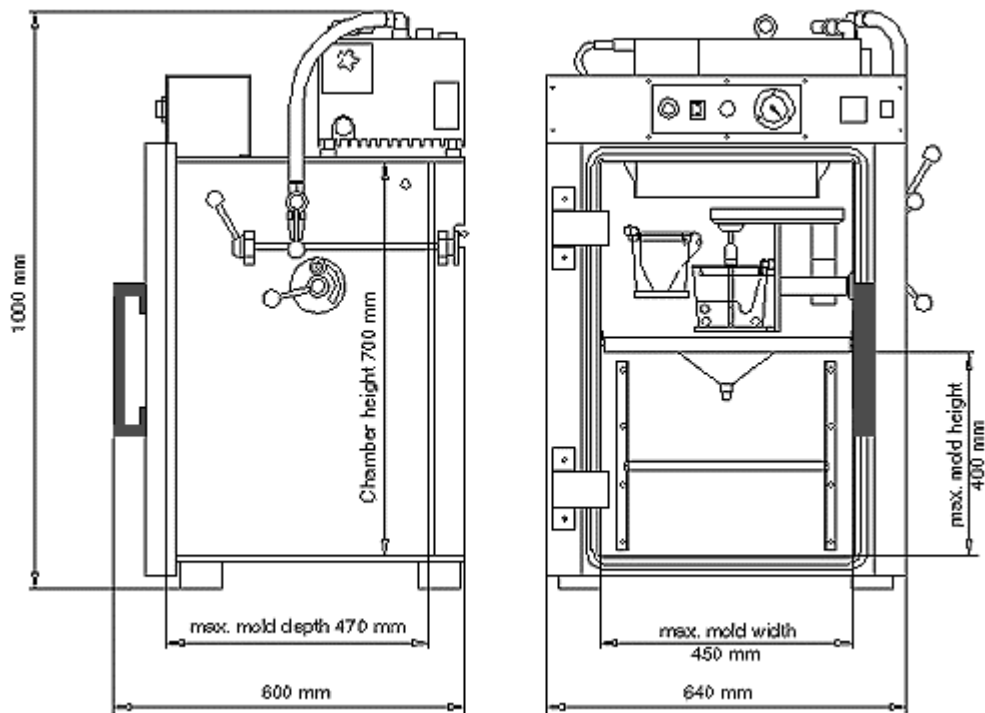


Πολυτεχνείο Κρήτης
Τμήμα Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης

Διπλωματική Εργασία

“Παρουσίαση Μεθόδων Rapid Tooling”

“Εφαρμογή στο Σύστημα MK Mini-Vacuum Casting”



Επιβλέπων: Νικόλαος Μπιλάλης

Παπαγιάννης Γεώργιος

Χανιά, 2002

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Ευχαριστίες	σελ.1
Εισαγωγή	σελ.2
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΠΡΩΤΟ	
1.1 Τι είναι το Rapid Tooling-Γενικά	σελ.3
1.2 Το Rapid Tooling αναπτύσσεται	σελ.5
1.3 Τα μηχανήματα STL γίνονται πιο γρήγορα	σελ.6
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΔΕΥΤΕΡΟ	
Μέθοδοι Rapid Tooling	σελ.11
2.1 RTV Molding/Urethane Casting	σελ.11
2.2 Composite Tooling (Epoxy Tooling)	σελ.15
2.3 Direct Aim (Aces Injection Molding)	σελ.16
2.4 Spray Metal Tooling	σελ.17
2.5 3D Keltool	σελ.20
2.6 Rapid Tool	σελ.21
2.7 Phast (Prototype Hard And Soft Tooling)	σελ.22
2.8 Eosint M	σελ.23
2.9 Direct Investment Casting	σελ.23
2.10 Quickcast	σελ.24
2.11 Indirect Investment Casting	σελ.24
2.12 Rubber Plaster Mold (RPM)	σελ.24
2.13 Rubber Plaster Casting	σελ.25
2.14 Sand Casting	σελ.25
2.15 DSPC (Direct Shell Production Casting)	σελ.26
2.16 Topographic Shell Formation (TSF)	σελ.27
2.17 Direct Croning Process (DCP)-Eosint S	σελ.27
2.18 Nickel Ceramic Composite	σελ.28
2.19 Polysteel	σελ.28
ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΡΙΤΟ	
Rapid Tooling & Κύκλος Ζωής του Προϊόντος	σελ.30
3.1 Βελτίωση ποιότητας προϊόντος	σελ.33
3.2 Μείωση Κόστους & Χρόνου Ανάπτυξης Προϊόντος	σελ.35

ΚΕΦΑΛΑΙΟ ΤΕΤΑΡΤΟ

Το Σύστημα MK-MINI

	σελ.37
4.1 Εισαγωγή	σελ.37
4.2 Το Σύστημα Vacuum Casting MK-Mini	σελ.40
4.3 Μεταφορά του Μηχανήματος	σελ.40
4.4 Τοποθέτηση και Συναρμολόγηση του Συστήματος	σελ.41
4.5 Περιβαλλοντικές Απαιτήσεις	σελ.41
4.5.1 Συνθήκες Λειτουργίας	σελ.41
4.5.2 Εξαερισμός του Αέρα	σελ.42
4.5.3 Φωτισμός	σελ.42
4.5.4 Εργονομία	σελ.42
4.5.5 Απαιτούμενος Χώρος	σελ.43
4.6 Μέτρα Προστασίας	σελ.43
4.7 Ρητίνες και Εξαρτήματα	σελ.44
4.7.1 Ρητίνες	σελ.44
4.7.2 Χρώματα	σελ.44
4.7.3 Ενισχυτικές Ίνες	σελ.45
4.8 Οδηγός Χρήσεως της Μηχανής	σελ.45
4.9 Φτιάχνοντας Το Καλούπι Σιλικόνης	σελ.46
4.9.1 Προετοιμασία	σελ.46
4.9.2 Αρχικό Μοντέλο	σελ.47
4.9.2.1 Διαχωρισμός των Γραμμών Μετά το Καλούπι	σελ.47
4.9.2.2 Διαχωρισμός των Γραμμών με Κολλητική Ταινία	σελ.49
4.9.2.3 Επεξεργασία με Πηλό	σελ.49
4.9.3 Ανοίγματα και Στηρίγματα	σελ.50
4.9.4 Τα Όρια του Καλουπιού	σελ.52
4.9.4.1 Με Κομμάτια Μελαμίνης	σελ.52
4.9.4.2 Έτοιμα Δοχεία Παραγωγής	σελ.52
4.9.5 Τοποθέτηση του Πρωτότυπου Μέσα στα Όρια του Καλουπιού	σελ.53
4.9.6 Υπολογισμός της Απαιτούμενης Ποσότητας Σιλικόνης	σελ.54
4.9.7 Προετοιμάζοντας την Σιλικόνη	σελ.54
4.9.8 Ανοίγοντας το Καλούπι της Σιλικόνης	σελ.56
4.10 Κατασκευή των Αντικειμένων από το Καλούπι	σελ.57
4.10.1 Προετοιμασία του Καλουπιού	σελ.57
4.10.2 Υπολογίζοντας τις Ποσότητες των Ρητίνων	σελ.58
4.10.3 Ετοιμάζοντας το υλικό	σελ.59
4.10.4 Η Διαδικασία Έκχυσης των Υλικών στο Καλούπι	σελ.60
4.10.5 Τελικές Τακτοποιήσεις	σελ.62
4.11 Επίλογος	σελ.63

Συμπεράσματα

σελ.64

Βιβλιογραφία

σελ.65

ΕΥΧΑΡΙΣΤΙΕΣ

Είναι αναγκαίο για μένα προσωπικά πριν την παρουσίαση της συγκεκριμένης διπλωματικής εργασίας να εκφράσω τις θερμότερες ευχαριστίες μου σε ορισμένους ανθρώπους, χωρίς την βοήθεια των οποίων η παρακάτω εργασία ίσως να μην είχε ολοκληρωθεί ποτέ.

Πρώτα από όλα θα ήθελα να ευχαριστήσω τον **κ. Μπιλάλη**, αναπληρωτή καθηγητή του Πολυτεχνείου Κρήτης, ο οποίος μου ανάθεσε αυτήν την εργασία, ανοιγοντάς μου έτσι την πόρτα σε ένα μεγάλο πλήθος σύγχρονων τεχνολογιών. Επίσης θα ήθελα να τον ευχαριστήσω για την βοήθεια που μου προσέφερε καθόλη την διάρκεια εκπόνησης αυτής της εργασίας. Κατόπιν θα ήθελα να ευχαριστήσω τον **Μανώλη Μαραβελάκη**, ο οποίος ήτανε πάντα δίπλα μου στο εργαστήριο, και αποτέλεσε σημαντικό παράγοντα για την ομαλή και σωστή λειτουργία της μηχανής. Παράλληλα ήταν και αυτός που κατέγραψε το πλούσιο φωτογραφικό υλικό που θα συναντήσετε σε όλη την παρακάτω εργασία. Τέλος θα ήθελα να ευχαριστήσω τον **Παπαδόπουλο Μιχάλη**, προπτυχιακό φοιτητή του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης, ο οποίος ήταν πάντα εκεί για να μας βοηθήσει όταν η μηχανή δεν δούλευε σύμφωνα με το manual...

Ευχαριστώ Πολύ,

Παπαγιάννης Γεώργιος,

Προπτυχιακός Φοιτητής του τμήματος Μηχανικών Παραγωγής & Διοίκησης του Πολυτεχνείου Κρήτης.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Η διπλωματική αυτή εργασία γίνεται στα πλαίσια του προπτυχιακού μαθήματος “**Μελέτη & Ανάπτυξη Προϊόντων**” και αναφέρεται στην τεχνολογία **Raid Tooling**, τη γρήγορη ανάπτυξη καλουπιών και πρωτοτύπων. Είναι τεχνολογία συμπληρωματική της τεχνολογίας **CAD-CAM** και **Rapid Prototyping**, καθώς το **Rapid Tooling** είναι πλέον για τις μεγάλες εταιρίες ένας απαραίτητος κρίκος στη διαδικασία εξέλιξης των προϊόντων.

Σε συνδυασμό βέβαια, με την απόκτηση από το εργαστήριο **CAD** ενός συστήματος **Rapid Tooling**, ενός **Mini MK Vacuum Casting System**, οι γνώσεις που αποκομίσαμε μέσα από την δουλειά αυτής της εργασίας, θα αποδειχθούν ιδιαίτερα χρήσιμες. Έχοντας ήδη κάποιο θεωρητικό υπόβαθρο για τη τεχνολογία **Rapid Prototyping** και **Rapid Tooling**, η αξιοποίηση του **Mini MK Vacuum Casting System** θα είναι αποδοτικότερη και ελπίζουμε να δώσει κάποια επιπλέον ώθηση στην έρευνα που πραγματοποιείται στον τομέα των τεχνολογιών.

Στην εργασία γίνεται μια αρχική αναφορά στην έννοια **Rapid Tooling** και εξηγείται ο τρόπος λειτουργίας τέτοιων συστημάτων. Κατόπιν παρουσιάζονται διαφορετικές τεχνολογίες που κυριαρχούν σήμερα στον τομέα και γίνεται μια σύγκριση με κριτήρια κάποια βασικά χαρακτηριστικά. Στη συνέχεια παρουσιάζεται ο τρόπος με τον οποίο οι τεχνολογίες αυτές συμμετέχουν στο κύκλο ανάπτυξης του προϊόντος. Τέλος έχουμε μια αναλυτική παρουσίαση του τρόπου λειτουργίας της μηχανής **Mini MK Vacuum Casting System** με πλούσιο φωτογραφικό υλικό, από τα πειράματα που εκτελέσαμε. Είναι η πρώτη εργασία που γίνεται με βάση αυτή τη μηχανή, και η παρουσίαση γίνεται με απλό και κατανοητό τρόπο, με γνώμονα πάντα την καλύτερη κατανόηση της συγκεκριμένης μηχανής αλλά και όλης της τεχνολογίας **Rapid Tooling**, από τον αναγνώστη.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1

1.1 ΤΙ ΕΙΝΑΙ ΤΟ RAPID TOOLING-ΓΕΝΙΚΑ

Επιτυχής μεθοδολογία ανάπτυξης προϊόντος είναι αυτή που έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή προϊόντων που χαρακτηρίζονται από εμπορική επιτυχία. Συνήθως χρησιμοποιούνται πέντε δείκτες για να αξιολογήσουμε την διαδικασία ανάπτυξης νέων προϊόντων,

1. Ποιότητα προϊόντος
2. Κόστος προϊόντος
3. Χρόνος ανάπτυξης
4. Κόστος ανάπτυξης
5. Δυνατότητα ανάπτυξης

Τα κριτήρια αυτά εγγυώνται την επιτυχή ανάπτυξη ενός προϊόντος.

Η ποιότητα έχει αναδειχθεί τα τελευταία χρόνια ως καθοριστικός παράγοντας επιτυχίας ή αποτυχίας των προϊόντων στην αγορά. Κατ'επέκταση, τα οικονομικά αποτελέσματα, η ανάπτυξη και η ανταγωνιστικότητα όλων των επιχειρήσεων, ανεξαρτήτως μεγέθους και τομέα δραστηριότητας, καθορίζονται σήμερα σε μεγάλο βαθμό από την ποιότητα των παραγόμενων προϊόντων. Η ποιότητα έχει αποκτήσει στρατηγική σημασία, είναι βασικό εργαλείο ανταγωνισμού και μπορεί να εξελιχθεί, κατά περίπτωση, σε μείζον συγκριτικό πλεονέκτημα ή αντίθετα σε πηγή σοβαρών προβλημάτων που μπορεί να απειλήσουν και αυτήν ακόμη τη βιωσιμότητα μιας επιχείρησης.

Οι διαπιστώσεις αυτές έχουν διατυπωθεί και τεκμηριωθεί με διάφορους τρόπους τόσες πολλές φορές, ώστε να έχουν καταστεί πλέον αναντίρρητες και να μην χρειάζονται περαιτέρω υποστήριξη ή απόδειξη.

Για την εξασφάλιση της ποιότητας ενός προϊόντος, στον κύκλο ανάπτυξής του, χρειάζονται πρότυπα για να δίδονται ακριβή αποτελέσματα στις διαφόρων ειδών δοκιμές του. Παράλληλα για να μειωθεί ο χρόνος για την ανάπτυξη-μελέτη του προϊόντος, είναι απαραίτητο να είμαστε σε θέση να κατασκευάζουμε γρήγορα ένα μικρό αριθμό πρωτοτύπων (συνήθως λιγότερα από 150). Γι'αυτόν ακριβώς τον λόγο η σύγχρονη βιομηχανία παρουσιάζει εξαιρετικό ενδιαφέρον για την ταχεία κατασκευή εξαρτημάτων. Σε αυτή ακριβώς την προσπάθεια της σύγχρονης βιομηχανίας έρχεται το Rapid Tooling να ανταποκριθεί καλύπτοντας σε μεγάλο βαθμό τις ανάγκες της βιομηχανίας σε αυτόν ακριβώς τον τομέα.

Όπως λοιπόν γίνεται αντιληπτό το R.T. είναι μια σειρά από τεχνολογίες και διαδικασίες με σκοπό να κατασκευάζουμε εξαρτήματα σε λιγότερο χρόνο από ότι χρειάζονταν οι προηγούμενες μέθοδοι κατεργασίας. Οι τεχνολογίες αυτές συμπληρώνουν την μέθοδο Rapid Prototyping κατασκευάζοντας μεγαλύτερες ποσότητες πρωτοτύπων και σε ευρύτερη ποικιλία χρησιμοποιούμενων υλικών. Στις σωστές ποσότητες παραγόμενων προϊόντων το R.T. μπορεί να είναι η πιο κατάλληλη και οικονομική λύση.

Οι μέθοδοι που αναπτύχθηκαν είναι πάρα πολλές και οι εταιρίες που τις χρησιμοποιούν συνεχώς αυξάνονται. Είναι λογικό λοιπόν κάθε εταιρία να ασχολείται μεμονωμένα με ένα μέρος αυτών των μεθόδων, αυτών δηλαδή που καλύπτουν καλύτερα τις ανάγκες παραγωγής της. Για να αναλυθούν λοιπόν οι μέθοδοι του R.T. απαιτείται η παρουσίαση ανεξάρτητα, της κάθε μεθόδου, όπως αυτή παρουσιάζεται

μέσα από την εκάστοτε εταιρία. Γι' αυτό και η παγκόσμια βιβλιογραφία σε θέματα R.T., είναι ένα σύνολο εφαρμοσμένων ερευνών πάντα από συγκεκριμένες βιομηχανίες ή εργαστήρια.

Η εξέλιξη της τεχνολογίας R.T. περιγράφεται με αρκετά κατανοητό τρόπο στο site της Vista Technologies LLC (<http://www.vistatec.com>). Πριν την περιγραφή όμως της εξέλιξης είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι ακόμα και για τις πρώτες μέρες της ταχείας πρωτυποποίησης, ο στόχος ήταν να παραχθούν γρήγορα τα αντικείμενα και όχι απλά μόνο τα καλούπια. Σήμερα ο στόχος αυτός έχει επιτευχθεί και αυτό γιατί οι ίδιες τεχνικές που κατασκεύαζαν εύθραυστα πρωτότυπα έχουν επεκταθεί για να δίνουν ανθεκτικά καλούπια παραγωγής. Στις περισσότερες περιπτώσεις τα καλούπια που δημιουργούνται με τις μεθόδους R.T. με χρησιμοποίηση πρωτοτύπων από R.P. δίνουν αντικείμενα που έχουν ανοχές και ποιότητα επιφάνειας αποδεκτές για παραγωγή τελικών προϊόντων.

Η διαδικασία R.T. από την Vista Technologies LLC, αρχίζει με την κατασκευή ενός κελυφοειδούς καλουπιού από την μηχανή SLA. Η προεξοχή του τεμαχίου περιβάλλεται από σπείρες σωληνών χαλκού μέσα στις οποίες διοχετεύεται το ψυκτικό μέσο, που στην συγκεκριμένη περίπτωση είναι το νερό.

Μετά από σκλήρυνση 24 ωρών, το καλούπι μπορεί να προσαρμοστεί σε μία βάση και να τοποθετηθεί σε injection molding machine (μηχανή έγχυσης υπό πίεση) για την παραγωγή αντικειμένων. Η εταιρία παραλαμβάνει 20-100 τεμάχια, σε λιγότερο από δύο βδομάδες, ανάλογα πάντα με το υλικό που χρησιμοποιείται.

Σε αυτήν την εικόνα φαίνεται το πίσω μέρος ενός τμήματος του καλουπιού.

Τα πρώτα δείγματα rapid tooling ήταν διαθέσιμα το 1993 όταν η Soligen Technologies Inc. εμπορευματοποίησε μία διαδικασία κατασκευής μοντέλων για χύτευση, αρκετά γρήγορη και χωρίς να χρησιμοποιεί υποδείγματα. Η μέθοδος αυτή αναπτύχθηκε στο M.I.T.. Το 1995 η D.T.M. Corp., στην Αυστρία, ανέπτυξε μια μέθοδο που ονομάστηκε Rapid Tool για να κατασκευάσει green parts από σκόνη μετάλλου που συντήκονται και φιλτράρονται με χαλκό για να κατασκευαστούν καλούπια για την παραγωγή. Αργότερα, μια διαδικασία που ονομάζεται Keltool, της εταιρίας 3D Systems (Valencia, California), χρησιμοποιήθηκε για να φτιάχνει καλούπια από χάλυβα. Το 1998, η ίδια εταιρία με τη μέθοδο αυτή πέτυχε να αναπτύξει injection molds (καλούπια έγχυσης) ικανά να αντέξουν παραγωγή ενός εκατομμυρίου εξαρτημάτων με τη χρήση nonabrasive ρητινών. Στην παρακάτω εικόνα παρουσιάζεται ένα ολοκληρωμένο καλούπι, που κατασκευάστηκε με την συγκεκριμένη τεχνολογία, το οποίο φτιάχνει εξαρτήματα γκολφ.

Η σύγχρονη έρευνα αποβλέπει στη μείωση του χρόνου που απαιτείται για την κατασκευή των καλουπιών, έτσι ώστε να έχουμε όσο το δυνατόν γρηγορότερα κατασκευή αντικειμένων από τα καλούπια αυτά. Επίσης πειραματίζονται οι ερευνητές για νέα υλικά όπως θερμοπλαστικά, σύνθετα, ίσως ακόμα και τσιμέντο. Στην υποστήριξη αυτής της προσπάθειας χρησιμοποιούνται σύγχρονα επιτεύγματα της τεχνολογίας και ειδικά τα lasers.

1.2 TO RAPID TOOLING ΑΝΑΠΤΥΣΣΕΤΑΙ

Ήταν στόχος πολλών ετών για τις βιομηχανίες Rapid Prototyping να χρησιμοποιήσουν σαν υλικό σκόνη μετάλλου. Η διαδικασία Laser Engineered Net Shaping or Lens, χρησιμοποιεί σκόνη μετάλλου για να φτιάξει αντικείμενα με εξαιρετικές ιδιότητες υλικού. Η διαδικασία αυτή αναπτύχθηκε στα Sandia National Laboratories και είναι όμοια με τις μεθόδους Rapid Prototype:

“ Ο υπολογιστής κόβει το στερεό μοντέλο σε πολλά επίπεδα, ένα μηχανήμα χτίζει επίπεδο-επίπεδο από metal powder ή υγρή ρητίνη. Το μηχανήμα χρησιμοποιεί laser 700W που εστιάζεται σε ένα υπόστρωμα για να κατασκευάσει τετηγμένο πηλό μέσα στον οποίο ένας μηχανισμός ψεκάζει σκόνη μετάλλου. Ένας υπολογιστής μετακινεί το υπόστρωμα ανάλογα με την ακτίνα λέιζερ βάζοντας λεπτές μεταλλικές γραμμές μέχρι να τελειώσει το τεμάχιο. ”

Στην εταιρία Parts Now (Northridge, California) παράχθηκε με χύτευση το πλήρες σύστημα σωληνών εισαγωγής από 356-T6 αλουμίνιο σε 15 εργάσιμες ημέρες για έναν κατασκευαστή αυτοκινήτων. Το αντικείμενο αυτό έχει πολύπλοκο σχήμα και λεπτά τοιχώματα, χαρακτηριστικά που μπορούν μόνο να χυτευθούν. Η Parts Now είναι η μονάδα παραγωγής της Soligen Technologies, μιας εταιρίας που ανέπτυξε τη γρήγορη παραγωγή κεραμικών καλουπιών χωρίς να φτιαχτεί πρώτα το υπόδειγμα. Η διαδικασία ονομάζεται Direct Shell Production Casting. Η πιο πρόσφατη μηχανή της Soligen, η DSPC300G, παράγει μεγαλύτερα καλούπια σε όγκο 14X18X12 in. Εργάζεται 30% γρηγορότερα από το προηγούμενο μοντέλο. Η εταιρία θεωρεί ότι το μέγεθος του αντικειμένου δεν είναι περιορισμός για τις μηχανές και ότι έχουν χυτεύσει αντικείμενα που ζυγίζουν εκατοντάδες pounds.

