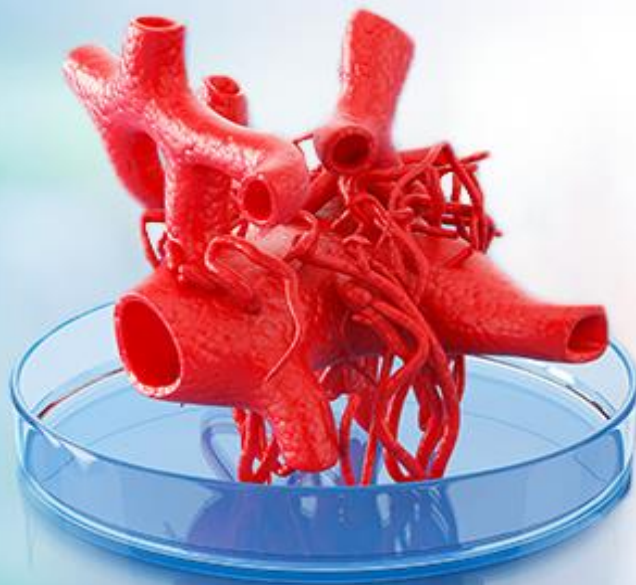




**ΛΟ2 Η ΕΦΑΡΜΟΓΗ
ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ
ΚΑΙ ICT ΓΙΑ ΠΡΑΣΙΝΑ
ΠΡΟΪΟΝΤΑ ΚΑΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΕΣ**

Αρχάριο επίπεδο

ΣΥΓΓΡΑΦΕΑΣ:

TRAYANA NEDEVA



Περιεχόμενα

Αρχές λειτουργίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης	3
Ορισμοί	3
Σύντομη ιστορία του πεδίου.....	5
Πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης ως μέθοδος παραγωγής.....	6
Βασικές διαδικασίες και υλικά της τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	8
Τύποι διαδικασιών της τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	8
Απαιτήσεις μετά την επεξεργασία για διαφορετικές τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης	17
Ποια διαδικασία για ποια? Βασικές σκέψεις κατά την επιλογή τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης κατάλληλης για μια συγκεκριμένη εφαρμογή.....	18
Κοινά χρησιμοποιούμενα λογισμικά για τρισδιάστατη εκτύπωση	21
Οδηγίες σχεδίασης τρισδιάστατης εκτύπωσης.....	22
Βιβλιογραφικές αναφορές.....	24

Αρχές λειτουργίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης

ΟΡΙΣΜΟΊ

Η τρισδιάστατη εκτύπωση δημιουργεί ένα από αντικείμενο προσθέτοντας διαδοχικά στρώματα που αντιπροσωπεύουν διατομές του αντικειμένου. Ο πιο απλός υπαινιγμός εκεί είναι η δημιουργία ενός στρώματος κέικ (Εικ. 1), μόνο τα στρώματα είναι πολλά και τυπικά πολύ λεπτά, μόνο περίπου το 1/5 του χιλιοστού.



A.



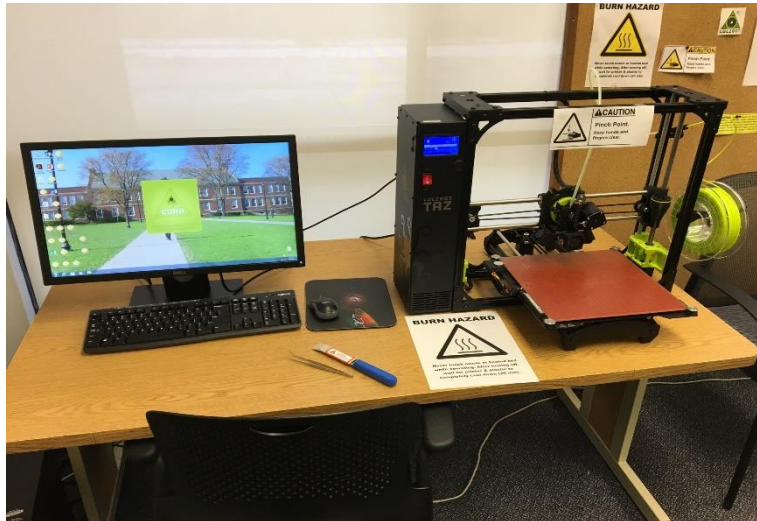
B.

Εικόνα 1. Στρώματα και στρώσεις σε τρισδιάστατη εκτύπωση
A – Πολυστρωματικό κέικ, που αντιπροσωπεύει τη βασική αρχή της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Πηγή: Caroline's Cakes - Own work, CC BY-SA 3.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=12799030>
B – Τρισδιάστατη εκτύπωση κάστρο σοκολάτας. Πηγή: FM1418, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>>, via Wikimedia Commons

Η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι κοντά, τόσο στη διαδικασία όσο και στο υλικό, στη συνηθισμένη εκτύπωση μελανιού και χαρτιού σε 2D.

Παρ' όλα αυτά, στην τυπική εκτύπωση 2D δημιουργείται μόνο μια ψευδαίσθηση βάθους χρησιμοποιώντας προοπτική και χρώμα ή κλίμακα του γκρι, ενώ η τρισδιάστατη εκτύπωση δημιουργεί απτά τρισδιάστατα αντικείμενα. Αυτά μπορεί να έχουν μυριάδες σκοπούς, από την ταχεία δημιουργία πρωτοτύπων για την έρευνα και τη βιομηχανία έως τα έντυπα αντικείμενα για καθημερινή ή ειδική χρήση, ανταλλακτικά μηχανών, μαγειρικά είδη κατά παραγγελία, όπως το σοκολατένιο κάστρο που παρουσιάζεται στο Εικόνα. 1B, τυπωμένα εμφυτεύσιμα υλικά για την αναγεννητική ιατρική και, ενδεχομένως, "ανταλλακτικά" για το ανθρώπινο σώμα · και νέες μορφές τέχνης.

Ένας βασικός επιτραπέζιος εκτυπωτής 3D με υπολογιστή παρουσιάζεται στην Εικόνα 2.



Εικόνα 2. LulzBot TAZ (FAME 3D, Fargo, ND, USA), μια μηχανή τρισδιάστατης εκτύπωσης ανοιχτού κώδικα βασισμένη στην τεχνολογία FDM. Πηγή: Ochs, J. - College, CC BY 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=59898086>

Συνήθως, η διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης ενός αντικείμενου είναι πρόσθετη (επομένως η τρισδιάστατη εκτύπωση είναι επίσης γνωστή ως "κατασκευή πρόσθετων"). Επιτυγχάνεται με την εναπόθεση στρωμάτων σε στρώματα εκτυπώσιμου υλικού (που συνήθως ονομάζεται "τρισδιάστατο μελάνι") μέχρι να ολοκληρωθεί το αντικείμενο.

Τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα αντικείμενα δεν χρειάζεται να είναι συμπαγή μέσα (αν και μπορεί να είναι). Μπορεί να περιέχουν οποιονδήποτε τύπο κοιλότητων που έχει δημιουργηθεί στο αρχείο δεδομένων που χρησιμοποιείται για εκτύπωση, επειδή κάθε επίπεδο αντιπροσωπεύει μια διατομή σε ένα συγκεκριμένο επίπεδο στο κατασκευασμένο αντικείμενο.

Ένα σύντομο gif time-lapse που απεικονίζει τη βασική διαδικασία της τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορείτε να το δείτε εδώ:

https://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/e/ed/Robot_3D_print_timelapse_on_RepRapPro_Fisher.gif

Η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τρισδιάστατη εκτύπωση στις μέρες μας είναι η μοντελοποίηση συντηγμένης εναπόθεσης (FDM), αν και άλλοι τύποι κερδίζουν γρήγορα δημοτικότητα.



2019-1-BG01-KA203-062371

ΣΥΝΤΟΜΗ ΙΣΤΟΡΙΑ ΤΟΥ ΠΕΔΪΟΥ

Κοινώς πιστεύεται (και αναφέρεται) ότι η ίδια η ιδέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης δεν υπήρχε μέχρι τη δεκαετία του 1950, όταν ο συγγραφέας επιστημονικής φαντασίας Raymond F. Jones δημοσίευσε μια μικρή ιστορία που περιγράφει τη χρήση του "μοριακού ψεκασμού" που κατευθύνεται από πληροφορίες από μια προ-ηχογραφημένη κασέτα δεδομένων. Παρ' όλα αυτά, η δυνατότητα για ελεγχόμενη δημιουργία ενός πολύπλοκου απτού αντικειμένου ακολουθώντας εικονικές οδηγίες, είχε προβλεφθεί περίπου 50 χρόνια νωρίτερα από τον μεγάλο οραματιστή Τζόζεφ Ράντγιαρντ Κίπλινγκ στην παιδική του ιστορία "Πώς η καμήλα πήρε την καμπούρα της". Η πρώτη απόπειρα τρισδιάστατης εκτύπωσης, ωστόσο, δεν ήρθε μέχρι τη δεκαετία του 1970 και συνεπαγόταν τη δημιουργία και την αφαίρεση αντικειμένων. Συγκεκριμένα, αυτό ήταν το κατοχυρωμένο με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας "Liquid metal recorder" του Johannes F. Gottwald (US3596285A) χρησιμοποιώντας ηλεκτρικά αγωγίμο μεταλλικό μελάνι που προωθείται υπό πίεση σε μια επιφάνεια. Το λιωμένο μελάνι θα ρέει σε θερμοκρασία εκτύπωσης αλλά θα στερεοποιηθεί καθώς έρχεται σε επαφή με την επιφάνεια, τότε θα μπορούσε να αφαιρεθεί αυξάνοντας τη θερμοκρασία πάνω από το σημείο τήξης, επιτρέποντας την επαναχρησιμοποίηση του μελανιού και της επιφάνειας για περαιτέρω χρήση.

Όπως και με τις περισσότερες πρωτότυπες έννοιες, η ιδέα της τρισδιάστατης εκτύπωσης δεν γνώρισε πρόωρη επιτυχία. Στις αρχές της δεκαετίας του 1980, κατατέθηκε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον Hideo Kodama στην Ιαπωνία για πρόσθετη κατασκευή "στερεοσκοπικής συσκευής σχεδίασης" Ο χρησιμοποιώντας πολυμερές σκληρυντικό με υπεριώδη ακτινοβολία, όπου οι περιοχές ακτινοβολίας UV ελέγχονταν με προκαθορισμένο σχέδιο κάλυψης (JP S56144478 A). Παρά την άμεση δημοσίευση των αποτελεσμάτων του, ο Kodama δεν μπόρεσε να αυξήσει το ενδιαφέρον για το έργο του και στη συνέχεια ακυρώθηκε.

Τέσσερα χρόνια αργότερα στη Γαλλία η ίδια μοίρα συνάντησε την έννοια της στερεολιθογραφίας που παρουσίασαν οι Le Méhauté, de Witte και André και το μετέπειτα δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τους για τη διαδικασία, δήθεν "λόγω έλλειψης επιχειρηματικής προοπτικής" [<http://www.primante3d.com/εφευρέτης/>].

