



# ΠΑΝΕΠΙΣΤΗΜΙΟ ΑΙΓΑΙΟΥ

ΠΟΛΥΤΕΧΝΙΚΗ ΣΧΟΛΗ

ΤΜΗΜΑ ΣΧΕΔΙΑΣΗΣ ΠΡΟΪΟΝΤΩΝ ΚΑΙ ΣΥΣΤΗΜΑΤΩΝ

## ‘Το κόσμημα για παραγωγή με τη τεχνολογία της προσθετικής κατασκευής’

ΔΙΠΛΩΜΑΤΙΚΗ ΕΡΓΑΣΙΑ

Καμπέρη Άννα

A.M. : dpsd17040

**Επιβλέπων :**

Παπανίκος Παρασκευάς

**Μέλη εξεταστικής επιτροπής:**

Ξιδιάς Ηλίας

Κυρατζή Σοφία

Σύρος, Σεπτέμβριος 2023

## Δήλωση

“

Δηλώνω υπεύθυνα ότι η παρούσα διπλωματική αποτελεί εξ' ολοκλήρου δικό μου έργο και δεν προέρχεται από αντιγραφή έντυπων ή ηλεκτρονικών πηγών. Έχει βασιστεί σε έρευνες και κείμενα μέσω της σύνδεσης των οποίων έβγαλα τα συμπεράσματα μου.

”

## Ευχαριστίες

”

Θα ήθελα να ευχαριστήσω τον κύριο Παρασκευά Παπανίκο και ιδιαιτέρως τον κύριο Κωνσταντίνο Μπάιλα για την ώθηση του προς την σωστή κατεύθυνση στο κομμάτι της προσθετικής κατασκευής.

Είμαι επίσης ευγνώμων στους φίλους και συμφοιτητές μου, για την συνεχή ηθική υποστήριξη τους.

Τέλος, δεν θα μπορούσα να ξεχάσω την κατανόηση, την ατελείωτη υπομονή και την ενθάρρυνση της οικογένειάς μου, που με οδήγησαν εκεί που είμαι και με εμπνέουν να προχωρήσω παραπέρα.

”

## Περιγραφή θέματος

Η προσθετική κατασκευή (additive manufacturing), αποτελεί μία νέα κατασκευαστική τεχνολογία που εντάσσεται στην 4η βιομηχανική επανάσταση και αποτελεί μια νέα προσέγγιση στην δημιουργία προϊόντων σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας. Η ταχεία ανάπτυξη και εξέλιξη της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης με την καινοτόμο κατασκευαστική μέθοδο εναπόθεσης σε επίπεδα υλικού έχει συμβάλει σημαντικά στον αυξανόμενο αριθμό εφαρμογών σε διάφορους τομείς που σχετίζονται με την παραγωγή βιομηχανικών προϊόντων. Λόγω των τεχνολογικών της δυνατοτήτων με κύριο χαρακτηριστικό την προσαρμοστικότητα οποιασδήποτε φόρμας, είναι ικανή να μεταμορφώσει τον τρόπο παραγωγής και κατανάλωσης αγαθών στη προσπάθεια να καλύψει μια αυξανόμενη ζήτηση που προκύπτει από την αύξηση του πληθυσμού και του υπερκαταναλωτισμού.

Η παρούσα διπλωματική εργασία έχει ως στόχο την ανάλυση της παραδοσιακής τέχνης του σχεδιασμού και της παραγωγής κοσμημάτων. Μέσα από μια ολοκληρωμένη διερεύνηση τεχνολογιών και υλικών, η μελέτη εμβαθύνει στον συνδυασμό χειροτεχνίας και τεχνολογίας, ρίχνοντας φως στον τρόπο με τον οποίο η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει φέρει επανάσταση στη βιομηχανία κοσμημάτων. Απώτερος σκοπός της εργασίας είναι η ανάλυση της τεχνολογίας προσθετικής κατασκευής, η μελέτη και η εξέταση των δυνατοτήτων της στο χώρο της βιομηχανίας του κοσμήματος, καθώς και τα πλεονεκτήματα και οι προκλήσεις της χρήσης της τεχνολογίας σε αυτή την βιομηχανία.

Η εργασία συνοψίζει τα αποτελέσματα της μελέτης, παρουσιάζει τα πλεονεκτήματα της σχεδίασης κοσμημάτων με τη χρήση της τεχνολογίας προσθετικής κατασκευής και ολοκληρώνεται με μια σύνοψη της σημασίας της τεχνολογίας αυτής για τον τομέα της βιομηχανίας και τη σχεδίασης κοσμημάτων.

## Abstract

Additive manufacturing, a new manufacturing technology that is part of the 4<sup>th</sup> industrial revolution, is a new approach to product creation in many industrial sectors. The rapid development and evolution of 3D printing technology with its innovative manufacturing method of deposition on material planes has contributed significantly to the increasing numbers of applications in various fields related to the production of industrial products.

Because of its technological potential, with its main feature being the adaptability of any form, it can transform the way goods are produced and consumed in an effort to meet a growing demand resulting from population growth and overconsumption.

This thesis aims to analyze the traditional art of jewelry design and production. Through an integrated exploration of technologies and materials, the study delves into the combination of craftsmanship and technology, shedding light on how 3D printing has revolutionized the jewelry industry. The ultimate aim of the thesis is to analyze prosthetic manufacturing technology, to study and examine its potential in the jewelry industry, as well as the advantages and challenges of using the technology in this industry.

The paper summarizes the results of the study, presents the advantages of jewelry design using additive manufacturing technology and concludes with a summary of the importance of this technology for the industry and jewelry design.

# Περιεχόμενα

Δήλωση.....	2
Ευχαριστίες.....	3
Περιγραφή θέματος.....	4
<b>1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ .....</b>	<b>8</b>
1.1. Στόχος Διπλωματικής.....	8
1.2. Το κόσμημα .....	9
1.2.1. Η έννοια του κοσμήματος.....	9
1.2.2. Ιστορική αναδρομή της κατασκευής του κοσμήματος .....	9
1.2.3. Τα διαφορετικά είδη κοσμήματος .....	12
1.2.4. Παραδοσιακές και σύγχρονες τεχνικές κατασκευής κοσμημάτων .....	14
1.2.5. Συμπεράσματα .....	23
<b>2. ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΚΟΣΜΗΜΑ .....</b>	<b>25</b>
2.1. Σύντομη ιστορική ανασκόπηση της εξέλιξης της προσθετικής κατασκευής .....	26
2.2. Ο ρόλος της προσθετικής κατασκευής στη βιομηχανία και στο κόσμημα .....	29
2.2.1. Αεροδιαστημική βιομηχανία.....	29
2.2.2. Αυτοκινητοβιομηχανία .....	31
2.2.3. Βιομηχανία τροφίμων .....	33
2.2.4. Υγειονομική περίθαλψη και ιατρική βιομηχανία .....	35
2.2.5. Αρχιτεκτονική, οικοδομική και κατασκευαστική βιομηχανία .....	37
2.2.6. Βιομηχανία παραγωγής υφάσματος και μόδας.....	39
2.2.7. Βιομηχανία κοσμήματος .....	41
2.2.8. Εκτιμώμενα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα.....	46
2.3. Επιλογή της μεθόδου προσθετικής κατασκευής για κατασκευή κοσμήματος.....	48
2.3.1. Vat Photopolymerization .....	49
2.3.2. Powder Bed Fusion.....	54
2.3.3. Binder Jetting .....	62
2.3.4. Material Jetting.....	65
2.3.5. Material Extrusion .....	68
2.3.6. Directed Energy Deposition.....	70
2.3.7. Sheet Lamination .....	82
2.3.8. Σύγκριση τεχνολογιών για τη παραγωγή κοσμήματος .....	87
2.4. Υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην τρισδιάστατη εκτύπωση στη βιομηχανία του κοσμήματος.....	89
2.4.1. Μεταλλικά.....	90

2.4.2. Πολυμερή.....	91
2.4.3. Κεραμικά.....	93
2.4.4. Σύνθετα.....	94
2.4.5. Έξυπνα υλικά.....	95
2.4.6. Ειδικά υλικά.....	96
2.4.7. Υλικά που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή κοσμημάτων με τρισδιάστατη εκτύπωση .....	98
3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΟΣΜΗΜΑΤΟΣ .....	100
4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ.....	103
4.1. Βιβλιογραφία κειμένου .....	103
4.2. Βιβλιογραφία εικόνων .....	107

# 1. ΕΙΣΑΓΩΓΗ

---

Ο 21ος αιώνας υπήρξε μάρτυρας μιας άνευ προηγουμένου βιομηχανικής επανάστασης που έχει διαπεράσει κάθε πτυχή της ζωής μας, αναδιαμορφώνοντας βιομηχανίες, οικονομίες και τον ίδιο τον ιστό της ανθρώπινης εφευρετικότητας. Στην αιχμή αυτού του μετασχηματιστικού κύματος βρίσκεται η προσθετική κατασκευή ή τρισδιάστατη εκτύπωση, μια καινοτομία που ξεπέρασε τις αρχικές βιομηχανικές εφαρμογές της και έγινε ανατρεπτική δύναμη στην κατασκευή, το σχεδιασμό, ακόμη και την υγειονομική περίθαλψη.

Η τεχνολογία της προσθετικής κατασκευής έφερε αλλαγές και στην βιομηχανία κοσμήματος, αφού σύστησε στον χώρο την πρωτοποριακή τεχνολογία, η οποία είναι ικανή να μετατρέψει ένα ψηφιακό κόσμημα σε φυσικό, έχοντας έτσι ως αποτέλεσμα την υιοθέτηση της από πολλούς οίκους κοσμημάτων, μικρούς και μεγάλους.

Το αντικείμενο που καλύπτει η διπλωματική μου, είναι η προσθετική κατασκευή στην βιομηχανία του κοσμήματος. Στην διατριβή, θα αναλυθούν κατά σειρά όλες οι τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης κι έπειτα θα βγουν συμπεράσματα σχετικά με τη δυνατότητα χρήσης τους για τη παραγωγή κοσμημάτων, σύμφωνα με ορισμένους παράγοντες. Στη συνέχεια, οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία κοσμημάτων θα ταξινομηθούν κατά σειρά προτίμησης. Ακόμη, θα εξεταστούν όλα τα υλικά διαθέσιμα για την προσθετική κατασκευή και θα επιλεγούν εκείνα που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή κοσμημάτων. Τέλος, η έρευνα στοχεύει να αποκαλύψει τις ευκαιρίες και τις προκλήσεις της χρήσης της εξελισσόμενης τεχνολογίας της προσθετικής κατασκευής στο κόσμημα.

## 1.1. Στόχος Διπλωματικής

Κύριο θέμα της διπλωματικής είναι η προσθετική κατασκευή στη βιομηχανία του κοσμήματος, κατά την εκπόνηση της οποίας θα αναλυθούν η έννοια του κοσμήματος, οι διαθέσιμες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης και τα υλικά τα οποία είναι δυνατό να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή προϊόντων με τη χρήση της τεχνολογίας. Θα πραγματοποιηθεί έρευνα γύρω από το θέμα και στην συνέχεια θα αξιοποιηθούν οι πληροφορίες ώστε να αξιολογηθούν οι τεχνολογίες και τα υλικά ανάλογα με το πόσο κατάλληλα είναι για την παραγωγή κοσμημάτων και ποια από αυτά μπορούν να χρησιμοποιηθούν τελικά για την δημιουργία ενός κοσμήματος.

Στόχοι της διπλωματικής αυτής λοιπόν, είναι:

- Μια πιο βαθιά γνωριμία με το κόσμημα και τις παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής του.
- Η διερεύνηση των εφαρμογών της προσθετικής κατασκευής στη βιομηχανία, οι ευκαιρίες που προσφέρει και οι περιορισμοί που θέτει.
- Η εύρεση και η ανάλυση όλων των γνωστών μεθόδων προσθετικής κατασκευής, η σύγκριση τους και ο εντοπισμός των κατάλληλων μεθόδων για χρήση στη βιομηχανία κοσμήματος.
- Εντοπισμός των υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή κοσμήματος.



## 1.2. Το κόσμημα

### 1.2.1. Η έννοια του κοσμήματος

Η λέξη "κόσμημα" προέρχεται από το αρχαίο ελληνικό ρήμα "κοσμέω", που σημαίνει "κοσμώ" ή "διακοσμώ". Τα κοσμήματα μπορεί να εξυπηρετούν διάφορους σκοπούς, όπως τον στολισμό, την πολιτιστική έκφραση, τον θρησκευτικό συμβολισμό και την προσωπική αναγνώριση. Το κόσμημα αποτελεί αναπόσπαστο μέρος της ανθρώπινης ιστορίας και έχει εξελιχθεί με την πάροδο των αιώνων, με τη σημασία του να εκτείνεται σε διάφορους πολιτισμούς και χρονικές περιόδους.

### 1.2.2. Ιστορική αναδρομή της κατασκευής του κοσμήματος

Από τις αρχαιότερες πολιτισμικές περιόδους μέχρι και τις σημερινές ημέρες, τα κοσμήματα έχουν κατασκευαστεί από διάφορα υλικά, όπως μέταλλα, πολύτιμους λίθους, οργανικά υλικά και πιο πρόσφατα συνθετικά υλικά. Αυτά τα υλικά μετατρέπονται μέσω της ειδικευμένης χειροτεχνίας σε περίπλοκα κομμάτια που μπορούν να φορεθούν ως περιδέραια, σκουλαρίκια, βραχιόλια, δαχτυλίδια, καρφίτσες, βραχιόλια και διάφορες άλλες μορφές.

#### Προϊστορικοί και αρχαίοι χρόνοι

Οι πρώτες μορφές κοσμημάτων κατασκευάζονταν πιθανότατα από κοχύλια, οστά, δόντια και πέτρες. Αυτά τα φυσικά υλικά διαμορφώνονταν σε απλά στολίδια όπως περιδέραια, βραχιόλια και φυλαχτά. Καθώς οι κοινωνίες προόδευαν και εγκαθίσταντο σε γεωργικό τρόπο ζωής, εμφανίστηκε η μεταλλοτεχνία. Ο χαλκός και ο χρυσός ήταν από τα πρώτα μέταλλα που χρησιμοποιήθηκαν για κοσμήματα γύρω στο 3000 π.Χ. Αυτά τα πρώιμα κομμάτια σφυρηλατήθηκαν, στρίφθηκαν και διαμορφώθηκαν σε διακοσμητικά αντικείμενα.



Εικόνα 1 Χάντρες από κοχύλια *Tritia gibbosula* και *Columbella rustica* Σπήλαιο Manot, πολιτισμός Aurignacian της Λεβαντίνης, πριν από 37.000-33.000 χρόνια

#### Αρχαίοι πολιτισμοί

Στην αρχαία Αίγυπτο, τα κοσμήματα δεν αποτελούσαν μόνο μια μορφή στολισμού, αλλά είχαν επίσης θρησκευτική και προστατευτική σημασία. Τα περίτεχνα κοσμήματα από πολύτιμα μέταλλα και πολύτιμους λίθους φοριούνταν από την ελίτ και συχνά θάβονταν μαζί με τους νεκρούς για να τους συνοδεύουν στη μετά θάνατον ζωή. Η χρήση τεχνικών όπως το φιλιγκράν και η κοκκοποίηση έγινε πιο εκλεπτυσμένη.



Εικόνα 2 Θωρακικό - μια μορφή κοσμήματος παρόμοια με καρφίτσα. Αυτό το πολύχρωμο κομμάτι βρέθηκε ανάμεσα σε άλλα πολύ υψηλής ποιότητας κομμάτια στον τάφο της Σιθαθοριουνέτ, κόρης αρχαίου Αιγύπτιου βασιλιά της 12ης δυναστείας.

## Κλασικοί πολιτισμοί

Οι Έλληνες και οι Ρωμαίοι συνέχισαν την παράδοση της δημιουργίας περίπλοκων κοσμημάτων, χρησιμοποιώντας συχνά υλικά όπως ο χρυσός, τα μαργαριτάρια και οι πολύτιμοι λίθοι. Τα καμέο και τα intaglios, οι χαραγμένοι πολύτιμοι λίθοι με ανάγλυφα ή εσοχή σχέδια, απέκτησαν δημοτικότητα στη διάρκεια αυτού του χρονικού διαστήματος. Τα σχέδια των κοσμημάτων επηρεάστηκαν από μυθολογικά μοτίβα και πολιτιστικούς συμβολισμούς.



Εικόνα 3 Αρχαία ελληνικά χρυσά σκουλαρίκια του δίσκου του Ερωτα (θεός της αγάπης)

## Μεσαίωνας

Κατά τον Μεσαίωνα σημειώθηκε μια αλλαγή στην αισθητική των κοσμημάτων λόγω της επιρροής του χριστιανισμού. Τα θρησκευτικά θέματα έγιναν κυρίαρχα στο σχεδιασμό κοσμημάτων, με σταυρούς και θρησκευτικά σύμβολα να κοσμούν τα κομμάτια. Τα κοσμήματα χρησιμοποιούνταν συχνά ως επίδειξη πλούτου και θέσης μεταξύ των ευγενών.



Εικόνα 4 Κρεμαστός σταυρός λειψανοθήκης, άγνωστου κατασκευαστή, περίπου 1450-1475, Γερμανία

## Αναγέννηση

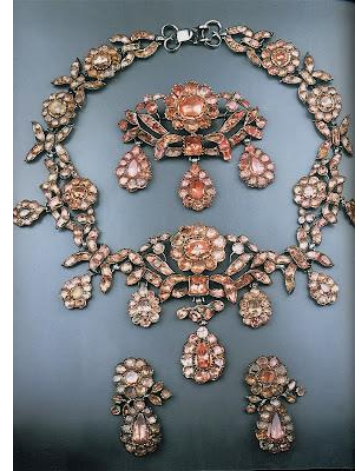
Η περίοδος της Αναγέννησης σηματοδότησε την αναγέννηση της τέχνης και του πολιτισμού στην Ευρώπη, επηρεάζοντας και το σχεδιασμό των κοσμημάτων. Τα περίπλοκα και περίτεχνα σχέδια με πολύτιμους λίθους, μαργαριτάρια και σμάλτο ήταν στη μόδα. Τα πορτραίτα και οι πίνακες ζωγραφικής αυτής της εποχής απεικόνιζαν συχνά ανθρώπους που φορούσαν πλούσια κοσμήματα.



Εικόνα 5 Δαχτυλίδι, άγνωστου κατασκευαστή, περιβάλλον 15ος αιώνας, κέντρο 2ος αιώνας π.Χ. - 1ος αιώνας π.Χ.

## Εποχές μπαρόκ και ροκοκό

Τα στυλ Μπαρόκ και Ροκοκό υιοθέτησαν τη χλιδή και την υπερβολή στο σχεδιασμό κοσμημάτων. Μαργαριτάρια, διαμάντια και άλλοι πολύτιμοι λίθοι χρησιμοποιήθηκαν για τη δημιουργία περίτεχνων, ασύμμετρων κομματιών. Αυτές οι εποχές είδαν την άνοδο των περίτεχνων και δραματικών κοσμημάτων.



Εικόνα 6 Χρυσαιφικά με επικάλυψη από τοπάζι-παρτούρα-18ου αιώνα-Γεωργία

## 19<sup>ος</sup> Αιώνας

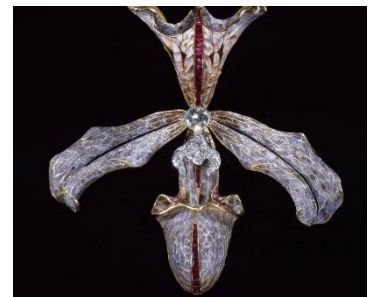
Με τη βιομηχανική επανάσταση, η κατασκευή κοσμημάτων γνώρισε αλλαγές στις μεθόδους παραγωγής και στην προσβασιμότητα. Οι τεχνικές μαζικής παραγωγής οδήγησαν σε πιο προσιτά κοσμήματα, καθιστώντας τα προσιτά σε ένα ευρύτερο φάσμα ανθρώπων. Η αγάπη της βασίλισσας Βικτωρίας για τα κοσμήματα επηρέασε τις τάσεις της μόδας, συμπεριλαμβανομένης της δημοτικότητας των πένθιμων κοσμημάτων.



Εικόνα 7 Στολίδι για το μπουστό με μορφή λουλουδιών, περίπου το 1850

## Art Nouveau και Art Deco

Τα τελευταία χρόνια του 19ου και τα πρώτα του 20ού αιώνα έφεραν ξεχωριστά καλλιτεχνικά ρεύματα στο σχεδιασμό κοσμημάτων. Η Art Nouveau επικεντρώθηκε σε οργανικές και ρέουσες μορφές, ενσωματώνοντας συχνά μοτίβα εμπνευσμένα από τη φύση. Η Art Deco, από την άλλη πλευρά, αγκάλιασε τα γεωμετρικά σχήματα και τα έντονα χρώματα, αντανακλώντας το μοντερνιστικό πνεύμα της εποχής.



Εικόνα 8 α) Στολίδι μαλλιών, κατασκευασμένο από τον Philippe Wolfers, 1905-7, Βέλγιο και β) Αναμνηστική καρφίτσα, 1937

## Σύγχρονη εποχή

Ο 20ός αιώνας υπήρξε μάρτυρας μιας διαφοροποίησης των στυλ και των υλικών στην κατασκευή κοσμημάτων. Οι σχεδιαστές άρχισαν να πειραματίζονται με νέα υλικά τις τα πλαστικά και τα βιομηχανικά μέταλλα, δημιουργώντας κομμάτια που αμφισβητούσαν τις παραδοσιακές αντιλήψεις για το κόσμημα. Τα σύγχρονα κοσμήματα δίνουν συχνά έμφαση στην καλλιτεχνική έκφραση και την ατομικότητα.



Εικόνα 9 Καρφίτσα, σχεδιασμένη και χαραγμένη από τον Malcolm Appleby, κατασκευασμένη από τον Roger Doyle, 1975, Αγγλία

## Τεχνολογία και καινοτομία

Η σύγχρονη κατασκευή κοσμημάτων έχει επηρεαστεί από τις εξελίξεις στην τεχνολογία, όπως ο σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD) και η τρισδιάστατη εκτύπωση. Αυτά τα εργαλεία επιτρέπουν στους σχεδιαστές να δημιουργούν περίπλοκα και ακριβή κομμάτια, διευρύνοντας τα όρια της δημιουργικότητας.



Εικόνα 10 Τρισδιάστατα εκτυπωμένα δαχτυλίδια

### 1.2.3. Τα διαφορετικά είδη κοσμήματος

#### Μενταγιόν / Περιδέραιο

Το περιδέραιο είναι ένα κόσμημα το οποίο φοριέται γύρω από τον λαιμό, το οποίο συνήθως αποτελείται από μια χορδή, αλυσίδα ή κορδόνι που συγκρατεί διακοσμητικά στοιχεία ή πολύτιμους λίθους. Η πρωταρχική λειτουργία ενός κολιέ είναι να ενισχύει και να τονίζει το ντεκολτέ και τη συνολική εμφάνιση του χρήστη. Τα κολιέ μπορούν να συμπληρώσουν τις επιλογές ρούχων, να τραβήξουν την προσοχή στο επάνω μέρος του σώματος αλλά και στο πρόσωπο και να αποτελέσουν σημείο εστίασης σε ένα ντύσιμο. Μπορούν να φορεθούν σε διάφορες περιστάσεις, από την καθημερινή ένδυση μέχρι ειδικές εκδηλώσεις και επίσημες συγκεντρώσεις, επιτρέποντας στα άτομα να εκφράσουν το προσωπικό τους στυλ και τη δημιουργικότητά τους. Τα περιδέραια αποτελούν αναπόσπαστο μέρος του ανθρώπινου στολισμού εδώ και αιώνες, εξυπηρετώντας τόσο αισθητικούς όσο και συμβολικούς σκοπούς. Κυκλοφορούν σε μεγάλη ποικιλία στυλ, υλικών, μηκών και σχεδίων, καλύπτοντας ποικίλα γούστα και πολιτισμικές προτιμήσεις.

#### Βραχιόλι

Το βραχιόλι είναι ένα διακοσμητικό αξεσουάρ το οποίο φοριέται γύρω από τον καρπό ή το αντιβράχιο. Η πρωταρχική λειτουργία ενός βραχιολιού είναι να στολίζει τον καρπό προσθέτοντας μια πινελιά κομψότητας και στυλ στη συνολική εμφάνιση του ατόμου. Είναι ένα ευέλικτο κόσμημα που έχει εκτιμηθεί για την αισθητική του γοητεία, την πολιτιστική του σημασία και τον συμβολισμό του σε όλη την ιστορία. Τα βραχιόλια διατίθενται σε ένα ευρύ φάσμα στυλ, υλικών, σχεδίων και μεγεθών, καθιστώντας τα κατάλληλα για διάφορες περιστάσεις και προσωπικές προτιμήσεις. Μπορούν να φορεθούν μόνα τους, ως statement κομμάτια ή να στοιβαχθούν με άλλα βραχιόλια ώστε να δημιουργήσουν μια πολυεπίπεδη και εξατομικευμένη εμφάνιση. Ο συμβολισμός ενός βραχιολιού ποικίλλει σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με το σχεδιασμό, τα υλικά και το πολιτιστικό του πλαίσιο.

### **Δαχτυλίδι**

Το δαχτυλίδι είναι ένα κυκλικό κόσμημα, το οποίο φοριέται γύρω από το δάχτυλο. Είναι μια από τις πιο παγκοσμίως αναγνωρισμένες και συμβολικές μορφές προσωπικού στολισμού με πλούσια ιστορία και πολιτιστική σημασία που εκτείνεται σε αιώνες και πολιτισμούς. Τα δαχτυλίδια κυκλοφορούν σε διάφορα στυλ, υλικά, σχέδια και μεγέθη, χρησιμεύοντας ως ισχυρά σύμβολα δέσμευσης, ταυτότητας και προσωπικής έκφρασης. Το κυκλικό σχήμα ενός δαχτυλιδιού έχει συχνά συνδεθεί με την αιωνιότητα και το άπειρο λόγω της έλλειψης τελικών σημείων, καθιστώντας το ισχυρό σύμβολο της ενότητας, της συνέχειας και των αδιάσπαστων δεσμών. Αυτός ο συμβολισμός έχει οδηγήσει στη χρήση δαχτυλιδιών σε διάφορα πλαίσια, από ρομαντικές σχέσεις έως πολιτιστικές τελετουργίες και θρησκευτικές πρακτικές. Ένας από τους πιο γνωστούς τύπους δαχτυλιδιών είναι το δαχτυλίδι αρραβώνων, το οποίο παραδοσιακά συμβολίζει την υπόσχεση γάμου. Η ανταλλαγή δαχτυλιδιών κατά τη διάρκεια γαμήλιων τελετών αντιπροσωπεύει τη δέσμευση για μια δια βίου συνεργασία. Δαχτυλίδια δίνονται και φοριούνται επίσης για τον εορτασμό διαφόρων ορόσημων, όπως η αποφοίτηση, τα διάφορα επιτεύγματα και οι επετείους.

### **Σκουλαρίκια**

Τα σκουλαρίκια είναι διακοσμητικά αξεσουάρ που φοριούνται πάνω ή γύρω από τον λοβό του αυτιού ή, σε ορισμένες περιπτώσεις, σε άλλα μέρη του αυτιού. Είναι μια μορφή προσωπικού στολισμού που έχει εκτιμηθεί σε όλους τους πολιτισμούς και την ιστορία για την ικανότητα τους να ενισχύουν την ομορφιά, να εκφράζουν την ατομικότητα και να έχουν πολιτιστική ή συμβολική σημασία. Η πρωταρχική λειτουργία των σκουλαρικιών είναι να στολίζουν τα αυτιά και να πλαισιώνουν το πρόσωπο, τραβώντας τη προσοχή στα μάτια και τα γενικά χαρακτηριστικά του προσώπου. Έχουν την ικανότητα να «συμπληρώνουν» τα χτενίσματα αλλά και τα ρούχα, προσθέτοντας μια πινελιά κομψότητας, προσωπικότητας και στυλ. Μπορούν να φορεθούν ως διακριτικές πινελιές ή ως τολμηρά "statement" κομμάτια, συμβάλλοντας σε μια μοναδική και εξατομικευμένη εμφάνιση.

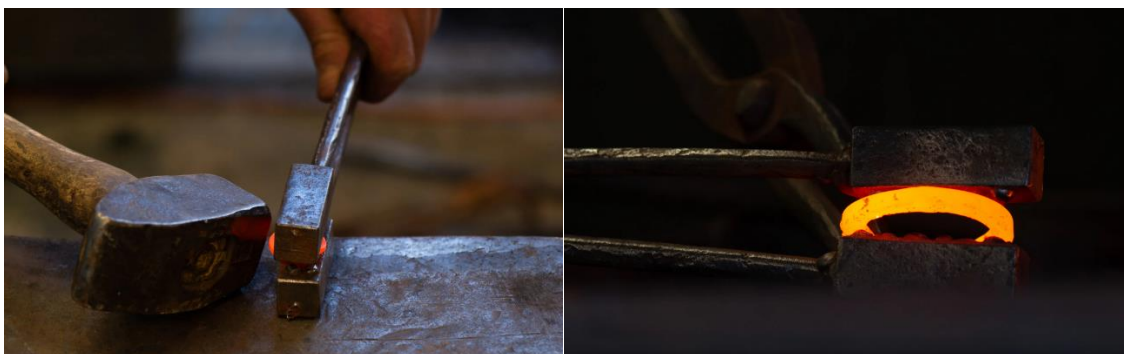
#### 1.2.4. Παραδοσιακές και σύγχρονες τεχνικές κατασκευής κοσμημάτων

Ακολουθούν ορισμένες από τις βασικές τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κοσμημάτων:

##### 1. Επεξεργασία μετάλλων:

Η επεξεργασία μετάλλων γίνεται με κλασικά εργαλεία και περιλαμβάνει τη διαμόρφωση, τη μορφοποίηση και τον χειρισμό διαφόρων μετάλλων για την κατασκευή όμορφων και περίπλοκων κομματιών. από ανθρώπους με εργαλεία όπως σφυρί, τανάλια, κ.α. Οι τεχνικές επιλέγονται με βάση το σχέδιο, τα υλικά και το επίπεδο πολυπλοκότητας του επιθυμητού κοσμήματος.

- Χειροκίνητη συγκόλληση: Σύνδεση μεταλλικών κομματιών μεταξύ τους με τη χρήση ενός υλικού πλήρωσης (κόλλα) και θερμότητας.
- Ανόπτηση: Θέρμανση του μετάλλου ώστε να γίνει πιο εύπλαστο για διαμόρφωση.
- Σφυρηλάτηση: Διαμόρφωση του μετάλλου με σφυρηλάτηση όταν είναι ζεστό ή κρύο.
- Λείανση: Εξομάλυνση και τελειοποίηση μεταλλικών επιφανειών.
- Υφή: Προσθήκη μοτίβων ή υφών σε μεταλλικές επιφάνειες χρησιμοποιώντας εργαλεία ή τεχνικές όπως σφυρηλάτηση, έλαση ή χάραξη.



<https://www.alicemadethis.com/blogs/journal/forged-jewellery>

<https://www.hunarcourses.com/blog/6-steps-to-start-with-metalsmithing/>

##### 2. Τοποθέτηση πέτρας

Η τοποθέτηση λίθων είναι μια περίπλοκη πτυχή της κατασκευής κοσμημάτων, καθώς περιλαμβάνει την ασφαλή τοποθέτηση πολύτιμων λίθων σε μεταλλικά πλαίσια για τη δημιουργία οπτικά ελκυστικών κομματιών. Η διαδικασία απαιτεί ακρίβεια, επιδεξιότητα και προσοχή στη λεπτομέρεια. Οι πολύτιμοι λίθοι που χρησιμοποιούνται στα κοσμήματα είναι φυσικά ή συνθετικά ορυκτά και οργανικά υλικά που διαθέτουν ομορφιά, σπανιότητα και ανθεκτικότητα, γεγονός που τους καθιστά ιδιαίτερα επιθυμητούς για διακοσμητικούς σκοπούς.

Ακολουθούν κάποιες βασικές τεχνικές τοποθέτησης λίθων:

- Τοποθέτηση με πινέζες: Ασφάλιση πολύτιμων λίθων σε μεταλλικά νύχια ή πινέζες.

- Στερέωση με πλαίσιο: Ενσωμάτωση πολύτιμων λίθων με μεταλλικό περίγραμμα.
- Σχηματισμός «καναλιών»: Τοποθέτηση πολύτιμων λίθων μεταξύ παράλληλων μεταλλικών τοιχωμάτων.
- Τοποθέτηση μικρών πολύτιμων λίθων κοντά ο ένας στον άλλο για να δημιουργηθεί μια πλακόστρωτη ή εγκιβωτισμένη εμφάνιση.
- Τοποθέτηση στο ίδιο επίπεδο: Ενσωμάτωση πολύτιμων λίθων απευθείας στη μεταλλική επιφάνεια.



<https://blog.genevecompany.com/2022/02/25/gem-setting/>

### 3. Χύτευση

Η χύτευση είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη τεχνική στη δημιουργία κοσμημάτων. Περιλαμβάνει τη δημιουργία ενός αντιγράφου ενός πρωτότυπου σχεδίου κοσμήματος με τη ρίψη λιωμένου μετάλλου σε ένα καλούπι. Το προκύπτον μεταλλικό κομμάτι, μόλις κρυώσει και στερεοποιηθεί, παίρνει το σχήμα του καλουπιού. Η επιλογή του μετάλλου, του υλικού του καλουπιού και της μεθόδου χύτευσης μπορεί να ποικίλλει ανάλογα με το συγκεκριμένο σχέδιο και τις απαιτήσεις του κομματιού κοσμήματος. Ακολουθεί μια επισκόπηση της διαδικασίας χύτευσης στην κατασκευή κοσμημάτων:

- Χύτευση με χαμένο κερί: Δημιουργία ενός καλουπιού από ένα κέρινο μοντέλο, λιώσιμο του κεριού και έκχυση λιωμένου μετάλλου στο καλούπι.
- Φυγοκεντρική χύτευση: Περιστροφή ενός καλουπιού γεμάτου με λιωμένο μέταλλο για να αναγκαστεί το μέταλλο να πάρει το σχήμα του.
- Επενδυτική χύτευση: Δημιουργία ενός καλουπιού με τη χρήση ενός υλικού επένδυσης ανθεκτικό στη θερμότητα, το οποίο περιβάλλει ένα κέρινο μοντέλο που λιώνει αργότερα, αφήνοντας έτσι το καλούπι που σχηματίστηκε να γεμίσει με μέταλλο.



<https://www.customfashionjewelsinc.com/services/jewelry-casting-services/>

<https://royisal.com/the-jewelry-casting-process-lost-wax-casting/>

#### 4. Χάραξη – Εγγάραξη

Η χάραξη χρησιμοποιείται στην κατασκευή κοσμημάτων για τη δημιουργία περίπλοκων σχεδίων, μοτίβων και υφών σε μεταλλικές επιφάνειες και περιλαμβάνει την αφαίρεση υλικού από το μέταλλο. Είναι εξειδικευμένες τεχνικές που απαιτούν ακρίβεια και καλλιτεχνική ευαισθησία. Οι κοσμηματοποιοί και οι τεχνίτες τις χρησιμοποιούν συχνά με σκοπό να δώσουν περισσότερη λεπτομέρεια, μοναδικές και εξατομικευμένες πινελιές στα κοσμήματα, ενισχύοντας την αισθητική τους και την μοναδικότητά τους, χρησιμοποιώντας παραδοσιακά ή πιο σύγχρονα μέσα. Ακολουθεί μια επισκόπηση της χάραξης στη δημιουργία κοσμημάτων:

- Χειροποίητη χάραξη: Χρήση εξειδικευμένων εργαλείων για τη δημιουργία περίπλοκων σχεδίων ή μοτίβων σε μεταλλικές επιφάνειες.
- Χημική χάραξη: Εφαρμογή χημικών ουσιών για την επιλεκτική απομάκρυνση του μετάλλου και τη δημιουργία σχεδίων ή υφών.
- Χάραξη με χρήση Laser: Χρησιμοποιείται μια δέσμη υψηλής θερμότητας για να λιώσει το υλικό, και να δημιουργήσει ακριβή σχέδια.



<https://www.alexmakina.com/silver-engraving-guide>

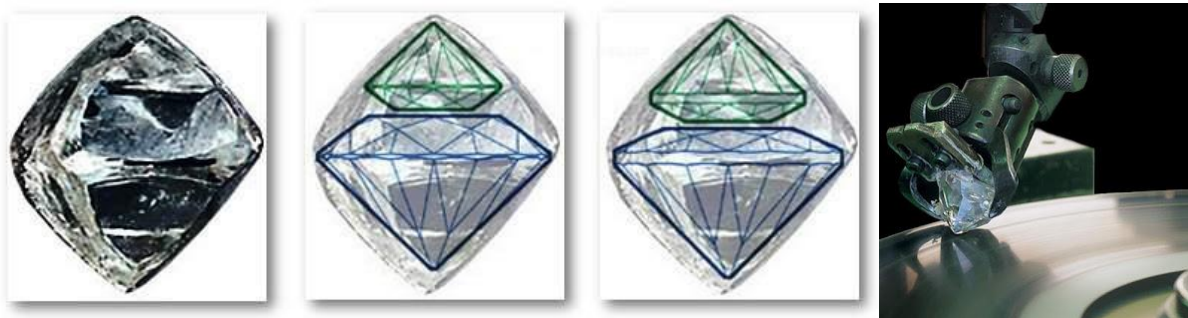
<https://royisal.com/etching-vs-engraving-of-jewelry/>



## 5. Κοπή και διαμόρφωση πέτρας

Η κοπή και η διαμόρφωση των λίθων είναι ζωτικής σημασίας διαδικασίες στην κατασκευή κοσμημάτων, καθώς περιλαμβάνουν τη μετατροπή ακατέργαστων πολύτιμων λίθων σε γυαλισμένους και λειασμένους πολύτιμους λίθους που μπορούν να τοποθετηθούν σε κοσμήματα. Αυτές οι διαδικασίες απαιτούν ακρίβεια, δεξιότητα και κατανόηση των μοναδικών ιδιοτήτων ενός πολύτιμου λίθου. Η επιλογή του στυλ κοπής και η ακρίβεια της κοπής επηρεάζουν σημαντικά την τελική εμφάνιση και την αξία του πολύτιμου λίθου. Ακολουθεί μια επισκόπηση της κοπής και διαμόρφωσης λίθων στη δημιουργία κοσμημάτων:

- Λιθοχαρακτικές εργασίες: Κοπή, διαμόρφωση και στίλβωση πολύτιμων λίθων.



<https://www.geologyin.com/2015/09/the-diamond-cutting-process.html>

## 6. Συρματοουργία και κατασκευή αλυσίδων:

Η συρματοουργία και η κατασκευή αλυσίδων είναι δύο διαφορετικές τεχνικές στην κατασκευή κοσμημάτων που περιλαμβάνουν τον χειρισμό μεταλλικών συρμάτων για τη δημιουργία διαφόρων στοιχείων και σχεδίων κοσμημάτων. Αυτές οι τεχνικές προσφέρουν ευελιξία και δημιουργικότητα στο σχεδιασμό κοσμημάτων. Ακολουθεί μια επισκόπηση της συρματοουργίας και της κατασκευής αλυσίδας στη δημιουργία κοσμημάτων:

- Τύλιγμα σύρματος: Δημιουργία κοσμημάτων τυλίγοντας και πλέκοντας σύρμα σε σχέδια.
  - Συρμάτινο τύλιγμα: Αυτό περιλαμβάνει το τύλιγμα σύρματος γύρω από πολύτιμους λίθους ή χάντρες για τη δημιουργία εσοχής ή διακοσμητικών στοιχείων.
  - Συρμάτινο τύλιγμα: Συρμάτινο τύλιγμα σε διάφορα σχήματα, όπως σπείρες και κόμπι, για διακοσμητικές πινελιές.
  - Πλέξη καλωδίων: Πλέξη πολλαπλών κλώνων σύρματος μαζί για τη δημιουργία περίπλοκων σχεδίων και μοτίβων.
  - Γλυπτική με σύρμα: Διαμόρφωση σύρματος σε τρισδιάστατες μορφές, όπως σχήματα ζώων ή λουλούδια.
  - Σφυρηλάτηση καλωδίων: Υφή του σύρματος με ελαφρύ σφυροκόπημα για τη δημιουργία μοναδικών επιφανειακών μοτίβων.
  - Συρματόσχοινο: Συστροφή δύο ή περισσότερων συρμάτων μαζί για να δημιουργηθούν ενδιαφέρουσες υφές και σχέδια.

- Κατασκευή αλυσίδων: Κατασκευή αλυσίδων από μεμονωμένους κρίκους, οι οποίοι μπορεί να είναι απλοί ή περίπλοκοι. Ακολουθούν μερικά παραδείγματα.
  - Αλυσίδα Rolo: Κατασκευασμένη από στρογγυλούς κρίκους που είναι συνήθως ομοιόμορφοι σε μέγεθος.
  - Αλυσίδα Figaro: Διαθέτει ένα μοτίβο από μεγαλύτερους κρίκους που παρεμβάλλονται με μικρότερους κρίκους.
  - Αλυσίδα Cable: Αποτελείται από ωειδείς ή στρογγυλούς κρίκους που συνδέονται εναλλάξ.
  - Αλυσίδα Snake: Αποτελείται από στενά συνδεδεμένους, λείους και εύκαμπτους κρίκους, που μοιάζουν με δέρμα φιδιού.
  - Αλυσίδα Box: Αποτελείται από τετράγωνους κρίκους που σχηματίζουν μοτίβο που μοιάζει με πλέγμα.



<https://www.istockphoto.com/photo/using-flat-nose-pliers-to-make-silver-wire-jewelry-gm139977074-1843606>

<https://runningwithsisters.com/how-to-make-a-labradorite-wirework-necklace/>

## 7. Χάντρες και κορδόνια:

Οι χάντρες και τα κορδόνια αποτελούν θεμελιώδη κομμάτια της κατασκευής κοσμημάτων ενώ οι τεχνικές τους είναι προσιτές τόσο σε αρχάριους όσο και σε έμπειρους κατασκευαστές κοσμημάτων και τους επιτρέπουν να πειραματιστούν με διαφορετικές χάντρες, χρώματα και στυλ. Αυτές οι τεχνικές μπορούν να συνδυαστούν με άλλες δεξιότητες κατασκευής κοσμημάτων, όπως η συρματοποίηση ή η τοποθέτηση λίθων, για να δημιουργήσουν μοναδικά και εξατομικευμένα κοσμήματα.

- Χάντρες: Δημιουργία κοσμημάτων με χάντρες σε σύρματα ή νήματα.
- Δεσίματα: Κόμπος μεταξύ χαντρών για σταθερότητα και απόσταση.



<https://www.linelly.top/ProductDetail.aspx?iid=131309393&pr=87.88>

<https://sewguide.com/stringing-beads-on-thread/>

## 8. Εργασία με πολυμερή πηλό και ρητίνη

Τόσο ο πολυμερής πηλός όσο και η εργασία με ρητίνη προσφέρουν ατελείωτες δυνατότητες για τη δημιουργία εξατομικευμένων και ιδιαίτερων κοσμημάτων, παρέχοντας στους κατασκευαστές κοσμημάτων ευκαιρίες να πειραματιστούν με το χρώμα, την υφή και το σχέδιο, με αποτέλεσμα τη κατασκευή κομματιών που ανταποκρίνονται σε διάφορα γούστα και στυλ. Ακολουθεί μια επισκόπηση του πολυμερούς πηλού και της εργασίας με ρητίνη στη δημιουργία κοσμημάτων:

- Πολυμερής πηλός: Διαμόρφωση και σκλήρυνση πολυμερούς πηλού για τη δημιουργία πολύχρωμων και περίπλοκων σχεδίων. Ακολουθούν κάποιες τεχνικές δημιουργίας κοσμημάτων με πηλό.
  - Millefiori: Δημιουργία περίπλοκων μοτίβων και σχεδίων με τη διαστρωμάτωση και συμπίεση πηλού διαφορετικού χρώματος και στη συνέχεια με το κόψιμο του για να αποκαλυφθεί το σχέδιο.
  - Caning: Σχηματισμός μακριών ράβδων από πηλό με μοτίβο, γνωστές ως μπαστούνια, οι οποίες στη συνέχεια κόβονται σε φέτες για να δημιουργήσουν μικρά, επαναλαμβανόμενα σχέδια.
  - Γλυπτική: Διαμόρφωση πηλού σε τρισδιάστατες μορφές, όπως ειδώλια, χάντρες και μενταγιόν.
  - Υφή: Προσθήκη υφών και μοτίβων στην επιφάνεια του πηλού με τη χρήση εργαλείων, σφραγίδων ή φύλλων υφής.
  - Ψήσιμο: Ο πολυμερής πηλός πρέπει να ψηθεί σε φούρνο σε συγκεκριμένη θερμοκρασία και χρόνο για να σκληρύνει και να σταθεροποιηθεί το σχέδιο.
- Ρητίνη: Ενσωμάτωση αντικειμένων ή δημιουργία ημιδιαφανών σχεδίων χρησιμοποιώντας ρητίνη και καλούπια. Ακολουθούν κάποιες τεχνικές δημιουργίας κοσμημάτων με χρήση ρητίνης.
  - Χύτευση ρητίνης: Χύτευση ρητίνης σε καλούπια για τη δημιουργία σχημάτων όπως καμπουσόν, χάντρες και μενταγιόν.
  - Ενσωμάτωση ρητίνης: Τοποθέτηση μικρών αντικειμένων, όπως λουλούδια, φωτογραφίες ή μικροσκοπικές χάντρες, μέσα σε ρητίνη για τη δημιουργία μοναδικών και εξατομικευμένων κομματιών.

- Στρώσιμο ρητίνης: Χύτευση ρητίνης στρώμα προς στρώμα για τη δημιουργία βάθους και διάστασης, συχνά με την προσθήκη χρωστικών και εφέ όπως μελάνια αλκοόλης και γκλίτερ.
- Δημιουργία «θόλου» ρητίνης: Δημιουργία λείας, καμπυλωτής και γυαλιστερής επιφάνειας με την εφαρμογή ενός στρώματος ρητίνης στην κορυφή κοσμημάτων, όπως χαρτί ή φωτογραφίες, για να τα ενθυλακώσει και να τα προστατεύσει.



<https://acrylgiessen.com/en/how-to-make-resin-jewelry/>

<https://www.raisingnobles.com/how-to-make-clay-earrings-glossy/>

## 9. Χρήση σμάλτου

Το σμάλτο είναι μια παραδοσιακή και περίπλοκη τεχνική κατασκευής κοσμημάτων που περιλαμβάνει τη σύντηξη γυαλιού (σμάλτο) σε μεταλλικές επιφάνειες, δημιουργώντας ζωντανά και ανθεκτικά διακοσμητικά στοιχεία. Αυτή η αρχαία μορφή τέχνης χρησιμοποιείται εδώ και αιώνες για να διακοσμήσει τα κοσμήματα με πολύχρωμα σχέδια και περίπλοκα μοτίβα. Ο σμάλτος χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μιας μεγάλης ποικιλίας κοσμημάτων, όπως μενταγιόν, καρφίτσες, σκουλαρίκια, δαχτυλίδια και βραχιόλια, προσθέτοντας χρώμα, βάθος και περίπλοκα σχέδια. Εφαρμόζεται επίσης συνήθως σε διακοσμητικά στοιχεία σε μεταλλοτεχνίες και γλυπτά. Ακολουθεί μια επισκόπηση της σμάλτωσης στη δημιουργία κοσμημάτων:

- Cloisonné: Δημιουργία περίπλοκων σχεδίων με συγκόλληση συρμάτων των διαμερισμάτων πάνω στο μέταλλο και στη συνέχεια συμπλήρωσή τους με σμάλτο.
- Champrené: Χάραξη εσοχών στο μέταλλο και συμπλήρωσή τους με σμάλτο.



