



**ΠΟΛΥΤΕΧΝΕΙΟ
ΚΡΗΤΗΣ**

Πολυτεχνείο Κρήτης

Σχολή Μηχανικών Παραγωγής και Διοίκησης

Διπλωματική Εργασία

Τίτλος

***«Επισκόπηση των αυξητικών υλικών ιδιότητες, μηχανισμοί
και εφαρμογές»***

Ονοματεπώνυμο επιβλέποντα : Σταυρουλάκης Γεώργιος

Τριμελής επιτροπή :

- **Αντωνιάδης Αριστομένης**
- **Αλευράς Παναγιώτης**
- **Σταυρουλάκης Γεώργιος**

Ονοματεπώνυμο φοιτητή : Χρονάκης Γεώργιος

A.M. 2016010112

Χανιά 2025



Technical University of Crete

School of Production and Management Engineering

Diploma Thesis

Title

“Overview of auxetic materials: properties, mechanisms and applications”

Supervisor: Stavroulakis George

Three-member committee

- **Aristomenis Antoniadis**
- **Panagiotis Alevras**
- **Stavroulakis George**

Student’s full name: Chronakis George

Chania 2025

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ

Πίνακας περιεχομένων

ΠΕΡΙΕΧΟΜΕΝΑ	3
Ευχαριστίες	7
Περίληψη	8
ΕΙΣΑΓΩΓΗ	10
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1 ^ο	11
1. ΑΥΞΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ – ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ	11
1.1 ΟΡΙΣΜΟΣ	11
1.2 Βασικές αρχές των αυξητικών υλικών	11
1.2.1 Μηχανική συμπεριφορά	11
1.2.2 Γεωμετρικές θεμελιώσεις	11
1.2.3 Εφαρμογές	12
1.3 Ιστορική αναδρομή και αρχική έρευνα πάνω στα αυξητικά υλικά	12
1.4 Θεμελιώδεις διαφορές από τα συμβατικά υλικά και η έννοια του αρνητικού λόγου του Poisson	13
1.4.1 Θεμελιώδεις διαφορές	13
1.4.1.1 Ελαστικότητα	13
1.4.1.2. Δομή και Χημική Σύνθεση	14
1.4.1.3 Εφαρμογές	14
1.4.2 Έννοια του αρνητικού λόγου του Poisson	14
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2 ^ο	16
2. Μηχανισμοί και Δομές Αυξητικών Υλικών	16
2.1 Επισκόπηση των μικροδομών που προσδίδουν τις αυξητικές ιδιότητες (π.χ. αναδιπλούμενες ή πτυσσόμενες δομές)	16
2.1.1 Αναδιπλούμενες Δομές	16
2.1.2 Πτυσσόμενες Δομές	16
2.1.3 Μικροδομές με Δυναμικές Ικανότητες	17
2.1.4 Σύγχρονα Υλικά και Εφαρμογές	17
2.1.5 Υλικά με Αυξημένο Ταξινομημένο Δυναμικό	18
2.1.6 Εφαρμογές στις Τεχνολογίες Ρομπότ	18
2.1.7 Βιοϊατρικές Εφαρμογές	19

2.1.8 Δυναμική Σχεδίαση Υλικών	19
2.2 Ανάλυση των μηχανισμών που επιτρέπουν την επέκταση του υλικού κατά την εφελκυσμό (re-entrant structures, chiral structures)	20
2.2.1 Ανακαλούμενες Δομές (Re-entrant Structures)	20
2.2.2 Σπειροειδείς Δομές (Chiral Structures)	21
2.3 Εξήγηση του πώς η μικροδομή επηρεάζει τη μακροσκοπική συμπεριφορά του υλικού.	22
2.3.1 Συσχέτιση Μικροδομής και Μακροσκοπικής Συμπεριφοράς	22
2.3.1.1 Κράμα και Σύνθεση	22
2.3.1.2 Μορφολογία και Σχέδιο Κόκκων	22
2.3.1.3 Διάταξη και Επικοινωνία	22
2.3.1.4 Προκαλούμενη Μηχανική Συμπεριφορά	23
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3 ^ο	24
3. Κατηγορίες και Τύποι Αυξητικών Υλικών	24
3.1 Φυσικά αυξητικά υλικά (φυσικές ενώσεις και βιολογικά υλικά με αυξητική συμπεριφορά).	24
3.2 Συνθετικά αυξητικά υλικά (π.χ. πολυμερή, μεταλλικά και κεραμικά υλικά με αυξητικές ιδιότητες).	25
3.2.1 Πολυμερή Υλικά	25
3.2.2 Μεταλλικά Υλικά	26
3.2.3 Κεραμικά Υλικά	27
3.3 Σύγχρονα εξελιγμένα αυξητικά υλικά και εφαρμογές σε προηγμένα συστήματα	29
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4 ^ο	37
4. Μηχανικές Ιδιότητες και Συμπεριφορά	37
4.1 Ανάλυση της μηχανικής συμπεριφοράς των αυξητικών υλικών υπό εφελκυσμό, θλίψη και κρούση.	37
4.1.1. Εφελκυσμός.....	37
4.1.2. Θλίψη.....	38
4.1.3. Κρούση.....	38
4.2 Απορρόφηση ενέργειας και εφαρμογές σε περιβάλλοντα υψηλής πρόσκρουσης.	39
4.2.1. Χαρακτηριστικά των Αυξητικών Υλικών	40
4.2.2. Εφαρμογές σε Περιβάλλοντα Υψηλής Πρόσκρουσης	40
4.2.3 Στρατηγικές Σχεδιασμού	41
4.3 Συγκριτική ανάλυση με συμβατικά υλικά	42
4.3.1 Μηχανικές Ιδιότητες.....	42
4.3.2. Κόστος	43
4.3.3. Βιωσιμότητα και Περιβάλλον	43

4.3.4. Εφαρμογές.....	44
4.3.5. Διαδικασία Κατασκευής.....	44
4.3.6. Επιπτώσεις στη Σχεδίαση.....	44
4.3.7. Διάρκεια Ζωής και Συντήρηση.....	45
4.3.8. Ανακύκλωση και Διάθεση.....	45
4.3.9. Αντίκτυπος στην Απόδοση του Συστήματος.....	46
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5 ^ο	47
5.Εφαρμογές Αυξητικών Υλικών.....	47
5.1 Ιατρική: Στεντ, επιθέματα και προσθετικά.....	47
5.1. 1. Στεντ.....	47
5.1.1.1 Εφαρμογές σε διάφορους κλάδους της ιατρικής.....	49
5.1.1.2 Τεχνολογίες Κατασκευής.....	51
5.1.1.3 Ταχεία Ανάπτυξη Βιοϋλικών.....	51
5.1.2. Επιθέματα.....	54
5.1.3. Προσθετικά.....	54
5.1.4 Κλινικές Δοκιμές και Ρυθμιστικές Αρχές.....	56
5.1.5 Μελλοντικές Προοπτικές.....	56
5.2 Αθλητισμός και προστασία: Προστατευτικός εξοπλισμός, κράνη, αθλητικά ρούχα, παπούτσια.....	57
5.2.1 Προστατευτικός Εξοπλισμός.....	57
5.2.2 Κράνη.....	57
5.2.3 Αθλητικά Ρούχα.....	58
5.2.4 Αυξητικά υλικά και βιομηχανικοί επίδεσμοι και αθλητικά παπούτσια.....	58
5.2.4.1 Βιομηχανικοί Επίδεσμοι.....	60
5.2.4.2 Αθλητικά Παπούτσια.....	61
5.3 Αυξητικά υλικά και αυτοκινητοβιομηχανία: Ανθεκτικά σε πρόσκρουση υλικά και ελαφριά δομικά στοιχεία.....	62
5.3.1 Ανάγκη για Ασφάλεια και Ενεργειακή Απόδοση.....	64
5.3.2 Καινοτομία και Βιομηχανική Ανάπτυξη.....	65
5.3.3 Μελλοντικές Τάσεις στην Αυτοκινητοβιομηχανία.....	66
5.4 Αυξητικά υλικά και προστασία εγκαταστάσεων και ανθρώπων.....	66
5.5 Αυξητικά υλικά και δυναμική καταπόνηση.....	69
5.5.1 Δυναμική Καταπόνηση.....	70
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6 ^ο	72
6.1 Προηγμένες τεχνολογίες κατασκευής αυξητικών υλικών (3D εκτύπωση, νανοτεχνολογία).....	72

6.1.1	3D Εκτύπωση	72
6.1.2	Οφέλη από το 3D.....	74
6.1.3	Προκλήσεις από το 3D	74
6.2	Νανοτεχνολογία	74
6.2.1	Εφαρμογές της νανοτεχνολογίας.....	75
6.2.2.	Οφέλη της νανοτεχνολογίας.....	77
6.2.3.	Προκλήσεις.....	77
6.2.3.	ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ.....	78
6. 2.4	Οφέλη του Συνδυασμού.....	79
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7 ^ο		80
7.	Μελλοντικές Τάσεις και Προοπτικές	80
7.1	Νέες έρευνες και προοπτικές για την ανάπτυξη νέων αυξητικών υλικών.	80
7.2	Πιθανές μελλοντικές εφαρμογές και περιοχές έρευνας (π.χ. βιομιμητικά υλικά, έξυπνα υλικά).	81
7.3	Ο ρόλος	83
ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8 ^ο		85
8.	Συμπεράσματα	85
8.1	Σύνοψη των βασικών ιδιοτήτων και δυνατοτήτων των αυξητικών υλικών.	85
8.1.1	Βασικές Ιδιότητες	85
8.1.2	Δυνατότητες των αυξητικών υλικών	86
8.2	Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη.	87
ΒΙΒΛΙΟΓΡΑΦΙΑ -REFERENCES		90

Ευχαριστίες

Θα ήθελα να εκφράσω τις ευχαριστίες μου σε όσους ήταν δίπλα μου αυτά τα χρόνια . Συγκεκριμένα στους γονείς και τους φίλους για την στήριξη , στους καθηγητές για τις πολύτιμες γνώσεις, και ιδιαίτερα στον κύριο Σταυρουλάκη για την συνεργασία για την εκπόνηση αυτής της διπλωματικής εργασίας.

Περίληψη

Τα αυξητικά υλικά είναι σύγχρονες μορφές υλικών ή μεταϋλικών που ενισχύουν τις μηχανικές και βιολογικές ιδιότητες σε πολλές εφαρμογές. Στην ιατρική, χρησιμοποιούνται σε εμφυτεύματα και συστήματα απελευθέρωσης φαρμάκων, προσαρμόζοντας τις ιδιότητές τους στους οργανικούς ιστούς. Στον αθλητισμό, αυτά τα υλικά βελτιώνουν την απόδοση και την ασφάλεια αθλητικών ειδών. Στην αυτοκινητοβιομηχανία, η νανοτεχνολογία επιτρέπει τη δημιουργία ελαφρύτερων και πιο ανθεκτικών δομών, ενισχύοντας την ενεργειακή αποδοτικότητα.

Η τρισδιάστατη εκτύπωση μπορεί να χρησιμοποιηθεί για τη δημιουργία αυξητικών υλικών, διευρύνοντας τις δυνατότητες παραγωγής προσαρμοσμένων κατασκευών. Η νανοτεχνολογία προσφέρει εξειδικευμένες ιδιότητες, όπως αυξημένη αντοχή. Παρά τις πολλές προοπτικές της, απαιτείται περαιτέρω έρευνα για ασφαλείς και βιώσιμες εφαρμογές στην υγεία, τον αθλητισμό και την αυτοκινητοβιομηχανία. Στο τέλος της εργασίας παρατίθενται οι βιβλιογραφικές και διαδικτυακές πηγές.

Summary

Augmenting materials are modern forms of materials or metamaterials that enhance mechanical and biological properties in various applications. In medicine, they are used in implants and drug delivery systems, adapting their properties to organic tissues. In sports, these materials improve the performance and safety of athletic equipment. In the automotive industry, nanotechnology enables the creation of lighter and more durable structures, enhancing energy efficiency.

3D printing can be used to create augmenting materials, expanding the possibilities of producing customized constructions. Nanotechnology offers specialized properties, such as increased strength. Despite their many prospects, further research is needed for safe and sustainable applications in healthcare, sports, and the automotive industry. At the end of the work, bibliographic and online sources are provided.

ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στην εργασία αυτή θα εξεταστούν οι βασικές αρχές και οι τεχνικές των αυξητικών υλικών, αναλύοντας τις διάφορες μεθόδους εκτύπωσης και τα υλικά που χρησιμοποιούνται. Στη συνέχεια, θα εστιάσουμε στις εφαρμογές τους σε διαφορετικούς τομείς, αναδεικνύοντας τις δυνατότητες που προσφέρουν αυτά τα σύγχρονα υλικά.

Η ανάπτυξη της τεχνολογίας αυτής μέσα από μελέτες περιπτώσεων, δείχνει πώς οι γνώσεις και οι δεξιότητες που συνδέονται με τη χρήση αυξητικών υλικών είναι κρίσιμες για τον εκσυγχρονισμό των βιομηχανικών διαδικασιών. Η τεχνολογία που συνήθως χρησιμοποιείται για την κατασκευή των αυξητικών υλικών, η προσθετική κατασκευή (Additive Manufacturing, AM) έχει αναδειχθεί σε ένα από τα πιο καινοτόμα και υποσχόμενα πεδία της σύγχρονης βιομηχανίας και έρευνας, αναμορφώνοντας τον τρόπο που παράγονται και σχεδιάζονται προϊόντα.

Τα αυξητικά υλικά συνιστούν μια επαναστατική προσέγγιση στην παραγωγή, επιτρέποντας τη δημιουργία σύνθετων γεωμετριών και τη μείωση των αποβλήτων, προσφέροντας παράλληλα τη δυνατότητα προσωποποιημένων λύσεων. Οι τεχνικές αυτές επιτρέπουν την κατασκευή τρισδιάστατων αντικειμένων από ψηφιακά μοντέλα μέσω της προσθήκης υλικών στρώμα προς στρώμα, διαφοροποιώντας τη διαδικασία παραγωγής από τις παραδοσιακές μεθόδους όπως η υποδοχή και η αποκοπή.

Η κύρια καινοτομία των αυξητικών υλικών έγκειται στη δυνατότητά τους να προσφέρουν προσαρμοσμένα προϊόντα με ελάχιστο κόστος και χρόνο. Με τη χρήση εξελιγμένων υλικών, όπως τα πολυμερή, τα μέταλλα και τα κεραμικά, οι βιομηχανίες επιδιώκουν να ανταγωνίζονται τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής και να καθιστούν την παραγωγική διαδικασία πιο βιώσιμη και φιλική προς το περιβάλλον. Αυτός ο μετασχηματισμός στη διαδικασία παραγωγής έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει όλους τους τομείς της βιομηχανίας, από την αεροναυπηγική και την αυτοκινητοβιομηχανία μέχρι τη ιατρική και την αρχιτεκτονική.

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 1^ο

1.ΑΥΞΗΤΙΚΑ ΥΛΙΚΑ – ΟΡΙΣΜΟΣ ΚΑΙ ΒΑΣΙΚΕΣ ΑΡΧΕΣ

1.1ΟΡΙΣΜΟΣ

Η έννοια των αυξητικών υλικών (auxetics) και η συναφής χρησιμοποιούμενη τεχνική της προσθετικής κατασκευής (Additive Manufacturing ή AM) αναφέρεται σε μια διαδικασία παραγωγής που περιλαμβάνει την κατασκευή αντικειμένων προσθέτοντας υλικό στρώμα προς στρώμα, σε αντίθεση με τις παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής που βασίζονται στην αφαίρεση υλικού. Ο όρος αυτός περιγράφει μια κατηγορία τεχνολογιών που επιτρέπουν την δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων από ψηφιακά μοντέλα μέσω συγκεκριμένων διαδικασιών εκτύπωσης. Η βασική επιδίωξη των αυξητικών υλικών είναι η προσφορά μιας ευέλικτης και αποδοτικής λύσης στη σχεδίαση και παραγωγή προϊόντων, επιτρέποντας την δημιουργία σύνθετων γεωμετριών που θα ήταν δύσκολο ή αδύνατο να παραχθούν με τις συμβατικές μεθόδους (Carneiro et al., 2013).

1.2 Βασικές αρχές των αυξητικών υλικών

1.2.1 Μηχανική συμπεριφορά

Η μηχανική συμπεριφορά των αυξητικών υλικών σχετίζεται με την ανακατανομή της προσαρμογής και της παραμόρφωσης σε μικροδομικό επίπεδο. Η ενίσχυση της ελαστικότητας και η ικανότητα παραμόρφωσης χωρίς ρήξη είναι θεμελιώδεις μηχανικές αρχές.

1.2.2 Γεωμετρικές θεμελιώσεις

Η γεωμετρική διάταξη των συστατικών στοιχείων των αυξητικών υλικών είναι καθοριστική. Οι επαναλαμβανόμενες, συμμετρικές ή μη συμμετρικές δομές τους συνεισφέρουν στην προσαρμοστική τους ικανότητα (Zhou et al., 2024).

1.2.3 Εφαρμογές

Οι διαδικασίες και οι ιδιότητες των αυξητικών υλικών τα καθιστούν κατάλληλα για πολλές βιομηχανικές εφαρμογές, όπως στη βιοϊατρική για εμφυτεύματα, στη βιομηχανία παυσίπων και στη δημιουργία ανθεκτικών κονιαμάτων (Carneiro et al., 2013).

1.3 Ιστορική αναδρομή και αρχική έρευνα στην τρισδιάστατη εκτύπωση και πάνω στα αυξητικά υλικά

Η έννοια των αυξητικών υλικών άρχισε να αναδύεται τη δεκαετία του 1980, κυρίως με την ανάπτυξη της τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D Printing) και άλλων παραγωγικών τεχνολογιών. Το 1984 ο Hull κατοχυρώνει την πατέντα του για την SLA, και η 3D Systems ιδρύεται, η πρώτη εταιρεία που εμπορεύεται 3D εκτυπωτές. Το 1986, ο Hull με την τεχνολογία stereolithography, επέτρεψε για πρώτη φορά τη δημιουργία τρισδιάστατων αντικειμένων μέσω στρωματικής προσέγγισης (Jayswal et al. 2022).

Αυτή η μέθοδος άνοιξε το δρόμο για την αύξηση των υλικών, επιτρέποντας την κατασκευή σύνθετων γεωμετρικών μορφών που ήταν δύσκολες ή αδύνατες με παραδοσιακές μεθόδους. Στη συνέχεια, τη δεκαετία του 1990, παρουσιάστηκαν πολλαπλές εναλλακτικές τεχνολογίες, όπως η Fused Deposition Modeling (FDM) και η Selective Laser Sintering (SLS), οι οποίες συνέβαλαν στη διάδοση της τεχνολογίας αυξητικής παραγωγής. Αυτές οι εξελίξεις έθεσαν τις βάσεις για την ανάπτυξη ποικιλίας αυξητικών υλικών με διαφορετικές μηχανικές, θερμοκρασιακές και χημικές ιδιότητες (Zhou et al., 2024).

Το 1999 η Fused Deposition Modeling (FDM) καθίσταται δημοφιλής, αναπτύσσοντας πολύ πιο προσιτές τεχνολογίες εκτύπωσης. Έπειτα το 2005 το RepRap project ξεκινά, με στόχο τη δημιουργία ενός 3D εκτυπωτή που μπορεί να αυτοκατασκευαστεί. Αυτό προήγαγε την ανάπτυξη και το DIY κίνημα στην τρισδιάστατη εκτύπωση.

Ακολουθεί το 2008, όπου παρουσιάζεται η πρώτη εμπορική 3D εκτυπωτική μηχανή για οικιακή χρήση και γίνεται ευρέως διαθέσιμη. Στη σύγχρονη εποχή, δηλαδή από το

2010 έως σήμερα, η 3D εκτύπωση γίνεται δημοφιλής στις βιομηχανίες της μόδας, της αυτοκινητοβιομηχανίας, της ιατρικής και της αρχιτεκτονικής. Το 2015 οι τρισδιάστατες εκτυπώσεις γίνονται μέρος των διαδικασιών παραγωγής, και υπάρχουν πλέον μηχανές που χρησιμοποιούν υλικά όπως μέταλλο, κεραμικά και βιολογικά υλικά. Το 2020 έως σήμερα η 3D εκτύπωση εξελίσσεται περαιτέρω με την ενσωμάτωσή της στην παραγωγή με ψηφιακές διαδικασίες, εφαρμογές στον τομέα των τροφίμων και βιοεκτυπώσεις.

Η ανάπτυξη των αυξητικών υλικών έχει επηρεάσει πολλές βιομηχανίες, προσφέροντας λύσεις σε θέματα προσαρμογής, μείωσης αποβλήτων και ανάπτυξης σύνθετων γεωμετριών. Η συνέχεια αναμένεται να είναι εξίσου συναρπαστική, καθώς η τεχνολογία συνεχίζει να εξελίσσεται ταχύτατα (European patent office, 2023).

1.4 Θεμελιώδεις διαφορές από τα συμβατικά υλικά και η έννοια του αρνητικού λόγου του Poisson.

Τα συμβατικά υλικά και τα υλικά που παρουσιάζουν αρνητικό λόγο του Poisson είναι δύο κατηγορίες που διαφέρουν αρκετά στη μηχανική τους συμπεριφορά. Ακολουθούν οι θεμελιώδεις διαφορές ανάμεσά τους. κατηγορίες που διαφέρουν αρκετά στη μηχανική τους συμπεριφορά.

1.4.1 Θεμελιώδεις διαφορές

1.4.1.1 Ελαστικότητα

- Στα συμβατικά υλικά, ο λόγος του Poisson είναι θετικός, και παίρνει τιμές μεταξύ 0 και 0.5. Αυτό σημαίνει ότι όταν ένα υλικό υπόκειται σε τάση, διαστέλλεται κατά τη διεύθυνση της εφαρμοζόμενης τάσης αλλά συρρικνώνεται στην κάθετη διεύθυνση. Για παράδειγμα, όταν τραβηχτεί ένα καλώδιο, γίνεται λεπτότερο.

- Στα υλικά με αρνητικό λόγο του Poisson, όταν ασκείται εφελκυστική τάση σε μία κατεύθυνση, το υλικό διαστέλλεται τόσο στην ίδια κατεύθυνση, όσο και στη κάθετη κατεύθυνση διαστέλλεται. Αυτό δημιουργεί μια επωφελή συμπεριφορά για συγκεκριμένες εφαρμογές, όπως π.χ. η αύξηση της επιφάνειας κατά την εφαρμογή πίεσης (Zhao et al., 2023).

1.4.1.2. Δομή και Χημική Σύνθεση

- Τα συμβατικά υλικά, όπως τα μεταλλικά και τα πολυμερή, έχουν συνήθως δομές που ευνοούν θετικό λόγο του Poisson λόγω των διατάξεών τους σε μοριακό επίπεδο.

- Τα αρνητικά υλικά του Poisson συνήθως περιλαμβάνουν δομές όπως συστήματα πορώδους ή σύνθετα υλικά που έχουν σχεδιαστεί εσκεμμένα για να επιτύχουν αυτή τη συμπεριφορά (Huag et al., 2016).

1.4.1.3 Εφαρμογές

- Τα συμβατικά υλικά χρησιμοποιούνται ευρέως σε περισσότερες παραδοσιακές εφαρμογές, όπως κατασκευές και μηχανισμούς.

- Υλικά με αρνητικό λόγο του Poisson βρίσκονται σε εφαρμογές που απαιτούν μοναδικές μηχανικές ιδιότητες, όπως αθλητικός εξοπλισμός, ιατρικές εφαρμογές, και ελαστομερή υλικά (Huag et al., 2016).

1.4.2 Έννοια του αρνητικού λόγου του Poisson

Ο λόγος του Poisson (ν) ορίζει τη σχέση μεταξύ της εγκάρσιας και της διαμήκης και της ελαστικής παραμόρφωσης ενός υλικού. Ακριβώς τι συμβαίνει όταν ο λόγος του Poisson γίνεται αρνητικός; Ο αρνητικός λόγος ($\nu < 0$) υποδηλώνει ότι όταν το υλικό παραμορφώνεται (π.χ. συμπιέζεται), οι διαστάσεις του σε κάθετη κατεύθυνση επιμηκύνονται αντί να συρρικνώνονται. Αυτή η συμπεριφορά μπορεί να εξηγηθεί από την εσωτερική δομή του υλικού και την αλληλεπίδραση των μορίων του.

Τα υλικά αυτά έχουν ενδιαφέρον, καθώς η θεμελιώδης τους συμπεριφορά επιτρέπει την ανάπτυξη καινοτόμων προϊόντων που εκμεταλλεύονται τη διαφοροποιημένη μηχανική τους χαρακτηριστικά.

Συνολικά, οι διαφορές αυτές αναδεικνύουν πώς η μηχανική συμπεριφορά των υλικών μπορεί να επηρεαστεί από τη δομή τους και να οδηγήσει σε εντελώς διαφορετικές εφαρμογές και χρήση στην τεχνολογία.

Η έρευνα σύμφωνα με τον Smith, γύρω από τα υλικά με αρνητικό λόγο του Poisson έχει προσελκύσει σημαντικό ενδιαφέρον τα τελευταία χρόνια, με αρκετές δημοσιεύσεις να αναλύουν τις μοναδικές τους ιδιότητες και τις εφαρμογές τους σε διάφορους τομείς (Huang et al., 2016, Smith, 2018).

Σύμφωνα με την έρευνα των Huang, το 2016, τα αυξητικά υλικά αναγνωρίζονται ως καινοτόμα λειτουργικά υλικά που παρουσιάζουν ενδιαφέρον για πολλαπλές εφαρμογές. Το άρθρο τονίζει πώς η ικανότητα αυτών των υλικών να διαστέλλονται αντί να συρρικνώνονται όταν υπόκεινται σε τάση προσφέρει πλεονεκτήματα στην ιατρική, την κατασκευή και την ηλεκτρονική. Η μελέτη εστιάζει στη μηχανική συμπεριφορά αυτών των υλικών και παρουσιάζει παραδείγματα που υπογραμμίζουν την αντοχή και την ευελιξία τους (Huang et al., 2016).

Επιπλέον, η έρευνα του Smith προσφέρει μια πιο λεπτομερή ανάλυση των αυξητικών υλικών και εξερευνά τη φυσική βάση των ιδιοτήτων τους. Αυτή η μελέτη ενισχύει την κατανόηση των μηχανικών χαρακτηριστικών και τη σύνδεσή τους με τη δομή των υλικών, παρέχοντας επίσης παραδείγματα πραγματικών εφαρμογών στην τεχνολογία και τις μηχανικές επιστήμες. Η εργασία αυτή καταγράφει τη σημασία των αυξητικών υλικών και προτείνει χρήσεις σε ένα ευρύ φάσμα βιομηχανιών (Smith, 2018).

Τέλος, η πιο πρόσφατη έρευνα των Zhao, όπως αναφέρεται στο άρθρο, αναλύει τις αυξητικές ιδιότητες και τις επιπτώσεις τους στα υλικά, εστιάζοντας στη δυνατότητά τους να προσφέρουν υψηλή αντοχή και απορρόφηση ενέργειας. Αυτή η μελέτη παρέχει μια συνολική εικόνα της κατάστασης της έρευνας στον τομέα των αυξητικών υλικών, εξετάζοντας τις προοπτικές ανάπτυξής τους, καθώς και τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν σε ό,τι αφορά τη σύνθεση και παραγωγή τους (Zhao et al., 2023).

Συνοψίζοντας, οι τρεις αυτές σημαντικές έρευνες αναγνωρίζουν τη σημασία των υλικών με αρνητικό λόγο του Poisson για τη σύγχρονη τεχνολογία. Καλύπτουν διαφορετικές πτυχές, όπως τη φυσική συμπεριφορά, τις εφαρμογές και τις προκλήσεις παραγωγής, αναδεικνύοντας τις ευκαιρίες που προσφέρουν αυτά τα υλικά για καινοτομία και πρόοδο σε ποικίλους τομείς της επιστήμης και της τεχνολογίας (Huang et al., 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 2°

2. Μηχανισμοί και Δομές Αυξητικών Υλικών

2.1 Επισκόπηση των μικροδομών που προσδίδουν τις αυξητικές ιδιότητες (π.χ. αναδιπλούμενες ή πτυσσόμενες δομές).

Η επισκόπηση των μικροδομών που προσδίδουν αυξητικές ιδιότητες σε υλικά και συστήματα είναι ένα ενδιαφέρον και εν εξελίξει πεδίο έρευνας. Οι δομές αυτές μπορούν να καθορίσουν τις μηχανικές, θερμικές και χημικές ιδιότητες των υλικών, ενώ οι αναδιπλούμενες και πτυσσόμενες δομές είναι ιδιαίτερα σημαντικές σε τομείς όπως η νανοτεχνολογία, η βιολογία, η μηχανική και η ρομποτική. Ακολουθεί η ανάλυση των βασικών μικροδομών που εμπλέκονται στις αυξητικές ιδιότητες.

2.1.1 Αναδιπλούμενες Δομές

Οι αναδιπλούμενες δομές χαρακτηρίζονται από την ικανότητά τους να αλλάζουν σχήμα και μέγεθος, διατηρώντας παράλληλα τη λειτουργικότητά τους. Αυτές οι δομές είναι συχνά εμπνευσμένες από φυσικές διαδικασίες, όπως οι βιολογικές δομές που αναδιπλώνονται ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες (Xu et al., 2023).

Παράδειγμα:

-Βιολογικές Μοριακές Δομές

Πρωτεΐνες που αλλάζουν μορφή ανάλογα με την αλληλεπίδραση με άλλες μοριακές οντότητες. Αυτή η διαδικασία μπορεί να παρατηρηθεί στις πρωτεΐνες που συμμετέχουν σε ενζυματικές αντιδράσεις.

