



AMable

BOOKLET

ΕΚΠΑΙΔΕΥΤΙΚΟ ΥΛΙΚΟ



WWW.AMABLE.EU

Περιεχόμενα

01

Επισκόπηση της διεργασίας εναπόθεσης υλικού/ Additive Manufacturing (AM)

ΣΚΟΠΟΣ	4
ΠΡΟΣΔΙΟΡΙΣΜΟΣ ΤΗΣ ΔΙΕΡΓΑΣΙΑΣ ΣΥΜΦΩΝΑ ΜΕ ΤΑ ΠΡΟΤΥΠΑ	5
ΟΡΙΣΜΟΙ	7
Η ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ ΓΙΑ ΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	7
DIRECTED ENERGY DEPOSITION (DED)	8
ELECTRON BEAM	9
LASER BEAM	10
ARC	12
POWER BED FUSION	14
ΣΥΓΚΡΙΣΗ ΤΗΣ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑΣ ΤΟΥ AM ΓΙΑ ΤΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	17
VAT PHOTOPOLYMERIZATION	18
SHEET LAMINATION	22
MATERIAL JETTING	24
BINDER JETTING	25
MATERIAL EXTRUSION	27

02

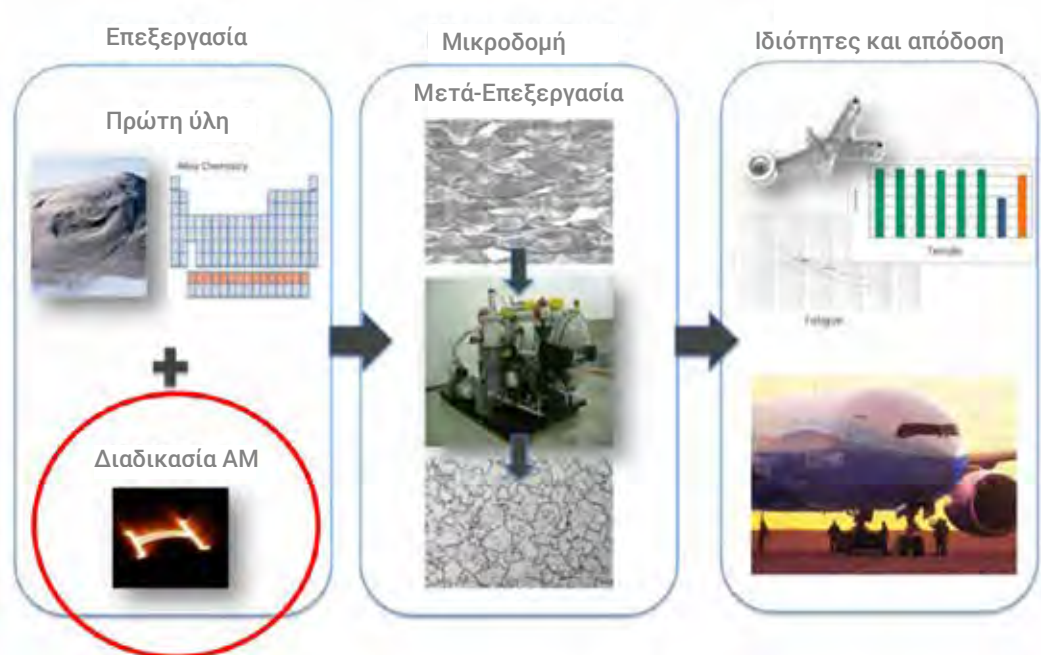
Αλυσίδα αξίας (Value Chain) για το Additive Manufacturing-AM

ΠΡΟΣΤΙΘΕΜΕΝΗ ΑΞΙΑ ΑΠΟ AM	28
ΠΟΙΑ ΕΙΝΑΙ Η ΚΑΛΥΤΕΡΗ ΔΙΑΔΙΚΑΣΙΑ AM ΓΙΑ ΤΟ ΠΡΟΪΟΝ ΜΟΥ	29

Θ1 Επισκόπηση της διεργασίας εναπόθεσης υλικού (Additive Manufacturing)

Σκοπός

Το **Additive Manufacturing (AM)** είναι μια διαδικασία κατασκευής που επιτρέπει την κατασκευή τρισδιάστατων μερών με την επεξεργασία πρώτων υλών σε διάφορες μορφές (όπως σκόνη, σύρμα, ...).



Ωστόσο, σε πολλές περιπτώσεις, για να αποκτήσετε την απαραίτητη μικροδομή που επιτρέπει την επίτευξη της επιθυμητής απόδοσης και των επιθυμητών ιδιοτήτων, είναι απαραίτητο να γίνει μετά-επεξεργασία.

Γνώση:

Πραγματική και ευρεία γνώση της θεωρίας, των αρχών και της εφαρμογής:

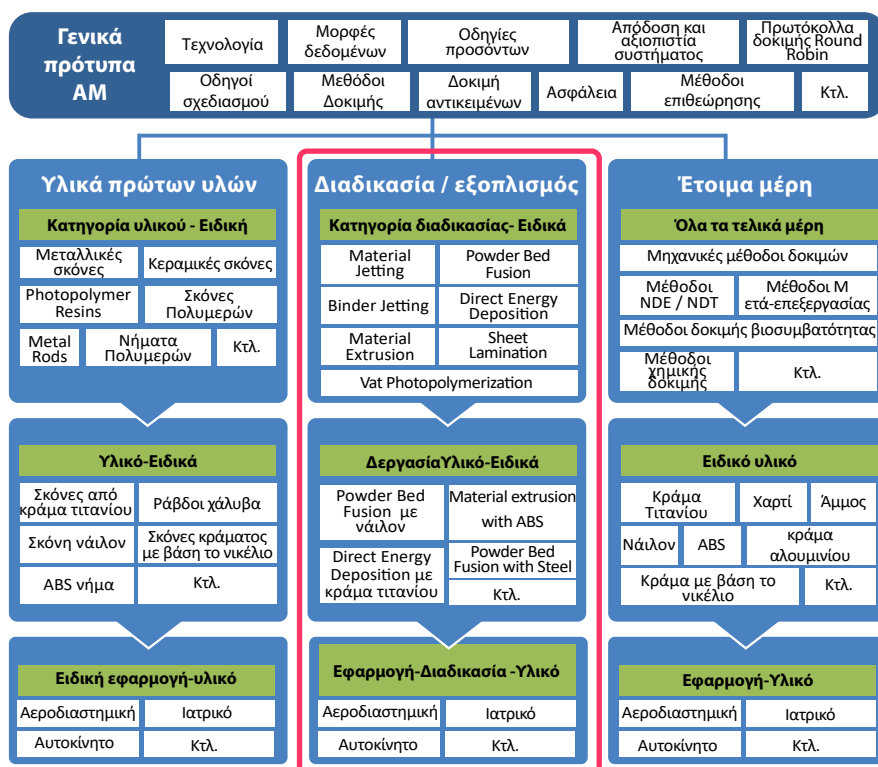
- Directed energy deposition (DED)
- Powder bed fusion (PBF)
- Vat photopolymerization (VPP)
- Material jetting (MJT)
- Binder jetting (BJT)
- Material extrusion (MEX)
- Sheet lamination (SHL)

Στόχοι:

- Διαχωρισμός των εξαρτημάτων που έχουν κατασκευαστεί από διαφορετικές διεργασίες του AM
- Αναγνώριση των πλεονεκτημάτων και των μειονεκτημάτων του AM
- Προσδιορισμός της καλύτερης εφαρμογής των διαφορετικών διεργασιών του AM
- Μετά-Επεξεργασία μπορεί να χρειάζεται με σκοπό την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος στην ποιότητα του προϊόντος.