<https://sheilafleet.com/pages/guide-to-enamel-jewellery>

<https://www.indiamart.com/proddetail/enamel-jewellery-14783479412.html>

## 10. Φινίρισμα και γυάλισμα

Το φινίρισμα και το γυάλισμα είναι βασικά στάδια της διαδικασίας κατασκευής κοσμημάτων που συμβάλλουν στη βελτίωση της εμφάνισης και της ποιότητας των κοσμημάτων. Οι τεχνικές αυτές χρησιμοποιούνται για την αφαίρεση ατελειών, την εξομάλυνση των επιφανειών και την ανάδειξη της λάμψης και της γυαλάδας των μετάλλων και των πολύτιμων λίθων. Οι τεχνίτες κοσμημάτων δίνουν μεγάλη προσοχή σε αυτές τις διαδικασίες για να διασφαλίσουν ότι οι δημιουργίες τους δεν είναι μόνο όμορφες αλλά και ανθεκτικές και μακράς διάρκειας.

- Γυάλισμα κοσμημάτων για την επίτευξη υψηλής λάμψης ή επιθυμητής υφής, με τη χρήση λίμας διαφόρων σχημάτων και μεγεθών για την αφαίρεση της περίσσειας μετάλλου και την εξομάλυνση των άκρων, τη χρήση γυαλόχαρτου ή λειαντικών υλικών για τη δημιουργία λείας και ομοιόμορφης επιφάνειας και πολλές φορές και τροχών και μειγμάτων γυαλίσματος για την αφαίρεση λεπτών γρατζουνιών και ατελειών.
- Εφαρμογή επιφανειακών επεξεργασιών για την αλλαγή του χρώματος ή της εμφάνισης του μετάλλου, με τη χρήση τροχών γυαλίσματος, ή αντικειμένων όπως βούρτσα ή πανί για χειροκίνητο γυάλισμα.



<https://jewelrydesigns.com/jewelry/jewelry-making/jewelry-polishing/>

<https://royisal.com/6-essential-jewelry-polishing-tools/>

## 11. Μορφοποίηση και αναπαραγωγή

Η χύτευση και η αναπαραγωγή είναι τεχνικές που χρησιμοποιούνται στην κατασκευή κοσμημάτων για τη δημιουργία πολλαπλών αντιγράφων ενός σχεδίου, επιτρέποντας στους τεχνίτες να αναπαράγουν περίπλοκα ή μοναδικά κομμάτια και να τα παράγουν μαζικά. Αυτές οι μέθοδοι περιλαμβάνουν τη δημιουργία καλουπιών από ένα αρχικό κύριο μοντέλο και τη χρήση τους για τη χύτευση πολλαπλών αντιγράφων σε διάφορα υλικά.

- Δημιουργία καλουπιών από υπάρχοντα κοσμήματα για την παραγωγή αντίγραφων.



<https://www.marketsquarejewelers.com/blogs/msj-handbook/the-jewelry-casting-process-lost-wax-casting>

## 12. Εργασία στον πάγκο

Η δημιουργία κοσμημάτων με τη χρήση πάγκου, επίσης γνωστή ως εργασία πάγκου στο εμπόριο κοσμημάτων, αναφέρεται στη διαδικασία κατασκευής κοσμημάτων με το χέρι στον πάγκο εργασίας ενός κοσμηματοπώλη. Αυτή η παραδοσιακή προσέγγιση στην κατασκευή κοσμημάτων περιλαμβάνει διάφορες τεχνικές και δεξιότητες που εκτελούνται με ακρίβεια και προσοχή στη λεπτομέρεια.

- Διάφορες εργασίες όπως μέτρηση, πριόνισμα, διάτρηση και συναρμολόγηση εξαρτημάτων με τη χρήση παραδοσιακών εργαλείων κατασκευής κοσμημάτων.



<https://www.jewelry-auctioned.com/learn/trending-jewelry-news/buying-jewelers-workbench>

Η κατασκευή κοσμημάτων είναι μια πολυποίκιλη και δημιουργική τέχνη και οι κοσμηματοποιοί συχνά συνδυάζουν πολλαπλές τεχνικές για να δημιουργήσουν μοναδικά και εξατομικευμένα κομμάτια. Η επιλογή των τεχνικών αυτών εξαρτάται από το σχέδιο, τα υλικά, το επίπεδο δεξιοτήτων και τις προτιμήσεις του κοσμηματοποιού.

### 1.2.5. Συμπεράσματα

Μέσω της προηγούμενης έρευνας πάνω στις παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής κοσμημάτων, μπορούμε να διακρίνουμε τα πλεονεκτήματα αλλά και τους περιορισμούς της χρήσης των μεθόδων αυτών:

#### Πλεονεκτήματα

- **Χειροτεχνία και Καλλιτεχνία:** Η παραδοσιακή κατασκευή κοσμημάτων είναι μια ιδιαίτερα εξειδικευμένη τέχνη που επιτρέπει στους τεχνίτες να εκφράσουν τη δημιουργικότητά τους. Προσφέρει μια προσωπική πινελιά και ποιότητα που μπορεί να είναι δύσκολο να αναπαραχθεί με την τρισδιάστατη εκτύπωση.
- **Εξατομίκευση:** Οι παραδοσιακές μέθοδοι επιτρέπουν μεγαλύτερο εύρος προσαρμογής. Οι κοσμηματοποιοί μπορούν εύκολα να κατασκευάσουν μοναδικά κομμάτια προσαρμοσμένα στις συγκεκριμένες προτιμήσεις και απαιτήσεις του πελάτη.
- **Ποικιλία υλικών:** Οι παραδοσιακές μέθοδοι επιτρέπουν τη χρήση μεγάλου εύρους υλικών, συμπεριλαμβανομένων πολύτιμων μετάλλων, πολύτιμων λίθων, σμάλτων και άλλων. Αυτή η ποικιλομορφία προσφέρει μεγαλύτερη ευελιξία στο σχεδιασμό.
- **Υφή και λεπτομέρεια:** Οι παραδοσιακές τεχνικές, όπως η χειροποίητη χάραξη, η τοποθέτηση λίθων και η μεταλλοτεχνία, επιτρέπουν περίπλοκες υφές, μοτίβα και λεπτομέρειες.
- **Επισκευή και αποκατάσταση:** Τα παραδοσιακά κομμάτια μπορούν να επισκευαστούν και να αποκατασταθούν ευκολότερα από εξειδικευμένους κοσμηματοποιοί, παρατείνοντας τη διάρκεια ζωής των κομματιών με συναισθηματική αξία.

#### Μειονεκτήματα

- **Εντατική εργασία:** Οι παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής κοσμημάτων μπορούν συχνά να είναι χρονοβόρες διαδικασίες που απασχολούν ανθρώπινο δυναμικό, κάτι που οδηγεί σε υψηλότερο κόστος παραγωγής και μεγαλύτερους χρόνους παράδοσης.
- **Περιορισμένη αναπαραγωγή κομματιών:** Η αναπαραγωγή πολύπλοκων σχεδίων σε μεγάλες ποσότητες μπορεί να αποτελέσει πρόκληση.

- Απόβλητα: Οι παραδοσιακές μέθοδοι μπορεί να δημιουργήσουν αρκετά απόβλητα υλικών, ειδικά όταν χρησιμοποιούνται εργαλεία χειρός για τη διαμόρφωση και την κοπή.
- Απαιτείται εξειδικευμένη εργασία: Για την παραδοσιακή κατασκευή κοσμημάτων απαιτούνται ειδικευμένοι κοσμηματοποιοί πάγκου και η πρόσληψη της τεχνογνωσίας τους μπορεί να είναι δαπανηρή.

Συνοψίζοντας...

Βλέπουμε ότι το κόσμημα είναι μια σύνθετη και εξελισσόμενη μορφή τέχνης που καλύπτει πολιτισμούς, εποχές και ατομικές προτιμήσεις. Είναι ένα μέσο έκφρασης της ομορφιάς, της ταυτότητας, του συναισθήματος και της πολιτιστικής κληρονομιάς, ενώ παράλληλα αναδεικνύει τις δεξιότητες των τεχνιτών και τη διαρκώς μεταβαλλόμενη δυναμική της μόδας και του στυλ.

Παρατηρούμε λοιπόν, ότι ιστορικά τα γούστα ποικίλουν ανά περιόδους και με σκοπό να ικανοποιηθούν, έχουν χρησιμοποιηθεί πολλές και διαφορετικές τεχνικές. Όσο περνούν τα χρόνια, βλέπουμε μια τάση των ανθρώπων να συνδυάζουν τις παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής κοσμημάτων με τη τεχνολογία. Ο συνδυασμός αυτός μπορεί να καλύψει τα μειονεκτήματα των παραδοσιακών τεχνικών και να τους προσφέρει μεγαλύτερη ακρίβεια σε ορισμένες περιπτώσεις, περίτεχνα σχέδια αλλά και τη δυνατότητα να κατασκευάζουν ταχύτερα, μεγαλύτερες ποσότητες κοσμημάτων.



## 2. ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΗ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗ ΚΑΙ ΚΟΣΜΗΜΑ

Η προσθετική κατασκευή, γνωστή και ως τρισδιάστατη εκτύπωση, έχει χαρακτηριστεί ως βασικός παράγοντας της 4<sup>ης</sup> βιομηχανικής επανάστασης. Η επανάσταση αυτή χαρακτηρίζεται από την ενσωμάτωση των ψηφιακών τεχνολογιών, της τεχνητής νοημοσύνης, του Internet of Things (IoT) και της αυτοματοποίησης σε διάφορες βιομηχανίες για τον μετασχηματισμό της παραγωγής και των επιχειρηματικών διαδικασιών. Η προσθετική κατασκευή είναι μια τεχνολογία κατασκευής προϊόντων από διάφορα υλικά και πραγματοποιείται με τη βοήθεια ενός Η/Υ, κι ενός 3D εκτυπωτή.

Η βασική αρχή της προσθετικής κατασκευής περιλαμβάνει τη δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων στρώμα προς στρώμα (Layering). Ακολουθεί συνήθως τα εξής βήματα:

**Σχεδιασμός:** Αρχικά, δημιουργείται ένα τρισδιάστατο μοντέλο του αντικειμένου με τη χρήση λογισμικού σχεδίασης σε Η/Υ και αποθηκεύεται συνήθως ως αρχείο STL. Ένα αρχείο STL είναι μια ευρέως χρησιμοποιούμενη μορφή αρχείου στην τρισδιάστατη εκτύπωση και στον σχεδιασμό με τη βοήθεια υπολογιστή (CAD). Αναπαριστά τη γεωμετρία της επιφάνειας ενός τρισδιάστατου αντικειμένου ως μια συλλογή διασυνδεδεμένων τριγώνων, που σχηματίζουν ένα πλέγμα. Τα αρχεία STL χρησιμοποιούνται για την αποθήκευση τρισδιάστατων μοντέλων σε μορφή που μπορεί εύκολα να ερμηνευτεί από τρισδιάστατους εκτυπωτές και διάφορα λογισμικά CAD.

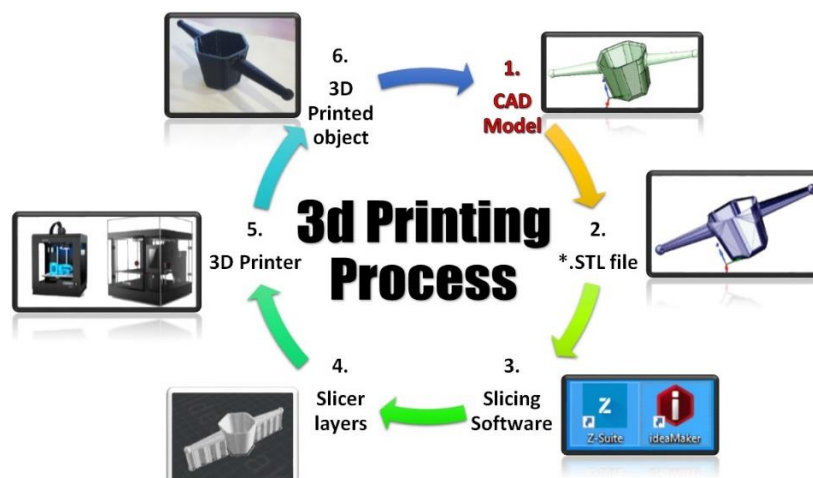
**Τεμαχισμός:** Στη συνέχεια, το τρισδιάστατο μοντέλο τεμαχίζεται σε λεπτά οριζόντια στρώματα με τη χρήση ειδικού λογισμικού. Αυτό δημιουργεί ένα σύνολο οδηγιών (G-code) για τον τρισδιάστατο εκτυπωτή.

**Εκτύπωση:** Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής ακολουθεί τις οδηγίες του κώδικα G, εναποθέτοντας υλικό στρώμα προς στρώμα.

**Συγκόλληση στρωμάτων:** Καθώς κάθε στρώμα εναποτίθεται, συνδέεται με το προηγούμενο, δημιουργώντας σταδιακά το αντικείμενο.

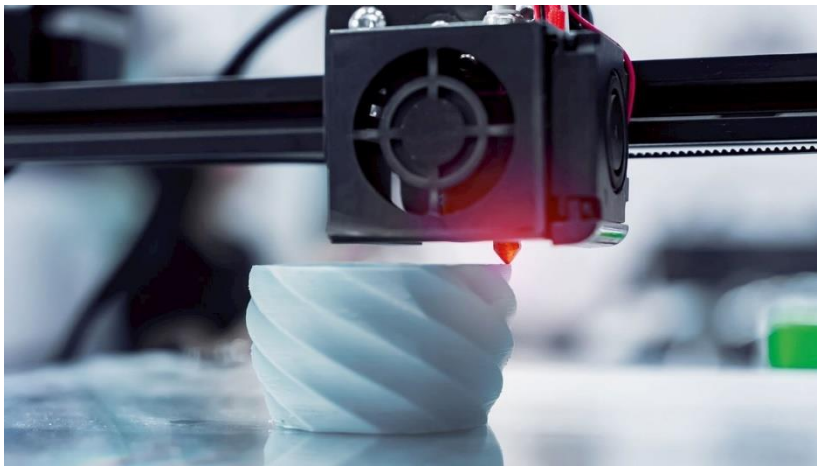
**Ολοκλήρωση:** Όταν πια εκτυπωθούν όλα τα στρώματα, το αντικείμενο είναι ολοκληρωμένο και μπορεί να αφαιρεθεί από τον εκτυπωτή.

Η διαδικασία αυτή του στρώμα προς στρώμα (Layering) επιτρέπει τη δημιουργία πολύπλοκων και εξατομικευμένων προϊόντων, με ακρίβεια και σχετικά μικρή σπατάλη υλικού, κάτι που καθιστά τη τρισδιάστατη εκτύπωση μια ευέλικτη μέθοδο κατασκευής.



Η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει απεριόριστες δυνατότητες σχεδιασμού και κατασκευής, καθώς κατά τη διαδικασία της εκτύπωσης είναι δυνατόν να χρησιμοποιηθούν διάφορα υλικά, όπως πολυμερή, ρητίνες και μέταλλο (σκόνη), αλλά επιτρέπει επίσης τον σχεδιασμό προϊόντων πολύπλοκης γεωμετρίας πιο εύκολα και γρήγορα από ότι θα ήταν δυνατόν με τις κλασικές μεθόδους κατασκευής. Η προσθετική κατασκευή λοιπόν, χρησιμοποιεί τα υλικά στρώμα προς στρώμα ώστε να καταλήξει στο τελικό προϊόν και γι' αυτό το λόγο δεν είναι απαραίτητα εργαλεία και καλούπια που συχνά αυξάνουν τον κύκλο παραγωγής. Επιπλέον, η τεχνολογία αυτή επιτρέπει την εκτύπωση αντικειμένων σε πολύ μικρή κλίμακα με κάποιους περιορισμούς, όπως για παράδειγμα τα μικρού μεγέθους εξαρτήματα που απαιτούνται για την κατασκευή των κινητών τηλεφώνων, αλλά και την εκτύπωση προϊόντων με οποιοδήποτε περίπλοκο σχήμα.

Παρόλο που η προσθετική κατασκευή είναι μια σύγχρονη τεχνολογία, έχει ήδη αλλάξει τον κόσμο της κατασκευής και έχει επηρεάσει θετικά την οικονομία της παγκόσμιας αγοράς. Αναμένεται ότι στο μέλλον θα υπάρξουν ακόμα περισσότερες εξελίξεις στην τρισδιάστατη εκτύπωση οι οποίες θα οδηγήσουν σε ακόμη μεγαλύτερη πρόοδο σε διάφορους τομείς της επιστήμης και της τεχνολογίας.



*Εικόνα 11 Δημιουργία αντικειμένου με χρήση 3D εκτυπωτή*

## **2.1. Σύντομη ιστορική ανασκόπηση της εξέλιξης της προσθετικής κατασκευής**

Η άφιξη του Η/Υ στα μισά του 20ου αιώνα, μαζί με την εξέλιξη των λογισμικών ηλεκτρονικών υπολογιστών για σχεδιασμό (CAD), αλλά και κατασκευή (CAM) με τη βοήθεια τους, έχει αλλάξει δραστικά τις μεθόδους σχεδιασμού, πρωτοτύπων και κατασκευής. Σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους, αντί να αφαιρείται υλικό από ένα συμπαγές μπλοκ, δημιουργούνται τρισδιάστατα αντικείμενα μέσω της προσθήκης στρωμάτων υλικού. Η οικονομική προσιτότητα των

επιτραπέζιων εκτυπωτών 3D έχει κάνει αυτή την τεχνολογία προσβάσιμη σχεδόν σε όλους, οδηγώντας στην πιθανότητα επανάστασης στις διαδικασίες παραγωγής.

Τη δεκαετία του 1940, η ανάπτυξη της τεχνολογίας αριθμητικού ελέγχου (NC) καθοδηγήθηκε σε μεγάλο βαθμό από τους John Parsons και Frank Stulen. Ο John Parsons θεωρείται συχνά ως πρόσωπο-κλειδί στην εφεύρεση του αριθμητικού ελέγχου, ο οποίος αναπτύχθηκε αργότερα περαιτέρω από τον Patrick Hanratty το 1957. Οι πρώτες εφαρμογές αυτής της τεχνολογίας ήταν στην αεροδιαστημική βιομηχανία για την αυτόματη κατασκευή εξαρτημάτων. Τα τελευταία 40 χρόνια, παρατηρείται σπουδαία και ραγδαία εξέλιξη στο λογισμικό και το Η/Υ. Ο σχεδιασμός με τη βοήθεια υπολογιστή έχει φέρει επανάσταση στον τρόπο δημιουργίας σχεδίων. Η στερεά μοντελοποίηση τρισδιάστατων αντικειμένων εισήχθη τη δεκαετία του 1970, και το λογισμικό MicroCAD (πλέον γνωστό ως AutoCAD) εισήχθη το 1982, το οποίο βοήθησε μηχανικούς και αρχιτέκτονες να σχεδιάσουν μοντέλα τρισδιάστατων αντικειμένων σε κάθε μέγεθος. Αυτό οδήγησε στη διάδοση εργαλείων τεχνητής νοημοσύνης. Ωστόσο, η νέα επανάσταση στην δημιουργία με τη βοήθεια Η/Υ έγινε τη δεκαετία του 1980 με την πρόταση της προσθετικής κατασκευής τρισδιάστατων αντικειμένων με τη χρήση Η/Υ.

Πριν το 1980, οι στρατηγικές τρισδιάστατης εκτύπωσης είχαν μικρές πρακτικές εφαρμογές σε τομείς της βιομηχανίας, με την κατασκευή μικροσίπ να είναι η μόνη εξαίρεση στη βιομηχανία ηλεκτρονικών. Στο τέλος του 70', προτάθηκαν κάποιες μέθοδοι για την κατασκευή τρισδιάστατων αντικειμένων χρησιμοποιώντας διάφορες τεχνολογίες και υποστήριξη ηλεκτρονικών υπολογιστών, που οδήγησαν στην κατάθεση πρώιμων διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας. Η δεκαετία του 1980 είδε την ανάπτυξη πιο ολοκληρωμένων διπλωμάτων ευρεσιτεχνίας στον τομέα αυτό.

Ο C. Hull ανακάλυψε την τεχνολογία stereolithography το 1983, με την οποία η εκτύπωση των αντικειμένων γίνεται με τη χρήση υγρού πολυμερούς όπως η ρητίνη, η οποία σκληραίνει κάτω από τη δράση ενός λέιζερ. Το πρώτο τρισδιάστατο αντικείμενο που κατάφερε και δημιούργησε σε διάστημα μηνών ήταν ένα φλιτζάνι 5 εκατοστών, ενώ έπειτα από 2 χρόνια κατέληξε στην ίδρυση της εταιρείας του, η οποία είχε σκοπό την παραγωγή και πώληση προϊόντων προσθετικής κατασκευής.



*Εικόνα 12 Το πρώτο αντικείμενο που δημιούργησε ο C. Hull με τη χρήση της τεχνολογίας προσθετικής κατασκευής*

Προς τα τέλη της δεκαετίας του 1980, αναπτύχθηκε η τεχνολογία Laminated Object Manufacturing (LOM), η οποία αφορούσε την κοπή με λέιζερ διατομών από χαρτί και την εφαρμογή μιας λιωμένης πλαστικής επικάλυψης στην κάτω πλευρά κάθε στρώματος. Παρά το γεγονός ότι παρήχθη από εταιρείες όπως οι Helisys, Solido3D και Kira, η τεχνολογία δεν γνώρισε σημαντική επιτυχία με την πάροδο του χρόνου.

Η μέθοδος Selective Laser Sintering (SLS) είναι μια τεχνολογία παραγωγής πρόσθετων που εφευρέθηκε στο Πανεπιστήμιο του Τέξας. Λειτουργεί με την τήξη σωματιδίων σκόνης χρησιμοποιώντας δέσμη λέιζερ και κατοχυρώθηκε με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας από τον C.R. Deckard το 1989. Η DTM Co., μια νεοφυής εταιρεία πανεπιστημίου, άρχισε να κατασκευάζει εμπορικές μηχανές σε συνεργασία με την 3D Systems μετά την παραγωγή ακαδημαϊκών μηχανών. Η 3D Systems απέκτησε αργότερα την DTM Co. το 2001.

Ο Scott Crump εφηύρε την τεχνολογία Fused Deposition Modeling (FDM) το 1988 ενώ η εταιρεία του Stratasys ιδρύθηκε το 1989. Η Fused Deposition Modeling είναι μια τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης που περιλαμβάνει την εναπόθεση θερμοπλαστικών υλικών στρώμα προς στρώμα για τη δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων. Η Stratasys συγχωνεύτηκε με την Objet Ltd, που αποτελεί γνωστό κατασκευαστή εκτυπωτών προσθετικής κατασκευής στο Ισραήλ, το 2012. Αυτό οδήγησε στη μέθοδο Fused Deposition Modeling να γίνει η κύρια διαδικασία κατασκευής που χρησιμοποιούν οι επιτραπέζιοι εκτυπωτές.

Έως τα πρώτα χρόνια της δεκαετίας του 2000, οι εκτυπωτές προσθετικής κατασκευής ήταν ακριβοί και έβρισκαν χρήση κυρίως σε βιομηχανικά περιβάλλοντα για τη δημιουργία πρωτοτύπων. Κοντά στο 2005, έγιναν τα πρώτα βήματα για την ανάπτυξη μη ιδιόκτητων εκτυπωτών χαμηλού κόστους, για ιδιωτική χρήση. Το 2005, ένα έργο που οργανώθηκε στο Πανεπιστήμιο του Μπαθ με επικεφαλής τον A. Bowyer είχε ως στόχο τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου εκτυπωτή που θα είχε την ικανότητα παραγωγής των περισσότερων δικών του μερών. Στο έργο Rep Rap (Replicating Rapid prototyping) χρησιμοποιήθηκε ένα ρομπότ 3 αξόνων με έναν ή περισσότερους εξωθητές κάνοντας χρήση της Fused Filament Fabrication από τη μέθοδο Fused Deposition Modeling. Το υλικό και το λογισμικό ήταν ανοιχτού κώδικα, όπως ισχύει και για τα ηλεκτρονικά τα οποία βασίζονταν στο Arduino. Το έργο στόχευε να δώσει τη δυνατότητα σε ενδιαφερόμενους να τροποποιήσουν και να παράγουν τους δικούς τους εκτυπωτές.

Το 2006, το Πανεπιστήμιο Cornell ανέπτυξε τον Fab@Home, έναν εκτυπωτή 3 αξόνων ανοιχτού κώδικα που μπορούσε να χρησιμοποιήσει μια ποικιλία υλικών. Η MakerBot Industries ιδρύθηκε στη Νέα Υόρκη το 2006 για να παρέχει DIY πακέτα βασισμένα στο Rep Rap (Replicating Rapid prototyping), και με το πέρασμα των χρόνων από υλικό ανοιχτού κώδικα πέρασε πέρασε σε κλειστού. Η Stratasys Inc. εξαγόρασε τη MakerBot το 2013. Η επανάσταση του ανοιχτού κώδικα εκδημοκρατοποίησε την παραγωγή προσθέτων, οδηγώντας σε τρισδιάστατη εκτύπωση από καταναλωτές. Ο N. Gershenfield δίδαξε μάθημα με όνομα «Πώς να φτιάξεις (σχεδόν) οτιδήποτε» στο Media Lab του MIT, οδηγώντας στο κίνημα FabLab, το οποίο δημιούργησε κοινότητες κατασκευαστών.

Τη τελευταία δεκαετία, οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής χρησιμοποιούνται ως η βασική μέθοδος παραγωγής σε πολλαπλές εφαρμογές στη βιομηχανία. Η προσοχή των ερευνών έχει στραφεί πλέον στα νέα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν με τη χρήση των τεχνολογιών αυτών. Συγχρόνως, συνεχίζονται οι έρευνες παγκοσμίως με στόχο την τυποποίηση των διαδικασιών και υλικών, προκειμένου να επιτευχθεί μεγαλύτερη εκβιομηχάνιση των συστημάτων, ενώ παράλληλα, γίνονται εργασίες προς την κατεύθυνση της προετοιμασίας της εφοδιαστικής αλυσίδας για την αντιμετώπιση της μελλοντικής ζήτησης προϊόντων που βασίζονται σε αυτές τις προηγμένες τεχνολογικές διαδικασίες.

## 2.2. Ο ρόλος της προσθετικής κατασκευής στη βιομηχανία και στο κόσμημα

Η τεχνολογία προσθετικής κατασκευής καλύπτει ένα ευρύ φάσμα βιομηχανικών εφαρμογών κι επομένως δαπανώνται πολλά χρήματα κάθε χρόνο για την έρευνα και την ανάπτυξη των μηχανών της τεχνολογίας αλλά και των υλικών που χρησιμοποιούνται. Αρχικά, οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής είχαν υιοθετηθεί ως τρόπος δημιουργίας πρωτοτύπων και μοντέλων στη διάρκεια σχεδιασμού και παραγωγής καινούργιων προϊόντων. Έπειτα, χρησιμοποιήθηκαν στη ταχεία κατασκευή εργαλείων παραγωγής και στη συνέχεια πραγματοποιήθηκε η παραγωγή αντικειμένων, των οποίων είτε έγινε άμεσα η διανομή στον χρήστη, είτε χρησιμοποιήθηκαν ως εξαρτήματα ενός ολοκληρωμένου προϊόντος. Οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής χρησιμοποιούνται λοιπόν στην αεροδιαστημική βιομηχανία, την αυτοκινητοβιομηχανία, στη βιομηχανία τροφίμων, στην υγειονομική περίθαλψη και ιατρική βιομηχανία, στην αρχιτεκτονική, οικοδομική και κατασκευαστική βιομηχανία, στην βιομηχανία παραγωγής υφάσματος και μόδας και στην βιομηχανία κοσμημάτων. Επιπλέον, συναντάμε πλέον εφαρμογές των τεχνολογιών τρισδιάστατης εκτύπωσης στην εκπαίδευση αλλά και στην τέχνη.



Πίνακας 1 Οι διαφορετικές πτυχές της βιομηχανίας όπου χρησιμοποιείται η τρισδιάστατη εκτύπωση

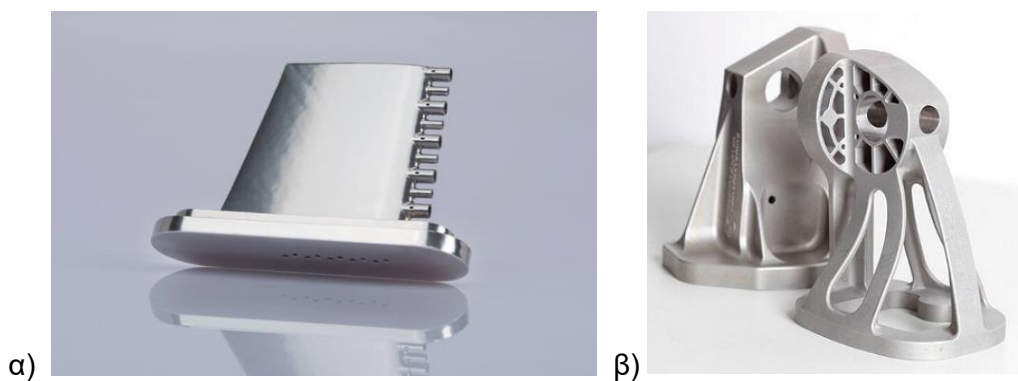
### 2.2.1. Αεροδιαστημική βιομηχανία

Με τους ασύγκριτους ρυθμούς που εξελίσσεται τα τελευταία χρόνια η προσθετική κατασκευή, επιτρέπει την κατασκευή πιο πολύπλοκων και ακριβών εξαρτημάτων στην αεροδιαστημική βιομηχανία, ενώ ταυτόχρονα μειώνει τα χρόνια παραγωγής αλλά και το κόστος κατασκευής.

Η τεχνολογία αυτή βελτιώνει σημαντικά την απόδοση των αεροσκαφών, διότι διασφαλίζει την επίτευξη βέλτιστων και ακριβέστερων σχεδιαστικών λύσεων. Επιπλέον, επιτρέπει τη γρήγορη

διαθεσιμότητα και αξιοπιστία των ανταλλακτικών που χρειάζονται στις επισκευές των αεροσκαφών. Αυτός είναι ένας σημαντικός παράγοντας, δεδομένου ότι οι αεροπορικές εταιρείες χρειάζονται να διατηρούν υψηλά επίπεδα ασφάλειας και επίδοσης. Η αεροδιαστημική βιομηχανία έχει τεράστιες απαιτήσεις ως προς τις αποδόσεις εξαρτημάτων των αεροσκαφών, αφού υποβάλλονται σε ακραίες θερμοκρασίες και χημικά, ενώ χρησιμοποιούνται επαναλαμβανόμενα. Οποιοδήποτε λάθος σε κάποιο μεμονωμένο εξάρτημα είναι πιθανό να οδηγήσει σε πλήρη αστοχία ολόκληρου του συστήματος του αεροσκάφους, το οποίο μπορεί να μεταφέρει κάποιο φορτίο αλλά και επιβάτες, οπότε η αποτυχία στη βιομηχανία αυτή δεν αποτελεί επιλογή.

Οι μέθοδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιούνται για τη κατασκευή μεταλλικών εξαρτημάτων και διάφορων τμημάτων ενός αεροσκάφους οι DMLS, EBM, SLM και SLA. Για τα εξαρτήματα που αποτελούνται από πολυμερή ή σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται οι μέθοδοι SLS, SLA, DLP, FDM και εξώθησης υλικού.



Εικόνα 44 Αεροπορικά εξαρτήματα κατασκευής εταιρίας EOS με μέθοδο DMLS α) Όργανο μέτρησης της ροής αέρα και β) Bracket ανοξειδωτου χάλυβα συμβατικής σχεδίασης (πίσω) και βελτιστοποιημένης τοπολογίας αεροσκάφους Airbus A380

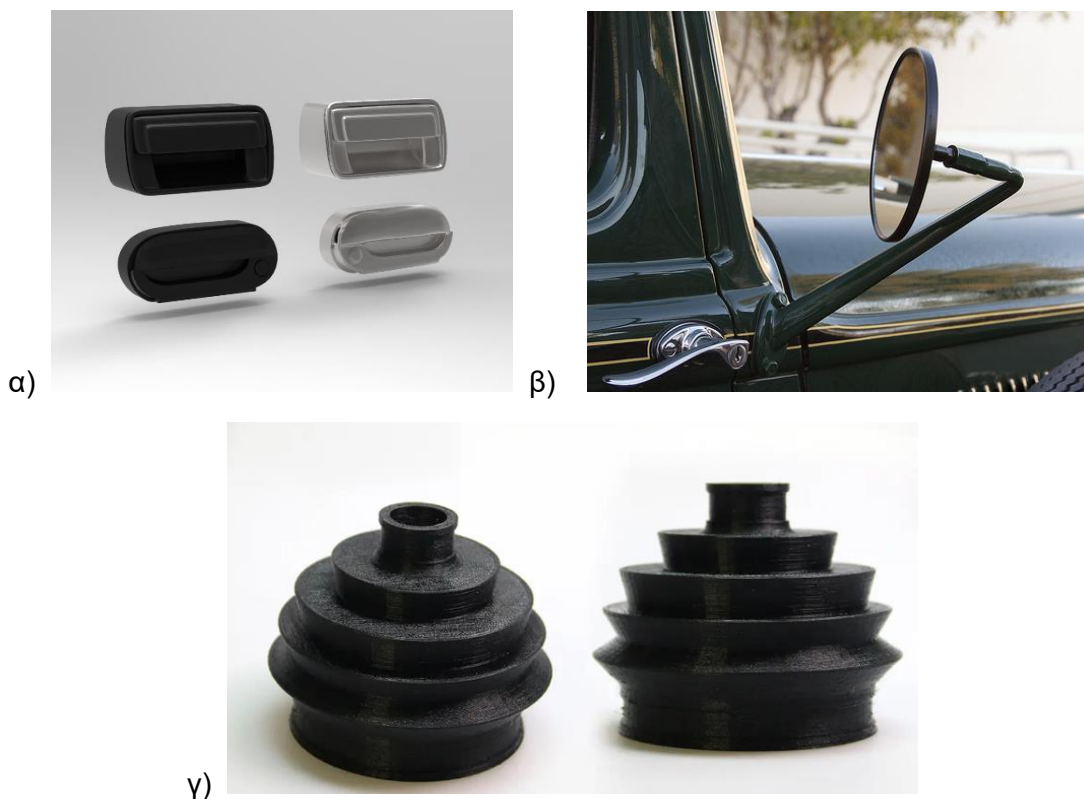
Η προσθετική κατασκευή κατατάσσεται σήμερα ως μία από τις πιο καινοτόμες και πολλά υποσχόμενες μεθόδους κατασκευής στην αεροδιαστημική βιομηχανία. Χάρη στην εκτεταμένη χρήση της από τις αεροπορικές εταιρείες, έχει πλέον γίνει σαφές ότι πρόκειται για μια αξιόπιστη λύση με πλούσιο και ευεργετικό δυναμικό για την ανάπτυξη της βιομηχανίας. Επιπλέον, η χρήση της στην συγκεκριμένη βιομηχανία συνδέεται επίσης με τη βελτίωση της περιβαλλοντικής αειφορίας. Συγκεκριμένα, η προσθετική κατασκευή δίνει τη δυνατότητα να επιτυγχάνεται η κατασκευή εξαρτημάτων με μειωμένες εκπομπές άνθρακα. Αυτό εξαρτάται σε μεγάλο βαθμό από το υλικό που θα χρησιμοποιηθεί, αλλά και από τη διαδικασία παραγωγής.

Η χρήση λοιπόν της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην αεροδιαστημική βιομηχανία επιτρέπει την ταυτόχρονη αύξηση της απόδοσης και της ασφαλείας των αεροσκαφών, όπως επίσης και τη μείωση των αντίστοιχων κοστών. Αυτό αποτελεί ένα σημαντικό οικονομικό πλεονέκτημα για τη βιομηχανία, τις επιχειρήσεις και τους καταναλωτές. Μελλοντικά, η τεχνολογία της προσθετικής κατασκευής θα μπορεί να χρησιμοποιεί διάφορα κράματα για τα εξαρτήματα αεροσκαφών για την εξέλιξη τους ως προς την αντοχή, τη μείωση του βάρους τους και άλλες καλύτερες λύσεις. Γνωστές εταιρείες όπως η SpaceX και η NASA χρησιμοποιούν τη τρισδιάστατη εκτύπωση σε πολύ μεγάλη κλίμακα στη προσπάθειά τους να αναπτύξουν κοινωνίες σε άλλους πλανήτες. Περαιτέρω έρευνα

και ανάπτυξη στον τομέα αυτό αποτελεί σημαντική πρόκληση για τη βιομηχανία και την επιστήμη, καθώς ανοίγει νέους ορίζοντες για τη βελτίωση της αεροναυπηγικής και της αεροπορίας γενικότερα.

### 2.2.2. Αυτοκινητοβιομηχανία

Η χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης στην αυτοκινητοβιομηχανία έχει αρχίσει να διευρύνεται σταδιακά και έχει πολλά πλεονεκτήματα. Ένα από τα κυριότερα είναι, όπως και στην αεροδιαστημική βιομηχανία, η δυνατότητα ταχείας παραγωγής μικρών σειρών ανταλλακτικών, καθώς και πρωτότυπων αντικειμένων. Επιπλέον, η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την παραγωγή αντικειμένων με πολύπλοκες γεωμετρίες και την παραγωγή προϊόντων με υψηλή ακρίβεια και αντοχή. Παραδείγματα ορισμένων ανταλλακτικών που δημιουργούνται συχνά με τη τεχνολογία αυτή είναι τα καλύμματα των καθρεφτών, οι χειρολαβές των πορτών, τα καλύμματα των φωτιστικών σωμάτων και πολλά άλλα.



Εικόνα 45 α) 3D χειρολαβές πορτών αυτοκινήτου, β) 3D εκτυπωμένος Vintage καθρέφτης αυτοκινήτου και γ) φουσούν ημιαξονίου αυτοκινήτου

Οι μέθοδοι προσθετικής κατασκευής που χρησιμοποιούνται για την δημιουργία ανταλλακτικών αυτοκινήτων είναι η Fused Deposition Modeling (FDM) και η Selective Laser Sintering (SLS). Η FDM είναι μια αξιόπιστη και ευέλικτη μέθοδος, καθώς χρησιμοποιείται ευρέως για τη δημιουργία ανταλλακτικών αυτοκινήτων όπως αεροτομές, καπό και αναρτήσεις. Η SLS είναι πιο ακριβή και περίπλοκη διαδικασία από την FDM, αλλά επιτρέπει τη χρήση πιο ανθεκτικών υλικών και τη δημιουργία πιο λεπτομερών αντικειμένων. Η SLS χρησιμοποιείται συχνά για τη δημιουργία

ανταλλακτικών όπως μπουλόνια και βίδες, καθώς και για τη δημιουργία πρωτότυπων ανταλλακτικών όπως εξαρτήματα σταθεροποίησης του κινητήρα.

Για την κατασκευή ανταλλακτικών αυτοκινήτου μπορούν να χρησιμοποιηθούν πολλά διαφορετικά υλικά ανάλογα με τις απαιτήσεις του εκάστοτε ανταλλακτικού. Τα πιο συνηθισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι τα πλαστικά όπως το ABS, το PLA και το PETG, καθώς και τα πολυαμίδια (Nylon) και τα πολυκαρβοξυλικά οξέα (PC). Επίσης, μερικές φορές μπορούν να χρησιμοποιηθούν μέταλλα όπως το αλουμίνιο και ο χάλυβας για τη δημιουργία πιο ανθεκτικών ανταλλακτικών.

Επί του παρόντος η τεχνολογία προσθετικής κατασκευής έχει υιοθετηθεί από πολλαπλές εταιρίες αυτοκινητοβιομηχανίας σε ορισμένα μέρη του κόσμου. Η τεχνολογία συνεχίζει να γίνεται όλο και πιο δημοφιλής και είναι πολύ πιθανό ότι στο μέλλον όλοι οι κατασκευαστές αυτοκινήτων θα βασίζονται ως ένα μεγάλο βαθμό στη τρισδιάστατη εκτύπωση με σκοπό την ενίσχυση της διαδικασίας κατασκευής αυτοκινήτων. Η χρήση της τρισδιάστατης τεχνολογίας στη κατασκευή αντικειμένων μεγάλης κλίμακας έχει μειώσει σημαντικά το μεγάλο κόστος παραγωγής, αφού για το σχεδιασμό τέτοιου είδους ανταλλακτικών απαιτείται μεγάλη ποσότητα οικονομικών και ανθρώπινων πόρων ώστε να ολοκληρωθούν πλήρως τα αυτοκίνητα για το εμπόριο.

Η πρόσληψη ανθρώπινου δυναμικού που αποτελείται από επαγγελματίες με σκοπό τη δημιουργία ενός ενιαίου ανταλλακτικού αυτοκινήτου είναι μια δαπάνη η οποία είναι πλέον δυνατό να αποφευχθεί με τη χρήση της προσθετικής κατασκευής. Πλεονέκτημα επίσης, αποτελεί και η μείωση του χρόνου παραγωγής μιας μονάδας οχήματος, μιας και οι εκτυπωτές τρισδιάστατων αντικειμένων μπορούν να έχουν έτοιμα εξαρτήματα μόλις σε μερικές ώρες. Όλα τα οφέλη αυτά λοιπόν, έχουν μειώσει σημαντικά το κόστος και τις τιμές των εξαρτημάτων που αποτελούν ένα όχημα, με αποτέλεσμα η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης να συμβάλλει ως ένα μεγάλο βαθμό στην κερδοφορία των κατασκευαστών αυτοκινήτων. Ένα πολύ καλό παράδειγμα αποτελεί ένα ηλεκτρικό αυτοκίνητο που κατασκευάστηκε το 2014 με τη χρήση της τεχνολογίας αυτής. Τα μόνα μέρη του αυτοκινήτου που συναρμολογήθηκαν χειροκίνητα ήταν τα ηλεκτρικά, δηλαδή η μπαταρία, οι κινητήρες και η ανάρτηση, κι έτσι ολοκληρώθηκε ένα αυτοκίνητο μόλις σε 44 ώρες.



Εικόνα 46 Strati - Το πρώτο τρισδιάστατα εκτυπωμένο ηλεκτρικό αυτοκίνητο

Τέλος, η προσθετική κατασκευή μπορεί να βοηθήσει στη βελτίωση της βιωσιμότητας της αυτοκινητοβιομηχανίας. Με την προσθετική κατασκευή, οι κατασκευαστές μπορούν να δημιουργούν εξαρτήματα και ανταλλακτικά με μικρότερο υλικό και ελαχιστοποιημένα απόβλητα, μειώνοντας έτσι την επίδραση στο περιβάλλον. Επιπλέον, οι κατασκευαστές μπορούν να



χρησιμοποιούν ανακυκλώσιμα υλικά για τη δημιουργία εξαρτημάτων και ανταλλακτικών, μειώνοντας έτσι τη χρήση νέων πρώτων υλών.

Γενικά, η προσθετική κατασκευή έχει θετική επίδραση στην αυτοκινητοβιομηχανία, βοηθώντας στη βελτίωση της ποιότητας και της αποδοτικότητας της παραγωγής εξαρτημάτων και ανταλλακτικών, μειώνοντας το κόστος και τον χρόνο παραγωγής, βελτιώνοντας τη βιωσιμότητα του κλάδου και επιτρέποντας συγχρόνως στους κατασκευαστές να βελτιώσουν τη σχεδίαση των αυτοκινήτων και να παρουσιάσουν πιο πρωτοποριακά σχέδια και λειτουργίες.

### 2.2.3. Βιομηχανία τροφίμων

Η εφαρμογή της προσθετικής κατασκευής στη βιομηχανία τροφίμων είναι μια αναδυόμενη τεχνολογία με αρκετά πλεονεκτήματα. Ένα από αυτά είναι η δυνατότητα δημιουργίας πολύπλοκων σχεδίων και σχημάτων, που δεν είναι εφικτό να παραχθούν με την παραδοσιακή διαδικασία κατασκευής. Αυτό σημαίνει ότι μπορούν να δημιουργηθούν εξατομικευμένα προϊόντα, που θα έχουν την ικανότητα να ικανοποιούν τις ατομικές ανάγκες του καταναλωτή.

Επιπλέον, η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να βελτιώσει την ακρίβεια και την απόδοση της παραγωγής τροφίμων, δίνοντας τη δυνατότητα να ελέγχονται πιο ακριβώς οι διαστάσεις των τροφίμων που παράγονται και ο όγκος τους. Μέσω της τεχνολογίας δίνεται επίσης η δυνατότητα δημιουργίας πρωτότυπων και πειραματικών μοντέλων. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην ανάπτυξη νέων προϊόντων και συνταγών, χωρίς την ανάγκη να πραγματοποιηθούν πειράματα με πραγματικά τρόφιμα, που μπορεί να είναι ακριβά ή δύσκολα στη διαχείριση.

Η προσθετική κατασκευή μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία εξατομικευμένων συσκευασιών για τα τρόφιμα, που θα βελτιώσουν την αποθήκευση και την προστασία τους. Αυτό μπορεί να φέρει ως αποτέλεσμα τη μείωση των απωλειών και της σπατάλης τροφίμων. Ωστόσο, η χρήση της προσθετικής κατασκευής στη βιομηχανία τροφίμων δεν είναι ακόμα ευρέως διαδεδομένη, λόγω του μεγάλου κόστους των συσκευών εκτύπωσης και της ποικιλίας των υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκτύπωση τροφίμων.

Υπάρχουν διάφορες μέθοδοι της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιούνται στη βιομηχανία τροφίμων, όπως η Fused Deposition Modeling (FDM), η Selective Laser Sintering (SLS), η Binder Jetting και η Inkjet Printing.

Η μέθοδος FDM είναι η πιο δημοφιλής μέθοδος εκτύπωσης τροφίμων και χρησιμοποιείται ευρέως για την εκτύπωση σοκολάτας, μαρμελάδας και άλλων τροφίμων. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, ένα προθερμασμένο υλικό (όπως σοκολάτα ή ζαχαρωτά) κατατίθεται στο εκτυπωτικό κεφάλι, το οποίο κινείται στην επιθυμητή κατεύθυνση για να δημιουργήσει το αντικείμενο στρώμα-προς-στρώμα. Μετά τον πλήρη σχηματισμό του αντικειμένου, αφαιρείται από το επίπεδο εκτύπωσης.

Η μέθοδος SLS χρησιμοποιείται για την εκτύπωση τροφίμων που χρειάζονται πιο ανθεκτικά υλικά, όπως παγωτό ή τυρί. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, ένα υλικό σε μορφή σκόνης (όπως παγωτό ή τυρί) εκτίθεται σε ένα laser που το συγκολλά σε στρώματα μέχρι να σχηματιστεί το επιθυμητό αντικείμενο.

