



ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΠΕΙΡΑΙΩΣ
UNIVERSITY OF PIRAEUS

Σχολή: Σχολή Ναυτιλίας και Βιομηχανίας

Τμήμα: Βιομηχανικής Διοίκησης και Τεχνολογίας

Μεταπτυχιακό Πρόγραμμα Σπουδών: Βιομηχανική Διοίκηση & Τεχνολογία

Κατεύθυνση: Διοίκηση Logistics (Logistics Management)

Τίτλος Διπλωματικής Εργασίας: Τρισδιάστατη Εκτύπωση - Μια επισκόπηση και η εφαρμογή της στον βιομηχανικό τομέα



Νησιώτης - Σάββας

Χριστόδουλος

ΠΕΙΡΑΙΑΣ 2018

Περιεχόμενα

Special Thanks To:.....	5
Ευχαριστίες:.....	6
Κεφάλαιο 1: Γενικές πληροφορίες για την τρισδιάστατη εκτύπωση	7
1.1 Εκτύπωση.....	8
1.2 Φινίρισμα.....	9
Κεφάλαιο 2: Βασικές Αρχές.....	10
2.1 Τι είναι Προσθετική Παρασκευή	10
2.2 Που χρησιμοποιούνται τα προϊόντα της Προσθετικής Παρασκευής;.....	11
2.3 Η Γενική Διαδικασία Προσθετικής Παρασκευής.....	12
Βήμα 1: CAD.....	12
Βήμα 2: Μετατροπή σε STL	13
Βήμα 3: Μεταφορά στη μηχανή προσθετικής παρασκευής (εκτυπωτής) και διαχείριση αρχείων STL.....	13
Βήμα 4: Προγραμματισμός Μηχανής	13
Βήμα 5: Χτίσιμο (3D εκτύπωση)	13
Βήμα 6: Αφαίρεση.....	13
Βήμα 7: Επεξεργασία μετά την εκτύπωση	13
Βήμα 8: Εφαρμογή	14
2.4 Γιατί χρησιμοποιούμε τον όρο «Προσθετική Παρασκευή»;.....	15
2.5 Διάκριση μεταξύ (AM) και κατεργασίας CNC.....	15
Υλικό	15
Ταχύτητα.....	16
Πολυπλοκότητα	16
Ακρίβεια.....	17
Γεωμετρία	17
Προγραμματισμός.....	18
2.6 Άλλες Συναφείς Τεχνολογίες	18
Κεφάλαιο 3: Εξέλιξη της πρόσθετης παρασκευής	19
3.1 Συνεργασία με υπολογιστές	19
3.2 Σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή	21
Κεφάλαιο 4: Προσθετική Παραγωγή – Βήματα διαδικασίας.....	27
4.1 Βήματα Επεξεργασίας	27
Βήμα 1: Σύλληψη ιδέας και CAD	27
Βήμα 2: Μετατροπή σε STL/AMF αρχείο	28
Βήμα 3: Μεταφορά σε εκτυπωτή 3D και διαχείριση STL	29

Βήμα 4: 3D Printer Setup.....	30
Βήμα 5: Χτίσιμο.....	31
Βήμα 6: Αφαίρεση και Καθάρισμα	31
Βήμα 7: Μετέπειτα επεξεργασία.....	32
Βήμα 8: Εφαρμογή	32
4.2 Παραλλαγές από μια μηχανή AM σε άλλη	33
Συστήματα με βάση το φωτοπολυμερές	34
Συστήματα που βασίζονται σε σκόνη	35
Συστήματα Τετηγμένων Υλικών (Molten Material Systems)	35
Συστήματα Μετάλλου	36
Η χρήση υποστρωμάτων	37
Πυκνότητα Ενέργειας	37
Βάρος.....	38
Ακρίβεια.....	38
Ταχύτητα.....	38
4.3 Συντήρηση Εξοπλισμού	38
4.4 Θέματα χειρισμού υλικών.....	39
4.5 Αναγνωριστικά Σήματα	41
Κεφάλαιο 5: Τεχνολογίες 3D Εκτύπωσης	42
5.1 Μοντελοποίηση εναπόθεσης	42
5.2 Υλικά 3D Εκτύπωσης	42
PLA Θερμοπλαστικό Συντηγμένη Μοντελοποίηση Εναπόθεσης	42
ABS Θερμοπλαστικό.....	43
5.3 Διαδικασία 3D Εκτύπωσης	43
5.4 Συμβατικές Μέθοδοι Παραγωγής	43
Χύτευση με έγχυση υλικού.....	43
Κατεργασία CNC.....	44
Πλαστική διαμόρφωση	44
Ένωση πλαστικών.....	44
5.5 Κριτήρια επιλογής μεθόδου παραγωγής	45
Κεφάλαιο 6: Πρακτική Εφαρμογή της Διπλωματικής Εργασίας.....	46
6.1 Παρουσίαση της γενικής ιδέας	46
6.2 Fusion 360 – Βήματα Διαδικασίας.....	48
6.3 Διαδικασία Εκτύπωσης	57
6.4 Διαδικασία Χτίσιματος.....	65
Κεφάλαιο 7: Ανάλυση Κόστους.....	71
7.1 Κόστος της διαδικασίας εκτύπωσης	71
7.2 Σύγκριση με μια τυπική κατασκευή με δομικά υλικά	75

7.3 Συμπεράσματα.....	77
Πλεονεκτήματα.....	77
Μειονεκτήματα.....	77
Βιβλιογραφία.....	78
Δημοσιεύσεις.....	78
Ιστοσελίδες.....	78
Άρθρα στο διαδίκτυο	79
Fusion 360 Tutorials / Community.....	80

Special Thanks To:

This diploma thesis has helped me to broaden my horizons. To come across and be informed about developments around the world regarding a new field of action, 3D printing.

The desire for this began through the excitement that went through my bones when I was informed of the existence of such machines. I started to search for information and I realized that the growth rates in this field were extremely fast. And then I made a comparison. How different is society now? Over the years, I have always had my father's idea of crafting and making patents (one of the last real carpenter) and me to help. This has already started missing from our generation, there is no more art in handy work. There is no such thing as “fixing what is broken”, when something is messed up, simply change it...

Perhaps three-dimensional printing will fill this gap. Perhaps imagination and the ability to design something on the computer is all it takes, and the rest is up to the 3D-printer. And then maybe, we can create again something on our own.

I would therefore like to thank Mr Dimitris Karalekas as the main curator of my thesis, who has given me the opportunity to deal with something so interesting. He supported me and tolerated the extremely difficult daily program in order to finish the task. I am also grateful for his immediacy in whatever I needed.

I would also like to thank Mr. Ioannis Giannatsis for his decisive contribution to the completion of diplomatic work. As without the technical knowledge he possesses, and the will to share them, none of this would be possible.

Worthily to be thanked are all those who contributed to the operation of the postgraduate program of the University of Piraeus, especially the secretariat and in particular Mrs. E. Kairi who was the one who absorbed all our demands, reasonable or absurd...

And finally, a great thank you from the depths of my heart, to my parents. They have always been by my side, no matter how many years have passed, to support me in every step of my life.

Ευχαριστίες:

Η παρούσα διπλωματική εργασία με βοήθησε να διευρύνω τους ορίζοντες μου. Να ασχοληθώ και να μάθω για εξελίξεις ανά τον κόσμο σχετικά με έναν νέο τομέα δράσης, την τρισδιάστατη εκτύπωση. Η επιθυμία για αυτό ξεκίνησε μέσα από τον ενθουσιασμό που με διαπέρασε όταν ενημερώθηκα για την ύπαρξη τέτοιων μηχανών. Άρχισα να το ερευνώ και παρατήρησα ότι οι ρυθμοί ανάπτυξης σε αυτό τον τομέα ήταν ταχύτατοι. Και τότε έκανα μια σύγκριση. «Πόσο διαφορετική είναι πλέον η κοινωνία» σκέφτηκα. Περνώντας τα χρόνια είχα πάντα την εικόνα του πατέρα μου να μαστορεύει και να φτιάχνει πατέντες (ένας από τους τελευταίους πραγματικούς τεχνίτες επιπλοποιούς) και εμένα μαζί να βοηθάω. Αυτό σιγά σιγά χάνεται, δεν υπάρχει πια τέχνη στις χειρωνακτικές εργασίες. Δεν υπάρχει επιδιόρθωση, ότι χαλάει απλά το αντικαθιστούμε.

Ίσως λοιπόν η τρισδιάστατη εκτύπωση καλύψει αυτό το κενό. Ίσως να αρκεί μόνο η φαντασία και η ικανότητα να σχεδιάσουμε κάτι στον υπολογιστή και τα υπόλοιπα να τα κάνει ένας 3D printer. Κατά αυτό τον τρόπο πιθανών, να μπορέσουμε πάλι να δημιουργήσουμε κάτι μόνοι μας.

Θέλω λοιπόν να ευχαριστήσω βαθιά τον κ. Δ. Καραλέκα ως κύριο επιμελητή της διπλωματικής μου εργασίας, ο οποίος μου έδωσε τη δυνατότητα να ασχοληθώ με κάτι τόσο ενδιαφέρον. Με στήριξε και ανέχτηκε το πολύ δύσκολο πρόγραμμα της καθημερινότητας μου ώστε να ολοκληρώσω την εργασία. Τον ευχαριστώ θερμά και για την αμεσότητα που είχε σε ότι και αν χρειάστηκα.

Θέλω επίσης να ευχαριστήσω τον κ. Ι. Γιαννατσή για την καθοριστική συμβολή του στην ολοκλήρωση της διπλωματικής εργασίας. Καθώς χωρίς τις τεχνικές γνώσεις που κατέχει αλλά και τη θέληση να τις μοιραστεί τίποτα από αυτά δεν θα ήταν δυνατό.

Άξιοι ευχαριστιών είναι όλοι όσοι συνετέλεσαν στη λειτουργία του μεταπτυχιακού προγράμματος του Πανεπιστημίου Πειραιά, ιδιαίτερα της γραμματείας και πιο συγκεκριμένα της κ. Καΐρη που ήταν ο αποσβέστης κάθε μας απαίτησης, λογικής ή παράλογης...

Και τέλος, ένα πολύ μεγάλο ευχαριστώ από τα βάθη της καρδιάς μου, στους γονείς μου. Που είναι πάντα δίπλα μου, όσο χρόνια και αν περάσουν, να με στηρίζουν σε κάθε μου βήμα.

Κεφάλαιο 1: Γενικές πληροφορίες για την τρισδιάστατη εκτύπωση

Ο εξοπλισμός και τα υλικά της πρώιμης προσθετικής παρασκευής αναπτύχθηκαν στη δεκαετία του '80. Το 1981, ο Hideo Kodama του Ινστιτούτου Δημοτικής Βιομηχανικής Έρευνας της Nagoya εφηύρε δύο πρόσθετες μεθόδους για την κατασκευή τρισδιάστατων πλαστικών μοντέλων με θερμοσκληρυνόμενο πολυμερές, όπου η περιοχή έκθεσης στην υπεριώδη ακτινοβολία ελέγχεται από έναν οδηγό / καλούπι ή έναν πομπό σάρωσης ινών.

Στις 16 Ιουλίου 1984 ο Alain Le Méhauté, ο Olivier de Witte και ο Jean Claude André κατέθεσαν το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τους για τη διαδικασία στερεολιθογραφίας. Η εφαρμογή των Γάλλων εφευρετών εγκαταλείφθηκε από τη γαλλική εταιρεία General Electric (τόρα Alcatel-Alsthom) και την CILAS (The Consortium Laser). Ο αιτιώδης λόγος ήταν "για έλλειψη επιχειρησιακής προοπτικής".

Τρεις εβδομάδες αργότερα το 1984, ο Chuck Hull της εταιρείας 3D Systems Corporation υπέβαλε δική του δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για ένα σύστημα κατασκευής στερεολιθογραφίας, στο οποίο προστίθενται στιβάδες με την επεξεργασία φωτοπολυμερών με λέιζερ υπεριώδους φωτός. Ο Hull χαρακτήρισε τη διαδικασία ως "σύστημα δημιουργίας τρισδιάστατων αντικειμένων δημιουργώντας ένα πρότυπο διατομής του προς δημιουργία αντικειμένου". Η συμβολή του Hull ήταν η μορφή αρχείου STL (Stereolithography) και οι ψηφιακές στρατηγικές κοπής και γεμίματος που είναι κοινές σε πολλές διαδικασίες σήμερα.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση ανακαλύφθηκε για πρώτη φορά το 1982 από τον Chuck Hull. Ο Hull είχε την ιδέα ότι αν μπορούσε να τοποθετήσει χιλιάδες λεπτών στρώσεων πλαστικού το ένα πάνω στο άλλο και έπειτα να σχεδιάσει το σχήμα τους χρησιμοποιώντας το φως, θα μπορούσε να σχηματίσει τρισδιάστατα αντικείμενα. Μετά από ένα χρόνο που πειραματίζεται με αυτές τις ιδέες, ανέπτυξε ένα σύστημα όπου μια συμπυκνωμένη δέσμη υπεριώδους φωτός, οδηγούμενη υπό τον έλεγχο ενός υπολογιστή, χτυπά την επιφάνεια ενός κάδου γεμάτου με υγρό φωτοπολυμερές και όπου χτυπά αυτό το υγρό μετατρέπεται σε ένα είδος πλαστικού σε σταθερή μορφή. Ο Hull συνειδητοποίησε ότι τα ευρήματά του δεν περιορίζονταν σε υγρά στοιχεία και ως εκ τούτου το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας του ονομάζεται στεριότητα ή τρισδιάστατη εκτύπωση, καθώς καλύπτει οποιοδήποτε υλικό ικανό να στερεοποιηθεί ή ικανό να μεταβάλει τη φυσική του κατάσταση. Από τότε, η εκτύπωση 3D έχει προχωρήσει πολύ.

Τα αντικείμενα μπορούν να έχουν σχεδόν οποιοδήποτε σχήμα ή γεωμετρία και παράγονται χρησιμοποιώντας δεδομένα ψηφιακού μοντέλου από ένα μοντέλο 3D ή από μια άλλη ηλεκτρονική πηγή δεδομένων, όπως ένα αρχείο αρχείου πρόσθετου (AMF). Το STL είναι ένας από τους πιο

συνηθισμένους τύπους αρχείων που μπορούν να διαβάσουν οι εκτυπωτές 3D. Έτσι, σε αντίθεση με το υλικό που απομακρύνεται από ένα απόθεμα στη συμβατική διαδικασία μηχανουργικής κατεργασίας, η τρισδιάστατη εκτύπωση κατασκευάζει ένα τρισδιάστατο αντικείμενο από το μοντέλο CAD ή το αρχείο AMF, προσθέτοντας διαδοχικά το υλικό στρώμα – στρώμα.

Τα 3D εκτυπώσιμα μοντέλα μπορούν να δημιουργηθούν με ένα πακέτο σχεδίασης με υπολογιστή (CAD), μέσω ενός 3D σαρωτή, ή μέσω ενός απλού λογισμικού ψηφιακής φωτογραφικής μηχανής και φωτογραμμετρίας. Τα τρισδιάστατα τυπωμένα μοντέλα που δημιουργήθηκαν με CAD οδηγούν σε μειωμένα σφάλματα και μπορούν να διορθωθούν πριν από την εκτύπωση, επιτρέποντας την επαλήθευση του σχεδιασμού του αντικειμένου πριν από την εκτύπωσή του.

Η διαδικασία χειροκίνητης μοντελοποίησης για την προετοιμασία γεωμετρικών δεδομένων για 3D γραφικά υπολογιστή είναι παρόμοια με τις πλαστικές τέχνες όπως η γλυπτική. Η τρισδιάστατη σάρωση είναι μια διαδικασία συλλογής ψηφιακών δεδομένων σχετικά με το σχήμα και την εμφάνιση ενός πραγματικού αντικειμένου, δημιουργώντας ένα ψηφιακό μοντέλο που βασίζεται σε αυτό.

1.1 Εκτύπωση

Πριν από την εκτύπωση ενός 3D μοντέλου από ένα αρχείο STL, πρέπει πρώτα να εξεταστεί για σφάλματα. Οι περισσότερες εφαρμογές CAD παράγουν σφάλματα στα αρχεία STL κατά την εξαγωγή: τρύπες, κανονισμούς, αυτοσυνδέσεις, πηγές «θορύβου» ή πολλαπλά σφάλματα. Ένα βήμα στη γενιά STL γνωστή ως "επισκευή" διορθώνει τέτοια προβλήματα στο αρχικό μοντέλο. Γενικά, τα STL που έχουν παραχθεί από μοντέλο που λαμβάνεται μέσω τρισδιάστατης σάρωσης συχνά έχουν περισσότερα από αυτά τα σφάλματα. Αυτό οφείλεται στο πώς λειτουργεί η τρισδιάστατη σάρωση - όπως συμβαίνει συχνά από την απόκτηση point to point, η ανακατασκευή θα περιλαμβάνει σφάλματα στις περισσότερες περιπτώσεις.

Αφού ολοκληρωθεί, το αρχείο STL πρέπει να υποβληθεί σε επεξεργασία από ένα κομμάτι λογισμικού που ονομάζεται "slicer", το οποίο μετατρέπει το μοντέλο σε σειρά λεπτών στρώσεων και παράγει ένα αρχείο G-code που περιέχει οδηγίες προσαρμοσμένες σε έναν συγκεκριμένο τύπο 3D εκτυπωτή (FDM printers). Αυτό το αρχείο G-code μπορεί στη συνέχεια να εκτυπωθεί με λογισμικό 3D εκτύπωσης (το οποίο φορτώνει τον G-κώδικα και το χρησιμοποιεί για να καθοδηγήσει τον 3D εκτυπωτή κατά τη διαδικασία εκτύπωσης 3D).

Η ανάλυση εκτυπωτή περιγράφει το πάχος του στρώματος και την ανάλυση X-Y σε κουκίδες ανά ίντσα (dpi) ή μικρόμετρα (μm). Το τυπικό πάχος στρώματος είναι περίπου 100 μm (250 DPI), αν και

μερικές μηχανές μπορούν να εκτυπώσουν στρώματα τόσο λεπτά όσο 16 μm (1.600 DPI). Η ανάλυση X-Y είναι συγκρίσιμη με αυτή των εκτυπωτών λέιζερ. Τα σωματίδια (3D κουκκίδες) έχουν διάμετρο περίπου 50 έως 100 μm (510 έως 250 DPI).

Η κατασκευή ενός μοντέλου με σύγχρονες μεθόδους μπορεί να διαρκεί από αρκετές ώρες έως αρκετές ημέρες, ανάλογα με τη χρησιμοποιούμενη μέθοδο και το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του μοντέλου. Συμπληρωματικά συστήματα μπορούν συνήθως να μειώσουν αυτή τη φορά σε μερικές ώρες, αν και ποικίλλει ευρέως ανάλογα με τον τύπο του μηχανήματος που χρησιμοποιείται και το μέγεθος και τον αριθμό των μοντέλων που παράγονται ταυτόχρονα.

Οι παραδοσιακές τεχνικές όπως η χύτευση με έγχυση μπορούν να είναι λιγότερο δαπανηρές για την παραγωγή πολυμερών προϊόντων σε μεγάλες ποσότητες, αλλά η παρασκευή προσθέτων μπορεί να είναι ταχύτερη, πιο ευέλικτη και λιγότερο δαπανηρή όταν παράγονται σχετικά μικρές ποσότητες μερών. Οι 3D εκτυπωτές δίνουν στους σχεδιαστές και τις ομάδες ανάπτυξης ιδεών τη δυνατότητα να παράγουν μοντέλα μερών και μοντέλων χρησιμοποιώντας έναν desktop εκτυπωτή.

1.2 Φινίρισμα

Αν και η ανάλυση που παράγεται από τον εκτυπωτή είναι αρκετή για πολλές εφαρμογές, η εκτύπωση μιας ελαφρώς υπερμεγέθους έκδοσης του επιθυμητού αντικειμένου σε τυπική ανάλυση και στη συνέχεια η αφαίρεση υλικού με μια αφαιρετική διαδικασία υψηλότερης ανάλυσης μπορεί να επιτύχει μεγαλύτερη ακρίβεια.

Ορισμένα εκτυπώσιμα πολυμερή όπως το ABS, επιτρέπουν την ομαλή επικάλυψη της επιφάνειας και τη βελτίωση χρησιμοποιώντας διαδικασίες χημικών ατμών με βάση ακετόνη ή παρόμοιους διαλύτες. Ορισμένες τεχνικές κατασκευής προσθέτων είναι ικανές να χρησιμοποιούν πολλαπλά υλικά κατά την κατασκευή των μερών. Αυτές οι τεχνικές είναι σε θέση να εκτυπώνουν ταυτόχρονα σε πολλαπλά χρώματα και συνδυασμούς χρωμάτων και δεν απαιτούν απαραίτητα τη ζωγραφική.

Ορισμένες τεχνικές εκτύπωσης απαιτούν την κατασκευή εσωτερικών στηριγμάτων για τα προεξέχοντα χαρακτηριστικά κατά τη διάρκεια της κατασκευής. Αυτά τα στηρίγματα πρέπει να αφαιρεθούν ή να διαλυθούν μηχανικά μετά την ολοκλήρωση της εκτύπωσης.

Όλοι οι εμπορικοί 3D εκτυπωτές μετάλλου εμπεριέχουν την κοπή του μεταλλικού συστατικού από το μεταλλικό υπόστρωμα μετά την εναπόθεση. Μια νέα διαδικασία για την εκτύπωση 3D GMAW επιτρέπει την τροποποίηση των επιφανειών του υποστρώματος για την αφαίρεση του αλουμινίου ή του χάλυβα.

Κεφάλαιο 2: Βασικές Αρχές

2.1 Τι είναι Προσθετική Παρασκευή

Η παρασκευή προσθέτων είναι ο επίσημος όρος για αυτό που ονομαζόταν γρήγορο πρωτότυπο και αυτό που γενικά ονομάζεται Τρισδιάστατη εκτύπωση. Ο όρος «ταχεία πρωτοτυποποίηση» (RP) χρησιμοποιείται σε μια ποικιλία βιομηχανιών για να περιγράψει μια διαδικασία για την ταχεία δημιουργία ενός συστήματος ή αναπαράσταση μέρους πριν από την τελική απελευθέρωση ή εμπορευματοποίηση. Με άλλα λόγια, η έμφαση δίνεται στη δημιουργία ενός πρωτοτύπου με πολύ γρήγορο τρόπο ή σε ένα μοντέλο βάσης από το οποίο θα συνεχιστούν και άλλα μοντέλα και τελικά η κύρια παραγωγή. Αυτή η διαδικασία χρησιμοποιείται από τους συμβούλους διαχείρισης και τους μηχανικούς λογισμικού για να περιγράψουν μια διαδικασία ανάπτυξης επιχειρηματικών και λογισμικών λύσεων κατά τμήματα που επιτρέπει στους πελάτες και άλλους ενδιαφερόμενους να δοκιμάζουν ιδέες και να παρέχουν ανατροφοδότηση κατά τη διάρκεια της διαδικασίας ανάπτυξης. Σε ένα πλαίσιο ανάπτυξης προϊόντων, το RP χρησιμοποιήθηκε ευρέως για να περιγράψει τεχνολογίες που δημιούργησαν φυσικά πρωτότυπα χρησιμοποιώντας σχέδια και ψηφιακά δεδομένα.

Οι χρήστες της τεχνολογίας RP έχουν συνειδητοποιήσει ότι ο όρος αυτός είναι ανεπαρκής και, ειδικότερα, δεν περιγράφει αποτελεσματικά πιο πρόσφατες εφαρμογές της τεχνολογίας. Βελτιώσεις στην ποιότητα της παραγωγής από αυτά τα μηχανήματα σήμαιναν ότι υπάρχει συχνά πολύ πιο στενή σχέση με το τελικό προϊόν. Πολλά μέρη στην πραγματικότητα τώρα παράγονται απευθείας σε αυτά τα μηχανήματα, οπότε δεν είναι δυνατόν να τα χαρακτηρίσουμε ως "πρωτότυπα". Ο όρος γρήγορο πρωτότυπο παραβλέπει επίσης τη βασική αρχή αυτών των τεχνολογιών, δεδομένου ότι όλοι κατασκευάζουν εξαρτήματα χρησιμοποιώντας μια πρόσθετη προσέγγιση. Μια πρόσφατα σχηματισμένη τεχνική επιτροπή της ASTM International συμφώνησε ότι πρέπει να υιοθετηθεί νέα ορολογία. Ενώ αυτό βρίσκεται ακόμα υπό συζήτηση, πρόσφατα υιοθέτησε πρότυπα της ASTM και πλέον χρησιμοποιούν τον όρο «πρόσθετη παρασκευή».

Αναφερόμενα συνοπτικά ως AM, η βασική αρχή αυτής της τεχνολογίας είναι ότι ένα μοντέλο, που αρχικά δημιουργήθηκε χρησιμοποιώντας ένα τρισδιάστατο σύστημα 3D CAD, μπορεί να κατασκευαστεί άμεσα χωρίς την ανάγκη προγραμματισμού της διαδικασίας. Αν και δεν είναι τόσο εύκολο και υπάρχουν και μειονεκτήματα, η τεχνολογία AM σίγουρα σημαντικά απλοποιεί τη διαδικασία παραγωγής σύνθετων αντικειμένων 3D απευθείας από δεδομένα CAD. Το AM χρειάζεται μόνο ορισμένες βασικές (αλλά λεπτομερείς) διαστάσεις και μια μικρή κατανόηση ως προς τον τρόπο λειτουργίας της μηχανής AM και τα υλικά που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή του τμήματος. Οι συνήθεις μέθοδοι κατασκευής απαιτούν μια προσεκτική και λεπτομερή ανάλυση της γεωμετρίας

του εξαρτήματος για να προσδιοριστούν τα πράγματα όπως η σειρά με την οποία μπορούν να κατασκευαστούν διαφορετικά χαρακτηριστικά, ποια εργαλεία και διαδικασίες πρέπει να χρησιμοποιηθούν και ποια πρόσθετα εξαρτήματα μπορεί να απαιτούνται για την ολοκλήρωση του τμήματος. Σε αντίθεση, το κλειδί για το πώς λειτουργεί το AM είναι ότι τα μέρη κατασκευάζονται προσθέτοντας υλικό σε στρώματα, μια λεπτή διατομή του τμήματος που προέρχεται από τα αρχικά δεδομένα CAD. Προφανώς στον φυσικό κόσμο, κάθε στρώμα πρέπει να έχει ένα πεπερασμένο πάχος σε αυτό και έτσι το προκύπτον μέρος θα είναι μια προσέγγιση των αρχικών δεδομένων. Όσο πιο λεπτό είναι κάθε στρώμα, τόσο πιο κοντά θα είναι το τελικό μέρος στο πρωτότυπο. Όλες οι εμπορικές μηχανές AM χρησιμοποιούν μέχρι στιγμής προσέγγιση βασισμένη σε στρώματα.

Η διαφορά προέρχεται από τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν, τον τρόπο που τα στρώματα συνδέονται μεταξύ τους και δημιουργούνται. Τέτοιες διαφορές θα καθορίσουν παράγοντες όπως ιδιότητες υλικών και μηχανικές ιδιότητες και επίσης την ακρίβεια του τελικού μέρους. Θα καθορίσουν επίσης παράγοντες όπως η ταχύτητα κατασκευής, η απαιτούμενη επεξεργασία μετά, το μέγεθος της χρησιμοποιούμενης μηχανής AM και το συνολικό κόστος της μηχανής και της διαδικασίας.

2.2 Που χρησιμοποιούνται τα προϊόντα της Προσθετικής Παρασκευής;

Αρχικά, η AM χρησιμοποιήθηκε ειδικά για να δημιουργήσει μοντέλα απεικόνισης για τα προϊόντα που ήταν σε διαδικασία ανάπτυξης. Είναι ευρέως γνωστό ότι τα μοντέλα μπορούν να είναι πολύ πιο χρήσιμα από τα σχέδια ή τις προσεγγίσεις, κατανοώντας πλήρως την πρόθεση του σχεδιαστή κατά την παρουσίαση του εννοιολογικού σχεδιασμού. Ενώ τα σχέδια είναι ταχύτερα και πιο εύκολα στη δημιουργία τους, τα μοντέλα σχεδόν πάντα απαιτούνται για να επικυρώσουν πλήρως το σχέδιο.

Με βάση τον αρχικό σκοπό της απλής κατασκευής μοντέλων, η τεχνολογία AM έχει αναπτυχθεί με την πάροδο του χρόνου καθώς βελτιώνονται τα υλικά, η ακρίβεια και η συνολική ποιότητα της παραγωγής. Τα μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν γρήγορα για να παράσχουν πληροφορίες, μια ορολογία γνωστή ως "3 Fs" της φόρμας, της τοποθέτησης και της λειτουργίας (Form, Fit, and Function). Τα αρχικά μοντέλα χρησιμοποιήθηκαν για να βοηθήσουν στην πλήρη εκτίμηση του σχήματος και του γενικού σκοπού ενός σχεδίου (Μορφή). Η βελτιωμένη ακρίβεια στη διαδικασία σήμαινε ότι τα εξαρτήματα ήταν ικανά να κατασκευαστούν σύμφωνα με τις ανοχές που απαιτούνται για σκοπούς συναρμολόγησης (Fit). Οι βελτιωμένες ιδιότητες υλικών σήμαιναν ότι τα εξαρτήματα θα μπορούσαν να αντιμετωπιστούν σωστά έτσι ώστε να μπορούν να αξιολογούνται ανάλογα με τον τρόπο με τον οποίο τελικά θα λειτουργούσαν (Function).

Η AM χρησιμοποιείται επίσης σε συνδυασμό με άλλες τεχνολογίες για τον σχηματισμό αλυσίδων επεξεργασίας (process chains), μπορεί επίσης να μειώσει σημαντικά τον χρόνο και το κόστος ανάπτυξης του προϊόντος. Προσφάτως, ορισμένες από αυτές τις τεχνολογίες έχουν αναπτυχθεί στο βαθμό που η παραγωγή είναι κατάλληλη για τελική χρήση. Αυτό εξηγεί γιατί η ορολογία έχει ουσιαστικά εξελιχθεί από το γρήγορο πρωτότυπο μέχρι την παραγωγή προσθέτων. Επιπλέον, η χρήση τεχνολογίας λέιζερ υψηλής ισχύος σήμαινε ότι τα εξαρτήματα μπορούν πλέον να κατασκευαστούν απευθείας σε διάφορα μέταλλα, επεκτείνοντας έτσι ακόμη περισσότερο την εμβέλεια εφαρμογής.

2.3 Η Γενική Διαδικασία Προσθετικής Παρασκευής

Η AM περιλαμβάνει μια σειρά από βήματα που αρχίζουν από την εικονική μορφή CAD έως το φυσικό αποτέλεσμα. Τα διάφορα προϊόντα θα περιλαμβάνουν την AM με διαφορετικούς τρόπους και σε διαφορετικούς βαθμούς. Τα μικρά, σχετικά απλά προϊόντα μπορούν να χρησιμοποιούν μόνο AM για μοντέλα απεικόνισης (visualization models), ενώ τα μεγαλύτερα, πιο σύνθετα προϊόντα με μεγαλύτερο περιεχόμενο μηχανικής μπορεί να εμπλέκουν το AM κατά τη διάρκεια πολυάριθμων σταδίων και επαναλήψεων καθ' όλη τη διαδικασία ανάπτυξης. Επιπλέον, τα πρώιμα στάδια της διαδικασίας ανάπτυξης προϊόντος μπορούν να απαιτήσουν μόνο ακατέργαστα τμήματα, με την AM να χρησιμοποιείται λόγω της ταχύτητας με την οποία μπορούν να κατασκευαστούν. Σε μεταγενέστερα στάδια της διαδικασίας, τα μέρη ενδέχεται να απαιτούν προσεκτικό καθαρισμό και μετεπεξεργασία (συμπεριλαμβανομένης της λείανσης, της προετοιμασίας της επιφάνειας και της βαφής) προτού χρησιμοποιηθούν, καθώς η AM είναι περισσότερο χρήσιμη λόγω της πολυπλοκότητας της μορφής που μπορεί να δημιουργηθεί χωρίς να χρειάζεται να χρησιμοποιηθούν εργαλεία.

Βήμα 1: CAD

Όλα τα μέρη από AM πρέπει να ξεκινούν από ένα μοντέλο λογισμικού που περιγράφει πλήρως την εξωτερική γεωμετρία. Αυτό μπορεί να συνεπάγεται τη χρήση σχεδόν οποιουδήποτε επαγγελματικού λογισμικού στερεάς μοντελοποίησης CAD, αλλά η έξοδος πρέπει να είναι μια 3D στερεή ή επιφανειακή αναπαράσταση. Ο εξοπλισμός ανάστροφης μηχανικής (Reverse Engineering) (π.χ. λέιζερ και οπτική σάρωση) μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αυτής της αναπαράστασης.

Βήμα 2: Μετατροπή σε STL

Σχεδόν κάθε μηχανήμα AM δέχεται τη μορφή αρχείου STL, η οποία έχει γίνει de facto πρότυπο, και σήμερα σχεδόν κάθε σύστημα CAD μπορεί να εξάγει μια τέτοια μορφή αρχείου. Αυτό το αρχείο περιγράφει τις εξωτερικές κλειστές επιφάνειες του αρχικού μοντέλου CAD και αποτελεί τη βάση για τον υπολογισμό των στρωμάτων.

Βήμα 3: Μεταφορά στη μηχανή προσθετικής παρασκευής (εκτυπωτής) και διαχείριση αρχείων STL

Το αρχείο STL που περιγράφει το αντικείμενο πρέπει να μεταφερθεί στο μηχανήμα AM. Εδώ μπορεί να υπάρξει κάποια γενική παραμετροποίηση του αρχείου έτσι ώστε να είναι το σωστό μέγεθος, θέση και προσανατολισμός για το χτίσιμο.

Βήμα 4: Προγραμματισμός Μηχανής

Η μηχανή AM πρέπει να ρυθμιστεί σωστά πριν από τη διαδικασία κατασκευής. Αυτές οι ρυθμίσεις θα αφορούν τις παραμέτρους κατασκευής όπως οι περιορισμοί υλικών, η πηγή ενέργειας, το πάχος στρώματος, οι χρονισμοί κλπ.

Βήμα 5: Χτίσιμο (3D εκτύπωση)

Η κατασκευή του τμήματος είναι κυρίως μια αυτοματοποιημένη διαδικασία και το μηχανήμα μπορεί σε μεγάλο βαθμό να συνεχίσει χωρίς επίβλεψη. Μόνο επιφανειακή παρακολούθηση της μηχανής πρέπει να πραγματοποιηθεί, ώστε να διασφαλιστεί ότι δεν έχουν σημειωθεί σφάλματα, όπως η εξάντληση υλικών, δύναμης ή λογισμικού δυσλειτουργίες, κλπ.

Βήμα 6: Αφαίρεση

Μόλις ολοκληρωθεί η κατασκευή από τον εκτυπωτή, τα εξαρτήματα πρέπει να αφαιρεθούν. Αυτό μπορεί να απαιτεί αλληλεπίδραση με το μηχανήμα, το οποίο μπορεί να έχει δικλίδες ασφαλείας για να εξασφαλίσει για παράδειγμα ότι οι θερμοκρασίες λειτουργίας είναι αρκετά χαμηλές ή ότι δεν υπάρχουν ενεργά κινούμενα μέρη.