Όμως, οι μηχανικοί θεωρούν ότι η Lens μπορεί να φτιάξει μια περιορισμένη προεξοχή περίπου 30 degrees. Κι επειδή εργάζεται αργά σε σύγκριση με άλλα συστήματα, σε ρυθμούς 0,3 – 1,0 in.³/hr, μπορούμε να πούμε ότι παράγει γρηγορότερα καλούπια παρά τελικά τεμάχια. Η εταιρία ελπίζει να κατασκευάσει μοντέλα με εσωτερικά τοποθετημένους αισθητήρες για να ελέγχουν λεπτομερειακά τη πίεση και την θερμοκρασία. Τα καλούπια που φτιάχνονται με τη διαδικασία Lens μπορούν επίσης να έχουν στο εσωτερικό τους ψυκτικές οδούς που να συμμορφώνονται με το σχήμα του τεμαχίου. Αυτό βελτιώνει τη διαδικασία ψύξης και επιτρέπει να μειώνεται ο χρόνος διάρκειας της διαδικασίας.

1.3 ΤΑ ΜΗΧΑΝΗΜΑΤΑ STL ΓΙΝΟΝΤΑΙ ΠΙΟ ΓΡΗΓΟΡΑ

Η εταιρία Aaroflex Inc. (Fairfax, Virginia) με τους μηχανικούς της, ισχυρίζονται ότι το σύστημά τους, Solid Imager RP, είναι το ταχύτερο όλων. Αυτή την άποψη τη στηρίζουν στη συσκευή imaging η οποία τοποθετεί με ακρίβεια δέσμη laser σε 0,0005 in. πάνω από 10 in. σε ταχύτητα 1,250 ips. Το σύστημα αυτό κατασκευάζει τεμάχια με την μέθοδο raster και vector. Με τη vector ανιχνεύει (400 ips) την καλύτερη εργασία για αντικείμενα με μικρό εσωτερικό γέμισμα ενώ οι raster ανιχνευτές είναι καλύτεροι για μεγάλες επιφάνειες. Ένα laser 3-W, 70-KHz παραλαμβάνει πάνω από 3,000 dpi. Τα αντικείμενα τοποθετούνται σε κύβο 25in. Οι ρητίνες προέρχονται από την Dupont ή την RPCAG από την Ελβετία. Στα υλικά που έχουν ελεγχθεί περιλαμβάνονται 304 και 316 ανοξείδωτο χάλυβα, κράμματα σιδήρου-νικελ και τιτανίου. Οι τελικές επιφάνειες είναι επίσης καλές. Μια διαδικασία σύντηξης με laser βελτιώνει την τελική επιφάνεια απο περίπου 400 μm. σε περίπου 10 μm.

Άλλες μελέτες στο Rapid Tooling εστιάζονται στα νέα υλικά με τα υπάρχοντα μηχανήματα. Για παράδειγμα, μια πειραματική μέθοδος ταχείας παραγωγής που δίνει καλά αποτελέσματα μέχρι τώρα συνδέει τα αποθέματα powder injection-metal με RP μηχανή από την Sanders Prototype Inc. Τα powder injection metals περιέχουν ένα πολυμερές που λιπαίνει και αιωρεί τη σκόνη καθώς αποθηκεύεται στη μηχανή RP.

Ο Rand German, καθηγητής στα powder metals στο πανεπιστήμιο της Pennsylvania, (University Park, PA) λέει πως: « Τα περισσότερα απ'όσα συμβαίνουν σήμερα είναι απλά το αποτέλεσμα της συνάντησης των υπάρχουσών τεχνολογιών ». Ο German εργάζεται εν μέρει με την μηχανή Sanders γιατί πετυχαίνει τη μεγαλύτερη ακρίβεια. Αυτός είναι ο λόγος που θεωρείται ιδανική για την παραγωγή περίπλοκων τεμαχίων, όπως το γρανάτζι.

Ο ιπτόκαμπος της εικόνας, που ακολουθεί, διαμορφώθηκε από υλικό powder metal που αναπτύχθηκε στο State University της Pennsylvania από την ομάδα του Rand German. Το γλυπτό έχει μήκος 1 in. και δείχνει όλες τις πολύπλοκες λεπτομέριες. Για το υλικό αυτό ο German λέει πως, έχει σκληρότητα όμοια με χαλύβδινο εξάρτημα και η επιφανεία του έχει τραχύτητα μικρότερη από 1 μm περίπου ενώ η συρρίκνωση από το αρχικό CAD μοντέλο είναι μικρότερη από 0,1%. Ο German ισχυρίζεται πως η τεχνολογία υπόσχεται να φέρει μια καινούργια γενιά υλικών για κατασκευή καλουπιών.

Όπως λέει ο German οι προσπάθειες στα powder metals είναι συνεχείς με στόχο της μελέτης την αντοχή τους, τη φθορά τους και την αλλαγή των διαστασεών τους. Όσον αφορά τη συρρίκνωση, προσπαθούν να φτάσει στο μηδέν. Κάνοντας όλους τους απαραίτητους συνδυασμούς η ομάδα του German κατέληξε σε ένα υλικό που έχει σκληρότητα R μεταξύ 30 και 35, αντοχή στην φθορά τετραπλάσια από ότι ενός χαλύβδινου εξαρτήματος και με τελείωμα επιφάνειας 2μm.

Για να ελέγξουν το σχέδιο μιας αντλίας νερού με πτερύγια, οι μηχανικοί της Airtex Product (Fairfield, Illinois) χρησιμοποίησαν ένα υλικό SLA το οποίο προσαρμόστηκε γύρω από χαλύβδινο δίσκο. Τοποθετήθηκε σε βάση από αλουμίνιο, η συσκευή ανέπτυξε ταχύτητα μεγαλύτερη από 5,000 rpm μέχρι που έσπασε. Το υλικό αυτό ήταν SLA 5210 και προέρχεται από την 3D Systems (Valencia, California).

Ο Kerry Austin σχεδιαστής προϊόντων για την Airtex, λέει πως: “μπορούμε να φτάσουμε τις 7,000 rpm σε μελλοντικές εφαρμογές με την πρόσθεση στοιχείων που αυξάνουν την αντοχή όπως βελτιωμένα διαζώματα ή αυξάνοντας το προσχέδιο των πτερυγίων.”. Οι μηχανικοί της 3D Systems έφτιαξαν μια βελτιωμένη φόρμουλα vinyl ether/acrylate για μεγαλύτερη διάρκεια ζωής της ρητίνης. Τα αντικείμενα που κατασκευάστηκαν, ισχυρίζονται πως δεν παρουσίασαν εξογκώματα ή κυρτώσεις ούτε αποσκλήρυνσεις όταν εκτέθηκαν σε υπερβολικά επίπεδα υγρασίας και είχαν πολύ καλή κατάσταση παράπλευρης επιφάνειας.

Η αντλία με τα πτερύγια στα αριστερά κατασκευάστηκε με ρητίνη SLA 5210 που είναι όμοια με αυτή που ελέγχθηκε από τον Austin της Airtex. Το άλλο είναι τεμάχιο παραγωγής. Η ρητίνη είναι το πρώτο από μια σειρά προϊόντων, τα οποία όπως λέει ένας εκπρόσωπος της 3D Systems, στηρίζουν εφαρμογές που αποκτούν ανοχές για υψηλές θερμοκρασίες.

Άλλες προσπάθειες στο rapid tooling αφορούν την κατασκευή καλουπιών πέρα από τις συνηθισμένες SLA ρητίνες. Αφού οι SLA εροχίες μπορούν να λιώνουν σε συνήθεις θερμοκρασίες injection molding, τα καλούπια δεν «εκτίθενται» σε μεγάλες αλλαγές θερμοκρασίας, έτσι μπορούν και παράγουν αρκετά τεμάχια. Η διαδικασία είναι η ακόλουθη: Η μηχανή RP κατασκευάζει τα δύο μέρη του καλουπιού (κοιλώματα – προεξοχές) με κενό το πίσω μέρος. Σωλήνες χαλκού για ψύξη τυλίγονται γύρω από το σχήμα του αντικειμένου μέσα στα καλούπι. Το κέλυφος γεμίζει με epoxy ανακατεμένο με σκόνη αλουμινίου για να βελτιώσει την μεταφορά θερμοκρασίας και 24 ώρες αργότερα το καλούπι μπορεί να τοποθετηθεί σε βάση έτοιμο να παράγει τεμάχια. Ο James Mishek ο πρόεδρος των Vista Technologies LLC (White Bear Lake, Minnesota) είπε: “Μπορούμε να παράγουμε 20 έως 100 αντικείμενα από ένα καλούπι ανάλογα με το υλικό. Το polycarbonate πρέπει να «πατιέται» σε υψηλές θερμοκρασίες. Η τεχνική αυτή μας δίνει περίπου 20 αντικείμενα πριν σπάσει το καλούπι. Αλλά το καουτσούκ ή το polypropylene φθείρονται λιγότερο και δίνουν σχεδόν 100 αντικείμενα.». Η ακρίβεια είναι περίπου +/- 0,002 in. Το πλεονέκτημα του συστήματος είναι ότι παράγει αντικείμενα σε υλικό παραγωγής σε λιγότερο από δύο εβδομάδες. Ο Mishek, επίσης, ισχυρίζεται ότι περιμένει σύντομα υλικά SLA τα οποία θα αντέχουν θερμοκρασίες κάτω από 158 βαθμούς Fahrenheit που είναι όριο για τις περισσότερες ρητίνες. Επίσης περιμένει να αυξηθούν τα αντικείμενα που παράγονται από ένα καλούπι και να βελτιωθεί η ποιότητα της επιφάνειας.

Στις μέρες μας η εξέλιξη των τεχνολογιών Rapid Tooling βασίζεται κυρίως σε δύο τομείς. Στη συνεργασία των μεθόδων αυτών με άλλα μηχανήματα και συσκευές και στην παράλληλη εξέλιξη των υλικών που χρησιμοποιούνται για τις μεθόδους αυτές. Όπως λέει ο Mervyn Rudgley, πρόεδρος του management της 3D Systems στη Valencia: «Μέχρι πριν ένα χρόνο είχαμε τρία υλικά για τρεις διαφορετικές μηχανές. Σήμερα έχουμε 11 υλικά για τις SLA μηχανές μας και αναμένουμε τα νέα υλικά για θερμοκρασίες 300 και 400 βαθμούς Fahrenheit.». Όμοιες ανακοινώσεις κάνουν και άλλες εταιρίες ή εργαστήρια.

Σημαντικά είναι τα οικονομικά οφέλη που προέρχονται από την αντικατάσταση των συμβατικών τεχνολογιών με τις καινούργιες. Σαν παράδειγμα παρουσιάζουμε ένα διάγραμμα που συγκρίνει χρόνο και κόστος από κατεργασίες wire-EMD και άλλες συμβατικές σε σύγκριση με τις διαδικασίες RP και Investment Casting. Το παράδειγμα αναφέρεται στην κατασκευή loopers, εξαρτημάτων που συνεργάζονται με τις βελόνες σε ραπτομηχανές. Τα εξαρτήματα αυτά έχουν σύνθετο σχήμα που είναι δύσκολο να αναλυθεί σχεδιαστικά.

Παρακάτω παραθέτουμε τις μεθόδους RT που υπάρχουν στην παγκόσμια αγορά:

Για θερμοπλαστικά υλικά οι μέθοδοι είναι:

- ✓ RTV Molding/Urethane Casting
- ✓ Composite Tooling (Epoxy Tooling)
- ✓ Direct AIM
- ✓ Spray Metal Tooling
- ✓ 3D Keltool
- ✓ Rapid Tool

- ✓ PHAST
- ✓ EOSINT M

Για μεταλλικά υλικά (σιδηρούχα-μη σιδηρούχα) οι μέθοδοι που υπάρχουν στην παγκόσμια αγορά είναι:

Για την κατηγορία Patterns for Molds:

- ✓ Direct Investment Casting
- ✓ Quick Cast
- ✓ Indirect Investment Casting
- ✓ Rubber Plaster Mold (RPM)
- ✓ Rubber Plaster Casting
- ✓ Direct Sand Casting

Για την κατηγορία Direct Construction of Molds:

- ✓ Direct Shell Production Casting (DSPC)
- ✓ Topographic Shell Formation (TSF)
- ✓ Direct Croning Process (DCP) EOSINT S
- ✓ Quick Cast
- ✓ Indirect Investment Casting
- ✓ Rubber Plaster Mold (RPM)
- ✓ Rubber Plaster Casting
- ✓ Direct Sand Casting
- ✓ Nickel Ceramic Composite

Στη συνέχεια κάθε μία από αυτές τις μεθόδους αναλύεται και καθορίζονται πλήρως τα βασικά σημεία διαφοροποίησης τους, όσον αφορά τον χρόνο που απαιτείται για την παραγωγή εξαρτημάτων και τα υλικά που χρησιμοποιούν.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2

ΜΕΘΟΔΟΙ RAPID TOOLING

2.1 RTV MOLDING / URETHANE CASTING

Τα αρχικά της τεχνολογίας σημαίνουν : Room Temperature Vulcanization (RTV). Τα καλούπια από καουτσούκ κατασκευάζονται γρηγορότερα, παρέχουν μεγαλύτερη ακρίβεια και είναι ο οικονομικότερος τρόπος για να κατασκευάσεις πάνω από μερικά (περίπου μία δεκάδα) εξαρτήματα. Τα καλούπια από καουτσούκ μπορούν αξιόπιστα να αναπαραστήσουν λεπτομέρειες που υπάρχουν στο αρχικό εξάρτημα και δίνουν με ακρίβεια τη γεωμετρία του εξαρτήματος όταν αυτό βγαίνει από το καλούπι. Όταν η κατασκευή των καλουπιών ολοκληρώνεται, αυτά χρησιμοποιούνται για περιορισμένη ποσότητα χυτών πολυουρεθάνη.

Το υλικό από ουρεθάνη είναι πολύ διαδεδομένο για την παραγωγή πρωτοτύπων. Μπορεί να διαμορφωθεί για να αποκτήσει τις ιδιότητες των ελαστομερών υλικών και μπορεί να αποκτήσει δομικές ιδιότητες όμοιες με υψηλής αντοχής styrene. Έχει την ικανότητα να μιμηθεί τεμάχια της παραγωγής σε ιδιότητες υλικών, θερμικές ιδιότητες, χρώμα και τελική επιφάνεια. Αξιοσημείωτο είναι δε ότι στη συνέχεια επιδέχεται μηχανική κατεργασία.

Εξάρτημα που παράχθηκε με τη μέθοδο RTV MOLDING / URETHANE CASTING

Ένα εξάρτημα ταχείας πρωτοτυποποίησης (συνήθως SLA) είναι συνήθως το υπόδειγμα για να κατασκευαστεί ένα καλούπι από καουτσούκ. Το εξάρτημα SLA δημιουργείται μεγαλύτερο κατά 0,003 inch/inch για να καλύψει την συρρίκνωση του καουτσούκ. Στη συνέχεια το επεξεργάζονται με άμμο και το αντικείμενο περιβάλλεται από μία επιφάνεια που ορίζει την επιφάνεια του καλουπιού. Το υγρό καουτσούκ χύνεται πάνω στην διαχωριστική επιφάνεια. Μόλις το καουτσούκ στερεοποιηθεί η διαχωριστική επιφάνεια απομακρύνεται και το καουτσούκ χύνεται πάνω στο υπόδειγμα στο μισό καλούπι. Το υπόδειγμα απομακρύνεται για να παραχθούν τα δύο μισά του καλουπιού.

Ο χρόνος σκλήρυνσης του καλουπιού εξαρτάται από το προϊόν και από το μέσο σκλήρυνσης που χρησιμοποιείται. Οι χρόνοι ποικίλουν από 30 λεπτά έως και πάνω από 40 ώρες. Εάν θερμάνουμε το καλούπι, τότε η διαδικασία σκλήρυνσης επιταχύνεται χωρίς παραπάνω επιπτώσεις στο καλούπι. Όπου αυτό είναι εφικτό, η γήρανση του καλουπιού πρέπει να γίνεται σε θερμοκρασία δωματίου, γιατί έτσι επιτυγχάνουμε μεγαλύτερη ενεργή διάρκεια ζωής.

Στη συνέχεια, οι υγρές ουρεθάνες, χύνονται ή ψεκάζονται στο ελαστικό καλούπι. Η ουρεθάνη σκληραίνει σταδιακά και στερεοποιείται. Το καλούπι RTV απομακρύνεται για να πάρουμε το πρωτότυπο από ουρεθάνη. Τρεις είναι οι κύριες μέθοδοι χύτευσης :

- **Gravity Casting.** Η υγρή ουρεθάνη χύνεται μέσα στο RTV καλούπι. Η μέθοδος βασίζεται στη βαρύτητα για την τροφοδοσία του υλικού μέσα στην κοιλότητα του καλουπιού.
- **Vacuum Cast Molding (V.C.M).** Η μέθοδος Vacuum Cast Molding είναι μια καινούργια τεχνολογία για την παραγωγή σύνθετων πρωτοτύπων με λεπτά

τοιχώματα και πλαστικά υλικά όπως ABS, Νάυλον, Polycarbonate και άλλα υλικά παραγωγής. Μορφολογικά χαρακτηριστικά τόσο μικρά όσο κι ένα αποτύπωμα δακτύλου μπορούν να αναπαραχθούν με διαδικασίες V.C.M.. Ανόμοια από την συμβατική μέθοδο R.T.V., μέθοδος Vacuum Casting παράγει ποσότητες 15-25 τεμαχίων ανά εβδομάδα και γεμίζει πολύπλοκα αντικείμενα με λεπτά τοιχώματα χωρίς κανένα πρόβλημα. Αυτή η μέθοδος θα αναλυθεί λεπτομερέστερα παρακάτω, επειδή εφαρμόζεται και στην μηχανή MK Vacuum Casting System που θα περιγραφεί αναλυτικά στο κεφάλαιο 4.

- **Thin Wall RIM.** Η μέθοδος Thin Wall Reaction Injection Molding (TW-RIM) μπορεί να παράγει αντίγραφα των εξαρτημάτων που προέρχονται από ταχεία πρωτοτυποποίηση με ένα ρυθμό περίπου τρία ή τέσσερα ανά ώρα. Η μικρή χρονική διάρκεια προέρχεται από την χρήση fast-settings polyurethane και άλλα υλικά τα οποία μετατρέπονται σε gel σε λιγότερο από ένα λεπτό και μπορούν να βγούν από το καλούπι μετά περίπου από 10 min.

Ένας παράγοντας που κάνει τόσο σύντομη την σκλήρυνση του καλουπιού είναι η χρήση συστημάτων ανάμειξης που είναι οικονομικότερα και διατίθενται πιο εύκολα. Αυτά αναμιγνύουν αυτόματα δύο μέρη ρητίνων σε κενό και προωθούν με πίεση το υλικό στο καλούπι. Πριν την ανάπτυξη αυτών των συστημάτων, έπρεπε ν' αναμιχθούν τα υλικά με το χέρι, να τοποθετηθεί το υλικό σε δοχείο κενού, για να αφαιρεθεί ο αέρας, και στη συνέχεια να σταλεί το μίγμα στην κεφαλή του μπεκ. Τότε το πρόβλημα ήταν ότι, εξαιτίας του χρόνου που έπρεπε να καταναλωθεί στην ενδιάμεση διαδικασία, δεν μπορούσε να ψεκαστεί το υλικό γιατί γινόταν gel σε λιγότερο από ένα λεπτό.

Το κόστος των fast-setting ρητίνων έχει μειωθεί και αυτό ενισχύει όλο και περισσότερο την διαδικασία της παραπάνω τεχνικής. Όταν πρωτοεμφανίστηκε, το πιο φτηνό σύστημα ψεκασμού κόστιζε περίπου \$20,000. Οι νεότερες συσκευές για τον χειρισμό fast-setting ρητίνων κοστίζουν περίπου \$4,000 το φτηνότερο. Ένα επιπρόσθετο πλεονέκτημα της γρήγορης σκλήρυνσης είναι ότι το γεγονός αυτό μπορεί ουσιαστικά να επεκτείνει τη διάρκεια ζωής του καλουπιού. Αυτό ισχύει γιατί η διαδικασία σκλήρυνσης παίζει σημαντικό ρόλο στην αποσύνθεση του καλουπιού. Έτσι ένα καλούπι που διαρκούσε για 25-50 «πατήματα» αναμένεται να δίνει 50-100 «πατήματα» όταν χρησιμοποιούμε ρητίνες ταχείας σκλήρυνσης.

Στη συνέχεια παρουσιάζονται δύο πίνακες με συστοιχίες εικόνων, της εταιρίας MCP HEX-GMBH έτσι ώστε να γίνουν πιο κατανοητές οι παραπάνω μέθοδοι.

RTV Molding

RTV Molding (Vacuum Casting)

2.2 COMPOSITE TOOLING (EPOXY TOOLING)

Η μέθοδος αυτή είναι μια τεχνική RT που συμπληρώνει τα κενά στις διαδικασίες πρωτοτυποποίησης. Για πλαστικά αντικείμενα, οι δύο πιο γνωστές διαδικασίες είναι η RTV Molding και η Soft Tooling. Η Composite Tooling έρχεται να γεφυρώσει το κενό ανάμεσα στα πλεονεκτήματα των δύο μεθόδων : I) συντομότερος χρόνος και μικρότερη δαπάνη που σχετίζεται με το R.T.V. Molding, II) δυνατότητα να χρησιμοποιηθούν στο Soft Tooling υλικά παραγωγής (thermo set plastics) για πρωτότυπα που προέρχονται από καλούπια με ψεκασμό.

Γενικά, η τεχνική Composite Tooling κατασκευάζει αντικείμενα από καλούπια με ψεκασμό σε 2 έως 6 εβδομάδες με μείωση κόστους 50%-70% σε σχέση με τα εξαρτήματα αλουμινίου. Τα πλεονεκτήματα που υπήρχαν για απλά σχήματα, όπως το κόστος και ο χρόνος, αυξάνονται καθώς το σχέδιο γίνεται περισσότερο πολύπλοκο.

Τα καλούπια epoxy ή τα καλούπια αλουμινίου είναι γρήγορα σε σύγκριση με τα κατεργασμένα καλούπια και είναι σχετικά ένας φθηνός τρόπος να παράγονται πρωτότυπα και εξαρτήματα παραγωγής. Τα νέα προϊόντα epoxy προσφέρουν μεγαλύτερη αντοχή στη συμπίεση και στη θερμοκρασία. Εάν τα καλούπια είναι σχεδιασμένα κατάλληλα μπορούν να αντέξουν στις πιέσεις του ψεκασμού και της συμπίεσης.

Ένα υψηλής αντοχής καλούπι μπορεί να επιτευχθεί μέσα σε λίγες εβδομάδες μ' ένα αρχικό υπόδειγμα ή ένα Rapid Prototype. Η διαδικασία ξεκινά με την κατασκευή του υποδείγματος. Όπως οι σιλικόνες που μπορούν να χυτευθούν, οι epoxy ρητίνες μπορούν να αναπαράγουν με μεγαλύτερη ακρίβεια λεπτομέρειες της επιφάνειας και της υφής. Τυπικά το ενδιάμεσο καλούπι RTV μπορεί να κατασκευαστεί για την αναπαραγωγή σε ουρεθάνη για να χρησιμοποιηθεί στη συνέχεια στη διαδικασία epoxy. Αυτό συμβαίνει γιατί το αρχικό καλούπι συνήθως καταστρέφεται κατά την διάρκεια του epoxy molding. Οι ενδιάμεσες γραμμές εγκαθίστανται κατά τέτοιο τρόπο όπως και σε ένα RTV εξάρτημα. Η epoxy εφαρμόζεται στο ένα μέρος του καλουπιού κάθε φορά και στη συνέχεια περνά από μια πολλαπλή διαδικασία σκλήρυνσης. Η σκλήρυνση ολοκληρώνεται όταν επιτυγχάνεται η μέγιστη αντοχή. Τότε, το καλούπι κατεργάζεται για να τοποθετηθούν

πύλες-είσοδοι και διέξοδοι-οπές που δεν μπορούν να προστεθούν όταν έχει ήδη τοποθετηθεί ένα περίβλημα στο καλούπι από επεξεργασμένο αλουμίνιο ή χάλυβα.