Προσδιορισμός της διεργασίας σύμφωνα με τα πρότυπα

Δομή των προτύπων του Additive Manufacturing



Γενικά πρότυπα AM ανώτατου επιπέδου

- Γενικές έννοιες
- Κοινές απαιτήσεις
- Γενικά εφαρμόσιμο

Πρότυπα κατηγορίας AM

Συγκεκριμένα για την κατηγορία υλικού ή την κατηγορία διαδικασίας

Εξειδικευμένα πρότυπα AM

Ειδικό για υλικό, διαδικασία ή εφαρμογή



Τεχνολογίες του Additive Manufacturing

	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΥΛΙΚΑ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΓΟΡΕΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΓΙΑ ΜΕΤΑΛΛΑ
Συγχρονισμός	Powder bed fusion - Η θερμική ενέργεια λιώνει επιλεκτικά περιοχές με πούδρα (powder bed)	Μέταλλα, πολυμερή	Πρωτότυπο, άμεσο μέρος	●
	Direct Energy Deposition - Η εστιασμένη θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για την τήξη υλικών με τήξη καθώς εναποτίθεται το υλικό	Μέταλλα	Άμεσο μέρος, επισκευή	◐
	Sheet Lamination - Τα φύλλα υλικού συνδέονται για να σχηματίσουν ένα αντικείμενο	Μέταλλα, χαρτί	Πρωτότυπο, άμεσο μέρος	◑
Σύντηξη	Binder Jetting - Το υγρό συνδετικό μέσο εναποτίθεται επιλεκτικά για να ενώσει το υλικό, το οποίο είναι σε μορφή σκόνης	Μέταλλα, πολυμερή, άμμος χυτηρίου	Πρωτότυπο, άμεσο μέρος, καλούπια χύτευσης	◑
	Material Jetting - Σταγονίδια δομικού υλικού εναποτίθενται επιλεκτικά	πολυμερή, κεριά	Πρωτότυπο, μοτίβο χύτευσης	○
	Εξώθηση υλικού - Το υλικό διανέμεται επιλεκτικά μέσω ακροφυσίου ή στομίου	πολυμερή	Πρωτότυπο	○
	Vat photopolymerization - Το υγρό, φωτοπολυμερές, βρίσκεται σε κάδο και σκληρύνεται επιλεκτικά (πολυμερίζεται) με φως	Φωτοπολυμερή	Πρωτότυπο	○

Source: ASTM International Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies; Roland Berger

AM technologies for metal objects



Photo: GE Aviation

Ορισμοί

Το πρότυπο ISO / ASTM 52900-18: Additive Manufacturing (AM) - Γενικές αρχές - Ορολογία Ορίζει τη βασική ορολογία που θα χρησιμοποιείται για οτιδήποτε σχετίζεται με το AM. Αυτό το πρότυπο αναφέρει:

Additive Manufacturing (AM)

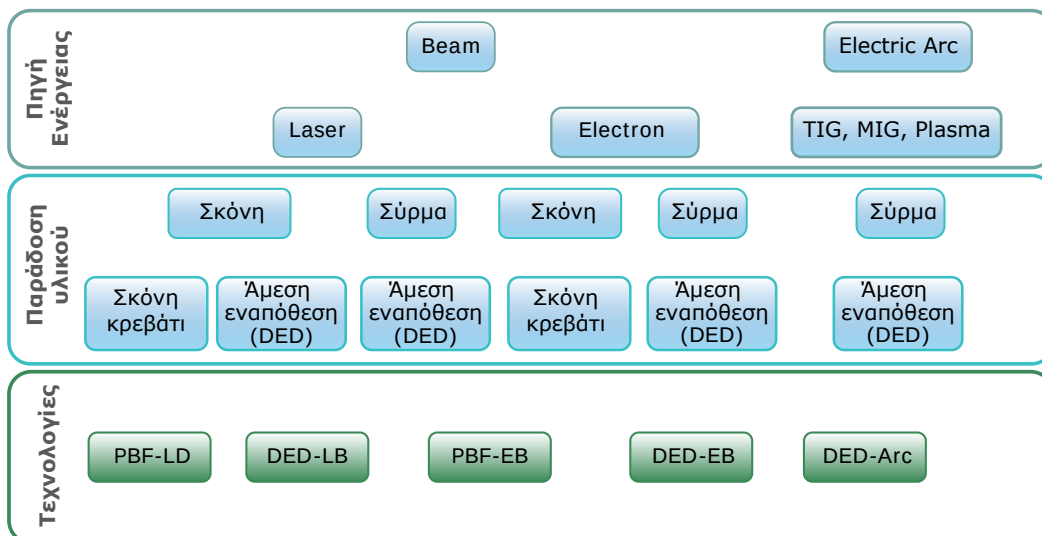
«Διαδικασία σύνδεσης υλικών για την κατασκευή τμημάτων από δεδομένα μοντέλου 3D, συνήθως στρώμα με στρώμα, σε αντίθεση με την subtractive Manufacturing και τις μεθοδολογίες formative manufacturing». Ιστορικοί όροι: additive fabrication, additive processes, additive techniques, additive layer manufacturing, layer manufacturing, solid freeform fabrication and freeform fabrication.

3D Printing

«Κατασκευή αντικειμένων μέσω της εναπόθεσης υλικού χρησιμοποιώντας κεφαλή εκτύπωσης, ακροφύσιο ή άλλη τεχνολογία εκτυπωτή». Ο όρος χρησιμοποιείται συχνά σε μη τεχνικό πλαίσιο συνώνυμα με την κατασκευή πρόσθετων. Μέχρι σήμερα, ο όρος αυτός έχει συσχετιστεί ιδιαίτερα με μηχανήματα με χαμηλή τιμή και/ή συνολική ικανότητα.

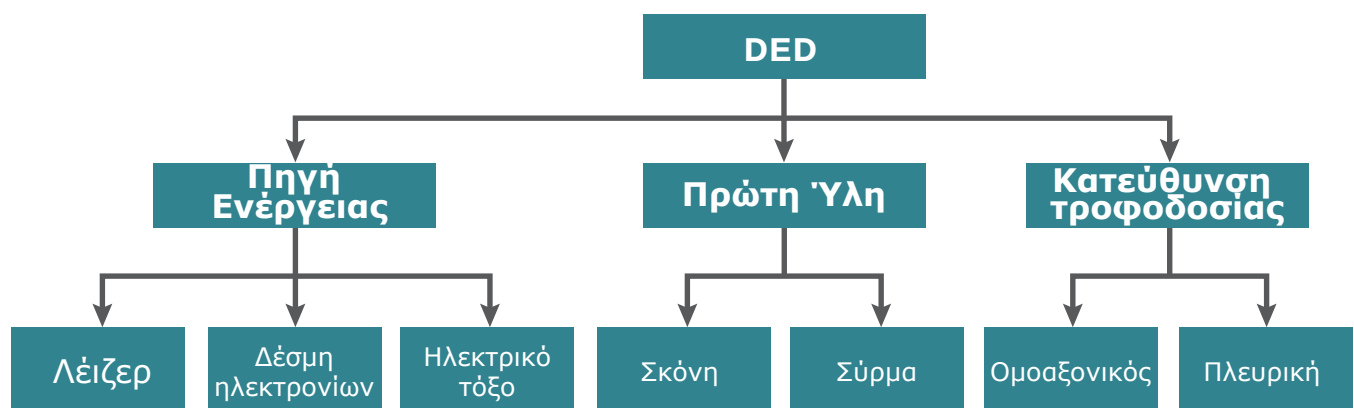
Η διαδικασία για τα μέταλλα

Ταξινόμηση των Directed Energy Deposition (DED) & Powder Bed Technologies



Directed Energy Deposition (DED)

«Διεργασία κατασκευής πρόσθετων στην οποία η εστιασμένη θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για την τήξη των υλικών καθώς αυτά εναποτίθενται», σύμφωνα με το ISO / ASTM 52900-18. «Εστιασμένη θερμική ενέργεια» σημαίνει ότι μια πηγή ενέργειας (για παράδειγμα: λέιζερ, δέσμη ηλεκτρονίων ή τόξο πλάσματος) εστιάζεται στην τήξη των υλικών που εναποτίθενται.