Η μέθοδος Binder Jetting χρησιμοποιείται κυρίως για την εκτύπωση προϊόντων από συνδυασμό υγρών συγκροτητών και υλικών σε μορφή σκόνης με όπως άμυλο, ζάχαρη ή πρωτεΐνη. Κατά τη

διάρκεια της διαδικασίας, ένα υλικό υγρής μορφής συγκολλά τη σκόνη ώστε να δημιουργήσει ένα τρισδιάστατο αντικείμενο.

Η μέθοδος Inkjet Printing χρησιμοποιείται κυρίως για την εκτύπωση μοτίβων ή γραφικών σχεδίων σε τρόφιμα, όπως σε κέικ ή μπισκότα. Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας, μια ειδική μελάνη περνά από μια σειρά από μικροσκοπικές ακίδες και εκτυπώνει το σχέδιο στην επιφάνεια του τροφίμου.

Ως προς τα υλικά, η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης στη βιομηχανία τροφίμων χρησιμοποιεί μια ποικιλία υλικών, όπως ζαχαρόπαστα, σοκολάτα, παγωτό, τυρί, φρούτα και λαχανικά. Αναπτύσσονται διαρκώς νέα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην τρισδιάστατη εκτύπωση, προκειμένου να διευρυνθεί η γκάμα των τροφίμων που μπορούν να εκτυπωθούν. Μερικά από τα πιο πρόσφατα υλικά που έχουν αναπτυχθεί είναι οι κρέμες από φυτικές πρωτεΐνες και οι γεύσεις από φρούτα και λαχανικά.

Υπάρχουν ωστόσο κάποια προβλήματα ασφάλειας που πρέπει να επιλυθούν πριν από την ευρεία χρήση της τρισδιάστατης εκτύπωσης στη βιομηχανία τροφίμων. Πιο συγκεκριμένα, πρέπει να εξασφαλιστεί ότι τα υλικά που χρησιμοποιούνται είναι ασφαλή για την ανθρώπινη κατανάλωση και ότι οι διαδικασίες εκτύπωσης είναι υγιεινές και ασφαλείς.

Παρόλα αυτά, η προσθετική κατασκευή αναμένεται να εξελιχθεί και να επεκταθεί στη βιομηχανία τροφίμων στο μέλλον, ενισχύοντας την παραγωγή τροφίμων και βελτιώνοντας την ποιότητα και την ασφάλεια των τροφίμων που καταναλώνουμε

	Extrusion based printing	Selective laser sintering	Binder jetting	Inkjet printing
Διαθέσιμο υλικό	Σοκολάτα, ζύμη, τυρί, πουρές κρέατος	Υλικά σε σκόνη, π.χ. ζάχαρη, σοκολάτα κλπ.	Υγρό συνδετικό υλικό και υλικά σε σκόνη, π.χ. άμυλο, ζάχαρη, πρωτεΐνες	Υλικό χαμηλού ιξώδους, π.χ. σάλτσα πίτσας
Ιδιότητες υλικού	Ρεολογικές ιδιότητες, μηχανική αντοχή	Θερμοκρασία τήξης, ρευστότητα, μέγεθος σωματιδίων, διαβρεξιμότητα	Ρευστότητα, μέγεθος σωματιδίων, διαβρεξιμότητα και ιξώδες και επιφανειακή τάση των συνδετικών ουσιών	Συμβατότητα, ρεολογικές ιδιότητες μελανιού, επιφανειακές ιδιότητες
Παράγοντες επεξεργασίας	Ύψος εκτύπωσης, διάμετρος ακροφυσίου, ρυθμός εκτύπωσης	Τύποι λέιζερ, ισχύς λέιζερ, πυκνότητα ενέργειας λέιζερ, ταχύτητα σάρωσης, διάμετρος κηλίδας λέιζερ, πάχος λέιζερ	Τύποι κεφαλών, ρυθμός εκτύπωσης, διάμετρος ακροφυσίου, πάχος στρώματος	Θερμοκρασία, ρυθμός εκτύπωσης, διάμετρος ακροφυσίου, ύψος εκτύπωσης
Μετ' επεξεργασία	Πρόσθετο, έλεγχος συνταγής	Αφαίρεση των πλεοναζόντων μερών	Θέρμανση, ψήσιμο, επιφανειακή επίστρωση, αφαίρεση πλεοναζόντων μερών	-
Πλεονεκτήματα	Περισσότερες επιλογές στο υλικό, απλή συσκευή	Σύνθετη τρισδιάστατη κατασκευή τροφίμων, ποικίλες υφές	Σύνθετη τρισδιάστατη κατασκευή τροφίμων, πλήρες χρωματικό δυναμικό, ποικίλες γεύσεις και υφές	Περισσότερες επιλογές υλικών, καλύτερη ποιότητα εκτύπωσης, γρήγορη κατασκευή
Περιορισμοί	Αδυναμία κατασκευής πολύπλοκων σχεδίων τροφίμων, δύσκολη συγκράτηση τρισδιάστατων δομών στη μεταγενέστερη επεξεργασία	Περιορισμένα υλικά, λιγότερο θρεπτικά προϊόντα	Περιορισμένα υλικά, λιγότερο θρεπτικά προϊόντα	Απλός σχεδιασμός τροφίμων, μόνο για επιφανειακή πλήρωση ή διακόσμηση εικόνας



Εικόνα 13 α) Natural machines Co., <https://www.naturalmachines.com/> β) TNO (Lan, 2015), <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.018>, γ) 3D Systems Co., <https://www.3dsystems.com/culinary/gallery>, δ) Foodjet Printing Systems, <http://www.foodjet.com/>

## 2.2.4. Υγειονομική περίθαλψη και ιατρική βιομηχανία

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει αρχίσει να χρησιμοποιείται στη βιομηχανία υγειονομικής περίθαλψης και ιατρικής για διάφορους σκοπούς, όπως η κατασκευή προσαρμοσμένων ιατρικών ειδών και η δημιουργία πρωτοτύπων για την ανάπτυξη νέων ιατρικών συσκευών και εξοπλισμού. Η τεχνολογία έχει χρησιμοποιηθεί σε πάρα πολλούς τομείς της ιατρικής περίθαλψης όπως η καρδιοθωρακική χειρουργική, η καρδιολογία, η νευροχειρουργική, η οφθαλμολογία, η γαστρεντερολογία, η ωτορινολαρυγγολογία, η στοματική και γναθοπροσωπική χειρουργική, η πλαστική χειρουργική, η αγγειοχειρουργική, η ορθοπεδική χειρουργική, η ποδολογία, η χειρουργική μεταμόσχευσης, η πνευμονολογία, η ακτινολογική ογκολογία και η ουρολογία. Οι δοκιμές της τεχνολογίας βέβαια δε περιορίζονται μόνο στους συγκεκριμένους τομείς.

Κάποια παραδείγματα εφαρμογών της προσθετικής κατασκευής στην ιατρική μπορεί να περιλαμβάνουν:

- i. Εξατομικευμένος προεγχειρητικός σχεδιασμός κατά τον οποίο ένα 3D μοντέλο της ανατομίας του ασθενή προς επέμβαση θα βοηθήσει τον χειρουργό να βρει τη καταλληλότερη προσέγγιση για την εγχείρηση ώστε να μειώσει το χρόνο στο χειρουργείο και να έχει όσο το δυνατόν λιγότερες επιπλοκές στη διάρκεια.
- ii. Προσαρμοσμένα χειρουργικά εργαλεία και τεχνητά μέλη για τα οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τρισδιάστατη εκτύπωση με σκοπό τη δημιουργία προσαρμοσμένων εμφυτευμάτων για την αντικατάσταση κατεστραμμένων οστών ή τη δημιουργία εργαλείων για την επαναδόμηση οστών που έχουν υποστεί καταστροφή από τραυματισμό ή ασθένεια. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία πρωτοτύπων και τη δοκιμή νέων ιατρικών συσκευών και εξοπλισμού, καθιστώντας δυνατή την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων για τη βελτίωση της υγείας και της περίθαλψης των ασθενών.
- iii. Μελέτη οστεοπορωτικών καταστάσεων, δηλαδή έπειτα από κάποια φαρμακολογική θεραπεία, η τεχνολογία μπορεί να χρησιμοποιηθεί ώστε να βεβαιωθούν τα αποτελέσματα που επιτυγχάνονται και να γίνει μια ακριβής εκτίμηση της κατάστασης των οστών του ασθενούς για να πάρει ο γιατρός τη κατάλληλη απόφαση για τη χειρουργική θεραπεία.
- iv. Δοκιμές διαφορετικών τρόπων θεραπείας σε συγκεκριμένες περιπτώσεις. Η προσθετική κατασκευή δίνει τη δυνατότητα να παράγουμε πρωτότυπα νέων σχεδιαστικών ιδεών ή βελτιώσεων σε ήδη υπάρχουσες θεραπείες.
- v. Βελτίωση της ιατρικής εκπαίδευσης για την οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί η προσθετική κατασκευή δημιουργώντας προσαρμοσμένα μοντέλα ανθρώπινων οργάνων

και συστημάτων, τα οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την εκπαίδευση και την κατάρτιση των ιατρών αλλά και την ανάπτυξη καινοτόμων τεχνολογιών και θεραπειών μέσω της εξάσκησης χειρουργικών επεμβάσεων και της δοκιμής νέων τεχνικών και διαδικασιών.

- vi. Πληροφόρηση των ασθενών, για την οποία μπορούν να χρησιμοποιηθούν 3D μοντέλα ανατομίας ώστε να καταφέρει ένας γιατρός να εξηγήσει ποιο είναι το πρόβλημα σε κάποιον που δε γνωρίζει ιατρικές ορολογίες και δυσκολεύεται να βγάλει συμπεράσματα από απεικονιστικές αναφορές.
- vii. Αποθήκευση των 3D μοντέλων ανατομίας σπανίων ιατρικών περιπτώσεων για εκπαιδευτικούς σκοπούς. Τα μοντέλα που χρησιμοποιούνται στην παραπάνω εφαρμογή μπορούν να χρησιμοποιηθούν μελλοντικά για την εκπαίδευση χειρουργών σε συγκεκριμένες και πιο ασυνήθιστες καταστάσεις.
- viii. Εξέλιξη της ιατροδικαστικής πρακτικής. Για παράδειγμα στη διάρκεια μιας δίκης μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα 3D μοντέλο για να εξηγηθεί κάποια ανατομική ανωμαλία ώστε να τη κατανοήσουν ευκολότερα οι ένορκοι.
- ix. Βιοεκτύπωση, η οποία χρησιμοποιείται για τη δημιουργία 3D αντικειμένων από βιολογικά υλικά, όπως κύτταρα και βιοϋλικά. Σημαντικές εφαρμογές της αποτελούν η δημιουργία ιστών και οργάνων από κύτταρα του ασθενούς. Αυτό μπορεί να οδηγήσει στη δημιουργία ιστών όπως το δέρμα, τον μυός και ακόμα και τα οργανικά συστήματα, όπως το καρδιακό σύστημα και τα νεφρά.
- x. Δημιουργία προσαρμοσμένων φαρμάκων, για την οποία μπορεί να χρησιμοποιηθεί η τρισδιάστατη εκτύπωση, τα οποία μπορούν να προσαρμοστούν στις ανάγκες του κάθε ασθενούς. Αυτό μπορεί να βοηθήσει στην αποφυγή δυσάρεστων παρενεργειών και στη βελτίωση της αποτελεσματικότητας της θεραπείας.
- xi. Δημιουργία προσαρμοσμένων συνθετικών οργάνων, κάτι που μπορεί να μειώσει τις λίστες αναμονής ασθενών που χρειάζονται μεταμοσχεύσεις και μελλοντικά θα μπορούσαν τέτοια 3D μοντέλα να χρησιμοποιούνται για δοκιμές φαρμάκων ώστε να αποφεύγονται οι δοκιμές σε ζώα.

(Aimar, Palermo et al. 2019)



Εικόνα 14 Μοντέλο CAD ενός εμφυτεύματος ισχίου τιτανίου, κατασκευασμένο με τη χρήση SLM

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει αποδειχθεί ότι είναι ένας πολλά υποσχόμενος τομέας στη βιομηχανία υγειονομικής περίθαλψης και ιατρικής και έχει ανοίξει τον δρόμο για νέες και καινοτόμες μεθόδους αντιμετώπισης προβλημάτων υγείας. Οι τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης βελτιώνονται συνεχώς και οι προοπτικές είναι ότι θα συνεχίσουν να εξελίσσονται και να βελτιώνονται στο μέλλον οδηγώντας σε θεαματικές αλλαγές στον τομέα. Με τη βοήθεια της τρισδιάστατης εκτύπωσης, οι ιατροί μπορούν να παράσχουν πιο ακριβείς και αποτελεσματικές θεραπείες στους ασθενείς τους.

Παρόλα αυτά, είναι σημαντικό να τονιστεί ότι η τρισδιάστατη εκτύπωση δεν αντικαθιστά τις παραδοσιακές μεθόδους θεραπείας και δεν μπορεί να εφαρμοστεί σε όλα τα προβλήματα υγείας. Η επιτυχία της εξαρτάται από την κατανόηση των περιορισμών της και την ικανότητα να τη χρησιμοποιήσουμε σωστά και αποτελεσματικά.

#### 2.2.5. Αρχιτεκτονική, οικοδομική και κατασκευαστική βιομηχανία

Στην αρχιτεκτονική και οικοδομική βιομηχανία, η τρισδιάστατη εκτύπωση χρησιμοποιείται για τη δημιουργία μοντέλων κτιρίων και άλλων δομικών στοιχείων.

Ένα από τα κύρια πλεονεκτήματα της προσθετικής κατασκευής στην αρχιτεκτονική είναι η δυνατότητα δημιουργίας γρήγορων και ακριβών μοντέλων. Πριν από την εισαγωγή της τρισδιάστατης εκτύπωσης, οι αρχιτέκτονες χρησιμοποιούσαν μεθόδους, όπως τα μοντέλα από χαρτόνι ή από ξύλο για την κατασκευή μιας εικόνας του τελικού σχεδίου. Ωστόσο, αυτές οι μέθοδοι ήταν χρονοβόρες και συχνά ακριβές, καθώς απαιτούσαν πολλά χέρια και επαναλαμβανόμενη εργασία.

Με τη προσθετική κατασκευή λοιπόν, οι αρχιτέκτονες μπορούν να δημιουργήσουν μια ακριβή αντιγραφή του σχεδίου τους σε ένα ψηφιακό περιβάλλον και στη συνέχεια να το μετατρέψουν σε

ένα φυσικό μοντέλο με τη χρήση μιας τρισδιάστατης εκτυπωτικής μηχανής. Αυτό επιτρέπει στους αρχιτέκτονες να παράγουν αντικείμενα πιο γρήγορα και με μεγαλύτερη ακρίβεια, ενώ επίσης επιτρέπει την επεξεργασία των σχεδίων και των προσαρμογών τους με μεγαλύτερη ευκολία.



*Λεπτομέρειες σύνδεσης της τρισδιάστατης εκτυπωμένης βίλας από την WinSun*

Επιπλέον, η τεχνολογία αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία εξαρτημάτων και μερών κτιρίων που μπορεί να είναι δύσκολο ή ακόμη και αδύνατο να κατασκευαστούν με παραδοσιακές μεθόδους. Για παράδειγμα, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την εκτύπωση προσαρμοσμένων θυρών ή παραθύρων, ή ακόμη και για τη δημιουργία ειδικών στοιχείων διακόσμησης.

Η προσθετική κατασκευή μπορεί να χρησιμοποιηθεί επίσης για τη δημιουργία μοναδικών αρχιτεκτονικών σχεδίων και δομικών στοιχείων, επιτρέποντας στους αρχιτέκτονες και τους σχεδιαστές να δημιουργήσουν πιο φιλόδοξα και δύσκολα έργα, με λεπτομερείς και πολύπλοκες δομές που είναι πιο ακριβείς από ό,τι μπορούν να παραχθούν με παραδοσιακούς τρόπους κατασκευής.

Στην αρχιτεκτονική και οικοδομική βιομηχανία χρησιμοποιούνται πολλές μέθοδοι τρισδιάστατης εκτύπωσης ανάλογα με τη κλίμακα του επιθυμητού αντικείμενου αλλά οι δύο κύριες είναι: η Fused Deposition Modeling (FDM) και η Selective Laser Sintering (SLS).

Η μέθοδος FDM χρησιμοποιεί θερμικά μαλακά υλικά, όπως πολυμερή πλαστικά και γυαλί, τα οποία θερμαίνονται και στη συνέχεια επικαλύπτονται στρώση πάνω σε στρώση, σχηματίζοντας ένα τρισδιάστατο αντικείμενο.

Η SLS διαθέτει laser για να σηγημάτισει υλικά σε μορφή πούδρας, όπως πολυαμίδιο, πολυανθρακικό και μέταλλο, σε επίπεδο στρώματος, κατασκευάζοντας μικρά κομμάτια που αργότερα συνδέονται μαζί δημιουργώντας ένα τρισδιάστατο αντικείμενο. Οι δύο αυτές μέθοδοι χρησιμοποιούνται κυρίως για αντικείμενα μικρής κλίμακας. (Žujović, Obradović et al. 2022)

Στην αρχιτεκτονική και οικοδομική βιομηχανία, τα πιο συνηθισμένα υλικά που χρησιμοποιούνται στην προσθετική κατασκευή είναι τα πολυμερή πλαστικά και η πούδρα μετάλλου. Ωστόσο, η τρισδιάστατη εκτύπωση με υλικά όπως τσιμέντο και κεραμικά αναπτύσσεται επίσης για εφαρμογές στην αρχιτεκτονική. Τα τρισδιάστατα εκτυπωμένα αντικείμενα που κατασκευάζονται μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή μικρών μοντέλων maquettes στη σχεδίαση αρχιτεκτόνων,

αλλά και για τη δημιουργία πρωτοτύπων κτιρίων ή μερών τους, κουφωμάτων και επίπλων αντικαθιστώντας έτσι την παραδοσιακή τεχνολογία κατασκευής κτιρίων.

## 2.2.6. Βιομηχανία παραγωγής υφάσματος και μόδας

Η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει φέρει επανάσταση στον τρόπο με τον οποίο οι σχεδιαστές μόδας δημιουργούν ενδύματα, αξεσουάρ, ακόμη και υποδήματα. Έχει γίνει όλο και πιο δημοφιλής, καθώς ορισμένοι σχεδιαστές προσπαθούν να κατασκευάσουν ενδύματα που μπορούν να φορεθούν με τη χρήση της προσθετικής κατασκευής. Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει επίσης εμφανιστεί σε επιδείξεις μόδας, όπως είναι για παράδειγμα πολλά σύνολα της ολλανδής σχεδιάστριας μόδας Iris Van Herpen, κάποια από τα οποία παρουσιάζονται στην **Εικόνα 15**.



*Τρισδιάστατα εκτυπωμένα σύνολα της Iris Van Herpen*

Υπάρχει μεγάλη ποικιλία 3D εκτυπωτών οι οποίοι είναι διαθέσιμοι σε εργαστηριακή κλίμακα με την πλειονότητα αυτών να είναι τρισδιάστατοι εκτυπωτές που έχουν μικρό μέγεθος και μικρή επιφάνεια εκτύπωσης, και σε εμπορική χρήση, με εκτυπωτές για εφαρμογές παραγωγής μεγάλης κλίμακας. Για την κατασκευή τρισδιάστατων εκτυπωμένων ενδυμάτων χρησιμοποιούνται πιο συχνά οι τεχνολογίες FDM, SLS και Polyjet, λόγω της ευελιξίας που παρέχεται στα εκτυπωμένα αντικείμενα από τα υλικά που χρησιμοποιούνται στις μεθόδους αυτές. Η ευελιξία σχετίζεται άμεσα με την άνεση του ενδύματος οπότε αποτελεί μία από τις σημαντικότερες πτυχές του. Όσον αφορά τα υλικά, χρησιμοποιούνται κυρίως τα πολυμερή και τα σύνθετα λόγω του ότι είναι ελαφρύτερα και πιο εύκαμπτα, επιτρέποντας έτσι ευκολία στη κίνηση.

Μια ευρεία συλλογή υλικών στη μορφή νήματος, που χρησιμοποιούνται ως πρώτη ύλη στην τρισδιάστατη εκτύπωση, είναι διαθέσιμη για εμπορική χρήση και κατασκευή. Το ABS είναι υλικό

χαμηλού κόστους το οποίο είναι κατάλληλο για την εκτύπωση ανθεκτικών προϊόντων που εκτίθενται σε υψηλές θερμοκρασίες. Το PLA χρησιμοποιείται σε εφαρμογές που απαιτούν ακρίβεια διαστάσεων, ενώ το PETG είναι ανθεκτικό στο νερό και παρέχει στο εκτυπωμένο αντικείμενο ένα πιο λείο φινίρισμα επιφάνειας. Το νήμα με ίνες άνθρακα βοηθά σε εκτυπωμένα προϊόντα που απαιτούν υψηλή αντοχή και ακαμψία για τις απαιτήσεις της τελικής χρήσης. Το πολυπροπυλένιο από την άλλη είναι εξαιρετικό για εφαρμογές υψηλών κύκλων και χαμηλής δύναμης, λόγω της αντοχής του στην κόπωση και των ημι-ευέλικτων και ελαφρών χαρακτηριστικών του. Το PVA που αποτελεί υδατοδιαλυτό υλικό, χρησιμοποιείται ως υλικό στήριξης σε πιο σύνθετες εκτυπώσεις. Για την εκτύπωση προϊόντων που τεντώνονται και κάμπτονται εύκολα λόγω της υψηλής ελαστικότητας της πρώτης ύλης, χρησιμοποιούνται τα TPE και TPU, ενώ μια πρόσφατη εξέλιξη δείχνει ότι τα νήματα έχουν πρόσθετα χαρακτηριστικά, δίνοντας μεγαλύτερη ευελιξία στα εκτυπωμένα αντικείμενα. Εξακολουθεί να μην παρέχει τις ίδιες ιδιότητες με το μεταξωτό νήμα, αλλά επιτρέπει στο τελικό ένδυμα να κινείται πολύ πιο εύκολα.

Στη μελέτη που πραγματοποιήθηκε από τους Danmei Sun και Agita Valtasa [41] δοκιμάστηκαν διαφορετικοί τύποι τρισδιάστατων εκτυπωτών για την κατασκευή σχεδιασμένων κομματιών τα οποία θα συγκολληθούν με ύφασμα για την κατασκευή ενός πλήρους ενδύματος μόδας. Έπειτα από πολλές δοκιμές και αρκετές λανθασμένες διαδικασίες, διαπιστώθηκε ότι ο καλύτερος διαθέσιμος εκτυπωτής που ανταποκρινόταν στις απαιτήσεις του τελικού προϊόντος ήταν ο MakerBot Replicator 2.0, ο οποίος διαθέτει ενσωματωμένο λογισμικό τεμαχισμού που ονομάζεται MakerBot Make ware.

Όσον αφορά τα πλεονεκτήματα της προσθετικής κατασκευής στη βιομηχανία του υφάσματος και της μόδας, ένα από τα σημαντικότερα είναι η δυνατότητα δημιουργίας ξεχωριστών και εξατομικευμένων σχεδίων. Οι σχεδιαστές μπορούν να χρησιμοποιούν λογισμικό για να προσαρμόζουν τα ρούχα στις συγκεκριμένες μετρήσεις και προτιμήσεις ενός ατόμου, με αποτέλεσμα την τέλεια εφαρμογή και το μοναδικό στυλ. Επίσης, η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει στους σχεδιαστές μόδας να παράγουν γρήγορα πρωτότυπα και δείγματα, επιτρέποντας συγχρόνως τη δημιουργία περίπλοκων και πολύπλοκων γεωμετριών. Εξαλείφει την ανάγκη για παραδοσιακές διαδικασίες κατασκευής, οι οποίες μπορεί να είναι χρονοβόρες. Αυτή η δυνατότητα ταχείας πρωτοτυποποίησης επιτρέπει στους σχεδιαστές να πειραματιστούν με νέα σχέδια και να υλοποιήσουν τις ιδέες τους γρηγορότερα.

Η βιομηχανία της μόδας είναι διαβόητη για τις περιβαλλοντικές της επιπτώσεις. Η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει μια πιο βιώσιμη εναλλακτική λύση ελαχιστοποιώντας τα απόβλητα. Η παραδοσιακή κατασκευή παράγει συχνά σημαντικά υφασμάτινα απόβλητα, ενώ η τρισδιάστατη εκτύπωση παράγει ελάχιστα απορρίμματα. Επιπλέον, η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την παραγωγή κατά παραγγελία, μειώνοντας την υπερπαραγωγή και τα πλεονάζοντα αποθέματα.

Εν κατακλείδι, η τρισδιάστατη εκτύπωση έχει εισαγάγει πρωτοποριακές ευκαιρίες στη βιομηχανία της μόδας. Από την εξατομικευση και την ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων έως τη βιωσιμότητα και τα καινοτόμα σχέδια, συνεχίζει να διευρύνει τα όρια της παραδοσιακής κατασκευής μόδας και προσφέρει νέες δυνατότητες δημιουργικότητας και έκφρασης.



### 2.2.7. Βιομηχανία κοσμήματος

Η κατασκευή κοσμημάτων με τον παραδοσιακό τρόπο αποτελεί λεπτομερή και χρονοβόρα διαδικασία. Ένα χειροποίητο κόσμημα απαιτεί εξαιρετική δεξιοτεχνία και χειροτεχνία και πάντα θα υπάρχει κάτι μοναδικό σε αυτά. Παρόλα αυτά χρειάζεται πολύς χρόνος, υπομονή και δεξιά για τη δημιουργία ενός κοσμήματος εντελώς με το χέρι. Η προσθετική κατασκευή δίνει τη δυνατότητα στον καθένα να παράγει μοναδικά ποιοτικά κοσμήματα και δίνει στους επαγγελματίες κοσμηματοποιούς μια νέα λύση για την παραγωγή κοσμημάτων που είναι φθηνότερη, ευκολότερη και ταχύτερη. Η τεχνολογία αυτή έχει φέρει μεγάλες αλλαγές στην αγορά κοσμήματος και εμπνέει εταιρίες κοσμημάτων ώστε να προσφέρουν προσιτές και προσαρμόσιμες κατασκευές.

Πολλές φορές, όταν συζητάμε για την εκτύπωση 3D κοσμημάτων, αναφερόμαστε στην τρισδιάστατη εκτύπωση ενός κέρινου μοντέλου, το οποίο στη συνέχεια χρησιμοποιείται για τη δημιουργία ενός καλουπιού, παρόμοια με την παραδοσιακή μέθοδο. Παρά τη δυνατότητα για άμεση τρισδιάστατη εκτύπωση σε πολύτιμα μέταλλα, η πλειονότητα των κοσμηματοποιών χρησιμοποιεί τρισδιάστατους εκτυπωτές για να δημιουργήσει μοντέλα από τα ψηφιακά τους σχέδια, αντικαθιστώντας τον χρόνο που απαιτείται για το σκάλισμα με το χέρι και την αντίστοιχη δεξιά. Υπάρχει δυνατότητα εκτύπωσης έως και δώδεκα μοντέλων σε χυτό κερί ταυτόχρονα, ανάλογα με το μέγεθος του τρισδιάστατου εκτυπωτή.

Σημαντικό πλεονέκτημα της τρισδιάστατης εκτύπωσης κοσμήματος αποτελεί η κατασκευή ενός τελικού προϊόντος το οποίο θα πληρεί ακριβώς τις απαιτήσεις του κατασκευαστή αλλά και του πελάτη. Αυτό είναι ιδιαίτερα χρήσιμο όταν γίνεται παραγωγή πολλαπλών εκδόσεων του ίδιου σχεδίου.

Η Lace, είναι μια εταιρία κοσμημάτων που εκμεταλλεύεται το πλεονέκτημα αυτό. Έχει ξεκινήσει ένα καινούργιο πρόγραμμα δειγματοληψίας κοσμημάτων, ώστε να μπορούν οι πελάτες να δοκιμάσουν τρισδιάστατα εκτυπωμένες εκδόσεις σχεδίων κοσμημάτων προτού αγοράσουν κάτι. Με αυτό το τρόπο η εταιρία ελπίζει να μειώσει τον αριθμό επιστροφών και αλλαγών, μειώνοντας έτσι και τα απόβλητα που τις συνοδεύουν.

Η Lace χρησιμοποιεί το μηχάνημα Fuse από την εταιρία κατασκευής τρισδιάστατων εκτυπωτών Formlabs, το οποίο χρησιμοποιεί μια δέσμη λέιζερ ώστε να συγχωνεύσει μια σκόνη νάιλον σε λεπτομερή σχήματα, τα οποία θα είναι αρκετά ανθεκτικά ως δείγματα προϊόντων.



Εικόνα 16 Σετ τρισδιάστατα εκτυπωμένων δειγμάτων προϊόντων της "Lace"

Δύο άλλες νέες εταιρίες που χρησιμοποιούν τα οφέλη της προσθετικής κατασκευής ως πυρήνα του επιχειρηματικού τους μοντέλου, είναι η Gildform και η Cloud Factory. Σκοπός τους είναι να προσφέρουν στους πελάτες τους την ευκαιρία να δημιουργήσουν το δικό τους κόσμημα με οικονομικό τρόπο. Βοηθούν τους πελάτες τους να πραγματοποιήσουν τα σχέδια τους και στη συνέχεια τα παράγουν με προσθετική κατασκευή. Η Gildform παίρνει το τελικό σχέδιο και εκτυπώνει τρισδιάστατα ένα κέρινο μοντέλο για χύτευση. Η Cloud Factory ακολουθεί μια διαφορετική προσέγγιση, εκτυπώνοντας απευθείας το σχέδιό του πελάτη σε 3D από ανακυκλωμένο ασήμι στερλίνας.



<https://www.cloudfactory.jewelry/technology>

Η απευθείας προσθετική κατασκευή σε μέταλλα έχει τα δικά της πλεονεκτήματα. Συγκριτικά με τη χύτευση από ένα συγκεκριμένο μοντέλο, η προσθετική κατασκευή επιτρέπει στους κοσμηματοποιούς να δημιουργούν κάθε φορά αντικείμενα που είναι όλα μοναδικά. Ολόκληρο το στάδιο δημιουργίας ενός κέρινου καλουπιού αφαιρείται από τη διαδικασία κατασκευής του κοσμημάτος με αποτέλεσμα την εξοικονόμηση χρόνου.

Το πρώτο βήμα στη προσθετική κατασκευή κοσμημάτων είναι ο ψηφιακός σχεδιασμός του. Με τη χρήση ενός λογισμικού σχεδιασμού στον υπολογιστή (CAD), δημιουργείται η ιδέα του πελάτη. Είναι επίσης δυνατή η επεξεργασία ενός ήδη υπάρχοντος σχεδίου, κάτι που μπορεί να φανεί πιο χρήσιμο σε όσους δεν θέλουν να σχεδιάσουν ένα κόσμημα από το μηδέν. Υπάρχουν πολλά αποθετήρια τρισδιάστατων σχεδίων από τα οποία μπορεί κάποιος να διαλέξει. Εκτός αυτού, υπάρχει και η επιλογή της τρισδιάστατης σάρωσης ενός αντικειμένου, ώστε να γίνει παραγωγή ενός αντίγραφου. Υπάρχει μεγάλη ποικιλία τρισδιάστατων σαρωτών, αλλά και εφαρμογών τρισδιάστατης σάρωσης που χρησιμοποιούν μια κινητή συσκευή ως σαρωτή. Το σαρωμένο αρχείο ανεβαίνει έπειτα στο λογισμικό CAD για όση επεξεργασία χρειάζεται ή παραδίδεται σε μια εταιρία κοσμημάτων ώστε να προχωρήσει στη παραγωγή.

Το customability, δηλαδή η δυνατότητα κατασκευής προσαρμοσμένων προϊόντων και η ταχεία κατασκευή τους αποτέλεσαν 2 βασικούς παράγοντες χρήσης της τεχνολογίας αυτής στο χώρο

κατασκευής κοσμημάτων παρά τους περιορισμούς που αφορούν το μέγεθος και τα υλικά, όπως θα δούμε παρακάτω στην επόμενη ενότητα.

### Στυλ τρισδιάστατα εκτυπωμένων κοσμημάτων

Με βάση την εταιρία 3D Systems, τα διαφορετικά στυλ των τρισδιάστατα εκτυπωμένων κοσμημάτων χωρίζονται ως εξής:

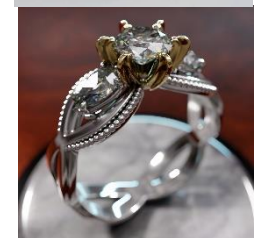
**Μέσης Ανατολής / Αραβικό:** Οι λεπτομέρειες σε αυτού του στυλ τα κοσμήματα είναι ζωτικής σημασίας λόγω των χαρακτηριστικών τους, όπως είναι τα λεπτά σύρματα, οι στριφτοί σωλήνες και οι περίτεχνες επιφάνειες.



**Σύντηξης:** Τα εξαιρετικά λεπτομερή αυτά κομμάτια χρειάζονται την ικανότητα παραγωγής κούφιων, ελαφρών φιλιγκράν και λεπτών συρμάτων πλεγμάτων. Για να επιτευχθούν τα αποτελέσματα αυτά, παράγονται μοντέλα από χυτό πλαστικό ή 100% κερί.



**Τοποθέτηση λίθων:** Τα σχέδια μονών αλλά και πολλαπλών λίθων απαιτούν ακριβή μοτίβα και ποιοτικότερο φινίρισμα επιφάνειας. Από τη λειτουργική πρωτοτυποποίηση και την επικύρωση της τοποθέτησης λίθων, έως τα πρότυπα για άμεση χύτευση ή χύτευση από καουτσούκ, υπάρχουν εξαρτήματα για τη τρισδιάστατη εκτύπωση κοσμημάτων, που προσφέρουν υψηλή ακρίβεια, ομαλό φινίρισμα και λεπτομέρειες που απαιτούνται ακόμη και για τις μικρότερες εσοχές των λίθων.



**Δυτικό στυλ:** Τα σχέδια αυτά είναι συμπαγή, μεγαλύτερου βάρους και διαθέτουν συνήθως μεγάλη επιφάνεια που απαιτεί μοτίβα με λείο φινίρισμα επιφάνειας.



Παρακάτω αναφέρονται ορισμένοι κορυφαίοι οίκοι κοσμημάτων, οι οποίοι έχουν χρησιμοποιήσει την τρισδιάστατη εκτύπωση στη διαδικασία κατασκευής των προϊόντων τους:

#### 1. De Beers:

Η De Beers, μια διάσημη εταιρεία διαμαντιών, έχει ενσωματώσει την τρισδιάστατη εκτύπωση στη διαδικασία σχεδιασμού κοσμημάτων της. Έχουν χρησιμοποιήσει την τρισδιάστατη εκτύπωση για να δημιουργήσουν μοναδικά κομμάτια με περίπλοκα σχέδια, όπως η συλλογή "Lotus", η οποία διαθέτει λεπτά πέταλα και περίπλοκες λεπτομέρειες που είναι δύσκολο να

επιτευχθούν μόνο με την παραδοσιακή χειροτεχνία.



Εικόνα 17 Δαχτυλίδι "Lotus" της εταιρίας De Beers

## 2. Tiffany & Co:

Η Tiffany & Co. είναι μια γνωστή μάρκα πολυτελών κοσμημάτων που έχει χρησιμοποιήσει την τρισδιάστατη εκτύπωση για τη δημιουργία πρωτοτύπων και περίπλοκων σχεδίων. Έχουν χρησιμοποιήσει αυτή την τεχνολογία για να δημιουργήσουν κομμάτια όπως η συλλογή "Paper Flowers", η οποία διαθέτει αληθοφανή σχέδια λουλουδιών σε πολύτιμα μέταλλα.



Εικόνα 18 Κολιέ "Paper Flowers" της Tiffany and Co.

## 3. Cartier:

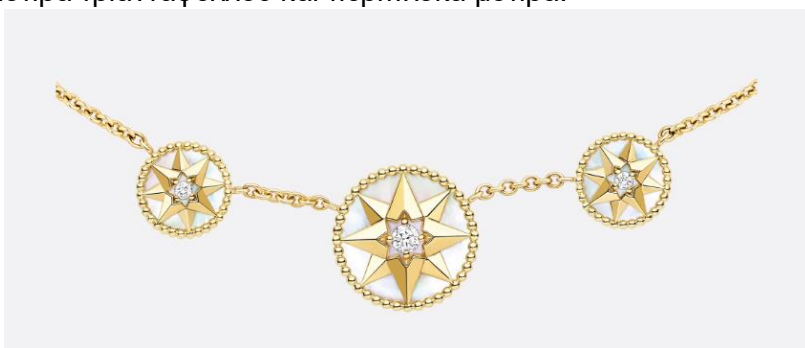
Η Cartier, μια μάρκα κοσμημάτων υψηλών προδιαγραφών, έχει αγκαλιάσει την τρισδιάστατη εκτύπωση για τη δημιουργία πρωτοτύπων και περίπλοκων εξαρτημάτων των κοσμημάτων της. Ενώ είναι γνωστή για την παραδοσιακή της δεξιοτεχνία, η τρισδιάστατη εκτύπωση της επιτρέπει να πειραματιστεί με πολύπλοκα σχήματα και σχέδια. Ένα παράδειγμα είναι η συλλογή "Juste un Clou", η οποία περιλαμβάνει βραχιόλια και δαχτυλίδια σε σχήμα καρφιών με περίπλοκες λεπτομέρειες.



Εικόνα 19 Βραχιόλι "Juste un Clou" της Cartier

#### 4. Dior:

Η Dior, μια πολυτελής μάρκα μόδας, έχει ενσωματώσει την τρισδιάστατη εκτύπωση στην παραγωγή των κοσμημάτων της. Έχουν χρησιμοποιήσει αυτή την τεχνολογία για να δημιουργήσουν εντυπωσιακά κομμάτια, όπως η συλλογή "Rose des Vents", η οποία διαθέτει λεπτεπίλεπτα μοτίβα τριαντάφυλλου και περιπλοκα μοτίβα.



Εικόνα 20 Κολιέ "Rose des Vents" της Dior

#### 5. Boucheron:

Η Boucheron, μια γαλλική μάρκα κοσμημάτων πολυτελείας, έχει χρησιμοποιήσει την τρισδιάστατη εκτύπωση για τη δημιουργία καινοτόμων και πρωτοποριακών σχεδίων. Ένα παράδειγμα είναι η συλλογή "Serpent Bohème", η οποία περιλαμβάνει κοσμήματα εμπνευσμένα από φίδια, σε μια πιο σύγχρονη εκδοχή, με περίπλοκες λεπτομέρειες.



Εικόνα 21 Δαχτυλίδι "Serpent Bohème" της Boucheron

## 2.2.8. Εκτιμώμενα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα

Παρακάτω παρουσιάζονται τα εκτιμώμενα πλεονεκτήματα και μειονεκτήματα των τεχνολογιών της προσθετικής κατασκευής.

### Πλεονεκτήματα

#### 1. Ταχύτητα

Η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την ταχεία επανάληψη και πρωτοτυποποίηση των σχεδίων. Αυτό μειώνει το χρόνο και το κόστος που συνεπάγεται η ανάπτυξη νέων προϊόντων και επιτρέπει την ταχύτερη δοκιμή και βελτίωση των ιδεών.

#### 2. Ευελιξία σχεδιασμού και πολυπλοκότητα μοντέλου

Η προσθετική κατασκευή επιτρέπει πολύπλοκες γεωμετρίες και ιδιαίτερα σχέδια που οι παραδοσιακές μέθοδοι δεν μπορούν να επιτύχουν εύκολα.

#### 3. Χαμηλό κόστος παραγωγής

Το κόστος είναι πιο χαμηλό συγκριτικά με τις συμβατικές τεχνολογίες, όταν και ο όγκος παραγωγής είναι μικρός. Επιπλέον, η πολυπλοκότητα του παραγόμενου προϊόντος δεν επηρεάζει το κόστος παραγωγής έπειτα από το στάδιο της σχεδίασης.

#### 4. Εξατομίκευση

Με την χρήση της προσθετικής κατασκευής μπορεί να επιτευχθεί η εύκολη προσαρμογή των προϊόντων, καθιστώντας δυνατή την ικανοποίηση των ατομικών προτιμήσεων και των μοναδικών απαιτήσεων των πελατών.

#### 5. Ελαφριές δομές

Η προσθετική κατασκευή επιτρέπει τη δημιουργία ελαφρών δομών με βελτιστοποιημένες εσωτερικές γεωμετρίες. Αυτό είναι ιδιαίτερα επωφελές σε πολλαπλές βιομηχανίες όπου η μείωση του βάρους είναι ζωτικής σημασίας για τη βελτίωση της αποδοτικότητας.

#### 6. Φιλική προς το περιβάλλον

Η προσθετική κατασκευή, είναι μια διαδικασία που προσθέτει υλικό μόνο εκεί που χρειάζεται, μειώνοντας έτσι τα απόβλητα που προκαλούνται από τις παραδοσιακές αφαιρετικές διαδικασίες κατασκευής.

#### 7. Απουσία εργαλείων

Η δημιουργία των εργαλείων που απαιτούνται για την παραγωγή του επιθυμητού αντικειμένου είναι η πιο χρονοβόρα και δαπανηρή φάση ανάπτυξης του προϊόντος. Για μικρές έως μεσαίες παρτίδες παραγωγής, οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής εξαλείφουν την ανάγκη για εργαλεία, μειώνοντας έτσι το κόστος και τον χρόνο που επηρεάζουν συνήθως αυτό το στάδιο.

#### 8. Μηδενικό κόστος αποθήκευσης

Με την τρισδιάστατη εκτύπωση, τα εξαρτήματα μπορούν να παραχθούν κατά παραγγελία, μειώνοντας την ανάγκη για μεγάλα αποθέματα. Αυτό μπορεί να οδηγήσει σε εξοικονόμηση κόστους και σε μια πιο εκσυγχρονισμένη αλυσίδα εφοδιασμού.

## Μειονεκτήματα

### 1. Περιορισμένες επιλογές στα υλικά

Αν και το φάσμα των διαθέσιμων υλικών τρισδιάστατης εκτύπωσης έχει επεκταθεί σημαντικά, εξακολουθεί να υστερεί σε σχέση με την τεράστια ποικιλία υλικών τα οποία χρησιμοποιούνται στις παραδοσιακές διαδικασίες κατασκευής. Αυτή η διαφορά μπορεί να επηρεάσει τις μηχανικές, θερμικές ή χημικές ιδιότητες των εκτυπωμένων εξαρτημάτων.

### 2. Μεταγενέστερη επεξεργασία

Τα μέρη που παράγονται μέσω τρισδιάστατης εκτύπωσης απαιτούν συχνά μετα-επεξεργασία, όπως καθαρισμό, αφαίρεση του υλικού στήριξης και φινίρισμα της επιφάνειας. Αυτό το επιπλέον βήμα μπορεί να προσθέσει χρόνο και προσπάθεια στη συνολική διαδικασία παραγωγής.

### 3. Κόστος υλικών

Το κόστος ορισμένων υλικών τρισδιάστατης εκτύπωσης μπορεί να είναι σχετικά υψηλό, ιδίως των ειδικών υλικών. Το κόστος αυτό μπορεί να επηρεάσει τη συνολική οικονομία της χρήσης της προσθετικής κατασκευής για ορισμένα έργα.

### 4. Περιορισμός διαστάσεων

Πολλοί τρισδιάστατοι εκτυπωτές έχουν περιορισμούς μεγέθους για τα αντικείμενα που μπορούν να παράγουν. Τα εξαρτήματα μεγάλης κλίμακας μπορεί να απαιτούν εξειδικευμένο και ακριβό εξοπλισμό, γεγονός που μπορεί να αποτελέσει αποτρεπτικό παράγοντα για ορισμένες εφαρμογές.

### 5. Πνευματική ιδιοκτησία

Η τρισδιάστατη εκτύπωση εγείρει ανησυχίες σχετικά με την παραβίαση της πνευματικής ιδιοκτησίας, καθώς γίνεται ευκολότερη η αντιγραφή και η παραγωγή σχεδίων που έχουν κατοχυρωθεί με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας ή πνευματικά δικαιώματα.

### 6. Πολυπλοκότητα σχεδιασμού

Ενώ η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει ευελιξία στον σχεδιασμό, η δημιουργία σύνθετων γεωμετριών μπορεί να απαιτεί προηγμένες δεξιότητες σχεδιασμού και γνώση των αρχών της προσθετικής κατασκευής. Η βελτιστοποίηση των σχεδίων για τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να είναι δύσκολη και χρονοβόρα.

### 7. Δομική ακεραιότητα και ανθεκτικότητα

Οι μηχανικές ιδιότητες των τρισδιάστατα εκτυπωμένων εξαρτημάτων ενδέχεται να μην αντιστοιχούν πάντα σε εκείνες των παραδοσιακά κατασκευασμένων εξαρτημάτων. Η στρωματοποιημένη κατασκευή μπορεί να οδηγήσει σε ανισοτροπική συμπεριφορά, επηρεάζοντας την αντοχή και την ανθεκτικότητα του τελικού προϊόντος.

### 8. Κόστος μηχανών προσθετικής κατασκευής

Ο μέσος άνθρωπος αδυνατεί να αποκτήσει έναν 3D εκτυπωτή λόγω του κόστους του. Επιπλέον, οι διαφορετικοί τύποι αντικειμένων απαιτούν και διαφορετικούς τύπους μηχανών, ενώ οι έγχρωμοι 3D εκτυπωτές είναι ακόμα πιο ακριβοί.

## 2.3. Επιλογή της μεθόδου προσθετικής κατασκευής για κατασκευή κοσμήματος

Οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής αντικειμένων έχουν πολλά κοινά χαρακτηριστικά, αλλά η αξιοποίησή τους σε διάφορες εφαρμογές εξαρτάται από τις εκάστοτε δυνατότητες που παρέχουν. Παράγοντες όπως οι χρησιμοποιούμενες πρώτες ύλες, η γεωμετρία των αντικειμένων, η φυσική διαδικασία που χρησιμοποιείται και η απόδοσή της, επηρεάζουν την τελική λειτουργία και απόδοση των αντικειμένων. Υπάρχουν πολλοί τρόποι κατάταξης αυτών των τεχνολογιών, όπως για παράδειγμα, ανάλογα με τα τεχνικά χαρακτηριστικά τους, με την πρώτη ύλη που χρησιμοποιείται, με τη μέθοδο σχηματισμού των στρωμάτων κ.α.

Στη παρούσα εργασία οι μέθοδοι προσθετικής κατασκευής θα παρουσιαστούν σύμφωνα με τη ταξινόμηση που έχει καθοριστεί από την επιτροπή ASTM F42, η οποία είναι υπεύθυνη για τον καθορισμό των προτύπων και της τυποποίησης των τεχνολογιών της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Σύμφωνα λοιπόν με το σύστημα ταξινόμησης της ASTM F42, οι μέθοδοι προσθετικής κατασκευής χωρίζονται σε επτά βασικές κατηγορίες:

1. Vat Photopolymerization
2. Powder Bed Fusion
3. Binder Jetting
4. Material Jetting
5. Material Extrusion
6. Directed Energy Deposition
7. Sheet Lamination

Οι μέθοδοι και οι τεχνολογίες που χρησιμοποιούν αναλύονται παρακάτω.

