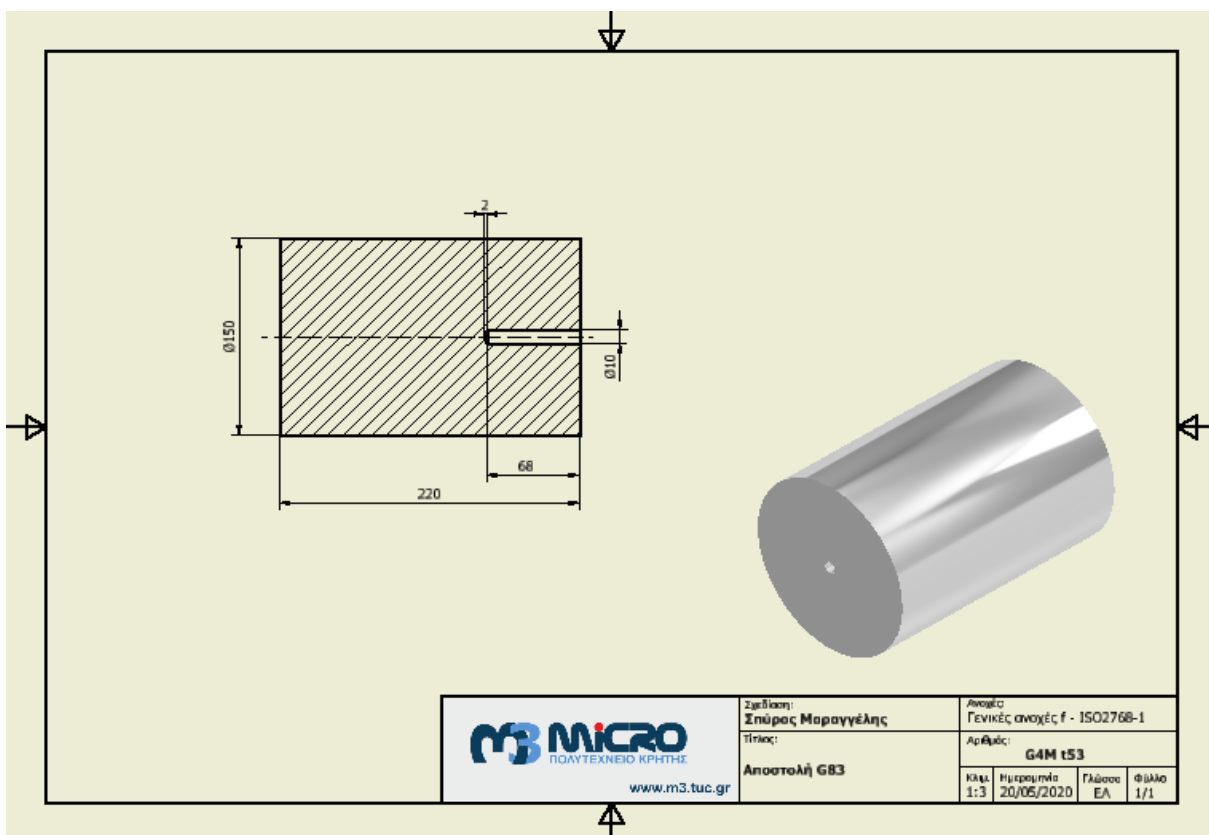
Σχήμα 4.103: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 52



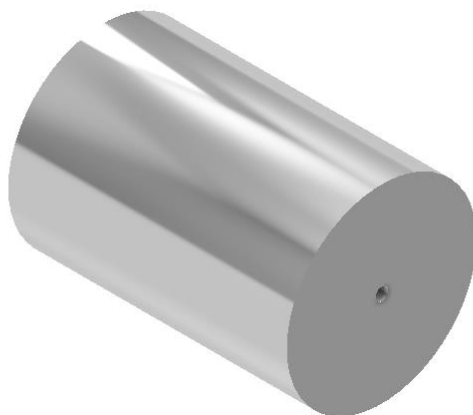
Σχήμα 4.104: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 52

#### 4.53 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 53

Η αποστολή 53 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G83. Η εντολή G83 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί κάθε εντολή κίνησης του X και/ή του Z θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.105 και το σχήμα 4.106