2.1.2 Πτυσσόμενες Δομές

Οι πτυσσόμενες δομές είναι σχεδιασμένες να «εκτείνονται» ή να «συρρικνώνονται» σε απάντηση σε εξωτερικά ερεθίσματα, όπως θερμοκρασία και πίεση. Αυτές οι δομές

είναι ζωτικής σημασίας για την ανάπτυξη λειτουργικών συστημάτων που ελέγχουν τη ροή ενέργειας ή τη μεταφορά ουσιών.

Παράδειγμα:

-Πτυσσόμενα Υλικά

Υλικά όπως οι πολυμερικοί συνδυασμοί επεκτείνονται και συστέλλονται ανάλογα με τις περιβαλλοντικές συνθήκες, προσδιορίζοντας τις μηχανικές τους ιδιότητες.

2.1.3 Μικροδομές με Δυναμικές Ικανότητες

Ορισμένες μικροδομές είναι σε θέση να αλλάζουν δυναμικά τις ιδιότητές τους για να ανταποκριθούν σε εξωτερικά ερεθίσματα, όπως ηλεκτρικά ή μαγνητικά πεδία. Αυτές οι δομές μπορούν να οδηγήσουν σε καινοτομίες στη διαχείριση ενέργειας και τη συσκευή.

Παράδειγμα:

-Διασυνδεδεμένα Δίκτυα Κρυστάλλων

Κρυσταλλικές δομές που αλλάζουν τη διάταξή τους υπό την επίδραση ηλεκτρικών πεδίων, επιτρέποντας τη χρήση τους σε τσιπ μνήμης ή σε συσκευές που απαιτούν λεπτομερείς προσαρμογές.

2.1.4 Σύγχρονα Υλικά και Εφαρμογές

Κατά τον Xu, οι επιστήμονες αναπτύσσουν καινούργια υλικά βασισμένα σε αυτές τις μικροδομές για να επιτευχθούν ιδιαίτερα χαρακτηριστικά όπως:

-Αυτό-συναρμολογούμενα Υλικά

Υλικά που οργανώνονται αυτόματα σε συγκεκριμένες διατάξεις λόγω των χαρακτηριστικών τους σε νανοκλίμακα.

-Υβριδικές Δομές

Συνδυασμός διαφόρων υλικών και μικροδομών για τη δημιουργία σύνθετων και λειτουργικών τεχνολογιών.

Οι μικροδομές που προσδίδουν αυξητικές ιδιότητες είναι ποικιλόμορφες και έχουν ποικίλες εφαρμογές σε πολλές επιστήμες και τεχνολογίες. Η κατανόηση και η εκμετάλλευση αυτών των δομών μπορεί να οδηγήσει σε νέες προόδους στη βιομηχανία, την ιατρική και την τεχνολογία, προσφέροντας καινοτόμες λύσεις σε προκλήσεις του 21ου αιώνα. Οι αναδυόμενες τεχνολογίες συνεχίζουν να επηρεάζουν την ανάπτυξη νέων εφαρμογών βασισμένων σε αυτές τις μικροδομές, και η έρευνα του Xu επενδύει ολοένα και περισσότερο στην ανάπτυξη προηγμένων υλικών που εκμεταλλεύονται αυτές τις ειδικές δομές (Xu et al., 2023).

2.1.5 Υλικά με Αυξημένο Ταξινομημένο Δυναμικό

Ορισμένα υλικά μπορεί να περιλαμβάνουν μικροδομές που εκμεταλλεύονται τη φυσική δυναμική τους για να επιτύχουν μια αυξημένη απόδοση. Τα υλικά αυτά χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπου η ευελιξία είναι καθοριστική.

Παράδειγμα:

-Πολυμερή Υλικά

Αυτά τα υλικά μπορούν να τροποποιηθούν ώστε να αποκτήσουν αναδιπλούμενες και πτυσσόμενες ιδιότητες, δίνοντάς τους τη δυνατότητα να χρησιμοποιούνται σε κατασκευές που απαιτούν την ελαχιστοποίηση του όγκου ή την αύξηση της αντοχής τους σε εξωτερικές δυνάμεις.

2.1.6 Εφαρμογές στις Τεχνολογίες Ρομπότ

Οι αναδιπλούμενες και πτυσσόμενες δομές είναι εξαιρετικά χρήσιμες στον τομέα της ρομποτικής, όπου εξελίσσονται ρομπότ αποστολής και αποκατάστασης.

Παράδειγμα:

-Ρομπότ Εξερεύνησης

Ρομπότ που χρησιμοποιούν πτυσσόμενα στοιχεία για να διασχίσουν περιοχές που είναι δύσκολα προσβάσιμες. Αυτές οι δομές επιτρέπουν στα ρομπότ να προσαρμόζουν το μέγεθος και τη μορφή τους ανάλογα με τις ανάγκες της αποστολής.

2.1.7 Βιοϊατρικές Εφαρμογές

Η βιοϊατρική είναι άλλος ένας τομέας που εκμεταλλεύεται τις αναδιπλούμενες και πτυσσόμενες δομές. Οι επιστήμονες αναπτύσσουν νέα υλικά για ιατρικές συσκευές και εμφυτεύματα.

Παράδειγμα:

-Εμφυτεύματα Μικροδιαστάσεων

Αυτά τα εμφυτεύματα μπορούν να επεκτείνονται ή να αναδιπλώνονται για να διευκολύνουν τη διαδικασία τοποθέτησής τους στον ανθρώπινο οργανισμό, ελαχιστοποιώντας την επεμβατικότητα και βελτιώνοντας την ανάρρωση.

2.1.8 Δυναμική Σχεδίαση Υλικών

Με την πρόοδο στη νανοτεχνολογία και τη μικροκατασκευή, η σχεδίαση υλικών με αναδιπλούμενες και πτυσσόμενες μικροδομές γίνεται ολοένα και πιο εφικτή.

Παράδειγμα:

-Σχεδίαση Ατομικών Δομών

Οι μηχανικοί και οι επιστήμονες εργάζονται για την παραγωγή νανοσυστημάτων που μπορούν να αλλάξουν χαρακτηριστικά ανάλογα με τις εξωτερικές συνθήκες, όπως το pH ή τη θερμοκρασία, προσφέροντας νέες δυνατότητες στην ανάπτυξη αισθητήρων και ενεργών υλικών.

Η κατανόηση των μικροδομών που προσδίδουν αυξητικές ιδιότητες είναι κρίσιμη για την εξέλιξη των σύγχρονων υλικών και τεχνολογιών. Από τη ρομποτική μέχρι την ιατρική και τη βιομηχανία, οι εφαρμογές είναι ποικιλόμορφες και αναμένουν να επαναστατήσουν τους τρόπους με τους οποίους αλληλεπιδρούμε με το περιβάλλον μας. Μέσω της συνεχούς έρευνας και καινοτομίας σε αυτές τις περιοχές, είναι ορατό ότι οι δυνατότητες είναι σχεδόν απεριόριστες και ότι η έννοια της ευέλικτης και δυναμικής σχεδίασης υλικών θα συνεχίσει να εξελίσσεται για να ικανοποιήσει τις αυξανόμενες απαιτήσεις της σύγχρονης εποχής (Zhang et al., 2024).

2.2 Ανάλυση των μηχανισμών που επιτρέπουν την επέκταση του υλικού κατά την εφελκυσμό (re-entrant structures, chiral structures)

Η ανάλυση των μηχανισμών που επιτρέπουν την επέκταση του υλικού κατά την εφελκυσμό περιλαμβάνει την κατανόηση των δομών και των μηχανισμών που επιδρούν στη μηχανική συμπεριφορά των υλικών. Δύο σημαντικές κατηγορίες που σχετίζονται με αυτήν την επεκτατική συμπεριφορά είναι οι ανακαλούμενες δομές (re-entrant structures Stavroulakis, G. E. 2005) και οι σπειροειδείς δομές (chiral structures, Koutsianitis, P., Tairidis, G. K., Kougkoulos, A., & Stavroulakis, G. E. 2021, Chinis, D., & Stavroulakis, G. E. 2023).

2.2.1 Ανακαλούμενες Δομές (Re-entrant Structures)

Περιγραφή:

-Οι ανακαλούμενες δομές είναι σχεδιασμένες με γεωμετρία που επιτρέπει την επέκταση του υλικού κατά την εφελκυσμό. Αυτές οι δομές, συχνά, έχουν θηλές ή χαρακτηριστικά που εισχωρούν στον εσωτερικό τους χώρο και επιτρέπουν την αναδίπλωση ή την επαναφορά κατά τη διάρκεια της τάσης.

Μηχανισμός:

- Όταν υποβάλλονται σε εφελκυσμό, οι ανακαλούμενες δομές μπορούν να αναδιαμορφωθούν ή να επεκταθούν, καθώς οι εσωτερικές γωνίες και άκρες τους επιτρέπουν τη μετακίνηση των ατόμων ή των μορίων χωρίς την καταστροφή της συνολικής δομής. Αυτοί οι μηχανισμοί βαίνουν σε διάφορες κατευθύνσεις,

επιτρέποντας το υλικό να απορροφήσει την ενέργεια και να αυξήσει τη μηχανική του αντοχή.

2.2.2 Σπειροειδείς Δομές (Chiral Structures)

Περιγραφή:

-Οι σπειροειδείς δομές είναι τέτοιες ώστε έχουν διαφορετικές «δεξιές» και «αριστερές» παραλλαγές, που σημαίνει ότι δεν είναι αλληλοσχεδιάστες (non-superimposable). Αυτή η ιδιότητα επιτρέπει την ανάπτυξη χαρακτηριστικών που μπορούν να αξιοποιηθούν μηχανικά.

Μηχανισμός:

- Σε σπειροειδείς δομές, οι αλληλεπιδράσεις μεταξύ των ενοτήτων οδηγούν σε ειδικές μηχανικές ιδιότητες. Η δομή μπορεί να επεκταθεί ή να διαστέλλεται σε απάντηση σε εφελκυσμό, καθώς η σπειροειδής γεωμετρία επιτρέπει μια διαφορά στη συμπεριφορά των διαφορετικών κατευθύνσεων.

- Οι σπειροειδείς δομές συχνά είναι ικανές να πραγματοποιούν μεταλλαγές στο σχήμα τους που συνδέονται με την εφαρμογή ή την απομάκρυνση της τάσης.

Οι ανακαλούμενες και σπειροειδείς δομές αποτελούν θεμελιώδεις πτυχές στην κατανόηση των μηχανισμών επέκτασης των υλικών κατά την εφελκυσμό. Η μελέτη αυτών των δομών μπορεί να προσφέρει πληροφορίες για τη σχεδίαση νέων υλικών με βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες, που έχουν εφαρμογές σε τομείς όπως η μηχανολογία, η αεροναυπηγική και η ιατρική.

Από τη μελέτη των προαναφερθέντων άρθρων, αποδεικνύεται ότι η κατανόηση των μηχανισμών των re-entrant και chiral δομών μπορεί να οδηγήσει στον σχεδιασμό και την ανάπτυξη νέας γενιάς αυξητικών υλικών. Αυτά τα υλικά διαθέτουν ευρέως καινοτόμες δυνατότητες εφαρμογών, που κυμαίνονται από προστατευτικά συστήματα έως βιομηχανικές εφαρμογές. Η έρευνα του Shuaibu, συνεχίζεται για την περαιτέρω κατανόηση και αξιοποίηση αυτών των μηχανισμών, προσφέροντας νέες ευκαιρίες για ανάπτυξη και καινοτομία (Shuaibu et al., 2024).

2.3 Εξήγηση του πώς η μικροδομή επηρεάζει τη μακροσκοπική συμπεριφορά του υλικού.

Η μικροδομή ενός υλικού αναφέρεται στη διάταξη και την οργάνωση των εσωτερικών του στοιχείων, όπως οι κόκκοι, οι φάσεις, οι εγκλείσεις και οι διασυνδέσεις μεταξύ τους. Αυτή η μικροδομή είναι κρίσιμη για την κατανόηση της μακροσκοπικής συμπεριφοράς του υλικού, καθώς οι μηχανικές, θερμικές, ηλεκτρικές και άλλες φυσικές ιδιότητες ενός υλικού καθορίζονται σε μεγάλο βαθμό από το πώς είναι οργανωμένα τα σωματίδια του σε μικροσκοπικό επίπεδο.

2.3.1 Συσχέτιση Μικροδομής και Μακροσκοπικής Συμπεριφοράς

2.3.1.1 Κράμα και Σύνθεση

Η σύνθεση των υλικών, όπως στα κράματα αλουμινίου, επηρεάζει τη μορφή και την κατανομή των φάσεων στη μικροδομή. Οι διαφορετικοί τύποι εγκλείσεων και τα διαμορφωμένα στερεά μπορεί να επηρεάσουν την ικανότητα του υλικού να απορροφήσει ενέργεια, την αντοχή στη διάβρωση και τη σκληρότητα.

2.3.1.2 Μορφολογία και Σχέδιο Κόκκων

Οι διαστάσεις και η μορφή των κόκκων μπορούν να επηρεάσουν την αντοχή και τη σκληρότητα του υλικού. Π.χ., μικρότεροι και πιο σφαιρικοί κόκκοι προσφέρουν πιο ομοιόμορφη κατανομή των δυνάμεων και κατά συνέπεια μεγαλύτερη αντοχή σε τάσεις.

2.3.1.3 Διάταξη και Επικοινωνία

Η διάταξη των διαφορετικών φάσεων σε μια μικροδομή επηρεάζει την κατανόηση των μακροσκοπικών ιδιοτήτων. Υλικά με ισχυρές επαφές μεταξύ κόκκων

παρουσιάζουν καλύτερη αντοχή στην παραμόρφωση, διότι οι δυνάμεις μπορούν να μεταφέρονται αποτελεσματικά.

2.3.1.4 Προκαλούμενη Μηχανική Συμπεριφορά

Διάφορες μηχανικές συμπεριφορές, όπως η εφελκυστική αντοχή, η σκληρότητα και η ευλυγισία, επηρεάζονται από την ταυτόχρονη συμπεριφορά των διαφορετικών μικροδομών. Η παρουσία διακριτών φάσεων, όπως οι κατακρημνίσεις σε κράματα αλουμινίου, μπορεί να ενισχύει τη μηχανική απόδοση μέσω δευτερευουσών αλληλεπιδράσεων.

Σύμφωνα με τον Staszczuk σχετικά με τη μηχανική συμπεριφορά μικροδομών του κράματος αλουμινίου, οι διαφορετικές μορφολογίες των κατακρημνίσεων επηρεάζουν σημαντικά τις μηχανικές επιδόσεις του κράματος. Διάφορες μορφές εγκλείσεων προσφέρουν διαφορετικά επίπεδα ενίσχυσης, και η διαχείριση αυτών των μορφών κρίνεται ζωτικής σημασίας για την επιτυχία εφαρμογών.

Οι μελέτες που βασίζονται στην επίδραση της μικροδομής στις μηχανικές ιδιότητες επιβεβαιώνουν ότι η αλληλεπίδραση μεταξύ διαφορετικών μικροδομών επηρεάζει την ανάπτυξη ρωγμών, την αντοχή σε κόρυση, και την γενική ανθεκτικότητα.

Η κατανόηση της σχέσης μεταξύ μικροδομής και μακροσκοπικής συμπεριφοράς είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη νέων υλικών και τη βελτίωση των υπαρχόντων. Αυτή η γνώση επιτρέπει στους μηχανικούς και τους επιστήμονες να σχεδιάσουν υλικά που πληρούν συγκεκριμένες απαιτήσεις και προδιαγραφές, προωθώντας παράλληλα την καινοτομία σε διάφορους τομείς της βιομηχανίας (Staszczuk et al., 2020).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 3^ο

3. Κατηγορίες και Τύποι Αυξητικών Υλικών

3.1 Φυσικά αυξητικά υλικά (φυσικές ενώσεις και βιολογικά υλικά με αυξητική συμπεριφορά).

Η ανάγκη για βιώσιμες και οικολογικά φιλικές λύσεις στον τομέα των υλικών έχει οδηγήσει σε ολοένα και αυξανόμενο ενδιαφέρον για τη χρήση φυσικών και βιολογικών υλικών. Τα φυσικά αυξητικά υλικά περιλαμβάνουν βιολογικά προϊόντα, όπως φυτικά εκχυλίσματα, που χρησιμοποιούνται ως πρόσθετα σε πολυμερή και άλλα δομικά υλικά. Αυτές οι ενώσεις συχνά προσφέρουν πλεονεκτήματα όπως η βελτιωμένη μηχανική αντοχή, η θερμική σταθερότητα και η ανθεκτικότητα σε διάφορες περιβαλλοντικές συνθήκες. Επιπλέον, η χρήση φυσικών πρόσθετων υποστηρίζει τη βιωσιμότητα, μειώνοντας την εξάρτηση από συνθετικά, τοξικά υλικά.

Σύμφωνα με τους Dintcheva διερευνώνται οι τελευταίες εξελίξεις στον τομέα των βιολογικών προσθέτων που χρησιμοποιούνται για τη βελτίωση των πολυμερών. Αναφέρουν ότι οι βιολογικοί πρόσθετοι ενισχύουν τη δομή και τις ιδιότητες των πολυμερών, αποδεικνύοντας έτσι την ικανότητά τους να λειτουργούν ως φυσικά αυξητικά υλικά. Αυτό αποτελεί σημαντική συμβολή στη βιομηχανία υλικών, καθώς τα βιολογικά πρόσθετα δεν είναι μόνο αποτελεσματικά, αλλά και φιλικά προς το περιβάλλον.

Συνολικά, τα φυσικά αυξητικά υλικά (φυσικές ενώσεις και βιολογικά υλικά με αυξητική συμπεριφορά)” περιγράφουν μια σημαντική κατηγορία υλικών που προέρχονται από φυσικές πηγές και συμβάλλουν σημαντικά στη βελτίωση των ιδιοτήτων άλλων υλικών. Το άρθρο που αναλύθηκε υποστηρίζει αυτή τη θεωρία, παρέχοντας αποδείξεις για την αποτελεσματικότητα και τις δυνατότητες των βιολογικών πρόσθετων. Η ανακάλυψη και η ανάπτυξη τέτοιων υλικών είναι ζωτικής

σημασίας για τη δημιουργία βιώσιμων λύσεων στον τομέα της υλικής επιστήμης και της μηχανικής (Dintcheva et al., 2020).

Τα φυσικά αυξητικά υλικά περιλαμβάνουν ένα ευρύ φάσμα φυσικών ενώσεων και βιολογικών υλικών που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση, τη βελτίωση ή την τροποποίηση των ιδιοτήτων άλλων υλικών, όπως πολυμερή. Αυτά τα υλικά συχνά προσφέρουν εκτός από λειτουργικές βελτιώσεις και περιβαλλοντικά οφέλη, καθώς είναι βιώσιμα και ασφαλή για τον άνθρωπο και το οικοσύστημα.

Εξετάζοντας τις φυσικές θέσεις και εφαρμογές των βιοϋλικών από φυσικές πηγές, εστιάζουμε στη σημασία τους για τη σύγχρονη βιομηχανία. Διαπιστώνουμε τις μοναδικές ιδιότητες των φυσικών πολυμερών, οι οποίες τους καθιστούν ιδανικά για πλήθος εφαρμογών στον τομέα της ιατρικής, της συσκευασίας και της βιώσιμης ανάπτυξης. Μέσω της ανάλυσης των ιδιοτήτων και της λειτουργικότητας αυτών των φυσικών πολυμερών, το άρθρο αποδεικνύει τη δυνατότητα των φυσικών αυξητικών υλικών να βελτιώσουν επιμέρους παραμέτρους, όπως η αντοχή στην κόπωση και η βιοδιάσπαση, συμβάλλοντας έτσι στην αναβάθμιση των κλασσικών υλικών.

3.2 Συνθετικά αυξητικά υλικά (π.χ. πολυμερή, μεταλλικά και κεραμικά υλικά με αυξητικές ιδιότητες).

Η χρήση συνθετικών αυξητικών υλικών στο πεδίο της παραγωγής έχει αναδειχθεί σε ένα από τα πιο εντυπωσιακά και καινοτόμα κομμάτια της σύγχρονης τεχνολογίας. Τα υλικά αυτά καλύπτουν μια ευρεία γκάμα εφαρμογών, από την αεροναυτική και την αυτοκινητοβιομηχανία μέχρι τις ιατρικές συσκευές. Κάθε κατηγορία υλικών πολυμερή, μεταλλικά και κεραμικά, διακρίνεται από τις λειτουργικές της ικανότητες και τις μοναδικές ιδιότητές της, οι οποίες αναλύονται παρακάτω.

3.2.1 Πολυμερή Υλικά

Τα πολυμερή υλικά είναι μερικά από τα πιο ευρέως χρησιμοποιούμενα αυξητικά υλικά, κυρίως λόγω της ευκολίας τους στη διαδικασία παραγωγής και της δυνατότητάς τους για προσαρμογή. Κατά τον Rajendran τονίζεται ότι οι ιδιότητες των πολυμερών μπορούν να τροποποιηθούν για να ενισχύσουν τη μηχανική αντοχή,

την ευκαμψία και την χημική αντοχή τους, καθιστώντας τα ιδανικά για διάφορες εφαρμογές. Οι τεχνολογίες τρισδιάστατης εκτύπωσης με πολυμερή υλικά επιτρέπουν τη δημιουργία πολύπλοκων γεωμετριών που δεν είναι εφικτές με παραδοσιακούς τρόπους παραγωγής (Rajendran, 2023).

Αυτά τα υλικά επιτρέπουν την ταχεία και οικονομικά αποδοτική παραγωγή σύνθετων γεωμετριών που είναι αδύνατες με συμβατικές μεθόδους. Τονίζεται ότι η παραμετροποίηση των υλικών σε πραγματικό χρόνο μπορεί να προσαρμοστεί ώστε να πληροί τις απαιτήσεις κάθε εφαρμογής. Αυτή η ευελιξία είναι κρίσιμη σε βιοϊατρικές εφαρμογές, όπου μπορεί να απαιτείται συμμόρφωση με συγκεκριμένες βιολογικές προδιαγραφές, όπως το βιοσυμβατό και αποικοδομήσιμο υλικό.

Ουσιαστικά οι σύγχρονες εφαρμογές χρησιμοποιούν πολυμερή υλικά σε βιοϊατρικές εφαρμογές, όπως η παραγωγή εμφυτεύσιμων συσκευών, όπου η συμμόρφωση με ιατρικούς κανόνες και η πιθανότητα ανακύκλωσης είναι κρίσιμες (Rajendra et al., 2023).

3.2.2Μεταλλικά Υλικά

Στην κατηγορία των μεταλλικών υλικών, οι αυξητικές διαδικασίες έχουν αποδείξει τη δυνατότητά τους να παράγουν εξαρτήματα με εξαιρετικές μηχανικές ιδιότητες και αντοχή υψηλής θερμοκρασίας.

Η χρήση μεταλλικών υλικών, μας δείχνει την ικανότητά τους να παράγουν εξαιρετικά ελαφριά και ταυτόχρονα ισχυρά δομικά στοιχεία.

Η ικανότητα αυτών των διαδικασιών να δημιουργούν ελαφριά δομικά στοιχεία με αυξημένη μηχανική αντοχή είναι κομβική. Η ελάττωση της παραγωγής αποβλήτων και η εξάλειψη βημάτων επεξεργασίας προσφέρουν βελτιωμένες διαδικασίες παραγωγής, οι οποίες είναι καθοριστικές για τη βιωσιμότητα. Η ενσωμάτωση προηγμένων μεταλλικών υλικών επιτρέπει τη δημιουργία κομμάτων με ρητά μηχανικά χαρακτηριστικά, ειδικά σε τομείς όπως η αεροδιαστημική και η αυτοκινητοβιομηχανία, όπου οι συνθήκες αποδοτικότητας και ασφάλειας είναι επιτακτικές (Zhou et al., 2024).

Η μεταλλική προσθετική κατασκευή έχει επιτρέψει την κατάργηση διαδικασιών μηχανικής επεξεργασίας και τη μείωση σημαντικά της σπατάλης υλικών. Η

ικανότητα προσαρμογής της σύνθεσης των μετάλλων κατά τη διάρκεια της κατασκευής παρέχει τη δυνατότητα δημιουργίας σύνθετων αλουμινένιων ή σιδηρών κραμάτων που έχουν ανώτερες ιδιότητες από τα συμβατικά υλικά.

3.2.3Κεραμικά Υλικά

Τα κεραμικά υλικά, παρά την παραδοσιακή τους χρήση, έχουν εξελιχθεί σημαντικά μέσω προσθετικών μεθόδων. Η μελέτη των Lacelle et al. (2023) υπογραμμίζει τη δυνατότητα των κεραμικών υλικών να συνδυάζουν τη χαμηλή πυκνότητα και την υψηλή μηχανική αντοχή. Η ικανότητα παραγωγής κεραμικών μέσω αυξητικής μεθόδου δίνει νέα ζωή σε παραδοσιακές εφαρμογές που απαιτούν υλικά υψηλής θερμικής αντοχής και σκληρότητας. Αυτή η καινοτόμος προσέγγιση στην παραγωγή κεραμικών υλικών έχει σημαντικές επιπτώσεις σε τομείς όπως η ηλεκτρονική και η βιομηχανία δομικών υλικών (Lacelle et al., 2023).

Οι ερευνητές υποστηρίζουν ότι τα κεραμικά υλικά μπορούν να επωφεληθούν από τη διαδικασία των αυξητικών τεχνολογιών, επιτρέποντας την παραγωγή σύνθετων γεωμετριών και βελτιωμένων ιδιοτήτων, όπως η θερμική και η ηλεκτρική αντοχή. Ορισμένα πολυμερή κεραμικά, γνωστά ως «κεραμικά παραγόμενα από πολυμερή», επιτρέπουν τη διαμόρφωση της μήτρας τους σε τρισδιάστατες δομές, ακολουθούμενες από θερμική επεξεργασία για την ενίσχυση των μηχανικών τους ιδιοτήτων. Αυτή η διαδικασία οδηγεί σε κεραμικά που συνδυάζουν την ανθεκτικότητα και την ακαμψία των παραδοσιακών κεραμικών με την ευελιξία και την ελαφρότητα των πολυμερών.

Ειδικότερα

Η συνδυαστική χρήση πολυμερών, μετάλλων και κεραμικών έχει επίσης ανοίξει νέες οδούς για την ανάπτυξη σύνθετων υλικών που προσφέρουν μοναδικές δυνατότητες. Για παράδειγμα, η δημιουργία σύνθετων υλικών που περιέχουν μεταλλικές και κεραμικές φάσεις έχει αποδειχθεί εξαιρετικά αποτελεσματική για τη βελτίωση των μηχανικών ιδιοτήτων και της θερμικής σταθερότητας με την ενοποίηση των πλεονεκτημάτων των διαφορετικών τύπων υλικών.

Η πρόσφατη έρευνα των Zhou et al. έχει δείξει ότι η συμμετοχή σε προηγμένες μεθόδους αύξησης, όπως η ηλεκτρονική δέσμη και οι μέθοδοι υλικών laser, μπορεί να

επιφέρει σημαντικά αποτελέσματα στην παραγωγή σύνθετων υλικών με εξαιρετικές ιδιότητες. Ο συνδυασμός διαδικασιών παράγει μόρια με εξαιρετική τεχνολογική αξία, αποτελώντας παράδειγμα για το μέλλον των υλικών στην προσθετική κατασκευή (Zhou et al., 2024).

Η αναδυόμενη τάση στη χρήση συνθετικών αυξητικών υλικών αποδεικνύει ότι η τεχνολογία δεν είναι απλώς ένα εργαλείο, αλλά και ένας καταλύτης για τη δημιουργία καινοτόμων λύσεων σε παραδοσιακούς τομείς. Υλικό και τεχνολογίες όπως τα πολυμερή, τα μεταλλικά και τα κεραμικά υλικά δεν συνιστούν μόνο νέα προϊόντα, αλλά και μια επαναστατική προσέγγιση στον τρόπο που σκεφτόμαστε τη παραγωγή και την σχεδίαση.

Είναι προφανές ότι η συνεχής έρευνα και ανάπτυξη σε αυτούς τους τομείς θα οδηγήσει σε περαιτέρω προόδους που θα ενισχύσουν την ποιότητα, την αποδοτικότητα και την αειφορία των παραγόμενων προϊόντων. Με τη στήριξη της επιστημονικής κοινότητας και της βιομηχανίας, τα συνθετικά αυξητικά υλικά υπόσχονται να διαδραματίσουν καθοριστικό ρόλο στην επόμενη γενιά παραγωγικών διαδικασιών και προϊόντων.

Συνοψίζοντας, τα συνθετικά αυξητικά υλικά προσφέρουν έναν κόσμο δυνατοτήτων και καινοτομίας που έχει τη δυνατότητα να επηρεάσει θετικά μια σειρά από βιομηχανίες και τομείς. Η εξέλιξη των πολυμερών, των μεταλλικών και κεραμικών υλικών μέσα από τις διαδικασίες αυξητικής παραγωγής όχι μόνο βελτιώνει την ποιότητα και την αντοχή των προϊόντων αλλά αναμορφώνει και την ίδια τη διαδικασία της παραγωγής. Είναι καθοριστικής σημασίας να παρακολουθούμε τις εξελίξεις σε αυτό το πεδίο και να ανακαλύπτουμε νέες εφαρμογές που θα συνεχίσουν να προωθούν την τεχνολογία, τη βιωσιμότητα και την καινοτομία.