Ο χρόνος σκλήρυνσης εξαρτάται από το προϊόν και από το μέσο σκλήρυνσης και κυμαίνεται ανάμεσα σε 30 λεπτά και πάνω από 40 ώρες. Εάν προστεθεί θερμότητα, επιταχύνεται σημαντικά η διαδικασία. Η γήρανση του καλουπιού σε θερμοκρασία δωματίου για περισσότερες από 72 ώρες, εάν αυτό είναι εφικτό, αυξάνει την ενεργή ζωή του καλουπιού (ικανότητα να παράγει). Ιδιότητες της epoxy όπως αντοχή στη συμπίεση και σκληρότητα ποικίλουν αισθητά από προϊόν σε προϊόν. Η επιλογή της καλύτερης μεθόδου epoxy για ένα συγκεκριμένο σχέδιο βασίζεται στην εμπειρία και τις απαιτήσεις των κατασκευαστών. Η πιο βαρύνουσα μελέτη γίνεται για το υλικό παραγωγής που πρόκειται να χρησιμοποιηθεί. Η δυσκαμψία του αυτή δεν επιτρέπει τα μικρά κοψίματα που είναι συνήθη στη μέθοδο RTV molding. Στα καλούπια RTV, η ευκαμψία του εξαρτήματος του επιτρέπει να «ξεφλουδίζει». Γι' αυτό το λόγο στο σχέδιο μικρές εγκοπές δεν λαμβάνονται υπόψη. Στην μέθοδο όμως Composite Tooling το εξάρτημα σχεδιάζεται λεπτομερειακά. Επίσης, η δυνατότητα κατασκευής του σχεδίου ενός αντικειμένου πρέπει να μελετηθεί εκ νέου για να επιβεβαιωθεί ότι μια εγκοπή ή σχεδιαστική λεπτομέρεια δεν θα εμποδίσει την εξαγωγή του αντικειμένου.

2.3 DIRECT AIM (ACES INJECTION MOLDING)

Η μέθοδος αυτή είναι καινούργια και πολύ σημαντική για τη γρήγορη και πιο οικονομική παραγωγή πρωτοτύπων τεμαχίων με χρήση θερμοπλαστικών υλικών σε σύντομη χρονική διάρκεια (περίπου μία εβδομάδα).

Η διαδικασία περιλαμβάνει την δημιουργία καλουπιού σε SLA, χρησιμοποιώντας πολυμερές σε ρευστή μορφή, το οποίο εκχύεται μέσω μιας κεφαλής για την δημιουργία του καλουπιού. Στο καλούπι αυτό έχει επιστρωθεί, από την πάνω του πλευρά ένα περίβλημα από το ίδιο πολυμερές. Το περίβλημα αυτό δίνει την δυνατότητα στο καλούπι να αφαιρεθεί από αυτό από την κάτω πλευρά. Αυτός ο τρόπος αφήνει μία κοιλότητα στα δύο μισά του καλουπιού η οποία μπορεί να γεμιστεί με διάφορα υλικά. Αυτά τα υλικά μπορεί να είναι αλουμίνιο (epoxy), κεραμικά και χαμηλής τήξεως μέταλλα. Η διαδικασία γεμίματος περιλαμβάνει και αγωγή θερμότητας για το σύστημα ανταλλαγής θερμοκρασίας καθώς αυτό ολοκληρώνει το σύστημα ψύξης που μπορεί να τοποθετηθεί στα δύο μέρη του καλουπιού.

Τα δύο μέρη του καλουπιού συναρμολογούνται και ευθυγραμμίζονται. Οι επιφάνειες των τεμαχίων επιδέχονται φινίρισμα για καλύτερη ποιότητα επιφάνειας. Με τη χρήση μεγαλύτερων χρόνων και ενός μέσου αποδέσμευσης (ejector), μπορούν να παραχθούν αριθμούμενα τεμάχια με ψεκασμό των θερμοπλαστικών στο καλούπι χρησιμοποιώντας μια συνηθισμένη injection molding μηχανή.

2.4 SPRAY METAL TOOLING

Αυτή η διαδικασία εφαρμόζει κράμα ψευδαργύρου/αλουμινίου με arc spray σε ένα υπόδειγμα ή μοντέλο. Το υπόδειγμα ή μοντέλο μπορεί να προέρχεται από στερεολιθογραφία ή να είναι από ξύλο ή μέταλλο. Το κράμα ψεκάζεται πάνω στο υπόδειγμα σε πάχος περιβλήματος 0,060-0,125 in. Στερεοποιείται στο επιθυμητό μέγεθος και προσκολλάται στο υπόδειγμα. Το ψεκαζόμενο κέλυφος από μέταλλο ενισχύεται στη συνέχεια ρητίνη υψηλής επεξεργασίας (aluminum-filled epoxy). Το περατωμένο καλούπι μπορεί να παράγει τεμάχια από οποιοδήποτε υλικό παραγωγής, από πολυπροπυλένιο έως πολυκαρμπονάτ με ίνες γυαλιού.

Η προετοιμασία του μοντέλου είναι το πρώτο από τα σημαντικότερα βήματα αυτής της διαδικασίας. Εξαρτάται από την αποπεράτωση του μοντέλου, αν πρέπει να επιστρωθεί με άμμο για να λειανθεί γιατί όλες οι ατέλειες της επιφάνειας γίνονται εμφανείς στο κέλυφος από ψεκασμό. Τυπικά, το υπόδειγμα πρέπει να αποπερατωθεί χειρωνακτικά στην επιθυμητή ποιότητα πριν την κατασκευή του καλουπιού. Στις περισσότερες περιπτώσεις κατασκευάζονται υποδείγματα από ουρεθάνη σε καλούπι από σιλικόνη γιατί υπάρχουν πιθανότητες το αρχικό υπόδειγμα να καταστραφεί. Οι διαχωριστικές επιφάνειες μεταξύ υποδείγματος και καλουπιού γίνονται με πηλό ή με διαχωριστικές πλάκες. Ολισθηρά και χαλαρά τεμάχια μπορούν να φτιαχτούν με όμοιο τρόπο σε prototype injection molds και να προηγηθεί spraying στην επιφάνεια. Κατασκευάζεται πλαίσιο από αλουμίνιο ή χάλυβα για να απορροφά τις πιέσεις του καλουπιώματος και να επιτρέψουν στο ολοκληρωμένο καλούπι να εγκατασταθεί στο molding equipment. Αυτά τα υλικά απορροφούν το μεγαλύτερο μέρος των πιέσεων που παράγονται από την μηχανή. Τότε περνιέται με spray η μεταλλική επιφάνεια.

Στη συνέχεια προστίθενται ίσαλες γραμμές και όλα τα πρόσθετα υποστηρίγματα. Τότε χύνεται στο πίσω μέρος του καλουπιού υψηλής αντοχής aluminum filled epoxy. Αυτό το epoxy είναι όμοιο με το υλικό που χρησιμοποιείται στα epoxy molds.

Άλλη τεχνική είναι να γεμιστεί το πίσω μέρος με κράμα μετάλλων χαμηλής τήξης. Αυτό το υλικό έχει εξαιρετική ανταλλαγή θερμότητας και μπορεί να υπόκεινται σε μεγαλύτερη πίεση απ'ότι το epoxy. Η ίδια διαδικασία γίνεται και στην άλλη πλευρά του καλουπιού. Το καλούπι υπόκειται σε σκλήρυνση, έπειτα το επεξεργάζονται και το ετοιμάζουν για χρήση. Αυτά τα καλούπια μπορούν επίσης να επιμεταλλωθούν για να αυξηθεί η αντοχή τους.

Spray Metal Tooling (Blow Mold)

Spray Metal Tooling (Injection Mold)

Το Rapid Prototype είναι μια καλή αρχή για την παραγωγή Spray Metal Tooling. Η μεγαλύτερη διάρκεια ζωής εξαρτάται από την διαδικασία που εφαρμόζεται. Τα καλούπια που χρησιμοποιούνται σε λειτουργίες χαμηλής πίεσης όπως η χύτευση, το blow molding ή rim, είναι περισσότερο αποδοτικά (στη παραγωγή αντικειμένων) απ'ότι σε εφαρμογές υψηλής πίεσης.

2.5 3D KELTOOL

Η διαδικασία Keltool είναι μια βελτιωμένη διαδικασία για την παραγωγή μαλακών εξαρτημάτων με μεγάλη διάρκεια ζωής με γρήγορο και οικονομικό τρόπο. Καλύπτει εξαρτήματα για πρωτοτυποποίηση ή για παραγωγή από 100 έως ακόμα και εκατομμύρια plastic injection mold τεμαχίων.

Η λέξη Keltool αναφέρεται στην απαραίτητη διαδικασία sintering με σκόνη μετάλλου, η οποία περιλαμβάνει διήθηση του τηγμένου μετάλλου με κράμα χαλκού. Αυτό το κράμα γεμίζει τα κενά του ούτως ή άλλως πορώδες υλικού και παράγεται η σωστή τελική επιφάνεια για injection mold, τόσο από άποψη εμφάνισης όσο και από σκληρότητα.

Η διαδικασία αυτή απαιτεί ένα αρχικό υπόδειγμα, τυπικά ένα μοντέλο ACES, SLA, το οποίο να μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή ενός καλουπιού από σιλικόνη και από το οποίο στη συνέχεια θα παραχθεί το καλούπι Keltool. Το καλούπι Keltool γίνεται με την διήθηση σε χαλκό και συμπύκνωση της μάζας του για να αυξηθεί η αντοχή και η σκλήρυνση του καλουπιού. Το ολοκληρωμένο τεμάχιο Keltool έχει την αντοχή ενός A6 ατσάλινου εξαρτήματος και μπορεί να κατεργαστεί όπως και ένα hard tool.

3D Keltool

2.6 RAPID TOOL

Η μέθοδος rapid tool εκμεταλλεύεται τα πλεονεκτήματα της ικανότητας χρήσης πολλών υλικών της μεθόδου DTM'S SLS (selective laser sintering). Στην διαδικασία rapid tool, το υλικό που χρησιμοποιείται είναι DTM'S rapid steel σε σκόνη, σφαιρίδια ανθρακούχου χάλυβα με μέσο μέγεθος 55 micron και επικαλυμμένα με θερμοπλαστική συγκολλητική ύλη. Χρησιμοποιώντας για δεδομένο ένα CAD αρχείο, η διαδικασία DTM'S SLS συμπυκνώνει τη σκόνη για να διαμορφώσει τη γεωμετρία του καλουπιού. Τα sintered τεμάχια αποτελούνται από μεταλλικά μέρη συνδεδεμένα με δακτύλιους από πολυμερή. Αυτό ονομάζεται «green part» από τους μεταλλειολόγους. Η αντοχή του είναι περίπου 400 PSI και μπορεί να αντέξει σε χειρισμούς όπως η κατασκευή και ο καθαρισμός τοιχωμάτων τόσο λεπτών όσο 0,040 inch.

Ένας απλός κύκλος κλιβάνου μετατρέπει το green part σε καλούπι υψηλής πυκνότητας. Το τεμάχιο τοποθετείται σε επιφάνεια αλουμινίου μέσω χοάνης γραφίτη και περικλείεται από ράβδους χαλκού. Στους 300°C το πλαστικό πολυμερές αφαιρείται με καύση ενώ η τριβή μεταξύ των μεταλλικών μερών βοηθά το αντικείμενο να διατηρεί το σχήμα του. Στους 700°C, η σκόνη σιδήρου αρχίζει να τήκεται, δημιουργώντας ένα πορώδες «brown» τεμάχιο. Στους 1120°, ο χαλκός λιώνει και διεισδύει στο αντικείμενο μέσω της τριχοειδούς κίνησης. Ο χαλκός που δεν διεισδύει προσκολλάται στην επιφάνεια αλουμινίου και έτσι το αντικείμενο αφαιρείται εύκολα μετά την ψύξη.

Τα καλούπια που προκύπτουν είναι 60% σίδηρος και 40% χαλκός και έχουν ιδιότητες όμοιες με το P-20 χάλυβα ή το 7075 αλουμίνιο. Τα καλούπια μπορούν να υποστούν διάτρηση, σπειροτόμηση, συγκόλληση και επιμετάλλωση όπως τα συμβατικά καλούπια. Μπορούν επίσης να επεξεργαστούν την επιφανειά τους, να λειανθούν με μηχανήματα που κάνουν συμβατική αποπεράτωση επιφάνειας όπως σφυριδοτροχούς κλπ. Η επεξεργασία για την ολοκλήρωση των εσωτερικών διαμορφώσεων των καλουπιών μπορούν να γίνουν ακόμα και στο αρχικό αρχείο STL. Η ακρίβεια του αρχικού «green part» είναι τυπικά $\pm 0,005\text{in}$ (0,13mm). Η ακρίβεια που μπορεί να επιτυχθεί για το ολοκληρωμένο καλούπι είναι $\pm 0,001\text{in}$ (0,125mm) για διαστάσεις μικρότερες από 4-5in. Το τελικό φινίρισμα διορθώνει πολλές «κρίσιμες» διαστάσεις όπως οι επιφάνειες που παρεμβάλλονται και οι δίοδοι παροχής υλικού. Τυπικά, 0,02in (0,05mm), πρόσθετου υλικού προστίθεται σ' αυτές τις επιφάνειες στο CAD αρχείο για να επιτρέπεται αυτή η κατεργασία.

2.7 PHAST (Prototype Hard And Soft Tooling)

Στο συνέδριο Rapid Prototyping & Manufacturing '97 η Plynetics Express ανακοίνωσε την PHAST, μια τεχνολογία που αναπτύχθηκε από την Proctor & Gamble με άδεια αποκλειστικά στο PE. Η PHAST κατασκευάζει τις εσωτερικές διαμορφώσεις καλουπιού από την αντίστροφη γεωμετρική μορφή αντικειμένων μόνο σε 2 ημέρες. Ο συνολικός χρόνος από την ολοκλήρωση δεδομένων CAD ως την παραλαβή των εξαρτημάτων είναι περίπου 2 έως 3 εβδομάδες, περιλαμβάνοντας το χρόνο σχεδίασης του καλουπιού, κατασκευή υποδείγματος, διαδικασία PHAST, φινίρισμα καλουπιού, γραμμές ψύξης, εξολκείς, βάση καλουπιού και τα πρώτα αντικείμενα. Η νέα μορφή Rapid Tooling, που ονομάζεται PHAST, υπόσχεται σε 2 μέρες την ολοκλήρωση των εσωτερικών διαμορφώσεων του καλουπιού που μπορούν να δώσουν 50-500 τεμάχια ή περισσότερα. Η όλη διαδικασία, συμπεριλαμβάνοντας την εγκατάσταση γραμμών ψύξης, εξελκέων και βάση καλουπιού υπολογίζεται 2-3 εβδομάδες. Καλούπια 8-12in έχουν κατασκευαστεί με επιτυχία και φυσικά δεν υπάρχουν τεχνικά εμπόδια για καλούπια μεγαλύτερου μεγέθους.

2.8 EOSINT M

Η τεχνολογία EOSINT M είναι το πρώτο εμπορικό σύστημα για direct laser-sintering μεταλλικής κόνεως. Η αρχική εφαρμογή είναι για την κατασκευή καλουπιών για injection molding και συναφείς μεθόδους παραγωγής.

Αυτή η διαδικασία κατασκευής δίνει τη δυνατότητα να κατασκευαστούν πολύπλοκα καλούπια άμεσα σε μέταλλο από τα δεδομένα του CAD συστήματος. Δεν χρησιμοποιούνται εργαλεία και γι' αυτό αποφεύγονται γεωμετρικοί περιορισμοί και η ανάγκη να προβλεφθεί η διαδρομή του εργαλείου. Τα laser-sintered τεμάχια μπορούν να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία, για παράδειγμα διήθηση ή λείανση για να παραχθούν καλούπια για injection molding με μεγάλο εύρος πλαστικών υλικών. Με την τεχνολογία EOSINT M πολύπλοκα σχήματα μπορούν να κατασκευαστούν με

επιτυχία, λαμβάνοντας υπόψιν γεωμετρικά σχήματα που δεν μπορούν να κοπούν με συμβατικά εργαλεία.

2.9 DIRECT INVESTMENT CASTING

Η τεχνολογία Direct Investment Casting αξιοποιεί μοντέλα από στερεές και γρήγορης χύτευσης ρητίνες που μπορούν να παραχθούν με τις διαδικασίες : Stereo lithography (3D), Solider (Cubital), EOSINT P (EOS), Selective Laser Sintering (DTM), Laser Object Manufacturing (Helisys). Τα μοντέλα ρητινών χρησιμοποιούνται άμεσα σαν αναλώσιμα υποδείγματα και τελικά καίγονται, σε αντίθεση με την μέθοδο Indirect Investment Casting όπου τα υποδείγματα από κερί λιώνουν.

Ο χρόνος για πρωτότυπα investments castings είναι τυπικά 3-4 εβδομάδες μετά την παραλαβή του μοντέλου. Η διαδικασία μπορεί να παράγει πολύπλοκα αντικείμενα που ποικίλουν στο μέγεθος από 1in έως πάνω από 36in.

2.10 QUICKCAST

Η διαδικασία Quick Cast της 3D Systems, αντικαθιστά τα παραδοσιακά υποδείγματα από κερί για investment casting με υποδείγματα από Stereolithography, με αυθεντικά και μεγάλης διάρκειας υλικά χωρίς εξαρτήματα και χωρίς καθυστέρηση. Το αποτέλεσμα είναι υποδείγματα Quick Cast σε χρονό 2-4 ημέρες και μεταλλικά castings καλής ποιότητας σε 1-4 εβδομάδες.

Το αντικείμενο Quick Cast μοιάζει με κυψελωτό γραμμοσκιασμένο υπόδειγμα και ολοκληρώνεται έχοντας 80% κοιλότητα. Αυτό καίγεται κατά την διαδικασία investment casting με πολύ μικρό υπόλειμμα.

Από αρχείο STL κατασκευάζεται υπόδειγμα QuickCast σε Stereolithography. Αυτό ελέγχεται για διαρροή για να βεβαιωθεί ότι είναι αεροστεγές. Κατόπιν επιλέγεται ο investment caster, με βάση την εμπειρία και το υλικό που απαιτείται, και το υπόδειγμα QuickCast δίδεται σε αυτόν. Ο caster τοποθετεί το αντικείμενο σε διαδικασία επικάλυψης με κεραμικό και πραγματοποιείται η διαδικασία ανάφλεξης για να καεί το SLA υπόδειγμα. Στη συνέχεια το μέταλλο χύνεται στο κεραμικό κέλυφος που καίγεται, για να σπάσει τελικά και να αποκαλυφθεί το μεταλλικό αντικείμενο.

2.11 INDIRECT INVESTMENT CASTING

Η διαδικασία Indirect Investment Casting περιλαμβάνει τη χρήση μιας RP διαδικασίας για να κατασκευαστεί καλούπι το οποίο φτιάχνει υποδείγματα κεριού. Το καλούπι μπορεί άμεσα να χρησιμοποιηθεί από τη διαδικασία LOM ή ACES SLA ή αντί για ένα RTV ή composite καλούπι από SLA,SLS,LOM ή από οποιοδήποτε άλλο υπόδειγμα.

2.12 RUBBER PLASTER MOLD (RPM)

Η διαδικασία plaster mold αρχίζει όταν ένα θετικό SLA μοντέλου του ολοκληρωμένου εξαρτήματος έχει κατασκευαστεί και χρησιμοποιείται σαν υπόδειγμα για το αρνητικό silicone rubber καλούπι. Άλλος τύπος silicone rubber χύνεται στο προετοιμασμένο αρνητικό rubber καλούπι για να φτιάξει ένα silicone rubber τεμάχιο με την ίδια θετική γεωμετρία όπως το αρχικό SLA υπόδειγμα. Κατόπιν παίρνουμε αυτό το θετικό τεμάχιο από σιλικόνη και κατασκευάζουμε γύρω από αυτό το καλούπι. Το υπόδειγμα σιλικόνης απομακρύνεται και το μέταλλο χύνεται μέσα στην κοιλότητα.

2.13 RUBBER PLASTER CASTING

Η διαδικασία rubber plaster casting χρησιμοποιείται για να κατασκευαστούν εξαρτήματα αλουμινίου με πολύ πολύπλοκο σχήμα τα οποία απαιτούν καλύτερης ποιότητας τελική επιφάνεια απ' αυτή που θα μπορούσε να δώσει το sand casting. Η rubber plaster casting είναι τέλεια για εξαρτήματα των οποίων η τελική επιφάνεια πρέπει να είναι πολύ προσεγμένη. Στη διαδικασία αυτή, τα LOM αντικείμενα χρησιμοποιούνται σαν υποδείγματα γύρω από τα οποία τοποθετείται ένα στρώμα rubber. Στη συνέχεια τοποθετείται γύρω από το στρώμα rubber το οποίο αφαιρείται. Ακολούθως, το μέταλλο χύνεται μέσα στην κοιλότητα του γύψου, ο οποίος στη συνέχεια σπάζεται για να πάρουμε το μεταλλικό αντικείμενο.

Plaster Mold Casting

2.14 SAND CASTING

Η διαδικασία Sand Casting χρησιμοποιείται για την παραγωγή μεταλλικών αντικειμένων όταν η τελική επιφάνεια δεν είναι το κρίσιμο χαρακτηριστικό. Είναι τεχνολογία για παραγωγή μεγάλου αριθμού τεμαχίων η οποία απαιτεί σταθερά υποδείγματα χυτηρίου. Η διαδικασία LOM ταιριάζει για την παραγωγή των συχνά μεγάλων, ογκωδών υποδειγμάτων που χρησιμοποιούνται στη sand casting. Όταν χρειάζονται πάνω από 100 αντικείμενα, τα LOM εξαρτήματα φινιρίζονται, καλύπτονται οι τυχόν τρύπες ή τα άλλα ανοίγματα που μπορεί να έχουν, βάζονται και χρησιμοποιούνται άμεσα για να φτιαχτούν αποτυπώματα στην άμμο.

Η SLA, η SLS και άλλες RP διαδικασίες χρησιμοποιούνται επίσης σε μικρότερη κλίμακα για να κατασκευαστούν υποδείγματα sand casting.

2.15 DSPC (DIRECT SHELL PRODUCTION CASTING)

Η DSPC (Direct Shell Production Casting) παράγει τα κεραμικά καλούπια για μεταλλικά castings άμεσα από σχέδια CAD 3D. Δεν χρειάζονται εργαλεία ή υποδείγματα. Η DSPC χρησιμοποιεί την τεχνολογία εκτύπωσης σε 3 διαστάσεις για να παράγει καλούπια από κεραμικά υλικά με την μέθοδο εκτύπωσης layer by layer (επίπεδο-επίπεδο).

