

ΠΤΥΧΙΑΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ



Τεχνολογικό Εκπαιδευτικό Ίδρυμα
Τ.Ε.Ι. ΠΕΙΡΑΙΑ

**ΜΕΛΕΤΗ, ΣΧΕΔΙΑΣΜΟΣ ΓΙΑ ΤΗΝ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ
ΜΕΤΑΛΛΙΚΟΥ ΚΑΛΟΥΠΙΟΥ ΓΙΑ ΠΑΡΑΓΩΓΗ
ΠΛΑΣΤΙΚΟΥ ΧΕΡΟΥΛΙΟΥ**

**ΒΙΒΛΙΟΘΗΚΗ
ΤΕΙ ΠΕΙΡΑΙΑ**

Φοιτητές: Δοξιάνιδης Βαγγέλης
Ερτζάν Μπεκήρ Σοτζουκλού

Επιβλέπων: Δρ. – Μηχ. Στεργίου Κωνσταντίνος
Σαγιάς Βασίλειος

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Εισαγωγή	7
Κεφάλαιο 1 ^ο	9
1.1 Σχεδιασμός νέων προϊόντων	9
1.2 Γενικοί κανόνες σχεδιομελέτης	10
1.3 Κανόνες εκλογής υλικών	10
1.4 Κανόνες αντοχής	11
1.5 Κανόνες δυναμικής μηχανών	12
1.6 Γενικοί κανόνες παράγωγης	13
Κεφάλαιο 2 ^ο	14
2.1 Πολυμερή υλικά	14
2.2 Θερμοσκληραινόμενα ή θερμοστατικά (thermosettings)	14
2.3 Θερμοπλαστικά (thermoplastics)	18
2.3.1 Πολυπροπυλένιο.....	21
2.3.2 Πολυαιθυλένιο	22
2.3.3 Πολυστερίνη.....	23
2.4 Ανακύκλωση πλαστικών.....	23
Κεφάλαιο 3 ^ο	25
3.1 Χύτευση με έγχυση.....	25
3.2 Τρόποι κατεργασιών έγχυσης	26
3.2.1 Κατεργασίαέγχυσηςμεεϋτήκτοπυρήνα (fusible core injection molding) 27	
3.2.2 Κατεργασία έγχυσης με τη βοήθεια αερίου (gas-assisted injection molding)	27
3.2.3 Κατεργασία 'συν-έγχυσης' (co-injection molding)	27
3.2.4 Κατεργασίαέγχυσης - συμπίεσης (injection-compression molding) ..	27
3.2.5 Κατεργασία έγχυσης με πορώδη δομή (structuralfoaminjection molding)	28
3.2.6 Κατεργασία έγχυσης τροφοδοσίας με ανάδευση (live-feed injection molding)	28
3.2.7 Κατεργασία μικροστρωματικής (microlayer) έγχυσης (lamellar injection molding)	28
3.2.8 Κατεργασία έγχυσης χαμηλής πίεσης (low pressure injection molding) 28	
3.2.9 Κατεργασίαδιπλήςέγχυσης (push-pull injection molding)	29



3.3	Περιγραφή της μηχανής έγχυσης	29
3.4	Περιγραφή των επιμέρους λειτουργιών της μηχανής έγχυσης	30
3.4.1	Μονάδα Έγχυσης	31
3.4.2	Πίεση έγχυσης.....	35
3.4.3	Συστήματα σφικτήρων (clamps).....	38
3.4.4	Μονάδα οδήγησης.....	39
3.4.5	Μονάδα έλεγχου.....	39
3.5	ΚαλούπιInjection.....	40
3.6	Χαρακτηριστικά υλικού για την κατασκευή καλουπιού Injection.....	40
Κεφάλαιο 4 ^ο		42
4.1	Σύστημα τροφοδοσίας κοιλότητας καλουπιού Injection.....	42
4.2	Αγωγοί χύτευσης.....	42
4.3	Πύλες (gates).....	43
4.4	Προβλήματα κατά την πλήρωση του πολυμερούς στο καλούπι.....	44
4.4.1	Γραμμές συγκόλλησης (Mpa lines).....	45
4.4.2	Συρρίκνωση.....	46
4.4.3	Σκέβρωση.....	48
4.5	Κανάλια ψύξης (coolantchannels).....	49
Κεφάλαιο 5 ^ο		50
5.1	Μοντελοποίηση καλουπιού (CAD) με τη χρήση Solidworks.....	50
5.1.1	Κινητό μέρος.....	52
5.1.2	Σταθερό μέρος.....	53
5.1.3	Μορφοποίηση λοιπών μερών.....	55
5.2	CAE.....	59
5.3	Δυσκολίες κατά την μοντελοποίηση (CAD).....	62
5.4	Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα.....	62
Κεφάλαιο 6 ^ο		63
6.1	Μοντελοποίηση καλουπιού (CAM) με τη χρήση Solidworks/Solidcam (milling).....	63
6.2	Εισαγωγή σημείου αναφοράς (0,0), περιγραφή διαστάσεων και μορφής καλουπιού.....	63
6.3	Ανάλυση διαδικασιών κοπής.....	65
6.3.1	Face milling operation.....	65
6.3.2	Pocket operation.....	65
6.3.3	Profileoperation (εξωτερική μεριά δοκιμίου).....	66
6.3.4	Pocket operation.....	69



6.3.5	Profile operation	70
6.3.6	Profile operation	70
6.3.7	Profile operation	71
6.3.8	Pocketoperation	71
6.3.9	Drill operation	75
6.3.10	Profileoperation.....	76
6.3.11	Profile operation	76
6.3.12	Pocketoperation.....	77
6.3.13	Pocketoperation.....	77
6.3.14	Pocket operation.....	78
6.3.15	3D milling operation.....	78
6.3.16	3D milling operation.....	80
6.3.17	- 3D milling operation	81
6.3.18	Profile operation	81
6.3.19	Περιστροφή του δοκιμίου και αλλαγή του σημείου αναφοράς.....	82
6.3.20	Pocket operation.....	82
6.3.21	Drill operation	83
6.3.22	Profileoperation (Fillet)	83
6.3.23	Αλλαγή σημείου αναφοράς	84
6.3.24	Pocket operation.....	85
6.3.25	Drill operation	85
6.3.26	Αλλαγή σημείου αναφοράς	86
6.3.27	Facemilling	86
6.3.28	Profile operation	88
6.3.29	Pocket operation.....	89
6.3.30	Drilloperation.....	89
6.3.31	ThreadMillingoperation.....	90
Κεφάλαιο 7 ^ο	91
7.1	Προβλήματα και αντιμετώπιση αυτών	91
7.1.1	CAD.....	91
7.1.2	CAM.....	92
Κεφάλαιο 8 ^ο	99
8.1	Συμπεράσματα	99
8.2	Βασικά προβλήματα, τρόποι και προτάσεις αντιμετώπισης τους.....	100
8.3	Εξέλιξη της παρούσας πτυχιακής εργασίας.....	104



Βιβλιογραφία..... 106



Σκοπός της πτυχιακής εργασίας

Σκοπός της παρούσας πτυχιακής εργασίας είναι ο εντοπισμός των δυσκολιών, αντιμετώπιση αυτών, και προτάσεις βελτίωσης κατά τη διάρκεια κατεργασίας κοπής CAM βασιζόμενο σε ένα μοντέλο CAD το οποίο έχει μοντελοποιηθεί και αναλυθεί με τη βοήθεια των συστημάτων SolidWorks – CAD/CAE για την κατασκευή ενός καλουπιού Mold injection που θα παράγει εργαλεία για τρίψιμο σε οικοδομικές εργασίες.



Εισαγωγή

Η μεγάλη ζήτηση οικονομικών και ποιοτικών προϊόντων οδήγησε τις βιομηχανίες στην αναζήτηση νέων μεθόδων παραγωγής. Ένας από τους βασικούς τρόπους παραγωγής ομοίων ποιοτικά και διαστασιολογικά αντικειμένων είναι μέσω της κατασκευής τους με καλούπια. Από πολύ παλιά



Εικόνα 1. Alexander Parkes. Εφευρέτης του πρώτου πλαστικού για εμπορική χρήση.

οι άνθρωποι χρησιμοποίησαν "τύπου" καλούπια για να μορφοποιούν το τηγμένο μέταλλο, συνήθως χρυσό και χαλκό. Ύστερα με την πρόοδο της χημικής βιομηχανίας και την δημιουργία πολυμερικών υλικών η βιομηχανία των πλαστικών ανέπτυξε σύγχρονους και αποτελεσματικούς τρόπους χύτευσης. Το πρώτο τεχνητό πλαστικό εμπορική χρήσης εφευρέθηκε στη Μεγάλη Βρετανία το

1861 από τον Alexander Parkes (εικόνα 1). Το παρουσίασε δημοσίως

στη Διεθνή Έκθεση 1862 στο Λονδίνο, ονομάζοντας τα υλικά που παράγονται "Parkesine." Το υλικό αυτό προέρχεται από κυτταρίνη. Η Parkesine μπορεί να θερμαίνεται, να μορφοποιείται και να διατηρήσει το σχήμα της όταν ψύχεται. Ωστόσο, ήταν δαπανηρό για την εποχή εκείνη να το παράγουν σε μεγάλες ποσότητες. Επίσης παρουσίαζε μηχανικές αδυναμίες, όπως η δημιουργία ρωγμών, ένα άλλο αρνητικό του υλικού ήταν η ιδιαίτερη υψηλή αναφλεξιμότητα του. Το 1868, ο Αμερικανός εφευρέτης John Wesley Hyatt ανέπτυξε ένα άλλο πλαστικό υλικό, το ονόμασε Celluloid, βελτιώνοντας την εφεύρεση του Alexander Parkes. Μαζί με τον αδελφό του Isaiah, ο Hyatt κατοχύρωσε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας το πρώτο μηχάνημα έγχυσης το 1872. Αυτό το μηχάνημα ήταν σχετικά απλό σε σύγκριση με τα μηχανήματα που χρησιμοποιούνται σήμερα. Η λειτουργία του βασιζόταν στην χρησιμοποίηση ενός εμβόλου για την έγχυση πλαστικού μέσω ενός θερμαινόμενου



κυλίνδρου σε ένα καλούπι. Η βιομηχανία προχώρησε σιγά-σιγά με τα χρόνια, οι απαιτήσεις στην παραγωγή προϊόντων αυξήθηκαν.

Στη δεκαετία του 1940, λόγω του Β΄ Παγκοσμίου Πολέμου δημιουργήθηκε μια τεράστια ζήτηση για φθηνά προϊόντα ποιοτικά και μαζικής παραγωγής. Το 1946, ο Αμερικανός εφευρέτης James Watson Hendry κατασκεύασε την πρώτη μηχανή με παλυδρομούντο κοχλία, η οποία επέτρεψε πολύ πιο ακριβό έλεγχο της ταχύτητας (άσκηση πίεσης) και βελτίωσε την ποιότητα των αντικειμένων που παράγονται. Μηχανές παλυδρομούντος κοχλία αντιπροσωπεύουν τη συντριπτική πλειονότητα του συνόλου των μηχανημάτων σήμερα .



1.1 Σχεδιασμός νέων προϊόντων

Ο μεθοδικός σχεδιασμός είναι περισσότερο μια διαδικασία παρά μια εργασία. Το κύριο χαρακτηριστικό του είναι αναμφισβήτητα, η πολυπλοκότητα. Στην γενικότερη εφαρμογή του δηλαδή στην περίπτωση σχεδιασμού ενός νέου προϊόντος, ο σχεδιασμός επηρεάζεται άμεσα η έμμεσα από πολιτικές επιλογές, οικονομικές αποφάσεις, κοινωνικά δεδομένα, εξελίξεις της τέχνης, περιβαλλοντικές αναγκαιότητες, επιστημονικές γνώσεις, τεχνολογικές εξελίξεις και τέλος από τις δυνατότητες της συγκεκριμένης μονάδας παραγωγής, η οποία θα αναλάβει την υλοποίηση της κατασκευής του προϊόντος.

Ο μεθοδικός μηχανολογικός σχεδιασμός ειδικότερα αρχίζει με την τοποθέτηση και τη διερεύνηση ενός τεχνικού προβλήματος. Ακολουθούν εκείνες οι διαδοχικές εργασίες, που περιλαμβάνονται στην εκπόνηση μιας μηχανολογικής μελέτης. Τελικά δεν ολοκληρώνεται με την διαμόρφωση της βέλτιστης, τελικής λύσης του τεχνικού προβλήματος. Η λύση αυτή περιγράφεται σε μια τεχνική έκθεση και αποτυπώνεται σε μια σειρά σχεδίων, τα οποία καθορίζουν όλα εκείνα τα στοιχεία και τις λεπτομέρειες οι οποίες είναι απαραίτητες για να προχωρήσει η συγκεκριμένη λύση στην παραγωγή ενός προϊόντος.

Ένα επίπεδο εργασίας που προηγείται του σχεδιασμού είναι το στάδιο της επιλογής ενός νέου προϊόντος για την παραγωγή, πρόκειται για την λεγόμενη έρευνα αγοράς. Το στάδιο αυτό της επιλογής και του προγραμματισμού νέων προϊόντων για την παραγωγή είναι επίσης ζωτικής σημασίας για την επιβίωση μια βιομηχανίας. Σε αυτό το στάδιο εκτός από τα οικονομοτεχνικά κριτήρια πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψη και τα συνεχώς μεταβαλλόμενα δεδομένα από πλευράς πολιτικών και οικονομικών εξελίξεων, ενεργειακής πολιτικής τόσο και στην παραγωγή όσο και κατά τη λειτουργία του προϊόντος, όπως ακόμη από πλευράς αισθητικής και γενικότερα φιλικότητα του προϊόντος προς τον άνθρωπο και το περιβάλλον.[1].



1.2 Γενικοί κανόνες σχεδιομελέτης

Εφαρμόζοντας τις αρχές της σχεδιομελέτης στους διάφορους τομείς της τεχνικής και της τεχνολογίας προκύπτουν διάφορα επιμέρους συμπεράσματα, τα οποία μπορούν να καταταχτούν κατά περιοχή και να διαμορφώσουν τους ποιοτικούς κανόνες της σχεδιομελέτης. Οι κανόνες αυτοί είναι συστάσεις και πρότυπα παραδείγματα εφαρμογής, που μπορούν με αναλογία να χρησιμοποιηθούν άμεσα ή έμμεσα σε όλες τις σχεδιομελέτες, όπου αντιμετωπίζονται προβλήματα στα οποία αναφέρονται.

Ακόμη και οι γνώστες τυποποιημένες μέθοδοι υπολογισμού τεχνικής αντοχής υλικών, όλων των στοιχείων μηχανών, των συσκευών διεργασιών κ.τ.λ., μπορούν με αυτό το πνεύμα να θεωρηθούν, ότι αποτελούν τους ποσοτικούς κανόνες σχεδιομελέτης, τους οποίους ακολουθεί κάποιος με διάφορες παραλλαγές και σε διάφορους κατά περίπτωση συνδυασμούς. Βέβαια ορισμένοι από αυτούς τους κανόνες αλληλεπικαλύπτονται ή ακόμη και αλληλοαντικρούονται μερικά ή ολικά. Αυτό όμως είναι το βασικό χαρακτηριστικό του σχεδιασμού γενικά και της σχεδιομελέτης ειδικότερα.

1.3 Κανόνες εκλογής υλικών

Η εκλογή υλικού για ένα στοιχείο ή ένα προϊόν γενικότερα προκαθορίζεται ουσιαστικά από τις αντίστοιχες προδιαγραφές του τεχνικού προβλήματος. Ανάλογα με το αν πρόκειται για μια νέα κατασκευή ή για την τροποποίηση μια υπάρχουσας κατασκευής, τότε οι προδιαγραφές αυτές περιλαμβάνουν είτε μονό ποιοτικούς είτε και ποσοτικούς περιορισμούς για την μηχανική αντοχή, την επιτρεπόμενη παραμόρφωση, το βάρος, το κόστος κατασκευής, την αντοχή σε φθορά ή σε διάβρωση κ.λπ.. Η άκοπη και προδιαγραφές οι οποίες οδηγούν στην αναγκαστική εκλογή μια κατηγορίας υλικών ή και αίνους υλικού και μονό.

Με την εκλογή του υλικού κατασκευής ενός στοιχείου προκαθορίζεται και ο τρόπος κατασκευής αυτού του στοιχείου, δεδομένου ότι οι μέθοδοι που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τη διαμόρφωση ή την κατεργασία ενός συγκεκριμένου υλικού, είναι προκαθορισμένες λόγω των ιδιοτήτων του και της υπάρχουσας τεχνολογίας. Σε όλα τα υλικά δεν μπορούν δηλαδή, ως γνωστόν να εφαρμοστούν όλες οι κατεργασίες διαμορφώσεων και κόπυς,



όπως της χυτεύσεως, της σφυρηλατήσεως, της ολκής, της συγκολλησεως, της διάτρησης, του φρεζαρίσματος. Διότι κάθε μια από αυτές προϋποθέτει διαφορετικές ιδιότητες των υλικών. Εκτός από τις προδιαγραφές που αναφέρονται παραπάνω και οι οποίες αφορούν την αντοχή και την κατεργασία του υλικού μια κατασκευής, μπορεί να δίνονται και προδιαγραφές, οι οποίες περιορίζουν την εκλογή υλικού λόγω προκαθορισμένης τυποποίησης, λόγω αναγκών συναρμολόγησης, λόγω εργονομίας ή και για λόγους προστασίας του περιβάλλοντος.

Επομένως, η εκλογή του υλικού κατασκευής ενός εξαρτήματος είναι πολύ καθοριστικής σημασίας για την τήρηση των τεχνικών προδιαγραφών ενός προβλήματος και τελικά για την επιτυχία της σχεδιομελέτης του.

1.4 Κανόνες αντοχής

Στους κανόνες Μηχανικής Αντοχής Υλικών εντάσσεται ουσιαστικά, ότι έχει σχέση με μηχανικές βλάβες, οι οποίες μπορούν να παρουσιάσουν στα στοιχεία μηχανών. Από αυτούς τους ποιοτικούς κανόνες προκύπτουν εξάλλου και οι ποσοτικοί κανόνες αντοχής, δηλαδή οι υπολογιστικές μέθοδοι, τις οποίες εφαρμόζει ο μηχανικός κατά την μελέτη ή τον έλεγχο της μηχανικής αντοχής μιας κατασκευής.

Οι βλάβες των στοιχείων έχουν σαν κύριο μηχανικό τους αίτιο την ανάπτυξη φορτίων. Τα μηχανικά φορτία προέρχονται κατά κανόνα από τη ροή δυνάμεων, η οποία δημιουργείται κατά την μετάδοση ισχύος. Μηχανικά φορτία μπορούν όμως να προκληθούν και από τις θερμικές διαστολές των κατασκευών.

Αυτό συμβαίνει όταν:

- Το υλικό των εξαρτημάτων μιας κατασκευής είναι μεν το ίδιο αλλά κατά τη λειτουργία αναπτύσσονται ανομοιόμορφα θερμοκρασιακά πεδία.
- Ο συντελεστής θερμικής διαστολής του υλικού των εξαρτημάτων μιας κατασκευής είναι διαφορετικός και η θερμοκρασία λειτουργίας τους είναι μεν η ίδια, αλλά διαφορετική από την θερμοκρασία παραγωγής και συναρμολόγησης τους στην συγκεκριμένη κατασκευή.



Το ανομοιόμορφο θερμοκρασιακό πεδίο λειτουργίας ή ο διαφορετικός συντελεστής θερμικής διαστολής προκαλεί την ανομοιόμορφη θερμική διαστολή των εξαρτημάτων με αποτέλεσμα την αλλοίωση των διαστάσεων παραγωγής και συναρμολόγησης των εξαρτημάτων και τον κίνδυνο να αυξηθούν ή να μειωθούν οι αρχικές συναρμογές των εξαρτημάτων.

Σε περίπτωση που τα εξαρτήματα μιας κατασκευής αποτελούνται από υλικά με διαφορετικούς συντελεστές θερμικής διαστολής και κατά τη λειτουργία διαμορφώνεται ένα ανομοιόμορφο πεδίο, τότε τα προβλήματα της διαφοροποίησης των αρχικών διαστάσεων των εξαρτημάτων γίνονται περισσότερο έντονα. [11]

1.5 Κανόνες δυναμικής μηχανών

Με την δυναμική ανάλυση των μηχανών προσδιορίζονται οι περιοδικές αδρανειακές δυνάμεις και ροπές, οι οποίες αναπτύσσονται στα εξαρτήματα των μηχανών είτε λόγω των ανομοιόμορφων κινήσεων τους είτε λόγω της μετατοπισμένης θέσης του κέντρου βάρους τους σε σχέση με τον άξονα περιστροφής ή την ευθεία κίνησης τους είτε λόγω της επιβολής εξωτερικών δυνάμεων σε αυτά. Αν αυτές οι δυνάμεις ή ροπές μεταβάλλουν ανεπιθύτητα τις προδιαγραφές λειτουργίας των μηχανών, τότε πρέπει να ληφθούν κατάλληλα κατασκευαστικά μέτρα για την εξουδετέρωση ή τον πειρασμό τους.

Τα μέτρα αυτά είναι συνήθως:

- Η αποφυγή λειτουργίας σε περιοχές συντονισμού.
- Η μεταβολή του μεγέθους ή της θέσης της μάζας των εξαρτημάτων
- Η μεταβολή της ελαστικότητας των εξαρτημάτων
- Η τοποθέτηση πρόσθετων μαζών ή ελατηρίων.
- Η απόσβεση των κινήσεων με εσωτερική τριβή των υλικών ή εξωτερική τριβή των εξαρτημάτων. [11]



1.6 Γενικοί κανόνες παραγωγής

Κατά την επίλυση της σχεδιομελέτης και ειδικότερα κατά τη διάρκεια της αρχικής επίλυσης πρέπει να παρθούν ορισμένες γενικές αποφάσεις, οι οποίες έχουν σχέση με την δεδομένη τεχνολογία παραγωγής, ώστε το τελικό προϊόν της σχεδιομελέτης να είναι άμεσα συσχετισμένο με αυτήν. Οι αποφάσεις αυτές διαμορφώνουν τη γενική κατασκευαστική τεχνική, η οποία να εφαρμόσει τόσο σε αυτό το στάδιο εργασίας όσο και κατά την λεπτομερή επίλυση των μεμονωμένων εξαρτημάτων, η οποία ακολουθεί. Να σημειώσουμε εδώ, ότι στην πλατύτερη έννοια της τεχνολογίας παραγωγής δεν περιλαμβάνεται μόνο η τεχνολογία των κατεργασιών, αλλά και η τεχνολογία της συναρμολόγησης, της μεταφοράς, της αποθήκευσης, της συσκευασίας, της λειτουργίας και της συντήρησης, όπως επίσης και η τεχνολογία των τυποποιημένων έτοιμων εξαρτημάτων ή μονάδων, που μπορούν να αποκτηθούν από την υπάρχουσα αγορά.

Είναι επομένως προφανές ότι η γενική κατασκευαστική τακτική είναι καθοριστική για την περαιτέρω εξέλιξη τόσο της σχεδιομελέτης όσο και της παραγωγής. Στην φάση της σχεδιομελέτης φαίνεται πόσο σημαντικό είναι ο σχεδιαστής μηχανικός να είναι πολύ καλός γνώστης της τεχνολογίας παραγωγής. Τηρώντας μια σωστή τακτική το προϊόν στο οποίο θα καταλήξει η σχεδιομελέτη, να μπορέσει να παραχθεί κατά τον καλύτερο και οικονομικότερο δυνατό τρόπο. Η λήψη των αποφάσεων για τον καθορισμό της κατασκευαστικής τακτικής διευκολύνεται από ορισμένους γενικούς κανόνες παραγωγής, οι οποίοι στηρίζονται στη δεδομένη τεχνολογία παραγωγής και περιλαμβάνουν συστάσεις για τη διαμόρφωση της συνολικής δομής αλλά και των μεμονωμένων εξαρτημάτων μιας κατασκευής. [12]



Κεφάλαιο2°

2.1 Πολυμερή υλικά

Τα πολυμερή, όπως για παράδειγμα τα πλαστικά, είναι χημικές ουσίες που τα μόρια τους σχηματίζουν μακριές αλυσίδες, που αποτελούνται από επαναλαμβανόμενα τμήματα. Τα τελευταία χρόνια και ιδιαίτερα μετά την δεκαετία του '80 τα πλαστικά αντικατέστησαν σε πάρα πολλές περιπτώσεις άλλα υλικά όπως ο χάλυβας, ο σίδηρος, το αλουμίνιο και άλλα. Ένα από τα πιο χαρακτηριστικά παραδείγματα αντικατάστασης υλικών με πλαστικά και σύνθετα υλικά είναι ένα νέο είδος αεροπλάνου και συγκεκριμένα Boeing 787, ονομάζεται «Dreamliner»



Εικόνα 2.1 Dreamliner το πρώτο αεροσκάφος κατασκευασμένο από πλαστικό.

Οι χαρακτηριστικές ιδιότητες των πολυμερών οφείλονται στη χημική και φυσική δομή του επαναλαμβανόμενου τμήματος των αλυσίδων. Οι δυο βασικές κατηγορίες πλαστικών υλικών παρουσιάζονται παρακάτω. [13]

2.2 Θερμοσκληραινόμενα ή θερμοστατικά (Thermo settings)

Αποτελούνται από μη γραμμικά και σχετικά μικρά μακρομόρια. Με θέρμανση ή υπό πίεση αρχικά μαλακώνουν και μορφοποιούνται, αλλά με περαιτέρω κατεργασία αποκτούν πυκνή δικτυωτή δομή και μετατρέπονται σε σκληρά στερεά κατά τρόπο μη αντιστρεπτό. Τα θερμοσκληραινόμενα πλαστικά είναι άμορφα σκληρά στερεά, άτηκτα και δεν επιδέχονται περαιτέρω κατεργασία, παράγονται δε με πολυμερισμό συμπύκνωσης.



Τυπικά θερμοσκληραινόμενα πολυμερή: Φαινολικά πολυμερή (φαινολοπλάστες ή βακελίτες), εποξυδικές ρητίνες, αμινοπλάστες, πολυεστέρες, κ.λ.π.

Θεωρούμε σημαντικό επίσης να παρουσιάσουμε στους Πίνακες 2.21 και 2.22 τις χρήσεις και τις ιδιότητες των πιο σημαντικών θερμοσκληραινόμενων.

[3]



ΣΥΜΒ	Τεχνικός χαρακτηρισμός της ομάδος τεχνητών ρητινών	Χημική δομή και είδος επεξεργασίας	Χαρακτηριστικά	Χρησιμοποίηση στην Οικοδομή
PF	Τεχνητές ρητίνες φαινόλης, φορμαλδεύδης (φαινοπλάστες)	Novolak, Resol : δυνατόν να καούν, εν μέρει διαλυτά ενδιάμεσα προϊόντα από φαινόλες και φορμαλδεύδη. Σκλήρυνση με θέρμανση και πίεση, ειδικές ρητίνες εν ψυχρώ με οξέα. Resit: σκληρυνόμενο πλαστικό φαινόλης.	Στερεές ρητίνες, διαλύτες σε οινόπνευμα εν μέρει σε νερό, δυνατόν να αραιωθούν. Ρητίνες φαινόλης - ρεσοραίνης.	Κόλλες εν θερμώ, για ανθεκτική σε επιδράσεις συγκολλητή και κόντρα-πλακέ ξυλεία. Συνδετικό μέσο για σκληρές ινώδεις και αφρώδη πλαστικά. Βασικά υλικά : νερό και κόλλες ανθεκτικές σε καιρικές μεταβολές.
			Τεχνικά ημιπροϊόντα Σκληρό χαρτί Σκληρό ύφασμα Πρεσοαριστών στρωμάτων ξύλου	Εκτός των άλλων πίνακες διακοπών και ασφαλειών (ηλεκτρικοί). Μηχανών π.χ. οδοντωτοί τροχοί, έδρανα. Πάγκοι σταδίων, κάλυψη καθισμάτων, επενδύσεις προσόψεων.
UF MF	Ρητίνες ουρίας φορμαλδεύδης μελαμίνης φορμαλδεύδης (γενικό όνομα: αμινοπλάστες)	Υδατοδιαλυτά προκαταρκτικά προϊόντα από ουρία ή μελαμίνη και φορμαλδεύδη. Σκλήρυνση υπό πίεση και θέρμανση ή χωρίς θέρμανση με χρησιμοποίηση ελαφρώς όξινων καταλυτών.	Στερεό σαν θρύψαλα ή σκόνη συχνά σε υδάτινα διαλύματα. Εισοχυτικό υλικό γομώσεως κυτταρίνης λιγότερο ανθεκτικό στο νερό τυπ. 31, καλύτερα ανθεκτικό σε υγρασία, για πιατικά με διάφορα προσθετικά υλικά. Σκληρός χάρτης με PF πυρήνα, MF με έγχρωμες διακοσμητικές πλάκες	Ψυχρές ή θερμές κόλλες ανθεκτικές σε υγρασία μέχρι νερό UF-συνδετικά μέσα για μοριοσανίδες, αφρώδη της στιγμής για θερμομονώσεις. Χρωματιστές κατασκευές για ηλεκτρικές εγκαταστάσεις, επιπλοποιία, επενδύσεις. Πλάκες για τοίχους καί έπιπλα.
UP EP	Ακόρεστοι πολυεστέρες Εποξεικές ρητίνες κ.α. χωρίς πίεση *σκληρυνόμενες ρητίνες*	UP (πολυεστέρες διαλυμένοι σε στυρόλιο + καταλύτες). EP (+ Αμινοσκληρυντές) είναι τεχνητές ρητίνες, οι οποίες μετά από ανάμειξη με ορισμένες ουσίες χωρίς πίεση εν θερμώ ή εν ψυχρώ σκληρύνονται.	Τα υγρά ή τηγμένα μείγματα πρέπει να επεξεργασθούν σε ένα ορισμένο χρονικό διάστημα με ενισχυτικά ή προσθήκες. Όταν σκληρυνθούν οι EP τότε είναι ανθεκτικότερες σε διαβρώσεις και θερμοκρασίες παρά σαν UP.	Είναι συνδετικά μέσα για τα σκυροδέματα με τεχνητές ρητίνες, για πλαστικά δάπεδα, για παρκέ διαρκείας, κόλλες για κατασκευαστικώς επιβαρυμένα μέταλλα, πετρώματα και μπετόν και σε συνδυασμό με υαλοφάνση για επενδύσεις υπο - γείων κατασκευών με τη μέθοδο του ψεκασμού.

Πίνακας 2.21 χρήσεις και ιδιότητες των πιο σημαντικών θερμοσκληρυνόμενων

GFK GF-UP GF-EP	Ενισχυμένες με υαλοϋφανση πλαστικές Τεχνητές ρητίνες (30-80% γυαλί)	Τεχνητές ρητίνες ως ανωτέρω ενισχυμένες με υαλοϋφανση - υαλοπιλήματα, υαλοπλέγματα υαλοβάμβακα.	Κατά μήκος και διαγωνίως κυματοειδείς, διαφανείς πλάκες με ίνες αλλά επίσης εξαρτήματα διαφόρου μορφής, σωλήνες, προφίλ.	Διαφανείς τοίχοι και σκεπές, φωταγωγοί κατασκευαστικά προφίλ, φαρδείς σωλήνες σιλό ζωοτροφών, δεξαμενές ελαίων θερμάνσεως.
PUR	Πολυουρεθάνη	Προπαρασκευαστικά προϊόντα Desmophene (πολυαλκοόλες) Desmodure (πολυισοκυανιούχα) αντιδρούν μεταξύ τους προς σκληρά ή ελαστικά προϊόντα	Εξαιρετική ποικιλία κατασκευής πλαστικών με εκάστοτε ειδική τεχνική επεξεργασία	Συνδετικά μέσα για επιστρώσεις πατωμάτων, ελαστικά αθλητικά όργανα, ειδικές κόλλες, σκληρά και μαλακά αφρώδη υλικά και υλικά σαν ελαστικό κόμμι.
SI	SI Σιλικόνες		Εξαιρετού αντοχής σε θερμοκρασίες, υγρασία, στερεά ειδικά προϊόντα αδιάβροχα κλπ.	Ρητίνες σιλικόνης, λακ καμινάδων, καουτσούκ σιλικόνης, ηλεκτρικής μονώσεως, στεγανώσεις αρμών. Άλατα σιλικόνης, προστατευτικά τοίχων από την υγρασία.

1. Ελαστομερή είναι μερικά PUR και SI προϊόντα καθώς και βουλκανισμένα συνθετικά καουτσούκ, όπως το πολυχλωροπρένο (CR), νιτρίλια του καουτσούκ (NBR), πολυσουλφίδια του καουτσούκ.
2. Δεν παρουσιάζονται ονόματα πρώτων υλών για φαινοπλάστες και αμινοπλάστες επειδή αυτά κυκλοφορούν υπό τεχνικές ονομασίες (τυπικές). Ιστορικά γνωστές ονομασίες είναι : οι βακελίτες ειδικώς για PF προϊόντα, το Rolloras για UF πρεσσαριστές μάζες, Meloras, Resopal ,Ultras για MF προϊόντα.

Πίνακας 2.22 χρήσεις και ιδιότητες των πιο σημαντικών θερμοσκληραινόμενων

2.3 Θερμοπλαστικά (Thermoplastics)

Θερμοπλαστικά ή πλαστομερή (thermoplastics): Αποτελούνται συνήθως από γραμμικά μακρομόρια. Με θέρμανση μαλακώνουν και μετατρέπονται σε ρευστά (χαλάρωση των μοριακών δεσμών), διατηρούν δε την κατάσταση αυτή όσο χρόνο διαρκεί η επίδραση της θερμότητας και στη συνέχεια μπορούν εύκολα να μορφοποιηθούν με άσκηση υψηλών πιέσεων. Η ακολουθούσα απόψυξη αποδίδει στερεό υλικό. Η όλη διεργασία είναι αντιστρεπτή. Τα θερμοπλαστικά διατίθενται σε υγρή ή στερεά μορφή. Είναι ευαίσθητα στη θερμοκρασία, στους διαλύτες και παράγονται με πολυμερισμό προσθήκης ή συμπύκνωσης. Τυπικά θερμοπλαστικά πολυμερή: Πολυαιθυλένιο (PE), χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC), πολυπροπυλένιο (PP), πολυστυρένιο (PS), πολυακρυλονιτρίλιο (PAN), πολυαμίδια (Nylon), φθοροπολυμερή, κ.λ.π.. Παρακάτω θα αναλύσουμε τα τρία πιο συνηθισμένα σε χρήση θερμοπλαστικά υλικά που συναντάμε στην βιομηχανία πλαστικών. Θεωρούμε σημαντικό επίσης να παρουσιάσουμε στους Πίνακες 2.31 και 2.32 τις χρήσεις και τις ιδιότητες των πιο σημαντικών θερμοπλαστικών της βιομηχανίας. [3]



Συμβολισμοί	Τεχνικός χαρακτηρισμός	Είδος επεξεργασίας	Χαρακτηριστικά	Χρησιμοποίηση στην οικοδομή
PE	Πολυαιθυλένιο		PE μαλακό $d \geq 0,92$ PE σκληρό $d \leq 0,96$ Μερικώς κρυσταλλικό. Ανάλογα προς το φαινόμενο βάρος πτυσσόμενο ή σκληρό. Ανθεκτικό σε διάβρωση και ψύχος.	Προστατευτικά έναντι καιρικών συνθηκών φυλλίδια, σωληνώσεις παροχών, αποχετεύσεις, σωληνώσεις μεγάλης διατομής, ηλεκτρικές μονώσεις (HF καλώδια αντένων).
E/VAC	Συμπολυμερισμένο αιθυλένιο	Με οξείκο βινύλιο κ.ά.	Πτυσσόμενο, μαλακό.	Στεγανοποιητικά προφίλ, στεγανοποιητικές λωρίδες οικοδομών.
PP	Πολυπροπυλένιο όμοιο με πολυβουτένιο -I (PB)		Σκληρότερο και ανθεκτικότερο σε θερμοκρασίες, λιγότερο ανθεκτικό σε ψύχος αλλιώς όμοιο με PE.	Γιά ανθεκτικά σε θέρμανση εξαρτήματα, σωλήνες αποχετεύσεως νερών οικιών, θερμάνσεις πατωμάτων δωματίων
PIB	Πολυισοβουτυλένιο		Ανάλογα με το είδος ελαστικό σε κόμμα μέχρι πλαστικό.	Λωρίδες στεγανοποίησης οικοδομικών, επικαλύψεις σκεπών, ταινίες στεγανώσεως.
TPX	Πολυμεθυλένιο πεντένιο		Διαυγές σαν γυαλί, ανθεκτικό σε έλξη.	Για εσωτερικά υαλοστάσια.
PS SB SAN ABS ASA	Πολυστυρένιο Συμπολυμερή πλαστικά	Με βουταδιένιο (B) ακρυλικό νιτρίλιο (AN ή A) με AN+ ακρυλ. εστέρα	Σκληρό διαυγές σαν γυαλί λίγο ψαθυρό. Ανθεκτικότερο σε έλξη παρά το PS. Καλά μορφοποιούμενο εν θερμώ. Αντέχει καλά σε καιρικές μεταβολές.	Αφρώδη πλαστικά για μόνωση θερμότητας (Hostapor, Styropor, Styrofoam). Περικαλύμματα προστατευτικά κράνη, τμήματα εξαρτημάτων, ΗΤ-σωλήνες αποχετεύσεως.
PVC PVDC	Χλωριούχο πολυβινύλιο Διχλωριούχο πολυβινύλιο	 Υψηλότερη περιεκτικ. χλωρίου	 Σκληρό, αντοχής σε διάβρωση, καλή μορφοποίηση εν θερμώ και συγκολλητό. Όμοιο με PVC	 Είναι το σπουδαιότερο υλικό σωλήνων παροχών, επίσης για εφαρμογές εκτός άλλων σχημάτων κατασκευή βрусών, προφίλ περσιδων. Αποχετεύσεις χημείου και σωλήνες οχετών.
PVC	Polyblends Αυξάνει την αντοχή σε κρούση	Με προσθήκες που το κάνουν ελαστικότερο	Ανθεκτικότερο σε έλξη και κρούση παρά PVC, επίσης στη περιοχή χαμηλών θερμοκρασιών.	Παράθυρα, επικαλύψεις προσόψεων, φωτεινές πλάκες, κυματοειδή φύλλα, υδρορροές, φυλλίδια επικαλύψεων επίπλων.