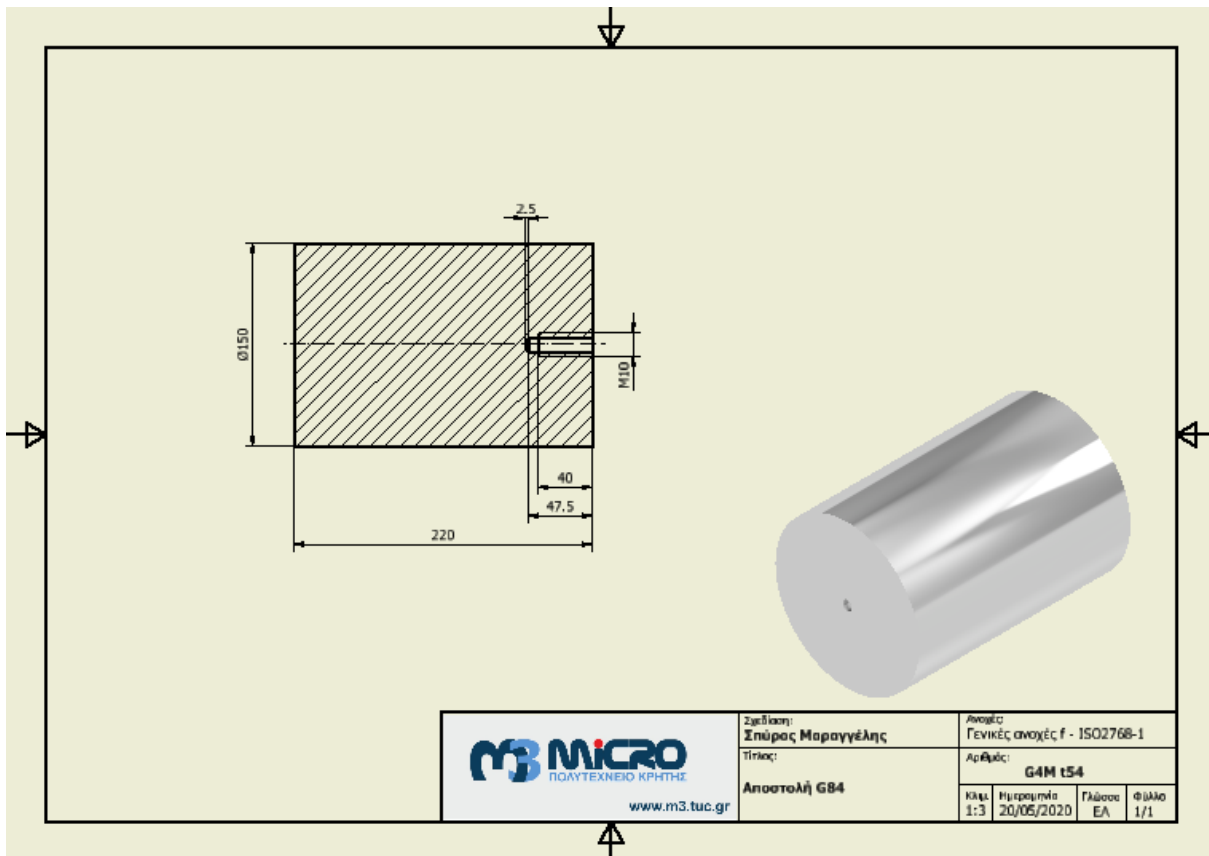
Σχήμα 4.105: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 53



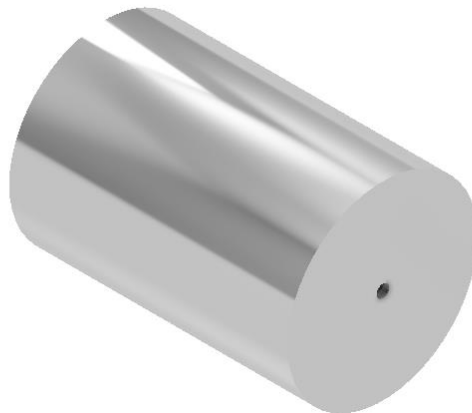
Σχήμα 4.106: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 53

#### 4.54 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 54

Η αποστολή 54 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G84. Η εντολή G84 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί κάθε εντολή κίνησης του X και /ή του Z θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Σε αυτόν τον κύκλο κατεργασίας η πρόωση είναι ίση με το βήμα του σπειρώματος. Αυτό βρίσκεται διαιρώντας το 1 με τον αριθμό των σπειρωμάτων. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.107 και το σχήμα 4.108