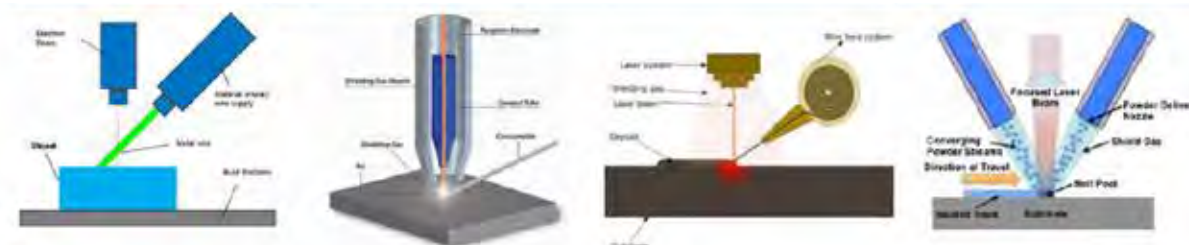


Πρώτη Ύλη

ΣΥΡΜΑ	ΣΚΟΝΗ
-------	-------

Πηγες Ενερργειας

ΔΕΣΜΗ ΗΛΕΚΤΡΟΝΙΩΝ	ΤΟΞΟ/ ΠΛΑΣΜΑ	ΛΕΪΖΕΡ
-------------------	--------------	--------



Τεχνολογία Ονοματολογία

DED-EB	DED-ΤΟΞΟ / DED-PB	DED-LB	DED-LB
--------	-------------------	--------	--------

Δέσμη Ηλεκτρονίων

Πλεονεκτήματα

- Υψηλότερο ποσοστό εναπόθεσης ενέργειας
- Μεγάλα κομμάτια (μεγαλύτερος κατασκευαστικός χώρος)
- Υλικά δύσκολα στο να συγκολληθούν
- Αντιδραστικά μέταλλα (Ti, Al, TiAl)
- Υλικό καλωδίων (+ φτηνό, - εύφλεκτο)
- Υψηλή ενεργειακή απόδοση (> 95%, x5-10 SLM)
- Μικρό υπόλοιπο φόρτισης
- Χαμηλότερες απαιτήσεις υποστήριξης

Photo: Arevo Labs



Εφαρμογές & τομείς

- Λεπίδες στροβίλου για παραγωγή ενέργειας
- Πυρηνικά συστατικά
- Πυρίμαχα μεταλλικά εξαρτήματα
- Βαλλιστικά υλικά
- Βιομηχανικά εξαρτήματα αντλίας
- Εξοπλισμός κατασκευής ημιαγωγών
- Επισκευή και επισκευή εργαλείων
- Αεροδυναμικά εξαρτήματα

Photo: Forgemasters



Μειονεκτήματα

- Μεγάλος και περίπλοκος εξοπλισμός
- Επένδυση υψηλού κόστους
- Εξοπλισμός συντήρησης υψηλού κόστους
- Απαιτείται θάλαμος κενού (+ χρόνος -πρόσβαση)
- Υψηλότερη τραχύτητα ($Ra > 40\mu m$) (x3 SLM)



Photo: Lockheed Martin

Υλικά

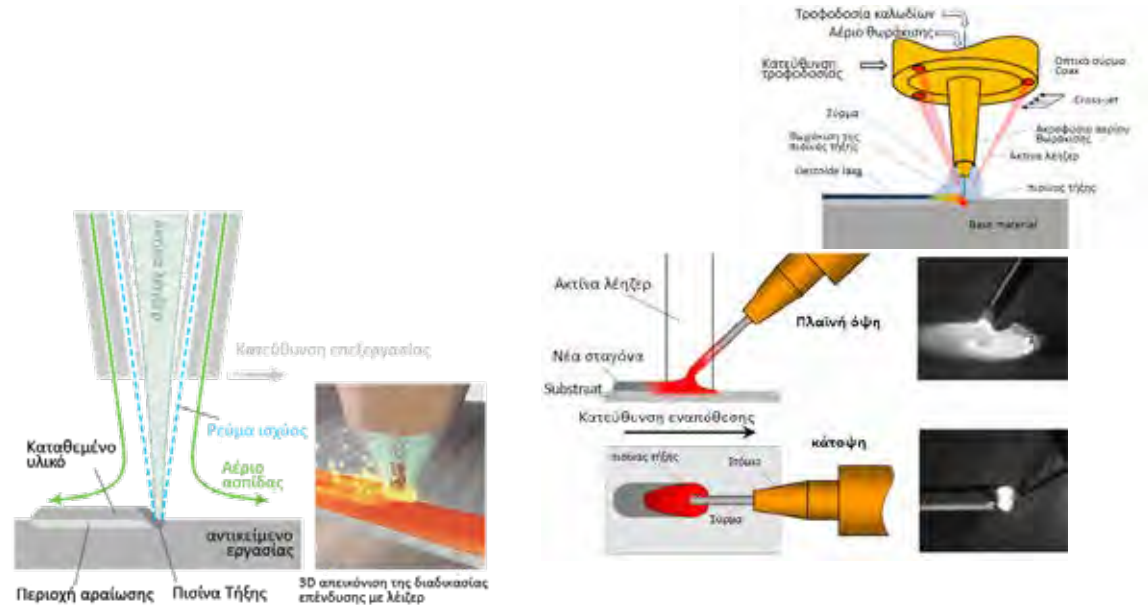
- Χάλυβας, 4340
- Ανοξείδωτο ατσάλι
- Κράματα τιτανίου και τιτανίου, Ti64
- Αλουμίνιο, 2319, 4043
- Ταντάλιο
- Βολφράμιο
- Νιόβιο
- Inconel 718, 625
- Κοβάλτιο-χρώμιο ASTM F75
- Κράμα τιτανίου-αλουμινίου
- Καθαρός χαλκός



Photo: GE Additive

Directed Energy Deposition (DED)

Ακτίνα Laser (Laser Beam)



Πλεονεκτήματα

- Μέσος έως υψηλός ρυθμός εναπόθεσης
- Εξαρτήματα μεσαίου μεγέθους
- Εξαρτήματα σχήματος σχεδόν διχτυού
- Μεγάλη γκάμα υλικών
- Πολλαπλά υλικά και FGM
- Επισκευή και ανακατασκευή



Μειονεκτήματα

- Κόστος εξοπλισμού
- Χαμηλή ανάλυση
- Ανάγκες μετά-επεξεργασίας



Εφαρμογές & τομείς

- Στροβιλομηχανές
- Αέριο-Εξαρτήματα
- Καλούπια και εργαλεία
- Αυτοκίνητο
- Υποθαλάσσια και υπεράκτια