Πίνακας 2.31 Χρήσεις και ιδιότητες των πιο σημαντικών θερμοπλαστικών

PVC μαλακό	Χλωριούχο πολυβινύλιο μαλακό	PVC + πλαστικοποιητικές ουσίες	Αναλόγως προς την ποιότητα των πλαστικοποιητικών ουσιών: σε είδος δέρματος ή μαλακού κόμμεος.	Κάλυψη ηλεκτρικών αγωγών, επίπλων, δομικών προφίλ, κλπ.
PVF	Φθοριούχο πολυβινύλιο		Αντοχή σε διάβρωση και καιρικές μεταβολές.	Λεπτά φύλλα για επενδύσεις εξωτερικών τοίχων και σκεπών.
PTFE	Πολυτετραφθοριούχο αιθυλένιο		Εξαιρετικής αντοχής σε διάβρωση και σε θερμοκρασίες.	Φυλλίδια ολισθήσεως εδράνων για προκατασκευασμένα τμήματα μπετόν π.χ. στο σύστημα ρυθμικής ωθήσεως στη κατασκευή γεφυρών.
PVAC	Οξείκό πολυβινύλιο		Διαυγές σαν γυαλί, σχηματίζει εύπλαστες μεμβράνες (φίλμ).	PVAC κ.α. συμπολυμερισμένα πλαστικά, βασική ύλη για κόλλες και μέσα επιχρώσεως ως επί το πλείστον σαν υδατίνες διασπορές
PMMA	Πολυ-μεθυλμετακρυλικό (ακρυλικό γυαλί)		Σκληρό, λαμπερό, διαφανές σαν γυαλί. Το χυτό μετασχηματίζεται μόνο εν θερμώ.	Διαφανείς τοίχοι, φωταγωγοί, επικαλύψεις προσώπων, φωτεινών σωμάτων, πρώτη ύλη προστασίας επιφανειών, υαλοπίνακες
POM	Πολυοξυμεθυλένιο και συγγενή πολυοξείκα		Τελείως κρυσταλλικό, αντοχής σε εφελκυσμό, κερατοειδές μέχρι σκληρό, σταθερό σε θέρμανση.	Αυτά και άλλα πλαστικά είναι "δομικά πλαστικά" για εξοπλισμούς οικοδομών, εξαρτήματα μηχανών πχ Πολυφαινολοξειδίου Noryl, PPO
PA	Πολυαμίδια			
PETP PBTP	Πολυτερεφθαλικά E= αιθυλένιο B= βουτυλένιο		Ανθεκτικά στη φωτιά λεπτά φυλλίδια	Φυλλίδια για λωρίδες στεγανοποίησης οικοδομών - Τεχνικά εξαρτήματα.
PC	Πολυανθρακικά		Διαυγές ως γυαλί, ανθεκτικό σε φωτιά και κάμψη	Λάμπες των δρόμων Αθραυστα υαλοστάσια.
CA CAB CAP	Εστέρες της κυτταρίνης: Οξείκης κυτταρίνης Οξείκόβουτυρικής κυττ. Οξείκοπροπιονικής κυττ.	Εστεροποίηση φυσικής κυτταρίνης από Ξύλο ή βαμβάκι	Διαυγές ως γυαλί, αντοχής σε εφελκυσμό διαφόρων ειδών σκληρότητας.	Διαφόρων σχημάτων εξαρτήματα για επιστρώσεις κτιρίων ή επίπλων. CAB επίσης για σωλήνες, διαφανείς τοίχους και φωταγωγούς.
MC CMC	Αιθέρες της κυτταρίνης μεθυλική κυτταρίνη καρβοξυλική-μεθυλική κυτταρίνη	Σχηματισμός αιθέρων κυτταρίνης	Υδατοδιαλυτά συνδετικά μέσα.	Κόλλες ταπετσαρίας, κόλλα ζωγράφων εσωτερικά κονιάματα

Πίνακας 2.32 Χρήσεις και ιδιότητες των πιο σημαντικών θερμοπλαστικών.

2.3.1 Πολυπροπυλένιο

Είναι ένα υλικό δύσκαμπτο και ημικρυσταλλικής φύσης. Έχει υψηλή θερμοκρασία στρέβλωσης. Αντέχει σε μεγάλες θλιπτικές πιέσεις και παρουσιάζει σκληρότητα επιφάνειας σε συνθήκες περιβάλλοντος. Επειδή είναι ανθεκτικό σε υψηλές θερμοκρασίες είναι κατάλληλο για την κατασκευή υλικών όπως δίσκοι, μπουκάλια, κάδοι, δοχεία ιατρικής χρήσης, τα οποία απαιτείται να αποστειρώνονται συχνά χωρίς να προκαλούνται αλλοιώσεις στη σύστασή τους. Παρόλο που το προπυλένιο παρουσιάζει καλές ιδιότητες ροής και αλλοιώσεις σε αρκετά υψηλές θερμοκρασίες, είναι ένα εύθραυστο υλικό με μικρή ελαστικότητα και θερμό-οξειδώνεται. [15]

Ιδιότητες Πολυπροπυλενίου (PP)

Properties	Value	Unit
Melting point	439 (166)	K (°C)
Density	0.905	g/cm ³
Crystallizations temperature	382 (109)	K (°C)
Specific volume	1.31-1.32	g/cm ³
Glass transition temperature	-17	°C
Processing temperature	200-230	°C
Degradation temperature (max)	479	°C



2.3.2 Πολυαιθυλένιο

Το πολυαιθυλένιο είναι κατάλληλο για την παραγωγή προϊόντων μέσω των διαδικασιών εξώθησης, έγχυσης και θερμοδιαμόρφωσης. Είναι δύσκαμπτο υλικό με πολύ καλές χημικές και ηλεκτρικές ιδιότητες. Είναι αδιάβροχο και λιώνει σε θερμοκρασία 110 °C. Σε συνθήκες περιβάλλοντος δημιουργούνται ρηγματώσεις στο υλικό και σε χαμηλές θερμοκρασίες χάνει την ολκιμότητα του.

Το πολυαιθυλένιο χαμηλής πυκνότητας είναι ένα μαλακό, εύκαμπτο και άθραυστο υλικό στο οποίο δεν δημιουργούνται ρηγματώσεις σε συνθήκες περιβάλλοντος. Όμως σε θερμοκρασίες άνω των 50 °C αρχίζει και διασπάται σε υδρογονάνθρακες, χλωριωμένους υδρογονάνθρακες, υψηλού αλειφατικούς εστέρες και αλειφατικές κετόνες.

Το πολυαιθυλένιο υψηλής πυκνότητας έχει καλές χημικές ιδιότητες και δεν είναι διαπερατό από αέρια και υγρά αλλά είναι δύσκολο στην επεξεργασία.

Ιδιότητες Πολυαιθυλενίου (PE)

Properties	Value	Unit
Melting temperature	110	(°C)
Specific gravity	0.92-0.94	-
Service temperature	55-70	(°C)
Specific volume	1.295	g/cm ³
Transition temperature	105	°C
Processing temperature	205-260	°C



2.3.3 Πολυστερίνη

Η πολυστερίνη είναι ένα εύκολα επεξεργαζόμενο υλικό με σχετικά χαμηλή πυκνότητα, διαφανές και κατάλληλο για προϊόντα με λεπτά τοιχώματα. Επιπλέον η πολυστερίνη έχει πολύ καλή διασταλτική σταθερότητα και δεν παρουσιάζει αλλοίωση στο χρόνο. Υπάρχουν διάφορα είδη πολυστερίνης όπως διογκωμένη, η εξηλασμένη (κατάλληλες για μονωτικά υλικά) η general purpose polystyrene και η high impact polystyrene. [5]

Ιδιότητες Πολυστερίνης

Properties	Value	Unit
Melting temperature	210-220	(°C)
Specific gravity	1.05	(°C)
Glass transition temperature	98	(°C)
Specific volume	1.02-1,04	g/c m ³
Transition temperature	27	°C
Processing temperature	200-230	°C

2.4 Ανακύκλωση πλαστικών

Τα πλαστικά μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν ή ανακυκλωθούν με ποικίλους τρόπους. Επιπλέον καθίσταται δυνατή η ανάκτηση ενέργειας από την αποτέφρωση των πλαστικών που δεν ανακυκλώνονται οικονομικώς. Οστού υπάρχουν υλικά που δεν αποτεφρώνονται απροβλημάτιστα όπως αυτά που περιέχουν χλώριο (PVC) ή φθόριο (PTFE). Η αποτέφρωση των υλικών αυτών εκλύει δηλητηρίαση αέρια.



Οι οικολογικές οργανώσεις έχουν επικεντρωθεί στο θέμα των πλαστικών απόβλητων. Το πρόβλημα των πλαστικών απόβλητων είναι άρρηκτα συνδεδεμένο με τις παρακάτω παραμέτρους:

- Τα πλαστικά απόβλητα καταλαμβάνουν μεγάλο όγκο σε σχέση με το βάρος τους. Είναι δύσκολο να συμπυκνούνται και επομένως απαιτούν μεγάλες εκτάσεις στους χώρους απόθεσης απορριμμάτων.
- Τα πλαστικά εν γένει δεν αλλοιώνονται εύκολα με αποτέλεσμα να μην εισέρχονται στο βιολογικό κύκλο της αποσύνθεσης και αναγέννησης.
- Ορισμένα πλαστικά περιέχουν συστατικά όπως χλώριο και φθόριο που αναφέραμε πιο πάνω κάνει αδύνατη την αποτέφρωση τους.
- Τα πλαστικά απόβλητα συνήθως δεν ανακυκλώνονται απευθείας γιατί απαντάται σε μια σύνθετη και πεπλεγμένη κατάσταση. Για το λόγο αυτό, οι εταιρείες καθαριότητας δεν έχουν άλλη επιλογή παρά να αποτεφρώνουν ή να θάβουν τα πλαστικά απόβλητα στους χώρους απόθεσης απορριμμάτων.

Όλα αυτά τα προβλήματα θα ήταν ανεπαίσθητα αν ήταν εφικτή η μείωση των πλαστικών απόβλητων και η αποτελεσματικότερη χρήση τους. Αν τα πλαστικά ήταν εκμεταλλεύσιμα ως αξιόλογο υλικό μετά την αρχική τους χρήση, παρά να παραμένουν άχρηστα στους χώρους απόθεσης απορριμμάτων ή να αποδίδουν μονό την περιεχομένη ενέργεια τους μέσω αποτέφρωσης. Θα ήταν ένα επιπλέον πλεονέκτημα. [7]



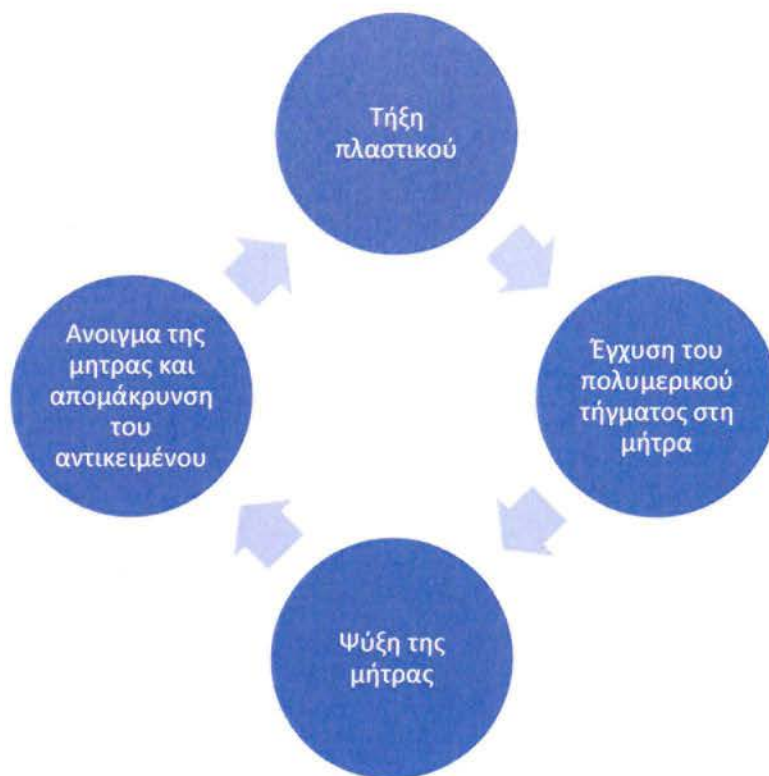
3.1 Χύτευση με έγχυση

Η διεργασία χύτευσης με έγχυση πολυμερικών τηγμάτων χρησιμοποιείται στη βιομηχανία πλαστικών για την παραγωγή παντός είδους αντικειμένων που παλαιότερα γίνονταν με μέταλλα. Η διεργασία είναι επομένως από τις πιο κοινές στη μορφοποίηση πλαστικών. Αντικείμενα που παράγονται με έγχυση σε μήτρες χύτευσης (καλούπια) συμπεριλαμβάνουν από συνδετήρες χαρτιών μέχρι προφυλακτήρες αυτοκινήτων, και από κύπελλα καφέ μέχρι περιβλήματα ηλεκτρονικών υπολογιστών. Λόγω της τρομερής ευχρηστίας, ευελιξίας, και ολικού βιομηχανικού όγκου πλαστικών που παράγονται με τη διεργασία αυτή, αποτελεί μια από τις πιο σημαντικές διεργασίες μορφοποίησης πλαστικών που υπάρχουν σήμερα.

Αναφορικά με τα βασικά στάδια της διεργασίας, η χύτευση με έγχυση μπορεί να παρουσιαστεί σχηματικά όπως φαίνεται στο Σχήμα 3.11. Το πολυμερικό στερεό υλικό τήκεται, και το πολυμερικό τήγμα μεταφέρεται στη μήτρα, όπου εγχέεται κάτω από υψηλή πίεση. Η μήτρα ψύχεται για τη στερεοποίηση του προϊόντος, κατόπιν ανοίγει, και το τελειωμένο πλαστικό αντικείμενο εκβάλλεται. Η μήτρα κλείνει και ο κύκλος επαναλαμβάνεται

Στο παρακάτω σχήμα απεικονίζονται τα βασικά στάδια της διεργασίας χύτευσης με έγχυση.[1]





Σχήμα 3.11 κύκλος χύτευσης

3.2 Τρόποι κατεργασιών έγχυσης

Τα τελευταία χρόνια έχει γίνει μεγάλη προσπάθεια για την ανάπτυξη κατεργασιών έγχυσης που αφορούν σύνθετα εξαρτήματα με ειδικά χαρακτηριστικά σχεδιασμού και ιδιοτήτων με αποτέλεσμα να προκύψουν αρκετές εναλλακτικές κατεργασίες έγχυσης, που δίνουν την δυνατότητα για την παραγωγή περισσότερων πολύπλοκων εξαρτημάτων. Μερικές από αυτές είναι:

- Κατεργασία έγχυσης με εύτηκτο πυρήνα (fusible core injection molding)
- Κατεργασία έγχυσης με τη βοήθεια αερίου (gas-assisted injection molding)
- Κατεργασία 'συν-έγχυσης' (co - injection molding)
- Κατεργασία έγχυσης - συμπίεσης (injection - compression molding)
- Κατεργασία έγχυσης με πορώδη δομή (structural foam injection molding)



- Κατεργασία έγχυσης τροφοδοσίας με ανάδευση (live-feed injection molding)
- Κατεργασία μικροστρωματικής (microlayer) έγχυσης (lamellar injection molding)
- Κατεργασία έγχυσης χαμηλής πίεσης (low pressure injection molding)
- Κατεργασία διπλής έγχυσης (push-pull injection molding)

3.2.1 Κατεργασία έγχυσης με εύτηκτο πυρήνα (fusible core injection molding)

Είναι ένα είδος κατεργασίας έγχυσης που επιτρέπει τη παραγωγή κοίλων εξαρτημάτων με πολύπλοκη εσωτερική γεωμετρία. Βασίζεται στην τοποθέτηση εσωτερικά του τεμαχίου ενός πυρήνα, ο οποίος μετά το τέλος της κατεργασίας τήκεται φυσικά (ή διαλύεται χημικά), με αποτέλεσμα να αποτυπωθεί η εξωτερική του μορφή στην εσωτερική επιφάνεια του εξαρτήματος.

3.2.2 Κατεργασία έγχυσης με τη βοήθεια αερίου (gas - assisted injection molding)

Η κατεργασία έγχυσης με τη βοήθεια αερίου έχει να κάνει με την καλύτερη δυνατή πλήρωση της κοιλότητας του καλουπιού. Μετά την μερική ή πλήρη έγχυσης του πλαστικού τήγματος στην κοιλότητα του καλουπιού, εγχέεται αέριο υπό πίεση για να βοηθήσει την πλήρη του καλουπιού. Η συγκεκριμένη κατεργασία χρησιμοποιείται για την κατασκευή εξαρτημάτων ελαφρών και άκαμπτων καθώς και για εξαρτήματα τα οποία είναι τύπου σωλήνα.

3.2.3 Κατεργασία 'συν-έγχυσης' (co- injection molding)

Πρόκειται για ένα είδος κατεργασίας έγχυσης δυο διαφορετικών τηγμάτων πολυμερούς σε μια κοιλότητα. Με τον τρόπο αυτό δημιουργούνται εξαρτήματα με διαστρωματικά τοιχώματα. Έτσι μπορεί να υπάρξει ευελιξία όσον αφορά τις επιθυμητές ιδιότητες του τελικού προϊόντος.

3.2.4 Κατεργασία έγχυσης - συμπίεσης (injection - compression molding)

Η κατεργασία αυτή είναι παρόμοιο με την συμβατή έγχυσης, με την διάφορα ότι εδώ γίνεται η είσοδος του τήγματος ενώ τα δυο μέρη του καλουπιού δεν είναι τελείως κλειστά. Στην συνέχεια το καλούπι κλίνει με αποτέλεσμα να



επιτυγχάνεται και η συμπίεση του τήγματος. Με την κατεργασία έγχυσης – συμπίεσης παράγονται εξαρτήματα σχετικά απαλλαγμένα από παραμένουσες τάσεις, ενώ απαιτείται και μικρότερη δύναμη σύσφιξης.

3.2.5 Κατεργασία έγχυσης με πορώδη δομή (structural foam injection molding)

Τα εξαρτήματα που παράγονται με την μέθοδο αυτή, έχουν εξωτερικές επιφάνειες οι οποίες παρουσιάζονται κάποιες σκληρότητες ενώ η εσωτερική τους δομή είναι κυψελοειδής. Εξαρτήματα με τέτοια δομή είναι ικανά να δεχτούν καμπτικά φορτία.

3.2.6 Κατεργασία έγχυσης τροφοδοσίας με ανάδευση (live - feed injection molding)

Η κατεργασία αυτή συνίσταται στην δημιουργία μεταβαλλόμενης πίεσης η οποία προκαλεί ταλάντωση του τήγματος. Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να διατηρείται το υλικό στις πύλες σε κατάσταση τήξης. Η μεταβολή της πίεσης γίνεται σε διάφορες εισόδους τους πολυμερούς με την βοήθεια μικρών εμβόλων που τοποθετούνται στο καλούπι. Τα εξαρτήματα που παράγονται με την μέθοδο αυτή είναι πολύ καλής ποιότητας χωρίς γραμμές συγκόλλησης ή εξωτερικά βυθίσματα.

3.2.7 Κατεργασία μικροστρωματικής (microlayer) έγχυσης (lamellar injection molding)

Η κατεργασία αυτή γίνεται με ένα σύστημα τροφοδοσίας της μηχανής το οποίο αποτελείται από δυο κυλίνδρους και πολλαπλασιαστές στρωμάτων για τον συνδυασμό των ρευμάτων του τήγματος. Με την κατεργασία αυτή παράγονται εξαρτήματα με πολλαπλές ρητίνες σε χωριστά μικροστρώματα. Αυτό οδηγεί σε πολύ καλές ιδιότητες του παραγόμενου εξαρτήματος (θερμική αντίσταση, οπτική καθαρότητα και σταθερές τελικές διαστάσεις)

3.2.8 Κατεργασία έγχυσης χαμηλής πίεσης (low pressure injection molding)

Είναι παρόμοιο με την συμβατική έγχυσης με την διάφορα ότι αλλάζουν οι συνθήκες με τις οποίες γίνεται η έγχυση. Υπάρχει χαμηλή πίεση έγχυσης ενώ οι πύλες έχουν μεγαλύτερο μέγεθος ή είναι πολλές σε αριθμό, έτσι ώστε να μειωθεί το μήκος ροής. Με την κατεργασία έγχυσης χαμηλής πίεσης απαιτείται χαμηλότερη δύναμη σύσφιξης ενώ τα παραγόμενα εξαρτήματα έχουν μικρές παραμένουσες τάσεις.



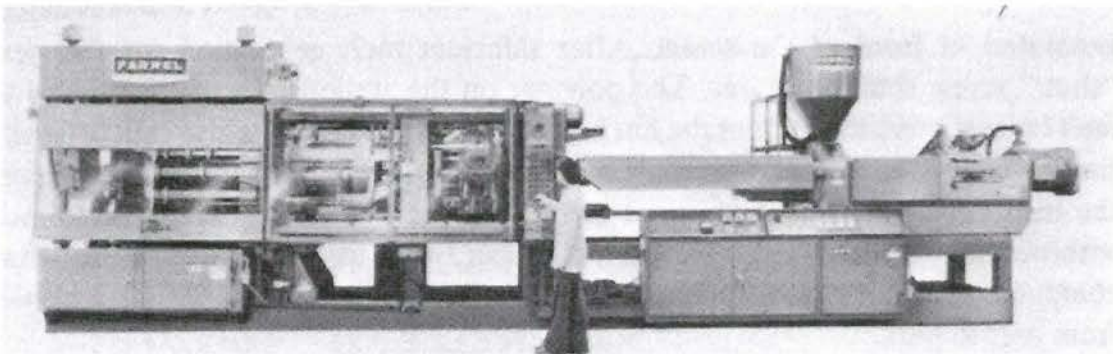
3.2.9 Κατεργασία διπλής έγχυσης (push - pull injection molding)

Με την μέθοδο αυτή έχουμε δυο κανάλια τροφοδοσίας τα οποία τροφοδοτούν την κοιλότητα του καλουπιού σε δυο αντί διαμετρικά αντίθετα μεταξύ τους θέσεις. Το ένα κανάλι τροφοδοσίας είναι το κύριο και το άλλο το δευτερεύον. Αντίστοιχα τα δυο κανάλια τροφοδοσίας δέχονται τηγμένο υλικό από δυο διαφορετικούς κοχλίες της μηχανής τον κύριο και τον δευτερεύον. Έτσι η πλήρωση της κοιλότητας γίνεται κατά στρώματα και με τέτοια γωνία ώστε να αποφεύγονται οι γραμμέςσυγκόλλησης.[8]

3.3 Περιγραφή της μηχανής έγχυσης

Η πιο απλή μηχανή έγχυσης είναι **τύπου εμβόλου (ram ή plunger)**, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.31

Το πλαστικό απλά ωθείται προς τα εμπρός από το έμβολο μέσα στη θερμαινόμενη περιοχή. Επειδή το υψηλό ιξώδες του πολυμερούς εμποδίζει τη μεταφορά θερμότητας με συναγωγή, είναι απαραίτητο να απλωθεί το πολυμερικό τήγμα σε ένα λεπτό στρώμα για να έρθει σε επαφή με τις θερμαινόμενες επιφάνειες.



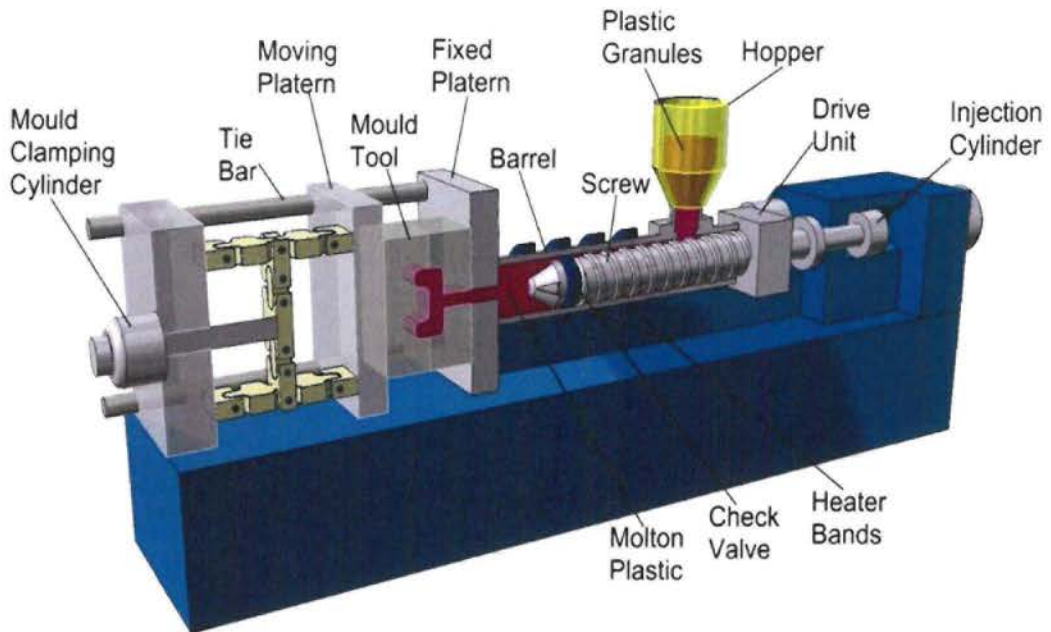
Εικόνα 3.31 Μηχανή χύτευσης με έγχυση.

Από τους πιο κοινούς πλωτήρες είναι ο τύπος «τορπίλης», που φαίνεται στο παραπάνω σχήμα, ο οποίος απλά τροφοδοτεί το υλικό κυκλικά μέσα από δακτύλιο. Μετά την τήξη, το υλικό συγκλίνει και ρέει μέσα από ακούσιο που το οδηγεί στη μήτρα έγχυσης.

Όπως αναφέραμε και παραπάνω στις μέρες μας χρησιμοποιείται σε μεγάλο ποσοστό η μηχανή **τύπου παλινδρομούντος κοχλία (recipro catings crew)**, όπως φαίνεται στην Εικόνα 3.32 . Στο σύστημα αυτό η λειτουργία του κοχλία είναι κυρίως να τήξει και να αναμιξει το υλικό της τροφοδοσίας. Για την



έγχυση ολόκληρος ο κοχλίας κινείται προς τα εμπρός, ενώ ειδική βαλβίδα δεν επιτρέπει ροή προς τα πίσω.



Εικόνα 3.32: Πλήρης εσωτερική διάταξη μηχανής χύτευσης με έγχυση τύπου παλινδρομούντος κοχλία.

Ο μηχανές χύτευσης είναι αρκετά πολύπλοκες, όπως φαίνεται στην εικόνα 3.32. Ο μηχανικός σχεδιασμός τους, που συμπεριλαμβάνει τη σύσφιξη της μήτρας (clamping), την απελευθέρωση του πολυμερούς, και την εκβολή και αποτίναξη (ejection) του τελειωμένου στερεοποιημένου αντικειμένου.[2]

3.4 Περιγραφή των επιμέρους λειτουργιών της μηχανής έγχυσης

Η μηχανή έγχυσης πλαστικού υλικού είναι μια σύνθετη μηχανή όπως αναφέραμε και πιο πάνω. Παρόλα αυτά μπορούμε να την αναλύσουμε σε τέσσερις επιμέρους κύριες μονάδες.

- Έγχυσης
- Σύσφιξης
- Οδήγησης
- Έλεγχου



Αυτές οι κύριες μονάδες είναι υπεύθυνες για ολόκληρη την κατεργασία, από την τήξη των πλαστικών κόκκων υλικού, μέχρι την παραγωγή του τελικού εξαρτήματος. Η λειτουργία της μηχανής συνίσταται από περιοδικά επαναλαμβανόμενες φάσεις.

Αρχικά γίνεται η έγχυση του υλικού εντός του κλειστού καλουπιού, το οποίο δέχεται υψηλές δυνάμεις σύσφιγξης από την μονάδα σύσφιγξης, έτσι ώστε να είναι αδύνατη η διαφυγή του τηγμένου υλικού από την κοιλότητα ή τις κοιλοότητες. Το τήγμα εγχέεται εντός των κοιλοτήτων από την μονάδα έγχυσης μέσω ενός παλινδρομικού κοχλία. Η σύνδεση της μονάδας έγχυσης και του καλουπιού πρέπει να είναι δυνατή, έτσι ώστε να μην διαφεύγει τηγμένο υλικό. Εξαιτίας των μεγάλων διαφορών θερμοκρασίας που υπάρχει μεταξύ της μονάδας έγχυσης και του καλουπιού, η σύνδεση τους πολλές φορές διατηρείται όσο είναι αναγκαίο δηλαδή τόσο ώστε το τήγμα να εξακολουθεί να έχει την ικανότητα να ρέει και να μην στερεοποιείται στην είσοδο του καλουπιού. Μετά την έγχυση ακολουθεί η στερεοποίηση του υλικού εντός της κοιλότητας. Αυτό οδηγεί σε μια μικρή ή μεγάλη συστολή του όγκου του υλικού και η οποία αντισταθμίζεται τις περισσότερες φορές με την συμπλήρωση πρόσθετου υλικού. Για τον λόγο αυτό η πίεση στο τήγμα πρέπει να διατηρείται μέχρι την ολοκλήρωση της στερεοποίησης.

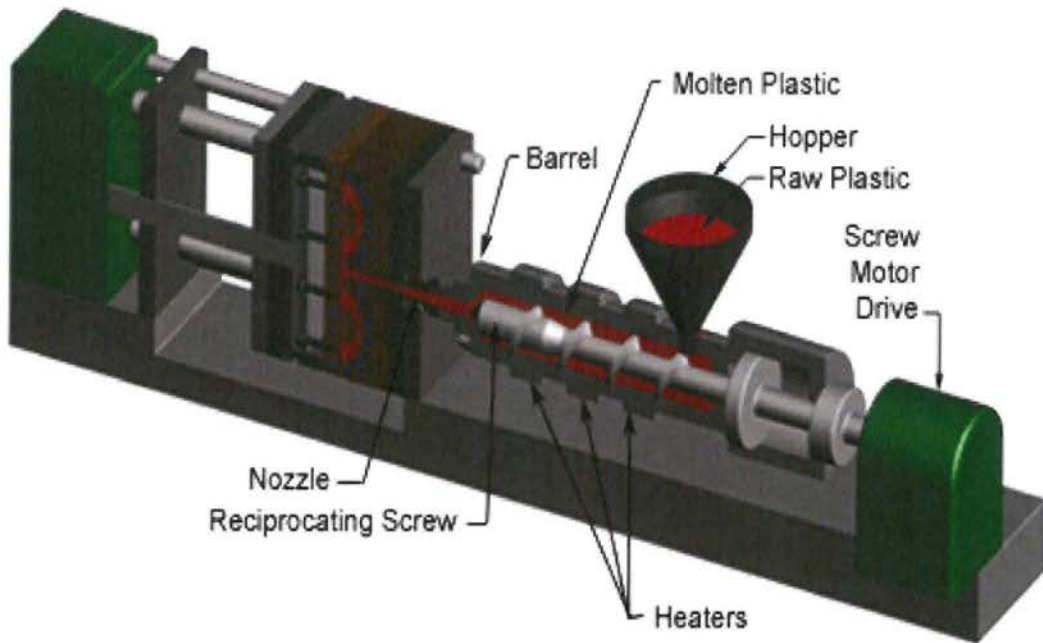
Όσο διαρκεί η στερεοποίηση η μονάδα έγχυσης κάνει αναρρόφηση πρωτογενούς πλαστικού υλικού (σε μορφή κόκκων), έτσι ώστε να αρχίσει η τήξη του. Μόλις ολοκληρωθεί η στερεοποίηση του υλικού το καλούπι ανοίγει, μέσω της μονάδας ελέγχου και γίνεται η απομάκρυνση του παραγόμενου εξαρτήματος και τελειώνει ο κύκλος της μηχανής.

Στην συνέχεια το καλούπι κλίνει και ξεκάνει πάλι η φάση της έγχυσης μαζί με τις άλλες φάσεις που περιγράφηκαν παραπάνω.

3.4.1 Μονάδα έγχυσης

Η μονάδα έγχυσης εφαρμόζει τις λειτουργίες της εισαγωγής του πρωτογενούς υλικού σε μορφή κόκκων (free-flowing pellets) της θέρμανσης του μέχρι την θερμοκρασία τήξης του, στην συνέχεια την έγχυσης του μέσα στην κοιλότητα μορφής του καλουπιού και την διατήρηση του εκεί κάτω από πίεση (holding pressure). Οι κυριότερες συνιστώσες της μονάδας έγχυσης φαίνονται στην παρακάτω Εικόνα 3.4.11





Εικόνα 3.4.11 Κυριότερες συνιστώσες της μονάδας έγχυσης.

Οι σπουδαιότερες λειτουργίες της είναι:

- Η μετακίνηση του ακροφυσίου ροής (nozzle) στο σύστημα τροφοδοσίας (sprue bushing) του καλουπιού ή απομάκρυνση του.
- Η δημιουργία πίεσης στο σημείο επαφής του ακροφυσίου με το σύστημα τροφοδοσίας του καλουπιού.
- Η περιστροφή του κοχλία κατά την διάρκεια της τροφοδοσίας
- Την αξονική κίνηση του κοχλία κατά την διάρκεια της τροφοδοσίας
- Την δημιουργία πίεσης συγκράτησης.