Βήμα 7: Επεξεργασία μετά την εκτύπωση

Μόλις αφαιρεθεί από το μηχανήμα, τα εξαρτήματα ενδέχεται να απαιτούν πρόσθετο καθαρισμό πριν να είναι έτοιμα για χρήση. Τα εξαρτήματα ενδέχεται να είναι αδύναμα σε αυτό το στάδιο ή ενδέχεται

να έχουν υποστηρικτικά χαρακτηριστικά τα οποία πρέπει να αφαιρεθούν. Αυτό συνεπώς απαιτεί συχνά χρόνο και προσεκτικό, έμπειρο χειρωνακτικό χειρισμό.

Βήμα 8: Εφαρμογή

Τα εξαρτήματα μπορεί τώρα να είναι έτοιμα για χρήση. Εντούτοις, μπορεί επίσης να απαιτήσουν πρόσθετη θεραπεία πριν γίνουν αποδεκτές για χρήση. Για παράδειγμα, μπορεί να απαιτούν γέμιση και βαφή για να δώσουν μια αποδεκτή υφή επιφάνειας και φινίρισμα. Οι θεραπείες μπορεί να είναι επίπονες και μακρές εάν οι τελικές απαιτήσεις είναι πολύ απαιτητικές. Μπορεί επίσης να απαιτείται να συναρμολογούνται μαζί με άλλα μηχανικά ή ηλεκτρονικά εξαρτήματα για να σχηματίσουν ένα τελικό μοντέλο ή προϊόν.

Εκτός των πολυάριθμων σταδίων της διαδικασίας AM, είναι σημαντικό να συνειδητοποιήσουμε ότι πολλές μηχανές AM απαιτούν προσεκτική συντήρηση. Πολλές μηχανές AM χρησιμοποιούν εύθραυστη τεχνολογία λέιζερ ή εκτύπωσης, η οποία πρέπει να παρακολουθείται προσεκτικά και ότι κατά προτίμηση δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε βρώμικο ή επιβλαβές περιβάλλον (noisy environment). Ενώ τα μηχανήματα είναι γενικά σχεδιασμένα να λειτουργούν χωρίς επιτήρηση, είναι σημαντικό να συμπεριλαμβάνονται τακτικοί έλεγχοι με βάση το πρόγραμμα συντήρησης και ότι διαφορετικές τεχνολογίες απαιτούν διαφορετικά επίπεδα συντήρησης. Είναι επίσης σημαντικό να σημειωθεί ότι οι διαδικασίες AM δεν εμπίπτουν στα περισσότερα πρότυπα υλικών και διαδικασιών. Επίσης, πολλές εταιρίες προμήθειας τέτοιων μηχανών συνιστούν και παρέχουν πρότυπα δοκιμών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν περιοδικά για να επιβεβαιώσουν ότι τα μηχανήματα λειτουργούν εντός αποδεκτών ορίων.

Εκτός από τα μηχανήματα, τα υλικά ενδέχεται επίσης να απαιτούν προσεκτικό χειρισμό. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται σε ορισμένες διαδικασίες AM έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής και μπορεί επίσης να απαιτείται να διατηρούνται σε συνθήκες που εμποδίζουν ανεπιθύμητες χημικές αντιδράσεις. Πρέπει επίσης να αποφεύγεται η έκθεση σε υγρασία, υπερβολικό φως και άλλες μολυσματικές ουσίες. Οι περισσότερες διαδικασίες χρησιμοποιούν υλικά που μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για περισσότερες από μία κατασκευές. Εντούτοις, η επαναχρησιμοποίηση θα μπορούσε να υποβαθμίσει τις ιδιότητες αν εκτελεστεί πολλές φορές και κατά συνέπεια θα πρέπει επίσης να παρατηρηθεί μία διαδικασία για τη διατήρηση σταθερής ποιότητας υλικού μέσω της ανακύκλωσης.

2.4 Γιατί χρησιμοποιούμε τον όρο «Πρόσθετική Παρασκευή»;

Η τεχνολογία στην οποία αναφερόμαστε είναι κυρίως η χρήση πρόσθετων διεργασιών, που εναποθέτουν το υλικό στρώμα – στρώμα. Ο όρος πρόσθετη παρασκευή ή AM φαίνεται να το περιγράφει αρκετά καλά, αλλά υπάρχουν πολλοί άλλοι όροι που χρησιμοποιούνται. Όπως οι παρακάτω.

- Automated Fabrication (Autofab)
- Freeform Fabrication or Solid Freeform Fabrication
- Additive Manufacturing or Layer-Based Manufacturing
- Stereolithography or 3D Printing
- Rapid Prototyping

2.5 Διάκριση μεταξύ (AM) και κατεργασίας CNC

Η AM μοιράζεται μερικά στοιχεία από το DNA της με την επεξεργασία CNC. Το CNC είναι επίσης μια μέθοδος κατεργασίας με τη βοήθεια υπολογιστών που χρησιμοποιείται για την κατασκευή προϊόντων. Το CNC διαφέρει κυρίως επειδή πρόκειται κυρίως για μια διαδικασία αφαίρεσης και όχι για πρόσθετη διαδικασία, απαιτώντας ένα μπλοκ υλικού το οποίο πρέπει να είναι τουλάχιστον τόσο μεγάλο όσο το τμήμα που πρόκειται να κατασκευασθεί. Έτσι, οι βασικές διαφορές μεταξύ αυτών των δύο τύπων δημιουργίας εξαρτημάτων αναπτύσσονται σε αυτό το κεφάλαιο. Σημαντικό είναι να αναφέρουμε ότι δεν υπάρχει "ο καλύτερος τρόπος", αλλά υπάρχει ο "καλύτερος τρόπος, ανάλογα με την ανάγκη".

Υλικό

Η τεχνολογία AM αναπτύχθηκε αρχικά γύρω από πολυμερή υλικά, κεριά και ελασματοποιημένα φύλλα χαρτιού. Στη συνέχεια, υπήρξε εισαγωγή σύνθετων υλικών, μετάλλων και κεραμικών. Η μηχανική κατεργασία CNC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για μαλακά υλικά, όπως μέσης πυκνότητας ινοσανίδες (MDF), μηχανικά αφρώδη, μηχανικά κεριά, ακόμη και μερικά πολυμερή. Ωστόσο, η χρήση του CNC για τη διαμόρφωση μαλακότερων υλικών επικεντρώνεται στην προετοιμασία αυτών των τμημάτων για χρήση σε μια διαδικασία πολλαπλών σταδίων όπως η χύτευση. Όταν χρησιμοποιείτε CNC μηχανική κατεργασία για την παραγωγή τελικών προϊόντων, λειτουργεί

ιδιαίτερα καλά για σκληρά, σχετικά εύθραυστα υλικά όπως χάλυβες και άλλα κράματα μετάλλων για την παραγωγή εξαρτημάτων υψηλής ακρίβειας με καλά καθορισμένες ιδιότητες. Αντίθετα, ορισμένα κομμάτια παραγόμενα με AM μπορεί, να έχουν κενά ή ανισοτροπία που είναι συνάρτηση του προσανατολισμού μέρους, των παραμέτρων διεργασίας ή του τρόπου με τον οποίο το σχέδιο εισήχθη στη μηχανή, ενώ τα τμήματα CNC θα είναι κανονικά πιο ομοιογενή και προβλέψιμα στην ποιότητα.

Ταχύτητα

Η μηχανική κατεργασία CNC υψηλής ταχύτητας μπορεί γενικά να απομακρύνει το υλικό πολύ γρηγορότερα από ότι οι μηχανές AM μπορούν να προσθέσουν παρόμοιο όγκο υλικού. Ωστόσο, αυτό είναι μόνο ένα μέρος της εικόνας, καθώς η τεχνολογία AM μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την παραγωγή ενός τμήματος σε ένα μόνο στάδιο. Οι μηχανές CNC απαιτούν σημαντική εγκατάσταση και σχεδιασμό διεργασιών, ιδιαίτερα καθώς τα εξαρτήματα καθίστανται πιο περίπλοκα στη γεωμετρία τους. Επομένως, η ταχύτητα πρέπει να εξεταστεί σε σχέση με την όλη διαδικασία και όχι μόνο με τη φυσική αλληλεπίδραση του υλικού. Το CNC είναι πιθανό να είναι μια διαδικασία παραγωγής πολλών σταδίων, η οποία απαιτεί επανατοποθέτηση ή μετεγκατάσταση εξαρτημάτων εντός ενός μηχανήματος ή χρήση περισσότερων από μία μηχανών. Για να δημιουργηθεί ένα κομμάτι σε μια μηχανή AM, μπορεί να χρειαστούν μόνο μερικές ώρες, και στην πραγματικότητα πολλαπλά κομμάτια συχνά συσσωρεύονται μαζί μέσα σε ένα «single build AM». Η τελική επεξεργασία μπορεί να διαρκέσει λίγες ημέρες εάν η απαίτηση είναι για υψηλή ποιότητα. Χρησιμοποιώντας CNC μηχανική κατεργασία, ακόμη και 5-αξονική υψηλής ταχύτητας μηχανική κατεργασία, αυτή η ίδια διαδικασία μπορεί να πάρει εβδομάδες με σημαντικά μεγαλύτερη αβεβαιότητα κατά το χρόνο ολοκλήρωσης.

Πολυπλοκότητα

Όπως αναφέρθηκε παραπάνω, όσο υψηλότερη είναι η γεωμετρική πολυπλοκότητα, τόσο μεγαλύτερο είναι το πλεονέκτημα του AM σε σχέση με το CNC. Αν το CNC χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός πρωτογενούς απευθείας σε ένα κομμάτι, τότε μπορεί να υπάρχουν μερικά γεωμετρικά χαρακτηριστικά που δεν μπορούν να κατασκευαστούν. Δεδομένου ότι ένα εργαλείο μηχανουργικής κατεργασίας πρέπει να μεταφέρεται σε έναν άξονα, ενδέχεται να υπάρχουν ορισμένοι περιορισμοί προσβασιμότητας ή συγκρούσεις που εμποδίζουν το εργαλείο να βρίσκεται πάνω στην επιφάνεια κατεργασίας ενός εξαρτήματος. Οι διεργασίες AM δεν περιορίζονται με τον ίδιο τρόπο και οι υποτιμήσεις και τα εσωτερικά χαρακτηριστικά μπορούν να κατασκευαστούν εύκολα χωρίς συγκεκριμένο προγραμματισμό της διαδικασίας (σειρά εργασιών). Ορισμένα εξαρτήματα δεν μπορούν να κατασκευαστούν με CNC, εκτός εάν αποσπαστούν σε εξαρτήματα και

επανασυναρμολογηθούν σε μεταγενέστερο στάδιο. Ένας εμπειρογνώμονας στη μηχανική καταργασία πρέπει επομένως να αναλύσει κάθε μέρος πριν κατασκευαστεί για να εξασφαλίσει ότι μπορεί πραγματικά να κατασκευαστεί και να καθορίσει ποιες μέθοδοι πρέπει να χρησιμοποιηθούν. Ενώ είναι ακόμα πιθανό ότι μερικά τμήματα δεν μπορούν να κατασκευαστούν με AM, η πιθανότητα είναι πολύ χαμηλότερη και υπάρχουν γενικά τρόποι με τους οποίους αυτό μπορεί να ξεπεραστεί χωρίς πολύ μεγάλη δυσκολία.

Ακρίβεια

Τα μηχανήματα AM λειτουργούν γενικά με ανάλυση μερικών δεκάδων μικρών. Είναι κοινό για τις μηχανές AM να έχουν επίσης διαφορετική ανάλυση σε διαφορετικούς ορθογώνιους άξονες. Τυπικά, ο κατακόρυφος άξονας κατασκευής αντιστοιχεί στο πάχος στρώσης και αυτό θα ήταν χαμηλότερης ανάλυσης σε σύγκριση με τους δύο άξονες στο επίπεδο κατασκευής. Η ακρίβεια στο επίπεδο κατασκευής καθορίζεται από την τοποθέτηση του μηχανισμού κατασκευής, που συνήθως περιλαμβάνει κιβώτια ταχυτήτων και κινητήρες κάποιου είδους. Αυτός ο μηχανισμός μπορεί επίσης να καθορίσει το ελάχιστο μέγεθος χαρακτηριστικών. Για παράδειγμα, η SL χρησιμοποιεί ένα λέιζερ ως μέρος του μηχανισμού κατασκευής που θα τοποθετηθεί κανονικά χρησιμοποιώντας δίσκους με γαλβανομετρικούς καθρέφτες. Η ανάλυση των γαλβανόμετρων θα καθορίζει τις συνολικές διαστάσεις των κατασκευασμένων μερών, ενώ η διάμετρος της δέσμης λέιζερ θα καθορίζει το ελάχιστο πάχος τοιχώματος. Η ακρίβεια των μηχανών CNC από την άλλη πλευρά καθορίζεται κυρίως από μια παρόμοια θέση ανάλυσης κατά μήκος και των τριών ορθογώνιων αξόνων και από τη διάμετρο των περιστροφικών εργαλείων κοπής. Υπάρχουν παράγοντες που καθορίζονται από τη γεωμετρία του εργαλείου, όπως η ακτίνα των εσωτερικών γωνιών, αλλά το πάχος τοιχώματος μπορεί να είναι πιο λεπτό από τη διάμετρο του εργαλείου, δεδομένου ότι είναι μια διαδικασία αφαιρέσεως. Και στις δύο περιπτώσεις πολύ λεπτή λεπτομέρεια θα είναι επίσης συνάρτηση της επιθυμητής γεωμετρίας και ιδιοτήτων του δομικού υλικού.

Γεωμετρία

Οι μηχανές AM διαχωρίζουν ουσιαστικά ένα πολύπλοκο πρόβλημα 3D σε μια σειρά απλών διατομών 2D με ονομαστικό πάχος. Με τον τρόπο αυτό, αφαιρείται η σύνδεση επιφανειών σε 3D και η συνέχεια καθορίζεται από το πόσο κοντά είναι η γειτνίαση μιας διατομής με μια γειτονική. Δεδομένου ότι αυτό δεν μπορεί να γίνει εύκολα στο CNC, η καταργασία των επιφανειών πρέπει κανονικά να δημιουργείται σε 3D χώρο. Με απλές γεωμετρίες, όπως κυλίνδρους, κυβοειδείς, κώνοι κλπ., Αυτή είναι μια σχετικά εύκολη διαδικασία που ορίζεται από την ένωση σημείων κατά μήκος μιας διαδρομής. αυτά τα σημεία είναι αρκετά μακριά και ο προσανατολισμός του εργαλείου είναι

σταθερός. Σε περιπτώσεις επιφανειών ελεύθερης μορφής, αυτά τα σημεία μπορούν να γίνουν πολύ κοντά μαζί με πολλές αλλαγές στον προσανατολισμό. Τέτοιου είδους γεωμετρία μπορεί να γίνει εξαιρετικά δύσκολο να παραχθεί με CNC, ακόμη και με έλεγχο παρεμβολής 5 αξόνων ή μεγαλύτερο. Οι εγκοπές, τα περιβλήματα, οι αιχμηρές εσωτερικές γωνίες και άλλα χαρακτηριστικά μπορούν να αποτύχουν εάν τα χαρακτηριστικά αυτά ξεπερνούν ένα ορισμένο όριο.

Προγραμματισμός

Ο καθορισμός της ακολουθίας προγραμμάτων για μια μηχανή CNC μπορεί να εμπλακεί πολύ, συμπεριλαμβανομένης της επιλογής εργαλείων, των ρυθμίσεων ταχύτητας μηχανής, της θέσης και της γωνίας προσέγγισης κλπ. Πολλές μηχανές AM έχουν επίσης επιλογές που πρέπει να επιλεγούν, αλλά η εμβέλεια, η πολυπλοκότητα και οι επιπτώσεις γύρω από την επιλογή τους είναι ελάχιστα σε σύγκριση με τις κλασικές μεθόδους κατεργασίας. Το χειρότερο που μπορεί να συμβεί στις περισσότερες μηχανές AM είναι ότι το τμήμα δεν θα κατασκευαστεί πολύ καλά εάν ο προγραμματισμός δεν γίνει σωστά. Ο εσφαλμένος προγραμματισμός μιας μηχανής CNC μπορεί να προκαλέσει σοβαρή ζημιά στο μηχάνημα και μπορεί να αποτελεί κίνδυνο για την ανθρώπινη ασφάλεια.

2.6 Άλλες Συναφείς Τεχνολογίες

Η πιο κοινή μέθοδος εισαγωγής για την τεχνολογία AM είναι να δεχτεί ένα αρχείο που μετατρέπεται σε μορφή STL, αρχικά ενσωματωμένη σε ένα συμβατικό σύστημα 3D CAD. Υπάρχουν, ωστόσο, άλλοι τρόποι με τους οποίους μπορούν να δημιουργηθούν τα αρχεία STL και άλλες τεχνολογίες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε συνδυασμό με την τεχνολογία AM. Όπως:

- Reverse Engineering Technology
- Computer-Aided Engineering
- Haptic-Based CAD

Κεφάλαιο 3: Εξέλιξη της πρόσθετης παρασκευής

Μια ποικιλία διαφορετικών τομέων τεχνολογίας έπρεπε να συναντηθούν και να εξελιχθούν έτσι ώστε η τεχνολογία της προσθετικής παραγωγής (AM) να καταλήξει ως αποτέλεσμα αυτού. Οι βελτιώσεις στην υπολογιστική ισχύ και η μείωση του κόστους μαζικής αποθήκευσης βοήθησαν σίγουρα στην επεξεργασία μεγάλων ποσοτήτων δεδομένων που είναι τυπικά για τα μοντέρνα μοντέλα 3D CAD (Computer-Aided Design) σε λογικά χρονικά πλαίσια. Σήμερα, έχουμε συνηθίσει να έχουμε ισχυρούς υπολογιστές και άλλα περίπλοκα αυτοματοποιημένα μηχανήματα γύρω μας και μερικές φορές μπορεί να είναι δύσκολο για εμάς να φανταστούμε πώς οι πρωτοπόροι αγωνίστηκαν να αναπτύξουν τις πρώτες μηχανές AM.

3.1 Συνεργασία με υπολογιστές

Όπως πολλές άλλες τεχνολογίες, η AM ήρθε ως αποτέλεσμα της εφεύρεσης του υπολογιστή. Ωστόσο, υπήρξαν ελάχιστες ενδείξεις ότι οι πρώτοι υπολογιστές που χτίστηκαν τη δεκαετία του '40 (όπως το Zuse Z3, το ENIAC και το EDSAC) θα άλλαζαν τις ζωές με τον τρόπο που προφανώς έχουν. Εφευρέσεις όπως το τρανζίστορ, η θερμοδοντική βαλβίδα και ο μικροτσιπ επέτρεψαν στους υπολογιστές να γίνουν ταχύτεροι, μικρότεροι και φθηνότεροι με μεγαλύτερη λειτουργικότητα. Αυτή η εξέλιξη ήταν τόσο γρήγορη που ακόμα και ο Bill Gates της Microsoft διαψεύστηκε όταν σκέφτηκε το 1981 ότι 640 kb μνήμης θα ήταν επαρκής για οποιοδήποτε υπολογιστή με Windows. Το 1989, παραδέχτηκε το λάθος του όταν απευθύνθηκε στο Πανεπιστήμιο του Waterloo Computer Science Club.

Ένα κλειδί για την ανάπτυξη των υπολογιστών ως εργαλεία που μπορούν να χρησιμοποιηθούν έγκειται στην ικανότητά τους να εκτελούν εργασίες σε πραγματικό χρόνο. Στις αρχές, τα σοβαρά υπολογιστικά καθήκοντα χρειάστηκαν πολλές ώρες ή ακόμα και ημέρες για να προετοιμαστούν, να τρέξουν και να ολοκληρωθούν. Αυτό χρησίμευε ως εμπόδιο στην καθημερινή χρήση του υπολογιστή και μόνο από τότε που αποδείχθηκε ότι οι εργασίες μπορούν να ολοκληρωθούν σε πραγματικό χρόνο, οι υπολογιστές έγιναν αποδεκτοί ως καθημερινά αντικείμενα και όχι μόνο για ακαδημαϊκούς ή μεγάλες επιχειρήσεις. Αυτό περιλαμβάνει τη δυνατότητα εμφάνισης αποτελεσμάτων όχι μόνο αριθμητικά αλλά και γραφικά. Για αυτό οφείλουμε ένα τεράστιο «ευχαριστώ», τουλάχιστον εν μέρει, στη βιομηχανία βιντεοπαιχνιδιών, η οποία πρωτοστάτησε σε πολλές εξελίξεις στην τεχνολογία γραφικών με στόχο την εμφάνιση λεπτομερέστερων και πιο ρεαλιστικών εικόνων για την ενίσχυση της εμπειρίας των παικτών.

Το AM εκμεταλλεύεται πλήρως πολλά από τα σημαντικά χαρακτηριστικά της τεχνολογίας των υπολογιστών, τόσο άμεσα (στις ίδιες τις μηχανές AM) όσο και έμμεσα (εντός της υποστηρικτικής τεχνολογίας), όπως:

- Επεξεργαστική ισχύς: Τα αρχεία δεδομένων μπορεί να είναι πολύ μεγάλα και απαιτούν λογική ποσότητα επεξεργαστικής ισχύος για χειρισμό κατά την εγκατάσταση του μηχανήματος και κατά τον τεμαχισμό των δεδομένων πριν από την κατασκευή. Οι παλαιότερες μηχανές θα είχαν δυσκολία να χειριστούν μεγάλα αρχεία δεδομένων CAD.
- Δυνατότητα γραφικών: Η λειτουργία του μηχανήματος AM δεν απαιτεί μεγάλη μηχανή γραφικών εκτός από το να βλέπει το αρχείο κατά την τοποθέτηση εντός του χώρου του εικονικού μηχανήματος. Ωστόσο, όλα τα μηχανήματα επωφελούνται από ένα καλό γραφικό περιβάλλον χρήστη (graphical user interface – GUI) που μπορεί να κάνει τη μηχανή ευκολότερη στη δημιουργία, λειτουργία και συντήρηση.
- Έλεγχος μηχανής: Η τεχνολογία AM απαιτεί την ακριβή τοποθέτηση του εξοπλισμού με παρόμοιο τρόπο με το κέντρο επεξεργασίας υπολογιστικών αριθμών (Computer Numerical Controlled – CNC) ή ακόμα και με φωτοαντιγραφικό μηχάνημα υψηλού επιπέδου ή εκτυπωτή λέιζερ. Αυτός ο εξοπλισμός απαιτεί ελεγκτές που λαμβάνουν πληροφορίες από αισθητήρες για τον καθορισμό της κατάστασης και των ενεργοποιητών για τη θέση και άλλες λειτουργίες εξόδου. Ο υπολογισμός απαιτείται γενικά για να καθοριστούν οι απαιτήσεις ελέγχου. Η διεξαγωγή αυτών των καθηκόντων ελέγχου ακόμη και σε πραγματικό χρόνο δεν απαιτεί συνήθως σημαντικές ποσότητες επεξεργαστικής ισχύος σύμφωνα με τα σημερινά πρότυπα. Οι ειδικές λειτουργίες όπως η τοποθέτηση των μοτέρ, των φακών κ.λπ. θα απαιτούν κανονικά μεμονωμένες μονάδες ελεγκτή. Ένας υπολογιστής θα χρησιμοποιηθεί για την επίβλεψη της επικοινωνίας προς και από αυτούς τους ελεγκτές και θα περάσει δεδομένα που σχετίζονται με τη λειτουργία κατασκευής τμήματος.
- Networking: Σχεδόν κάθε υπολογιστή στις μέρες μας έχει μια μέθοδο επικοινωνίας με άλλους υπολογιστές σε όλο τον κόσμο. Τα αρχεία για την κατασκευή θα σχεδιάζονταν κανονικά σε έναν άλλο υπολογιστή από αυτόν που τρέχει τη μηχανή AM. Τα παλαιότερα συστήματα θα απαιτούσαν τη φόρτωση των αρχείων από δίσκο ή δισκέτα. Σήμερα, σχεδόν όλα τα αρχεία θα αποστέλλονται μέσω σύνδεσης Ethernet, συχνά μέσω του Διαδικτύου.
- Ενσωμάτωση (Integration): Όπως υποδεικνύεται από την ποικιλία λειτουργιών, ο υπολογιστής αποτελεί ένα κεντρικό στοιχείο που συνδέει τις διαφορετικές διαδικασίες μαζί. Ο σκοπός του υπολογιστή θα ήταν να επικοινωνεί με άλλα μέρη του συστήματος, να επεξεργάζεται δεδομένα και να αποστέλλει αυτά τα δεδομένα από ένα μέρος του συστήματος στο άλλο.

Χωρίς υπολογιστές δεν θα ήταν δυνατή η εμφάνιση τρισδιάστατων γραφικών εικόνων. Χωρίς γραφικά 3D, δεν θα υπήρχε CAD. Χωρίς αυτή την ικανότητα να αναπαριστούμε αντικείμενα ψηφιακά σε 3D, θα έχουμε περιορισμένη επιθυμία να χρησιμοποιήσουμε μηχανές για να κατασκευάσουμε οτιδήποτε άλλο εκτός από τα απλούστερα σχήματα. Επομένως, είναι ασφαλές να πούμε ότι χωρίς τους υπολογιστές που έχουμε σήμερα, δεν θα είχαμε δει να αναπτύσσεται η «προσθετική παρασκευή».

Τα προηγούμενα περιβάλλοντα σχεδιασμού που βασίζονται σε υπολογιστή απαιτούσαν φυσικά μεγάλο κεντρικό πλαίσιο και μίνι υπολογιστές. Οι σταθμοί εργασίας που διέτρεχαν γενικά τα γραφικά και τις λειτουργίες εισόδου / εξόδου συνδέθηκαν με αυτούς τους υπολογιστές. Στη συνέχεια, ο υπολογιστής εκτέλεσε τους πολύπλοκους υπολογισμούς για τον χειρισμό των μοντέλων. Αυτή ήταν μια δαπανηρή λύση βασισμένη στο γεγονός ότι ο επεξεργαστής και τα στοιχεία της μνήμης ήταν πολύ ακριβά στοιχεία. Με τη μείωση του κόστους αυτών των στοιχείων, οι προσωπικοί υπολογιστές (υπολογιστές) έγιναν βιώσιμες λύσεις. Οι παλαιότεροι υπολογιστές δεν ήταν αρκετά ισχυροί για να αντικαταστήσουν τις πολύπλοκες λειτουργίες που θα μπορούσαν να επιτελέσουν οι υπολογιστές που βασίζονταν σε σταθμούς εργασίας, αλλά η ταχεία εξέλιξη των υπολογιστών σύντομα ξεπέρασε ακόμα και τις πιο πολύπλοκες υπολογιστικές απαιτήσεις.

3.2 Σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή

Σήμερα, κάθε φοιτητής μηχανικής σχολής πρέπει να μάθει πώς να χρησιμοποιεί υπολογιστές για πολλά από τα καθήκοντά του, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης νέων σχεδίων. Οι τεχνολογίες CAD είναι διαθέσιμες για να βοηθήσουν στο σχεδιασμό μεγάλων κτιρίων και μικροεπεξεργαστών νανοκλίμακας. Η τεχνολογία CAD διατηρεί μέσα της τις γνώσεις που σχετίζονται με ένα συγκεκριμένο τύπο προϊόντος, συμπεριλαμβανομένης της γεωμετρικής, ηλεκτρικής, θερμικής, δυναμικής και στατικής συμπεριφοράς. Τα συστήματα CAD μπορεί να περιέχουν κανόνες που σχετίζονται με τέτοιες συμπεριφορές που επιτρέπουν στο χρήστη να εστιάσει στο σχεδιασμό και τη λειτουργικότητα χωρίς να ανησυχεί υπερβολικά αν ένα προϊόν μπορεί ή δεν μπορεί να λειτουργήσει. Το CAD επιτρέπει επίσης στον χρήστη να εστιάζει σε μικρά χαρακτηριστικά ενός μεγάλου προϊόντος, διατηρώντας την ακεραιότητα των δεδομένων και διατάζοντας τον να καταλάβει πώς ενσωματώνονται τα υποσυστήματα με τα υπόλοιπα.

Η τεχνολογία πρόσθετης βιομηχανικής παραγωγής χρησιμοποιεί κατά κύριο λόγο την απόδοση της μηχανολογίας, του λογισμικού 3D Solid CAD Modeling. Είναι σημαντικό να καταλάβουμε ότι αυτό είναι μόνο ένας κλάδος ενός πολύ μεγαλύτερου συνόλου συστημάτων CAD και επομένως δεν είναι

όλα τα συστήματα CAD να παράγουν έξοδο κατάλληλο για την τεχνολογία AM που βασίζεται σε στρώματα. Αυτή τη στιγμή, η τεχνολογία AM επικεντρώνεται στην αναπαραγωγή της γεωμετρικής μορφής και έτσι τα καλύτερα συστήματα CAD που χρησιμοποιούν είναι αυτά που παράγουν τέτοιες μορφές με τον πιο ακριβή και αποτελεσματικό τρόπο.

Τα πρώτα συστήματα CAD ήταν εξαιρετικά περιορισμένα από την τεχνολογία οθόνης. Τα πρώτα συστήματα απεικόνισης είχαν μικρή ή καθόλου ικανότητα να παράγουν οτιδήποτε άλλο εκτός από την αλφαριθμητική έξοδο κειμένου. Κάποιοι πρώιμοι υπολογιστές είχαν εξειδικευμένες συσκευές γραφικών εξόδου που εμφάνιζαν γραφικά ξεχωριστά από τις εντολές κειμένου που χρησιμοποιούνται για την οδήγησή τους. Παρ' όλα αυτά, οι γεωμετρικές μορφές παρουσιάστηκαν πρωτίστως σε μορφή φορέα, που απεικονίζει την έξοδο συρμάτινου πλαισίου. Εκτός από τη μεγάλη ζήτηση για την υπολογιστική ισχύ που απαιτείται για την εμφάνιση των γραφικών για τέτοια συστήματα, αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι περισσότερες οθόνες ήταν μονόχρωμες, καθιστώντας πολύ δύσκολη την εμφάνιση 3D γεωμετρικών μορφών στην οθόνη χωρίς φωτισμό και σκίαση.

Το CAD δεν θα είχε αναπτυχθεί τόσο γρήγορα αν δεν ήταν για τις απαιτήσεις που θέτει η Computer Aided Manufacture (CAM). Το CAM αντιπροσωπεύει ένα κανάλι για τη μετατροπή των εικονικών μοντέλων που αναπτύσσονται στο CAD στα φυσικά προϊόντα που χρησιμοποιούμε στην καθημερινότητά μας. Είναι αμφίβολο ότι χωρίς τα αιτήματα που συνδέονται με αυτή τη μετατροπή από εικονικό σε πραγματικό, το CAD θα είχε αναπτυχθεί μέχρι τώρα ή τόσο γρήγορα. Αυτό, με τη σειρά του, τροφοδοτήθηκε από τις εξελίξεις στις σχετικές τεχνολογίες, όπως οι τεχνολογίες επεξεργαστή, μνήμης και οθόνης. Τα συστήματα CAM παράγουν τον κωδικό για αριθμητικά ελεγχόμενα (numerically controlled – NC) μηχανήματα, συνδυάζοντας ουσιαστικά τα δεδομένα συντεταγμένων με εντολές για την επιλογή και ενεργοποίηση των εργαλείων κοπής. Οι πρώτες τεχνολογίες NC θα έπαιρναν δεδομένα CAM σχετικά με τη θέση των μηχανικών χαρακτηριστικών, όπως τρύπες, σχισμές, θήκες κλπ. Αυτά τα χαρακτηριστικά θα κατασκευαστούν στη συνέχεια με μηχανική κατεργασία από ένα υλικό αποθεμάτων. Καθώς τα NC μηχανήματα απέδειξαν την αξία τους με την ακριβή, αυτοματοποιημένη λειτουργία τους, η πολυπλοκότητα των χαρακτηριστικών αυξήθηκε. Αυτό έχει επεκταθεί τώρα στην ικανότητα να μηχανήσουν εξαιρετικά πολύπλοκες, ελεύθερες μορφές επιφάνειες. Ωστόσο, υπάρχουν δύο βασικοί περιορισμοί σε όλες τις μηχανές NC:

- Σχεδόν κάθε μέρος πρέπει να γίνει σταδιακά, συχνά απαιτώντας πολλαπλές περάσματα για την αφαίρεση υλικού και τις ρυθμίσεις.
- Όλες οι μηχανικές κατεργασίες εκτελούνται από μια κατεύθυνση προσέγγισης (μερικές φορές αναφέρεται ως κατασκευή 2.5D αντί για παραγωγή 3D). Αυτό απαιτεί το υλικό αποθεμάτων να

διατηρείται σε ένα συγκεκριμένο προσανατολισμό και ότι δεν μπορεί να είναι διαθέσιμο όλο το υλικό σε οποιοδήποτε στάδιο της διαδικασίας.

Ως εκ τούτου, η μηχανουργική κατεργασία NC απαιτεί μόνο λογισμικό επιφανειακής μοντελοποίησης. Όλα τα αρχικά συστήματα CAM βασίστηκαν στο μοντέλο επιφάνειας CAD. Η τεχνολογία AM ήταν η πρώτη αυτοματοποιημένη διαδικασία κατασκευής με υπολογιστή που απαιτούσε πραγματικά 3D μοντέλα CAD. Ήταν απαραίτητο να έχουμε μια πλήρως κλειστή επιφάνεια για να παράγουμε τις συντεταγμένες οδήγησης για AM. Αυτό μπορεί να επιτευχθεί χρησιμοποιώντας συστήματα επιφανειακής μοντελοποίησης, αλλά επειδή οι επιφάνειες περιγράφονται από καμπύλες ορίων, είναι συχνά δύσκολο να συνδεθούν αυτές με ακρίβεια και ακρίβεια. Ακόμα και αν τα κενά είναι ανεπαίσθητα, τα μοντέλα που προκύπτουν μπορεί να είναι δύσκολο να κατασκευαστούν χρησιμοποιώντας το AM. Τουλάχιστον, τυχόν ανακρίβειες στο τρισδιάστατο μοντέλο θα μεταβιβάζονταν στο τμήμα AM που κατασκευάστηκε. Οι εφαρμογές της πρόωρης AM συχνά εμφάνιζαν δυσκολίες λόγω των σχετικών προβλημάτων με το λογισμικό επιφανειακής μοντελοποίησης.

Δεδομένου ότι είναι σημαντικό για τα συστήματα AM να έχουν ακριβή μοντέλα που είναι πλήρως κλειστά, προτιμάται η στερεή CAD μοντελοποίηση. Το Solid CAD modeling εξασφαλίζει ότι όλα τα μοντέλα που κατασκευάζονται έχουν όγκο και, ως εκ τούτου, εξ ορισμού είναι πλήρως κλειστές επιφάνειες. Ενώ η επιφανειακή μοντελοποίηση μπορεί να χρησιμοποιηθεί στην κατασκευή μέρους, δεν μπορούμε πάντα να είμαστε βέβαιοι ότι το τελικό μοντέλο αντιπροσωπεύεται πιστά ως στερεό. Αυτά τα μοντέλα είναι γενικά απαραίτητα για εργαλεία μηχανικής υποβοηθούμενης από υπολογιστές (CAE) όπως η ανάλυση πεπερασμένων στοιχείων (FEA), αλλά είναι επίσης πολύ σημαντικά για άλλες διαδικασίες CAM.