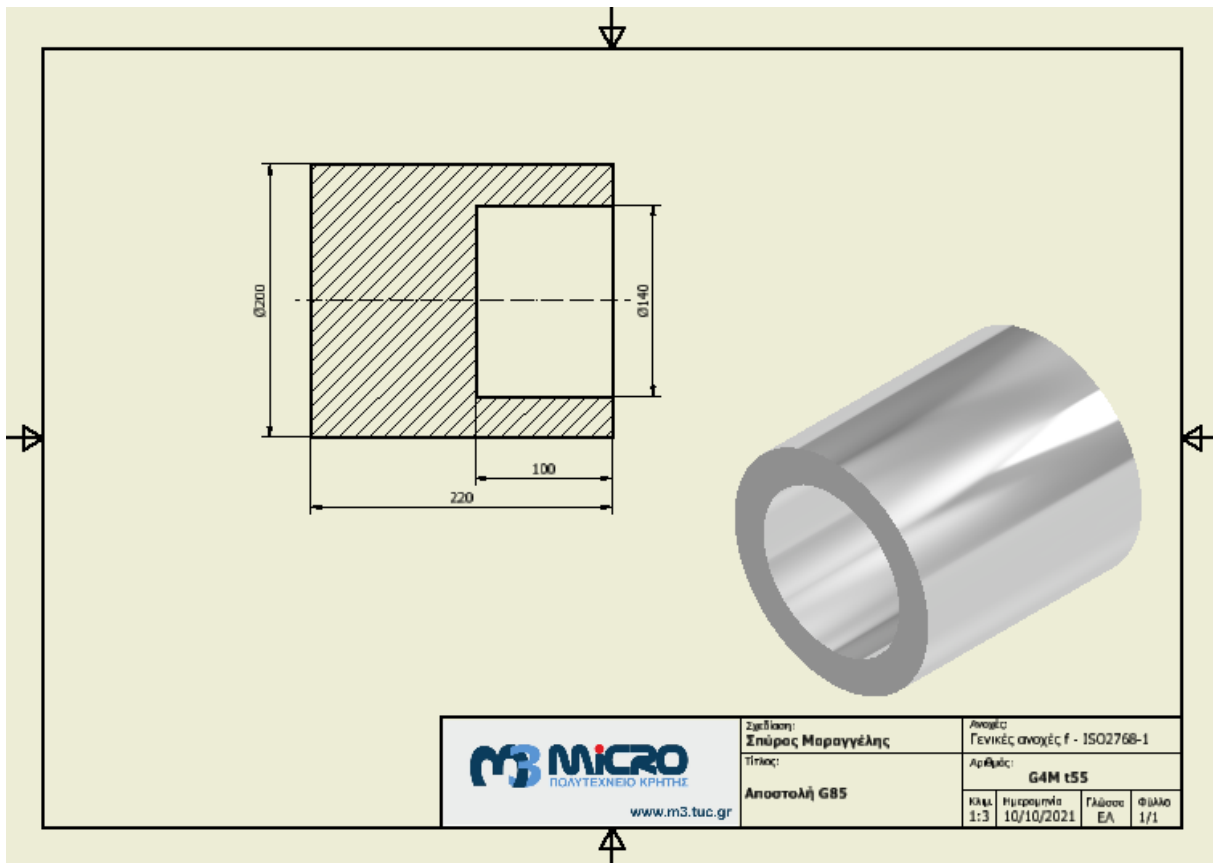
Σχήμα 4.107: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 54



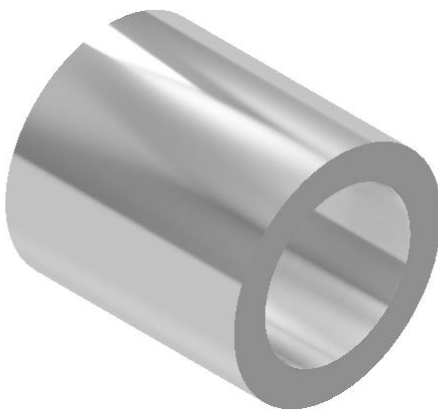
Σχήμα 4.108: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 54

#### 4.55 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 55

Η αποστολή 55 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G85. Η εντολή G85 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί κάθε εντολή κίνησης του X και/ή του Z θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.109 και το σχήμα 4.110



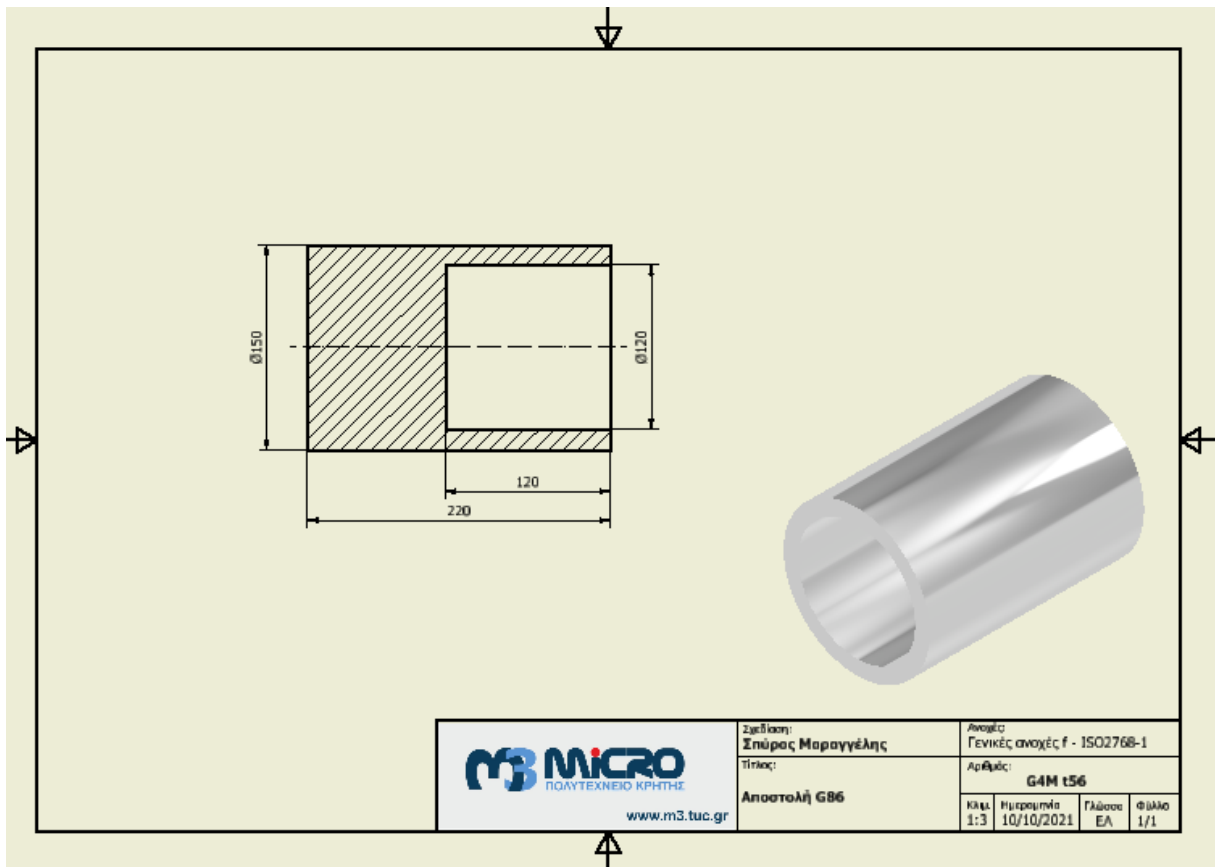
Σχήμα 4.109: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 55