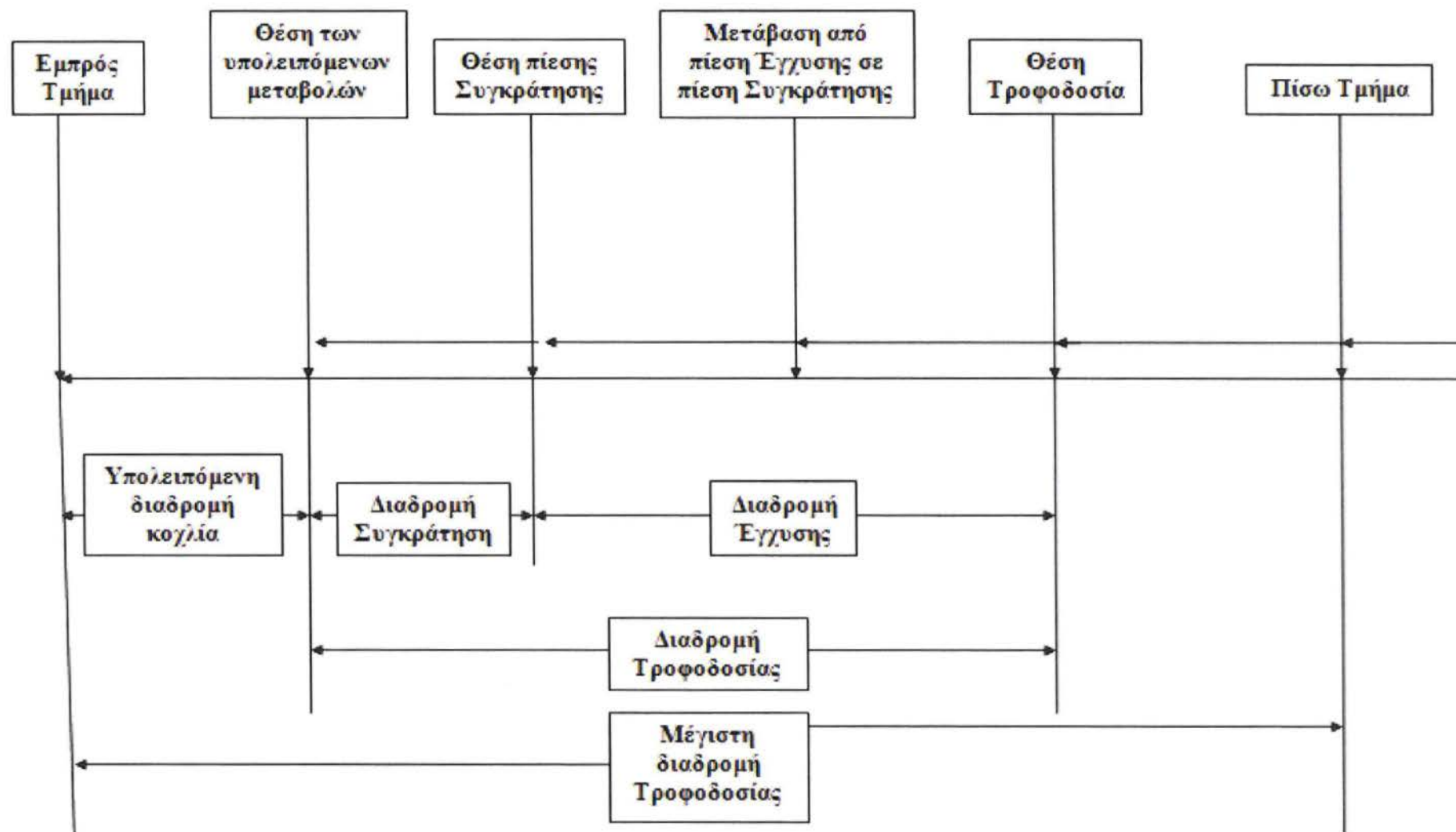


Οι αποστάσεις μετακίνησης και οι αντίστοιχες θέσεις του κοχλία που σχετίζονται με τις παραπάνω λειτουργίες φαίνονται στο παρακάτω διάγραμμα. Έκτος από αυτές τις απαραίτητες λειτουργίες, πολλές μηχανές εφοδιάζονται με τις ακόλουθες συνιστώσες:

- Μηχανισμός για την υδραυλική σύσπαση μη περιστρεφόμενου κοχλία
- Ταυτόχρονη αξονική και περιστροφική κίνηση του κοχλία για έγχυσης με περιστρεφόμενο κοχλία
- Έλεγχο των μεταβλητών μετατόπισης , ταχύτητας , περιστροφικής ταχύτητας και πίεσης
- Εύκολη συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγηση με περιστρεφόμενο πλαίσιο για την γρήγορη αλλαγή κοχλιών.
- Αυτόματη αλλαγή όλων των μονάδων πλαστικοποίησης για την τροποποίηση του υλικού κατεργασίας.



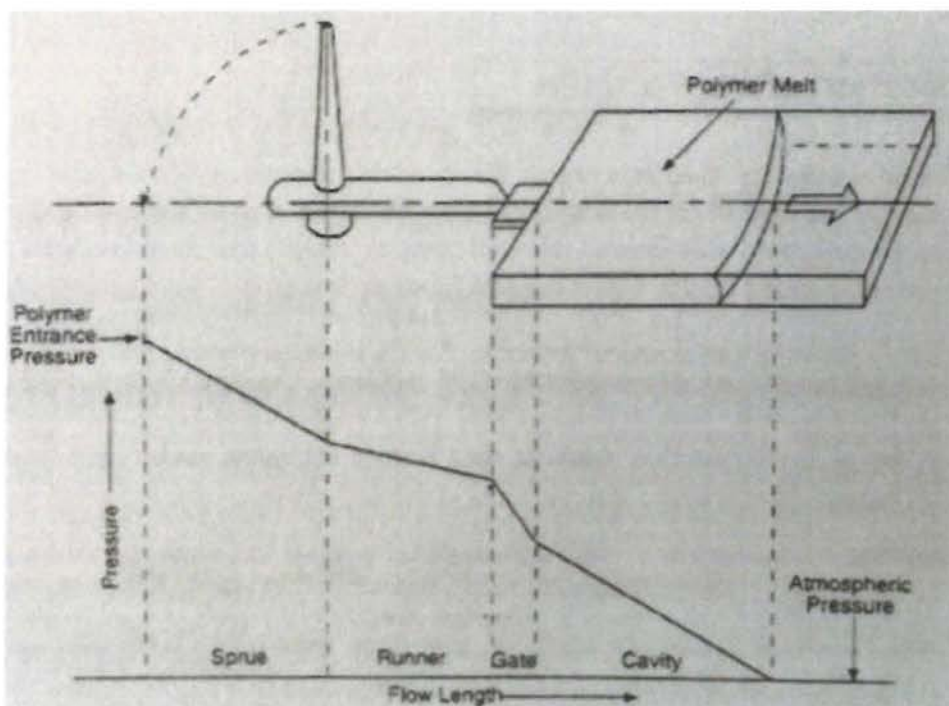
Διάγραμμα θέσεων και διαδρομών του κοιλία κατά την διάρκεια ενός κύκλου



3.4.2 Πίεση έγχυσης

Η πίεση έγχυσης είναι μια από τις πιο σημαντικές λειτουργικές παραμέτρους σε μια μονάδα έγχυσης. Αυτή είναι η πίεση που ασκείται στο τήγμα στην άκρη του ακροφυσίου στην φάση της έγχυσης, με την λειτουργία του κοχλία σαν έμβολο. Δεν υπάρχουν ακριβείς πληροφορίες σχετικά με το πραγματικό της μέγεθος κατά την διάρκεια της έγχυσης. Γι αυτό αναφερόμαστε στην αντίστοιχη πίεση που υπάρχει στο κύλινδρο του υδραυλικού συστήματος της μηχανής.

Η πίεση έγχυσης γενικά ανυψώνεται μέσα σε μικρό διάστημα από την τιμή της ατμοσφαιρικής σε μια υψηλή τιμή, που αντιστοιχεί στην αντίσταση ροής του τήγματος στο ακροφύσιο ροής, στα κανάλια τροφοδοσίας του καλουπιού και στην κοιλότητα. Η υψηλή αντίσταση ροής στο ακροφύσιο και στα κανάλια τροφοδοσίας του καλουπιού (δρομείς) δημιουργεί υψηλή πίεση, κάνοντας δύσκολη την αναγνώριση της έναρξης της φάσης της συμπίεσης, μετά το γέμισμα της κοιλότητας. Στο παρακάτω διάγραμμα 3.4.21 παρουσιάζεται η μεταβολή της πίεσης P σε σχέση με την διαδικασία πλήρωσης και την κοιλότητα.



Διάγραμμα 3.4.21 Μεταβολή πίεσης σε σχέση P σε σχέση με την διαδικασία πλήρωσης και την κοιλότητα



Διαφορετικά η έναρξη της φάσης της συμπίεσης μπορεί να παρατηρηθεί αν η αντίσταση ροής στο ακροφύσιο και στα κανάλια τροφοδοσίας του καλουπιού (δρομείς) είναι χαμηλή και ξαφνικά αυξηθεί από την πίεση έγχυσης σε μια πολύ υψηλότερη πίεση συμπίεσης (holding pressure) και η οποία λαμβάνει χώρο μετά την διαδικασία της έγχυσης.

Όπως αναφέρθηκε και προηγούμενος η μόνη ένδειξη για την τιμή της πίεσης έγχυσης είναι από την πίεση στον κύλινδρο του υδραυλικού κυκλώματος. Ωστόσο σήμερα υπάρχει η δυνατότητα να έχουμε άμεση ένδειξη για την πίεση έγχυσης από το καλούπι. Μπορεί να χρησιμοποιηθεί σαν μεταβλητή εισόδου όταν η λειτουργία του καλουπιού παρακολουθείται μέσω αυτόματου έλεγχου.

Η διαδικασία έγχυσης του θερμοπλαστικού υλικού είναι η κύρια φάση για μια μηχανή Injection. Η δύναμη του υδραυλικού εμβόλου καθώς και η αναλογία μεταξύ εμβόλου και ενεργής διατομής του κοχλία σχεδιάζεται για μια ελάχιστη πίεση έγχυσης της τάξεως των 150 MPa που απαιτείται για θερμοπλαστικά, χωρίς να υπερβαίνεται η μέγιστη στη πίεση της μονάδας οδήγησης (απαιτούμενη μέγιστη πίεση της μονάδας οδήγησης 180-200 MPa). Οι πιο συνηθισμένες τιμές της πίεσης έγχυσης είναι μεταξύ 15 και 80 MPa. Κάθε μηχανή έγχυσης παρέχεται μαζί με τρία σετ κοχλιών. Η επιλογή των κοχλιών γίνεται έτσι ώστε να είναι δυνατό να ανταπεξέλθουν στις τιμές πιέσεων έγχυσης που απαιτεί το υλικό που χρησιμοποιείται κάθε φορά σύμφωνα με τον Πίνακα 3.4.22.



Πίνακας 3.4.22 πιέσεων ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται

Material	Necessary injection pressure (MPa)		
	Easy flow material, heavy sections	Medium flow material Standard sections	High viscosity material Thin sections, small gates
ABS	80-110	100-130	130-150
POM	85-100	100-120	120-150
PE	70-100	100-120	120-150
PA	90-110	110-140	>140
PC	100-120	120-150	>150
PMM A	100-120	120-150	>150
PS	80-100	100-120	120-150
Rigid PVC	100-120	120-150	>150
Ther mose ts	100-140	140-175	175-230
Elast omer s	80-100	100-120	120-150

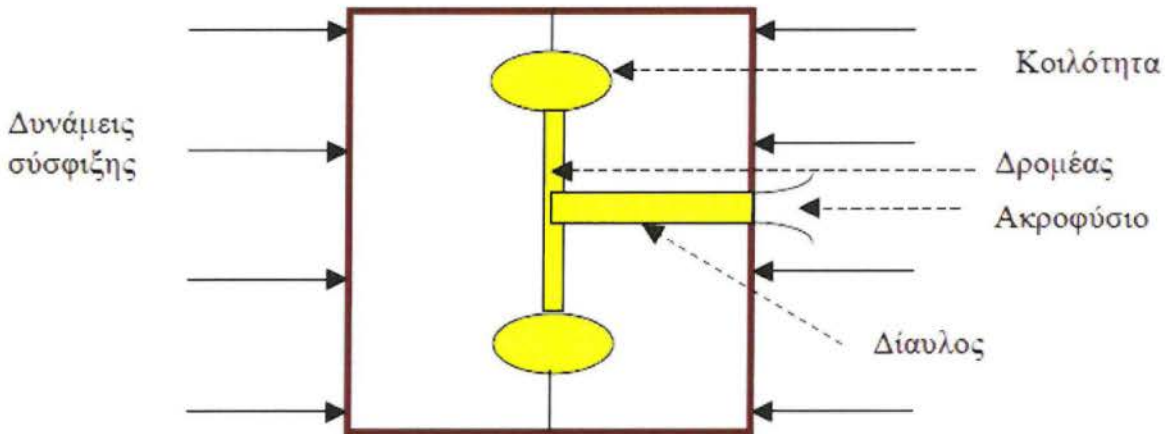


3.4.3 Συστήματα σφικτήρων (clamps)

Τα συστήματα σύσφιξης είναι ένα ξεχωριστό κομμάτι μελέτης για την επιτυχία της όλης εργασίας. Αποτελούν συστήματα υδραυλικά ή μηχανικά με σκοπό να επιβάλλουν αρκετά μεγάλη δύναμη σφίξης ώστε να κρατήσουν τη μήτρα έγχυσης κλειστή και ικανή να αντέξει στις μεγάλες πιέσεις έγχυσης. Το Σχήμα δείχνει ένα σύστημα μήτρας έγχυσης και τις δυνάμεις σύσφιξης που επιβάλλονται. Είναι εύκολο να υπολογίσουμε τη δύναμη σύσφιξης που χρειάζεται. Η δύναμη σύσφιξης F δίνεται από

$$F = P * A$$

όπου P είναι η πίεση έγχυσης και A η επιφάνεια. Η πίεση μπορεί να φτάσει μέχρι και 200 MPa. Προφανώς, όσο μεγαλύτερη είναι η επιφάνεια τόσο μεγαλύτερη δύναμη απαιτείται.



Σχηματική παράσταση συστήματος σύσφιξης (clamping system) μήτρας έγχυσης



3.4.4 Μονάδα οδήγησης

Η μονάδα οδήγησης είναι εκείνη που παρέχει την απαιτούμενη ισχύ στην μονάδα σύσφιγξης. Είναι υπεύθυνη για την περιστροφή και παλινδρόμηση του κοχλίου καθώς και για την κίνηση του σιπέματος εξόλκευσης. Αποτελείται από ένα ηλεκτροδραυλικό σύστημα που συνιστάται σε έναν ηλεκτρικό κινητήρα, μια υδραυλική αντλία και αντίστοιχα τα παρελκόμενα τους.

3.4.5 Μονάδα έλεγχου

Η μονάδα έλεγχου μιας μηχανής Injection περιλαμβάνει όλες τις μονάδες της μηχανής τις οποίες ελέγχει κατά τέτοιο τρόπο ώστε τα απαιτούμενα μεγέθη όπως θερμοκρασία και πίεση λαδιού του υδραυλικού κυκλώματος, δύναμη σύσφιγξης και ταχύτητα ροής του υλικού να διατηρούνται κατά την διάρκεια κάθε κύκλου της μηχανής.

Η ποιότητα ενός πλαστικού εξαρτήματος από μια μηχανή Injection προσδιορίζεται σχεδόν αποκλειστικά από δυο παραμέτρους της διαδικασίας παραγωγής, την πίεση και την θερμοκρασία έγχυσης. Η ταχύτητα έγχυσης (η οποία εξαρτάται από την πίεση έγχυσης) ασκεί μόνο μια περιορισμένη επίδραση. Επιπροσθέτως το σύστημα έλεγχου έχει να λάβει υπόψη του την λογική ακολουθία όλων των κυριότερων λειτουργιών όπως άνοιγμα και κλείσιμο καλουπιού αλλά και των δευτερεύουσων όπως τις κινήσεις του ακροφυσίου.

Οι κυριότεροι μέθοδοι ελέγχου μιας μηχανής Injection είναι:

- Χειροκίνητος έλεγχος (μικρές μηχανές)
- Έλεγχος μέσω ηλεκτρομηχανικά στοιχεία με χειροκίνητες ρυθμίσεις
- Έλεγχος μέσω ηλεκτρονικών στοιχείων και χειροκίνητων ρυθμίσεων
- Έλεγχος μέσω προγραμμάτων
- Ανοιχτό σύστημα ελέγχου για τις σημαντικές παραμέτρους (ταχύτητα και πίεση) με χειροκίνητο αλληπάλληλο έλεγχο με προγραμματισμό
- Ανοιχτό σύστημα ελέγχου με προγραμματισμό
- Κλειστό σύστημα ελέγχου [2], [6]



3.5 Καλούπι Injection

Ένα καλούπι Injection αποτελείται από δυο μέρη, το ένα είναι το κινητό μέρος και το άλλο το σταθερό, τα οποία εδράζονται στην αντίστοιχη κινητή και σταθερή πλάκα της μηχανής. Τα δυο μέρη αυτά του καλουπιού φέρουν και τις πλάκες των εντυπωμένων όπου στην μια πλάκα έχει αποτυπωθεί η κοιλότητα (cavity), που είναι το θηλυκό τμήμα του καλουπιού και δίνει στο εξάρτημα την εξωτερική μορφή και η κάρδια (core) που είναι το αρσενικό τμήμα του καλουπιού και σχηματίζει την εσωτερική μορφή του εξαρτήματος. Όταν το καλούπι είναι κλειστό στις δυο πλάκες που φέρουν τα εντυπωμένα παρουσιάζεται ένα διάκενο και πιο συγκεκριμένα ανάμεσα στην κάρδια και στην κοιλότητα, που είναι το πάχος του εξαρτήματος. Το αρσενικό εντύπωμα κατασκευάζεται ή τοποθετείται στην πλάκα που συνδέεται με το κινητό μέρος του καλουπιού επειδή για την έξοδο των πλαστικών εξαρτημάτων, μετά την έγχυση και την στερεοποίηση τους, χρησιμοποιείται πάντα σύστημα εξόλκευσης, που αποτελεί μέρος του καλουπιού και βρίσκεται στο κινητό τμήμα. Το σύστημα αυτό εργάζεται με την βοήθεια του υδραυλικού συστήματος της μηχανής που υπάρχει στο κινητό μέρος της και για αυτό άλλωστε τοποθετείται στο κινητό μέρος του καλουπιού.

Τα εξαρτήματα μετά την έγχυση και κατά την διάρκεια της στερεοποίησης τους παρουσιάζουν μια συστολή λόγω της συρρίκνωσης, της κρυσταλλικής τους δομής και είναι φυσικό να συσφιγγονται πάνω στην καρδιά δηλαδή στο αρσενικό εντύπωμα. Εκτός από τα εντυπώματα και το σύστημα εξόλκευσης, βασικά τμήματα ενός καλουπιού Injection είναι το σύστημα τροφοδοσίας και το σύστημα ψύξης. [9]

3.6 Χαρακτηριστικά υλικού για την κατασκευή καλουπιού Injection

Το συνηθέστερο υλικό για την κατασκευή καλουπιού Injection είναι ο χάλυβας. Ο χάλυβας εγγυάται μεγάλη διάρκεια ζωής αρκεί να γίνει η σωστή επιλογή του κατάλληλου ώστε τα χαρακτηριστικά του να ανταποκρίνονται τις απαιτήσεις της κατασκευής.

Τα κριτήρια επιλογής του κατάλληλου χάλυβα είναι:

- Ικανότητα λειτουργίας του κάτω από υψηλές θερμοκρασίες
- Οικονομικός και εύκολος στην κατεργασία του
- Κατάλληλη σκληρότητα και αντοχή



- Υψηλή θερμική αγωγιμότητα
- Αντίσταση στην διάβρωση

Το μεγαλύτερο κόστος για ένα καλούπι Injection δεν είναι το υλικό αλλά η μηχανουργική κατεργασία του, επιπλέον του κόστους αυτού προστίθεται και η θερμική κατεργασία εάν απαιτείτε.

Περίπου σε ένα ποσοστό 80% των καλουπιών που κατασκευάζονται γίνεται επιφανειακή σκλήρυνση είτε με θερμικές κατεργασίες είτε με ενανθράκωση, το θετικό της διεργασίας αυτής είναι η επιθυμητή σκληρότητα στην επιφάνεια του καλουπιού με παράλληλη όλκιμη συμπεριφορά.[4]



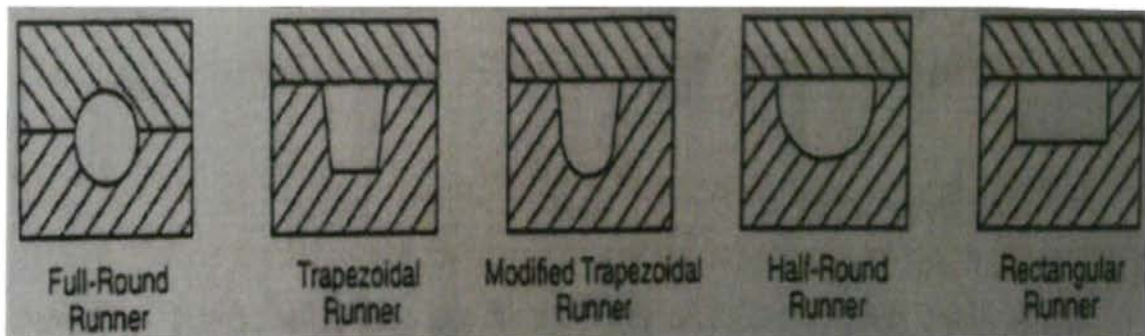
Κεφάλαιο 4^ο

4.1 Σύστημα τροφοδοσίας κοιλότητας καλουπιού Injection

Η υποδειγματική πλήρωση της κοιλότητας αναφέρεται στον τρόπο που το υλικό διοχετεύεται μέσα στο καλούπι κατά την χύτευση. Είναι δηλαδή η παροδική πρόοδος του μετώπου του χυτού μέσα στο σύστημα απελευθέρωσης και στην κοιλότητα.

4.2 Αγωγοί χύτευσης

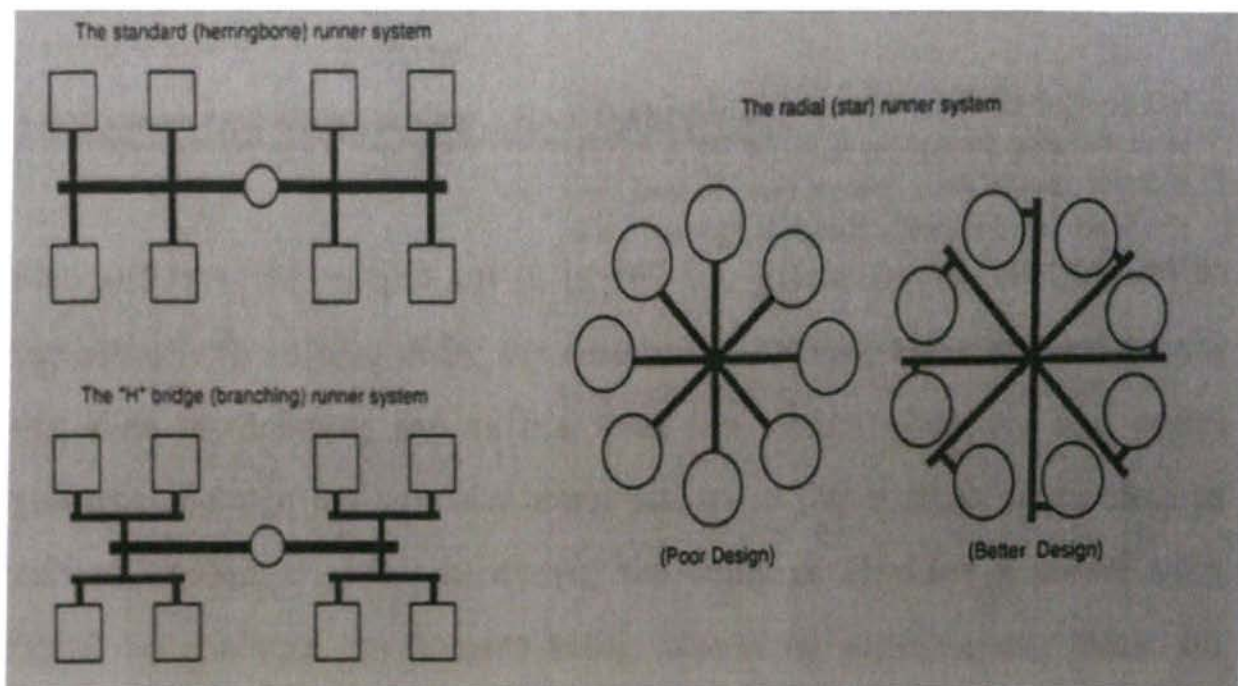
Οι αγωγοί χύτευσης (runners) καθοδηγούν την ροή του τήγματος από το αρχικό σημείο εισόδου της έγχυσης (sprue) στη κοιλότητα του καλουπιού. Επιπλέον πίεση απαιτείται ώστε να διοχετευτεί το τήγμα μέσω των αγωγών αυτών, ενώ η θερμοκρασία του υλικού αυξάνεται κατά την δίοδο του, λόγω τριβής με τα τοιχώματα αυτών. Οι αγωγοί οι οποίοι χρησιμοποιούνται συνήθως παρουσιάζονται στο σχήμα 4.21.



Σχήμα 4.21 Αγωγοί χύτευσης.

Οι τρεις πρώτοι αγωγοί είναι εκείνοι που χρησιμοποιούνται πιο συχνά. Ο πρώτος τύπος (full-round runner) είναι προτιμότερος για μεγάλη αναλογία πίεσης σε σχέση με την επιφάνεια, ο οποίος ελαττώνει της πτώση της πίεσης και την απώλεια θερμότητας. Ωστόσο το κόστος παραγωγής είναι μεγάλο καθώς και οι δύο πλάκες του καλουπιού πρέπει να χαραχθούν ώστε να προκύψει ο επιθυμητός αγωγός. Ο τραπεζοειδής αγωγός δουλεύει επίσης καλά και επιτρέπει να σχεδιαστεί και να κοπεί ο αγωγός μόνο στο ένα καλούπι, με αποτέλεσμα να είναι πιο εύχρηστος. Τέλος να αναφέρουμε ότι υπάρχουν τρεις τρόποι σχεδίασης πολλαπλών αγωγών για την ίδια χύτευση οι οποίοι φαίνονται στο παρακάτω σχήμα 4.22. [10]



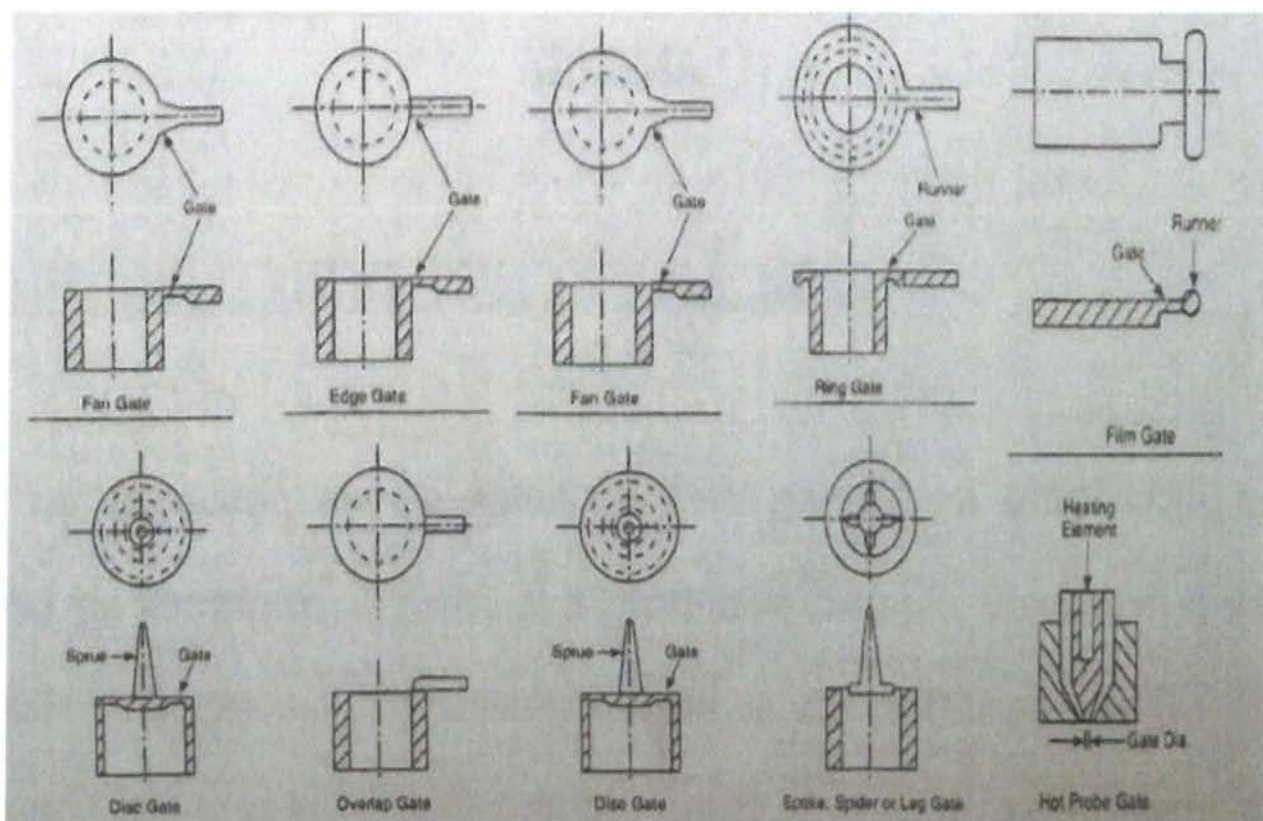


Σχήμα 4.22 Σχεδίαση αγωγών χύτευσης

4.3 Πύλες(gates)

Αναφερόμενοι στη πύλη η οποία είναι ένα σημαντικό μέρος της διαδικασίας της χύτευσης, θα λέγαμε ότι είναι ένα μικρό άνοιγμα (στόμιο) μέσω του οποίου το πολυμερές εισάγεται στην κοιλότητα. Η σχεδίαση της πύλης περιλαμβάνει την επιλογή του τύπου της πύλης, τις διαστάσεις αυτής καθώς και την τοποθεσία που αυτή θα βρίσκεται στο καλούπι. Υπάρχουν διάφοροι τύποι πυλών οι οποίοι παρουσιάζονται παρακάτω Σχήμα 4.31





Σχήμα 4.31 Τύποι πυλών (gates)

Οι τύποι direct gate και tab gate καθώς και ο τύπος edge gate είναι εκείνοι που χρησιμοποιούνται κατά κύριον ανάλογο με το σχήμα του καλουπιού, τη θέση της πύλης και την διαμόρφωση της κοιλότητας. Χρησιμοποιούνται για άμεσες χυτεύσεις και σε περιπτώσεις όπου έχουμε μικρές πτώσεις πίεσης κατά την πλήρωση του καλουπιού. [10]

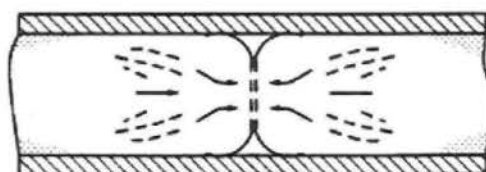
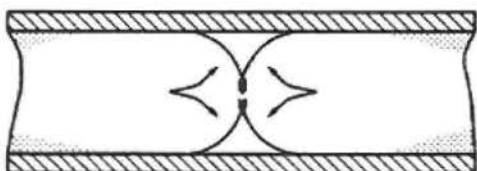
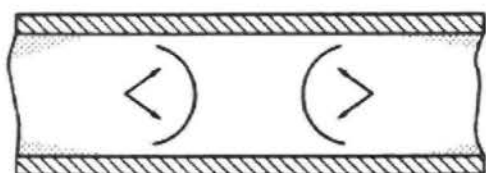
4.4 Προβλήματα κατά την πλήρωση του πολυμερούς στο καλούπι

Κατά την πλήρωση του πολυμερούς το καλούπι ενδέχεται να προκύψουν προβλήματα, παρακάτω παρουσιάζονται τα πιο συχνά προβλήματα, τα αίτια τους και οι τρόποι αντιμετώπισης τους. Τα τρία πιο συχνά προβλήματα κατά την πλήρωση είναι τα παρακάτω:

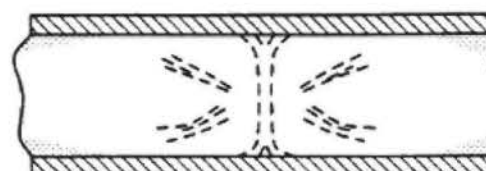
- Γραμμές συγκόλλησης
- Συρρίκνωση
- Σκεβρώσει



4.4.1 Γραμμές συγκόλλησης (Mralines)



Intrusion by hot core



Σχήμα 4.4.11 Μέτωπα ροής

επανάληψη της ροής γίνεται στην ίδια θερμοκρασία της διεργασίας. Στην άλλη περίπτωση της ψυχρής συγκόλλησης η θερμοκρασία των ελεύθερων επιφανειών έχει χαμηλώσει κάπως, και για αυτό λέγεται έτσι.

Οι γραμμές συγκόλλησης είναι γραμμές αδυναμίας λόγω:

- ατελών ή ανεπαρκών διεπιφανειακών συνδέσεων
- εγκλωβισμένου παράλληλα στη ροή προσανατολισμού των μορίων λόγω ψύξης
- επιφανειακών ατελειών που σχηματίζουν μορφές τύπου «V» κοντά στην τριεπιφάνεια μεταξύ των δύο μετώπων και της επιφάνειας.

Οδηγούν σε ατέλειες στα παραγόμενα αντικείμενα, και για να μειωθούν ή να εξαφανιστούν γίνεται χρήση διεργασιών, όπως η αυτοδιάχυση (self-diffusion), όπου χρησιμοποιούνται υψηλότερες θερμοκρασίες για το τήγμα και μεγαλύτεροι χρόνοι κράτησης στην κοιλότητα, ή γίνεται χρήση

Σχηματίζονται πίσω από εμπόδια που βρίσκονται στο δρόμο της ροής, τη διαχωρίζουν λόγω της παρουσίας τους, και την επανενώνουν πίσω τους, ή στην περίπτωση της χύτευσης με έγχυση, καθώς δύο μέτωπα από διαφορετικές πύλες εισόδου προσεγγίζουν το ένα με το άλλο, όπως φαίνεται στο Σχήμα 4.4.11. Στην πρώτη περίπτωση μιλάμε για θερμή συγκόλληση, ενώ στη δεύτερη για ψυχρή συγκόλληση. Στη θερμή συγκόλληση, καθώς ρέει το τήγμα μέσα στην κοιλότητα, διαχωρίζεται από κάποιο εμπόδιο, όπως π.χ. βελόνα, και μετά αποξενώνεται πίσω της. Συνήθως, η θερμοκρασία στην επιφάνεια δεν αλλάζει πολύ, και επομένως η



πολυμερούς με μικρότερα μοριακά βάρη για την επιτάχυνση της μείωσης των γραμμών συγκόλλησης.[1]

4.4.2 Συρρίκνωση

Η συρρίκνωση είναι η διαφορά των διαστάσεων μεταξύ της μήτρας έγχυσης και του ψυχθέντος χυτευμένου αντικειμένου. Η κύρια αιτία είναι η αλλαγή πυκνότητας που συμβαίνει καθώς το τήγμα παγώνει. Ο ορισμός της συρρίκνωσης είναι « η μείωση των διαστάσεων του χυτευμένου αντικειμένου όταν ψύχεται σε θερμοκρασία δωματίου και ατμοσφαιρική πίεση ». Μαθηματικά, αυτό εκφράζεται ως εξής:

$$S = 1 - \frac{V(25^{\circ}\text{C}, 1\text{atm})}{V(T, p)}$$

όπου V είναι ο ειδικός όγκος του πολυμερούς (το αντίστροφο της πυκνότητας). Τα κρυσταλλικά πολυμερή, όπως το νάυλον, και τα HDPE, PET, PP, κ.λ.π., έχουν τα χειρότερα προβλήματα συρρίκνωσης, που φθάνουν το 1 - 4%. Τα άμορφα πολυμερή, όπως το PS, PC, και ακρυλικά, έχουν λιγότερα προβλήματα, με συρρίκνωση που φθάνει το 0.3 - 0.7%. Αν επομένως είναι πρωταρχικής σημασίας να παραχθεί αντικείμενο με ακριβείς διαστάσεις, τότε πρέπει να χρησιμοποιηθεί πολυμερές χαμηλής συρρίκνωσης, δηλ. άμορφο. Αν όμως είναι απαραίτητο να χρησιμοποιηθεί κρυσταλλικό πολυμερές (για λόγους, π.χ., μεγαλύτερης αντοχής), οι διαστάσεις της μήτρας πρέπει να σχεδιαστούν προσεκτικά (πράγμα πολύ δύσκολο), και ο βαθμός της συρρίκνωσης πρέπει να προβλεφθεί (πράγμα που γίνεται σήμερα με ακριβή λογισμικά πακέτα, όπως το MOLDFLOW και το C-MOLD). Ο πίνακας 4.4.21 δίνει δεδομένα για τη συρρίκνωση ενός γνωστού πολυστυρενίου του εμπορίου (πολυστυρένιο Styron 678U της εταιρείας Dow). Ο Rubin δίνει μια ταξινόμηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη συρρίκνωση, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.4.22. [14]



T (°C)	P (MPa)	V (cm ³ /g)	S=1-V ₀ /V
25	0.1	V ₀ =0.94347	----
200	0.1	1.0149	0.070
200	100.	0.9496	0.012
170	0.1	0.99463	0.055
170	100.	0.94463	0.001

Πίνακας 4.421

Για να μειωθεί η συρρίκνωση

Πρέπει να μειωθεί	το πάχος των τοιχωμάτων
να αυξηθεί	η πίεση έγχυσης
να αυξηθεί	ο χρόνος έγχυσης
να αυξηθεί	η ταχύτητα έγχυσης
να αυξηθεί	ο συνολικός κύκλος
να αυξηθεί	η θερμοκρασία του υλικού
να μειωθεί	η θερμοκρασία της μήτρας
να αυξηθεί	το μέγεθος της πύλης εισόδου
να στενέψει	η κατανομή μοριακού βάρους

Πίνακας 4.4.22 Συνθήκες που επηρεάζουν τη συρρίκνωση [RUB 72].