Τα περισσότερα συστήματα CAD μπορούν τώρα εύκολα να τρέξουν σε υπολογιστές. Αυτό είναι γενικά αποτέλεσμα των βελτιώσεων στην τεχνολογία υπολογιστών που αναφέρθηκαν προηγουμένως, αλλά είναι επίσης αποτέλεσμα βελτιώσεων στον τρόπο παρουσίασης, χειρισμού και αποθήκευσης δεδομένων CAD. Τα περισσότερα συστήματα CAD χρησιμοποιούν αυτές τις μέρες μη ομοιόμορφες ορθολογικές βάσεις (Non-Uniform Rational Basis-Splines) ή NURBS. Τα NURBS είναι ένας εξαιρετικός τρόπος για τον ακριβή ορισμό των καμπυλών και των επιφανειών που αντιστοιχούν στο εξωτερικό περίβλημα ενός μοντέλου CAD. Δεδομένου ότι οι ορισμοί μοντέλων μπορούν να περιλαμβάνουν ελεύθερες επιφάνειες μορφής καθώς και απλά γεωμετρικά σχήματα, η αναπαράσταση πρέπει να εξυπηρετεί αυτό και οι σφήγγες είναι αρκετά σύνθετες ώστε να

αντιπροσωπεύουν τέτοια σχήματα χωρίς να κάνουν τα αρχεία πολύ μεγάλα και δύσκαμπτα. Είναι επίσης εύκολο να χειριστούν για να τροποποιήσουν το προκύπτον σχήμα.

Η τεχνολογία CAD έχει βελτιωθεί ταχέως στις ακόλουθες γραμμές:

- **Ρεαλισμός (Realism):** Με τις επιδράσεις φωτισμού και σκίασης, την ανίχνευση ακτίνων και άλλες φωτορεαλιστικές τεχνικές απεικόνισης, καθίσταται δυνατή η δημιουργία εικόνων των μοντέλων CAD που είναι δύσκολο να διακριθούν από τις πραγματικές φωτογραφίες. Με κάποιους τρόπους, αυτό μειώνει τις απαιτήσεις στα μοντέλα AM για σκοπούς απεικόνισης.
- **Ευχρηστία και διεπαφή χρήστη (UI):** Αρχικά το λογισμικό CAD απαιτούσε την εισαγωγή των οδηγιών που βασίζονται σε κείμενο μέσω ενός πλαισίου διαλόγου (dialog box). Η ανάπτυξη γραφικών GUI που βασίζονται σε Windows έχει οδηγήσει σε διαλόγους βασισμένους σε γραφικά και ακόμη και σε άμεσο χειρισμό μοντέλων μέσα σε εικονικά περιβάλλοντα 3D. Οι οδηγίες εκδίδονται μέσω της χρήσης των αναπτυσσόμενων συστημάτων μενού και των σχετικών με το περιβάλλον εντολών. Για να ταιριάζει σε διαφορετικές προτιμήσεις και στυλ των χρηστών, είναι συχνά δυνατό να εκτελεστεί η ίδια οδηγία με διαφορετικούς τρόπους. Τα πληκτρολόγια εξακολουθούν να είναι απαραίτητα για την εισαγωγή συγκεκριμένων μετρήσεων, αλλά η χρηστικότητα των συστημάτων CAD έχει βελτιωθεί δραματικά. Υπάρχει ακόμα ένας τρόπος για να φτάσετε τα συστήματα CAD στη διάθεση όσων δεν διαθέτουν τεχνολογικές γνώσεις ή χωρίς εκπαίδευση.
- **Περιεχόμενο μηχανικού (Engineering content):** Δεδομένου ότι το CAD είναι σχεδόν ουσιαστικό μέρος της κατάρτισης ενός σύγχρονου μηχανικού, είναι ζωτικής σημασίας το λογισμικό να περιλαμβάνει όσο το δυνατόν περισσότερη τεχνολογία. Με το μοντέλο CAD μπορεί να υπολογιστούν οι όγκοι και οι μάζες των μοντέλων, να διερευνηθούν οι προσαρμογές και οι αποστάσεις σύμφωνα με τις παραλλαγές ανοχής και να εξάγονται αρχεία με δεδομένα ματιών για FEA. Η FEA είναι συχνά δυνατή ακόμη και χωρίς να χρειάζεται να εγκαταλείψετε το σύστημα CAD.
- **Ταχύτητα:** Όπως προαναφέρθηκε, η χρήση του NURBS βοηθά στη βελτιστοποίηση του χειρισμού δεδομένων CAD. Τα συστήματα CAD συνεχώς βελτιστοποιούνται με διάφορους τρόπους, κυρίως με την αξιοποίηση των εξελίξεων υλικού των υπολογιστών.
- **Ακρίβεια:** Αν αναμένονται υψηλές ανοχές για ένα σχέδιο τότε είναι σημαντικό οι υπολογισμοί να είναι ακριβείς. Η υψηλή ακρίβεια μπορεί να προκαλέσει μεγάλες απαιτήσεις στον χρόνο επεξεργασίας και τη μνήμη.
- **Πολυπλοκότητα:** Όλα τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορούν να οδηγήσουν σε εξαιρετικά πολύπλοκα συστήματα. Πρόκειται για μια πρόκληση για τους πωλητές λογισμικού να ενσωματώσουν αυτά τα χαρακτηριστικά χωρίς να τα κάνουν δύσκαμπτα και ανεφάρμοστα.

- Ευχρηστία: Οι πρόσφατες εξελίξεις στην τεχνολογία CAD έχουν επικεντρωθεί στη διάθεση των συστημάτων σε ένα ευρύτερο φάσμα χρηστών. Ειδικότερα ο στόχος ήταν να επιτραπεί στους αθλούμενους χρήστες να είναι σε θέση να σχεδιάζουν σύνθετα μέρη γεωμετρίας για τον εαυτό τους. Τώρα υπάρχουν συστήματα 3D στερεών μοντέλων CAD που λειτουργούν εξ ολοκλήρου μέσα σε ένα πρόγραμμα περιήγησης ιστού με παρόμοιες δυνατότητες στα συστήματα desktop μόλις πριν από 10 χρόνια.

Πολλοί προμηθευτές λογισμικού CAD επικεντρώνουν την προσοχή τους στην παραγωγή εξαιρετικά ολοκληρωμένων περιβαλλόντων σχεδιασμού που επιτρέπουν στους σχεδιαστές να εργάζονται ως ομάδες και να μοιράζονται σχέδια σε διάφορες πλατφόρμες και για διαφορετικά τμήματα. Οι βιομηχανικοί σχεδιαστές πρέπει να συνεργάζονται με τις πωλήσεις και το μάρκετινγκ, τους σχεδιαστές μηχανικών, τους αναλυτές, τους κατασκευαστές μηχανικών και πολλούς άλλους κλάδους μιας οργάνωσης για να εξελιχθεί το σχέδιο σε προϊόν. Τέτοια υποκαταστήματα μπορεί να βρίσκονται ακόμη και σε διάφορες περιοχές του κόσμου και μπορεί να είναι μέρος του ίδιου οργανισμού ή να ενεργούν ως υπεργολάβοι. Επομένως, το Διαδίκτυο πρέπει επίσης να ενσωματωθεί στα εν λόγω συστήματα λογισμικού, με κατάλληλα μέτρα για τη γρήγορη και ακριβή διαβίβαση και προστασία της πνευματικής ιδιοκτησίας.

Είναι πολύ πιθανό να χειριστεί άμεσα το αρχείο CAD για να δημιουργήσει τα δεδομένα φέτας που θα οδηγήσουν μια μηχανή AM, και αυτό συνήθως αναφέρεται ως άμεσος τεμαχισμός. Ωστόσο, αυτό σημαίνει ότι κάθε σύστημα CAD πρέπει να έχει έναν άμεσο αλγόριθμο τεμαχισμού (direct slicing algorithm) που θα πρέπει να είναι συμβατός με όλους τους διαφορετικούς τύπους τεχνολογίας AM. Εναλλακτικά, κάθε πωλητής συστήματος AM θα πρέπει να γράψει μια ρουτίνα (routine) για κάθε σύστημα CAD. Και οι δύο αυτές προσεγγίσεις δεν είναι πρακτικές. Η λύση είναι να χρησιμοποιήσετε μια γενική μορφή που να είναι ειδική για την τεχνολογία. Αυτή η γενική μορφή αναπτύχθηκε από την 3D Systems, ΗΠΑ, η οποία ήταν η πρώτη εταιρεία που εμπορευόταν την τεχνολογία AM και κάλεσε τη μορφή αρχείου "STL" μετά την τεχνολογία στερεολιθογραφίας τους.

Η μορφή αρχείου STL καταχωρήθηκε σε δημόσιο τομέα (public domain) για να επιτρέψει σε όλους τους πωλητές CAD να την έχουν πρόσβαση εύκολα με την ελπίδα να την ενσωματώσουν στα συστήματά τους. Αυτή η στρατηγική ήταν επιτυχημένη και το STL είναι τώρα ένα πρότυπο αποτέλεσμα για σχεδόν όλα τα συστήματα CAD με σταθερή μοντελοποίηση και έχει επίσης υιοθετηθεί από τους πωλητές συστημάτων AM. Το STL χρησιμοποιεί τρίγωνα για να περιγράψει τις επιφάνειες που πρόκειται να κατασκευαστούν.

Οι απαιτήσεις σχετικά με την τεχνολογία CAD στο μέλλον θα αλλάξουν σε σχέση με την AM. Καθώς προχωράμε προς όλο και περισσότερη λειτουργικότητα στα μέρη που παράγει η AM, πρέπει να

καταλάβουμε ότι το σύστημα CAD πρέπει να περιλαμβάνει κανόνες που σχετίζονται με το AM. Μέχρι σήμερα, η εστίαση έχει επικεντρωθεί στην εξωτερική γεωμετρία. Στο μέλλον, ίσως χρειαστεί να γνωρίζουμε κανόνες που σχετίζονται με το πώς λειτουργούν τα συστήματα AM έτσι ώστε να μπορεί να βελτιστοποιηθεί το τελικό αποτέλεσμα.

Κεφάλαιο 4: Προσθετική Παραγωγή – Βήματα διαδικασίας

Κάθε διαδικασία ανάπτυξης προϊόντος που περιλαμβάνει μια μηχανή παραγωγής προσθέτων απαιτεί από τον χειριστή να περάσει από μια καθορισμένη σειρά εργασιών. Εύχρηστες "προσωπικές" μηχανές 3D εκτύπωσης υπογραμμίζουν την απλότητα αυτής της σειράς εργασιών. Αυτά τα desktop μηχανήματα χαρακτηρίζονται από το χαμηλό κόστος τους, την απλότητα χρήσης τους και την ικανότητά τους να τοποθετούνται σε περιβάλλον κατοικίας ή γραφείου. Οι μεγαλύτερες και πιο "βιομηχανικές" μηχανές AM είναι πιο ικανές να συντονιστούν ώστε να ταιριάζουν στις διαφορετικές απαιτήσεις των χρηστών και συνεπώς χρειάζονται περισσότερη τεχνογνωσία για να λειτουργήσουν αλλά με μια ευρύτερη ποικιλία πιθανών αποτελεσμάτων και αποτελεσμάτων που μπορεί να χρησιμοποιηθεί καλά από έμπειρο χειριστή. Τέτοιες μηχανές απαιτούν συνήθως πιο προσεκτική εγκατάσταση σε βιομηχανικά περιβάλλοντα.

4.1 Βήματα Επεξεργασίας

Βήμα 1: Σύλληψη ιδέας και CAD

Πρέπει να ξεκινήσουμε με φαντασία. Η γενική ιδέα του προϊόντος. Το βλέμμα και η λειτουργικότητά του. Ανεξάρτητα από το πώς μπορεί να παρουσιαστεί η πρώτη ιδέα, από κειμενικές και αφηγηματικές περιγραφές σε σκίτσα και αντιπροσωπευτικά μοντέλα. Εάν πρόκειται να χρησιμοποιηθεί AM, η περιγραφή του προϊόντος πρέπει να είναι σε ψηφιακή μορφή που επιτρέπει την πραγματοποίηση ενός φυσικού μοντέλου. Μπορεί να είναι ότι η τεχνολογία AM θα χρησιμοποιηθεί για πρωτότυπο και όχι για την κατασκευή του τελικού προϊόντος, αλλά σε κάθε περίπτωση, υπάρχουν πολλά στάδια σε μια διαδικασία ανάπτυξης προϊόντων όπου απαιτούνται ψηφιακά μοντέλα.

Η τεχνολογία AM δεν θα υπήρχε αν δεν υπήρχε το 3D CAD. Αυτό σημαίνει ότι πριν από τη δημιουργία ψηφιακών στερεών συστημάτων σε υπολογιστές δεν μπορούσαμε να χρησιμοποιήσουμε αυτή την τεχνολογία. Αρχικά, αυτή ήταν η βασική αρχή που περιβάλλει την τεχνολογία επεξεργασίας CNC. Η AM μπορεί επομένως να περιγραφεί ως άμεση ή εξορθολογισμένη διαδικασία σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή για τη διαδικασία παραγωγής υπολογιστών (CAD / CAM). Σε αντίθεση με τις περισσότερες άλλες τεχνολογίες CAD / CAM, υπάρχει ελάχιστη ή καμία παρέμβαση μεταξύ των φάσεων σχεδιασμού και κατασκευής της AM.

Επομένως, η γενική διαδικασία AM πρέπει να ξεκινά με πληροφορίες 3D CAD. Μπορεί να υπάρχουν διάφοροι τρόποι για τον τρόπο δημιουργίας των τρισδιάστατων δεδομένων προέλευσης. Αυτή η περιγραφή μοντέλου θα μπορούσε να δημιουργηθεί από έναν εμπειρογνώμονα σχεδίασης μέσω ενός

περιβάλλοντος χρήστη, μέσω λογισμικού ως μέρος ενός αυτοματοποιημένου αλγορίθμου βελτιστοποίησης, με τρισδιάστατη σάρωση ενός υπάρχοντος φυσικού μέρους ή με κάποιον συνδυασμό όλων αυτών. Τα περισσότερα συστήματα 3D CAD είναι στερεά συστήματα μοντελοποίησης με εξαρτήματα επιφανειακής μοντελοποίησης. στερεά μοντέλα κατασκευάζονται συχνά συνδυάζοντας επιφάνειες μαζί ή προσθέτοντας πάχος σε μια επιφάνεια. Στο παρελθόν, το λογισμικό 3D CAD modeling δυσκολευόταν να δημιουργήσει πλήρως κλειστά στερεά μοντέλα και συχνά τα μοντέλα θα εμφανίζονταν στον περιστασιακό παρατηρητή να περικλείονται, αλλά στην πραγματικότητα δεν κλείνονταν μαθηματικά. Αυτά τα μοντέλα θα μπορούσαν να οδηγήσουν σε απρόβλεπτη έξοδο από μηχανές AM, με διαφορετικές τεχνολογίες AM που αντιμετωπίζουν τα κενά με διαφορετικούς τρόπους.

Σήμερα το λογισμικό 3D σχεδίασης είναι αρκετά χρήσιμο και επιβεβαιώνει εάν το σώμα είναι κλειστό και για να συνεχίσει να είναι σταθερό. Υπάρχουν ακόμα μερικά θέματα, αλλά τείνουν να επιλυθούν, όλα αυτά, κατά τη μετατροπή από οποιοδήποτε τύπο αρχείου CAD σε αρχείο STL. Μπορεί να υπάρχει κάποιο κενό, ειδικά όταν υπάρχουν αρθρώσεις.

Βήμα 2: Μετατροπή σε STL/AMF αρχείο

Σχεδόν κάθε τεχνολογία AM χρησιμοποιεί τη μορφή αρχείου STL. Ο όρος STL προέρχεται από τη στερεολιθογραφία, η οποία ήταν η πρώτη εμπορική τεχνολογία AM από τα συστήματα 3D στη δεκαετία του 1990. Το STL είναι κατά κάποιο τρόπο η μετάφραση για το μοντέλο CAD από την άποψη της γεωμετρίας του και μόνο. Είναι το ίδιο τελικό σώμα χωρίς δεδομένα κατασκευής, ιστορικό μοντελοποίησης κλπ., Και προσεγγίζοντας τις επιφάνειες του μοντέλου με μια σειρά από τριγωνικές όψεις. Το ελάχιστο μέγεθος αυτών των τριγώνων μπορεί να οριστεί στο μεγαλύτερο μέρος του λογισμικού CAD και ο στόχος είναι να διασφαλιστεί ότι τα μοντέλα που δημιουργούνται δεν εμφανίζουν προφανή τρίγωνα στην επιφάνεια. Το μέγεθος του τριγώνου υπολογίζεται στην πραγματικότητα με βάση την ελάχιστη απόσταση μεταξύ του επιπέδου που αντιπροσωπεύει το τρίγωνο και της επιφάνειας που υποτίθεται ότι αντιπροσωπεύει. Με άλλα λόγια, ένας βασικός κανόνας είναι να διασφαλιστεί ότι η μετατόπιση ελάχιστου τριγώνου είναι μικρότερη από την ανάλυση της μηχανής AM. Η διαδικασία μετατροπής σε STL είναι αυτόματη στα περισσότερα CAD. Τα αρχεία STL είναι μια μη ταξινομημένη συλλογή κορυφών τριγώνου και κανονικών φορέων επιφάνειας. Ως εκ τούτου, ένα αρχείο STL δεν διαθέτει μονάδες, χρώμα, υλικό ή άλλες πληροφορίες χαρακτηριστικών. Αυτοί οι περιορισμοί ενός αρχείου STL οδήγησαν στην πρόσφατη έγκριση μιας νέας μορφής αρχείου "AMF". Αυτή η μορφή είναι τώρα μια διεθνής μορφή ASTM / ISO που επεκτείνει τη μορφή STL ώστε να περιλαμβάνει διαστάσεις, χρώμα, υλικό και πολλά άλλα χρήσιμα χαρακτηριστικά. Από τη συγγραφή αυτού του βιβλίου, αρκετές μεγάλες εταιρείες CAD και πωλητές

υλικού AM δήλωσαν δημόσια ότι θα υποστηρίζουν την AMF στο λογισμικό της επόμενης γενιάς τους. Έτσι, παρόλο που ο όρος STL χρησιμοποιείται σε όλο το υπόλοιπο του εγχειριδίου, το αρχείο AMF θα μπορούσε απλώς να αντικατασταθεί οπουδήποτε εμφανίζεται το STL, καθώς το AMF έχει όλα τα πλεονεκτήματα της μορφής αρχείου STL με πολλούς λιγότερους περιορισμούς.

Το λογισμικό επιδιόρθωσης αρχείων STL χρησιμοποιείται όταν υπάρχουν προβλήματα με το αρχείο STL που μπορεί να εμποδίσει την ορθή κατασκευή του τμήματος. Με σύνθετες γεωμετρίες, μπορεί να είναι δύσκολο για έναν άνθρωπο να ανιχνεύσει τέτοια προβλήματα κατά την επιθεώρηση του CAD ή των επακόλουθων δεδομένων STL. Εάν τα σφάλματα είναι μικρά, τότε μπορούν ακόμη και να περάσουν απαρατήρητα μέχρι να κατασκευαστεί το κομμάτι. Τέτοιο λογισμικό μπορεί συνεπώς να εφαρμοστεί ως στάδιο ελέγχου για να διασφαλιστεί ότι δεν υπάρχουν προβλήματα με τα δεδομένα του αρχείου STL πριν γίνει η κατασκευή.

Δεδομένου ότι το STL είναι ουσιαστικά μια περιγραφή επιφάνειας, τα αντίστοιχα τρίγωνα στα αρχεία πρέπει να δείχνουν προς τη σωστή κατεύθυνση. με άλλα λόγια, ο κανονικός φορέας επιφάνειας που σχετίζεται με το τρίγωνο πρέπει να δείχνει ποια πλευρά του τριγώνου είναι έξω από το εσωτερικό του τμήματος. Η διατομή που αντιστοιχεί στα στρώματα τμήματος μιας περιοχής κοντά σε έναν ανεστραμμένο κανονικό φορέα μπορεί συνεπώς να είναι η αντιστροφή του επιθυμητού. Επιπλέον, η πολύπλοκη και εξαιρετικά ασυνεχής γεωμετρία μπορεί να οδηγήσει σε κορυφές τριγώνου που δεν ευθυγραμμίζονται σωστά. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε κενά στην επιφάνεια. Διάφορες τεχνολογίες AM μπορούν να αντιδρούν σε αυτά τα προβλήματα με διαφορετικούς τρόπους. Ορισμένα μηχανήματα ενδέχεται να επεξεργάζονται τα δεδομένα STL κατά τρόπο ώστε να γεφυρωθούν τα κενά. Ωστόσο, αυτή η γέφυρα μπορεί να μην αντιπροσωπεύει την επιθυμητή επιφάνεια και μπορεί να είναι δυνατόν να συμπεριληφθούν στο τμήμα πρόσθετο, ανεπιθύμητο υλικό.

Ενώ τα περισσότερα σφάλματα μπορούν να ανιχνευθούν και να διορθωθούν αυτόματα, ενδέχεται να υπάρχει και η απαίτηση για χειροκίνητη παρέμβαση. Επομένως, το λογισμικό θα πρέπει να επισημάνει το πρόβλημα, υποδεικνύοντας, για παράδειγμα, τα θεωρούμενα ανεστραμμένα τρίγωνα. Δεδομένου ότι οι γεωμετρίες μπορούν να γίνουν πολύ περίπλοκες, μπορεί να είναι δύσκολο για το λογισμικό να διαπιστώσει εάν το αποτέλεσμα είναι στην πραγματικότητα ένα λάθος ή κάτι που ήταν μέρος της αρχικής πρόθεσης σχεδιασμού.

Βήμα 3: Μεταφορά σε εκτυπωτή 3D και διαχείριση STL

Μόλις δημιουργηθεί το αρχείο STL, το επόμενο βήμα είναι η είσοδος στο κατάλληλο λογισμικό του εκτυπωτή, προκειμένου να γίνει η τελική παραμετροποίηση πριν από την εκτύπωση.

Αρχικά πρέπει να ελέγξουμε ότι το κομμάτι είναι σωστό. Το λογισμικό συστήματος AM έχει συνήθως ένα εργαλείο απεικόνισης που επιτρέπει στο χρήστη να βλέπει και να χειρίζεται το τμήμα. Ο χρήστης ενδέχεται να επιθυμεί να επανατοποθετήσει το τμήμα ή ακόμα και να αλλάξει τον προσανατολισμό για να μπορέσει να κατασκευαστεί σε συγκεκριμένη θέση μέσα στο μηχάνημα. Είναι αρκετά κοινό να κατασκευάζετε περισσότερα από ένα μέρη σε μια μηχανή AM κάθε φορά. Αυτό μπορεί να είναι πολλαπλάσια του ίδιου τμήματος (απαιτώντας έτσι μια λειτουργία αντιγραφής) ή τελείως διαφορετικά αρχεία STL. Τα αρχεία STL μπορούν να κλιμακωθούν γραμμικά αρκετά εύκολα. Ορισμένες εφαρμογές μπορεί να απαιτούν το τμήμα AM να είναι ελαφρώς μεγαλύτερο ή ελαφρώς μικρότερο από το πρωτότυπο με σκοπό τη συρρίκνωση της διαδικασίας ή των επιστρώσεων και έτσι μπορεί να απαιτηθεί κλιμάκωση πριν από την οικοδόμηση. Οι εφαρμογές ενδέχεται επίσης να απαιτούν την αναγνώριση του μέρους με κάποιο τρόπο και ορισμένα εργαλεία λογισμικού έχουν αναπτυχθεί για την προσθήκη κειμένου και απλών λειτουργιών σε μορφοποιημένα δεδομένα STL για το σκοπό αυτό. Αυτό θα γίνει με τη μορφή προσθήκης χαρακτήρων με 3D χαρακτήρες. Περισσότερες ασυνήθιστες περιπτώσεις μπορεί ακόμη και να απαιτούν κατακερματισμό των αρχείων STL (π.χ. για τμήματα που μπορεί να είναι πολύ μεγάλα) ή ακόμα και συγχώνευση πολλαπλών αρχείων STL. Θα πρέπει να σημειωθεί ότι όλες οι μηχανές AM δεν θα έχουν όλες τις λειτουργίες που αναφέρονται εδώ, αλλά πολλά εργαλεία λογισμικού χειρισμού αρχείων STL είναι διαθέσιμα για αγορά ή, σε ορισμένες περιπτώσεις, δωρεάν λήψη για την εκτέλεση αυτών των λειτουργιών πριν από την αποστολή του αρχείου σε ένα μηχάνημα.

Βήμα 4: 3D Printer Setup

Όλοι οι εκτυπωτές θα έχουν τουλάχιστον κάποιες παραμέτρους εγκατάστασης που είναι συγκεκριμένες για αυτό το μηχάνημα ή τη διαδικασία. Ορισμένες μηχανές σχεδιάζονται για να τρέχουν με διάφορα υλικά και μπορεί επίσης να έχουν κάποιες παραμέτρους που απαιτούν βελτιστοποίηση ώστε να ταιριάζουν με τον τύπο του προς κατασκευή τμήματος ή επιτρέπουν την κατασκευή ταχύτερα αλλά με φτωχότερη ανάλυση. Τέτοιες μηχανές μπορούν να έχουν πολλές διαθέσιμες επιλογές ρύθμισης. Είναι συνηθισμένο στις πιο περίπλοκες περιπτώσεις να έχετε προεπιλεγμένες ρυθμίσεις ή να αποθηκεύετε αρχεία από ρυθμίσεις που έχουν οριστεί προηγουμένως, για να επιταχύνετε τη διαδικασία εγκατάστασης μηχανών και να αποφύγετε λάθη. Κανονικά, μια λανθασμένη διαδικασία ρύθμισης θα εξακολουθήσει να δημιουργεί ένα τμήμα. Ωστόσο, η τελική ποιότητα αυτού του μέρους μπορεί να είναι απαράδεκτη.

Άλλοι σχεδιάζονται μόνο για να τρέξουν μερικά συγκεκριμένα υλικά και να δώσουν στο χρήστη λίγες επιλογές για να μεταβάλλουν το πάχος του στρώματος ή άλλες παραμέτρους δόμησης. Αυτοί οι τύποι μηχανών θα έχουν πολύ λίγες αλλαγές στις ρυθμίσεις για να χτίσουν.

Εκτός από τη ρύθμιση παραμέτρων του λογισμικού μηχανής, τα περισσότερα μηχανήματα πρέπει να προετοιμαστούν φυσικά για την κατασκευή. Ο χειριστής πρέπει να ελέγξει για να βεβαιωθεί ότι έχουν φορτωθεί επαρκή δομικά υλικά στο μηχάνημα για να ολοκληρωθεί η κατασκευή. Για τα μηχανήματα που χρησιμοποιούν σκόνη, η σκόνη κοσκινίζεται συχνά και στη συνέχεια φορτώνεται και ισοπεδώνεται στο μηχάνημα ως μέρος της διαδικασίας ρύθμισης. Για διαδικασίες που χρησιμοποιούν πλάκα κατασκευής, η πλάκα πρέπει να εισαχθεί και να ισοπεδωθεί σε σχέση με τους άξονες της μηχανής. Ορισμένες από αυτές τις λειτουργίες ρύθμισης μηχανών είναι αυτοματοποιημένες ως μέρος της εκκίνησης μιας κατασκευής, αλλά για τα περισσότερα μηχανήματα αυτές οι εργασίες γίνονται με το χέρι από εκπαιδευμένο χειριστή.

Βήμα 5: Χτίσιμο

Παρόλο που επωφελούνται από τη βοήθεια ηλεκτρονικών υπολογιστών, τα πρώτα στάδια της διαδικασίας AM είναι ημιαυτόματα καθήκοντα που απαιτούν σημαντικό χειρωνακτικό έλεγχο, αλληλεπίδραση και λήψη αποφάσεων. Και μέχρι τώρα δεν υπάρχει φυσικό σώμα ή αλληλεπίδραση με οποιοδήποτε είδος εκτυπωτή. Όλες οι μηχανές AM θα έχουν μια παρόμοια ακολουθία διαστρωμάτωσης, συμπεριλαμβανομένης μιας πλατφόρμας με δυνατότητα προσαρμογής ύψους ή κεφαλής εναπόθεσης, μηχανισμών εναπόθεσης / εξαπλώσεως υλικών και σχηματισμού διατομής στρώματος. Αυτό είναι το βήμα που βασίζεται σε στρώματα που παίρνει. Μερικοί εκτυπωτές θα συνδυάζουν ταυτόχρονα την εναπόθεση υλικού και τη δημιουργία στρώματος, ενώ άλλοι θα τις χωρίζουν. Εφόσον δεν εντοπιστούν σφάλματα κατά τη διάρκεια της κατασκευής, το κεφάλι του εκτυπωτή θα επαναλάβει τη διαδικασία στρωματοποίησης μέχρι να ολοκληρωθεί η κατασκευή.

Βήμα 6: Αφαίρεση και Καθάρισμα

Στην ιδανική περίπτωση, η έξοδος από τη μηχανή AM πρέπει να είναι έτοιμη για χρήση με ελάχιστη χειροκίνητη παρέμβαση. Σε σπάνιες περιπτώσεις τα εξαρτήματα θα απαιτούν σημαντική ποσότητα περεταίρω επεξεργασίας προτού είναι έτοιμα για χρήση. Σε όλες τις περιπτώσεις, το τμήμα πρέπει είτε να είναι χωρισμένο από μια πλατφόρμα κατασκευής στην οποία το τμήμα έχει παραχθεί ή να αφαιρεθεί από το υπερβολικό υλικό κατασκευής που περιβάλλει το τμήμα. Ορισμένοι εκτυπωτές χρησιμοποιούν πρόσθετο υλικό διαφορετικό από εκείνο που χρησιμοποιείται για την κατασκευή του ίδιου του τμήματος (δευτερεύοντα υλικά υποστήριξης). Για τα μεταλλικά στηρίγματα, μπορεί να χρειαστεί ένα μηχάνημα EDM για καλώδια, πριονοκορδέλα και / ή εξοπλισμός φρεζαρίσματος για να αφαιρέσετε το τμήμα από την πλάκα βάσης και τα στηρίγματα από το τμήμα. Υπάρχει κάποιος βαθμός ικανότητας χειριστή που απαιτείται για την αφαίρεση μέρους, καθώς η κακή διαχείριση των εξαρτημάτων και η κακή τεχνική μπορεί να προκαλέσουν βλάβη στο τμήμα. Τα διαφορετικά

εξαρτήματα AM έχουν διαφορετικές απαιτήσεις καθαρισμού, αλλά αρκεί να πούμε ότι όλες οι διαδικασίες έχουν κάποια απαίτηση σε αυτό το στάδιο. Ενώ έχουν αναπτυχθεί κάποιες διαδικασίες για την παραγωγή υποστηρίξεων εύκολης απομάκρυνσης, σε αυτό το στάδιο απαιτείται συχνά μια σημαντική ποσότητα χειρωνακτικής εργασίας. Το στάδιο καθαρισμού μπορεί επίσης να θεωρηθεί ως το αρχικό μέρος του σταδίου μετά την επεξεργασία.

Βήμα 7: Μετέπειτα επεξεργασία

Η μετέπειτα επεξεργασία αναφέρεται στα (συνήθως χειροκίνητα) στάδια της τελικής επεξεργασίας των εξαρτημάτων για σκοπούς εφαρμογής. Αυτό μπορεί να συνεπάγεται λειαντικά φινίρισμα, όπως στύλωση και αμμοβολή, ή εφαρμογή επιστρώσεων. Αυτό το στάδιο της διαδικασίας είναι πολύ συγκεκριμένο για την εφαρμογή. Ορισμένες εφαρμογές ενδέχεται να απαιτούν ελάχιστη μεταγενέστερη επεξεργασία. Άλλες εφαρμογές ενδέχεται να απαιτούν πολύ προσεκτικό χειρισμό των εξαρτημάτων για να διατηρήσουν καλή ακρίβεια και φινίρισμα. Κάποια μετεπεξεργασία μπορεί να περιλαμβάνει τη χημική ή θερμική επεξεργασία του τμήματος για την επίτευξη ιδιοτήτων τελικού μέρους. Διαφορετικές διεργασίες AM έχουν διαφορετικά αποτελέσματα όσον αφορά την ακρίβεια και μπορεί να απαιτείται μηχανική κατεργασία σε τελικές διαστάσεις. Ορισμένες διαδικασίες παράγουν σχετικά εύθραυστα συστατικά τα οποία μπορεί να απαιτούν τη χρήση διηθήσεων και / ή επιφανειακών επιστρώσεων για την ενίσχυση του τελικού τμήματος. Όπως έχει ήδη αναφερθεί, αυτό είναι συχνά ένα χειρωνακτικά εντατικό καθήκον λόγω της πολυπλοκότητας των περισσότερων τμημάτων AM. Ωστόσο, μερικά από τα καθήκοντα μπορούν να επωφεληθούν από τη χρήση ηλεκτρικών εργαλείων, άλεσης με CNC και πρόσθετου εξοπλισμού, όπως σκάφες λείανσης ή φούρνοι ξήρανσης και ψησίματος.

Βήμα 8: Εφαρμογή

Μόλις τελειώσει το κομμάτι είναι έτοιμο για χρήση. Αλλά λόγω του τρόπου κατασκευής υπάρχουν πολλά πράγματα που πρέπει να μάθετε. Κυρίως για τη μηχανική συμπεριφορά. Αυτά τα σώματα μπορούν να κατασκευαστούν από παρόμοια υλικά με εκείνα που διατίθενται από άλλες κατασκευαστικές διεργασίες (όπως χύτευση και χύτευση), αλλά ενδέχεται να μην συμπεριφέρονται σύμφωνα με τις τυποποιημένες προδιαγραφές υλικού. Ορισμένες διαδικασίες AM δημιουργούν εγγενώς τμήματα με μικρά κενά παγιδευμένα μέσα τους, τα οποία θα μπορούσαν να αποτελέσουν την πηγή για την αποτυχία εξαρτήματος υπό μηχανική καταπόνηση. Επιπρόσθετα, μερικές διαδικασίες μπορεί να προκαλέσουν αποικοδόμηση του υλικού κατά τη διάρκεια της κατασκευής ή για υλικά που δεν συνδέονται, συνδέονται ή κρυσταλλώνουν με τον βέλτιστο τρόπο. Σε όλες σχεδόν τις περιπτώσεις, οι ιδιότητες είναι ανισότροπες (διαφορετικές ιδιότητες σε διαφορετική κατεύθυνση).

Για τις περισσότερες μεταλλικές διεργασίες AM, η ταχεία ψύξη οδηγεί σε διαφορετικές μικροδομές από αυτές της συμβατικής κατασκευής. Θα μπορούσε να πει σαν να κατασκευάζει μέταλλο. Ως αποτέλεσμα, τα μέρη AM που παράγονται συμπεριφέρονται διαφορετικά από τα μέρη που κατασκευάζονται χρησιμοποιώντας μια πιο συμβατική μέθοδο κατασκευής. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να είναι καλύτερη ή χειρότερη για μια συγκεκριμένη εφαρμογή ανάλογα με τις ανάγκες και έτσι ο σχεδιαστής θα πρέπει να γνωρίζει αυτές τις διαφορές και να τις λαμβάνει υπόψη κατά τη διάρκεια του σχεδιασμού. Τα υλικά και οι διεργασίες των AM βελτιώνονται ταχύτατα και έτσι οι σχεδιαστές πρέπει να γνωρίζουν τις πρόσφατες εξελίξεις στα υλικά και τις διαδικασίες, προκειμένου να αξιοποιήσουν κατάλληλα αυτή την τεχνολογία. Και πάνω απ' όλα με ασφάλεια και λειτουργικότητα.

4.2 Παραλλαγές από μια μηχανή AM σε άλλη

Τα ανωτέρω γενικά βήματα διαδικασίας μπορούν να εφαρμοστούν σε κάθε εμπορική τεχνολογία AM. Με περισσότερες ή λιγότερες πληροφορίες, ανάλογα με τη διαδικασία και τον εκτυπωτή. Αυτές οι παραλλαγές, όχι μόνο από τη διαδικασία επεξεργασίας, αλλά και σε ορισμένες περιπτώσεις μέσα σε μια συγκεκριμένη τεχνολογία. (τρόπος κατασκευής, υλικά, χρήση κ.λπ.)