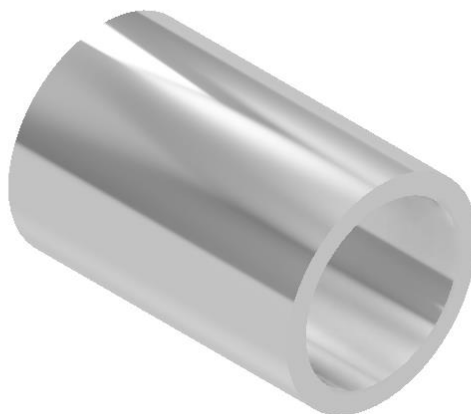
Σχήμα 4.110: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 55

#### 4.56 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 56

Η αποστολή 56 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G86. Η εντολή G86 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί κάθε εντολή κίνησης του X και/ή του Z θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.111 και το σχήμα 4.112



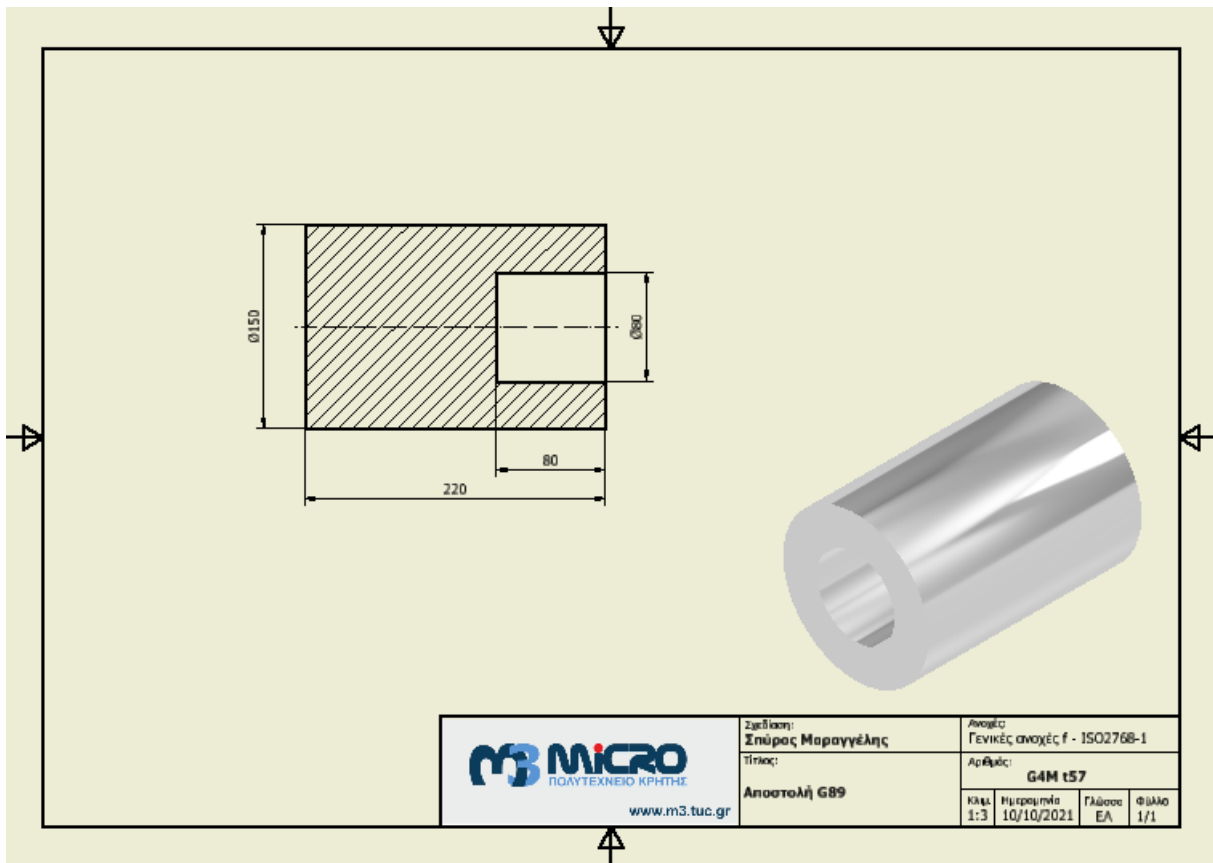
Σχήμα 4.111: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 56