Το αρχείο CAD από το σχεδιασμένο αντικείμενο μεταφέρεται στο Shell Design Unit (SDU) του συστήματος DSPC. Ο χειριστής του SDU σχεδιάζει το κεραμικό καλούπι για χύτευση του μεταλλικού τεμαχίου με την προσθήκη συστήματος εισόδου υλικού στη γεωμετρία του αντικειμένου και μετατρέπει το αρχείο σε μορφή αντίστοιχης κοιλότητας στο χώρο του CAD. Αυτή η διαδικασία γίνεται μια φορά και μπορούν να κατασκευαστούν πολλά κεραμικά καλούπια. Τα αρχεία για την κοιλότητα του κεραμικού χρησιμοποιούνται στη συνέχεια για να παραχθούν αυτόματα κεραμικά καλούπια για χύτευση.

Το κεραμικό καλούπι δημιουργείται σε επίπεδα. Η διαδικασία παραγωγής περιλαμβάνει τρία βήματα ανά επίπεδο. Πρώτον, το μοντέλο του κεραμικού κελύφους κόβεται σε επίπεδα (φέτες) για να δημιουργηθεί μια οριζόντια τομή στο κεραμικό καλούπι. Δεύτερον, ένα στρώμα από λεπτή πούδρα σκορπίζεται από ένα μηχανισμό με κύλινδρο. Τρίτον, πολλαπλές κεφαλές κινούνται κατά μήκος της τομής και τοποθετούν συνδετική ύλη σε περιοχές, ανάλογα με τις τομές του καλουπιού.

Η συνδετική ύλη εμποτίζει τους πόρους ανάμεσα στα σωματίδια της πούδρας και τα κολλά μεταξύ τους για να πάρουν τη μορφή μιας στερεάς δομής. Μόλις ολοκληρώνεται ένα επίπεδο το μοντέλο του κεραμικού καλουπιού τέμνεται ξανά, σε μια ελαφρά υψηλότερη θέση και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι όλα τα επίπεδα του καλουπιού να γίνουν συμπαγή. Το καλούπι DSPC στη συνέχεια καθαρίζεται, από επιπλέον πούδρα, θερμαίνεται και χύνεται σ' αυτό λιωμένο μέταλλο.

Ένα καλούπι DSPC μπορεί να περιλαμβάνει και μια εσωτερική προεξοχή για να δώσει ένα μεταλλικό αντικείμενο με τρύπα. Θεωρητικά όλα τα λιωμένα μέταλλα μπορούν να χυτευθούν σε DSPC καλούπια. Εξαρτήματα αυτοκινήτου έχουν ήδη κατασκευαστεί από αλουμίνιο, μαγνήσιο, ελατό σίδηρο και ανοξείδωτο χάλυβα.

Η μηχανή DSPC είναι όμοια με τρισδιάστατο εκτυπωτή που χρησιμοποιεί το CAD του σχεδιαστή για να κατασκευάσει κεραμικά καλούπια. Συνεπώς, επισπεύδει το σχεδιασμό και τον έλεγχο λειτουργίας νέων εξαρτημάτων αυτοκινήτων όπως μηχανές, μηχανισμούς μετάδοσης κίνησης και περιστροφικούς συμπιεστές.

Με την DSPC, όλα τα καλούπια παράγονται σαν απλά εξαρτήματα από ένα CAD αρχείο του προτεινόμενου τεμαχίου. Αυτό το εξάρτημα παράγεται μια φορά, δίνοντας εγγύηση για μια οικονομική μεταφορά από το πρώτο αντικείμενο έως ολόκληρη την παραγωγή. Η ανάγκη για καλούπια μικρής διάρκειας περιορίστηκε, όπως περιορίστηκαν και τα υψηλά έξοδα που είχαν. Με την DSPC ένας μεγάλος αριθμός σχεδιαστικών αλλαγών μπορεί να γίνει, συμπεριλαμβανομένου και της δοκιμής διαφορετικών κραμάτων χωρίς περαιτέρω έξοδα αλλά ούτε και δαπάνη χρόνου για να κατασκευάζονται επιμέρους καλούπια.

2.16 TOPOGRAPHIC SHELL FORMATION (TSF)

Η διαδικασία TSF αναπτύχθηκε από τη Formus και επιτρέπει την αυτόματη κατασκευή φυσικών μοντέλων από σχέδια CAD. Η TSF παρέχει μια γρήγορη και

λιγότερο δαπανηρή μέθοδο για κατασκευαστές μεγάλων αντικειμένων, οι οποίοι αναγκάζονταν στο παρελθόν να χρησιμοποιήσουν αργές και δαπανηρές μεθόδους, όπως η χειρωνακτική μέθοδος και το NC φρεζάρισμα ακριβών υλικών όπως ο αφρός, το αλουμίνιο, ο πηλός και το ξύλο. Η TSF μειώνει σημαντικά το χρόνο και το κόστος για την κατασκευή σχημάτων 3D μεγάλου μεγέθους άμεσα από CAD μοντέλα.

Το 3D μοντέλο προετοιμάζεται για «εκτύπωση» με τη δημιουργία μεγάλου αριθμού οριζόντιων επιπέδων (φέτες). Η διαδρομή του εργαλείου στη συνέχεια δημιουργείται με offset που είναι είτε προς το εσωτερικό είτε προς το εξωτερικό του σχήματος που πρόκειται να φτιαχτεί με τις σωστές διαστάσεις για κάθε επίπεδο. Το συνολικό σχήμα δημιουργείται με διαδοχικά επίπεδα πούδρας πυριτίου (υψηλής ποιότητας άμμο) και κερί παραφίνης, ένα επίπεδο για κάθε επίπεδο του μοντέλου. Αυτό γίνεται με ψεκασμό λιωμένου κεριού από μια βαλβίδα ελεγχόμενη από τρεις άξονες (X-Y-Z). Πριν «εκτυπωθεί» κάθε οριζόντιο επίπεδο, προστίθεται περισσότερη άμμος για το επόμενο επίπεδο. Όταν όλα τα επίπεδα ολοκληρωθούν, τότε το κέλυφος άμμου/κεριού φινιρίζεται από μια διαδικασία λείανσης επιφάνειας και στη συνέχεια επενδύεται με γύψο ή Duratec, που και αυτό με τη σειρά του στεγανοποιείται, επικαλύπτεται με κερί και γυαλίζεται. Αυτό το σχήμα χρησιμοποιείται σαν προσωρινό καλούπι για την κατασκευή πρωτότυπων τεμαχίων και εξαρτημάτων. Μερικά από τα υλικά που είναι συμβατά με την TSF είναι ο υαλοβάμβακας, τα epoxy και ο ελατός και συμπαγής αφρός.

2.17 DIRECT CRONING PROCESS (DCP)-EOSINT S

Η EOSINT S είναι το νεότερο επίτευμα στην σύντηξη με laser. Τα καλούπια για χυτά μέταλλα κατασκευάζονται άμεσα από χόμα χυτηρίου σε λίγες ώρες από το αρχείο CAD. Δεν υπάρχουν υποδείγματα και ακόμα και εξαιρετικά πολύπλοκα καλούπια μπορούν να κατασκευαστούν από την τεχνική κατασκευής αυτού του επιπέδου.

Αυτή η μέθοδος ανοίγει νέους ορίζοντες οι οποίοι μπορούν να εξοικονομούν πολλά χρήματα, για παράδειγμα με μείωση του αριθμού των εξαρτημάτων που χρησιμοποιούνται για να διαμορφώσουν τις προεξοχές του καλουπιού. Η λογική πρόοδος έχει επιτευχθεί από τον παραδοσιακό τρόπο κατασκευής σε γρηγορότερες και πιο οικονομικές, μοντέρνες μεθόδους.

Η EOSINT S χρησιμοποιεί χόμα χυτηρίου με επικάλυψη, υλικά όμοια με τα ευρείας χρήσης βιομηχανικά υλικά. Γι'αυτό η τεχνολογία αυτή είναι γνωστή σαν "Direct Croning Process (DCP)". Προσφέρει έναν εξαιρετικό τρόπο παραγωγής με μεταλλικά πρωτότυπα από υλικά παραγωγής και μπορεί να χρησιμοποιηθεί για σειρά παραγωγής μικρών αντικειμένων.

2.18 NICKEL CERAMIC COMPOSITE

Η διαδικασία αρχίζει με ένα SL μοντέλο. Αυτό το «θετικό» είναι υποδηλωτικό του τεμαχίου για καλούπι, αλλά όχι ένα τέλειο αντίγραφο. Αντίθετα έχει παραπάνω

μισή ίντσα περίπου όσο το πάχος μεταξύ των μερών του καλουπιού-σαν να μην ήταν το καλούπι τελείως κλειστό.

Η τελική ακαμψία αφήνει τα δύο μέρη του κελύφους του ηλεκτροδιαμορφωμένου νικελίου να αυξηθεί ταυτόχρονα στις αντίθετες πλευρές του μοντέλου. Το κέλυφος-με πάχος 0,1 ίντσα όταν ολοκληρωθεί-ψήνεται, στη συνέχεια, με θερμαινόμενο κεραμικό, το οποίο γεμίζει το κενό ανάμεσα στο κέλυφος και το πλαίσιο του καλουπιού. Έτσι τα δύο κελύφια από νίκελ γίνονται δύο μισά από ένα ολοκληρωμένο καλούπι injection.

Το τελείωμα της επιφάνειας είναι μια περιοχή όπου αυτή η διαδικασία γυαλίζει με ανάλυση σχεδόν σε μοριακό επίπεδο. Τα καλούπια έχουν ακριβώς την ίδια επιφάνεια όπως το SL υπόδειγμα.

Άλλη δύναμη της διαδικασίας είναι η ικανότητά της να παράγει καλούπια μεγαλύτερα από 6"X6"X6" και τόσο οικονομικά. Ενώ ο χρόνος να επεξεργαστεί ένα καλούπι είναι ανάλογος με τον όγκο του καλουπιού, σε αντίθεση με τον χρόνο της ηλεκτροδιαμόρφωσης. Σαν αποτέλεσμα, το κόστος ηλεκτροδιαμόρφωσης και το πλεονέκτημα του χρόνου μεγαλώνει με το μέγεθος του καλουπιού.

Η διαδικασία είναι ακόμα υπό ανάπτυξη και δεν είναι έτοιμη για γενική χρήση. Μια λογική προσδοκία για την διαδικασία ηλεκτροδιαμόρφωσης και τη διάρκεια ζωής της είναι από 10,000 έως 50,000 τεμάχια.

2.19 POLYSTEEL

Είναι μια νέα τεχνολογία, η οποία αναδιπλασιάζει μοντέλα rapid prototype για την παραγωγή μικρών έως πολύ μεγάλων, πολύπλοκων καλουπιών injection. Από τη στιγμή που έχουμε το πρωτότυπο, το καλούπι, σύμφωνα με αυτή τη νέα τεχνολογία, μπορεί να κατασκευαστεί σε 2-3 ημέρες. Η τεχνολογία Polysteel μπορεί να κατασκευάσει plastic injection molds, τα οποία έχουν cooling lines (ψύξη), εφαρμόζουν εξαιρετικές τεχνικές για να μειωθεί η δευτερεύουσα εργασία (αποδέσμευση αντικειμένου από το καλούπι, sprue, runner and mold base), στοιχεία που μειώνουν το συνολικό χρόνο κατασκευής.

Η Polysteel δεν χρησιμοποιεί ένα μόνο υλικό, αλλά μια οικογένεια υλικών, που σήμερα είναι περισσότερα από 100, με αρκετές διαφορετικές τεχνολογίες μορφοποίησης. Αυτό επιτρέπει στην Dynamic Tooling να χρησιμοποιεί τυποποιημένα υλικά και διαδικασίες για εξειδικευμένες εφαρμογές tooling. Οι εφαρμογές αυτές μπορεί να είναι (χωρίς όμως να περιορίζεται μόνο σ'αυτές): injection molding πλαστικών, compression molding, rubber products and tooling for investment casting.

Η διαδικασία αυτή παράγει τα δύο μέρη του καλουπιού από ημιστερεό μίγμα πολυμερούς/γάλυβα το οποίο διαμορφώνεται άμεσα πάνω σ'ένα υπόδειγμα stereolithography ή άλλα υποδείγματα rapid prototyping. Η Polysteel είναι 300-400% ισχυρότερη και περισσότερο θερμικά αγωγίμη σε σύγκριση με το aluminum-filled epoxy και περισσότερο ανθεκτικό στην φθορά από το αλουμίνιο 6061 T6. Μέχρι σήμερα ένα καλούπι μιας εξόδου έχει παράγει πάνω από 18,000 τεμάχια χωρίς να έχει δείξει φθορά.

Η Polysteel είναι πιο ακριβής απ'τις άλλες μεθόδους Rapid Tooling με ποσοστό συρρίκνωσης μόνο 0,0001 inch/inch. Η Polysteel μπορεί να δώσει φινιρίσμα 2RMS (mirror like) και δεν έχει περιορισμούς μεγεθών όπως κάποιες άλλες τεχνολογίες Rapid Tooling.

Στην συνέχεια παρατίθενται ένας αναλυτικός πίνακας ο οποίος περιέχει τα κύρια χαρακτηριστικά των μεθόδων που αναφέραμε παρακάτω.

Πίνακας Προδιαγραφών Μεθόδων Rapid Tooling					
Μέθοδοι	Χρόνος	Ρυθμός Παραγωγής	Τύποι-Ποσότητες Παραγόμενων Προϊόντων	Ακρίβεια	Κόστος
RTV Molding Urethane Casting	3-7 ημέρες	1-3 φορές/ημέρα 10 τεμάχια/καλούπι	Polyurethane 15-60 Polyurea 10-60 Epoxy 10-30 Investment Wax Patterns 50-300+ Foam Polyurethane 0-200+ Silicon Rubber 20-80+	0,005" με ανοχές 0,002"	
Composite Tooling (Epoxy Tooling)	2-6 εβδομάδες	5-15 min	ABS 250-300 Acetal 100-1000 Nylon 250-3000 Nylon(glass filled) 50-200 PBT 100-500 PC-ABS Blends 100-1000 Polycarbonate 100-1000 Polyethylene 500-5000 Polypropylene 500-5000 Polystyrene 500-5000 Investment Casting Wax 1000-10000	0,005in εώς 0,015in	\$1100 εώς \$2000
Direct Aim (Aces Injection Molding)	1-2 εβδομάδες	10-100 τεμάχια/καλούπι		0,005in εώς 0,015in	\$1000 εώς \$1500
Spray Metal Tooling	10 ημέρες εώς 3 εβδομάδες		Polyurethane 300-20,000 Polyurea 300-20,000 Epoxy 100-600 Investment Wax Patterns 500-10,000 Silicon Rubber 10,000+ Low Melt Metal Alloys 100-1500 Polyurethane Foam 2,000-20,000 Injection Molding 10-1000 Rim Molding 1,000-15,000 Blow Molding 300-500 Vacuum Forming 5,000-100,000		

Πίνακας Προδιαγραφών Μεθόδων Rapid Tooling						
Μέθοδοι	Χρόνος	Ρυθμός Παραγωγής	Τύποι-Ποσότητες Παραγόμενων Προϊόντων	Ακρίβεια	Κόστος	Περιορισμοί Μεγέθους
3D Kelttool	4 εβδομάδες	100,000 έως 10,000,000/καλούπι		0,005in εώς 0,015in	\$3000 εώς \$9000	6in προς όλες τις κατευθύνσεις
Rapid Tool		50,000/καλούπι		0,001in		
PHAST (Prototype Hard And Soft Tooling)	2-3 εβδομάδες	50-500/καλούπι				
Direct Investment Casting	3-4 εβδομάδες					1in-36in+
QuickCast	1-4 εβδομάδες					
Indirect Investment Casting			LOM Molds 20-100 Direct Aim Molds 50-100 RTV Molds 50-300+ Spray Metal Tooling 500-10,000 Epoxy Molds 1,000-10,000			
Nickel Ceramic Composite		10,000 έως 50,000/καλούπι				
Polysteel		18,000+/καλούπι		σφαιρική 0,0001 inch/inch		

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3

RAPID TOOLING & ΚΥΚΛΟΣ ΖΩΗΣ ΤΟΥ ΠΡΟΙΟΝΤΟΣ

Η οικονομική επιτυχία των επιχειρήσεων εξαρτάται από την δυνατότητά τους να αναγνωρίζουν τις ανάγκες των πελατών τους και να δημιουργούν προϊόντα που να ανταποκρίνονται σε αυτές. Η επιτυχία αυτού του στόχου δεν είναι ένα πρόβλημα του εμπορικού τμήματος, ούτε του τμήματος σχεδίασης, αλλά ούτε και της παραγωγής. Είναι ένα πρόβλημα ανάπτυξης προϊόντος που περιλαμβάνει όλες αυτές τις δραστηριότητες. Ως ανάπτυξη προϊόντος ορίζεται όλο το σύνολο των δραστηριοτήτων από την έρευνα αγοράς, μέχρι την παράδοση του στον πελάτη.

Επιτυχής μεθοδολογία ανάπτυξης προϊόντος είναι αυτή που έχει ως αποτέλεσμα την παραγωγή προϊόντων που χαρακτηρίζονται από εμπορική επιτυχία. Συνήθως χρησιμοποιούνται τρεις δείκτες για να αξιολογήσουμε την διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων.

- Ποιότητα προϊόντος
- Χρόνος ανάπτυξης
- Κόστος ανάπτυξης

Τα κριτήρια αυτά εγγυώνται την επιτυχή ανάπτυξη ενός προϊόντος, αλλά δεν είναι και τα μόνα κριτήρια.

Το προϊόν πρέπει να εξετάζεται καθ'όλη τη διάρκεια της ζωής του. Στο παρακάτω σχήμα έχουμε ένα διάγραμμα που δείχνει με απλοποιημένο τρόπο το κύκλο ζωής του προϊόντος. Στον οριζόντιο άξονα έχουμε το χρόνο ζωής του προϊόντος και στον κάθετο τα έσοδα (και έξοδα) από το προϊόν. Διακρίνουμε δύο περιόδους, την περίοδο της υλοποίησης όπου επενδύουμε για κάθε νέο προϊόν (Αρχική επένδυση) και την περίοδο των πωλήσεων, όπου έχουμε πωλήσεις και έσοδα.

Στην αρχή επενδύουμε στο προϊόν και έχουμε μόνο έξοδα για την ανάπτυξη του, ενώ στην συνέχεια αναμένουμε να έχουμε επιτυχημένο προϊόν. Βασικός σκοπός της μεθοδολογίας ανάπτυξης του προϊόντος είναι να έχουμε τήρηση του προγράμματος ανάπτυξης (σε χρόνο και κόστος) και την παραγωγή ενός επιτυχημένου εμπορικού προϊόντος.

Βασικός σκοπός στην διάρκεια ζωής του προϊόντος είναι να έχουμε μικρό χρόνο ανάπτυξης και μεγάλη διάρκεια πωλήσεων. Στο σχήμα που ακολουθεί, φαίνεται η επίδραση του ανταγωνισμού στον κύκλο ζωής του προϊόντος. Δύο εταιρείες ξεκινούν την ανάπτυξη ενός προϊόντος την ίδια χρονική στιγμή. Με την συνεχόμενη γραμμή έχουμε την μία εταιρεία και με την διακεκομμένη γραμμή φαίνεται η απόδοσης της ανταγωνιστικής εταιρείας, η οποία σχεδιάζει το προϊόν πιο γρήγορα, το εισάγει πρώτη στην αγορά και εφ'όσον είναι ένα καλό προϊόν συνήθως διατηρεί τη χρήσιμη περίοδο του προϊόντος για μεγαλύτερο χρονικό διάστημα έναντι του ανταγωνισμού.

Μια άλλη περίπτωση είναι να εισέλθει ο ανταγωνισμός νωρίτερα από εσένα στην αγορά με γρηγορότερη προώθηση του προϊόντος. Η περίπτωση αυτή φαίνεται στο παρακάτω σχήμα. Αποτέλεσμα αυτού είναι να διατηρήσει και για μεγαλύτερο διάστημα τη χρήσιμη περίοδο της ζωής του.

Στο σχήμα που ακολουθεί φαίνεται η επίδραση της κακής σχεδίασης του προϊόντος στον κύκλο ζωής του. Η αγορά απορρίπτει το προϊόν πριν από την αναμενόμενη και προγραμματισμένη διάρκεια ζωής, με αποτέλεσμα να έχουμε απώλεια εσόδων.

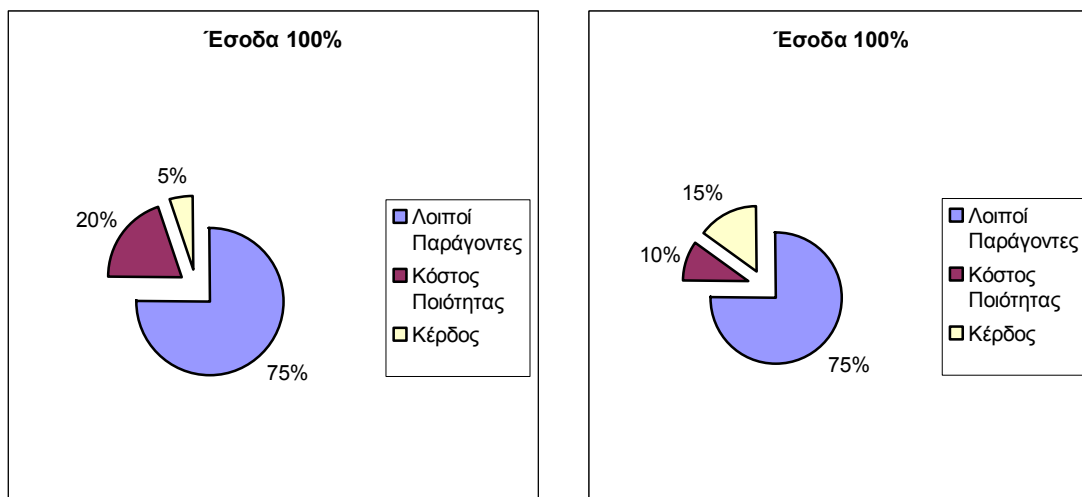
Στο επόμενο σχήμα έχουμε μια άλλη περίπτωση επίδρασης του χρόνου υλοποίησης του προϊόντος, για δύο ίδια θεωρητικά προϊόντα, για τα οποία έχουμε και παρόμοια στρατηγική εισαγωγής στην αγορά. Επιτυγχάνοντας να μειώσουμε το χρόνο υλοποίησης, έχουμε εισαγωγή του προϊόντος στην αγορά νωρίτερα από τον ανταγωνισμό με αποτέλεσμα να αποκτήσουμε μεγαλύτερα έσοδα και να παραμείνει το προϊόν μεγαλύτερο διάστημα στην αγορά.

Μπορούμε να επιρρεάσουμε το χρόνο υλοποίησης επιτυγχάνοντας μερική επαναχρησιμοποίηση ιδεών, εξαρτημάτων και μεθόδων (σχήμα). Εάν στηρίζουμε την υλοποίηση ενός προϊόντος σε υπάρχουσα από άλλο προϊόν πληροφορία, ή μεταλλάξουμε ένα προϊόν και επιτύχουμε να υλοποιήσουμε ένα νέο προϊόν αρκετά βελτιωμένο ως προς το πρώτο, τότε έχουμε μηδενικό κόστος υλοποίησης, το προϊόν εισάγεται παράλληλα στην αγορά και μπορεί να προσφέρει σημαντικό πρόσθετο εισόδημα.