Υλικά

- Χάλυβες
- Κράματα με βάση Ni
- Συν-βασισμένα κράματα
- Τιτάνιο
- Καρβίδια

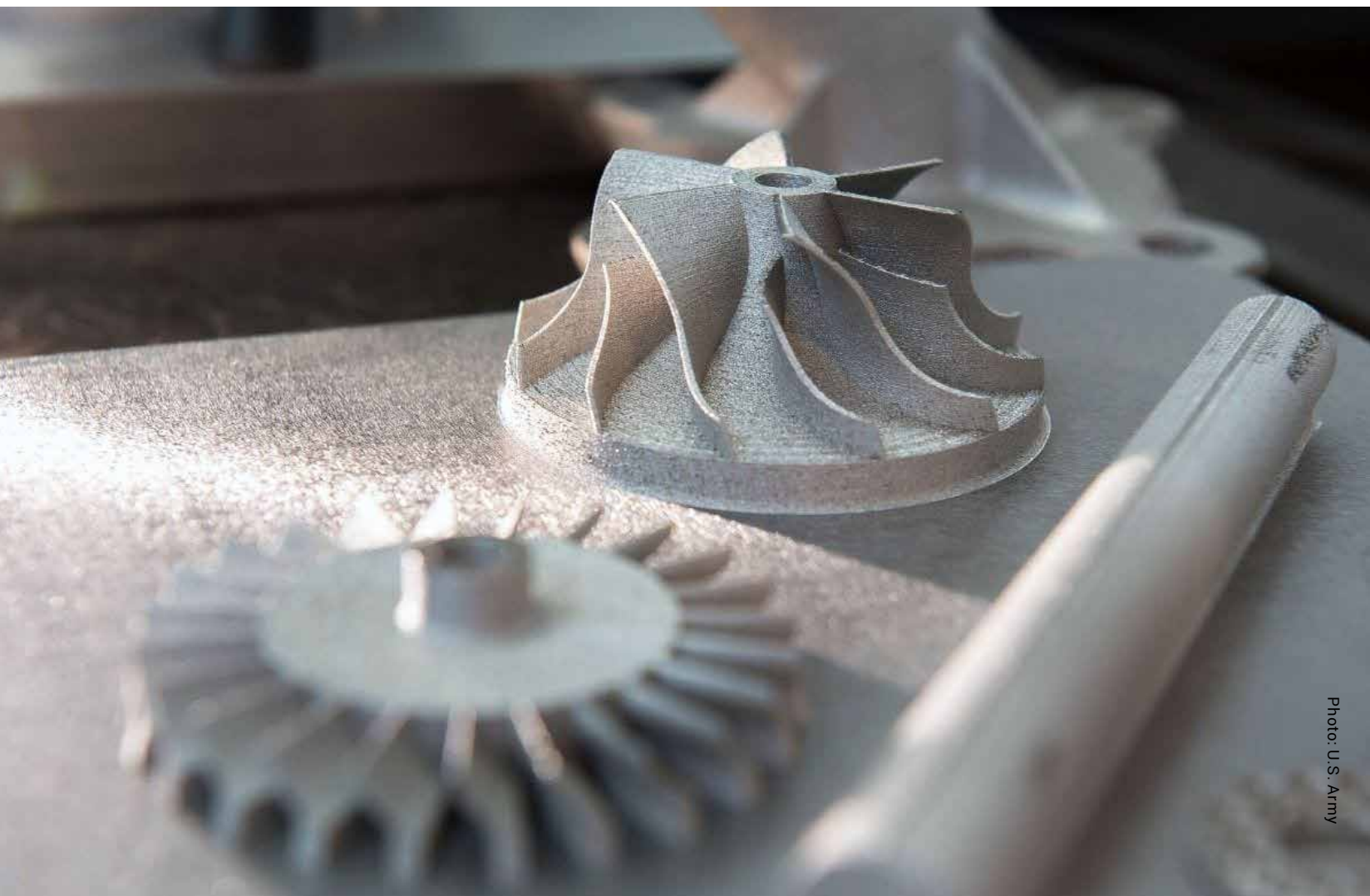


Photo: U.S. Army

Directed Energy Deposition (DED)

Τόξο (Arc)



DED – Τόξο (ARC)

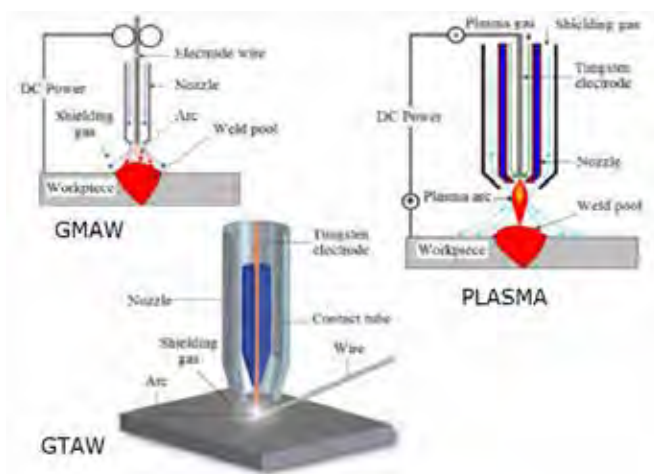
- Διαδικασίες GMAW και TIG
- Τροφοδοσία καλωδίων
- Εγκατάσταση σε χαμηλές τιμές
- Ρυθμοί εναπόθεσης έως 5 kg / h και άνω
- Μικρή απώλεια υλικών σε σύγκριση με τεχνολογίες με βάση τη σκόνη



DED – Ακτίνα Πλάσματος (Plasma Beam)

- Διαδικασίες πλάσματος και μπλάσματος
- Τροφοδοσία σκόνης ή σύρματος
- Ρυθμοί εναπόθεσης έως 10 kg / h
- Διαθεσιμότητα σκόνης/πούδρας και υπερψεκασμός

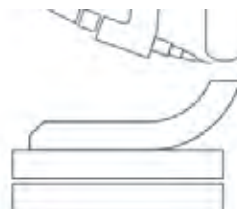
DED – Παραλλαγές



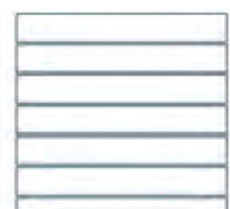
DED – Βήματα:



1. Σύντηξη



2. Απόθεση επιπέδου



3. Στερεοποίηση εξαρτήματος

Πλεονεκτήματα

- Υψηλό ποσοστό εναπόθεσης
- Παραγωγή μεγάλου μεγέθους προϊόντων
- Καλή αναλογία μεταξύ του βάρους/ποσότητας του μετάλλου που αγοράζεται και του μετάλλου που αποτελεί το τελικό προϊόν
- Μειωμένο κόστος εξοπλισμού
- Μεγάλη γκάμα υλικών
- Μειωμένο κόστος για καλώδια



Photo: RamLab

Μειονεκτήματα

- Χαμηλότερη ανάλυση
- Γεωμετρικές παραμορφώσεις
- Ανάγκες μετ-επεξεργασίας



Photo: Norsk Titanium

Εφαρμογές & τομείς

- Ναυτιλία
- Αεροναυπηγική /Αεροδυναμικά εξαρτήματα
- Ενέργεια
- Καλούπια και εργαλεία