Εκείνη την εποχή, ο Αμερικανός William E. Masters κατέθεσε την πρώτη από τη σειρά διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας του (συγκεκριμένα, το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τη διαδικασία και το σύστημα αυτοματοποιημένης κατασκευής υπολογιστών (US 4665492) που έθεσε τελικά τα θεμέλια της τρισδιάστατης εκτύπωσης όπως τη γνωρίζουμε.

Μόλις δύο χρόνια αργότερα ο Αμερικανός Τσαρλς Χαλ έλαβε δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τη δική του "συσκευή για την παραγωγή στερεολιθογραφιών" (US4575330A), ίδρυσε τη δική του εταιρεία και τελικά κυκλοφόρησε τον πρώτο εμπορικό τρισδιάστατο εκτυπωτή, τον SLA-1, το 1987. Το δίπλωμα ευρεσιτεχνίας για τον πιο συχνά χρησιμοποιούμενο τύπο τρισδιάστατης εκτύπωσης - το FDM - κατατέθηκε το 1989 στις ΗΠΑ από τον S. Scott Crump (US5340433A) και ο πρώτος εξοπλισμός FDM κυκλοφόρησε το 1992. Το Hull έδωσε επίσης το πιο απλό και ταυτόχρονα πλήρες ορισμός της τρισδιάστατης εκτύπωσης μέχρι σήμερα, και συγκεκριμένα: "Ένα σύστημα για τη δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων με τη δημιουργία ενός σχεδίου διατομής του αντικειμένου που πρόκειται να σχηματιστεί ...", στην περιγραφή της πατέντας του για "Μέθοδος παραγωγής τρισδιάστατων αντικειμένων" με στερεολιθογραφία (US5174943A).



2019-1-BG01-KA203-062371

ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΚΑΙ ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΩΣ ΜΕΘΟΔΟΣ ΠΑΡΑΓΩΓΗΣ

Υπάρχουν πολλά πλεονεκτήματα στη χρήση τρισδιάστατης εκτύπωσης παρά στις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής. Μερικά από αυτά παρατίθενται παρακάτω:

1. Σύνθετος σχεδιασμός

Δεδομένου ότι το αντικείμενο δεν είναι κομμένο από ένα μπλοκ, η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να χειριστεί διαφορετικά σχέδια με πολύ περίπλοκη δομή.

2. Δυνατότητες για τροποποιήσεις της τελευταίας στιγμής.

Ο σχεδιασμός είναι εύκολα τροποποιήσιμος και μια ποικιλία διαφορετικών πρωτοτύπων ενός αντικειμένου μπορεί να κατασκευαστεί και να δοκιμαστεί γρήγορα.

3. Εύκολη και γρήγορη προσαρμογή του σχεδιασμού που ταιριάζει στις ατομικές ανάγκες

Σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής, η εισαγωγή των απαραίτητων τροποποιήσεων αφορά τα αρχεία δεδομένων και όχι το ίδιο το μηχάνημα και μπορεί να πραγματοποιηθεί με πολύ λίγη προειδοποίηση.

4. Αποδίδει ελαφριά και ανθεκτικά αντικείμενα

Αυτό εξαρτάται από το υλικό που χρησιμοποιείται, αλλά οι περισσότεροι εμπορικοί τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούν πλαστικό, αν και είναι δυνατή η χρήση άλλων υλικών όπως γύψος, μέταλλο, μεταλλικά κράματα κ.λπ.

5. Σχετικά γρήγορη παραγωγή σε μικρότερες κλίμακες

Ανάλογα με το μέγεθος και την πολυπλοκότητα του σχεδιασμού, τα περισσότερα αντικείμενα μπορεί να κατασκευαστούν μέσα σε λίγες ώρες, αν και τα μεγαλύτερα μπορεί να χρειαστούν περισσότερο χρόνο.

6. Χαμηλά (σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής) απόβλητα υλικού

Και πάλι, δεδομένου ότι δεν υπάρχει κοπή, διάτρηση, η σπατάλη υλικού είναι αμελητέα χαμηλή. Εξαίρεση αποτελεί η τρισδιάστατη εκτύπωση σε σκόνη, όπου συνήθως χάνεται περίσσεια σκόνης.

7. Μπορεί να είναι πιο οικονομικά αποδοτική από τις παραδοσιακές μεθόδους παρασκευής

Αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό και τη διαδικασία που χρησιμοποιείται για την κατασκευή.

8. Η ευκολία πρόσβασης των ερευνητών, της βιομηχανίας και του κοινού στους τρισδιάστατους εκτυπωτές αυξάνεται συνεχώς

Προς το παρόν, η απόκτηση πρόσβασης σε έναν 3D εκτυπωτή είναι σχετικά εύκολη, αν και τυπικά υπάρχει μια ουρά πελατών που περιμένουν να χρησιμοποιήσουν τον εξοπλισμό. Ο χρόνος αναμονής εξαρτάται από τη μάρκα και το μοντέλο του εκτυπωτή, τον φορέα στον οποίο φιλοξενείται και τον τύπο χρήσης του 3D εκτυπωτή.

9. Μπορεί να είναι πιο φιλικό προς το περιβάλλον από τις παραδοσιακές μεθόδους παρασκευής

Και πάλι, αυτό εξαρτάται από τον τύπο του υλικού που χρησιμοποιείται, την ένταση χρήσης και τη συντήρηση του εξοπλισμού. Ωστόσο, τα απορριμμένα αντικείμενα, η εκπομπή λυμάτων και μικρών σωματιδίων μπορεί να δημιουργήσουν πρόβλημα (βλ. Παρακάτω).



2019-1-BG01-KA203-062371

10. Ειδικές χρήσεις της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην επανορθωτική και αναγεννητική ιατρική (τρειςδιάστατη βιο-εκτύπωση)

Αυτή τη στιγμή επενδύεται σημαντική έρευνα και ανάπτυξη για την ανάπτυξη μιας νέας γενιάς εμφυτεύσιμων υλικών. Αντί να παρέχουν απλώς αδρανή υποστήριξη, φιλικές προς την τριβή επιφάνειες και γεφύρωση μεταξύ ακέραιων τμημάτων κατεστραμμένου ιστού (οι οποίες είναι οι κύριες λειτουργίες των περισσότερων εμφυτεύσιμων υλικών σήμερα), τα νέα υλικά μπορεί επίσης να γίνουν πιθανότατα μέρος του φυσικού βιότοπου των κυττάρων τον κατεστραμμένο ιστό. Τέτοια υλικά μπορεί να είναι καθαρά τεχνητής προέλευσης αλλά μοιάζουν με βιολογικό ιστό (υλικά βιομίμησης). Μια πιθανή χρήση της τρισδιάστατης βιο -εκτύπωσης είναι η παροχή βέλτιστου περιβάλλοντος 3D εμφυτεύσιμων υλικών για αποικισμό με ζωντανά κύτταρα από τον περιβάλλοντα ιστό. Μια άλλη πολλά υποσχόμενη εφαρμογή τρισδιάστατης βιο-εκτύπωσης είναι η δυνατότητα δημιουργίας ζωντανών ιστών (και, ενδεχομένως, λειτουργίας οργάνων αντικατάστασης και διαφόρων "ανταλλακτικών" για ζωντανά σώματα) χρησιμοποιώντας υλικά με βάση ζωντανά κύτταρα ως εκτυπώσιμα "βιοσυνδετικά" (δείτε παρακάτω).

Οι δυνητικοί περιορισμοί της τρισδιάστατης εκτύπωσης σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής μπορεί να είναι:

1. Περιορισμοί που επιβάλλονται από λάθη στο σχεδιασμό

Ενώ ουσιαστικά δεν υπάρχουν όρια στους πιθανούς τύπους σχεδιασμού, ένα μόνο σφάλμα στο σχεδιασμό μπορεί να οδηγήσει στην κατασκευή άχρηστων αντικειμένων. Ενώ ορισμένα από τα σφάλματα σχεδιασμού μπορούν να ελαχιστοποιηθούν με το φινίρισμα, μπορεί να αυξήσει το χρόνο επεξεργασίας μιας παραγγελίας και να μειώσει την ανθεκτικότητα του αντικειμένου.

2. Περιορισμός που επιβάλλεται από υλικό

Οι περισσότεροι τρισδιάστατοι εκτυπωτές χρησιμοποιούν ως μελάνι κάποιο είδος πλαστικού πολυμερούς, αν και ορισμένοι μπορούν επίσης να εκτυπώσουν με μέταλλο και μεταλλικά κράματα. Αντικείμενα που παράγονται και στη συνέχεια απορρίπτονται ενδέχεται να δημιουργήσουν πρόβλημα εάν το υλικό δεν είναι βιοδιασπώμενο ή/και ανακυκλώσιμο. Η εκτύπωση και η μετα-επεξεργασία μπορεί να οδηγήσουν σε εκπομπή σωματιδίων που συμβάλλουν στη ρύπανση του περιβάλλοντος και μπορεί να έχουν καρκινογόνες δυνατότητες όταν αναπνέουν και καταπίνονται.

Τα ζητήματα που αφορούν το υλικό για βιο -εκτύπωση ενδέχεται να επιδεινωθούν περαιτέρω σε τρισδιάστατη βιο -εκτύπωση όπου η βιωσιμότητα των ζωντανών κυττάρων και η βιοσυμβατότητα είναι υψίστης σημασίας.

3. Περιορισμοί που επιβάλλονται από το μέγεθος του αντικειμένου

Πολύ μεγάλα αντικείμενα μπορεί να είναι δύσκολο να κατασκευαστούν σε ένα κομμάτι. Διαφορετικά τμήματα του αντικειμένου μπορεί να χρειαστεί να εκτυπωθούν ξεχωριστά και στη συνέχεια να συναρμολογηθούν μεταξύ τους. Αυτό μπορεί να αυξήσει το χρόνο και το κόστος για την κατασκευή και μπορεί να μειώσει την ανθεκτικότητα του αντικειμένου (βλέπε παρακάτω).

4. Η ακεραιότητα των παραγόμενων αντικειμένων ενδέχεται να διακυβευθεί

Αυτό μπορεί να είναι ένα ζήτημα ειδικά όταν τα μέρη παράγονται χωριστά και στη συνέχεια συναρμολογούνται μαζί. Υπό φυσική καταπόνηση, τα στρώματα μπορεί να διαχωριστούν (ειδικά σε αντικείμενα που παράγονται από FDM) και τα σύνθετα αντικείμενα μπορεί να είναι εύθραυστα και ευαίσθητα στο χειρισμό.



2019-1-BG01-KA203-062371

5. Τα αντικείμενα με τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να χρειαστούν φινίρισμα

Ουσιαστικά, αυτό δεν κάνει καμία διαφορά με την παραδοσιακή κατασκευή. Και πάλι, αυτό μπορεί να αυξήσει το χρόνο και το κόστος για την κατασκευή.