Μέθοδος	Περιγραφή	Τεχνολογίες	Υλικά
Vat Photopolymerization	Ρητίνη φωτοπολυμερούς σκληραίνει επιλεκτικά ή στερεοποιείται στρώμα προς στρώμα χρησιμοποιώντας πηγές φωτός όπως λέιζερ ή προβολείς	Stereolithography (SLA) Digital Light Processing (DLP)	Φωτοπολυμερή Κεραμικά
Powder Bed Fusion	Υλικό σε σκόνη τοποθετημένο σε μια επιφάνεια συνενώνεται επιλεκτικά με τη χρήση θερμικής ενέργειας	Electron Beam Melting (EBM) Selective Laser Sintering (SLS) Selective Heat Sintering (SHS) Direct Metal Laser Sintering (DMLS)	Μέταλλα Πολυμερή
Binder Jetting	Εναπόθεση υγρού συνδετικού υλικού ώστε να συνδεθεί η σκόνη της πρώτης ύλης	3D Printing (3DP)	Πολυμερή Μέταλλα Κεραμικά
Material Jetting	Εναπόθεση σταγονιδίων πρώτης ύλης	Photopolymer Jetting (PJ)	Πολυμερή Κερί
Material Extrusion	Ένα ακροφύσιο ή στόμιο διανέμει επιλεκτικά υλικό	Fused Deposition Modeling (FDM)	Πολυμερή
Directed Energy Deposition	Υλικά συνενώνονται λιώνοντας από εστιασμένη θερμική ενέργεια, καθώς το υλικό εναποτίθεται	Direct Metal Deposition (DMD) Laser Engineered Net Shape (LENS)	Μέταλλα



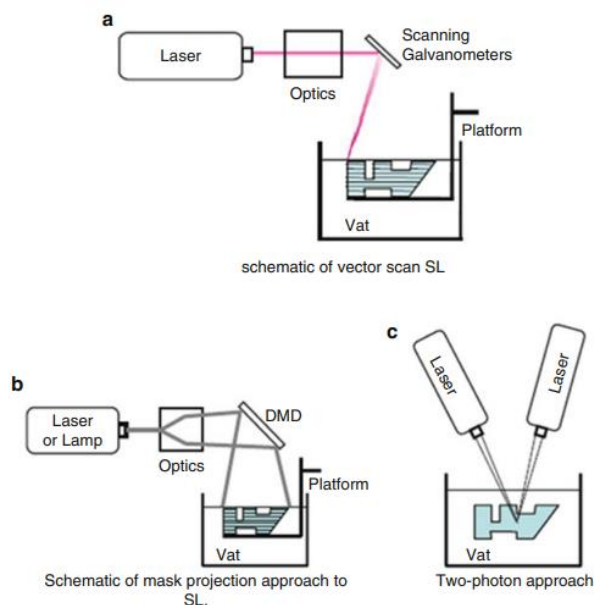
		Laser Consolidation (LC) Ion Fusion Formation (IFF) Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM) Rapid Plasma Deposition (RPD)	
Sheet Lamination	Σχηματισμός αντικειμένου με συγκόλληση φύλλων υλικού	Laminated Object Manufacturing (LOM) Ultrasonic Consolidation (UC)	Μέταλλα Χαρτί Υβρίδια

Πίνακας 2 Οι μέθοδοι και οι τεχνολογίες της προσθετικής κατασκευής και τα υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε αυτές

(Reddy and Tolcha 2019)

### 2.3.1. Vat Photopolymerization

Ο πολυμερισμός σε δοχείο είναι μια τεχνική κατασκευής που χρησιμοποιεί ένα δοχείο γεμάτο με υγρή φωτοπολυμερή ρητίνη για την παραγωγή μοντέλων στρώμα προς στρώμα. Για τη σκλήρυνση της ρητίνης στις απαιτούμενες περιοχές γίνεται χρήση υπεριώδους φωτός (UV), ενώ μια πλατφόρμα χαμηλώνει σταδιακά το προϊόν που δημιουργείται αφού σκληρύνει το κάθε στρώμα. Δεδομένου ότι στη διαδικασία χρησιμοποιείται υγρό ώστε να διαμορφωθούν τα αντικείμενα, δεν υπάρχει εγγενής υποστήριξη από το υλικό στη διάρκεια της φάσης παραγωγής, όπως συμβαίνει με τις τεχνικές που βασίζονται σε υλικά στη μορφή σκόνης. Κατά συνέπεια, σε αυτή τη μέθοδο, οι δομές στήριξης πρέπει συχνά να ενσωματωθούν στο σχέδιο. Για τη σκλήρυνση των ρητινών χρησιμοποιείται φωτοπολυμερισμός ή υπεριώδεις φως, με καθρέφτες ελεγχόμενους από κινητήρα που κατευθύνουν το φως στην επιφάνεια της ρητίνης, προκαλώντας τη σκλήρυνση της ρητίνης όπου αυτή έρχεται σε επαφή με το φως.



Εικόνα 22 Σχηματικά διαγράμματα των τριών προσεγγίσεων της τεχνολογίας Vat Photopolymerization: a) Vector Scan, b) Mask Protection, c) Two Photon approach

### 2.3.1.1. Stereolithography (SLA)

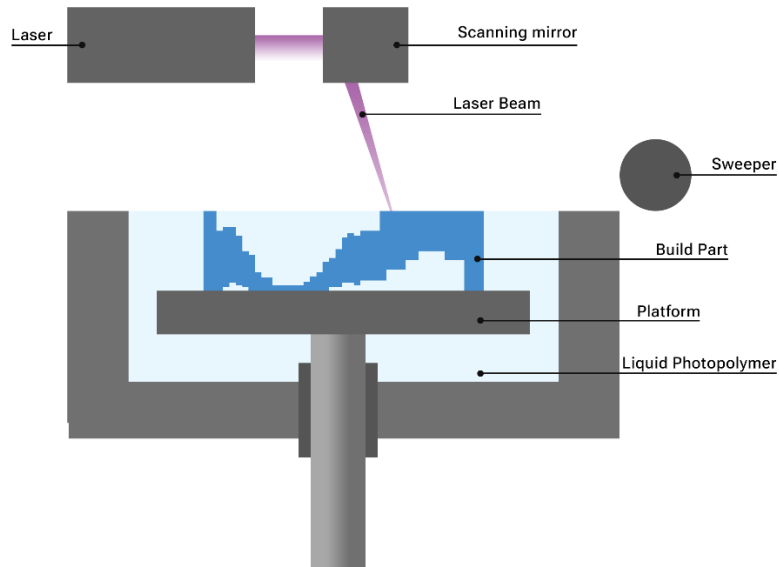
Όπως αναφέρθηκε και στην ιστορική εξέλιξη της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης, η μέθοδος SLA αναπτύχθηκε το 1983 από τον C. Hull και αποτελεί τη πρώτη εμπορική τεχνολογία προσθετικής κατασκευής που χρησιμοποιεί την τεχνολογία ακτίνας λέιζερ (υπεριώδες φως), για τη στερεοποίηση στρωμάτων φωτοπολυμερούς ρητίνης με σκοπό τη κατασκευή πλαστικών αντικειμένων.

#### Διαδικασία

Αναλυτικότερα η δημιουργία του προϊόντος επιτυγχάνεται στο επάνω μέρος μιας επιφάνειας η οποία χαμηλώνεται σε υγρή ρητίνη, η οποία περιέχεται σε ένα δοχείο, μέχρι να ακουμπάει την επιφάνεια της. Στη συνέχεια, η ακτίνα λέιζερ κατευθύνεται στην επιφάνεια της ρητίνης, χαράσσοντας το πρώτο στρώμα του αντικειμένου. Το λέιζερ στερεοποιεί τη ρητίνη στα σημεία που αγγίζει, ενώ οι περιοχές που δεν αγγίζει παραμένουν υγρές. Μόλις ολοκληρωθεί το πρώτο στρώμα, η επιφάνεια χαμηλώνεται ελαφρά στο δοχείο ρητίνης κι έπειτα το λέιζερ χαράζει το επόμενο στρώμα, στερεοποιώντας τη ρητίνη στα απαιτούμενα σημεία και χτίζοντας το αντικείμενο στρώμα προς στρώμα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί ολόκληρο το αντικείμενο. Μετά την ολοκλήρωση της εκτύπωσης, το προϊόν αφαιρείται από το δοχείο και καθαρίζεται ώστε να απομακρυνθεί η περίσσεια ρητίνης. Για την αφαίρεση του αντικειμένου θα πρέπει πρώτα να αφαιρεθούν τα στηρίγματα, κάτι που γίνεται συνήθως με τη χρήση μαχαιριού ή κάποιου άλλου αιχμηρού εργαλείου. Πρέπει να δοθεί προσοχή ώστε να μην μολυνθεί η ρητίνη και να ληφθούν οι κατάλληλες προφυλάξεις ασφαλείας. Οι μέθοδοι για την αφαίρεση της ρητίνης και των στηριγμάτων περιλαμβάνουν τη χρήση αλκοολικού ζεπλύματος ακολουθούμενου από ξέπλυμα με νερό.

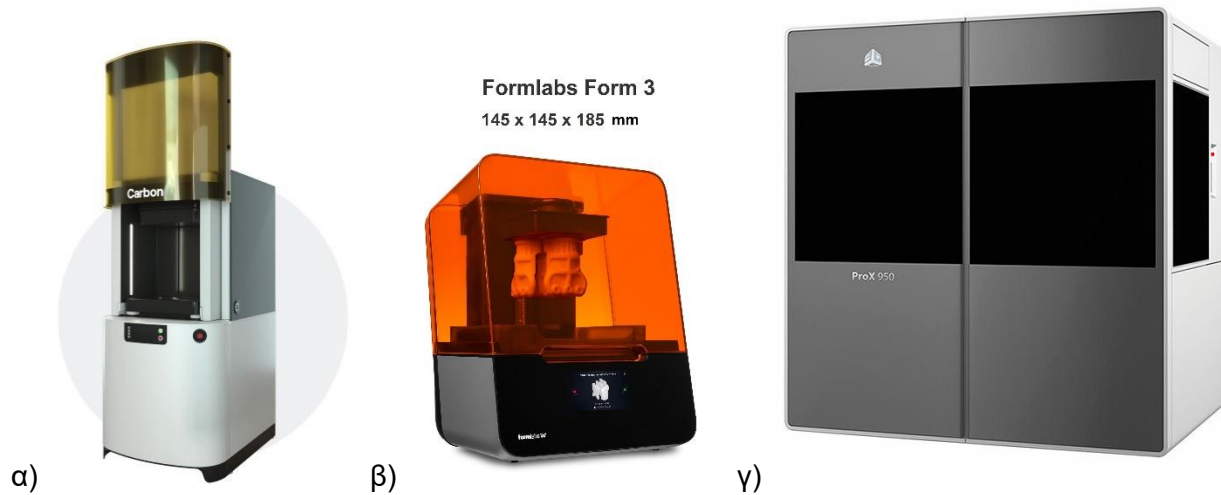
#### Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Ανάλογα με τη πολυπλοκότητα του αντικειμένου, υπάρχει περίπτωση να χρειαστεί πρόσθετη μεταγενέστερη επεξεργασία όπως για παράδειγμα σκλήρυνση σε «φούρνο» υπεριώδους ακτινοβολίας ή λείανση. Η στερεολιθογραφία είναι ιδιαίτερα χρήσιμη για τη κατασκευή αντικειμένων με περίπλοκες λεπτομέρειες που απαιτούν γεωμετρική ακρίβεια και λείες επιφάνειες.



Εικόνα 23 Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου Στερεολιθογραφίας – SLA

Δημοφιλή μοντέλα μηχανών της μεθόδου SLA αποτελούν οι L1 και M2 της εταιρίας Carbon, η Figure 4 της 3D Systems και οι Form 3 και Form 3L της εταιρίας Formlabs. Από την άλλη η μηχανή ProXTM 950 της 3D Systems αποτελεί τη μεγαλύτερη και πιο σύγχρονη για βιομηχανική παραγωγή.



Εικόνα 24 α) Η μηχανή L1 της Carbon, β) η μηχανή Form 3 της Formlabs και γ) η μηχανή ProXTM 950 της 3D Systems

### Εφαρμογή στο κόσμημα

Η μέθοδος SLA είναι γνωστή για το υψηλό επίπεδο ακρίβειας μιας και μπορεί να παράγει περίπλοκα και λεπτομερή σχέδια κοσμημάτων με εξαιρετική ακρίβεια. Επιπλέον, η μέθοδος αυτή παράγει αντικείμενα με ομαλή επιφάνεια, χαρακτηριστικό το οποίο είναι απαραίτητο για την επίτευξη της επιθυμητής αισθητικής και ποιότητας στα κοσμήματα, και προσφέρει μια ποικιλία υλικών ρητίνης, συμπεριλαμβανομένων ειδικών ρητινών που μιμούνται την εμφάνιση των

παραδοσιακών μετάλλων που χρησιμοποιούνται στα κοσμήματα, όπως ο χρυσός και το ασήμι. Αυτό επιτρέπει την ευελιξία της χρήσης υλικών και τη δυνατότητα δημιουργίας κοσμημάτων με διαφορετικές εμφανίσεις. Εκτός αυτού, η SLA επιτρέπει την προσαρμογή κοσμημάτων, καθιστώντας δυνατή τη δημιουργία εξατομικευμένων και μοναδικών κομματιών προσαρμοσμένων στις ατομικές προτιμήσεις. Στην SLA χρησιμοποιούνται ορισμένες ρητίνες που είναι σχεδιασμένες έτσι ώστε να μιμούνται τις ιδιότητες του κεριού, το οποίο χρησιμοποιείται παραδοσιακά στη διαδικασία χύτευσης για κοσμήματα. Αυτό επιτρέπει την άμεση χύτευση μοντέλων εκτυπωμένων με SLA. Μειονέκτημα μπορεί να αποτελέσει η ανθεκτικότητα του υλικού σε σύγκριση με τα πολύτιμα μέταλλα και η μεταγενέστερη επεξεργασία που μπορεί να χρειαστεί αλλά γενικά είναι μια κατάλληλη τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης για την παραγωγή κοσμημάτων, και μία από τις πιο δημοφιλή.

Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
SLA	Ναι	●●●●○	●●●●●	●●●●●	●●●●○	●●●●○	●●●●●

### 2.3.1.2. Digital Light Processing (DLP)

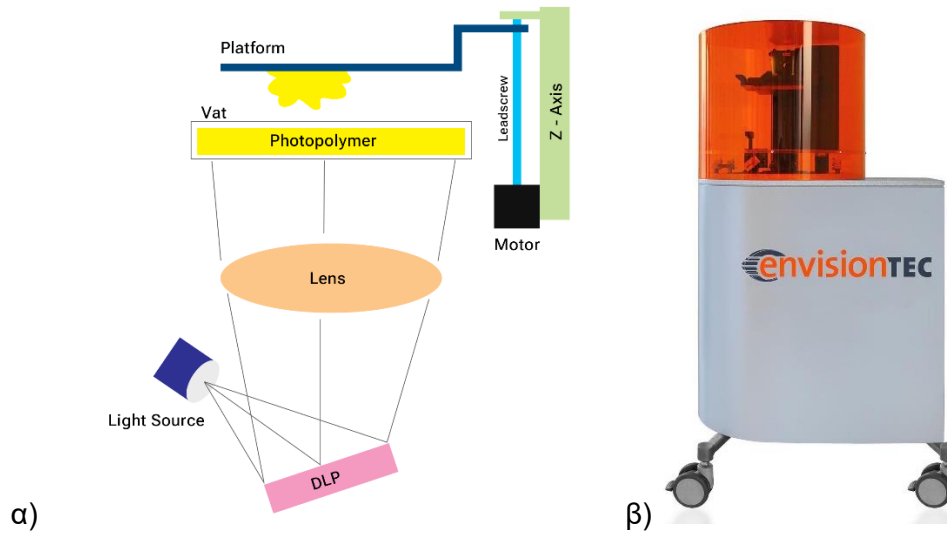
#### Διαδικασία

Η μέθοδος DLP είναι παρόμοια με τη μέθοδο SLA η οποία λειτουργεί με φωτοπολυμερή. Η DLP όμως, χρησιμοποιεί έναν ψηφιακό προβολέα για να εκπέμψει υπεριώδεις φως σε ολόκληρη τη ρητίνη ταυτόχρονα, σε αντίθεση με την SLA, σκληραίνοντας ένα φωτοπολυμερές στρώμα ανά στρώμα. Ο προβολέας περιέχει ένα τσιπ καλυμμένο με μικροσκοπικά κάτοπτρα που γέρνουν μπρος-πίσω. Όταν ο καθρέφτης γέρνει προς μία κατεύθυνση, αντανακλά το φως έξω από το μπροστινό μέρος του προβολέα και πάνω στην πλάκα κατασκευής. Όταν ο καθρέφτης γέρνει προς την αντίθετη κατεύθυνση, το φως εμποδίζεται. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε στρώμα του τρισδιάστατου μοντέλου και το αποτέλεσμα είναι ένα πλήρως διαμορφωμένο εξάρτημα.

#### Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Οι εκτυπωτές DLP είναι γνωστοί για την ταχύτητα και την υψηλή τους ανάλυση. Ολόκληρο το στρώμα ρητίνης μπορεί να σκληρύνει ταυτόχρονα, γεγονός που καθιστά τη διαδικασία εκτύπωσης ταχύτερη σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης με βάση τη ρητίνη, όπως η στερεολιθογραφία (SLA). Επιπλέον, επειδή ο προβολέας μπορεί να δημιουργήσει πολύ λεπτά μοτίβα φωτός, οι εκτυπωτές DLP μπορούν να παράγουν εξαρτήματα με πολύ υψηλή ανάλυση και περίπλοκες λεπτομέρειες.

Την διαδικασία της DLP χρησιμοποιεί η εταιρία EnvisionTec με τις μηχανές της σειράς Perfactory.



Εικόνα 25 α) Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου DLP, β) Η μηχανή της EnvisionTEC σειράς Perfactory 4 Digital Shell

### Εφαρμογή στο κόσμημα

Η μέθοδος DLP είναι γνωστή για το υψηλό επίπεδο ακρίβειας και λεπτομέρειάς της, καθιστώντας την ιδανική για τη δημιουργία περίπλοκων και λεπτομερών σχεδίων κοσμημάτων. Παράγει επίσης αντικείμενα με λείο φινίρισμα επιφάνειας, το οποίο είναι απαραίτητο για την επίτευξη της επιθυμητής επιφάνειας ενός κοσμήματος και υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα ρητίνων που μπορούν να προσαρμοστούν σε συγκεκριμένες εφαρμογές κοσμημάτων. Αυτές οι ρητίνες μπορούν να μιμηθούν την εμφάνιση των παραδοσιακών μετάλλων κοσμημάτων, παρέχοντας ευελιξία στο σχεδιασμό. Εκτός αυτού, η DLP είναι μια μέθοδος που επιτρέπει την προσαρμογή προϊόντων, καθιστώντας δυνατή τη δημιουργία εξατομικευμένων και μοναδικών κοσμημάτων με βάση τις ατομικές προτιμήσεις. Είναι γνωστή και για την ταχύτητά της στη δημιουργία στρωμάτων και πολλοί εκτυπωτές της μπορούν να δημιουργήσουν αντικείμενα χωρίς την ανάγκη δομών στήριξης, μειώνοντας τον χρόνο μεταγενέστερης επεξεργασίας και τη σπατάλη υλικών. Επιπλέον, ορισμένες ρητίνες DLP έχουν σχεδιαστεί για άμεση χύτευση, επιτρέποντας τη δημιουργία καλουπιών για τις παραδοσιακές διαδικασίες χύτευσης κοσμημάτων. Τα μόνα μειονεκτήματα που μπορεί να παρουσιάσει η μέθοδος, είναι η ανθεκτικότητα του υλικού σε σύγκριση με τα παραδοσιακά μέταλλα και η μεταγενέστερη επεξεργασία που ίσως χρειαστεί. Συμπερασματικά, η DLP θεωρείται ιδανική τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης για την παραγωγή κοσμημάτων και είναι μια από τις πιο δημοφιλή.

Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
DLP	Ναι	●●●●○	●●●●○	●●●●○	●●●●●	●●●●●	●●●●○

### 2.3.2. Powder Bed Fusion

Σε τεχνολογίες τύπου PBF, οι σκόνες υλικών βρίσκονται σε μια επίπεδη επιφάνεια και συντήκονται επιλεκτικά χρησιμοποιώντας μια πηγή θερμικής ενέργειας, όπως ένα λέιζερ ή μια δέσμη ηλεκτρονίων. Όταν το πρώτο στρώμα του αντικείμενου είναι εκτεθειμένο σε μορφή σκόνης στην επίπεδη επιφάνεια, η πηγή θερμικής ενέργειας συγχωνεύει επιλεκτικά το κονιοποιημένο υλικό. Η θερμότητα κάνει τα σωματίδια να συγχωνεύονται και να στερεοποιούνται.

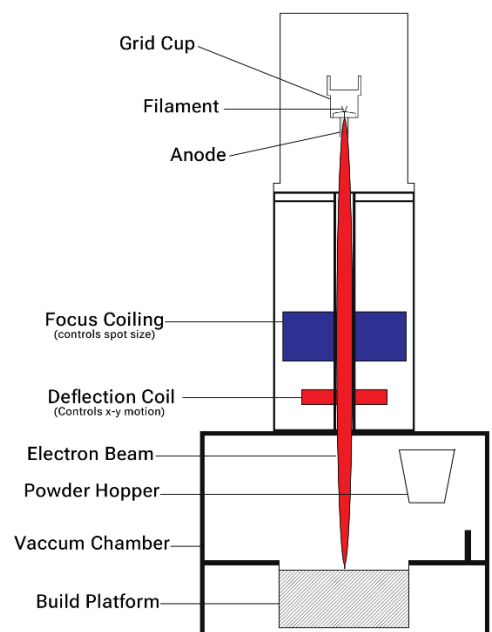
Μετά την ολοκλήρωση της σάρωσης του πρώτου στρώματος, η επιφάνεια πάνω στην οποία βρίσκεται το υλικό στη μορφή σκόνης, χαμηλώνει από το έμβολο και ο θάλαμος "αποθήκευσης" υλικού ανυψώνεται και εκτελείται εκ νέου η σάρωση του επόμενου στρώματος από τη πηγή ενέργειας, περιστρέφοντας ένα μηχανισμό κυλίνδρων. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι το τελικό αντικείμενο να γίνει ορατό όταν θα έχει αφαιρεθεί πια η περίσσεια σκόνη. Ορισμένες διεργασίες PBF μπορεί να χρησιμοποιούν δομές στήριξης για προεξοχές και περίπλοκες γεωμετρίες, οι οποίες αργότερα αφαιρούνται κατά τη μετεπεξεργασία. Ανάλογα με το υλικό και την εφαρμογή, το τυπωμένο αντικείμενο μπορεί να υποβληθεί σε στάδια μετεπεξεργασίας, όπως θερμική επεξεργασία για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων του ή φινίρισμα επιφανειών.

#### 2.3.2.1. Electron Beam Melting (EBM)

Η τεχνολογία EBM κυκλοφόρησε πρώτη φορά εμπορικά από την Arcam AB το 2001, αν και δημιουργήθηκε τη δεκαετία του 90'. Η κύρια διάκριση μεταξύ EBM και SLS είναι ότι χρησιμοποιεί μια δέσμη ηλεκτρονίων ώστε να συντήξει τους κόκκους της χρησιμοποιούμενης πρώτης ύλης. Η Arcam AB χρησιμοποιεί δέσμες ηλεκτρονίων υψηλής ενέργειας στις συσκευές της, που έχουν ενεργειακή απόδοση περίπου 3000W.

#### Διαδικασία

Στην EBM, ένα θερμαινόμενο νήμα βολφραμίου εκπέμπει ηλεκτρόνια με υψηλό ρυθμό που κατευθύνονται από δύο μαγνητικά πεδία. Ένα μαγνητικό πεδίο έχει την λειτουργία ενός μαγνητικού φακού, ο οποίος συγκεντρώνει τη δέσμη ηλεκτρονίων σε μια συγκεκριμένη διάμετρο και ένα δεύτερο μαγνητικό πεδίο εκτρέπει την εστιασμένη δέσμη στην επιθυμητή θέση στο στρώμα του βασικού υλικού. Τα ηλεκτρόνια που χτυπούν στους κόκκους του υλικού διαθέτουν κινητική ενέργεια η οποία μεταβάλλεται σε θερμική, με αποτέλεσμα οι κόκκοι να τήκονται και να συγχωνεύονται. Κάθε στρώμα σαρώνεται σε δύο βήματα. Αρχικά, για να θερμανθεί το στρώμα του υλικού, χρησιμοποιείται μια δέσμη ηλεκτρονίων υψηλής ταχύτητας και τάσης. Έπειτα, το στρώμα σαρώνεται από μια δέσμη ηλεκτρονίων χαμηλής τάσης, με χαμηλή ταχύτητα, λιώνοντας και συγχωνεύοντας τους κόκκους του υλικού. Αφού έρθει εις πέρας η σάρωση του πρώτου στρώματος της σκόνης, η πλατφόρμα κατεβαίνει, γίνεται εναπόθεση του νέου στρώματος και το ίδιο θα επαναληφθεί όσες φορές



χρειάζεται μέχρι να ολοκληρωθεί το τελικό προϊόν. Όλα αυτά συμβαίνουν υπό κενό και υποστηρικτικές δομές είναι απαραίτητες για να διασφαλιστεί η επιτυχία της διαδικασίας. Με σκοπό τη μείωση της πίεσης του κενού, παρέχεται στη διάρκεια της τήξης αέριο ηλίου, κι έτσι διευκολύνεται η ψύξη του προϊόντος υπό κατασκευή αλλά διατηρείται επίσης η δέσμη ηλεκτρονίων σταθερή. Οι θεμελιώδεις παράμετροι της μεθόδου είναι η ισχύς της ακτίνας, η τάση, η διάμετρος εστίασης, η θερμοκρασία προθέρμανσης του υλικού και το πάχος του στρώματος.

*Εικόνα 26 Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου EBM*

### Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Ένα αξιοσημείωτο πλεονέκτημά της EBM έγκειται στην ικανότητά της να παράγει πλήρως πυκνά μεταλλικά εξαρτήματα με σχεδόν καθαρό σχήμα, αξιοποιώντας την ακρίβεια των ακτινών ηλεκτρονίων. Η διαδικασία πραγματοποιείται σε κενό, ελαχιστοποιώντας τον κίνδυνο μόλυνσης και επιτρέποντας την κατασκευή εξαρτημάτων με εξαιρετικές μεταλλουργικές ιδιότητες. Η ικανότητα της EBM να εργάζεται με μια σειρά από κράματα μετάλλων, συμπεριλαμβανομένου του τιτανίου, την καθιστά ιδιαίτερα πολύτιμη σε αεροδιαστημικές και ιατρικές εφαρμογές, όπου τα ελαφριά και ταυτόχρονα ανθεκτικά εξαρτήματα είναι υψίστης σημασίας.

Μειονεκτήματα της τεχνολογίας αποτελούν η μειωμένη ακρίβεια, ο περιορισμός διαστάσεων για τα υπό κατασκευή προϊόντα, το υψηλό κόστος αλλά και η σχετικά χαμηλή ταχύτητα.

Οι πιο δημοφιλείς μηχανές της μεθόδου EBM είναι οι Arcam Q10plus, Arcam Q20plus και Arcam A2X από την εταιρία Arcam AB.



*Εικόνα 27 α) Η μηχανή Arcam Q10plus και β) η μηχανή Arcam A2X*

## Εφαρμογή στο κόσμημα

Η μέθοδος EBM περιλαμβάνει σχετικά περιορισμένη γκάμα υλικών, όπως τιτάνιο και κράματα υψηλής θερμοκρασίας, τα οποία δεν χρησιμοποιούνται συνήθως για τη κατασκευή κοσμημάτων, όπου προτιμώνται πολύτιμα μέταλλα όπως χρυσός, ασήμι και πλατίνα. Επιπλέον, αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για μεγαλύτερου μεγέθους προϊόντα, και το πάχος των στρώσεων είναι μεγαλύτερο σε σχέση με άλλες μεθόδους, κάτι που δε προτιμάται στη κατασκευή κοσμημάτων όπου συναντάμε μικρές και περίπλοκες λεπτομέρειες. Εκτός αυτού, τα μηχανήματα EBM δημιουργούν προϊόντα με αρκετά τραχιά επιφάνεια, οπότε είναι απαραίτητη η πρόσθετη επεξεργασία μετά την εκτύπωση, κάτι που αυξάνει το κόστος παραγωγής. Γι' αυτούς τους λόγους λοιπόν, η συγκεκριμένη μέθοδος απορρίπτεται στην κατασκευή κοσμημάτων.

Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
EBM	Όχι	●○○○○	●●○○○	●○○○○	●●●●○	●○○○○	●●●○○

### 2.3.2.2. Selective Laser Sintering (SLS)

#### Διαδικασία

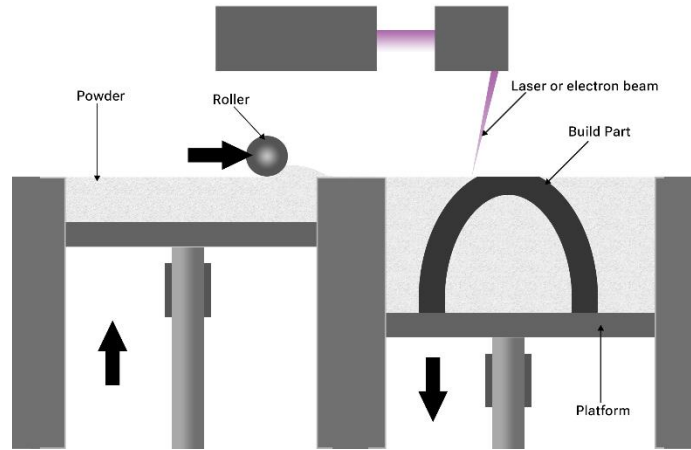
Η διαδικασία χρησιμοποιεί λέιζερ CO<sub>2</sub> υψηλής ισχύος και είναι ικανή να επεξεργαστεί μια μεγάλη γκάμα υλικών στη μορφή σκόνης. Η ακτίνα λέιζερ CO<sub>2</sub> προκαλεί τη σύντηξη και στερεοποίηση ενός λεπτού στρώματος σκόνης που έχει απλωθεί στην επιφάνεια της πλατφόρμας χρησιμοποιώντας περιστρεφόμενους κυλίνδρους. Η διαδικασία πραγματοποιείται σε κλειστό θάλαμο γεμάτο με άζωτο για να ελαχιστοποιηθεί η οξείδωση και η υποβάθμιση των χαρακτηριστικών του υλικού.

Οι συνθήκες εντός του θαλάμου SLS ελέγχονται προσεκτικά για την επίτευξη ακριβών και αξιόπιστων αποτελεσμάτων. Η διατήρηση σταθερής θερμοκρασίας είναι ζωτικής σημασίας για την αποτελεσματική συσσωμάτωση της σκόνης. Ο θάλαμος συνήθως διατηρείται σε αυξημένη θερμοκρασία ώστε να διασφαλίζεται ότι το κονιοποιημένο υλικό παραμένει ελαφρώς πάνω από το σημείο υαλώδους μετάπτωσης ή τήξης του. Με τον τρόπο αυτό αποφεύγονται προβλήματα θερμικής καταπόνησης και στρέβλωσης στο τελικό εκτυπωμένο τεμάχιο. Επιπλέον, ο θάλαμος διατηρείται σε ελεγχόμενη ατμόσφαιρα, συχνά με τη χρήση αδρανών αερίων, για να αποτραπεί η οξείδωση των μεταλλικών σκονών κατά τη διαδικασία συσσωμάτωσης. Αυτές οι ελεγχόμενες συνθήκες συμβάλλουν στην παραγωγή υψηλής ποιότητας, πλήρως πυκνών εξαρτημάτων με ελάχιστη παραμόρφωση.

Σε ορισμένες περιπτώσεις, οι πλατφόρμες κατασκευής θερμαίνονται επίσης χρησιμοποιώντας ηλεκτρική αντίσταση. Μόλις σχηματιστεί το πρώτο στρώμα σκόνης και θερμανθεί, μια κινούμενη εστιασμένη δέσμη λέιζερ CO<sub>2</sub> λιώνει το υλικό και σχηματίζει μια διατομή. Η σκόνη που περισσεύει περιμετρικά της διατομής λειτουργεί σαν στήριγμα για το αντικείμενο που κατασκευάζεται. Αφού δημιουργηθεί το πρώτο επίπεδο, η πλατφόρμα κατασκευής κατεβαίνει και μια νέα στρώση σκόνης απλώνεται χρησιμοποιώντας τους περιστρεφόμενους κυλίνδρους. Η δέσμη λέιζερ σαρώνει τις διατομές σε νέες στρώσεις και επαναλαμβάνει τη διαδικασία μέχρι να δημιουργηθεί ολόκληρο το προϊόν. Έπειτα, χρειάζεται λίγη ώρα για να κρυώσει ομοιόμορφα το αντικείμενο πριν εκτεθεί στη φυσική ατμόσφαιρα. Στο τελικό στάδιο, η σκόνη που περισσεύει αφαιρείται και στη περίπτωση που



χρειάζεται, το αντικείμενο υφίσταται σε περαιτέρω επεξεργασία ώστε να βελτιωθούν οι ήδη υπάρχουσες ιδιότητες του.



Εικόνα 28 Σχηματική Αναπαράσταση Τεχνολογίας PBF

### Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Η μέθοδος SLS, επιτρέπει τη χρήση μιας μεγάλης γκάμας υλικών. Τα κράματα μετάλλων, τα σύνθετα υλικά, το νάιλον, τα ελαστομερή, το γυαλί, και τα κεραμικά είναι κάποια από αυτά. Τα οφέλη της διαδικασίας είναι η υψηλή μηχανική αντοχή του τελικού προϊόντος. Επιπλέον, δεν χρειάζεται υποδομή για να το υποστηρίξει αφού για κάθε νέο στρώμα υπάρχει στήριξη από τα προηγούμενα στρώματα ανεπεξέργαστων κόκκων. Σχετικά με τα ελαττώματά της μεθόδου πρέπει να αναφερθεί ότι η επιφάνεια του αντικειμένου είναι σχετικά τραχιά στο τέλος της κατασκευής του, ότι υπάρχει χαμηλή ακρίβεια και το αντικείμενο αποκτά μια πορώδη υφή.

Δημοφιλή παραδείγματα μηχανών SLS αποτελούν οι PROX® SLS 500, sPro™140, sPro™230 και sPro™60HD από την 3D Systems, οι 402P και 403P από την FARSOON και οι EOSINT P 800 και EOS P 770 από την EOS.



Εικόνα 29 Μηχανήματα που χρησιμοποιούν SLS για βιομηχανική παραγωγή α) sPro™60HD, β) 403P, γ) EOSINT P 800

### Εφαρμογή σε κόσμημα

Η μέθοδος SLS χρησιμοποιεί υλικό σε σκόνη, συνήθως πλαστικά ή νάιλον, τα οποία μπορεί να είναι χρήσιμα για την κατασκευή ανθεκτικών και ευέλικτων κοσμημάτων αλλά δεν μπορούν να καλύψουν τις ιδιότητες των πολύτιμων μετάλλων που χρησιμοποιούνται συνήθως. Επίσης, οι ιδιότητες και η αισθητική που απαιτούνται για ένα κόσμημα δεν μπορούν να επιτευχθούν με τη μέθοδο αυτή, όπως ισχύει και για το φινίρισμα της επιφάνειας του κοσμήματος, που είναι λεία και γυαλισμένη, οπότε δεν βοηθά η SLS που έχει πιο τραχύ φινίρισμα σε σχέση με άλλες τεχνολογίες. Ένας ακόμα περιορισμός της μεθόδου για τη κατασκευή κοσμημάτων είναι η περιορισμένη χρωματική παλέτα, μιας και τα προϊόντα μπορούν να εκτυπωθούν μόνο σε ένα συγκεκριμένο χρώμα κι ένα συγκεκριμένο υλικό. Τέλος, παρά το ότι η SLS μπορεί να παράγει πολύπλοκα σχήματα, το πάχος των στρωμάτων που εναποτίθεται είναι αρκετά μεγάλο και ίσως όχι ιδανικό για περίπλοκα και λεπτομερή σχέδια στα κοσμήματα. Για τους παραπάνω λόγους λοιπόν, η SLS απορρίπτεται για τη κατασκευή κοσμημάτων.

Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
SLS	Όχι	●●●●○	●●●○○	●○○○○	●●●●●	●●○○○	●●●●○

### 2.3.2.3. Selective Heat Sintering (SHS)

Η διαδικασία SHS αναπτύχθηκε από τη δανέζικη εταιρεία Blueprinter και ξεκίνησε το 2011 ως μια οικονομική και αποδοτική εναλλακτική λύση της SLS, ακολουθώντας σε μεγάλο βαθμό την ίδια μεθοδολογία.

#### Διαδικασία

Στη μέθοδο SHS χρησιμοποιείται μια θερμαινόμενη θερμική κεφαλή εκτύπωσης η οποία συγχωνεύει τα υλικά που βρίσκονται στη μορφή σκόνης. Παρόμοια με τη προηγούμενη μέθοδο τα στρώματα προστίθενται με έναν κύλινδρο μεταξύ της συγχώνευσης των στρωμάτων. Σε ορισμένες μηχανές SHS, η θερμική κεφαλή εκτύπωσης είναι παράλληλη με τον κύλινδρο, έτσι ώστε η επίστρωση και η συσσωμάτωση να πραγματοποιούνται ταυτόχρονα. Αφού εκτυπωθούν όλα τα στρώματα, το εξάρτημα ενσωματώνεται σε αχρησιμοποίητη σκόνη και πρέπει να αφαιρεθεί από την πλατφόρμα κατασκευής. Καθαρίζεται από τη περίσσεια πούδρα και είναι έτοιμο για χρήση, απαιτώντας ελάχιστη μεταγενέστερη επεξεργασία εκτός από το φινίρισμα της επιφάνειας, εάν είναι επιθυμητό.

#### Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Η διαδικασία δεν χρησιμοποιείται τόσο για τη δημιουργία δομικών στοιχείων, όσο για τη δημιουργία πρωτοτύπων σχεδίων. Το γεγονός ότι χρησιμοποιείται θερμική κεφαλή εκτύπωσης αντί για λέιζερ είναι θετικό για την διαδικασία αφού μειώνει αρκετά την θερμότητα και τα επίπεδα ισχύος που απαιτούνται. Χρησιμοποιούνται θερμοπλαστικές σκόνης οι οποίες λειτουργούν ως υλικό στήριξης. Το SHS μεταφέρει τα καλά χαρακτηριστικά του SLS σε μια επιφάνεια εργασίας σε προσιτή τιμή, και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ποικίλα περιβάλλοντα και είναι γενικά ασφαλέστερο από τους εκτυπωτές λέιζερ. Μειονέκτημα αποτελεί όμως το ότι η SHS περιορίζεται σε μονόχρωμη λευκή θερμοπλαστική σκόνη παρόμοια με το νάιλον και τα μηχανήματα της δεν έχουν σχεδιαστεί για περιβάλλοντα μεγάλων εγκαταστάσεων παραγωγής.

Η μέθοδος Selective Heat Sintering είναι μια σχετικά νέα τεχνολογία εκτύπωσης 3D, έτσι τα δημοφιλέστερα μοντέλα εκτυπωτών που χρησιμοποιούν αυτήν τη μέθοδο είναι ακόμη λίγα. Κάποια από αυτά είναι το μοντέλο Sintratec S2 από την εταιρία Sintratec, και οι εκτυπωτές Lisa και Lisa Pro από την εταιρία Sinterit.



Εικόνα 30 α) Η μηχανή Sintratec S2 και β) η μηχανή Lisa Pro της Sinterit

### Εφαρμογή στο κόσμημα

Η SHS παρουσιάζει υλικούς περιορισμούς όσον αφορά τη κατασκευή κοσμημάτων διότι χρησιμοποιεί συνήθως θερμοπλαστικά και περιλαμβάνει αντιδράσεις υψηλής θερμοκρασίας και σκόνης που δεν χρησιμοποιούνται στην παραδοσιακή κατασκευή τους. Τα πολύτιμα μέταλλα που χρησιμοποιούνται για τη παραγωγή των κοσμημάτων απαιτούν ελεγχόμενες διαδικασίες τήξης και χύτευσης και όχι χημικές αντιδράσεις. Το φινίρισμα της επιφάνειας του προϊόντος με τη χρήση SHS μπορεί να είναι τραχύ και πορώδες, κάτι που θα απαιτούσε περεταίρω επεξεργασία και θα αύξανε το κόστος παραγωγής. Επιπλέον, η εφαρμογή της SHS για την παραγωγή κοσμημάτων θα απαιτούσε εξειδικευμένο εξοπλισμό και προφυλάξεις ασφαλείας λόγω των αντιδράσεων υψηλής θερμοκρασίας. Αυτό μπορεί να αυξήσει την πολυπλοκότητα και το κόστος παραγωγής του κοσμήματος. Για τους παραπάνω λόγους λοιπόν, απορρίπτεται η μέθοδος SHS στη κατασκευή κοσμημάτων.

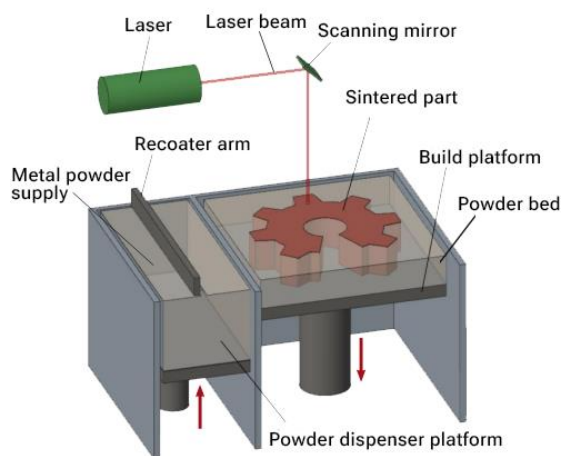
Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
SHS	Όχι	●○○○○	●●○○○	●○○○○	●●●●○	●●○○○	●○○○○

#### 2.3.2.4. Direct Metal Laser Sintering (DMLS)

Η τεχνολογία εμφανίστηκε για πρώτη φορά το 1994 και εξελίχθηκε από δύο εταιρίες, την EOS GmbH και Rapid Prototyping Innovations.

## Διαδικασία

Η μέθοδος DMLS χρησιμοποιεί την ίδια διαδικασία με την SLS, αλλά έχει τη δυνατότητα να χρησιμοποιεί μέταλλα στη μορφή σκόνης αντί για πλαστικά. Χρησιμοποιεί επίσης ακτίνα λέιζερ μεγαλύτερης ισχύος και σε αντίθεση με την SLS, η οποία παράγει αντικείμενα με σχετικά χαμηλή πυκνότητα (~70%), παράγει μεταλλικά αντικείμενα με αρκετά υψηλότερη πυκνότητα (~95%). Στη διαδικασία χρησιμοποιείται ένα λέιζερ CO<sub>2</sub> για τη συσσωμάτωση του υλικού στη μορφή σκόνης μετάλλου που θα χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή πρωτοτύπων. Η ατμόσφαιρα στον θάλαμο κατασκευής ελέγχεται από ένα αδρανές αέριο, συνήθως αργόν, και κατά τη διάρκεια της κατασκευής ενός αντικειμένου η πλατφόρμα κατεβαίνει κατά ένα στρώμα πάχους έτσι ώστε η κινούμενη κεφαλή η οποία τροφοδοτεί το υλικό, να μπορεί να κινηθεί χωρίς σύγκρουση. Η κεφαλή κινείται από τη δεξιά στην αριστερή θέση κι έτσι η μεταλλική σκόνη απλώνεται στην περιοχή κατασκευής και η περίσσεια της μεταλλικής σκόνης πέφτει και συλλέγεται.



Εικόνα 31 Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου DMLS

## Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Πλεονέκτημα της μεθόδου αποτελεί επίσης η κατασκευή αντικειμένων με περισσότερες και ποιοτικότερες λεπτομέρειες, λόγω της χρήσης σκόνης μικρότερης διαμέτρου με την οποία παράγονται λεπτότερα στρώματα στη διαδικασία. Η μέθοδος DMLS συμβάλλει στη παραγωγή λειτουργικών πρωτοτύπων αλλά χρησιμοποιείται επίσης πολύ συχνά στη κατασκευή ιατρικών εμφυτευμάτων και αεροδιαστημικών εξαρτημάτων που απαιτούν υψηλή θερμοκρασία. (Singh, Singh et al. 2016)

Δημοφιλή μοντέλα μηχανών της μεθόδου DMLS αποτελούν οι EOS M100, M290, M400, M400-4, EOSINT M280 και PRECIOUS M080 της εταιρίας 3D Systems.



Εικόνα 32 α) Η μηχανή M400, β) η μηχανή EOSINT M280 και γ) η μηχανή PRECIOUS M080 της 3D Systems

### Εφαρμογή στο κόσμημα

Η μέθοδος DMLS μπορεί να χρησιμοποιηθεί σε ορισμένες μόνο εφαρμογές κοσμημάτων. Χρησιμοποιεί ένα ευρύ φάσμα μετάλλων, που περιλαμβάνει και πολύτιμα μέταλλα όπως χρυσό, ασήμι, πλατίνα και άλλα, που χρησιμοποιούνται ούτως ή άλλως στη κατασκευή κοσμημάτων. Επιπλέον, η DMLS επιτρέπει τη δημιουργία περίπλοκων σχεδίων με λεπτεπίλεπτες λεπτομέρειες και γεωμετρίες που μπορεί να είναι δύσκολο να επιτευχθούν μέσω παραδοσιακών μεθόδων κατασκευής. Ένα ακόμα προτέρημα της DMLS είναι το γεγονός ότι προσφέρει τη δυνατότητα δημιουργίας εξατομικευμένων και μοναδικών κοσμημάτων για τους πελάτες. Επίσης, η συγκεκριμένη μέθοδος προσφέρει μεγάλη ακρίβεια, η οποία είναι απαραίτητη ώστε να επιτευχθεί το επίπεδο λεπτομέρειας που απαιτείται στον σχεδιασμό κοσμημάτων. Από την άλλη, οι μηχανές DMLS μπορεί να είναι ακριβές, τόσο από την άποψη της αρχικής αγοράς, όσο και από την άποψη της συνεχούς λειτουργίας τους. Εκτός αυτού, ανάλογα τις παραμέτρους της διαδικασίας και τα βήματα που ακολουθούνται στην μεταγενέστερη επεξεργασία, το φινίρισμα της επιφάνειας μπορεί να είναι τραχύ. Είναι πιθανό να απαιτείται εκτεταμένη μετά-επεξεργασία ώστε να επιτευχθεί ένα ποιοτικό φινίρισμα. Κάτι ακόμα που μπορεί να αποτελέσει περιορισμό, κυρίως όσον αφορά τη μαζική παραγωγή, είναι ότι η μέθοδος DMLS είναι μια σχετικά αργή διαδικασία, ειδικά για τα πολύπλοκα σχέδια κοσμημάτων. Τέλος, κάποιες μηχανές DMLS φέρουν περιορισμούς στο μέγεθος και τη γεωμετρία των παραγόμενων προϊόντων.