Η παραμικρή λεπτομέρεια σε ένα σχέδιο μπορεί να προκαλέσει προβλήματα με κάποιες τεχνολογίες AM, όπως το πάχος τοιχώματος, ιδιαίτερα αν δεν υπάρχει άλλη επιλογή παρά να κατασκευαστεί το τμήμα κάθετα. Αυτό συμβαίνει επειδή ακόμα και αν η τοποθέτηση εντός της μηχανής μπορεί να είναι πολύ ακριβής, υπάρχει μια πεπερασμένη διάσταση στο μέγεθος των σταγονιδίων, στη διάμετρο του λείζερ ή στην κεφαλή εξώθησης που ουσιαστικά ορίζει την λεπτότερη λεπτομέρεια ή το λεπτότερο τοίχωμα που μπορεί να κατασκευαστεί.

Το ονομαστικό πάχος στρώσης για τα περισσότερα μηχανήματα είναι περίπου 0,1mm. Ωστόσο, πρέπει να σημειωθεί ότι αυτός είναι μόνο ένας κανόνας. Για παράδειγμα, το πάχος στρώσης για κάποιες μηχανές εξώθησης υλικού είναι 0.254mm, ενώ τα πάχη στρώματος μεταξύ 0,05 και 0,1mm χρησιμοποιούνται συνήθως για διεργασίες φωτοπολυμερισμού δεξαμενών και μικρά περίπλοκα τμήματα κατασκευασμένα για χύτευση επενδύσεων χρησιμοποιώντας τεχνολογία εκτόξευσης υλικού μπορεί να έχουν πάχος στρώματος 0,01mm. Πολλές τεχνολογίες έχουν την ικανότητα να μεταβάλλουν το πάχος της στρώσης. Ο συλλογισμός είναι ότι τα παχύτερα τμήματα του στρώματος είναι ταχύτερα χτισμένα αλλά είναι λιγότερο ακριβή. Αυτό μπορεί να μην είναι πρόβλημα για ορισμένες εφαρμογές όπου μπορεί να είναι πιο σημαντικό να γίνουν τα μέρη όσο το δυνατόν γρηγορότερα.

Η επιλογή της διαδικασίας θα μπορούσε επίσης να επηρεαστεί και να επηρεάσει ορισμένα από τα βήματα της αλυσίδας επεξεργασίας. Συγκεκριμένα, η χρήση διαφορετικών υλικών ακόμα και μέσα στην ίδια διαδικασία μπορεί να επηρεάσει το χρόνο, τους πόρους και την ικανότητα που απαιτείται για την πραγματοποίηση ενός σταδίου. Οι παραλλαγές μεταξύ των τεχνολογιών AM θα διευκρινιστούν περαιτέρω στα επόμενα κεφάλαια, αλλά μπορεί να επιτευχθεί μια γενική κατανόηση εξετάζοντας εάν το δομημένο υλικό επεξεργάζεται ως σκόνη, τετηγμένο υλικό, στερεό φύλλο, κάδο υγρού φωτοπολυμερούς ή εναποτιθέμενο φωτοπολυμερές με ψεκασμό.

Για παράδειγμα, η χρήση υδατοδιαλυτών στηριγμάτων στις διεργασίες εξώθησης υλικού μπορεί να απαιτεί εξειδικευμένο εξοπλισμό, αλλά θα παρέχει επίσης καλύτερο φινίρισμα σε μέρη με μικρότερο φινίρισμα που απαιτούνται από ότι όταν χρησιμοποιούνται συμβατικά στηρίγματα. Εναλλακτικά, μερικά πολυμερή απαιτούν ιδιαίτερη προσοχή, όπως η χρήση (ή αποφυγή) συγκεκριμένων διαλυτών ή ενώσεων διήθησης. Πολλές μέθοδοι επωφελούνται από την εφαρμογή στεγανωτικών υλικών ή ακόμη και την διήθηση υγρών πολυμερών. Αυτά τα υλικά πρέπει να είναι συμβατά με το υλικό μέρους τόσο χημικά όσο και μηχανικά. Η μετεπεξεργασία που περιλαμβάνει θερμότητα πρέπει να περιλαμβάνει συνειδητοποίηση της θερμικής αντοχής ή της θερμοκρασίας τήξης των εμπλεκόμενων υλικών. Η επεξεργασία με λείανση ή κατεργασία πρέπει επίσης να απαιτεί γνώση των μηχανικών ιδιοτήτων των σχετικών υλικών. Εάν απαιτηθεί σημαντικό τελείωμα, μπορεί επίσης να είναι απαραίτητο να συμπεριληφθεί ένα επίδομα στη γεωμετρία του τμήματος, ίσως χρησιμοποιώντας την κλίμακα του αρχείου STL ή την αντιστάθμιση των επιφανειών του τμήματος, έτσι ώστε το μέρος να μην φθαρεί πάρα πολύ.

Συστήματα με βάση το φωτοπολυμερές

Είναι πολύ εύκολο να δημιουργηθούν συστήματα που χρησιμοποιούν φωτοπολυμερή ως υλικό κατασκευής. Τα συστήματα με βάση το φωτοπολυμερές, ωστόσο, απαιτούν τη δημιουργία αρχείων που αντιπροσωπεύουν τις δομές υποστήριξης. Όλα τα συστήματα υγρών δεξαμενών πρέπει να χρησιμοποιούν υποστηρίγματα από ουσιαστικά το ίδιο υλικό με εκείνο που χρησιμοποιείται για το τμήμα. Για τα συστήματα εκτόξευσης υλικού είναι δυνατό να χρησιμοποιηθεί ένα δευτερεύον υλικό στήριξης από παράλληλες κεφαλές εκτύπωσης μελάνης, έτσι ώστε τα στηρίγματα να αποκολληθούν ευκολότερα. Ένα πλεονέκτημα των συστημάτων φωτοπολυμερών είναι ότι η ακρίβεια είναι γενικά πολύ καλή, με λεπτά στρώματα και λεπτή ακρίβεια, όπου απαιτείται, σε σύγκριση με άλλα συστήματα. Τα φωτοπολυμερή έχουν ιστορικά φτωχές ιδιότητες υλικών σε σύγκριση με πολλά άλλα υλικά AM, ωστόσο έχουν αναπτυχθεί νεότερες ρητίνες που προσφέρουν βελτιωμένη αντοχή στη θερμοκρασία, αντοχή και ολκιμότητα. Το κύριο μειονέκτημα των υλικών φωτοπολυμερών είναι ότι

η αποικοδόμηση μπορεί να συμβεί αρκετά γρήγορα εάν δεν εφαρμόζονται προστατευτικές επικαλύψεις υπερϊώδους ακτινοβολίας.

Συστήματα που βασίζονται σε σκόνη

Δεν υπάρχει λόγος να χρησιμοποιηθούν στηρίγματα για συστήματα πούδρας τα οποία εναποθέτουν στρώση – στρώση σε σκόνη (με εξαίρεση τα στηρίγματα για μεταλλικά συστήματα, όπως αναφέρεται παρακάτω). Έτσι, τα συστήματα που βασίζονται σε εναπόθεση σκόνης είναι από τα πιο εύκολο να δημιουργηθούν για μια απλή κατασκευή. Τα μέρη που κατασκευάζονται με τη χρήση binder μπορούν να χρωματιστούν χρησιμοποιώντας χρωματιστό συνδετικό υλικό. Εάν χρησιμοποιείται χρώμα, τότε η κωδικοποίηση του αρχείου ενδέχεται να διαρκέσει περισσότερο, καθώς τα τυπικά δεδομένα STL δεν περιλαμβάνουν χρώμα. Υπάρχουν, ωστόσο, και άλλες μορφές αρχείων που βασίζονται σε VRML που επιτρέπουν την κατασκευή χρωματιστών γεωμετρικών, πέραν της AMF. Οι διεργασίες σύντηξης κλίνης σε σκόνη έχουν μια σημαντική ποσότητα αχρησιμοποίητης σκόνης σε κάθε κατασκευή που έχει υποβληθεί σε κάποιο επίπεδο θερμικού ιστορικού. Αυτό το θερμικό ιστορικό μπορεί να προκαλέσει αλλαγές στη σκόνη. Έτσι, μια καλά σχεδιασμένη στρατηγική ανακύκλωσης βασισμένη σε μια από τις πολλές αποδεδειγμένες μεθόδους μπορεί να βοηθήσει να διασφαλιστεί ότι το υλικό που χρησιμοποιείται είναι μέσα σε κατάλληλα όρια για να εγγυηθεί καλή κατασκευή.

Είναι κρίσιμος ο τρόπος με τον οποίο συμπεριφέρονται οι σκόνες μέσα σε έναν εκτυπωτή. Η σκόνη στην κορυφή αυτών των θαλάμων είναι πιθανόν να είναι λιγότερο πυκνή από τη σκόνη στον πυθμένα, όταν για παράδειγμα, οι θάλαμοι τροφοδοσίας σκόνης εκατέρωθεν της πλατφόρμας κατασκευής. Ποια θα έχουν συμπιεστεί κάτω από το βάρος της σκόνης στην κορυφή. Αυτό σημαίνει ότι μπορεί να επηρεαστεί η ποσότητα του υλικού που εναποτίθεται σε κάθε στρώμα και η πυκνότητα του τελικού τμήματος που είναι ενσωματωμένο στο μηχάνημα. Για πολύ ψηλές κατασκευές, αυτό μπορεί να είναι ένα ιδιαίτερο πρόβλημα που μπορεί να επιλυθεί με προσεκτική συμπίκνωση της σκόνης στους θαλάμους τροφοδοσίας πριν την εκκίνηση του μηχανήματος και επίσης με τη ρύθμιση των θερμοκρασιών και των ρυθμίσεων τροφοδοσίας σκόνης κατά τη διάρκεια της κατασκευής.

Συστήματα Τετηγμένων Υλικών (Molten Material Systems)

Τα συστήματα τα οποία τήκουν και εναποθέτουν υλικό σε τετηγμένη κατάσταση απαιτούν δομές στήριξης. Για συστήματα που βασίζονται σε σταγονίδια, όπως στη διαδικασία Thermojet, αυτά τα στηρίγματα παράγονται αυτόματα, αλλά με διαδικασίες εξώθησης υλικού ή συστήματα κατευθυνόμενων συστημάτων εναπόθεσης ενέργειας μπορούν είτε να δημιουργηθούν αυτόματα είτε ο χρήστης μπορεί να χρησιμοποιήσει κάποια ευελιξία για να αλλάξει τη μορφή των στηριγμάτων.

Με μεθόδους ελασματοποίησης φύλλων όπου τα φύλλα τοποθετούνται πρώτα και στη συνέχεια κόβονται, δεν χρειάζονται υποστηρίγματα. Αντ' αυτού, υπάρχει ανάγκη επεξεργασίας του αποβλήτου υλικού κατά τρόπον ώστε να μπορεί να αφαιρεθεί από το μέρος. Αυτό είναι γενικά μια απλή αυτοματοποιημένη διαδικασία, αλλά μπορεί να υπάρχει ανάγκη για ιδιαίτερη προσοχή σε λεπτομερείς λεπτομέρειες μέσα σε ένα μέρος. Ο καθαρισμός των τμημάτων μπορεί να είναι η πιο επίπονη διαδικασία και υπάρχει γενική ανάγκη να γνωρίζουμε ακριβώς ποιο είναι το τελικό κομμάτι που πρέπει να μοιάζει, έτσι ώστε να μην προκληθεί ζημιά στο τμήμα κατά τη διάρκεια του σταδίου απομάκρυνσης των αποβλήτων. Τα συστήματα με βάση το χαρτί αντιμετώπισαν προβλήματα με το χειρισμό εάν δεν πρέπει να ολοκληρωθούν προσεκτικά και ολοκληρωτικά χρησιμοποιώντας στεγανωτικά και επικαλύψεις. Για την πλαστικοποίηση φύλλων από πολυμερές, τα μέρη τυπικά δεν είναι τόσο ευαίσθητα στη ζημιά. Για διεργασίες ελασματοποίησης φύλλων μετάλλου, τυπικά τα φύλλα κόβονται πρώτα και στη συνέχεια στοιβάζονται για να σχηματίσουν το σχήμα 3D και έτσι η υποστήριξη απομάκρυνσης καθίσταται περιττή.

Με τα υδατοδιαλυτά υποστηρίγματα δεν είναι πολύ σημαντικό όπου τα υποστηρίγματα πηγαίνουν, αλλά με συστήματα αποσυνδεδεμένων υποστηρίξεων κατασκευασμένα από το ίδιο υλικό όπως το δομικό υλικό, αξίζει τον κόπο να ελέγξουμε πού πηγαίνουν τα στηρίγματα, καθώς η επιφανειακή βλάβη στο μέρος θα συμβεί σε κάποιο βαθμό όπου αυτά τα στηρίγματα προσαρτήθηκαν πριν να τα σπάσουν. Επίσης, τα σχέδια γεμίσματος για εξώθηση υλικού μπορεί να απαιτούν κάποια προσοχή, με βάση την πρόθεση σχεδιασμού. Τα μέρη μπορούν εύκολα να γίνουν χρησιμοποιώντας τις προεπιλεγμένες ρυθμίσεις, αλλά μπορεί να υπάρξει κάποιο όφελος στην αλλαγή των πτυχών της ακολουθίας κατασκευής, εάν ένα τμήμα ή περιοχή ενός τμήματος απαιτεί ειδικά χαρακτηριστικά. Για παράδειγμα, υπάρχουν συνήθως μικρά κενά σε τμήματα FDM που μπορούν να ελαχιστοποιηθούν αυξάνοντας την ποσότητα του υλικού που εξωθείται σε μια συγκεκριμένη περιοχή. Αυτό θα ελαχιστοποιήσει τα κενά, αλλά με το κόστος ακρίβειας μέρους. Παρόλο που τα τμήματα κεριού που κατασκευάζονται με εκτόξευση υλικού είναι καλά για την αναπαραγωγή λεπτών χαρακτηριστικών, είναι δύσκολο να τα χειριστούν εξαιτίας της χαμηλής αντοχής τους και της ευθραυστότητάς τους. Τα εξαρτήματα ABS που κατασκευάζονται με την εξώθηση υλικού, από την άλλη πλευρά, είναι από τα ισχυρότερα διαθέσιμα πολυμερή μέρη AM, αλλά όταν είναι επιθυμητά ως λειτουργικό τμήμα τελικής χρήσης, αυτό μπορεί να σημαίνει ότι χρειάζονται ουσιαστικό φινίρισμα σε σύγκριση με άλλες διεργασίες, καθώς παρουσιάζουν χαμηλότερη ακρίβεια από κάποιες άλλες τεχνολογίες AM

Συστήματα Μετάλλου

Όπως αναφέρθηκε προηγουμένως, η λειτουργία μεταλλικών συστημάτων AM είναι εννοιολογικά παρόμοια με τα συστήματα πολυμερών. Εντούτοις, αξίζει να εξεταστούν τα ακόλουθα σημεία.

Η χρήση υποστρωμάτων

Τα περισσότερα μεταλλικά συστήματα χρησιμοποιούν μια πλατφόρμα βάσης ή ένα υπόστρωμα επί του οποίου κατασκευάζονται μέρη και από τα οποία πρέπει να αφαιρούνται χρησιμοποιώντας μηχανική κατεργασία, κοπή σύρματος ή παρόμοια μέθοδο. Η ανάγκη σύνδεσης των εξαρτημάτων σε μια πλατφόρμα βάσης οφείλεται κυρίως στις διαβαθμίσεις υψηλής θερμοκρασίας μεταξύ του προσωρινά τετηγμένου υλικού και του περιβάλλοντός του, με αποτέλεσμα μεγάλη υπολειμματική τάση. Αν το υλικό δεν ήταν σταθερά στερεωμένο σε μια σταθερή πλατφόρμα τότε θα υπήρχε μια τάση για το τμήμα να στημονεύεται καθώς ψύχεται, πράγμα που σημαίνει ότι περαιτέρω στρώματα σκόνης δεν θα μπορούσαν να απλωθούν ομοιόμορφα πάνω. Επομένως, ακόμη και αν αυτές οι διαδικασίες μπορούν να χτιστούν μέσα σε μια κλίνη σκόνης, υπάρχει ακόμα ανάγκη για υποστηρίγματα.

Πυκνότητα Ενέργειας

Η ενεργειακή πυκνότητα που απαιτείται για την τήξη μετάλλων είναι προφανώς πολύ μεγαλύτερη από ότι για τα τήγματα πολυμερών. Οι υψηλές θερμοκρασίες που επιτυγχάνονται κατά την τήξη μετάλλων ενδέχεται να απαιτούν πιο αυστηρή θωράκιση θερμότητας, μόνωση, έλεγχο θερμοκρασίας και ατμοσφαιρικό έλεγχο από ό, τι για συστήματα πολυμερών.

Βάρος

Τα συστήματα μεταλλικών πούδρων (metal powder) μπορούν να επεξεργάζονται ελαφριές σκόνες τιτανίου αλλά επεξεργάζονται επίσης χάλυβες εργαλείων υψηλής πυκνότητας. Η τεχνολογία διαχείρισης σκόνης πρέπει να μπορεί να αντέχει τη μάζα αυτών των υλικών. Αυτό σημαίνει ότι οι απαιτήσεις ισχύος για τον εξοπλισμό θέσης και χειρισμού πρέπει να είναι αρκετά σημαντικές ή οι σχέσεις μετάδοσης πρέπει να είναι υψηλές (και αντίστοιχες ταχύτητες οδήγησης χαμηλότερες) για την αντιμετώπιση αυτών των εργασιών.

Ακρίβεια

Τα συστήματα μεταλλικών πούδρων γενικά είναι τουλάχιστον τόσο ακριβή όσο τα αντίστοιχα συστήματα πολυμερών σε σκόνη. Το φινίρισμα επιφάνειας είναι χαρακτηριστικά κοκκώδες, αλλά η πυκνότητα μέρους και η ακρίβεια μέρους είναι πολύ καλές. Η τραχύτητα της επιφάνειας είναι της τάξης μερικών δεκάδων έως μερικών εκατοντάδων μικρών, ανάλογα με τη διαδικασία, και μπορεί να συνδυαστεί με τη γενική εμφάνιση στην τεχνολογία χύτευσης ακριβείας. Για τα μεταλλικά μέρη, αυτό συχνά δεν είναι ικανοποιητικό και απαιτούνται τουλάχιστον κάποιες βολές για την λείανση της επιφάνειας. Τα βασικά χαρακτηριστικά ζευγαρώματος σε μεταλλικά μέρη συχνά απαιτούν κατεργασία επιφάνειας ή λείανση. Η πυκνότητα του τμήματος θα είναι υψηλή (γενικά πάνω από 99%), αν και μπορεί να παρατηρηθούν ακόμη κάποια κενά.

Ταχύτητα

Δεδομένου ότι υπάρχουν μεγάλες απαιτήσεις σχετικά με την ποσότητα ενέργειας για τη τήξη των σωματιδίων σκόνης και για τη διαχείριση των σκονών μέσα στο μηχάνημα, η ταχύτητα κατασκευής μεταλλικών συστημάτων είναι γενικά βραδύτερη από ένα συγκρίσιμο σύστημα πολυμερούς. Οι ισχύς λέιζερ είναι συνήθως μόλις λίγα 100 W (τα πολυμερή συστήματα ξεκινούν από περίπου 50 W ισχύος λέιζερ). Αυτό σημαίνει ότι η ταχύτητα σάρωσης με λέιζερ είναι χαμηλότερη από ότι για τα πολυμερή συστήματα, για να εξασφαλιστεί ότι παρέχεται αρκετή ενέργεια στη σκόνη.

4.3 Συντήρηση Εξοπλισμού

Η συντήρηση είναι εξαιρετικά σημαντική για όλα τα μηχανήματα, ειδικά εκείνα που χρησιμοποιούν ευαίσθητη τεχνολογία λέιζερ ή εκτυπωτή, η οποία πρέπει να παρακολουθείται προσεκτικά και που κατά προτίμηση δεν πρέπει να χρησιμοποιείται σε περιβάλλον βρώμικου ή θορυβώδους (τόσο

ηλεκτρικού θορύβου όσο και μηχανικού κραδασμού). Ομοίως, πολλά από τα υλικά τροφοδοσίας απαιτούν προσεκτικό χειρισμό και πρέπει να χρησιμοποιούνται σε συνθήκες χαμηλής υγρασίας. Παρόλο που οι φανοί είναι σχεδιασμένοι να λειτουργούν χωρίς επίβλεψη, είναι σημαντικό να διεξάγονται τακτικές επιθεωρήσεις σύμφωνα με το χρονοδιάγραμμα συντήρησης. Πολλοί προμηθευτές μηχανών συνιστούν και παρέχουν μοτίβα δοκιμών που πρέπει να χρησιμοποιούνται περιοδικά για να επιβεβαιώνουν ότι τα μηχανήματα λειτουργούν εντός αποδεκτών ορίων.

Τα συστήματα με βάση το λέιζερ είναι γενικά ακριβά λόγω του κόστους του συστήματος λέιζερ και σαρωτή. Επιπλέον, η συντήρηση ενός λέιζερ μπορεί να είναι πολύ δαπανηρή, ιδιαίτερα για λέιζερ με περιορισμένη διάρκεια ζωής. Οι κεφαλές εκτύπωσης είναι επίσης συστατικά που έχουν πεπερασμένες διάρκειες ζωής για την εκτόξευση υλικών και τα συστήματα πλύσης με συνδετικό υλικό. Οι διαστάσεις λεπτού ακροφυσίου και η χρήση υγρών σχετικά υψηλού ιξώδους σημαίνει ότι είναι επιρρεπείς σε φαινόμενα απόφραξης και μόλυνσης. Ωστόσο, τα έξοδα αντικατάστασης είναι γενικά αρκετά χαμηλά.

4.4 Θέματα χειρισμού υλικών

Εκτός από τα μηχανήματα, τα υλικά AM συχνά απαιτούν προσεκτικό χειρισμό. Οι πρώτες ύλες που χρησιμοποιούνται σε ορισμένες διεργασίες AM έχουν περιορισμένη διάρκεια ζωής και πρέπει επίσης να διατηρούνται σε συνθήκες που τους εμποδίζουν χημική αντίδραση ή υποβάθμιση. Πρέπει να αποφεύγεται η έκθεση σε υγρασία και υπερβολικό φως. Οι περισσότερες διαδικασίες χρησιμοποιούν υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για περισσότερες από μία κατασκευές. Εντούτοις, μπορεί να είναι ότι αυτό θα μπορούσε να υποβαθμίσει το υλικό εάν χρησιμοποιηθεί πολλές φορές και κατά συνέπεια θα πρέπει επίσης να παρατηρηθεί μια διαδικασία για τη διατήρηση σταθερής ποιότητας υλικού μέσω της ανακύκλωσης.

Ενώ υπάρχουν κάποιες ανησυχίες για την υγεία με εκτεταμένη έκθεση σε κάποιες φωτοπολυμερικές ρητίνες, οι περισσότερες πολυμερικές πρώτες ύλες AM είναι ασφαλείς στο χειρισμό. Τα υλικά σε σκόνη μπορεί γενικά να είναι ιατρικά αδρανή, αλλά οι υπερβολικές ποσότητες σκόνης μπορούν να κάνουν τον εργασιακό χώρο ολισθηρό, να μολύνουν τους μηχανισμούς και να δημιουργήσουν έναν κίνδυνο αναπνοής. Επιπλέον, οι δραστικές σκόνες μπορεί να αποτελούν κίνδυνο πυρκαγιάς. Αυτά τα ζητήματα μπορεί να προκαλέσουν προβλήματα εάν τα μηχανήματα πρόκειται να χρησιμοποιηθούν σε περιβάλλον κέντρου σχεδιασμού και όχι σε συνεργείο. Οι προμηθευτές συστημάτων AM έχουν καταβάλει σημαντικές προσπάθειες για την απλούστευση και διευκόλυνση του χειρισμού υλικών. Η φόρτωση νέων υλικών είναι συχνά μια διαδικασία που μπορεί να γίνει εκτός σύνδεσης ή με ελάχιστο

χρόνο μετάβασης, έτσι ώστε οι μηχανές να μπορούν να λειτουργούν συνεχώς. Συστήματα λογισμικού συχνά συντονίζονται με τα υλικά έτσι ώστε να μπορούν να αναγνωρίζουν διαφορετικά υλικά και να προσαρμόζουν τις παραμέτρους δόμησης ανάλογα.

Μερικά μηχανήματα επιτρέπουν στο χρήστη να ανακυκλώνει μέρος ή το σύνολο του υλικού που χρησιμοποιείται σε μια μηχανή αλλά δεν καταναλώνεται κατά τη διάρκεια της κατασκευής ενός προηγούμενου μέρους. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για τα συστήματα με βάση τη σκόνη. Οι ρητίνες φωτοπολυμερούς μπορούν επίσης να επαναχρησιμοποιηθούν. Εντούτοις, ενδέχεται να υπάρχουν τεχνουργήματα και άλλες μολυσματικές ουσίες στα ανακυκλωμένα υλικά και είναι σημαντικό να επιθεωρήσετε, να κοσκινίσετε ή να κοσκινίσετε το υλικό πριν επιστρέψετε στο μηχάνημα. Πολλές κατασκευές πυροσυσσωμάτωσης με λέιζερ έχουν χαλάσει, για παράδειγμα, από τρίχες που έχουν βγει από μια πινέλο που χρησιμοποιείται για να καθαρίσουν τα μέρη από μια προηγούμενη κατασκευή.

Πολλά υλικά είναι προσεκτικά συντονισμένα για να λειτουργούν με μια συγκεκριμένη τεχνολογία AM. Υπάρχουν συχνά ζητήματα εγγύησης σχετικά με τη χρήση υλικών τρίτων που πρέπει να γνωρίζουν οι χρήστες. Για παράδειγμα, μερικές σκόνη πυροσυσσωμάτωσης πολυμερούς λέιζερ μπορεί να έχουν πρόσθετα που αποτρέπουν την αποδόμηση λόγω οξείδωσης, καθώς διατηρούνται σε υψηλές θερμοκρασίες για μεγάλες χρονικές περιόδους. Επίσης, τα νήματα διέλασης υλικών χρειάζονται πολύ στενή διαμετρική ανοχή που δεν είναι κανονικά διαθέσιμη από συμβατικούς εξωθητήρες. Δεδομένου ότι ένας μηχανισμός εξώθησης υλικού ωθεί το νήμα μέσω της μηχανής, οι διακυμάνσεις της διαμέτρου ενδέχεται να προκαλέσουν ολίσθηση. Επιπλέον, οι παραμέτρους κατασκευής σχεδιάζονται γύρω από τα πρότυπα υλικά που χρησιμοποιούνται. Δεδομένου ότι υπάρχουν τεράστιοι αριθμοί υλικών σκευασμάτων, αλλάζοντας ένα υλικό με άλλο, παρόλο που φαίνεται να είναι το ίδιο, μπορεί να απαιτηθεί προσεκτική ρύθμιση της κατασκευής και βελτιστοποίηση των παραμέτρων διεργασίας.

4.5 Αναγνωριστικά Σήματα

Παρόλο που τα τμήματα AM είναι συχνά μοναδικά, μπορεί να είναι δύσκολο για μια εταιρεία να τα παρακολουθεί όταν χτίζουν πιθανώς εκατοντάδες μέρη την εβδομάδα. Είναι μια απλή διαδικασία που περιλαμβάνει την αναγνώριση χαρακτηριστικών στα μέρη. Αυτό μπορεί να γίνει κατά το σχεδιασμό του μοντέλου CAD, αλλά αυτό μπορεί να μην είναι δυνατό, αφού τα μοντέλα μπορεί να προέρχονται από τρίτους. Υπάρχουν διάφορα συστήματα λογισμικού που παρέχουν εργαλεία για την επισήμανση των τμημάτων με ανάγλυφα αλφαριθμητικούς χαρακτήρες πάνω τους ως μοντέλα 3D. Επιπλέον, ορισμένοι πάροχοι υπηρεσιών κατασκευάζουν όλα τα μέρη που έχουν παραγγείλει ένας συγκεκριμένος πελάτης (ή μικρά κομμάτια τα οποία διαφορετικά θα μπορούσαν να χαθούν) μέσα σε ένα κουτί με πλέγματα έτσι ώστε να είναι εύκολο να εντοπιστούν και να εντοπιστούν κατά τον καθαρισμό του τμήματος.

Κεφάλαιο 5: Τεχνολογίες 3D Εκτύπωσης

5.1 Μοντελοποίηση εναπόθεσης

Η κατασκευή FDM ή Fused Filament Fabrication (FFF) βασίζεται στην τήξη και επιλεκτική απόθεση μιας λεπτής θερμοπλαστικής ίνας για το σχηματισμό διαδοχικών στρωμάτων που θα δημιουργήσουν το τελικό αντικείμενο. Χαρακτηρίζεται από υψηλό δείκτη απόδοσης / τιμής σε σύγκριση με άλλες μεθόδους ταχείας παραγωγής πρωτοτύπων ή συμβατικής παραγωγής. Τα παραγόμενα αντικείμενα είναι ανθεκτικά και συνήθως έτοιμα να χρησιμοποιηθούν χωρίς να απαιτείται περαιτέρω επεξεργασία. Χωρίς τον σχηματισμό πολύ λεπτών χαρακτηριστικών και τον βαθμό λεπτομέρειας που μπορεί να συλλάβει. Επειδή είναι η πιο διαδεδομένη τεχνολογία, συνεχώς αναπτύσσονται νέα υλικά που προσδίδουν συγκεκριμένα χαρακτηριστικά και χαρακτηριστικά στα αντικείμενα.

Στερεολιθογραφία (SLA)

Η στερεολιθογραφία επιτυγχάνεται με φωτοπολυμερισμό πολύ λεπτών στρωμάτων, ειδικά για 3D εκτύπωση, υγρών ρητινών. Αυτές οι ρητίνες έχουν την ξεχωριστή ιδιότητα στερεοποίησης όταν εκτίθενται σε υπεριώδη ακτινοβολία. Με αυτόν τον τρόπο παίρνει σχήμα και κάθε στρώμα είναι ενσωματωμένο το ένα πάνω στο άλλο, σχηματίζοντας το φυσικό αντίγραφο του ψηφιακού 3D μοντέλου. Η στυλολιθογραφία παράγει αντικείμενα εξαιρετικής ποιότητας, ακρίβειας και λεπτομέρειας σε τέτοιο βαθμό ώστε είναι συχνά δύσκολο να διακρίνει κανείς αν το αντικείμενο είναι το τελικό προϊόν και όχι ένα τυπωμένο πρωτότυπο. Η επιλογή της ρητίνης που θα χρησιμοποιηθεί θα δώσει στο αντικείμενο συγκεκριμένα χαρακτηριστικά όπως δυνατότητα χύτευσης, αυξημένη αντοχή και ελαστικότητα οπάνθρακα

5.2 Υλικά 3D Εκτύπωσης

PLA Θερμοπλαστικό Συντηγμένη Μοντελοποίηση Εναπόθεσης

Το PLA (Poly Lactic Acid) είναι ένα βιοαποικοδομήσιμο θερμοπλαστικό, το οποίο προέρχεται κυρίως από ανανεώσιμες πηγές φυτών, το οποίο κατατάσσεται μεταξύ των πρώτων στον κατάλογο των πλέον φιλικών προς το περιβάλλον πλαστικών υλικών. Το PLA είναι άκαμπτο, ανθεκτικό και πιο άκαμπτο από το ABS. Η θερμοκρασία στην οποία αρχίζει να μαλακώνει είναι περίπου 65 βαθμοί Κελσίου. Ένα αντικείμενο από PLA μπορεί να επεξεργαστεί με γυαλόχαρτο και μηχανική κατεργασία, όπως τρύπημα, στροφή και άλεση. Μπορεί επίσης να βαφτεί με ακρυλικά και άλλα χρώματα. Είναι το πιο κοινό 3D εκτυπώσιμο υλικό, ιδανικό για όλες τις εφαρμογές που δεν υποφέρουν από υψηλές θερμοκρασίες.

Χρώματα PLA

Γκρι, Λευκό, Μαύρο, Κόκκινο, Κίτρινο, Πορτοκαλί, Μπλε, Πράσινο, Διαφανές.

ABS Θερμοπλαστικό

Το ABS (Acrylonitrile Butadiene Styrene) είναι ένα από τα πιο κοινά είδη πλαστικών στη βιομηχανία κατασκευής προϊόντων. Τα γνωστά σε όλους μας τουβλάκια LEGO® είναι ένα τέτοιο παράδειγμα. Το ABS έχει πετρελαϊκή προέλευση κάτι που το κάνει λιγότερο "πράσινο" από το PLA. Είναι πολύ ανθεκτικό, σκληρό και σε μικρό βαθμό εύκαμπτο ώστε υπό περιορισμένη πίεση να λυγίζει αντί σπάει. Διατηρεί τη στιβαρότητα του έως τους 105 βαθμούς Κελσίου, άρα είναι ιδανικό για εφαρμογές όπου απαιτείται αντοχή σε υψηλές θερμοκρασίες. Όπως και το PLA μπορεί να τρυπηθεί αλλά και να λειανθεί με τρίψιμο χωρίς πρόβλημα.

5.3 Διαδικασία 3D Εκτύπωσης

Η εκτύπωση 3D πραγματοποιείται με την εναπόθεση διαδοχικών στρωμάτων υλικού. Το πάχος ή αλλιώς το ύψος αυτών των στρώσεων καθορίζει την ανάλυση εκτύπωσης. Σε μεγαλύτερες αναλύσεις, τα στρώματα είναι δύσκολο να διακριθούν, έτσι ώστε το οπτικό αποτέλεσμα να είναι καλύτερο από το αντίστοιχο χαμηλότερο ψήφισμα. Οι διαθέσιμες επιλογές για την εφαρμογή εξαρτώνται από το υλικό που επιλέγεται για εκτύπωση.

5.4 Συμβατικές Μέθοδοι Παραγωγής

Υπάρχουν τέσσερις κύριες κατηγορίες τυποποιημένων παραδοσιακών μεθόδων παρασκευής.

- Injection molding
- machining
- forming
- joining

Χύτευση με έγχυση υλικού

Είναι μία διαδικασία κατασκευής, που αποτελείται από ένα πλαστικό μαλακό υλικό που εγχύεται μέσα σε ένα καλούπι. Όταν στο καλούπι, το υλικό ψύχεται και στερεοποιείται ένας άλλος μηχανισμός εξάγει το κομμάτι από το καλούπι. Αυτός ο τρόπος κατασκευής χρησιμοποιείται για ένα ευρύ φάσμα χρήσεων (είναι ο πιο συνηθισμένος τρόπος κατασκευής για πλαστικά προϊόντα) και χρησιμοποιείται για μία επιφάνεια υψηλής ποιότητας.

Ωστόσο, το κόστος εκκίνησης είναι συχνά πολύ υψηλό, και αυτός ο τρόπος κατασκευής δεν είναι ιδανικό για μικρές σειρές.

Κατεργασία CNC

Αναφέρεται ως διάτρηση, φρεζάρισμα, ή στροφή, και σχεδόν οποιοδήποτε υλικό μπορεί να κατασκευαστεί σε ένα μέρος. Στην μηχανική κατεργασία CNC, ένα κομμάτι του υλικού συσφίγγεται μέσα στο μηχάνημα, και ένα εργαλείο αφαιρεί υλικό μέχρι το τμήμα να ολοκληρωθεί. Παρόμοια της χύτευσης με έγχυση, η επιλογή του υλικού είναι πολύ ευρεία και μπορεί να πραγματοποιηθεί με βάση την επιθυμητή εφαρμογή. Οι ανοχές της κατεργασίας είναι πολύ υψηλές (25 μm) που σημαίνει μπορούν να κατασκευαστούν πολύ ακριβή μέρη.