6. Το κόστος γενικά δεν μειώνεται με μεγαλύτερες παρτίδες

Στην παραδοσιακή κατασκευή, όταν ο εξοπλισμός λειτουργεί σε πλήρη χωρητικότητα, το κόστος κατασκευής ανά αντικείμενο ή ανά παρτίδα γενικά τείνει να είναι χαμηλότερο. Αυτό δεν συμβαίνει με την τρισδιάστατη εκτύπωση και οι μεγάλοι όγκοι κατασκευής μπορεί να είναι δαπανηροί.

7. Θέματα πνευματικής ιδιοκτησίας

Αρκετά αυτονόητο. Τα ζητήματα δεν αφορούν μόνο τα κατασκευασμένα αντικείμενα αλλά και το λογισμικό, το υλικό και τις διαδικασίες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τους.

8. Ηθικά ζητήματα, που αφορούν κυρίως την τρισδιάστατη βιο-εκτύπωση ζωντανών ιστών

9. Μπορεί να προκαλέσει έμμεσα μείωση των θέσεων εργασίας στον παραδοσιακό μεταποιητικό τομέα.

Βασικές διαδικασίες και υλικά της τρισδιάστατης εκτύπωσης

ΤΥΠΟΙ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΩΝ ΤΗΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

Υπάρχουν πολλοί τύποι τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης. Το κοινό τους είναι ότι τα απτά αντικείμενα δημιουργούνται με την εναπόθεση διαδοχικών στρωμάτων και όχι με την αποκοπή του αντικειμένου από ένα στερεό μπλοκ και/ή διάτρηση, άλεση βαρετού. Κάθε διαδοχικό στρώμα αντιπροσωπεύει μια διατομή του υπό κατασκευή αντικειμένου. Η διαδικασία ελέγχεται από έναν υπολογιστή εξοπλισμένο με καθορισμένο λογισμικό για τη δημιουργία αρχείων σχεδιασμού, επεξεργασίας αρχείων και εκτύπωσης αντικειμένων (δείτε περισσότερα για λεπτομέρειες).

Πολλές από τις πιο κοινές τεχνολογίες για τρισδιάστατη εκτύπωση παρουσιάζονται συνοπτικά παρακάτω. Αυτή η λίστα δεν είναι σε καμία περίπτωση αποκλειστική.

- Τεχνολογίες υγρού ή ημιστερεού μελάνης: SLA, FDM, EXT, PolyJet

Και τα τρία αυτά βασίζονται στην εναπόθεση στρώσεων υγρού (περισσότερο ή λιγότερο ιξώδους) μελανιού που στη συνέχεια λιώνονται μεταξύ τους με θερμότητα ή κατευθυνόμενη δέσμη φωτός (που εκπέμπεται από λάμπα UV ή λέιζερ). Το μελάνι μπορεί να εξωθείται από ένα ακροφύσιο ή, όταν είναι υψηλότερης συνοχής, να τροφοδοτείται από ένα καρούλι.



2019-1-BG01-KA203-062371

- Στερεολιθογραφία (SLA)

Η στερεολιθογραφική τρισδιάστατη εκτύπωση είναι ίσως η πιο εύκολα κατανοητή από όλες τις τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, πιθανώς επειδή ο φωτοπολυμερισμός χρησιμοποιείται συνήθως στη σύγχρονη οδοντιατρική. Βασικά, η στερεολιθογραφία είναι φωτοθεραπεία φωτοευαίσθητου υλικού που εξωθείται στρώμα-στρώμα σε κινητή πλατφόρμα. Το μήκος κύματος της πηγής φωτός είναι συχνότερα στην περιοχή UV, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλα μήκη κύματος. Τα υλικά SLA πολυμερίζονται μέσω πολυμερισμού ελεύθερων ριζών.

Διαφορετικά μέρη του αντικειμένου μπορεί να χρειαστεί να υποστηριχθούν κατά την κατασκευή του αντικειμένου έτσι ώστε να αποφευχθεί η κατάρρευση ολόκληρης της δομής. Οι διαδοχικές στιβάδες γίνονται για να προσκολλώνται μεταξύ τους με διασταυρωμένο πολυμερισμό της μόλις πολυμερισμένης στιβάδας στο πρόσφατα εναποτιθέμενο στρώμα όπου ο πολυμερισμός είναι ακόμη ατελής. Δεδομένου ότι ο πολυμερισμός μπορεί να πάρει λίγο χρόνο για να ολοκληρωθεί, το εκτυπωμένο αντικείμενο συνήθως χρειάζεται λίγο χρόνο για να σκληρύνει, στη συνέχεια αφαιρούνται τα στηρίγματα (εάν κάποιο από αυτά παραμείνει μετά την τελευταία εναπόθεση του στρώματος), τότε μπορεί να λάβει χώρα μια τελική μετα-επεξεργασία.

Ένα τυπωμένο 3D μοντέλο SLA παρουσιάζεται στην Εικόνα. 3.



Εικόνα 3. Στερεολιθογραφία οστικού λαβύρινθου του εσωτερικού αυτιού στον άνθρωπο.
Πηγή: Didier Descouens, CC BY-SA 4.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0>>, via Wikimedia Commons

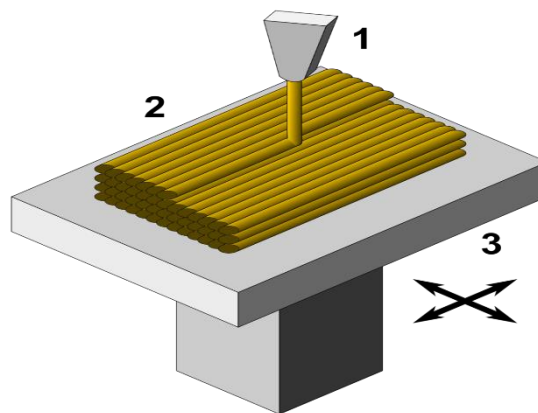
Το μελάνι που χρησιμοποιείται στην εκτύπωση με βάση SLA είναι συνήθως υγρό στην μη πολυμερισμένη μορφή του. Είναι κυρίως εποξειδικό ή ακρυλικό, αν και ανθρακικό τριμεθυλένιο, πολυκαπρολακτόνη και μελάνια με βάση πολυλακτίδιο μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν. Η χρήση τέτοιων υλικών αποδίδει εκτυπωμένα αντικείμενα με σημαντική ακαμψία τα οποία, ωστόσο, είναι αρκετά εύθραυστα. Έτσι, το SLA είναι κατάλληλο για ταχεία πρωτοτυπία και ερευνητικούς σκοπούς (π.χ. σκαλωσιές μηχανικής ιστών) αλλά όχι για αντικείμενα που πρέπει να είναι ανθεκτικά. Το SLA έχει αρκετά υψηλή ανάλυση (το ελάχιστο πάχος του στρώματος είναι 50 μm) και ως εκ τούτου είναι πολύ αξιόπιστο όταν οι λεπτομέρειες είναι ζωτικής σημασίας.

Τα αντικείμενα που δημιουργούνται από το SLA μπορεί να είναι ευαίσθητα στο φως και να τείνουν να διαλύονται με την πάροδο του χρόνου, ειδικά όταν διατηρούνται σε φωτεινά περιβάλλοντα.

Οι διαλύτες χρησιμοποιούνται σπάνια στην εκτύπωση SLA, επομένως, ο κίνδυνος διαφυγής καπνών στην ατμόσφαιρα είναι χαμηλός. Ωστόσο, λόγω της ευθραυστότητας των αντικειμένων που εκτυπώνονται με SLA, τα αντικείμενα που απορρίπτονται ενδέχεται να αποτελούν περιβαλλοντικό κίνδυνο. Η χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας απαιτεί ειδικές προφυλάξεις προκειμένου να αποφευχθεί η τυχαία έκθεση επιφανειών, αντικειμένων και χειριστών στη δέσμη σκλήρυνσης. Μερικά από τα μελάνια που χρησιμοποιούνται για στερεολιθογραφία μπορεί να έχουν σημαντικό νευροτοξικό και καρκινογόνο δυναμικό. Επίσης, μπορεί να χρειαστεί να εξεταστεί ο σχηματισμός όζοντος που προκαλείται από την υπεριώδη ακτινοβολία.

- Μοντελοποίηση συντηγμένης εναπόθεσης (FDM), επίσης γνωστή ως κατασκευή σύντηξης νημάτων (FFF)

Προς το παρόν, αυτή είναι η πιο συχνά χρησιμοποιούμενη τεχνολογία για τρισδιάστατη εκτύπωση. Η τεχνολογία FDM βασίζεται στην εξώθηση ενός νήματος θερμοπλαστικού μελανιού που τροφοδοτείται από ένα καρούλι μέσω ενός κινούμενου θερμαινόμενου ακροφυσίου εκτυπωτή. Το μελάνι μέσα στο ακροφύσιο θερμαίνεται ακριβώς πάνω από το σημείο τήξης του και εξωθείται σε ημι-στερεή μορφή που στερεοποιείται σχεδόν αμέσως μετά την εναπόθεση ενός στρώματος. Το αντικείμενο είναι χτισμένο πάνω σε μια κινούμενη πλατφόρμα που χαμηλώνει σταδιακά καθώς μεγαλώνει η δομή (Εικ. 4).



Εικόνα 4. Αρχή λειτουργίας των εκτυπωτών FDM. Πηγή: By Gringer - Own work, CC0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=73614647>

Το ελάχιστο πάχος στρώματος για FDM είναι 100 μm . Τα πιο συχνά χρησιμοποιούμενα υλικά μελάνης για FDM είναι το ακρυλονιτρίλιο βουταδιένιο στυρόλιο (ABS), το πολυλακτίδιο (PLA) και η πολυαιθυλενο τερεφθαλική γλυκόλη (PETG). Άλλα, όπως πολυφαινυλαιθέρας (MAPI), πολυουρεθάνη (PU), πολυαιθυλενο τερεφθαλική γλυκόλη (PETG), πολυφαινυλοσουλφόνη (PPSP), πολυανθρακικό (PC), πολυαιθεριμίδιο (PEI), πολυαιθεροκετόνη (PEEK), πολυαμίδιο (PA, κοινώς γνωστό ως νάιλον)

2019-1-BG01-KA203-062371

χρησιμοποιούνται επίσης. Μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί πολυβινυλική αλκοόλη (PVA), αλλά επειδή είναι υδρόφιλη, το PVA χρησιμοποιείται συχνότερα για την κατασκευή εύκολα αφαιρούμενων στηριγμάτων για μια δομή τυπωμένη με άλλο τύπο θερμοπλαστικού μελανιού.

Το θερμαινόμενο μελάνι για FDM μπορεί επίσης να έχει τη μορφή ράβδων ή κόκκων. Μια παραλλαγή του FDM χρησιμοποιεί ψυχρή εξώθηση μη θερμαινόμενου μελανιού, που συνήθως παρέχεται ως πολτός ή πάστα.

Ένας εκτυπωτής FDM με μπομπίνα νήματος παρουσιάζεται στην Εικόνα 5.