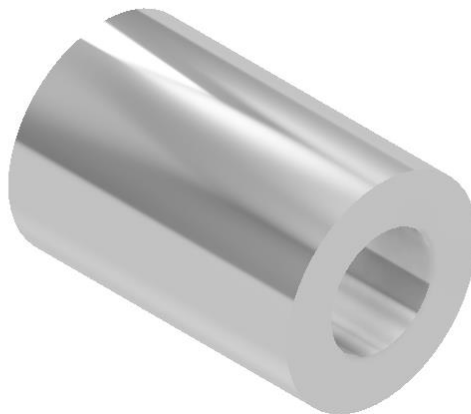
Σχήμα 4.112: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 56

#### 4.57 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 57

Η αποστολή 53 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G89. Η εντολή G89 είναι τροποποιήσιμη, κι από τη στιγμή που ενεργοποιηθεί κάθε εντολή κίνησης του X και/ή του Z θα προκαλεί την εκτέλεση του συγκεκριμένου κύκλου κατεργασίας έως ότου ακυρωθεί ή έως ότου επιλεγεί άλλος κύκλος κατεργασίας. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.113 και το σχήμα 4.114



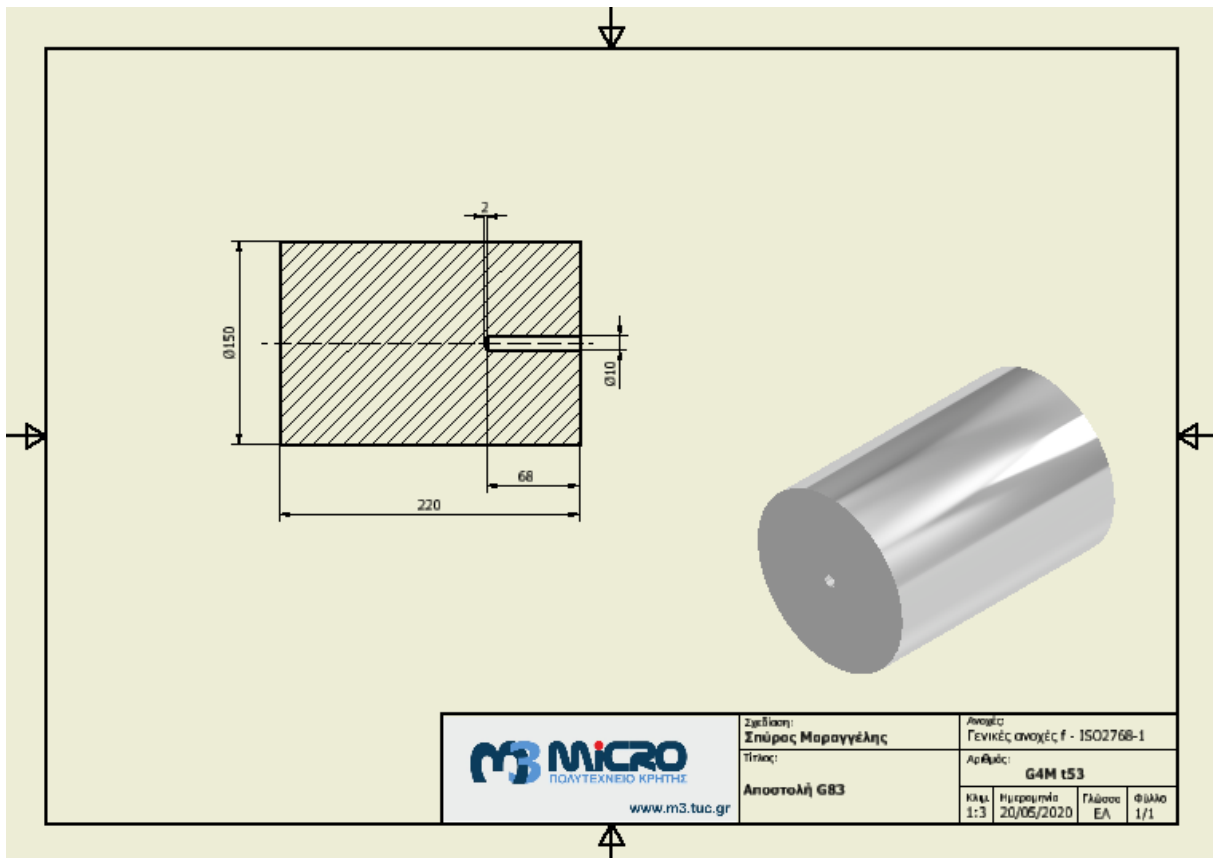
Σχήμα 4.113: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 57



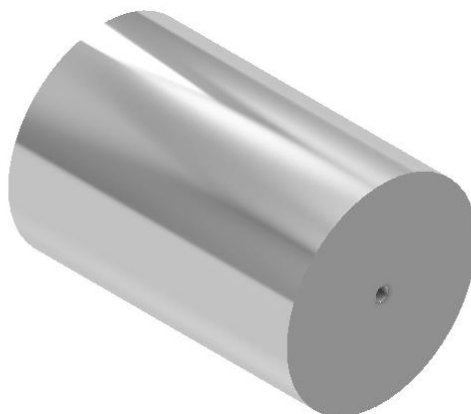
Σχήμα 4.114: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 57