4.4.3 Σκέβρωση

Όπως αναφέρθηκε στην εισαγωγή, η σκέβρωση είναι το αποτέλεσμα της ανάπτυξης άνισων εγκλωβισμένων τάσεων στο χυτευμένο αντικείμενο. Οι τάσεις πρέπει να είναι αρκετά υψηλές για να μπορούν να παραμορφώσουν το αντικείμενο. Ο Rubin δίνει μια ταξινόμηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη σκέβρωση, όπως φαίνεται στον Πίνακα 4.4.31 [14]

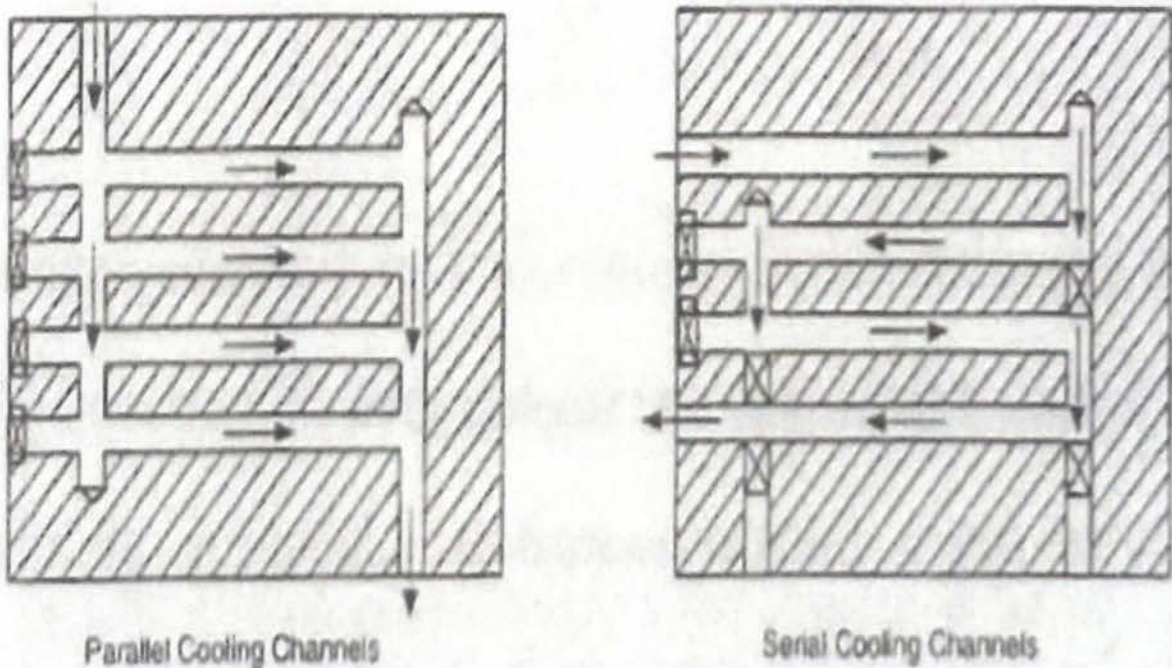
Για να μειωθεί η σκέβρωση	
Πρέπει να μειωθεί	ο προσανατολισμός
να αυξηθεί	η πίεση έγχυσης
να αυξηθεί	ο χρόνος έγχυσης
να αυξηθεί	η ταχύτητα έγχυσης
να αυξηθεί	ο συνολικός κύκλος
να μειωθεί	η θερμοκρασία του υλικού
να μειωθεί	η θερμοκρασία της μήτρας
να αυξηθεί	το μέγεθος της πύλης εισόδου
να αυξηθεί	το πάχος των τοιχωμάτων
να αυξηθεί	η πλευρική ενίσχυση
να ελαχιστοποιηθεί	η συμπίεση στην πύλη εισόδου
να στενέψει	η κατανομή μοριακού βάρους

Πίνακας 4.4.31 ταξινόμηση των παραγόντων που επηρεάζουν τη σκέβρωση



4.5 Κανάλια ψύξης (coolant channels)

Ολοκληρώνοντας τα στοιχεία και τα μεγέθη που χαρακτηρίζουν την χύτευση θα αναφερθούμε στα κανάλια ψύξης του καλουπιού. Ο χρόνος που απαιτείται για την ψύξη είναι περισσότερος από τα δύο τρίτα του κύκλου χύτευσης. Μια σωστή σχεδιαστική διάταξη των καναλιών αυτών μειώνει το χρόνο ψύξης με συνέπεια να μειώνεται αισθητά ο χρόνος παραγωγής του τεμαχίου. Επιπλέον η σωστή ψύξη αυξάνει την ποιότητα του δοκιμίου καθώς μειώνει τις παραμένουσες τάσεις και διατηρεί τις ακριβείς διαστάσεις αυτού. Υπάρχουν δύο τρόποι κατασκευής των καναλιών, η παράλληλη σύνδεση και η σειριακή, οι οποίες φαίνονται στο σχήμα 4.5.1 που ακολουθεί. [10]

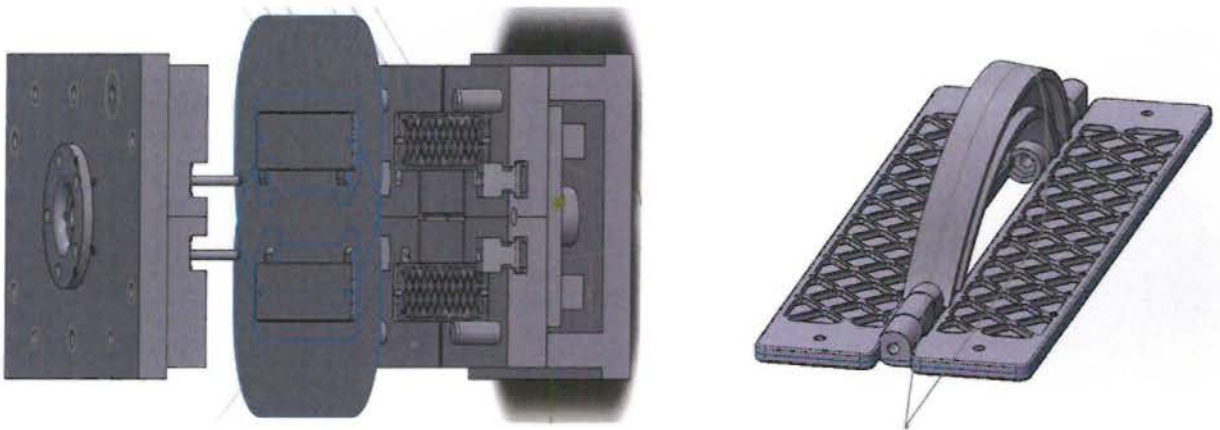


Σχήμα 4.5.1 παράλληλη και σειριακή κατασκευή καναλιών ψύξης



Κεφάλαιο 5^ο

Στο πρακτικό μέρος της παρούσας πτυχιακής εργασίας θα ασχοληθούμε με τη μοντελοποίηση ενός καλουπιού με σκοπό την κατασκευή μέρους/τμήματος (χερούλι) ενός οικοδομικού εργαλείου που χρησιμοποιείται για το τρίψιμο του σοβά στον τοίχο.



5.1 Μοντελοποίηση καλουπιού (CAD) με τη χρήση SolidWorks

Τα βήματα που πρέπει να ακολουθήσουμε για την μοντελοποίηση είναι τα παρακάτω:

- Σχεδιασμός εργαλείου (CAD)

Σχεδιάζουμε το σχήμα του εργαλείου (Sketch), δίνουμε όγκο με την εντολή Boss – Extrude και με την εντολή Cut – Extrude αφαιρούμε υλικό, όπου είναι απαραίτητο, για την τελική μορφοποίηση του μοντέλου - εργαλείου.

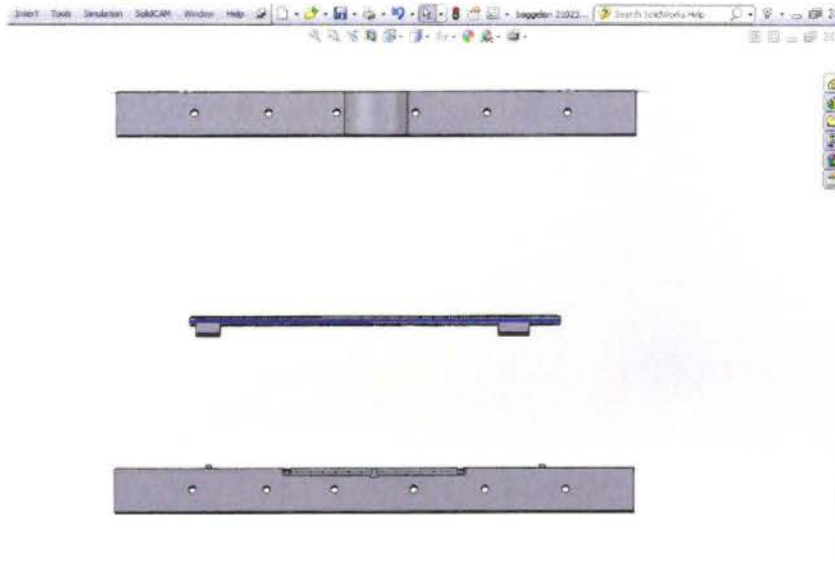
- Σχεδιασμός μήτρας

Δημιουργούμε τη μήτρα του καλουπιού (core & cavity) με τη βοήθεια της ενότητας Molds:

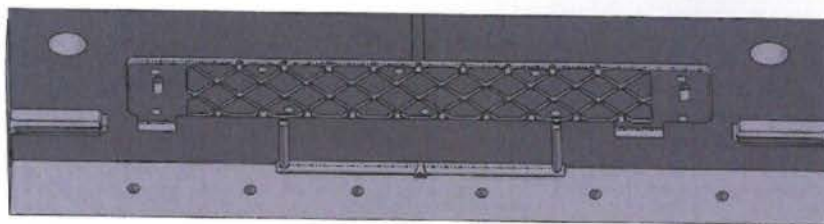
Χρησιμοποιούμε την εντολή « partin gline » για να δώσουμε το περίγραμμα που θα διαχωρίσει το κινητό από το σταθερό μέρους του καλουπιού. Στη συνέχεια, με την εντολή «shut – off» γεμίζουμε/κλίνουμε με υλικό τις διαμπερείς τρύπες. Με την εντολή parting surface δημιουργούμε το περίγραμμα της επιφάνειας διαχωρισμού των δυο μερών του καλουπιού (κινητό – σταθερό μέρος). Με την εντολή tooling split καθορίζουμε τον όγκο και το μέγεθος του κινητού και του



σταθερού μέρους του καλουπιού, ώστε να ολοκληρώσουμε τη δημιουργία της μήτρας.



Σταθερό και κινητό μέρος της μήτρας



Κινητό μέρος της μήτρας

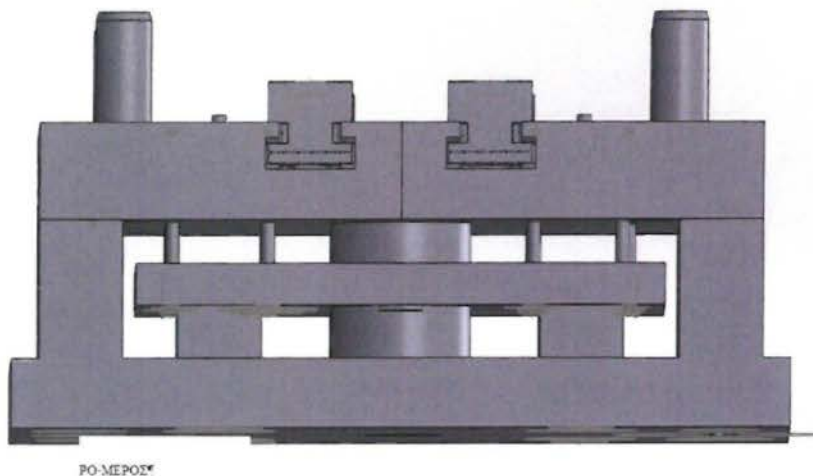


Σταθερό μέρος της μήτρας

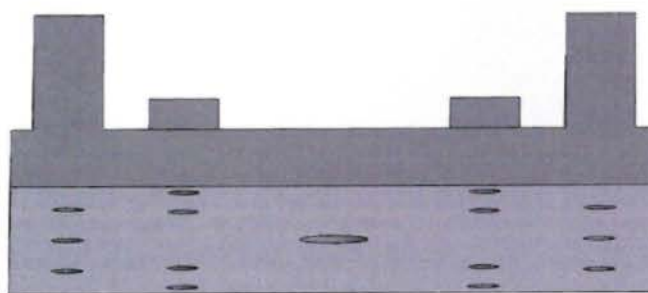


5.1.1 Κινητό μέρος

Στο κινητό μέρος κατασκευάζουμε πλάκα εξολκέα και την πλάκα στήριξης πάνω στην οποία στηρίζεται η μήτρα. Σχεδιάζουμε εξολκείς για την εξαγωγή του εργαλείου από τη μήτρα σε μέγιστη μεταξύ τους απόσταση 70 mm και διαμέτρου 5 mm. Η πλάκα των εξολκέων στηρίζεται πάνω σε δύο στηρίγματα και μετακινείται μηχανικά από την πρέσα. Στο διάκενο μεταξύ μήτρας και πλάκας στήριξης υπάρχουν δυο στηρίγματα διαμέτρου 50 mm για να αποφύγουμε το λύγισμα (πετσικάρισμα) της μήτρας κατά το πρεσάρισμα.

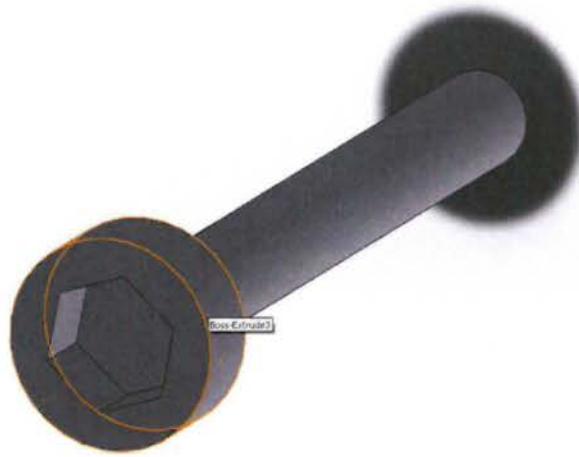


Κινητό μέρος ενωμένο (στήριγμα μήτρας ,πλάκα εκσολκέα ,ενδιάμεσα στηρίγματα και μήτρα)



Πλάκα στηρίγματος μήτρας





Εξολκίας



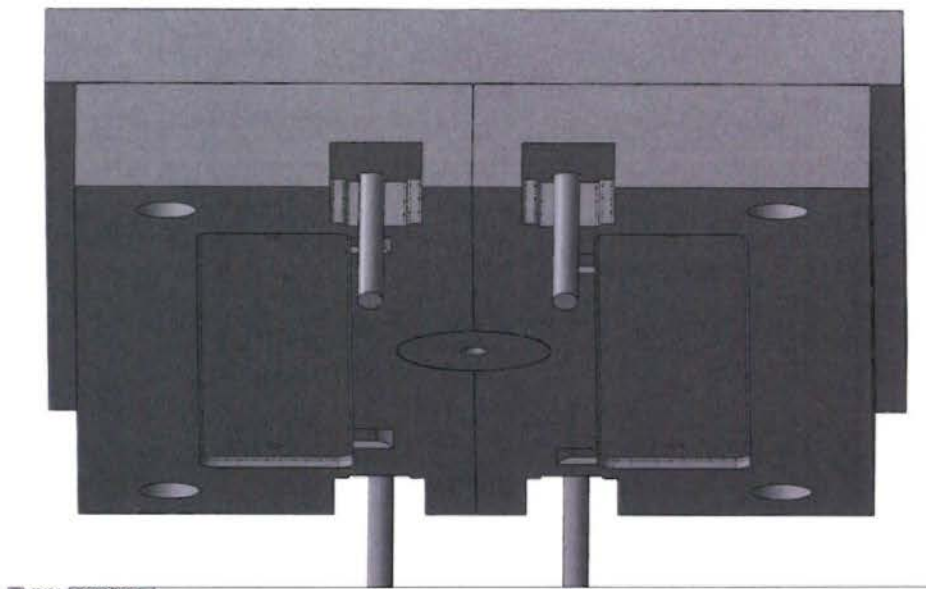
Πλάκα εξολκία ενωμένη με εξολκείς

5.1.2 Σταθερό μέρος

Το σταθερό μέρος είναι η πλάκα στήριξης της μήτρας στην οποία ενώνεται το μπεκ της πρέσας με τη μπουκαδούρα μέσω της οποίας γίνεται η εισαγωγή του υλικού.

Η μπουκαδούρα έχει κωνικό σχήμα και το μεγαλύτερο άνοιγμα του κώνου βρίσκεται στο σημείο έγχυσης του υλικού στη μήτρα για να διευκολύνει τη ροή του υλικού.





Model (Mission Study)
Σταθερό μέρος ενωμένο (πλάκα στήριξης μήτρας, μπουκαδούρα)

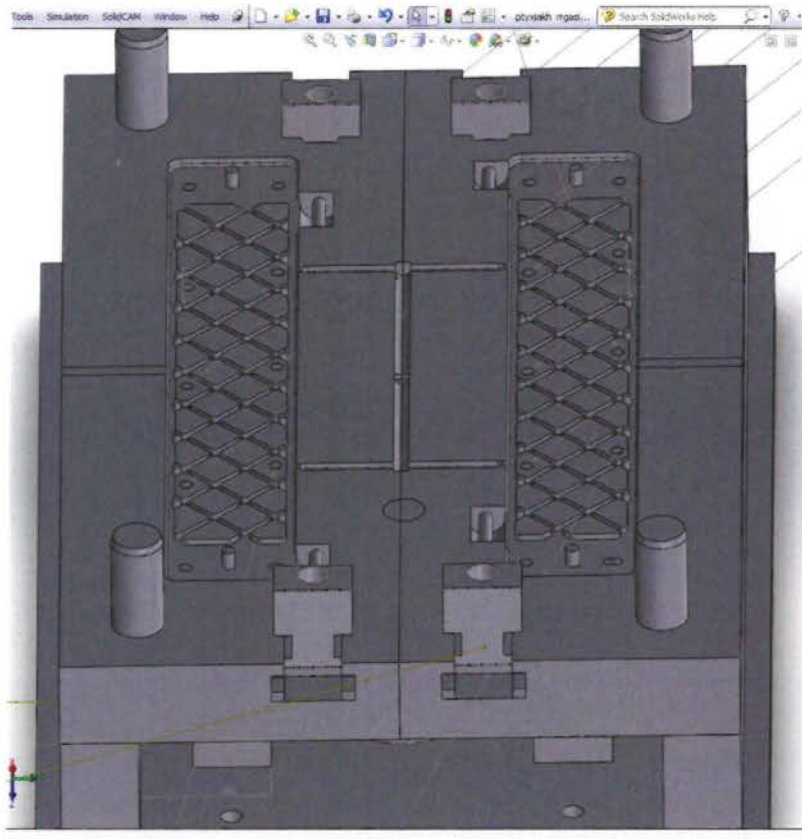


Στήριγμα μήτρας σταθερού μέρος μαζί με μπουκαδούρα



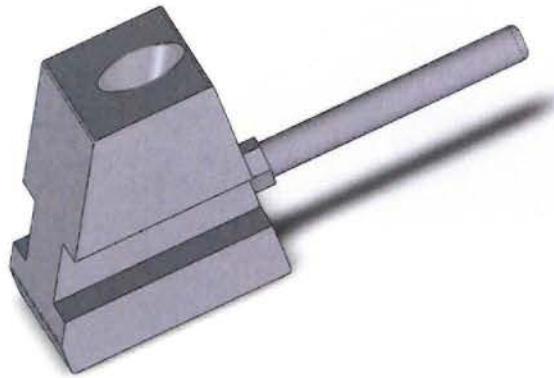
5.1.3 Μορφοποίηση λοιπών μερών

Φτιάχνουμε συρτάρια με τα οποία θα δημιουργήσουμε τις οπές στους μεντεσέδες του εργαλείου. Όταν το καλούπι κλίνει, κάθε συρτάρι μετακινείται με τη βοήθεια ενός πύρου προς τα μέσα, ώστε να δημιουργηθούν οι οπές στους μεντεσέδες. Όταν το κινητό και το σταθερό μέρος απομακρύνονται, οι πύροι τραβούν τα συρτάρια προς τα έξω, ώστε να απεγκλωβιστεί το εργαλείο.

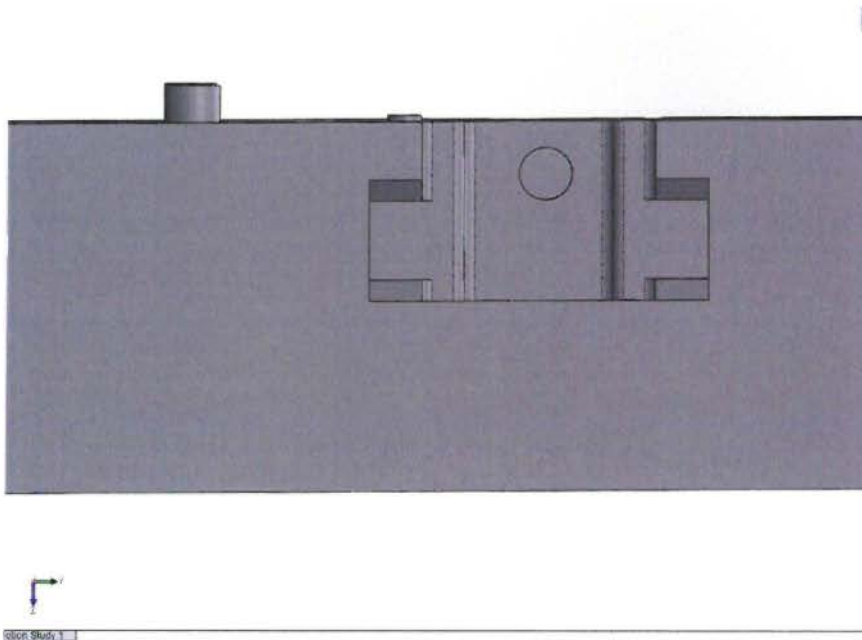


Μηχανισμοί (συρτάρια) τοποθετημένοι στο καλούπι





Μηχανισμός

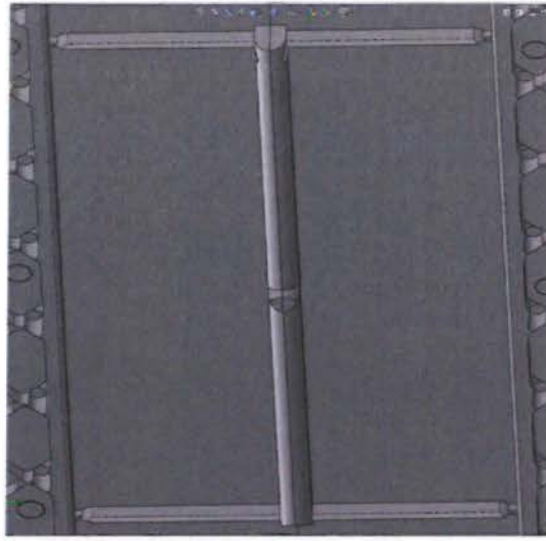


Υποδοχή για τον μηχανισμό (συρτάρι)

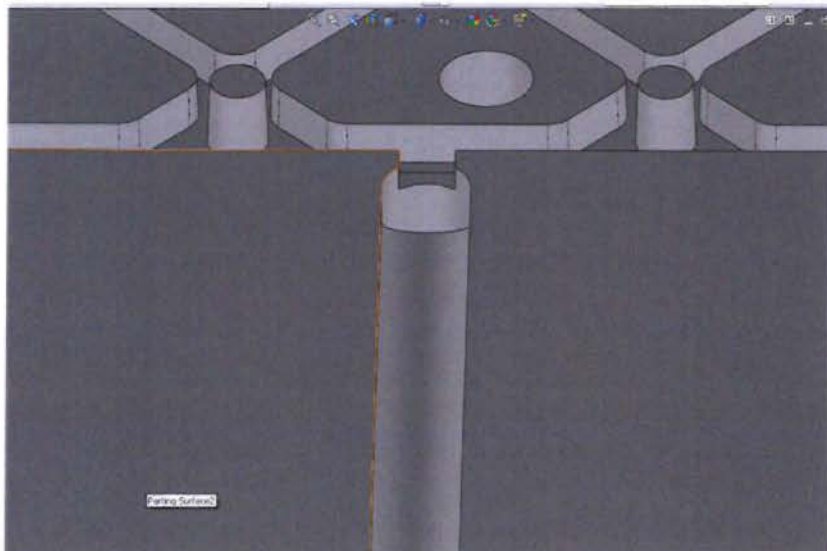
Φτιάχνουμε δρομείς ημικυκλικού τύπου μέσω των οποίων θα γεμίσουν οι κοιλότητες με το ρευστό υλικό και δύο σημεία εισαγωγής τύπου edge, κατάλληλα για την εισαγωγή υλικού στη διαχωριστική γραμμή (parting line). Μετά από κάθε αλλαγή κατεύθυνσης του δρομέα, ελαττώνουμε τη διατομή του



κατά 20%, ώστε να διατηρήσουμε την ταχύτητα ροής του υλικού. Οι διαστάσεις των σημείων εισαγωγής φαίνονται στην παρακάτω εικόνα.



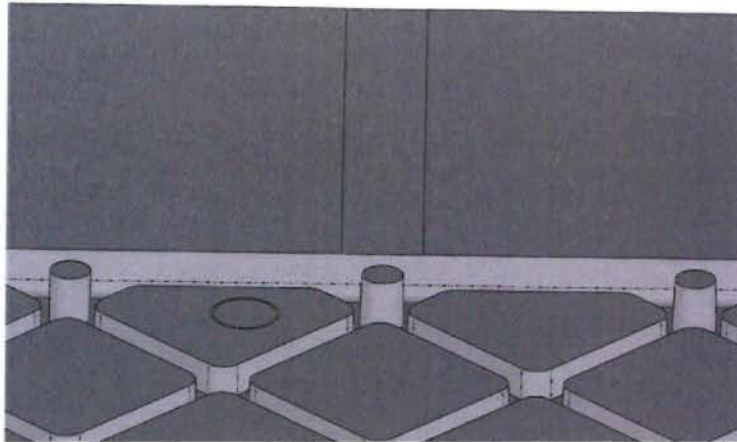
Δρομείς (runners) εισαγωγής υλικού



Πύλη εισαγωγής τύπου edge

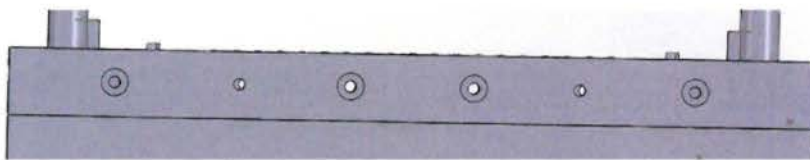
Στο απέναντι μέρος από το σημείο εισαγωγής του υλικού δημιουργούμε αεραγωγό για να απεγκλωβίζεται ο αέρας που βρίσκεται στο εσωτερικό της κοιλότητας κατά τη διαδικασία εισαγωγής του ρευστού υλικού, ώστε να μη δημιουργηθούν φυσαλίδες μέσα στο εργαλείο. Το ύψος/διάκενο του αεραγωγού δεν πρέπει να ξεπερνά τα 0,04 mm.





Αεραγωγός (για εξαέρωση)

Σχεδιάζουμε κανάλια ψύξης με μέγιστη μεταξύ τους απόσταση 65mm και διάμετρο 11mm, με σκοπό τη γρηγορότερη ψύξη του υλικού και ταχύτερη παραγωγή του εργαλείου.



Κανάλια ψύξης

Τέλος, σχεδιάζουμε τέσσερις οδηγούς – πύρους, οι οποίοι θα ενώνουν και θα συγκρατούν σε σταθερή θέση το κινητό με το σταθερό μέρος του καλουπιού κατά τη διάρκεια έγχυσης του ρευστού υλικού.

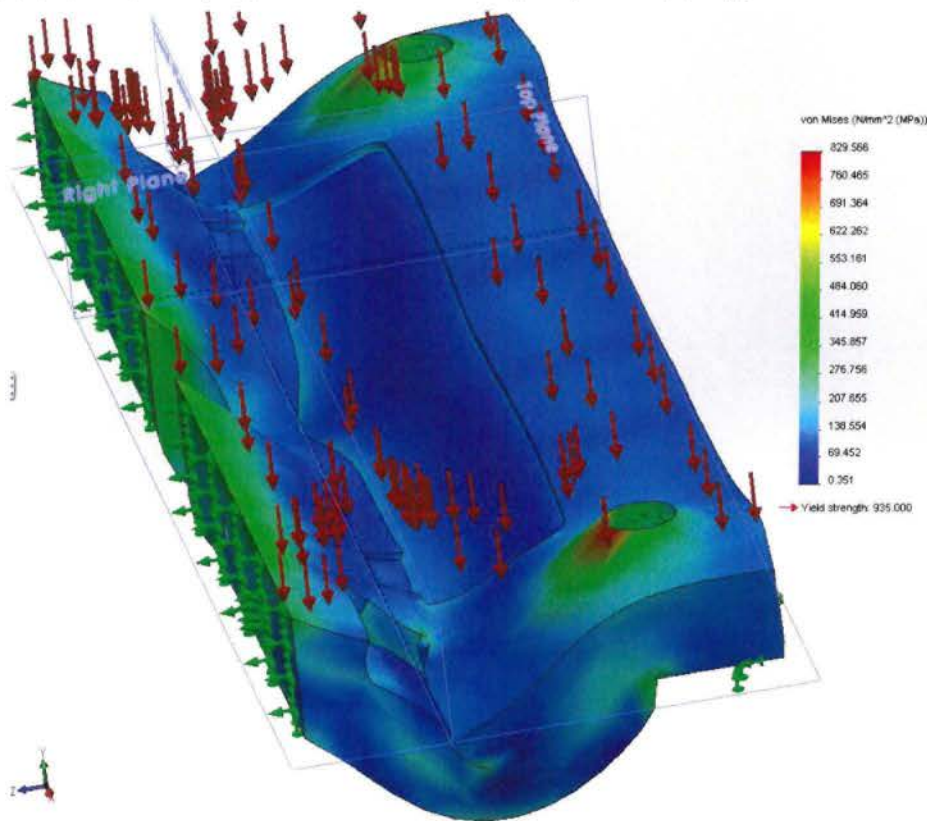


5.2 CAE

Σε αυτήν την ενότητα κάνουμε ανάλυση στατικών δυνάμεων του δοκιμίου, χρησιμοποιούμε υλικό ImpraX της Uddedholm με όριο ελαστικότητας από 900 – 950 NN/mm² (MPa), σε 20°C με όριο διαρροής 1020 NN/mm² και σκληρότητα 325HB.

Κάνουμε ανάλυση στο όριο ελαστικότητας με μέγιστη πίεση 200NN/mm²(MPa) (η μέγιστη πίεση κατά την έγχυση) όπως φαίνεται στην παρακάτω εικόνα. Μετά την ανάλυση συμπεραίνουμε ότι το δοκίμιο αντέχει στις πιέσεις αυτές.

Ισοδύναμη μέγιστη τάση περίπου 829,566 MP αμε όριο διαρροής 935 MPa

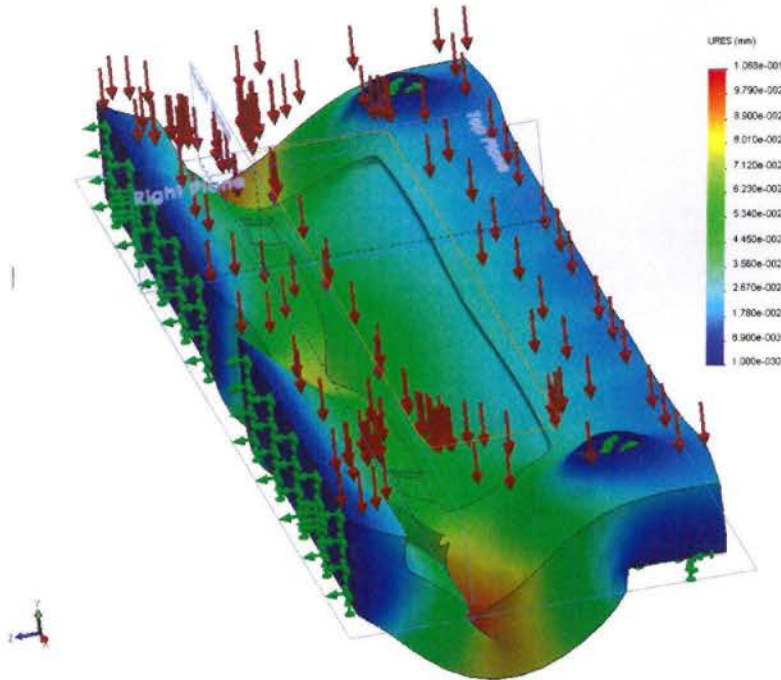


Παρακάτω βλέπουμε ότι το δοκίμιο έχει μέγιστη μετατόπιση περίπου στα 0,1068mm.