Εικόνα 5. Εκτυπωτής PRUSA i3 MK2 FDM (Prusa Research, Πράγα, Τσεχία) με καρούλι και ολοκληρωμένο αντικείμενο. Πηγή εικόνας: Wikimedia Commons, <http://reprap.org/wiki/File:Prusai3-MK2.jpg>.

Όντας σχετικά χαμηλού κόστους, το FDM είναι ιδιαίτερα δημοφιλές στους χομπίστες και στους κατασκευαστές μοντέλων επιφάνειας εργασίας. Επιπλέον, το FDM χρησιμοποιείται συνήθως για ταχεία πρωτοτυπία στη μηχανική, στην κατασκευή εξαρτημάτων και μηχανημάτων υψηλής απόδοσης, στην εκπαίδευση και στην τέχνη.

Τα αντικείμενα που κατασκευάζονται από την FDM είναι σημαντικά πιο ανθεκτικά από αυτά που παράγονται από την SLA και με πολύ καλή ποιότητα αναπαραγωγής λεπτομερειών. Διαφορετικής ποιότητας μελάνια FDM αποδίδουν αντικείμενα με διαφορετικές ιδιότητες σε σχέση με την ανθεκτικότητα, την ακαμψία και την ευκαμψία (βλέπε παρακάτω).

Τα μειονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης από το FDM σχετίζονται κυρίως με πιθανούς περιβαλλοντικούς κινδύνους (χρήση διαλυτών, εκπομπή μικρών σωματιδίων κατά τη μετα-επεξεργασία και το γεγονός ότι τα απορριμμένα αντικείμενα είναι αρκετά ανθεκτικά).

- Ημι-στερεή τρισδιάστατη εκτύπωση

Η εκτύπωση 3D 3D είναι μια άλλη τεχνολογία που βασίζεται στην εξώθηση. Το μελάνι είναι συνήθως μίγμα πολυμερούς-διαλύτη με τη σύσταση της πάστας. Τα υλικά EXT δεν είναι θερμοπλαστικά, επιτρέποντας την εκτύπωση σε χαμηλές θερμοκρασίες. Και πάλι, το αντικείμενο είναι χτισμένο πάνω σε μια κινητή πλατφόρμα.

Το EXT χρησιμοποιείται συνήθως στην έρευνα (π.χ. σκαλωσιές ιστών) και για φαρμακευτικούς σκοπούς (στοχευμένη και/ή χρονική παράδοση φαρμάκων). Η βιοασφάλεια διασφαλίζεται με τη χρήση μελανιών που βασίζονται σε πολυβινυλοπυρρολιδόνη, πολυαιθυλενογλυκόλη, μεθυκελουλόζη, υδροξυπροπυλομεθυλοκυτταρίνη, πολυκαπρολακτόνη και άλλα υλικά. Το EXT είναι μία από τις ισχυρές προσεγγίσεις για τον τρυπισμό ζωντανών ιστών από μια υδρογέλη που περιέχει ζωντανά κύτταρα. Επίσης, η εξώθηση χρησιμοποιώντας παχύρρευστη πάστα τροφίμων (γλάσο, σοκολάτα, ζελέ, κ.λπ.) είναι μια προτιμώμενη μέθοδος για τρισδιάστατη εκτύπωση για τη βιομηχανία τροφίμων (Εικ. 6).



Εικόνα 6. Εκτύπωση εξώθησης για τη βιομηχανία τροφίμων. Πηγή: Grup de recerca de la Universitat de Columbia - <https://www.creativemachineslab.com/digital-food.html>, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=84202502>



2019-1-BG01-KA203-062371

Δεδομένου ότι το υλικό για την εκτύπωση EXT 3D δεν είναι ούτε φωτοευαίσθητο ούτε θερμοπλαστικό, τα στρώματα συνήθως δεν στερεοποιούνται αμέσως. Έτσι, το τρισδιάστατο αντικείμενο που εκτυπώθηκε μπορεί να χρειαστεί χρόνο για να σταθεροποιηθεί ή/και να στεγνώσει μετά την ολοκλήρωση καθώς ο διαλύτης εξατμίζεται. Μπορεί επίσης να είναι επιρρεπής σε στρέβλωση, συρρίκνωση και παραμόρφωση. Το ελάχιστο πάχος στρώματος για EXT είναι 800 μm. Αυτή η χαμηλή ανάλυση είναι εγγενής στις τεχνικές εξώθησης ημιστερεού.

- PolyJet

Το PolyJet είναι μια άλλη τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης με βάση το υγρό. Όπως και το SLA, βασίζεται στη στρώση-στρώση που UV-σκληρύνει ενός φωτοευαίσθητου πολυμερούς. Το μελάνι, ωστόσο, απελευθερώνεται από την κεφαλή του εκτυπωτή σε σταγονίδια που συσσωρεύονται σε μια οικοδομική πλατφόρμα σύμφωνα με το καθορισμένο λογισμικό. Η τεχνολογία PolyJet επιτρέπει την ανάμειξη μελανιών, με αποτέλεσμα μεγαλύτερη ποικιλία ιδιοτήτων για τα κατασκευασμένα αντικείμενα.

Τα μελάνια PolyJet περιλαμβάνουν μεγάλη ποικιλία υλικών. Μεταξύ των συνηθέστερα χρησιμοποιούμενων είναι το ABS (διαφορετικές τροποποιήσεις), η σχετική ένωση ακρυλικό στυρόλιο ακρυλονιτρίλιο (ASA, πιο ανθεκτικό στη θερμότητα και ανθεκτικό στην υπεριώδη ακτινοβολία από το ABS), πολυανθρακικό και πολυαιθερκετόνη κετόνη (PEKK). Διάφορα φωτοευαίσθητα υλικά που χρησιμοποιούνται σε άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης με βάση το υγρό μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθούν στο Polyjet. Υπάρχει επίσης η ειδικά σχεδιασμένη σειρά μελανιών Vero Polyjet M κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από έναν από τους ηγέτες της αγοράς σε 3D εκτυπωτές και υλικά, Stratasys. Σημαντικά μέλη των βιοσυμβατών υλικών PolyJet είναι τα MED610 και MED620, μια ρητίνη με βάση μεθακρυλικό που χρησιμοποιείται στην ιατρική και την οδοντιατρική για γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων.

Τα πλεονεκτήματα της χρήσης του PolyJet είναι η σχετικά υψηλή ανάλυση (το ελάχιστο πάχος του στρώματος είναι 160 μm, επιτρέποντας τη δημιουργία σταθερών δομών με πολύπλοκη γεωμετρία και εξαιρετική λεπτομέρεια) και η μεγάλη ποικιλία ιδιοτήτων (δύναμη, ευελιξία, χρώματα κ.λπ.). Τα μειονεκτήματα είναι (εκτός από τα κοινά μειονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης που περιγράφηκαν παραπάνω) τα εγγενώς υψηλά επίπεδα εκπομπής μικρών σωματιδίων, η χρήση υπεριώδους ακτινοβολίας και η εκπομπή τοξικών καπνών κατά τη σκλήρυνση αντικειμένων που κατασκευάζονται με μερικούς τύπους μελανιών (π.χ. ASA). Τα εκτυπωμένα αντικείμενα ενδέχεται να χρειάζονται μετα-επεξεργασία και μπορεί να είναι φωτοευαίσθητα.

• 3D Τρισδιάστατη εκτύπωση σε σκόνη (PB)

Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης PB βασίζεται στην εναπόθεση διαδοχικών στρωμάτων κονιοποιημένου υλικού και τη δέσμευσή τους μέσω ενός διαλύματος υγρού συνδετικού υλικού ή τη σύντηξη με άλλες μεθόδους (βλ. Παρακάτω). Η σκόνη εναποτίθεται σε κλίνη σκόνης ή παράγεται με εκτόξευση σκόνης και στη συνέχεια ψεκάζεται ή εκτοξεύεται με συνδετικό υλικό, ακτινοβολείται με φως ή θερμαίνεται προκειμένου να επιτευχθεί η ακεραιότητα του αντικειμένου.

Το ελάχιστο πάχος στρώματος μπορεί να ποικίλλει σημαντικά στην εκτύπωση 3D PB και τα στρώματα μπορεί να είναι τόσο λεπτά όσο 20-30 μm με ορισμένα υλικά. Αυτή η πολύ υψηλή ανάλυση

2019-1-BG01-KA203-062371

επιτρέπει τη δημιουργία πολύπλοκων δομών με εξαιρετική λεπτομέρεια. Γενικά, ωστόσο, το πάχος του στρώματος είναι περίπου 200 μm .

Τα κονιοποιημένα υλικά συνήθως παράγονται με κρυογενική άλεση σε μύλο σφαιρών σε θερμοκρασία κάτω από τη θερμοκρασία μετάπτωσης γυαλιού του υλικού. Η άλεση μπορεί να χρησιμοποιεί αέρια χαμηλής θερμοκρασίας (υγρό CO_2 ή υγρό άζωτο-ξηρή σκόνη) ή μίγμα αερίου χαμηλής θερμοκρασίας και οργανικών διαλυτών (υγρή άλεση). Στην απλούστερη μορφή του, η τρισδιάστατη εκτύπωση PB είναι εφικτή χρησιμοποιώντας υλικά όπως άμυλο σε σκόνη ή γύψο δεμένο μαζί με κόλλα (Εικ. 7). Μπορούν να προστεθούν χρωστικές και ενώσεις πλαστικοποίησης στο διάλυμα σύνδεσης προκειμένου να επιτευχθούν οι επιθυμητές ιδιότητες.



Εικόνα 7. Πρωτότυπα που κατασκευάζονται με τρισδιάστατη εκτύπωση σε σκόνη. Πηγή: S Zillayali, CC BY-SA 3.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by-sa/3.0/>>, via Wikimedia Commons

Τα μειονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης που βασίζεται σε PB σχετίζονται, αφενός, με τις φυσικές ιδιότητες των αντικειμένων που δημιουργήθηκαν με αυτόν τον τύπο τεχνολογίας και, αφετέρου, με την ανάγκη για μετα-επεξεργασία προκειμένου να επιτευχθεί η μέγιστη ποιότητα. Τα αντικείμενα που κατασκευάστηκαν από το PB 3D είναι εγγενώς πολύ πορώδη και, ως εκ τούτου, παρουσιάζουν χαμηλή μηχανική αντίσταση και μπορεί να είναι εύθραυστα.

Τα αντικείμενα που εκτυπώνονται με PB χρειάζονται πάντα χρόνο για εξάτμιση διαλυτών. Η μετεπεξεργασία είναι συνήθως απαραίτητη για την απομάκρυνση της περίσσειας σκόνης (επομένως μια ορισμένη ποσότητα υλικού σπαταλάται πάντα) και για τη βελτίωση των ιδιοτήτων των κατασκευασμένων αντικειμένων (αντοχή, χρώμα, γυάλισμα κ.λπ.). Η εκπομπή δυνητικά επιβλαβών μικρών σωματιδίων αποτελεί σοβαρή ανησυχία σε όλες τις τεχνολογίες που βασίζονται σε PB για τρισδιάστατη εκτύπωση.