Ωστόσο, μπορεί να είναι πολύ δύσκολο (αν όχι αδύνατο) να κατασκευάζονται υποκοπές ή εσωτερικά χαρακτηριστικά με μηχανική κατεργασία. Καθώς το υλικό αφαιρείται επιλεκτικά, η CNC κατεργασία χρησιμοποιείται συχνά εφάπαξ και για λειτουργικές μονάδες πρωτοτύπων, καθώς και για τη μηχανή και τα εξαρτήματα της.

Πλαστική διαμόρφωση

Υπάρχουν διάφοροι τύποι μεθόδων σχηματισμού για πλαστικά: θερμοδιαμόρφωση, διαμόρφωση εν κενώ, και υπό πίεση. Υπάρχουν ιδιαιτερότητες για κάθε τύπο, αλλά ο καθένας με κάποιο τρόπο θερμαίνει ένα φύλλο από πλαστικό και το χύνει πάνω σε ένα καλούπι, χρησιμοποιώντας πίεση αέρα και αρσενικά βύσματα για να δώσουν στο φύλλο ένα σχήμα.

Σχεδόν όλα τα θερμοπλαστικά μπορούν να βρεθούν ως ένα φύλλο και να χρησιμοποιηθούν στη διαδικασία διαμόρφωσης. Ωστόσο, ο σχηματισμός είναι μία διαδικασία μονής όψης, που σημαίνει ότι μόνο μία πλευρά του πλαστικού φύλλου μπορεί να ελέγχεται από την επιφάνεια του εργαλείου. Το κόστος εργαλείων για τη διαδικασία σχηματισμού είναι γενικά φθηνότερο από τη χύτευση με έγχυση, ειδικά για τα μεγαλύτερα αντικείμενα με χαμηλότερη πολυπλοκότητα

Ένωση πλαστικών

Η ένωση των πλαστικών αφορά την ένταξη των ημιτελών μερών. Αυτό περιλαμβάνει στερέωση και συγκόλληση με κόλλα. Η Στερέωση αναφέρεται στην ενσωμάτωση μανδάλων, μεντεσέδων και θραύση ταιριάζοντας στο σχεδιασμό του τμήματος, ή με τη χρήση των εξωτερικών συνδετήρων, όπως κοχλίες και βίδες. Οι συγκολλήσεις αναφέρονται στην εφαρμογή μιας κόλλας ώστε να ενωθούν

τα μέρη μαζί. Η συγκόλληση αναφέρεται στην ένωση των δύο τμημάτων μέσω της εφαρμογής θερμότητας και πίεσης.

Δεδομένου ότι τα μέρη είναι ήδη ημιτελή όταν είναι έτοιμα να ενωθούν, πολλές από τις προδιαγραφές της διαδικασίας για την ένταξή τους εξαρτώνται από τον τρόπο με τον οποίο έγιναν τα ημιτελή μέρη. Αν και η ένωση εξαρτάται από το σχήμα εν μέρει, αυτή η διαδικασία μπορεί να είναι χρονοβόρα και να συνεπάγεται υψηλό κόστος εργασίας

5.5 Κριτήρια επιλογής μεθόδου παραγωγής

- Ποσότητα παραγωγής
- Απαιτούμενος χρόνος παραγωγής
- Σχήμα αντικειμένων και πολυπλοκότητα
- Υλικό κατασκευής
- Τεχνικές προδιαγραφές

Κεφάλαιο 6: Πρακτική Εφαρμογή της Διπλωματικής Εργασίας

6.1 Παρουσίαση της γενικής ιδέας

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει μπει για τα καλά στη ζωή μας.

Χρησιμοποιείται καθημερινά με ποικίλους τρόπους. Σε βιομηχανίες, σε δοκιμές, στον μοντελισμό αλλά και σαν εργαλείο καθημερινής χρήσης.

Εκτός όμως από την εκτύπωση, θα πρέπει να υπάρχει πρώτα η ικανότητα να δημιουργηθεί το αντικείμενο ψηφιακά. Εκεί έρχεται η χρήση προγραμμάτων σχεδίασης. Η οποία ομολογουμένως γίνεται ολοένα και πιο απλή και πιο φιλική στο χρήστη. Υπάρχουν πάρα πολλά προγράμματα για διάφορα λειτουργικά συστήματα. Στην παρούσα διπλωματική θα εστιάσουμε στο FUSION 360 (της Autodesk), ένα αρκετά καινούργιο πρόγραμμα (περίπου 2 έτη) το οποίο είναι το πρώτο που δίνει βάση στη cloud λειτουργία. Είναι διαθέσιμο σε πολλά λειτουργικά συστήματα, χωρίς καμία απολύτως διαφορά στη λειτουργία του πράγμα εξαιρετικά σπάνιο για τα σημερινά δεδομένα (Windows, Macintosh για κύρια χρήση αλλά και Android και ios για display και μικρές παρεμβάσεις). Ο κυριότερος λόγος που αποφάσισα να ασχοληθώ με το συγκεκριμένο εκτός από ότι είναι συμβατό με πολλά λειτουργικά, είναι ότι είναι πολύ ελαφρύ στις απαιτήσεις του σε σχέση με αντίστοιχα, ιδιαίτερα πιο οικονομικό και επειδή είναι καινούργιο ουσιαστικά διαμορφώνεται και στήνεται μέσα από εμάς, τους χρήστες, που κάνουμε προτάσεις και παρατηρήσεις ώστε να βελτιωθεί η εμπειρία χρήσης και να είναι πλέον ένα απλό εργαλείο καθημερινής χρήσης. Είναι με τέτοιο τρόπο στημένο το όλο project όπου σε παροτρύνει να ασχοληθείς με αυτό το τρόπο. Το οποίο είναι ιδιαίτερα θετικό καθώς θα γίνει όλο και πιο κατανοητό και εύκολο για νέους χρήστες να το οικειοποιηθούν και να το εντάξουν στη καθημερινότητα τους.

Υπάρχουν πάρα πολλά σεμινάρια για αρχάριους (online) που έχουν δημιουργηθεί από την ίδια την εταιρία, έτσι ώστε ο χρήστης να μπορεί να ξεκινήσει με απλά βήματα και στη συνέχεια να επεκταθεί. Έτσι σε αυτή την ενότητα θα προσπαθήσουμε να δημιουργήσουμε μερικά βασικά σώματα όπως τα τούβλα, σε σύγκριση με τα διαμερίσματα που χρησιμοποιούνται κανονικά. Προκειμένου να συνοψίσουμε αν είναι προτιμότερη η συμβατική λύση για μια απλή δομή για χωρίσματα στη βιομηχανική περιοχή και πολλά άλλα.



Εικόνα 1: Opening Εικόνα in Fusion 360

Τι μπορεί όμως να προσφέρει η τρισδιάστατη εκτύπωση σε σχέση με άλλες μεθόδους δημιουργίας υλικών;

Για απλές κατασκευές μπορεί να μη χρειάζονται ιδιαίτερες τεχνικές δεξιότητες, αλλά να αρκεί να το σχεδιάσεις. ο τρισδιάστατος εκτυπωτής θα κάνει τα υπόλοιπα.

Για ιδιαίτερες επιφάνειες μπορεί να είναι και μονόδρομος, καθώς οι μηχανές CNC, ακόμα και με Laser κοπή δεν μπορούν να εισχωρήσουν σε εσωτερική επιφάνεια... Ενώ στον εκτυπωτή που δημιουργείται το κομμάτι ανά στρώσει μπορούν να δημιουργηθεί οτιδήποτε (με τα κατάλληλα στηρίγματα φυσικά)

Τι γίνεται όμως με το κόστος;

Υπάρχει σαφέστατα το κόστος απόκτησης του μηχανήματος, αλλά υπάρχει και κόστος συντήρησης με το μεγαλύτερο να είναι το κόστος των αναλώσιμων.

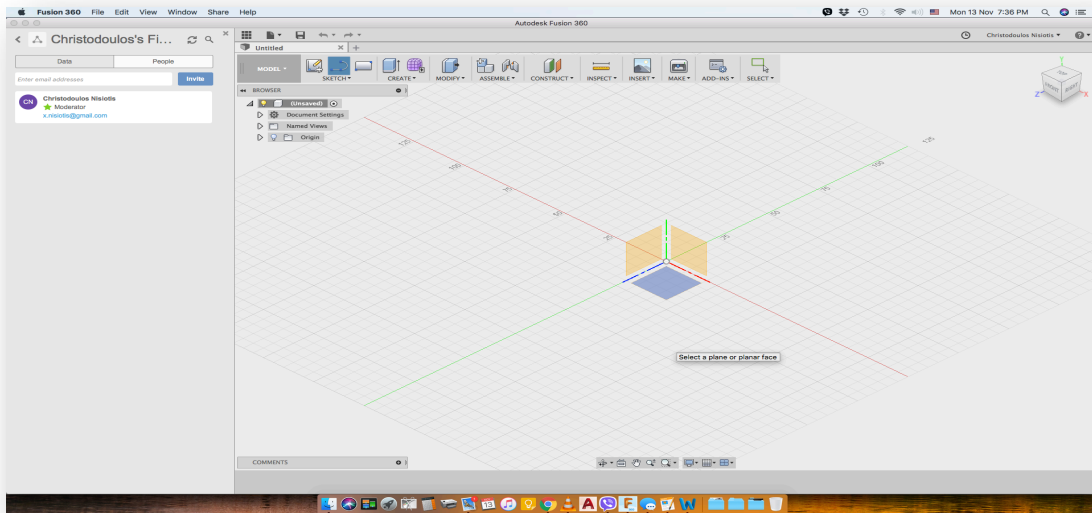
Ανάλογα βέβαια με το αν είναι ανοικτού ή κλειστού τύπου υπάρχουν σημαντικές διαφορές αλλά και επίπεδα λειτουργίας.

Ας δούμε μια απλή περίπτωση δημιουργίας κομματιών.

Το concept της ιδέας είναι να έχουμε εύκολα παραμετροποιήσιμα γεωμετρικά σχήματα όπου θα μπορούν να κουμπώσουν το ένα με το άλλο χωρίς τη χρήση κάποιου άλλου υλικού συγκράτησης. Έτσι θα μπορούσαν να δημιουργηθούν ανά πάσα ώρα και στιγμή χωρίσματα οπουδήποτε (σε χώρους εργασίας, αποθήκευσης, και άλλα)

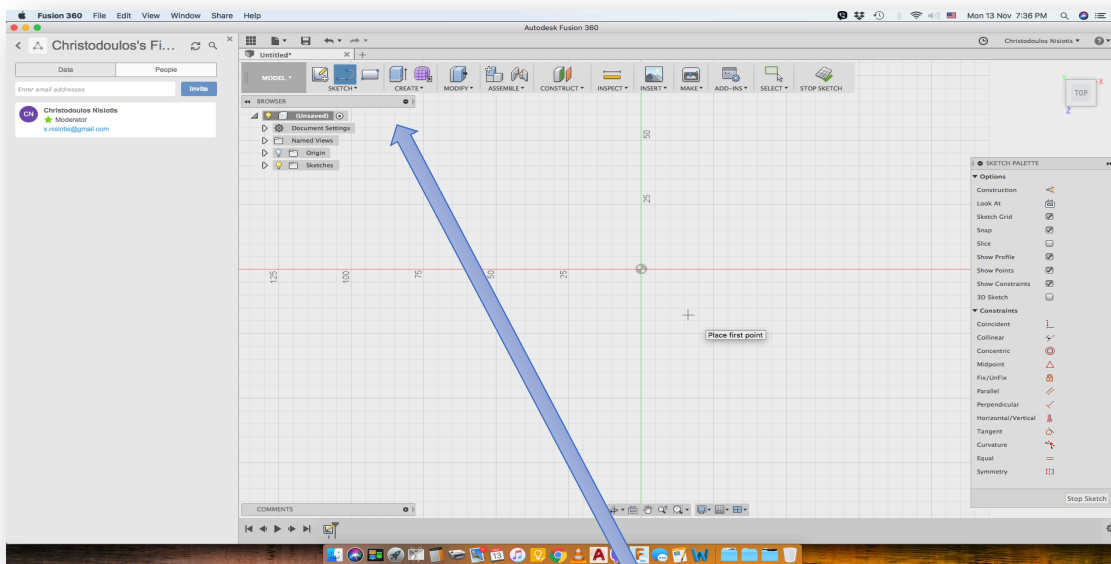
Ας δούμε όμως τα βήματα

6.2 Fusion 360 – Βήματα Διαδικασίας



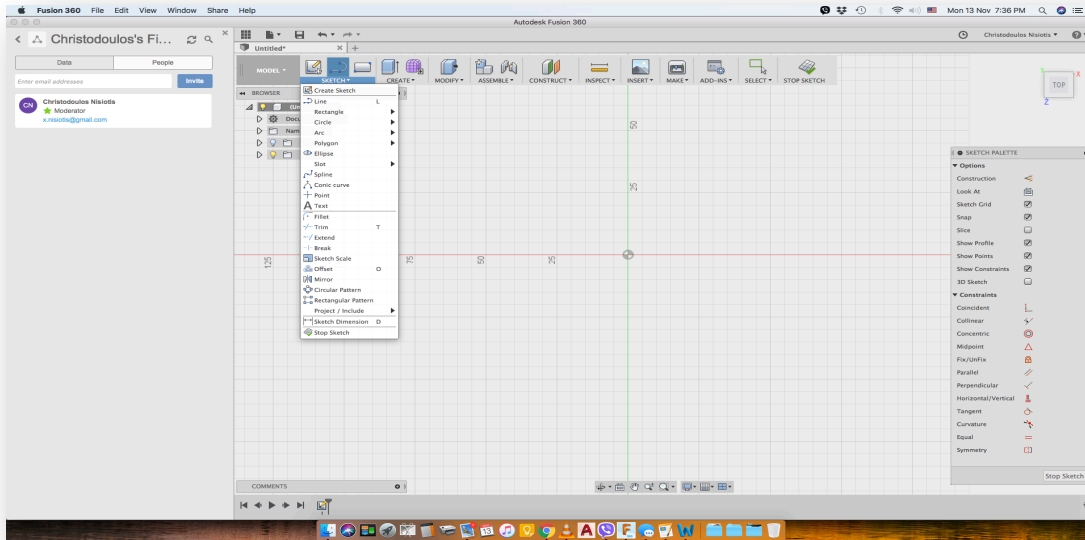
Εικόνα 2: Fusion 360 - walk through

Αρχικά αυτό είναι το interface που συναντούμε όταν ανοίγουμε το πρόγραμμα



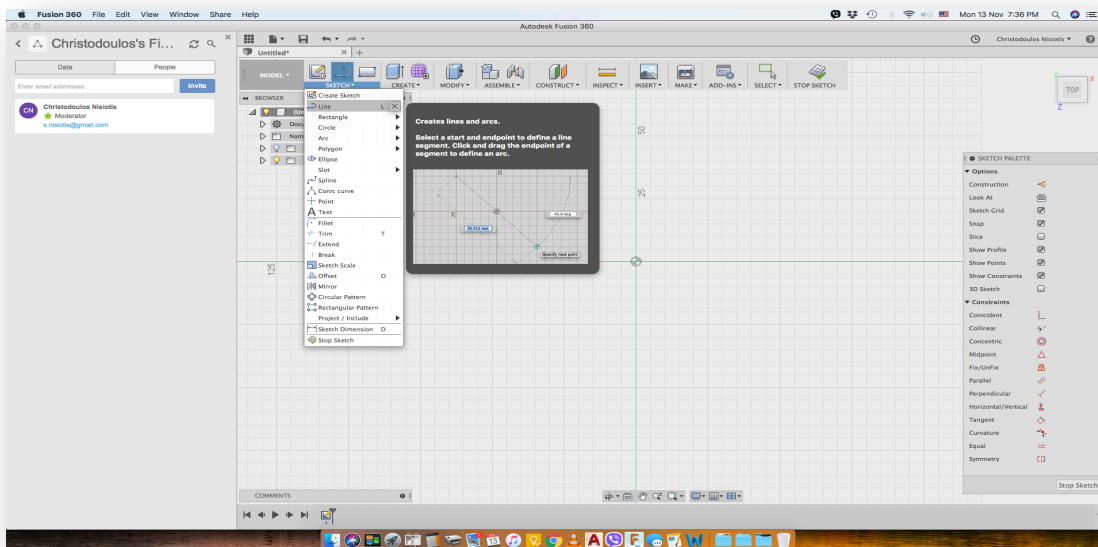
Εικόνα 3: Fusion 360 - walk through

Στη συνέχεια επιλέγοντας στο μενού σχεδίασης “SKETCH” εμφανίζονται τα 3 planes που αντιστοιχούν στα επίπεδα του χώρου. Εκεί απλά κάνοντας κλικ επιλέγουμε σε ποιο επίπεδο θα ξεκινήσουμε να σχεδιάζουμε.



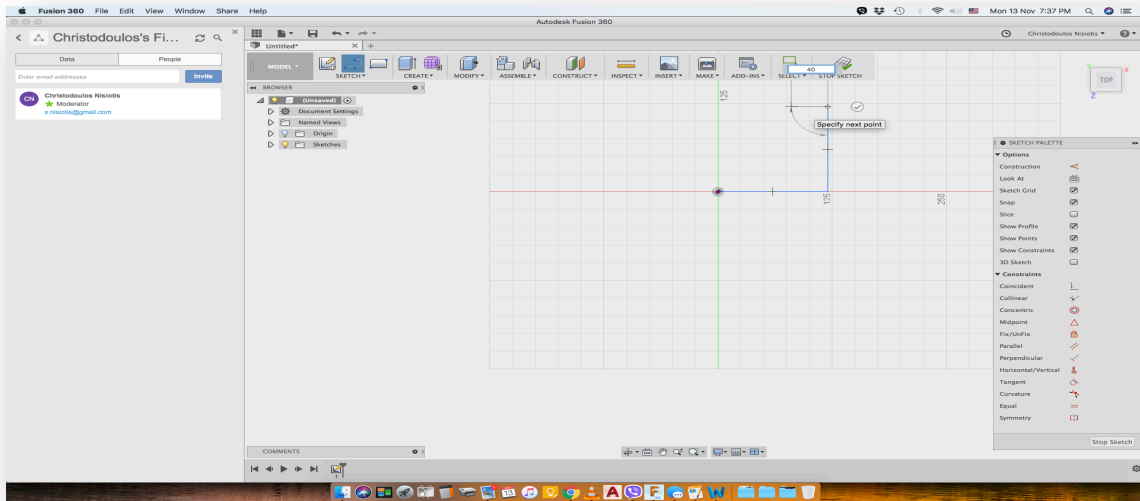
Εικόνα 4: Fusion 360 - walk through

Βλέποντας κάθετα το επίπεδο όπου θα σχεδιάσουμε την όψη του κομματιού.



Εικόνα 5: Fusion 360 - walk through

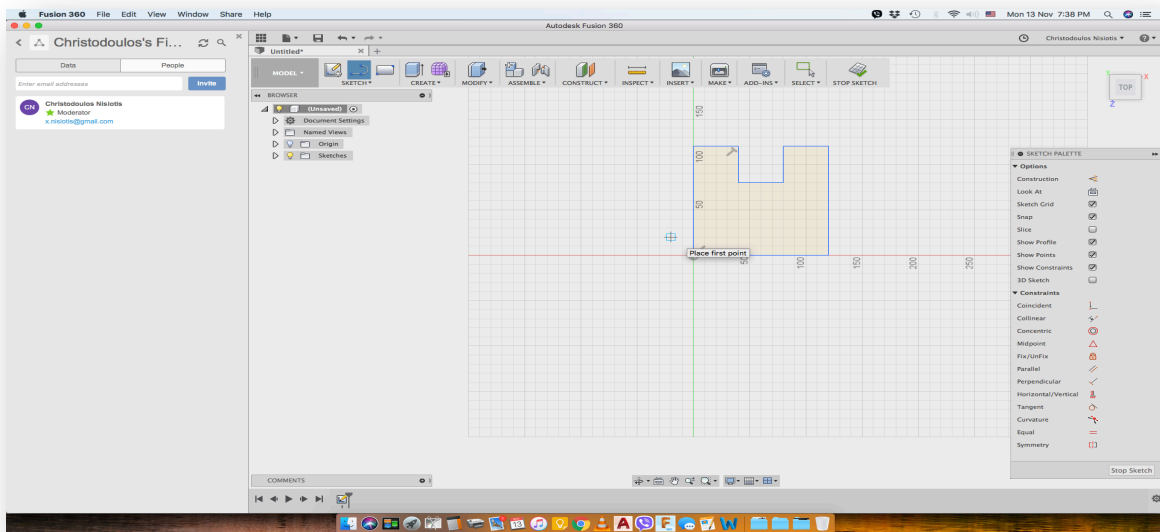
Από το drop menu του sketch επιλέγουμε τη «γραμμή»



Εικόνα 6: Fusion 360 - walk through

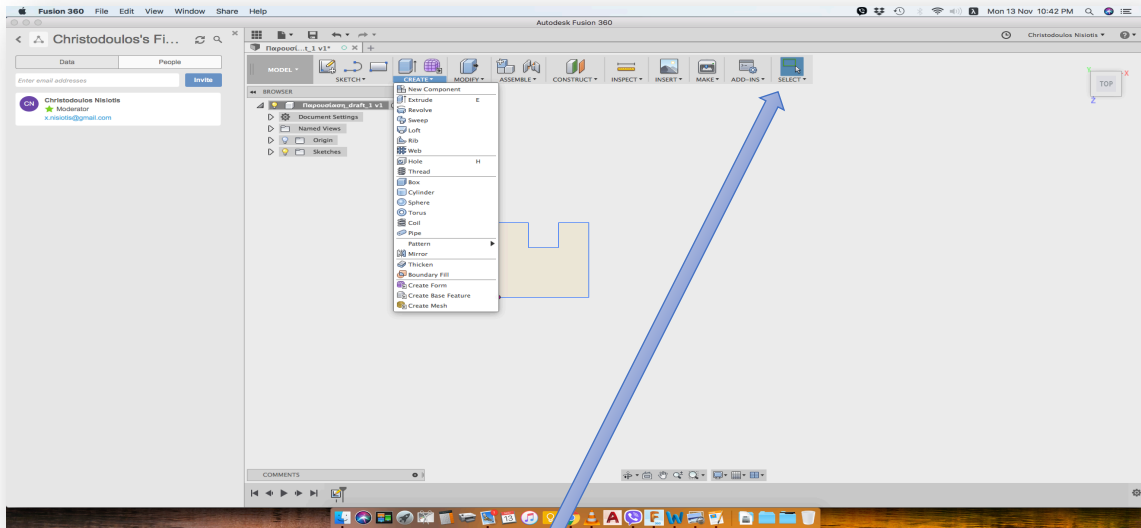
Και ξεκινάμε ενώνοντας σημεία μεταξύ τους.

Μπορούμε και να πληκτρολογήσουμε τις διαστάσεις για να μη χρειάζεται να το αλλάζουμε μετά.



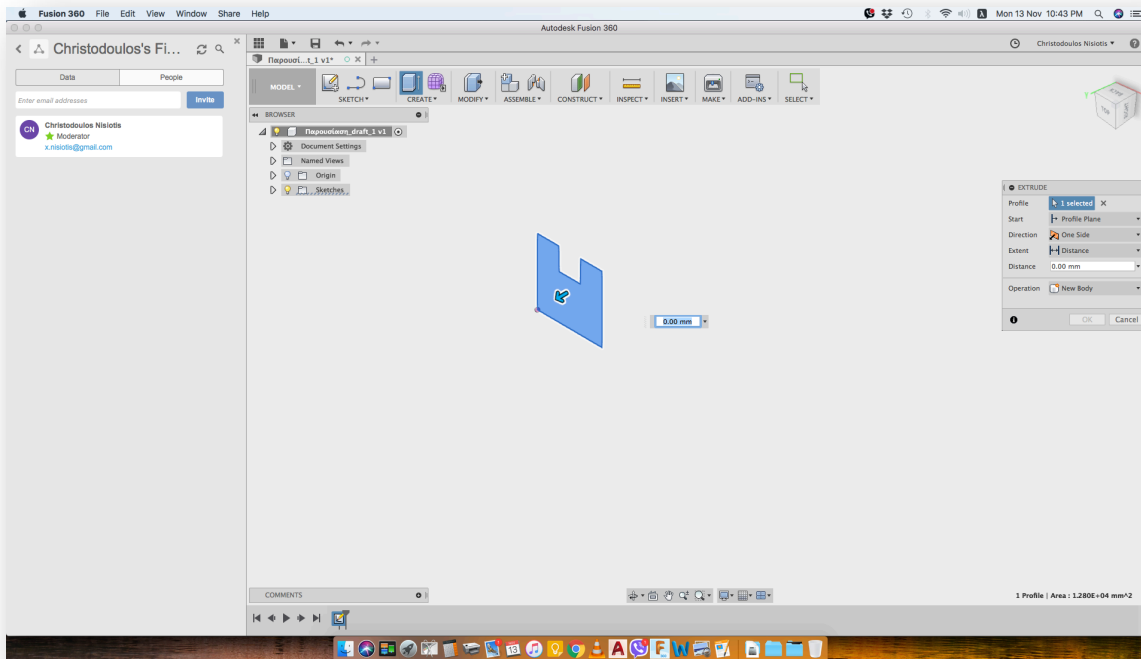
Εικόνα 7: Fusion 360 - walk through

Έως ότου κλείσουμε την όψη, όπου βλέπουμε και το χαρακτηριστικό χρώμα που σημαίνει ότι “έκλεισε”.



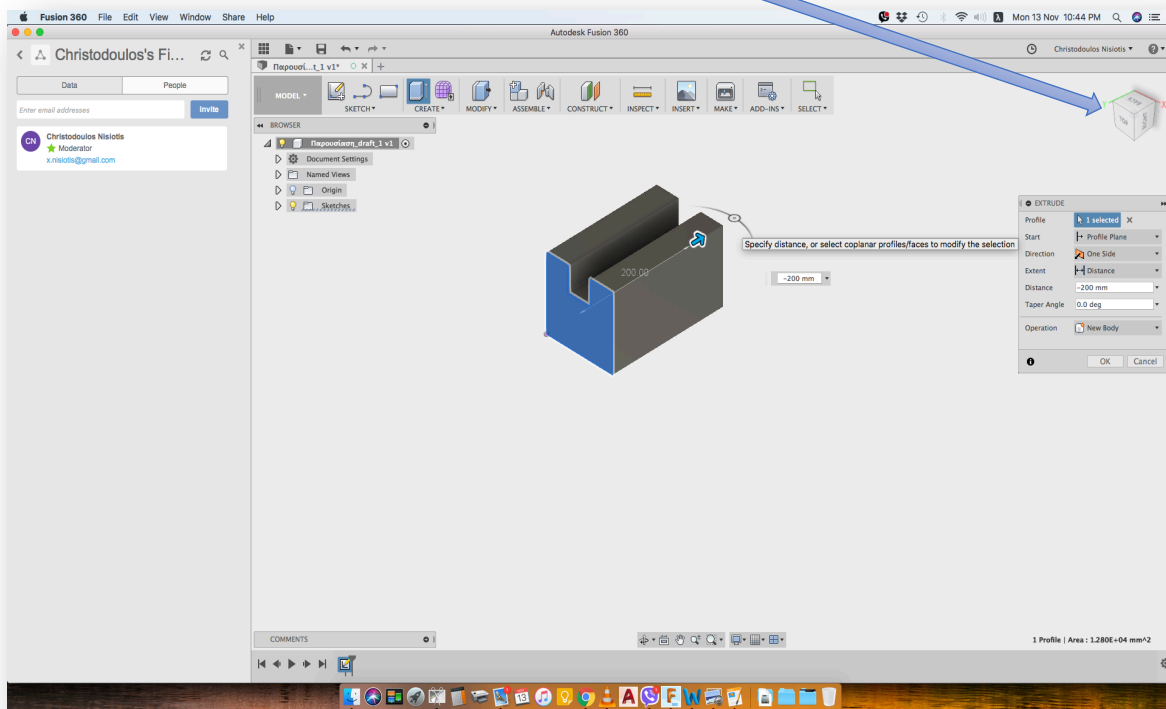
Εικόνα 8: Fusion 360 - walk through

Στη συνέχεια, αφού πατήσουμε “STOP SKETCH” επιλέγουμε από το menu “CREATE” την λειτουργία “Extrude”. Αυτό μας δίνει τη δυνατότητα να επεκτείνουμε την όψη που επιλέγουμε στον κάθετο άξονα στο επίπεδο που έχουμε σχεδιάσει. Είναι από τις πιο συνηθισμένες εντολές για δημιουργία τρισδιάστατου κομματιού από δισδιάστατο.



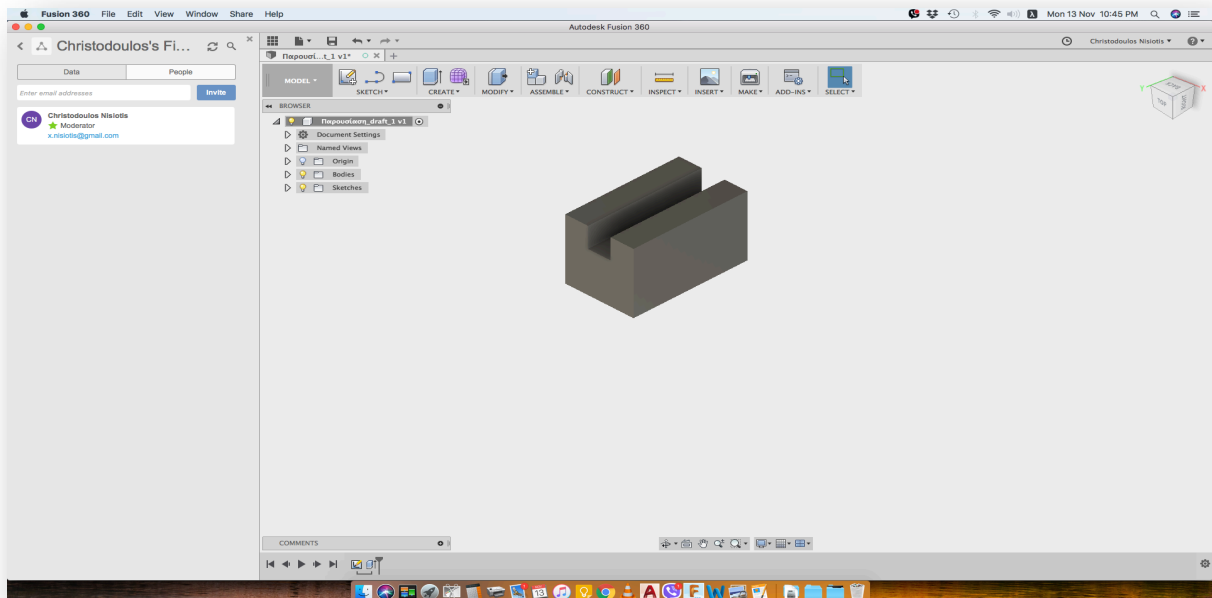
Εικόνα 9: Fusion 360 - walk through

Για ευκολία από τον κύβο (πάνω δεξιά) επιλέγουμε μια όψη που μας βοηθάει να δούμε προς τα που θα επεκτείνουμε.

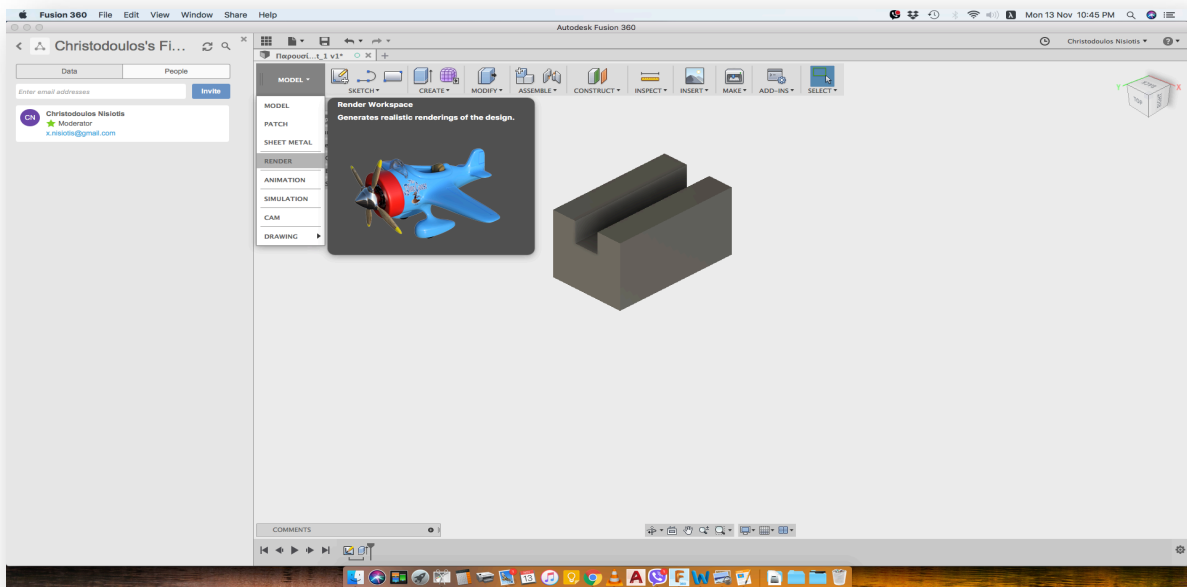


Εικόνα 10: Fusion 360 - walk through

Και εδώ όπως και στη λειτουργία του "sketch" μπορούμε να περάσουμε απευθείας διαστάσεις.