Μετατόπιση

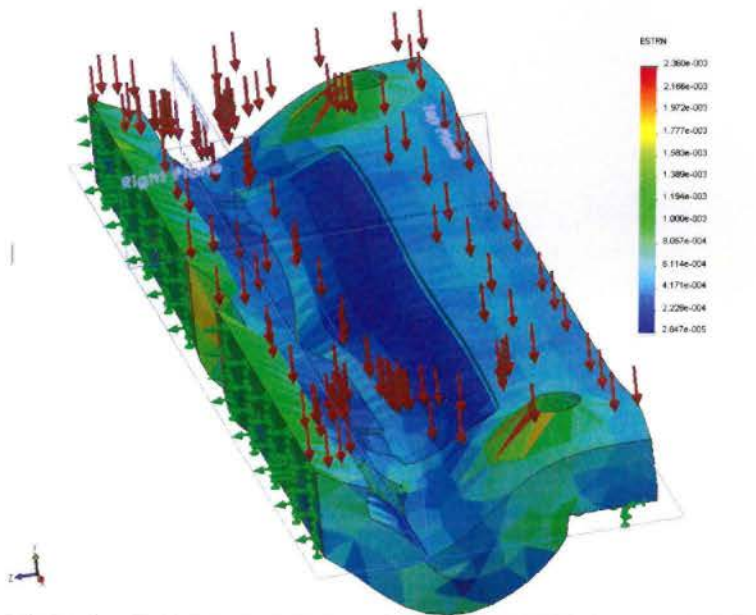
Ελάχιστη μετατόπιση = 1×10^{-30}

Μέγιστη μετατόπιση = 0,1068



Ελάχιστη παραμόρφωση = 0,002847%

Μέγιστη παραμόρφωση = 0,2360%



Συντελεστής ασφαλείας

$$\sigma = \frac{\sigma}{\sigma_{\text{επιτρ.}}} > 1 \quad \sigma = \frac{935}{829,566} = 1.1 > 1$$

Έχοντας τελειώσει με τη μοντελοποίηση κάνουμε την στατική ανάλυση με τη βοήθεια του προγράμματος CAE. Το δοκίμιο έχει κατασκευαστεί από υλικό Imrax (Uddeholm) και καταπονείται με μέγιστη πίεση 200 MPa. Μετά τη στατική ανάλυση προέκυψαν τα εξής αποτελέσματα:

1. Η ισοδύναμη μέγιστη τάση είναι 829,566 MPa και εμφανίζεται κυρίως στο κέντρο του καλουπιού. Το όριο διαρροής του υλικού είναι 935 MPa, άρα δεν έχουμε πρόβλημα μόνιμης παραμόρφωσης του δοκιμίου.
2. Η μέγιστη μετατόπιση (Λτελικό – Λαρχικό) του δοκιμίου είναι 0,1068mm. Το μέγεθος είναι πολύ μικρό και δεν θα παρουσιάσει πρόβλημα στο καλούπι, άρα περαιτέρω και στην τελική μορφή του εργαλείου που παράγει.
3. Η μέγιστη παραμόρφωση ($\varepsilon = \frac{\Delta L}{L_{\text{αρχικό}}}$) του καλουπιού είναι 0,23% λίγο μεγαλύτερο από το όριο αναλογίας (Νόμος Hooke) που είναι 0,2%.
4. Ο συντελεστής ασφαλείας πάντα πρέπει να είναι μεγαλύτερος της μονάδας, για να μην αντιμετωπίσουμε πρόβλημα σε περίπτωση που ξεπεράσουμε τη μέγιστη δύναμη 200 MPa. Έχουμε επιπλέον ασφάλεια, ώστε το καλούπι να μη πάρει μόνιμες παραμορφώσεις.
Υπολογίσαμε τον συντελεστή ασφαλείας και το βρήκαμε μεγαλύτερο της μονάδας (1,4)



5.3 Δυσκολίες κατά την μοντελοποίηση (CAD)

Κατά τη διαδικασία μοντελοποίησης του καλουπιού παρουσιάστηκαν οι παρακάτω δυσκολίες:

α) το διαφορετικό ύψος/επίπεδο των μεντεσέδων και του υπόλοιπου εργαλείου κατέστησαν δύσκολη τη δημιουργία των διαχωριστικών γραμμών (parting lines). Για να τις τοποθετήσουμε αναγκαστήκαμε να κόψουμε το δοκίμιο στη μέση με την εντολή split line έτσι ώστε να μπορέσουμε να δημιουργήσουμε μια ενιαία επιφάνεια στην οποία θα τοποθετηθούν οι γραμμές διαχωρισμού.

β) κατά την εκτέλεση της εντολής στο tooling split, δεν ήταν εφικτή η δημιουργία κλίσης/γωνίας διαχωρισμού (interlock surface) στους μεντεσέδες για την ευκολότερη εξαγωγή τους από το καλούπι, λόγω του σχήματος τους. Για το λόγο αυτό δημιουργήσαμε μόνοι μας κλίση με την εντολή draft στα σημεία διαχωρισμού.

γ) οι μεντεσέδες δεν έχουν πλήρως κυκλικό σχήμα γιατί δεν θα ήταν εφικτή η εξαγωγή τους από το καλούπι κατά την εξόλκευση. Για το λόγο αυτό, το σχήμα τους είναι μερικώς κυκλικό και στην εξωτερική πλευρά τους έχουν από μια κάθετη ευθεία πλευρά.

5.4 Πλεονεκτήματα – μειονεκτήματα

Με τη χρήση SolidWorks (CAD και CAE) ο σχεδιασμός γίνεται ευκολότερος και ταχύτερος και με μεγαλύτερη ακρίβεια. Οι εντολές Molds μας δίνουν τη δυνατότητα να εισάγουμε το σχέδιο του εργαλείου που θέλουμε να κατασκευάσουμε και να παράγουν αυτόματα το αποτύπωμα του σχεδίου στη μήτρα. Επιπλέον, με τη χρήση ηλεκτρονικού υπολογιστή το σχέδιο αποκτά τρισδιάστατη μορφή και συνεπώς δίνει καλύτερη απεικόνιση της τελικής μορφής του.

Το σημαντικότερο μειονέκτημα στη χρήση του SolidWorks είναι η πολυπλοκότητα των εντολών Molds καθώς έχει αρκετά βήματα για την περιγραφή του σχεδίου και αρκετούς περιορισμούς κατά την τοποθέτηση των parting lines.



Κεφάλαιο 6°

6.1 Μοντελοποίηση καλουπιού (CAM) με τη χρήση SolidWorks/SolidCAM (milling)

Η κοπή και τελική μορφή ενός καλουπιού γίνεται σε εργαλειομηχανή CNC τύπου φρέζας. Ο προγραμματισμός της εργαλειομηχανής γίνεται μέσω συστήματος CAM δίνοντας τη δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε τη γεωμετρία του μοντέλου που έχουμε κατασκευάσει στο CAD.

Στη παρούσα πτυχιακή η διαδικασία του προγραμματισμού έγινε με τη χρήση SolidCAM. Στα παρακάτω κεφάλαια αναλύεται η διαδικασία, η λειτουργία και η χρησιμότητα των εντολών του SolidCAM χρησιμοποιώντας τη γεωμετρία του μοντέλου που έχουμε κατασκευάσει στο SolidWorks καθώς είναι δυο συνεργαζόμενα μοντέλα.

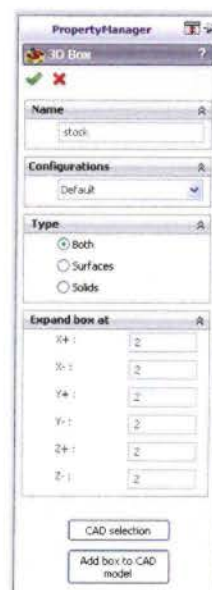
6.2 Εισαγωγή σημείου αναφοράς (0,0), περιγραφή διαστάσεων και μορφής καλουπιού

Ξεκινώντας το SolidCAM εμφανίζεται το παράθυρο αποθήκευσης του αρχείου. Εφόσον ορίσουμε το μέρος αποθήκευσης στη συνέχεια εμφανίζεται το ακόλουθο Milling Part Data.



➤ Διαλέγουμε το τύπο προγραμματισμού που θα χρησιμοποιήσουμε στη καρτέλα CNC Controller π.χ. FANUC από το παράθυρο Milling Part Data.

➤ Καρτέλα Stock & Target model
Το stock το χρησιμοποιούμε για να ορίσουμε το αρχικό ακατέργαστο μέγεθος του δοκιμίου. Πατάμε το Stock και στο παράθυρο Stock Model που ανοίγει επιλέγουμε το Define ανοίγοντας το παράθυρο 3D Box. Επιλέγουμε από τη καρτέλα Type το Both και πατώντας πάνω στο σχέδιο αυτομάτως τοποθετείτε ένα τετράγωνο περιβλημά το οποίο είναι το αρχικό ακατέργαστο δοκίμιο. Από τη καρτέλα Expand box at ορίζουμε το μέγεθος του ακατέργαστου δοκιμίου και πατώντας Add box





το CAD model εμφανίζει μονίμως το αρχικό περιβάλημα.

➤ Με την εντολή Target από το παράθυρο Milling Part Data και καρτέλα Stock & Target καθορίζουμε τη μορφή του δοκιμίου. Πατώντας το Target ανοίγει το παράθυρο Target Model και επιλέγουμε Define 3D Model από τη καρτέλα Name.

Στη συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο 3D Geometry. Επιλέγουμε από την καρτέλα Type το Both και κάνοντας κλικ επάνω στο σχέδιο διαβάζει τη μορφή του. Πατάμε ok και πηγαίνει στο αρχικό παράθυρο.



➤ Με την εντολή Define από την καρτέλα Coordinate System καθορίζουμε το σημείο αναφοράς (0,0) του κοπτικού εργαλείου. Πατώντας το, εμφανίζει το παράθυρο Coordsys, πηγαίνουμε στη καρτέλα Define Coordsys Options και επιλέγουμε Define. Κάνουμε κλικ στο σημείο που θέλουμε να τοποθετήσουμε το (0,0) και στη συνέχεια ορίζουμε διευθύνσεις x,y,z. Μετά τις παραπάνω ενέργειες πατάμε το πράσινο σύμβολο ok (✓), εμφανίζοντας το παράθυρο CoordSys Data. Δίνουμε πληροφορίες σχετικά με το αρχικό ξεκίνημα περιστροφής του κοπτικού εργαλείου, απόσταση ασφαλείας κατά τη μετακίνηση του κοπτικού, και πάχος δοκιμίου.

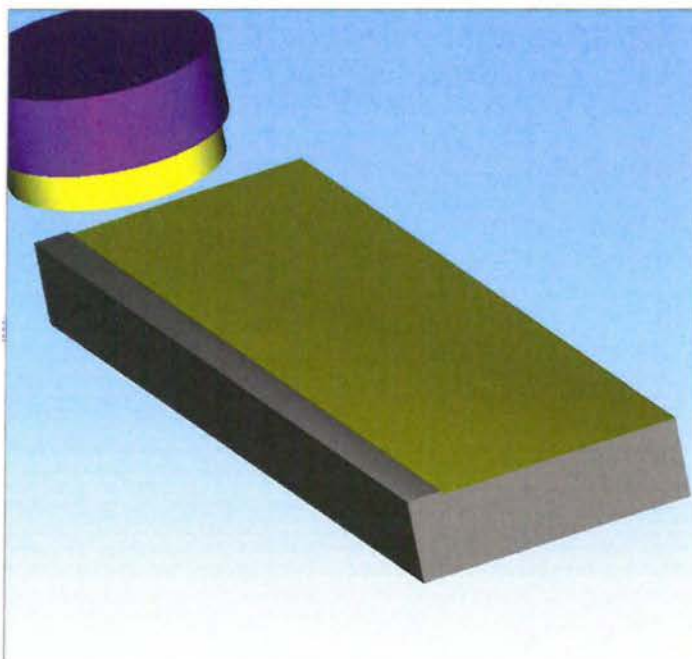
➤ Τέλος από το παράθυρο Milling Part Data και καρτέλες Work Material και Part Settings καθορίζουμε το υλικό, και τις μονάδες μέτρησης (mm, inch).



6.3 Ανάλυση διαδικασιών κοπής

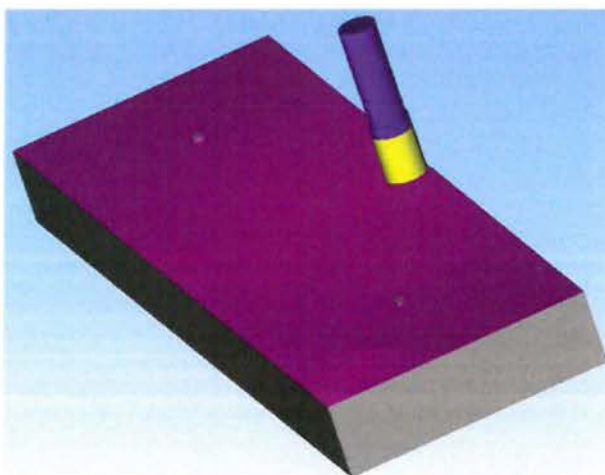
6.3.1 Face milling operation

Ξεκινάμε τη κατεργασία του δοκιμίου, κάνοντας ξεχόνδρισμα στην πάνω επιφάνεια μέχρι να φτάσει στην τελική διάσταση που επιθυμούμε.



6.3.2 Pocket operation

Με την κατεργασία αυτή δημιουργούμε στο πάνω μέρος του δοκιμίου τις στρογγυλές εξοχές.

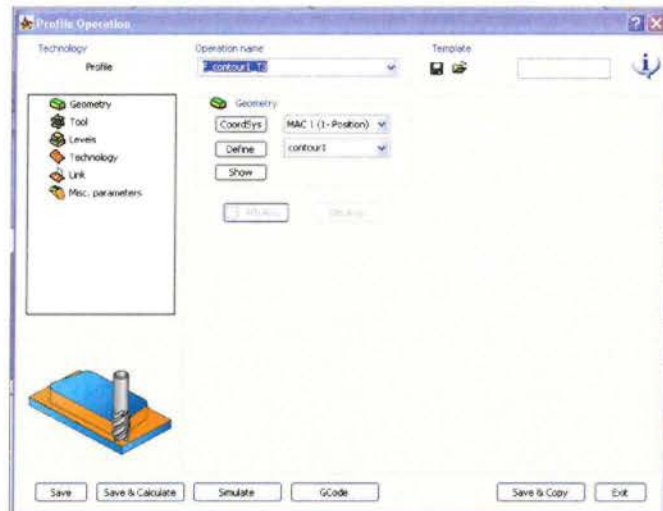


6.3.3 Profile operation (εξωτερική μεριά δοκιμίου)

Μπορούμε να αφαιρέσουμε υλικό κατά μήκος ενός περιγράμματος. Η γεωμετρία του προφίλ μπορεί να είναι ανοιχτή ή κλειστή.

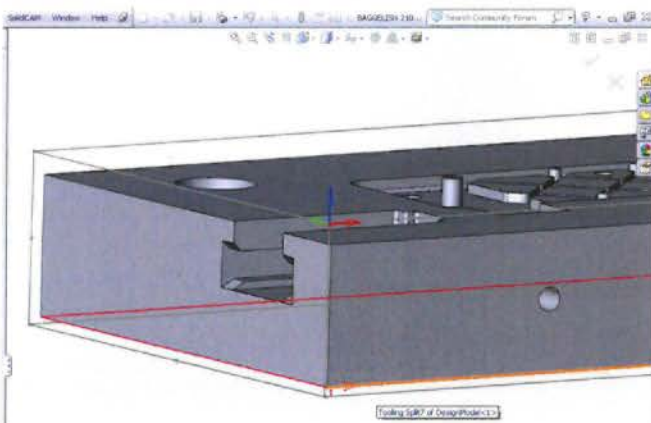
Ξεκινώντας πηγαίνουμε Operations πατάμε δεξί κλικ, επιλέγουμε Add Operation – Profile. Αρχικά εμφανίζεται το παράθυρο Profile Operation με τις παρακάτω επιλογές:

- Geometry
- Tool
- Levels
- Technology
- Link
- Misc. Parameters



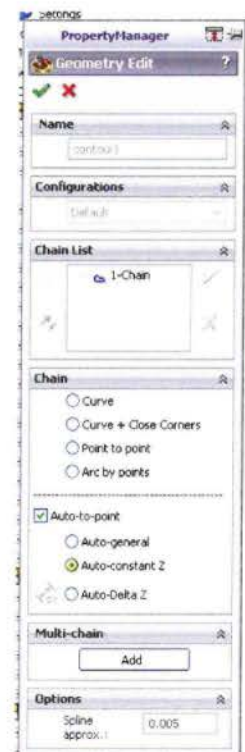
Geometry: Με τη γεωμετρία καθορίζουμε την επιφάνεια κοπής που θα ακολουθήσει το κοπτικό εργαλείο.

Ξεκινάμε με το καθορισμό της γεωμετρίας πατώντας Define και ανοίγει το παράθυρο Geometry Edit.

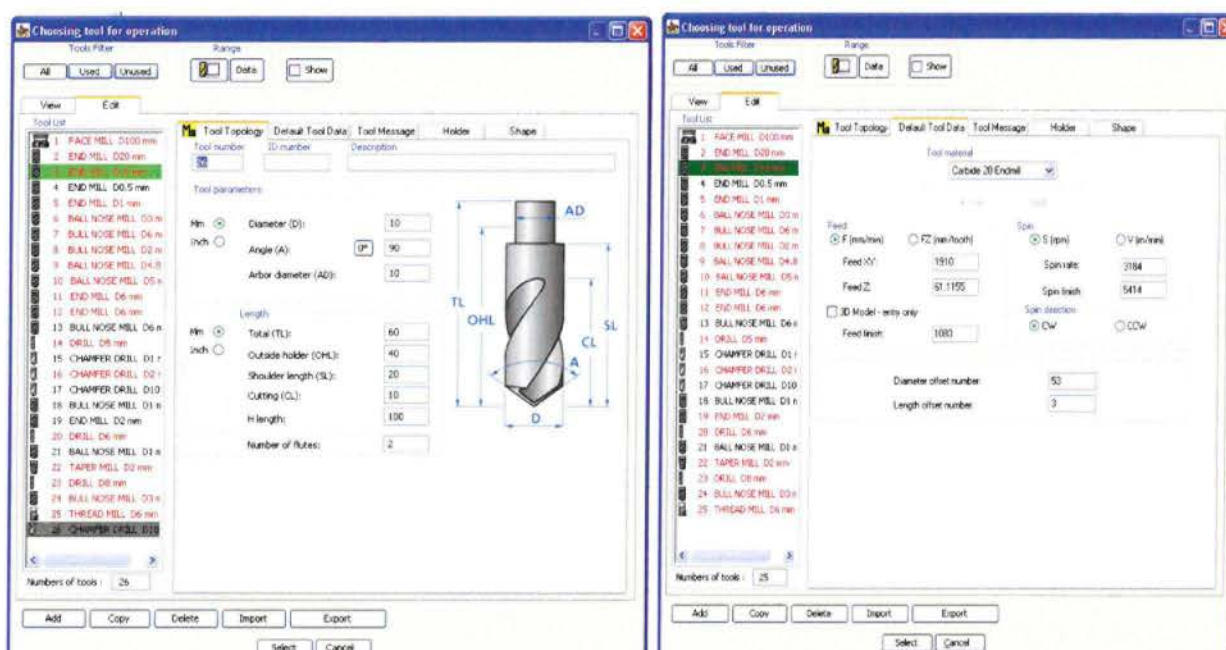


Η καρτέλα Chain δίνει 4 επιλογές, για να ορίζουμε την πορεία του κοπτικού ανάλογα με τη μορφή του σχεδίου. Επιλέγουμε το Auto – to – point μαζί με το Auto – constant Z. Στη συνέχεια πατάμε

μία από τις περιμετρικές γραμμές του σχεδίου και το πρόγραμμα αυτομάτως επιλέγει και τις υπόλοιπες γραμμές του ίδιου επιπέδου, μέχρι να κλείσει περιμετρικά (βλέπε Εικόνα 1). Τελειώνοντας με τα παραπάνω πατάμε το ok (✓)



Tool: Πατάμε select και εμφανίζει το παράθυρο Choosing tool for operation. Επιλέγουμε Add και εμφανίζει τη λίστα με τα κοπτικά εργαλεία. Διαλέγουμε το κατάλληλο κοπτικό εργαλείο (END MILLING) και στη συνέχεια καθορίζουμε τις παραμέτρους του (διάμετρος, γωνία κοπής μήκος κοπτικού κ.τ.λ.) στο Tool Technology. Αμέσως μετά στη καρτέλα Default Tool Data καθορίζουμε τη πρόωση της εργαλειομηχανής στο Feed XY, την πρόωση ανά δόντι στο Feed Z. Στο Spin rate καθορίζουμε τις στροφές ξεχονδρίσματος και στο Spin Finish τις στροφές φινιρίσματος. Τέλος στο Spin Direction ορίζουμε το ομόρροπο ή αντίρροπο φρεζάρισμα.



Milling

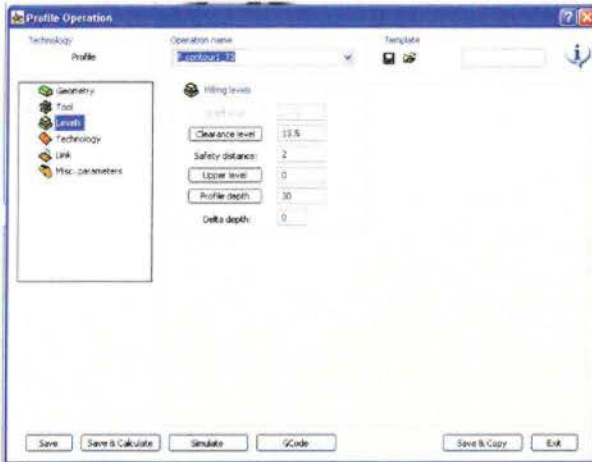
FACE AND SQUARE SHOULDER MILLING

Cutting data parameters	Milling with carbide	
	Rough milling	Fine milling
Cutting speed, (v_c) m/min ft/min	80–150 265–492	150–190 492–623
Feed, (f_z) mm/tooth inch/tooth	0.2–0.4 0.008–0.016	0.1–0.2 0.004–0.008
Depth of cut, (a_p) mm inch	2–4 0.08–0.16	–2 –0.08
Carbide designation ISO	P20–P40 Coated carbide	P10–P20 Coated carbide or Cermet

Από το πίνακα της Uddenholm πήραμε τα δεδομένα (ταχύτητα κοπής, πρόωση, βάθος κοπής) και υπολογίσαμε τις προώσεις και τις στροφές του κοπτικού εργαλείου, από παρακάτω τύπους,

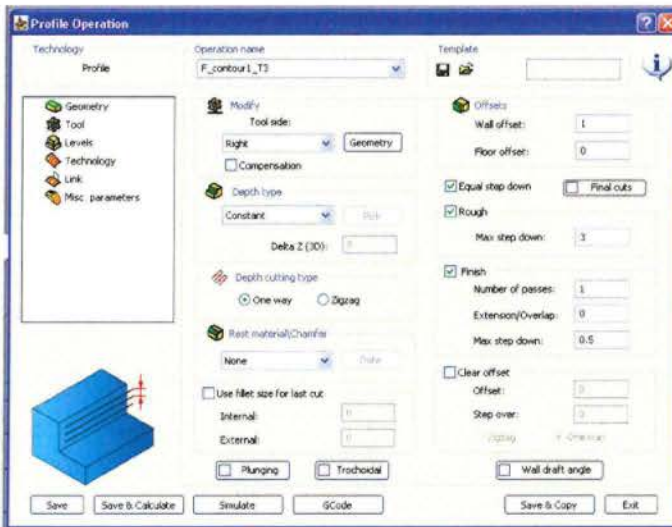
$$n = \frac{v_k \cdot 1000}{\pi \cdot D} P = P_z * Z * n$$

Levels: καθορίζουμε το ανώτατο σημείο στο οποίο ξεκινάει να κόβει το κοπτικό



εργαλείο με την εντολή Upper Level και το βάθος το οποίο θα φτάσει το κοπτικό με την εντολή Profile Depth. Με την εντολή Clearance level καθορίζουμε το σημείο επαναφοράς του κοπτικού μετά από κάθε διεργασία. Με το safe distance ορίζουμε την απόσταση ασφαλείας για γρήγορη μετακίνηση του κοπτικού επάνω στο δοκίμιο.

Technology: Ορίζουμε διάφορες παραμέτρους κοπής.



➤ **Modify:** επιλέγουμε Geometry για να ελέγξουμε και να καθορίσουμε την τοποθέτηση του κοπτικού επάνω στο δοκίμιο. Επιλέγουμε το Right (δεξιά μεριά) και από τη καρτέλα Extension επιλέγουμε start και end 0,0 (στη καρτέλα Extension καθορίζουμε το σημείο εισαγωγής και εξαγωγής

του κοπτικού από την επιφάνεια που έχουμε ορίσει στο Geometry)

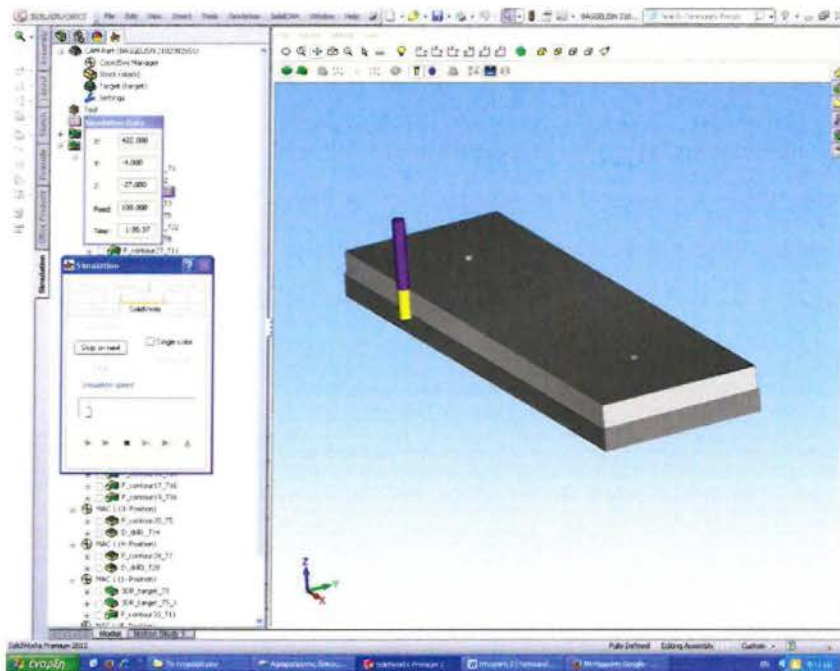
- **Rough:** Καθορίζουμε το βάθος κοπής κάθε περάσματος στο Step down με μέγιστο βάθος 3mm (ξεχόνδρισμα).
- **Equal step down:** Με την εντολή αυτή καθορίζουμε περάσματα ίδιου βάθος κοπής με μέγιστο βάθος 3mm (όπου έχουμε ορίσει στο Rough – stepdown).
- **Wall offset:** Αφήνουμε περιθώριο 1mm από τον τελική διάσταση της πλαϊνής εξωτερικής επιφάνειας του δοκιμίου για να γίνει το τελικό πέρασμα (φινίρισμα).
- **Finish:** Καθορίζουμε τον αριθμό περασμάτων και το βάθος κοπής του φινιρίσματος.

Αριθμός περασμάτων (number of passes) = 1



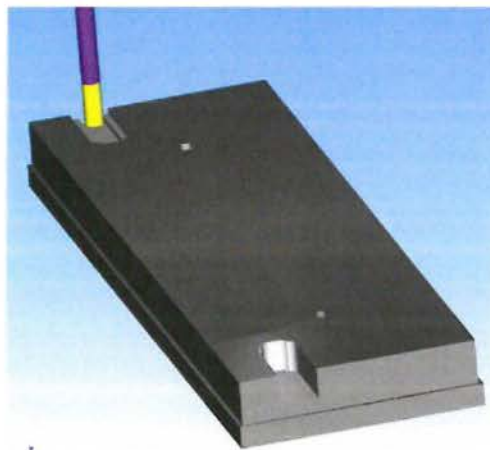
Βάθος κοπής (Step down) = 0.5

- Clear offset: Καθορίζουμε το περιθώριο (offset) του πλαϊνού τοιχώματος στο οποίο θα ξεκινήσει να κόβει το κοπτικό εργαλείο, τοποθετώντας βήμα κοπής από το Step over.
- Save and calculate – simulate: Πατάμε save and calculate για να κάνει τους υπολογισμούς το πρόγραμμα, και στη συνέχεια το simulate για να γίνει η προσομοίωση κοπής.



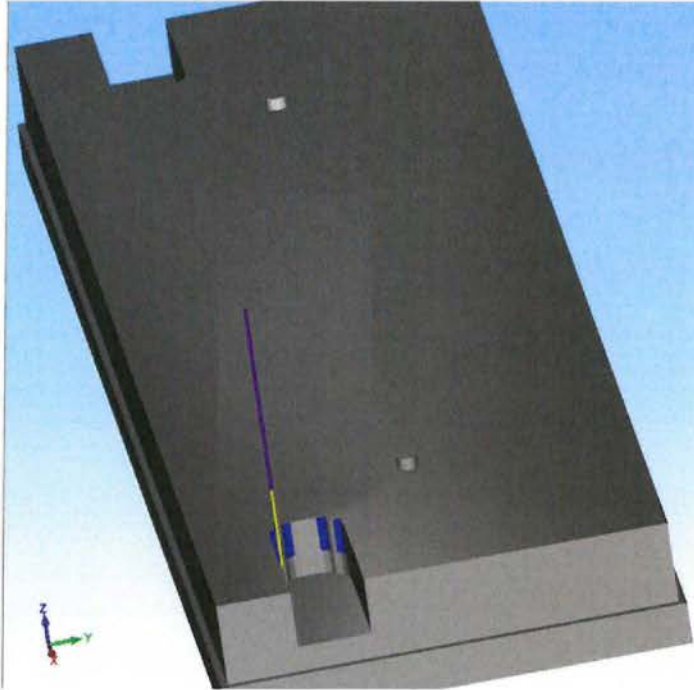
6.3.4 Pocket operation

Δημιουργούμε τις δυο υποδοχές (συρτάρια), στις οποίες τοποθετούνται οι δυο μηχανισμοί.



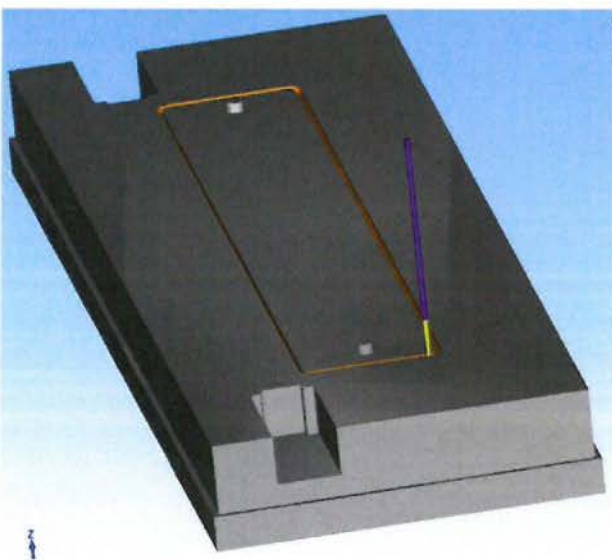
6.3.5 Profile operation

Τελειοποιούμε τις προηγούμενες υποδοχές, κόβοντας περιμετρικά με μικρότερο κοπτικό εργαλείο για να δημιουργήσουμε τις τελικές επιθυμητές διαστάσεις.



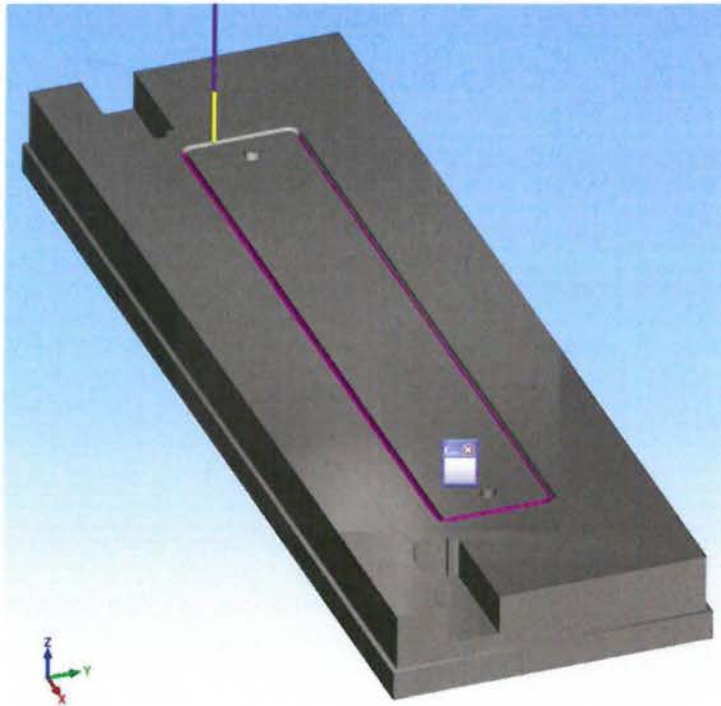
6.3.6 Profile operation

Κάνουμε τη περιμετρική κοπή με κοπτικό εργαλείο κλίσης 2° για να δημιουργηθεί η κατάλληλη γωνία αποκόλλησης, έτσι ώστε να μη δημιουργείται πρόβλημα κατά την εξόλκευση του εργαλείου από το καλούπι.



6.3.7 Profile operation

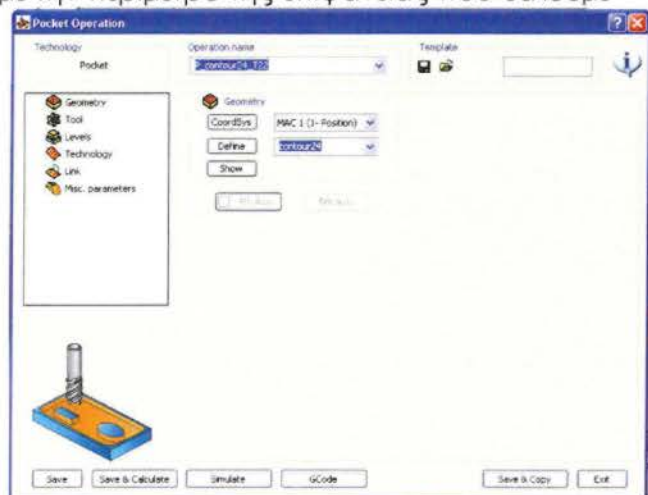
Εφόσον έχουμε τελειώσει με την γωνία αποκόλλησης, αλλάζουμε το κοπτικό έτσι ώστε να δημιουργήσουμε το στρογγύλεμα στο κάτω μέρος.



6.3.8 Pocket operation

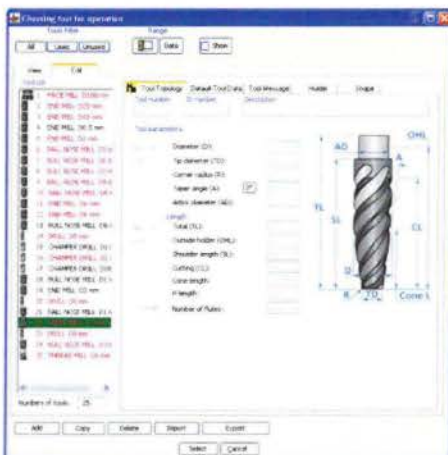
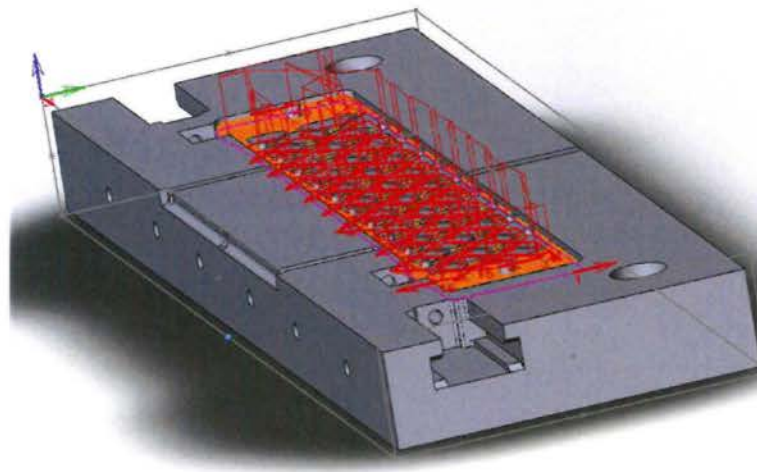
Με το Pocket δίνουμε τη μορφή που θέλουμε να κατασκευάσουμε στο εσωτερικό μιας κλειστής γεωμετρίας. Φτιάχνουμε την περίμετρο της επιφάνειας που θέλουμε να κόψουμε και στη συνέχεια ότι επιλέγουμε εντός αυτής το αφήνει άκοπο. Ξεκινώντας πηγαίνουμε Operations πατάμε δεξί κλικ, επιλέγουμε Add Operation – Pocket. Αρχικά εμφανίζεται το παράθυρο Pocket Operation με τις παρακάτω επιλογές:

- Geometry
- Tool
- Levels
- Technology
- Link



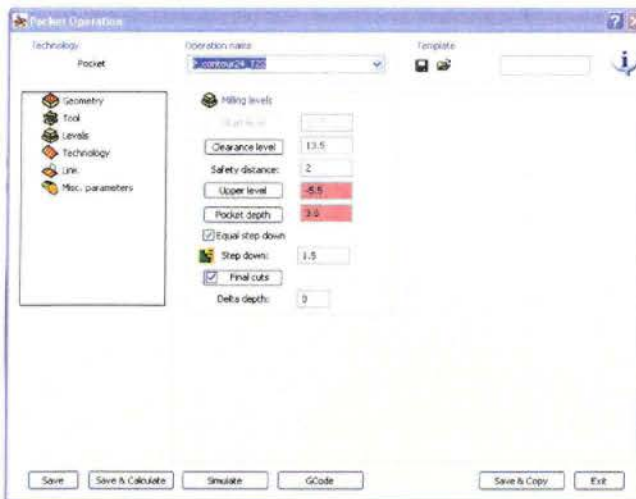
➤ Misc. Parameters

Geometry: Ξεκινάμε με το καθορισμό της γεωμετρίας πατώντας Define όπου ανοίγει το παράθυρο Geometry Edit. Από την καρτέλα Multi chain πατάμε το Add (για αυτόματη επιλογή πολλαπλών σημείων). Στο παράθυρο Chains selections που ανοίγει, από την καρτέλα Type επιλέγουμε Edges, στη συνέχεια πατάμε πάνω στο σχέδιο και συγκεκριμένα στο σημείο που θέλουμε να κάνουμε Pocket (περιμετρικά κλειστή επιφάνεια) και το πρόγραμμα αυτομάτως επιλέγει τη μορφή που θέλουμε να κόψουμε και τη διαδρομή του κοπτικού εργαλείου.