Το PB έχει χρησιμοποιηθεί επιτυχώς στην έρευνα, την οδοντιατρική και την ιατρική για την κατασκευή εμφυτευμάτων και την κατασκευή φαρμάκων με συγκεκριμένες φαρμακοκινητικές ιδιότητες,



2019-1-BG01-KA203-062371

όπως ταμπλέτες ταχείας αποσύνθεσης, φάρμακα με καθυστερημένη, παλλόμενη ή παρατεταμένη αποδέσμευση. Η βιοασφάλεια αυτών των μορφών δοσολογίας διασφαλίζεται με τη χρήση μεθακρυλικού ή αιθυλοκυταρίνης ως φορέων της βιοδραστικής ουσίας.

- ColorJet

Το ColorJet δεν είναι ακριβώς μια τεχνολογία, αλλά μια μάρκα τρισδιάστατων εκτυπωτών και αναλωσίμων σε σκόνη που κατασκευάζονται στην Ινδία. Προσφέρει μία από τις πιο απλές λύσεις στην τρισδιάστατη εκτύπωση PB. Το υλικό που χρησιμοποιείται είναι συνήθως η σκόνη λευκού γύψου, αν και μπορεί να χρησιμοποιηθεί και πλαστικό (π.χ., η κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας σκόνη Visijet C4 Spectrum της εταιρείας). Το υλικό είναι στρωμένο σε μια κινητή πλατφόρμα και δένεται με κόλλα. Το συνδετικό υλικό μπορεί να περιέχει διαφορετικές βαφές, προσδίδοντας διαφορετικά χρώματα στο μοντέλο που κατασκευάζεται.

Το ColorJet χρησιμοποιείται συχνότερα για γρήγορη δημιουργία πρωτοτύπων. Το ελάχιστο πάχος στρώματος είναι περίπου 100 μm, αλλά μπορεί να ποικίλει με διαφορετικά υλικά.

Το Colorjet παρέχει μια οικονομική λύση όπου η ανθεκτικότητα, η ευθραυστότητα και το πορώδες δεν προκαλούν μεγάλη ανησυχία. Ως εκ τούτου, είναι μια αποδεκτή λύση για την κατασκευή μοντέλων για εκπαιδευτικούς, ερευνητικούς και εμπορικούς σκοπούς (π.χ. μοντέλα πωλήσεων) και στην τέχνη. Μια παρόμοια διαδικασία με χρήση βρώσιμης σκόνης και συνδετικού διαλύματος χρησιμοποιείται συνήθως στη βιομηχανία τροφίμων για τη δημιουργία προσαρμοσμένων γλυκών και πιάτων.

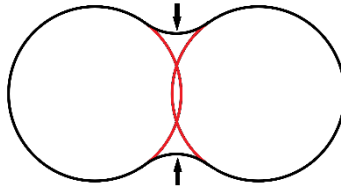
Τα αντικείμενα που εκτυπώνονται από το ColorJet ενδέχεται να χρειάζονται εκτεταμένη μεταεπεξεργασία. Οι σοβάδες πρέπει να σκληρύνουν μετά την ολοκλήρωσή τους και οι διαλύτες πρέπει να εξατμιστούν. Στη συνέχεια, το αντικείμενο γυαλίζεται και εμποτίζεται με άλλο τύπο συνδετικού υλικού (συνήθως ακρυλικό) για να επιτευχθεί η μέγιστη αντοχή και να μειωθεί το πορώδες της επιφάνειας. Οι αναθυμιάσεις διαλυτών μπορεί να αποτελούν περιβαλλοντική ανησυχία, καθώς και εκπομπές μικρών σωματιδίων.

- Επιλεκτική τήξη λέιζερ (SLS)

Το SLS μοιράζεται τα κοινά χαρακτηριστικά που αναφέρονται παραπάνω για εκτύπωση 3D PB. Στο SLS το κονιοποιημένο υλικό είναι στρωματοποιημένο και μια κατευθυνόμενη δέσμη φωτός που δημιουργείται από την κεφαλή του εκτυπωτή υγροποιείται εν μέρει και λιώνει τα στρώματα μεταξύ τους καθώς η δομή χτίζεται σε μια διαδικασία που συνήθως ονομάζεται λαιμόκοψη (Εικ. 8).



2019-1-BG01-KA203-062371



Εικόνα 8. Σχηματισμός "λαιμού" μεταξύ δύο στρώσεων σύντηξης (βέλη). Πηγή: Mendoza.755 - Own work, CC BY-SA 4.0, <https://commons.wikimedia.org/w/index.php?curid=76830144>

Το ελάχιστο πάχος στρώματος στο SLS είναι περίπου 100 μm .

Το SLS λειτουργεί πολύ καλά με υλικά με υψηλό σημείο τήξης και ως εκ τούτου χρησιμοποιείται συχνότερα με μελάνια με βάση το μέταλλο. Πλαστικό (πολυαμίδιο, πολυανθρακικό, πολυστυρόλιο και άλλα), θερμοπλαστική ρητίνη, γυαλί και κεραμικές σκόνες μπορούν επίσης να χρησιμοποιηθούν. Το SLS χρησιμοποιείται συχνά για ταχεία δημιουργία πρωτοτύπων στην έρευνα (ειδικά σκαλωσιές ιστών) και στην οδοντιατρική. Προς το παρόν, οι ευκαιρίες για ανάπτυξη τεχνολογίας που βασίζεται σε SLS στη φαρμακευτική βιομηχανία είναι αρκετά περιορισμένες καθώς η ακτινοβολία και η θερμότητα που παράγεται κατά τη σύντηξη στρώσεων μπορεί να θέσει σε σοβαρό κίνδυνο τις ιδιότητες της βιοδραστικής ουσίας.

Τα τρόφιμα σε σκόνη (κακάο, ζάχαρη κ.λπ.) μπορούν να χρησιμοποιηθούν για τρισδιάστατη εκτύπωση στη βιομηχανία τροφίμων.

- Επιλεκτική τήξη λέιζερ (SLM)

Το SLM συχνά θεωρείται παράγωγο του SLS, καθώς χρησιμοποιείται κυρίως για εκτύπωση με σκόνες μετάλλων και μεταλλικών κραμάτων. Παρ' όλα αυτά, ενώ το λέιζερ κεφαλής εκτυπωτή SLS παράγει μόνο αρκετή ενέργεια για να συγχωνεύσει τα στρώματα μεταξύ τους, το SLM χρησιμοποιεί ένα λέιζερ υψηλής ισχύος που μπορεί να λιώσει τελείως ένα κομμάτι μετάλλου και στη συνέχεια να αφαιρεθεί στο επιθυμητό σχήμα όπως και το χύτευση. Το SLM παράγει αντικείμενα που είναι σημαντικά λιγότερο πορώδη από το SLS και έχουν καλύτερη μηχανική ανθεκτικότητα λόγω της ομοιογενούς εσωτερικής δομής. Ένα μειονέκτημα του SLM είναι ότι τα αντικείμενα απαιτούν γυάλισμα μετά την ολοκλήρωσή τους καθώς δημιουργεί δομές με αυξημένη κοκκώδη επιφάνεια.

Η ηλεκτρονική τήξη δέσμης (EBM) είναι ένας υποτύπος SLM που χρησιμοποιεί παρόμοια και ηλεκτρονική δέσμη για να λιώσει μεταλλικές σκόνες.

- Επιλεκτική πυροσυσσωμάτωση (SHS)

Το SHS βασίζεται ουσιαστικά στην ίδια αρχή με το SLS, αλλά το μελάνι είναι θερμοπλαστικό και, αντίστοιχα, η σύντηξη στρώματος-στρώματος λαμβάνεται χρησιμοποιώντας θερμότητα που παράγεται από μια θερμική κεφαλή εκτυπωτή. Το πιο συνηθισμένο υλικό που χρησιμοποιείται στο SHS είναι το πλαστικό (συγκεκριμένα, το πολυαμίδιο, αλλά μπορεί να χρησιμοποιηθούν και άλλα πολυμερή).



2019-1-BG01-KA203-062371

Όλα τα αντικείμενα που παράγονται από SLS ή SHS είναι επιρρεπή σε στρέβλωση και συρρίκνωση. Οι μηχανικές ιδιότητες των εκτυπωμένων αντικειμένων ενδέχεται να είναι ασυνεπείς από αντικείμενο σε αντικείμενο καθώς και από παρτίδα σε παρτίδα. Τα αντικείμενα που κατασκευάζονται από SLS και SHS συχνά απαιτούν μετεπεξεργασία, όπως αφαίρεση στηριγμάτων και επικάλυψη με στεγανωτικά μέσα, προκειμένου να μειωθεί το πορώδες της επιφάνειας.

- Σύντηξη πολλαπλών τζετ (MJF)

Η τρισδιάστατη εκτύπωση MJF είναι ένα υβρίδιο της προσέγγισης ColorJet (χρήση χημικών συνδετικών) και SHS (χρήση θερμότητας) που λειτουργεί κυρίως με πολυαμίδιο (Nylon). Βασικά, η λεπτόκοκκη σκόνη πολυαμιδίου τοποθετείται σε στρώση σε σκόνη, ψεκάζεται ή ψεκάζεται με συνδετικό υλικό και στη συνέχεια θερμαίνεται επιλεκτικά σύμφωνα με τις οδηγίες ενός προ-προγραμματισμένου λογισμικού. Το ελάχιστο πάχος του στρώματος είναι περίπου 80 μm. Όταν το αντικείμενο είναι πλήρες, πραγματοποιείται μετά την επεξεργασία (απομάκρυνση της περίσσειας σκόνης, γυάλισμα κ.λπ.). Το MJF παράγει αντικείμενα που είναι λιγότερο πορώδη και συνεπώς πιο συνεπή στις μηχανικές τους ιδιότητες από το SLS ή το SHS και έχει καλύτερη ικανότητα αναπαραγωγής λεπτών λεπτομερειών. Το φινίρισμα της επιφάνειας είναι επίσης καλύτερο με το MJF. Οι χημικοί καπνοί και η δημιουργία μικρών σωματιδίων είναι μια ανησυχία, όπως συμβαίνει με όλες τις τεχνολογίες PB 3D.

ΑΠΑΙΤΗΣΕΙΣ ΜΕΤΑ ΤΗΝ ΕΠΕΞΕΡΓΑΣΙΑ ΓΙΑ ΔΙΑΦΟΡΕΤΙΚΕΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΕΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ

Δεν απαιτούν όλα τα αντικείμενα που δημιουργούνται με τρισδιάστατη εκτύπωση μετεπεξεργασία. Ωστόσο, πολλά χρειάζονται περισσότερη δουλειά μετά την ολοκλήρωση της δομής. Το αν ένα αντικείμενο χρειάζεται μετα-επεξεργασία εξαρτάται από το υλικό, την τεχνολογία, τις επιθυμητές αισθητικές ή μηχανικές ιδιότητες και άλλους παράγοντες.