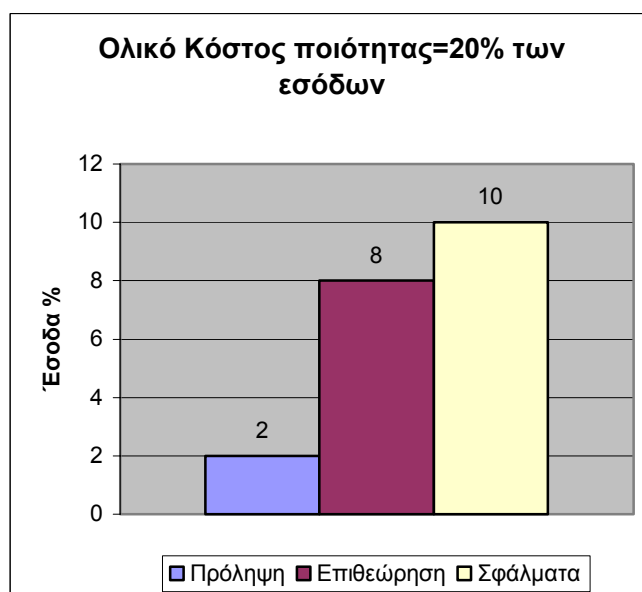
Τέλος στο τελευταίο σχήμα φαίνεται η επίδραση του εμπορικού τμήματος (και συνεπώς του ανταγωνισμού) στον κύκλο ζωής του προϊόντος. Η σημερινή εποχή χαρακτηρίζεται από συντόμευση του χρόνου ζωής του προϊόντος, υψηλότερες τιμές, συντόμευση του χρόνου υλοποίησης και εισαγωγής στην αγορά.

3.1 Βελτίωση ποιότητας προϊόντος

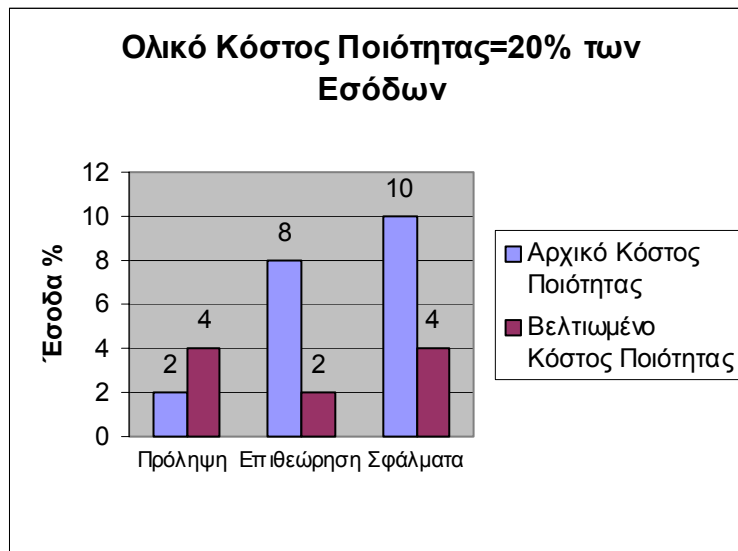
Η συνεισφορά της ποιότητας στο τελικό κόστος του προϊόντος φαίνεται στο αμέσως επόμενο σχήμα. Συνήθως είναι της τάξης του 20%. Μείωση αυτού του ποσοστού έχει ως άμεσο αποτέλεσμα την αύξηση του κέρδους.



Στο παρακάτω σχήμα φαίνεται η κατανομή του κόστους της ποιότητας. Ένα 2% οφείλεται στην πρόληψη, 8% στην επιθεώρηση και 10% στην διόρθωση των σφαλμάτων.



Έχει αποδειχθεί ότι αυξάνοντας το κόστος της πρόληψης, έχει ως αποτέλεσμα την μείωση του κόστους επιθεώρησης και του κόστους διόρθωσης των σφαλμάτων (σχήμα).



Είναι προφανές λοιπόν ότι μας συμφέρει να αυξήσουμε το κόστος πρόληψης, αφού αποτελεί μόνο το 2%. Η πρόληψη άρα και το κόστος αυτής, μπορεί να αυξηθεί εύκολα. Το σημαντικό είναι όμως η αύξηση αυτή να έχει και τα επιθυμιά αποτελέσματα. Εδώ το Rapid Tooling με την πληθώρα μεθόδων που διαθέτει μπορεί να βοηθήσει.

Η κατασκευή ενός καλουπιού, για την παραγωγή ενός μικρού αριθμού τεμαχίων του προϊόντος που θέλουμε να ελέγξουμε, με σχετικά μικρό κόστος, μας βοηθάει έτσι ώστε να έχουμε «στα χέρια μας» προϊόντα έτοιμα για μια σειρά δοκιμών. Τα αποτελέσματα αυτών των δοκιμών θα μας δώσουν μια σαφή εικόνα για την ποιότητα του προϊόντος αλλά και για τις αλλαγές που πρέπει να γίνουν για την βελτιωσή του.

3.2 Μείωση Κόστους & Χρόνου Ανάπτυξης Προϊόντος

γίνονται, να Όπως αναφέρθηκε και στην αρχή αυτού του κεφαλαίου η μείωση του χρόνου και του κόστους ανάπτυξης ενός προϊόντος είναι ένας πολύ σημαντικός παράγοντας για την εμπορική του επιτυχία. Η μείωση αυτή του χρόνου και του κόστους μπορεί να επιτευχθεί με πολλούς τρόπους (καλύτερη συνεργασία μεταξύ των τμημάτων, γρηγορότερη παρουσίαση αποφάσεων & ιδεών κ.α.). Εκτός όμως από τα παραπάνω και η μέθοδος Rapid Tooling μπορεί να φανεί ιδιαίτερος συμφέρουσα τόσο οικονομικά όσο και χρονικά.

Όπως έχει γίνει ήδη φανερό η μέθοδος Rapid Tooling αποτελεί μια τεχνολογία η οποία μπορεί σε σύντομο χρονικά διάστημα να δώσει ένα μικρό αριθμό τεμαχίων, του υπό ανάπτυξη προϊόντος, και μάλιστα με αρκετά μικρό κόστος. Αυτός ο αριθμός των τεμαχίων, μπορεί να φανεί ιδιαίτερος χρήσιμος και αυτό γιατί:

- Τα τεμάχια προσφέρουν μια «χειροπιαστή» μορφή του προϊόντος με αποτέλεσμα οποιεσδήποτε αλλαγές, που τυχόν πρέπει να περιγράφονται παραστατικότερα, άρα και πιο κατανοητά, και να πραγματοποιούνται σε μικρότερο χρονικό διάστημα. Τα τεμάχια αυτά μπορούν να συνεισφέρουν στην επικοινωνία της ομάδας σχεδιομελέτης και θα αποτελούν τη μοναδιαία πηγή αναφοράς για όλες τις αποφάσεις που έχουν ληφθεί από την ομάδα.

- Όταν το προϊόν βρίσκεται ακόμη σε ηλεκτρονική μορφή, αρχείο CAD, μπορεί μέσω του Rapid Prototyping, να γίνει υλοποιήσιμο σε πολύ μικρό χρονικό διάστημα και στη συνέχεια μέσω του Rapid Tooling, να υπάρξει πολύ γρήγορα μία μήτρα η οποία θα παράγει όσα τεμάχια απαιτούνται για την ανάπτυξη του.
- Τα τεμάχια αυτά μπορούν να δωθούν, με την μορφή δείγματος, στους πελάτες και έτσι να μπορεί να μελετηθεί καλύτερα η αντιδρασή τους απέναντι στο συγκεκριμένο προϊόν.
- Η μέθοδος Rapid Tooling προσφέρει μια «φτηνή» και «μικρή» γραμμή παραγωγής. Το νέο προϊόν θα μπορεί αρχικά, στο στάδιο της ανάπτυξης, να παράγεται με αυτή την μέθοδο, και αν τελικά η αγορά το απορροφήσει θα μπορεί να «μπεύ» σε κανονική γραμμή παραγωγής χωρίς πλέον κανένα οικονομικό ρίσκο από την πλευρά της εταιρίας.

Όλα τα παραπάνω κάνουν πασιφανές το πόσο θετικά μπορεί να επιρρεάσει τον κύκλο ζωής του προϊόντος η μέθοδος Rapid Tooling. Βέβαια είναι απαραίτητη και πολύ σημαντική η επιλογή της σωστής μεθόδου, αυτής δηλαδή που ανταποκρίνεται καλύτερα στις ανάγκες της εκάστοτε εταιρίας. Αυτά σε συνάρτηση με την σχετικά φτηνή τιμή των «πακέτων» Rapid Tooling έχουν οδηγήσει σήμερα έναν πολύ μεγάλο αριθμό εταιριών όχι μόνο στην χρησιμοποίησή τους αλλά ακόμα και στην εξέλιξη τους έτσι ώστε να καλύπτονται όσο περισσότερο γίνεται οι ανάγκες τους. Αυτή η προσπάθεια εξέλιξης δεν μπορεί να οδηγήσει πουθενά αλλού παρά μόνο στην ακόμα μεγαλύτερη χρηστικότητα, από την πλευρά των εταιριών, των μεθοδών αυτών.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4

ΤΟ ΣΥΣΤΗΜΑ MK-MINI

4.1 Εισαγωγή

Το Vacuum Casting ανήκει στην αρκετά νέα οικογένεια του Rapid Prototyping και του Rapid Tooling. Σαν συνέχεια των μεθόδων Rapid Prototyping έρχεται το Rapid Tooling για να κάνει δυνατή μία γρήγορη παραγωγή πρωτοτύπων, σχημάτων και χειροπιαστών μοντέλων.

Μέσω της μεθόδου Rapid Tooling ο χρόνος εισαγωγής του καινούργιου προϊόντος στην αγορά μειώνεται δραματικά. Το αποτέλεσμα αυτής είναι ένα προϊόν το οποίο βοηθάει στην παράλληλη εισχώρηση του στην αγορά κατά την διάρκεια του χρόνου παραγωγής του. Τα χειροπιαστά μοντέλα επιτρέπουν την παραγωγή καταλόγων, την παρουσίαση τους σε εκθέσεις παράλληλα με την φάση κατασκευής του.

Οι μέθοδοι R.P./R.T. μπορούν μέσα σε λίγες ώρες, από ένα τρισδιάστατο σχέδιο στον υπολογιστή, να πραγματοποιήσουν πρωτότυπα, τα οποία θα μπορούν να εξεταστούν κάτω από οποιεσδήποτε συνθήκες. Έτσι ατέλειες του ίδιου του μοντέλου αλλά και προβλήματα ενωσής του με τυχόν άλλα εξαρτήματά του μπορούν αμέσως να αναγνωριστούν και να επιλυθούν. Επίσης μπορούν αμέσως να μελετηθούν

προβλήματα που μπορεί αυτό να προκαλέσει στην γραμμή παραγωγής, όταν αυτό είναι ακόμα στην φάση ανάπτυξης. Όλα αυτά έχουν ως αποτέλεσμα την μείωση του κόστους ανάπτυξης κάθε νέου προϊόντος.

Το R.T. ακολουθεί καταπόδας την μέθοδο R.P. επιτρέποντας την δημιουργία αρκετών τεμαχίων, ακόμα και μικρών σειρών παραγωγής του. Οι δύο αυτές τεχνικές βασίζονται η μία στην άλλη και η επικοινωνία μεταξύ τους είναι κάτι παραπάνω από εύκολη. Για παράδειγμα ένα πρωτότυπο, που έχει δημιουργηθεί με την μέθοδο της στερεολιθογραφίας, μπορεί να χρησιμοποιηθεί από τη μέθοδο Vacuum Casting δίνοντάς μας αρκετά τεμάχια του ίδιου πρωτοτύπου με ποικιλία χρωμάτων και υλικών.

Χρονοβόρα και πολυέξοδα μεταλλικά καλούπια δεν απαιτούνται. Το μόνο που χρειάζεται είναι ένα πρωτότυπο. Αυτά που παράγονται στην συνέχεια εξετάζονται και τα αποτελέσματα των δοκιμών μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την μετατροπή του αρχικού 3D αρχείου, και την παραγωγή έτσι στη συνέχεια ενός καλύτερου προϊόντος.

Ο σχεδιασμός, η κατασκευή και η βελτιστοποίηση ενός προϊόντος με τον συσχετισμό αυτών των δύο μεθόδων απαιτεί μόνο μία εβδομάδα. Δέκα χρόνια πριν, η διαδικασία αυτή θα απαιτούσε αρκετούς μήνες.

Αυτή η τεχνική παραγωγής πλαστικών αντικειμένων υπό κενό αέρος από ένα καλούπι σιλικόνης αναπτύχθηκε στο Technical University of Dresden and Cottbus στην δεκαετία του '70. Τότε κανένας στην Ευρώπη δεν κατάλαβε τα πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου, έτσι αυτή πουλήθηκε, στις αρχές της δεκαετίας του '80, στη Ιαπωνία όπου και χρησιμοποιήθηκε κυρίως στην αυτοκινητοβιομηχανία. Κατόπιν αυτού επέστρεψε πίσω στην Ευρώπη, στη Γερμανία, για να χρησιμοποιείται σήμερα σε κάθε τομέα της σύγχρονης βιομηχανίας.

Βασικά, αυτή η διαδικασία δεν είναι τίποτα άλλο από έναν συνδυασμό γνωστών παραδοσιακών μεθόδων:

- Το καλούπι με πύλες και «σκαλοπάτια» εφαρμόζεται από την εποχή του Χαλκού, περίπου 3,500 χρόνια πριν.
- Έλαστικά καλούπια, π.χ. από καουτσούκ, έχουν επίσης χρησιμοποιηθεί εδώ και πολλά χρόνια. Μεταξύ άλλων από γλύπτες για την κατασκευή καλουπιών ανάγλυφων κομματιών αλλά και γλυπτών χωρίς αυτά να φθείρονται

Η «ευφυΐα» αυτής της τεχνικής οφείλεται στον συνδυασμό αυτών των τριών τεχνικών με την παράλληλη χρήση των θερμοπηκτικών (thermosetting) πλαστικών, τα οποία αναπτύχθηκαν την δεκαετία του '80, και οδήγησαν στο «μεγάλο βήμα». Τα υλικά έκαναν εφικτή την εξομείωση της μαζικής παραγωγής θερμοπλαστικών όπως τα Πολυπροπυλένια, τα Πολυεθυλένια κ.ά. με τον πιο τέλειο τρόπο.

Παράλληλα με αυτή την βασική ιδέα, αναπτύχθηκαν και άλλες διαδικασίες, όπως ο αυτόματος έλεγχος και τα λοιπά εξαρτήματα, τα οποία εγγυώνται τον πραγματικά απλό, γρήγορο, και οικονομικό χειρισμό του συστήματος. Το εγχειρίδιο λειτουργίας που ακολουθεί θα βοηθήσει τον αναγνώστη να κατανοήσει αυτή την τεχνική, θα του εξηγήσει τα διάφορα στάδια της και θα του δώσει πρακτικές συμβουλές για την καλύτερη εφαρμογή της.

«Δεν φοβάμαι να πω ότι ποτέ στην ζωή μου δεν έχω δει ή ακούσει ή χρησιμοποιήσει κάτι τόσο θαυματουργό στον τομέα του.»

Αυτή η δήλωση, δυστυχώς, δεν ανήκει σε έναν από τους πελάτες μας, ούτε και σε κάποιον ανταγωνιστή, αλλά στον Kaspar Schott, έναν καθηγητή των μαθηματικών στο Wurzburg της Γερμανίας. Μια δήλωση η οποία ειπώθηκε το έτος 1654. Είπε αυτά τα λόγια στην παρουσίαση της πρώτης μηχανής κενού αέρος που κατασκευάστηκε ποτέ. Μια μηχανή που έμελλε να επιρρεάσει τόσο πολύ όλες της περιοχές της σύγχρονης βιομηχανίας μέχρι και σήμερα.

Για αυτό ακριβώς τον λόγο, σε αυτή την εισαγωγή θα θέλαμε να πούμε λίγα λόγια για την ιστορία του ανθρώπου που κατασκεύασε αυτήν την μηχανή και βοήθησε στην δημιουργία τόσων άλλων τεχνικών κατασκευής. Το όνομα αυτού Otto Von Guericke και έζησε στο Magdeburg της Γερμανίας από το 1602 έως το 1686.

Ο άνθρωπος αυτός δεν ήταν ένας εφευρέτης με την κανονική έννοια, αλλά είχε συγχρόνως αρκετές εργασίες. Ήταν δήμαρχος, ταμίας, μηχανικός, αρχιτέκτονας και φιλοσόφος.

Η τελευταία ασχολία με την οποία φέρεται ότι ασχολήθηκε ήταν ο επιστημονικός συσχετισμός, με ιδιαίτερη έμφαση στην εκκένωση του αέρος. Από την αρχαιότητα, η ύπαρξη του κενού αέρος θεωρούνταν ανύπαρκτη. Ιδιαίτέρως οι θεολόγοι του Μεσαίωνα θεωρούσαν τον χώρο που ήταν «κενός αέρος», ως ένα είδος βλασφημίας.

Ο Guericke γνώριζε την «ευαισθησία» των πειραμάτων του και για αυτό το λόγο απέφυγε κάθε θεολογική συζήτηση με ένα γλωσσολογικό κόλπο. «Ανακαλύπτοντας» τον όρο «άδειο δωμάτιο», αντικατέστησε τους θεολογικά ασαφείς όρους με έναν φυσικό. Το «άδειο του δωμάτιο» δεν ήταν ένα «τίποτα» αλλά ένας χώρος κενός αέρος. Σε αυτή την βάση, ο Otto Von Guericke μπορούσε πλέον ανενόχλητος να φέρει σε πέρας το θεαματικό και παγκοσμίως γνωστό πείραμά του.

Δεκαέξι άλογα δεν μπορούσαν να σκίσουν στα δύο, δύο ημισφαίρια υπό κενό αέρος φτιαγμένα από φύλλα χαλκού. Με αυτό τον τρόπο απόδειξε ότι το βάρος του αέρα από μόνο του ήταν ένας τόσο δυνατός παράγοντας στα δύο υπό κενό αέρος ημισφαίρια όπου ακόμα και μία ομάδα αλόγων δεν μπορούσε να τα χωρίσει.

Με αυτό του το πείραμα, ο Guericke έδειξε σε όλους ότι δεν ήταν μόνο ένας καταπληκτικός φυσικός, αλλά είχε και τέλεια αίσθηση της αγοράς και του εντυπωσιασμού αυτής. Αντί να έχει οκτώ άλογα σε κάθε πλευρά των ημισφαιρίων, θα μπορούσε να έχει οκτώ άλογα μόνο από την μία πλευρά και από την άλλη ένα δυνατό δέντρο. Αυτό όμως δεν θα ήταν το ίδιο εντυπωσιακό όσο θα ήθελε αυτός για να τραβήξει την προσοχή όλων.

Εκτός από το διάσημο πείραμα του, ο Otto χρησιμοποιούσε την εκκένωση αέρος και για πολλές άλλες επιδείξεις, οι οποίες εκείνο τον καιρό φαινότουσαν απίστευτες. Στο Reichstag του Regensburg, έδειξε ότι το νερό ρέει προς τα πάνω σε ένα γυάλινο δοχείο το οποίο βρίσκεται υπό κενό αέρος, ανάποδα δηλαδή από την φυσική του ροή. Επίσης έδειξε ότι το κερί σβήνει σε κενό αέρος, το ρολόι παύει να παράγει τον χαρακτηριστικό του ήχο και ότι τα σταφύλια μπορούν να διατηρηθούν για παραπάνω από μισό χρόνο σε συνθήκες κενού αέρος.

Στο Reichstag του Regensburg ο Otto έμαθε ότι δεν ήταν ο πρώτος που απέδειξε την ύπαρξη του κενού αέρος. Η Evangelista Torricelli, μία μαθήτρια του Γαλιλαίου, το είχε αποδείξει το 1644. Παρόλα αυτά όμως ο Otto ήταν ο πρώτος που κατασκεύασε ένα μηχανήμα το οποίο μπορεί να αφαιρεί τον αέρα μέσα από τα διάφορα δοχεία. Η τρόμπα αυτή εκκένωσης δεν ήταν τίποτα παραπάνω από μια αντλία πυροσβεστικής της οποίας είχε αλλάχθει η διεύθυνση της βαλβίδας.

Οι βαλβίδες εκκένωσης έγιναν πολύ δημοφιλής στην αριστοκρατία την εποχή που ζούσε ο Otto. Όμως υπήρχε άλλη μία εφεύρεσή του που ήταν πάρα πολύ σημαντική για τον τεχνικό τομέα. Δουλεύοντας στην αυλή του με την πειραματική

του τροχαλίου ο Otto ανακάλυψε ότι η πίεση του αέρα μπορεί να φέρει εις πέρας διάφορες εργασίες όπως για παράδειγμα να σηκώνει βάρος. Αυτή η τροχαλία ήταν ο προάγγελος του σημερινού πνευματικού κυλίνδρου. Ο Otto δεν ενδιαφερόταν και ιδιαίτερα για την τεχνική πραγματοποίηση αυτής της ανακάλυψης, παρόλα αυτά άλλοι επιστήμονες πήραν την ιδέα του και την έκαναν πραγματικότητα.

Ούτε ο ίδιος ο Otto δεν μπορούσε να προβλέψει το πόσο σημαντικό ρόλο θα έπαιζε το κενό αέρος στην σύγχρονη επιστήμη και τεχνολογία. Χωρίς την ευρεία χρήση της βαλβίδας εκκένωσης αέρος δεν θα υπήρχαν ούτε τσιπ ηλεκτρονικών υπολογιστών, ούτε μελέτη πάνω στον μοριακό επιταχυντή, αλλά πάνω από όλα δεν θα υπήρχαν τα συστήματα Vacuum Casting για την μέθοδο Rapid Tooling.

Χωρίς το κενό αέρος ο σύγχρονος κόσμος θα ήταν πολύ πιο άδειος.

4.2 Το Σύστημα Vacuum Casting MK-Mini

Αυτό το σύστημα έχει κατασκευαστεί σαν ένα σύστημα χαμηλού κόστους για αρχάριους, εύκολο στη χρήση. Δημιουργήθηκε για εκπαίδευση σε πανεπιστήμια και για μικρές εταιρίες. Με λίγα λόγια είναι ένα μέσο για να φτάσουμε στην όσο το δυνατό καλύτερη παραγωγή μέσω αυτής της μεθόδου.

Το σύστημα αυτό έχει τα παρακάτω πλεονεκτήματα:

- 1) Τέλεια οπτική επαφή με το εσωτερικό χάρη στην μεγάλη γυάλινη πόρτα, εύκολος χειρισμός των δοχείων, διαφανή δοχεία και φωτεινό εσωτερικό.
- 2) Πολύ καλή εργονομία εξαιτίας του εύκολου χειρισμού των μοχλών από την δεξιά πλευρά της μηχανής.
- 3) Ακριβής λειτουργίες χάρη στον άμεσο χειρισμό των μοχλών και της ταχύτητας του μίξερ.
- 4) Εύκολη πρόσβαση σε όλες τις λειτουργίες του.
- 5) Τέλεια σχέση μεταξύ του μέγιστου μεγέθους του καλουπιού που μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και του χώρου που καταλαμβάνει ολόκληρο το σύστημα.
- 6) Συμπαγής κατασκευή, χρήση συγκεκριμένων υλικών και μεγάλη διάρκεια πριν από κάθε συντήρηση.
- 7) Τέλεια σχέση αξίας και τιμής.