Συμπερασματικά, η DMLS μπορεί να χρησιμοποιηθεί αποτελεσματικά για την παραγωγή υψηλής ποιότητας και περίπλοκων κοσμημάτων, ειδικά όταν η εξατομίκευση και τα περίτεχνα σχέδια είναι

σημαντικά. Ωστόσο, μπορεί να μην είναι η πιο αποδοτική επιλογή για μαζική παραγωγή, λόγω του κόστους της τεχνολογίας και της μεγάλης ανάγκης για μεταγενέστερη επεξεργασία. Στη περίπτωση αυτή λοιπόν, η μέθοδος DMLS απορρίπτεται.

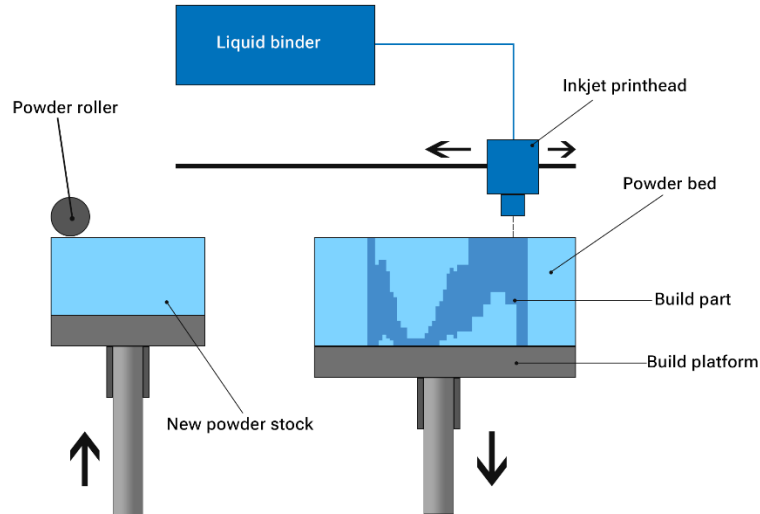
Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
DMLS	Ναι	●●●●●	●●●●●	●●○○○	●●○○○	●●●●●	●○○○○

### 2.3.3. Binder Jetting

#### Διαδικασία

Η μέθοδος binder jetting είναι μια διαδικασία τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιεί ένα υλικό στη μορφή σκόνης και έναν υγρό συνδετικό παράγοντα για τη δημιουργία αντικειμένων στρώμα προς στρώμα. Η διαδικασία ξεκινά με ένα λεπτό στρώμα σκόνης που απλώνεται στην πλατφόρμα κατασκευής. Μια κεφαλή εκτύπωσης εναποθέτει επιλεκτικά ένα υγρό συνδετικό υλικό στο στρώμα σκόνης σύμφωνα με τις προδιαγραφές σχεδιασμού από ένα ψηφιακό τρισδιάστατο μοντέλο. Αυτή η διαδικασία στερεοποιεί τη σκόνη στις στοχευμένες περιοχές, δημιουργώντας ένα στρώμα διατομής του αντικειμένου. Στη συνέχεια, η πλατφόρμα κατασκευής χαμηλώνει και ένα νέο στρώμα σκόνης απλώνεται πάνω από το προηγούμενο. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται έως ότου σχηματιστεί ολόκληρο το αντικείμενο. Μόλις ολοκληρωθεί η εκτύπωση, αφαιρείται η περίσσεια της μη δεσμευμένης σκόνης και το εκτυπωμένο τεμάχιο μπορεί να υποβληθεί σε πρόσθετες επεξεργασίες, όπως σκλήρυνση ή διήθηση, για την ενίσχυση της αντοχής και της ανθεκτικότητάς του. Ένα από τα πλεονεκτήματα της διαδικασίας της binder jetting είναι ότι επιτρέπει την έγχρωμη εκτύπωση και μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολυμερή, κεραμικά και μέταλλα. Η διαδικασία αυτή είναι ταχύτερη από άλλες μεθόδους τρισδιάστατης εκτύπωσης και μπορεί να επιταχυνθεί περαιτέρω με την αύξηση του αριθμού των οπών της κεφαλής εκτύπωσης που εναποθέτουν υλικό.

Χρησιμοποιώντας δύο υλικά, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένα ευρύ φάσμα συνδυασμών συνδετικού υλικού-σκόνης για την επίτευξη διαφόρων μηχανικών ιδιοτήτων του τελικού μοντέλου, ρυθμίζοντας την αναλογία και τις επιμέρους ιδιότητες των δύο υλικών. Έτσι, η διαδικασία είναι κατάλληλη για περιπτώσεις όπου η εσωτερική δομή του υλικού πρέπει να είναι συγκεκριμένης ποιότητας. Το συνδετικό υλικό χρησιμοποιείται για τη συγκράτηση στρωμάτων υλικού κατασκευής, συχνά σε μορφή κόκκων και σκόνης, με την κεφαλή εκτύπωσης να εναποθέτει το συνδετικό υλικό σε μικροσκοπικές ποσότητες. Το μεγαλύτερο μέρος της συνολικής μάζας του αντικειμένου δημιουργείται με τη χρήση του υλικού σε σκόνη. Ένας θερμαινόμενος θάλαμος δόμησης μπορεί να συμβάλει στην επιτάχυνση της διαδικασίας εκτύπωσης αυξάνοντας το ιξώδες των υλικών.



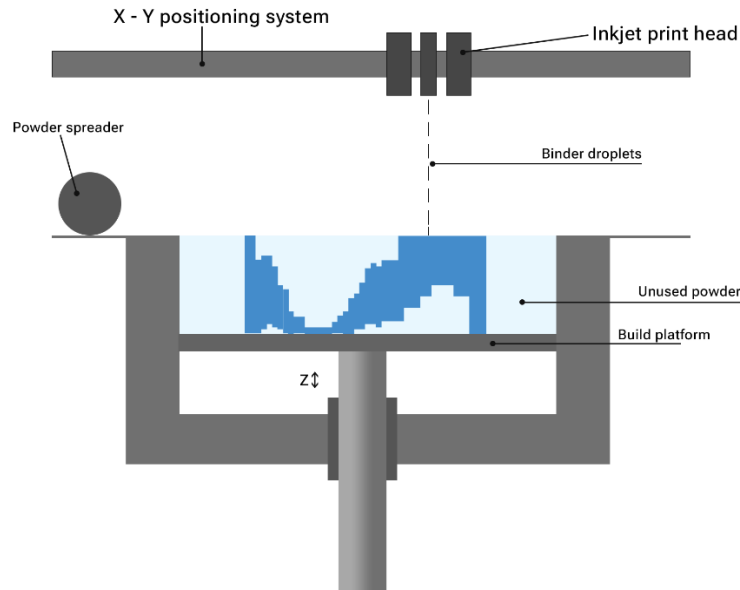
Εικόνα 33 Σχηματική αναπαράσταση της τεχνολογίας Binder Jetting

### 2.3.3.1. 3D Printing (3DP)

Η μέθοδος 3D Printing αναπτύχθηκε το 1990 στο MIT και απέκτησε το όνομα της λόγω της ομοιότητας της με την τεχνολογία Inkjet printing. Στη περίπτωση αυτή όμως, το μελάνι αντικαθίσταται από μια συγκολλητική ουσία (κόλλα/συνδετικό υλικό), η οποία ψεκάζεται στη πρώτη ύλη που είναι τοποθετημένη στην επιφάνεια μιας δεξαμενής και είναι σε μορφή σκόνης/πουδρας με σκοπό τη συγκόλληση των κόκκων.

#### Διαδικασία

Αναλυτικότερα, τα προϊόντα δημιουργούνται στο επάνω μέρος μιας πλατφόρμας η οποία εντοπίζεται στο εσωτερικό ενός δοχείου που περικλείει το βασικό υλικό σε μορφή σκόνης. Στην αρχή, η πλατφόρμα μειώνεται κατά το πάχος μιας διατομής, και μια συσκευή τροφοδοσίας στη συνέχεια διανέμει την κατάλληλη ποσότητα σκόνης πάνω της. Έπειτα, η κεφαλή inkjet ψεκάζει την συγκολλητική ουσία κατά μήκος των αξόνων  $x$  και  $y$ , με αποτέλεσμα να στερεοποιηθεί το υλικό υπό μορφή σκόνης στο επιθυμητό σχήμα που διέγραψε η κεφαλή. Το υπόλοιπο της σκόνης χρησιμοποιείται για τη στήριξη του υπό κατασκευή αντικειμένου. Κατόπιν, η πλατφόρμα μειώνεται όσο το πάχος της επόμενης διατομής. Θα προστεθεί ξανά όση σκόνη απαιτείται και θα επαναληφθεί η ίδια διαδικασία. Μόλις το αντικείμενο είναι πλέον έτοιμο, αφαιρείται από το δοχείο και χρησιμοποιώντας πεπιεσμένο αέρα, καθαρίζεται η περίσσεια σκόνη από το αντικείμενο. Τα ολοκληρωμένα κομμάτια, για την ενίσχυση τους, συνήθως βυθίζονται σε ένα διάλυμα που γεμίζει τους πόρους μεταξύ των κόκκων, και δέχονται ενός είδους θερμικής επεξεργασίας για να αυξηθεί η αντοχή και η ποιότητα της επιφάνειάς τους.

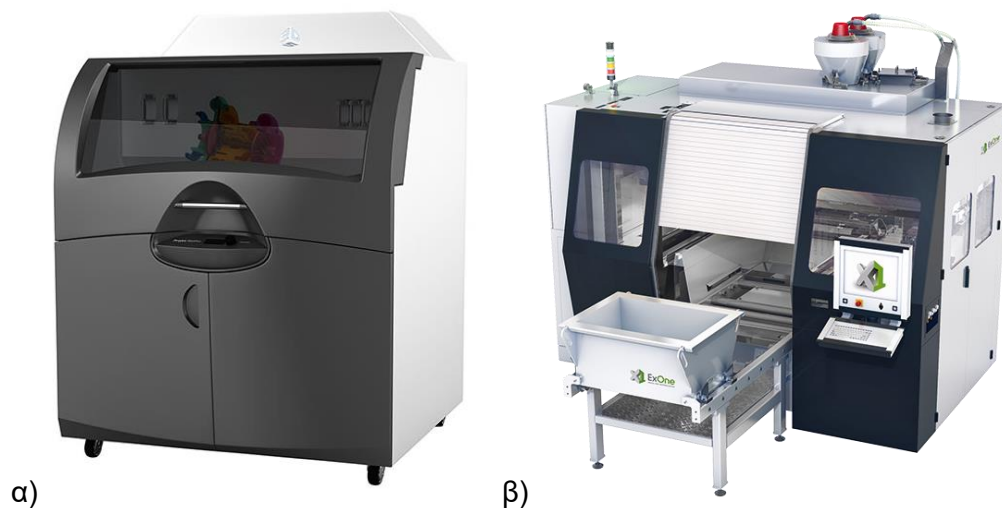


Εικόνα 34 Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου 3D Printing

### Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Η τεχνολογία 3DP χαρακτηρίζεται από υψηλή ταχύτητα και οικονομικότητα, αφού δεν απαιτεί τη χρήση λέιζερ που μπορεί να αυξήσει το κόστος παραγωγής. Η ευελιξία της 3DP επεκτείνεται και στα υλικά που μπορεί να χειριστεί, όπως πολυμερή, κεραμικά και βιοϋλικά, καθιστώντας την προσαρμόσιμη για ποικίλες εφαρμογές. Επιπλέον, η εκτύπωση inkjet ευνοεί την εκτύπωση πολλαπλών υλικών και πολλαπλών χρωμάτων, επιτρέποντας τη δημιουργία πολύπλοκων και ζωντανών δομών. Παρ' όλα αυτά, τα προϊόντα που παράγονται με αυτήν την τεχνολογία δεν είναι υψηλής ακρίβειας, κι έχουν σχετικά μέτρια ποιότητα επιφάνειας και τραχύ φινιρίσμα.

Δημοφιλή μηχανήματα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο αυτή αποτελούν οι 260C, 360, 460Plus, 660Pro και 860Pro της σειράς ProJet CJP, της εταιρίας 3D Systems και οι M-Print και S-Print της εταιρίας ExOne που χρησιμοποιούν σκόνη μετάλλου και σκόνη άμμου αντίστοιχα.



Εικόνα 35 α) Το μηχάνημα 860Pro της 3D Systems και β) το μηχάνημα S-Print της ExOne



## Εφαρμογή στο κόσμημα

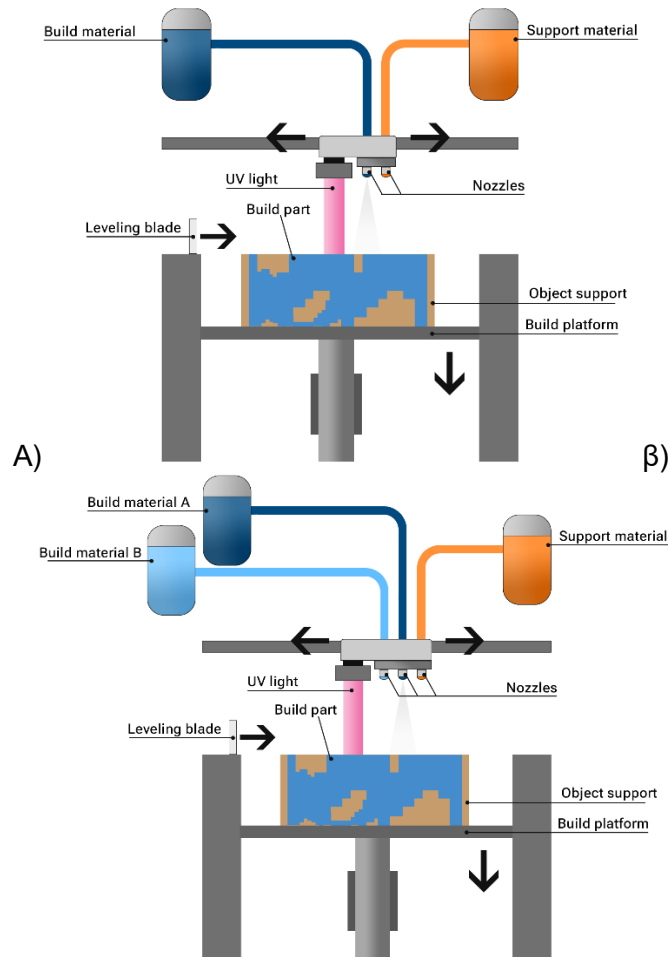
Η μέθοδος 3DP μπορεί να δουλέψει με μια ευρεία γκάμα υλικών, και είναι γνωστή για τις σχετικά γρήγορες ταχύτητες εκτύπωσης σε σύγκριση με άλλες μεθόδους που χρησιμοποιούν υλικά στη μορφή σκόνης. Επίσης, μπορεί να παράγει σχετικά μεγάλα αντικείμενα, που μπορεί να αποτελέσει προτέρημα σε ορισμένες εφαρμογές στη βιομηχανία. Από την άλλη, τα αντικείμενα που παράγονται με 3DP έχουν συχνά κοκκώδες ή τραχύ φινίρισμα επιφάνειας, το οποίο μπορεί να απαιτεί πρόσθετη μεταγενέστερη επεξεργασία για να επιτευχθεί μια πιο ομαλή εμφάνιση. Παρόλο που η 3DP παρέχει ένα επίπεδο λεπτομέρειας, δε μπορεί να φτάσει εκείνο που επιτυγχάνεται με ορισμένες άλλες μεθόδους προσθετικής κατασκευής. Επιπλέον, δεν είναι όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται στη τρισδιάστατη εκτύπωση διαθέσιμα σε μορφή σκόνης, όπως τα χρησιμοποιεί η 3DP. Συμπερασματικά, το κατά πόσο η μέθοδος 3DP είναι ιδανική για τρισδιάστατη εκτύπωση κοσμημάτων εξαρτάται από το στυλ του κοσμήματος που εφαρμόζεται και τις απαιτήσεις. Ενώ έχει πλεονεκτήματα όπως η ευελιξία στην χρήση των υλικών και η ταχύτητα, μπορεί να μην είναι η πρώτη επιλογή για εφαρμογές όπου η λεία επιφάνεια και η λεπτομέρεια είναι κρίσιμες.

Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
3DP	Ναι	●●●●○	●●●○○	●●○○○	●●●●●	●●●○○	●●●●●

### 2.3.4. Material Jetting

Κατά τη διάρκεια της διαδικασίας εκτύπωσης με τη τεχνολογία Material Jetting, η κεφαλή εκτύπωσης διανέμει σταγονίδια φωτοπολυμερούς υλικού στην πλατφόρμα κατασκευής, ακολουθώντας το μοτίβο που καθορίζεται από το λογισμικό. Στη συνέχεια, το υλικό εκτίθεται σε υπεριώδες φως, το οποίο το σκληραίνει, με αποτέλεσμα να συνδέεται με το προηγούμενο στρώμα. Οι σύνθετες γεωμετρίες απαιτούν την προσθήκη ενός υποστηρικτικού υλικού (συνήθως μιας ουσίας τζελ ή κερί) στο κύριο υλικό προκειμένου να διευκολυνθεί η διαδικασία. Η αφαίρεση του υποστηρικτικού υλικού γίνεται με το χέρι ή με πιεστικό νερό.

Με την εκτόξευση υλικού υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής εξαιρετικών λεπτομερών και πολύπλοκων αντικειμένων με λεπτά χαρακτηριστικά και λείες επιφάνειες. Είναι επίσης ικανή να παράγει αντικείμενα σε ένα ευρύ φάσμα χρωμάτων, καθιστώντας την χρήσιμη για εφαρμογές όπου η αισθητική είναι σημαντική. Ωστόσο, η MJ έχει και ορισμένους περιορισμούς. Μπορεί να είναι αργή και δαπανηρή, ειδικά σε σύγκριση με άλλες τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής, όπως η FDM ή η SLA. Είναι επίσης γενικά ακατάλληλη για την παραγωγή μεγάλων αντικειμένων λόγω των περιορισμών του μεγέθους της κλίνης εκτύπωσης. Η κυριότερη μέθοδος της τεχνολογίας MJ είναι η Photopolymer Jetting.



Εικόνα 36 α) Σχηματική αναπαράσταση της τεχνολογίας Material Jetting, β) Σχηματική αναπαράσταση της τεχνολογίας Photopolymer Jetting

#### 2.3.4.1. Photopolymer Jetting (PJ)

##### Διαδικασία

Η εκτόξευση φωτοπολυμερούς είναι μια μέθοδος που χρησιμοποιεί κεφαλές εκτύπωσης τύπου inkjet για την απόθεση στρωμάτων υγρής φωτοπολυμερούς ρητίνης σε μια πλατφόρμα κατασκευής. Η φωτοπολυμερής ρητίνη στερεοποιείται στη συνέχεια με υπεριώδες φως, με αποτέλεσμα να σχηματίζει ένα στερεό αντικείμενο. Ο εκτυπωτής χρησιμοποιεί μια συστοιχία κεφαλών εκτύπωσης για να εναποθέσει μικροσκοπικά σταγονίδια υγρού φωτοπολυμερούς στην πλατφόρμα κατασκευής, ακολουθώντας το μοτίβο που καθορίζεται από το λογισμικό. Κάθε στρώμα σκληραίνεται με υπεριώδες φως πριν από την εναπόθεση του επόμενου στρώματος, δημιουργώντας το αντικείμενο στρώμα προς στρώμα μέχρι να ολοκληρωθεί.

##### Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Ένα από τα βασικά πλεονεκτήματα της εκτόξευσης φωτοπολυμερούς είναι ότι μπορεί να παράγει εξαιρετικά λεπτομερή και πολύπλοκα αντικείμενα με λεπτά χαρακτηριστικά και λείες επιφάνειες. Αυτό οφείλεται στο γεγονός ότι οι κεφαλές εκτύπωσης μπορούν να διανέμουν σταγονίδια φωτοπολυμερούς με διάμετρο μόλις 16 μικρόμετρα.

Ένας από τους κύριους περιορισμούς της μεθόδου Photopolymer Jetting, είναι η λειτουργία της τεχνολογίας μόνο με φωτοπολυμερή υλικά, τα οποία δεν διατηρούν ανθεκτικότητα με τη πάροδο του χρόνου. Έτσι, υπάρχουν περιορισμοί στις μηχανικές ιδιότητες των τελικών προϊόντων.

(Patpatiya, Chaudhary et al. 2022)

Δημοφιλή μηχανήματα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο PJ αποτελούν η Objet1000Plus, η Connex3 και η Stratasys J750, της εταιρίας Stratasys, μοντέλα Polyjet 3D Printers που χρησιμοποιούνται για βιομηχανική παραγωγή και τα μοντέλα Projet MJP 2500, Projet 6000 και Projet 5500X της 3D Systems, στα οποία εφαρμόζεται η τεχνολογία Multi-jet Printing.



A)



β)

Εικόνα 37 α) Το μηχάνημα Objet1000Plus της εταιρίας Stratasys, β) το MultiJet printing μηχάνημα Projet MJP 2500 της εταιρίας 3D Systems

### Εφαρμογή στο κόσμημα

Η μέθοδος PJ παρέχει εξαιρετική λεπτομέρεια και ακρίβεια, καθιστώντας τη κατάλληλη για περίπλοκα σχέδια κοσμημάτων με λεπτά χαρακτηριστικά και πολύπλοκες γεωμετρίες. Επιπλέον, η PJ επιτρέπει την χρήση πολλαπλών υλικών και χρωμάτων ταυτόχρονα σε μία μόνο εργασία εκτύπωσης. Έτσι λοιπόν, υπάρχει δυνατότητα δημιουργίας πολύχρωμων κοσμημάτων από πολλαπλά υλικά. Εκτός αυτού, τα αντικείμενα που παράγονται με PJ έχουν συνήθως λείο και υψηλής ποιότητας φινίρισμα επιφάνειας, μειώνοντας έτσι την ανάγκη για εκτεταμένη μετεπεξεργασία, και μπορεί επίσης η μέθοδος να χρησιμοποιηθεί για την δημιουργία εξατομικευμένων κοσμημάτων, επιτρέποντας μοναδικά σχέδια προσαρμοσμένα στις ατομικές προτιμήσεις. Παρόλα αυτά, ενώ η PJ προσφέρει ένα ευρύ φάσμα υλικών, ενδέχεται να μην παρέχει τις ίδιες επιλογές υλικών με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής κοσμημάτων, που χρησιμοποιούν πολύτιμα μέταλλα όπως ο χρυσός και το ασήμι. Τα μηχανήματα και τα υλικά της PJ μπορεί να είναι σχετικά ακριβά, γεγονός που μπορεί να επηρεάσει την οικονομική αποδοτικότητα της παραγωγής κοσμημάτων, ιδίως για μικρής κλίμακας ή εξατομικευμένων κομματιών. Ο όγκος κατασκευής των μηχανών PJ μπορεί να περιορίσει το μέγεθος των

κοσμημάτων που μπορούν να παραχθούν σε μια παρτίδα. Τέλος, ανάλογα με το συγκεκριμένο υλικό που χρησιμοποιείται, τα αντικείμενα που παράγονται με PJ μπορεί να έχουν διαφορετικές ιδιότητες σε σύγκριση με τα παραδοσιακά υλικά κοσμημάτων. Με βάση τα παραπάνω, η μέθοδος PJ κρίνεται κατάλληλη για τη δημιουργία κοσμημάτων. Ωστόσο, θα πρέπει να λαμβάνονται υπόψη οι περιορισμοί κόστους και υλικών ανάλογα τις ανάγκες παραγωγής.

Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
PJ	Ναι	●●●○○	●●●●●	●●●●●	●●●●○	●●●●○	●●●●○

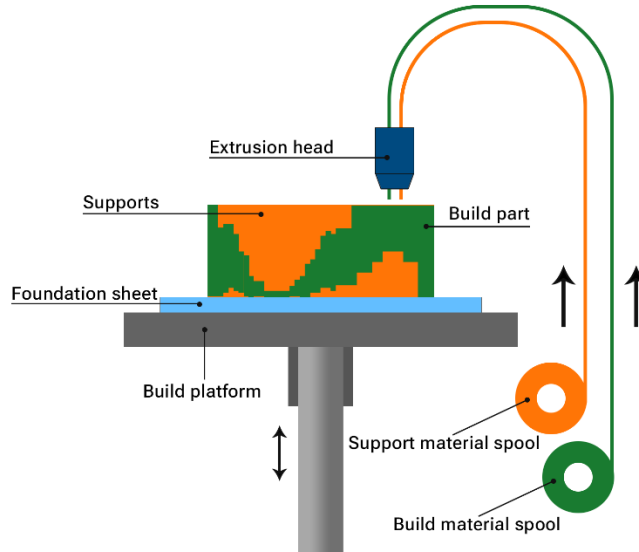
## 2.3.5. Material Extrusion

Η τεχνολογία Material Extrusion χρησιμοποιεί τη διαδικασία της εξώθησης για τη δημιουργία των τρισδιάστατων προϊόντων. Συγκεκριμένα, το υλικό στο εσωτερικό μιας δεξαμενής συμπιέζεται και εξωθείται μέσω ενός ακροφυσίου, υπό την επίδραση δύναμης. Το ακροφύσιο θερμαίνει το υλικό στο σημείο τήξης του, και φτάνει έτσι σε λιωμένη κατάσταση. Το σύστημα του εκτυπωτή μετακινεί το ακροφύσιο κατά μήκος των αξόνων X, Y και Z και το λιωμένο υλικό εξωθείται στην πλατφόρμα κατασκευής στρώμα προς στρώμα. Το υλικό στερεοποιείται γρήγορα κατά την εναπόθεση, σχηματίζοντας ένα σταθερό στρώμα. Αυτή η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να κατασκευαστεί ολόκληρο το αντικείμενο. Καθώς κάθε στρώμα εναποτίθεται, ψύχεται και στερεοποιείται, ενώνεται με τα προηγούμενα στρώματα. Δημοφιλής μέθοδος της Material Extrusion είναι η Fused Deposition Modeling.

### 2.3.5.1. Fused Deposition Modeling (FDM)

#### Διαδικασία

Κατά την διαδικασία της FDM, ένα θερμοπλαστικό νήμα, συνήθως σε καρούλι, τροφοδοτείται σε ένα θερμαινόμενο σύστημα εξώθησης. Στη συνέχεια, το νήμα μαλακώνει ή λιώνει μέσα στον εξωθητή και το λιωμένο υλικό εξωθείται μέσω ενός μικρού ακροφυσίου στην πλατφόρμα κατασκευής στρώμα προς στρώμα. Το σύστημα του εκτυπωτή κινεί το ακροφύσιο κατά μήκος των αξόνων X, Y και Z, εναποθέτοντας το υλικό σύμφωνα με το ψηφιακό σχέδιο. Καθώς εναποτίθεται κάθε στρώμα, στερεοποιείται γρήγορα, ενώνοντας το με τα προηγούμενα στρώματα. Η διαδικασία της FDM λαμβάνει χώρα σε ένα προσεκτικά ελεγχόμενο περιβάλλον για να διασφαλιστούν οι βέλτιστες συνθήκες εκτύπωσης. Αυτό περιλαμβάνει τον έλεγχο της θερμοκρασίας, με πολλούς εκτυπωτές να διαθέτουν θερμαινόμενες πλατφόρμες κατασκευής και κλειστούς θαλάμους για την αποφυγή στρέβλωσης των θερμοπλαστικών νημάτων. Ο επαρκής εξαερισμός είναι ζωτικής σημασίας για την ελαχιστοποίηση της έκθεσης σε εκπομπές, ιδίως με ορισμένα υλικά. Επίσης, στη τεχνολογία FDM απαιτούνται υποστηρικτικές δομές οι οποίες συνήθως είναι κατασκευασμένες από διαφορετικό υλικό που εξωθείται από ξεχωριστή κεφαλή. Διάφορες ουσίες, όπως νάιλον, πολυμερή και κεριά, έχουν δοκιμαστεί στη δημιουργία του πλέγματος υποστήριξης. Η χρήση του πλαστικού ABS ως πρώτης ύλης οδήγησε στην εμπορική εξέλιξη αυτής της μεθόδου, αυξάνοντας τη συνοχή μεταξύ των στρωμάτων του αντικειμένου και κατά συνέπεια βελτιώνοντας τις μηχανικές του ιδιότητες.



Εικόνα 38 Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου Fused Deposition Modeling

### Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Η FDM προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα που συμβάλλουν στην ευρεία υιοθέτησή της στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Ένα βασικό πλεονέκτημα είναι η προσβασιμότητα και η φιλικότητά της προς τον χρήστη. Οι εκτυπωτές FDM είναι ευρέως διαθέσιμοι, από προσιτά επιτραπέζια μοντέλα για χομπίστες έως μηχανήματα για επαγγελματική χρήση στη βιομηχανία. Η διαδικασία είναι σχετικά απλή, γεγονός που την καθιστά εξαιρετική επιλογή για αρχάριους και όσους είναι νέοι στην τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης. Επιπλέον, η FDM υποστηρίζει ένα ευρύ φάσμα θερμοπλαστικών υλικών, συμπεριλαμβανομένων των PLA, ABS, PETG και άλλων, επιτρέποντας στους χρήστες να επιλέγουν υλικά με βάση τις συγκεκριμένες απαιτήσεις του έργου. Η προσιτή τιμή, η ευελιξία και η ευκολία χρήσης καθιστούν την FDM μια δημοφιλή επιλογή για ταχεία κατασκευή πρωτοτύπων, εκπαιδευτικές ρυθμίσεις και παραγωγή μικρής κλίμακας.

Παρά τα πλεονεκτημά της, η FDM έχει ορισμένους περιορισμούς. Η επίτευξη υψηλών επιπέδων λεπτομέρειας και ποιοτικών επιφανειακών φινιρισμάτων μπορεί να αποτελέσει πρόκληση σε σύγκριση με ορισμένες άλλες μεθόδους τρισδιάστατης εκτύπωσης. Οι γραμμές στρώσεων μπορεί να είναι ορατές στην τελική εκτύπωση, επηρεάζοντας την αισθητική ποιότητα. Επιπλέον, η FDM μπορεί να δυσκολευτεί με προεξοχές και πολύπλοκες γεωμετρίες που απαιτούν δομές στήριξης, η αφαίρεση των οποίων μετά την εκτύπωση μπορεί να είναι χρονοβόρα. Οι μηχανικές ιδιότητες των εξαρτημάτων που εκτυπώνονται με FDM μπορεί να ποικίλλουν ανάλογα με παράγοντες όπως η πρόσφυση των στρώσεων και η επίτευξη υψηλής αντοχής προς όλες τις κατευθύνσεις μπορεί να αποτελέσει πρόκληση.

Η εταιρία Stratasys κατασκευάζει μοντέλα μηχανημάτων που χρησιμοποιούν τη μέθοδο FDM κατασκευάζονται από την εταιρία Stratasys σε πολύ μεγάλη ποικιλία αφού οι εκτυπωτές της FDM είναι ευρέως διαθέσιμοι σε προσιτές τιμές για οικιακή αλλά και για επαγγελματική χρήση.

Εμπορικά παραδείγματα εκτυπωτών αποτελούν τα μοντέλα Mojo, uPrint SE και uPrint SE Plus. Υπάρχουν επιπλέον εκτυπωτές κατασκευής πρωτοτύπων ακριβείας για σχεδιαστικούς λόγους όπως είναι τα μοντέλα Dimension 1200es, Dimension Elite και Fortus 250mc, και τελικά,

διατίθενται εκτυπωτές για βιομηχανική παραγωγή πρωτοτύπων αλλά και τελικών προϊόντων όπως για παράδειγμα τα μοντέλα Fortus 380/450mc & Fortus 900mc.



Εικόνα 39 Τα μηχανήματα της Stratasys α) uPrint SE Plus, β) Fortus 250mc και γ) Fortus 900mc

### Εφαρμογή σε κόσμημα

Η μέθοδος FDM δεν θεωρείται ιδανική για την κατασκευή κοσμημάτων, αρχικά λόγω περιορισμού στα υλικά, αφού η FDM χρησιμοποιεί κυρίως θερμοπλαστικά νήματα όπως PLA ή ABS. Τα υλικά αυτά δεν έχουν τη λάμψη και την αξία που συνδέονται με τα παραδοσιακά μέταλλα κοσμήματος. Οι αισθητικές και υλικές ιδιότητες των νημάτων δεν συμπίπτουν με αυτό που οι περισσότεροι περιμένουν από τα κοσμήματα. Επιπλέον, η FDM παράγει αντικείμενα με την εναπόθεση στρώσεων λιωμένου νήματος, γεγονός που συχνά οδηγεί σε ορατές γραμμές στρώσεων στην επιφάνεια του εκτυπωμένου αντικειμένου. Αυτές οι γραμμές μπορεί να είναι δύσκολο να αφαιρεθούν εντελώς και δημιουργούν μια ανεπιθύμητη υφή στα κοσμήματα. Τέλος, η FDM ενδέχεται να μην είναι σε θέση να επιτύχει το επίπεδο λεπτομέρειας και ακρίβειας που απαιτείται για περίπλοκα σχέδια κοσμημάτων και γενικά μετά την εκτύπωση είναι πιθανό να χρειαστεί πιο εκτεταμένη μεταεπεξεργασία για την επίτευξη της επιθυμητής εμφάνισης, καθιστώντας τη διαδικασία παραγωγής πιο χρονοβόρα και εντατική. Για τους παραπάνω λόγους, η μέθοδος FDM απορρίπτεται στη διαδικασία παραγωγής κοσμημάτων.

Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
FDM	Όχι	●○○○	●●●○○	●●○○○	●●●○○	●●●○○	●●●●●

### 2.3.6. Directed Energy Deposition

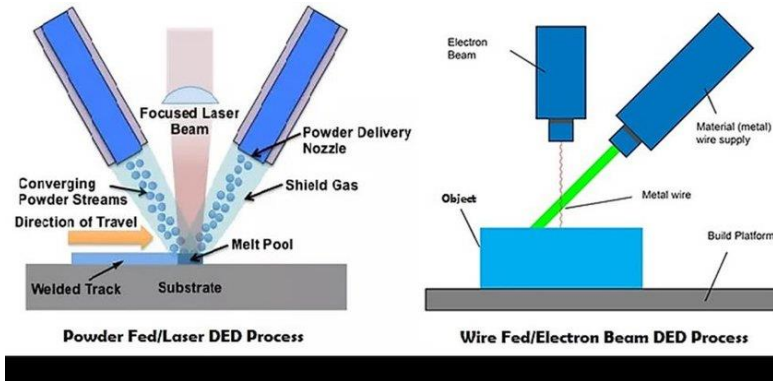
Στη κατηγορία Directed Energy Deposition περιλαμβάνονται οι μέθοδοι στις οποίες το υλικό συνενώνεται όταν εστιασμένη θερμική ενέργεια το λιώνει κατά την διάρκεια που αυτό εναποτίθεται. Μια κλασική μονάδα DED αποτελείται από ένα ακροφύσιο που τοποθετείται σε έναν εύκαμπτο βραχίονα με πολλαπλούς άξονες. Αυτό το ακροφύσιο μεταφέρει το λιωμένο υλικό πάνω σε μια

καθορισμένη επιφάνεια, όπου στη συνέχεια γίνεται η στερέωσή του. Η διαδικασία αυτή έχει κάποιες ομοιότητες με την εξώθηση υλικού, αλλά το ακροφύσιο έχει τη δυνατότητα να κινείται σε πολλές κατευθύνσεις και δεν είναι περιορισμένο σε έναν μόνο άξονα. Το υλικό, το οποίο εφαρμόζεται από οποιαδήποτε γωνία, λιώνει καθώς εφαρμόζεται με χρήση δέσμης ηλεκτρονίων ή λέιζερ. Η τεχνική αυτή μπορεί να χρησιμοποιηθεί με ποικίλα υλικά, όπως πολυμερή, κεραμικά, αλλά συνήθως προτιμάται για μέταλλα, τα οποία είτε παρουσιάζονται σε μορφή σκόνης ή σύρματος. Το σύρμα είναι λιγότερο ακριβές λόγω της φύσης ενός προσχηματισμένου σχήματος, αλλά είναι πιο αποδοτικό σε υλικό σε σύγκριση με τη σκόνη. Η μέθοδος τήξης του υλικού ποικίλλει μεταξύ λέιζερ, δέσμης ηλεκτρονίων και δέσμης λέιζερ ή τόξου πλάσματος, όλα μέσα σε έναν θάλαμο όπου η ατμόσφαιρα έχει μειωμένα επίπεδα οξυγόνου. Ενώ στις περισσότερες περιπτώσεις, ο βραχίονας είναι αυτός που κινείται και το αντικείμενο παραμένει σε σταθερή θέση, αυτό μπορεί να αλλάξει και να μετακινηθεί μια πλατφόρμα με το αντικείμενο ενώ ο βραχίονας παραμένει σε σταθερή θέση. Η επιλογή θα εξαρτάται από την ακριβή εφαρμογή της τεχνολογίας και το αντικείμενο που εκτυπώνεται. Οι χρόνοι ψύξης του υλικού είναι πολύ γρήγοροι, συνήθως μεταξύ 1000 - 5000 βαθμών Κελσίου / δευτερόλεπτο.

Ένα αξιοσημείωτο πλεονέκτημα της μεθόδου είναι η ευελιξία της στην εργασία με διάφορα υλικά. Η DED μπορεί να χρησιμοποιηθεί με πολυμερή, κεραμικά και κυρίως μέταλλα, είτε σε μορφή σκόνης είτε σε μορφή σύρματος. Αυτή η ευελιξία επιτρέπει την παραγωγή ενός ευρύ φάσματος εξαρτημάτων κατάλληλων για ποικίλες εφαρμογές. Επιπλέον, η DED είναι κατάλληλη για την επισκευή ή την προσθήκη υλικού σε υπάρχοντα εξαρτήματα, επιτρέποντας την αποκατάσταση φθαρμένων ή κατεστραμμένων εξαρτημάτων σε βιομηχανίες όπως η αεροδιαστημική και η αυτοκινητοβιομηχανία. Η ικανότητα της διαδικασίας να εναποθέτει υλικό από πολλαπλές γωνίες και η δυνατότητα για παραγωγή μεγάλης κλίμακας συμβάλλουν στην αποτελεσματικότητά της, καθιστώντας την προτιμώμενη επιλογή για την κατασκευή σύνθετων, προσαρμοσμένων και δομικά ανθεκτικών εξαρτημάτων.

Παρά τα πλεονεκτήματά της, η DED συνοδεύεται από ορισμένες προκλήσεις. Η επίτευξη υψηλών επιπέδων ακρίβειας και ποιοτικού επιφανειακού φινιρίσματος μπορεί να είναι πιο απαιτητική σε σύγκριση με ορισμένες άλλες μεθόδους προσθετικής κατασκευής. Η φύση της διαδικασίας που βασίζεται σε στρώμα προς στρώμα μπορεί να οδηγήσει σε ορατές γραμμές στρώματος στο τελικό προϊόν, επηρεάζοντας την αισθητική του. Ενδέχεται να απαιτούνται βήματα μεταγενέστερης επεξεργασίας για τη βελτίωση της επιφάνειας.

Τα μειονεκτήματα των τεχνολογιών DED περιλαμβάνουν κακή ανάλυση και ποιότητα επιφάνειας στο τελικό προϊόν, χαμηλή ταχύτητα κατασκευής και χαμηλή ακρίβεια. Για να έχουμε μεγαλύτερη ακρίβεια, απαιτείται χαμηλότερος ρυθμός εναπόθεσης και χαμηλότερη θερμική ενέργεια, γεγονός που θα οδηγήσει σε μείωση της ποιότητας της επιφάνειας και ενδεχομένως σε αρνητική επίδραση στη μικροδομή. Επίσης, συγκριτικά με τις μεθόδους PBF, είναι αδύνατο να δημιουργηθούν στις DED πολύ περίπλοκες γεωμετρίες, εξαιτίας των περιορισμών των δομών στήριξης.



Εικόνα 40 Σχηματική αναπαράσταση της τεχνολογίας Directed Energy Deposition α) με υλικό σε μορφή σκόνης, β) με υλικό σε μορφή σύρματος

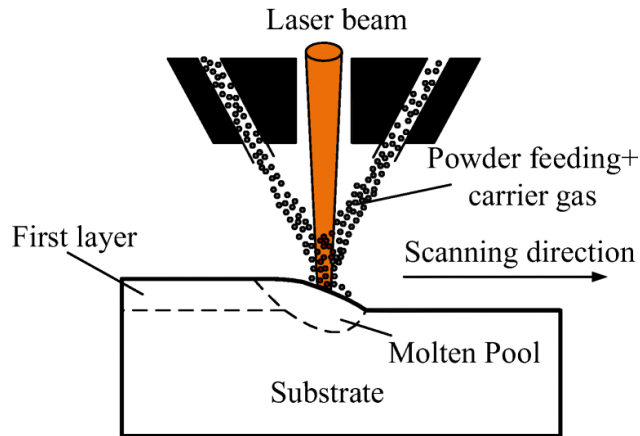
### 2.3.6.1. Direct Metal Deposition (DMD)

#### Διαδικασία

Η δημοφιλέστερη μέθοδος της τεχνολογίας DED είναι η DMD, στην οποία το υλικό είναι μέταλλο σε μορφή σκόνης και μια εστιασμένη δέσμη λέιζερ παράγει τη θερμική ενέργεια. Η διάταξη αποτελείται από μια τη δέσμη λέιζερ, τον μηχανισμό εναπόθεσης υλικού και σωληνώσεις αερίου. Το αντικείμενο βρίσκεται σε μια επιφάνεια που θα χρησιμεύσει ως βάση και ονομάζεται υπόστρωμα. Το υπόστρωμα αυτό και το ακροφύσιο κινούνται, σε κάποιες διατάξεις μόνο το ένα, σε κάποιες το άλλο και σε ορισμένες κινούνται και τα δύο με σκοπό την εναπόθεση του υλικού. Χρησιμοποιείται σύστημα τριών αξόνων ή σύστημα τεσσάρων-πέντε αξόνων ώστε να επιτευχθούν οι κινήσεις αυτές. Η μη κατακόρυφη εναπόθεση είναι το ίδιο αποτελεσματική αφού η επίδραση της βαρύτητας είναι μικρότερη από την κινητική ενέργεια εναπόθεσης της σκόνης, και ως αποτέλεσμα, η εναπόθεση μπορεί να πραγματοποιηθεί προς ποικίλες κατευθύνσεις.

Το ακροφύσιο προτιμάται να κινείται όταν το υπόστρωμα έχει μεγάλες διαστάσεις ή μεγάλο βάρος, ενώ σε διαφορετικές περιπτώσεις είναι πιο εύκολο να κινείται μόνο το υπόστρωμα. Ως αποτέλεσμα, είναι προφανές ότι οι ρυθμίσεις των τεχνολογιών DMD διαφέρουν με βάση τις απαιτήσεις του σχεδιασμού και τη γεωμετρία του προϊόντος που κατασκευάζεται. Η σκόνη του υλικού εναποτίθεται σε μια «λίμνη» λιωμένου υλικού στο υπόστρωμα (συνήθως 0,25-1 χιλ. σε διάμετρο και 0,1-0,5 χιλ. βάθος), η οποία δημιουργείται από μια δέσμη λέιζερ. Η σκόνη λιώνει αμέσως μόλις εισέρθει στη «λίμνη» και στη συνέχεια στερεοποιείται μόλις η δέσμη λέιζερ απομακρύνεται. Αποτέλεσμα της σάρωσης της δέσμης λέιζερ αποτελεί η δημιουργία ενός λεπτού κομματιού του μετάλλου που έχει στερεοποιηθεί, το οποίο συνενώνεται με τη βάση ή το προηγούμενο στρώμα. Το κάθε στρώμα αποτελείται από πολλαπλά διαδοχικά επικαλυπτόμενα τμήματα. Είναι τεκμηριωμένο ότι έως και το 25% του πάχους του τεμαχίου λιώνει ξανά και απαρτίζει την «λίμνη» λιωμένου υλικού, στην οποία εναποτίθεται η νέα στρώση σκόνης. Μετά τη δημιουργία κάθε στρώματος, το ακροφύσιο απομακρύνεται από τη βάση κατά ένα πάχος μιας στρώσης (μέσο πάχος 0,25-0,5 mm) και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να ολοκληρωθεί το τελικό προϊόν (Gibson, Rosen et al. 2015).





Εικόνα 41 Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου Direct Metal Deposition

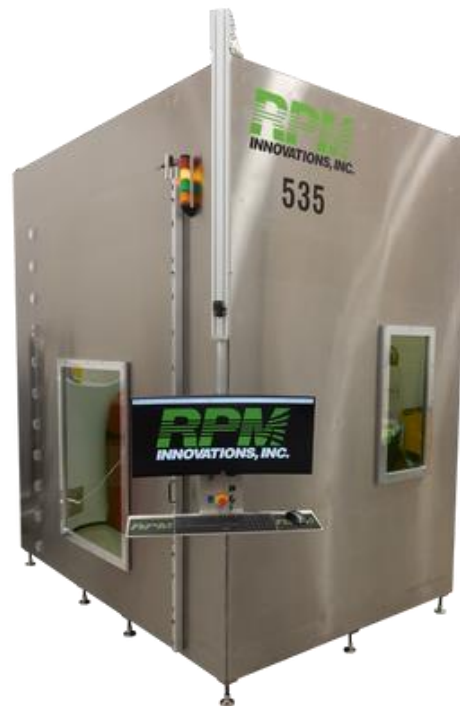
### Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Η μέθοδος DMD χρησιμοποιείται συχνά στην επισκευή κατεστραμμένων ή φθαρμένων εξαρτημάτων, την παραγωγή νέων, καθώς και την εφαρμογή προστατευτικών επικαλύψεων, συμβάλλοντας στη μείωση της φθοράς και της διάβρωσης. Είναι ευέλικτη στην εργασία με ένα ευρύ φάσμα μεταλλικών υλικών, καθιστώντας την κατάλληλη για εφαρμογές που απαιτούν συγκεκριμένες ιδιότητες υλικών. Η διαδικασία επιτρέπει τη δημιουργία πολύπλοκων γεωμετριών και εξατομικευμένων μεταλλικών εξαρτημάτων, καθιστώντας την πολύτιμη σε βιομηχανίες όπως η αεροδιαστημική και η αυτοκινητοβιομηχανία. Ωστόσο, οι προκλήσεις περιλαμβάνουν την ανάγκη για τεχνογνωσία στη βελτιστοποίηση των παραμέτρων της διαδικασίας για διαφορετικά υλικά, το μεγάλο κόστος του εξοπλισμού, πιθανά ζητήματα όπως η παραμένουσα τάση και η παραμόρφωση, καθώς και την απαίτηση για βήματα μετεπεξεργασίας για την επίτευξη των επιθυμητών επιφανειακών τελειωμάτων.

Γνωστά μοντέλα που χρησιμοποιούν τη μέθοδο DND είναι τα DMD 105D/505D, DMD 44R/66R και DMD IC 106 της εταιρίας DM3D LLC και οι μηχανές 222, 535 και 537 Laser Depositions Systems της εταιρίας RPM Innovations Inc.