#### 4.58 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 58

Η αποστολή 58 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G92. Η εντολή αυτή πραγματοποιεί κατεργασία κοπής σπειρώματος. Ανάλογα με τις παραμέτρους που θα δοθούν στον κύκλο, η εργαλειομηχανή μπορεί να πραγματοποιήσει ευθύγραμμο σπείρωμα ή σπείρωμα σε κωνική μορφή. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.115 και το σχήμα 4.116



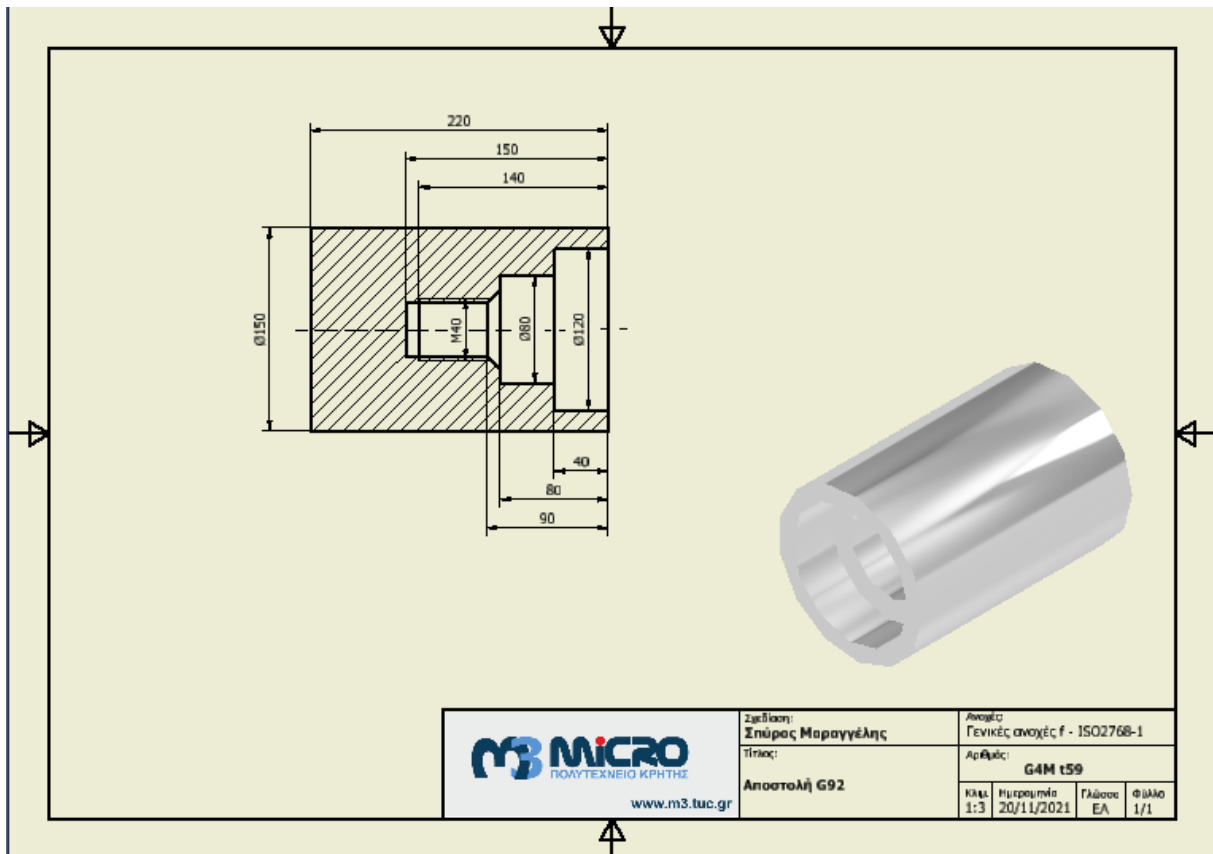
Σχήμα 4.115: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 58



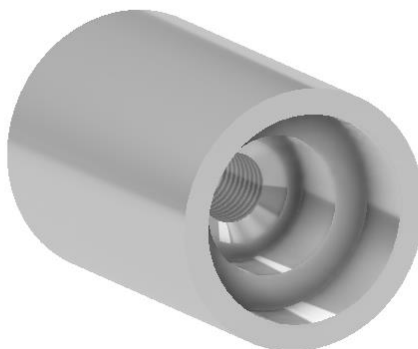
Σχήμα 4.116: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 58

#### 4.59 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 59

Η αποστολή 59 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G92. Η εντολή αυτή πραγματοποιεί κατεργασία κοπής σπειρώματος. Ανάλογα με τις παραμέτρους που θα δοθούν στον κύκλο, η εργαλειομηχανή μπορεί να πραγματοποιήσει ευθύγραμμο σπείρωμα ή σπείρωμα σε κωνική μορφή. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.117 και το σχήμα 4.118