4.3 Μεταφορά του Μηχανήματος

Όταν ο θάλαμος έχει εκκενωθεί πλήρως από τον αέρα τότε, τα τοιχώματά του και η πόρτα του δέχονται πιέσεις της τάξεως των 3-4 τόνων. Για αυτό το λόγο ένας τέτοιος θάλαμος θα πρέπει να είναι πολύ γερός και σταθερός. Με τοίχους φτιαγμένους από 10mm ατσάλι και 39mm γυαλί, το βάρος του είναι πολύ υψηλό (250kg). Η μεταφορά του λοιπόν πρέπει να γίνεται πολύ προσεκτικά και με τον κατάλληλο εξοπλισμό.

Προσοχή: Ο θάλαμος δεν πρέπει να σηκώνεται από το κάτω μέρος της μπροστινής πόρτας.

Μερικές φορές μπορεί να είναι απαραίτητο, μόλις ο θάλαμος τοποθετηθεί πάνω στον πάγκο εργασίας, να μετακινηθεί για λίγο έτσι ώστε να πάει στην ακριβή του θέση. Σε αυτή την περίπτωση, πρέπει να τοποθετηθούν κάτω από τα λαστιχένια πόδια, φύλλα χαρτιού, τα οποία θα μειώσουν την τριβή. Εάν ο θάλαμος πρέπει να σηκωθεί πάνω στον πάγκο εργασίας με τα χέρια, τότε συνιστάται αυτό να γίνει με 4-5 άτομα για να μοιραστεί το βάρος.

4.4 Τοποθέτηση και Συναρμολόγηση του Συστήματος

- Ο πάγκος εργασίας πρέπει να είναι σταθερός, μιας και η μηχανή ζυγίζει περί τα 250 kg. Αυτό σημαίνει ότι πρέπει να έχει ατσαλένια στηρίγματα και ξύλο στην επιφάνεια πάχους τουλάχιστον 50mm.
- Τοποθετήστε έναν σωλήνα εξαερισμού από PVC διαμέτρου 22mm, ο οποίος να οδηγεί στον έξω χώρο, ή να συνδέεται με έναν εξαερισμό. Σιγουρευτείτε ότι η βροχή ή νερό γενικότερα δεν μπορεί να εισχωρήσει μέσα στο σωλήνα και κατεπέκταση μέσα στην αντλία.
- Συνδέστε την μηχανή με παροχή ενέργειας 230V / 50Hz AC.

4.5 Περιβαλλοντικές Απαιτήσεις

Το μέρος στο οποίο θα τοποθετηθεί το μηχάνημα θα πρέπει να πληρεί τις παρακάτω προϋποθέσεις.

- I.** Θερμοκρασία μεταξύ 19 και 22⁰C.
- II.** Υγρασία κάτω του 60%.
- III.** Επαρκής εξαερισμός
- IV.** Πιθανότητα σύνδεσης με έναν εξαερισμό (απορροφητήρα)
- V.** Έντονος φωτισμός
- VI.** Προσβάσιμο από το ύψος του εδάφους.

4.5.1 Συνθήκες Λειτουργίας

Μία σταθερή θερμοκρασία και μία χαμηλή υγρασία είναι δύο χαρακτηριστικά του χώρου που απαιτούνται για να έχουμε τα καλύτερα αποτελέσματα της διαδικασίας. Σε εύκρατα κλίματα όπως αυτό της Ελλάδας, ο κλιματισμός μπορεί και να μην είναι απαραίτητος, σε τροπικά κλίματα όμως όπως αυτό της νοτιοανατολικής Ασίας ο κλιματισμός είναι απαραίτητος. Παρόλα αυτά όμως πρέπει να έχουμε στο μυαλό μας ότι η μη σταθερή κατάσταση των συνθηκών μέσα στο χώρο εργασίας, μπορεί να επηρεάσει το τελικό αποτέλεσμα. Παρά την εξαέρωση που μπορεί να κάνουμε, ειδικές διαφανείς ρητίνες μπορεί να τείνουν να δημιουργήσουν στο εσωτερικό τους φουσκάλες όταν η υγρασία είναι σε επίπεδα ψηλότερα του 60%.

Η επιρροή των παραπάνω παραμέτρων αρκετές φορές υποβαθμίζεται και η κακή ποιότητα του αποτελέσματος οφείλεται και σε άλλους παράγοντες. Όταν η θερμοκρασία είναι πολύ υψηλή ο χρόνος πήξης μειώνεται σε δυσάρεστο βαθμό. Στην αντίθετη περίπτωση όταν η θερμοκρασία είναι πολύ χαμηλή, αυτό οδηγεί σε μία αργή και αναποτελεσματική σκλήρυνση της ρητίνης.

Ένας καλός εξαερισμός του δωματίου είναι αναγκαίος για την ασφαλή χρήση των ρητίνων από πολυουρεθάνη. Είτε ένα πολύ μεγάλο παράθυρο, είτε ένας καλός εξαερισμός πρέπει να τοποθετηθεί άμεσα στον χώρο εργασίας της μηχανής.

4.5.2 Εξαερισμός του Αέρα

Ατμοί και αέρια απορροφούνται από την αντλία και εκπέπονται στον εξωτερικό χώρο. Για αυτό το λόγο, προτείνεται η βαλβίδα εξόδου των αερίων, το τελείωμα της οποίας βρίσκεται στο πίσω μέρος της μηχανής, να ενωθεί με έναν σωλήνα ο οποίος θα οδηγεί τα αέρια στο περιβάλλον, έξω από το δωμάτιο.

Τα παρακάτω πρέπει να ληφθούν σοβαρά υπόψιν κατά τον σχεδιασμό και την τοποθέτηση του παραπάνω σωλήνα.:

- Πρέπει να είναι όσο το δυνατόν πιο κοντός και να οδηγεί αμέσως έξω στον ανοικτό αέρα.
- Η διάμετρος του δεν πρέπει να είναι ιδιαίτερα στενή και ο σωλήνας δεν πρέπει να έχει κατεύθυνση προς τα επάνω.
- Σιγουρευτείτε ότι η βροχή ή νερό γενικότερα δεν μπορεί να εισχωρήσει μέσα στο σωλήνα και κατεπέκταση μέσα στην αντλία.
- Προτινόμενος σωλήνας : υλικό κατασκευής PSV, εσωτερική διάμετρος 22mm.

4.5.3 Φωτισμός

Το εσωτερικό του θαλάμου είναι ιδιαίτερα φωτισμένο από μόνο του. Επίσης ο εξωτερικός φωτισμός του χώρου εργασίας είναι πολύ σημαντικός γιατί επιτρέπει μια πιο λεπτομερή εργασία. Ο καλύτερος φωτισμός είναι το φως της ημέρας το οποίο ει δυνατόν να μπαίνει από το μπροστινό μέρος του χώρου εργασίας. Εάν το φως της ημέρας δεν είναι διαθέσιμο ή εάν εργαζόμαστε όλες τις ώρες της ημέρας, ένα μη αντανακλόμενο και χωρίς πολύ μεγάλη λάμψη φως οροφής είναι ότι καλύτερο. Προτινόμενο: 500 Lux ανά m², λευκού χρώματος.

4.5.4 Εργονομία

Από τον σχεδιασμό της θέσεως που θα τοποθετηθεί η μηχανή πρέπει να έχουμε στο μυαλό μας μια αρμονική αλληλουχία των λειτουργιών αυτής. Η κύρια μηχανή, οι δύο φούρνοι και το τραπέζι εργασίας πρέπει να τοποθετηθούν σε ευθεία ή έστω, εάν δεν υπάρχει αρκετός χώρος, σε γωνία. Είναι πολύ σημαντικό τα εργαλεία, οι ρητίνες και οι μηχανές να είναι εύκολα προσβάσιμες, και ένα ρκετά μεγάλο τραπέζι εργασίας να είναι διαθέσιμο για τις προετοιμασίες του καλουπιού.

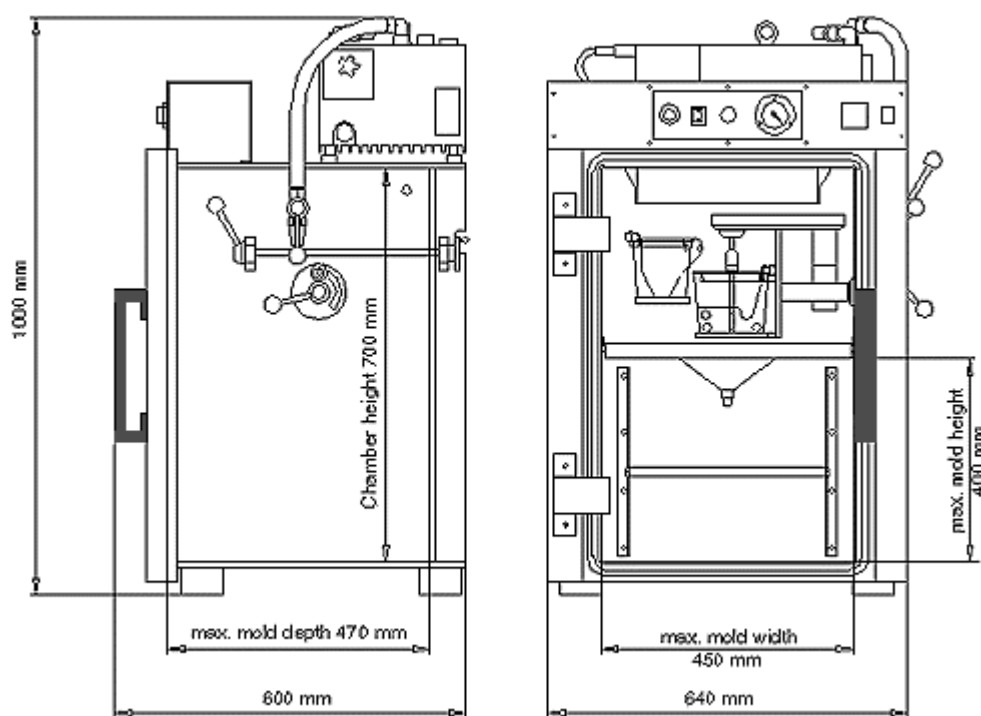
Δυστυχώς, με την μέχρι τώρα εμπειρία μας, κάτι τέτοιο δεν είναι πάντα εύκολα πραγματοποιήσιμο. Γι'αυτούς όμως που επενδύουν λίγο παραπάνω χρόνο σε αυτόν τον σχεδιασμό, η ανταμοιβή θα είναι ακόμη καλύτερα αποτελέσματα.

4.5.5 Απαιτούμενος Χώρος

Πριν την τοποθέτηση του μηχανήματος, βεβαιωθείται ότι αυτό είναι εύκολα προσβάσιμο από όλες τις πλευρές :

System MK-Mini

Δεξιά πλευρά (χειρισμός)	50 cm
Αριστερή πλευρά	20 cm
Πίσω μέρος (βαλβίδα εξαερισμού)	30 cm



4.6 Μέτρα Προστασίας

Όταν εργαζόμαστε με σιλικόνες, ρητίνες και άλλα παρεμφερή υλικά, η υγιεινή και τα άλλα μέτρα ασφαλείας πρέπει να ακολουθούνται με μεγάλη αυστηρότητα. Για παράδειγμα:

- Εξαερισμός του δωματίου.
- Έξοδος του αέρα από την βαλβίδα και τον θάλαμο της μηχανής.
- Η χρήση προστατευτικών γυαλιών, γαντιών και κατάλληλος ρουχισμός.
- Στο δωμάτιο να μην υπάρχει κατανάλωση και αποθήκευση τροφών.

4.7 Ρητίνες και Εξαρτήματα

4.7.1 Ρητίνες

Όλες οι ρητίνες που προσφέρονται με την μηχανή, είναι ειδικά κατασκευασμένες για να χρησιμοποιούνται στον θάλαμο εκκένωσης, γι' αυτό και δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται αλλού. Κατά κύριο λόγο, υπάρχουν ρητίνες δύο υλικών, απαιτούμενες από Polyole και Isocyanate. Η αναλογία του μίγματος πρέπει να είναι μεταξύ του 100:100 και 100:75, γι' αυτό και πρέπει οι ποσότητες να υπολογίζονται με ψηφιακή ζυγαριά ακριβείας, με μέγιστη απόκλιση +/- 2g. Πριν το ζύγισμα των υλικών αυτά πρέπει να ανακατεύονται προσεκτικά.

Εξαιτίας του γεγονότος ότι οι PU ρητίνες απορροφούν την υγρασία του αέρα, τα μπουκάλια τους πρέπει να αποθηκεύονται σε ένα ξηρό δωμάτιο στους 18⁰C περίπου, και να ανοίγονται ακριβώς πριν χρησιμοποιηθούν. Το συστατικό A, το σκληρυντικό, μπορεί να κρυσταλλοποιηθεί, ανάλογα με τον χρόνο και την θερμοκρασία αποθήκευσης.

Εάν εμφανιστούν κρύσταλλοι, στο υλικό A, τότε αυτό πρέπει να βρεθεί σε θερμοκρασία της τάξεως των 70⁰C για περίπου 2-3 ώρες, έως ότου αυτοί εξαφανιστούν. Σημαντικό είναι να μην αρχίσετε την διαδικασία, πριν η ρητίνη κρυώσει και φτάσει στους 35⁰C, γιατί αλλιώς ο χρόνος πήξης της θα είναι πολύ μικρός.

4.7.2 Χρώματα

Για τον χρωματισμό των ρητίνων, με το μηχανήμα προσφέρονται και παστέλ μπογιές για όλα τα βασικά χρώματα. Τα χρώματα δεν πρέπει να χρησιμοποιούνται στις μαύρες ρητίνες. Οι ημιδιαφανείς ρητίνες MK-Standard και MK-Strong μπορούν να χρωματιστούν πολύ εύκολα. Βέβαια το τέλειο χρώμα μπορεί να το αποκτήσουμε με την ρητίνη MK-Clear. Αφού τα παστέλ χρώματα είναι πολύ επιτακτικά στην αραιωσή τους, μια μικρή ποσότητα από αυτά είναι αρκετή για να πετύχουμε το τελειότερο και πιο αστραφτερό χρώμα.

Όπως και οι ρητίνες, έτσι και τα χρώματα αποτελούνται από Polyole, βοηθώντας έτσι την εύκολη μίξη τους. Δεν εμφανίζεται διαχώριση ή υπόλλειμμα κατά την μίξη τους. Οι μηχανικές λειτουργίες του υλικού αλλά και ο χρόνος της διαδικασίας με την χρησιμοποίηση του χρώματος παραμένει πάνω κάτω ο ίδιος.

Για μια καλύτερη δοσολογία και ημιδιαφάνεια, έγχρωμα ημιδιαφανή αντικείμενα, όπως φλας και στοπ οχημάτων πρέπει να χρωματίζονται με ειδικά μελάνια, τα οποία είναι διαθέσιμα στην αγορά. Η δοσολογία δίνεται σταγόνα σταγόνα. Οι μηχανολογικές ιδιότητες των συστατικών δεν επηρεάζονται σημαντικά, και ο χρόνος περάτωσης της διαδικασίας γίνεται λίγο περισσότερος.

Όλα τα χρώματα πρέπει να αναμειγνύονται με το συστατικό A, Polyole, με εξαιρετική προσοχή. Εάν η εργασία μας απαιτεί έναν αριθμό αντικειμένων με το ίδιο χρώμα, τότε προτείνεται η κατασκευή μιας αρκετά μεγάλης, έγχρωμης, ποσότητας του συστατικού A, η οποία θα χρησιμοποιείται σε κάθε αντικείμενο.

4.7.3 Ενισχυτικές Ίνες

Για την βελτίωση της μηχανικής ποιότητας, όπως της ελαστικότητας, της αντοχής στην κάμψη και στο σπάσιμο, μπορούμε να προσθέσουμε MK-Fibers στις ρητίνες MK-Strong και MK-Hot.

Τα παρακάτω πρέπει να εφαρμοστούν για να πάρουμε το τέλειο αποτέλεσμα:

- Αφού οι fibers, όπως και οι ρητίνες, απορροφούν την υγρασία, πρέπει να ξερώνονται στον φούρνο, σε θερμοκρασία 70-90⁰C για αρκετές ώρες πριν από την χρησιμοποίησή τους. Σε αντίθετη περίπτωση, οι φουσκάλες μέσα στο υλικό είναι αναπόφευκτες.
- Οι fibers προστίθενται πάντα στο συστατικό B. Πρέπει να αναμειχθούν πολύ προσεκτικά έτσι ώστε να απλωθούν ομοιόμορφα μέσα στο μίγμα. Η διαδικασία πρέπει να αρχίσει αμέσως μετά την μίξη, για την αποφυγή δημιουργίας ιζήματος στο μίγμα.
- Η χρήση των fibers αυξάνει το βάρος της ρητίνης, ενώ μειώνει την ρευστοτητά της.

Για τους χρήστες που θεωρούν την παραπάνω διαδικασία αρκετά πολύπλοκη, μπορούν να χρησιμοποιήσουν την βελτιωμένη ρητίνη MK-Carbon. Είναι εύκολη στην χρήση της, έχει τέλεια μηχανικά χαρακτηριστικά και εγγυάται μια τέλεια επιφάνεια.

4.8 Οδηγός Χρήσεως της Μηχανής

Στη συνέχεια παρουσιάζουμε έναν συνοπτικό οδηγό χρήσεως της μηχανής:

1. Αρχίζοντας την διαδικασία:

- ✓ Τραβήξτε τον κόκκινο διακόπτη άμεσης παύσης.
- ✓ Ανοίξτε την αντλία.
- ✓ Αφήστε την αντλία να ζεσταθεί για περίπου 20 λεπτά, έχοντας την βαλβίδα σταθεροποίησης του αέρα ανοικτή.
- ✓ Κλείστε την βαλβίδα σταθεροποίησης του αέρα.
- ✓ Ψεκάστε το εσωτερικό του θαλάμου της μηχανής με το ειδικό σπρέι.

2. Προετοιμασία των υλικών:

- ✓ Ζυγίστε το θερμή ρητίνη (35⁰) και γεμίστε το δοχείο A με το λιγότερο παχύρευστο υλικό.
- ✓ Βάλτε το δοχείο και τον αναδευτήρα στις θέσεις τους, κλείστε την πόρτα και εκκενώστε τον θάλαμο, γυρίζοντας τον διακόπτη τριών θέσεων στην πάνω θέση.
- ✓ Εάν είναι απαραίτητο, αφήστε τον αναδευτήρα να γυρίζει, έτσι ώστε να επιταχυνθεί η διαδικασία εξαέρωσης.
- ✓ Μετά το πέρας της εκκένωσης (5-20λεπτά), φέρτε τον θάλαμο στην φυσιολογική του κατάσταση, γυρίζοντας τον διακόπτη στην κάτω θέση.
- ✓ Τοποθετείστε τον θερμό καλούπι (70⁰C) κάτω από το χωνί, εφαρμόζοντάς το στο κεντρικό άνοιγμα του καλουπιού. Εάν χρειάζεται το καλούπι να

ανασηκωθεί παραπάνω τοποθετήστε από κάτω του κάποιο πιάτο που θα το σηκώσει.

3. Η διαδικασία έκχυσης των υλικών :

- ✓ Εκκενώστε ξανά τον θάλαμο.
- ✓ Μετά από περίπου 3 λεπτά ή μόλις φτάσουμε την τιμή εκκένωσης των $-1,0\text{mbar}$: Αναμειγνύουμε τα υλικά.
- ✓ Αρχίστε το μίξερ και στραγγίστε το δοχείο A.
- ✓ Ανακατεύτε το μίγμα για 30-60 δευτερόλεπτα, και μετά σταματήστε το μίξερ.
- ✓ Ανάλογα με το πόσες φούσκες υπάρχουν στο μίγμα, μειώστε την πίεση: γυρίστε τον διακόπτη στην κάτω θέση έως ότου φτάσουμε την τιμή $-0,90$ με $-0,95$. Μετά γυρίστε τον διακόπτη στην οριζόντια θέση.
- ✓ Γυρίστε τον μοχλό του δοχείου B και αδειάστε το μίγμα στο καλούπι. Μετά ξαναφέρετε το δοχείο στην κανονική του θέση.
- ✓ Μόλις το μίγμα ξεχειλίζει στα ανοίγματα του καλουπιού, γυρίστε τον διακόπτη στην κάτω θέση, βγάλτε το καλούπι από τον θάλαμο και τοποθετήστε το μέσα στο φούρνο των 70°C .
- ✓ Βγάλτε τον αναδευτήρα και καθαρίστε τον.

4. Συντήρηση της μηχανής:

- ✓ Καθημερινά: Καθαρίζεται την μηχανή, αφαιρέστε τυχόν υπολείμματα του μίγματος αμέσως, με καθαριστικό τζαμιών.
- ✓ Περίπου κάθε 1,000 ώρες λειτουργίας, αλλάξτε τα λάδι της αντλίας διαβάζοντας προσεχτικά το εγχειρίδιο λειτουργίας της.

4.9 Φτιάχνοντας Το Καλούπι Σιλικόνης

4.9.1 Προετοιμασία

Γενικά κάθε υλικό είναι αποδεκτό για το αρχικό μοντέλο, ανεξαρτήτως σχήματος και μεγέθους. Παρόλα αυτά υπάρχουν μερικοί συγκεκριμένοι περιορισμοί:

- Για τον θάλαμο εκκένωσης του συστήματος I, αυτό με το οποίο εργαστήκαμε στο εργαστήριο, το αρχικό μοντέλο δεν πρέπει να είναι μεγαλύτερο από $440 \times 440 \times 370 \text{ mm}$.
- Βασικά υλικά για τα καλύτερα αποτελέσματα είναι :
 - ❖ Θερμοπλαστικά, θερμοπηκτικά πλαστικά, ελαστομερή
 - ❖ Μέταλλα, όπως το αλουμίνιο, ατσάλι κ.ά.
 - ❖ Ξύλο, με την προϋπόθεση ότι η επιφάνειά του είναι λεία και βερνικομένη.
 - ❖ Μοντέλα από Rapid Prototyping όλων των ειδών όπως :
 - Στερεολιθογραφία
 - LOM μετά από επεξεργασία της επιφάνειας ανάλογη με αυτή του ξύλου.
 - Laser-Sintering, απαιτείται επεξεργασία της επιφάνειας για την ομαλοποίηση και λείανσή της.

Η επιφάνεια πρέπει να είναι όσο γίνεται πιο λεία και απαλή. Πρέπει επίσης πάντα να έχουμε υπόψιν ότι το αρχικό μοντέλο θα αναπαρχθεί πλήρως με όλες του τις λεπτομέρειες, περιλαμβάνοντας και τυχόν ατέλειες που μπορεί να έχει. Γι'αυτό ακριβώς αξίζει τον κόπο να αφιερωθεί αρκετός χρόνος στην προετοιμασία του πρωτότυπου.