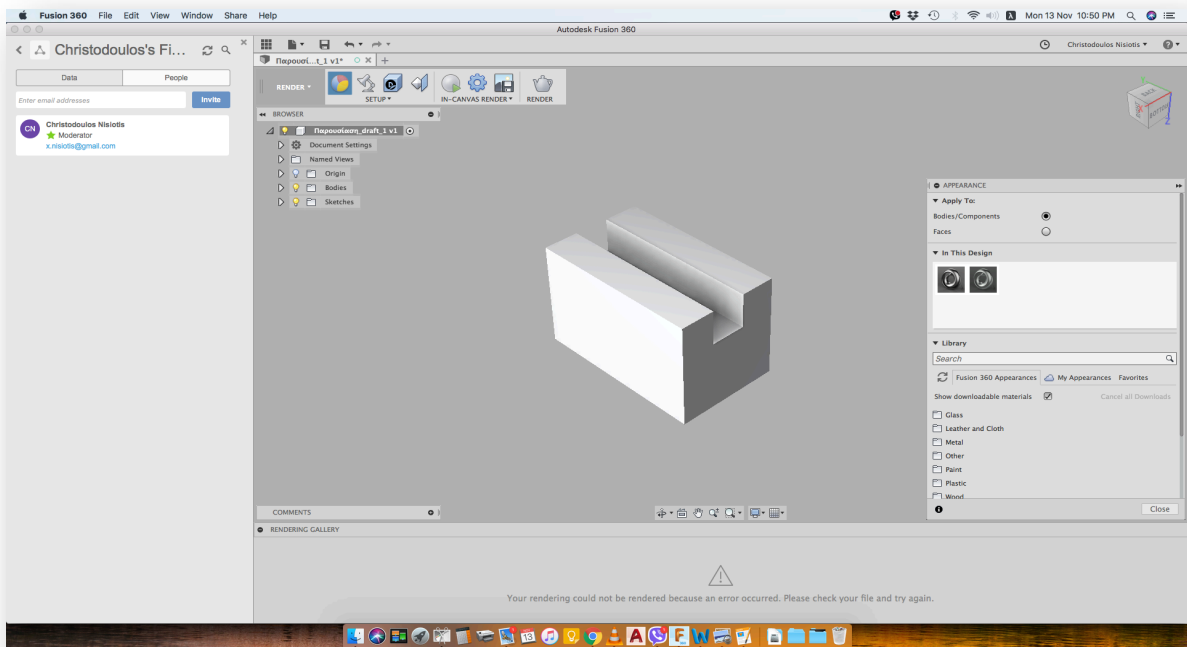


Εικόνα 11: Fusion 360 - walk through – Ολοκληρωμένο το κομμάτι μετά το "extrude"



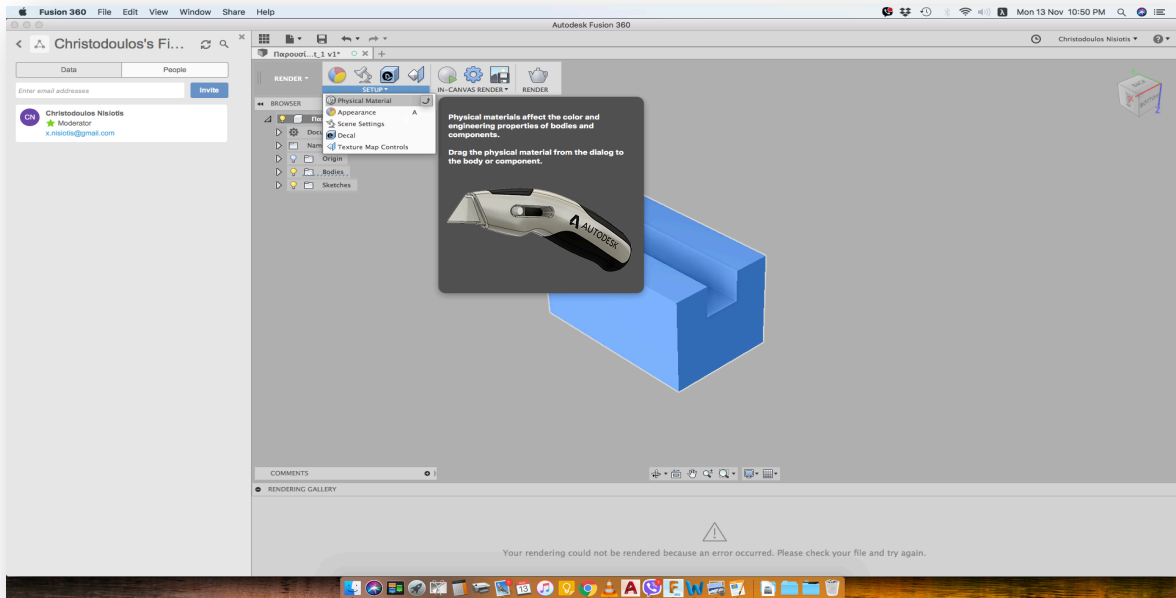
Εικόνα 12: Fusion 360 - walk through

Έχουμε τη δυνατότητα να κάνουμε και “Render” το κομμάτι μας. Να του προσθέσουμε δηλαδή φωτορεαλιστική απεικόνιση.



Picture 13: Fusion 360 - walk through

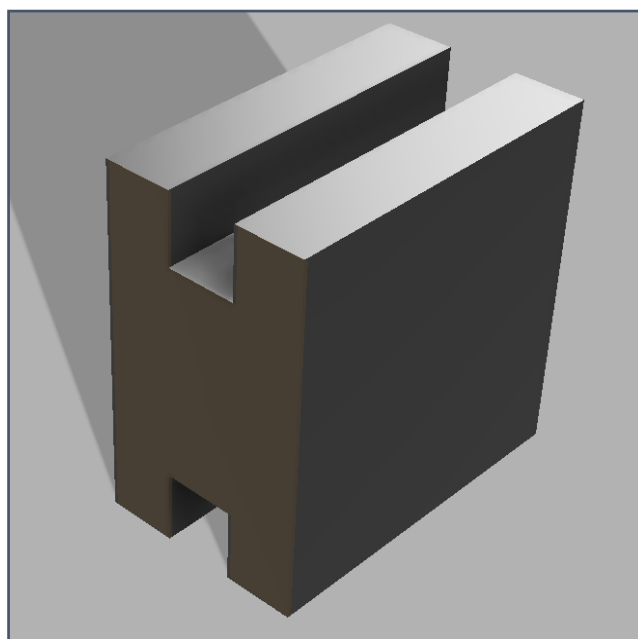
Να αλλάξουμε υφή, υλικό και χρώμα μέσα από μια μεγάλη βιβλιοθήκη που επεκτείνεται κι άλλο.



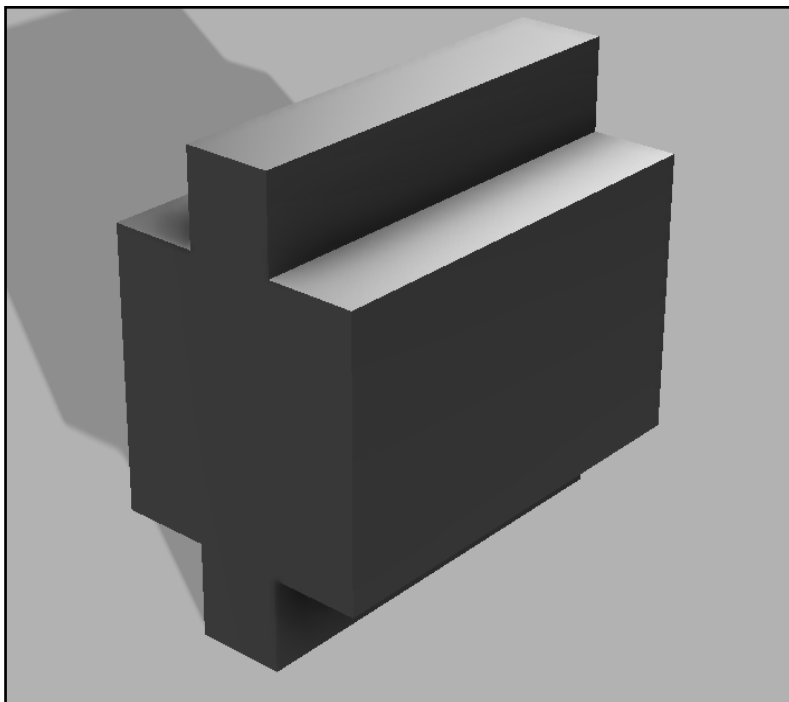
Εικόνα 14: Fusion 360 - walk through

Αυτός είναι ένας πολύ απλός τρόπος δημιουργίας ενός τεμαχίου. Εννοείται ότι υπάρχουν πολλοί άλλοι για να φέρουν το ίδιο αποτέλεσμα. Όπως με “fixed dimensions” ή με “mirror” ώστε να σχεδιάζεις το μισό και το υπόλοιπο να ακολουθεί τον ίδιο κανόνα κλπ.

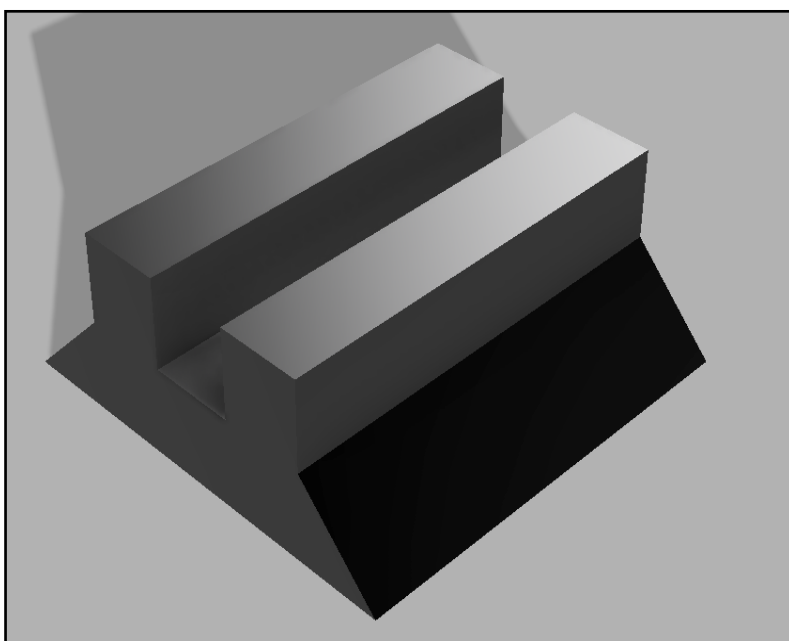
Με παρόμοιο τρόπο λοιπόν δημιουργήθηκαν τα εξής:



Εικόνα 15: Fusion 360 - walk through – Κομμάτι 4

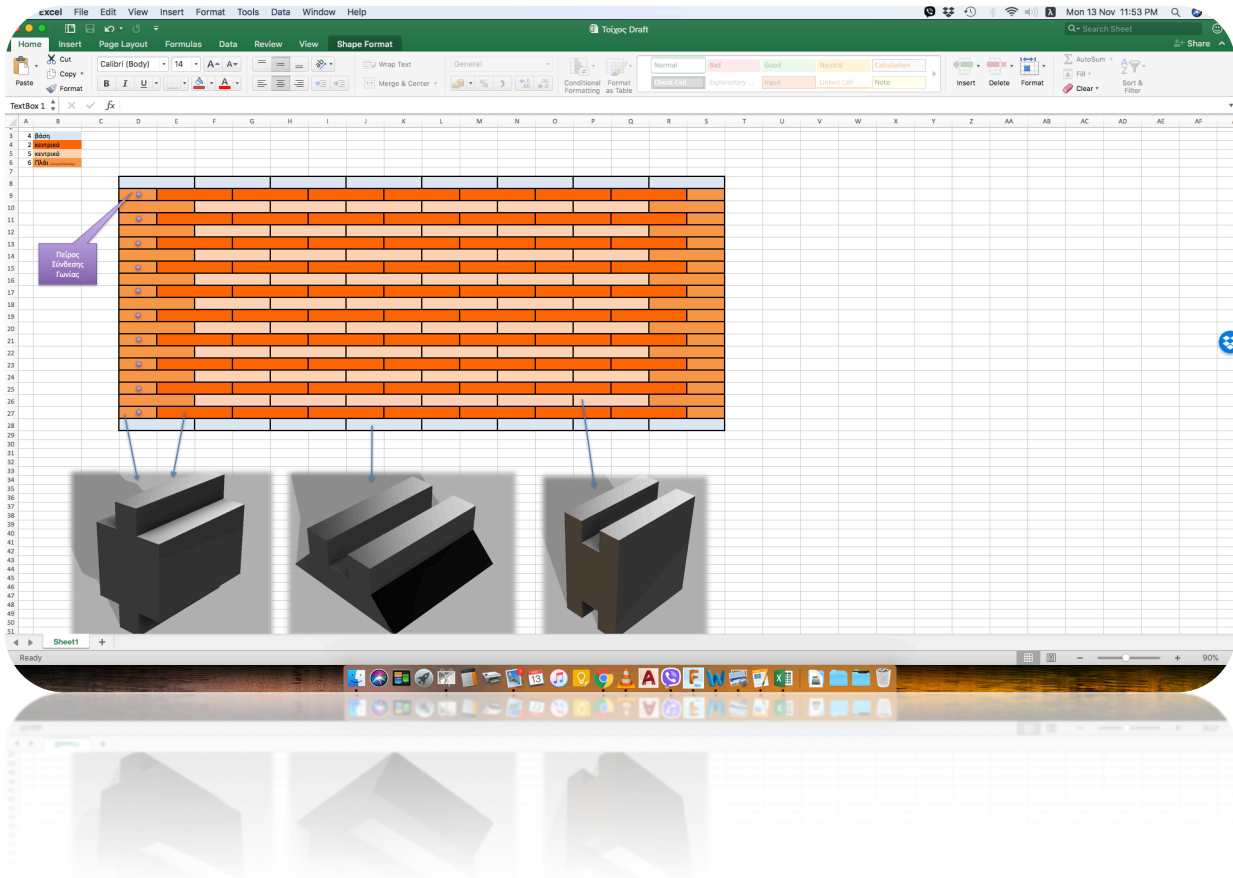


Εικόνα 16: Fusion 360 - walk through – Κομμάτι 2



Εικόνα 17: Fusion 360 - walk through – Κομμάτι 3

Τα οποία είναι τα κύρια κομμάτια του τοίχου



Εικόνα 18: Πρώιμο σχέδιο του τοίχου

Μετά την ολοκλήρωση της σχεδίασης θα γίνει η μοντελοποίηση στον εκτυπωτή.

6.3 Διαδικασία Εκτύπωσης

Μία από τις κυριότερες διαφορές ανάμεσα στη χρήση εκτυπωτή κλειστού τύπου ή ανοικτού, είναι το πρόγραμμα που παραμετροποιεί το μοντέλο.

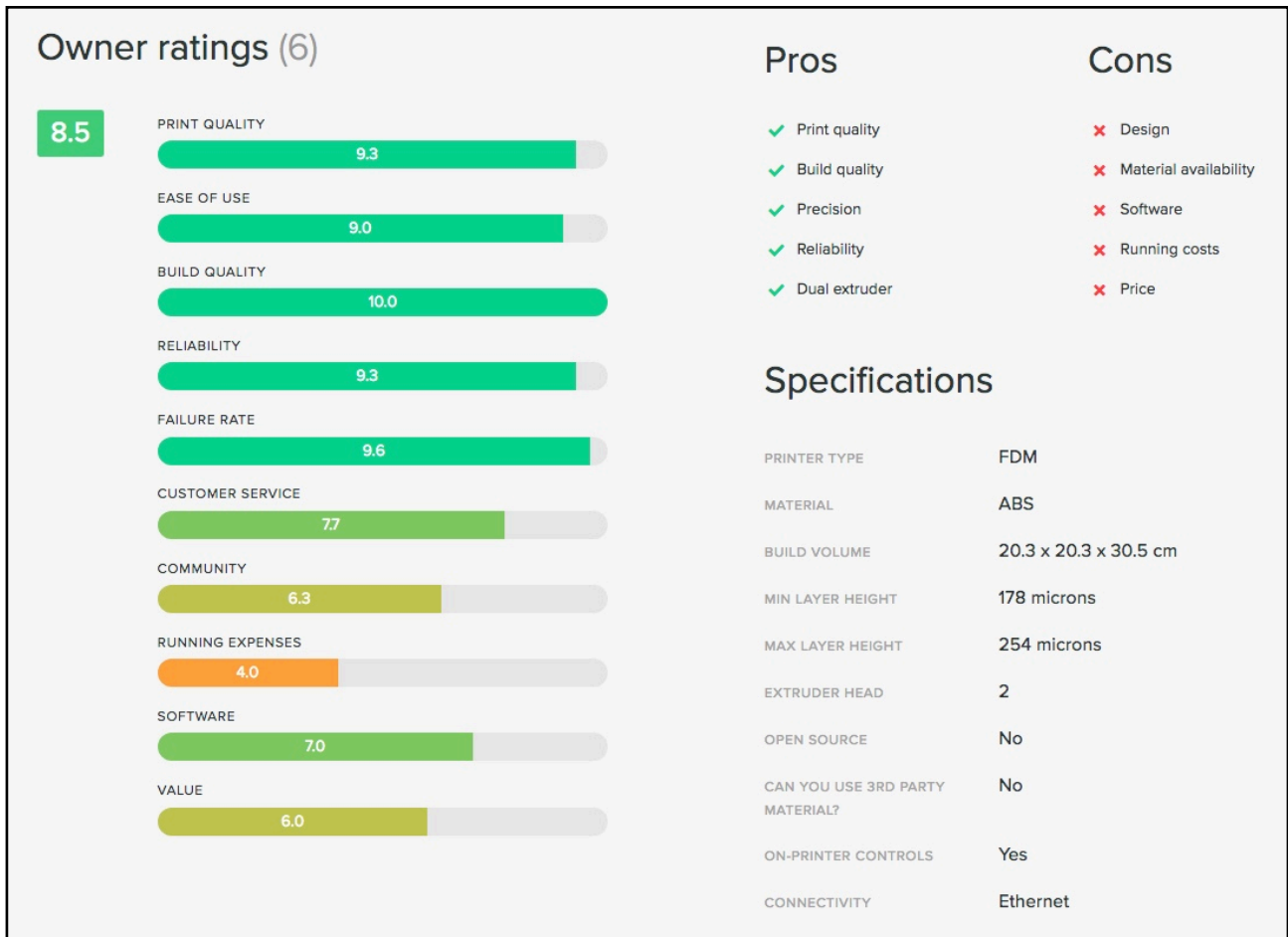
Στου ανοικτού τύπου υπάρχουν πολλά open source προγράμματα (όπως το Simplify3D και το Meshmixer) ενώ του κλειστού τύπου συνοδεύονται από δικό τους πρόγραμμα και στις περισσότερες περιπτώσεις είναι δεσμευτικό.

Στην περίπτωση μας, χρησιμοποιούμε τον εκτυπωτή Stratasys Dimension Elite.

Ο οποίος prints with ABS+ and has a build volume of 20 x 20 x 30 cm



Εικόνα 19: Stratasys Dimension Elite printer (<https://www.3dhubs.com/3d-printers/dimension-elite>, [Πρόσβαση 31 Οκτωβρίου 2017])



Εικόνα 20: Stratasys Dimension Elite printer – Owner ratings (<https://www.3dhubs.com/3d-printers/dimension-elite> [Πρόσβαση 31 Οκτωβρίου 2017])

Γιατί όμως χρησιμοποιούμε διαφορετικό πρόγραμμα για να χτίσουμε; και που χρειάζεται;

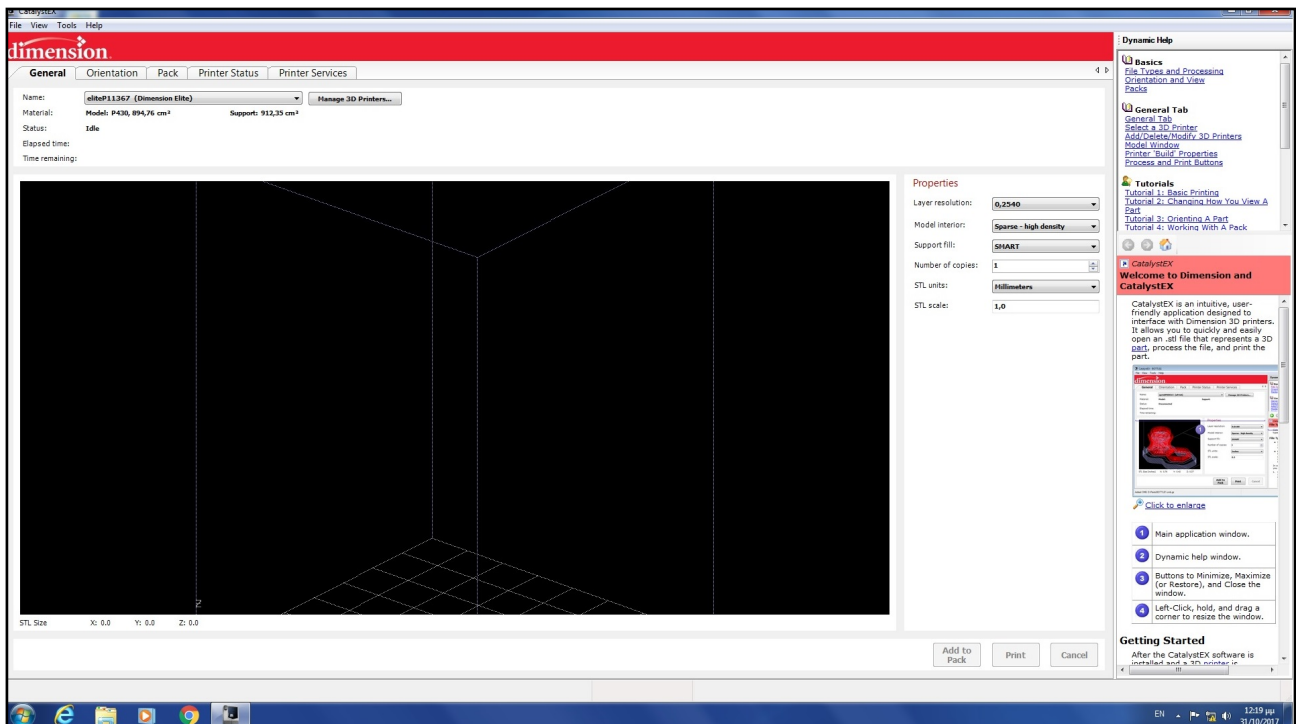
Συνήθως υπάρχουν 3 κατηγορίες με βάση τη λειτουργία / πρώτες ύλες που χρησιμοποιούν.

- DLP
- FDM
- ABS

Οι FDM και ABS είναι πολύ κοντά, αλλά κυρίως οι FDM είναι ανοιχτού (με χαμηλότερες θερμοκρασίες) και οι ABS κλειστού.

Εκτός όμως από το υλικό που θα είναι το δοκίμιο, χρειαζόμαστε και ένα 2ο βοηθητικό υλικό για στηρίγματα. Το οποίο μπαίνει πάντα σαν βάση στην έδρα του χώρου εκτύπωσης αλλά και όπου αλλού χρειάζεται ώστε να στηθεί σωστά το κομμάτι. Αυτό στη συνέχεια αποκολλάται και μένει το καθαρό. Επίσης ρυθμίζεται το γέμισμα του κομματιού, το πλήθος και το πάχος των layers και άλλα.

Αυτά λοιπόν για να γίνουν πρέπει να εισάγουμε στο πρόγραμμα ένα αρχείο τύπου .stl το οποίο λειτουργεί κατά κάποιο τρόπο όπως ο g κώδικας για τα κέντρα κατεργασίας CNC.



Εικόνα 21: Dimension UI_1

Εδώ βλέπουμε την πρώτη καρτέλα του προγράμματος του “**Dimension**”.

Πάνω αριστερά είναι το μοντέλο του εκτυπωτή που θα χρησιμοποιήσουμε (καθώς είναι σε δίκτυο μπορεί να δουλεύει παράλληλα με πολλούς)

Δεξιά είναι τα Properties. Εκεί ρυθμίζουμε:

Layer Resolution (Δηλαδή πόσα mm θα είναι κάθε στρώση που θα περνάει κατά το χτίσιμο.)

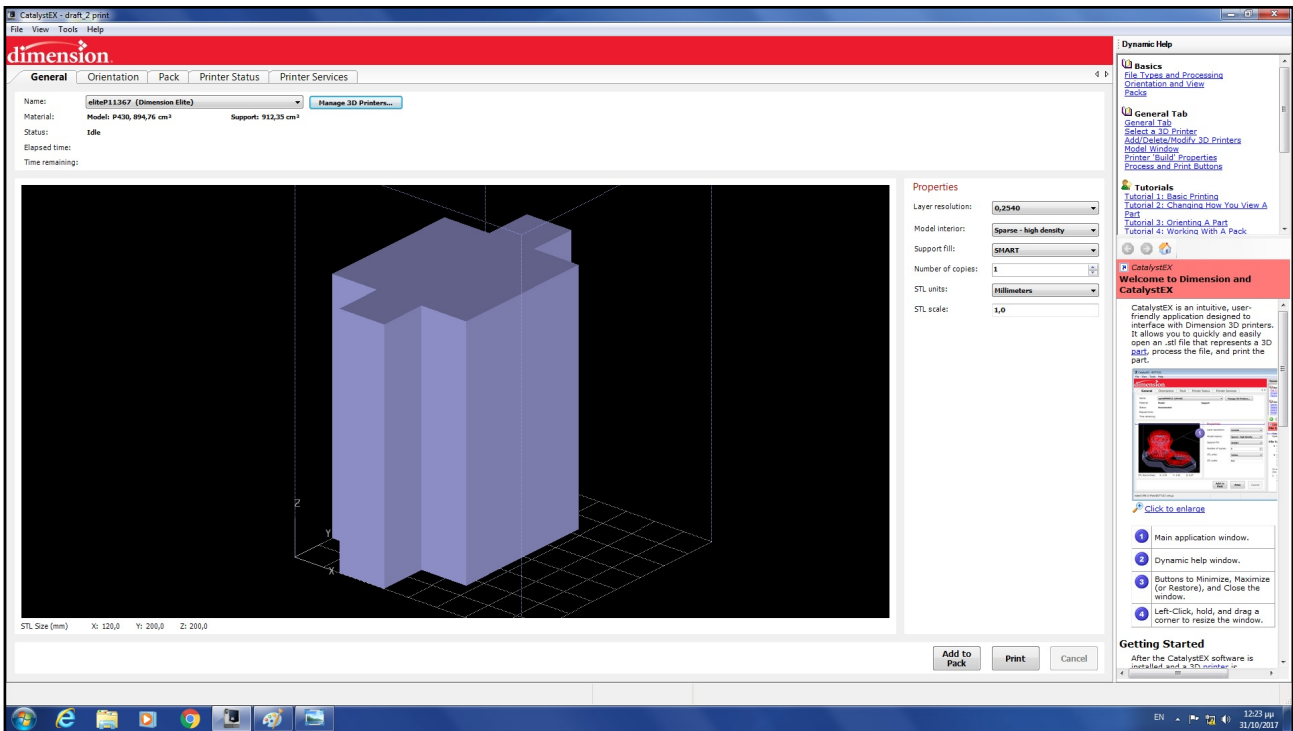
Model Interior (Αν θα είναι solid και αν όχι πόσο πυκνό. Solid δεν είναι συνηθισμένο, καθώς δημιουργούνται πολλές τάσεις στη συνέχεια με αποτέλεσμα να παραμορφοποιείται το κομμάτι)

Support Fill (Επιλέγουμε τον τρόπο με τον οποίο θα αναπτυχθούν τα στηρίγματα)

Number of copies (Πόσα αντίγραφα από το δοκίμιο θέλουμε να χτίσουμε τώρα. Αρκεί να χωράνε μέσα στο θάλαμο)

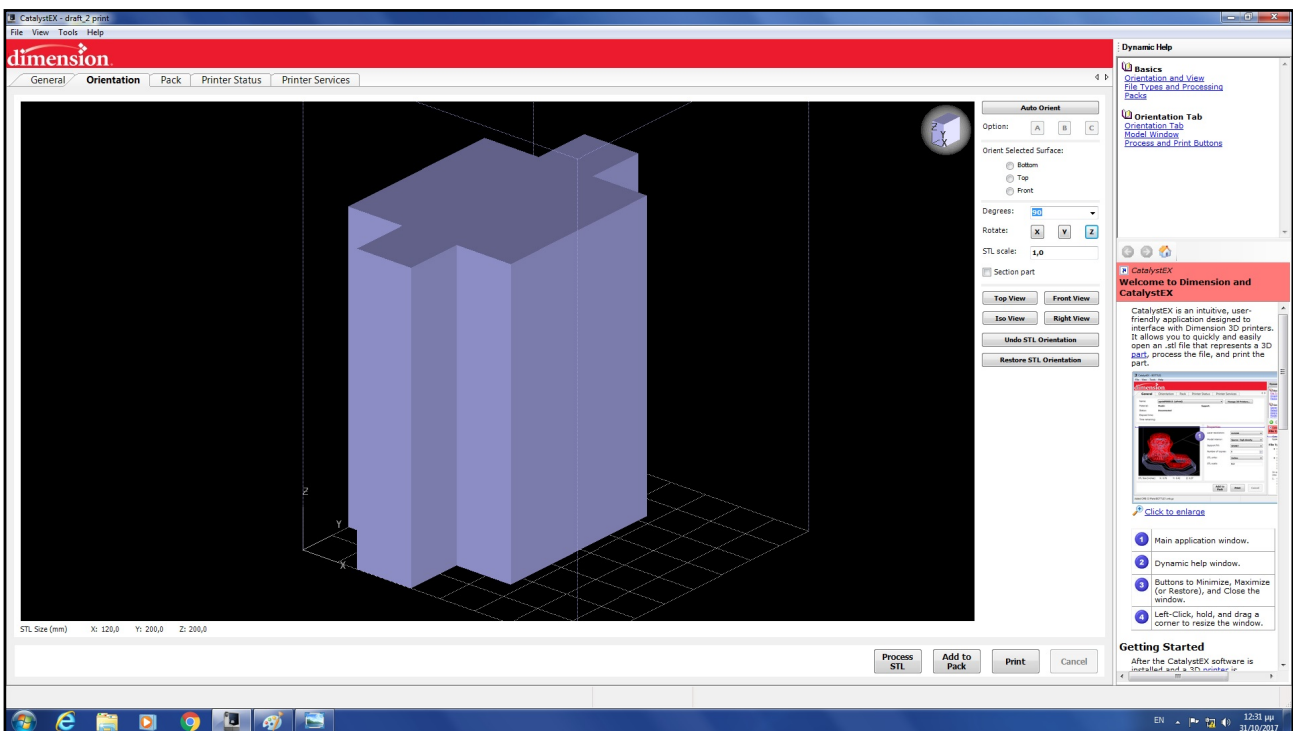
STL units

STL scale (Σε σχέση με αυτό που εισάγουμε πόσο θα είναι το κομμάτι που θα χτιστεί. Αυτό βοηθάει πολύ στη μοντελοποίηση καθώς το σχέδιο μπορεί να είναι πολύ μεγάλο αλλά να θες να δεις μια μικρογραφία για μία δοκιμή)



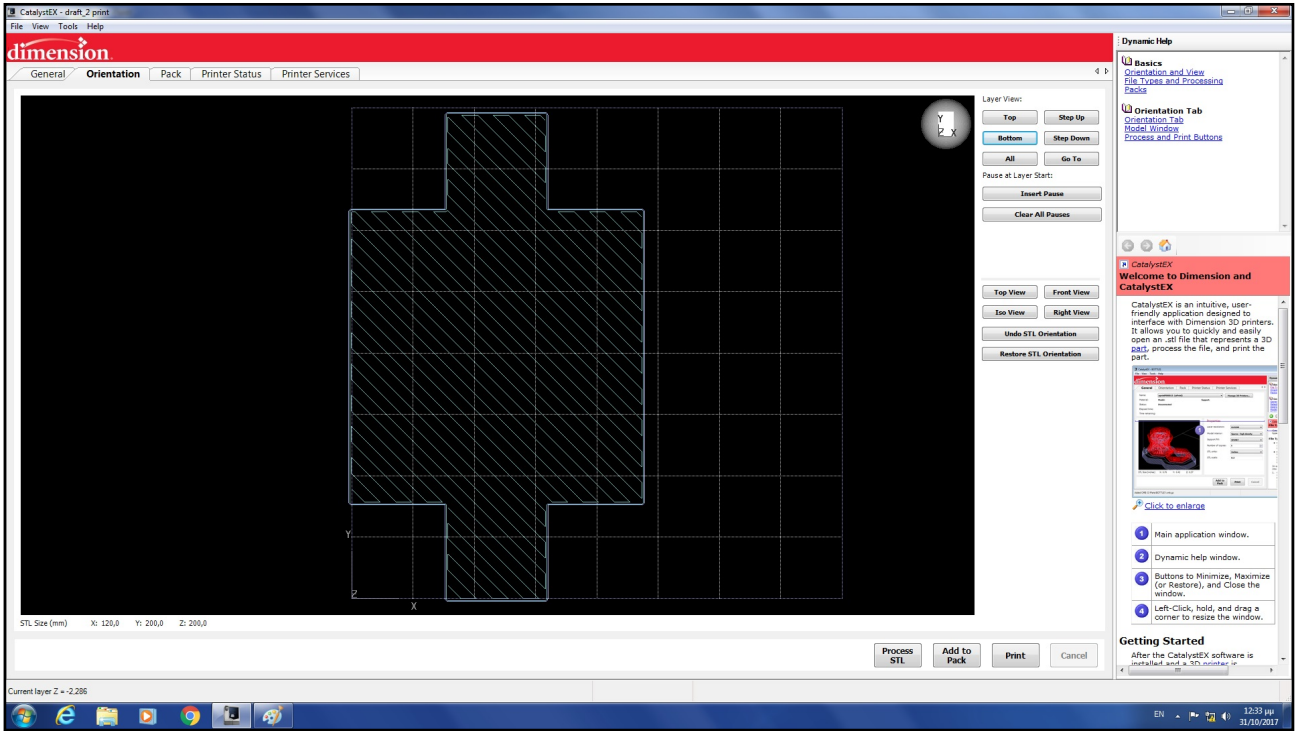
Εικόνα 22: Dimension UI_2

Εδώ έχουμε εισάγει το 1ο κομμάτι. Βλέπουμε τον προσανατολισμό που έχει επιλεχθεί. Μπορεί και να αλλάξει, αλλά είναι καλύτερα με αυτό τον τρόπο. Γιατί έχει λιγότερα στρώματα και οι στρώσεις δεν επηρεάζουν αρνητικά τη γεωμετρία του.



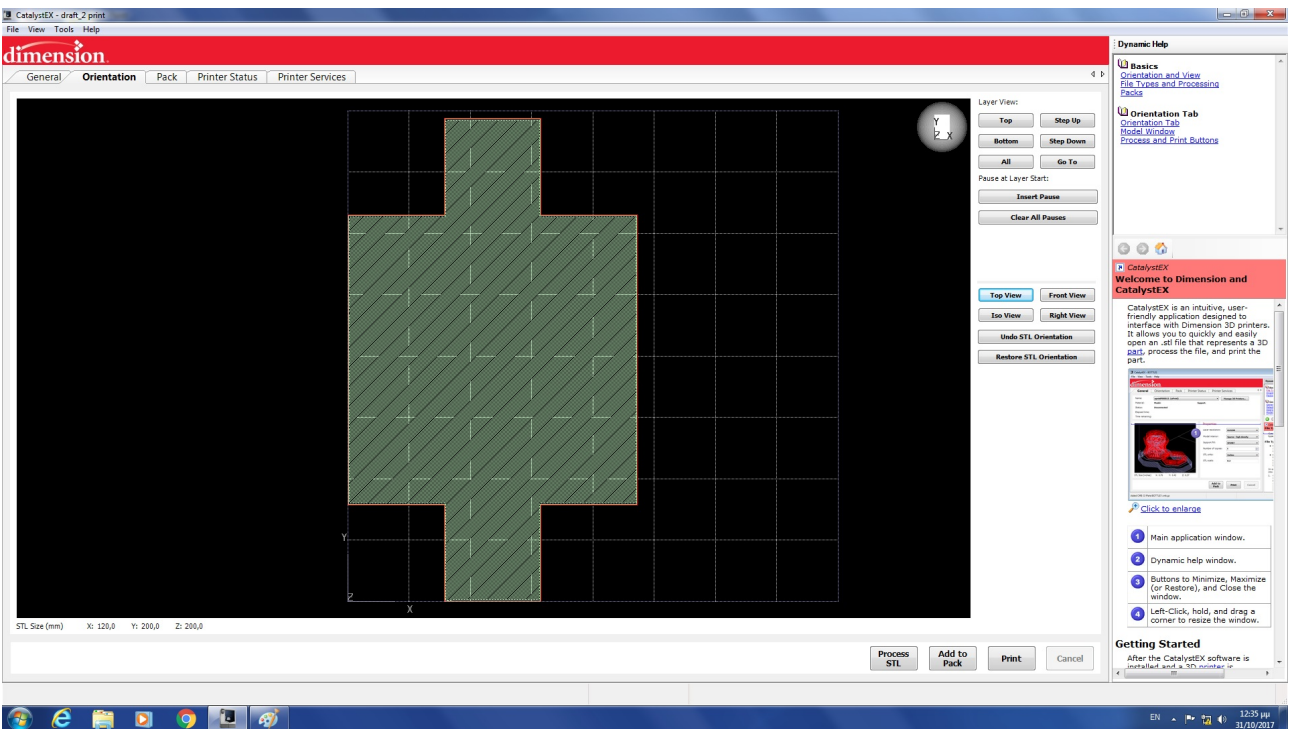
Εικόνα 23: Dimension UI_3

Στη 2η καρτέλα “Orientation” Μπορούμε αν θέλουμε να αλλάξουμε τη θέση του αντικειμένου κατά το χτίσιμο.