Γενικά, υπάρχουν διάφοροι τύποι μετα-επεξεργασίας αντικειμένων με 3D εκτύπωση:

- Ρύθμιση ή/και σκλήρυνση

Σχεδόν όλες οι τρισδιάστατες δομές εκτύπωσης χρειάζονται λίγο χρόνο μετά την ολοκλήρωσή τους για να ωριμάσουν και να επιτύχουν βέλτιστες μηχανικές ιδιότητες. Τα αντικείμενα που κατασκευάζονται με διεργασίες με βάση την εξώθηση (ειδικά εκείνες που χρησιμοποιούν ημιστερεά μίγματα πολυμερών και διαλυτών) και μεθόδους που βασίζονται σε σκόνη χρησιμοποιώντας υλικά που έχουν εμποτιστεί με συνδετικά διαλύματα είναι ιδιαίτερα ευαίσθητα στη μηχανική καταπόνηση αμέσως μετά την ολοκλήρωση. Στην περίπτωση αυτή, η μετα-επεξεργασία περιλαμβάνει το χρόνο εξάτμισης και σκλήρυνσης του διαλύτη. Σε ορισμένες περιπτώσεις (αλλά όχι πάντα), αυτό μπορεί να διευκολυνθεί με την αύξηση του εξερισμού στις εγκαταστάσεις όπου φυλάσσονται ολοκληρωμένα αντικείμενα.

- Υποστήριξη ημιτελών δομών

Σύνθετες κατασκευές που περιέχουν προεξοχές μπορεί να μην είναι σταθερές κατά την κατασκευή χωρίς στηρίγματα, αν και προσωρινές. Αυτά τα στηρίγματα πρέπει να αφαιρεθούν μετά την ολοκλήρωση της δομής, αυξάνοντας τον χρόνο ολοκλήρωσης και το κόστος παραγωγής (ειδικά εάν αυτό περιλαμβάνει



2019-1-BG01-KA203-062371

χειρωνακτική εργασία). Στην τρισδιάστατη εκτύπωση SLA, τα στηρίγματα για μια δομή τυπωμένη με θερμοπλαστικό μελάνι είναι πιο συχνά κατασκευασμένα από πολυβινυλική αλκοόλη. Δεδομένου ότι είναι διαλυτό, τέτοια στηρίγματα μπορούν εύκολα να αφαιρεθούν κατά τη διάρκεια της μετα-επεξεργασίας με ένα πίδακα νερού. Το τελευταίο, ωστόσο, απαιτεί υδραυλικά, πρόσβαση σε νερό και σύστημα απολύμανσης των λυμάτων (που μπορεί επίσης να αυξήσει το κόστος). Οι προσωρινές δομές στήριξης σε SLS και SHS είναι συνήθως κατασκευασμένες από αδιάβροχο υλικό που μπορεί να απομακρυνθεί με ηλεκτρική σκούπα ή να εκτοξευθεί με αέρα.

- Αφαίρεση περιττού υλικού

Αυτό είναι ζωτικής σημασίας για αντικείμενα που κατασκευάζονται με τις περισσότερες μεθόδους που βασίζονται σε σκόνη. Η περίσσεια σκόνης πρέπει να αφαιρεθεί χρησιμοποιώντας κενό, έκρηξη αέρα ή πίδακα νερού (και πάλι, αυτό προκαλεί ανησυχίες σχετικά με την παροχή νερού και την απολύμανση των λυμάτων).

- Γυάλισμα

Η στίλβωση είναι απαραίτητη για τη βελτίωση των μηχανικών χαρακτηριστικών των μηχανικών μερών (ειδικά εκείνων που υπόκεινται σε κίνηση και τριβή) και αντικειμένων με αυξημένη κοκκώδη επιφάνεια (όπως αυτά που παράγονται από επιλεκτική τήξη λέιζερ). Τα αντικείμενα με αισθητικές ιδιότητες μπορεί επίσης να χρειάζονται γυάλισμα.

- Σφράγιση των επιφανειακών πόρων

Αυτό είναι ένα σημαντικό βήμα μετά την επεξεργασία για τεχνολογίες που αποδίδουν αντικείμενα με αυξημένο πορώδες, όπως το SLS ή το SHS. Οι επιφανειακοί πόροι μπορούν να σφραγιστούν με αδιαπέραστα επιχρίσματα όπως κυανοακρυλικές επικαλύψεις ή με θερμή ισοστατική πίεση.

- Ζωγραφική

Δεν απαιτείται συνήθως, καθώς οι περισσότερες διαδικασίες τρισδιάστατης εκτύπωσης χρησιμοποιούν διαφορετικά χρώματα υλικών ή διαφορετικά χρώματα συνδετικών.

ΠΟΙΑ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΙΑ ΠΟΙΑ? ΒΑΣΙΚΕΣ ΣΚΕΨΕΙΣ ΚΑΤΑ ΤΗΝ ΕΠΙΛΟΓΗ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑΣ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ ΚΑΤΑΛΛΗΛΗΣ ΓΙΑ ΜΙΑ ΣΥΓΚΕΚΡΙΜΕΝΗ ΕΦΑΡΜΟΓΗ

Ενώ όλες οι τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να έχουν αλληλεπικαλυπτόμενες εφαρμογές (π.χ. ταχεία δημιουργία πρωτοτύπων), υπάρχουν παράγοντες που μπορεί να επηρεάσουν την επιλογή μιας τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης για ένα συγκεκριμένο έργο ή μια συγκεκριμένη βιομηχανική λύση. Οι κύριες εκτιμήσεις είναι:

- Τύπος υλικού που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτύπωση ενός αντικειμένου. Πολλοί εκτυπωτές 3D στην αγορά ενδέχεται να χρησιμοποιούν ποικιλία διαφορετικών υλικών. Αρχιτεκτονικά μοντέλα, μοντέλα πώλησης και έκθεσης, καθώς και μοντέλα που κατασκευάζονται για εκπαιδευτικούς σκοπούς, μπορούν εύκολα να δημιουργηθούν από τεχνολογίες ColorJet, SLA και FDM που χρησιμοποιούν γύψο ή διαφορετικούς τύπους πλαστικού. Μικρά επιτραπέζια μηχανήματα που



2019-1-BG01-KA203-062371

εξυπηρετούν χομπίστες και καλλιτέχνες βασίζονται συνήθως στην τεχνολογία FDM. Τα SLS/SLM και SHS χρησιμοποιούνται συνήθως όταν τα αντικείμενα πρέπει να είναι κατασκευασμένα από μέταλλο και μεταλλικά κράματα.

Διαθεσιμότητα μηχανής τρισδιάστατης εκτύπωσης. Συνήθως, οι παραγγελίες για ένα συγκεκριμένο μηχάνημα βρίσκονται στην ουρά και λειτουργούν με τον τρόπο «πρώτης προτεραιότητας». Σε περιοχές όπου οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές είναι ελάχιστα διαθέσιμοι, αυτός ο παράγοντας μπορεί να έχει πρωταρχική σημασία, επικρατώντας του τύπου υλικού.

- Διαθεσιμότητα υλικού. Το πλαστικό είναι ευπροσάρμοστο, διαθέσιμο και, εκτός από πολυμερή υψηλής απόδοσης, σχετικά φθινό, ενώ το μέταλλο μπορεί να είναι πιο ακριβό.

- Κόστος παραγωγής ανά αντικείμενο. Αυτά σχετίζονται με την τεχνολογία που χρησιμοποιείται για τη δημιουργία αντικειμένων, το χρησιμοποιούμενο υλικό και τις ανάγκες για μετεπεξεργασία. Αναφέρθηκε ήδη ότι, σε αντίθεση με τη μετάδοση, η κλιμάκωση της τρισδιάστατης εκτύπωσης δεν μειώνει πάντα την τιμή μονάδας. Η τιμή ανά αντικείμενο περιλαμβάνει όχι μόνο το κόστος παραγωγής αλλά και το κόστος μετά την επεξεργασία (εάν χρειάζεται) καθώς και το κόστος που προκύπτει από μέτρα μείωσης της ρύπανσης του περιβάλλοντος. Μεταξύ των κοινώς χρησιμοποιούμενων τεχνολογιών PB, το SHS είναι μια πιο οικονομικά προσανατολισμένη λύση από το SLS, καθώς η αγορά και η συντήρηση μιας θερμικής κεφαλής εκτυπωτή είναι γενικά λιγότερο δαπανηρή από μια κεφαλή εκτυπωτή λέιζερ. Τα αντικείμενα που κατασκευάζονται από την SHS είναι επομένως γενικά φθηνότερα από αυτά που κατασκευάζονται από την SLS και η διαδικασία μπορεί εύκολα να μειωθεί για παραγγελίες μικρού μεγέθους.

- Ταχύτητα κατασκευής, συμπεριλαμβανομένης της μετεπεξεργασίας και του χρόνου παραμονής στην ουρά παραγγελιών. Τα μικρά αντικείμενα μπορούν να εκτυπωθούν σε λίγα λεπτά έως ώρες. Ο χρόνος εκτύπωσης αυξάνεται με το μέγεθος των αντικειμένων σε μια ολόκληρη ημέρα και, τελικά, με πολύ μεγάλα αντικείμενα, έως και αρκετές ημέρες, αν και το τελευταίο είναι σπάνιο. Οι χρόνοι μετά την επεξεργασία μπορεί επίσης να προβληματίσουν. Οι τεχνολογίες εξώθησης δεν χρειάζονται συνήθως φινίρισμα, αλλά το αντικείμενο μπορεί να χρειαστεί χρόνο για να σταθεροποιηθεί και να σκληρύνει. Τα αντικείμενα που κατασκευάζονται από το ColorJet χρειάζονται χρόνο για στέγνωμα και ρύθμιση. Οι τεχνολογίες που βασίζονται σε σκόνη χρειάζονται σχεδόν πάντα χρόνο για μετεπεξεργασία και αυξάνουν το κόστος καθώς και το χρόνο για την κατασκευή.

- Ιδιότητες του τελικού προϊόντος (μηχανικές ιδιότητες, αισθητική αξία)

Το πλαστικό μελάνι τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να διατίθεται σε πολλές διαφορετικές ποικιλίες με διαφορετικές μηχανικές ιδιότητες. Ανάλογα με τον σκοπό της χρήσης του αντικειμένου, οι προτιμήσεις μπορεί να είναι για το πλαστικό (ελαφρύ και, ταυτόχρονα, ανθεκτικό, εύκολα βαμμένο, εύκολα γυαλισμένο, θερμο-φωτοδιαλυτό) ή για μέταλλο (ανθεκτικό, ανθεκτικό στην υπεριώδη ακτινοβολία και τη θερμότητα), ο χρωματισμός και η στίλβωση μπορεί να χρειάζονται ειδικό εξοπλισμό και διαδικασίες).