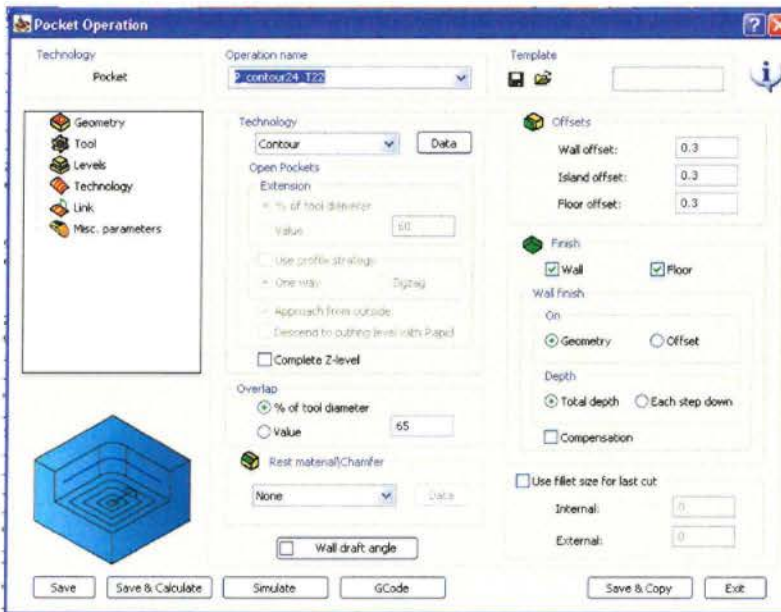
Tool: Τα βήματα που ακολουθούμε είναι τα ίδια με της εντολής Profile operation. Έχουμε επιλέξει το κοπτικό TAPER MILL με διάμετρο 2mm, ελάχιστη διάμετρο 0.9mm, και γωνία κοπής 2°.





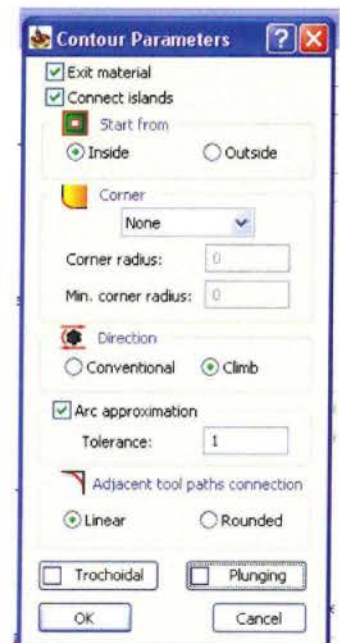
Levels: καθορίζουμε το ανώτατο σημείο στο οποίο ξεκινάει να κόβει το κοπτικό εργαλείο με την εντολή Upper Level (-5.5) και το βάθος το οποίο θα φτάσει το κοπτικό με την εντολή Pocket depth (3.5). Στο Step down έχουμε βάλει βάθος κοπής 1.5mm (ξεχόνδρισμα), και στο Final cuts έχουμε βάλει αριθμό περασμάτων 1 και βάθος κοπής

0.5mm (φινιρίσμα). Τέλος επιλέξαμε Equal step down για ομοιόμορφα περάσματα κοπής (max 1.5mm).



Technology: Στη καρτέλα Technology ορίζουμε τρόπο κοπής Contour (αφαίρεση υλικού περιγραμμιακά) και επιλέγουμε Data, το οποίο εμφανίζει το

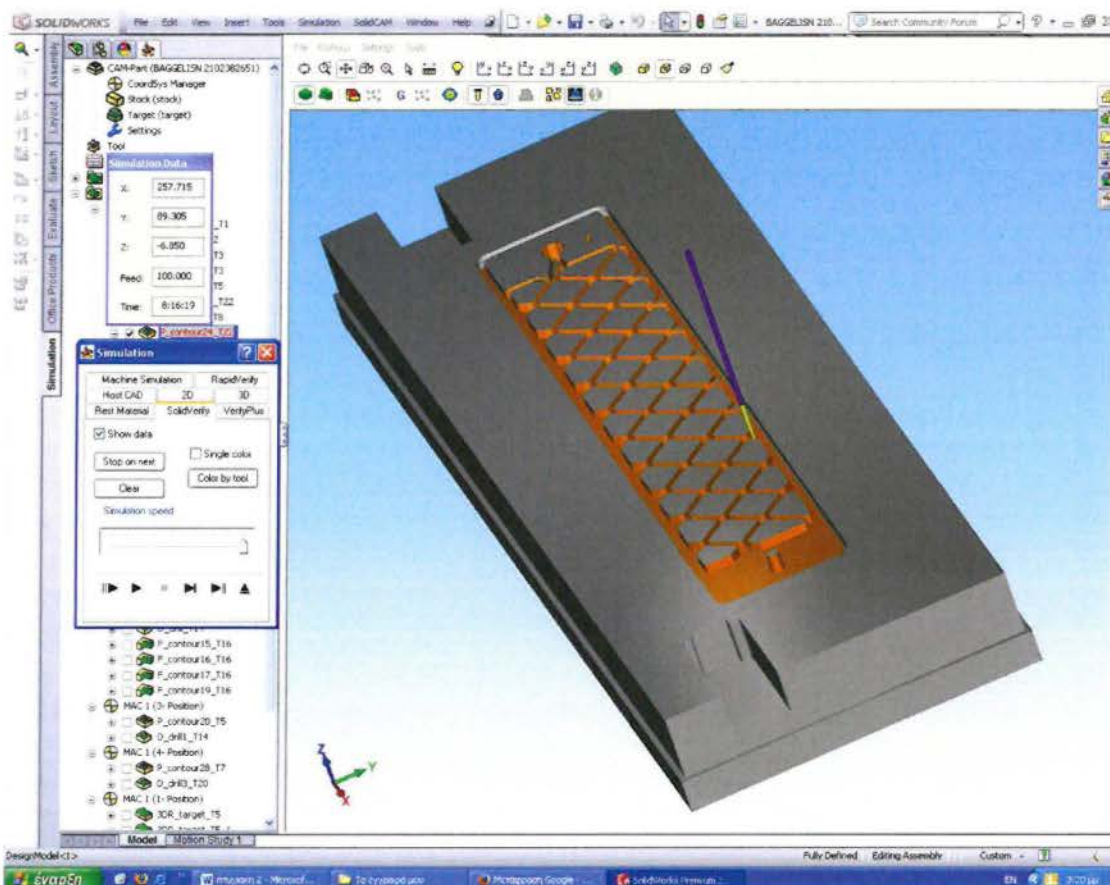
παράθυρο Contour parameters. Επιλέγουμε Exit material για αφαίρεση υλικού κατά τη μετακίνηση του κοπτικού από ένα μονοπάτι σε άλλο, και Connect island για την ίδια κατεύθυνση κοπής κατά τη διάρκεια κατεργασίας. Στο Start from επιλέγουμε Inside για να κόψει την επιφάνεια που έχουμε ορίσει από την εσωτερική. Στη καρτέλα Corner επιλέγουμε None (μη δημιουργία καμπύλη "γωνίας"). Στο Direction επιλέγουμε Climb, για ομόρροπο φρεζάρισμα (καλύτερη ποιότητα



επιφάνειας). Τέλος επιλέγουμε από την καρτέλα Adjacent tool paths connection, Linear για μετακίνηση του κοπτικού από ένα μονοπάτι σε άλλο με ευθεία χωρίς καμπύλη.

Από το παράθυρο Technology, στη καρτέλα Overlap επιλέγουμε το % of tool diameter (65), έτσι όταν το κοπτικό πηγαίνει σε διπλανό μονοπάτι να μετακινείται κατά 65% της διάμετρος του. Βάζουμε περιθώριο (Offset) 0.3mm στα πλαϊνά τοιχώματα και στο πάτωμα για το τελικό φινιρίσμα, τα οποία τα επιλέγουμε από το Finish. Επιλέγουμε το Total depth, από καρτέλα Depth, έτσι ώστε να γίνεται φινιρίσμα στο τέλος της κατεργασίας.

Τέλος, πατάμε το Save and calculate – simulate, για να γίνει η προσομοίωση κοπής.



6.3.9 Drill operation

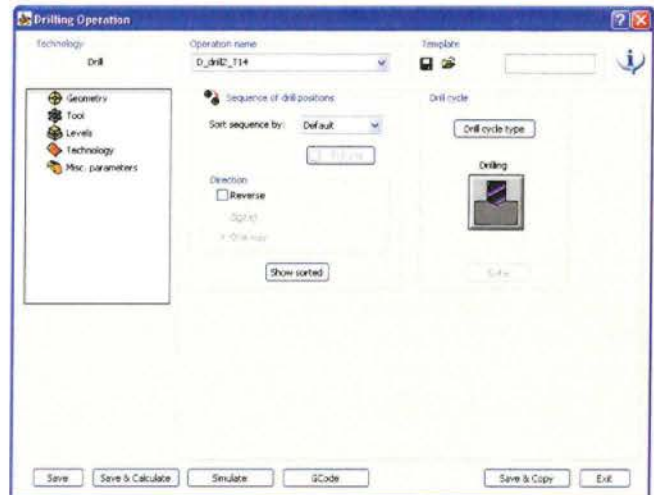
Με την εντολή αυτή δημιουργούμε τις τρύπες του εξογκά. Από Operations Επιλέγουμε Drilling και εμφανίζεται το παράθυρο Drilling operation.

Geometry: Πατάμε Define και ανοίγεται το παράθυρο XY Drilling Geometry. Από την καρτέλα Select Centers by διαλέγουμε Multi – position, επιλέγουμε από το σχέδιο τις οπές και οκ (✓) για να επιστρέψουμε στο αρχικό μενού.

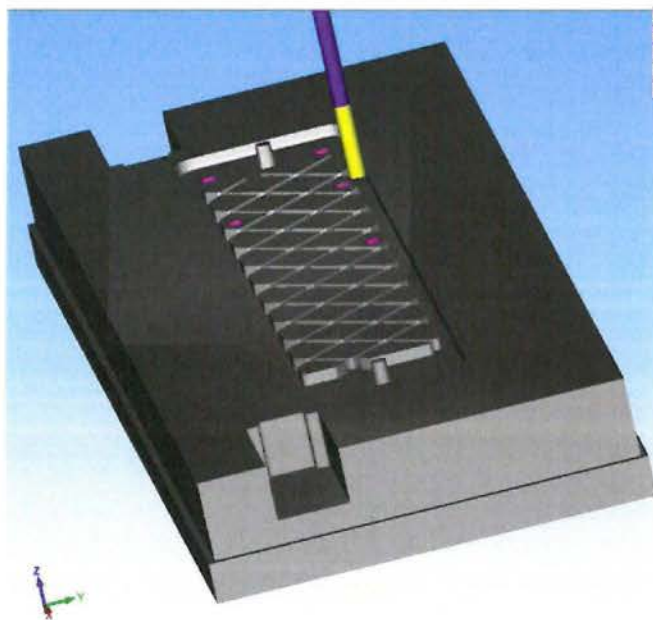


Tool: Επιλέγουμε κοπτικό Drill διαμέτρου 5mm (βλέπε 6.3.3)

Technology:
Από τη καρτέλα Drill cycle type επιλέγουμε τύπο τρυπήματος Drilling.

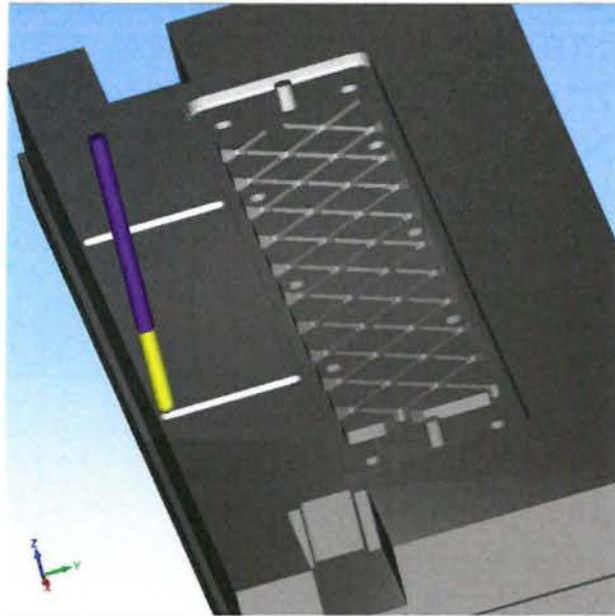


Simulate



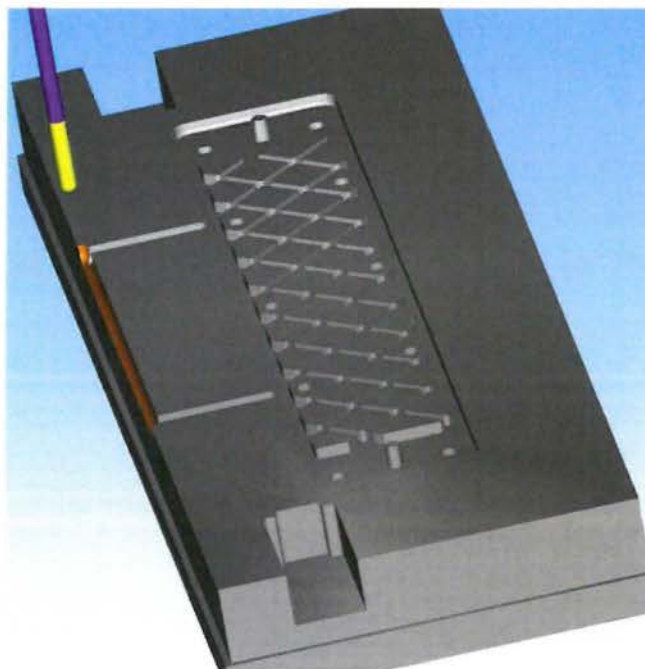
6.3.10 Profile operation

Δημιουργούμε τους δυο δρομείς (runners) οι οποίοι καταλήγουν στις αντίστοιχες εισαγωγές (edge). Επιλέγουμε κοπτικό BALL NOSE MILL διαμέτρου 4.5mm και ράδιο 2.25mm.

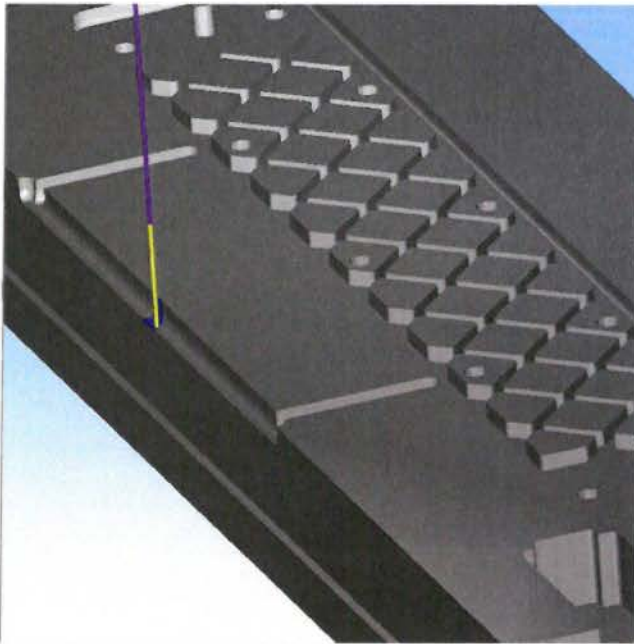


6.3.11 Profile operation

Δημιουργία του κεντρικού δρομέα (runner) στον οποίο γίνεται η εισαγωγή από τη μπουκαδούρα. Επιλέγουμε κοπτικό BALL NOSE MILL διαμέτρου 5mm με ράδιο 2.5mm.

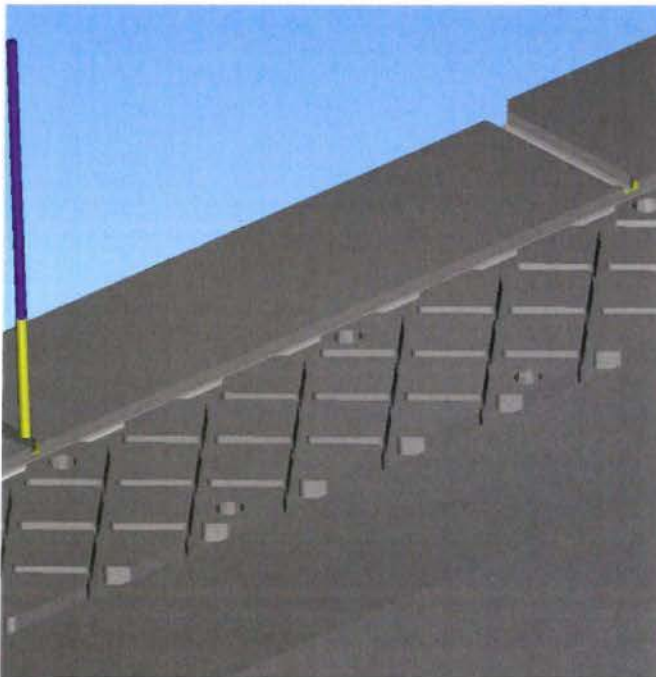


6.3.12 Pocket operation



Τελείωμα μπουκαδούρας. Σε αυτή τη κατεργασία κοπής ανοίγουμε την οπή της μπουκαδούρας πάνω στο καλούπι.

6.3.13 Pocket operation

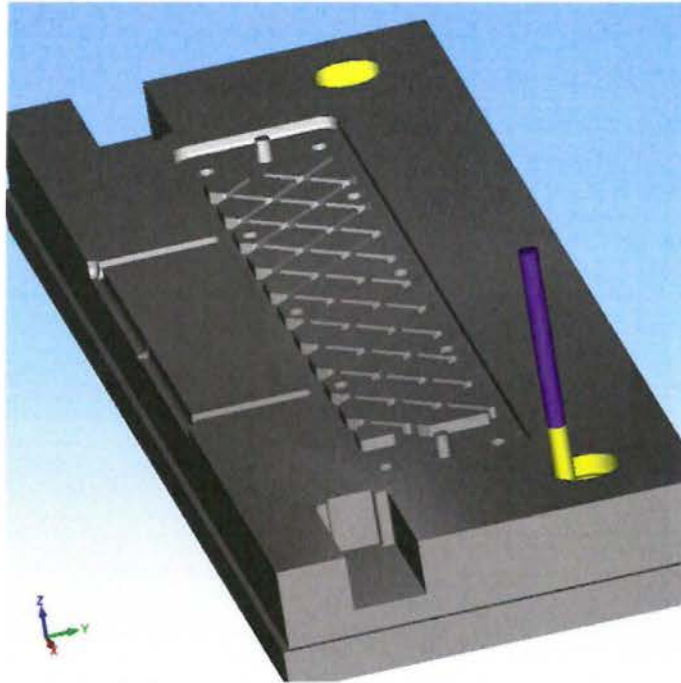


Κατασκευάζουμε δυο εισαγωγές τύπου edge του υλικού στη μήτρα.



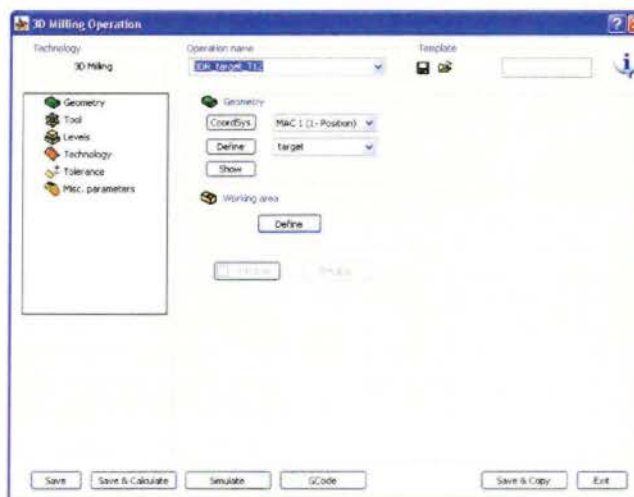
6.3.14 Pocket operation

Δημιουργία σπών ένωσης πύρων – οδηγών κατά την ένωση του κινητού και σταθερού μέρους του καλουπιού.



6.3.15 3D milling operation

Για να δημιουργήσουμε τους 2 μεντεσέδες λόγω της μορφής τους χρησιμοποιούμε 3D milling operation.



Geometry: από τη καρτέλα Working area πατάμε το Define, ανοίγοντας το παράθυρο Working area. Επιλέγοντας το Working area, ενεργοποιείται το κουμπί Define, το οποίο και το πατάμε. Στη συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο Geometry edit (βλέπε 6.2.3 Profile operation) και επιλέγουμε την επιφάνεια που θέλουμε να κόψουμε. Στην καρτέλα Tool on working area επιλέγουμε Internal, για αφαίρεση υλικού εσωτερικά του περιγράμματος.



Tool: Χρησιμοποιήσαμε κοπτικό END MILL διαμέτρου 6mm.



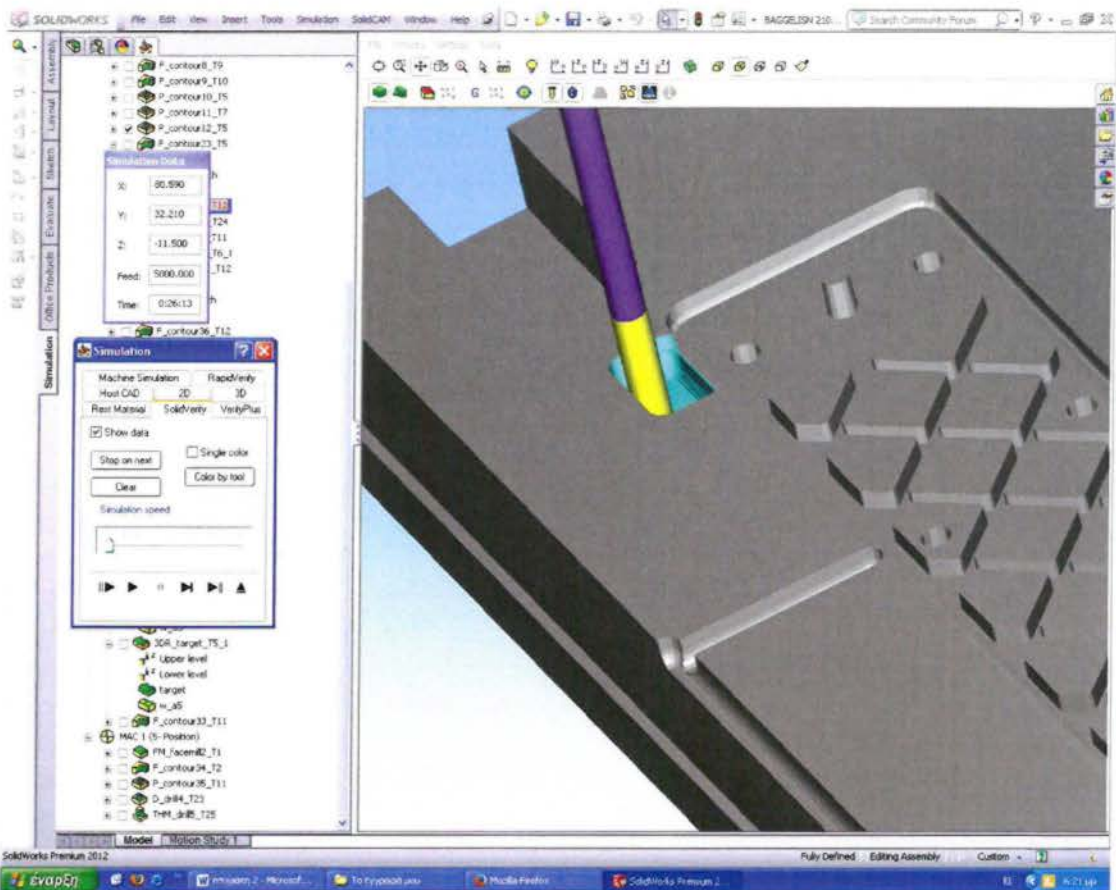
Technology: από την καρτέλα Rough επιλέγουμε Contour, βάζουμε Overlap 0.65 και βάθος κοπής (step down) 0.5mm. Από το Clean flat βάζουμε surface offset 0.5mm, και μηδενικά στα Wall και Floor offset. Συνεχίζοντας στην ίδια καρτέλα επιλέγουμε Mode, ανοίγοντας το παράθυρο Open Pocket Mode.

Επιλέγουμε τρόπο κοπής Pocket. Επίσης τσεκάρουμε Force open pockets as closed για να αντιμετωπίσει τις ανοιχτές γραμμές (όπου δεν υπάρχει υλικό) σαν κλειστές ώστε το κοπτικό να μην ξεπερνάει το όριο του περιγράμματος που έχουμε ορίσει στο Geometry. Τσεκάρουμε Approach open pocket from outside για να γίνει η εισαγωγή του κοπτικού εργαλείου όπου έχουμε ανοιχτή γραμμή – επιφάνεια.



Πατώντας Data από Technology καρτέλα Clean flat εμφανίζει το παράθυρο Contour parameters (βλέπε 6.2.8) και επιλέγουμε Connect Island, Inside, Linear.



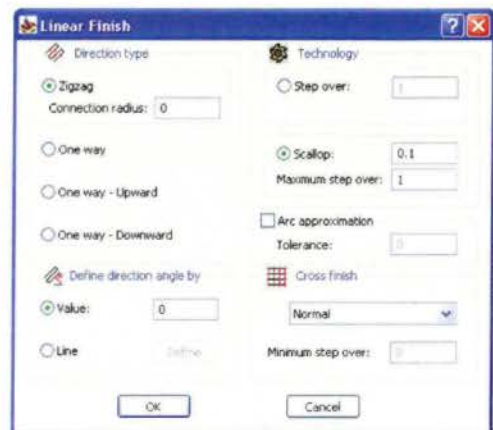


Simulate

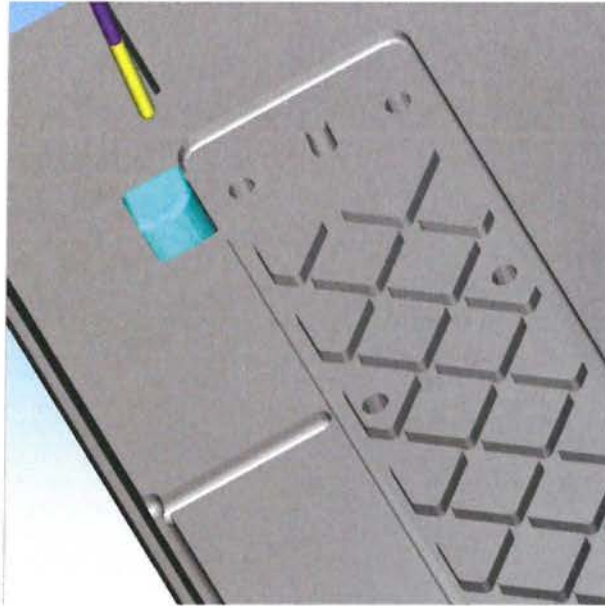
6.3.16 3D milling operation

Συνεχίζουμε με το φινίρισμα της προηγούμενης κατεργασίας χρησιμοποιώντας την ίδια γεωμετρία (Geometry), αλλάζοντας κοπτικό εργαλείο BULL NOSE MILL με 3mm διάμετρο, και ακτίνας 1mm.

Technology: αλλάζουμε βάθος κοπής σε 0.3mm και επιλέγουμε από την καρτέλα Finish το Linear και πατάμε Data, εμφανίζοντας το παράθυρο Linear Finish. Επίσης στην καρτέλα Direction type επιλέγουμε Zig zag και από technology βάζουμε μέγιστο μήκος μετακίνησης σε κάθε βήμα (Maximum step over) 1mm με Scallop 0.1mm (ύψος υλικού που απομένει ανάμεσα σε δυο διαδοχικά βήματα κοπτικού). Στο Cross finish επιλέγουμε Normal όπου το κοπτικό αφαιρεί υλικό διασταυρωτά.



Simulate

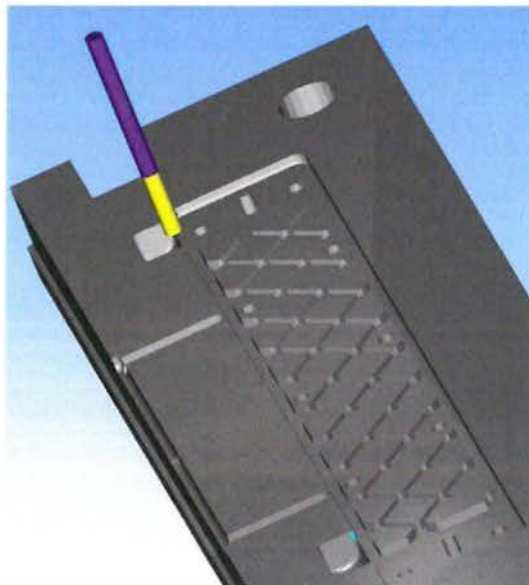


6.3.17 - 3D milling operation

Κάνουμε τα ίδια βήματα με τα παραπάνω για να φτιάξουμε το δεύτερο μεντεσέ του δοκιμίου.

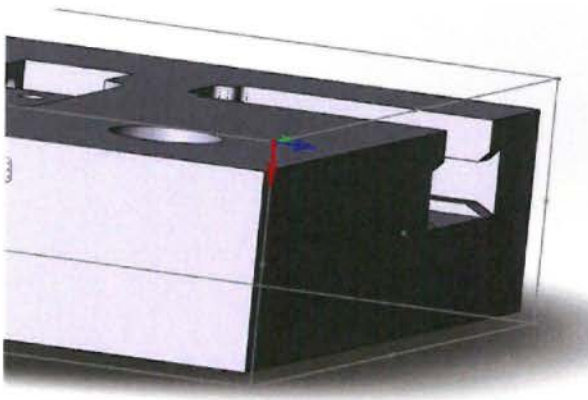
6.3.18 Profile operation

Αφαιρούμε τα γρέζια από τις άκρες των μεντεσέδων.



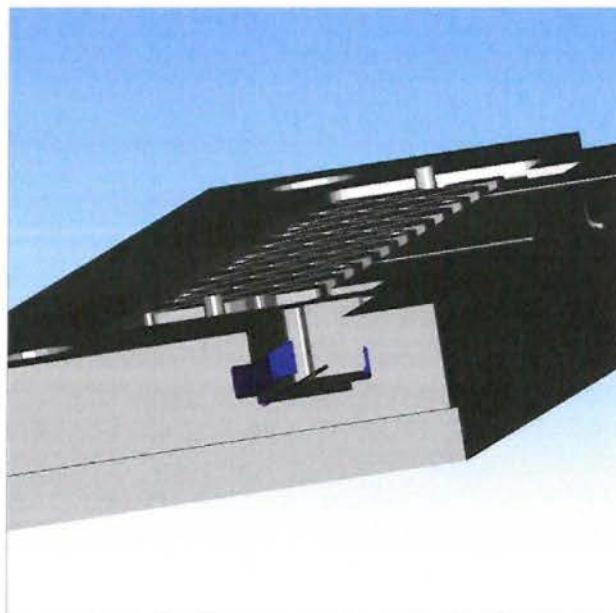
6.3.19 Περιστροφή του δοκιμίου και αλλαγή του σημείου αναφοράς

Πηγαίνουμε στο δέντρο εντολών στο CoordSys Manager, πατάμε δεξί κλικ και οpen. Εμφανίζεται το παράθυρο CoordSys Manager, δεξί κλικ και επιλέγουμε Add για να προσθέσουμε νέο σημείο αναφοράς. Στη συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο CoordSys (βλέπε 6.1 Δ) και με την επιλογή Define τοποθετούμε στο σημείο που θέλουμε το σύστημα των αξόνων.



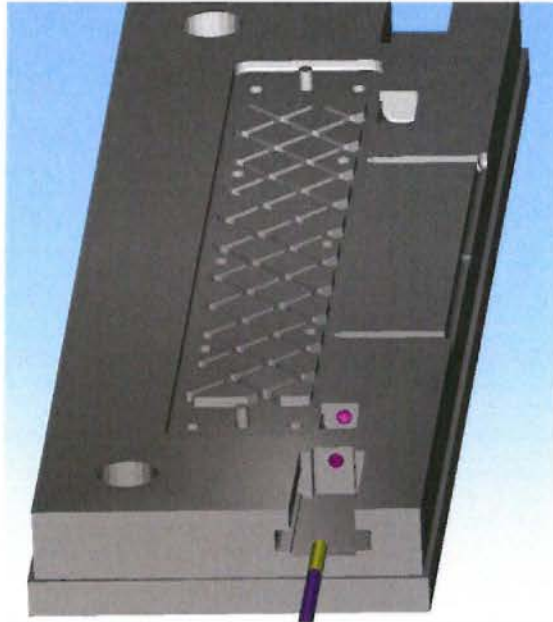
6.3.20 Pocket operation

Άνοιγμα της υποδοχής και καθοδήγησης του μηχανισμού στα συρτάρια. Από Geometry καθορίζουμε την επιφάνεια κοπής, στη συνέχεια επιλέγουμε το κοπτικό εργαλείο TAPERMILL 1mm από Tool. Από Levels ορίζουμε σημείο αρχής -2 (Upper level) και βάθος 46.5 (Pocket depth). Καθορίζουμε τις παραμέτρους κοπής από Technology και παρακολουθούμε τη διαδικασία κοπής.



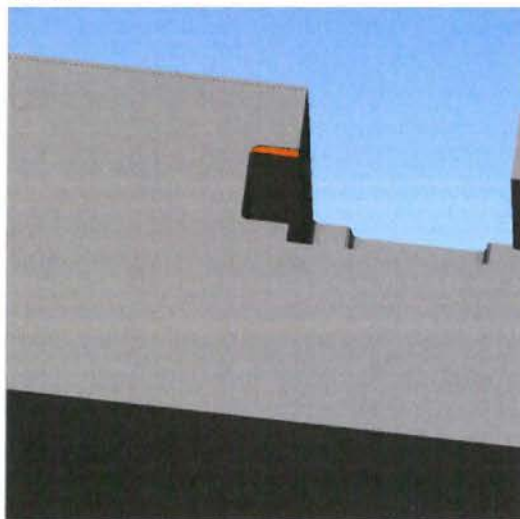
6.3.21 Drill operation

Άνοιγμα οπών στα συρτάρια. Χρησιμοποιούμε την εντολή αυτή για να ανοίξουμε τις οπές στα συρτάρια. Χρησιμοποιούμε κοπτικό εργαλείο DRILL 5mm, με Upper level -50 και Drill depth 40mm. Στο Depth type επιλέγουμε Full diameter ώστε το τελείωμα της οπής να μην μικρώνει λόγω της γωνιακής μύτης του κοπτικού. Από Technology επιλέγουμε Drill cycle type – Drilling.