α)



β)

Εικόνα 42 α) Η μηχανή DMD IC 106 της εταιρίας DM3D LLC και β) η μηχανή 535 Laser Deposition Systems της εταιρίας RPM Innovations Inc

### Εφαρμογή στο κόσμημα

Η μέθοδος DMD χρησιμοποιεί τα πολύτιμα μέταλλα που συναντώνται συνήθως στα κοσμήματα και είναι ικανή να πετύχει υψηλή ακρίβεια και λεπτομέρεια, καθιστώντας τη κατάλληλη για τη δημιουργία περίπλοκων σχεδίων κοσμημάτων. Επιπλέον, η DMD επιτρέπει την δημιουργία εξατομικευμένων και μοναδικών κοσμημάτων προσαρμοσμένων στις ατομικές προτιμήσεις. Ωστόσο, η μέθοδος αυτή μπορεί να είναι ακριβή, τόσο από την άποψη εξοπλισμού, όσο και των υλικών. Επίσης, η επιφάνεια του αντικειμένου που παράγεται με DMD, είναι συνήθως τραχιά και απαιτεί μεταγενέστερη επεξεργασία για να επιτευχθεί το επιθυμητό φινίρισμα. Έναν ακόμα περιορισμό αποτελεί η ταχύτητα παραγωγής αλλά και το μέγεθος του αντικειμένου προς εκτύπωση, αφού η DMD είναι μια πιο αργή διαδικασία σε σύγκριση με άλλες και το μέγεθος της μηχανής DMD μπορεί να αποτελέσει περιοριστικό παράγοντα για μεγαλύτερα κοσμήματα ή παρτίδες κοσμημάτων. Συνοπτικά, η DMD μπορεί να είναι μια κατάλληλη επιλογή για την τρισδιάστατη εκτύπωση κοσμημάτων, ιδίως όταν η εξατομίκευση και οι περίπλοκες λεπτομέρειες είναι απαραίτητες. Ωστόσο, το κόστος της, η τραχιά επιφάνεια που παράγει και η ταχύτητα παραγωγής μπορεί να την καταστήσουν λιγότερο πρακτική για ορισμένα σενάρια παραγωγής κοσμημάτων.

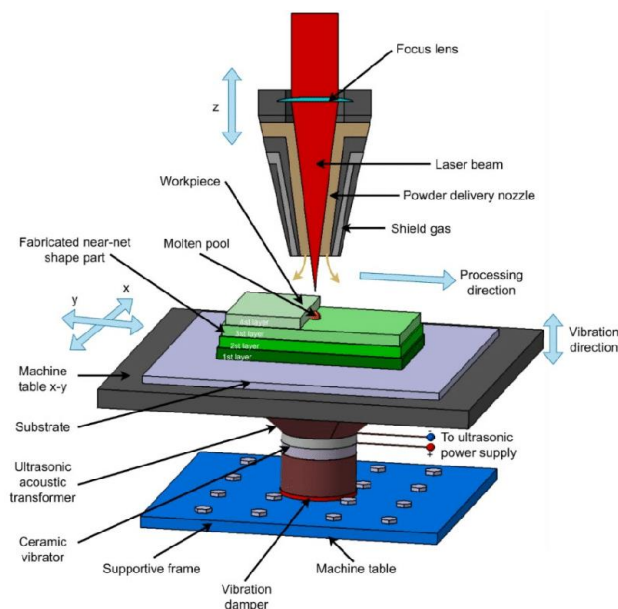
Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
DMD	Ναι	●●●●●	●●●●●	●●○○○	●○○○○	●●●●●	●●○○○

## 2.3.6.2. Laser Engineered Net Shape (LENS)

Η μέθοδος LENS διατέθηκε εμπορικά για πρώτη φορά το 1997 από την εταιρία Optomec Inc ενώ το εργαστήριο Sandia National Laboratories ήταν αυτό που την ανέπτυξε.

### Διαδικασία

Η σκόνη μετάλλου εναποτίθεται και τήκεται συγχρόνως μέσα σε έναν θάλαμο που περιέχει αδρανές αέριο, όπου πραγματοποιείται και όλη η διαδικασία. Το αδρανές αυτό αέριο ανατροφοδοτείται μέσω μιας διάταξης σωληνώσεων από την οποία απομακρύνεται πρώτα το οξυγόνο. Υπάρχει επίσης μια διάταξη η οποία έχει δύο ακροφύσια τα οποία παρέχουν σκόνη και μία δέσμη laser. Η «λίμνη» λιωμένου υλικού στο υπόστρωμα δημιουργείται από τη δέσμη λέιζερ κι έπειτα η σκόνη διανέμεται από τα ακροφύσια και τήκεται όταν εισέρχεται στη «λίμνη». Ακολουθεί η μετακίνηση του υποστρώματος στον άξονα X-Y κι έτσι κατασκευάζεται το πρώτο στρώμα. Στην συνέχεια, εναποτίθεται το υλικό κατασκευάζοντας το επόμενο στρώμα όσο μετακινείται η κεφαλή πάνω-κάτω στον άξονα Z, και η διαδικασία επαναλαμβάνεται μέχρι να πραγματοποιηθεί η ολοκλήρωση του τελικού προϊόντος. Πλέον, στην πιο πρόσφατη εκδοχή της μεθόδου LENS χρησιμοποιείται λέιζερ με ίνες. Η Optomec διαθέτει σύγχρονα μηχανήματα τα οποία διαθέτουν σύστημα 5 αξόνων καταφέροντας να εναποθέσουν σκόνη από οποιαδήποτε κατεύθυνση, με τη σκόνη να παρέχεται από διάταξη τεσσάρων ακροφυσίων. Στα μηχανήματα αυτά, το ύψος των στρώσεων και το μέγεθος της «λίμνης» του λιωμένου υλικού, ελέγχονται και παρακολουθούνται.



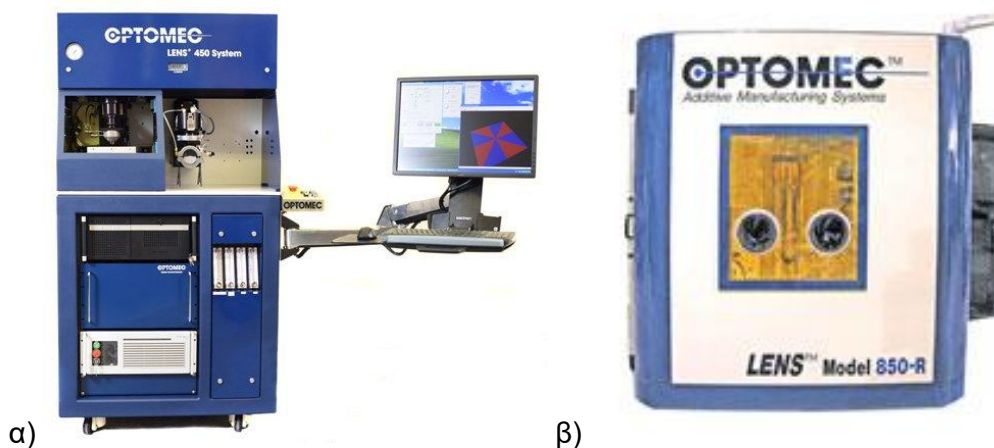
Εικόνα 43 Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου Laser Engineered Net Shape

### Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Η τεχνολογία LENS προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Επιτρέπει την παραγωγή πολύπλοκων γεωμετριών με υψηλό βαθμό ακρίβειας, και κατασκευή μεταλλικών μερών υψηλής πυκνότητας με καλές μηχανικές ιδιότητες. Η LENS μπορεί επίσης να χρησιμοποιηθεί για την επισκευή φθαρμένων μετάλλων, καθιστώντας το χρήσιμο για εφαρμογές συντήρησης και επισκευής. Επιπρόσθετα, είναι

ικανή να δουλεύει με ένα ευρύ φάσμα μεταλλικών υλικών, συμπεριλαμβανομένων του χάλυβα, του τιτανίου, των κραμάτων νικελίου, σύνθετων υλικών και υλικών FGM (Functionally Graded Material).

Γνωστά μοντέλα μηχανών που χρησιμοποιούν τη μέθοδο LENS αποτελούν τα LENS 450, 850-R και MR-7 της εταιρίας Optomec.



Εικόνα 44 Τα μηχανήματα της Optomec α) LENS 450 και β) το 850-R

### Εφαρμογή στο κόσμημα

Παρόλο που η μέθοδος LENS χρησιμοποιεί μια ευρεία γκάμα μετάλλων και κραμάτων, συμπεριλαμβανομένων και κάποιων πολύτιμων μετάλλων, και παρόλο που μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την τρισδιάστατη εκτύπωση ορισμένων μεταλλικών εξαρτημάτων και έχει πλεονέκτημα όσον αφορά τη συμβατότητα των υλικών και την ακρίβεια, μπορεί να μην είναι η πιο αποδοτική ή πρακτική επιλογή για την παραγωγή κοσμημάτων. Το μεγάλο κόστος, το τραχύ φινίρισμα της επιφάνειας που απαιτεί εκτενή μεταγενέστερη επεξεργασία και η ταχύτητα παραγωγής μπορεί να το καταστήσουν λιγότερο κατάλληλο για πολλά σενάρια παραγωγής κοσμημάτων. Για τους παραπάνω λόγους λοιπόν, η μέθοδος LENS απορρίπτεται για την κατασκευή κοσμημάτων.

Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
LENS	Όχι	●●●●○	●●●●●	●○○○○	●○○○○	●●●●●	●●○○○

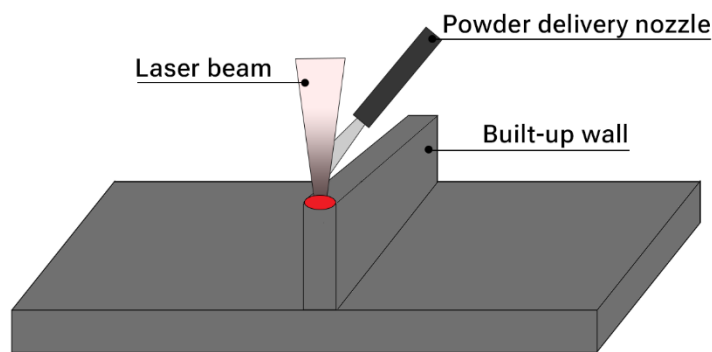
### 2.3.6.3. Laser Consolidation (LC)

Η ανάπτυξη της μεθόδου LC έγινε από το ινστιτούτο National Research Council του Καναδά και με τη χρήση της μπορεί να πραγματοποιηθεί η δημιουργία λειτουργικών μεταλλικών εξαρτημάτων τα οποία δεν απαιτούν περαιτέρω επεξεργασία. Κύρια γνωρίσματα της LC αποτελούν το μικρό μέγεθος στίγματος του λέιζερ, ο ακριβής έλεγχος των κινήσεων καθώς και το ότι η παροχή της σκόνης του υλικού πραγματοποιείται από ένα μόνο ακροφύσιο. Λόγω των χαρακτηριστικών αυτών

κατασκευάζονται μικρά εξαρτήματα με αρκετά μεγάλη ακρίβεια και ποιοτικό φινίρισμα επιφάνειας, αλλά προφανώς με πολύ χαμηλότερη ταχύτητα κατασκευής.

### Διαδικασία

Όπως και προηγουμένως, μια εστιασμένη δέσμη λέιζερ οδηγεί στη δημιουργία της «λίμνης» λιωμένου μετάλλου, στην οποία εναποθέτει το ακροφύσιο τη σκόνη μετάλλου. Η σχετική κίνηση μεταξύ της δέσμης λέιζερ και του υποστρώματος ελέγχεται από ένα αριθμητικά ελεγχόμενο σύστημα κίνησης. Το μοντέλο CAD προκαθορίζει τη διαδρομή της κίνησης της δέσμης λέιζερ με το ακροφύσιο, δημιουργώντας αυλακώσεις λιωμένης πρώτης ύλης στην επιφάνεια του υποστρώματος, οι οποίες στερεοποιούνται γρήγορα για να σχηματίσουν το πρώτο στρώμα. Πραγματοποιείται επανάληψη της διαδικασίας μέχρι να δημιουργηθεί μια συμπαγής κατασκευή με λεπτά τοιχώματα. Εξαρτήματα με πολύπλοκες γεωμετρίες μπορούν να κατασκευαστούν απευθείας από το μοντέλο CAD χωρίς την χρήση καλουπιών και μητρών, με ακριβή σχεδιασμό διαδρομής της δέσμης λέιζερ. Η μέθοδος LC μπορεί να λειτουργήσει με ένα ευρύ φάσμα υλικών, με πιο κοινά τα κράματα νικελίου, τα κράματα τιτανίου, τα κράματα κοβαλτίου και τα κράματα σιδήρου.



Εικόνα 45 Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου Laser Consolidation

### Εφαρμογή στο κόσμημα

Η μέθοδος αυτή χρησιμοποιεί πολύτιμα μέταλλα, όπως συνηθίζεται και στην παραδοσιακή κατασκευή κοσμημάτων και η ενοποίηση που γίνεται με λέιζερ επιτρέπει τη δημιουργία πολύπλοκων και εξατομικευμένων κοσμημάτων. Από την άλλη, τα μηχανήματα ενοποίησης με λέιζερ μπορεί να είναι ακριβά στην αγορά τους αλλά και στη λειτουργία τους. Το κόστος του εξοπλισμού και των υλικών μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα, ιδίως για τη παραγωγή κοσμήματος μικρής κλίμακας. Επίσης, ανάλογα με τον εξοπλισμό και τις παραμέτρους που χρησιμοποιούνται, η ενοποίηση με λέιζερ μπορεί να παράγει μια σχετικά τραχιά επιφάνεια. Συχνά απαιτούνται βήματα μεταγενέστερης επεξεργασίας ώστε να επιτευχθεί η επιθυμητή ποιότητα επιφάνειας. Επίσης, η διαδικασία στρώμα προς στρώμα της LC μπορεί να είναι σχετικά χρονοβόρα, ειδικά για περίπλοκα σχέδια κοσμημάτων. Αυτό αποτελεί περιορισμό όσον αφορά τη μαζική παραγωγή. Τέλος, ορισμένες μηχανές LC ενδέχεται να παρουσιάζουν περιορισμούς ως προς το μέγεθος και τη γεωμετρία των αντικειμένων που μπορούν να παράγουν. Τα πολύπλοκα σχέδια κοσμημάτων μπορεί να απαιτούν πολλαπλά βήματα ή συναρμολόγηση. Επομένως, η LC μπορεί να χρησιμοποιηθεί για ορισμένες εφαρμογές κοσμημάτων, ιδίως για τη δημιουργία εξατομικευμένων,

υψηλής ποιότητας και περίπλοκων κομματιών με παραδοσιακά μέταλλα. Ωστόσο, δεν θεωρείται ιδανική για μαζική παραγωγή και απορρίπτεται στη περίπτωση αυτή.

Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
LC	Ναι	●●●●●	●●●●○	●●○○○	●○○○○	●●●○○	●○○○○

#### 2.3.6.4. Ion Fusion Formation (IFF)

Η ανάπτυξη της μεθόδου IFF έγινε από την εταιρία Honeywell Aerospace.

##### Διαδικασία

Το χαρακτηριστικό που οδηγεί στη διαφοροποίηση της IFF από τις υπόλοιπες μεθόδους της τεχνολογίας DED είναι το τόξο πλάσματος που χρησιμοποιείται ώστε να δημιουργηθεί η «λίμνη» λιωμένου υλικού. Το ίδιο το τόξο πλάσματος δημιουργείται χρησιμοποιώντας ειδική συσκευή πυράκτωσης στην οποία γίνεται χρήση αδρανές αερίου, ως αέριο που σχηματίζει το τόξο. Το υλικό που χρησιμοποιείται είναι μέταλλο υπό μορφής σύρματος ή σκόνης. Μετά τη δημιουργία της «λίμνης» λιωμένου υλικού, εναποτίθεται υλικό όπου χρειάζεται ώστε να σχηματιστεί το πρώτο στρώμα του προϊόντος. Όταν ψύχεται και σκληραίνει η «λίμνη» του λιωμένου υλικού, σχηματίζεται το πρώτο στρώμα. Για τη κατασκευή όλων των στρωμάτων, επαναλαμβάνεται η ίδια διαδικασία όσες φορές είναι απαραίτητο.

##### Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Πλεονεκτήματα αυτής της μεθόδου αποτελούν η πολύ λεπτή μικροδομή και η ελάχιστη παραμόρφωση, λόγω του υψηλού ρυθμού ψύξης της μεταλλικής κατασκευής, που οδηγούν σε βελτιωμένες φυσικές και μηχανικές ιδιότητες του τελικού προϊόντος. Παρόλα αυτά, ορισμένα υλικά ενδέχεται να απαιτούν περαιτέρω θερμική επεξεργασία για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων τους και στη περίπτωση που το υλικό βρίσκεται στη μορφή σύρματος χρειάζεται περαιτέρω επεξεργασία λόγω της τραχιάς τελικής επιφάνειας του αντικειμένου. Επιπλέον, η μέθοδος είναι αρκετά οικονομική και δεν υπάρχει ανάγκη υποστηρικτικών δομών. Από την άλλη, ως μειονεκτήματα της μεθόδου χαρακτηρίζονται η χαμηλή ταχύτητα παραγωγής συγκριτικά με άλλες μεθόδους, η χαμηλότερη ακρίβεια και η σχετικά χαμηλή ποιότητα της επιφάνειας.

Τα υλικά που χρησιμοποιούνται στη μέθοδο IFF είναι συνήθως κράματα χάλυβα, υπερκράματα νικελίου, αλουμίνιο και Rhenium.

##### Εφαρμογή στο κόσμημα

Στη περίπτωση κατασκευής κοσμήματος, η μέθοδος αυτή δεν θεωρείται ιδανική διότι παρά το ότι χρησιμοποιεί μέταλλα για την εκτύπωση προϊόντων, συνήθως δεν είναι τα πολύτιμα μέταλλα που συναντούμε στα κοσμήματα. Επίσης, στο ενδεχόμενο που η πρώτη ύλη είναι σε μορφή σύρματος, η επιφάνεια του προϊόντος εκτυπώνεται τραχιά οπότε απαιτείται μεταγενέστερη επεξεργασία ώστε να καταλήξει στη λεία αυτή επιφάνεια που χρειάζεται ένα κόσμημα, κι έτσι αυξάνεται το κόστος παραγωγής αλλά και ο φόρτος εργασίας. Επιπλέον, η IFF είναι ακατάλληλη για μαζική παραγωγή

κοσμημάτων λόγω της χαμηλής ταχύτητας παραγωγής αλλά και για κομμάτια με περίπλοκα σχέδια μιας και δεν προσφέρει ακρίβεια στην εκτύπωση. Για τους παραπάνω λόγους, η μέθοδος IFF απορρίπτεται για την κατασκευή κοσμημάτων.

Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
IFF	Όχι	●●○○○	●○○○○	●○○○○	●○○○○	●●●○○	●●○○○

### 2.3.6.5. Electron Beam Additive Manufacturing (EBAM)

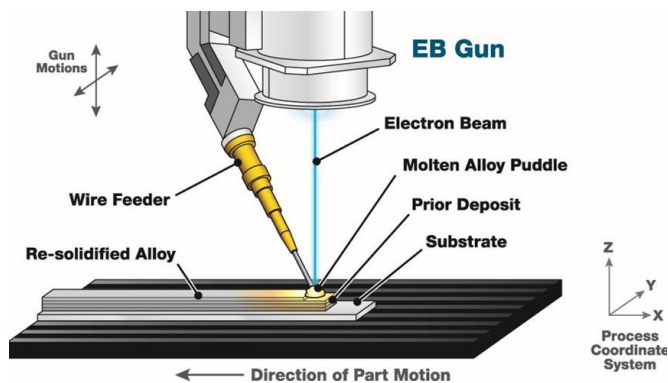
Η Sciaxy Inc ήταν εκείνη που ανέπτυξε από τη δεκαετία του 1990, την μέθοδο EBAM, έχοντας ως στόχο την δημιουργία μεταλλικών εξαρτημάτων με υψηλή ποιότητα και χαμηλότερο κόστος σε συντομότερο χρόνο. Η αρχική ονομασία της μεθόδου ήταν Electron Beam Direct Melting και το 2009 ήταν η χρονιά που παρουσιάστηκε πρώτη φορά ως Electron Beam Additive Manufacturing. Οι βασικές διαφορές της με τις υπόλοιπες τεχνολογίες DED, είναι η δέσμη ηλεκτρονίων η οποία χρησιμοποιείται για τη δημιουργία της «λίμνης» λιωμένου υλικού αλλά και ο τύπος του υλικού που είναι στη μορφή καλωδίου/σύρματος.

#### Διαδικασία

Στη μέθοδο αυτή, το μεταλλικό υλικό εναποτίθεται από μια διάταξη τροφοδοσίας στη μορφή σύρματος, κι έπειτα το υλικό τήκεται με τη χρήση μιας δεύτερης διάταξης δέσμης ηλεκτρονίων, οδηγώντας έτσι στον σχηματισμό στρωμάτων, μέχρι να δημιουργηθεί ένα αντικείμενο τύπου near-net shape (μια τεχνική κατασκευής στην οποία το σχήμα ενός αντικειμένου είναι στην αρχική παραγωγή του είναι πολύ κοντά με αυτό της τελικής, με αποτέλεσμα να μειώνεται η ανάγκη για περεταίρω επεξεργασία). Συγχρόνως, η επιθυμητή γεωμετρία του αντικειμένου, οι μηχανικές του ιδιότητες, η μικροδομή και η χημική σύσταση του, εξασφαλίζονται από ένα σύστημα αισθητήρων κλειστού βρόγχου. Η διαδικασία λαμβάνει χώρα σε ένα θάλαμο υπό κενό. Επιπλέον, υπάρχει δυνατότητα διπλής διάταξης τροφοδοσίας υλικού, επιτρέποντας την ανάμιξη δύο διαφορετικών μετάλλων στη «λίμνη» λιωμένου υλικού. Τα δύο αυτά υλικά μπορούν να αναμειχθούν σε διαφορετικό βαθμό μίξης για την παραγωγή εξαρτημάτων των οποίων η σύνθεσή και η δομή μεταβάλλονται σταδιακά με τον όγκο, ή να συνδυαστούν χρησιμοποιώντας διαφορετικά διαμετρήματα.

#### Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Το κύριο πλεονέκτημα αυτής της μεθόδου είναι ότι είναι ικανή να κατασκευάσει πολύ μεγάλα μεταλλικά εξαρτήματα. Η EBAM είναι επίσης γνωστή για τους υψηλούς ρυθμούς εναπόθεσης, γεγονός που την καθιστά ταχύτερη διαδικασία προσθετικής κατασκευής σε σύγκριση με ορισμένες άλλες τεχνικές, το αρκετά χαμηλότερο κόστος, την ανάμιξη δύο διαφορετικών μεταλλικών υλικών, και για την αξιόλογη μείωση αποβλήτων (χαμένης πρώτης ύλης), συγκριτικά με τις μεθόδους που χρησιμοποιούν σκόνης ως βασικό υλικό. Τέλος, η EBAM μπορεί να δουλέψει με ένα ευρύ φάσμα μεταλλικών υλικών, συμπεριλαμβανομένων των κραμάτων τιτανίου, του ανοξείδωτου χάλυβα, των κραμάτων με βάση το νικέλιο και άλλων.



Εικόνα 46 Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου Electron Beam Additive Manufacturing

### Εφαρμογή στο κόσμημα

Η μέθοδος EBAM, παρόλο που έχει τα πλεονεκτήματά της, συμπεριλαμβανομένης της συμβατότητας των υλικών που χρησιμοποιεί και των υψηλών ρυθμών ταχύτητας παραγωγής, γενικά δεν θεωρείται η ιδανική επιλογή για την τρισδιάστατη εκτύπωση κοσμημάτων. Το κόστος, το τραχύ φινίρισμα της επιφάνειας, η μεγάλη ποσότητα απόβλητων υλικών, οι περιορισμοί μεγέθους λόγω της εστίασης της τεχνολογίας σε μεγαλύτερα και πιο ανθεκτικά εξαρτήματα σε άλλες βιομηχανίες και η πολυπλοκότητα της χρήσης της για τα σχετικά απλά και περίπλοκα σχήματα που συναντώνται συνήθως στο σχεδιασμό κοσμημάτων καθιστούν την EBAM λιγότερο πρακτική για την παραγωγή κοσμημάτων. Για τους λόγους αυτούς λοιπόν η μέθοδος αυτή απορρίπτεται.

Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
EBAM	Όχι	●●●●●	●●●○○	●○○○○	●●●●●	●○○○○	●●●○○

### 2.3.6.6. Rapid Plasma Deposition (RPD)

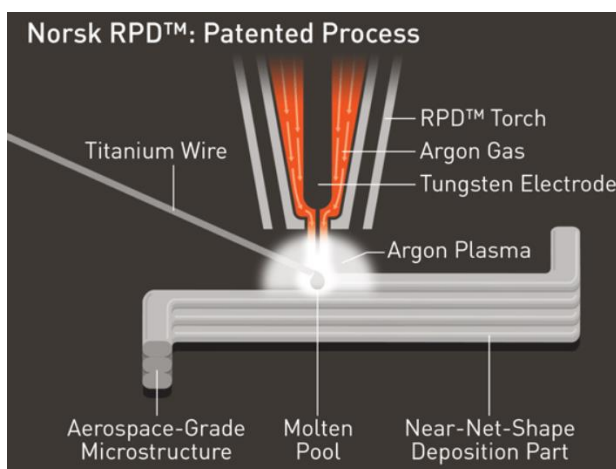
Η εταιρία Norsk Titanium είναι εκείνη που ανέπτυξε τη μέθοδο RPD τη τελευταία δεκαετία, ενώ παρουσιάστηκε πρώτη φορά το 2016. Η Norsk Titanium AS αποτελεί πρωτοπόρο προμηθευτή δομικών εξαρτημάτων τιτανίου, για αεροδιαστημική χρήση, που δημιουργούνται με προσθετική κατασκευή. Η εταιρεία διακρίνεται στην αεροπορική βιομηχανία για το κατοχυρωμένο δίπλωμα ευρεσιτεχνίας της διαδικασίας RPD που μετατρέπει το σύρμα τιτανίου σε σύνθετα εξαρτήματα, κατάλληλα για δομικές εφαρμογές και εφαρμογές κρίσιμης σημασίας για την ασφάλεια.

#### Διαδικασία

Η RPD περιλαμβάνει τη χρήση ενός τόξου πλάσματος υψηλής έντασης ως πηγή θερμότητας και μιας συρμάτινης τροφοδοσίας για τη δημιουργία πυκνών μεταλλικών εξαρτημάτων στρώμα προς στρώμα. Ένα σύρμα τιτανίου, συνήθως με τη μορφή πηνίου, τροφοδοτείται στην περιοχή εναπόθεσης. Το σύρμα καθοδηγείται από ένα ακροφύσιο ή πυρσό που κατευθύνει το σύρμα προς το τόξο πλάσματος. Μεταξύ ενός ηλεκτροδίου και του σύρματος δημιουργείται ένα τόξο πλάσματος



υψηλής έντασης. Το τόξο πλάσματος φτάνει σε θερμοκρασίες αρκετά υψηλές ώστε να λιώσει το σύρμα και να δημιουργήσει τη «λίμνη» λιωμένου υλικού στο υπόστρωμα. Το λιωμένο σύρμα εναποτίθεται με ακρίβεια στο υπόστρωμα ή σε προηγούμενες στρώσεις, καθοδηγούμενο από ρομποτικά συστήματα ελεγχόμενα από υπολογιστή. Το σύρμα λιώνει και τήκεται πάνω στο υπόστρωμα, σχηματίζοντας ένα στερεό στρώμα. Η διαδικασία εναπόθεσης επαναλαμβάνεται στρώμα προς στρώμα, με κάθε στρώμα να συγχωνεύεται με το προηγούμενο στρώμα, δημιουργώντας σταδιακά το επιθυμητό εξάρτημα. Η κίνηση των ρομποτικών συστημάτων και η τροφοδοσία του σύρματος ελέγχονται με ακρίβεια, ώστε να διασφαλίζεται η ακριβής εναπόθεση. Καθώς εναποτίθεται κάθε στρώμα, το υλικό ψύχεται γρήγορα και στερεοποιείται. Η τοπική θέρμανση και οι ελεγχόμενοι ρυθμοί ψύξης συμβάλλουν στην ανάπτυξη λεπτών μικροδομών εντός του αντικειμένου. Αφού ολοκληρωθεί το εξάρτημα, μπορεί να υποβληθεί σε πρόσθετα στάδια μεταεπεξεργασίας, όπως μηχανική κατεργασία, φινιρίσμα επιφάνειας, θερμική επεξεργασία και επιθεώρηση, για την επίτευξη των επιθυμητών τελικών διαστάσεων, ποιότητας επιφάνειας και μηχανικών ιδιοτήτων.



Εικόνα 47 Σχηματική αναπαράσταση της τεχνολογίας Rapid Plasma Deposition της Norsk

### Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Ως πλεονέκτημα, η RPD μπορεί να μειώσει τη σπατάλη υλικών και το κόστος κατεργασίας δυνητικά σε σύγκριση με τις παραδοσιακές μεθόδους αφαιρετικής κατασκευής και μπορεί να κατασκευάσει εξαρτήματα σχετικά γρήγορα, έχοντας επίσης υψηλό ρυθμό απόθεσης και προσφέροντας καλές μηχανικές ιδιότητες στο τελικό αντικείμενο.

Η μέθοδος RPD λοιπόν, που αναπτύχθηκε ειδικά από τη Norsk Titanium, έχει βρει εφαρμογές στην αεροδιαστημική βιομηχανία, όπου η ζήτηση για ελαφριά, υψηλής αντοχής και οικονομικά αποδοτικά εξαρτήματα τιτανίου είναι σημαντική. Έχει τη δυνατότητα να βελτιώσει την παραγωγή σύνθετων εξαρτημάτων τιτανίου, μειώνοντας τους χρόνους παράδοσης και το κόστος σε σύγκριση με τις συμβατικές μεθόδους κατασκευής. Το μηχάνημα της Norsk Titanium 4<sup>ns</sup> γενιάς με στόχο την κατασκευή αεροπορικών δομικών εξαρτημάτων από τιτάνιο είναι το μοντέλο RPD™ MERKE IV.



Εικόνα 48 Το μοντέλο RPDTM MERKE IV της Norsk

### Εφαρμογή στο κόσμημα

Η μέθοδος RPD αναπτύχθηκε αποκλειστικά για να χρησιμοποιείται σε εφαρμογές της αεροδιαστημικής βιομηχανίας, οπότε και απορρίπτεται για χρήση στην κατασκευή κοσμημάτων.

Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
RPD	Όχι	●●●○	●●●○	●○○○	●●●●	●○○○	●●○○

### 2.3.7. Sheet Lamination

Η τεχνολογία Sheet Lamination εφευρέθηκε από την Helisys το 1991, ιδρυτής της οποίας ήταν ο Michael Feygin, και η οποία έκλεισε τον Νοέμβριο του 2000 ενώ μέσα στον μήνα ιδρύθηκε η Cubic Technologies από τον ίδιο, που συνέχισε και την εξέλιξη της. Μια άλλη εταιρία, η McorTechnologies λάνσαρε το 2012, 3 εκτυπωτές που χρησιμοποιούν μια κατοχυρωμένη με δίπλωμα ευρεσιτεχνίας τεχνική πλαστικοποίησης με επιλεκτική εναπόθεση, για τη δημιουργία αντικειμένων με τη χρήση κανονικού φωτοτυπικού χαρτιού, οπότε, είναι μια προσιτή μέθοδος τρισδιάστατης εκτύπωσης σε σύγκριση με οποιοσδήποτε άλλες τεχνολογίες.

Στη τεχνολογία αυτή, η διαδικασία προσθετικής κατασκευής περιλαμβάνει τη διαστρωμάτωση και συγκόλληση φύλλων υλικού για τη δημιουργία ενός τρισδιάστατου αντικειμένου. Η sheet lamination χρησιμοποιεί φύλλα υλικού, συχνά με τη μορφή χαρτιού ή μετάλλου. Λεπτά φύλλα του επιλεγμένου υλικού, τροφοδοτούνται στον τρισδιάστατο εκτυπωτή. Τα φύλλα αυτά μπορεί να ποικίλλουν σε πάχος ανάλογα με τον εκτυπωτή και τη συγκεκριμένη εφαρμογή. Ο τρισδιάστατος εκτυπωτής χρησιμοποιεί έναν μηχανισμό κοπής ή συγκόλλησης για να διαμορφώσει κάθε στρώμα σύμφωνα με το ψηφιακό σχέδιο. Για την συνένωση φύλλων με βάση το χαρτί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί ένας μηχανισμός κοπής για την ακριβή διαμόρφωση κάθε στρώματος. Για την συνένωση φύλλων με βάση το μέταλλο, τα στρώματα συχνά συγκολλούνται μεταξύ τους χρησιμοποιώντας θερμότητα. Τα κομμένα ή συγκολλημένα στρώματα στοιβάζονται το ένα πάνω στο άλλο για τη δημιουργία του τρισδιάστατου αντικειμένου. Ο εκτυπωτής συνεχίζει αυτή τη διαδικασία στρώμα προς στρώμα έως ότου σχηματιστεί ολόκληρο το αντικείμενο.

Οι πιο κοινές μέθοδοι της τεχνολογίας Sheet Lamination είναι η Laminated Object Manufacturing (LOM) και η Ultrasonic Consolidation.

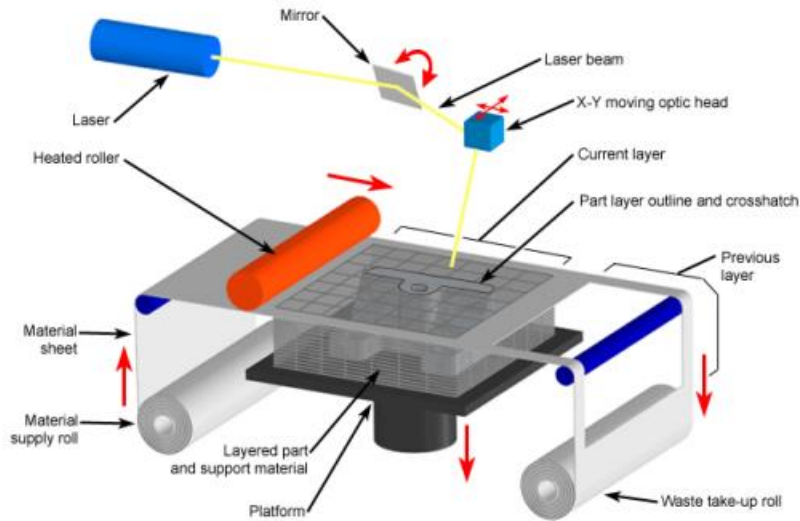
(I.Gibson, D. W. Rosen , B. Stucker)

#### 2.3.7.1. Laminated Object Manufacturing (LOM)

Το 1991, η εταιρία Helisys, ανέπτυξε τη μέθοδο LOM που βασίστηκε στη ταχεία κατασκευή εργαλείων, συγκολλώντας επάλληλα μεταλλικά φύλλα. Αρχικά, η LOM αναπτύχθηκε χρησιμοποιώντας χαρτί με συγκολλητική βάση. Το πάχος του χαρτιού κυμαίνεται από 0,07 έως 0,2 χιλ. Ενδεχομένως, οποιοδήποτε υλικό σε μορφή φύλλου το οποίο μπορεί να κοπεί με ακρίβεια χρησιμοποιώντας λέιζερ ή μηχανικό κόφτη και το οποίο μπορεί να συγκολληθεί, μπορεί να χρησιμοποιηθεί για την κατασκευή εξαρτημάτων. Μια περαιτέρω ταξινόμηση είναι δυνατή στο πλαίσιο αυτών των διαδικασιών βασισμένη στη σειρά με την οποία συγκολλούν και κόβουν το φύλλο. Σε ορισμένες διεργασίες το έλασμα συγκολλάται πρώτα στο υπόστρωμα και στη συνέχεια διαμορφώνεται στο σχήμα διατομής ("bond-then-form" διεργασίες). Σε άλλες διεργασίες το έλασμα κόβεται πρώτα και στη συνέχεια συγκολλάται στο υπόστρωμα ("form-then-bond" διεργασίες).

##### Διαδικασία

Η μέθοδος LOM περιλαμβάνει ένα λέιζερ CO<sub>2</sub>, για την κοπή προφίλ φύλλων χαρτιού, που παρέχονται από ένα συνεχές ρολό το οποίο τα τοποθετεί πάνω σε μια βάση. Όταν τοποθετηθεί το πρώτο φύλλο, περνάει από πάνω του ένας θερμαινόμενος κύλινδρος ασκώντας του πίεση ώστε να προσκολληθεί στη βάση. Τα φύλλα που παρέχονται σχηματίζουν τα στρώματα του τελικού εξαρτήματος. Αφού κοπεί η πρώτη στρώση, η βάση κατεβαίνει, ένα νέο φύλλο τροφοδοτείται, και στη συνέχεια η πλατφόρμα ανεβαίνει ξανά, για να προσκολληθεί ο κύλινδρος το δεύτερο στο πρώτο φύλλο. Τα στρώματα συγκολλούνται μεταξύ τους με τη χρήση μιας θερμοκολλητικής ρητίνης που επικαλύπτει τη μία επιφάνεια του χαρτιού. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται για κάθε στρώμα, με τα στάδια της κοπής με λέιζερ και της συγκόλλησης να εκτελούνται επαναληπτικά έως ότου διαμορφωθεί ολόκληρο το τρισδιάστατο αντικείμενο, το οποίο στη συνέχεια θα περιβάλλεται από ένα μπλοκ υλικού στήριξης. Έπειτα ακολουθεί τεμαχισμός του πλεονάζοντος υλικού, σε κύβους χρησιμοποιώντας μια λειτουργία κοπής με διασταυρούμενη γραμμή, καθιστώντας έτσι ευκολότερη την απόσπαση του αντικειμένου όταν ολοκληρωθεί η διαδικασία. Είναι σημαντικό να αναφερθεί ότι όταν το υλικό που χρησιμοποιείται είναι χαρτί, το τελικό προϊόν έχει υφή ξύλου και για τη προστασία του από την υγρασία, χρειάζεται επικάλυψη με κάποιο στεγνωτικό υλικό. Στις περιπτώσεις χρήσης κεραμικού ή μετάλλου στη μορφή σκόνης, απαιτείται σύντηξη του προϊόντος ώστε να αυξηθεί η αντοχή του.



Εικόνα 49 Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου Laminated Object Manufacturing

### Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Η μέθοδος LOM προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα. Επιτρέπει τη δημιουργία αντικειμένων και πρωτοτύπων μεγάλου όγκου, που μπορεί να είναι δύσκολο ή δαπανηρό να παραχθούν με παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής. Επιπλέον, η διαδικασία επιτρέπει την εύκολη διαχείριση ενός ευρέος φάσματος υλικών όπως είναι το χαρτί, τα θερμοπλαστικά, τα σύνθετα, κεραμικά και τα μέταλλα, ενώ δεν παρουσιάζονται προβλήματα παραμόρφωσης και υπολειπόμενης τάσης. Χαρακτηριστικό της μεθόδου επίσης, αποτελεί το υλικό υποστήριξης που υπάρχει γύρω από το υπό κατασκευή αντικείμενο, κάτι που καθιστά τη δημιουργία πλέγματος στήριξης περιττή, αφού η σταθερότητα του προϊόντος κατά τη διάρκεια κατασκευής του είναι ήδη εξασφαλισμένη. Παρόλα αυτά, το υλικό αυτό που περιβάλλει το αντικείμενο μπορεί να προκαλέσει προβλήματα όταν αφαιρείται, διότι η διαδικασία γίνεται με το χέρι και πρέπει να γίνει με ιδιαίτερη προσοχή. Επιπρόσθετα, ο έλεγχος της ακρίβειας των εξαρτημάτων στη διάσταση Z είναι δύσκολος (λόγω διόγκωσης ή ασυνεπές πάχους φύλλου του υλικού) και η κόλλα που χρησιμοποιείται στη δομή προκαλεί την ανομοιογένεια των μηχανικών και θερμικών ιδιοτήτων των εξαρτημάτων. Τέλος, στη μέθοδο LOM υπάρχει σημαντικό ποσοστό άχρηστου υπολείμματος υλικού, αφού το μεγαλύτερο μέρος του υλικού δεν συμβάλλει στην κατασκευή του ίδιου του εξαρτήματος. Επομένως, η διαδικασία συνήθως είναι δαπανηρή, και κυρίως όταν γίνεται χρήση ακριβότερων υλικών από το χαρτί.

Γνωστό μοντέλο που χρησιμοποιεί τη μέθοδο LOM, είναι το LOM SD 300Pro της εταιρίας Cubic Technologies, που διατίθεται μέσω της Solido.



Εικόνα 50 Το μηχάνημα LOM SD 300Pro της Solido

### Εφαρμογή στο κόσμημα

Η μέθοδος LOM δεν θεωρείται, η ιδανική επιλογή για την τρισδιάστατη εκτύπωση κοσμημάτων, μιας και τα υλικά που χρησιμοποιεί δεν είναι συμβατά με την κατασκευή κοσμημάτων, αφήνει μια ιδιαίτερη υφή στην επιφάνεια του προϊόντος που δεν χρειάζεται ένα κόσμημα και δεν προσφέρει το επίπεδο λεπτομέρειας και ακρίβειας που απαιτείται για περίπλοκα και λεπτομερή σχέδια. Επίσης, τα μηχανήματα LOM είναι κατασκευασμένα έτσι ώστε να δημιουργούν μεγαλύτερα εξαρτήματα ή μοντέλα, καθιστώντας τα λιγότερο πρακτικά για μικρά, περίπλοκα κοσμήματα. Για τους λόγους αυτούς, η μέθοδος LOM απορρίπτεται για τη κατασκευή κοσμημάτων.

Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
LOM	Όχι	●○○○○	●●○○○	●●○○○	●●○○○	●○○○○	●○○○○

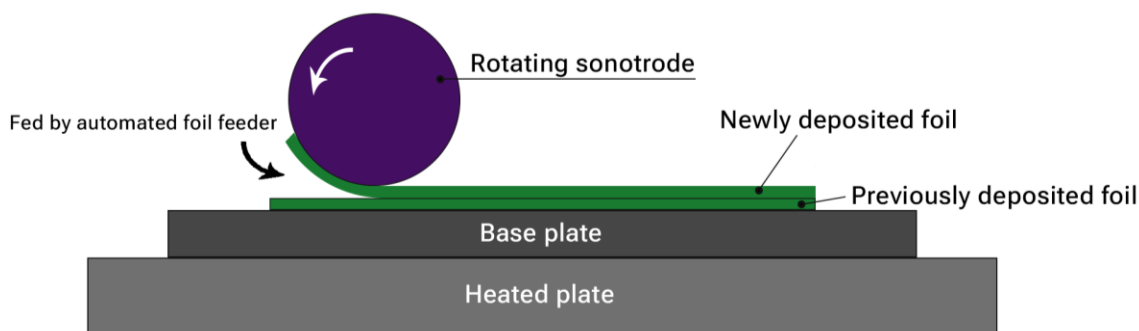
### 2.3.7.2. Ultrasonic Consolidation (UC)

Η μέθοδος UC εμπορευματοποιήθηκε από την Solidica Inc. το 2000 ενώ στη συνέχεια παραχωρήθηκε στην Fabrisonics. Είναι μια υβριδική διαδικασία στερεάς κατάστασης, στην οποία η συγκόλληση των ελασμάτων του υλικού, το οποίο είναι συνήθως μεταλλικό, γίνεται χρησιμοποιώντας υπερήχους, ενώ η κοπή πραγματοποιείται με χρήση μηχανής CNC.

#### Διαδικασία

Η UC ξεκινά με μια πολυεπίπεδη προσέγγιση. Λεπτά φύλλα μετάλλου, πάχους συνήθως περίπου 0,1 έως 0,5 mm, τοποθετούνται το ένα πάνω στο άλλο για να δημιουργηθεί το αντικείμενο στρώμα προς στρώμα. Τα μεταλλικά φύλλα συγκρατούνται μεταξύ τους και η περιοχή προς συγκόλληση υποβάλλεται σε υπερηχητικές δονήσεις. Οι δονήσεις αυτές είναι συνήθως στην εμβέλεια συχνοτήτων υπερήχων, περίπου 20 έως 40 kHz. Οι υπερηχητικές δονήσεις δημιουργούν τοπική αύξηση της θερμοκρασίας στην επιφάνεια μεταξύ των μεταλλικών φύλλων. Η θερμοκρασία αυτή δεν επαρκεί συνήθως για να λιώσει το μέταλλο, αλλά το μαλακώνει, καθιστώντας το πιο εύπλαστο. Οι μεταλλικές επιφάνειες που έχουν μαλακώσει συμπιέζονται μεταξύ τους. Ο συνδυασμός θερμότητας, πίεσης και υπερηχητικών δονήσεων προκαλεί τη διάχυση των ατόμων του μετάλλου κατά μήκος της επιφάνειας, οδηγώντας σε δεσμό στερεάς κατάστασης. Ένα σύστημα CNC (Computer Numerical Control) καθοδηγεί το εργαλείο συγκόλλησης υπερήχων κατά μήκος μιας

προκαθορισμένης διαδρομής. Αυτό το εργαλείο μπορεί να είναι μια ηχοβολίδα που εφαρμόζει τις υπερηχητικές δονήσεις στα μεταλλικά φύλλα. Καθώς προχωρά η υπερηχητική συγκόλληση, νέα στρώματα μεταλλικών φύλλων τροφοδοτούνται στο σύστημα. Η διαδικασία επαναλαμβάνεται, στρώμα προς στρώμα, μέχρι να σχηματιστεί ολόκληρο το τρισδιάστατο αντικείμενο. Σε ορισμένες περιπτώσεις, το τελικό τεμάχιο μπορεί να υποβληθεί σε διαδικασία θερμικής επεξεργασίας για την ανακούφιση από τις τάσεις και τη βελτίωση των ιδιοτήτων του υλικού.

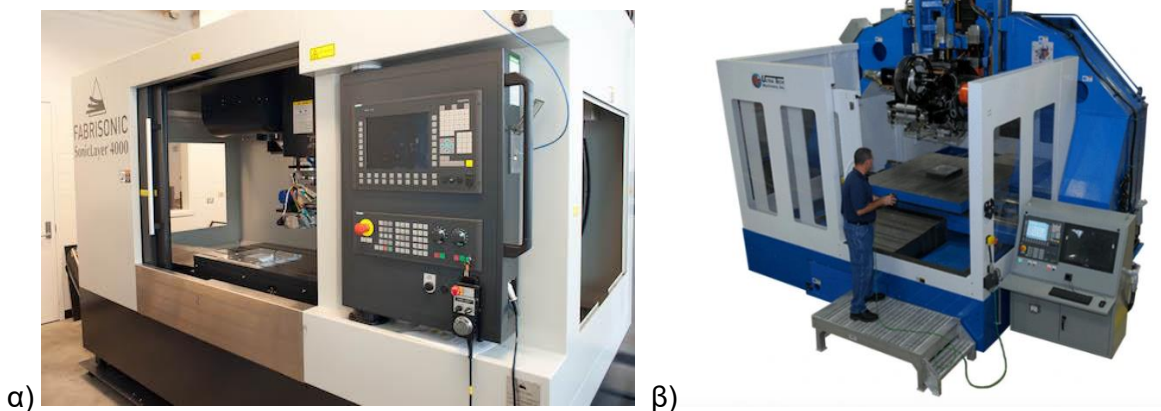


Εικόνα 51 Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου Ultrasonic Consolidation

### Πλεονεκτήματα/Μειονεκτήματα

Πλεονέκτημα του υβριδικού χαρακτήρα της UC αποτελεί η ικανότητα δημιουργίας εξαρτημάτων τα οποία είναι πολυλειτουργικά, αντικειμένων που έχουν πολύπλοκα εσωτερικά γνωρίσματα, που αποτελούνται από πολλαπλά υλικά και αντικειμένων με ενσωματωμένους αισθητήρες, καλώδια και οπτικές ίνες. Επιπλέον, μπορεί να χρησιμοποιηθεί μια πολύ μεγάλη ποικιλία μετάλλων στη μέθοδο. Ένα σημαντικό μειονέκτημα είναι η έλλειψη υλικού υποστήριξης, κάτι που εμποδίζει τη δημιουργία προϊόντων με προεξέχουσες γεωμετρίες. Τέλος, οι μηχανικές ιδιότητες του αντικειμένου παρουσιάζουν ανισοτροπία.