Ανάμεσα στην πληθώρα των ποικιλιών του πλαστικού, διατίθενται διαφορετικά πολυμερή με διαφορετική μηχανική ανθεκτικότητα. Γενικά, η εκτύπωση SLA επιτρέπει λεπτές στιλβωμένες κατασκευές με εξαιρετική λεπτομέρεια, ωστόσο, αρκετά εύθραυστες. Επομένως, δεν είναι κατάλληλο για εφαρμογές όπου η ανθεκτικότητα είναι ζωτικής σημασίας. Το FDM αποδίδει σημαντικά πιο ανθεκτικά αντικείμενα από το SLA, ωστόσο υπάρχουν διαφορετικοί βαθμοί μηχανικής ανθεκτικότητας



2019-1-BG01-KA203-062371

ανάλογα με το υλικό που χρησιμοποιείται. Γενικά, τα PVA, ABS και PLA είναι μελάνια "βασικών" για FDM. Αυτά είναι σχετικά φθηνά, αλλά τα αντικείμενα που προκύπτουν είναι επιρρεπή σε στρέβλωση. Τα αντικείμενα που εκτυπώνονται με PLA είναι επίσης αρκετά εύθραυστα. Τα αντικείμενα που εκτυπώνονται με ABS είναι φωτοευαίσθητα. Η χρήση πολυουρεθάνης αποδίδει μέρη με σημαντικό βαθμό ευελιξίας. Το επόμενο βήμα στην ποιότητα FDM είναι PC, PETG και PPE. Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται κυρίως ως υλικά μηχανικής για την κατασκευή μηχανικών μερών και εργαλείων. Το PETG είναι επίσης ασφαλές για τρόφιμα. Τα μελάνια FDM υψηλής αντοχής είναι PEI και PEEK που χρησιμοποιούνται για εξαρτήματα και συσκευές που πρέπει να παρουσιάζουν πολύ υψηλή αντίσταση, όπως κινούμενα ή/και μέρη που φέρουν καταπόνηση και όταν η θερμική σταθερότητα είναι ζωτικής σημασίας. Όλα τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα αντικείμενα μπορεί να είναι επιρρεπή σε αποκόλληση υπό πίεση, αλλά τα εκτυπωμένα αντικείμενα PEEK παρουσιάζουν εξαιρετική πρόσφυση από στρώμα σε στρώμα και ως εκ τούτου είναι πολύ ανθεκτικά. Είναι, ωστόσο, αρκετά ακριβά και καθώς το σημείο τήξης είναι υψηλότερο από τα άλλα μελάνια FDM, ο εκτυπωτής πρέπει να έχει την ικανότητα να θερμαίνει το ακροφύσιο σε υψηλές θερμοκρασίες.

Οι τρισδιάστατες εκτυπωμένες δοσολογικές μορφές φαρμάκων και η σκαλωσιά των ιστών έχουν συγκεκριμένες απαιτήσεις που γενικά ικανοποιούνται με μεθόδους εξώθησης (ειδικά ημιστερεή εξώθηση όπως η EXT) και μερικές από τις τεχνολογίες που βασίζονται σε σκόνη (αλλά όχι αυτές που απαιτούν μεγάλες ποσότητες ακτινοβολούμενης ή υπέρυθρης ενέργειας όπως το SLS και SHS). Καθώς το ελάχιστο πάχος στρώματος για το EXT είναι σχεδόν 1 mm, οι τυπωμένες δομές είναι πιο χοντρές και λιγότερο λεπτομερείς.

Οι μέθοδοι που βασίζονται σε σκόνη έχουν πολύ υψηλό βαθμό ανάλυσης και συνεπώς παρέχουν καλύτερη αναπαραγωγή των λεπτομερειών. Αυτό ισχύει ιδιαίτερα για το SLS (ωστόσο, λειτουργεί κυρίως με μεταλλικές σκόνες), αλλά το MJF (λειτουργεί εύκολα με το πλαστικό) συγκρίνεται επίσης ευνοϊκά ως προς την ανάλυση.

Οι δομές που παράγονται από τις περισσότερες τεχνολογίες PB είναι επίσης ανθεκτικές (εκτός από αντικείμενα γύψου με εκτύπωση ColorJet), αλλά το πορώδες μπορεί να θέσει σε κίνδυνο τις μηχανικές τους ιδιότητες. Όταν το τελευταίο είναι ένα σοβαρό ζήτημα, το SLM μπορεί να είναι μια λύση, υπό την προϋπόθεση ότι πραγματοποιείται η κατάλληλη μετεπεξεργασία.

- Περιβαλλοντικές ανησυχίες (που σχετίζονται με την κατασκευή ή τη μεταποίηση ή τη βιοδιασπασσιμότητα των απορριμμένων αντικειμένων).

Με βάση την εξώθηση και μερικές από τις τεχνολογίες PB δημιουργούν αναθυμιάσεις διαλυτών. Οι τεχνολογίες που βασίζονται σε σκόνη παράγουν μεγάλες ποσότητες μικρών σωματιδίων. Όλα αυτά έχουν σημαντικές πιθανές επιβλαβείς επιδράσεις και πρέπει να φιλτραριστούν ή/και να απολυμανθούν.



ΚΟΙΝΑ ΧΡΗΣΙΜΟΠΟΙΟΥΜΕΝΑ ΛΟΓΙΣΜΙΚΑ ΓΙΑ ΤΡΙΣΔΙΑΣΤΑΤΗ ΕΚΤΥΠΩΣΗ

Η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιεί δεδομένα που έχουν συλλεχθεί προηγουμένως και έχουν αποθηκευτεί σε έναν φορέα ψηφιακών πληροφοριών. Κατά τη διάρκεια της τρισδιάστατης εκτύπωσης ενός πολύπλοκου αντικειμένου, οι στιγμιαίες αλλαγές στο μοτίβο εναπόθεσης του συνεχούς στρώματος υπαγορεύονται από τις πληροφορίες συγκεκριμένων διατομών στο ψηφιακό αρχείο που αντιπροσωπεύουν πώς ακριβώς πρέπει να μοιάζει η δομή στο συγκεκριμένο σημείο. Έτσι, δομές με απλά μοτίβα μπορεί να αντιπροσωπεύονται από λιγότερες διατομές ενώ τα ψηφιακά αρχεία για δομές με περίπλοκα σχέδια θα έπρεπε να περιέχουν περισσότερες διατομές, υποδεικνύοντας πού και πώς αλλάζει η δομή. Κάθε διατομή αντιπροσωπεύει ένα κλειστό πολύγωνο και αντιστοιχεί σε διαφορετική θέση κατά μήκος του άξονα z. Οι διατομές δεν πρέπει να επικαλύπτονται ή να τέμνονται και, στην καλύτερη περίπτωση, πρέπει να είναι χωρίς κενά ενδιάμεσα. Μικρές αποκλίσεις ενδέχεται να εξαλειφθούν από το λογισμικό χωρίς σημαντικές αλλαγές στο σχήμα και τη δομή.

Οι εικόνες σχεδιασμού με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) χρησιμοποιούνται συχνότερα για εκτύπωση 3D. Αυτές μπορεί να είναι οι συμβατικές εικόνες 2D DWG που δημιουργούνται από το AutoCAD, αν και αυτές πρέπει να μετατραπούν σε 3D με καθορισμένο λογισμικό, π.χ., Sketchup Pro. Η μορφή αρχείου στερεολιθογραφίας (Standard Tessellation Language, STL) ήταν η πρώτη που ορίστηκε ειδικά για την παραγωγή προσθέτων. Αναπτύχθηκε και προσαρμόστηκε για χρήση στις δεκαετίες του 1980 από την 3D Systems, μια εταιρεία που ιδρύθηκε από τον Charles Hull, τον εφευρέτη της SLA. Εκτός από το AutoCAD, συνήθως χρησιμοποιούμενο λογισμικό CAD ικανό να εξάγει ή να μετατρέπει δεδομένα σε μορφή STL είναι τα Alibre, Mechanical Desktop, I-DEAS, SolidDesigner, ProE και άλλα. Οι μετατροπές στο διαδίκτυο είναι επίσης άμεσα διαθέσιμοι, όπως το AnyConv (<https://anyconv.com/stl-converter/>).

Οι εικόνες που δημιουργούνται από έναν τρισδιάστατο σαρωτή ή από τη φωτογραμμετρία μιας τυπικής 2D ψηφιακής εικόνας (που λαμβάνεται από μια ψηφιακή φωτογραφική μηχανή) μπορεί επίσης να χρησιμεύσουν για την κατασκευή προσθέτων. Ανάλογα με την πηγή των δεδομένων για το αντικείμενο, το τελικό αποτέλεσμα μπορεί να είναι περισσότερο ή λιγότερο πιστό στην αρχική εικόνα. Οι εικόνες CAD συνήθως οδηγούν σε αντικείμενα με σημαντικά λιγότερα σφάλματα από άλλους τύπους ψηφιακών δεδομένων. Αυτά τα σφάλματα μπορεί να διορθωθούν αργότερα. Υπάρχουν πολλές διαφορετικές μάρκες λογισμικού για φωτογραμμετρία, κυρίως Microsoft Windows (Zephyr3D, PhotoModeler, PhotoSynth και άλλα), αλλά ορισμένα μπορεί να χρησιμοποιούν άλλα λειτουργικά συστήματα όπως Linux και MacOS (π.χ. Pix4D Mapper, Metashape, OpenDroneMap και άλλα) Το Μπορείτε να δείτε εδώ μια λεπτομερή λίστα των συνηθισμένων λογισμικών φωτογραμμετρίας με τα βασικά χαρακτηριστικά τους:

https://en.wikipedia.org/wiki/Comparison_of_photogrammetry_software

Διατίθενται επίσης διαδικτυακά εργαλεία για φωτογραμμετρία, όπως τα παραπάνω AnyConv (<https://anyconv.com/stl-converter/>).



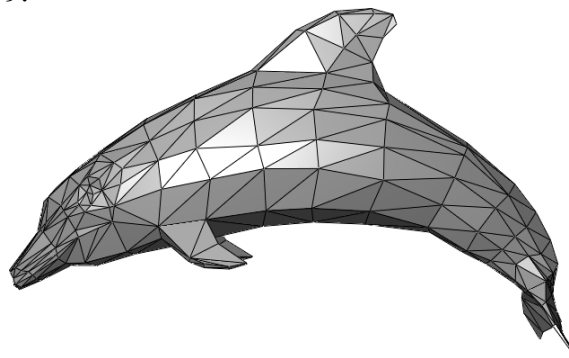
Οδηγίες σχεδίασης τρισδιάστατης εκτύπωσης

Για να εκτυπωθεί ένα αντικείμενο, εάν ένα αρχείο STL δεν είναι διαθέσιμο, πρέπει να εξάγεται από ένα κομμάτι λογισμικού όπως το AutoCAD ή άλλα (βλ. Παραπάνω). Τα περισσότερα επαγγελματικά λογισμικά τρισδιάστατης μοντελοποίησης είναι ιδιόκτητα, αλλά διατίθεται και δωρεάν λογισμικό, κυρίως για εκπαιδευτικούς σκοπούς για αρχάριους στο χώρο και για χομπίστες (FreeCAD, 3D Slash, TinkerCAD, Vectary, SketchUp, Leopoly, Sculpttris, Rhinoceros και άλλα). Στη συνέχεια, το αρχείο STL που προκύπτει χρησιμοποιείται από άλλο λογισμικό "slicer", όπως το Repetier, OctoPrint, Z-Suite, Tinkering Suite, Cura, PrusaSlicer, Simplify3D και άλλα για τη δημιουργία ενός αρχείου που περιέχει σειρά λεπτών στρωμάτων. Το αρχείο που προκύπτει χρησιμοποιείται από τον κεντρικό υπολογιστή τρισδιάστατου εκτυπωτή για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου αντικειμένου. Ορισμένα κομμάτια λογισμικού κοπής λειτουργούν επίσης ως κεντρικοί υπολογιστές εκτυπωτών, όπως Cura, 3DPrinterOS, OctoPrint, MatterControl και άλλοι. Ενώ τα περισσότερα επαγγελματικά λογισμικά τρισδιάστατης μοντελοποίησης είναι συνήθως αυτόνομα, το δωρεάν λογισμικό μπορεί να είναι διαθέσιμο ως πρόσθετο και είναι πολύ πιο πιθανό να είναι διαθέσιμο για λειτουργικά συστήματα εκτός των Windows.