Σχήμα 4.117: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 59

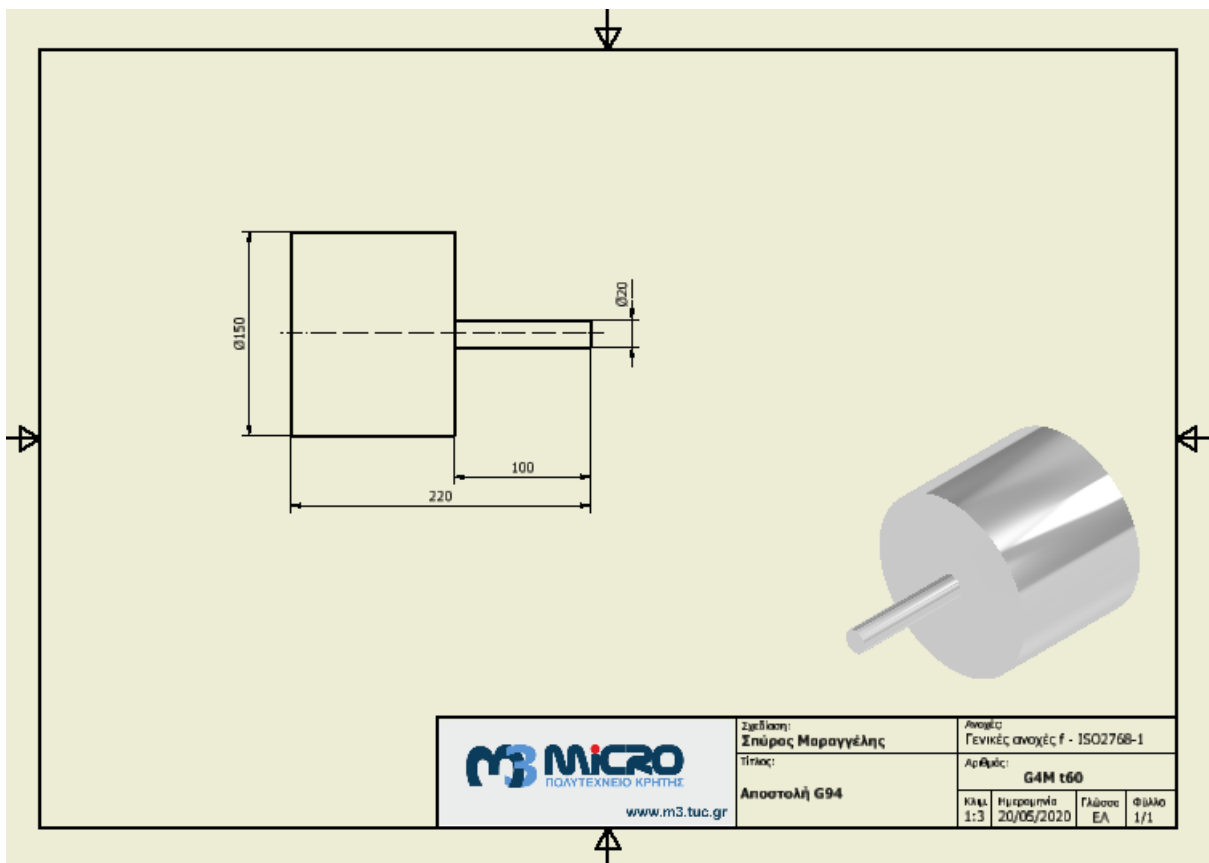


Σχήμα 4.118: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 59

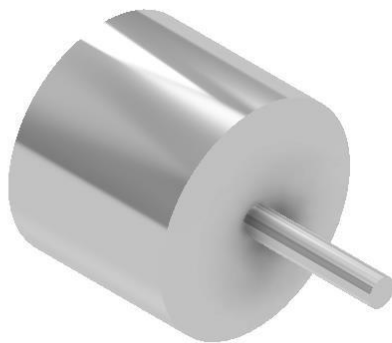


#### 4.60 ΑΠΟΣΤΟΛΗ 60

Η αποστολή 60 έχει ως στόχο την εξοικείωση του χρήστη με την εντολή G94. Η εντολή G94 πραγματοποιεί κατεργασία κοπής στο «πρόσωπο» του τεμαχίου. Ανάλογα με τις παραμέτρους που θα δοθούν στον κύκλο, η εργαλειομηχανή μπορεί να πραγματοποιήσει ευθύγραμμη κοπή ή να διαμορφώσει κωνική επιφάνεια στο «πρόσωπο» του κομματιού προς επεξεργασία. Το αποτέλεσμα που ζητείται χαρακτηρίζεται από το σχήμα 4.119 και το σχήμα 4.120



Σχήμα 4.119: Μηχανολογικό σχέδιο αποστολής 60



Σχήμα 4.120: Τρισδιάστατη απεικόνιση αποστολής 60

## ΣΥΝΟΨΗ

Συνοψίζοντας στην διπλωματική εργασία, έγινε ανάλυση της ικανότητας κατεργασίας βασικών υλικών, καθώς και μελέτη των παραγόντων που επηρεάζουν τις μηχανικές ιδιότητες τους, τόσο ως προς την ευκολία και τη δυσκολία κατεργασίας τους αλλά και την διάρκεια ζωής των κοπτικών μέσων.