Η πρόκληση για τους επιστήμονες και τους μηχανικούς είναι να εκμεταλλευτούν αυτές τις ευκαιρίες και να συνεχίσουν να σχεδιάζουν υλικά που θα ανταποκριθούν στις αυξανόμενες απαιτήσεις της σύγχρονης κοινωνίας. Η συνεργασία μεταξύ των πεδίων της μηχανικής, της φυσικής και της χημείας θα είναι θεμελιώδης για αυτή την πρόοδο, οδηγώντας σε διαρκείς καινοτομίες που θα ενδυναμώσουν τη βιομηχανία και θα προσφέρουν βιώσιμες λύσεις για το μέλλον.

3.3 Σύγχρονα εξελιγμένα αυξητικά υλικά και εφαρμογές σε προηγμένα συστήματα

Αναμφίβολα, η ανάπτυξη και η χρήση αυξητικών υλικών έχει επιφέρει επανάσταση στην κατασκευή και την παραγωγή. Αυτά τα υλικά δεν μεταμορφώνουν μόνο τη διαδικασία παραγωγής, αλλά ανοίγουν και νέες δυνατότητες σε προηγμένα συστήματα. Η έννοια αυτή αναφέρεται στη διαδικασία παραγωγής υλικών μέσω συσσώρευσης διαφορετικών επιπέδων, είτε πρόκειται για μεταλλικά είτε για πολυμερή υλικά.

Σύμφωνα με σχετικές έρευνες, τα αυξητικά υλικά προσφέρουν μοναδικά πλεονεκτήματα, όπως η δυνατότητα δημιουργίας περίπλοκων γεωμετρικών σχημάτων που δεν θα ήταν εφικτά με παραδοσιακές μεθόδους. Αυτή η ικανότητα έχει σημαντικές εφαρμογές στον τομέα της αεροδιαστημικής, όπου η ελαχιστοποίηση του βάρους και η αύξηση της αντοχής είναι κρίσιμα στοιχεία. Στην έρευνα του Veeman, εξετάζονται τα υλικά και τις εφαρμογές τους στον τομέα αυτό, καταγράφεται η σημαντική συνεισφορά των αυξητικών τεχνολογιών στην αποτελεσματικότητα και την ανάκαμψη του κλάδου (Veeman et al., 2022).

Επιπλέον, η επιλογή υλικών με βιολογικές προδιαγραφές είχε σημαντική ανάπτυξη, καθώς πολλές σύγχρονες εφαρμογές απαιτούν βιώσιμες και φιλικές προς το περιβάλλον λύσεις. Η έρευνα των Marturano για τις βιολογικές προσθήκες παρέχει νέες προτάσεις για τη χρήση αυξητικών υλικών σε βιώσιμα προϊόντα που συνδυάζουν την απόδοση με την οικολογική συνείδηση. Αυτές οι πρόσφατες εξελίξεις υποδεικνύουν ένα ισχυρό μέλλον για την υιοθέτηση της βιωσιμότητας στον κλάδο των υλικών (Marturano et al., 2023).

Μια ακόμα σημαντική εξέλιξη είναι η κατασκευή πολυμερών υλικών, η οποία υπογραμμίζει τη δυνατότητα χρήσης διαφορετικών μεθόδων παραγωγής, όπως η τρισδιάστατη εκτύπωση. Όπως αποδεικνύεται, η διαδικασία αυτή δεν προσφέρει μόνο την ευκολία σχεδίασης και κατασκευής, αλλά και την ενίσχυση των μηχανικών ιδιοτήτων των προϊόντων, δίνοντας έτσι την ευκαιρία για δημιουργία υλικών με ειδικές χαρακτηριστικές (Lacelle et al., 2023).

Καθώς προχωράμε σε ένα μέλλον όπου η τεχνολογία και οι εφαρμογές συνεχώς εξελίσσονται, είναι επιτακτικό να παρακολουθούμε τις τελευταίες τάσεις και έρευνες που αφορούν τα αυξητικά υλικά (Rajendran et al., 2023). Η ενημέρωση αυτή θα επιτρέψει την κατεύθυνση των ερευνών σε σχετικούς τομείς και θα προάγει την καινοτομία, επηρεάζοντας θετικά τις εφαρμογές που αφορούν τη βιομηχανία.

Συνολικά, τα σύγχρονα εξελιγμένα αυξητικά υλικά αποδεικνύουν ότι η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να επαναστατήσει την παραδοσιακή παραγωγή. Οι εξελίξεις στις μεθόδους και τα υλικά, καθώς και η επιδίωξη της βιωσιμότητας, καθιστούν αυτά τα υλικά απαραίτητα σε προηγμένα συστήματα και ανοίγουν το δρόμο για καινοτόμες λύσεις που μπορούν να συμβάλλουν στην ανακύκλωση και την προστασία του περιβάλλοντος.

Η διεύθυνση των αυξητικών υλικών στις σύγχρονες βιομηχανίες έχει καταστεί θεμελιώδους σημασίας για την προώθηση των τεχνολογικών καινοτομιών. Αυτές οι τεχνολογίες οδηγούν σε έναν νέο κόσμο σχεδίασης και παραγωγής που δίνει τη δυνατότητα μεγαλύτερης προσαρμοστικότητας και μείωσης αποβλήτων σε σύγκριση με τις παραδοσιακές διαδικασίες παραγωγής.

Ένας από τους τομείς που έχει επισημανθεί είναι αυτός της αεροδιαστημικής ή της κατασκευής αεροσκαφών, όπου πολλές από τις παραδοσιακές μέθοδοι δεν μπορούν να καλύψουν τις αυξανόμενες απαιτήσεις για ελαφριά και ανθεκτικά υλικά. Σύμφωνα με την έρευνα των Veeman η τάση αυτή έχει οδηγήσει σε μια αύξηση της εφαρμογής της προσθετικής παραγωγής στην αεροδιαστημική, με πιο αποδοτικές διαδικασίες και υλικά δημιουργίας. Τα υλικά αυτά δεν παρέχουν μόνο τη δυνατότητα παραγωγής περίπλοκων γεωμετρικών σχημάτων, αλλά συμβάλλουν επίσης στη μείωση του συνολικού βάρους και κόστους (Veeman et al. , 2022).

Στον τομέα των βιολογικών προσθηκών, έχει παρατηρηθεί μια σημαντική στροφή προς τα βιοπολυμερή, όπως το φιλμ πολυγαλακτικού οξέος (PLA) και το πολυϋδροξυαλκανοϊκό (PHA). Αυτές οι ουσίες συνδυάζουν την αειφορία και τις υλικές επιδόσεις, και όπως αναφέρονται στο άρθρο για τις πρόσφατες εξελίξεις στις προσθήκες ψευδαργύρου, προωθούν τη δημιουργία πιο πράσινων προϊόντων. Αυτή η μετάβαση σε πιο φιλικά προς το περιβάλλον υλικά είναι κρίσιμη, ιδιαίτερα για εφαρμογές που απαιτούν βιολογική διάσπαση, όπως η κατασκευή καταναλωτικών προϊόντων (Marturano et al., 2023).

Η εφαρμογή των αυξητικών μεθόδων δεν περιορίζεται μόνο στην αεροδιαστημική ή τα βιολογικά προϊόντα. Η παραγωγή πολυμερών υλικών έχει πάρει νέα διάσταση με την ενθάρρυνση καινοτόμων μεθόδων κατασκευής. Η έρευνα των Lacelle, μελετά τις διαδικασίες και τις μεθόδους παραγωγής πολυμερών από τα αυξητικά υλικά υποδεικνύει ότι οι νέες τεχνικές μπορούν να προσφέρουν κομψές και ανθεκτικές λύσεις που είναι επίκαιρες για τη βιομηχανία (Lacelle et al., 2023). Αυτό είναι πολύ σημαντικό, καθώς οι μοντέρνες βιομηχανίες χρειάζονται συνεχώς εξελιγμένα υλικά που συνδυάζουν τη μηχανική αντοχή και την αισθητική.

Η πρόσφατη έρευνα των Rajendran έχει συνθέσει μια εικόνα του μέλλοντος, όπου οι εξελίξεις στην προσθετική παραγωγή δεν περιορίζονται μόνο στην παραγωγή υλικών, αλλά επεκτείνονται και στις διαδικασίες ανακύκλωσης και στην αναγέννηση υλικών. Αυτό μας παρέχει τη δυνατότητα να παρακολουθούμε τις τάσεις και τις καινοτομίες, καθορίζοντας έτσι την κατεύθυνση της μελλοντικής έρευνας (Rajendran et al., 2023).

Ορισμένα παραδείγματα αυξητικών υλικών περιλαμβάνουν:

- Αφρός πολυουρεθάνης: Ένα υλικό με εξαιρετική ελαστικότητα και αντοχή, ευρέως χρησιμοποιούμενο σε εφαρμογές που απαιτούν απορρόφηση κραδασμών (Li et al., 2016).
- Χριστοβαλίτης (Cristobalite): Ένας κρυσταλλικός μεταφωσφορικός μορφής πυριτίου με ειδικές θερμικές και μηχανικές ιδιότητες (Yeganeh-Haeri, et al., 1992).
- Πολυμερή υγρής κρυστάλλωσης: Αυτά τα υλικά επιδεικνύουν μοναδικές ηλεκτρικές και οπτικές ιδιότητες, κατάλληλα για εφαρμογές σε οθόνες και οπτικούς αισθητήρες.
- Κρυσταλλικά υλικά με βάση στοιχεία όπως τα Li, Na, K, Cu, Rb, Ag, Fe, Ni, Co, Cs, Au, Be, Ca, Zn, Sr, Sb, MoS₂, καθώς και BaSO₄: Αυτά τα υλικά χρησιμοποιούνται σε διάφορες τεχνολογικές και επιστημονικές εφαρμογές λόγω των μοναδικών τους χαρακτηριστικών.
- Πετρώματα και ορυκτά: Ορισμένα φυσικά ορυκτά παρουσιάζουν αυξητικές ιδιότητες, καθιστώντας τα κατάλληλα για πολλές βιομηχανικές και κατασκευαστικές χρήσεις.

- Γραφένιο: Ένα υλικό με εξαιρετικές ηλεκτρικές και μηχανικές ιδιότητες, γνωστό για την εξαιρετική του αντοχή και αγωγιμότητα.
- Μη ανθρακούχοι νανοσωλήνες: Οι νανοσωλήνες προσφέρουν μοναδικές μηχανικές και ηλεκτρικές ιδιότητες, ιδανικές για την παραγωγή προηγμένων υλικών (Bryukhanov, et al., 2019).
- Ιστοί οστών και τένοντες: Βιολογικά υλικά που συνδυάζουν αντοχή και ελαστικότητα, υποδεικνύοντας τη φυσική έμπνευση για ενισχυμένα υλικά.
- Πολυμερή τύπου Gore-Tex: Υλικά που είναι αδιάβροχα και υφάσματα, χρησιμοποιούμενα σε ρούχα και αθλητικά είδη.
- Ορισμένα είδη χαρτιού: Υλικά που ενδέχεται να έχουν αυξητικές δομές ή ευλύγιστα χαρακτηριστικά.
- Οριγκάμι: Η ιαπωνική τέχνη του διπλώματος χαρτιού που χρησιμοποιεί γεωμετρικά μοτίβα και μπορεί να εφαρμοστεί στη δημιουργία αυξητικών υλικών (Eidini, et al., 2015).
- Τεχνητές δομές με μηδενικό δείκτη Poisson: Υλικά που διατηρούν το σχήμα τους ακόμα και όταν δέχονται εφελκυστικές ή συμπιεστικές δυνάμεις (Grima et al., 2017).
- Ορισμένα υφαντά: Υλικά που συνδυάζουν διαφορετικές ίνες για να επιτύχουν συγκεκριμένες ιδιότητες, όπως ελαστικότητα και αντοχή (Verma, et al., 2015).
- Φελλός: Ένα φυσικό υλικό με μοναδικές ιδιότητες απορρόφησης κραδασμών και ελαστικότητας, ιδανικό για πολλές εφαρμογές.

Αυτές οι κατηγορίες υλικών παρουσιάζουν διαφορετικές δυνατότητες και εφαρμογές σε τομείς όπως η μηχανική, η βιολογία και οι βιομηχανικές διαδικασίες.

Ακολουθεί η εικόνα 1 στην οποία βλέπουμε τον αφρό πολυουρεθάνης PU-FOAM 750ml ROCKIYA υψηλής ποιότητας αυτοδιογκούμενο. Διογκώνεται και ωριμάζει με την επίδραση της ατμοσφαιρικής υγρασίας. Επιπλέον διαθέτει άριστη πρόσφυση σε ξύλο, τσιμέντο, πέτρες, μέταλλα κτλ. Χρησιμοποιείται για τοποθέτηση παραθύρων και πορτών, γέμισμα τρυπών, σφραγίσματα ανοιγμάτων σε στέγες και μονωτικά υλικά κτλ.

Κατάλληλος για σφήνωμα τοιχοποιίας (π.χ. YTONG), αρμούς συνδέσεων γύρω από κουφώματα, αρμούς δαπέδων, οροφές, οπές τοιχοποιίας, θερμομόνωση, ηχομόνωση, στερέωση, στεγάνωση, σφράγιση, τοποθέτηση σωληνώσεων μέσα από τοίχους και πατώματα κ.α.

Παρέχει υψηλή πρόσφυση σε σκυρόδεμα, YTONG, τούβλα, πέτρες, γύψο, ξύλο, μέταλλο και σε πολλά πλαστικά π.χ. το πολυστερίνη, άκαμπτο αφρό πολυουρεθάνης και uPVS



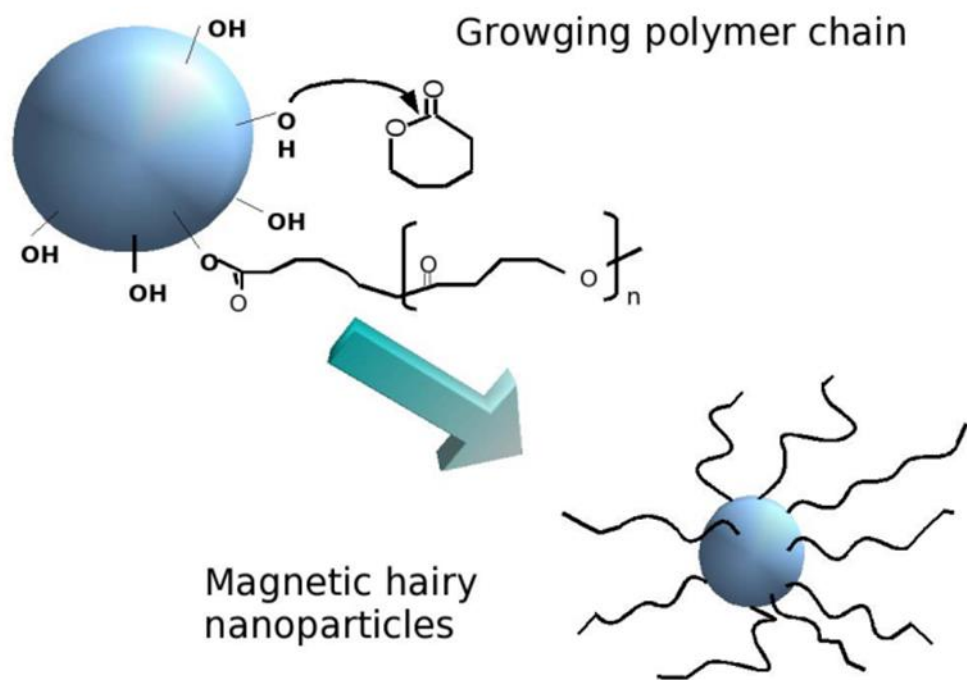
Εικόνα 1 Αφρός Πολυουρεθάνης

Παρακάτω στην εικόνα 2 φαίνεται η στρατηγική ενός μηχανικού:

¹ <https://gforgadget.gr/shop/afros-polyourethanis-pu-foam-750ml-rockiya/>

1. Το υλικό να είναι βιοσυμβατό αλλά και βιοποικοδομήσιμο (τα πολυμερή μπορούν να είναι και τα δύο)
2. Για να είναι εύκολο στη χρήση πρέπει να έχει επιπρόσθετες ιδιότητες (π.χ. μαγνητικές ιδιότητες)

ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ ΠΟΛΥΜΕΡΩΝ



Εικόνα 2 Τεχνολογία πολυμερών

² http://www.materials.uoi.gr/polymers/assets/lectures%20pdfs/Technologia_Polymerwn_I.pdf

Το συμπέρασμα που μπορεί να εξαχθεί από αυτή την ανάλυση είναι ότι τα σύγχρονα εξελιγμένα αυξητικά υλικά δημιουργούν νέες ευκαιρίες όχι μόνο για την αεροδιαστημική και τη βιομηχανία πολυμερών, αλλά και για την τεχνολογία γενικότερα. Σε τομείς όπως η ιατρική, οι αυτοκινητοβιομηχανίες, και η κατασκευή προϊόντων, η χρήση αυτών των υλικών δεν είναι απλώς καινοτόμος, αλλά και απαραίτητη για την επίτευξη ενός βιώσιμου μέλλοντος. Με την ένταξη των ιδεών της βιωσιμότητας και των κυκλικών συστημάτων παραγωγής, τα αυξητικά υλικά προσφέρουν την ικανότητα να αναδιαμορφώσουν όχι μόνο τις διαδικασίες παραγωγής, αλλά και τη φιλοσοφία πίσω από αυτά, οδηγώντας μας σε ένα πιο βιώσιμο και ηθικό μοντέλο βιομηχανικών πρακτικών (Verma et al., 2023).

Επιπλέον, η συνεργασία μεταξύ του καινούριου επιστημονικού πεδίου της μηχανικής των υλικών και των προοδευτικών τεχνολογιών παραγωγής δημιουργεί μια ενδιαφέρουσα δυναμική για την εξέλιξη νέων προϊόντων. Στην έρευνα των Verma για τις δυνατότητες προηγμένων υλικών, τονίζεται πόσο θεμελιώδες είναι να εξερευνούμε τις εφαρμογές αυτών των υλικών σε τομείς όπως η ηλεκτρονική, η ιατρική και η αυτοκίνηση. Αυτές οι βιομηχανίες επωφελούνται από την ικανότητα των αυξητικών υλικών να δημιουργούν σύνθετες και στρατηγικά σχεδιασμένες γεωμετρίες που βελτιώνουν την αποδοτικότητα και μειώνουν τη σπατάλη (Verma et al., 2023).

Σε παγκόσμιο επίπεδο, η απαίτηση για καινοτόμες λύσεις και εφαρμογές που είναι φιλικές προς το περιβάλλον επηρεάζει τη στρατηγική ανάπτυξης των μεγάλων βιομηχανιών. Καθώς οι καταναλωτές γίνονται πιο ευαισθητοποιημένοι και οι κανονισμοί γίνονται αυστηρότεροι, η χρήση αυξητικών υλικών και διαδικασιών καθίσταται στρατηγική επιλογή για την επιτυχία στο μέλλον (Zhang et al., 2022).

Αξιολογώντας τα δεδομένα και τις τάσεις που προκύπτουν από τη βιβλιογραφία, είναι σαφές ότι τα αυξητικά υλικά είναι μόνο η αρχή μιας εντυπωσιακής επανάστασης στον χώρο της παραγωγής. Υπό την προϋπόθεση ότι η έρευνα συνεχίζεται και οι σχετικές επινοήσεις προχωρούν, είναι αναπόφευκτο ότι τα όρια των δυνατοτήτων αυτών των υλικών θα επεκταθούν, δίνοντας τη δυνατότητα να δημιουργηθούν παραδείγματα τεχνολογίας και σχεδίασης που πριν θεωρούνταν αδύνατα.

Συμπερασματικά, η ανασκόπηση των ερευνών και των εφαρμογών των σύγχρονων αυξητικών υλικών επιβεβαιώνει τη σημαντικότητά τους στη σύγχρονη παραγωγή και τεχνολογία. Είτε μιλάμε για την αεροδιαστημική, τις βιολογικές προσθήκες ή την ανάπτυξη πολυμερών, η συμβολή αυτών των υλικών στην αειφόρο ανάπτυξη και την καινοτομία δεν μπορεί να υποτιμηθεί. Η συνεχιζόμενη έρευνα θα αποκαλύψει ακόμη περισσότερες εφαρμόσιμες λύσεις, αναδιαμορφώνοντας τη βιομηχανία προς μια κατεύθυνση που συνδυάζει την ποιότητα, την απόδοση και τη βιωσιμότητα (Zhou, 2024, Zhou et al., 2016).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 4^ο

4. Μηχανικές Ιδιότητες και Συμπεριφορά

4.1 Ανάλυση της μηχανικής συμπεριφοράς των αυξητικών υλικών υπό εφελκυσμό, θλίψη και κρούση.

Η ανάλυση της μηχανικής συμπεριφοράς των αυξητικών υλικών (composite materials, auxetic or growth) υπό εφελκυσμό, θλίψη και κρούση είναι κρίσιμη για την κατανόηση της απόδοσής τους σε διάφορες εφαρμογές. Παρακάτω παρατίθενται οι βασικές πτυχές της μηχανικής συμπεριφοράς αυτών των υλικών:

4.1.1. Εφελκυσμός

Ο εφελκυσμός είναι η κατάσταση φόρτισης όπου οι δυνάμεις επιδρούν σε ένα υλικό τεντώνοντάς το.

- Αύξηση φέρουσας ικανότητας

Τα αυξητικά υλικά παρουσιάζουν συνήθως υψηλότερη αντοχή σε εφελκυσμό από τα συμβατικά υλικά, λόγω της συνδυασμένης επίδρασης των διάφορων συστατικών τους.

- Ελαστική τροχιά

Στα αρχικά στάδια του εφελκυσμού, τα υλικά διατηρούν την ελαστική τους συμπεριφορά και ακολουθούν τον νόμο του Hooke.

- Πλαστική παραμόρφωση

Μετά από συγκεκριμένο σημείο, μπορεί να υπάρξει πλαστική παραμόρφωση, η οποία μπορεί να επηρεαστεί από τη γωνία και τον τύπο των ινών στο υλικό.

- Θραύση

Τα αυξητικά υλικά μπορεί να υποστούν αποτυχία σε διαφορετικά επίπεδα, αναλόγως της κατεύθυνσης τους, η οποία μπορεί να οδηγήσει σε εσωτερικές ρωγμές ή αποκόλληση των στρώσεων (Yang et al., 2021).

4.1.2. Θλίψη

Η θλίψη αναφέρεται στην κατάσταση όπου ένα υλικό υποβάλλεται σε συμπιεστικές δυνάμεις.

- Συμπεριφορά πίεσης

Τα αυξητικά υλικά μπορούν να παρουσιάσουν διαφορετική συμπεριφορά υπό θλίψη σε σύγκριση με τον εφελκυσμό. Είναι γνωστό ότι ορισμένα σύνθετα υλικά είναι πιο επιρρεπή σε ρωγμές και σπάσιμο κατά τη διάρκεια θλίψης.

- Αντοχή

Η αντοχή τους στην θλίψη εξαρτάται σε σημαντικό βαθμό από την κατεύθυνση των ινών και τους τύπους των ρητινών που χρησιμοποιούνται.

- Ελάσματα

Σε αυξητικά υλικά που αποτελούνται από ελάσματα, η θλίψη μπορεί να προκαλέσει στρέβλωση ή ανωμαλίες που επηρεάζουν τη γενική μηχανική συμπεριφορά (Zhao et al., 2020).

4.1.3. Κρούση

Η συμπεριφορά σε κρούση αναφέρεται στην αντίσταση ενός υλικού σε απότομες εξωτερικές δυνάμεις ή επιδράσεις.

- Εκρηκτική αποτυχία

Τα αυξητικά υλικά, όπως και άλλα υλικά, μπορεί να υποστούν εκρηκτική αποτυχία κατά τη διάρκεια κρούσης, με απότομη και μη αναστρέψιμη παραμόρφωση.

- Διαφορετικές περιοχές

Η συμπεριφορά σε κρούση μπορεί να διαφέρει μεταξύ διαφορετικών περιοχών του υλικού, καθώς οι ίνες και οι ρητίνες μπορούν να αλληλεπιδρούν με διαφορετικούς τρόπους.

- Απορρόφηση ενέργειας

Ορισμένα αυξητικά υλικά είναι σχεδιασμένα για να έχουν υψηλή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας, ενώ άλλα ενδέχεται να φανούν λιγότερο ανθεκτικά σε κρούση.

Επομένως η μηχανική συμπεριφορά των αυξητικών υλικών υπό εφελκυσμό, θλίψη και κρούση είναι καθοριστικής σημασίας για την αξιολόγηση των εφαρμογών τους σε βιομηχανίες όπως η αεροναυπηγική, η αυτοκινητοβιομηχανία και η κατασκευή. Η κατανόηση των μηχανισμών αποτυχίας και η προσαρμογή των υλικών κατάλληλα μέσω σχεδίασης και επιλεγμένων υλικών είναι κρίσιμη για την ανάπτυξη καινοτόμων λύσεων.

Στην έρευνα των Wang, αναπτύχθηκαν ποσοτικά μοντέλα για δυναμικούς αυξανόμενους παράγοντες βασικών μηχανικών παραμέτρων, συμπεριλαμβανομένης της μέγιστης τάσης, της μέγιστης τάσης, του αρχικού συντελεστή ελαστικότητας, της τελικής τάσης και του δείκτη σκληρότητας.

Αυτά τα ευρήματα προσέφεραν κρίσιμες σχεδιαστικές γνώσεις για τη χρήση σε συνθήκες κρουστικού φορτίου και άλλα ακραία περιβάλλοντα, προωθώντας την ευρύτερη υιοθέτησή των αυξητικών υλικών στον κατασκευαστικό κλάδο (Wang et al., 2024).

4.2 Απορρόφηση ενέργειας και εφαρμογές σε περιβάλλοντα υψηλής πρόσκρουσης.

Η απορρόφηση ενέργειας σε περιβάλλοντα υψηλής πρόσκρουσης είναι ένα κρίσιμο θέμα σε πολλές εφαρμογές, όπως η αεροναυτική, η αυτοκινητοβιομηχανία, και η κατασκευή αθλητικών εξοπλισμών. Η ικανότητα ενός υλικού να απορροφήσει ενέργεια μπορεί να καθορίσει την απόδοση και την ασφάλεια των δομών και προϊόντων σε περιπτώσεις πρόσκρουσης.

Τα αυξητικά υλικά ή «ενισχυμένα υλικά» (composite materials) είναι υλικά που αποτελούνται από δύο ή περισσότερα διαφορετικά υλικά με στόχο να εκμεταλλευτούν τα πλεονεκτήματα και των δύο, δημιουργώντας έτσι ένα υλικό με ανώτερες μηχανικές ιδιότητες, όπως η εκτενή απορρόφηση ενέργειας. Αυτά τα υλικά διαθέτουν χαμηλό βάρος, υψηλή αντοχή και εξαιρετική ικανότητα απορρόφησης κραδασμών (Zhao et al., 2020, Yildirim et al., 2023).

4.2.1. Χαρακτηριστικά των Αυξητικών Υλικών

1. Δυναμική Ομοιογένεια

Συνδυάζουν δύο ή περισσότερα στοιχεία που βοηθούν στην κατανομή των δυνάμεων σε περίπτωση πρόσκρουσης.

2. Αντοχή στον Κραδασμό

Ενσωματώνουν στρώματα ή ίνες που διασπούν την ενέργεια του κραδασμού και μειώνουν έτσι την επίδραση της πρόσκρουσης.

3. Ευελιξία

Μπορούν να σχεδιαστούν ανάλογα με τις ειδικές ανάγκες του εκάστοτε προϊόντος, καθιστώντας τα πολύτιμο εργαλείο σε πολλές εφαρμογές (Prasad, 2018).

4.2.2.Εφαρμογές σε Περιβάλλοντα Υψηλής Πρόσκρουσης

1. Αεροναυτική και Διαστημική Τεχνολογία

- Χρήση αυξητικών υλικών για τη κατασκευή αεροσκαφών και διαστημοσκαφών ώστε να αντέχουν σε υψηλές πιέσεις και κραδασμούς κατά τη διάρκεια της πτήσης και της προσγείωσης.

2. Αυτοκινητοβιομηχανία

- Θέση αυξητικών υλικών σε σημεία στρατηγικής προστασίας των επιβατών, όπως ζώνες απορρόφησης κραδασμών σε περίπτωση ατυχήματος, συμβάλλοντας στη μείωση των τραυματισμών.

3. Αθλητικός Εξοπλισμός

- Σχεδίαση προϊόντων αθλητισμού, όπως κράνη και προστατευτικά, χρησιμοποιώντας αυξητικά υλικά που μπορούν να απορροφήσουν την ενέργεια από συγκρούσεις και πτώσεις.

4. Κατασκευές

- Χρησιμοποίηση σε σεισμικές ζώνες όπου οι κατασκευές πρέπει να προσαρμοστούν σε δυναμικές δυνάμεις και κραδασμούς λόγω σεισμών.

4.2.3 Στρατηγικές Σχεδιασμού

- Μοριακή Σύνθεση

Η επιλογή των πρώτων υλών και η μορφή τους παίζουν καθοριστικό ρόλο στην απόδοση του υλικού στην απορρόφηση ενέργειας.

- Δομική Σχεδίαση

Στρατηγικός σχεδιασμός γεωμετρίας που βοηθά στη διάχυση των δυνάμεων και στην πρόληψη του ολικού σπασίματος.

- Ανθεκτικότητα

Εξασφάλιση μακροχρόνιας αντοχής των υλικών σε συνεχείς επιδράσεις και περιβαλλοντικές συνθήκες.

Συμπερασματικά, η ανάπτυξη και εφαρμογή αυξητικών υλικών σε περιβάλλοντα υψηλής πρόσκρουσης ανοίγει νέους ορίζοντες στην ασφάλεια και την απόδοση της σύγχρονης τεχνολογίας, συνδυάζοντας καινοτόμες προσεγγίσεις με πραγματικές ανάγκες ασφάλειας και αποτελεσματικότητας (Yang et al., 2021).