Γνωστά μοντέλα εκτυπωτή που χρησιμοποιεί τη μέθοδο UC είναι τα SonicLayer 4000 και SonicLayer 7200 της εταιρίας Fabrisonic LLC.



Εικόνα 52 Τα μηχανήματα της Fabrisonic LLC α) SonicLayer 4000 και β) SonicLayer 7200

### Εφαρμογή στο κόσμημα

Η μέθοδος UC δεν θεωρείται συνήθως η ιδανική επιλογή για την τρισδιάστατη εκτύπωση κοσμημάτων λόγω του φινιρίσματος της επιφάνειας του εκτυπωμένου προϊόντος, του μεγέθους των μηχανών UC που είναι συνήθως βελτιστοποιημένο για βιομηχανικές εφαρμογές και όχι για μικρά, περίπλοκα κοσμήματα, αλλά και της εκτεταμένης μετεπεξεργασίας, για να επιτευχθεί το επιθυμητό φινίρισμα, προσθέτοντας πολυπλοκότητα και κόστος στη διαδικασία παραγωγής. Τέλος, η UC ενδέχεται να μην προσφέρει το επίπεδο λεπτομέρειας και ακρίβειας που απαιτείται για περίπλοκα και λεπτομερή σχέδια κοσμημάτων αλλά και ούτε τα ιδανικά υλικά. Για τους λόγους αυτούς λοιπόν, η UC απορρίπτεται στην εκτύπωση κοσμημάτων.

Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα γεωμετρίας	Ευχρηστία
UC	Όχι	●●○○○	●●○○○	●○○○○	●●○○○	●○○○○	●○○○○

### 2.3.8. Σύγκριση τεχνολογιών για τη παραγωγή κοσμήματος

Οι τρόποι παραγωγής ενός κοσμήματος με τη χρήση της προσθετικής κατασκευής είναι δύο. Η άμεση τρισδιάστατη εκτύπωση, η οποία εκτυπώνει το τελικό κομμάτι απευθείας από μέταλλο ή πλαστικό, και η εκτύπωση με τη χύτευση με καλούπι, η οποία είναι η τρισδιάστατη εκτύπωση ενός κέρινου μοντέλου από το οποίο μπορεί στη συνέχεια να χυθεί το κομμάτι. Οι διαφορετικές τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής που χρησιμοποιούνται εξαρτώνται από τα υλικά.

#### Άμεση τρισδιάστατη εκτύπωση

Παρόλο που υπάρχει δυνατότητα να εκτυπωθούν άμεσα κοσμήματα από πολύτιμα μέταλλα, οι περισσότεροι κοσμηματοποιοί δεν χρησιμοποιούν τους τρισδιάστατους εκτυπωτές με αυτό το τρόπο. Η άμεση τρισδιάστατη εκτύπωση περιλαμβάνει τη σύντηξη σωματιδίων μεταλλικής σκόνης μαζί με ένα λέιζερ χρησιμοποιώντας τεχνικές σύντηξης σκόνης σε κλίνη. Υπάρχει επίσης

κι ένας άλλος τύπος τρισδιάστατης εκτύπωσης, που ονομάζεται εκτόξευση συνδετικού υλικού, η οποία λειτουργεί με μέταλλα αλλά και πολυμερή. Θετικό είναι επίσης ότι τα υλικά που δεν χρησιμοποιούνται για την παραγωγή μιας παρτίδας κοσμημάτων μπορούν να επαναχρησιμοποιηθούν για την επόμενη παρτίδα.

### Εκτύπωση με χύτευση με καλούπι

Η πιο δημοφιλής μέθοδος για την τρισδιάστατη εκτύπωση κοσμημάτων είναι η χύτευση με καλούπι. Συνδυάζει την τρισδιάστατη εκτύπωση με τις παραδοσιακές τεχνικές κατασκευής καλουπιών. Ουσιαστικά, η πρακτική της χάραξης ενός σκληρού κέρινου υλικού μοντελοποίησης στο επιθυμητό σχήμα, έχει αντικατασταθεί από τους τρισδιάστατους εκτυπωτές. Με τη χρήση ενός υπολογιστή και ενός λογισμικού σχεδιασμού (CAD), ένας κοσμηματοπώλης δημιουργεί το σχέδιο και στη συνέχεια εκτυπώνει τρισδιάστατα ένα μοντέλο του κοσμήματος χρησιμοποιώντας κερί ή κάποιο άλλο υλικό, όπως ρητίνη. Η εκτύπωση του μοντέλου σε ρητίνη μπορεί να πραγματοποιηθεί είτε μέσω στερεολιθογραφίας (SLA) είτε μέσω ψηφιακής επεξεργασίας φωτός (DLP). Ένας τρισδιάστατος εκτυπωτής επιταχύνει δραματικά την πραγματοποίηση επαναλήψεων σχεδίων και τη μαζική προσαρμογή των μοντέλων. Αυτή η μέθοδος είναι εξαιρετική επειδή δεν απαιτείται μια ειδική μορφή του μετάλλου και μπορεί να χρησιμοποιηθεί σχεδόν οποιοδήποτε από αυτά.

Παρακάτω θα εξετάσουμε και θα ταξινομήσουμε με σειρά προτεραιότητας τις τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής με βάση τις ανάγκες κατασκευής του κοσμήματος.

Γενικά, η επιλογή τεχνολογίας εξαρτάται από τις απαιτήσεις του συγκεκριμένου έργου κοσμήματος, τον προϋπολογισμό και τα επιθυμητά υλικά.

- Όπως προέκυψε από την έρευνα, η μέθοδος **SLA** είναι μια από τις 2 πιο δημοφιλείς μεθόδους που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή κοσμημάτων, λόγω της εκτύπωσης υψηλής ανάλυσης, κατάλληλη για περίπλοκα σχέδια κοσμημάτων, το ομαλό φινίρισμα και τις ρητίνες που χρησιμοποιεί.
- Η **DLP** επιλέγεται επίσης για την υψηλή της ανάλυση που επιτρέπει κατασκευή πολύπλοκων γεωμετριών, το λείο φινίρισμα, τη χρήση ρητινών ειδικών για κοσμήματα και την υψηλή ταχύτητα παραγωγής, ταχύτερη και από την SLA.
- Η **PJ** επιτρέπει τη κατασκευή περίπλοκων γεωμετριών λόγω της υψηλής ανάλυσης της και παρέχει σχετικά ομαλή επιφάνεια. Χρησιμοποιεί ρητίνες φωτοπολυμερών, συμπεριλαμβανομένων των ειδικών ρητινών κοσμημάτων, προσφέρει μια μέτρια έως γρήγορη εκτύπωση και μέτριο έως υψηλό κόστος εξοπλισμού και υλικών.
- Η **3DP** είναι κατάλληλη για ορισμένες εφαρμογές κοσμημάτων, με τη μέτρια ανάλυση, το φινίρισμα που ενδέχεται να απαιτεί μετεπεξεργασία και τα υλικά σε μορφή σκόνης που είναι και σχετικά περιορισμένα για τα κοσμήματα. Προσφέρει όμως υψηλή ταχύτητα και χαμηλό κόστος παραγωγής.
- Η **DMLS** προσφέρει υψηλή ακρίβεια, είναι κατάλληλη για μεταλλικά εξαρτήματα κοσμημάτων αλλά απαιτεί συχνά μεταγενέστερη επεξεργασία. Τα υλικά που χρησιμοποιεί είναι συμβατά στη κατασκευή κοσμημάτων ενώ η ταχύτητα της θεωρείται μέτρια έως αργή, ανάλογα με την πολυπλοκότητα και το κόστος του εξοπλισμού και των υλικών είναι υψηλό. Δεν θεωρείται κατάλληλη για μαζική παραγωγή.
- Η **DMD** προσφέρει υψηλή ακρίβεια, είναι κατάλληλη για μεταλλικά εξαρτήματα κοσμημάτων αλλά απαιτεί και αυτή μεταγενέστερη επεξεργασία. Χρησιμοποιεί υλικά συμβατά με τα κοσμήματα



αλλά η ταχύτητα της χαρακτηρίζεται μέτρια έως αργή και το κόστος εξοπλισμού και των υλικών είναι αρκετά υψηλό. Είναι πρακτική για ορισμένα σενάρια παραγωγής.

- Η **LC** είναι κατάλληλη για μεταλλικά εξαρτήματα κοσμημάτων αφού τα υλικά που χρησιμοποιεί είναι συμβατά με τα κοσμήματα, αλλά απαιτεί συνήθως μεταγενέστερη επεξεργασία λόγω του τραχύ φινιρίσματος. Έχει μέτρια έως αργή ταχύτητα, ανάλογα με την πολυπλοκότητα του αντικειμένου, υψηλό κόστος εξοπλισμού και υλικών και γενικά δεν θεωρείται κατάλληλη για μαζική παραγωγή.

Τεχνολογία	Χρήση στα κοσμήματα	Συμβατότητα υλικών	Ακρίβεια	Φινίρισμα	Διαμεταγωγή	Πολυπλοκότητα σχεδίου	Ευχρηστία
SLA	Ναι	●●●●○	●●●●●	●●●●●	●●●●○	●●●●○	●●●●●
DLP	Ναι	●●●●○	●●●●○	●●●●○	●●●●●	●●●●●	●●●●○
EBM	Όχι	●○○○○	●●○○○	●○○○○	●●●○○	●○○○○	●●●○○
SLS	Όχι	●●●●○	●●●○○	●○○○○	●●●●●	●●○○○	●●●●○
SHS	Όχι	●○○○○	●●○○○	●○○○○	●●●●○	●●○○○	●○○○○
DMLS	Ναι	●●●●●	●●●●●	●●○○○	●●○○○	●●●●●	●○○○○
3DP	Ναι	●●●●○	●●●○○	●●○○○	●●●●●	●●●○○	●●●●●
PJ	Ναι	●●●○○	●●●●●	●●●●●	●●●○○	●●●●●	●●●●○
FDM	Όχι	●○○○○	●●●○○	●●○○○	●●●○○	●●●○○	●●●●●
DMD	Ναι	●●●●●	●●●●●	●●○○○	●○○○○	●●●●●	●●○○○
LENS	Όχι	●●●●○	●●●●●	●○○○○	●○○○○	●●●●●	●●○○○
LC	Ναι	●●●●●	●●●●○	●●○○○	●○○○○	●●●○○	●○○○○
IFF	Όχι	●●○○○	●○○○○	●○○○○	●○○○○	●●●○○	●●○○○
EBAM	Όχι	●●●●●	●●●○○	●○○○○	●●●●●	●○○○○	●●●○○
RPD	Όχι	●●●○○	●●●●○	●○○○○	●●●●●	●●○○○	●●○○○
LOM	Όχι	●○○○○	●●○○○	●●○○○	●●●○○	●○○○○	●○○○○
UC	Όχι	●●○○○	●●○○○	●○○○○	●●●○○	●○○○○	●○○○○

## 2.4. Υλικά που μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην τρισδιάστατη εκτύπωση στη βιομηχανία του κοσμήματος

Όπως και για κάθε κατασκευαστική διαδικασία, η προσθετική κατασκευή χρειάζεται υλικά υψηλής ποιότητας τα οποία πληρούν ορισμένες προδιαγραφές για την κατασκευή αντικειμένων υψηλής ποιότητας. Με στόχο να διασφαλιστεί αυτό, θεσπίζονται διαδικασίες, απαιτήσεις και συμφωνίες

ελέγχου των υλικών μεταξύ των προμηθευτών, των αγοραστών και των τελικών χρηστών των υλικών. Η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης είναι ικανή να παράγει πλήρως λειτουργικά εξαρτήματα σε ένα ευρύ φάσμα υλικών, συμπεριλαμβανομένων κεραμικών, μεταλλικών, πολυμερών, σύνθετων, έξυπνων και ειδικών υλικών. Οι δύο συνηθέστερες κατηγορίες υλικών είναι τα πλαστικά και τα μέταλλα. Παρά την ποικιλία των υλικών που χρησιμοποιούνται στη προσθετική κατασκευή, ο αριθμός τους εξακολουθεί να είναι περιορισμένος συγκριτικά με τον αριθμό υλικών τα οποία χρησιμοποιούνται στη παραδοσιακή κατασκευή.

Πολλοί πόροι αφιερώνονται στην προσπάθεια για την ανάπτυξη ενός όλο και αυξανόμενου αριθμού νέων υλικών, προκειμένου να αυξηθεί η αντοχή και η ανθεκτικότητα των τελικών προϊόντων. Επίσης, οι μεγαλύτερες εταιρίες που ασχολούνται με τη κατασκευή μηχανών προσθετικής κατασκευής, ασχολούνται ταυτόχρονα και με την ανάπτυξη και την εξέλιξη νέων υλικών τα οποία είναι κατάλληλα για αυτές τις μηχανές, και τα οποία στη συνέχεια διατίθενται στο εμπόριο.

Παρακάτω, στον πίνακα 2, φαίνεται σε ποιες κατηγορίες τεχνολογιών μπορούν να χρησιμοποιηθούν οι διάφορες κατηγορίες υλικών, κι έπειτα παρουσιάζονται όλες αυτές οι κατηγορίες υλικών, που χρησιμοποιούνται από μηχανές προσθετικής κατασκευής για τη δημιουργία προϊόντων.

	Vat Photopolymerization	Powder Bed Fusion	Binder Jetting	Material Jetting	Material Extrusion	Directed Energy Deposition	Sheet Lamination
Metals		X	X	X			X
Polymers	X	X	X	X	X		X
Ceramics	X	X	X				
Composites	X	X	X	X			
Smart Materials	X	X		X	X		
Special Materials		X	X	X	X	X	X

Πίνακας 3 Παρουσίαση υλικών που χρησιμοποιούνται ανά κατηγορία τεχνολογίας προσθετικής κατασκευής

#### 2.4.1. Μεταλλικά

Τα μέταλλα είναι μια ομάδα χημικών στοιχείων, τα οποία χαρακτηρίζονται με βάση τις ιδιότητες τους, όπως είναι η ηλεκτρική αγωγιμότητα τους, η υψηλή μηχανική αντοχή και η πλαστικότητα τους, τα υψηλά σημεία τήξης και η μεταλλική λάμψη τους. Είναι συνήθως στερεά σε θερμοκρασία δωματίου (με εξαίρεση τον υδράργυρο), ενώ ένα από τα καθοριστικά χαρακτηριστικά των μετάλλων είναι η ικανότητά τους να επιτρέπουν τη διέλευση της θερμότητας και του ηλεκτρισμού. Η ιδιότητα αυτή οφείλεται στην παρουσία χαλαρά συγκρατούμενων ηλεκτρονίων στο απώτατο ενεργειακό επίπεδο των ατόμων τους, γνωστά ως ηλεκτρόνια σθένους. Αυτά τα ηλεκτρόνια σθένους μπορούν να κινούνται ελεύθερα εντός της δομής του μετάλλου, επιτρέποντας την αποτελεσματική ροή θερμότητας και ηλεκτρισμού. Τα μέταλλα είναι επίσης παραμορφώνονται εύκολα, πράγμα που σημαίνει ότι μπορούν να σφυρηλατηθούν ή να πιεστούν σε διάφορα σχήματα χωρίς να σπάσουν. Αυτός είναι και ο λόγος που εφαρμόζονται τόσο συχνά στον κατασκευαστικό τομέα.

Στην κατηγορία των υλικών αυτών ανήκουν και τα κράματα, δηλαδή υλικά που αποτελούνται από δύο ή περισσότερα μεταλλικά στοιχεία ή ένα μέταλλο και ένα μη μεταλλικό στοιχείο, τα οποία συνδυάζονται για να δημιουργήσουν ένα νέο υλικό με βελτιωμένες ιδιότητες. Ο σκοπός της δημιουργίας κραμάτων είναι ο συνδυασμός των επιθυμητών ιδιοτήτων διαφορετικών μετάλλων για την επίτευξη συγκεκριμένων χαρακτηριστικών που δεν υπάρχουν μόνο στα επιμέρους στοιχεία. Αυτή η ευελιξία καθιστά τα κράματα ιδιαίτερα χρήσιμα σε διάφορες βιομηχανίες, καθώς μπορούν να σχεδιαστούν ώστε να ικανοποιούν συγκεκριμένες απαιτήσεις απόδοσης και να βελτιστοποιούν την ισορροπία μεταξύ κόστους, αντοχής, βάρους και άλλων παραγόντων.

Η τεχνολογία εκτύπωσης μετάλλων συνεχίζει να εφαρμόζεται ευρέως στην αεροδιαστημική, την αυτοκινητοβιομηχανία, την ιατρική και τον τομέα της βιομηχανίας κατασκευής, λόγω των πλεονεκτημάτων που προσφέρει αυτή η μέθοδος. Τα υλικά μετάλλου διαθέτουν εξαιρετικές φυσικές ιδιότητες, επιτρέποντας τη χρήση τους σε ποικίλες σύνθετες κατασκευές, από την εκτύπωση ανθρώπινων οργάνων μέχρι την παραγωγή αεροδιαστημικών εξαρτημάτων.

Υπάρχουν πολλά μεταλλικά υλικά που είναι κατάλληλα για τη χρήση στην προσθετική κατασκευή. Μερικά παραδείγματα περιλαμβάνουν το αλουμίνιο και τα κράματα αλουμινίου, τον ορείχαλκο που αποτελεί ένα κράμα χαλκού με ψευδάργυρο, και ο μπρούντζος που είναι ένα άλλο κράμα χαλκού με κασσίτερο. Επιπλέον, μπορούν να χρησιμοποιηθούν ο χρωμίτης, ένα ορυκτό οξειδίο του σιδήρου και του χρωμίου, το κοβάλτιο και τα σχετικά κράματα, καθώς και άλλα μέταλλα όπως ο χρυσός, ο λευκόχρυσος, ο σίδηρος και τα κράματα του, το νικέλιο και τα σχετικά κράματα νικελίου, καθώς και πυρίμαχα μέταλλα όπως το βολφράμιο, ο αργυρός, το ασήμι, το τιτάνιο και τα σχετικά κράματα τιτανίου.

## 2.4.2. Πολυμερή

Τα πολυμερή είναι μεγάλα μόρια που αποτελούνται από επαναλαμβανόμενες υπομονάδες που ονομάζονται μονομερή. Σχηματίζονται μέσω μιας διαδικασίας γνωστής ως πολυμερισμός, κατά την οποία τα μονομερή ενώνονται μεταξύ τους για να σχηματίσουν μεγάλες αλυσίδες ή δίκτυα. Τα πολυμερή αποτελούν μια διαφορετική κατηγορία υλικών με ευρύ φάσμα ιδιοτήτων και εφαρμογών.

Οι δύο τύποι πολυμερών περιλαμβάνουν τα συνθετικά και τα φυσικά πολυμερή. Στα συνθετικά, πρόκειται για τεχνητά πολυμερή που παράγονται μέσω διάφορων χημικών αντιδράσεων. Παραδείγματα περιλαμβάνουν το πολυαιθυλένιο, το πολυπροπυλένιο, το πολυστυρένιο και το χλωριούχο πολυβινύλιο (PVC). Από την άλλη τα φυσικά πολυμερή βρίσκονται στη φύση και προέρχονται από βιολογικές πηγές. Παραδείγματα περιλαμβάνουν πρωτεΐνες, όπως το μετάξι και το μαλλί, την κυτταρίνη που βρίσκεται στα κυτταρικά τοιχώματα των φυτών και το φυσικό καουτσούκ.

Υπάρχουν δύο πρωταρχικοί τύποι πολυμερισμού, οι οποίοι είναι ο πολυμερισμός προσθήκης και ο πολυμερισμός συμπύκνωσης. Η διαδικασία του πολυμερισμού προσθήκης περιλαμβάνει την επαναλαμβανόμενη προσθήκη μονομερών σε μια αυξανόμενη πολυμερική αλυσίδα. Συμβαίνει συνήθως μέσω της ενεργοποίησης διπλών ή τριπλών δεσμών στα μονομερή, επιτρέποντάς τους να ενωθούν μεταξύ τους. Παραδείγματα πολυμερών προσθήκης περιλαμβάνουν το πολυαιθυλένιο και το πολυστυρένιο. Στη διαδικασία του πολυμερισμού συμπύκνωσης, τα μονομερή ενώνονται μεταξύ τους, ενώ παράλληλα αποβάλλεται ένα μικρό μόριο, όπως το νερό. Η αντίδραση αυτή λαμβάνει χώρα μεταξύ λειτουργικών ομάδων που υπάρχουν στα μονομερή. Παραδείγματα πολυμερών συμπύκνωσης περιλαμβάνουν τους πολυεστέρες και τα πολυαμίδια (νάιλον).

Οι ιδιότητες των πολυμερών ποικίλλουν σε μεγάλο βαθμό ανάλογα με τη χημική τους σύνθεση και τη μοριακή τους δομή. Κοινές ιδιότητες τους είναι η αντοχή και η ακαμψία, μιας και τα πολυμερή μπορούν να κυμαίνονται από εύκαμπτα και ελαστομερή υλικά έως άκαμπτες και υψηλής αντοχής δομές. Αυτή η ευελιξία τους επιτρέπει να χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές που κυμαίνονται από μαλακά ελαστικά υλικά έως σκληρά πλαστικά. Οι θερμικές ιδιότητες, αφού τα πολυμερή μπορούν να έχουν διαφορετικά σημεία τήξης, θερμοκρασίες υαλώδους μετάβασης και θερμική αγωγιμότητα. Ορισμένα πολυμερή είναι ανθεκτικά στη θερμότητα και αντέχουν σε υψηλές θερμοκρασίες, ενώ άλλα μπορεί να λιώνουν ή να αποσυντίθενται σε χαμηλότερες θερμοκρασίες. Τα υλικά αυτά μπορεί να παρουσιάζουν μονωτικές ή αγωγίμες ιδιότητες. Χρησιμοποιούνται ευρέως στην ηλεκτρική μόνωση, στις καλωδιώσεις και στις ηλεκτρονικές συσκευές. Κάποια από αυτά είναι επίσης ανθεκτικά στις χημικές ουσίες, καθιστώντας τα κατάλληλα για εφαρμογές όπου αναμένεται έκθεση σε διαλύτες, οξέα ή βάσεις. Επιπλέον, τα πολυμερή μπορεί να είναι διαφανή, ημιδιαφανή ή αδιαφανή, ανάλογα με τη μοριακή τους δομή και χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές, όπως υλικά συσκευασίας, οπτικοί φακοί και οθόνες. Τέλος, ορισμένα πολυμερή είναι βιοσυμβατά, που σημαίνει ότι είναι συμβατά με τους ζωντανούς ιστούς και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ιατρικές συσκευές, συστήματα χορήγησης φαρμάκων και μηχανική ιστών.

Παρά τα πλεονεκτήματά τους, τα πολυμερή παρουσιάζουν και ορισμένες προκλήσεις. Κάποια από αυτά, κυρίως τα πλαστικά μιας χρήσης, έχουν δημιουργήσει μεγάλη ανησυχία για ρύπανση, θαλάσσια απορρίμματα, και την μακροχρόνια παρουσία τους στο περιβάλλον. Η αντιμετώπιση των θεμάτων αυτών, απαιτεί εστίαση σε βιώσιμες πρακτικές, ανακύκλωση και την ανάπτυξη βιοδιασπώμενων ή κομποστοποιήσιμων εναλλακτικών. Επίσης, συγκεκριμένα πολυμερή είναι δύσκολο να ανακυκλωθούν λόγω των πολύπλοκων δομών τους, των πρόσθετων στοιχείων ή της μόλυνσης. Ο αποτελεσματικός τρόπος ανακύκλωσης αυτών των πολυμερών εξακολουθεί να αποτελεί πρόκληση.

Οι εφαρμογές των πολυμερών είναι ευρείς και περιλαμβάνουν τη συσκευασία, όπου χρησιμοποιούνται συνήθως το πολυαιθυλένιο και το πολυπροπυλένιο για τη συσκευασία τροφίμων λόγω του μικρού βάρους, του χαμηλού κόστους και των ιδιοτήτων φραγμού τους, τη κατασκευή, όπου τα πολυμερή χρησιμοποιούνται σε σωλήνες, μονώσεις, δάπεδα, κόλλες και επιστρώσεις λόγω της ανθεκτικότητας, της αντοχής τους στις καιρικές συνθήκες και των θερμομονωτικών τους ιδιοτήτων. Χρησιμοποιούνται επίσης στα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα για τα οποία χρησιμοποιούνται φυσικά πολυμερή όπως το βαμβάκι και το μετάξι, καθώς και συνθετικά πολυμερή όπως ο πολυεστέρας και το νάιλον, στα αυτοκίνητα, όπου τα πολυμερή χρησιμοποιούνται σε διάφορα εξαρτήματα τους, όπως ελαστικά, προφυλακτήρες, εσωτερικά διακοσμητικά και συγκολλητικά, για τη μείωση του βάρους και τη βελτίωση της αποδοτικότητας των καυσίμων. Τέλος, τα πολυμερή διαδραματίζουν κρίσιμο ρόλο στα ηλεκτρονικά, συμπεριλαμβανομένων των πλακετών κυκλωμάτων, των οθονών και της μόνωσης για καλώδια και σύρματα, αλλά και στην ιατρική και υγειονομική περίθαλψη όπου τα βιοσυμβατά πολυμερή χρησιμοποιούνται σε ιατρικές συσκευές, εμφυτεύματα, συστήματα χορήγησης φαρμάκων, επιδέσμους πληγών και ικρίωματα μηχανικής ιστών.

Συνολικά, ο τομέας των πολυμερών είναι δυναμικός, με συνεχείς εξελίξεις στην επιστήμη των υλικών, τις τεχνολογίες ανακύκλωσης και τις βιώσιμες πρακτικές για την ελαχιστοποίηση των περιβαλλοντικών επιπτώσεων και τη μεγιστοποίηση των ευεργετικών ιδιοτήτων και εφαρμογών τους.

### 2.4.3. Κεραμικά

Τα κεραμικά είναι μια ευρεία κατηγορία υλικών που είναι γνωστά για την εξαιρετική αντοχή, τη σκληρότητα και την αντοχή τους στη θερμότητα. Είναι συνήθως ανόργανες, μη μεταλλικές ενώσεις που αποτελούνται από μεταλλικά και μη μεταλλικά στοιχεία. Τα συνήθη μη μεταλλικά στοιχεία περιλαμβάνουν οξυγόνο, άζωτο, άνθρακα και πυρίτιο. Τα μεταλλικά στοιχεία μπορεί να περιλαμβάνουν, μεταξύ άλλων, αλουμίνιο, μαγνήσιο και τιτάνιο.

Τα κεραμικά είναι γνωστά για τη σκληρότητά τους, η οποία αναφέρεται στην ικανότητά τους να αντιστέκονται στην παραμόρφωση και την υψηλή αντοχή σε θλίψη, που σημαίνει ότι μπορούν να αντέξουν μεγάλα ποσά πίεσης πριν σπάσουν ή παραμορφωθούν. Ωστόσο, η αντοχή τους σε εφελκυσμό είναι γενικά χαμηλότερη σε σύγκριση με τα μέταλλα. Επιπλέον, τα κεραμικά παρουσιάζουν εξαιρετική αντοχή στη θερμότητα και μπορούν να αντέξουν υψηλές θερμοκρασίες χωρίς να λιώσουν ή να παραμορφωθούν. Η ιδιότητα αυτή τα καθιστά κατάλληλα για εφαρμογές σε βιομηχανίες όπως η αεροδιαστημική, η αυτοκινητοβιομηχανία και η μεταποίηση, όπου τα υλικά πρέπει να λειτουργούν υπό ακραίες συνθήκες θερμότητας. Πολλά κεραμικά είναι εξαιρετικοί μονωτές του ηλεκτρισμού και της θερμότητας. Έχουν χαμηλή ηλεκτρική αγωγιμότητα, γεγονός που τα καθιστά χρήσιμα για εφαρμογές που απαιτούν ηλεκτρική μόνωση και χαμηλή θερμική αγωγιμότητα, πράγμα που σημαίνει ότι είναι καλά στο να εμποδίζουν τη μεταφορά θερμότητας.

Τα κεραμικά είναι γενικά χημικά αδρανή και ανθεκτικά στη διάβρωση από οξέα και άλλες χημικές ουσίες. Η ιδιότητα αυτή τα καθιστά κατάλληλα για χρήση σε περιβάλλοντα που περιλαμβάνουν έκθεση σε διαβρωτικές ουσίες. Ένα σημαντικό χαρακτηριστικό τους είναι επίσης η ευθραυστότητά τους. Τείνουν να είναι επιρρεπή σε θραύση όταν υποβάλλονται σε υψηλή εφελκυστική τάση ή απότομη κρούση. Αυτή η ευθραυστότητα μπορεί να αποτελέσει περιορισμό σε ορισμένες εφαρμογές, καθώς καθιστά τα κεραμικά πιο επιρρεπή σε ρωγμές ή σπάσιμο.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι κεραμικών, ο καθένας με συγκεκριμένες ιδιότητες και εφαρμογές. Παραδείγματα που χρησιμοποιούνται συχνά στην προσθετική κατασκευή περιλαμβάνουν κεραμικά οξειδίων (π.χ. αλουμίνια, ζirkονία), καρβίδια (π.χ. καρβίδιο του πυριτίου), νιτρίδια (π.χ. νιτρίδιο του πυριτίου), γύψος, γραφίτης και πορσελάνη.

Η εφαρμογή των κεραμικών, εξαιτίας της ρευστής τους κατάστασης, μπορεί να γίνει σε οποιοδήποτε σχήμα και γεωμετρία και είναι συμβατά για τη δημιουργία κατασκευών και κτιρίων στην αρχιτεκτονική, οικοδομική και κατασκευαστική βιομηχανία. Σύμφωνα με το άρθρο [31], τα κεραμικά υλικά είναι εξαιρετικά χρήσιμα στην οδοντιατρική και την αεροδιαστημική εφαρμογή. Η σκόνη αλουμίνιας, για παράδειγμα, μπορεί να επεξεργαστεί με την τεχνολογία 3DP, και με τη χρήση της μπορούν να εκτυπωθούν πολύπλοκου σχήματος εξαρτήματα, με υψηλή πυκνότητα μετά την πυροσυσσωμάτωση. Σε ερευνητικά πειράματα, επιλέχθηκε η χρήση μιας συσκευής στερεολιθογραφίας (SLA) για την επεξεργασία υαλοκεραμικού και βιοενεργού γυαλιού, με αποτέλεσμα τη σημαντική ενίσχυση της αντοχής τους στην κάμψη [37]. Η ενίσχυση της μηχανικής αντοχής ανοίγει νέους ορίζοντες στην εφαρμογή του βιοενεργού γυαλιού σε κλινικές περιπτώσεις, όπως η κατασκευή εμφυτευμάτων και η αναδόμηση οστικών δομών.

Γενικά, τα κεραμικά χρησιμοποιούνται σε μορφή σκόνης με ή χωρίς πρόσθετα και συνδετικά υλικά, ανάλογα με τις απαιτήσεις κι έτσι είναι δύσκολο να παραχθούν πολύπλοκα σχήματα ή εσωτερικά διασυνδεδεμένες οπές. Η τρισδιάστατη εκτύπωση λύνει αυτό το πρόβλημα, καθώς τα εξαρτήματα σχηματίζονται στρώμα προς στρώμα με αποτέλεσμα να μπορούν να κατασκευαστούν εύκολα πολύπλοκα σχήματα.

#### 2.4.4. Σύνθετα

Τα σύνθετα υλικά αναφέρονται σε υλικά τα οποία απαρτίζονται από δύο ή περισσότερα διακριτά συστατικά με διαφορετικές φυσικές ή χημικές ιδιότητες, που όταν συνδυάζονται, δημιουργούν ένα υλικό με ανώτερες ιδιότητες σε σύγκριση με τα επιμέρους συστατικά του. Τα δύο κύρια συστατικά από τα οποία αποτελείται ένα σύνθετο υλικό είναι η μήτρα και ενισχυτικά υλικά. Η μήτρα είναι μια συνεχής φάση που συνδέει και συγκρατεί τα ενισχυτικά υλικά μεταξύ τους. Μπορεί να είναι πολυμερές, μέταλλο, κεραμικό ή υλικό με βάση τον άνθρακα. Τα ενισχυτικά υλικά, παρέχουν αντοχή, ακαμψία και άλλες ιδιότητες ενίσχυσης. Οι συνήθεις τύποι ενισχύσεων περιλαμβάνουν ίνες (π.χ. άνθρακα, γυαλί, αραμίδιο), σωματίδια, νιφάδες και υφάσματα.

Υπάρχουν διάφοροι τύποι σύνθετων υλικών με βάση τη μήτρα και τα υλικά ενίσχυσης που χρησιμοποιούνται. Μερικοί συνήθεις τύποι περιλαμβάνουν:

- i. Σύνθετα υλικά πολυμερικής μήτρας (PMC): Αυτά τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούν μια πολυμερική μήτρα, όπως εποξειδική, πολυεστερική ή θερμοπλαστική, με ενισχυτικές ίνες όπως άνθρακα ή γυαλί.
- ii. Σύνθετα υλικά μεταλλικής μήτρας (MMCs): Τα MMCs έχουν μια μεταλλική μήτρα (π.χ. αλουμίνιο, τιτάνιο) με ενισχύσεις όπως κεραμικά σωματίδια ή ίνες.
- iii. Σύνθετα υλικά κεραμικής μήτρας (CMC): Στα CMC, μια κεραμική μήτρα (π.χ. καρβίδιο του πυριτίου) συγκρατεί κεραμικές ίνες ή σωματίδια.
- iv. Σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες άνθρακα (CFRP): Αυτά τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούν ίνες άνθρακα ενσωματωμένες σε πολυμερική μήτρα, συνήθως εποξειδική, και είναι γνωστά για την υψηλή αναλογία αντοχής προς βάρος.

Τα σύνθετα υλικά μπορούν να είναι αρκετά ισχυρότερα και πιο δύσκαμπτα από τα μεμονωμένα υλικά, επιτρέποντας έτσι ελαφρύτερες κατασκευές χωρίς να επηρεάζουν τις επιδόσεις. Είναι επίσης γνωστά για το χαμηλό τους βάρος, το οποίο είναι ζωτικής σημασίας σε εφαρμογές όπου η μείωση του βάρους είναι σημαντική, όπως η αεροδιαστημική και η αυτοκινητοβιομηχανία και σε αντίθεση με τα μέταλλα, τα σύνθετα υλικά είναι γενικά ανθεκτικά στη διάβρωση, καθιστώντας τα κατάλληλα για περιβάλλοντα όπου η διάβρωση μπορεί να αποτελέσει πρόβλημα. Τέλος, μπορούν εύκολα να μορφοποιηθούν σε πολύπλοκα σχήματα, επιτρέποντας μεγαλύτερη σχεδιαστική ελευθερία και προσαρμογή ενώ παρουσιάζουν επίσης εξαιρετική αντοχή στην κόπωση, καθιστώντας τα ανθεκτικά και μακράς διάρκειας.

Ως προς τις προκλήσεις που παρουσιάζουν τα σύνθετα υλικά, είναι συνήθως ακριβότερα σε σύγκριση με τα παραδοσιακά υλικά, κυρίως λόγω του κόστους των ενισχυτικών ινών και των διαδικασιών κατασκευής. Ωστόσο, η πρόοδος της τεχνολογίας και οι αυξημένοι όγκοι παραγωγής μειώνουν σταδιακά το κόστος. Επιπλέον, η παραγωγή σύνθετων υλικών περιλαμβάνει συχνά πολλαπλά στάδια και εξειδικευμένο εξοπλισμό, απαιτώντας ικανό εργατικό δυναμικό και ακριβή έλεγχο ποιότητας και ενώ τα υλικά αυτά είναι γενικά ανθεκτικά, η μακροπρόθεσμη απόδοσή τους μπορεί να επηρεαστεί από παράγοντες όπως η έκθεση σε υπεριώδη ακτινοβολία, οι διακυμάνσεις της θερμοκρασίας και η εισροή υγρασίας. Ο κατάλληλος σχεδιασμός, η συντήρηση και οι δοκιμές είναι απαραίτητες για να διασφαλιστεί η ανθεκτικότητά τους. Τέλος, τα σύνθετα υλικά μπορεί να είναι δύσκολο να ανακυκλωθούν λόγω του συνδυασμού διαφορετικών συστατικών. Καταβάλλονται προσπάθειες για την ανάπτυξη μεθόδων ανακύκλωσης και φιλικών προς το περιβάλλον επιλογών απόρριψης για τα σύνθετα υλικά.

Τα σύνθετα υλικά μπορούν να παραχθούν με διάφορες τεχνικές κατασκευής. Ορισμένες κοινές μέθοδοι περιλαμβάνουν:

- **Layup:** Στρώσεις ενισχυτικών υλικών τοποθετούνται σε ένα καλούπι και το υλικό της μήτρας εφαρμόζεται ώστε να σχηματιστεί η σύνθετη δομή. Αυτή η μέθοδος χρησιμοποιείται συνήθως για σύνθετα υλικά ενισχυμένα με ίνες.
- **Filament winding:** Συνεχείς ίνες τυλίγονται γύρω από μια περιστρεφόμενη άτρακτο σε ένα συγκεκριμένο μοτίβο και το υλικό της μήτρας εφαρμόζεται αργότερα.
- **Compression molding:** Τα υλικά ενίσχυσης τοποθετούνται σε ένα καλούπι και εφαρμόζεται θερμότητα και πίεση για τη συμπίεση και τη σκλήρυνση του υλικού μήτρας.
- **Injection molding:** Το υλικό μήτρας εγχύεται σε καλούπι που περιέχει τα ενισχυτικά υλικά, οδηγώντας σε πολύπλοκα σχήματα με υψηλούς ρυθμούς παραγωγής.

Τα σύνθετα υλικά έχουν ευρύ φάσμα εφαρμογών λόγω των μοναδικών ιδιοτήτων τους. Χρησιμοποιούνται στην αεροδιαστημική, σε δομές αεροσκαφών, μειώνοντας το βάρος και αυξάνοντας την αποδοτικότητα των καυσίμων αλλά και στην αυτοκινητοβιομηχανία, βοηθώντας στην κατασκευή ελαφρών και αποδοτικών ως προς την κατανάλωση καυσίμων οχημάτων, διατηρώντας παράλληλα τα πρότυπα ασφαλείας. Τα σύνθετα υλικά βρίσκουν επίσης εφαρμογές σε κτίρια, γέφυρες και υποδομές λόγω της αντοχής, της ανθεκτικότητας και της αντίστασης τους στις περιβαλλοντικές συνθήκες και χρησιμοποιούνται και στην παραγωγή αθλητικών ειδών όπως ρακέτες τένις, μπαστούνια του γκολφ, ποδήλατα και κράνη. Τέλος, τα σύνθετα υλικά χρησιμοποιούνται στη ναυτιλιακή βιομηχανία για κύπη σκαφών, καταστρώματα και άλλα δομικά στοιχεία λόγω της αντοχής τους στη διάβρωση και της υψηλής αναλογίας αντοχής προς βάρος.

Τα σύνθετα υλικά συνεχίζουν να εξελίσσονται ως μια πολλά υποσχόμενη κατηγορία υλικών, προσφέροντας ένα ευρύ φάσμα πλεονεκτημάτων σε διάφορες βιομηχανίες. Η συνεχιζόμενη έρευνα και οι εξελίξεις στοχεύουν στην περαιτέρω ενίσχυση των ιδιοτήτων τους, στη μείωση του κόστους και στη βελτίωση της βιωσιμότητας, ανοίγοντας το δρόμο για την αυξημένη υιοθέτησή τους σε πολυάριθμες εφαρμογές.

#### 2.4.5. Έξυπνα υλικά

Ως έξυπνα υλικά ορίζονται εκείνα που διαθέτουν μοναδικές ιδιότητες και έχουν την ικανότητα να ανταποκρίνονται σε εξωτερικά ερεθίσματα με ελεγχόμενο και προβλέψιμο τρόπο. Τα υλικά αυτά παρουσιάζουν δυναμική συμπεριφορά κι έχουν τη δυνατότητα να μεταβάλλουν τις φυσικές τους ιδιότητες, όπως τη γεωμετρία, το σχήμα και το χρώμα του αντικειμένου, επηρεαζόμενα από εξωτερικές συνθήκες όπως για παράδειγμα η θερμότητα και το νερό [37].

Οι εφαρμογές των έξυπνων υλικών είναι τεράστιες και ποικίλες και κυμαίνονται από τη μηχανική και την αεροδιαστημική έως την υγειονομική περίθαλψη και τα ηλεκτρονικά είδη ευρείας κατανάλωσης. Επιτρέπουν την ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων με βελτιωμένη λειτουργικότητα, αποτελεσματικότητα και προσαρμοστικότητα. Ο τομέας των έξυπνων υλικών συνεχίζει να εξελίσσεται, οδηγώντας στη δημιουργία νέων υλικών και στην περαιτέρω εξέλιξη της τεχνολογίας.

Παρακάτω παρουσιάζονται μερικοί συνήθεις τύποι έξυπνων υλικών και τα χαρακτηριστικά τους:

- **Shape Memory Alloys (SMAs):** Τα SMAs μπορούν να "θυμούνται" και να ανακτούν το αρχικό τους σχήμα όταν υποβάλλονται σε θερμότητα ή πίεση. Ένα ευρέως

χρησιμοποιούμενο SMA είναι το Nitinol (κράμα νικελίου-τιτανίου), το οποίο εφαρμόζεται σε ιατρικά εξαρτήματα, στη ρομποτική και στην αεροδιαστημική βιομηχανία.

- ii. **Piezoelectric Materials:** Τα πιεζοηλεκτρικά υλικά παράγουν ηλεκτρικό φορτίο όταν υποβάλλονται σε μηχανική καταπόνηση και μπορούν επίσης να υποστούν μηχανική παραμόρφωση όταν εφαρμόζεται ένα ηλεκτρικό πεδίο. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται σε αισθητήρες, ενεργοποιητές, συσκευές συλλογής ενέργειας και μετατροπείς υπερήχων.
- iii. **Electrochromic Materials:** Τα ηλεκτροχρωμικά υλικά μπορούν να αλλάζουν το χρώμα ή την αδιαφάνεια τους όταν υποβάλλονται σε μια ηλεκτρική τάση ή ρεύμα. Χρησιμοποιούνται σε έξυπνα παράθυρα, καθρέφτες οπισθοπορείας και οθόνες όπου απαιτείται ρυθμιζόμενη διαφάνεια ή έλεγχος του χρώματος.
- iv. **Thermochromic Materials:** Τα θερμοχρωμικά υλικά αλλάζουν χρώμα με τις μεταβολές της θερμοκρασίας. Εφαρμόζονται σε δείκτες θερμοκρασίας, δαχτυλίδια διάθεσης και έξυπνα υφάσματα.
- v. **Shape Memory Polymers (SMPs):** Τα SMPs είναι πολυμερή υλικά που μπορούν να αλλάξουν το σχήμα τους όταν υποβάλλονται σε ένα εξωτερικό ερέθισμα, όπως η θερμότητα ή το φως. Χρησιμοποιούνται σε διάφορους τομείς, συμπεριλαμβανομένων των βιοϊατρικών συσκευών, των κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων και της αεροδιαστημικής μηχανικής.
- vi. **Magnetostrictive Materials:** Τα μαγνητοστρεπτικά υλικά αλλάζουν το σχήμα ή τις διαστάσεις τους όταν υποβάλλονται σε μαγνητικό πεδίο. Χρησιμοποιούνται σε αισθητήρες, μετατροπείς και συστήματα ελέγχου κραδασμών.
- vii. **Conductive Polymers:** Τα αγώγιμα πολυμερή παρουσιάζουν αλλαγές στην ηλεκτρική αγωγιμότητα με βάση εξωτερικούς παράγοντες όπως η θερμοκρασία, η υγρασία ή το pH. Χρησιμοποιούνται σε εύκαμπτα ηλεκτρονικά συστήματα, αισθητήρες και μπαταρίες.
- viii. **pH-Responsive Polymers:** Αυτά τα πολυμερή αλλάζουν τις ιδιότητές τους, όπως η διαλυτότητα ή το σχήμα, όταν μεταβάλλονται τα στις μεταβολές των επιπέδων pH. Χρησιμοποιούνται σε συστήματα χορήγησης φαρμάκων, αυτοθεραπευόμενα υλικά και συσκευές ελεγχόμενης απελευθέρωσης.
- ix. **Self-healing Materials:** Τα αυτοθεραπευόμενα υλικά έχουν την ικανότητα να αποκαθιστούν βλάβες αυτόνομα ή με την εφαρμογή εξωτερικών ερεθισμάτων. Βρίσκουν εφαρμογές σε επιστρώσεις, σύνθετα υλικά και εξαρτήματα αυτοκινήτων.

#### 2.4.6. Ειδικά υλικά

Τα ειδικά υλικά μπορούν να χωριστούν σε πολλές ξεχωριστές κατηγορίες, οι οποίες παρουσιάζονται παρακάτω.

##### • Τρόφιμα

Οι διαδικασίες τρισδιάστατης εκτύπωσης εφαρμόζονται επίσης στον τομέα της κατασκευής τροφίμων, προσφέροντας τη δυνατότητα κατανάλωσης προϊόντων που έχουν δημιουργηθεί με πρωτοποριακό τρόπο. Αυτή η τεχνολογία επιτρέπει τον προσδιορισμό και την παραγωγή του επιθυμητού σχήματος και της γεωμετρίας, χρησιμοποιώντας διάφορες υφές και υλικά τροφίμων, όπως σοκολάτα, κρέας, καραμέλα, πίτσα, μακαρόνια, σάλτσα και πολλά άλλα. Η τρισδιάστατη εκτύπωση τροφίμων δίνει τη δυνατότητα παραγωγής υγιεινών τροφίμων, καθώς οι καταναλωτές



μπορούν να προσαρμόζουν τα συστατικά χωρίς να χάνουν τη θρεπτική αξία και την αυθεντική γεύση των υλικών.

#### • Κλωστοϋφαντουργικά υλικά

Μέσω της τεχνολογίας τρισδιάστατης εκτύπωσης, η βιομηχανία κοσμημάτων και ενδυμάτων θα λάμψει με την ανάπτυξη της εκτύπωσης τρισδιάστατων κλωστοϋφαντουργικών προϊόντων. Κάποια από τα πλεονεκτήματα αυτής της τεχνολογίας στη βιομηχανία της μόδας περιλαμβάνουν την ταχεία κατασκευή του προϊόντος, τη μείωση του κόστους συσκευασίας και τη μείωση του κόστους στην αλυσίδα εφοδιασμού.