Αρχίζοντας από ένα μοντέλο Rapid Prototyping, π.χ. από ένα LOM, απαιτούνται συγκεκριμένα προσόντα «χειροτεχνίας» για την επεξεργασία της επιφάνειας χωρίς την αλλοίωση του εξωτερικού διαγράμματος του μοντέλου. Μερικές φορές, εξαρτάται από τις προδιαγραφές, είναι αναγκαία η εργασία με το χέρι με ακρίβεια της τάξης του 1/10 του χιλιοστού. Αυτό απαιτεί αρκετή εμπειρία και προσπάθεια.

Όπως λέγεται πολύ συχνά στον τομέα της τεχνολογίας “ένα γραμμάριο εξάσκησης αξίζει όσο ένα κιλό θεωρίας”. Πολλοί παράμετροι και πολλές τιμές πρέπει να εναρμονιστούν για να πάρουμε στα χέρια μας ένα τέλειο προϊόν.

4.9.2 Αρχικό Μοντέλο

Κάθε κομμάτι του αρχικού μοντέλου, ακόμη και πολύ λεπτά φιλέτα, μπορούν να παράχουν με το σωστό καλούπι, όσο πολύπλοκα και να είναι. Είναι θέμα της ακριβής και σωστής τοποθέτησης των γραμμών που χωρίζουν τα διάφορα σημεία του αρχικού μοντέλου. Υπάρχουν διαφορετικές διαδικασίες για τον καθορισμό αυτών των γραμμών, οι οποίες θα εξηγηθούν στην συνέχεια :

4.9.2.1. Διαχωρισμός των Γραμμών Μετά το Καλούπι

Για απλά γεωμετρικά σχήματα και συμμετρικά συστατικά αυτών, η δημιουργία του καλουπιού πρέπει να γίνεται έχοντας το αρχικό μοντέλο να αιωρείται μέσα στο χώρο που έχουμε θέσει εξαρχής ως τα όρια του καλουπιού, με την βοήθεια κάποιου ξύλο ή κάποιας άλλης βάσης. Έτσι όπως αυτό αιωρείται γέμιζει στην συνέχεια με σιλικόνη, η οποία το καλύπτει τελείως. Κατόπιν αφού η σιλικόνη στερεοποιηθεί πρώτα από όλα θα πρέπει να αφαιρεθούν οι βάσεις που στηρίζανε το μοντέλο.

Η αποκόλληση του μοντέλου από την σιλικόνη θα γίνει πιο εύκολα εάν διοχευτεί μέσα στο καλούπι αέρας υπό πίεση (6-10 bar) με τη βοήθεια ενός πιστολιού πεπιεσμένου αέρα. Μετά από μερικές προσπάθειες με τον πεπιεσμένο αέρα θα φαίνεται και με το μάτι ότι μερικά κομμάτια από το αρχικό μοντέλο θα έχουν ήδη αποκολληθεί από την σιλικόνη.

Απλά γεωμετρικά σχήματα, όπως κύλινδροι και κώνοι, μπορεί να αποκολληθούν τελείως με τον πεπιεσμένο αέρα. Γι 'αυτό το λόγο το καλούπι ανοίγεται σε ένα του σημείο με ένα αιχμηρό αντικείμενο. Εάν πριν το ρίξιμο της σιλικόνης έχουμε αφήσει ένα άνοιγμα της τάξεως των 3-6mm τότε θα είναι πιο εύκολο μετά την στερεοποίηση της σιλικόνης να εισχωρήσει, με την βοήθεια του πιστολιού, ο πεπιεσμένος αέρας σε όλες τις επιφάνειες του μοντέλου. Έτσι το μοντέλο θα βγει σχεδόν από μόνο του μέσα από το καλούπι της σιλικόνης. Αυτός

θεωρήται ο πιο εύκολος τρόπος για να βγάλουμε το πρωτότυπο μέσα από την σιλικόνη.

Με την βοήθεια της λαβίδας και μιας λεπίδας το καλούπι μπορεί να κοπεί, με εξαιρετική προσοχή, σε δύο μισά. Απαιτείται προσοχή και αυτό διότι δεν πρέπει να «τραυματιστεί» το αρχικό μοντέλο και δεν πρέπει να δημιουργηθούν φιλέτα κατά το κόψιμο της σιλικόνης. Για την πραγματοποίηση αυτής της διαδικασίας είναι ιδιαίτερα χρήσιμο το μοντέλο να έχει ήδη αποκολληθεί από την σιλικόνη, με την βοήθεια του αέρα, κατά 1-2 mm. Η ακρίβεια σε αυτήν την διαδικασία απαιτεί αρκετή εξάσκηση.

4.9.2.2. Διαχωρισμός των Γραμμών με Κολλητική Ταινία

Ο πιο συνηθισμένος τρόπος για τον διαχωρισμό των γραμμών του αρχικού μοντέλου είναι η χρήση αυτοκόλλητης ταινίας. Η ταινία αυτή χρησιμοποιείται για να κλείσει όλα τα τυχόν ανοίγματα που υπάρχουν στο μοντέλο, και να τοποθετήσει ένα είδος «αρμού» γύρω από το μοντέλο.

Η ταινία τοποθετείται βήμα βήμα γύρω από την επιφάνεια το μοντέλου, σε λίγο μεγαλύτερο μέγεθος από το απαιτούμενο έτσι ώστε να δημιουργηθεί ο επιθυμητός «αρμός». Η ταινία που περισσεύει εσωτερικά αφαιρείται με ένα κοπίδι. Η εξωτερική ταινία που περισσεύει κόβεται με ένα ψαλίδι αφήνοντας όμως μια επιφάνεια 10-20mm να προεξέχει. Το πόσο μεγάλη θα είναι αυτή η επιφάνεια εξαρτάται από το μέγεθος του αρχικού μοντέλου.

Αφού η σιλικόνη έχει στερεοποιηθεί, κόβουμε το καλούπι σε δύο μέρη στο σημείο που διαγράφεται από την ταινία που έχουμε αφήσει να προεξέχει. Είναι σημαντικό η μύτη του κοπιδιού να «δείχνει» πάντα προς την κατεύθυνση της ταινίας. Λαμβάνοντας υπόψιν ότι η ταινία είναι αρκετά ευδιάκριτη μέσα στο καλούπι της σιλικόνης, το κόψιμο είναι πάρα πολύ εύκολο. Συνήθως το καλούπι παραμένει ενωμένο σε αρκετά σημεία. Για να ανοίξει τελείως, ανοίγουμε τα δύο μισά του καλουπιού με μία λαβίδα και κάνουμε μικρά κοψίματα πάντα σύμφωνα με την διεύθυνση της ταινίας. Πριν ανοίξουμε τελείως το καλούπι πρέπει πρώτα για διευκόλυνσή μας να διοχετεύσουμε μέσα στο καλούπι πεπιεσμένο αέρα, μέσω του ανοίγματος που έχουμε ήδη κάνει. Αυτό διευκολύνει τα επόμενα βήματά μας.

4.9.2.3 Επεξεργασία με Πηλό

Εξαιτίας των φιλέτων, μερικά πρωτότυπα απαιτούν πολύ ακριβή καθορισμό των ορίων, και επειδή δεν υπάρχει αρκετή επιφάνεια, στα άκρα του μοντέλου, για την τοποθέτηση της ταινίας απαιτείται η χρησιμοποίηση μιας άλλης τεχνικής. Αυτή η τεχνική δεν είναι τίποτα άλλο από την βύθιση του μοντέλου σε ένα μαλακό υλικό όπως η πλαστελίνη και ο πηλός. Με τον τρόπο αυτό το σχήμα του μοντέλου διαγράφεται σχεδόν τέλεια και παράλληλα το κόψιμο του καλουπιού με τα εργαλεία γίνεται πιο εύκολο. Αφού το εύπλαστο υλικό φουσκώσει μέσα στον θάλαμο του μηχανήματος και παράλληλα βγει όλος ο αέρας από το εσωτερικό του, η τοποθέτηση της σιλικόνης μέσα στο θάλαμο για «εξαερισμό» είναι το επόμενο βήμα.

Αφού η σιλικόνη έχει σκληρύνει και στερεοποιηθεί στο ένα μισό του καλούπιού τότε ανοίγουμε το καλούπι και αφαιρούμε προσεκτικά το κομμάτι με το εύπλαστο υλικό. Εάν αυτό είναι δυνατόν το αρχικό μοντέλο δεν πρέπει να μετακινηθεί από την σκληρή σιλικόνη. Αφού έχουμε βεβαιωθεί ότι το υλικό έχει αφαιρεθεί τελείως, τότε κάνουμε την ίδια ακριβώς εργασία με το άλλο μισό. Μόνο που τώρα στο κάτω μέρος αντί για το υλικό έχουμε την στερεή σιλικόνη.

4.9.3 Ανοίγματα και Στηρίγματα

Ο αριθμός και η διάμετρος των ανοιγμάτων που θα αφήσουμε στο καλούπι εξαρτάται από το μέγεθος του αρχικού του μοντέλου. Για μικρά μοντέλα, στο μέγεθος μιας γροθιάς, μία διάμετρος της τάξεως των 8mm θα ήταν κατάλληλη. Για μεγάλη παραπλήσια ενός κινητού τηλεφώνου η διάμετρος θα πρέπει να είναι περίπου 10mm. Εάν το βάρος του αρχικού μοντέλου ξεπερνάει τα 200gr η σωστή διάμετρος πρέπει να είναι 12mm.

Ανάλογα με την γεωμετρία του μοντέλου και τον χρόνο πήξης του υλικού που θα χρησιμοποιήσουμε για το αντικείμενο που θα φτιάξουμε, δύο και αρκετές φορές ακόμα και 3 ή 4 ανοίγματα απαιτούνται. Αυτά τα ανοίγματα επικοινωνούν μεταξύ τους με το εργαλείο «Υ» όπως αυτό φαίνεται στην εικόνα που ακολουθεί. Εδώ θα πρέπει να σημειώσουμε ότι το αντικείμενο αυτό δεν περιλαμβάνεται στο σύστημα I.

Τα ανοίγματα, όταν είναι παραπάνω από ένα πρέπει να ισαπέχουν από το αντικείμενο και αυτό για να χύνεται το υλικό ομοιόμορφα σε όλα τα σημεία. Για την δημιουργία των ανοιγμάτων τα πιο κατάλληλα υλικά είναι κυλινδρικές μπάρες είτε από ατσάλι είτε, όπως στην περιπτωσή μας, από στερεοποιημένη κόλλα παραγωγής. Οι μπάρες αυτές μπορούν αρκετά συχνά να αντικαταστήσουν ακόμα και αυτά τα στηρίγματα που κρατούν το μοντέλο να αιωρείται μέσα στα όρια του καλούπιού.

Η χρησιμοποίηση ενός μικρού απλού χωνιού, κυρίως για μικρά αντικείμενα, αντί ενός χειροποίητου, είναι μερικές φορές ιδιαίτερα χρήσιμο και αυτό γιατί στο καλούπι βγαίνουν, στο πάνω του μέρος, και τα τοιχώματα του χωνιού τα οποία θα μπορούν στο μέλλον να χρησιμοποιηθούν από μόνα τους σαν χωνί για το υλικό που θα χύσουμε μέσα στο καλούπι.

Το καλούπι κλείνει, τοποθετείται μέσα στο φούρνο, ακριβώς κάτω από το μεγάλο χωνί της μηχανής, και το υλικό αφού ζυγιστεί χύνεται μέσα. Βέβαια με αυτήν την μέθοδο τα ανοίγματα και το χωνί θα ξεχειλίσουν αλλά δεν θα επηρεάσουν το τελικό αποτέλεσμα κυρίως όταν αυτό αφορά μικρά μοντέλα.

Εάν το μοντέλο είναι επίπεδο, τότε μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα είδος λεπτού ανοίγματος. Ένα λεπτό φύλλο αλουμινίου, για παράδειγμα, κόβεται σωστά και κολλάται στην μπροστινή μεριά του μοντέλου. Στην πλευρά, που είναι αντίθετα από το αντικείμενο, το φύλλο αυτό καταλήγει σε ένα κώνο ή σε μία κυλινδρική μπάρα, στην είσοδο της οποίας στην συνέχεια θα μπορέσει να εφαρμόσει το χωνί της μηχανής. Αυτή η μέθοδος έχει το πλεονέκτημα ότι το καλούπι γεμίζει ομοιόμορφα και η βάση του ανοίγματος μπορεί να αφαιρεθεί πολύ εύκολα.

Είναι καλύτερο τα περαιτέρω μικρά ανοίγματα να τοποθετούνται αργότερα. Τα πλεονεκτήματα αυτής μας της κίνησης είναι : Σε συνάρτηση με την γεωμετρία του αντικειμένου, η πρώτη εξαέρωση δείχνει το εάν και πού απαιτούνται νέα ανοίγματα. Αφού τα ανοίγματα αυτά θα πρέπει να είναι παράλληλα και μεταξύ τους και με το κεντρικό άνοιγμα, για να βοηθούν στην απελευθέρωση του αντικειμένου από το καλούπι, τα ανοίγματα θα πρέπει να γίνονται με τρυπάνι διαμέτρου 1,5-2mm και με την μέγιστη ταχύτητα.

Τα ανοίγματα πρέπει να γίνονται στα σημεία όπου, μετά την εξαέρωση έχουμε ίχνη εγκλωβισμού του αέρα, δηλαδή φουσκάλες. Το τρύπιμα του καλουπιού απαιτείται κυρίως στα λεπτά και ψηλά σημεία του μοντέλου.

4.9.4 Τα Όρια του Καλουπιού

Υπάρχουν περισσότεροι από ένας τρόποι για να φτάσουμε στο τελικό αποτέλεσμα. Καταρχήν το όρια του καλουπιού πρέπει να έχουν λεία τοιχώματα και να έχουν κατασκευαστεί με τέτοιο τρόπο έτσι ώστε το πρωτότυπο μοντέλο να απέχει από τα τοιχώματα, αν είναι μικρό 20-30mm, και αν είναι μεγάλο 100mm. Η γεωμετρία και το σχήμα των ορίων του καλουπιού εξαρτάται κυρίως από το σχήμα και την γεωμετρία του μοντέλου και από το σημείο που θα τοποθετήσουμε το κεντρικό άνοιγμα. Υπάρχουν δύο τρόποι διαμόρφωσης των ορίων του καλουπιού :

4.9.4.1. Με Κομμάτια Μελαμίνης

Για καλούπια σε σχήμα κύβου η χρησιμοποίηση κομματιών μελαμίνης είναι από τις πλέον ενδεδιγμένες λύσεις. Η βάση φτιάχνεται από ένα αρκετά χοντρό κομμάτι ξύλου. Τα τέσσερα τοιχώματα φτιάχνονται και αυτά με κομμάτια μελαμίνης αλλά η τοποθέτησή τους πρέπει να γίνεται λαμβάνοντας πάντα υπόψιν το μέγεθος του μοντέλου. Τα τοιχώματα αυτά μπορούν να τοποθετηθούν με το μάτι και χωρίς να κοπούν ακριβώς, και αυτό γιατί δεν μας ενοχλεί το γεγονός να προεξέχει το ένα από το άλλο. Αρκεί βέβαια το συνολικό μέγεθος να μην είναι μεγαλύτερο από τον φούρνο της μηχανής.

Τα κόμματα της μελαμίνης ενώνονται μεταξύ τους με κόλλα. Αυτό το γεγονός κάνει πολύ εύκολη την συναρμολόγηση και αποσυναρμολόγησή τους.

4.9.4.2. Έτοιμα Δοχεία Παραγωγής

Σε συνάρτηση πάντα με το μέγεθος και την γεωμετρία του μοντέλου, μπορούν να χρησιμοποιηθούν και έτοιμα δοχεία παραγωγής για την κατασκευή του καλουπιού. Για παράδειγμα το δοχείο Β της μηχανής, που χρησιμεύει για την μίξη και την εξαέρωση των υλικών, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για συμμετρικά αντικείμενα μεγέθους έως και ένα μεγάλο αχλάδι. Για μικρότερα αντικείμενα,, μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε και το δοχείο Α της μηχανής. Γενικά οποιοδήποτε δοχείο παραγωγής, όπως τα τάπερ κ.ά., είναι κατάλληλα προς χρήση αρκεί βέβαια να είναι ελαστικά. Αυτό απαιτείται για την περαιτέρω διευκολυνσή μας, όταν η σιλικόνη θα έχει ήδη στερεοποιηθεί.

4.9.5 Τοποθέτηση του Πρωτότυπου Μέσα στα Όρια του Καλουπιού

Καταρχήν είναι πολύ σημαντικό να λαμβάνεται πάντα υπόψιν η δύναμη της άνωσης στο αντικείμενο από την σιλικόνη. Είναι κάτι παραπάνω από ενοχλητικό όταν τα στηρίγματα που έχουν τοποθετηθεί, σπάσουν κατά την διάρκεια του γεμίσματος της σιλικόνης και το πρωτότυπο ανέβει στην επιφάνεια. Σε αυτήν την περίπτωση τόσο η σιλικόνη όσο και το καλούπι είναι πλέον άχρηστα. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η σιλικόνη είναι αρκετά παχύρρευστη, και ότι το καλούπι συνήθως γεμίζει από την μία πλευρά, αυτό έχει ως αποτέλεσμα να ασκείται αρκετή πίεση στην μια πλευρά του αντικειμένου έως ότου αυτό καλυφθεί πλήρως με την σιλικόνη. Αυτές οι δυνάμεις που ασκούνται μπορεί να προκαλέσουν το σπάσιμο των στηριγμάτων που τυχόν έχουμε τοποθετήσει.

Για όλα τα παραπάνω είναι περισσότερο από κατανοητό ότι το πρωτότυπο πρέπει να στερεωθεί όσο καλύτερα γίνεται μέσα στα όρια του καλουπιού. Εάν το πρωτότυπο έχει σπειρωειδή ανοίγματα ή άλλα ανοίγματα που μπορεί εύκολα να χρησιμοποιηθούν, τότε η στηρίξη του με μία βίδα είναι ότι καλύτερο και σταθερότερο. Σε πολλές περιπτώσεις τέτοιου είδους στηρίξεις μπορούν εύκολα να χρησιμοποιηθούν στη συνέχεια για ανοίγματα εισχώρησης του υλικού στο καλούπι.

Εάν η στήριξη με βίδα δεν είναι εφικτή, π.χ. το αντικείμενο έχει πολύ λεπτά τοιχώματα, τότε μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε κόλλα, με ιδιαίτερη όμως προσοχή. Παράλληλα με το κεντρικό άνοιγμα του καλουπιού, η στήριξη θα πρέπει να περιλαμβάνει δύο ή τρία καλώδια τα οποία μπορούν στη συνέχεια να χρησιμοποιηθούν σαν μικρά ανοίγματα. Όλα αυτά τα στηρίγματα τοποθετούνται σε «γέφυρες» οι οποίες μοντάρονται στο άνω χείλος του κουτιού που διαμορφώνει τα όρια του καλουπιού. Για την ενώση όλων αυτών των στηριγμάτων, συμπεριλαμβανιμένων και των «γεφυρών» χρησιμοποιούμε κόλλα, ταινία ή λάστιχα.

Σε περίπτωση που το αρχικό μοντέλο έχει τρύπες οι οποίες βρίσκονται στην ίδια ευθεία, μία καλή λύση για την καλυψή τους είναι η χρησιμοποίηση καρφιών. Τα καρφιά αυτά περνιούνται μέσα από όλες τις τρύπες. Πρέπει τα καρφιά αυτά να είναι αρκετά μεγάλα έτσι ώστε να διαπερνούν το καλούπι από άκρη σε άκρη. Τοποθετούνται πριν την σιλικόνη και αφαιρούνται πριν βγάλουμε το πρωτότυπο από το καλούπι. Μόλις το βγάλουμε, στη συνέχεια τα ξανατοποθετούμε έτσι ώστε ρίχνοντας κατόπιν το υλικό για την παρασκευή των αντικειμένων αυτά να έχουν ακριβώς τις ίδιες τρύπες όπως και το πρωτότυπο. Η μέθοδος αυτή έχει καλύτερα αποτελέσματα από το να καλύψουμε τις τρύπες με ταινία.

4.9.6 Υπολογισμός της Απαιτούμενης Ποσότητας Σιλικόνης

Αρχικά υπολογίζεται ο όγκος του καλουπιού σε λίτρα και κατόπιν το βάρος του μοντέλου. Ο πιο εύκολος τρόπος, όπου αυτό είναι δυνατόν, είναι να γεμίσουμε το καλούπι με νερό, περιλαμβάνοντας μέσα του και το πρωτότυπο. Κατόπιν να αδειάσουμε το νερό σε ένα δοχείο και να μετρήσουμε το βάρος του. Βέβαια, αυτή η διαδικασία μπορεί να εφαρμοστεί μόνο σε αδιάβροχα υλικά, και εννοείται ότι κατά

την επεξεργασία του μοντέλου δεν έχουν χρησιμοποιηθεί ταινίες ή άλλα παρεμφερή υλικά. Η υπολογισμένη τιμή, σε λίτρα, πολλαπλασιάζεται με το 1,2 για να πάρουμε την απαιτούμενη ποσότητα σιλικόνης

Παράδειγμα:

Μέγεθος του καλουπιού: $2\text{dm} \times 2\text{dm} \times 1,5\text{dm} = 6\text{ltr}$

Υπολογιστική τιμή για το πρωτότυπο: $0,5\text{ltr}$

Απαιτούμενη ποσότητα σιλικόνης: $6\text{ltr} - 0,5\text{ltr} = 5,5\text{ltr} \times 1,2 = 6,6\text{kg}$

Άρα η ποσότητα της σιλικόνης που χρειαζόμαστε είναι 6kg και η ποσότητα του σκληρυντικού 600gr .

4.9.7 Προετοιμάζοντας την Σιλικόνη

Αφού έχουμε ζυγίσει ήδη τις ποσότητες της σιλικόνης και του σκληρυντικού τα βάζουμε και τα δύο μέσα σε έναν κουβά. Εκεί τα ανακατεύουμε, κατά προτίμηση για καλύτερη μίξη των υλικών με ένα τρυπάνι στο οποίο έχουμε εφαρμόσει έναν αναδευτήρα. Στο σημείο της μίξης είναι σημαντικό να ελέγξουμε την ώρα, και αυτό για να μην ξεπεράσουμε τον χρόνο πήξης τη σιλικόνης που ανέρχεται περίπου στις δύο ώρες. Το δοχείο ή ο κουβάς που θα χρησιμοποιηθεί πρέπει να είναι αρκετά μεγάλος, και αυτό γιατί η σιλικόνη, κατά την διάρκεια της εξαέρωσης, θα φουσκώσει 5-8 φορές παραπάνω από τον αρχικό της όγκο.

Εάν η ποσότητα της σιλικόνης είναι μικρή, τότε η εξαέρωση της σιλικόνης δεν αντιμετωπίζει κανένα πρόβλημα. Σε αντίθετη περίπτωση απαιτείται μεγάλη προσοχή. Αυτό γίνεται γιατί η σιλικόνη φουσκώνει μέσα στον θάλαμο και υπάρχει φόβος υπερχειλίσης. Για αυτό τον λόγο πρέπει η εξαέρωση της σιλικόνης να παρακολουθείτε καθόλι τη διάρκεια. Για την καλύτερη εξαέρωση της σιλικόνης θα πρέπει η πίεση μέσα στον θάλαμο να διατηρείται σε μία τιμή της τάξεως του 1mbar . Η διατήρηση αυτής της πίεσεως επιτυγχάνεται με την κατά τακτά χρονικά διαστήματα μείωσή της. Η μείωση αυτή εκτός από τα παραπάνω, βοηθάει και στην απελευθέρωση του εγκλωβισμένου αέρα. Ο αέρας αυτός βρίσκεται μέσα σε φουσκάλες οι οποίες εμφανίζονται στην επιφάνεια της σιλικόνης. Οι ενέργειες αυτές γίνονται χειροκίνητα στο σύστημα I. Αντίθετα στο σύστημα II, το οποίο είναι πιο εξελιγμένο, υπάρχουν προγράμματα που ελέγχουν τόσο την υπερχειλίση του κουβά όσο και και την διατήρηση της σωστής πίεσεως για την εξαέρωση της σιλικόνης.