Η έρευνα του Chen et al. 2023, μας αναφέρει ότι η παγκόσμια ετήσια κατανάλωση μεταλλικών δοχείων ποτών είναι τεράστια. Η επαναχρησιμοποίηση αυτών των απορριφθέντων άδειων δοχείων ποτών (EBCs) ως ενεργειακοί απορροφητές για την απορρόφηση κινητικής ενέργειας θα ήταν πολύ ωφέλιμη για την προώθηση της εξοικονόμησης ενέργειας, τη μείωση των εκπομπών αερίων του θερμοκηπίου και τη δημιουργία μιας κυκλικής οικονομίας (Chen et al., 2023).

Αυτή η μελέτη αποδεικνύει την αποτελεσματικότητα του συνδυασμού άδειων δοχείων με αφρό πολυουρεθάνης (PU) για την ενίσχυση της απόδοσης απορρόφησης ενέργειας των EBCs. Η μελέτη αναπτύσσει χαμηλού κόστους και βιώσιμες σύνθετες δομές (SCSs) από άχρηστα δοχεία ποτών (Chen et al., 2023, Zhang et al., 2024).

Επιπλέον, οι SCSs παρουσιάζουν εξαιρετική απόδοση κατά τη διάρκεια διαφόρων δυναμικών σεναρίων πρόσκρουσης και ανώτερες δυνατότητες απορρόφησης ενέργειας σε σύγκριση με άλλα τυπικά σωληνωτά σύνθετα υλικά και μεταυλικά. Αυτή η μελέτη επιδεικνύει μια εξαιρετικά εφικτή προσέγγιση για την ανάπτυξη επόμενης γενιάς οικολογικών και υψηλής απόδοσης σύνθετων υλικών απορρόφησης ενέργειας (Goh et al., 2023, Chen et al., 2023).

Δημιουργήθηκαν σύνθετες δομές που είναι βιώσιμες, χαμηλού κόστους, εύκολου κατασκευής και ελαφριές, ενώ έχουν υψηλή ικανότητα απορρόφησης ενέργειας. Μέσω πειραμάτων, αποδείχθηκε ότι αυτές οι δομές (SCSs) παρουσίασαν εξαιρετική απόδοση διάχυσης ενέργειας.

Η πλήρωση των EBCs με αφρό πολυουρεθάνης βελτιώνει σημαντικά τη λειτουργία παραμόρφωσής τους υπό αξονική σχετική θραύση. Οι SCSs έχουν σταθερό τρόπο παραμόρφωσης και σχηματίζουν περισσότερους πλαστικούς πτυχές, με αποτέλεσμα πολύ καλύτερη απορρόφηση ενέργειας. Τέλος η ανθεκτική εκτελεστική απόδοση των SCSs υπό δυναμική φόρτιση πρόσκρουσης έχει αποδειχθεί πλήρως (Chen et al., 2023).

4.3 Συγκριτική ανάλυση με συμβατικά υλικά

Η συγκριτική ανάλυση των αυξητικών υλικών σε σχέση με τα συμβατικά υλικά περιλαμβάνει πολλές πτυχές, συμπεριλαμβανομένων των μηχανικών ιδιοτήτων, της κοστολόγησης, της βιωσιμότητας και της εφαρμογής τους σε διάφορους τομείς.

Ακολουθούν μερικές βασικές διαφορές και συγκρίσεις:

4.3.1 Μηχανικές Ιδιότητες

- Αυξητικά Υλικά

Συνήθως, τα αυξητικά υλικά προσφέρουν καλύτερη αντοχή, ελαστικότητα και ανθεκτικότητα σε σύγκριση με τα συμβατικά υλικά. Αυτό τα καθιστά κατάλληλα για εφαρμογές που απαιτούν υψηλές μηχανικές επιδόσεις.

- Συμβατικά Υλικά

Τα συμβατικά υλικά (όπως μέταλλο, ξύλο κ.λπ.) μπορεί να έχουν μεγαλύτερη συμβατότητα, αλλά συχνά υπολείπονται σε ελαστικότητα και αντοχή σε διάφορους τύπους φόρτισης (Subramanyam et al., 2018).

4.3.2. Κόστος

- Αυξητικά Υλικά

Αν και η αρχική επένδυση για τη παραγωγή αυξητικών υλικών μπορεί να είναι υψηλότερη, η διάρκεια ζωής και οι επιδόσεις τους συνήθως δικαιολογούν το κόστος σε μακροπρόθεσμες εφαρμογές.

- Συμβατικά Υλικά

Συνήθως, είναι φθηνότερα και πιο προσιτά, αλλά μπορεί να απαιτούν συχνότερη συντήρηση ή αντικατάσταση.

4.3.3. Βιωσιμότητα και Περιβάλλον

- Αυξητικά Υλικά

Πολλά αυξητικά υλικά παράγονται χρησιμοποιώντας ανακυκλώσιμες ύλες ή διαδικασίες που είναι λιγότερο επιβλαβείς για το περιβάλλον, προσδιορίζοντας μια βιώσιμη επιλογή (Peron et al., 2024).

- Συμβατικά Υλικά

Σημαντική περιβαλλοντική επίπτωση μπορεί να προκύψει από την εξόρυξη και επεξεργασία των υλικών αυτών, γεγονός που προωθεί την αναζήτηση εναλλακτικών και πιο βιώσιμων λύσεων.

4.3.4. Εφαρμογές

- Αυξητικά Υλικά

Χρησιμοποιούνται ευρέως σε βιομηχανίες όπως η αεροναυτική, η αυτοκινητοβιομηχανία και η κατασκευή, όπου απαιτούνται υψηλές μηχανικές επιδόσεις και μειωμένο βάρος.

- Συμβατικά Υλικά

Συχνά βρίσκουν εφαρμογή σε πιο παραδοσιακές ή καθημερινές κατασκευές, όπου οι απαιτήσεις δεν είναι τόσο αυστηρές.

4.3.5. Διαδικασία Κατασκευής

- Αυξητικά Υλικά

Οι διαδικασίες κατασκευής μπορεί να είναι πιο περίπλοκες και απαιτητικές, όπως η 3D εκτύπωση, η έγχυση και η τεχνολογία μηχανικής επεξεργασίας.

- Συμβατικά Υλικά

Συνήθως, οι μέθοδοι κατασκευής είναι πιο καθιερωμένες και απλές, απαιτώντας λιγότερη τεχνολογία και κατάρτιση. Συνολικά, η επιλογή μεταξύ αυξητικών και συμβατικών υλικών εξαρτάται από τις συγκεκριμένες απαιτήσεις της εφαρμογής, το κόστος και τους περιβαλλοντικούς παράγοντες (Alaghmandfard et al., 2024).

4.3.6. Επιπτώσεις στη Σχεδίαση

- Αυξητικά Υλικά

Τα αυξητικά υλικά προσφέρουν αυξημένες δυνατότητες σχεδίασης λόγω της δυνατότητας χρήσης πολύπλοκων γεωμετριών και προσαρμοσμένων ιδιοτήτων. Οι σχεδιαστές έχουν τη δυνατότητα να βελτιστοποιούν τη δομή για συγκεκριμένες επιδόσεις, π.χ., μέσω του 3D printing.

- Συμβατικά Υλικά

Συνήθως, περιορίζονται σε πιο συντηρητικούς σχεδιασμούς λόγω των περιορισμών τους σε αντοχή και ευχέρεια κατασκευής (Olowu et al., 2024).

4.3.7. Διάρκεια Ζωής και Συντήρηση

- Αυξητικά Υλικά

Τα αυξητικά υλικά έχουν, συνήθως, μεγαλύτερη διάρκεια ζωής και απαιτούν λιγότερη συντήρηση, καθώς είναι σχεδιασμένα να αντέχουν σε δύσκολες συνθήκες. Επιπλέον, οι δυνατότητές τους για καλύτερη απορρόφηση κραδασμών είναι κρίσιμες σε εφαρμογές αφιερωμένες στη ασφάλεια.

- Συμβατικά Υλικά

Είναι πιθανό να χρειάζονται πιο συχνή συντήρηση και αντικατάσταση με την πάροδο του χρόνου, γεγονός που ενδέχεται να οδηγήσει σε υψηλότερο συνολικό κόστος ζωής (Wang, 2023).

4.3.8. Ανακύκλωση και Διάθεση

- Αυξητικά Υλικά

Πολλά αυξητικά υλικά είναι σχεδιασμένα με γνώμονα την ανακύκλωση. Η δυνατότητα επαναχρησιμοποίησης των υλικών μειώνει την περιβαλλοντική επίπτωση στο τέλος του κύκλου ζωής τους.

- Συμβατικά Υλικά

Ενώ ορισμένα συμβατικά υλικά μπορούν να ανακυκλωθούν, η διαδικασία μπορεί να είναι πιο περίπλοκη ή λιγότερο αποδοτική, ειδικά για υλικά όπως το σκυρόδεμα ή ορισμένα μέταλλα (Amza et al., 2024).

4.3.9. Αντίκτυπος στην Απόδοση του Συστήματος

- Αυξητικά Υλικά

Η χρήση αυξητικών υλικών μπορεί να οδηγήσει σε βελτιωμένες επιδόσεις του τελικού προϊόντος, όπως η μείωση του βάρους, η αυξημένη αντοχή και η βελτιωμένη ανθεκτικότητα σε διαφορετικές περιβαλλοντικές συνθήκες.

- Συμβατικά Υλικά

Αν και αυτά τα υλικά έχουν καθιερωμένες και αξιόπιστες επιδόσεις, οι περιορισμένες δυνατότητες τους μπορεί να μην καλύπτουν τις ανάγκες για καινοτόμες εφαρμογές ή ζήτησης για έργα που απαιτούν προηγμένες λύσεις.

Ουσιαστικά η επιλογή μεταξύ αυξητικών και συμβατικών υλικών πρέπει να γίνει προσεκτικά, λαμβάνοντας υπόψη όλες τις παραπάνω πτυχές. Σημαντικοί παράγοντες όπως η φύση της εφαρμογής, τα χρηματοοικονομικά χαρακτηριστικά, η περιβαλλοντική ευαισθησία και η επιθυμία για καινοτομία οδηγούν στην κατεύθυνση της επιλογής των κατάλληλων υλικών (Fan, 2024).

Η τάση προς βιώσιμες και αποδοτικές επιλογές υλικών καθιστά τα αυξητικά υλικά ολοένα και πιο ελκυστικά για πολλές βιομηχανίες, καθώς οι ανάγκες της αγοράς και οι επιθυμίες των καταναλωτών συνεχίζουν να εξελίσσονται.

Η ενσωμάτωσή τους σε προϊόντα και συστήματα αναμένεται να αποτελεί μέρος της μελλοντικής ανάπτυξης και καινοτομίας στις κατασκευές και τη βιομηχανία (Subramanyam et al., 2018).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 5^ο

5.Εφαρμογές Αυξητικών Υλικών

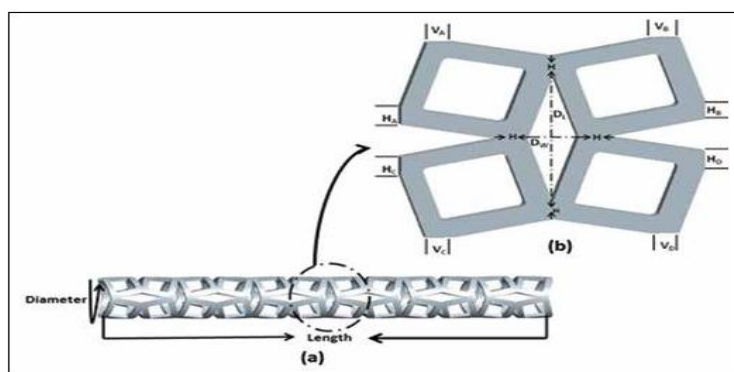
5.1 Ιατρική: Στεντ, επιθέματα και προσθετικά.

Τα αυξητικά υλικά έχουν βρει ευρεία εφαρμογή στον τομέα της ιατρικής, προσφέροντας καινοτόμες λύσεις σε διάφορες ανάγκες. Ακολουθούν κάποιες συγκεκριμένες εφαρμογές:

5.1.1. Στεντ

Τα αυξητικά υλικά στεντ είναι υλικά που χρησιμοποιούνται στην ιατρική και στη χειρουργική για να ενισχύσουν τη διαδικασία ανάρρωσης ή να διευκολύνουν την αποκατάσταση ιστών. Τα στεντ είναι μικρές σωληνωτές συσκευές που τοποθετούνται σε αγγεία ή σωλήνες του σώματος, όπως οι αρτηρίες και οι φλέβες, για να διατηρούν ανοικτό τον χώρο και να αποτρέπουν τη στένωση ή την απόφραξη. Συνήθως κατασκευάζονται από βιοσυμβατά υλικά και συχνά είναι επικαλυμμένα με φάρμακα που προλαμβάνουν την επαναστένωση του αγγείου (Laskowska et al., 2021).

Παρακάτω στην εικόνα 3 βλέπουμε το α) τρισδιάστατο μοντέλο σχεδίασης αυξητικής και β) τη μοναδιαία κυψέλη αυξητικής.



Εικόνα 3 α) τρισδιάστατο μοντέλο σχεδίασης αυξητικής και β) τη μοναδιαία κυψέλη αυξητικής.³

³ <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.5301/jabfm.5000213>

Αυτά τα υλικά είναι συνήθως βιοσυμβατά και μπορούν να ενσωματωθούν αρμονικά στο ανθρώπινο σώμα. Ορισμένες από τις κύριες ιδιότητές τους περιλαμβάνουν:

1. Βιοσυμβατότητα

Τα υλικά αυτά πρέπει να είναι ασφαλή για το ανθρώπινο σώμα ώστε να μην προκαλούν ανοσολογικές αντιδράσεις.

2. Βιοδιασπασιμότητα

Πολλά αυξητικά υλικά είναι σχεδιασμένα να διασπώνται με την πάροδο του χρόνου, επιτρέποντας την φυσική αναγέννηση των ιστών.

3. Μηχανική υποστήριξη

Παρέχουν στήριξη στους ιστούς κατά τη διάρκεια της ανάρρωσης, βοηθώντας στη διατήρηση της δομής και της λειτουργίας τους.

4. Αλληλεπίδραση με κύτταρα

Τα υλικά αυτά συχνά περιλαμβάνουν αναγνωρίσιμα σήματα ή μοριακά προφίλ που προάγουν την πρόσφυση και την ανάπτυξη των κυττάρων, ενθαρρύνοντας έτσι την αναγέννηση.

5. Διαπερατότητα

Ορισμένα υλικά είναι σχεδιασμένα να ευνοούν την προσπέλαση θρεπτικών ουσιών και οξυγόνου, ενισχύοντας τη διαδικασία επούλωσης.

6. Ρύθμιση της αποδέσμευσης φαρμάκων

Κάποια υλικά μπορούν να φορτώνονται με φάρμακα ή βιολογικά μόρια και να απελευθερώνουν ελεγχόμενα αυτά τα σήματα στη διάρκεια της θεραπείας.

Στην αθλητική ιατρική, για παράδειγμα, χρησιμοποιούνται αυξητικά υλικά για την αποκατάσταση τενόντων και άλλων ιστών, ενώ στη χειρουργική, χρησιμοποιούνται σε εφαρμογές όπως η αποκατάσταση οστών ή η εφαρμογή σε εμφυτεύματα.

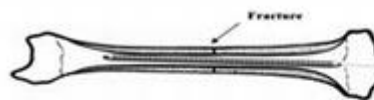
Η έρευνα γύρω από αυτά τα υλικά συνεχίζεται, με πληροφορίες που αφορούν νέες τεχνολογίες και βιολογικά προσανατολισμένα σχέδια που υπόσχονται να βελτιώσουν τις θεραπευτικές διαδικασίες περαιτέρω.

Ακολουθεί η εικόνα 4 με την κατασκευή ενός νέου αυξητικού πολυμερούς οστικού stent με δυνητικές εφαρμογές σε διαδικασίες εσωτερικής σταθεροποίησης. Έχει χρησιμοποιηθεί μια νέα γεωμετρία «συνδεδεμένων αστεριών» για την κατασκευή αυτής της συσκευής. Μετά την κατασκευή, πραγματοποιήθηκε επίσης μηχανική χαρακτηριστική του αυξητικού οστικού stent για τη μελέτη των ιδιοτήτων και της συμπεριφοράς παραμόρφωσης του. Η ερευνητική εργασία αξιολογεί επίσης τη δυναμική συμπεριφορά αυξητικών αυτών των σωληνωτών δομών.

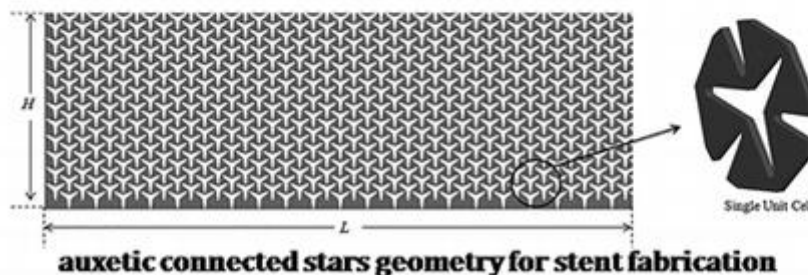
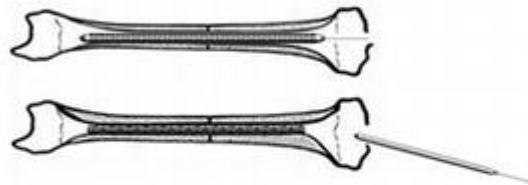
GRAPHICAL ABSTRACT

Intramedullary Balloon Catheter Stent for Tubular Fractures

- Stabilization of fracture with radial expansion



- Fracture reduction with Axial compression



Εικόνα 4 κατασκευή ενός νέου αυξητικού πολυμερούς οστικού stent

4

5.1.1.1 Εφαρμογές σε διάφορους κλάδους της ιατρικής

- Ορθοπαιδική

Αυξητικά υλικά χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση οστών και τενόντων, βοηθώντας στην επουλωτική διαδικασία και μειώνοντας τον χρόνο ανάρρωσης.

⁴ <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03602559.2015.1021481>

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 5 που ακολουθεί, αυτή η ακτινογραφία δείχνει μια σπασμένη κνήμη με ένα μεγάλο κενό κόκκαλου. Μια μεταλλική ράβδος έχει τοποθετηθεί μέσα στην κοιλότητα του μυελού του οστού για να βοηθήσει στη σταθεροποίησή του.



Εικόνα 5 αυξητικό υλικό για το σπασμένο κόκαλο

5

- Καρκινική θεραπεία

Κάποια υλικά υιοθετούνται για τη στοχευμένη απελευθέρωση φαρμάκων που είναι ικανά να εναντιωθούν σε καρκινικά κύτταρα, ελαχιστοποιώντας τις παρενέργειες που σχετίζονται με συμβατικές θεραπείες.

- Επανορθωτική χειρουργική

⁵ <https://orthoinfo.aaos.org/en/treatment/helping-fractures-heal-orthobiologics/>

Χρησιμοποιούνται για την αποκατάσταση ιστών που έχουν υποστεί βλάβη ή έχουν αφαιρεθεί, προσφέροντας μια πλατφόρμα για την ανάπτυξη νέου ιστού (Murtaza et al., 2015).

5.1.1.2 Τεχνολογίες Κατασκευής

- 3D Εκτύπωση

Η τεχνολογία 3D εκτύπωσης επιτρέπει τη δημιουργία εξατομικευμένων εμφυτεύσιμων υλικών που μπορούν να προσαρμοστούν στις ανάγκες του συγκεκριμένου ασθενούς.

- Νανοτεχνολογία

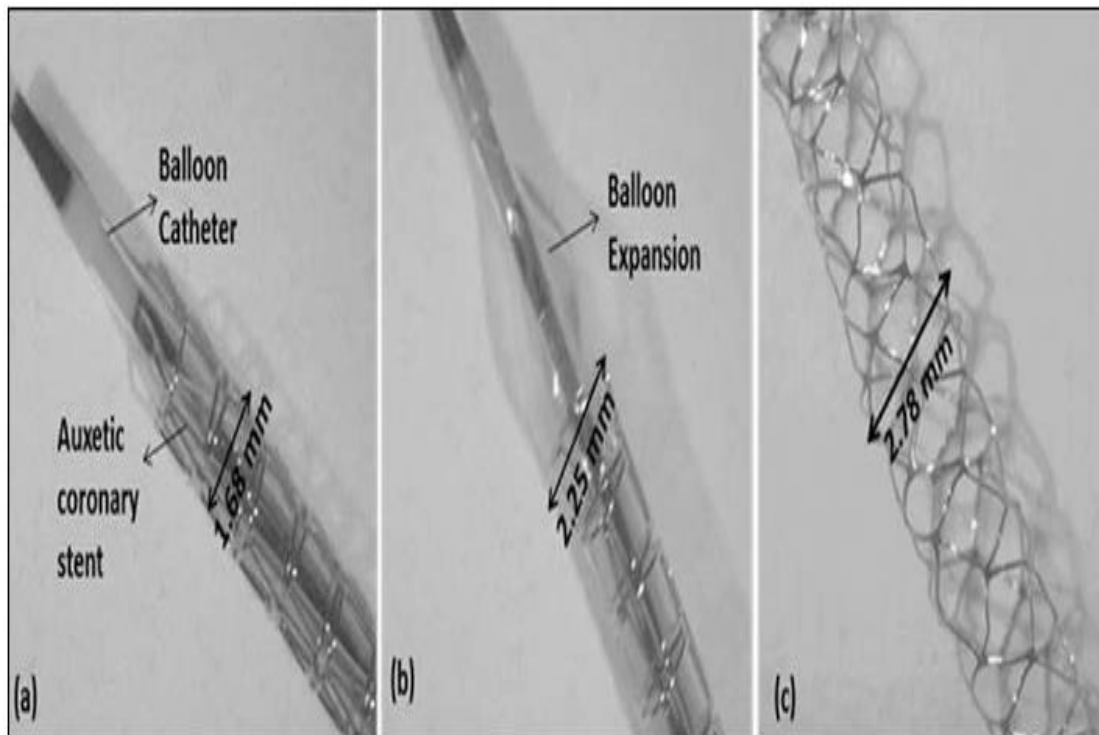
Είναι σε εξέλιξη ερευνητικές προσπάθειες που συνδυάζουν νανοϋλικά για την ενίσχυση των μηχανικών ιδιοτήτων των στεντ και την προώθηση της κυτταρικής ανάπτυξης (Li et al., 2016).

5.1.1.3 Ταχεία Ανάπτυξη Βιοϋλικών

- Οι επιστήμονες εργάζονται για τη δημιουργία νέων τύπων βιοϋλικών που μπορούν να έχουν καλύτερη βιοσυμβατότητα και πιο αποτελεσματική αλληλεπίδραση με κυτταρικούς τύπους.

- Οι νέες φόρμουλες περιλαμβάνουν κολλαγόνο, κερατίνη και άλλες φυσικές πρωτεΐνες που προάγουν την αποκατάσταση ιστών (Zhai et al. 2023).

Παρακάτω στην εικόνα 6 διαφαίνεται ένα διευρυμένο αυξητικό κυτταρικό στοιχείο στεντ στεφανιαίας αρτηρίας, στο οποίο τα οριζόντιοι τμήματα, έχουν επεκταθεί και οι στρογγυλοί σχηματισμοί έχουν περιστραφεί.



Εικόνα 6 διευρυμένο αυξητικό κυτταρικό στοιχείο στεντ στεφανιαίας αρτηρίας

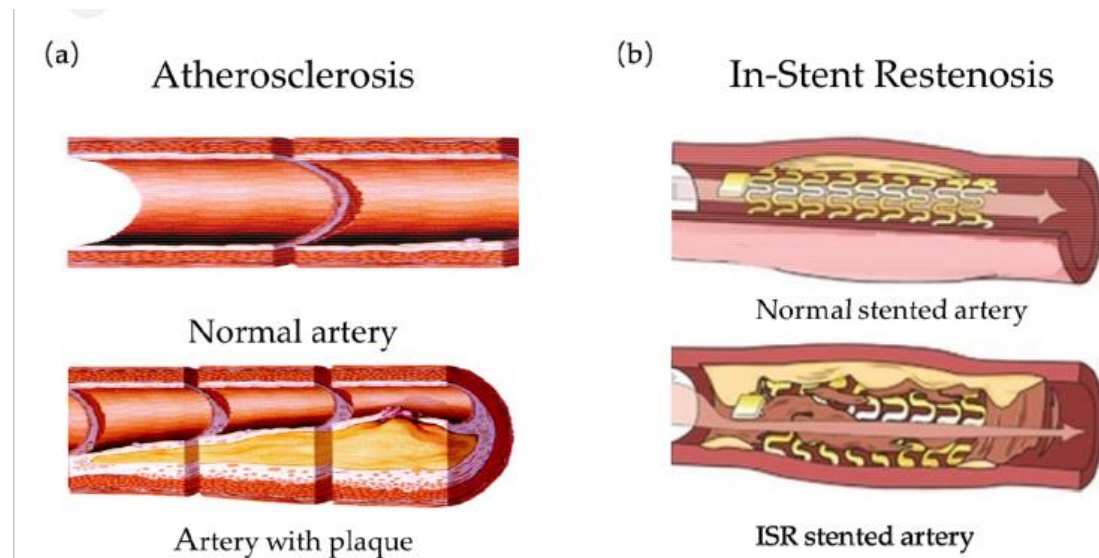
6

Ακολουθεί η εικόνα 7 και η ανάλυση της .

Η αθηροσκλήρωση είναι μία από τις καρδιαγγειακές παθήσεις. Ο παθολογικός μηχανισμός της είναι ότι λιπαρές ή λιπιδικές ουσίες εναποτίθενται στο τοίχωμα της αρτηρίας υπό την επιρροή διαφόρων παραγόντων κινδύνου για καρδιαγγειακές παθήσεις.

Η δομή σχεδιασμού του στεντ σχετίζεται με την επαναστένωση. Υπάρχουν ακόμα πολλές επιπλοκές στην τρέχουσα θεραπεία PCI. Μεταξύ αυτών, η Επαναστένωση στο Στεντ (ISR) είναι η πιο κοινή επιπλοκή και αποτελεί σημαντική πρόκληση για τη μηχανική βιομηχανία.

⁶ <https://journals.sagepub.com/doi/full/10.5301/jabfm.5000213>

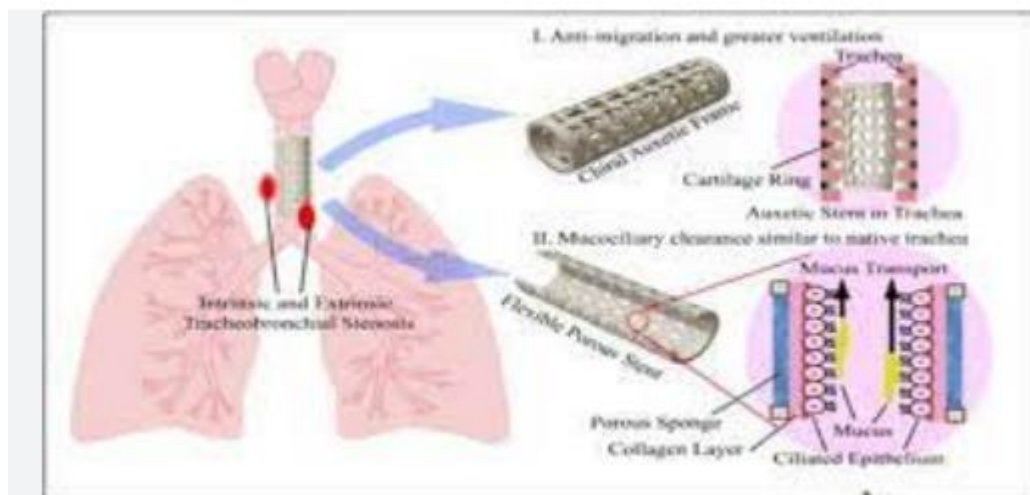


Εικόνα 7 Η δομή σχεδιασμού του στεντ σχετίζεται με την επαναστένωση

7

Όπως βλέπουμε στην εικόνα 8 η τοποθέτηση τραχειακού στεντ είναι μια βασική θεραπεία για τη στένωση των τραχειοβρογχικών σωλήνων, αλλά οι επιπλοκές όπως η απόφραξη από βλέννα, η δευτερογενής στένωση, η μετανάστευση και η έντονη αίσθηση ξένου σώματος παραμένουν αναπόφευκτες προκλήσεις. Σε αυτή την εικόνα έχει σχεδιαστεί ένα ευέλικτο πορώδες τραχειακό στεντ που αποσκοπεί στη μείωση ή την υπέρβαση αυτών των επιπλοκών.

⁷ <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00405000.2022.2116549>



Εικόνα 8 τοποθέτηση τραχειακού στεντ

8

Τα αυξητικά υλικά στεντ αποτελούν έναν κρίσιμο τομέα στην ιατρική, προσφέροντας τεράστιες δυνατότητες για την αποκατάσταση και τη θεραπεία. Η έρευνα και η τεχνολογία συνεχίζουν να προοδεύουν, υποσχόμενοι βελτιωμένες μεθόδους θεραπείας που θα επωφελήσουν εκατομμύρια ασθενείς (Laskowska et al., 2021).

5.1.2. Επιθέματα

Τα επιθέματα από αυξητικά υλικά χρησιμοποιούνται σχετικά συχνά για την επούλωση τραυμάτων. Αυτά τα επιθέματα ενδέχεται να περιέχουν βιολογικά ενεργά συστατικά που προάγουν την αναγέννηση των ιστών και την επούλωση, όπως αυξητικούς παράγοντες κι άλλα βιολογικά μόρια. Κάποια από αυτά είναι σχεδιασμένα για να απελευθερώνουν τα ενεργά συστατικά σταδιακά, προάγοντας έτσι τη διαδικασία επούλωσης (Mirzaali et al., 2022).