#### • Οικοδομικά υλικά

Το υλικό που χρησιμοποιείται πιο συχνά στις κατασκευές είναι το σκυρόδεμα, σε εφαρμογές όπως κατασκευή γεφυρών, σπιτιών και πολυώροφων κτιρίων. Μέσω ερευνών που έχουν πραγματοποιηθεί [34] έχει επιβεβαιωθεί ότι η χρήση τρισδιάστατης εκτύπωσης σκυροδέματος στις εφαρμογές αυτές είναι νοητή. Η εκτύπωση σκυροδέματος είναι μια προσέγγιση που επηρεάζει τα δεδομένα για τη μείωση της σπατάλης υλικών, του κόστους κατασκευής, του προσωπικού και της απώλειας χρόνου.

#### • Φωτοπολυμερή, ξύλο, γυαλί και ενώσεις κυτταρίνης

Για τη τρισδιάστατη εκτύπωση του γυαλιού χρησιμοποιείται η μοντελοποίηση με τήξη εναπόθεσης. Ένα ανανεώσιμο βιοπολυμερές, η κυτταρίνη, μπορεί να εκτυπωθεί με τη χρήση τρισδιάστατου εκτυπωτή και να εφαρμοστεί στην υγειονομική περίθαλψη, τα ηλεκτρονικά, τα κλωστοϋφαντουργικά προϊόντα και τα κυτταρικά τοιχώματα. Τα φωτοπολυμερή από την άλλη, είναι κοινώς γνωστά ως ρητίνη ενεργοποιούμενη από το φως και είναι υλικά ευαίσθητα σε αυτό. Στην εκτύπωση ξύλου χρησιμοποιείται η διαδικασία κατασκευής. Είναι σημαντικό να αναπτυχθούν νέες μέθοδοι εκτύπωσης ξύλου, ώστε να πραγματοποιείται χρήση των απόβλητων επίπλων στην τρισδιάστατη εκτύπωση για την παραγωγή προϊόντων με βάση το ξύλο.

#### • Βιοϋλικά

Τα βιοϋλικά χρησιμοποιούνται συχνά στον τομέα της υγείας για τη δημιουργία εξατομικευμένων λύσεων. Σύμφωνα με μελέτη που πραγματοποιήθηκε [34], η εφαρμογή των βιοϋλικών στην τρισδιάστατη εκτύπωση αυξάνεται ως συνέπεια των εξελίξεων στον τομέα, όπως είναι η βελτιωμένη ακρίβεια εκτύπωσης, η δυνατότητα εκτύπωσης σύνθετης γεωμετρίας καθώς και η μικρότερη σπατάλη υλικών και το χαμηλό κόστος. Οι εξελίξεις στην τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης έχουν καταστήσει δυνατές πολλές σημαντικές καινοτομίες στην ιατρική τεχνολογία, συμπεριλαμβανομένου του ιατρικού εξοπλισμού, την κυτταρική εκτύπωση, και τα υλικά εμφυτευμάτων. Η εκτύπωση μοντέλων οργάνων, η οδοντιατρική και η μηχανική ιστών είναι μόνο μερικές από τις υγειονομικές εφαρμογές των τεχνικών τρισδιάστατης εκτύπωσης. Μπορούν να χρησιμοποιηθούν διάφορα βιοϋλικά στην προσθετική κατασκευή, όπως είναι τα βιοϊατρικά μέταλλα, π.χ. κράμα Ti, κράμα Co-Cr, ανοξειδωτος χάλυβας κ.α. , τα βιοϊατρικά πολυμερή π.χ. κολλαγόνο, χιτοζάνη, PEEK, ινική, και τα βιοϊατρικά κεραμικά υλικά π.χ. HA και TCP. Τα υλικά

αυτά είναι απολύτως συμβατά και πληρούν όλα τα ιατρικά πρότυπα.

Αυτά είναι μερικά μόνο παραδείγματα των ειδικών υλικών που χρησιμοποιούνται στην τρισδιάστατη εκτύπωση. Καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται, οι ερευνητές και οι μηχανικοί διερευνούν νέα υλικά και συνδυασμούς για να επεκτείνουν τις δυνατότητες της προσθετικής κατασκευής σε διάφορες βιομηχανίες.

#### 2.4.7. Υλικά που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή κοσμημάτων με τρισδιάστατη εκτύπωση

Είναι σημαντικό να σημειωθεί ότι οι εξελίξεις στον τομέα των υλικών τρισδιάστατης εκτύπωσης συνεχίζουν να διευρύνουν τις διαθέσιμες επιλογές για τους σχεδιαστές και τους κατασκευαστές κοσμημάτων. Κάθε πολυμερές και μέταλλο έχει τα δικά του μοναδικά χαρακτηριστικά και η επιλογή του υλικού εξαρτάται από παράγοντες όπως οι επιθυμητές ιδιότητες του τελικού κομματιού κοσμήματος, η τεχνολογία τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιείται και η προβλεπόμενη εφαρμογή.

##### Ρητίνες (φωτοπολυμερούς)

**Ρητίνες χύτευσης:** Εξειδικευμένες ρητίνες που έχουν σχεδιαστεί για διαδικασίες χύτευσης με χαμένο κερί, επιτρέποντας τη δημιουργία λεπτομερών και περίπλοκων σχεδίων που μπορούν να χυτευτούν σε μέταλλο.

**Ρητίνες υψηλής λεπτομέρειας:** Αυτές οι ρητίνες παρέχουν υψηλή ανάλυση και λεία επιφανειακά τελειώματα, κατάλληλα για λεπτομερή σχέδια κοσμημάτων.

##### Πολύτιμα μέταλλα

**Χρυσός:** Ορισμένες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης, όπως η DMLS μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την απευθείας εκτύπωση σε χρυσό ή κράματα χρυσού.

**Ασήμι, πλατίνα, παλλάδιο:** Παρόμοια με τον χρυσό, αυτά τα μέταλλα μπορούν να χρησιμοποιηθούν στην τρισδιάστατη εκτύπωση για την παραγωγή κοσμημάτων.

##### Κράματα μετάλλου

**Ανοξείδωτο ατσάλι:** Χρησιμοποιείται σε διάφορες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης για τη δημιουργία ισχυρών και ανθεκτικών κοσμημάτων, ιδίως για αντικείμενα όπως δαχτυλίδια και βραχιόλια.

**Τιτάνιο:** Είναι κατάλληλο για την παραγωγή ελαφρών και ανθεκτικών κοσμημάτων. Χρησιμοποιείται συχνά σε υψηλής ποιότητας και σύγχρονα σχέδια κοσμημάτων.

### Υλικά εκτόξευσης συνδετικού υλικού

**Μεταλλικές και κεραμικές σκόνες:** Στις διαδικασίες εκτόξευσης συνδετικού υλικού, οι μεταλλικές ή κεραμικές σκόνες συνδέονται με ένα υγρό συνδετικό υλικό για τη δημιουργία περίπλοκων σχεδίων κοσμημάτων που μπορούν να υποστούν περαιτέρω επεξεργασία.

### Νάιλον

Το **νάιλον** χρησιμοποιείται για την παραγωγή εύκαμπτων και ανθεκτικών κοσμημάτων, όπως βραχιόλια και ελαφριά σχέδια.

### Πολυαμίδιο (PA) και σύνθετο πολυαμίδιο

**Πολυαμίδιο:** Το πολυαμίδιο χρησιμοποιείται συχνά για την ευελιξία του, προσφέροντας μια σειρά από φινιρίσματα και χρώματα. Είναι κατάλληλο για τη δημιουργία τόσο περίπλοκων όσο και μεγαλύτερων κοσμημάτων.

Στον παρακάτω πίνακα παρουσιάζονται οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής που χρησιμοποιούνται στο κόσμημα και τα υλικά που χρησιμοποιεί η καθεμία από αυτές.

Τεχνολογία	Ρητίνες	Πολύτιμα μέταλλα	Κράματα μετάλλου	Μεταλλικές και κεραμικές σκόνες	Νάιλον	Πολυαμίδιο
SLA	X					
DLP	X					
PJ	X				X	X
3DP				X	X	X
DMLS			X	X		
DMD		X	X			
LC		X				

### 3. ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ ΓΙΑ ΤΗ ΧΡΗΣΗ ΤΗΣ ΠΡΟΣΘΕΤΙΚΗΣ ΚΑΤΑΣΚΕΥΗΣ ΣΤΗ ΠΑΡΑΓΩΓΗ ΚΟΣΜΗΜΑΤΟΣ

---

#### Πλεονεκτήματα

Η προσθετική κατασκευή στη παραγωγή κοσμημάτων προσφέρει πολλά πλεονεκτήματα, κάποια από τα οποία παρουσιάζονται παρακάτω:

**Ταχύτητα και μαζική παραγωγή:** Η προσθετική κατασκευή είναι απείρως ταχύτερη από το σκάλισμα κεριού με το χέρι. Ενώ η παραδοσιακή μέθοδος απαιτεί ώρες ή ακόμη και ημέρες ώστε να σκαλιστεί με επιμέλεια το μοντέλο από κέρι, ο τρισδιάστατος εκτυπωτής θα παράγει ένα λεπτομερές μοντέλο μέσα σε λίγες ώρες. Επιπλέον, οι αλλαγές είναι πολύ πιο εύκολες, αφού μπορεί απλώς να τροποποιηθεί το ψηφιακό αρχείο και να εκτυπωθεί μια άλλη έκδοση. Τέλος, ανάλογα με τη χωρητικότητα του τρισδιάστατου εκτυπωτή, μπορεί να υπάρχει δυνατότητα εκτύπωσης δεκάδων διαφορετικών μοντέλων από κέρι με μία εκτύπωση.

**Προσαρμογή και αναπαραγωγή:** Δεδομένου ότι το αρχικό κύριο μοντέλο είναι αποθηκευμένο ως ψηφιακό αρχείο CAD, θα υπάρχει δυνατότητα τροποποίησης γρήγορα με βάση τις απαιτήσεις του πελάτη. Έτσι, θα μπορούν να δημιουργηθούν εξατομικευμένα κοσμήματα αλλά και να γίνονται εύκολα αλλαγές σε ένα μοντέλο εάν ο μελλοντικός χρήστης του κομματιού δεν ήταν ευχαριστημένος με τον αρχικό σχεδιασμό. Η προσθετική κατασκευή προσθέτει ένα άλλο επίπεδο ευκολίας, με την αναπαραγωγή παλαιών κοσμημάτων. Με έναν τρισδιάστατο σαρωτή, γίνεται αναδημιουργία ενός υπάρχοντος κομματιού ως ψηφιακό μοντέλο που μπορεί στη συνέχεια να καθαριστεί σε ένα λογισμικό CAD και να εκτυπωθεί.

**Γρήγορα πρωτότυπα:** Τοποθετώντας λίθους σε ένα τρισδιάστατο εκτυπωμένο μοντέλο εξασφαλίζεται η τέλεια εφαρμογή και η έγκριση από τον πελάτη πριν από τη χύτευση του τελικού κομματιού. Οι πελάτες μπορούν να δοκιμάσουν τρισδιάστατα εκτυπωμένα μοντέλα και να αποκτήσουν μια πιο αληθινή αίσθηση του τελικού κομματιού σε σχέση με μια δισδιάστατη εικόνα.

**Αποδοτικότητα κόστους:** Η προσθετική κατασκευή κοσμήματος χρησιμοποιεί πολύ λίγο υλικό εκτύπωσης. Παρόλο που τα υλικά από χυτό κέρι μπορεί να είναι πιο ακριβά από τα κανονικά υλικά εκτύπωσης, η ποσότητα από μία παρτίδα υλικού θα είναι μεγαλύτερη, γεγονός που βοηθά στη μείωση του κόστους των υλικών.

#### Μειονεκτήματα

Ενώ η τρισδιάστατη εκτύπωση προσφέρει πολυάριθμα πλεονεκτήματα στο σχεδιασμό και την παραγωγή κοσμημάτων, συνοδεύεται επίσης από ορισμένα μειονεκτήματα. Ακολουθούν ορισμένα κοινά μειονεκτήματα της τρισδιάστατης εκτύπωσης στη βιομηχανία κοσμημάτων:

**Περιορισμοί υλικών:** Οι περισσότερες τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης έχουν περιορισμούς στους τύπους υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν. Παρόλο που υπάρχει μια ποικιλία διαθέσιμων υλικών, δεν είναι όλα τα υλικά που χρησιμοποιούνται συνήθως στην παραδοσιακή κατασκευή κοσμημάτων κατάλληλα για τρισδιάστατη εκτύπωση.

**Απαιτήσεις μετεπεξεργασίας και φινίρισμα επιφάνειας:** Το κόσμημα είναι αδύνατον να κατασκευαστεί αυτούσιο με προσθετική κατασκευή. Είναι απαραίτητα βήματα μεταγενέστερης επεξεργασίας που μπορεί να περιλαμβάνουν στίλβωση, επιμετάλλωση ή πρόσθετες επεξεργασίες για την επίτευξη ενός ποιοτικού κοσμήματος. Επιπλέον, η επίτευξη εξαιρετικά υψηλής ανάλυσης και λείου φινιρίσματος μπορεί να είναι πρόκληση σε σύγκριση με τα παραδοσιακά χειροποίητα κοσμήματα.

**Υψηλό κόστος:** Το αρχικό κόστος για την απόκτηση εξοπλισμού τρισδιάστατης εκτύπωσης, ιδίως μηχανών υψηλής ποιότητας μπορεί να είναι αρκετά υψηλό. Αυτό μπορεί να αποτελέσει εμπόδιο για μικρές επιχειρήσεις ή μεμονωμένους σχεδιαστές κοσμημάτων. Επίσης, το κόστος ορισμένων υλικών τρισδιάστατης εκτύπωσης, ιδίως εξειδικευμένων ρητινών ή μετάλλων, μπορεί να είναι σχετικά υψηλό σε σύγκριση με τα παραδοσιακά υλικά.

**Περιορισμός στο μέγεθος:** Οι τρισδιάστατοι εκτυπωτές έχουν συχνά περιορισμούς ως προς το μέγεθος. Τα μεγάλα ή υπερμεγέθη κοσμήματα μπορεί να είναι δύσκολο να παραχθούν με μία μόνο εκτύπωση.

**Έλλειψη ανθρώπινης πινελιάς:** Η χειροτεχνία στην κατασκευή κοσμημάτων μπορεί να χαθεί στην αυτοματοποιημένη και ακριβή φύση της τρισδιάστατης εκτύπωσης. Ορισμένοι πελάτες εκτιμούν τη χειροποίητη πτυχή του κοσμήματος.

### Επιλογή των τριών καταλληλότερων τεχνολογιών

Όπως είδαμε και παραπάνω, αρκετές τεχνολογίες της προσθετικής κατασκευής μπορούν να χρησιμοποιηθούν για την παραγωγή κοσμημάτων, αλλά κάποιες από αυτές υπερέχουν ως προς τις ιδιότητες και τα χαρακτηριστικά που προσφέρουν σε ένα κόσμημα, αλλά και στην ευχρηστία τους. Μέσω της έρευνας λοιπόν που έγινε σε όλες τις τεχνολογίες, οι 3 καταλληλότερες για την παραγωγή κοσμημάτων είναι :

1. Stereolithography (SLA)
2. Digital Light Processing (DLP)
3. Photopolymer Jetting (PJ)

Τα υλικά που χρησιμοποιούν και οι 3 μέθοδοι είναι οι ρητίνες που ανήκουν στη κατηγορία των πολυμερών. Η μέθοδος PJ μπορεί να χρησιμοποιήσει και άλλα πολυμερή όπως είναι π.χ. τα πολυαμίδια, το νάιλον κλπ. Το μοναδικό μειονέκτημα των τριών μεθόδων είναι ότι δεν χρησιμοποιούν πολύτιμα μέταλλα οπότε τα τελικά προϊόντα δεν έχουν την ανθεκτικότητα που θα είχε ένα μεταλλικό κόσμημα. Ωστόσο, όσον αφορά την εμφάνιση, οι ειδικές ρητίνες που χρησιμοποιούνται στις μεθόδους αυτές, μιμούνται την εμφάνιση των πολύτιμων μετάλλων. Έχουν όπως είδαμε, πλεονέκτημα και στην ακρίβεια στην εκτύπωση του αντικειμένου αλλά και στην δυνατότητα τους να κατασκευάσουν πολύπλοκες και ιδιαίτερες γεωμετρίες. Η χρήση των μεθόδων αυτών είναι αρκετά εύκολη και είναι εκείνες που μπορούν να χρησιμοποιηθούν για μαζική παραγωγή σε σύγκριση με τις υπόλοιπες.



<https://www.septillion.co.th/en/the-future-of-jewelry-industry-with-3d-printing/>

<https://www.shapeways.com/product/SPF4HD4BV/vessel-pendant?optionId=40757165&li=marketplace>

<https://www.shapeways.com/product/92934F6M9/stereodiamond-necklace?optionId=40768725&li=marketplace>

<https://3dprint.com/182807/jenny-wu-exone-3d-print-steel/>

Καθώς το τεχνολογικό τοπίο εξελίσσεται, η ενσωμάτωση των τεχνικών προσθετικής κατασκευής έχει δώσει τη δυνατότητα στους κοσμηματοποιούς και τους σχεδιαστές να διευρύνουν τα όρια της δημιουργικότητας και της ακρίβειας. Η ικανότητα να μεταφράζουν περίπλοκα ψηφιακά σχέδια σε απτά, λεπτοδουλεμένα κομμάτια έχει επαναπροσδιορίσει τις παραδοσιακές κατασκευαστικές προσεγγίσεις.

Η διπλωματική εργασία έχει εμβαθύνει στις ποικίλες τεχνολογίες, υλικά και μεθοδολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης που χρησιμοποιούνται στην παραγωγή κοσμημάτων, παρουσιάζοντας τα ξεχωριστά πλεονεκτήματα και τους περιορισμούς τους. Από τη στερεολιθογραφία (SLA) και την ψηφιακή επεξεργασία φωτός (DLP) για πρωτότυπα υψηλής ανάλυσης έως τη χρήση χυτών ρητινών και πολύτιμων μετάλλων για περίπλοκα τελικά κομμάτια, αναδείχθηκε η ευελιξία της τρισδιάστατης εκτύπωσης.

Ενώ αναγνωρίζουμε τα αξιοσημείωτα βήματα που έχουν γίνει, είναι σημαντικό να αναγνωρίσουμε τις προκλήσεις που εξακολουθούν να υφίστανται, συμπεριλαμβανομένων των περιπλοκών της μετεπεξεργασίας, των περιορισμών των υλικών και της απαίτησης εξειδικευμένων δεξιοτήτων. Καθώς η βιομηχανία κοσμημάτων συνεχίζει το ταξίδι της, η συνεχιζόμενη έρευνα και ανάπτυξη θα διαδραματίσει καθοριστικό ρόλο στην αντιμετώπιση αυτών των προκλήσεων και στην τελειοποίηση της τεχνολογίας.

Κοιτάζοντας προς το μέλλον, η συμβίωση της παραδοσιακής χειροτεχνίας με τις πρωτοποριακές τεχνικές τρισδιάστατης εκτύπωσης κρύβει τεράστιες δυνατότητες για τον κλάδο. Η παρούσα διατριβή χρησιμεύει ως εφαλτήριο, προσκαλώντας σε περαιτέρω διερεύνηση και καινοτομία για να εγκαινιάσει μια νέα εποχή όπου η καλλιτεχνική δημιουργία κοσμημάτων θα αναβαθμίζεται μέσω της ακρίβειας και των δυνατοτήτων που παρέχουν οι τεχνολογίες προσθετικής κατασκευής.

## 4. ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ

---

### 4.1. Βιβλιογραφία κειμένου

1. *A history of jewellery* · V&A. (n.d.). Victoria and Albert Museum. Retrieved September 28, 2023, from <https://www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-jewellery>
2. acrylgiessen. (2020, February 7). How to Make Resin Jewelry—Tutorial and Best Resin for Jewelry. *Acrylgiessen.Com – Creative Magazine*. <https://acrylgiessen.com/en/how-to-make-resin-jewelry/>
3. *Additive Manufacturing Technologies: Rapid Prototyping to Direct Digital Manufacturing 1441911200, 9781441911209*. (n.d.). Dokumen.Pub. Retrieved September 28, 2023, from <https://dokumen.pub/additive-manufacturing-technologies-rapid-prototyping-to-direct-digital-manufacturing-1441911200-9781441911209.html>
4. Aimar, A., Palermo, A., & Innocenti, B. (2019). The Role of 3D Printing in Medical Applications: A State of the Art. *Journal of Healthcare Engineering, 2019*, e5340616. <https://doi.org/10.1155/2019/5340616>
5. *Applied Sciences | Free Full-Text | Advances in Metal Additive Manufacturing: A Review of Common Processes, Industrial Applications, and Current Challenges*. (n.d.). Retrieved September 28, 2023, from <https://www.mdpi.com/2076-3417/11/3/1213>
6. Basit, A. W., & Gaisford, S. (Eds.). (2018). *3D Printing of Pharmaceuticals* (Vol. 31). Springer International Publishing. <https://doi.org/10.1007/978-3-319-90755-0>
7. Bhat, Z. F., Morton, J. D., Kumar, S., Bhat, H. F., Aadil, R. M., & Bekhit, A. E. -D. A. (2021). 3D printing: Development of animal products and special foods. *Trends in Food Science & Technology, 118*, 87–105. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2021.09.020>

8. Blanco, I. (2020). The Use of Composite Materials in 3D Printing. *Journal of Composites Science*, 4(2), Article 2. <https://doi.org/10.3390/jcs4020042>
9. *Classification of composites [SubsTech]*. (n.d.). Retrieved September 28, 2023, from [https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=classification\\_of\\_composites](https://www.substech.com/dokuwiki/doku.php?id=classification_of_composites)
10. *Definition of JEWELRY*. (2023, September 24). <https://www.merriam-webster.com/dictionary/jewelry>
11. Dutta, B., Palaniswamy, S., Choi, J., Song, L., & Mazumder, J. (2011). Additive Manufacturing by Direct Metal Deposition. *Advanced Materials and Processes*, 169, 33–36.
12. Gem setting. (2022, February 25). *Geneve Company Blog*. <https://blog.genevecompany.com/2022/02/25/gem-setting/>
13. Gibson, I., Rosen, D., & Stucker, B. (2015). Additive manufacturing technologies: 3D printing, rapid prototyping, and direct digital manufacturing, second edition. In *Additive Manufacturing Technologies: 3D Printing, Rapid Prototyping, and Direct Digital Manufacturing, Second Edition* (p. 498). <https://doi.org/10.1007/978-1-4939-2113-3>
14. *Guide to Enamel Jewellery – Sheila Fleet Jewellery*. (n.d.). Retrieved September 28, 2023, from <https://sheilafleet.com/pages/guide-to-enamel-jewellery>
15. *Guide to Stereolithography (SLA) 3D Printing | Formlabs*. (n.d.). Retrieved September 28, 2023, from <https://formlabs.com/blog/ultimate-guide-to-stereolithography-sla-3d-printing/>
16. How To Make Clay Earrings Glossy. (2023, April 20). *Raising Nobles*. <https://www.raisingnobles.com/how-to-make-clay-earrings-glossy/>
17. Hunar. (2019, May 16). 6 Steps To Start With Metalsmithing—Hamstech Online. *Hunar Online Courses - Blog*. <https://www.hunarcourses.com/blog/6-steps-to-start-with-metalsmithing/>
18. Jewelers, M. S. (n.d.). *The Big Guide to Chain Types*. Market Square Jewelers. Retrieved September 28, 2023, from <https://www.marketsquarejewelers.com/blogs/msj-handbook/the-big-guide-to-chain-types>
19. Jewelry Casting Services. (n.d.). *Custom Fashion Jewels Inc*. Retrieved September 28, 2023, from <https://www.customfashionjewelsinc.com/services/jewelry-casting-services/>
20. Jewelry Polishing. (n.d.). *Jewelry Designs*. Retrieved September 28, 2023, from <https://jewelrydesigns.com/jewelry/jewelry-making/jewelry-polishing/>
21. *Jewelry—Design, Craftsmanship, History | Britannica*. (n.d.). Retrieved September 28, 2023, from <https://www.britannica.com/art/jewelry/Metalwork>
22. Karkun, M. S., & Dharmalingam, S. (2022). 3D Printing Technology in Aerospace Industry – A Review. *International Journal of Aviation, Aeronautics, and Aerospace*, 9(2). <https://doi.org/10.15394/ijaaa.2022.1708>



23. Kitty, J. &. (2020, November 22). How To Make A Labradorite Wirework Necklace. *Running With Sisters*. <https://runningwithsisters.com/how-to-make-a-labradorite-wirework-necklace/>
24. Liu, Z., Zhang, M., Bhandari, B., & Wang, Y. (2017). 3D printing: Printing precision and application in food sector. *Trends in Food Science & Technology*, 69, 83–94. <https://doi.org/10.1016/j.tifs.2017.08.018>
25. Madla, C. M., Trenfield, S. J., Goyanes, A., Gaisford, S., & Basit, A. W. (2018). 3D Printing Technologies, Implementation and Regulation: An Overview. In A. W. Basit & S. Gaisford (Eds.), *3D Printing of Pharmaceuticals* (pp. 21–40). Springer International Publishing. [https://doi.org/10.1007/978-3-319-90755-0\\_2](https://doi.org/10.1007/978-3-319-90755-0_2)
26. *Material Jetting (Comprehensive Guide)—Engineering bro.* (n.d.). Retrieved September 28, 2023, from <https://www.engineeringbro.com/2023/03/Material%20jetting%20d%20printing.html>
27. *MultiJet 3D Printing (MJP) Overview | 3D Systems.* (2017, February 2). <https://www.3dsystems.com/multi-jet-printing>
28. Nachal, N., Moses, J. A., Karthik, P., & Anandharamakrishnan, C. (2019). Applications of 3D Printing in Food Processing. *Food Engineering Reviews*, 11(3), 123–141. <https://doi.org/10.1007/s12393-019-09199-8>
29. *Norsk Titanium Reveals Rapid Plasma Deposition™ at the 2016 Farnborough International Airshow.* (2016, July 1). <https://www.businesswire.com/news/home/20160701005132/en/Norsk-Titanium-Reveals-Rapid-Plasma-Deposition%E2%84%A2-at-the-2016-Farnborough-International-Airshow>
30. *Norsk Titanium to build first industrial-scale aerospace AM plant.* (2016, July 11). Metal AM Magazine. <https://www.metal-am.com/norsk-titanium-build-worlds-first-industrial-scale-aerospace-additive-manufacturing-plant-new-york/>
31. Owen, D., Hickey, J., Cusson, A., Ayeni, O. I., Rhoades, J., Deng, Y., Zhang, Y., Wu, L., Park, H.-Y., Hawaldar, N., Raikar, P. P., Jung, Y.-G., & Zhang, J. (2018). 3D printing of ceramic components using a customized 3D ceramic printer. *Progress in Additive Manufacturing*, 3(1), 3–9. <https://doi.org/10.1007/s40964-018-0037-3>
32. Patpatiya, P., Chaudhary, K., & Kapoor, V. (2022). Reverse Manufacturing and 3D Inspection of Mechanical Fasteners Fabricated Using Photopolymer Jetting Technology. *MAPAN*, 37(4), 753–763. <https://doi.org/10.1007/s12647-022-00561-6>
33. *Polymer Science: A Comprehensive Reference—1st Edition.* (n.d.). Retrieved September 28, 2023, from <https://shop.elsevier.com/books/polymer-science-a-comprehensive-reference/moeller/978-0-444-53349-4>

34. Ranjan, R., Kumar, D., Kundu, M., & Chandra Moi, S. (2022). A critical review on Classification of materials used in 3D printing process. *Materials Today: Proceedings*, 61, 43–49.  
<https://doi.org/10.1016/j.matpr.2022.03.308>
35. Reddy, K., & Tolcha, S. (2019). *ADDITIVE MANUFACTURING TECHNOLOGIES*.
36. Savini, A., & Savini, G. G. (2015). A short history of 3D printing, a technological revolution just started. *2015 ICOHTEC/IEEE International History of High-Technologies and Their Socio-Cultural Contexts Conference (HISTELCON)*, 1–8.  
<https://doi.org/10.1109/HISTELCON.2015.7307314>
37. Shahrubudin, N., Lee, T. C., & Ramlan, R. (2019). An Overview on 3D Printing Technology: Technological, Materials, and Applications. *Procedia Manufacturing*, 35, 1286–1296.  
<https://doi.org/10.1016/j.promfg.2019.06.089>
38. Singh, S. (2016). Implant Materials and Their Processing Technologies. In *Reference Module in Materials Science and Materials Engineering*. <https://doi.org/10.1016/B978-0-12-803581-8.04156-4>
39. Sreehitha, V. (n.d.). *IMPACT OF 3D PRINTING IN AUTOMOTIVE INDUSTRIES*. 5(2).
40. Srinivasan, D., Meignanamoorthy, M., Ravichandran, M., Mohanavel, V., Alagarsamy, S. V., Chanakyan, C., Sakthivelu, S., Karthick, A., Prabhu, T. R., & Rajkumar, S. (2021). 3D Printing Manufacturing Techniques, Materials, and Applications: An Overview. *Advances in Materials Science and Engineering*, 2021, e5756563. <https://doi.org/10.1155/2021/5756563>
41. Sun, D., & Valtasa, A. (2019). 3D Printing in Modern Fashion Industry. *Journal of Textile Science & Fashion Technology*, 2(2), 1–4. <https://doi.org/10.33552/JTSFT.2019.02.000535>
42. Team, G. I. (n.d.). *The Diamond Cutting Process*. Geology In. Retrieved September 28, 2023, from <https://www.geologyin.com/2015/09/the-diamond-cutting-process.html>
43. Team, R. S. J. (2021a, February 4). Etching Vs Engraving of Jewelry Phuket. *Royi Sal Jewelry Designer & Manufacturer*. <https://royisal.com/etching-vs-engraving-of-jewelry/>
44. Team, R. S. J. (2021b, July 16). 6 Essential Jewelry Polishing Tools Business Jewelry Phuket. *Royi Sal Jewelry Designer & Manufacturer*. <https://royisal.com/6-essential-jewelry-polishing-tools/>
45. *The ancient art of the Blacksmith. A Forged Jewellery Collection*. (2023, August 15). Alice Made This. <https://www.alicemadethis.com/blogs/journal/forged-jewellery>
46. *The Jewelry Casting Process: Lost-Wax Casting*. (n.d.-a). Retrieved September 28, 2023, from <https://royisal.com/the-jewelry-casting-process-lost-wax-casting/>

47. *The Jewelry Casting Process: Lost-Wax Casting*. (n.d.-b). Retrieved September 28, 2023, from <https://www.marketsquarejewelers.com/blogs/msj-handbook/the-jewelry-casting-process-lost-wax-casting>
48. Tuazon, B. J., Custodio, N. A. V., Basuel, R. B., Reyes, L. A. D., & Dizon, J. R. C. (2022). 3D Printing Technology and Materials for Automotive Application: A Mini-Review. *Key Engineering Materials*, 913, 3–16. <https://doi.org/10.4028/p-26o076>
49. Wu, P., Wang, J., & Wang, X. (2016). A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry. *Automation in Construction*, 68, 21–31. <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>
50. Zocca, A., Lima, P., & Günster, J. (2017). *LSD-based 3D printing of alumina ceramics*. 8, 141–148. <https://doi.org/10.4416/JCST2016-00103>
51. Žujović, M., Rakonjac, I., Obradović, R., & Milošević, J. (2022). 3D Printing Technologies in Architectural Design and Construction: A Systematic Literature Review. *Buildings*, 12. <https://doi.org/10.3390/buildings12091319>

## 4.2. Βιβλιογραφία εικόνων

**Εικόνα 1** Judith Sudilovsky, 7 Jun. 2022, Χάντρες από κοχύλια *Tritia gibbosula* και *Columbella rustica*, The Jerusalem Post, <https://www.jpost.com/archaeology/article-708794>

Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. Θωρακικό - μια μορφή κοσμήματος παρόμοια με καρφίτσα, Golden Age Beads Blog, <https://www.goldenagebeads.com/blog/jewelry-through-the-ages-part-1-ancient-egyptian-jewelry.html>

**Εικόνα 4** 1 Sep. 2021, Αρχαία ελληνικά χρυσά σκουλαρίκια του δίσκου του Έρωτα (θεός της αγάπης), My Jewelry Repair, <https://myjewelryrepair.com/2021/09/ancient-greek-roman-jewelry-history/>

**Εικόνα 5** Κρεμαστός σταυρός λειψανοθήκης, Victoria & Albert Museum, <https://www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-jewellery>

**Εικόνα 6** Δαχτυλίδι, άγνωστου κατασκευαστή, Victoria & Albert Museum, <https://www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-jewellery>

**Εικόνα 7** 2 Sep. 2012, Χρυσάφικα με επικάλυψη από τοπάζι-παρτούρα-18ου αιώνα-Γεωργία, Adrina Jewelry, <http://costume-jewelry-magazine.blogspot.com/2012/09/jewelry-history-in-18th-century-late.html>

**Εικόνα 8** Στολίδι για το μπούστο με μορφή λουλουδιών, περίπου το 1850, Victoria & Albert Museum, <https://www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-jewellery>

**Εικόνα 9** α) Στολίδι μαλλιών, κατασκευασμένο από τον Philippe Wolfers, 1905-7, Βέλγιο και β) Αναμνηστική καρφίτσα, 1937, Victoria & Albert Museum, <https://www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-jewellery>

**Εικόνα 10** Καρφίτσα, σχεδιασμένη και χαραγμένη από τον Malcolm Appleby, κατασκευασμένη από τον Roger Doyle, 1975, Αγγλία, Victoria & Albert Museum, <https://www.vam.ac.uk/articles/a-history-of-jewellery>

**Εικόνα 11** Τρισδιάστατα εκτυπωμένα δαχτυλίδια, Sculpteo, <https://www.sculpteo.com/en/3d-learning-hub/applications-of-3d-printing/3d-printed-jewelry/>

**Εικόνα 11** 11 Feb. 2020, Δημιουργία αντικειμένου με χρήση 3D εκτυπωτή, ABB Review, <https://new.abb.com/news/detail/56908/additive-manufacturing>

**Εικόνα 12** 3 May 2022, Το πρώτο αντικείμενο που δημιούργησε ο C. Hull με τη χρήση της τεχνολογίας προσθετικής κατασκευής, <https://3drevolution.co.uk/where-and-when-was-made-3d-printer/>

**Εικόνα 22** I.Gibson, D. W. Rosen , B. Stucker, Σχηματικά διαγράμματα των τριών προσεγγίσεων της τεχνολογίας Vat Photopolymerization: a) Vector Scan, b) Mask Protection, c) Two Photon approach , “Additive Manufacturing Technologies- Rapid Prototyping and Direct Digital Manufacturing”, Springer, pp 65, [https://doi.org/10.1007/978-3-031-05863-9\\_1](https://doi.org/10.1007/978-3-031-05863-9_1)

**Εικόνα 23** Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου Στερεολιθογραφίας – SLA, με χρήση του προγράμματος Photoshop

**Εικόνα 24** α) Η μηχανή L1 της Carbon, β) η μηχανή Form 3 της Formlabs και γ) η μηχανή ProXTM 950 της 3D Systems, <https://www.3dsystems.com/3d-printers/prox-950>, <https://www.carbon3d.com/products/l1-3d-printer>, <https://3ddevice.com.ua/en/product/3d-printer-formlabs-form-3/>

**Εικόνα 25** α) Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου DLP, β) EnvisionTEC’s Perfactory 4 Digital Shell Printer, <https://3hti.com/3d-printing/envisiontec-perfactory/>

**Εικόνα 26** Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου EBM, με χρήση του προγράμματος Photoshop

**Εικόνα 27** α) Η μηχανή Arcam Q10plus και β) η μηχανή Arcam A2X, <https://www.zmp.fau.de/forschung/vertec/>, <https://www.3dnatives.com/3D-compare/en/3d-printers/arcam-a2x/>

**Εικόνα 28** Σχηματική Αναπαράσταση Τεχνολογίας PBF, με χρήση του προγράμματος Photoshop

**Εικόνα 29** Μηχανήματα που χρησιμοποιούν SLS για βιομηχανική παραγωγή α) sProTM60HD, β) 403P, γ) EOSINT P 800, <https://www.digitalengineering247.com/article/high-temperature-laser-sintering-opens-up-new-additive-manufacturing-possibilities>, <https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/farsoon-403p-series/>, [https://top3dshop.ru/kupit-3d-printer/spro\\_60\\_hd-hs.html](https://top3dshop.ru/kupit-3d-printer/spro_60_hd-hs.html)

**Εικόνα 30** α) Η μηχανή Sintratec S2 και β) η μηχανή Lisa Pro της Sinterit, <https://sinterit.com/3dprinters/lisa-pro/>, <https://sintratec.com/sls-3d-printer/amp/sintratec-s2/>

**Εικόνα 31** Giannatsis, I., Dedousis, V., & Kanellidis, V., 2015, Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου DMLS, Τεχνολογίες Προσθετικής Κατασκευής και Τριδιάστατης Εκτύπωσης, [http://83.212.175.100/jspui/bitstream/11419/4524/2/02\\_chapter\\_3.pdf](http://83.212.175.100/jspui/bitstream/11419/4524/2/02_chapter_3.pdf)

**Εικόνα 32** α) Η μηχανή M400, β) η μηχανή EOSINT M280 και γ) η μηχανή PRECIOUS M080 της 3D Systems, <https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/eos-eosint-m-280/>, <https://advancedtek.com/3d-printers/eos-m-400/>, <https://www.hartwiginc.com/machine/precious-m-080/>

**Εικόνα 33** Σχηματική αναπαράσταση της τεχνολογίας Binder Jetting με τη χρήση του προγράμματος Photoshop

**Εικόνα 34** Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου 3D Printing με τη χρήση του προγράμματος Photoshop

**Εικόνα 35** α) Το μηχάνημα 860Pro της 3D Systems και β) το μηχάνημα S-Print της ExOne, <https://www.exone.com/en-US/3D-printing-systems/sand-3d-printers/S-Print>, <https://www.3dsystems.com/3d-printers/projet-cjp-860pro>

**Εικόνα 36** α) Σχηματική αναπαράσταση της τεχνολογίας Material Jetting, β) Σχηματική αναπαράσταση της τεχνολογίας Photopolymer Jetting με τη χρήση του προγράμματος Photoshop

**Εικόνα 37** α) Το μηχάνημα Objet1000Plus της εταιρίας Stratasys, β) το MultiJet printing μηχάνημα Projet MJP 2500 της εταιρίας 3D Systems, [https://support.stratasys.com/SupportCenter/HTML5UserGuides/Objet1000\\_UG\\_Feb\\_2019/Content/CoverPage-HTML-UG.htm](https://support.stratasys.com/SupportCenter/HTML5UserGuides/Objet1000_UG_Feb_2019/Content/CoverPage-HTML-UG.htm), , <https://www.3dsystems.com/3d-printers/projet-mjp-2500-series>

**Εικόνα 38** Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου Fused Deposition Modeling με τη χρήση του προγράμματος Photoshop

**Εικόνα 39** Τα μηχανήματα της Stratasys α) uPrint SE Plus, β) Fortus 250mc και γ) Fortus 900mc, <https://support.stratasys.com/en/printers/fdm-legacy/uprint>, <https://support.stratasys.com/en/Printers/FDM-Legacy/Fortus-250mc>, <https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/stratasys-fortus-900mc/>

**Εικόνα 40** Ninpetch, Patiparn & Kowitzarangkul, Pruet & Mahathanabodee, Sithipong & Chalermkarnnon, P. & Ratanadecho, P., 2020, A review of computer simulations of metal 3D printing, Σχηματική αναπαράσταση της τεχνολογίας Directed Energy Deposition α) με υλικό σε μορφή σκόνης, β) με υλικό σε μορφή σύρματος, [https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-direct-energy-deposition-processes-a-powder-fed-b-wire-fed-15\\_fig5\\_346418607](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-direct-energy-deposition-processes-a-powder-fed-b-wire-fed-15_fig5_346418607)

**Εικόνα 41** Zhang, Haiquan & Zhu, Lida & Xue, Pengsheng, 2020, Laser direct metal deposition of variable width thin-walled structures in Inconel 718 alloy by coaxial powder feeding, Σχηματική

αναπαράσταση της μεθόδου Direct Metal Deposition,  
[https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-laser-direct-metal-deposition\\_fig1\\_341583016](https://www.researchgate.net/figure/Schematic-of-laser-direct-metal-deposition_fig1_341583016)

**Εικόνα 42** α) Η μηχανή DMD IC 106 της εταιρίας DM3D LLC και β) η μηχανή 535 Laser Depositions Systems της εταιρίας RPM Innovations Inc, <https://www.rpm-innovations.com/laser-deposition-systems.html>, <https://www.aniwaa.com/product/3d-printers/dm3d-dmd-ic106/>

**Εικόνα 43** Tofan-Negru, Andra & Barbu, Cristian & STEFAN, Amado & Boglis, Ioana Carmen, 2021, Analysis and characterization of additive manufacturing processes, Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου Laser Engineered Net Shape,  
[https://www.researchgate.net/figure/Laser-engineered-net-shaping-LENS\\_fig7\\_356792486](https://www.researchgate.net/figure/Laser-engineered-net-shaping-LENS_fig7_356792486)

**Εικόνα 44** Τα μηχανήματα της Optomec α) LENS 450 και β) το 850-R,  
<https://optomec.com/additive-manufacturing/>, <https://3dprintingindustry.com/news/optomec-3d-printing-smartphones-87740/>

**Εικόνα 45** Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου Laser Consolidation με χρήση του προγράμματος Photoshop

**Εικόνα 46** Zelinski P., 2 Mar. 2016, The Possibilities of Electron Beam Additive Manufacturing, Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου Electron Beam Additive Manufacturing,  
<https://www.additivemanufacturing.media/articles/the-possibilities-of-electron-beam-additive-manufacturing>

**Εικόνα 47** Σχηματική αναπαράσταση της τεχνολογίας Rapid Plasma Deposition της Norsk,  
<https://www.metal-am.com/norsk-titanium-build-worlds-first-industrial-scale-aerospace-additive-manufacturing-plant-new-york/>

**Εικόνα 48** Clarke C., 20 Jun. 2017, Norsk Titanium ramps up metal 3D Printer capacity by 60% in Plattsburgh, New York, Το μοντέλο RPDTM MERKE IV της Norsk,  
<https://3dprintingindustry.com/news/norsk-titanium-ramps-metal-3d-printer-capacity-60-plattsburgh-new-york-116420/>

**Εικόνα 49** Jermann M., 12 Aug. 2013, Laminated Object Manufacturing: LOM, Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου Laminated Object Manufacturing,  
<https://www.makepartsfast.com/laminate-object-manufacturing-lom/>

**Εικόνα 50** Το μηχάνημα LOM SD 300Pro της Solido, <https://3dprintingindustry.com/news/whats-going-solido-25400/>

**Εικόνα 51** Σχηματική αναπαράσταση της μεθόδου Ultrasonic Consolidation, με τη χρήση του προγράμματος Photoshop

**Εικόνα 52** Τα μηχανήματα της Fabrisonic LLC α) SonicLayer 4000 και β) SonicLayer 7200,  
<https://fabrisonic.com/soniclayer-4000/>,  
<https://wemimointernational.wordpress.com/2016/05/11/fabri-sonic-sonic-layer/>

Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. Αεροπορικά εξαρτήματα κατασκευής εταιρίας EOS με μέθοδο DMLS α) Όργανο μέτρησης της ροής αέρα και β) Bracket ανοξειδωτου χάλυβα συμβατικής σχεδίασης (πίσω) και βελτιστοποιημένης τοπολογίας αεροσκάφους Airbus A380, <https://3dprintingindustry.com/news/aerosint-vectoflow-and-fraunhofer-igcv-receive-e750000-to-develop-3d-printed-airflow-sensors-162205/>,  
<https://3dprint.com/71279/3d-print-aircraft-weight/>

Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. α) 3D χειρολαβές πορτών αυτοκινήτου, β) 3D εκτυπωμένος Vintage καθρέφτης αυτοκινήτου και γ) φυσούν ημιαξονίου αυτοκινήτου, <https://cults3d.com/en/3d-model/game/rc-car-door-handle-kit-for-lexan-body>, <https://3dprint.com/16944/3d-print-vintage-car/>, <https://airwolf3d.com/2016/12/21/3d-printing-automotive-parts/>

Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. Strati - Chitra Sethi, 16 Jul. 2015, Το πρώτο τρισδιάστατα εκτυπωμένο ηλεκτρικό αυτοκίνητο, <https://www.asme.org/topics-resources/content/3d-printing-cars-ondemand>

Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. Τρόφιμα τα οποία έχουν επεξεργαστεί με μεθόδους προσθετικής κατασκευής

Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. Aimar A., 2019, "The Role of 3D Printing in Medical Applications: A State of the Art" Journal of Healthcare Engineering, Μοντέλο CAD ενός εμφυτεύματος ισχίου πιτανίου, κατασκευασμένο με τη χρήση SLM, <https://doi.org/10.1155%2F2019%2F5340616>

Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. Λεπτομέρειες σύνδεσης της τρισδιάστατης εκτυπωμένης βίλας από την WinSun Wu, P., 2016, "A critical review of the use of 3-D printing in the construction industry", <https://doi.org/10.1016/j.autcon.2016.04.005>

Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. Τρισδιάστατα εκτυπωμένα σύνολα της Iris Van Herpen, <https://www.yankodesign.com/2022/07/06/iris-van-herpen-created-a-dress-from-cocoa-beans-inspired-by-magnum-vegan-ice-cream/>, <https://www.vogue.com/fashion-shows/spring-2015-ready-to-wear/iris-van-herpen/slideshow/collection#32>

Σφάλμα! Το αρχείο προέλευσης της αναφοράς δεν βρέθηκε. Σετ τρισδιάστατα εκτυπωμένων δειγμάτων προϊόντων της "Lace", <https://jennywulace.com/products/ring-samples-set>

**Εικόνα 17** Δαχτυλίδι "Lotus" της εταιρίας De Beers, <https://www.thejewelleryeditor.com/jewellery/article/de-beers-new-enchanted-lotus-collection-captivates/>, <https://www.harrods.com/en-gb/shopping/de-beers-jewellers-rose-gold-enchanted-lotus-band-14804355>

**Εικόνα 18** Κολιέ "Paper Flowers" της Tiffany and Co., <https://press.tiffany.com/tiffany-co-introduces-new-high-and-fine-jewelry-collection-tiffany-paper-flowers/>

**Εικόνα 19** Βραχιόλι "Juste un Clou" της Cartier, <https://www.mikaeldan.com/gb/12987-cartier-juste-un-clou-bracelet.html>

**Εικόνα 20** Κολιέ "Rose des Vents" της Dior, [https://www.dior.com/en\\_gr/fashion/products/jrdv95146\\_0000-rose-des-vents-necklace-yellow-gold-diamonds-and-mother-of-pearl](https://www.dior.com/en_gr/fashion/products/jrdv95146_0000-rose-des-vents-necklace-yellow-gold-diamonds-and-mother-of-pearl)

**Εικόνα 21** Δαχτυλίδι "Serpent Bohème" της Boucheron, [https://www.boucheron.com/fr\\_fr/bague-serpent-boheme-motif-l-or-jaune-jrg01948.html](https://www.boucheron.com/fr_fr/bague-serpent-boheme-motif-l-or-jaune-jrg01948.html)