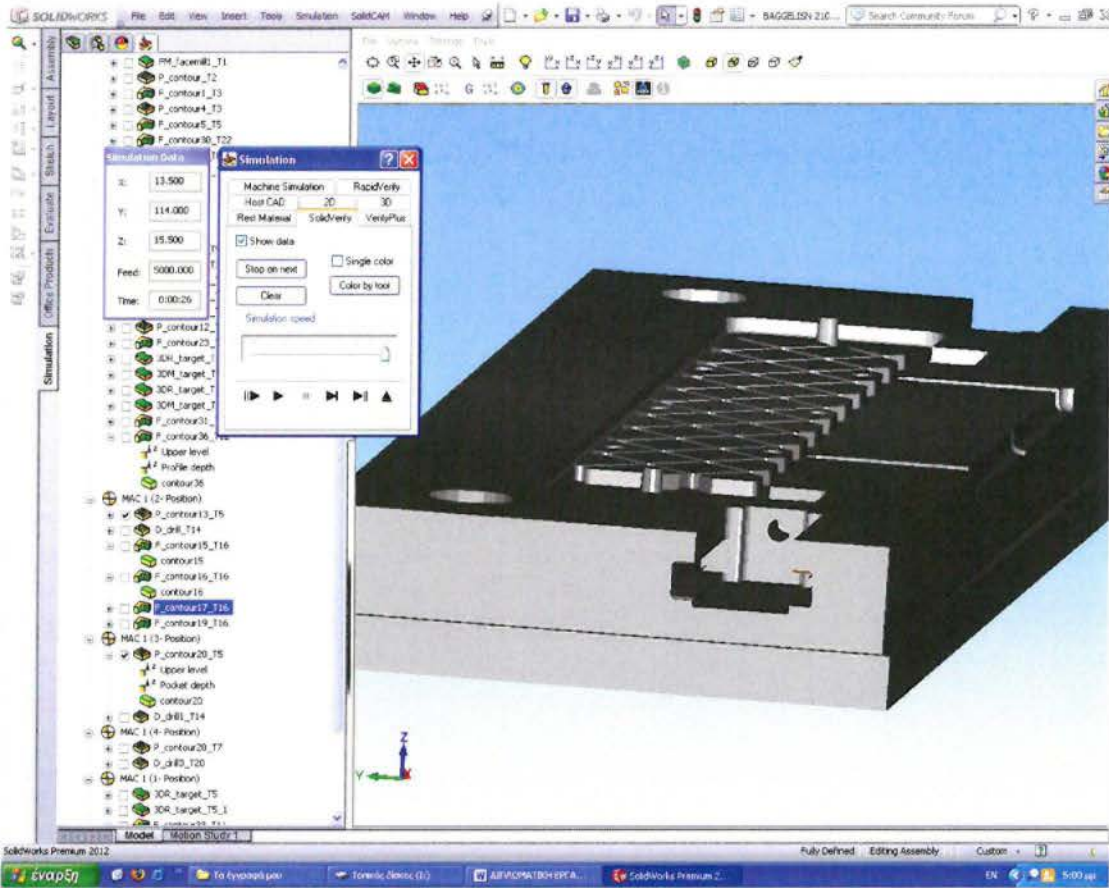


6.3.22 Profile operation (Fillet)

Φτιάχνουμε τα Fillet για να γίνεται πιο εύκολα η εισαγωγή των μηχανισμών. Επιλέγουμε το κατάλληλο κοπτικό εργαλείο CHAMFER DRILL διαμέτρου 2mm, με Upper level 0 και Profile depth 2mm. Από Technology καρτέλα Modify – Geometry βάζουμε End -1, ώστε στο τελείωμα της κοπής να μην ξεπερνάει τα όρια της επιφάνειας. Από καρτέλα Rest material επιλέγουμε Chamfer.



Αλλαγή σημείου αναφοράς (0,0) στην απέναντι πλευρά του δοκιμίου για την κατασκευή των υπόλοιπων συρταριών. Ακολουθούμε τα βήματα των προηγούμενων 4 παραγράφων (βλέπε 6.2.19 έως 6.2.22).



6.3.23 Αλλαγή σημείου αναφοράς

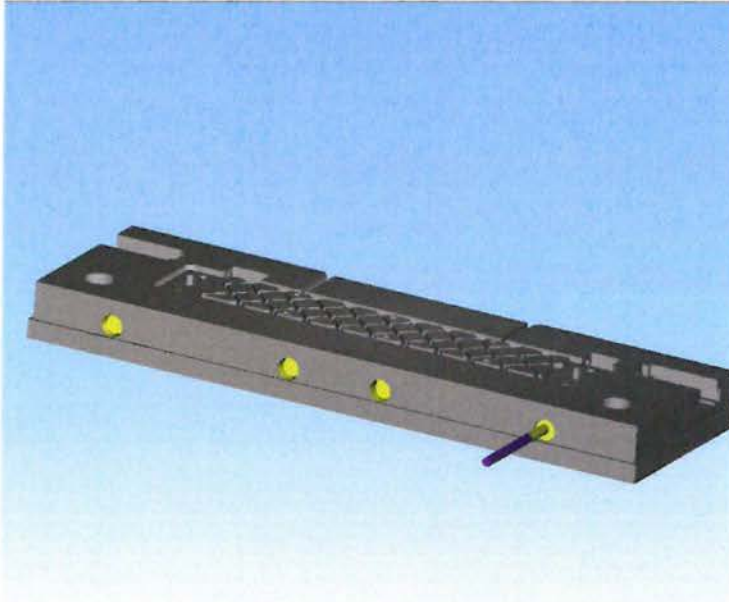


Για να αλλάξουμε το σημείο αναφοράς, πηγαίνουμε στο δέντρο εντολών πατάμε δεξί κλικ πάνω στο CoordSys Manager και Open. Εν συνέχεια εμφανίζεται το παράθυρο CoordSys Manager. Πατάμε δεξί κλικ και Add για να ορίσουμε νέο σημείο αναφοράς του δοκιμίου. Εφόσον γίνουν όλα αυτά ακολουθούμε την ίδια διαδικασία όπως στην 6.15. Αυτή η διαδικασία γίνεται για να μπαίνει το κοπτικό κάθετα στην επιφάνεια κοπής.



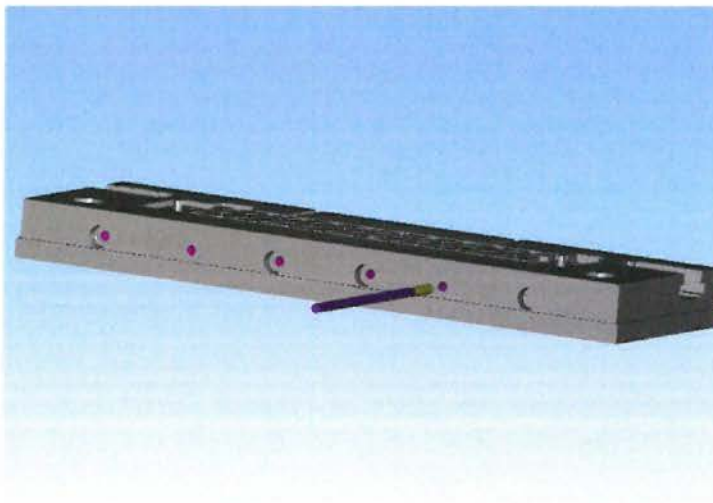
6.3.24 Pocket operation

Άνοιγμα υποδοχών των αγωγών για τη ψύξη του καλουπιού. Εφόσον έχουμε ορίσει το σημείο αναφοράς στην κατάλληλη επιφάνεια του δοκιμίου, στην συνέχεια επιλέγουμε την επιφάνεια κοπής, και κοπτικό εργαλείο END MILL 6mm. Ορίζουμε σημείο αρχής 2mm και τέλους 8mm και παρακολουθούμε τη διαδικασία κοπής.



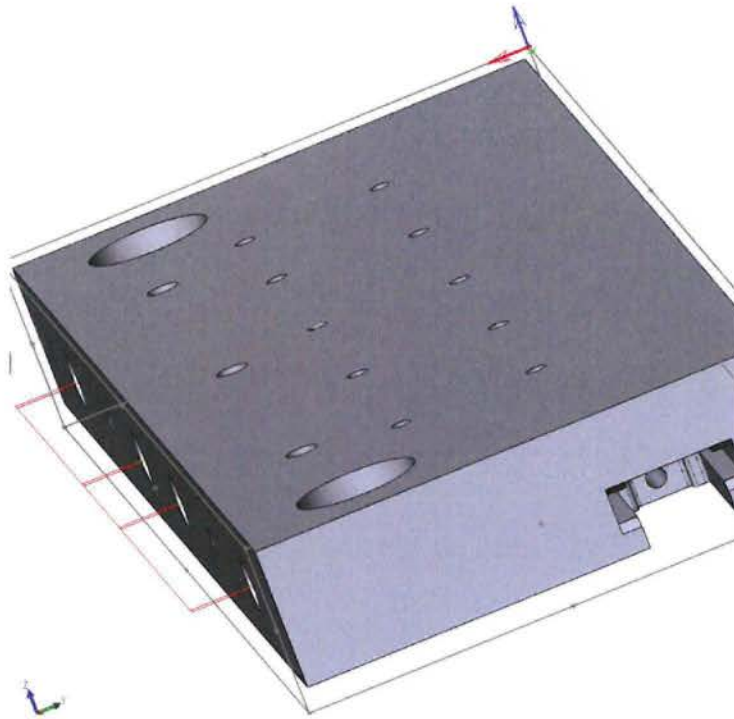
6.3.25 Drill operation

Άνοιγμα των αγωγών (καναλιών) για την ψύξη του καλουπιού. Για να γίνουν οι οπές χρησιμοποιούμε πάλι την εντολή Drill, με τη ίδια διαδικασία όπως στο 6.3.21 αλλάζοντας κοπτικό εργαλείο DRILL 6mm, Upper level -2mm και Drill depth 130mm.



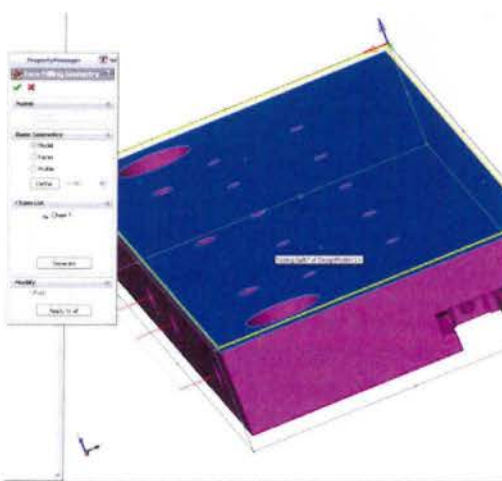
6.3.26 Αλλαγή σημείου αναφοράς

Αλλάζουμε το σημείο αναφοράς σύμφωνα με την επιφάνεια κοπής, για να μπορούμε να επιλέξουμε την επιφάνεια που θα κοπεί. Η αλλαγή γίνεται με την ίδια διαδικασία όπως και στη 6.3.23, έτσι ώστε ο άξονας Z να είναι παράλληλος και αντίθετης φοράς από το αρχικό σημείο αναφοράς.



6.3.27 Face milling

Ξεκινώντας πηγαίνουμε Operations πατάμε δεξί κλικ, επιλέγουμε Add Operation – Face και εμφανίζεται το παράθυρο Face Milling Operation.

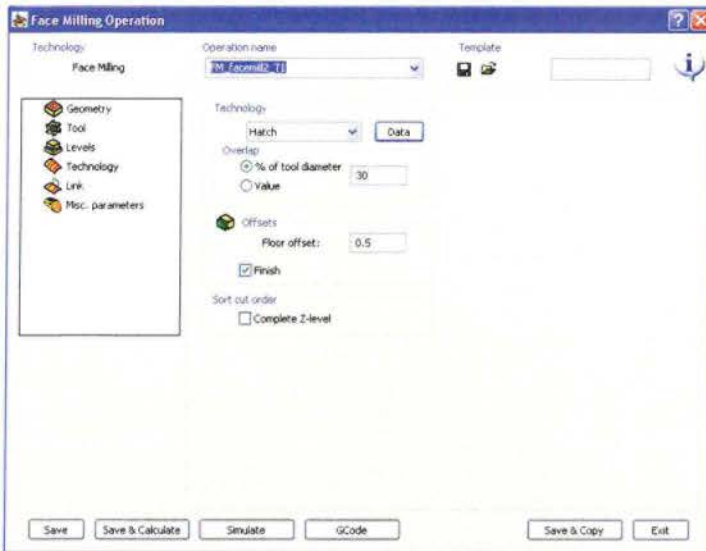


Geometry: Πατάμε Define και εμφανίζεται το παράθυρο Face milling geometry. Στη καρτέλα Base geometry επιλέγουμε Model, πατάμε επάνω στην επιφάνεια που θέλουμε να κόψουμε και το πρόγραμμα επιλέγει με διαφορετικό χρώμα την επιφάνεια κοπής.

Tool: επιλέγουμε κοπτικό FACE MILL διαμέτρου 100mm.

Levels: Βάζουμε ανώτατο σημείο (Upper level) 0, και βάθος (Face depth) 2mm. Επίσης βάζουμε βάθος κοπής (Step down) 2mm.





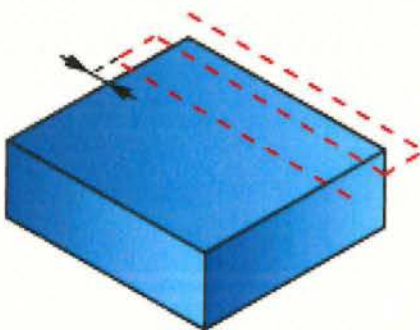
Technology: Από την καρτέλα Technology επιλέγουμε Hatch και στη συνέχεια πατάμε Data όπου εμφανίζεται το παράθυρο Hatch Data.

Επιλέγουμε από την καρτέλα Extension – Along την πρώτη επιλογή % of tool diameter 110. Με την επιλογή αυτή καθορίζουμε το ποσοστό επί τις εκατό του κοπτικού εργαλείου που θα εξέχει από το δοκίμιο (κατά μήκος της διεύθυνσης κοπής) κάθε περάσματος.

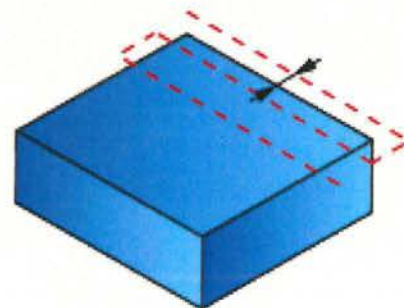
Με το Across καθορίζουμε το ποσοστό επί τις εκατό του κοπτικού εργαλείου που εξέχει από το δοκίμιο κατά την εισαγωγή και εξαγωγή του σε αυτό.



Along



Across

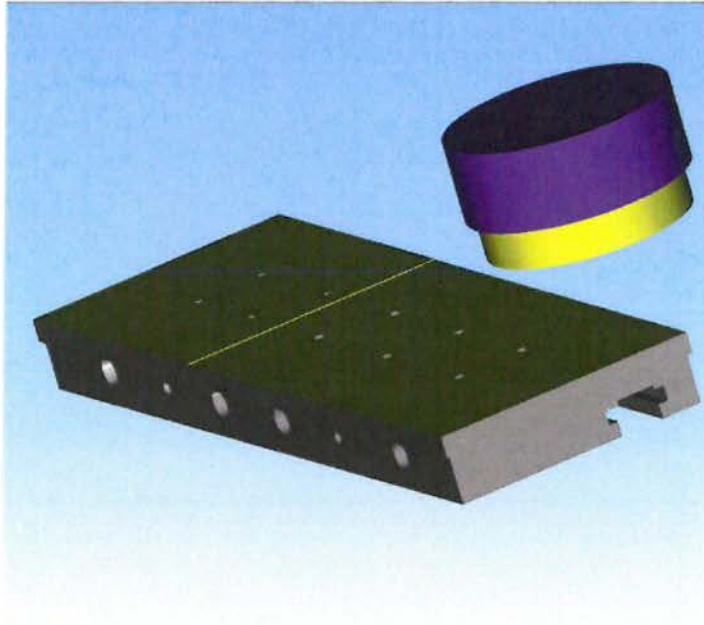


Από τη καρτέλα Cutting direction επιλέγουμε Zig Zag. Τέλος από την καρτέλα Hatch angle, επιλέγουμε User defined angle όπου καθορίζει τη γωνία διεύθυνσης του κοπτικού σε σχέση με το δοκίμιο.



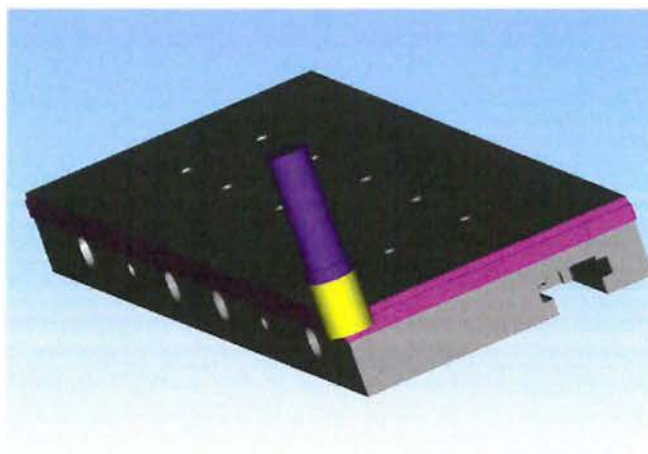
Από το παράθυρο Face Milling operation και καρτέλα Offsets βάζουμε Floor offset 0.5mm και επιλέγουμε Finish, για να κόψει το Offset με φινιρίσμα.

Simulate

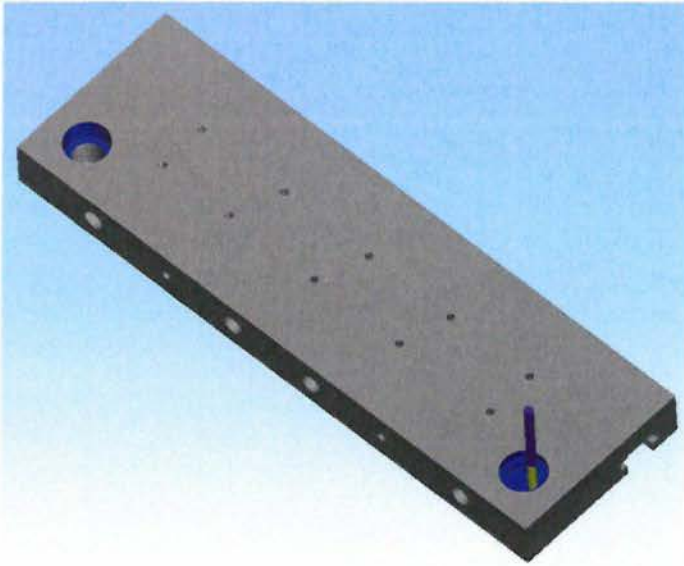


6.3.28 Profile operation

Κόβουμε περιμετρικά το υλικό που είχαμε αφήσει από 6.3.3 λόγω της μέγγενης. Χρησιμοποιούμε κοπτικό εργαλείο END MILLING 10mm και ακλουθούμε την ίδια διεργασία για τα απομείναντα 13mm. Από Technology ορίζουμε Wall offset 1mm με ένα πέρασμα κάθε φορά και βάθος κοπής 0.5mm. Δεν χρειάζεται να ορίσουμε Clear offset, διότι έχουμε μικρό Stock και δεν υπάρχει πρόβλημα στο βάθος κοπής.

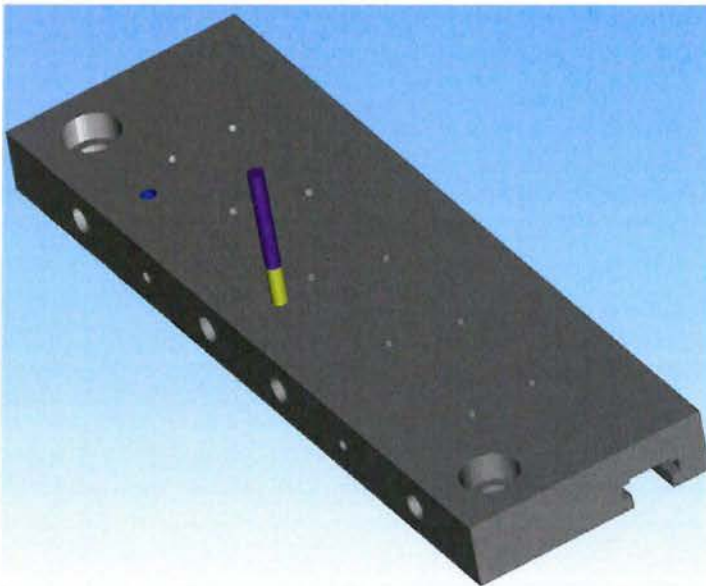


6.3.29 Pocket operation



Φτιάχνουμε τις υποδοχές των πύρων – οδηγών. Χρησιμοποιούμε κοπτικό END MILLING 6mm, και φτάνουμε σε βάθος 15mm. Επίσης από Technology επιλέγουμε Finish Wall και Floor κάνοντας φινιρίσμα με ένα πέρασμα, καθώς έχουμε μήκος κοπτικού 30mm. Τέλος επιλέγουμε Overlap 65% του κοπτικού.

6.3.30 Drill operation

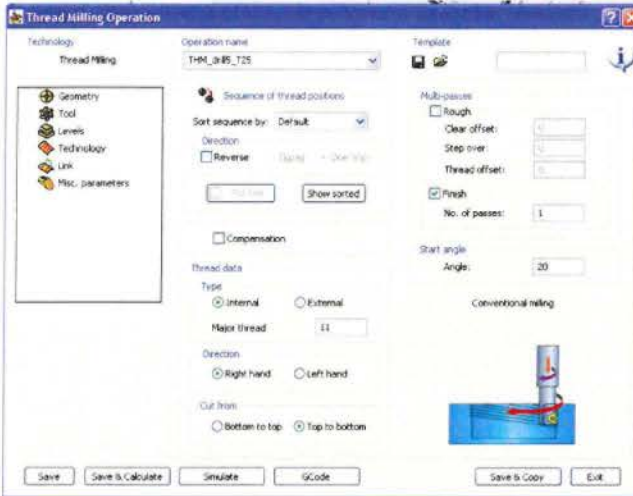


Άνοιγμα οπών για τη συγκράτηση της μήτρας με τη πλάκα στήριξης. Χρησιμοποιούμε κοπτικό εργαλείο DRILL 8mm, με Upper level -2 και Drill depth 20mm. Στο Depth type επιλέγουμε Full diameter ώστε το τελείωμα της οπής να μην μικρύνει λόγω της γωνιακής μύτης του κοπτικού. Στο Geometry Edit πατάμε στις οπές που θέλουμε να επιλέξουμε και αυτόματα το πρόγραμμα δημιουργεί κύκλο πάνω από τις επιλεγμένες οπές. Από Technology επιλέγουμε Drill cycle type – Drilling.

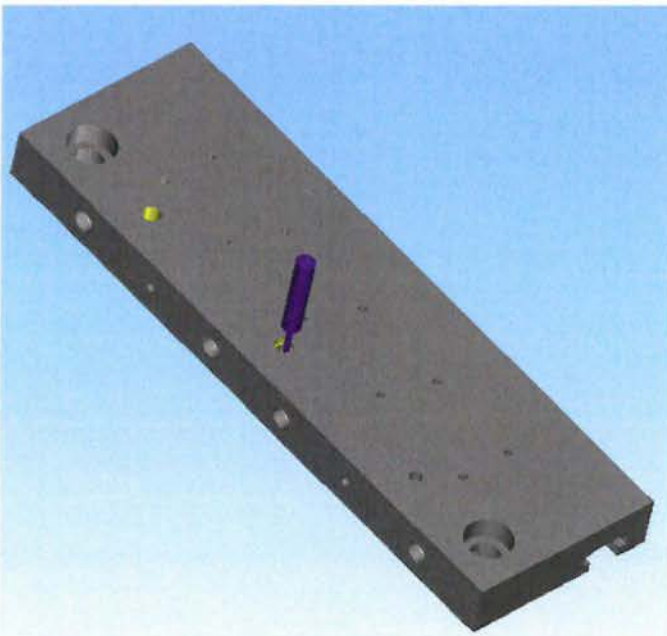


6.3.31 Thread Milling operation

Τέλος φτιάχνουμε σπείρωμα στις 3 προηγούμενες οπές.



Technology: Στην καρτέλα Thread Data – Τυρε επιλέγουμε αν θα κάνουμε εσωτερικό ή εξωτερικό σπείρωμα, και τον αριθμό σπειρών που θα βάλουμε. Στο Direction επιλέγουμε αριστερόστροφο ή δεξιόστροφο σπείρωμα. Τέλος στο Cut from επιλέγουμε αν θα ξεκινήσει η κοπή από κάτω προς τα πάνω ή το αντίστροφο.



Κεφάλαιο 7°

7.1 Προβλήματα και αντιμετώπιση αυτών

Σε αυτό το κεφάλαιο θα αναλύσουμε τα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε κατά τη μοντελοποίηση, κατεργασία κοπής του μοντέλου και τους τρόπους αντιμετώπισης τους. Αναφέρονται τεχνικά και σχεδιαστικά προβλήματα που σε κάποιες περιπτώσεις για την επίλυσή τους ήταν αναγκαία ακόμα και η τροποποίηση του αρχικού σχεδίου. Δίνονται παραδείγματα (όπου είναι αναγκαίο και εφικτό) κυρίως μέσω εικόνων ώστε να γίνετε καλύτερα κατανοητό το είδος του κάθε προβλήματος

7.1.1 CAD

Κατά τη διαδικασία μοντελοποίησης του καλουπιού παρουσιάστηκαν οι παρακάτω δυσκολίες:

α) Το διαφορετικό ύψος/επίπεδο των μεντεσέδων από το υπόλοιπο εργαλείο κατέστησαν δύσκολη τη δημιουργία των διαχωριστικών γραμμών (parting lines). Για να τις τοποθετήσουμε αναγκαστήκαμε να κόψουμε το δοκίμιο στη μέση με την εντολή split line έτσι ώστε να μπορούσαμε να δημιουργήσουμε μια ενιαία επιφάνεια στην οποία θα τοποθετηθούν οι γραμμές διαχωρισμού.

β) Κατά την εκτέλεση της εντολής tooling split, δεν ήταν εφικτή η δημιουργία κλίσης/γωνίας διαχωρισμού (interlock surface) στους μεντεσέδες για την ευκολότερη εξαγωγή τους από το καλούπι, λόγω του σχήματος τους. Για το λόγο αυτό δημιουργήσαμε μόνοι μας κλίση με την εντολή draft στα σημεία διαχωρισμού.

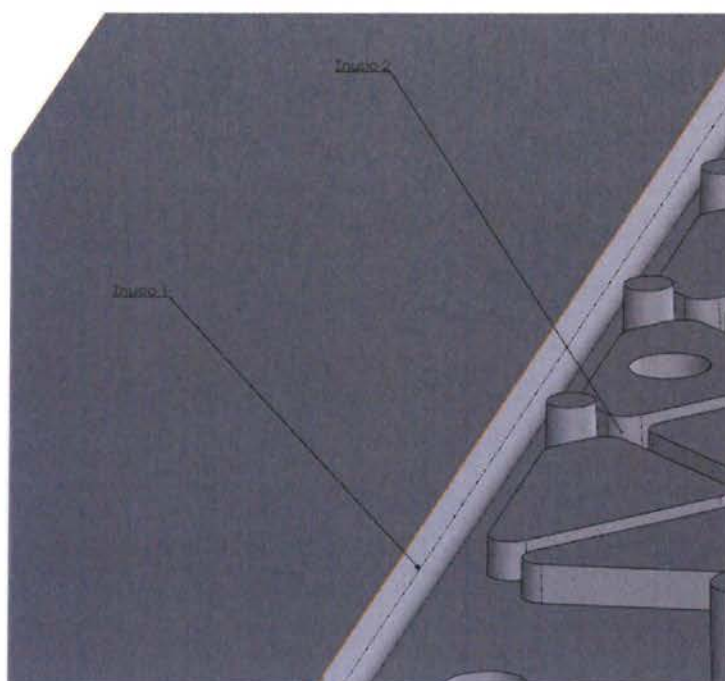
γ) Για τη δημιουργία των οπών στους μεντεσέδες αναγκαστήκαμε να κατασκευάσουμε το σύστημα μηχανισμό – συρτάρια. Οι μηχανισμοί βρίσκονται στο κινητό μέρος και συνδέονται με διαγώνιους πύρους ώστε να γίνεται δυνατή η μετακίνηση τους (μπρος – πίσω) κατά το άνοιγμα και κλείσιμο του καλουπιού. Με τον τρόπο αυτό όταν το καλούπι κλείνει οι πύροι σπρώχνουν τους μηχανισμούς προς το υπόλοιπο καλούπι ενώ όταν ανοίγει τους ωθούν προς τα έξω.

Οι μεντεσέδες δεν έχουν πλήρως κυκλικό σχήμα γιατί δεν θα ήταν εφικτή η εξαγωγή τους από το καλούπι κατά την εξόλκευση. Για το λόγο αυτό το σχήμα τους είναι μερικώς κυκλικό και στην εξωτερική πλευρά τους έχουν από μια κάθετη ευθεία πλευρά.



δ) Για την κατασκευή των διαγώνιων οπών (μηχανισμούς, σταθερό μέρος) χρησιμοποιήσαμε Plane από Reference Geometry το οποίο δίνει τη δυνατότητα να κατασκευάσουμε μια επιφάνεια για δημιουργία Sketch υπό οποιοδήποτε γωνία και σε οποιοδήποτε σημείο θέλουμε.

7.1.2 CAM



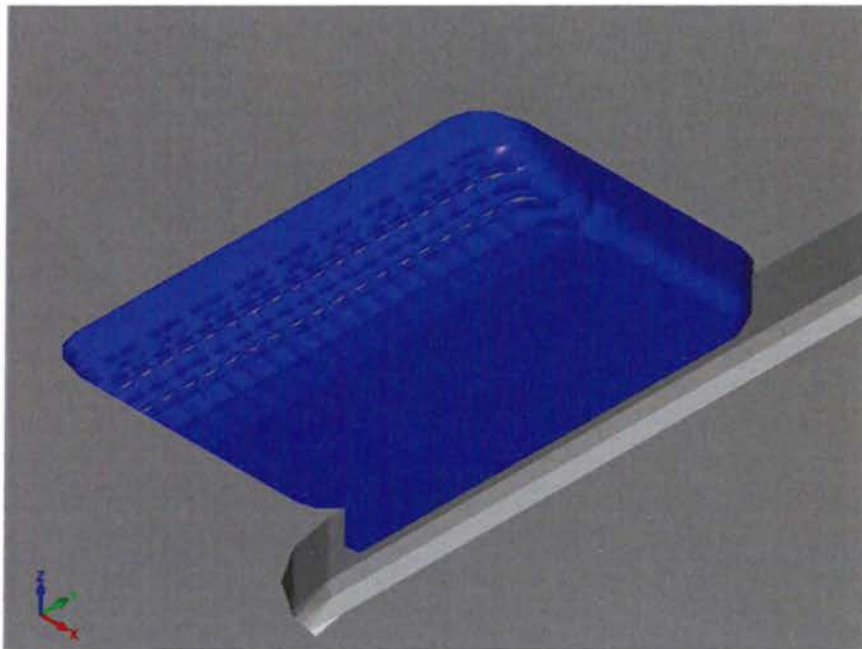
α) Οι κλίσεις στα σημεία διαχωρισμού του καλουπιού (Σημείο 1) και στις τρύπες μορφοποίησης (Σημείο 2) όπως φαίνεται στην Εικόνα, δημιουργήθηκαν με την εντολή Draft στο CAD. Στο CAM (SolidCAM) δεν μπορούσαμε να τις κατασκευάσουμε στο 2,5D operation με απλό κοπτικό εργαλείο, διότι η εντολή 2,5D operation αδυνατεί να κόψει υπό κλίση. Υπάρχει η εντολή Wall draft angle στο Pocket και Profile operation, όμως ούτε με τη χρήση της συγκεκριμένης εντολής το πρόγραμμα δημιουργούσε κλίση στα σημεία κοπής. Ο μόνος τρόπος για να δημιουργήσουμε τις κλίσεις αποκοπής ήταν να χρησιμοποιήσουμε κοπτικό τύπου TAPER MILL (κλίση 2°), κατάλληλο για τέτοιου είδους κατεργασίες. Η χρήση 3D operation δεν είναι ακατάλληλη για τη συγκεκριμένη κατεργασία καθώς χρησιμοποιείτε μεμονωμένα για την κατασκευή μιας συγκεκριμένης επιφάνειας και όχι για πολλαπλά μονοπάτια.

β) Για να γίνουν οι μεντεσέδες χρησιμοποιήσαμε 3D operation, κατάλληλη για καμπυλωτές επιφάνειες. Λόγο του σχήματος τους οι 2,5D operations ήταν ακατάλληλες για την δημιουργία τους.



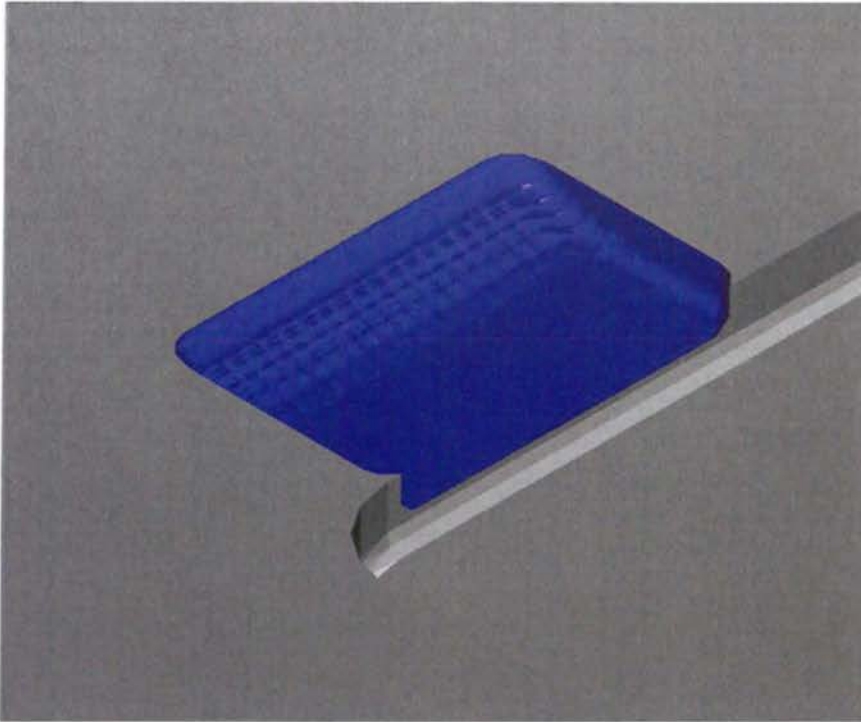
Η χρήση 3D operation αντιμετωπίζει τα παρακάτω προβλήματα:

1. Η επιφάνεια δεν γίνεται τελείως λεία διότι ανάμεσα στα διαδοχικά βήματα του κοπτικού απομένει μια γραμμή υλικού. Αυτό γίνεται λόγω της μορφής του κοπτικού εργαλείου (BULL NOSE κυκλική μορφή στο κάτω μέρος του)
 2. Βασικός παράγοντας των ορθών διαστάσεων είναι το Step down (Technology). Αν βάλουμε μεγαλύτερο βάθος κοπής από το επιτρεπτό (ανάλογα με το σχήμα), κατά το ξεχόνδρισμα αφαιρείται παραπάνω υλικό (δημιουργεί μεγάλο σκαλοπάτι) και δημιουργούνται αυλακώσεις.
- ❖ Χρησιμοποιώντας απλή εντολή Pocket (2.5D) το πρόγραμμα έφτιαχνε ένα απλό τετράγωνο κουτί στις διαστάσεις του μεντεσέ χωρίς καμπυλότητα.