Υλικά

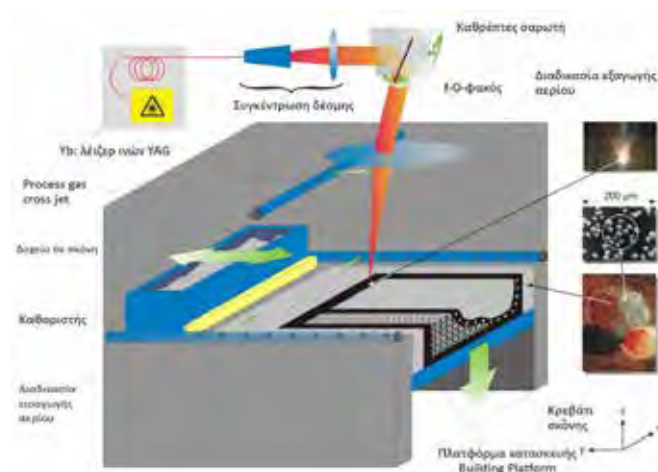
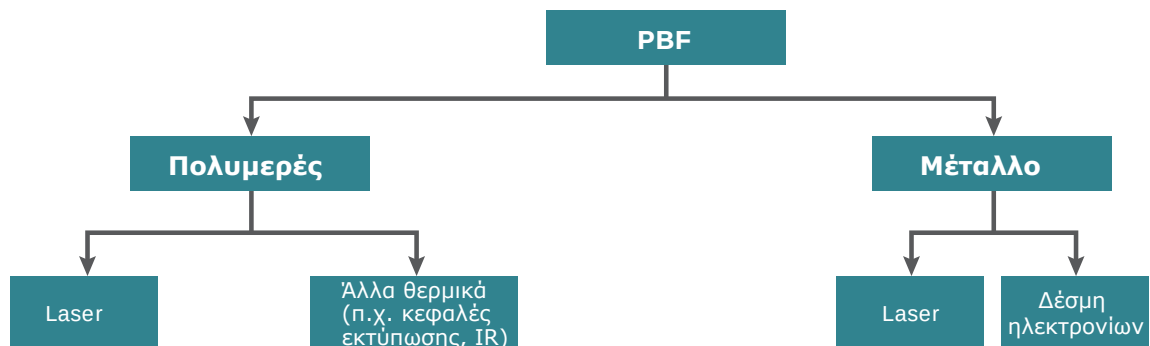
- Χάλυβες
- Κράματα με βάση Ni
- Τιτάνιο
- Αλουμίνιο



Photo: RamLab

Powder Bed Fusion

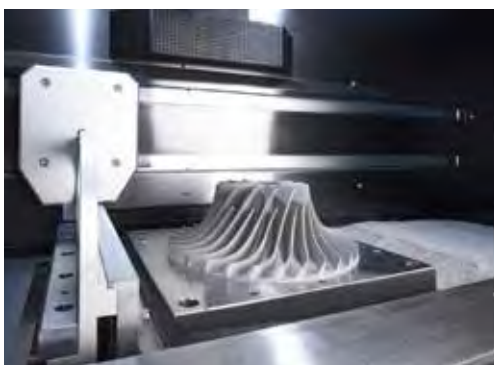
«Διεργασία του Additive Manufacturing κατά την οποία η θερμική ενέργεια λιώνει επιλεκτικά περιοχές μιας περιοχής προσεκτικά καλυμμένη με σκόνη (powder bed)», σύμφωνα με το ISO / ASTM 52900-18



Πλεονεκτήματα

- Καινοτομία σε σχέδια και βελτιωμένες λειτουργίες
- Ενσωμάτωση πολλών κομματιών σε ένα
- Ελαφρύτερο βάρος, λιγότερη χρήση πρώτων υλών, λιγότερα απόβλητα υλικών (πράσινη τεχνολογία)
- Εξατομίκευση και πολυπλοκότητα χωρίς πρόσθετο κόστος
- Υψηλή γκάμα υλικών (συγκολλησίμα υλικά)

Photo: Monni Pierandrea



Μειονεκτήματα

- Μεσαία τραχύτητα ($Ra > 10\mu m$)
- Περιορισμένο μέγεθος ανταλλακτικών ($< 400 \times 400 \times 500 mm$)
- Κόστος εξοπλισμού
- Υπολειμματικές πιέσεις και παραμορφώσεις σε ορισμένες περιπτώσεις
- Χαμηλή έως μεσαία παραγωγικότητα: επί του παρόντος σειρά μικρών κομματιών (έως 25000 μέρη / έτος)



Εφαρμογές & τομείς

- Αέρο - Εξαρτήματα
- Ορθοπεδικά εμφυτεύματα
- Αυτοκίνητο
- Εργαλεία (Καλούπια και μήτρες)
- Οδοντιατρική
- Αγαθά

Υλικά

- Κράματα Al (AlSi7Mg, AlSi10, AlSi9Cu3)
- Κράματα με βάση Ni (IN718, IN725, IN939, HX)
- Τιτάνιο (βαθμός 2, βαθμός 23, σχεδόν άλφα,
- Κοβάλτιο-χρώμιο (F75, CoCr28Mo6)
- Χάλυβες (316L, 17-4PH, 1.2709, H13, Invar36)
- Κράμα Cu (CuSn10)