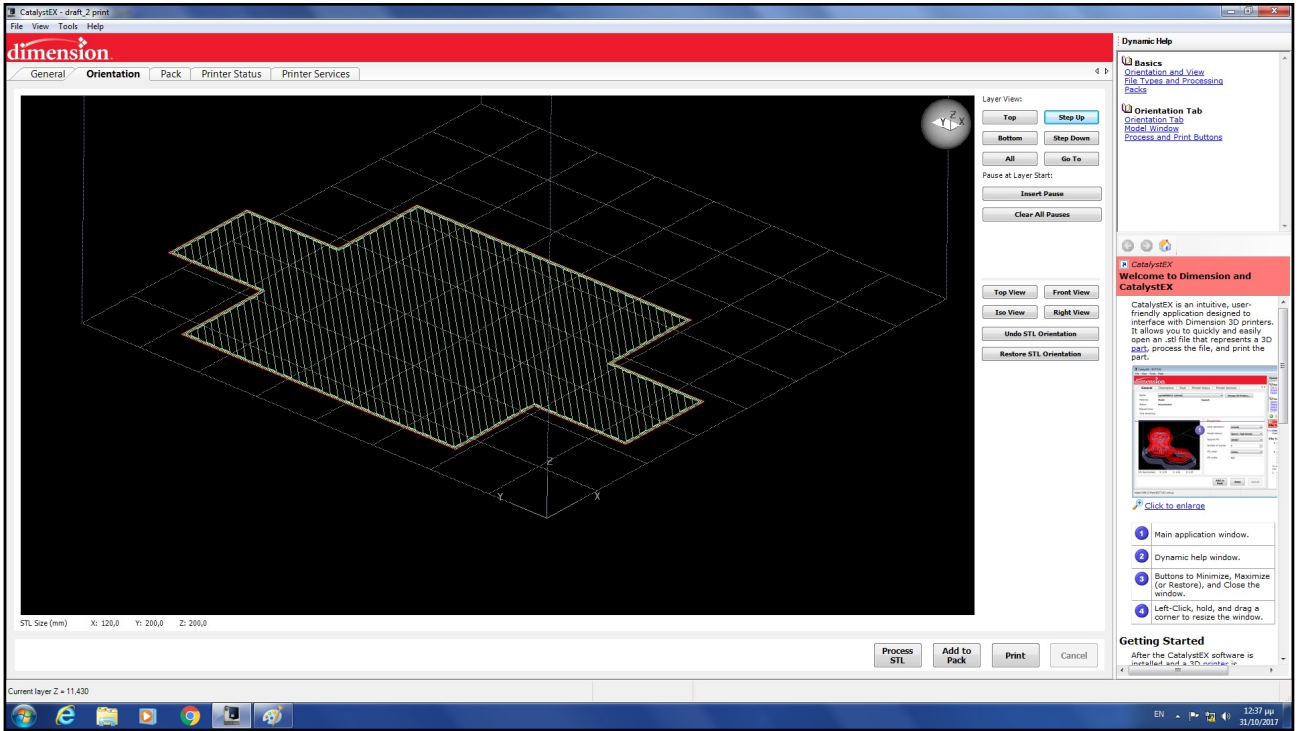


Εικόνα 24: Dimension UI_4

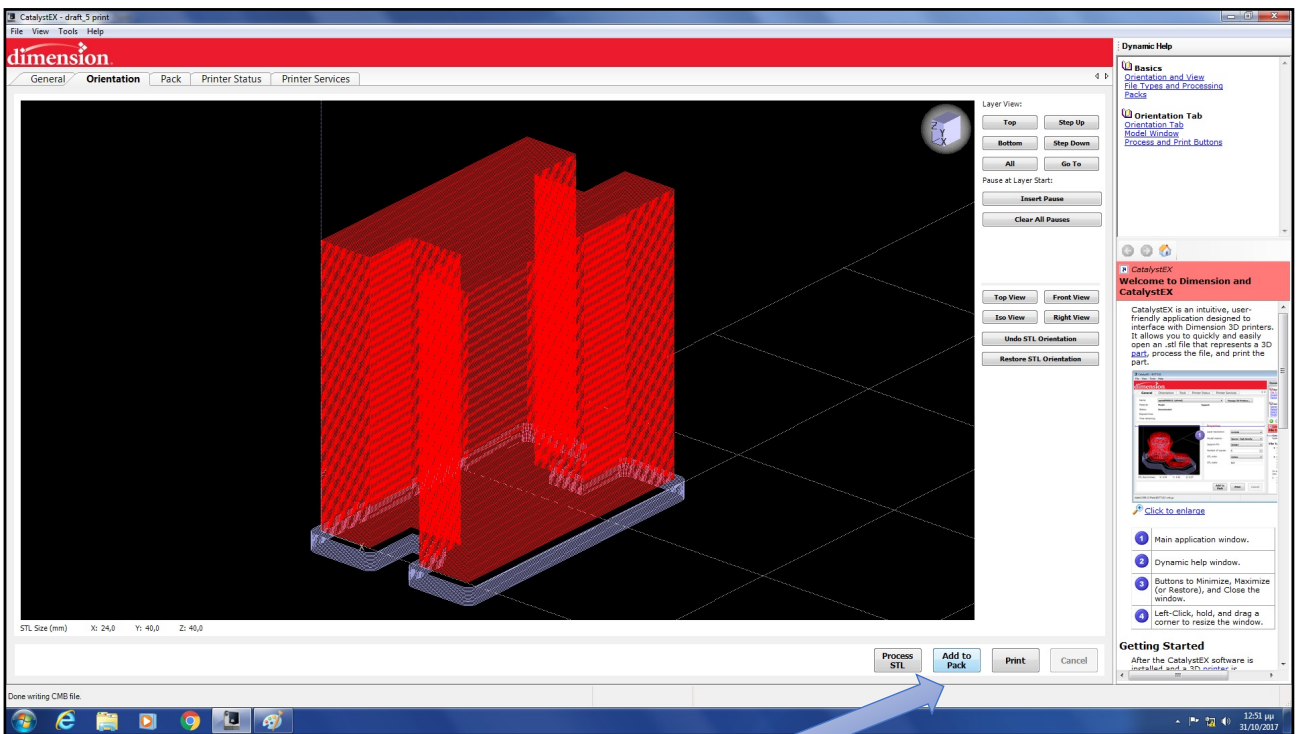
Μπορούμε να δούμε και ανά στρώση πως είναι το αντικείμενο.



Εικόνα 25: Dimension UI_5

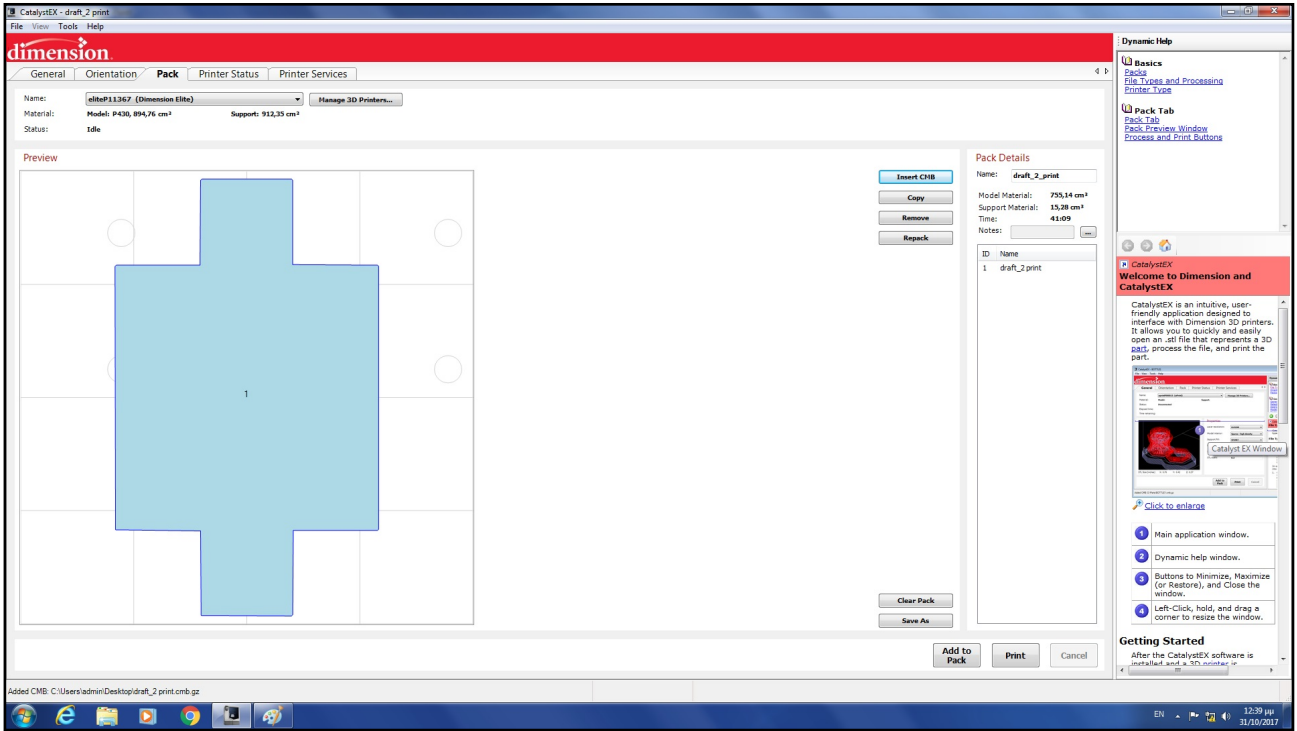


Εικόνα 26: Dimension UI_6



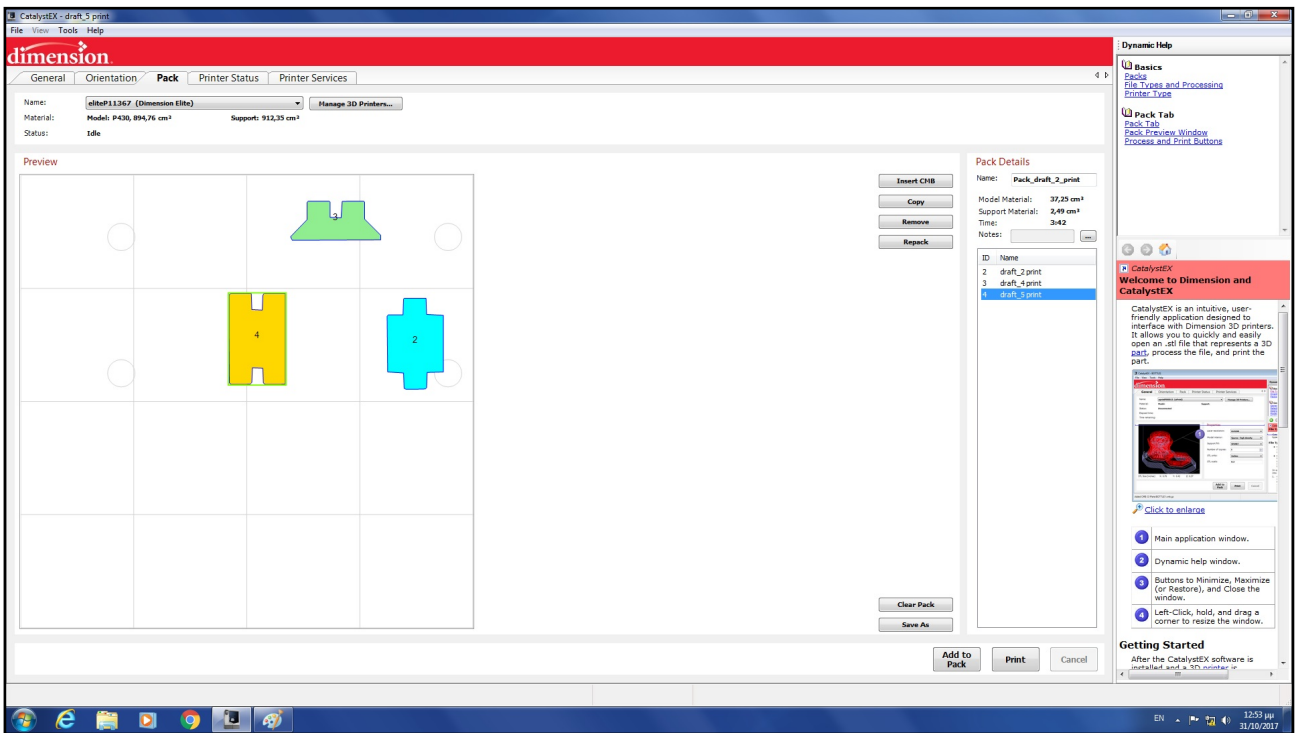
Εικόνα 27: Dimension UI_7

Τελειώνοντας με τους ελέγχους πατάμε "Add to Pack".



Εικόνα 28: Dimension UI_8

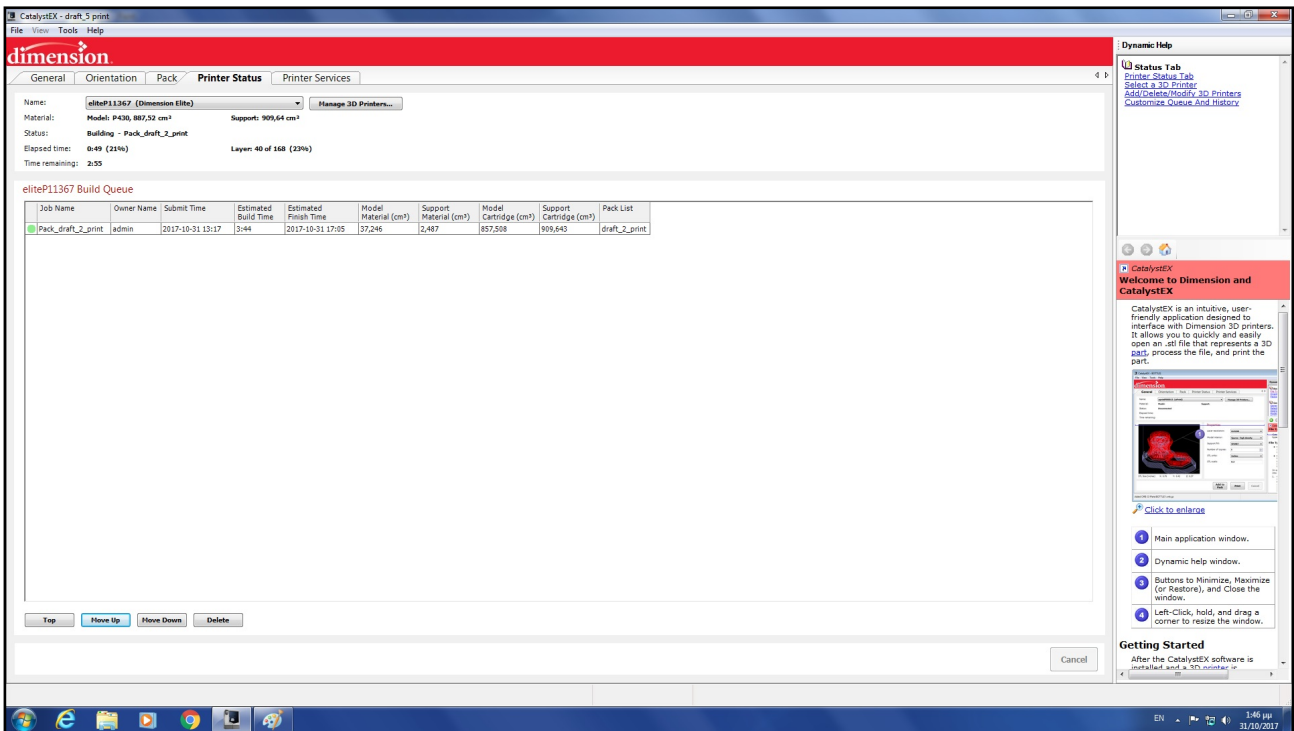
Στη 3^η καρτέλα, "Pack", βλέπουμε την κάτοψη της βάση και σε ποιο σημείο είναι το αντικείμενο μας. Επίσης πάνω δεξιά εμφανίζεται και ο εκτιμώμενος χρόνος αλλά και όγκος πρώτων υλών που θα χρειαστούμε.



Εικόνα 29: Dimension UI_9

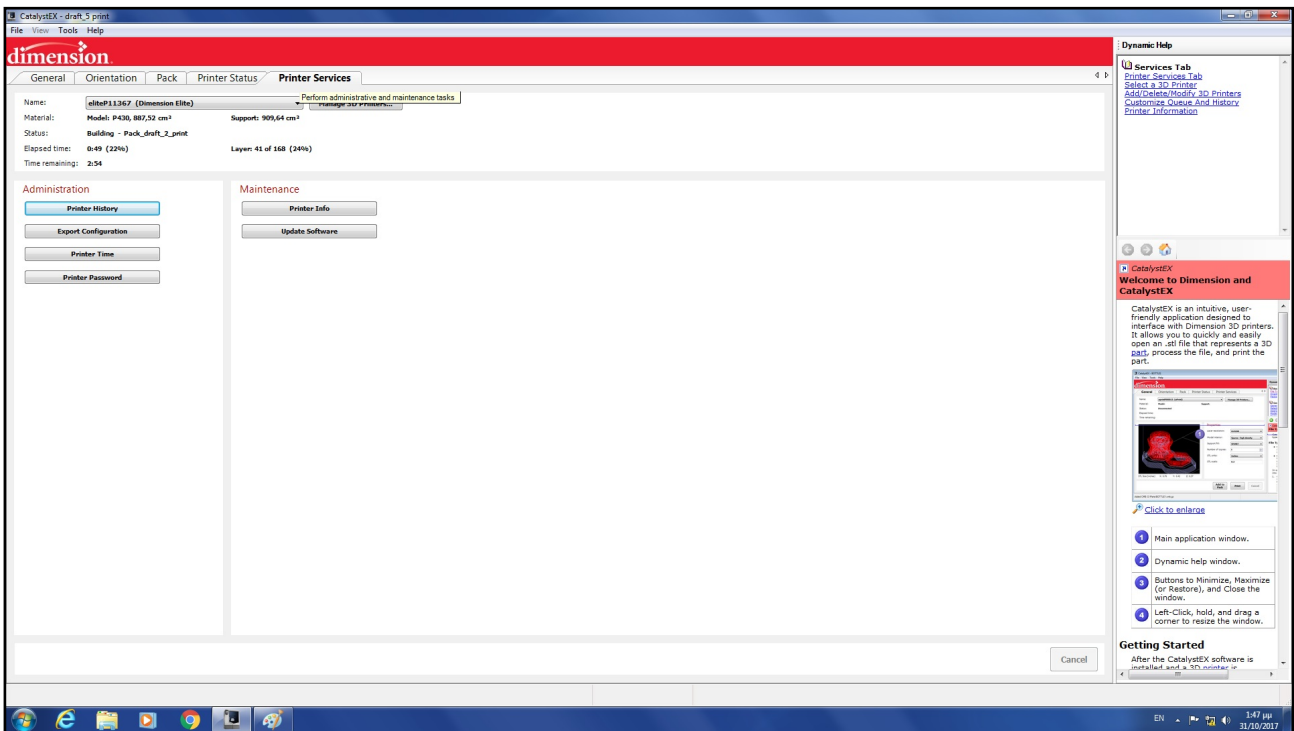
Όμοια εισάγουμε και τα υπόλοιπα κομμάτια, όπου πλέον τα έχουμε όλα σε κλίμακα.

Τα τοποθετούμε κοντά μεταξύ τους αλλά και κοντά στην αρχή της διαδρομής της κεφαλής, ώστε να μειώνεται ο χρόνος των νεκρών διαδρομών.



Εικόνα 30: Dimension UI_10

Στην 4^η καρτέλα “Printer Status” βλέπουμε σε τι φάση βρίσκονται οι εκτυπωτές και τι ποσοστό ολοκλήρωσης έχουν τα δοκίμια.



Εικόνα 31: Dimension UI_11

Στην 5^η και τελευταία καρτέλα “Printer Services” είναι οι αναφορές σχετικά με τη λειτουργία του εκτυπωτή.

6.4 Διαδικασία Χτισίματος

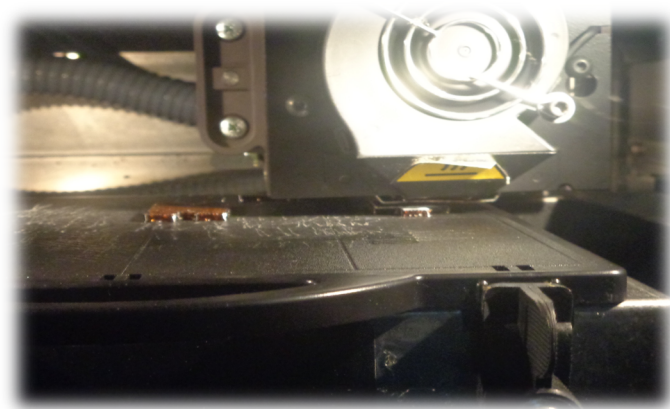
Σε αυτό το κεφάλαιο η διαδικασία κατασκευής που έγινε στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου του Πειραιά, παρουσιάζεται μέσα από εικόνες και επεξηγήσεις.



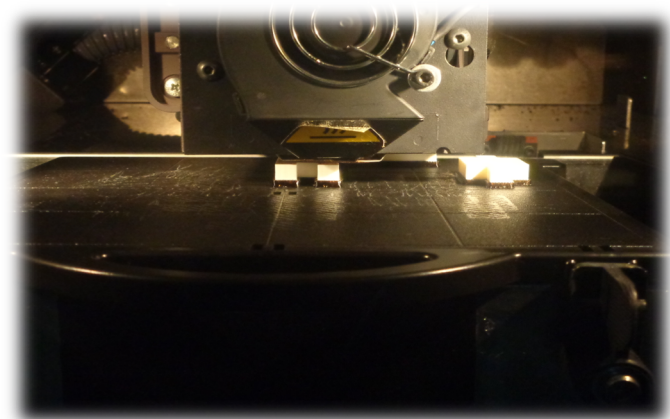
Εικόνα 32: Stratasys Dimension Elite printer, χρησιμοποιήθηκε στο εργαστήριο του Πανεπιστημίου Πειραιώς



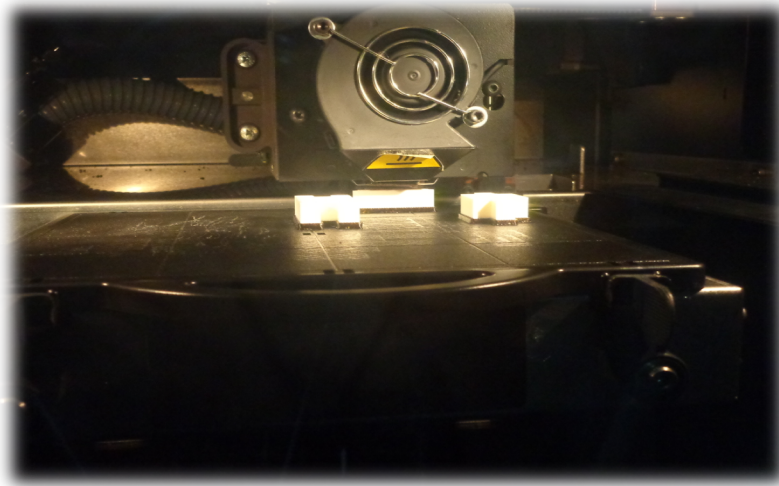
Εικόνα 33: Stratasys Dimension Elite printer – Δοχείο αναλώσιμων εκτόπισης



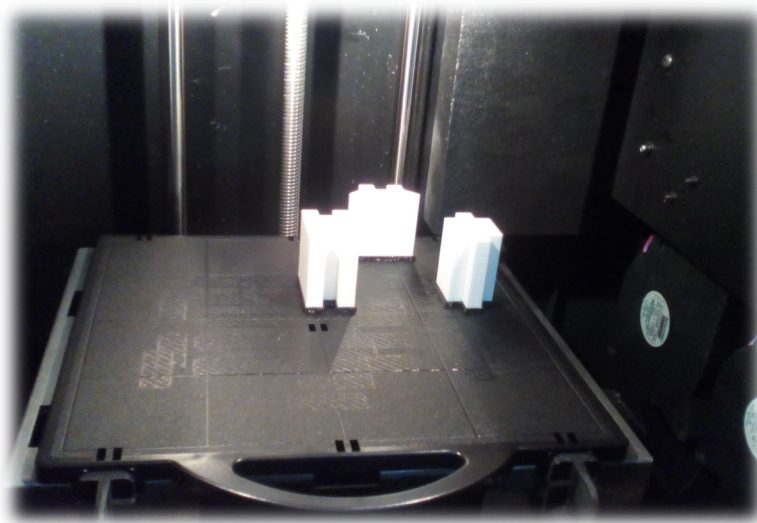
Εικόνα 34: Stratasys Dimension Elite printer – Κεφαλή κατά τη διάρκεια του χτισίματος



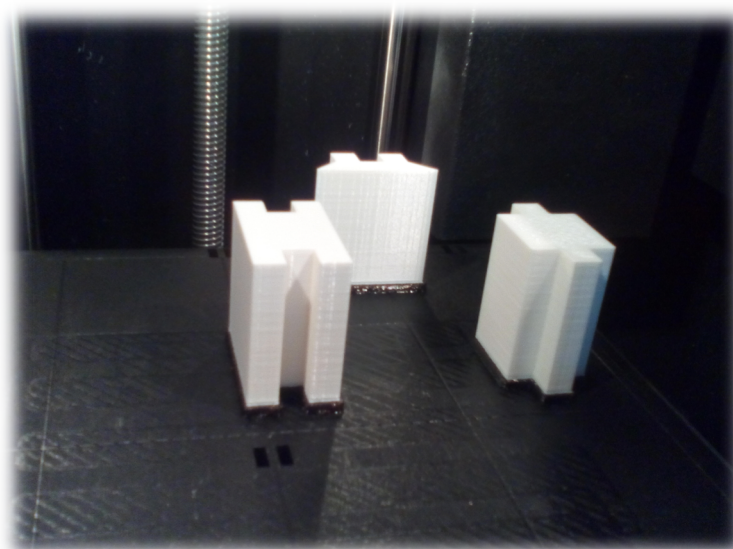
Εικόνα 35: Stratasys Dimension Elite printer – Κεφαλή κατά τη διάρκεια του χτισίματος



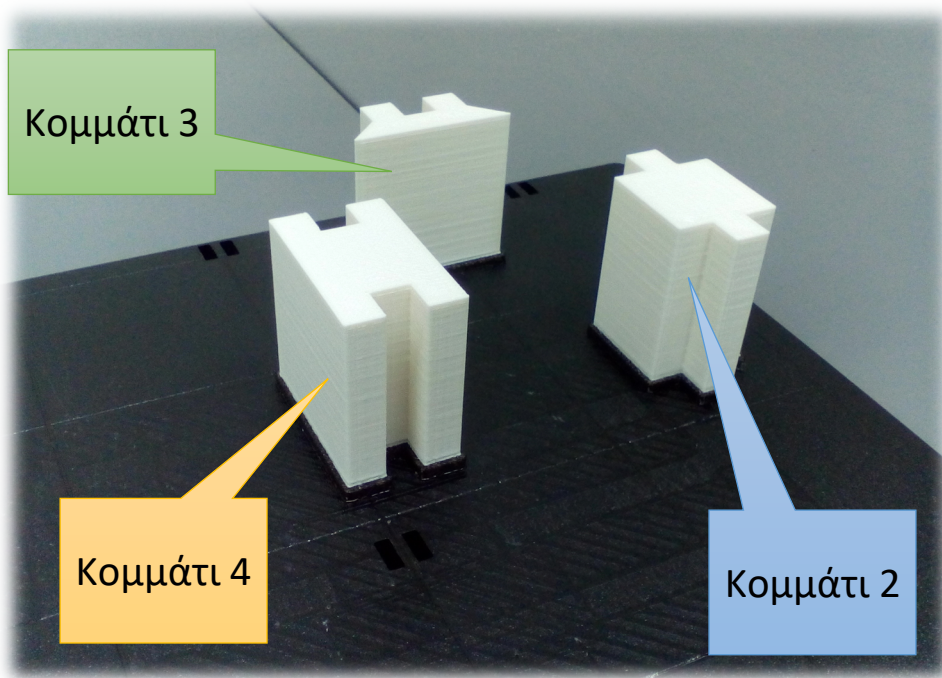
Εικόνα 36: Stratasy Dimension Elite printer – Κεφαλή κατά τη διάρκεια του χτίσιματος



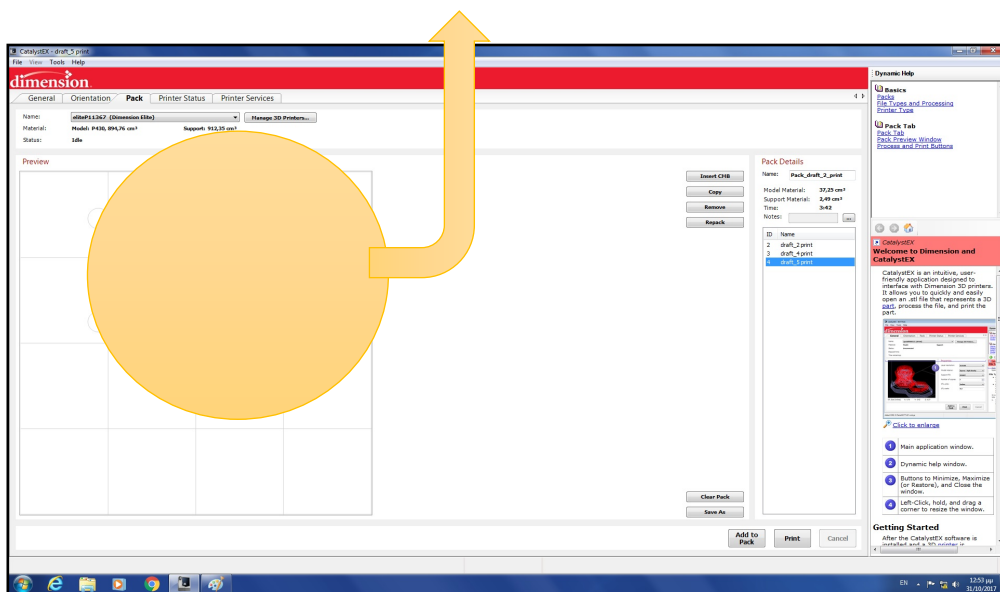
Εικόνα 37: Stratasy Dimension Elite printer – Τραπέζι και κομμάτια μετά το χτίσιμο

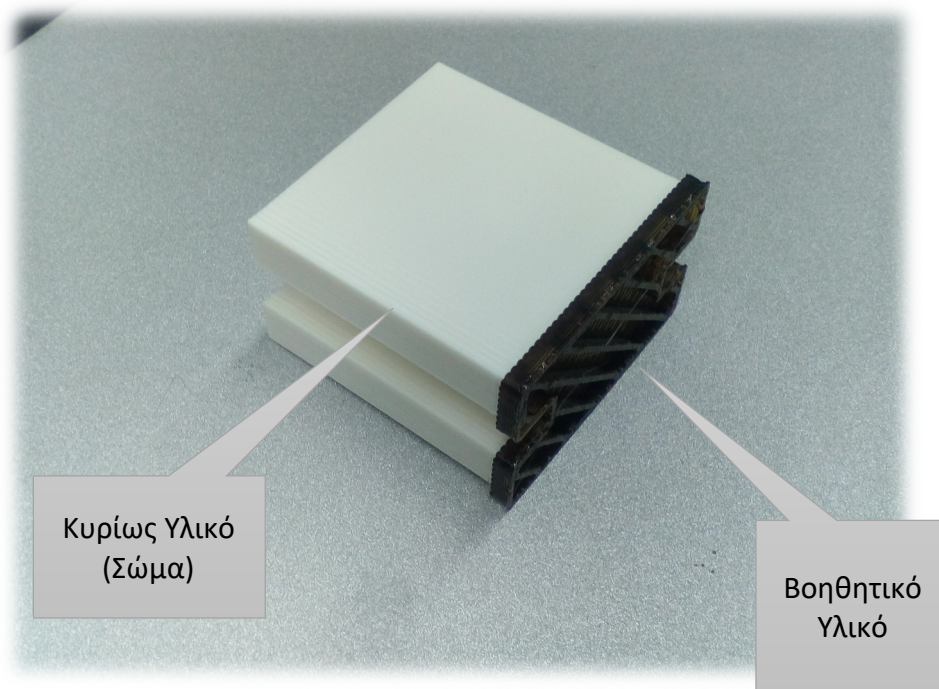


Εικόνα 38: Stratasy Dimension Elite printer – Τραπέζι και κομμάτια μετά το χτίσιμο

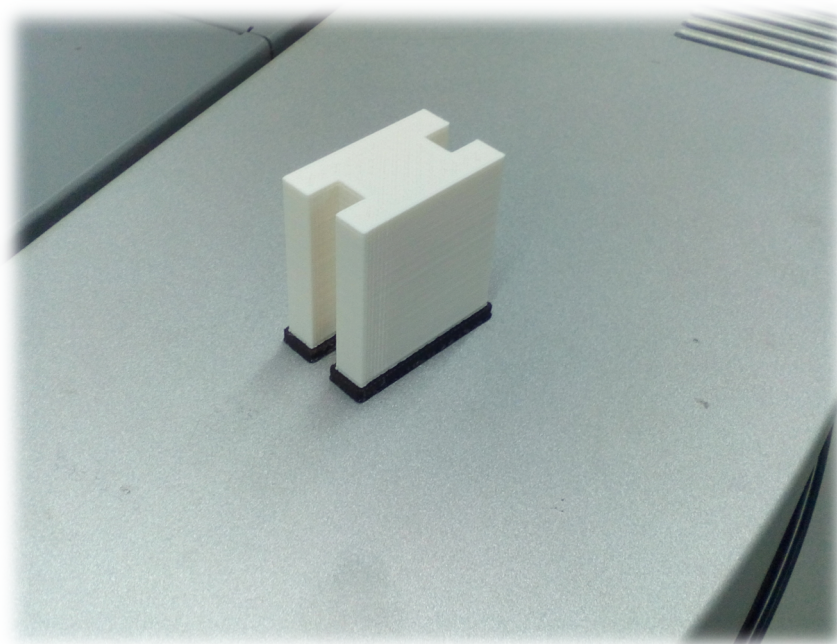


Εικόνα 39: Stratsys Dimension Elite printer – Κομμάτια μετά το χτίσιμο





Εικόνα 40: Κομμάτι μετά το χτίσιμο, φαίνεται και το βοηθητικό υλικό στήριξης



Εικόνα 41: Κομμάτι μετά το χτίσιμο, φαίνεται και το βοηθητικό υλικό στήριξης



Εικόνα 42: Δεξαμενή Διάσπασης



Εικόνα 43: Δεξαμενή Διάσπασης – Πίνακας ρυθμίσεων

Κεφάλαιο 7: Ανάλυση Κόστους

7.1 Κόστος της διαδικασίας εκτύπωσης

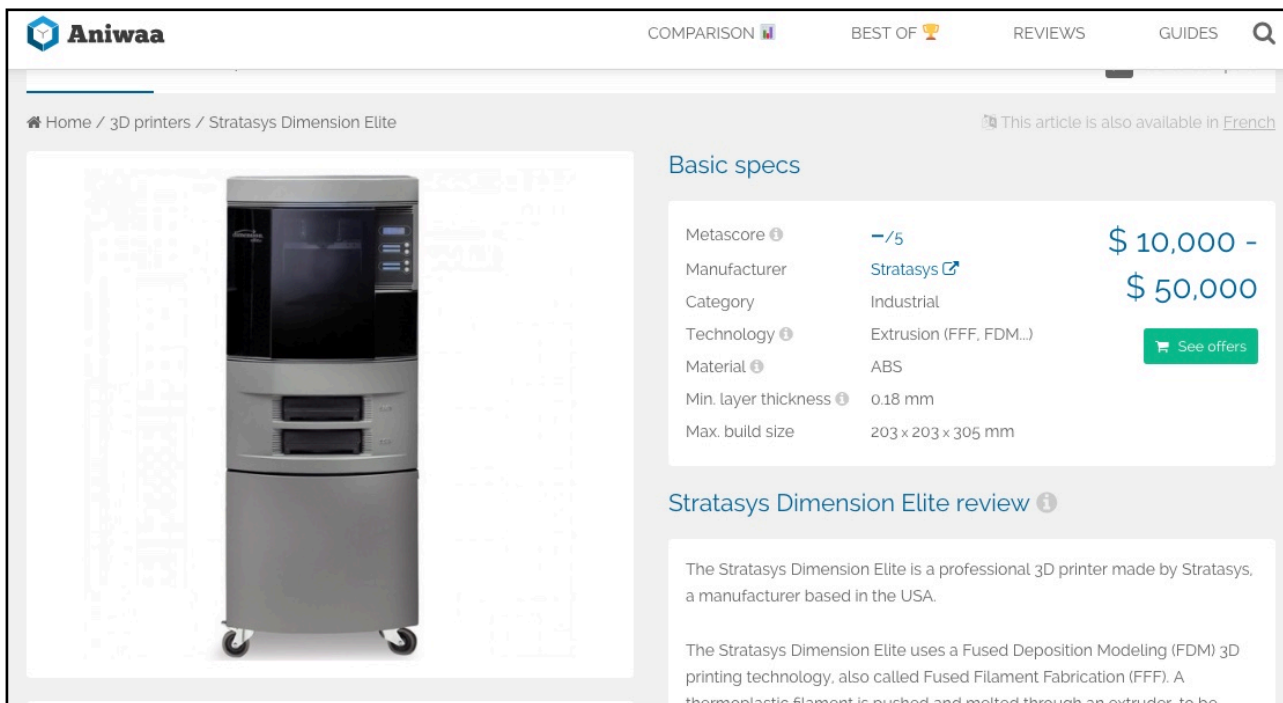
Μέχρι στιγμής έχουμε έρθει σε επαφή με ένα πρόγραμμα σχεδιασμού / CAD και ένα πρότυπο πρόγραμμα μοντελοποίησης που συνοδεύει τον εκτυπωτή κλειστού τύπου που χρησιμοποιήσαμε στο εργαστήριο.