Μεγαλύτερο βάθος κοπής (Step down)



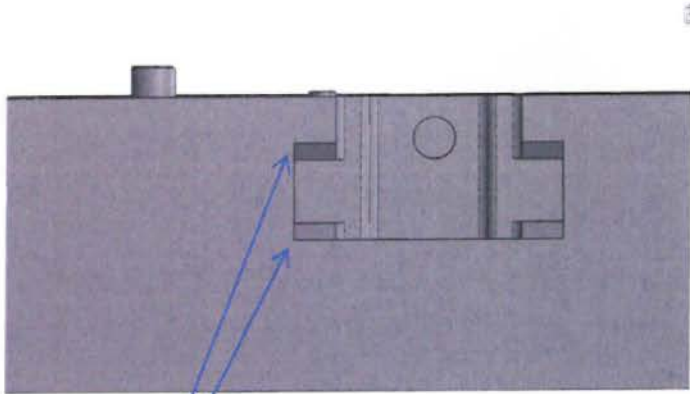


Σωστό βάθος κοπής (Step down)

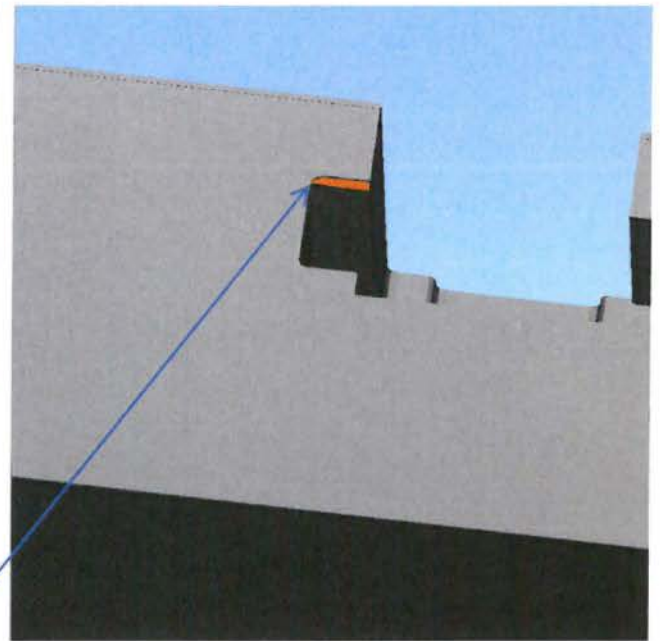
γ) Στα συρτάρια υποδοχής μηχανισμών, στο αρχικό σχέδιο δεν υπάρχουν καμπύλες. Με τη χρήση του CAM είναι αδύνατον να παραμείνουν οι γωνίες, καθώς το κοπτικό εργαλείο όσο μικρή διάμετρο και να έχει, πάντα θα αφήνει μια καμπυλότητα ακτίνας R ίση με του κοπτικού. Όταν το πρόγραμμα διαβάξει την επιφάνεια κοπής που του έχουμε ορίσει, ακολουθεί περιγραμματικά την επιφάνεια και στις γωνίες δημιουργεί την καμπυλότητα

Σε μεγάλες επιφάνειες κοπής, για να γλυτώσουμε χρόνο μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κοπτικό μεγάλης διαμέτρου, και στη συνέχεια με την εντολή Rest (αφαίρεση υλικού στις γωνίες) διαμορφώνονται οι γωνίες με μικρότερο κοπτικό.

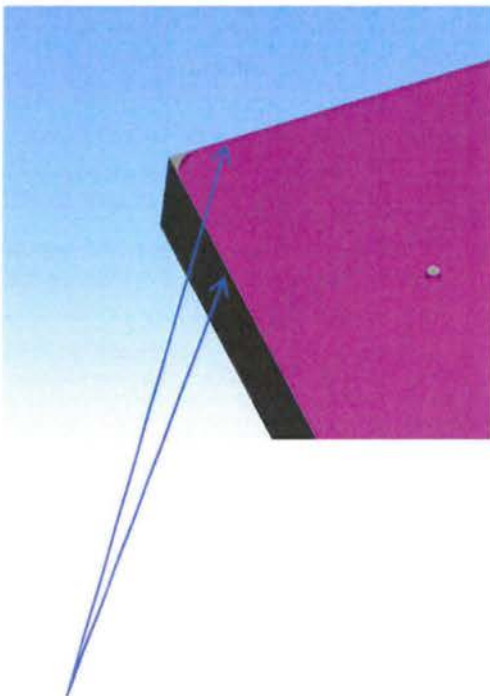




Σχέδιο στο CAD



Δημιουργία καμπύλης ακτίνας R στο CAM

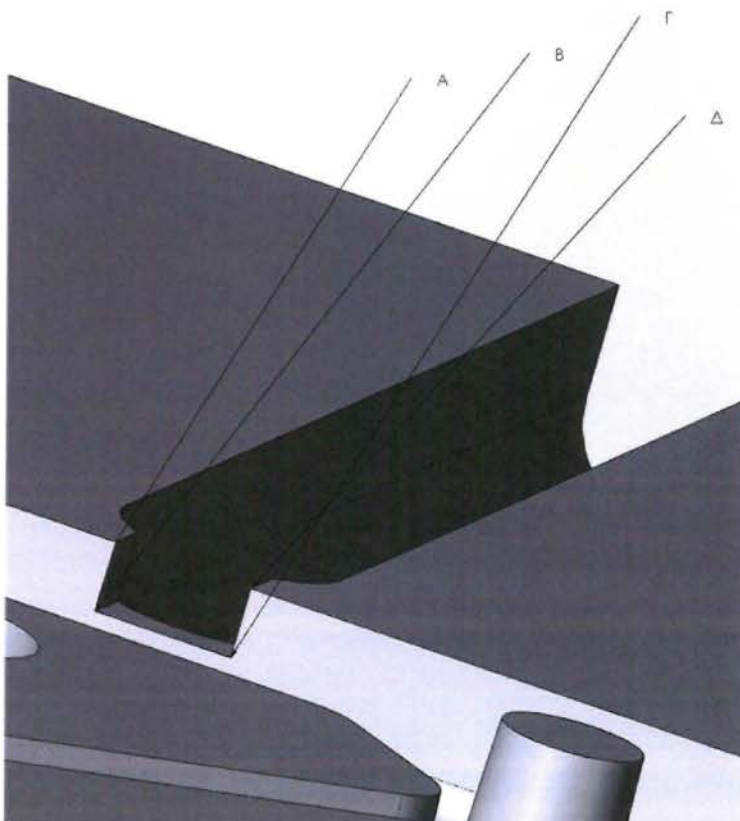
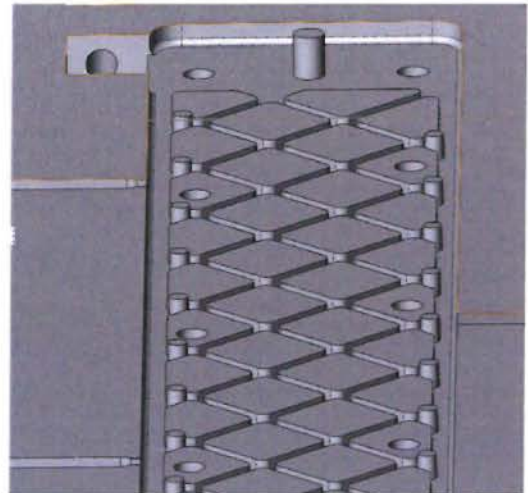
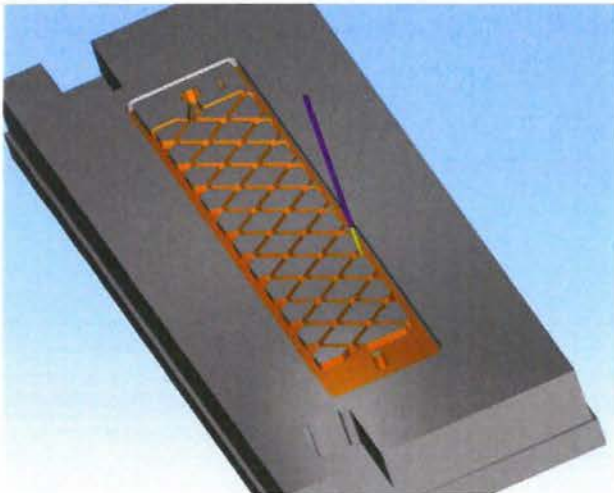


Ανοιχτές γραμμές

δ) Πολλές φορές χρησιμοποιούμε την εντολή Rocket operation σε ανοιχτές επιφάνειες. Στις γωνίες της επιφάνειας αφήνει άκοπο υλικό ακτίνας R ίση με του κοπτικού εργαλείου. Για την αντιμετώπιση του προβλήματος αυτού, πηγαίνουμε στο παράθυρο Geometry Edit και πατώντας δεξιά κλικ επάνω στο Chain επιλέγουμε Mark open edges. Στη συνέχεια διαλέγουμε τις γραμμές πάνω στο σχέδιο οι οποίες είναι ανοιχτές. Τέλος πηγαίνουμε στο Technology και επιλέγουμε από την καρτέλα Open rockets το Use profile strategy. Με τον τρόπο αυτό το κοπτικό σε ανοιχτές γραμμές δεν τοποθετείται εφαπτομενικά, αλλά στο κέντρο της διαμέτρου του.



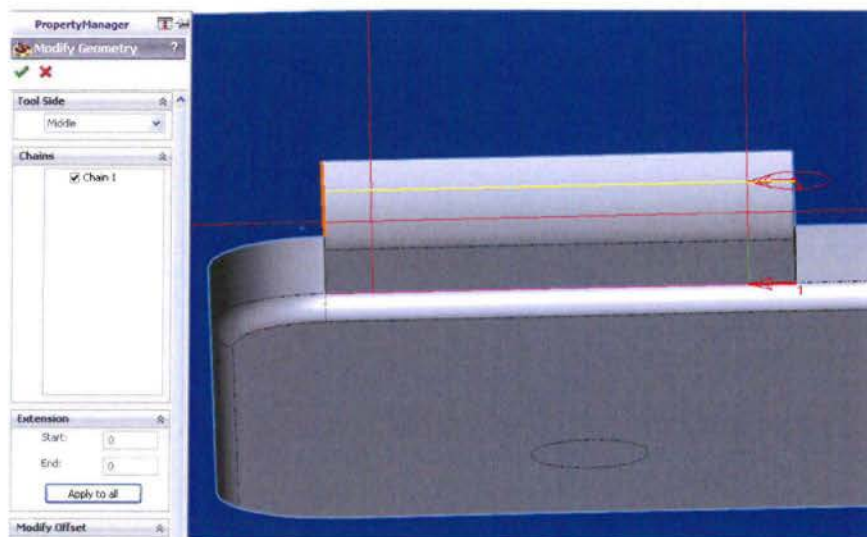
ε) Στη εντολή Rocket operation 6.3.8 (βλέπε παρακάτω εικόνα) τα στρογγυλά που χρησιμεύουν στο να μειώσουμε το υλικό στο χερούλι δημιουργώντας οπές (πιο ελαφρύ, οικονομικότερο), δεν διαβάζεται από το πρόγραμμα με αποτέλεσμα να τα αφαιρεί. Χρησιμοποιήσαμε και Multi chain και χειροκίνητα με Curve, αλλά κανένα από τα δυο δεν δέχθηκε ως υλικό αυτές τις συγκεκριμένες επιφάνειες.



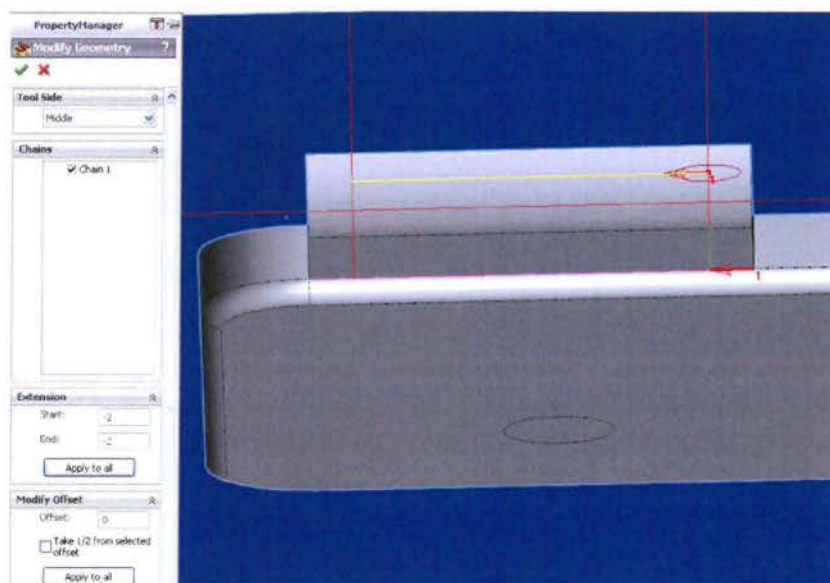
στ) Στον καθορισμό επιφάνειας κοπής (Geometry Edit) με την εντολή Curve επιλέγουμε συνεχόμενες καμπύλες μέχρι να δημιουργήσουμε την επιφάνεια κοπής. Σε περίπτωση που υπάρχει κενό μεταξύ δυο συνεχόμενων καμπυλών (A – Δ) δεν μπορούμε να τις ενώσουμε με την εντολή Curve, αλλά με το Point to Point. Η εντολή Curve ακολουθεί τη διαδρομή AB, ΒΓ, και ΓΔ καθώς ακολουθεί τη γεωμετρία του μοντέλου.



ζ) Στο Profile Operation υπάρχει μια ιδιομορφία ως προς την τοποθέτηση του κοπτικού στην επιλεγμένη επιφάνεια κοπής. Το κοπτικό τοποθετείται πάντα με το κέντρο του άξονα του στη επιλεγμένη γραμμή, αριστερά ή δεξιά αυτής. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα κατά την κοπή, στην αρχή και στο τέλος της διαδρομής που ακολουθεί το κοπτικό να προεξέχει και να αφαιρεί παραπάνω υλικό. Για να αντιμετωπιστεί αυτό, χρησιμοποιούμε Start και End (από Technology – Data (Modify) – Extension) το οποίο βοηθάει να καθορίσουμε το σημείο που θέλουμε να αρχίσει και να σταματήσει το κοπτικό εργαλείο.



Χωρίς Start και End

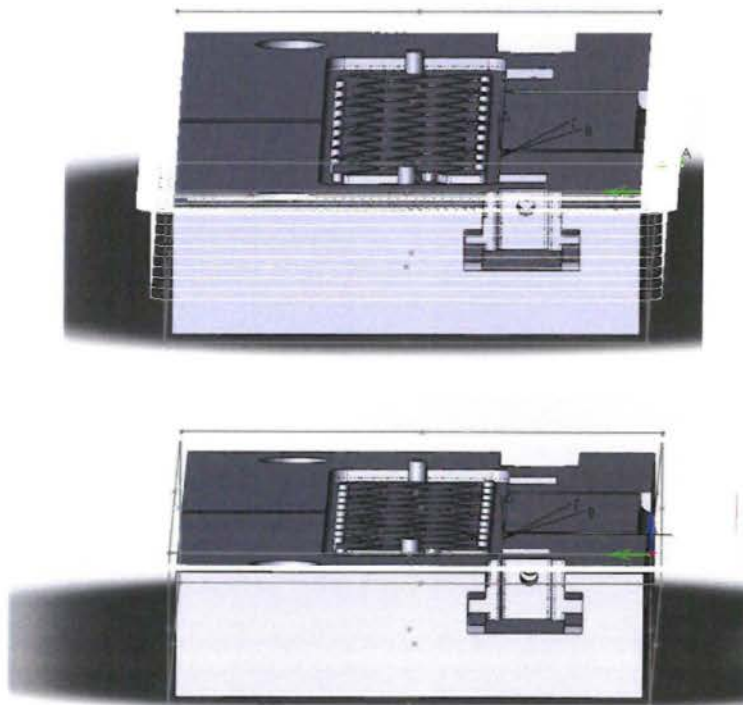


Με Start και End



η) Στο Pocket operation έχουμε την επιλογή να κάνουμε φινιρίσμα συνολικά με ένα πέρασμα, όταν η οπή έχει βάθος μικρότερο ή ίσο με το μήκος κοπής του κοπτικού εργαλείου, ή στο τέλος κάθε πέρασματος (ξεχόνδρισμα), όταν η οπή έχει βάθος μεγαλύτερο από το μήκος του κοπτικού εργαλείου. Εναλλακτικά στη δεύτερη περίπτωση, επιλέγουμε κοπτικό με μεγαλύτερο μήκος κοπής.

θ) Στο Profile operation πολλές φορές αντιμετωπίζουμε το πρόβλημα εγκάρσιας κοπής (κατά μήκος του άξονα Z). Κατά τον προεπιλεγμένο από το πρόγραμμα τρόπο κοπής του υλικού, το κοπτικό τοποθετείται κατευθείαν στο σημείο που έχουμε ορίσει ως τελική διάσταση στο Geometry Edit. Ξεκινάει τη διαδικασία κοπής περιμετρικά του τελικού σχήματος προς τα κάτω με βήμα που έχουμε ορίσει στο Profile Depth ενώ η εγκάρσια κοπή (π.χ. το + 2 του stock) γίνεται με ένα πέρασμα αφού δεν έχουμε ορίσει βήμα. Σε περίπτωση όμως, που θέλουμε το κοπτικό να ξεκινήσει την κοπή από την αρχή του Stock και να συνεχίσει την κοπή εγκάρσιως στον άξονα Z με συγκεκριμένο βήμα μέχρι να φτάσει στο σημείο που έχουμε ορίσει ως τελική διάσταση στο Geometry Edit, χρησιμοποιούμε την εντολή Clear Offset.



Κεφάλαιο 8^ο

8.1 Συμπεράσματα

Στο παράδειγμα της παρούσας πτυχιακής εργασίας έγινε χρήση ενός ολοκληρωμένου συστήματος CAD/CAE/CAM. Πρόκειται για προγράμματα συνεργαζόμενα μεταξύ τους για την μοντελοποίηση, στατική ανάλυση και προγραμματισμού εργαλειομηχανής CNC για την κατεργασία κοπής.

Αρχικά μοντελοποιήσαμε το τελικό προϊόν με τη χρήση συστήματος CAD για την τροποποίηση και βελτιστοποίηση του. Στη συνέχεια κάναμε στατική ανάλυση της γεωμετρίας CAD με σύστημα CAE, δίνοντας μας τη δυνατότητα να προσομοιώσουμε και να μελετήσουμε τη συμπεριφορά του μοντέλου κάτω από συγκεκριμένες πιέσεις και συγκεκριμένου υλικού. Στο τελευταίο και σημαντικότερο στάδιο της πτυχιακής, χρησιμοποιώντας τη γεωμετρία του μοντέλου CAD σε σύστημα CAM προγραμματίσαμε μια εργαλειομηχανή, επιτυγχάνοντας τη μηχανουργική κατεργασία κοπής του καλουπιού.

Το SolidWorks – CAD είναι ένα πρόγραμμα μοντελοποίησης που παρέχει τη δυνατότητα γρήγορου και εύκολου σχεδιασμού με μεγάλη ακρίβεια αρχικά σε επιφάνεια 2D Sketch. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα να μπορούμε να υλοποιήσουμε με απλό τρόπο το επιθυμητό σχέδιο, τοποθετώντας εύκολα και γρήγορα τις διαστάσεις, καθώς και να τροποποιήσουμε οποτεδήποτε τις διαστάσεις αυτές. Με το SolidWorks – CAD απεικονίζουμε το σχέδιο και σε τρισδιάστατη μορφή, ώστε να έχουμε καλύτερη άποψη του τελικού μοντέλου. Σχεδιάζουμε κάθε επιπλέον τμήμα του μοντέλου με νέο Sketch επάνω στην επιφάνεια που θέλουμε να το τοποθετήσουμε, δημιουργώντας ένα δέντρο εντολών. Όταν θέλουμε να τροποποιήσουμε κάποιο τμήμα του μοντέλου, το επιλέγουμε από το δέντρο εντολών, απομονώνοντάς το από το υπόλοιπο, το οποίο παραμένει αμετάβλητο.

Επιπλέον πλεονέκτημα του SolidWorks – CAD είναι η ενότητα Molds. Τελειώνοντας με τη μορφή, τις διαστάσεις και την απεικόνιση του αρχικού μοντέλου σε 3D μορφή χρησιμοποιούμε τις εντολές Molds, για να δημιουργήσουμε το αποτύπωμα του μοντέλου στη μήτρα. Αφού δώσουμε τα βασικά στοιχεία της μήτρας (π.χ. κλίση διαχωρισμού, parting lines, βάθος και μήκος) το πρόγραμμα δημιουργεί το αποτύπωμα του μοντέλου πάνω στις δυο μήτρες του κινητού και σταθερού μέρος του καλουπιού. Αυτό έχει ως αποτέλεσμα τη γρηγορότερη και ευκολότερη μοντελοποίηση, σχεδιάζοντας μόνο το



αρχικό μοντέλο (παραγόμενο προϊόν). Η ενότητα Molds είναι βασικό μέρος του SolidWorks για την μελέτη κατασκευής καλουπιού, σύμφωνα με αυτά που αναφέρθηκαν επάνω.

Όσον αφορά τα μειονεκτήματά του SolidWorks – CAD, θα πρέπει να σημειώσουμε ότι οι εντολές Molds είναι ιδιαίτερα πολύπλοκες ως προς την εφαρμογή των parting lines (γραμμές διαχωρισμού) και την εισαγωγή των κλίσεων διαχωρισμού. Επίσης, στο συγκεκριμένο πρόγραμμα δεν παρέχεται η δυνατότητα προσθήκης σπειρώματος, ως αυτόματη εντολή, παρά μόνο με το σχεδιασμό του.

Το Simulation – CAE παρέχει τη δυνατότητα, μετά την ολοκλήρωση σχεδιασμού του μοντέλου στο SolidWorks – CAD, να κάνουμε ανάλυση αντοχής του μέσω προσομοίωσης. Αυτό δίνει τη δυνατότητα, πριν την κατεργασία κοπής να ελέγξουμε αν το μοντέλο θα αντέξει στις απαιτήσεις λειτουργίας. Σε περίπτωση που τα αποτελέσματα μετά την ανάλυση αντοχής δεν είναι εντός προδιαγραφών, τροποποιούμε το αρχικό μοντέλο ώστε να καταλήξουμε στο επιθυμητό αποτέλεσμα πριν τη τελική φάση (κατεργασία κοπής). Με τα παραπάνω ελαχιστοποιούμε το κόστος ελέγχου ποιότητας του προϊόντος, διευκολύνοντας τον μελετητή να καταλήξει στην τελική απόφαση, ελέγχοντας το μετά από κάθε τροποποίηση του μοντέλου.

Το SolidCAM – CAM χρησιμοποιείται μετά τη διαδικασία της μοντελοποίησης και ανάλυσης αντοχής του μοντέλου για τον προγραμματισμό της εργαλειομηχανής CNC για την κατεργασία κοπής. Με τη βοήθεια του προγράμματος αυτού, δεν χρειάζεται να φτιάξουμε τον κώδικα G/M της εργαλειομηχανής, αντιθέτως παρέχεται η δυνατότητα να χρησιμοποιήσουμε τις εντολές του, οι οποίες θα δημιουργήσουν αυτόματα τον κώδικα G/M. Επίσης, δεν απαιτείται να καθορίσουμε τις συντεταγμένες της διαδρομής που θα ακολουθήσει το κοπτικό εργαλείο, καθώς αυτό γίνεται αυτόματα από το πρόγραμμα, καθορίζοντας την επιφάνεια κοπής, πάνω στο μοντέλο. Συνεπώς, σύμφωνα με τα παραπάνω αποφεύγονται λάθη συντεταγμένων καθώς ορίζεται με την επιλογή της επιφάνειας κοπής και λάθη εντολών προγραμματισμού κατά τη δημιουργία του κώδικα G/M. Διευκολύνεται ο χρήστης με το προγραμματισμό της εργαλειομηχανής καθώς χωρίς γνώσεις του κώδικα G/M μπορεί να προγραμματίσει οποιαδήποτε εργαλειομηχανή (π.χ. 2,5D, 3D, 5D κ.λπ.) πιο εύκολα, γρήγορα, και πιο σωστά. Επίσης, το CAM διαθέτει πλήθος εντολών για την κοπή οποιασδήποτε επιφάνειας, ώστε να έχουμε το καλύτερο επιθυμητό αποτέλεσμα.



Το γεγονός, όμως, ότι διαθέτει πλήθος εντολών το καθιστά ιδιαίτερα πολύπλοκο στη χρήση του, καθώς απαιτείται ο καθορισμός πολλών παραμέτρων έστω και για μια απλή κατεργασία. Τέλος, στο 2,5D Operation δεν υπάρχει η δυνατότητα να ορίσουμε κοπή καμπυλωτών επιφανειών, παρά μόνο με τη χρήση 3D Operation, με την οποία η διαδικασία γίνεται πιο χρονοβόρα.

Κλείνοντας συμπεραίνουμε ότι η χρήση του ολοκληρωμένου συστήματος CAD/CAE/CAM με τις δυνατότητες που παρέχει, βοηθάει τον μελετητή να φτάσει στην παραγωγή του προϊόντος, έχοντας ελαχιστοποιήσει τις πιθανότητες αποτυχίας σε κάθε φάση μελέτης (μοντελοποίηση, κατεργασία κοπής) και διευκολύνοντας τον να καταλήξει στην καλύτερη επιλογή, γρηγορότερα και ευκολότερα.

8.2 Βασικά προβλήματα, τρόποι και προτάσεις αντιμετώπισης τους

CAM

Κατά τη διάρκεια της χρήσης CAM αντιμετωπίσαμε προβλήματα κυρίως με τα κοπτικά εργαλεία, την ποιότητα επιφάνειας στο 3D operation, και τη γεωμετρία του μοντέλου.

- Σε αρκετά σημεία χρειάστηκε να τροποποιήσουμε και να χρησιμοποιήσουμε κοπτικά εργαλεία ώστε να ταιριάζουν ακριβώς στα σημεία κοπής. Αυτό γίνεται γιατί σε σημεία, όπως οι δρομείς (runners) για να κατασκευαστούν είτε πρέπει να χρησιμοποιήσουμε εργαλείο μεγέθους και σχήματος ίδιο με τους δρομείς, είτε να χρησιμοποιήσουμε 3D operation. Με 3D operation η επιφάνεια κοπής δεν γίνεται τελείως λεία κάτι που επηρεάζει τη ροή του υλικού μέσα σε αυτούς. Άρα πρέπει να έχουμε μεγάλη ποικιλία εργαλείων στο μηχανουργείο (μεγάλο κόστος) και σε κάποιες περιπτώσεις είναι δύσκολο να βρούμε έτοιμα κοπτικά με τις συγκεκριμένες διαστάσεις στο εμπόριο.

- Ο τρόπος αντιμετώπισης του προβλήματος αυτού είναι ή να τροποποιήσουμε τις διατάξεις του μοντέλου σύμφωνα με τα κοπτικά εργαλεία που έχουμε ή με παραγγελία των κατάλληλων κοπτικών.

- Ένα ακόμα πρόβλημα που αντιμετωπίσαμε στο CAM και κυρίως στο Pocket operation ήταν η στρογγυλοποίηση των γωνιών. Όταν το πρόγραμμα διαβάζει



την επιφάνεια κοπής που του έχουμε ορίσει, ακολουθεί περιγραμμικά την επιφάνεια και στις γωνίες δημιουργεί καμπυλότητα ακτίνας Rίση με την ακτίνα του κοπτικού.

Τρόποι αντιμετώπισης:

- Τροποποίηση του σχεδίου με καμπυλότητα ακτίνας Rίση με την ακτίνα του μικρότερου κοπτικού που έχουμε
 - Χρήση ειδικών κοπτικών εργαλείων αν υπάρχουν (π.χ. κοπτικά όχι κυκλικού τύπου) κατάλληλα για συγκεκριμένες κατεργασίες
 - Διαφορετικός τρόπος κατεργασίας (μονοπάτι κοπτικού, αλλαγή άξονα εισαγωγής κοπτικού). Μπορεί με αλλαγή του τρόπου εισαγωγής του κοπτικού σε κάποια επιφάνεια και με αλλαγή του μονοπατιού που θα ακολουθήσει να εξαλείφεται το πρόβλημα της καμπυλότητας .
- Το μονοπάτι που ακολουθεί το κοπτικό δημιουργείται εφόσον δώσουμε μέσω του Geometry edit την επιφάνεια/μορφή κοπής αυτόματα από το πρόγραμμα. Στις περιπτώσεις που έχουμε πολλαπλές επιφάνειες χρησιμοποιούμε Multi chain για γρηγορότερη επιλογή της επιφάνειας κοπής. Κάποιες φορές δημιουργούνται περιπτές και χρονοβόρες διαδρομές (μονοπάτια κοπτικού), κυρίως όταν υπάρχουν πολλαπλές επιφάνειες κοπής. Τα μονοπάτια που συνδέουν τις διαφορετικές επιφάνειες δεν είναι πάντα διαδοχικά με αποτέλεσμα το κοπτικό να μεταπηδά από ένα σημείο σε ένα άλλο αφήνοντας ενδιάμεσα άκοπο υλικό όπου επιστρέφει αργότερα να κόψει. Αυτή η άσκοπη μετακίνηση χωρίς να γίνεται κοπή δημιουργεί καθυστερήσεις, καθώς το κοπτικό και δεν κόβει υλικό αλλά και μετακινείται είτε στο σημείο αναφοράς είτε στο σημείο ασφαλείας για να μετακινηθεί από σημείο σε σημείο.

Τρόποι αντιμετώπισης:

- Υπάρχουν επιλογές για τη βελτίωση του προβλήματος όπως Exit material, ή Connect island στο Data contour , αλλά το πρόβλημα αντιμετωπίζεται σε μικρό βαθμό καθώς το μονοπάτι κοπής παραμένει ίδιο.



- Με διαδοχική αλλαγή διαδικασίας κοπής από Hatch σε Contour(π.χ. ξεχώρισμα με hatch και φινίρισμα με contour) ίσως υπάρξει δυνατότητα βελτίωσης.

CAD

- Στο CAD τα βασικότερα προβλήματα που αντιμετωπίσαμε ήταν η δημιουργία των μεντεσέδων. Λόγω του σχήματος τους στην ενότητα των Molds δεν μπορούσαμε να εισάγουμε γραμμές διαχωρισμού (Parting lines), γιατί δημιουργούταν μια επιφάνεια ενιαία σε δυο διαφορετικά επίπεδα. Η αντιμετώπιση του προβλήματος ήταν να γίνει γραμμή διαχωρισμού στη μέση του μοντέλου ώστε να δημιουργηθεί μια ενιαία επιφάνεια στο ίδιο επίπεδο.
- Άλλο βασικό πρόβλημα ήταν η μη τοποθέτηση κλίσης αποκόλλησης στα κύρια σημεία όπως Parting lines, μεντεσέδες, τετράγωνα μορφής, στο Tooling split interlock surface.Ο λόγος ήταν πάλι η μορφή των μεντεσέδων .

Τρόποι αντιμετώπισης:

- Μη αυτόματη δημιουργία κλίσης αποκόλλησης, χρησιμοποιώντας την εντολή Draft. . Επιλέγοντας το draft δημιουργούμε στα σημεία που θέλουμε κλίση, επιλέγοντας από το μοντέλο τις συγκεκριμένες επιφάνειες που επιθυμούμε.
- Ο διαχωρισμός των μεντεσέδων από το υπόλοιπο καλούπι και η τοποθέτηση τους στο τελικό στάδιο της μοντελοποίησης του καλουπιού (βιδωτό πάνω στη μήτρα). Αυτό έχει σαν αποτέλεσμα να γίνει η γραμμή διαχωρισμού στο κέντρο της σπής των μεντεσέδων. Έτσι διαχωρίζουμε το βασικό μέρος του μοντέλου από τους μεντεσέδες με διαφορετικές γραμμές διαχωρισμού ανεξάρτητες μεταξύ τους.

Το σχήμα των μεντεσέδων αν ήταν τελείως στρογγυλό κατά την εξαγωγή του εργαλείου στο τέλος της διαδικασίας χύτευσης, εγκλωβίζονταν στο καλούπι καθώς ένας μέρος τους έβρισκε στα τοιχώματα. Για αυτόν τον λόγο έχουν ημιστρόγγυλο σχήμα.



8.3 Εξέλιξη της παρούσας πτυχιακής εργασίας

Στη παρούσα πτυχιακή εργασία έγινε η μοντελοποίηση και η κατεργασία κοπής ενός καλουπιού όπως αναφέρεται παραπάνω

Με το τέλος της διαδικασίας αυτής αναλύσαμε και παρουσιάσαμε προβλήματα που εμφανίστηκαν, πως αντιμετωπίστηκαν και οι δυσκολίες που υπήρξαν για την αντιμετώπιση τους. Πέραν των προβλημάτων που ήταν αντιμετωπίσιμα μέσα από τα ίδια τα προγράμματα με διάφορες εντολές, υπήρξαν και προβλήματα είτε εν μέρη είτε τελείως ανεξάρτητα από τα προγράμματα. Τα κυριότερα θέματα που θα μπορούσαν να αναλυθούν περαιτέρω της παρούσας πτυχιακής είναι τα παρακάτω.

- Η ανάλυση και η σχεδίαση της γεωμετρίας του αρχικού μοντέλου. Υπήρξαν προβλήματα με τους μεντεσέδες του εργαλείου όσον αφορά το σχήμα τους. Στο μοντέλο που κατασκευάσαμε, η τρύπα που διαμορφώνει τους μεντεσέδες είναι ενιαία με το υπόλοιπο καλούπι. Μπορεί να γίνει μία καινούργια μελέτη που θα προτείνει νέες ιδέες, τρόπους κατασκευής για τη τελική μορφή των μεντεσέδων και πως θα τοποθετηθούν αυτοί πάνω στο καλούπι. Επίσης να γίνει μία ανάλυση και αξιολόγηση της κάθε περίπτωσης χωριστά όσο αφορά τη χρησιμότητα, τη καταλληλότητα σε σχέση με το κόστος και τη δυσκολία κατασκευής της σε κάθε περίπτωση.
- Όπως αναφέρθηκε και σε προηγούμενο υποκεφάλαιο, αντιμετωπίσαμε πρόβλημα με το σχήμα και το μέγεθος των κοπτικών εργαλείων. Μπορεί να γίνει μια έρευνα στην αγορά για κοπτικά εργαλεία που υπάρχουν στο εμπόριο, για την κοπή του συγκεκριμένου καλουπιού. Αν δεν υπάρχουν μπορεί να γίνει μια μελέτη για την κατασκευή νέων κοπτικών εργαλείων και, των κατάλληλων υλικών που θα χρησιμοποιηθούν ώστε να έχουν μεγάλη διάρκεια ζωής και αξιοπιστία. Τέλος μπορεί να γίνει μελέτη τροποποίησης των διαστάσεων του αρχικού μοντέλου σε σχέση με τα κοπτικά που υπάρχουν.
- Τελειώνοντας, ένα σημαντικό θέμα που μπορεί να αναλυθεί είναι ο τρόπος κατεργασίας συγκεκριμένων επιφανειών. Αναφερόμαστε στην καμπυλότητα που μπορεί να αφήνει σε κάποια σημεία το κοπτικό εργαλείο ακτίνας R ίση με την ακτίνα του κοπτικού, και στις περιπτώσεις διαδρομές που μπορεί να κάνει το κοπτικό σε πολύπλοκες κατεργασίες κοπής. Μπορεί να γίνει μελέτη για τον τρόπο που



πρέπει να γίνονται αυτές οι κατεργασίες (διαφορετικός τρόπος εισαγωγής κοπτικού) και αν υπάρχουν κατάλληλα Operation π.χ. 3D που βοηθούν στη καταπολέμηση τέτοιων δυσκολιών.



Βιβλιογραφία

- [1] Injection Molding Handbook (Tim A. Osswald, Lih-Sheng Turg, Paul Gramann) 2nd Edition, (1.1,3.1.4.4.1,)
- [2] Bryce, Douglas M. Plastic Injection Molding: Manufacturing Process Fundamentals. SME, 1996. (3.3, 3.4 – 3.4.5)
- [3] Brydson, J, Plastics Materials, Butterworths 9th Ed (1999). (2.2, 2.3.)
- [4] Callister, William D, Materials Science and Engineering: An Introduction, John Wiley and Sons (3.6)
- [5] Lewis, Peter Rhys, Reynolds, K, Gagg, C, Forensic Materials Engineering: Case studies, CRC Press (2004). (2.3.1. – 2.3.3)
- [6] Osswald, Tim A; Lih-Sheng Turg, Paul J.Gramamn. Injection Molding Handbook 2nd Ed. HanserVerlag., 2007 (3.4 -3.4.5)
- [7] Osswald, Tim A. International Plastics Handbook. HanserVerlag., 2006 (2.4)
- [8] Rosato, Donald V; Marlene G. Rosato. Concise Encyclopedia of Plastics.Springer, 2000. (3.2.1 – 3.2.9)
- [9] Rosato, Dominick; Rosato Marlene, and Rosato Donald Injection Molding (3.5)
- [10] Handbook 3rd Ed. Kluwer Academic Publishers, 2000. (4.2, 4.3, 4.5)
- [11] Todd, Robert H; Dell K. Allen and Leo AltingManufacturing Processes Reference (1.4,1.5)
- [12] Guide. Industrial Press Inc., 1994. (1.6)
- [13] Whelan, Tony. Polymer Technology Dictionary Springer, 1994.(2.1)



[14] RUBIN, I.I: "Injection Molding: Theory and Practice",Wiley, New York, 1972. (4.4.2,4.4.3,)

[15] RUBIN, I.I: "Handbook of Plastic Material Technology",Wiley, New York, 1990. (2.3.1)