5.1.3. Προσθετικά

Η χρήση αυξητικών υλικών στην κατασκευή προσθετικών μελών είναι επαναστατική. Αυτά τα υλικά παρέχουν όχι μόνο τη μηχανική υποστήριξη που απαιτείται για την αποκατάσταση της κινητικότητας, αλλά και την αίσθηση και λειτουργικότητα που προσεγγίζουν τη φυσική δομή του σώματος. Οι σύγχρονες προσθετικές μπορούν να

⁸ <https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/00405000.2022.2116549>

περιλαμβάνουν προηγμένα υλικά όπως τα πολυμερή και κεραμικά, καθώς και συστήματα που αλληλεπιδρούν με το νευρικό σύστημα του χρήστη.

Στην έρευνα του Pedraza, παρέχει μια επισκόπηση των βιοϋλικών και της χρήσης τους στη αναγεννητική ιατρική. Συζητά διάφορους τύπους βιοϋλικών, τις ιδιότητες τους και τις εφαρμογές τους σε κλινικές διαδικασίες, όπως η ανάπτυξη ιστού και η αναγέννηση οργάνων.

Επίσης, το επίκεντρο είναι οι πρόσφατες εξελίξεις στα υλικά που χρησιμοποιούνται σε εμφυτεύσιμες καρδιαγγειακές συσκευές. Εξετάζει τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν οι συσκευές αυτές αναφορικά με την ασφάλεια και τη λειτουργικότητά τους, καθώς και πώς τα νέα υλικά μπορούν να βελτιώσουν την παθητικότητα και την αποτελεσματικότητά τους (Pedraza et al., 2024).

Ενώ το άρθρο του Najman, διερευνά το ρόλο των βιοϋλικών στη αναγεννητική ιατρική, περιγράφοντας την εφαρμογή τους σε διαφορετικούς τομείς, συμπεριλαμβανομένης της ανάπτυξης βιολογικών ιστών και της αντικατάστασης κατεστραμμένων οργάνων.

Παρέχει μια λεπτομερή ανάλυση των τύπων υλικών που θεωρούνται κατάλληλα και τα πιθανά τους πλεονεκτήματα και αδυναμίες (Najman, et al., 2023).

Στη συνέχεια, αναλύεται η τρέχουσα ποικιλία υλικών που χρησιμοποιούνται στη χειρουργική ανακατασκευή. Εξετάζει τις διαφορετικές κατηγορίες υλικών, τις εφαρμογές τους και προτείνει μια μεθοδολογία για την ταξινόμησή τους με βάση τις φυσικοχημικές τους ιδιότητες και τις θεραπευτικές τους χρήσεις (Sharma, et al., 2019).

Ακόμα οι έρευνες επικεντρώνονται στα αναγεννητικά υλικά που χρησιμοποιούνται σε χειρουργικές ανακατασκευές. Παρέχει πληροφορίες σχετικά με τις τελευταίες εξελίξεις, τις κλινικές εφαρμογές και προτείνει στρατηγικές για τη βελτίωση των αποτελεσμάτων μέσω της καινοτομίας στα υλικά. Ειδικότερα ο εκκολαπτόμενος τομέας της αναγεννητικής ιατρικής έχει επικεντρωθεί επιμελώς στην επισκευή και την αντικατάσταση λειτουργικών ιστών και οργάνων που χρησιμοποιούν κυρίως κύτταρα. Η πλήρης επισκευή και η αντικατάσταση απαιτεί δομική ακεραιότητα και βιομοριακή σηματοδότηση για να διαμεσολαβήσει μια αποτελεσματική απόκριση (Sharma, et al., 2019).

Επιπροσθέτως, οι έρευνες εστιάζουν στις καινοτομίες των βιοϋλικών με βάση την τεχνολογία, εστιάζοντας στην ασφάλεια και την αποτελεσματικότητά τους. Συζητώντας για τις προκλήσεις που αντιμετωπίζουν τα βιοϋλικά στη χρήση τους στην ιατρική, παρουσιάζει καινοτόμες εφαρμογές και τις επιδράσεις τους στα ιατρικά εμφυτεύματα.

Η μελέτη του Salaam παρέχει ανασκόπηση των νέων τάσεων στα βιοϋλικά και της παρακολούθησης της απόδοσής τους σε διάφορες ιατρικές εφαρμογές. Αναλύει τη σημασία της επιλογής των υλικών και των μεθόδων παραγωγής τους για την επίτευξη οπτικών και λειτουργικών χαρακτηριστικών που είναι κεφαλαιώδους σημασίας για την επιτυχία στις αναγεννητικές διαδικασίες (Salaam et al., 2024).

5.1.4 Κλινικές Δοκιμές και Ρυθμιστικές Αρχές

- Η ανάπτυξη και η έγκριση των αυξητικών υλικών στεντ ενδέχεται να απαιτούν κλινικές δοκιμές για την επιβεβαίωση της ασφάλειας και της αποτελεσματικότητάς τους.

- Ρυθμιστικές αρχές όπως ο FDA (Food and Drug Administration) και ο EMA (European Medicines Agency) παρακολουθούν προσεκτικά τα νέα βιοϋλικά, διασφαλίζοντας ότι πληρούν τα πρότυπα (Dintcheva, 2020).

5.1.5 Μελλοντικές Προοπτικές

- Ο τομέας υπερβαίνει την απλή χρήση εμφυτευμάτων και σταδιακά κατευθύνεται προς την ανάπτυξη έξυπνων υλικών, τα οποία θα μπορούσαν να ανιχνεύουν και να αντιδρούν σε αλλαγές στο περιβάλλον του σώματος (π.χ., αλλαγές στο pH ή στη θερμοκρασία).

- Η ιδέα της «βιολογικής μηχανικής» εξετάζεται, όπου οι επιστήμονες προσπαθούν να συνδυάσουν βιοϋλικά με ζωντανά κύτταρα, δημιουργώντας επομένως «ζωντανά» εμφυτεύματα που μπορούν να προσαρμόζονται και να εξελίσσονται.

Η εξέλιξη των αυξητικών υλικών έχει ανοίξει νέους δρόμους στην ιατρική, καθιστώντας δυνατή τη δημιουργία λύσεων που είναι ταχύτερες και πιο αποτελεσματικές, συμβάλλοντας έτσι στη βελτίωση της ποιότητας ζωής των

ασθενών. Μέσω της συνεχούς έρευνας και ανάπτυξης, αναμένονται ακόμα πιο καινοτόμες εφαρμογές στο μέλλον (Malisz).

5.2 Αθλητισμός και προστασία: Προστατευτικός εξοπλισμός, κράνη, αθλητικά ρούχα, παπούτσια

Η χρήση αυξητικών υλικών στον αθλητισμό έχει επαναστατήσει την προσέγγιση της προστασίας των αθλητών. Αυτές οι νέες τεχνολογίες δεν προσφέρουν μόνο δημόσιο αίσθημα ασφάλειας, αλλά ενισχύουν επίσης την απόδοση και την άνεση κατά τη διάρκεια της άθλησης. Σε αυτή την ενότητα θα εξεταστούν οι εφαρμογές αυξητικών υλικών σε τρεις βασικούς τομείς: προστατευτικός εξοπλισμός, κράνη και αθλητικά ρούχα (Egon et al., 2024).

5.2.1 Προστατευτικός Εξοπλισμός

Ο προστατευτικός εξοπλισμός είναι καθοριστικής σημασίας για την ασφάλεια των αθλητών κατά τη διάρκεια των δραστηριοτήτων τους. Αυξητικά υλικά, όπως το ελαστικό EVA (Ethylene Vinyl Acetate) και τα υλικά τύπου D30, χρησιμοποιούνται ευρέως σε προστατευτικά περιτυλίγματα, θώρακες και επιγονατίδες. Αυτά τα υλικά παρέχουν εξαιρετική απορρόφηση κραδασμών και εξασφαλίζουν ότι οι αθλητές μπορούν να αθληθούν με αυτοπεποίθηση, μειώνοντας τον κίνδυνο τραυματισμών.

5.2.2 Κράνη

Τα κράνη είναι αναπόσπαστο μέρος της προστασίας σε πολλές αθλητικές δραστηριότητες, από το ποδήλατο μέχρι το αμερικανικό ποδόσφαιρο. Με την πρόοδο της τεχνολογίας, τα κράνη κατασκευάζονται τώρα από σύνθετα υλικά που περιλαμβάνουν πολυανθρακικά και θερμοπλαστικά, τα οποία προσφέρουν εξαιρετική αντοχή και ελαφρύ βάρος. Αυξητικά υλικά με ιδιότητες που απορροφούν τα χτυπήματα, όπως τα πολυμερή, συμβάλλουν στην ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων σε περίπτωση πτώσης ή σύγκρουσης.

5.2.3 Αθλητικά Ρούχα

Αθλητικά ρούχα που κατασκευάζονται από αυξητικά υλικά προσφέρουν πέρα από την προστασία, και βελτιωμένες επιδόσεις μέσω της τεχνολογίας που ρυθμίζει τη θερμοκρασία και την υγρασία. Υλικά όπως το νεοπρέν και τα αδιάβροχα υφάσματα, τα οποία είναι ελαφριά και ασφαλή, χρησιμοποιούνται για να παρέχουν άνεση στην κίνηση και προστασία από τις εξωτερικές συνθήκες. Επιπλέον, η εφαρμογή τεχνολογιών όπως η ανάλυση κίνησης μπορεί να ενσωματωθεί στα αθλητικά ρούχα, παρέχοντας δεδομένα σε πραγματικό χρόνο για την απόδοση των αθλητών (Zavodna et al., 2023).

5.2.4 Αυξητικά υλικά και βιομηχανικοί επίδεσμοι και αθλητικά παπούτσια

Η ανάλυση των αυξητικών υλικών, των βιομηχανικών επιδέσμων και των αθλητικών παπουτσιών ενσωματώνει διάφορες πτυχές που σχετίζονται με τη λειτουργικότητά τους, τη χρήση τους και την τεχνολογία που τα υποστηρίζει.

Τα αυξητικά υλικά περιλαμβάνουν μια ποικιλία προϊόντων που χρησιμοποιούνται σε ιατρικές και αθλητικές εφαρμογές για την υποστήριξη και την αποκατάσταση του ανθρώπινου σώματος. Σε αθλητικά πλαίσια, συχνά αναφέρονται σε υλικά που βοηθούν στην ενίσχυση της αποδοτικότητας, όπως είναι οι επιγονατίδες, οι ζώνες στήριξης του καρπού, και οι επιστραγαλίδες. Αυτά τα υλικά επιτρέπουν στους αθλητές να εκτελούν τις δραστηριότητές τους με μεγαλύτερη ασφάλεια, μειώνοντας τον κίνδυνο τραυματισμών και παρέχοντας υποστήριξη σε ευαίσθητες περιοχές του σώματος (Verboeket et al. 2024).

Στην εικόνα 9 που ακολουθεί τα αυξητικά υλικά είναι συναρπαστικά υλικά τα οποία, όταν βρίσκονται υπό τάση σε μία κατεύθυνση, γίνονται παχύτερα σε μία ή περισσότερες κάθετες κατευθύνσεις (Σχ. 1). Με άλλα λόγια, ένα αυξητικό υλικό διαθέτει αρνητική τιμή στον λόγο Poisson. Ειδικότερα Σχ. 1. Αυξητικό υλικό Σχ. 2. Καμπυλότητα αυξητικό και Σχ. 3. Αντίκτυπος διάτρησης μη αυξητικού και αυξητικών υλικών.

Τα αυξητικά μέταλλα, πολυμερή, σύνθετα υλικά, υφάσματα και κεραμικά είναι γνωστά, καλύπτοντας το νανοεπίπεδο έως το μακροεπίπεδο, σε φυσικές και κατασκευασμένες μορφές. Αυτά προσελκύουν ενδιαφέρον λόγω της ασυνήθιστης μηχανικής τους απόκρισης και επειδή προσφέρουν έναν τρόπο για την επίτευξη ακραίων (υψηλών ή χαμηλών) τιμών άλλων ιδιοτήτων υλικών που δεν είναι εύκολα επιτεύξιμες σε συμβατικά υλικά. Παραδείγματα περιλαμβάνουν την συγκαμπτική (σε σχήμα θόλου) καμπυλότητα όταν υπόκειται σε ροπή κάμψης (Σχ. 2), ενισχυμένη αντίσταση σε διάτρηση (Σχ. 3), αντοχή σε θραύση και απόσβεση δονήσεων, καθώς και, στην περίπτωση των πόρων αυξητικών υλικών, δραματική μεταβολή πορώδους κατά την επέκταση.

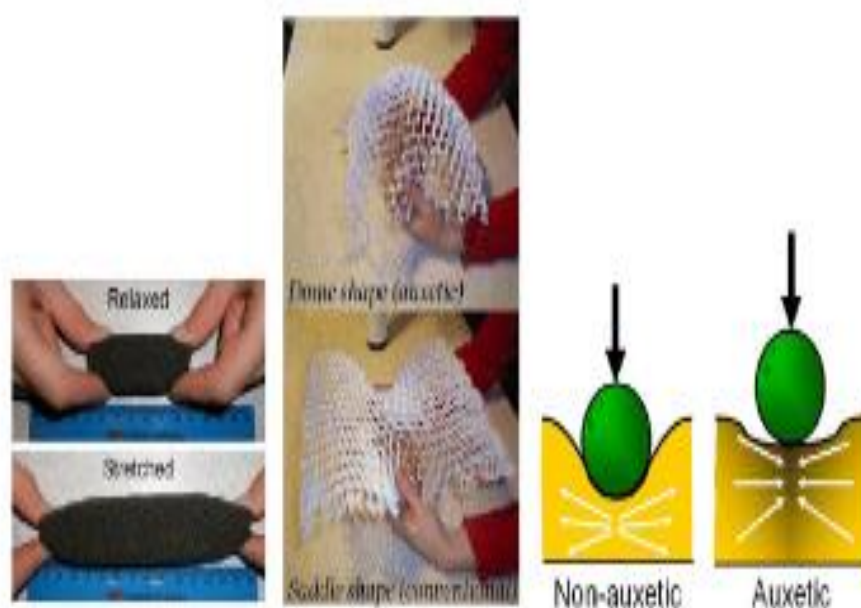


Fig. 1. Auxetic material

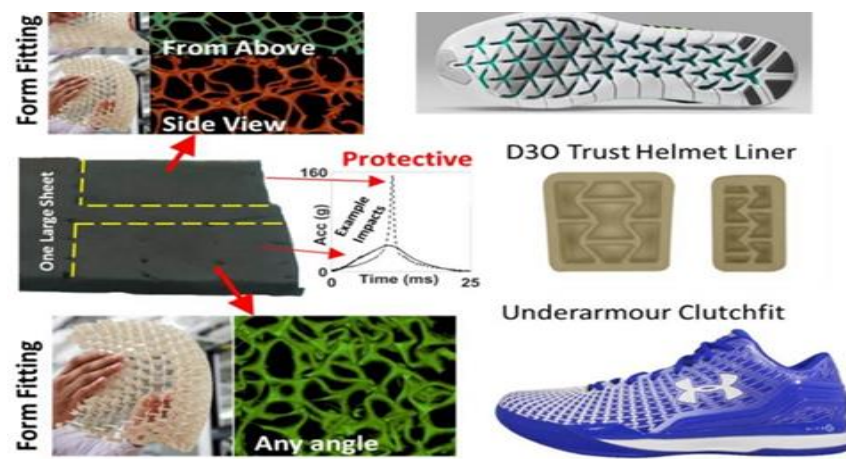
Fig. 2. Curvature of auxetic and non-auxetic materials

Fig. 3. Indentation response of non-auxetic and auxetic materials

Εικόνα 9 αυξητικά υλικά⁹

Παρακάτω στην εικόνα 10 φαίνεται ότι η άνεση, λόγω της μοναδικής αλλαγής σχήματος των αυξητικών υλικών, είναι ένα πλεονέκτημα που αναφέρεται σε εμπορικά προϊόντα. Το running shoe Flyknit της Nike διαστέλλεται με το πόδι του δρομέα κατά την πρόσκρουση, μειώνοντας τα δυσάρεστα σημεία πίεσης. Η σειρά ClutchFit της Under Armour υποτίθεται ότι μορφοποιείται κατά την κάμψη και συμμορφώνεται με τα ανατομικά χαρακτηριστικά του ποδιού του φορέα, μια μοναδική χαρακτηριστική για τα αυξητικά υλικά. Η D3O τώρα προωθεί το σύστημα επένδυσης κράνους 'Trust', που διαθέτει τη δομημένη γεωμετρία με σχήμα μπούκας, χαρακτηριστικό των αυξητικών υλικών.

Μελλοντικές εξελίξεις θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν φύλλα από γραμματοσειρές κλίμακας, με μια σειρά από λόγους Poisson που μπορούν να προσαρμόσουν την απόδοση σοκ και την εφαρμογή μιας ενιαίας επένδυσης. Έξυπνα ενδύματα που ενσωματώνουν αυξητικά υλικά και γραμμικά αφρώδη υλικά θα μπορούσαν να περιλαμβάνουν ρούχα ράγκμπι και προστασία για σπορ στο χιόνι.



Εικόνα 10

10

5.2.4.1 Εμβιομηχανικοί Επίδεσμοι

¹⁰ <https://engineeringsport.co.uk/2018/11/29/auxetic-materials-in-sports-applications/>

Οι εμβιομηχανικοί επίδεσμοι είναι προϊόντα που χρησιμοποιούνται κυρίως για ιατρικές και βιομηχανικές εφαρμογές. Προσφέρουν προστασία και στήριξη σε τραυματισμούς και εγκαύματα, και μπορούν να συνδυάζονται με αυξητικά υλικά για την πλήρη αποκατάσταση πληγών. Αυτοί οι επίδεσμοι κατασκευάζονται από ανθεκτικά και ευέλικτα υλικά που αντέχουν στη χρήση σε απαιτητικά περιβάλλοντα και συχνά παρέχουν αντιβακτηριακές και αντιφλεγμονώδεις ιδιότητες (Laskowska et al., 2021).

5.2.4.2 Αθλητικά Παπούτσια

Τα αθλητικά παπούτσια έχουν αναβαθμιστεί σημαντικά τα τελευταία χρόνια, ενσωματώνοντας προηγμένα υλικά και τεχνολογίες που βελτιώνουν την απόδοση του αθλητή ενώ παρέχουν ταυτόχρονα υποστήριξη και άνεση. Τα μοντέρνα αθλητικά παπούτσια διαθέτουν χαρακτηριστικά όπως απορρόφηση κραδασμών, στήριξη στη καμάρα του πέλματος και ανατομικά σχέδια που προσαρμόζονται στη φυσική κίνηση του ποδιού. Η σύνθεση των υλικών, όπως το ελαστικό καουτσούκ και τα υφάσματα υψηλής απόδοσης, εξασφαλίζουν μεγαλύτερη αντοχή και καλύτερη απόδοση (Zadodna et al., 2023).

Η συνδυασμένη χρήση αυξητικών υλικών, εμβιομηχανικών επιδέσμων και αθλητικών παπουτσιών γίνεται ολοένα και πιο σημαντική στην αθλητική και ιατρική κοινότητα. Κάθε κατηγορία προσφέρει μοναδικά οφέλη που συμβάλλουν στην πρόληψη και αποκατάσταση τραυματισμών, την αύξηση της απόδοσης των αθλητών και τη βελτίωση της ποιότητας ζωής για άτομα με περιορισμούς κινητικότητας. Η συνεχιζόμενη καινοτομία σε αυτές τις κατηγορίες υλικών θα συνεχίσει να επηρεάζει θετικά τον τομέα της αθλητικής επιστήμης και της ιατρικής περίθαλψης (Vuong, 2023).

5.3 Αυξητικά υλικά και αυτοκινητοβιομηχανία: Ανθεκτικά σε πρόσκρουση υλικά και ελαφριά δομικά στοιχεία.

Η αυτοκινητοβιομηχανία βρίσκεται σε μια συνεχώς μεταβαλλόμενη οδό ανάπτυξης, με έμφαση στην ασφάλεια και την απόδοση. Τα αυξητικά υλικά παίζουν καθοριστικό ρόλο σε αυτήν την εξέλιξη, καθώς προσφέρουν νέες λύσεις για την κατασκευή ανθεκτικών και ελαφρών δομικών στοιχείων. Η ανάγκη για οχήματα που να αντέχουν σε προσκρούσεις, χωρίς να θυσιάζουν την ενεργειακή αποδοτικότητα, έχει οδηγήσει την έρευνα και την ανάπτυξη σε νέες καινοτόμες κατηγορίες υλικών (Peron et al., 2024).

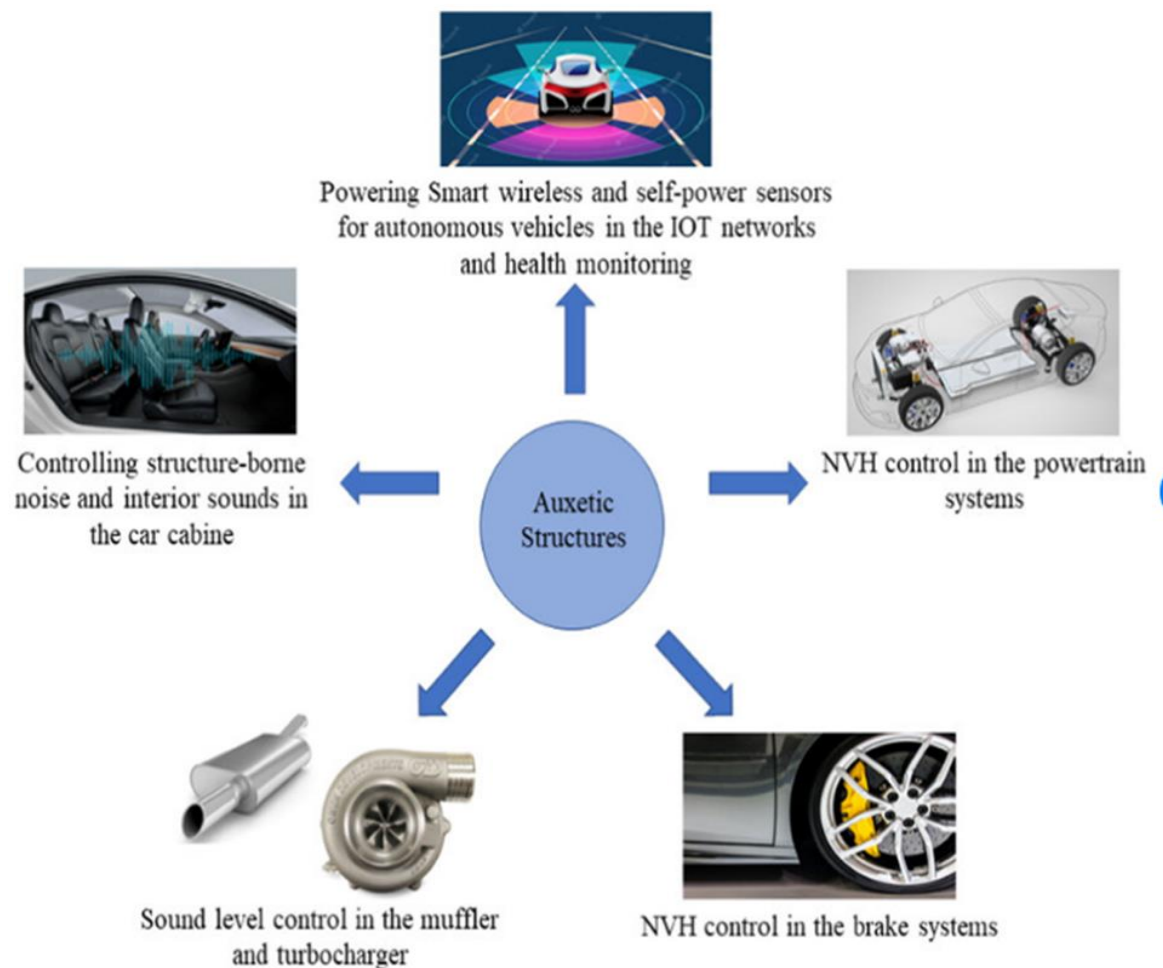
Τα ανθεκτικά σε πρόσκρουση υλικά, όπως τα σύνθετα πολυμερή, τα ατσάλινα και αλουμινένια κράματα, και οι κεραμικές δομές, είναι σχεδιασμένα να απορροφούν ενέργεια κατά τη διάρκεια μιας πρόσκρουσης. Αυτά τα υλικά προσφέρουν επίσης την απαραίτητη αντοχή και σταθερότητα, μειώνοντας ταυτόχρονα το βάρος των οχημάτων. Το ελαφρύ βάρος είναι κρίσιμο στοιχείο, καθώς συμβάλλει στη βελτίωση της κατανάλωσης καυσίμου και της μειωμένης εκπομπής CO₂, δύο παράγοντες που είναι όλο και πιο σημαντικοί για την αυτοκινητοβιομηχανία.

Οι κατασκευαστές αυτοκινήτων χρησιμοποιούν μια ποικιλία τεχνολογιών και διαδικασιών για να ενσωματώσουν αυτά τα υλικά στις δομές των οχημάτων τους. Από την ποιοτική ανάλυση των υλικών έως τη διαδικασία παραγωγής και συναρμολόγησης, κάθε βήμα είναι κρίσιμο για τη διασφάλιση της ασφάλειας και της αποδοτικότητας των οχημάτων. Η χρήση Γ^η μοντέλων και προσομοιώσεων βοηθά επίσης στη βελτίωση της σχεδίασης και στην ανάλυση των επιδράσεων των προσκρούσεων στα δομικά στοιχεία.

Αντίστοιχα, η χρήση ελαφρών υλικών προσφέρει τη δυνατότητα για πιο ευέλικτα σχεδιαστικά σχήματα, βελτιώνοντας την αεροδυναμική και τη γενική απόδοση του οχήματος. Αυτές οι εξελίξεις είναι αναγκαίες για την κατεύθυνση προς τα ηλεκτρικά αυτοκίνητα, τα οποία απαιτούν ακόμη μεγαλύτερη έμφαση στη μείωση του βάρους.

Συμπερασματικά, η εφαρμογή αυξητικών υλικών και η ανάπτυξη ανθεκτικών σε πρόσκρουση και ελαφρών δομικών στοιχείων συνιστούν κεντρικό πυλώνα της εξέλιξης στην αυτοκινητοβιομηχανία. Η συνεχιζόμενη καινοτομία στον τομέα αυτό αναμένεται να επηρεάσει θετικά την ασφάλεια, την αποδοτικότητα και την περιβαλλοντική βιωσιμότητα των οχημάτων στο μέλλον (Patel, 2024).

Παρακάτω στην εικόνα 11 φαίνονται οι πρακτικές εφαρμογές των αυξητικών δομών στον τομέα της αυτοκινητοβιομηχανίας.



Εικόνα 11 πρακτικές εφαρμογές των αυξητικών δομών

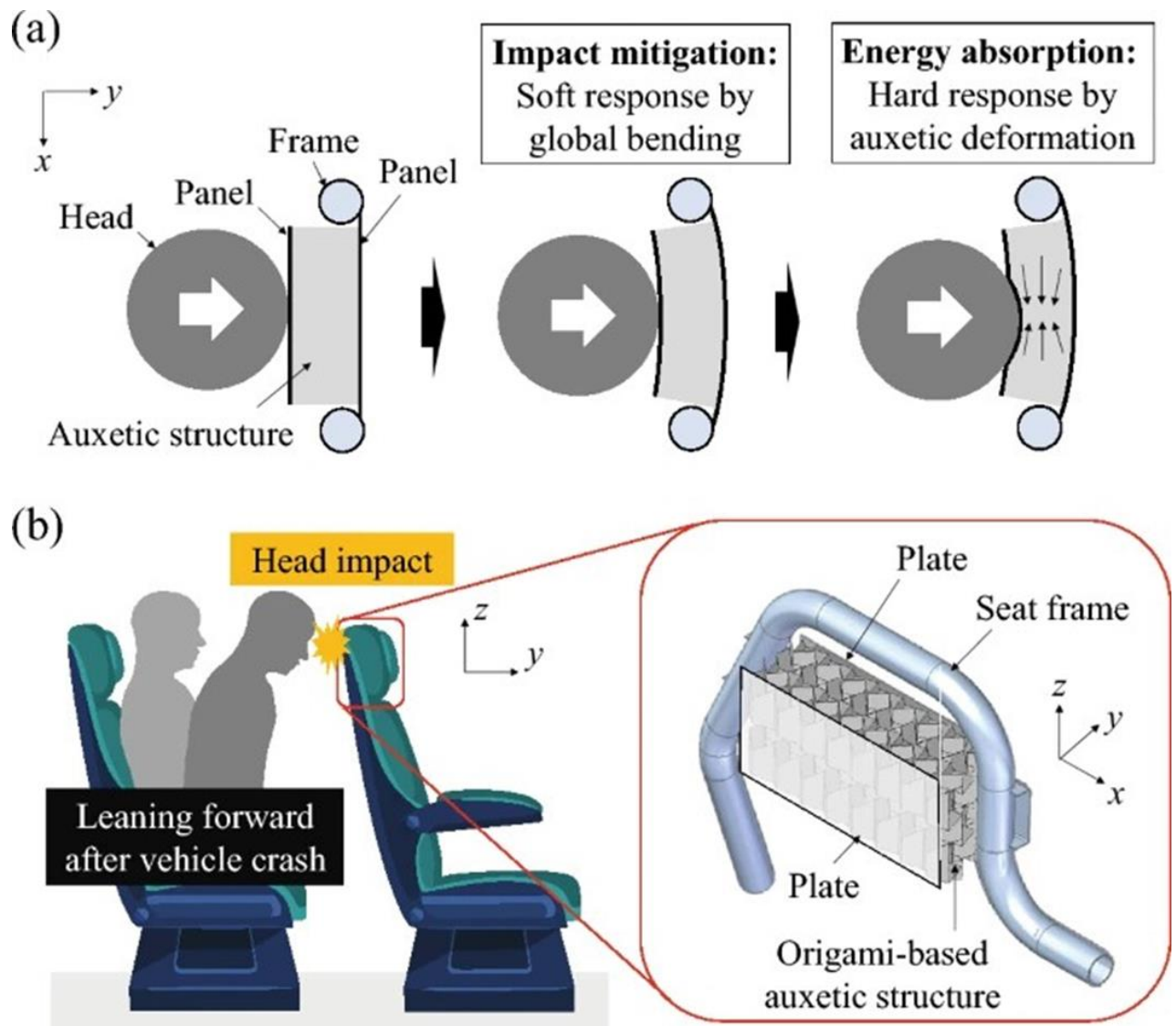
11

¹¹ https://www.researchgate.net/figure/Practical-applications-of-auxetic-structures-in-the-automotive-engineering-field_fig1_378814299

5.3.1 Ανάγκη για Ασφάλεια και Ενεργειακή Απόδοση

Η συνεχώς αυξανόμενη ανάγκη για την ενίσχυση της ασφάλειας στους δρόμους και την προώθηση της ενεργειακής αποδοτικότητας στα οχήματα έχει οδηγήσει τους κατασκευαστές αυτοκινήτων να αναζητούν καινοτόμες λύσεις στις πρώτες ύλες. Η ραγδαία αύξηση των τροχαίων ατυχημάτων και η σκληρή νομοθεσία για την ασφάλεια έχουν επιταχύνει την έρευνα σε υλικά που δεν προσφέρουν μόνο υψηλή αντοχή σε πρόσκρουση, αλλά και ελαφρύτερους σχεδιασμούς. Τα αυξητικά υλικά είναι ικανά να ενσωματώσουν οπτικές και αισθητήρες για τη διαρκή παρακολούθηση της κατάστασης του οχήματος και των επιβατών, προσφέροντας προληπτική προστασία και ενεργητική ασφάλεια (Ravandol et al., 2024).