Γι 'αυτό πρέπει να σκεφτούμε πόσο κοστίζει, καθώς και να το συγκρίνουμε με άλλες μεθόδους παραγωγής που παράγουν το ίδιο ή παρόμοιο αποτέλεσμα.

Ας δούμε πρώτα τον εκτυπωτή που χρησιμοποιήσαμε. Είναι ο **Dimension Elite**. Κλειστού τύπου όπως αναφέρθηκε προηγουμένως.

Πρόκειται για μια μηχανή επαγγελματικής κατηγορίας, συνεπώς αυξημένης ποιότητας σε συνδυασμό με αυξημένο κόστος.

Το πρώτο και ίσως ένα από τα υψηλότερα κόστη είναι το κόστος ιδιοκτησίας. Κυμαίνεται κατά μέσο όρο στα **\$ 30.000**



The screenshot shows the Aniwaa website interface for the Strataysis Dimension Elite 3D printer. The page layout includes a navigation bar with 'COMPARISON', 'BEST OF', 'REVIEWS', and 'GUIDES'. The main content area features a product image of the printer on the left and a 'Basic specs' table on the right. The price range is listed as \$10,000 - \$50,000. Below the specs is a 'Strataysis Dimension Elite review' section with introductory text.

Basic specs	
Metascore	-/5
Manufacturer	Strataysis
Category	Industrial
Technology	Extrusion (FFF, FDM...)
Material	ABS
Min. layer thickness	0.18 mm
Max. build size	203 x 203 x 305 mm

\$ 10,000 - \$ 50,000

[See offers](#)

Strataysis Dimension Elite review

The Strataysis Dimension Elite is a professional 3D printer made by Strataysis, a manufacturer based in the USA.

The Strataysis Dimension Elite uses a Fused Deposition Modeling (FDM) 3D printing technology, also called Fused Filament Fabrication (FFF). A thermoplastic filament is pushed and melted through an extruder to be

Εικόνα 44 – Τιμή Strataysis Dimension Elite (<https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/strataysis-dimension-elite/>, [Πρόσβαση 31 Οκτωβρίου 2017])

Εικόνα 45: Τιμή Stratasys Dimension Elite (<https://www.3dhubs.com/3d-printers/dimension-elite> [Πρόσβαση 31 Οκτωβρίου 2017])

Στη συνέχεια, υπάρχει το κόστος των αναλώσιμων πρώτων υλών (FDA)

Οι εκτυπωτές κλειστού τύπου διαθέτουν δοχεία που παρέχονται από την ίδια εταιρεία και δεν μπορούν να χρησιμοποιηθούν aftermarket.

Τα οποία έγκειται στα \$ 130 - \$ 1545. Τα υλικά που χρησιμοποιήσαμε είναι στο εύρος των \$ 150

Εικόνα 46: Stratasys Dimension Elite official site για αναλώσιμα (<http://www.stratasys.com/materials/search/absplus> [Πρόσβαση 31 Οκτωβρίου 2017])

Dimension Elite Material Cartridges

Select from the following:

- **ABS plus Model Cartridges** (56.3 cu in) available in (9) colors
- **EDU Bonus Package Standard** - (10) Ivory P430 Modeling Cartridges, (4) P400-SR Soluble Support Cartridges and (2) Boxes Plastic Modeling Bases
- **EDU Bonus Package Color** - (2) each black, red, blue, nectarine, fluorescent yellow P430 Modeling Cartridges, (4) P400-SR Soluble Support Cartridges, (2) Boxes Plastic Modeling Bases
- **Soluble Support** Cartridges for SST 3D Printers

*(Sold only to educational institutions in MA, RI, CT, ME, NH and VT; Orders outside of this region and market will be rejected)**

GET INSTANT QUOTE

or

\$130.00 - \$1,545.00

Dimension

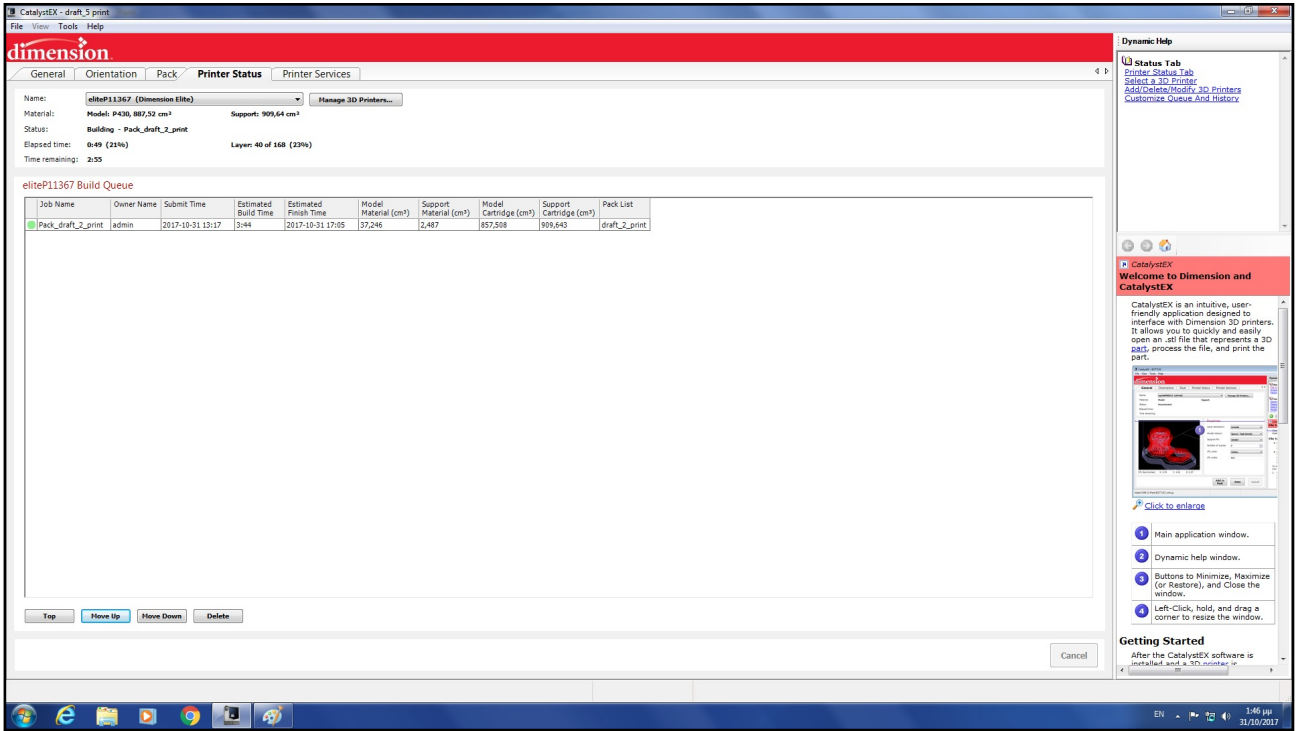
Elite

Material

Εικόνα 47: Τιμές αναλώσιμων για Stratasys Dimension Elite (<http://www.aetlabs.com/product/edu-bonus-pack-color-150-50501-elite/> [Πρόσβαση 31 Οκτωβρίου 2017])

Όπως είδαμε στο walk through του προγράμματος Dimension, στη 4^η καρτέλα λάβαμε τις παρακάτω πληροφορίες:

- Estimated Build Time (3:44 hr)
- Model Material cm3 (37,246)
- Support Material cm3 (2,487)
- Model Cartridge cm3 (857,508)
- Support Cartridge cm3 (909,643)



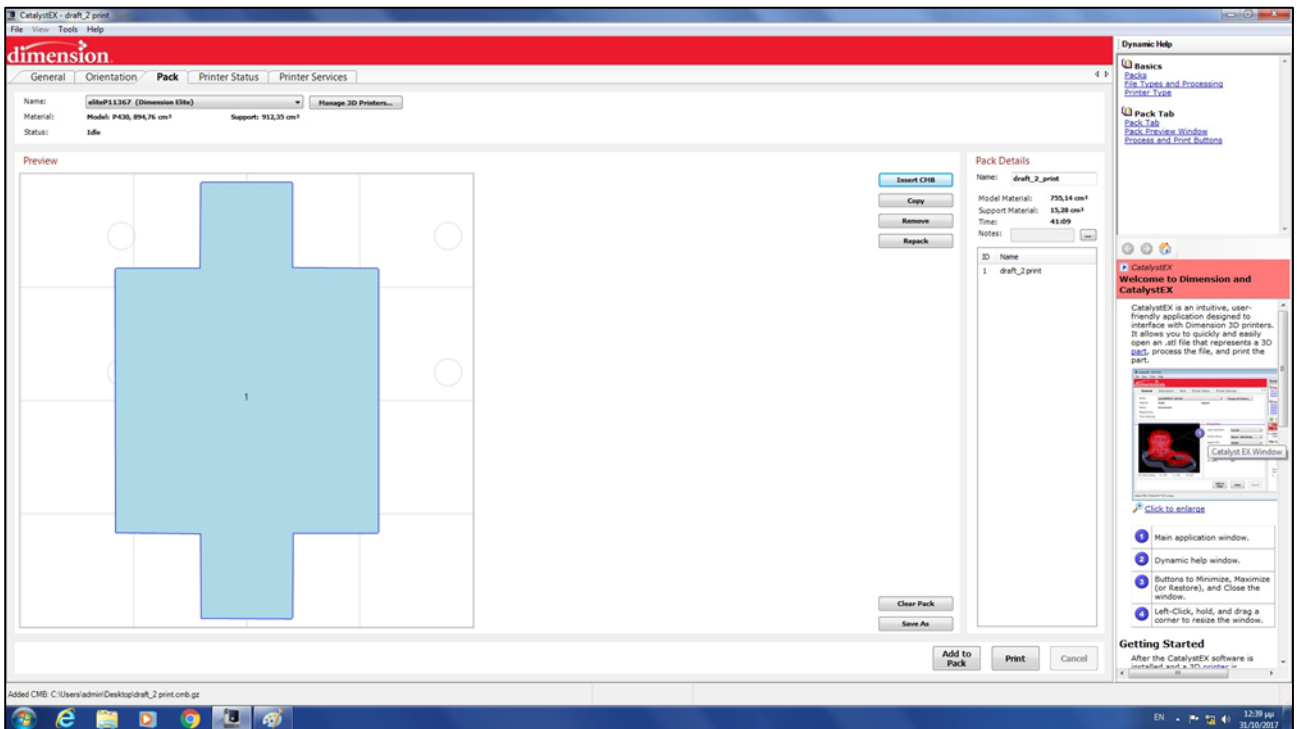
Εικόνα 48: Dimension Program walk through, 4^η καρτέλα

Αυτό σημαίνει ότι το κόστος ανέρχεται περίπου στα \$6

Αν χτίσουμε χωρίς κλίμακα τα αποτελέσματα είναι τα παρακάτω:

Model: 894,76 cm³

Support: 912,35 cm³



Εικόνα 49: Dimension Programm walk through, 3^η καρτέλα

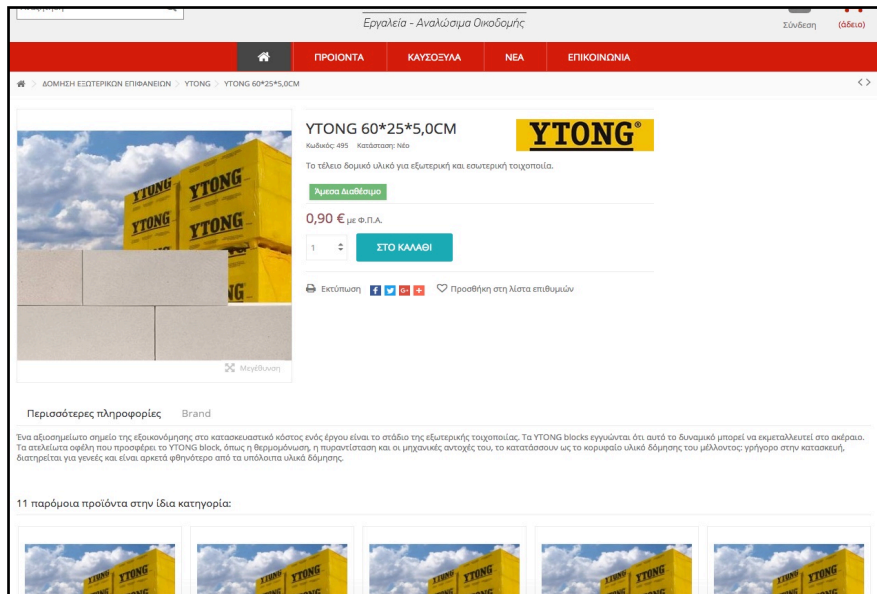
Αυτό σημαίνει ότι το κόστος ανέρχεται στα \$270

Κατανάλωση ηλεκτρικής ενέργειας από \$10 έως \$40 / kWh

Αλλά δεν είναι κάτι που εξετάζουμε στη παρούσα φάση.

7.2 Σύγκριση με μια τυπική κατασκευή με δομικά υλικά

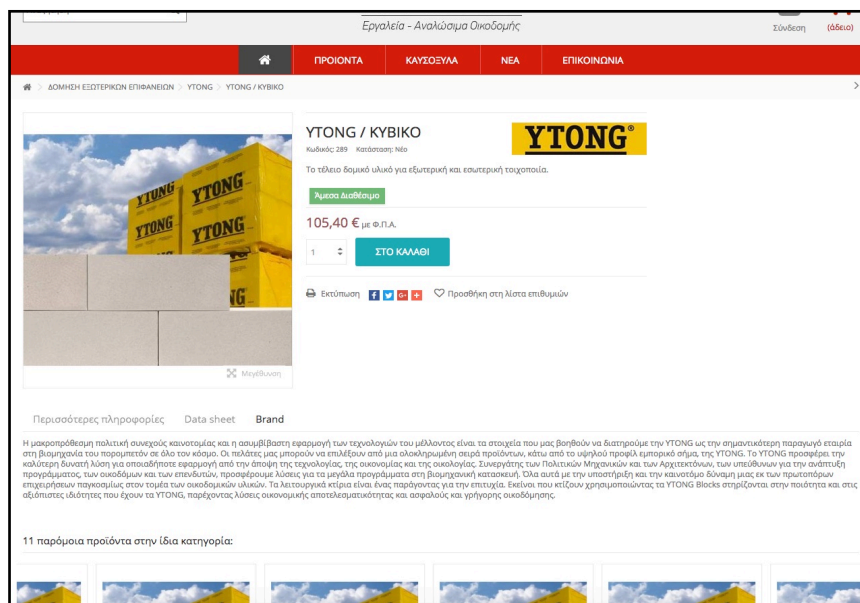
Ας εξετάσουμε για παράδειγμα την “YTONG“, έναν από τους μεγαλύτερους παραγωγούς Autoclave Concrete (Αυτόκλειστο σκυρόδεμα).



The screenshot shows the product page for YTONG 60*25*5,0CM blocks. The price is listed as 0,90 € με Φ.Π.Α. per cubic meter. The page includes a navigation menu, a search bar, and a list of related products.

Εικόνα 50: Τιμή ανά τεμάχιο YTONG (<https://www.kaxirismonotika.gr/ytong/615-ytong-025060005-cm.html>) [Πρόσβαση 10 Σεπτεμβρίου 2017]

Ένα τεμάχιο παρόμοιων διαστάσεων με το μοντέλο μας κοστίζει περίπου \$1. (Σε σχέση με \$270...)



The screenshot shows the product page for YTONG / KYBIKO blocks. The price is listed as 105,40 € με Φ.Π.Α. per cubic meter. The page includes a navigation menu, a search bar, and a list of related products.

Εικόνα 51: Price per YTONG concerned one cubic meter (<https://www.kaxirismonotika.gr/ytong/384-ytong.html>) [Πρόσβαση 10 Σεπτεμβρίου 2017]

Ένα κυβικό μέτρο κοστίζει **\$100**

Αυτό σημαίνει ότι αν χρειαζόταν να γεμίσεις **1.000.000 cm³** με 3D printed parts θα κόστιζε **\$150.000** συγκρινόμενα με μόνο **\$100 YTONG**. **(1500 φορές ακριβότερο)**

Φυσικά υπάρχουν περισσότερα στρώματα που πρέπει να εφαρμοστούν, όπως σουβάς. Ή ακόμα και το κόστος εργασίας, αλλά και πάλι είναι τόσο μεγάλη η απόκλιση που δεν χρίζει αμφιβολίας

Το κόστος θα ήταν μικρότερο για ανοικτού τύπου εκτυπωτή. Υλικό FDM, σημαντικά χαμηλότερο κόστος απόκτησης από **\$600** έως **\$6000** (αλλά αρκετά πιο δύσκολο να στηθούν), καθώς και μεγάλη ποικιλία σε ανοιχτού λογισμικού (open source) προγράμματα παραμετροποίησης.

Αλλά ακόμα κι έτσι, οι παραδοσιακές μέθοδοι δόμησης είναι πολύ πιο οικονομικές, και πρακτικά αρκετά αποδοτικές.

7.3 Συμπεράσματα

Η τρισδιάστατη εκτύπωση θα μας απασχολήσει τα επόμενα χρόνια. Είναι βέβαιο ότι θα είναι ένα εργαλείο καθημερινής χρήσης

Τα όλο και περισσότερο προσιτά προγράμματα CAD, καθώς και άλλα εργαλεία όπως 3D scanners με δυνατότητα ψηφιοποίησης υλικών αντικειμένων, καθιστούν ευκολότερη τη διάδοση των 3D εκτυπωτών.

Πλεονεκτήματα

- Εύκολη δημιουργία αντικειμένων που μέχρι πρότινος χρειαζόταν εργαλεία και πιθανών τεχνικές γνώσεις σχεδίασης και κατασκευής.
- Δημιουργία κομματιών που δεν μπορούν να δημιουργηθούν με περικοπές ή χύτευση.
- Κατασκευή σε οποιοδήποτε μέρος.
- Σχεδόν καμία απώλεια της ύλης
- Εύκολη δημιουργία μοντέλων (σε κλίμακα ή όχι) για δοκιμές.
- Κατασκευή μικρών αντικειμένων που απαιτούν λεπτομέρεια.

Μειονεκτήματα

- Αυξημένο κόστος χρήσης
- Χρόνος κατασκευής (για εκτυπωτές μικρής κλίμακας, όχι κατασκευαστικούς για οικοδομική χρήση)
- Τάσεις που δημιουργούνται με το πέρας του χρόνου και τείνουν να λυγίσουν το κομμάτι (συνεχής βελτίωση σε αυτό)
- Ποιότητα των υλικών όσον αφορά τις επιπτώσεις στην υγεία λόγω των πρώτων υλών ή της διαδικασίας κατασκευής. (Για παράδειγμα τεχνολογία DLP)

Όλα αυτά έχουν ήδη αρχίσει να βελτιώνονται με ταχείς ρυθμούς.

Συνοψίζοντας, ένα είναι βέβαιο. Η τρισδιάστατη εκτύπωση μπήκε στη ζωή μας και έχει έρθει να εδραιωθεί.

Βιβλιογραφία

Δημοσιεύσεις

- *3D printing: The printed world*, The Economist Newspaper Limited 6-9-2011
- [1] [Gibson I., Rosen D., Stucker Br. (2014), *Additive manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing, Edition 2*, Springer]
- Michalik J. Joyce J., Barney R. McCune Gr., (2015), *3D opportunity for product design, additive manufacturing and the early stage*, Deloitte University Press
- Andre Laplume, Gerald C. Anzalone, Joshua M. Pearce, (2016), *Open-source, self-replicating 3-D printer factory for small-business manufacturing*, Springer
- Wei Gao, Yunbo Zhang, Devarajan Ramanujan, Karthik Ramani, Yong Chen, Christopher B. Williams, Charlie C.L. Wang, Yung C. Shin, Song Zhang, Pablo D. Zavattieri, (2015), *The status, challenges, and future of additive manufacturing in engineering*, *Computer-Aided Design*, ELSEVIER
- Βασίλας Α. (2015) *Αξιολόγηση παραγωγής χρησιμοποιώντας κατανεμημένα συστήματα 3D Printing – Cloud manufacturing*. (Μη εκδοθείσα Διπλωματική Διατριβή). Πανεπιστήμιο Πειραιώς

Ιστοσελίδες

- TCTmagazine.com, <https://www.tctmagazine.com/3d-printing-news>, [Πρόσβαση 07 Αυγούστου 2017]
- Stratasys.com, *Stratasys invents 3D printing. Again*, http://www.stratasys.com/landing/stratasys_j750_ebook, [Πρόσβαση 08 Αυγούστου 2017]
- Protolabs.co.uk, *Digital Manufacturing for Dummies e-book*, http://p.protolabs.co.uk/digital-manufacturing-dummies-book-digital?utm_campaign=uk-sos&utm_medium=display&utm_source=tct&utm_content=banner0716-dmdummies, [Πρόσβαση 08 Αυγούστου 2017]
- Stratasys.com, *materials*, <http://www.stratasys.com/materials/fdm/absplus>, [Πρόσβαση 31 Οκτωβρίου 2017]
- Aetlabs.com, *Dimension Elite Material Cartridges*, <http://www.aetlabs.com/product/edu-bonus-pack-color-150-50501-elite/>, [Πρόσβαση 31 Οκτωβρίου 2017]
- Stratasys.com, *Stratasys F123 Series Printers*, <http://www.stratasys.com/3d-printers/f123>, [Πρόσβαση 31 Οκτωβρίου 2017]

- 3dhubs.com, *Dimension Elite*, <https://www.3dhubs.com/3d-printers/dimension-elite>, [Πρόσβαση 31 Οκτωβρίου 2017]
- aniwaa.com, *Dimension Elite*, <https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/stratasys-dimension-elite/>, [Πρόσβαση 31 Οκτωβρίου 2017]
- 3dhubs.com, *Knowledge Base*, <https://www.3dhubs.com/knowledge-base>, [Πρόσβαση 01 Νοεμβρίου 2017]
- 3dprintingindustry.com, *The Free Beginner's Guide*, <https://3dprintingindustry.com/3d-printing-basics-free-beginners-guide#01-basics>, [Πρόσβαση 01 Νοεμβρίου 2017]
- 3dprintingforbeginners.com, *What Material Should I Use For 3D Printing?*, <http://3dprintingforbeginners.com/filamentprimer/>, [Πρόσβαση 01 Νοεμβρίου 2017]
- 3dhubs.com, *3D Printer Guide*, <https://www.3dhubs.com/best-3d-printer-guide#prosumer>, [Πρόσβαση 01 Νοεμβρίου 2017]
- 3dhubs.com, *Compare 3D printers by price and reviews*, <https://www.3dhubs.com/3d-printers>, [Πρόσβαση 03 Νοεμβρίου 2017]
- youtube.com, *3D printing with Dimension Elite*, <https://www.youtube.com/watch?v=tJgNVZlf4Fk>, [Πρόσβαση 03 Νοεμβρίου 2017]
- youtube.com, *3D Printing Demo 2 - Dimension sst 1200es*, <https://www.youtube.com/watch?v=5r60DM1xK8c>, [Πρόσβαση 03 Νοεμβρίου 2017]
- youtube.com, *TCT Hall of Fame | Charles "Chuck" Hull | Inventor of Sterolithography and Founder of 3D Systems*, https://www.youtube.com/watch?v=YcgI0ajlNdE&feature=em-sub_digest, [Πρόσβαση 15 Δεκεμβρίου 2017]

Άρθρα στο διαδίκτυο

- 3D Systems, *Our story*, <https://www.3dsystems.com/our-story> [Πρόσβαση 20 Ιουνίου 2017]
- Techcrunch.com, *A new 3D printing technology uses electricity to create stronger objects for manufacturing*, <https://techcrunch.com/2017/05/10/a-new-3d-printing-technology-uses-electricity-to-create-stronger-objects-for-manufacturing/>, [Πρόσβαση 20 Ιουλίου 2017]
- 3D Printing.com, *Harvard Researchers 3D Print Stretchable Wearable Electronics Using Hybrid Technique*, <https://3dprinting.com/news/harvard-researchers-3d-print-stretchable-wearable-electronics-using-hybrid-technique/>, [Πρόσβαση 25 Ιουλίου 2017]

- 3D Printing.com, *Royal Navy Reveals the Nautilus 100 3D Printed Submarine Concept*, <https://3dprinting.com/news/royal-navy-reveals-nautilus-100-3d-printed-submarine-concept/>, [Πρόσβαση 25 Ιουλίου 2017]
- 3D Printing.com, *The Age of 3D Printed Construction and Buildings is Fast Approaching*, <https://3dprinting.com/construction/age-3d-printed-construction-buildings-fast-approaching/>, [Πρόσβαση 25 Ιουλίου 2017]
- Apis Cor, news, *“Startup of the year” awarded to Apis Cor*, <http://apis-cor.com/en/about/news/startup-of-the-year>, [Πρόσβαση 01 Αυγούστου 2017]

Fusion 360 Tutorials / Community

- Autodesk Fusion 360 YouTube channel, *main page*, <https://www.youtube.com/channel/UCiMwMz3RMbW5mbx0iDcRQ2g>, [Πρόσβαση 18 May 2017]
- Autodesk.com, *Fusion 360 forums*, <https://forums.autodesk.com/t5/fusion-360/ct-p/1234>, [Πρόσβαση 18 May 2017]
- Autodesk.com, *Learn from the experts*, <http://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?learn=fundamental-concepts>, [Πρόσβαση 18 May 2017]
- Autodesk.com, *Design, Validate & Document*, <https://forums.autodesk.com/t5/fusion-360-design-validate/fusion-problems-with-switchable-graphics/td-p/6236871>, [Πρόσβαση 18 May 2017]
- Autodesk.com, *Design, Validate & Document*, <https://forums.autodesk.com/t5/fusion-360-design-validate/fusion-problems-with-switchable-graphics/td-p/6236871>, [Πρόσβαση 18 May 2017]
- Autodesk.com, *How to optimize settings in Fusion 360 for performance*, <http://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?caas=caas%2Fsfdcarticles%2Fsfdcarticles%2FHow-to-optimize-settings-in-Fusion-360-for-performance.html>, [Πρόσβαση 18 May 2017]
- Autodesk.com, *User interface overview*, http://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GUID-E647CA56-7187-406A-ACE4-EAC59914FAE4&utm_medium=email&utm_source=nur-

[intro&utm_campaign=amer-edu-aex-fusion-360-nurture-stream-edms&utm_id=688870&mktvar002=688870](http://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GUID-878489CD-3A23-4303-8450-C2F4F8E410B1&utm_medium=email&utm_source=nur-intro&utm_campaign=amer-edu-aex-fusion-360-nurture-stream-edms&utm_id=688870&mktvar002=688870) , [Πρόσβαση 19 May 2017]

- Autodesk.com, *Set your preferences*,
http://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?guid=GUID-878489CD-3A23-4303-8450-C2F4F8E410B1&utm_medium=email&utm_source=nur-intro&utm_campaign=amer-edu-aex-fusion-360-nurture-stream-edms&utm_id=688870&mktvar002=688870 , [Πρόσβαση 19 May 2017]
- Autodesk.com, *Learn 3D Modeling with Fusion 360*,
https://www.autodesk.com/campaigns/design-now?mktvar002=688870&utm_medium=email&utm_source=nur-intro&utm_campaign=amer-edu-aex-fusion-360-nurture-stream-edms&utm_id=688870&leadid=209203157&mkt_tok=eyJpIjoiTkRVNE5UazBZell6WkRJMCIiInQiOiI5eWRhcE00QUY5WU5TRU15dklYR0lEdzVKMTBDRSs3a0NickJqbnFQRWxcLytsSjl5dWkyaVdjTVpxSStVQUhKejR1a3BERTF0UGJtOTR0dFdEcjhVMVlRcmpnME9hNUNieEtJS1p6WkNxcGlxMVQ0aW84NU02Qlpaa2Y2ZWxhYVwvIn0%3D#learn-3d-modeling, [Πρόσβαση 19 May 2017]
- Autodesk.com, *12 tutorials in under 60 minutes*,
http://help.autodesk.com/view/fusion360/ENU/?utm_medium=email&utm_source=nur-intro&utm_campaign=amer-edu-aex-fusion-360-nurture-stream-edms&utm_id=688937&mktvar002=688937, [Πρόσβαση 21 May 2017]
- Autodesk.com, *Community*,
https://fusion360.autodesk.com/community?mktvar002=688939&utm_medium=email&utm_source=nur-intro&utm_campaign=amer-edu-aex-fusion-360-nurture-stream-edms&utm_id=688939&leadid=%7b%7blead.id%7d%7d&mkt_tok=eyJpIjoiTTJFNE1UVmxNR1V5TTJObSIsInQiOiJreGNPZ01oNzRScUZJZXRWYTJMK0xFN3JITkhxcXhzUnA4TXlCdmNuVmt3U1Q4SE1ZZ3luRVBITFJEQWV1S3RnXC83SVk3UG9OWWFQNDNaNjE0T28yNEhYeU5yODFRWjN0WkQ5cENVc3Jpdyt3TG44Nkt4WnVDZ2RkWitNVDIwdXEifQ%3D%3D, [Πρόσβαση 16 Ιουνίου 2017]
- Autodesk.com, *Fusion 360 Blog*, https://www.autodesk.com/products/fusion-360/blog?mktvar002=688939&utm_medium=email&utm_source=nur-intro&utm_campaign=amer-edu-aex-fusion-360-nurture-stream-edms&utm_id=688939&leadid=%7b%7blead.id%7d%7d&mkt_tok=eyJpIjoiTTJFNE1UVmxNR1V5TTJObSIsInQiOiJreGNPZ01oNzRScUZJZXRWYTJMK0xFN3JITkhxcXhzUnA

4TXICdmNuVmt3U1Q4SE1ZZ3luRVBITFJEQWV1S3RnXC83SVk3UG9OWWFQNDNaNjE0T28yNEhYeU5yODFRWjN0WkQ5cENVc3Jpdyt3TG44Nkt4WnVDZ2RkWitNVDlw dXEifQ%3D%3D, [Πρόσβαση 16 Ιουνίου 2017]

- Autodesk.com, *Events*,
https://fusion360.autodesk.com/events?categories%5B%5D=meetup&mktvar002=688939&utm_medium=email&utm_source=nur-intro&utm_campaign=amer-edu-aex-fusion-360-nurture-stream-edms&utm_id=688939&leadid=%7b%7blead.id%7d%7d&mkt_tok=eyJpIjoiTTJFNE1UVmxNR1V5TTJObSIsInQiOiJreGNPZ01oNzRScUZJZXRWYTJMK0xFN3JITkhxcXhzUnA4TXICdmNuVmt3U1Q4SE1ZZ3luRVBITFJEQWV1S3RnXC83SVk3UG9OWWFQNDNaNjE0T28yNEhYeU5yODFRWjN0WkQ5cENVc3Jpdyt3TG44Nkt4WnVDZ2RkWitNVDlw dXEifQ%3D%3D, [Πρόσβαση 16 Ιουνίου 2017]
- Autodesk.com, *Make a better world. Learn how*,
https://academy.autodesk.com/?mktvar002=689012&utm_medium=email&utm_source=nur-intro&utm_campaign=amer-edu-aex-fusion-360-nurture-stream-edms&utm_id=689012&leadid=%7b%7blead.id%7d%7d&mkt_tok=eyJpIjoiWIRjMVltWmtZalJqT0RCbCIsInQiOiIyMVVsdTh3N0diOHQrUFNIRUszTGNT2dZdzg4MFRzQW0xMGtDV0ZOeXl4bjZqcUtzdWdMM2Q5em5nYkNLMDhTaUJUZI4bHAraWQ1SGFsZm80NTZuSWV0WkpoUkZma0JJWFdTY3M2UnRKNytydWs2WCtxZ3RKNTU1d2ljZXZHciJ9, [Πρόσβαση 01 Ιουλίου 2017]
- Autodesk.com, *What is an Autodesk Student Expert?*, https://academy.autodesk.com/student-expert-network?mktvar002=689014&utm_medium=email&utm_source=nur-intro&utm_campaign=amer-edu-aex-fusion-360-nurture-stream-edms&utm_id=689014&leadid=%7b%7blead.id%7d%7d&mkt_tok=eyJpIjoiTkdSaE5ESmxaakV3WldaaiIsInQiOiI5bUhNVmh3azhMT04yXC9vMEd3UVIIN3FCRUx6WWhWM0t0QVpcL1pEZnRCamFoZmYzXC9adzZVFVwva0duVGZBUW0zSkxKd2xGQVJsbVB0NFJGUmpySkZtc2RDaUU2UWdWV3REc3J2R2Y3NmJYQ29WbmdydkV3WVZhVzI0czZEN2Zrc2cifQ%3D%3D, [Πρόσβαση 10 Αυγούστου 2017]