Τα κράματα μαγνησίου έχουν χαμηλή ολκιμότητα και οι δυνάμεις κοπής και η ισχύς που απαιτούν είναι αρκετά χαμηλές. Επιπλέον έχουν χαμηλές θερμοκρασίες κοπής λόγω του χαμηλού σημείου τήξης τους. Αυτό βοηθάει στην μαζική παραγωγή τεμαχίων και στη διάρκεια ζωής των κοπτικών εργαλείων

Τα κράματα αλουμινίου επίσης έχουν χαμηλές θερμοκρασίες κατά την επεξεργασία τους και είναι από τα υλικά τα οποία χρησιμοποιούνται και είναι πιο επεξεργάσιμα από κοινά μέταλλα.

Τα σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας προσδίδουν μειωμένη διάρκεια ζωής στα κοπτικά εργαλεία λόγω του σχηματισμού ψευδοκοπής.

Τα κράματα χαλκού είναι εύκολα επεξεργάσιμα και ιδιαίτερα τα κράματα χαλκού- ψευδαργύρου αποδίδουν πολύ καλές μηχανικές ιδιότητες.

Ο σίδηρος βρίσκει μεγάλη εφαρμογή στην παραγωγή, και η διάρκεια ζωής των κοπτικών εργαλείων σχετίζεται με την σκληρότητα της χύτευσης δηλαδή με τον ρυθμό ψύξης κατά την χύτευση του σιδήρου και την μεταλλουργική κατάσταση πριν την επιπλέον κατεργασία του σε εργαλειομηχανές.

Οι χάλυβες είναι δύσκολο να κατεργαστούν καθώς είναι σκληρά υλικά και με μικρή διάρκεια ζωής στις περισσότερες περιπτώσεις, αν και οι χάλυβες ποικίλουν ως προς την σύστασή τους.

Τα εξαρτήματα κονιομεταλλουργίας απαιτούν λίγη κατεργασία, και με αύξηση της πυκνότητάς τους να έχουμε καλύτερες μηχανικές ιδιότητες. Το αυξημένο πορώδες από την άλλη προκαλεί μεγάλες θερμοκρασίες κατεργασίας με αποτέλεσμα την μείωση της ζωής του κοπτικού εργαλείου.

Τα κράματα τιτανίου είναι δύσκολα στην μηχανική κατεργασία καθώς διατηρούν υψηλή αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες με αποτέλεσμα να έχουμε μεγάλες δυνάμεις κοπής και φθορά των κοπτικών.

Αντίστοιχα και τα κράματα νικελίου έχουν υψηλή ολκιμότητα και σκληραίνουν γρήγορα με αποτέλεσμα να παράγουν υψηλές τάσεις και θερμοκρασίες κατά την μηχανική επεξεργασία.

Στη συνέχεια έγινε σχεδιασμός μοντέλων εκπαιδευτικού χαρακτήρα για την εκμάθηση των εντολών ISO με χρήση G κώδικα σε κέντρα ψηφιακής καθοδήγησης, σε τόρνο και φρέζα.

Αρχικά έγινε καταγραφή των εντολών G κώδικα και για κάθε μία εντολή δημιουργήθηκαν μοντέλα τόσο σε τόρνο όσο και σε φρέζα. Κάθε σχέδιο αντιστοιχεί σε μία εντολή για το οποίο έγινε σχεδιασμός του μοντέλου στο Autodesk-Inventor και εν συνεχεία η τρισδιάστατη απεικόνιση του εφαρμόζοντας τις κατάλληλες εντολές του λογισμικού, καθώς και η δημιουργία του μηχανολογικού σχεδίου του με τις απαραίτητες όψεις και τομές και τους κατάλληλους κανόνες σχεδίασης. Στόχος είναι ο χρήστης να καθοδηγηθεί για το τεμάχιο το οποίο θα πρέπει να κατεργαστεί στην τελική του

μορφή, γνωρίζοντας όλες τις απαραίτητες πληροφορίες για να ακολουθήσει την κατάλληλη διαδικασία και συγγραφή του G κώδικα με σκοπό την ορθή αποπεράτωση της κάθε αποστολής.

## **ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ**

- [1] Stephenson, David A.; Agapiou, John S., Metal cutting theory and Practice manufacturing Engineering and Materials processing, CRC Press, 1997
- [2] Αριστομένης Θ. Αντωνιάδης, Μηχανολογικό σχέδιο 3<sup>η</sup> έκδοση, Εκδόσεις Τζιόλα, 2018
- [3] Ανάπτυξη ψυχαγωγικού λογισμικού εκπαίδευσης ψηφιακής καθοδήγησης εργαλειομηχανών Π13 τεχνική έκθεση με εκπαιδευτικό υλικό για την τόννευση σε εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης
- [4] Ανάπτυξη ψυχαγωγικού λογισμικού εκπαίδευσης ψηφιακής καθοδήγησης εργαλειομηχανών Π14 τεχνική έκθεση με εκπαιδευτικό υλικό για το φραιζάρισμα σε εργαλειομηχανές ψηφιακής καθοδήγησης
- [5] Ανδρέας Μαλάμος, Σχεδίαση και κατεργασία τεμαχίων φραιζαρίσματος με τη βοήθεια λογισμικού προσομοίωσης, Διπλωματική Εργασία, 2021