Ακολουθεί η εικόνα 12 όπου φαίνεται η πραγματοποίηση τόσο του μετριάσμού κρούσης με βάση τη μετάβαση των τρόπων παραμόρφωσης. (α) Σχηματική μετάβαση παραμόρφωσης-τρόπου λειτουργίας για μετριάσμο κρούσης. Η λειτουργία κάμψης παρέχει μια τέτοια απόκριση για τον μετριάσμο της πρόσκρουσης και η αυξητική παραμόρφωση παρέχει μια σκληρή απόκριση. (β) Ειδική εφαρμογή για προστασία κεφαλής από τη σύγκρουση μεταξύ του κεφαλιού και του προσκέφαλου ενός καθίσματος σε όχημα.



Εικόνα 12 πραγματοποίηση τόσο του μετριασμού κρούσης με βάση τη μετάβαση των τρόπων παραμόρφωσης.

12

5.3.2 Καινοτομία και Βιομηχανική Ανάπτυξη

Η εξέλιξη της τεχνολογίας και οι βιομηχανικές πρακτικές έχουν επαναστατήσει λόγω της προόδου στα αυξητικά υλικά. Οι τεχνικές παραγωγής, όπως η 3D εκτύπωση και η διεύθυνση τροποποιημένων συνθέσεων, έχουν επιτρέψει την παραγωγή εξατομικευμένων και σύνθετων δομικών στοιχείων. Αυτή η καινοτομία δεν

12

<https://www.researchgate.net/publication/372684599> Transition of deformation modes from bending to auxetic compression in origami-based metamaterials for head protection from impact

περιορίζεται μόνο στην αύξηση της ασφάλειας αλλά διασφαλίζει και την ευελιξία στο σχεδιασμό των οχημάτων, επιτρέποντας τη δημιουργία μοντέλων που πληρούν εξειδικευμένες απαιτήσεις. Παράλληλα, η ανάπτυξη νέων βιομηχανικών διαδικασιών συχνά ενισχύει την βιωσιμότητα, καθώς πολλοί από τους νέους συνδυασμούς υλικών απαιτούν λιγότερη ενέργεια κατά τη διαδικασία παραγωγής τους (Yang et al., 2021)

5.3.3 Μελλοντικές Τάσεις στην Αυτοκινητοβιομηχανία

Το μέλλον της αυτοκινητοβιομηχανίας διαγράφεται λαμπρό με την ενσωμάτωση των αυξητικών υλικών και την προσπάθεια για την κατασκευή πιο ασφαλών και αειφόρων οχημάτων. Οι τάσεις δείχνουν ότι τα υλικά αυτά δεν θα χρησιμοποιούνται μόνο στα παραδοσιακά αυτοκίνητα, αλλά και στα ηλεκτρικά και αυτόνομα οχήματα που αναμένονται. Η συνεχής έρευνα επικεντρώνεται στην ανάπτυξη υλικών που να είναι ανακυκλώσιμα και φιλικά προς το περιβάλλον, ενισχύοντας τη βιωσιμότητα της αυτοκινητοβιομηχανίας. Καθώς οι καταναλωτές γίνονται πιο ευαισθητοποιημένοι σχετικά με περιβαλλοντικά ζητήματα, οι αυτοκινητοβιομηχανίες θα πρέπει να επενδύσουν στην ήπια και βιώσιμη τεχνολογία, διασφαλίζοντας ταυτόχρονα την ασφάλεια και την απόδοση των προϊόντων τους (Patel, 2024).

5.4 Αυξητικά υλικά και προστασία εγκαταστάσεων και ανθρώπων

Για την προστασία εγκαταστάσεων και ανθρώπων, καθώς και την αύξηση της αντοχής και της ασφάλειας των κτιρίων και των υποδομών, χρησιμοποιούνται διάφορα υλικά και τεχνολογίες. Ορισμένα από αυτά περιλαμβάνουν:

Πρώτον, υπάρχουν τα αυξητικά υλικά, όπως το σκυρόδεμα υψηλής αντοχής, το οποίο χρησιμοποιείται σε κατασκευές που απαιτούν αυξημένη αντοχή και διάρκεια. Επίσης, υπάρχουν τα ενισχυμένα σκυροδέματα, τα οποία περιέχουν ίνες ή πρόσθετα υλικά για αύξηση της αντοχής τους. Το γραφένιο είναι ένα προχωρημένο υλικό που προσφέρει εξαιρετική αντοχή και ελαστικότητα και χρησιμοποιείται σε προχωρημένα κατασκευαστικά υλικά. Επίσης, τα υλικά σύνθεσης (composite materials) συνδυάζουν διάφορες πρώτες ύλες για καλύτερη αντοχή και ελαστικότητα. Τέλος, τα πολυμερή

υλικά χρησιμοποιούνται σε διάφορες εφαρμογές, όπως σε παροχές προστασίας και επενδύσεις.

Δεύτερον, υπάρχουν μέτρα προστασίας που περιλαμβάνουν τις αντισεισμικές δομές, οι οποίες σχεδιάζουν κτίρια που αντέχουν σε σεισμικές δονήσεις μέσω ειδικών τεχνικών και υλικών. Η πυροπροστασία είναι επίσης σημαντική, με χρήση υλικών ανθεκτικών στη φωτιά ή επενδύσεων με κατάλληλες πυροπροστατευτικές ιδιότητες. Τα συστήματα ασφαλείας, όπως κάμερες και ανιχνευτές κίνησης, συμβάλλουν στην προστασία των εγκαταστάσεων.

Επιπλέον, η ασφάλεια εργαζομένων είναι κρίσιμη, γι' αυτό η χρήση προσωπικών μέσων προστασίας (ΠΜΠ) και η εκπαίδευση των εργαζομένων για την αποφυγή ατυχημάτων είναι απαραίτητες. Τέλος, η προστασία από καιρικές συνθήκες περιλαμβάνει υλικά και τεχνολογία που προστατεύουν τις υποδομές από τις καιρικές επιδράσεις, όπως η υγρασία και οι αλλαγές θερμοκρασίας.

Είναι σημαντικό οι υλικές και τεχνικές επιλογές να τηρούν τις διεθνείς προδιαγραφές και κανονισμούς για την ασφάλεια και την ποιότητα κατασκευών, όπως οι κανονισμοί του ISO, της Eurocode και άλλων οργανισμών.

Η συνεργασία με ειδικούς μηχανικούς και επιστήμονες είναι κρίσιμη για την επιλογή των κατάλληλων υλικών και την ανάπτυξη ασφαλών και ανθεκτικών εγκαταστάσεων. Η διαδικασία επιλογής και εφαρμογής αυτών των υλικών και τεχνικών απαιτεί προσεκτική μελέτη και σχεδιασμό, προκειμένου να διασφαλιστεί ότι οι εγκαταστάσεις πληρούν τις απαιτήσεις ασφαλείας και λειτουργικότητας. Για παράδειγμα, η αντισεισμική προστασία ενδέχεται να περιλαμβάνει την εφαρμογή ελαστικών επισημάνσεων ή συστημάτων βάσης απομόνωσης που επιτρέπουν στο κτίριο να κινείται ανεξάρτητα από τους σεισμούς, μειώνοντας έτσι τους κραδασμούς που μεταφέρονται στα θεμέλια. Η χρήση κελύφους από ύφασμα που διαθέτει φίλτρα ή επενδύσεις από φυσικές ή συνθετικές ίνες βοηθά στην πυρασφάλεια και στην ηχομόνωση (Zavodna et al., 2023).

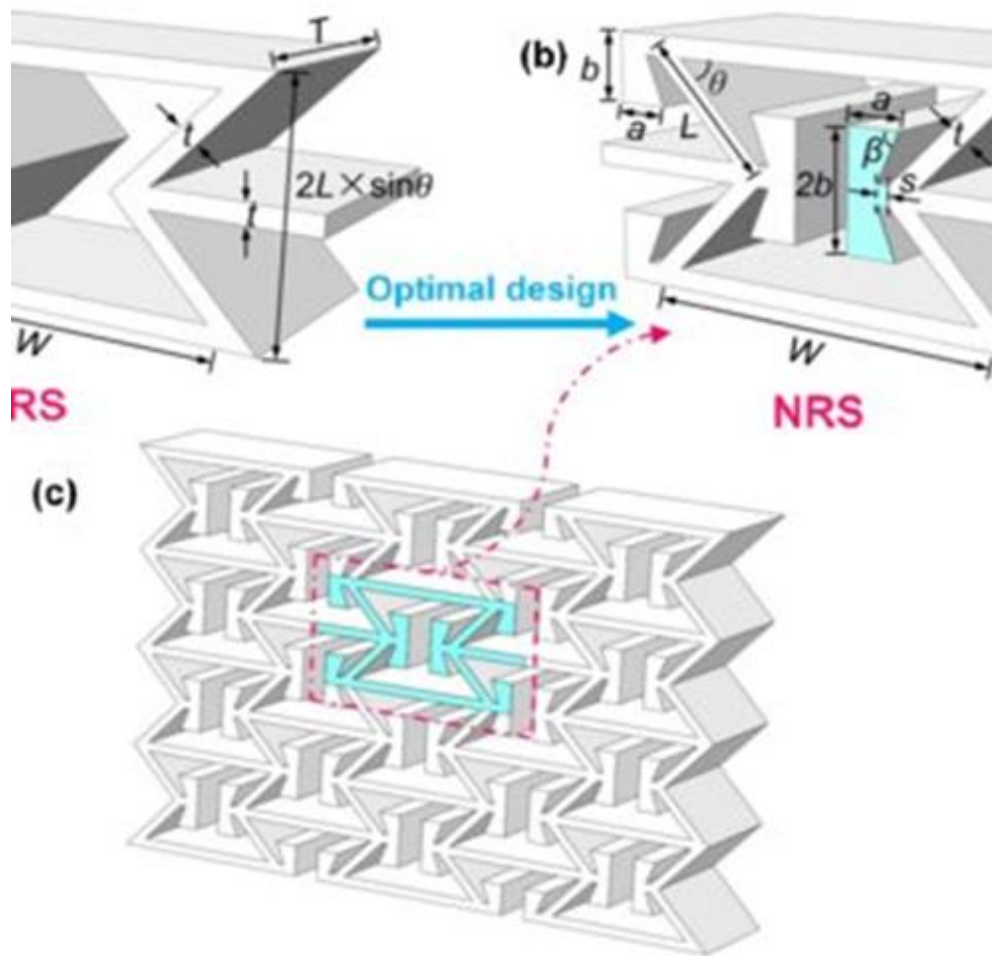
Στην αντιπλημμυρική προστασία, τα κτίρια μπορούν να εξοπλιστούν με αντλίες νερού, συστήματα αποστράγγισης και υδροαπωθητικά υλικά που αποτρέπουν την είσοδο νερού και την υποβάθμιση των δομικών στοιχείων. Για την διάσωση και πύξη της μετάδοσης αερίων ή ρύπων, τα υλικά που επιλέγονται πρέπει να διαθέτουν αντοχή στα χημικά και ικανότητα για να απορροφούν ή να φιλτράρουν επικίνδυνες

ουσίες. Η εκπαίδευση και η συνειδητοποίηση των εργαζομένων ως προς τη χρήση αυτών των συστημάτων είναι καθοριστικής σημασίας. Η ασφαλής διαχείριση και η εφαρμογή πρωτοκόλλων ασφαλείας είναι κρίσιμη για την πρόληψη ατυχημάτων και περιστατικών, μειώνοντας τους κινδύνους για τους ανθρώπους και τις εγκαταστάσεις (Huang et al., 2013).

Επιπλέον, οι τεχνολογίες παρακολούθησης και έλεγχου μπορούν να ενσωματωθούν σε σύγχρονα κτίρια. Αυτές περιλαμβάνουν μαθησιακά συστήματα που αντιδρούν σε περιβαλλοντικά ερεθίσματα. Η χρήση αισθητήρων που παρακολουθούν την ποιότητα του αέρα, τη θερμοκρασία, τη φωτεινότητα και άλλες παραμέτρους συνεισφέρει στην ασφάλεια και ευημερία των ενοίκων.

Τέλος, η ανάπτυξη έξυπνων κτιρίων (smart buildings) που ενσωματώνουν IoT (Internet of Things) και τεχνητή νοημοσύνη είναι ένα από τα πιο υποσχόμενα βήματα στη βελτίωση της ασφάλειας και της βιωσιμότητας των εγκαταστάσεων. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν την αυτοματοποίηση των διαδικασιών ασφαλείας και τη συνεχή παρακολούθηση, μειώνοντας την ανθρώπινη παρέμβαση και τον κίνδυνο λάθους. Συνολικά, η προστασία εγκαταστάσεων και ανθρώπων στα σύγχρονα κτίρια απαιτεί μια ολοκληρωμένη προσέγγιση που συνδυάζει υλικά υψηλής τεχνολογίας, εκπαιδευτικά προγράμματα, και καινοτόμες τεχνολογίες παρακολούθησης και διαχείρισης, προάγοντας έτσι την ασφάλεια και την αποτελεσματικότητα (Yildirim et al., 2023).

Στην εικόνα 13 που ακολουθεί φαίνεται η συγκριτική ανάλυση σε αυξητικά μοτίβα τρισδιάστατων εκτυπωτών. Οι οριζόντιες σειρές δείχνουν: Α) όψη χαλαρής κατάστασης από πάνω, Β) συμπιεσμένη κατάσταση από πάνω όψη, Γ) συμπιεσμένη κατάσταση-πλάγια όψη. Όλα τα δείγματα επιδεικνύουν αυξητική συμπεριφορά στο εσωτερικό τέντωμα, ενώ μόνο οι κηρήθρες Re-entrant και τα μεσοδομημένα σχέδια παρουσιάζουν αυξητική απόκριση και στην κάμψη εκτός επιπέδου.



Εικόνα 13 συγκριτική ανάλυση σε αυξητικά μοτίβα τρισδιάστατων εκτυπωτών

13

5.5 Αυξητικά υλικά και δυναμική καταπόνηση

Η αύξηση υλικών και η δυναμική καταπόνηση είναι δύο κρίσιμες έννοιες που σχετίζονται με τη μηχανική των υλικών και τη δομική ανάλυση, και είναι ιδιαίτερα σημαντικές στον τομέα της πολιτικής μηχανικής και των κατασκευών.

Τα αυξητικά υλικά αποτελούν ουσίες ή υλικά που χρησιμοποιούνται για την ενίσχυση της μηχανικής συμπεριφοράς των δομικών στοιχείων. Αυτά τα υλικά περιλαμβάνουν τα σύνθετα υλικά, τις ίνες, τις γεωσυνθετικές και άλλες τεχνολογίες που στοχεύουν στη βελτίωση των φυσικών και μηχανικών χαρακτηριστικών των παραδοσιακών υλικών, όπως το σκυρόδεμα, ο χάλυβας ή το ξύλο.

¹³ A novel auxetic metamaterial with enhanced mechanical properties and tunable auxeticity

Ανάμεσα στα πλεονεκτήματα των αυξητικών υλικών περιλαμβάνονται η υψηλότερη αντοχή σε θραύση και διάτρηση. Μέσω της χρήσης προηγμένων σύνθετων υλικών, είναι δυνατόν να επιτευχθεί μείωση του βάρους, χωρίς να θυσιαστεί η αντοχή. Πολλά αυξητικά υλικά έχουν ιδιότητες που τα καθιστούν πιο ανθεκτικά στη διάβρωση και σε περιβαλλοντικές μεταβολές (Zhou, 2024).

5.5.1 Δυναμική Καταπόνηση

Η δυναμική καταπόνηση αναφέρεται στις δυνάμεις και τις τάσεις που ασκούνται σε μια δομή ή υλικό λόγω δυναμικών φορτίων, όπως κραδασμούς ή άλλες μεταβαλλόμενες δυνάμεις. Αυτού του είδους η καταπόνηση είναι κρίσιμη κατά την ανάλυση της συμπεριφοράς των υλικών σε καταστάσεις που περιλαμβάνουν υλικά και κατασκευές πρέπει να σχεδιάζονται ώστε να αντέχουν σε σεισμούς, όπου οι δυναμικές δυνάμεις μπορούν να είναι πολύ ισχυρές. Επίσης οποιαδήποτε ξαφνική επιρροή ή κρούση μπορεί να έχει σημαντική επίδραση στη δομική ακεραιότητα. Με την πάροδο του χρόνου, οι δονήσεις και άλλες μορφές δυναμικής καταπόνησης μπορούν να προκαλέσουν φθορά στους συνδέσμους και τις ραφές των υλικών (Zhao et al., 2018).

Συνδυάζοντας την κατανόηση των αυξητικών υλικών με τη γνωριμία με τις δυναμικές καταπονήσεις, οι μηχανικοί και οι σχεδιαστές μπορούν να δημιουργήσουν πιο ασφαλείς και πιο ανθεκτικές κατασκευές. Από την πλευρά του σχεδιασμού, είναι απαραίτητο να λαμβάνονται υπόψη οι επιδράσεις των δυναμικών φορτίων στην επιλογή των υλικών και στη διατομή των κατασκευών. Συγκεκριμένα, η ανάλυση των δυναμικών φορτίων θα πρέπει να καθορίζει τις απαραίτητες ιδιότητες των αυξητικών υλικών που θα χρησιμοποιηθούν, διασφαλίζοντας ότι η δομή θα παραμείνει ασφαλής και λειτουργική κατά τη διάρκεια της ζωής της. Η καλή γνώση και η σωστή εφαρμογή των αυξητικών υλικών σε συνδυασμό με τις αρχές της δυναμικής καταπόνησης μπορούν να οδηγήσουν σε καινοτόμες λύσεις και πιο αποδοτικές κατασκευές.

Συνοψίζοντας, η εξερεύνηση και η εφαρμογή των αυξητικών υλικών σε συνδυασμό με την κατανόηση της δυναμικής καταπόνησης είναι θεμελιώδη στοιχεία στην υλοποίηση σύγχρονων και ασφαλών κατασκευών (Zhang et al., 2022, Tairidis

Georgios K., Ntintakis Ioannis, Drosopoulos Georgios A., Koutsianitis Panagiotis, Stavroulakis Georgios E., 2022).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 6^ο

6.1 Προηγμένες τεχνολογίες κατασκευής αυξητικών υλικών (3D εκτύπωση, νανοτεχνολογία)

Η τεχνολογία της 3D εκτύπωσης και η νανοτεχνολογία αποτελούν δύο από τις πιο επαναστατικές και καινοτόμες εξελίξεις στον τομέα της κατασκευής αυξητικών υλικών. Αυτές οι τεχνολογίες έχουν τη δυνατότητα να αλλάξουν ριζικά τον τρόπο με τον οποίο σχεδιάζουμε, κατασκευάζουμε και χρησιμοποιούμε υλικά σε διάφορους τομείς, όπως η βιομηχανία, η ιατρική, η αρχιτεκτονική και πολλά άλλα. Στην παρούσα ανάλυση, θα εξετάσουμε τη σημασία, τις εφαρμογές και τις προκλήσεις αυτών των τεχνολογιών (Rahman et al., 2023).

6.1.1 3D Εκτύπωση

Η 3D εκτύπωση, γνωστή επίσης ως τεχνολογία προσθήκης, είναι μια διαδικασία κατασκευής που δημιουργεί τρισδιάστατα αντικείμενα μοντελοποιώντας ξανά υλικά στρώμα προς στρώμα. Οι κύριες μέθοδοι 3D εκτύπωσης περιλαμβάνουν:

- Fused Deposition Modeling (FDM): Ανάγνωση του ABS ή PLA, θερμαίνονται και εκτυπώνονται διαδοχικά.
- Selective Laser Sintering (SLS): Χρήση λέιζερ για την τήξη και συγκόλληση λεπτών σκόνης.
- Stereolithography (SLA): Χρησιμοποιεί φως UV για την πήξη ρευστών φωτοπολυμερών.

Η 3D εκτύπωση εφαρμόζεται σε πολλούς τομείς όπως είναι η βιομηχανία, όπου υπάρχει γενική παραγωγή και πρωτοτυπία προϊόντων, από αθλητικά είδη μέχρι αυτοκινητοβιομηχανία. Αντίστοιχα στην ιατρική πλέον, έχουμε εκτύπωση

βιολογικών ιστών και οργάνων, κατασκευή προσωπικών προσθετικών. Ακόμα στην αρχιτεκτονική υπάρχει δημιουργία μοντέλων και ακριβών προσομοιώσεων (Agashe et al., 2020).

Ακολουθεί η εικόνα 14 όπου φαίνεται η μέθοδος οριγκάμι σε 3d εκτύπωση προκειμένου να έχουμε την προσθετική από αυξητικό υλικό.

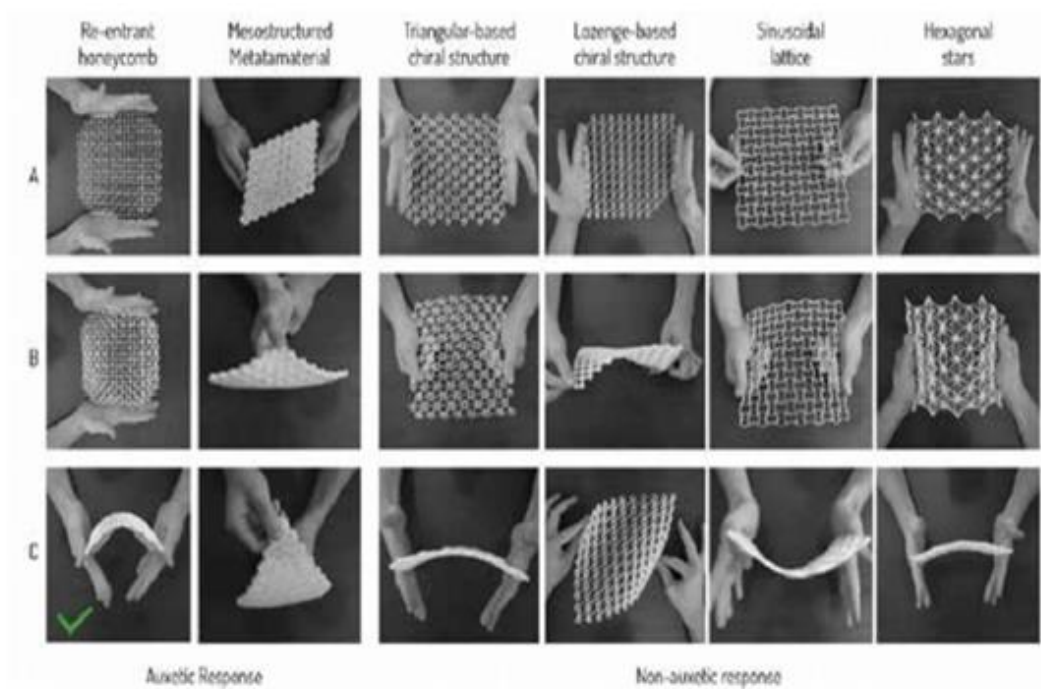


Figure 14

Εικόνα 14 μέθοδος οριγκάμι σε 3d εκτύπωση

14

¹⁴ https://www.researchgate.net/figure/Comparative-analysis-on-3d-printer-auxetic-patterns-Horizontal-rows-show-A-relaxed_fig1_322776708

6.1.2 Οφέλη από το 3D

Ποικίλλουν τα οφέλη όπως είναι το μειωμένο κόστος, αφού σε λιγότερο χρόνο και με λιγότερα υλικά μπορούν να κατασκευαστούν προϊόντα, σε σχέση με παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής. Άλλο πλεονέκτημα είναι η προσαρμογή, όπου υπάρχει η δυνατότητα παραγωγής εξατομικευμένων προϊόντων, αλλά και ο σύγχρονος σχεδιασμός. Εδώ υπάρχει η δυνατότητα δημιουργίας σύνθετων γεωμετριών που δεν είναι εφικτές με συμβατικές μεθόδους.

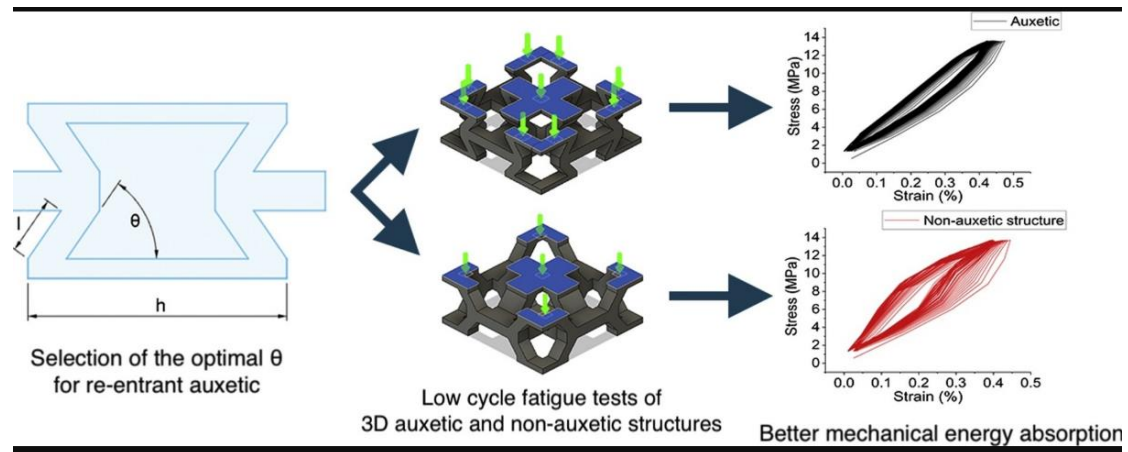
6.1.3 Προκλήσεις από το 3D

Οι προκλήσεις αφορούν την ποιότητα αλλά και την αντοχή και αυτό γιατί, τα εκτυπωμένα αντικείμενα μπορεί να μην έχουν τις ίδιες μηχανικές ιδιότητες με τα αντίστοιχα παραδοσιακά. Επιπροσθέτως υπάρχει ο περιορισμένος αριθμός συμβατών υλικών μπορεί να επηρεάσει τις δυνατότητες, καθώς και έλλειψη ενιαίων προτύπων για τη χρήση της 3D εκτύπωσης σε ευαίσθητους τομείς όπως η ιατρική (Mirzaai et al., 2022).

6.2 Νανοτεχνολογία

Η νανοτεχνολογία αναφέρεται στον σχεδιασμό και την κατασκευή υλικών σε νανοκλίμακα. Αυτή η τεχνολογία έχει τη δυνατότητα να τροποποιήσει τις φυσικές και χημικές ιδιότητες υλικών σε επίπεδο που δεν ήτα εφικτό προηγουμένως. Συγκεκριμένα, η νανοτεχνολογία περιλαμβάνει την ανάπτυξη νανοσφαιρών, νανοϊνών και άλλων νανοδομών.

Παρακάτω στην εικόνα 15 διακρίνεται το αυξητικό μεταϋλικό με αρνητική αναλογία Poisson που διαστέλλεται πλευρικά όταν τεντώνεται και συρρικνώνεται όταν συμπιέζεται.