Photo: EXOne

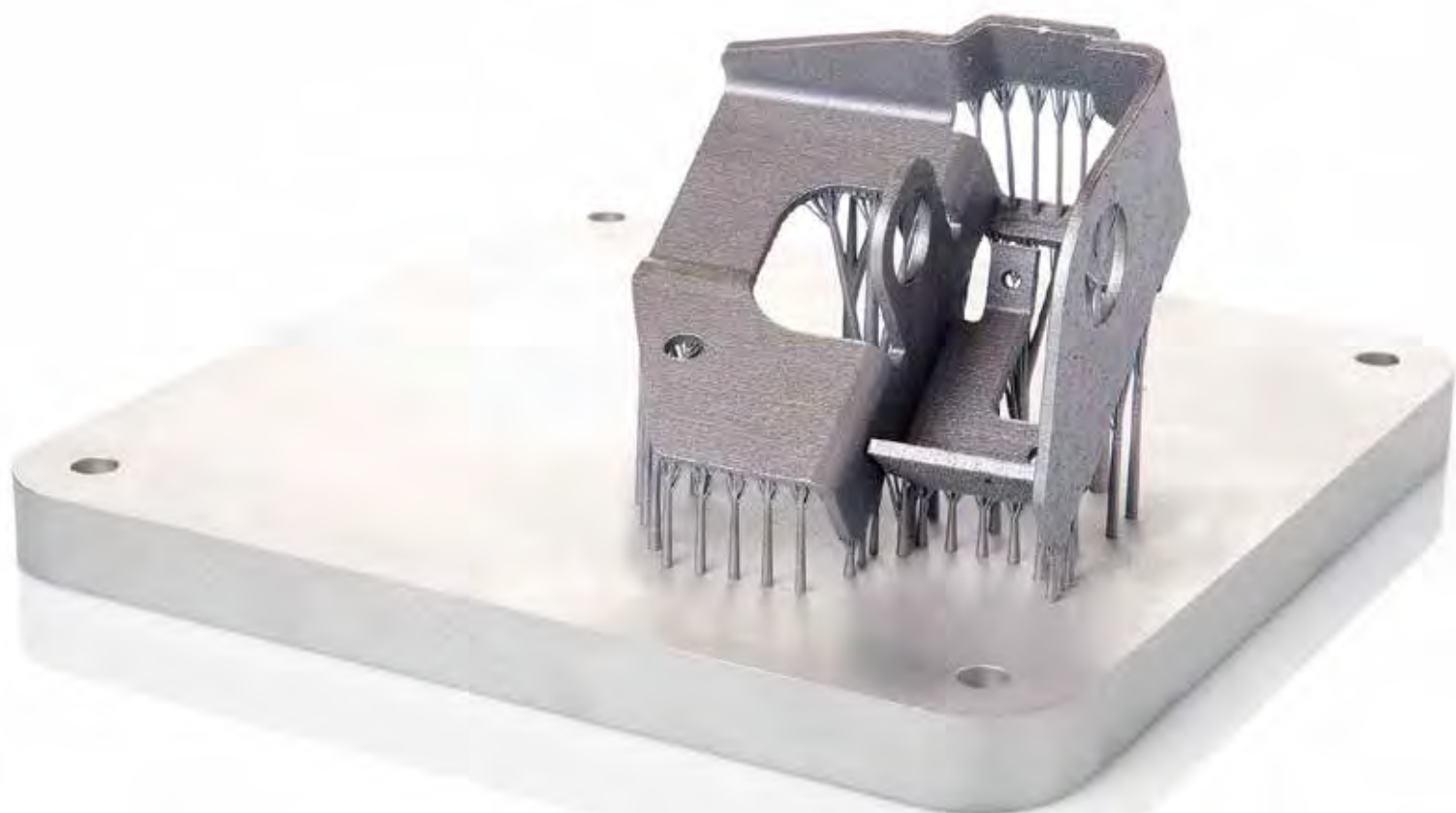
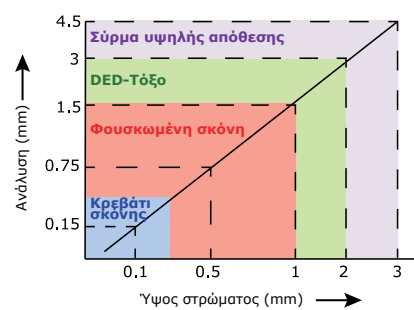
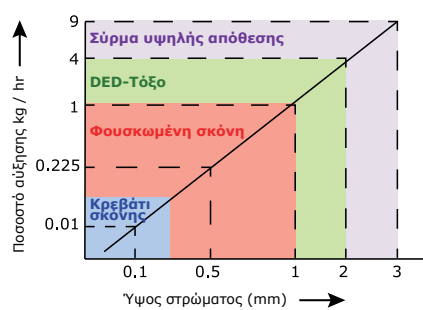
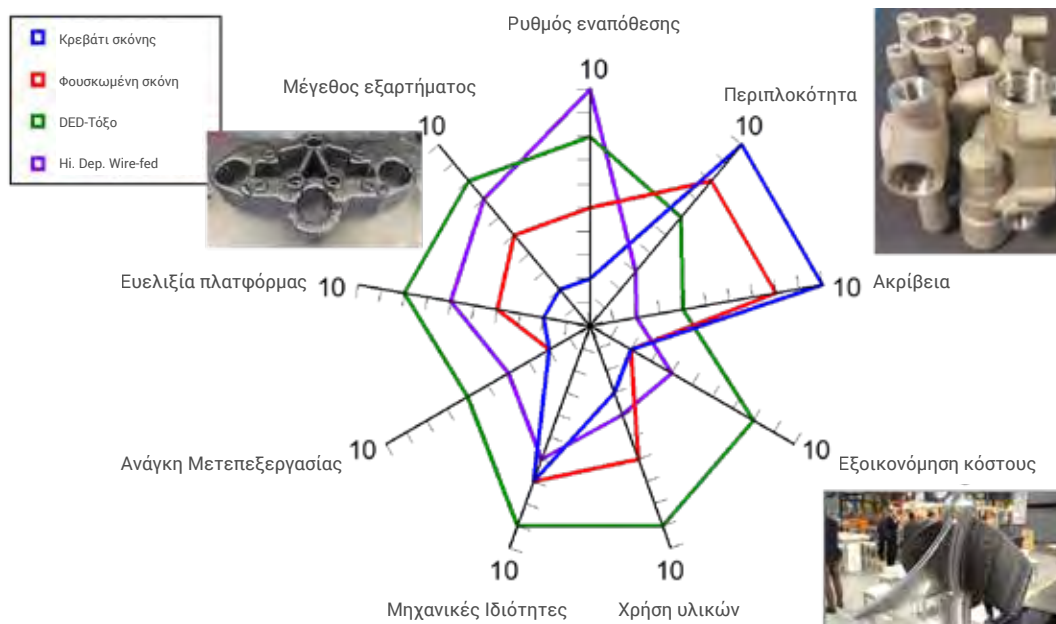


Photo: Materialise

ΑΜ με Μέταλλα

Σύγκριση διαδικασίας

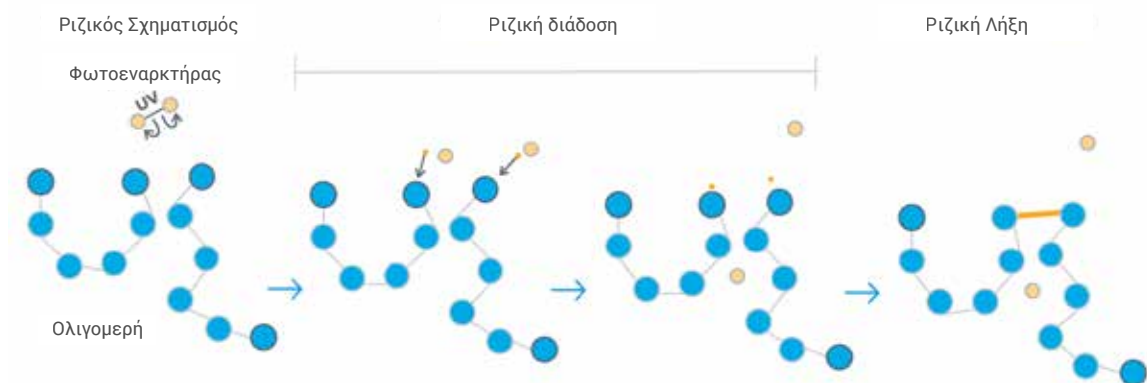


VAT – Φωτοπολυμερισμός

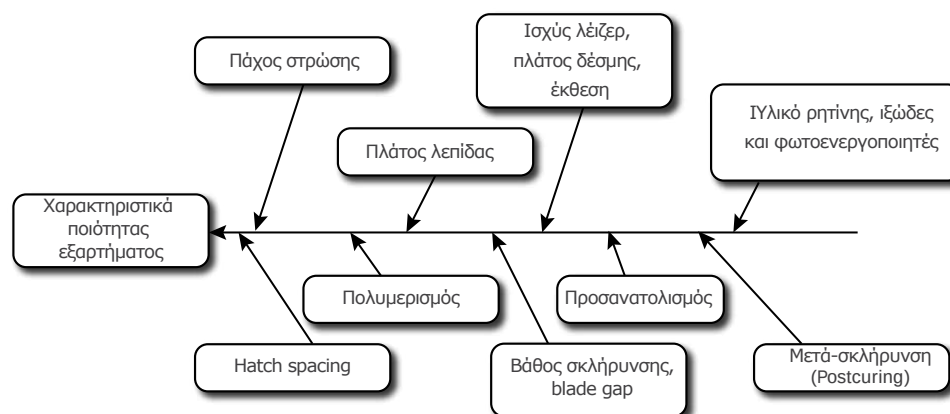
Διεργασία του Additive Manufacturing κατά την οποία υγρό φωτοπολυμερές μέσα σε κάδο πολυμερίζεται επιλεκτικά με χρήση φωτός », όπως αναφέρεται στο ISO / ASTM 52900-18.

Διεργασία

- Οι μονομερείς και ολιγομερείς αλυσίδες έχουν ενεργές ομάδες στο τέλος τους
- Όταν η ρητίνη εκτίθεται σε υπεριώδη ακτινοβολία, το μόριο Photoinitiator διασπάται σε δύο
- 2 πολύ αντιδραστικές ρίζες
- Οι αντιδραστικές ρίζες μεταφέρονται σε ενεργές ομάδες που στη συνέχεια αντιδρούν με άλλες ομάδες



Παράμετροι



Ακρίβεια

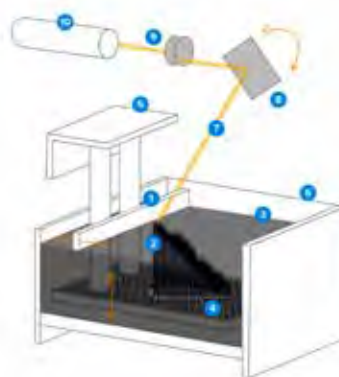
Η γενική ακρίβεια των εκτυπώσεων VPP είναι 50 έως 200 μικρά, ανάλογα με το μέγεθος, τη ρητίνη, τη γεωμετρία του μοντέλου και τη δημιουργία υποστήριξης.