Η διαδικασία της εξαέρωσης δεν πρέπει να ξεπερνάει τα τριάντα λεπτά. Κατόπιν κάνουμε αποσυμπίεση του θαλάμου της μηχανής και βγάζουμε έξω το μείγμα της σιλικόνης.

Στη συνέχεια η εξαερωμένη σιλικόνη χύνεται προσεκτικά μέσα στο καλούπι, προσέχοντας να καλύψει πλήρως το πρωτότυπο. Είναι πρακτικό κατά τη διάρκεια του γεμίσματος, το καλούπι να βρίσκεται υπό κλίση για την καλύτερη έκχυση μέσα σε αυτό της σιλικόνης. Μόλις το καλούπι γεμίσει και η σιλικόνη καλύψει πλήρως το μοντέλο, το ξανατοποθετούμε μέσα στο θάλαμο για νέα εξαέρωση.

Παρά την προηγούμενη εξαέρωση που έχουμε κάνει θα ξαναεμφανιστούν φουσκάλες. Η όλη διαδικασία πρέπει να παρατηρείται προσεκτικά, και αυτό για να αποφύγουμε, μέσω των αυξομειώσεων της πίεσης, την υπερχειλίση της σιλικόνης. Η δεύτερη εξαέρωση διαρκεί και αυτή περίπου τριάντα λεπτά.

Ανάλογα με το πόσο επείγει η κατασκευή του καλουπιού, η σιλικόνη στερεοποιείται πλήρως είτε σε 24 ώρες σε θερμοκρασία δωματίου, είτε σε τρεις ώρες σε θερμοκρασία της τάξεως των 80⁰C, από την στιγμή που θα ολοκληρωθεί η δεύτερη εξαέρωση. Καλό είναι να προτιμάται η αργή σκλήρυνση της σιλικόνης, σε φυσιολογικές συνθήκες, εξαιτίας του ότι η μεγάλη θερμοκρασία μπορεί να προκαλέσει διαστολές μέσα στο καλούπι οι οποίες είναι ανεπιθύμητες.

4.9.8 Ανοίγοντας το Καλούπι της Σιλικόνης

Μετά την σκλήρυνση της σιλικόνης το καλούπι μπορεί πλέον να ανοιχθεί. Εάν δεν υπάρχει πίεση χρόνου καλό θα ήταν να περιμένουμε λίγο ακόμα έως ότου η διαδικασία σκλήρυνσης ολοκληρωθεί πλήρως. Είναι κάτι πολύ παραπάνω από ενοχλητικό, εάν είτε από περιέργια είτε από πίεση χρόνου ανοίξουμε το καλούπι πριν η σιλικόνη στερεοποιηθεί τελείως, με αποτέλεσμα αυτή να παραμορφωθεί.

Εάν αυτό είναι εφικτό, καλό θα ήταν να χρησιμοποιηθεί πεπιεσμένος αέρας πριν το άνοιγμα του καλουπιού. Για να γίνει αυτό μπορούμε να χρησιμοποιήσουμε το άνοιγμα που έχουμε αφήσει στο καλούπι. Ο πεπιεσμένος αέρας μπορεί να προκαλέσει μέχρι και την ολική αποκόλληση του μοντέλου από την σιλικόνη.

Όπως έχει ήδη αναφερθεί σε προηγούμενο κεφάλαιο, το καλούπι μπορεί να ανοιχθεί με μία κυματοειδή τομή σε όλη την περιφέρειά του. Εξαιτίας του γεγονότος ότι η σιλικόνη είναι διαφανής, ο χειρισμός και ο καθορισμός της κατεύθυνσης του κοπιδιού γίνεται αρκετά εύκολα. Η κυματοειδής τομή θα βοηθήσει στην μετέπειτα ενώση των δύο κομματιών του καλουπιού.

Κατά την διάρκεια της κοπής είναι σημαντικό η λεπίδα να «κοιτάει» πάντα προς την ταινία. Αφού ολοκληρωθεί η πρώτη τομή, χρησιμοποιούμε λαβίδα για τον διαχωρισμό των δύο κομματιών. Κάνοντας αυτόν τον διαχωρισμό έχουμε την ευχέρια να κόψουμε όποια κομμάτια σιλικόνης έχουν απομείνει μεταξύ του πρώτου κοψίματος και της ταινίας. Αυτό γίνεται έως ότου το καλούπι χωριστεί πλήρως σε δύο κομμάτια.

Το πρωτότυπο αφαιρείται προσεκτικά από το εσωτερικό του καλουπιού. Κατόπιν αφαιρούνται τυχόν υπολείμματα ταινίας η σιλικόνης και το καλούπι είναι πλέον έτοιμο για την κατασκευή του πρώτου αντικειμένου.

4.10 Κατασκευή των Αντικειμένων από το Καλούπι

4.10.1 Προετοιμασία του Καλουπιού

Πριν κλείσουμε το καλούπι πρέπει να το ψεκάσουμε με ένα ειδικό σπρέυ το οποίο περιλαμβάνεται μέσα στη μηχανή. Το ψέκασμα με αυτό το σπρέυ πρέπει να γίνεται στο εσωτερικό του καλουπιού, και βοηθάει στην μετέπειτα εύκολη αποκόλληση του αντικειμένου από το καλούπι. Υπάρχουν δύο τρόποι για το κλείσιμο του καλουπιού:

Ο ένας τρόπος είναι η ένωσή του με συρραπτικά. Δεν υπάρχει περίπτωση καταστροφής του καλουπιού, και αυτό επειδή η σύρραψη γίνεται με το χέρι και τα συρραπτικά έχουν σε κάθε κλείσιμο διαφορετική θέση. Αυτό το γεγονός μας επιτρέπει την χρησιμοποίηση του καλουπιού για πολλές φορές.

Μεγάλα καλούπια, με βάρος πάνω από 5 kg, πρέπει να κλείνονται και να σφραγίζονται με κολλητική ταινία καλής ποιότητας. Αυτός ο τρόπος απαιτεί εξαιρετική προσοχή και αυτό γιατί το καλούπι δεν πρέπει να παραμορφωθεί και παράλληλα πρέπει να αφήσουμε κάποια σημεία ακάλληπτα έτσι ώστε να μπορούμε μέσα από αυτά να παρατηρούμε την όλη διαδικασία έκχυσης των υλικών μέσα σε αυτά. Εάν τώρα το καλούπι είναι μεγάλο και επίπεδο η καλύτερη λύση θα ήταν να τοποθετήσουμε το καλούπι ανάμεσα από δύο κομμάτια ξύλου και αυτά με τη σειρά τους να τα κρατάμε στη σωστή θέση με δύο σφικτήρες.

Αφού το καλούπι έχει σφραγιστεί το βάζουμε μέσα στο φούρνο για προθερμανθεί μέχρι την θερμοκρασία των 50-70⁰C, ανάλογα με τις ρητίνες που θα χρησιμοποιήσουμε.

4.10.2 Υπολογίζοντας τις Ποσότητες των Ρητίνων

Ανάλογα με το μέγεθος του δοχείου και το είδος της ρητίνης, υπάρχουν κάποιες ελάχιστες ποσότητες που πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Σε κάθε περίπτωση στο δοχείο Α θα παραμείνει κάποιο υπόλοιπο, το οποίο επιρρεάζει την αναλογία του μείγματος. Όσο χαμηλότερη ποιότητα τόσο μεγαλύτερη απόλυτη ανακρίβεια. Για το σύστημα Ι, η ελάχιστη ποσότητα (Α+Β) είναι περίπου 50g, για το σύστημα ΙΙ περίπου 100g.

Για να κρατήσουμε την ανακρίβεια των υπολογισμών όσο γίνεται πιο χαμηλά, καλό θα ήταν να χρησιμοποιούμε το δοχείο Α αρκετές φορές, όταν το αντικείμενο φτιάχνεται με το ίδιο είδος ρητίνης. Το δοχείο Α, με το υπόλειμμα από την προηγούμενη χρήση του, τοποθετείται στην ζυγαριά και αυτή μηδενίζεται. Με αυτόν τον τρόπο μετά την δεύτερη παραγωγή αντικειμένου έχουμε την προσέγγιση της τέλει αναλογίας μίγματος. Βέβαια το δοχείο Β θα πρέπει να αλλάζεται μετά από κάθε χρήση του. Το βάρος του δοχείου όμως θα πρέπει και αυτό να μηδενίζεται, μηδενίζοντας την ζυγαριά με το δοχείο πάνω της.

Εάν το αρχικό μοντέλο είναι φτιαγμένο από πλαστικό, η απαιτούμενη ποσότητα ρητίνης μπορεί να προσεγγιστεί με αποδεκτή ακρίβεια, ζυγίζοντας το μοντέλο, προσθέτοντας όμως 20 με 30% παραπάνω για τα ανοίγματα και τις τυχόν βάσεις.

Σε αντίθετη περίπτωση η ποσότητα της ρητίνης για το πρώτο αντικείμενο πρέπει να υπολογιστεί. Στην πρώτη μας προσπάθεια καλύτερο θα ήταν να χρησιμοποιήσουμε λίγο παραπάνω υλικό από το να μην γεμίσει τελείως το καλούπι.

4.10.3 Ετοιμάζοντας το υλικό

Αφού ζυγίσουμε τα δύο υλικά μέσα στα δοχεία Α και Β, αυτά τοποθετούνται μέσα στο θάλαμο της μηχανής, στις προκαθορισμένες θέσεις του και ασφαλίζονται. Στη συνέχεια η διαδικασία είναι η ακόλουθη :

Πρώτα από όλα τοποθετούμε το δοχείο Β στην θέση του και το ασφαλίζουμε. Κατόπιν βάζουμε μέσα σε αυτό τον αναδευτήρα σηκώνοντας την ασφάλεια που βρίσκεται πάνω από αυτό. Μετά τοποθετούμε και το δοχείο Α και το ασφαλίζουμε και αυτό. Όταν τοποθετούμε τα δύο δοχεία, πρέπει να προσέξουμε οι βάσεις τους να «πατάνε» καλά και το χείλος τους να έχει μπει ακριβώς στις υποδοχές που υπάρχουν. Αφού όλα τα παραπάνω έχουν γίνει σωστά τότε βάζουμε και την ασφάλεια που βρίσκεται στο χείλος του κάθε δοχείου.

Εάν αυτό είναι εφικτό, η εξαέρωση των υλικών πρέπει να γίνεται σε δύο βήματα. Η κύρια εξαέρωση διαρκεί περίπου 15-30 λεπτά, ανάλογα με το είδος των υλικών, και πρέπει να γίνει χωρίς το καλούπι να έχει τοποθετηθεί μέσα στο θάλαμο. Εάν αυτό τοποθετηθεί από την αρχή τότε θα πέσει η θερμοκρασία του, κάτι που δεν είναι επιθυμητό για την όλη διαδικασία. Μετά την κύρια εξαέρωση, το καλούπι βγαίνει από τον φούρνο και τοποθετείται μέσα στο θάλαμο. Για μικρά καλούπια, το μικρό χωνί, που περιλαμβάνεται στην μηχανή είναι ότι καλύτερο για την είσοδο των υλικών μέσα στο καλούπι. Το χωνί, απλά τοποθετείται στο κεντρικό άνοιγμα του καλουπιού.

Το καλούπι πρέπει να τοποθετηθεί ακριβώς κάτω από το δοχείο Β. Για μεγαλύτερα καλούπια, χρησιμοποιούμε το μεγάλο πλαστικό χωνί, το οποίο και αυτό περιλαμβάνεται στην μηχανή. Σε συνάρτηση με το πόσο μεγάλο είναι το καλούπι, μπορούμε να κόψουμε το χωνί στο άκρο του έτσι ώστε αυτό να εφαρμόζει ακριβώς στο κεντρικό άνοιγμα του καλουπιού. Εάν τα ανοίγματα στο καλούπι είναι παραπάνω από ένα τότε χρησιμοποιούμε το εργαλείο «Υ».

Ο θάλαμος εκκενώνεται και η ρητίνη επαναεξαερώνεται στο απόλυτο κενό (ένδειξη μηδέν) για 3-5 λεπτά. Είναι χρήσιμο το μίγμα των υλικών να βρίσκεται στην θερμοκρασία των 35⁰C, γιατί οι συνθήκες αυτές διευκολύνουν και επιταχύνουν την εξαέρωση.

Αφού έχουμε θέσει σε λειτουργία της αντλία και η εκκένωση του αέρα έχει αρχίσει τότε αρχίζουμε να μετράμε τον ακριβή χρόνο διάρκειας αυτή της φάσης. Μετά από περίπου 8 λεπτά, 3 λεπτά εκκένωσης του θαλάμου και 5 λεπτά εκκένωσης των υλικών, μπορούμε πλέον να αρχίσουμε την «πραγματική» διαδικασία.

4.10.4 Η Διαδικασία Έκχυσης των Υλικών στο Καλούπι

Μετά το πέρας των 8 λεπτών που απαιτούνται για την ολοκλήρωση της διαδικασίας εκκένωσης τότε μηδενίζουμε το ρολόι. Εκείνη την στιγμή χύνουμε το υλικό του δοχείου Α μέσα στο δοχείο Β και το ρολόι ξαναρχίζει. Τώρα τα δύο υλικά έχουν αναμειχθεί και πλέον το ρολόι δεν μετράει τίποτα άλλο από τον χρόνο πήξης

του μίγματος. Από αυτό το σημείο ο χρόνος μετράει αντίστροφα. Η όλη διαδικασία πρέπει να ολοκληρωθεί πριν τον πέρας του χρόνου πήξης του μίγματος. Ο χρόνος αυτός ποικίλει από 1,5 έως 20 λεπτά, ανάλογα με το είδος των ρητίνων.

Μετά την έναρξη λειτουργίας του ρολογιού χύνουμε το υλικό του δοχείου Α στο δοχείο Β και αρχίζουμε αρχίζουμε να ανακατεύουμε με το μίξερ. Η ταχύτητα του μίξερ στο σύστημα Ι ελέγχεται χειροκίνητα και εξαρτάται από την ποσότητα και από το πόσο παχύρευστο είναι το μίγμα. Το ανακάτεμα των υλικών ολοκληρώνεται μετά από 15-20 δευτερόλεπτα.

Η ανάμειξη των υλικών πρέπει να γίνεται σε πίεση λίγο κάτω από την μέγιστη πίεση της μηχανής (0,8 mbar). Μετά το ανακάτεμα των υλικών, το μίγμα χρειάζεται μία μικρή μείωση της πίεσεως για να βγει από αυτό τυχόν αέρας που έχει εγκλωβιστεί με την μορφή φουσκών.

Αφού το μίγμα παραμένει σε αυτή την πίεση για περίπου 15-30 δευτερόλεπτα τότε είναι πλέον έτοιμο για να γεμίσει το καλούπι. Γυρίζουμε τον μοχλό ελέγχου του δοχείου Β και αδειάζουμε το μίγμα μέσα στο καλούπι έως ότου αυτό γεμίσει τελείως. Αυτή η διαδικασία απαιτεί εκτός από γρήγορες κινήσεις και εξαιρετική προσοχή. Μόλις το καλούπι γεμίσει τελείως με το μίγμα, τότε μειώνουμε ακόμη περισσότερο την πίεση μέσα στον θάλαμο έτσι ώστε το μίγμα να φτάσει σε κάθε γωνία του καλουπιού και τυχόν αέρας εγκλωβισμένος μέσα σε αυτό να βγει στον θάλαμο.

Αφού ολοκληρωθεί τελείως και αυτή η διαδικασία, τότε μηδενίζουμε την πίεση στο θάλαμο, τον ανοίγουμε και βγάζουμε προσεκτικά το καλούπι. Μόλις το βγάλουμε το τοποθετούμε μέσα στον φούρνο και το μόνο που πρέπει να κάνουμε τώρα είναι να περιμένουμε να πήξει η ρητίνη.

4.10.5 Τελικές Τακτοποιήσεις

Σημαντικό: Αφού το καλούπι έχει τοποθετηθεί μέσα στο φούρνο, ο αναδευτήρας του μίξερ πρέπει να βγει και να καθαριστεί με ένα πανί τύπου Kleenex αμέσως. Το καθαρισμά του γίνεται πολύ πιο δύσκολο όταν το μίγμα έχει αντιδράσει και έχει αρχίσει να στερεοποιείται. Βέβαια όλο και κάποιος θα βρεθεί στην συγκεκριμένη θέση, γι' αυτό υπάρχουν συγκεκριμένες λύσεις :

1. Πετάμε τον παλιό αναδευτήρα και χρησιμοποιούμε τον δεύτερο που περιλαμβάνεται με την μηχανή.
2. Ανοίγουμε τις δύο βίδες που ενώνουν τα πλαστικά πτερύγια του αναδευτήρα και τα αλλάζουμε με αυτά του καινούργιου.
3. Θερμαίνουμε τον αναδευτήρα στους 120⁰C και κατόπιν αφαιρούμε το σχεδόν υγροποιημένο μίγμα.

Ανάλογα με το είδος της ρητίνης, το καλούπι της σιλικόνης μπορεί να βγει από τον φούρνο, μέσα σε 5-30 λεπτά, για να βγάλουμε το αντικείμενο.

Πριν ανοίξουμε το καλούπι καλό θα ήταν να διοχετεύσουμε μέσα σε αυτό πεπιεσμένο αέρα, για την διευκόλυνση αποκόλλησης του αντικειμένου. Μερικές ρητίνες είναι αρκετά κολλώδης και παχύρρευστες στις υψηλές θερμοκρασίες. Γι' αυτό το λόγο καλό θα ήταν να αφήσουμε το καλούπι να κρυώσει για λίγο, για να αποφύγουμε τυχόν παραμορφώσεις. Εάν το αντικείμενο παραμορφωθεί τότε θα πρέπει να ξαναζεσταθεί πάραυτα στους 70⁰C. Αυτή η διαδικασία απαιτεί το αντικείμενο να βρίσκεται επίπεδο στον πάτο του καλουπιού. Η θέρμανση κάνει το αντικείμενο να ξαναέρθει στην κανονική του μορφή. Για ρητίνες υψηλής θερμοκρασίας, απαιτούνται θερμοκρασίες ακόμα και 95% μεγαλύτερες.

Το αντικείμενο αφού βγει από το καλούπι καθαρίζεται από τυχόν υπολείμματα ταινίας ή υλικού στα σημεία των ανοιγμάτων, των στηριγμάτων και των βάσεων, και είναι πλέον έτοιμο. Ο επόμενος κύκλος παραγωγής μπορεί να αρχίσει αφού καθαριστεί και το καλούπι και ψεκαστεί με το ειδικό σπρέυ αποκόλλησης. Το αντικείμενο πρέπει να καθαριστεί με πολύ ακρίβεια και προσοχή σε όλα τα επίμαχα σημεία του, έτσι ώστε να πάρει ακριβώς το σχήμα του πρωτότυπου.

Συμβουλή: Ο χρόνος ζωής του καλουπιού, δηλαδή το πόσα αντικείμενα μπορούμε να παράγουμε, εξαρτάται από μία σειρά παραγόντων. Σύμφωνα με την μέχρι τώρα εμπειρία μας, ο χρόνος αυτός ποικίλει από 20 έως 80 αντικείμενα. Οι πιο σημαντικοί παράγοντες είναι:

1. Ο αριθμός και το είδος των κοιμημάτων
2. Το είδος των ρητίνων και το προστιθέμενο χρώμα, εάν αυτό υπάρχει.
3. Η χρήση του ειδικού αντικολλητικού σπρέυ σιλικόνης.
4. Ο αριθμός των κύκλων παραγωγής ανά ημέρα: Ένα καλούπι που χρησιμοποιείται μία φορά την ημέρα, και τον υπόλοιπο καιρό μένει ανοικτό για να αναπνέει, θα παράγει πολύ περισσότερα κομμάτια από αυτό που χρησιμοποιείται σε ωριαίο ρυθμό καθημερινά.

4.11 Επίλογος

Το εγχειρίδιο χρήσης που παρουσιάστηκε παραπάνω, σε συνάρτηση με την επίδειξη της μηχανής έγινε με τον καλύτερο δυνατό τρόπο, με βάση την μέχρι τώρα εμπειρία. Παρόλ'αυτά το εγχειρίδιο δεν είναι τίποτα παραπάνω από ένας οδηγός. Σε κάθε περίπτωση, η καταλληλότητα της μηχανής πρέπει να ελεγχθεί σύμφωνα με τις διαδικασίες και τις μεθόδους που χρησιμοποιεί ο καθένας ατομικά.

ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ

Με την παρούσα διπλωματική εργασία δόθηκε μια σύντομη αναφορά και περιγραφή των τεχνολογιών Rapid Tooling έτσι όπως αυτές αναφέρονται στη διεθνή βιβλιογραφία. Παραπάνω στοιχεία σχετικά με τις προδιαγραφές των μηχανών, τον τρόπο λειτουργίας και το πεδίο εφαρμογής, μπορούν να αναζητηθούν και στο Internet όπου κάποιες εταιρίες έχουν ενεργοποιηθεί, με επιχειρηματικούς στόχους στην ανάπτυξη συγκεκριμένων τεχνολογιών. Η παγκόσμια αγορά είναι ενεργοποιημένη στην ανάπτυξη αυτών των τεχνολογιών και καθημερινά κάθε εταιρία αυτού του τομέα προσπαθεί να κατοχυρώσει τη δική της καινοτομία είτε όσον αφορά την αυτοματοποίηση της διαδικασίας είτε τη χρήση νέων υλικών.

Παράλληλα παρουσιάστηκε σε ξεχωριστό κεφάλαιο ο τρόπος με τον οποίο αυτή η καινούργια μέθοδος επιρραάζει τον κύκλο ζωής του προϊόντος. Μία επιρροή, η οποία δείχνει με τον καλύτερο τρόπο το πόσο σημαντική είναι η νέα αυτή τεχνολογία για την παγκόσμια βιομηχανία.

Τέλος παράλληλα με την χρήση μιας μηχανής τέτοιας τεχνολογίας προσπαθήσαμε να δώσουμε με τον πιο κατανοητό τρόπο την όλη διαδικασία και μικρά μυστικά αυτής για τέλεια αποτελέσματα. Ελπίζουμε το τελικό αποτέλεσμα να επιβραβεύσει τις προσπάθειες όλων μας.

ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

1. Μελέτη και σχεδίαση Προϊόντων
2. Ταχεία Πρωτοτυποποίηση
3. User Manual for Vacuum Casting
4. <http://www.EngZone.com>
5. <http://www.mcp-group.com>
6. <http://www.vistatec.com>
7. <http://www.acceltechnic.com>
8. <http://www.dynamictooling.com>
9. <http://www.3dsystem.com>
10. <http://www.mk-technology.com>

N. Μπιλάλη
N. Μπιλάλη
Mk Technology GmbH