Εικόνα 15 αυξητικό μεταλλικό με αρνητική αναλογία Poisson

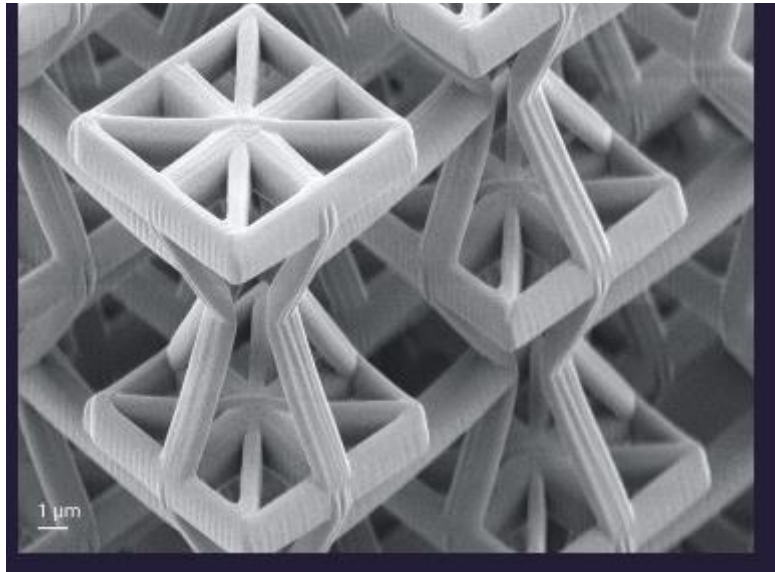
15

6.2.1 Εφαρμογές της νανοτεχνολογίας

- Υλικά: Δημιουργία ισχυρότερων και ελαφρύτερων υλικών για χρήση σε αεροδιαστημική, αυτοκινητοβιομηχανία και κτίρια.
- Ιατρική: Εφαρμογές στη στοχευμένη φαρμακολογία, όπου φάρμακα χορηγούνται σε συγκεκριμένα κύτταρα μέσω νανοφορέων.
- Ενέργεια: Χρήση νανοϋλικών για την ανάπτυξη πιο αποδοτικών ηλιακών στοιχείων και συσσωρευτών.
- Περιβάλλον: Ανάπτυξη νανοϋλικών για την καθαρή παραγωγή νερού και την απορρόφηση ρύπων (Sumanariun et al., 2024).

¹⁵ https://ars.els-cdn.com/content/image/1-s2.0-S2352492820307637-ga1_lrg.jpg

Ακολουθεί η εικόνα 16 όπου φαίνεται η απορρόφηση μεταλλικών στην περιοχή mid-IR που καλύπτεται από συνεχές μεταλλικό φιλμ για εξωτερική θερμική αγωγιμότητα.

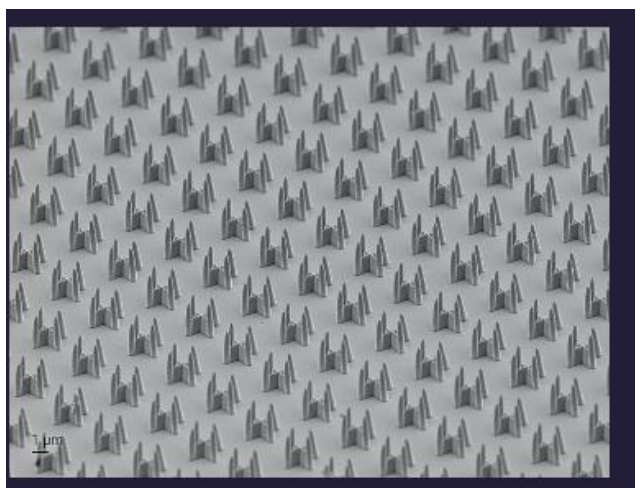


Εικόνα 16 απορρόφηση μεταλλικών στην περιοχή mid-IR

16

Στην εικόνα 17 φαίνεται κοίλη πολυμερή πυραμίδα με επίστρωση χρυσού με διάφραγμα υπομικρών για εστίαση πλασμονικού φωτός σε μήκος υποκύματος.

¹⁶ <https://www.nanoscribe.com/en/applications/3d-microfabrication-of-high-precision-structures-for-materials-engineering/>



Εικόνα 17 κοίλη πολυμερή πυραμίδα

17

6.2.2. Οφέλη της νανοτεχνολογίας

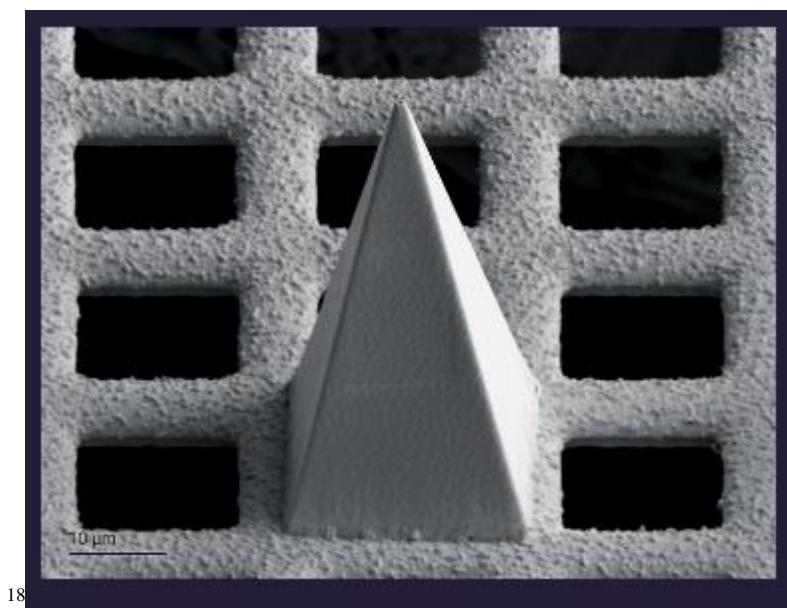
Τα νανοϋλικά συχνά επιδεικνύουν βελτιωμένες μηχανικές, ηλεκτρικές και θερμικές ιδιότητες. Επιτρέπεται την ανάπτυξη υλικών που μπορούν να αντιδρούν και να προσαρμόζονται στις συνθήκες του περιβάλλοντος. Η νανοτεχνολογία μπορεί να οδηγήσει σε πιο αποδοτική χρήση υλικών, μειώνοντας την ποσότητα πρώτων υλών που απαιτούνται (Xu et al., 2023).

6.2.3. Προκλήσεις

Υπάρχουν ανησυχίες σχετικά με την επίδραση των νανοϋλικών στην ανθρώπινη υγεία και το περιβάλλον. Η έλλειψη κανονιστικών πλαισίων μπορεί να περιορίσει την ανάπτυξη και εμπορική εκμετάλλευση της νανοτεχνολογίας. Ακόμα τα υψηλά κόστη ανάπτυξης και παραγωγής μπορεί να είναι εμπόδιο για μικρές επιχειρήσεις (Ahuja et al. 2015).

Ακολουθεί η εικόνα 18 όπου μας δείχνει μη συνεχή δομή κεραμικού κελύφους. Αυτή προέρχεται από ένα τρισδιάστατο εκτυπωμένο πρότυπο κατά τη διάρκεια της μονοαξονικής νανομηχανικής συμπίεσης.

¹⁷ <https://www.nanoscribe.com/en/applications/3d-microfabrication-of-high-precision-structures-for-materials-engineering/>



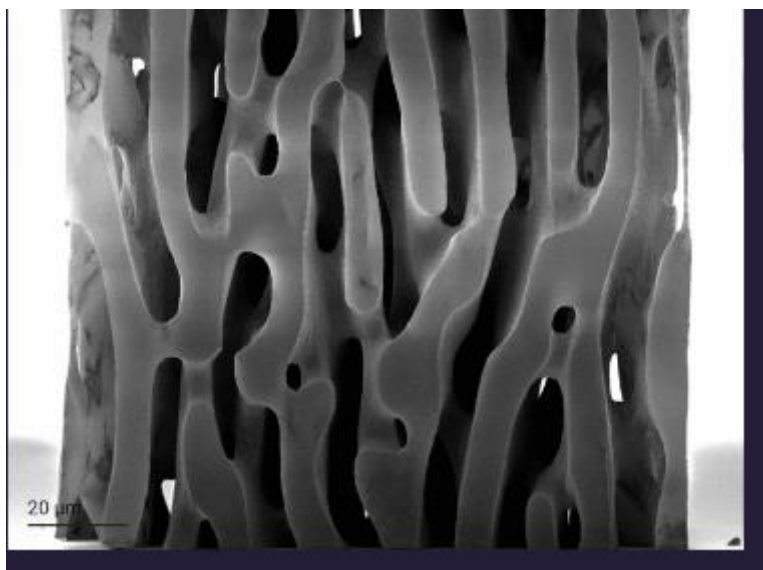
Εικόνα 18 μη συνεχή δομή κεραμικού κελύφους

6.2.3. ΣΥΝΔΥΑΣΜΟΣ ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΩΝ

Ο συνδυασμός της 3D εκτύπωσης και της νανοτεχνολογίας μπορεί να οδηγήσει σε νέες καινοτομίες. Με την εκτύπωση νανοϋλικών και τη χρήση νανοτεχνολογίας, είναι δυνατή η παραγωγή αντικειμένων που είναι ελαφρύτερα, πιο ανθεκτικά και με βελτιωμένες επιδόσεις. Οι κατασκευές σύνθετων εξαρτημάτων για αεροπορικές και αυτοκινητοβιομηχανίες ενσωματώνουν νανοϋλικά για αύξηση αντοχής και μείωση βάρους. Ακόμα στην ιατρική έχουμε ανάπτυξη εκτυπωμένων bio-ή βοηθητικών υλικών που περιέχουν νανοσωματίδια για στοχευμένη φαρμακολογία ή θεραπευτικές εφαρμογές. Τέλος η εφαρμογή νανοτεχνολογίας σε 3D εκτυπωμένα ηλιακά στοιχεία βοηθάει τη βελτίωση της δραστηριότητας και της απόδοσης τους.

Στη συνέχεια στην εικόνα 19 φαίνεται σε 3d εκτύπωση προσθετική αυξητικών υλικών.

¹⁸ <https://www.nanoscribe.com/en/applications/3d-microfabrication-of-high-precision-structures-for-materials-engineering/>



Εικόνα 19 3d εκτύπωση προσθετική αυξητικών υλικών.

19

6. 2.4 Οφέλη του Συνδυασμού

Η δυνατότητα δημιουργίας σύνθετων υλικών με προσαρμοσμένες ιδιότητες μπορεί να έχει σημαντικές επιπτώσεις για τη μηχανική, τις κατασκευές και άλλους τομείς. Συνδυάζοντας τη δυνατότητα προσαρμογής της 3D εκτύπωσης με τις βελτιωμένες ιδιότητες νανοϋλικών, η παραγωγή μπορεί να γίνει πιο αποδοτική και βιώσιμη. Ακόμα η δυνατότητα δημιουργίας νέων προϊόντων και εφαρμογών που συνδυάζουν τις δυνατότητες της κάθε τεχνολογίας είναι ατελείωτη (Ibok et al. 2022).

Η 3D εκτύπωση και η νανοτεχνολογία είναι δύο προηγμένες τεχνολογίες που έχουν τη δύναμη να επηρεάσουν ριζικά το τοπίο της κατασκευής αυξητικών υλικών. Καθώς οι εφαρμογές τους επεκτείνονται, είναι κρίσιμης σημασίας να αναγνωρίσουμε τα οφέλη και τις προκλήσεις που συνοδεύουν αυτές τις τεχνολογίες. Η συμμόρφωση με κανονιστικά πλαίσια, η εξασφάλιση της ασφαλούς χρήσης των νέων υλικών, καθώς και η ανάγκη εξεύρεσης βιώσιμων και προσιτών λύσεων είναι ζητήματα που πρέπει να αντιμετωπιστούν (Kujala et al., 2024).

¹⁹ <https://www.nanoscribe.com/en/applications/3d-microfabrication-of-high-precision-structures-for-materials-engineering/>

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 7^ο

7.Μελλοντικές Τάσεις και Προοπτικές

7.1 Νέες έρευνες και προοπτικές για την ανάπτυξη νέων αυξητικών υλικών.

Οι μελλοντικές τάσεις και προοπτικές στην ανάπτυξη νέων αυξητικών υλικών (additive manufacturing materials) υποδηλώνουν ότι ο τομέας αυτός θα συνεχίσει να αναπτύσσεται ραγδαία.

Οι βασικές περιοχές που αναμένονται να είναι καθοριστικές για την ανάπτυξη και τη καινοτομία στα υλικά περιλαμβάνουν τη βιοεκτύπωση και την ανάπτυξη βιολογικών υλικών που μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε ιατρικές εφαρμογές, όπως η εκτύπωση ιστών και οργάνων. Η σύνθεση υλικών που προσομοιώνει την ανθρώπινη βιολογία είναι μια περιοχή με μεγάλες προοπτικές (Huang et al., 2016).

Παράλληλα, η καινοτομία στη χημεία των πολυμερών θα μπορούσε να οδηγήσει στην ανάπτυξη νέων υλικών με βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες και θερμική αντοχή, καθώς και στη συνέχεια της εξέλιξης μεταλλικών υλικών, όπως τα υψηλής αντοχής κράματα (Yang et al., 2021, Li et al., 2016).

Επιπλέον, η δημιουργία υλικών με αυτόν το τρόπο, ηλεκτρική αγωγιμότητα, και αντίσταση σε εξαιρετικές περιβαλλοντικές συνθήκες είναι μια τάση που μπορεί να επαναστατήσει τη βιομηχανία. Σημαντική είναι και η κατηγορία των υλικών που βασίζονται σε σκόνη και μπορούν να χρησιμοποιηθούν σε διαδικασίες εκτύπωσης, παρέχοντας πιο αποτελεσματικά και οικονομικά υλικά, καθώς η ζήτηση για ελαφρύτερα και πιο ασφαλή προϊόντα αυξάνεται. Η έρευνα του Sazal, επικεντρώνεται επίσης στην ανακύκλωση και επαναχρησιμοποίηση υλικών, με υλικά που είναι εύκολα ανακυκλώσιμα ή κατασκευασμένα από ανανεώσιμες πηγές να κερδίζουν έδαφος λόγω της αυξανόμενης προσοχής στην βιωσιμότητα.

Η ανάπτυξη νέων υλικών για ειδικές εφαρμογές, όπως στην αεροδιαστημική, την αυτοκινητοβιομηχανία και την ιατρική, θα είναι καθοριστική. Τέτοια υλικά, ικανά να αντέχουν σε σκληρές συνθήκες, θα έχουν μεγάλη ζήτηση. Επιπλέον, με την ανάπτυξη του Internet of Things (IoT), αναμένονται νέα συστήματα παρακολούθησης και διαχείρισης υλικών που θα επιτρέπουν την παρακολούθηση της ποιότητας και της προέλευσης των υλικών σε πραγματικό χρόνο (Sazal, 2023).

Η χρήση της τεχνητής νοημοσύνης και της μηχανικής μάθησης στην ανάπτυξη και σχεδίαση νέων υλικών μπορεί να επιταχύνει τη διαδικασία ανακάλυψης και να βελτιώσει την πρόβλεψη των επιδόσεων τους. Επιπλέον, η έρευνα στον τομέα των συνδυαστικών υλικών αναμένεται να αυξηθεί, με τη συνένωση διαφορετικών τύπων υλικών για βελτιωμένες μηχανικές ιδιότητες. Η μικροκατασκευή θα γίνει πιο διαδεδομένη, προσφέροντας εφαρμογές σε τομείς όπως η ηλεκτρονική, η νανοτεχνολογία και η ιατρική (Murtaza et al., 2015).

Η αύξηση της παγκόσμιας προσοχής στη βιωσιμότητα αναδεικνύει τα υλικά από ανανεώσιμες πηγές ή με περιορισμένη χρήση επιβλαβών χημικών. Η ανακύκλωση αυξητικών υλικών και η αποτελεσματική επαναχρησιμοποίηση τους στην παραγωγική διαδικασία θα είναι κεντρικά στοιχεία των μελλοντικών ερευνών. Η πανδημία COVID-19 ανέδειξε τις αδυναμίες στις παραδοσιακές αλυσίδες εφοδιασμού, καθιστώντας αναγκαία τη χρήση προσθετικής παραγωγής για γρηγορότερη και πιο ευέλικτη παραγωγή κοντά στους τελικούς χρήστες. Τέλος, η ανάπτυξη αυξητικών υλικών απαιτεί εξειδικευμένες γνώσεις, γεγονός που καθιστά απαραίτητη την εκπαίδευση και κατάρτιση των επαγγελματιών στον τομέα της προσθετικής παραγωγής (Bobba et al., 2020).

7.2 Πιθανές μελλοντικές εφαρμογές και περιοχές έρευνας (π.χ. βιομιμητικά υλικά, έξυπνα υλικά).

Τα αυξητικά υλικά, έχουν πολλές πιθανές μελλοντικές εφαρμογές σε διάφορους τομείς. Ορισμένες από τις πιο ενδιαφέρουσες κατηγορίες εφαρμογών και περιοχές έρευνας περιλαμβάνουν τα βιομιμητικά υλικά, τα έξυπνα υλικά, τις ιατρικές

εφαρμογές, την αυτοκινητοβιομηχανία και την αεροδιαστημική, τα κατασκευαστικά υλικά, την ανακύκλωση υλικών και την τεχνολογία σημαντικού εξοπλισμού.

Στον τομέα των βιομημητικών υλικών, η έρευνα εστιάζει στην ανάπτυξη υλικών που μιμούνται τη φύση, όπως η δημιουργία επιφανειών αυτοκαθαρισμού ή υλικών που αναπαράγουν την αντοχή και ελαστικότητα φυσικών στοιχείων, όπως οστά και κελύφη. Αυτά τα σχέδια μπορούν να βελτιώσουν την ενεργειακή απόδοση σε κτίρια ή συσκευές. Ακολουθούν τα έξυπνα υλικά, τα οποία έχουν την ικανότητα να αντιδρούν σε περιβαλλοντικά ερεθίσματα, όπως θερμοκρασία και ηλεκτρικά πεδία, αλλάζοντας τις ιδιότητές τους ανάλογα με τις ανάγκες. Τέτοιες εξελίξεις οδηγούν στη δημιουργία έξυπνων δομών που προσαρμόζονται σε μεταβαλλόμενες συνθήκες.

Στον τομέα των ιατρικών εφαρμογών, η έρευνα του Salvo, περιλαμβάνει την παραγωγή βιολογικά ενεργών οργάνων και ιστών μέσω 3D εκτύπωσης για μεταμοσχεύσεις ή αποκατάσταση τραυμάτων, καθώς και εκτύπωση εμφυτευμάτων που προάγουν τη διαδικασία επούλωσης και την ανάπτυξη βιολογικών συσκευών.

Η αυτοκινητοβιομηχανία και η αεροδιαστημική αναζητούν λύσεις μέσω της δημιουργίας ελαφρών και ανθεκτικών εξαρτημάτων με πολυπλοκότερες γεωμετρίες, κάτι που δεν είναι εφικτό με παραδοσιακές μεθόδους παραγωγής, καθώς και τη χρήση έξυπνων υλικών για τη βελτίωση της ασφάλειας και της αποδοτικότητας των οχημάτων (Patel, 2024).

Στον τομέα των κατασκευαστικών υλικών, η έρευνα του Salvo, εστιάζει στην ανάπτυξη υλικών που βελτιώνουν την ενεργειακή απόδοση και την ανθεκτικότητα των κτιρίων, περιλαμβάνοντας τη δημιουργία «έξυπνων» δομικών υλικών που μπορούν να απορροφούν ή να απελευθερώνουν ενέργεια (Salvo, 2018).

Η ανακύκλωση υλικών αναδεικνύει την ανάγκη για υλικά που μπορούν να ανακυκλώνονται εύκολα ή να αναδιοργανώνονται, μειώνοντας τα απόβλητα και προωθώντας μια κυκλική οικονομία. Τέλος, η τεχνολογία σημαντικού εξοπλισμού επικεντρώνεται στη δημιουργία προσωρινών και μόνιμων εξαρτημάτων για τη βιομηχανία, τα οποία μπορούν να παραχθούν κατά ζήτηση, μειώνοντας το απόθεμα και το κόστος (Douglas et al., 2023).

Η έρευνα σε αυτές τις περιοχές είναι συνεχής και επερχόμενες τεχνολογίες, όπως η τεχνητή νοημοσύνη, η νανοτεχνολογία και η εξελιγμένη ρομποτική, αναμένεται να φέρουν επαναστάσεις στη χρήση και την ανάπτυξη των αυξητικών υλικών (Salvo, 2018).

7.3 Ο ρόλος

Τα αυξητικά υλικά, ή αλλιώς 3D εκτυπωμένα υλικά, παίζουν έναν σημαντικό ρόλο τόσο στη βιομηχανία όσο και στην ακαδημαϊκή έρευνα, καθώς προσφέρουν ευέλικτες λύσεις για την παραγωγή και την ανάπτυξη νέων προϊόντων και τεχνολογιών. Η 3D εκτύπωση και τα αυξητικά υλικά παίζουν καθοριστικό ρόλο τόσο στη βιομηχανία όσο και στην ακαδημαϊκή έρευνα, επηρεάζοντας πολλές πτυχές του σχεδιασμού και της παραγωγής.

Στη βιομηχανία, η 3D εκτύπωση διευκολύνει την ταχεία και οικονομική κατασκευή πρωτοτύπων, επιτρέποντας στις εταιρείες να δοκιμάζουν και να βελτιώνουν τα προϊόντα τους χωρίς τις ακριβές και χρονοβόρες διαδικασίες που απαιτούν οι παραδοσιακές μέθοδοι παραγωγής. Επιπλέον, η τεχνολογία αυτή ενισχύει την εξατομίκευση προϊόντων, προσφέροντας τη δυνατότητα δημιουργίας ειδικών λύσεων που πληρούν τις ακριβείς ανάγκες των τελικών χρηστών, όπως συμβαίνει στον τομέα της ιατρικής με τις ειδικές ορθοπεδικές συσκευές. Ένα άλλο πλεονέκτημα της 3D εκτύπωσης είναι η μείωση των αποβλήτων, καθώς η διαδικασία παραγωγής βασίζεται σε προσθετική τεχνολογία (additive manufacturing), αντί για αφαίρεση υλικού. Η ικανότητα των αυξητικών υλικών να δημιουργούν πολύπλοκες γεωμετρίες και δομές ανοίγει νέες δυνατότητες που δεν είναι εφικτές με παραδοσιακές μεθόδους. Τέλος, η 3D εκτύπωση συμβάλλει στην εξοικονόμηση κόστους και χρόνου, καθώς μειώνει τα έξοδα παραγωγής και επιταχύνει την είσοδο ενός προϊόντος στην αγορά (Bobba et al., 2020).

Στον τομέα της ακαδημαϊκής έρευνας, η 3D εκτύπωση προάγει τη δημιουργία νέων υλικών, καθώς οι ερευνητές διαρκώς αναπτύσσουν και αξιολογούν τις απαραίτητες ιδιότητες αυτών των υλικών για να καλύψουν τις ανάγκες διάφορων εφαρμογών. Επιπλέον, οι ακαδημαϊκοί αξιοποιούν την 3D εκτύπωση για τη διερεύνηση καινοτόμων τεχνολογιών και διαδικασιών που μπορεί να οδηγήσουν σε επαναστατικές προόδους. Η συνεργασία μεταξύ διαφορετικών επιστημονικών

κλάδων, όπως η μηχανική, η βιολογία και η επιστήμη των υλικών, ενισχύεται μέσω της χρήσης αυξητικών υλικών. Οι 3D εκτυπωτές, επίσης, καθίστανται όλο και πιο συνηθισμένα εργαλεία στα εκπαιδευτικά ιδρύματα, παρέχοντας στους φοιτητές πρακτική εμπειρία που σχετίζεται με τον σχεδιασμό και την κατασκευή. Τέλος, οι ερευνητές μελετούν πώς η 3D εκτύπωση μπορεί να υποστηρίξει βιώσιμες λύσεις, εστιάζοντας σε πρακτικές όπως η ανακύκλωση και η χρήση βιοαποικοδομήσιμων υλικών.

Συνολικά, η επίδραση των αυξητικών υλικών είναι σημαντική και αναπτύσσεται συνεχώς, με εφαρμογές που εκτείνονται σε πολλούς τομείς της βιομηχανίας και της έρευνας, ενισχύοντας την καινοτομία και την αποτελεσματικότητα (Wang et al., 2024).

ΚΕΦΑΛΑΙΟ 8^ο

8. Συμπεράσματα

8.1 Σύνοψη των βασικών ιδιοτήτων και δυνατοτήτων των αυξητικών υλικών.

Τα αυξητικά υλικά (ή κατά περίπτωση «αυξητικά συνθετικά υλικά») αναφέρονται σε μια κατηγορία που περιλαμβάνει υλικά και τεχνολογίες που χρησιμοποιούνται για την κατασκευή τρισδιάστατων αντικειμένων, συνήθως μέσω της διαδικασίας της τρισδιάστατης εκτύπωσης (3D printing). Ακολουθούν οι βασικές ιδιότητες και δυνατότητες αυτών των υλικών.

8.1.1 Βασικές Ιδιότητες

-Ταχύτητα Διαδικασίας

Η τρισδιάστατη εκτύπωση επιτρέπει την γρήγορη παραγωγή των αντικειμένων, συγκριτικά με τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής.

- Ευελιξία Σχεδίασης

Τα αυξητικά υλικά επιτρέπουν την κατασκευή πολύπλοκων γεωμετριών και σχεδίων που είναι δύσκολο ή αδύνατο να κατασκευαστούν με συμβατικές μεθόδους.

-Μειωμένο Απόβλητο Υλικού

Αντί να αφαιρούν υλικό (όπως στην κατεργασία), τα αυξητικά υλικά προσθέτουν υλικό, οδηγώντας σε λιγότερη απώλεια.

-Προσαρμοσμένο Σχεδιασμό

Η χρήση λογισμικού CAD επιτρέπει την εύκολη προσαρμογή και τροποποίηση των σχεδίων ανάλογα με τις ανάγκες του χρήστη.

-Διαφορετικά Υλικά

Υπάρχει μια ποικιλία υλικών που μπορεί να χρησιμοποιηθεί, όπως πλαστικά, μέταλλα, κεραμικά, βιοϋλικά και άλλα.

-Ανάγκη για Λιγότερο Χώρο:

Οι αυξητικές τεχνολογίες συχνά απαιτούν λιγότερο χώρο από τις παραδοσιακές μεθόδους κατασκευής (Olowu et al., 2024).

8.1.2 Δυνατότητες των αυξητικών υλικών

Οι δυνατότητες της σύγχρονης παραγωγής περιλαμβάνουν την προσαρμογή και κωδικοποίηση προϊόντων, καθώς και την ταχύτητα παραγωγής πρωτοτύπων. Η μαζική παραγωγή προσαρμοσμένων προϊόντων ή εξαρτημάτων για ειδικές εφαρμογές, όπως οι ιατρικές προσθετικές ή ατομικά σχεδιασμένα προϊόντα, καθιστά δυνατή την ικανοποίηση μοναδικών αναγκών και απαιτήσεων των χρηστών. Επιπλέον, η ικανότητα γρήγορης παραγωγής πρωτοτύπων για δοκιμή και επανασχεδίαση συμβάλλει στη μείωση του χρόνου και του κόστους ανάπτυξης προϊόντων, επιτρέποντας έτσι στις εταιρείες να προσαρμόζονται ταχύτερα στην αγορά και να βελτιώνουν την ποιότητα των τελικών προϊόντων τους.

Οι δυνατότητες των αυξητικών υλικών βρίσκουν εφαρμογή σε ποικιλία βιομηχανικών τομέων, όπως η αεροναυτική, η αυτοκινητοβιομηχανία, η αρχιτεκτονική και η ιατρική. Επιπλέον, η τεχνολογία αυτή προάγει τη βιωσιμότητα μέσω της δυνατότητας χρήσης ανακυκλωμένων ή βιοδομητικών υλικών, συμβάλλοντας με αυτόν τον τρόπο στην αειφορική κατασκευή. Σημαντική είναι επίσης η συνεχής εξέλιξη της τεχνολογίας, η οποία επιτρέπει τη δημιουργία νέων ειδών εφαρμογών και υλικών, όπως η εκτύπωση βιοϊδιωμάτων ή η κατασκευή λειτουργικών εξαρτημάτων επιτόπου, ανοίγοντας νέες προοπτικές για το μέλλον. Αυτές οι ιδιότητες και δυνατότητες κάνουν τα αυξητικά υλικά και τις σχετικές τεχνολογίες πρωτοπόρους στον τομέα της μηχανικής και της παραγωγής (Rakesh et al., 2021).

8.2 Προτάσεις για περαιτέρω έρευνα και ανάπτυξη.

Η έρευνα και ανάπτυξη των αυξητικών υλικών είναι ένα δυναμικό πεδίο που συνεχώς εξελίσσεται, και υπάρχουν πολλές κατευθύνσεις που μπορεί να ακολουθηθούν. Η βελτίωση υλικών και η ανάπτυξη περισσότερων βιοδιασπώμενων ή ανακυκλώσιμων αυξητικών υλικών αποτελούν κρίσιμες προτεραιότητες για τη μείωση του περιβαλλοντικού αντίκτυπου. Για την επίτευξη αυτών των στόχων, είναι απαραίτητη μια διεπιστημονική σύμπραξη, η οποία επιτρέπει τη συνεργασία με επιστήμονες από διάφορους τομείς, όπως η βιολογία, η χημεία και η τεχνολογία των υλικών. Μέσω αυτής της συνεργασίας, είναι εφικτό να δημιουργηθούν νέες σύνθετες ύλες με προηγμένες ιδιότητες που θα ενισχύσουν τη βιωσιμότητα.