Τα αρχεία STL περιέχουν ακατέργαστα δεδομένα πλέγματος βασισμένα σε τριγωνισμούς της επιφάνειας των μοντέλων CAD. Έτσι, η επιφάνεια κάθε όψης του αντικειμένου αντιπροσωπεύεται από ένα πλέγμα πολυγώνου που πρέπει να συμμορφώνεται με ένα σύνολο κανόνων. Οι βασικοί κανόνες είναι τέσσερις, δηλαδή:

- Ο κανόνας "κορυφή σε κορυφή" - κάθε τρίγωνο πρέπει να μοιράζεται 2 κορυφές με τα γειτονικά του τρίγωνα.
- Ο "κανόνας του δεξιού χεριού" - οι κορυφές πρέπει να αναγράφονται αριστερόστροφα.
- Ο κανόνας "δείχνοντας προς τα έξω" - η κατεύθυνση του κανονικού διανύσματος πρέπει να δείχνει προς τα έξω.
- Ο "θετικός κανόνας" - όλες οι συντεταγμένες των κορυφών των τριγώνων πρέπει να αναπαριστώνται με θετικούς αριθμούς.

Παράδειγμα στην Εικόνα 9.



Εικόνα 9. Ένα πλέγμα πολυγώνου που αντιπροσωπεύει μια τρισδιάστατη εικόνα ενός δελφινιού. Πηγή: Chrschn, Public domain, via Wikimedia Commons



2019-1-BG01-KA203-062371

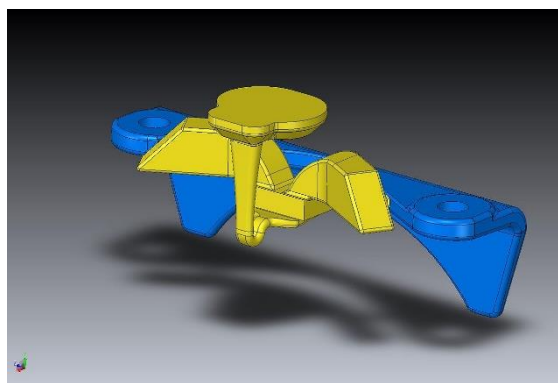
Τα αρχεία STL ενδέχεται να αποθηκεύουν πληροφορίες σε δυαδική κωδικοποίηση ή σε κωδικοποίηση ASCII. Τα αρχεία σε δυαδικό αρχείο είναι, γενικά, μικρότερα και μπορούν να μοιραστούν εύκολα, ενώ τα αρχεία ASCII χρησιμοποιούνται για μη αυτόματη ανάγνωση και έλεγχο του αρχείου STL, π.χ. όταν δοκιμάζετε νέες διεπαφές CAD.

Τα σύνθετα αντικείμενα ενδέχεται να αποτελούν πρόκληση για τα αρχεία STL, καθώς υπάρχουν πάρα πολλές επιφάνειες για να ληφθούν υπόψη στους υπολογισμούς. Επιπλέον, τα πρώτα αρχεία STL είχαν πολύ περιορισμένες ιδιότητες για την αναπαράσταση του χρώματος, της υφής, του υλικού και της εσωτερικής δομής (αν και αυτό επιλύθηκε αργότερα). Ορισμένοι τύποι λογισμικού, όπως το πρωτότυπο AutoCAD, μπορούν να εξάγουν σχέδια στερεών αντικειμένων μόνο σε STL. Οι μη γειτονικές επιφάνειες (π.χ. που περιέχουν κενά ή επικαλύψεις) είναι δύσκολο να επεξεργαστούν ή να προσαρμοστούν σε αρχεία STL και δεν θα εκτυπωθούν. Έτσι, το 2006 κυκλοφόρησε μια βελτιωμένη έκδοση μορφών STL που τελικά μετατράπηκε σε μια άλλη, πιο ευέλικτη μορφή αρχείου CAD, τη μορφή πρόσθετου αρχείου κατασκευής (AMF). Παρ' όλα αυτά, πολλοί 3D εκτυπωτές που χρησιμοποιούνται σήμερα, ειδικά αυτοί που λειτουργούν σε μικρή κλίμακα, θα χρησιμοποιούν αρχεία STL.

Τα αρχεία AMF μπορούν εύκολα να αντιπροσωπεύσουν την εσωτερική δομή χρησιμοποιώντας διάταξη πολυγώνου προσώπου-κορυφής και καμπύλα τρίγωνα για να ορίσουν μια διακριτή μονάδα όγκου υλικού. Μπορεί να καθοριστούν πολλαπλοί τόμοι για ένα μόνο αντικείμενο. Τα αρχεία AMF περιέχουν επίσης πληροφορίες σχετικά με το υλικό, το χρώμα και την υφή του εκτυπωμένου αντικειμένου ή των μερών του και τη σειρά εκτύπωσης.

Ο Jonathan Hiller, ένας από τους εφευρέτες της μορφής αρχείου AMF, φιλοξενεί έναν λεπτομερή και φιλικό προς το χρήστη ιστότοπο που παρέχει λογισμικό CAD ή τρισδιάστατη μοντελοποίηση και σεμινάρια: <https://sites.google.com/site/jonhiller/software>.

Δωρεάν αρχιτεκτονικά σχέδια CAD για λογισμικό AutoCAD και τρισδιάστατης μοντελοποίησης είναι άμεσα διαθέσιμα στο Διαδίκτυο, π.χ. <https://www.arcad.com/>, <https://www.tinkercad.com/>, <https://www.sketchup.com/> και άλλα. Μια δωρεάν εικόνα 3D CAD παρουσιάζεται στην Εικόνα. 10.



Εικόνα 10. Ένα μοντέλο 3D CAD για χρήση σε τρισδιάστατη εκτύπωση. Πηγή: OKFoundryCompany from Richmond, USA, CC BY 2.0 <<https://creativecommons.org/licenses/by/2.0>>, via Wikimedia Commons



2019-1-BG01-KA203-062371

Διατίθενται δωρεάν αρχεία STL, αρχεία εκτυπωτή 3D και σχέδια εκτυπωτών 3D για χρήση από www.thingiverse.com, www.youmagine.com, www.myminifactory.com, <https://library.zortrax.com/>, <https://www.cgtrader.com/>, <https://cults3d.com/en>, <https://www.youmagine.com/>, <https://www.turbosquid.com/Search/3D-Models/free/stl>, και άλλους ιστότοπους.

Το λογισμικό επεξεργασίας STL είναι διαθέσιμο για πολλές πηγές, όπως π.χ. <https://www.meshlab.net/>, <https://www.blender.org/>, <https://www.freecadweb.org/>, <https://www.3dslash.net/index.php>, <https://www.sketchup.com/>, και άλλες.

Βιβλιογραφικές αναφορές

Kodama H. 1981. Automatic method for fabricating a three-dimensional plastic model with photo-hardening polymer. *Rev Sci Instrum*, 52(11): 1770–73.

Melchels FP, Feijen J, Grijpma DW. 2009. A poly(D,L-lactide) resin for the preparation of tissue engineering scaffolds by stereolithography. *Biomaterials*, 30(23-24):3801-9.

Shelby A. Skoog, Peter L. Goering, Roger J. Narayan. 2014. Stereolithography in tissue engineering. *J Mater Sci Mater Med*, 25: 845–56.

Alhnan A, Okwuosa M, Chijioke T, et al. 2016. Emergence of 3D Printed Dosage Forms: Opportunities and Challenges. *Pharm Res*, 33 (8): 1817-32.

Goyanes A, Buanz AB, Basit AW, et al. 2014. Fused-filament 3D printing (3DP) for fabrication of tablets. *Int J Pharm*. 2014;476(1–2):88–92.

Wang J, Shaw LL, Cameron TB. 2006. Solid Freeform Fabrication of Permanent Dental Restorations via Slurry Micro-Extrusion. *J Am Ceram Soc*, 89 (1): 346–9.



2019-1-BG01-KA203-062371

Khaled SA, Burley JC, Alexander MR, et al. 2014. Desktop 3D printing of controlled release pharmaceutical bilayer tablets. *Int J Pharm*, 461(1–2):105–11.

Azad MA, Olawuni D, Kimbell G, et al. 2020. Polymers for Extrusion-Based 3D Printing of Pharmaceuticals: A Holistic Materials-Process Perspective. *Pharmaceutics*, 12(2):124.

Chua CK, Leong KF, An J. 2014. 1 - Introduction to rapid prototyping of biomaterials. Woodhead Publishing.

Sun Y, Soh S. 2015. Printing Tablets with Fully Customizable Release Profiles for Personalized Medicine. *Adv Mater*, 27(47):7847-53.

Edelmann A, Dubis M, Hellmann R. 2020. Selective Laser Melting of Patient Individualized Osteosynthesis Plates-Digital to Physical Process Chain. *Materials (Basel)*, 13(24):5786.

Tan W, Gao C, Feng P, et al. 2021. Dual-functional scaffolds of poly(L-lactic acid)/nanohydroxyapatite encapsulated with metformin: Simultaneous enhancement of bone repair and bone tumor inhibition. *Mater Sci Eng C Mater Biol Appl*, 120:111592.

Schubert C, van Langeveld MC, Donoso LA. 2014. Innovations in 3D printing: a 3D overview from optics to organs. *Br J Ophthalmol*, 98:159-161.

Hiller J, Lipson H. 2009. STL 2.0: A Proposal for a Universal Multi-Material Additive Manufacturing File Format". Solid Freeform Fabrication Symposium (SFF'09), Aug 3-5 2009, Austin, TX, USA.



Project website: www.digit-biotech.eu

The European Commission's support for the production of this publication does not constitute an endorsement of the contents, which reflect the views only of the authors, and the Commission cannot be held responsible for any use which may be made of the information contained therein.