Τυποι Μηχανημάτων

Από πάνω προς τα κάτω πολυμερισμός:

- πηγή θερμότητας πάνω από τον κάδο
- η πλατφόρμα βυθίζεται προοδευτικά στον κάδο
- Μεγάλες βιομηχανικές εφαρμογές
- Όγκος κατασκευής: Έως 1500x750x550mm³



Right-Side Up VPP

- 1 Καθαριστής
- 2 Τυπωμένο μέρος
- 3 Ρητίνη/ρητίνη πα
- 4 Δημιουργία πλατφόρμας
- 5 Ανεκυστήρας
- 6 Δεξαμενή ρητίνης
- 7 Ακτίνα λέιζερ
- 8 Καθρέφτης σάρωσης X-Y
- 9 Φακοί
- 10 UV λέιζερ

Από κάτω προς τα πάνω πολυμερισμός:

- η πηγή θερμότητας τοποθετείται κάτω από τον κάδο
- η πλατφόρμα ανεβαίνει προοδευτικά
- Το υπεριώδες λέιζερ δείχνει στους δύο καθρέφτες
- γαλβανόμετρα, τα οποία κατευθύνουν το
- φως προς τα σωστά
- συντεταγμένες σε μια σειρά καθρεπτών
- το τελικό μέρος χτίστηκε ανάποδα
- Όγκος κατασκευής: Έως 145x145x175mm³



Upside-Down (Inverted) VPP

- 1 Τυπωμένο μέρος
- 2 Υποστηρίγματα
- 3 Ρητίνη
- 4 Δημιουργία πλατφόρμας
- 5 UV λέιζερ
- 6 Γαλβανόμετρα
- 7 Καθρέφτης σάρωσης X-Y
- 8 Ακτίνα λέιζερ
- 9 Δεξαμενή ρητίνης

Παραδείγματα Μηχανημάτων

Formlabs



145 x 145 x 175 mm (xyz)

Envisiontec



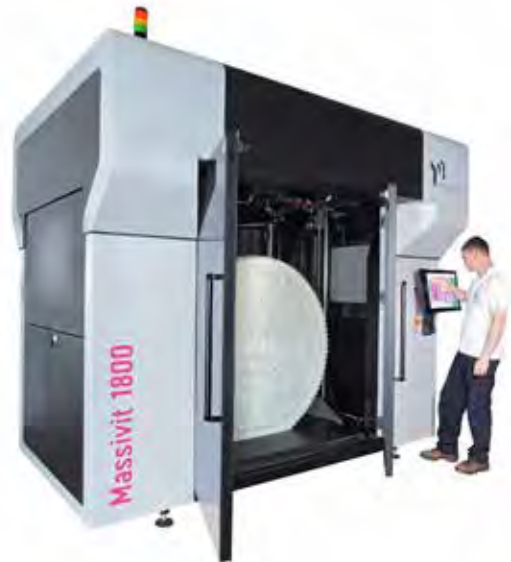
400 x 400 x 400 mm

3D Systems



1500 x 750 x 550 mm

Materialise



2100 x 700 x 800 mm

Σύγκριση κόστους μηχανήματος

	ΕΠΙΤΡΑΠΕΖΙΟΣ SLA: ΑΝΕΣΤΡΑΜΜΕΝΟΣ	ΒΙΟΜΗΧΑΝΙΚΟΣ SLA: ΔΕΞΙΑ ΠΛΕΥΡΑ ΠΡΟΣ ΤΑ ΠΑΝΩ
ΤΙΜΗ	Ξεκινώντας από 3500 \$	\$80,000-\$1,000,000+
ΌΓΚΟΣ ΕΚΤΥΠΩΣΗΣ	Έως 145 x 145 x 175 mm	Έως 1500 x 750 x 550 mm
ΠΛΕΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	• Προσιτός • Εύχρηστος • Χαμηλή συντήρηση • Μικρό αποτύπωμα • Εύκολη εναλλαγή υλικού	• Μεγάλος όγκος κατασκευής • υψηλό ποσοστό παραγωγής • Εκτεταμένες επιλογές υλικών
ΜΕΙΟΝΕΚΤΗΜΑΤΑ	• Μέσος όγκος κατασκευής	• Ακριβά μηχανήματα • Υψηλό κόστος συντήρησης • Απαιτείται χειριστής

Πλεονεκτήματα

- Σχεδιαστική ελευθερία.
- Γεωμετρικά μοντέλα με εξαιρετική ποιότητα επιφάνειας.
- Γρήγορη διαδικασία
- Εξοπλισμός μειωμένου κόστους.
- Είναι δυνατή η ισότροπή μέρους.

Μειονεκτήματα

- Χαμηλή γκάμα διαθέσιμων υλικών (UV σκληρυνόμενες ρητίνες).
- Απαιτούνται δομές στήριξης.
- Υλική υποβάθμιση με συνεχή έκθεση στο φως.
- Χαμηλές θερμοκρασίες εργασίας για εξαρτήματα.
- Ορισμένες ρητίνες είναι τοξικές.

Εφαρμογές & τομείς

- Ταχεία προτυποποίηση (Rapid Prototyping)
- Οδοντιατρική
- Φροντίδα υγείας
- Πτερωτές και περιστρεφόμενες συσκευές.
- Περιβλήματα.
- Χύτευση επενδύσεων.

Υλικά

- Η ρητίνη, συνήθως αποτελούμενη από εποξικά ή ακρυλικά και μεθακρυλικά μονομερή, θα πολυμεριστεί και θα σκληρυνθεί όταν εκτίθεται σε φως.

Εργασίες επεξεργασίας (Από πάνω προς τα κάτω πολυμερισμός, στην Βιομηχανία)

Μορφή πρώτων υλών

- Υγρό ή επικόλληση (φωτοαντιδραστική ρητίνη με ή χωρίς υλικό πλήρωσης)

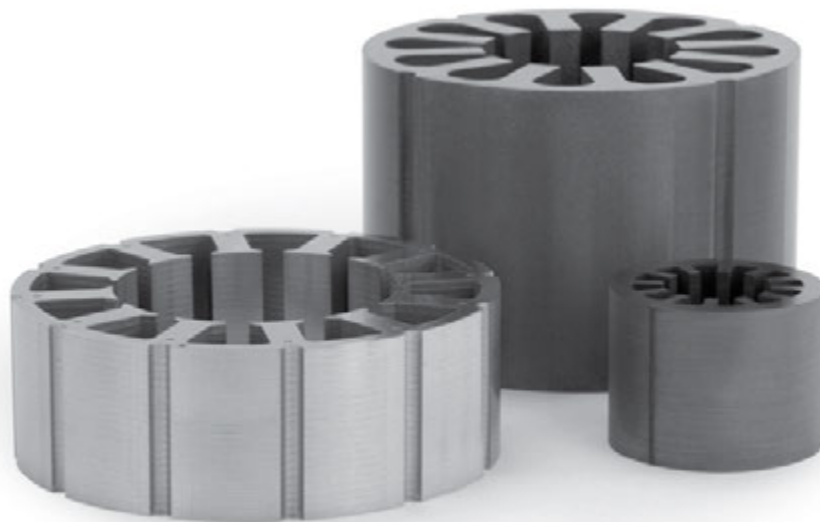
1. Η πλατφόρμα κατασκευής τοποθετείται για πρώτη φορά στη δεξαμενή υγρού φωτοπολυμερούς, σε απόσταση ενός στρώματος ύψους από την επιφάνεια του υγρού
2. Στη συνέχεια, ένα υπεριώδες λέιζερ δημιουργήσε το επόμενο στρώμα σκληραίνοντας επιλεκτικά και στερεοποιώντας τη ρητίνη φωτοπολυμερούς
3. Σαρώνεται ολόκληρη η διατομή του μοντέλου, έτσι το παραγόμενο μέρος είναι πλήρως συμπαγές
4. Όταν τελειώσει ένα στρώμα, η πλατφόρμα κινείται σε ασφαλή απόσταση και η λεπίδα σάρωσης επιστρέφει ξανά στην επιφάνεια. Στη συνέχεια, η διεργασία επαναλαμβάνεται έως ότου ολοκληρωθεί το αντικείμενο
5. Μετά την εκτύπωση, το εξάρτημα βρίσκεται σε κατάσταση μη ολοκληρωμένου πολυμερισμού, χωρίς πλήρη σκλήρυνση και απαιτεί περαιτέρω επεξεργασία από υπεριώδες φως, εάν απαιτούνται πολύ υψηλές μηχανικές και θερμικές ιδιότητες.