Παράλληλα, η αξιοποίηση τεχνολογιών 3D εκτύπωσης ανοίγει νέες προοπτικές στην εξερεύνηση υλικών κατάλληλων για εκτύπωση, τα οποία μπορούν να προσφέρουν καλύτερη μηχανική αντοχή και ευελιξία. Αυτές οι τεχνολογίες επιτρέπουν, επίσης, την ταχύτητα παραγωγής, γεγονός που επιτείνει την ανάγκη για καινοτόμες και οικολογικά φιλικές λύσεις στην κατασκευή. Συνδυάζοντας τις γνώσεις από διάφορους τομείς με τις σύγχρονες τεχνολογίες, μπορούμε να προχωρήσουμε σε πιο βιώσιμες πρακτικές και προϊόντα που να σέβονται το περιβάλλον (Agashe et al., 2020).

Η ανάπτυξη και αξιολόγηση αυξητικών υλικών στις βιοϊατρικές εφαρμογές είναι κρίσιμη για την πρόοδο της τεχνολογίας και της επιστήμης. Η διεξαγωγή κλινικών δοκιμών για την αξιολόγηση της αποτελεσματικότητας και της ασφάλειας αυτών των υλικών, ειδικά στον τομέα της αναγέννησης ιστών, είναι απαραίτητη ώστε να διασφαλιστεί η επιτυχία των εφαρμογών τους.

Παράλληλα, η ανάπτυξη προσαρμόσιμων υλικών που μπορούν να βελτιστοποιούνται ανάλογα με τις συγκεκριμένες ανάγκες των έργων υποδομής είναι επίσης σημαντική. Αυτά τα υλικά θα πρέπει να λαμβάνουν υπόψη το περιβάλλον και τις κλιματικές συνθήκες, ώστε να διασφαλίζεται η αειφορία και η ανθεκτικότητά τους (Bobba et al., 2020).

Για την ακρίβεια στην αξιολόγηση, απαιτείται η σύνθεση αναλύσεων απόδοσης που θα επιτρέπουν την ακριβή εκτίμηση των φυσικών και χημικών ιδιοτήτων των αυξητικών υλικών υπό διάφορες συνθήκες και χρήσεις.

Τέλος, η διαχείριση και ανάκτηση υλικών είναι επίσης θεμελιώδους σημασίας, καθώς η έρευνα σε αυτήν την κατεύθυνση μπορεί να οδηγήσει σε καλύτερες πρακτικές σε περιπτώσεις βλάβης ή αποτυχίας, μειώνοντας έτσι τον σπατάλη και προωθώντας τη βιωσιμότητα. Μέσω αυτών των κατευθύνσεων, μπορούμε να προχωρήσουμε σε καινοτόμες λύσεις που να συνδυάζουν την ασφάλεια, την αποτελεσματικότητα και την αειφορία.

Η ενοποίηση της τεχνητής νοημοσύνης στις διαδικασίες παραγωγής των αυξητικών υλικών αποτελεί ένα κρίσιμο βήμα για τη βελτιστοποίηση των διαδικασιών αυτών, καθώς οι αλγόριθμοι τεχνητής νοημοσύνης μπορούν να αναλύσουν δεδομένα που σχετίζονται με τις επιδόσεις των υλικών, προσφέροντας έτσι σημαντικές πληροφορίες για τη βελτίωση της ποιότητας και της αποδοτικότητας της παραγωγής (Α.Μ., 2014).

Ταυτόχρονα, είναι αναγκαία η ανάπτυξη δημόσιας συνείδησης γύρω από τα οφέλη των αυξητικών υλικών. Η εκπαίδευση και η ευαισθητοποίηση του κοινού σχετικά με τη σημασία αυτών των υλικών σε διάφορους τομείς είναι επιτακτική για τη διευκόλυνση της αποδοχής τους και της υποστήριξής τους από την κοινωνία.

Επιπλέον, η έρευνα πρέπει να εστιάσει στην υιοθέτηση πράσινων πρακτικών βιομηχανίας, με στόχο την ανάπτυξη πιο φιλικών προς το περιβάλλον διαδικασιών παραγωγής. Αυτό θα επιτρέψει τη μείωση της ενεργειακής κατανάλωσης και των εκπομπών ρύπων, προωθώντας έτσι τη βιωσιμότητα και τη συμμόρφωση με περιβαλλοντικά πρότυπα. Συνδυάζοντας αυτές τις στρατηγικές, μπορούμε να δημιουργήσουμε έναν τομέα παραγωγής αυξητικών υλικών που να είναι καινοτόμος, κοινωνικά υπεύθυνος και οικολογικά βιώσιμος.

Η συνέχιση αυτής της προσέγγισης θα απαιτήσει επίσης τη συνεργασία μεταξύ του ακαδημαϊκού και του βιομηχανικού τομέα, με σκοπό την ανταλλαγή γνώσεων και την προώθηση της καινοτομίας. Η ανάπτυξη δικτύων συνεργασίας μπορεί να συμβάλει στην καλύτερη κατανόηση των αναγκών της αγοράς και στη δημιουργία στρατηγικών

που θα μεγιστοποιούν την απόδοση και την αποτελεσματικότητα των αυξητικών υλικών (Kujala et al., 2024).

Πέρα από την τεχνολογία και τις διαδικασίες παραγωγής, είναι σημαντικό να ενσωματωθούν βιώσιμες πρακτικές σε όλες τις φάσεις του κύκλου ζωής των υλικών, από την αρχική έρευνα και ανάπτυξη έως την απόρριψη και ανακύκλωση. Η έρευνα για την ανακύκλωση αυξητικών υλικών και η επαναχρησιμοποίηση τους θα μπορέσει να προσφέρει επιπλέον οφέλη από τους φυσικούς πόρους, μειώνοντας ταυτόχρονα τη δημιουργία αποβλήτων.

Πέρα από τη βιωσιμότητα, η επένδυση σε καινοτόμες λύσεις μπορεί να ενισχύσει το διεθνή ανταγωνισμό της βιομηχανίας, ανοίγοντας νέες αγορές και ευκαιρίες για ανάπτυξη. Η τεχνολογία, η εκπαίδευση και η περιβαλλοντική ευαισθησία θα πρέπει να συνδυάζονται ώστε να διασφαλίσουμε την υποστήριξη και τη συμμετοχή όλων των εμπλεκόμενων φορέων (Rosa Silva et al., 2021).

Στην κατεύθυνση αυτή, θα ήταν σημαντικό να προγραμματιστούν συνέδρια, σεμινάρια και workshops που θα επικεντρώνονται σε πρακτικές και παραδείγματα επιτυχούς εφαρμογής αυξητικών υλικών και πράσινων πρακτικών. Η ενίσχυση του διαλόγου και της κοινής γνώσης θα επιτρέψει την καλύτερη προσαρμογή των βιομηχανιών στις σύγχρονες προκλήσεις και τις απαιτήσεις του περιβάλλοντος, με τελικό στόχο τη δημιουργία πιο βιώσιμων, αποδοτικών και καινοτόμων προϊόντων για το μέλλον.

Έτσι, η συνολική προσπάθεια για την προώθηση των αυξητικών υλικών θα εμπλουτίσει τη βιομηχανία και θα συμβάλει στη δημιουργία ενός πιο οικολογικού και βιώσιμου μέλλοντος. Αυτές οι προτάσεις μπορούν να αποτελέσουν σημεία εκκίνησης για τη διαμόρφωση στρατηγικών και ερευνητικών προγραμμάτων που θα επιφέρουν βελτίωση και καινοτομία στον τομέα των αυξητικών υλικών (Wang et al., 2023).

BIBΛΙΟΓΡΑΦΙΑ -REFERENCES

Ahuja B., Karg M. C. H., Schmidt M., (2015), “Additive manufacturing in production: challenges and opportunities”, March 2015 Proceedings of SPIE - The International Society for Optical Engineering

Agashe K., Sachdeva A., Chavan S., “3D Printing And Advance Material Technology”, January 2020 International Journal of Grid and Distributed Computing 13(2):1899-1936

Alaghmandfard R., Aghayar Y., Ester D., Mohammadi M.M., (2024), “Sintering process optimization of the additively manufactured pure copper parts through the metal paste deposited process”, October 2024 Journal of Alloys and Compounds 1009(2):176932

A.M. ,(2014), “ADDITIVE MANUFACTURING, strategic research agenda”

“ADDITIVE MANUFACTURING FEASIBILITY STUDY & TECHNOLOGY DEMONSTRATION EDA AM State of the Art & Strategic Report”

Bobba, S., Carrara, S., Huisman, J. (co-lead), Mathieux, F., Pavel, C. (co-lead). , (2020), “Critical Raw Materials for Strategic Technologies and Sectors in the EU A Foresight Study”, European Commission

Chen J., Li E., Liu W., Mao Y., Hou S., (2023), Composites Science and Technology, Volume 239, 7 July 2023, 110047, “Sustainable composites with ultrahigh energy absorption from beverage cans and polyurethane foam”

Chinis, D., & Stavroulakis, G. E. (2023). Band gap analysis for materials with cookie-shaped auxetic microstructures, using finite elements. Applied Sciences, 13(5), 2774

Dintcheva et al., (2020), “Natural Compounds as Sustainable Additives for Biopolymers”

Douglas S. T., Gilbert W. S., Costs and Cost Effectiveness of Additive Manufacturing. A Literature Review and Discussion. NIST Special Publication 1176

Eidini M., Paulino G.H., (2015), “Origami-inspired Deployable Mechanical Metamaterials”

Egon A., Bell C., Shad R., (2024), “Article Not peer-reviewed version Innovations in Polymer Additive Manufacturing: Research, Advancements in Polymer Materials for Additive Manufacturing”, August

Goh G. D., Wong K. K., Tan N., Hang Li Seet & Mui Ling Sharon Nai, (2023), “Large-format additive manufacturing of polymers: a review of fabrication processes, materials, and design”, Article: e2336160 | Received 27 Sep 2023, Accepted 21 Mar 2024, Published online: 04 Apr 2024 Virtual and Physical Prototyping Volume 19, 2024 - Issue 1

Huang, H. H., B. L. Wong, and Y. C. Chou. Design and properties of 3D-printed chiral auxetic metamaterials by reconfigurable connections. *Physica Status Solidi. B, Basic Research*, Vol. 253, No. 8, 2016

Huang Y., Leu M. C., (2013), “Frontiers of Additive Manufacturing Research and Education An NSF Additive Manufacturing”, Workshop Report July 11 and 12, March 2014

Ibok E.E., Ntuen D. D., (2022), “The Impacts of Raw Material Research and Development Council on the Utilization of Industrial Raw Materials for Manufacturing in Nig”, *AKSU Journal of Administration and Corporate Governance (AKSUJACOG)* Volume 2 Number 1, April, 2022

Fan Y., (2024), “Mechanical Performance of Advanced Composite Materials and Structures”

Koutsianitis, P., Tairidis, G. K., Kougkoulos, A., & Stavroulakis, G. E. (2021). Parametric investigation of band gap effects in chiral microstructures. *JSSCM*, 15, 63-78.,

KUMAR R., KUMAR M., CHOCHAN S. J., (2020), “Material-specific properties and applications of additive manufacturing techniques: a comprehensive review”

Kujala J., Brady T., Jaakko P., (2024), “Challenges of Cost Management in Complex Projects, Canadian Center of Science and Education”, International Journal of Business and Management, December 20249(11):48-48

Laskowska D., Mitura K., Ziółkowska E., Bałasz B. Additive manufacturing methods, materials and medical applications – the review. Journal of Mechanical and Energy Engineering, Vol. 5(45), No. 1, 2021, pp. 15-30.

Lacelle T., Sampson K.L., Sarvestani H.Y., Rahimizadeh A., Robles J.B., Mirkhalaf M., Rafiee M., Jakubinek M.B., Paquet C., Ashrafi B., (2023), “Additive manufacturing of polymer derived ceramics: Materials, methods, and applications”

Li, Yan; Zeng, Changchun (2016). “Room-Temperature, Near-Instantaneous Fabrication of Auxetic Materials with Constant Poisson's Ratio over Large Deformation”. Advanced Materials 28 (14)

Marturano V., Marotta A., Agustin-Salazar S., Ambrogi V., (2023), “Recent Advances in Bio-based Functional Additives for Polymers”, September 2023 Progress in Materials Science 139(6):101186

Malisz K., Świeczko-Żurek B., (n.d) VASCULAR STENTS – MATERIALS AND MANUFACTURING TECHNOLOGIES

Mirzaali M.J., Moosabeiki V., Rajaai M. S., Zhou J., Amir A Zadpoor A.A., (2022), “Additive Manufacturing of Biomaterials—Design Principles and Their Implementation”

Mourtzis D., (2016), “Challenges and future perspectives for the life cycle of manufacturing networks in the mass customisation era”, December 2016 Logistics Research 9(1)

Munib Z., Najabat M., Ansari U., Mir M., , (2015), “Auxetic Polymeric Bone Stent for Tubular Fractures: Design, Fabrication and Structural Analysis”, Dec

Naboni R., Mirante L., (2016), “Computational Design and Simulation of Bending-Active Auxetic Structures”, Nov 2016

Rahman M., Islam K., Dip T., Chowdhury M., (2023), “A review on nanomaterial-based additive manufacturing: dynamics in properties, prospects, and challenges”, Progress in Additive Manufacturing 9(4)

Rajendran R., (2023),”Investigation of melanoma circulating tumour cell clusters using biomaterial surfaces”.

Rakesh , Kumar M., Chohan J., “Material-specific properties and applications of additive manufacturing techniques: a comprehensive review”, September 2021 Bulletin of Materials Science 44(3)

Royal Academy of Engineering, (2013), “Additive manufacturing: opportunities and constraints. A summary of a roundtable forum held on 23 May 2013

Rosa Silva S., Mayuet P F., Parada L. ,“An overview of the Additive Manufacturing capabilities in the development of rehabilitation products with customized elastic properties”, October 2021 IOP Conference Series Materials Science and Engineering 1193(1):012122

Sazal S. H., (2023), “Millions of New Materials Discovered with Deep Learning”, December

Shanthar R., Chen K., Abeykoon C., (2023), Powder-Based Additive Manufacturing: A Critical Review of Materials, Methods, Opportunities, and Challenges , Volume 25, Issue 19

Shuaibu S.A., Deng J., Xu C., Ade-Oke V., (2024) “Advancing auxetic materials: Emerging development and innovative applications De Gruyter” Reviews on Advanced Materials Science

Smith T., Hassen A.A., Lind R., Lindahl J., Chesser P., Roschli A., Kumar V., Kishore V., Brian Post B., Failla J., Duty C., Love L., Kunc V., (2018), “DUAL MATERIAL SYSTEM FOR POLYMER LARGE SCALE ADDITIVE MANUFACTURING”

Subramani R., Mustafa M. A., Ghadir G. K., Al-Tmimi H.M., Alani Z. K., Rusho M. A., Rajeswari N., Haridas D., Rajan A. J., Kumar A.P., (2024), “Advancements in 3D

printing materials: A comparative analysis of performance and applications”, Applied Chemical Engineering (2024) Volume 7 Issue 2, Research article

Staszczuk A., Sawicki J., (2020), “Comparison of mechanical behaviour of microstructures of 2024 aluminium alloy containing precipitates of different morphologies”

Zhang K., Gao Q., Jiang J., Chan M., Zhai X., Jin L., Zhang J., Li J., Liao W., (2024),”Composites Science and Technology, Volume 249, 12 April 2024, 110475,High energy dissipation and self-healing auxetic foam by integrating shear thickening gel”

Zhang, X. G., W. Jiang, Y. Zhang, D. Han, C. Luo, X. Y. Zhang, et al. Bending performance of 3D re-entrant and hexagonal metamaterials. Thin-Walled Structures, Vol. 188, 2023, id. 110829.10.1016/j.tws.2023.110829Search in Google Scholar

Zhang, W., Z. Li, J. Wang, F. Scarpa, and X. Wang, (2022), “ Mechanics of novel asymmetrical re-entrant metamaterials and metastructures”, Composite Structures, Vol. 291, 2022

Zhao, X., Q. Gao, L. Wang, Q. Yu, and Z. D. Ma.(2018), “Dynamic crushing of double-arrowed auxetic structure under impact loading”. Materials & Design, Vol. 160, 2018

Zhou X., Zhou, Parida K., Chen J., Xiong J.,Zhou Z., Jiang F., Xin Y., Magdassi S., Lee P. S., (2023), “3D Printed Auxetic Structure-Assisted Piezoelectric Energy Harvesting and Sensing”

Veeman D.,Mahesh V. S., Madabushi S.,(2022), “Advancement in Nanocomposites for Explosive Sensing”, April 2022 In book: Nanocomposite Materials for Sensors

Zhou, (2024), “ Special Issue Editorial: Advanced Materials for Additive Manufacturing - Advanced Materials”

Xu R.,Cheng Z., Jiang P., (2023), “Fundamentals and recent progress of additive manufacturing-assisted porous materials on transpiration cooling “,July 2023Journal of the Global Power and Propulsion Society

Zhou, G., Z. D. Ma, G. Li, A. Cheng, L. Duan, and W. Zhao, (2016), “Design optimization of a novel NPR crash box based on multi-objective genetic algorithm. Structural and Multidisciplinary Optimization”, Vol. 54, No. 3

(2019), U.S. Department of energy/office of technology transitions, “Spotlight Additive Manufacturing, Building the Future”, Updated July

Wang L., JiangORCID J., Icon, Dong Y., Ghita O. , Zhu Y., &Voicu Ion Sucala, (2024)“Machine learning enabled 3D printing parameter settings for desired mechanical properties”, Virtual and Physical Prototyping ,Volume 19, 2024 - Issue 1, Research Article Article: e2425825 | Received 29 Jul 2024, Accepted 28 Oct 2024, Published online: 14 Nov 2024

Verma, Prateek; He, Chaobin; Griffin, Anselm C. (23 August 2020). “Implications for Auxetic Response in Liquid Crystalline Polymers: X-Ray Scattering and Space-Filling Molecular Modeling”. *physica status solidi*

Dilberoglu U. M., Gharehpapagh B., Yaman U., Dolen M.,(2017), “The Role of Additive Manufacturing in the Era of Industry 4.0”, December 2017Procedia Manufacturing

Salvo S. D., (2018), “Advances in Research for Biomimetic Materials,” August 2018Advanced Materials Research

Yildirim M., Candan Z., (2023), “Smart materials: The next generation in science and engineering”, October 2023Materials Today Proceedings

Wang C., Guo J., Cao L., Zhang Y., Li C., Ma Z., (2024), “Mechanical behavior and fiber reinforcing mechanism of high-toughness recycled aggregate concrete under high strain-rate impact loads”, Construction and Building Materials, Volume 437, 26 July 2024, 136960

Yang B., Hongwu S., Wang S., Chen S. S. H. Zhang, (2021), “Tension-compression mechanical behavior and corresponding microstructure evolution of cast A356-T6 aluminum alloy”, June 2021Materials Science and Engineering A 821(1–4):141613

Olowu B.,Adefuye A.O,M., Olowu S. G., (2024), “Comparative study of foundry patterns created using conventional methods and additive manufacturing”,August

2024World Journal of Advanced Engineering Technology and Sciences 12(2):903-913

Murtaza N., Ansari U., Mir, M., Minhas M. A., Shahid, W., (2015),“Auxetic Coronary Stent Endoprosthesis: Fabrication and Structural Analysis - Faisal Amin”,

Patel K. V., (2024), Innovations in Lightweight Materials for Automotive Engineering”, July, Journal of Electrical Systems 20(10s):2121-2133

Prasad S., (2018), “The Energy Absorption Capability of Composite Materials and Structures: Influence of Impact Loading”, June 2018Journal of Modern Mechanical Engineering and Technology 5

Peron M., Agnusdei L., Miglietta P. P., Agnusdei P. G., Finco S., Prete A. D.,(2024), “Additive vs conventional manufacturing for producing complex systems: A decision support system and the impact of electricity prices and raw materials availability”, Computers & Industrial Engineering, Volume 194, August 2024, 110406

(Amza et al 2024)

Ravanbod S., Montazeri A., (2024), “A Novel Auxetic Stator Winding to Improve the Performance of Permanent Magnet Synchronous Electric Motors”, Apr (εικόνα 1, αυτοκινητοβιομηχανία)

Sumanariu C.A., Amza G.C., Florin B., Vasile I. M., Nicoară I. A., (2024), “Comparative Analysis of Mechanical Properties: Conventional vs. Additive Manufacturing for Stainless Steel 316L”, September 2024Materials 17(19):4808

Shuaibu A.S., Deng J., Xu C., Ade-Oke V., Aliyu A., Momoh D., (2024), “Advancing auxetic materials: Emerging development and innovative applications, De Gruyter Reviews on Advanced Materials Science”

Li L., Tirado A, I. C. Nlebedim, Rios O., Post B., Kunc V., R. R. Lowden, Lara-Curzio E., Fredette R., Ormerod J., Thomas A. Lograsso & M., Paranthaman P., (2016),“Big Area Additive Manufacturing of High Performance Bonded NdFeB Magnets”, Scientific Reports volume 6, Article number: 36212 (2016)

Stavroulakis, G. E. (2005)., “Auxetic behaviour: appearance and engineering applications”, *Physica status solidi (b)*, 242(3), 710-720.

Tairidis Georgios K., Ntintakis Ioannis, Drosopoulos Georgios A., Koutsianitis Panagiotis, Stavroulakis Georgios E., (2022), ,“Auxetic metamaterials subjected to dynamic loadings. Theoretical and Applied Mechanics”, 2022, Vol. 49, Issue 1, pp. 14).

Zavodna L.S.,Trejtnarová L., Bata T., (2023),“ADDITIVE MANUFACTURING IN THE FOOTWEAR INDUSTRY”,May 2023, Conference: Conference Competition 2023At: Czech Republic

Vuong M., (2023), “Material Matters: 3D-Printed Sneakers”

Verboeket V., Krikke H.R., Salmi M., “Implementing Additive Manufacturing in Orthopedic Shoe Supply Chains-Cost and Lead Time Comparison”,May 2024Logistics 8(2):49

Zhai Y., Zhang H., Wang J.,Dewei Zhao D.,(2023),“Research progress of metal-based additive manufacturing in medical implants” From the journal REVIEWS ON ADVANCED MATERIALS SCIENCE

Yang B., Hongwu S., Wang S., Chen S. S. H. Zhang, (2021), “Tension-compression mechanical behavior and corresponding microstructure evolution of cast A356-T6 aluminum alloy”, June 2021Materials Science and Engineering A 821(1–4):141613

Zhao J., Lu X.,Liu J., Bao C., Kang G., Zaiser M., Zhang X., (2020), “Constitutive modeling of the tension-compression behavior of gradient structured materials”, February

“Helping Fractures Heal (Orthobiologics)”

Subramanyam B., et al. (2018), OP Conference Series: Materials Science and Engineering“Comparative Analysis of Additive Manufacturing over Conventional Manufacturing”IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng. 455 012102

Wang H. Z., (2023) , “A Survey of Factors and Life Cycle Assessment in Selection of Green Construction Materials”, ISSN: 2959-832X Journal of Computational Intelligence in Materials Science 1

LINKS

<https://search.app/bEzHs82TrTwW5C1k8>

https://www.researchgate.net/publication/349863650_3D_Printing_And_Advance_Material_Technology

<https://search.app/4vSaSnEzcGzevNku9>

<https://www.rm-platform.com/linkdoc/AM%20SRA%20-%20February%202014.pdf>

https://eda.europa.eu/docs/default-source/projects/eda-am-study-and-strategic-report_v6.pdf

<https://www.preprints.org/manuscript/202408.0061/v1/download>

<https://www.ias.ac.in/public/Volumes/boms/044/00/0181.pdf>

<https://nvlpubs.nist.gov/nistpubs/specialpublications/nist.sp.1176.pdf>

<https://yadda.icm.edu.pl/baztech/element/bwmeta1.element.baztech-822378e2-ded7-44a0-bd86-18aab6874cb4/c/JMEE2021.5.1.Laskowska.pdf>

<https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/adem.202300375>

https://www.energy.gov/sites/prod/files/2019/07/f64/2019-OTT-Additive-Manufacturing-Spotlight_0.pdf

<https://nsfam.mae.ufl.edu/2013nsfamworkshopreport.pdf>

https://raeng.org.uk/media/ak3htcyo/additive_manufacturing.pdf

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17452759.2024.2336160>

<https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/17452759.2024.2425825>

<https://ace.as-pub.com/index.php/ACE/article/download/3867/3119/17901>

https://www.researchgate.net/publication/319894432_The_Role_of_Additive_Manufacturing_in_the_Era_of_Industry_40

https://www.researchgate.net/publication/326900364_Advances_in_Research_for_Biomimetic_Materials

https://www.researchgate.net/publication/374954295_Smart_materials_The_next_generation_in_science_and_engineering

https://www.researchgate.net/publication/301366969_Additive_manufacturing_in_production_challenges_and_opportunities

[Challenges and future perspectives for the life cycle of manufacturing networks in the mass customisation era](https://www.researchgate.net/publication/289497248)

[Challenges of Cost Management in Complex Projects](https://www.researchgate.net/publication/287400855)

[the-impacts-of-raw-material-research-and-development-council-on-the-utilization-of-industrial-raw-materials-for-manufacturing-in-nigeria/aksujacog_02_01_10.pdf](https://aksujacog.org.ng/articles/22/04/the-impacts-of-raw-material-research-and-development-council-on-the-utilization-of-industrial-raw-materials-for-manufacturing-in-nigeria/aksujacog_02_01_10.pdf)

[CRMs_for_Strategic_Technologies_and_Sectors_in_the_EU_2020.pdf](https://rmis.jrc.ec.europa.eu/uploads/CRMs_for_Strategic_Technologies_and_Sectors_in_the_EU_2020.pdf)

[Millions of New Materials Discovered with Deep Learning](https://www.researchgate.net/publication/377729391)

[abs/pii/S0950061824021020](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0950061824021020)

[Tension-compression mechanical behavior and corresponding microstructure evolution of cast A356-T6 aluminum alloy](https://www.researchgate.net/publication/352669276)

[Constitutive modeling of the tension-compression behavior of gradient structured materials](https://www.researchgate.net/publication/339164172)

[abs/pii/S0266353823001409](https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0266353823001409)

[The Energy Absorption Capability of Composite Materials and Structures Influence of Impact Loading](https://www.researchgate.net/publication/326155444)

[10.1088/1757-899X/455/1/012102/pdf](https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/455/1/012102/pdf)

[Comparative study of foundry patterns created using conventional methods and additive manufacturing](https://www.researchgate.net/publication/383679911)

[Practical-applications-of-auxetic-structures-in-the-automotive-engineering-field_fig1_378814299](https://www.researchgate.net/figure/Practical-applications-of-auxetic-structures-in-the-automotive-engineering-field_fig1_378814299)

[doi/full/10.1080/03602559.2015.1021481](https://www.tandfonline.com/doi/full/10.1080/03602559.2015.1021481)

[Comparative-analysis-on-3d-printer-auxetic-patterns-Horizontal-rows-show-A-relaxed_fig1_322776708?_cf_chl_rt_tk=k5Om7bQ_vUYGs1HtzDD4ZWNz0o1lFm](https://www.researchgate.net/figure/Comparative-analysis-on-3d-printer-auxetic-patterns-Horizontal-rows-show-A-relaxed_fig1_322776708?_cf_chl_rt_tk=k5Om7bQ_vUYGs1HtzDD4ZWNz0o1lFm)

QwM1QawTnVhR8-1739793744-1.0.1.1-
q0U891iF4DZ_Z4M36U_IP.oYWPuOWPqp.NFErk_E.Ds

https://www.researchgate.net/figure/Comparative-analysis-on-3d-printer-auxetic-patterns-Horizontal-rows-show-A-relaxed_fig1_322776708

Πηγές διαδικτύου

https://gfor gadget.gr/shop/afros-polyurethanis-pu-foam-750ml-rockiya/?gad_source=1&gclid=Cj0KCQiAs5i8BhDmARIsAGE4xHygGjT69JZakNL1kliQcP7VJ7ipkXFBvASHYBG7TdOfZefToarP0SgaAp2dEALw_wcB

Εικόνα 1

http://www.materials.uoi.gr/polymers/assets/lectures%20pdfs/Technologia_Polymerwn_I.pdf

Εικόνα 2

<https://search.app/Vh2WpFkoWcYmEvEj6>

ΛΟΓΟΤΥΠΟ

<https://engineeringsport.co.uk/2018/11/29/auxetic-materials-in-sports-applications/>

https://anapub.co.ke/journals/jcims/jcims_pdf/2023/jcims_volume_01/JCIMS202301003.pdf

https://www.researchgate.net/publication/374737831_A_review_on_nanomaterial-based_additive_manufacturing_dynamics_in_properties_prospects_and_challenges

<https://www.degruyter.com/document/doi/10.1515/rams-2023-0148/html?>

<https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC9369548/>

<http://www.biomaterials.pl/pdf-168374-91673?filename=91673.pdf>

https://www.researchgate.net/publication/370952638_ADDITIVE_MANUFACTURING_IN_THE_FOOTWEAR_INDUSTRY

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0360835224005278>

https://www.researchgate.net/publication/380373923_Implementing_Additive_Manufacturing_in_Orthopedic_Shoe_Supply_Chains-Cost_and_Lead_Time_Comparison

<https://www.sneakerfreaker.com/features/material-matters/material-matters-3d-printed-sneakers/>

https://www.researchgate.net/publication/383032330_Innovations_in_Lightweight_Materials_for_Automotive_Engineering

https://www.researchgate.net/publication/380421546_Mechanical_Performance_of_Advanced_Composite_Materials_and_Structures

https://www.researchgate.net/publication/384486738_Comparative_Analysis_of_Mechanical_Properties_Conventional_vs_Additive_Manufacturing_for_Stainless_Steel_316L

<https://www.mdpi.com/2072-666X/12/7/770>

Εικόνα 15: S. Hengsbach, Ινστιτούτο Τεχνολογίας της Καρλσρούης, A. Lantada, Univesidad Politécnica de Madrid