Ελασματοποίηση φύλλων - Sheet Lamination

Διεργασία του Additive Manufacturing κατά την οποία τα φύλλα υλικού συνδέονται για να σχηματίσουν ένα αντικείμενο », σύμφωνα με το ISO / ASTM 52900-18

Επεξεργάσιμα υλικά

- Πολυμερή
- Μέταλλα
- Σύνθετα
- Κεραμικά
- Χαρτί



Πολυμερή

- Η προσκόλληση μεταξύ στρώσεων επιτυγχάνεται μέσω θερμότητας / κόλλας
- Κοπή με λέιζερ / λεπίδα
- Μπορεί να δημιουργήσει χρωματιστά μέρη
- Συνήθως για πρωτότυπες εφαρμογές

Μέταλλο-Υπερήχων Ενοποίηση

- Συγκόλληση στερεάς κατάστασης μεταξύ των «φύλλων»
- Δυνατότητα πολλαπλών υλικών
- Δυνατότητα ενσωμάτωσης εξαρτημάτων (χαμηλή θερμοκρασία)

Πλεονεκτήματα

- Υψηλή ταχύτητα
- Μη ύπαρξη υπολειμματικού στρες
- Μεγάλη γκάμα υλικών

Μειονεκτήματα

- Απαιτείται μετα-επεξεργασία για να επιτευχθεί το απαιτούμενο αποτέλεσμα
- Τα φινιρίσματα μπορεί να ποικίλουν ανάλογα με το χαρτί ή το πλαστικό υλικό, αλλά μπορεί να απαιτούν επεξεργασία μετά την επίτευξη του επιθυμητού αποτελέσματος

Εφαρμογές & τομείς

- Μοντέλα αρχιτεκτονικής
- Οπτικοποίηση τοπογραφίας
- Αεροδιαστημική βιομηχανία και αυτοκινητοβιομηχανία

Μορφή πρώτων υλών

- Υλικό φύλλου, χαρτί, μεταλλικό φύλλο, πολυμερή ή σύνθετα υλικά (μέταλλο ή κεραμικό λοβό, συγκρατημένο με συνδετικό υλικό)

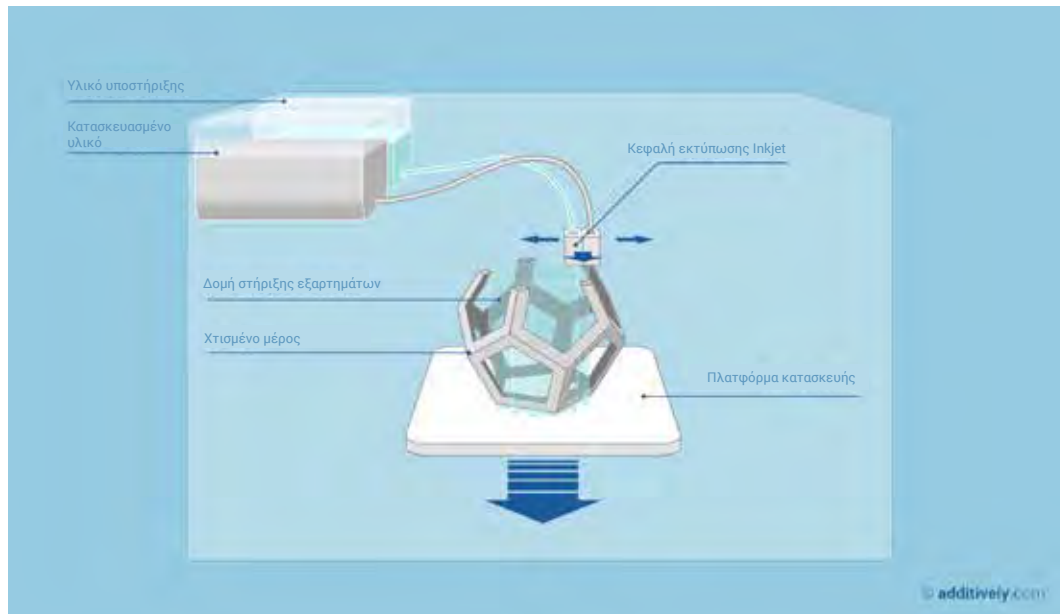
Εργασίες επεξεργασίας (Πλαστικό)

1. Το υλικό τοποθετείται στη θέση του στο κρεβάτι κοπής
2. Το υλικό συνδέεται στη θέση του, πάνω από την προηγούμενη στρώση, χρησιμοποιώντας την κόλλα
3. Στη συνέχεια, το απαιτούμενο σχήμα κόβεται από το στρώμα, με λέιζερ ή μαχαίρι, και προστίθεται το επόμενο στρώμα
4. Τα βήματα δύο και τρία μπορούν να αντιστραφούν και εναλλακτικά, το υλικό μπορεί να κοπεί πριν τοποθετηθεί και συγκολληθεί



Material Jetting

«Διεργασία του Additive Manufacturing κατά την οποία εναποτίθενται επιλεκτικά σταγονίδια υλικού πρώτης ύλης. », Σύμφωνα με το ISO / ASTM 52900-18»



Πλεονεκτήματα

- Γρήγορη διαδικασία
- Μικρά - μεσαία μέρη
- Καλή ακρίβεια (συνήθως $\pm 0,1\%$)
- Επιτρέπει το μείγμα χρωμάτων και ιδιοτήτων
- Μαλακά και σκληρά υλικά
- Δεν απαιτείται μετα-επεξεργασία
- Εξοπλισμός μειωμένου κόστους

Εφαρμογές & τομείς

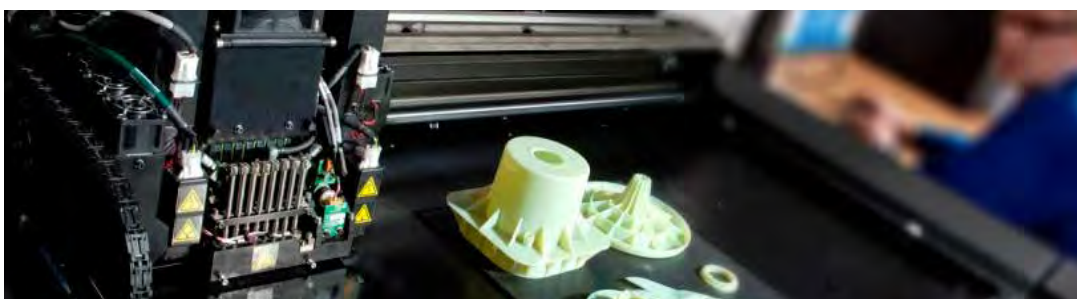
- Ταχεία προτυποποίηση (Rapid Prototyping)
- Οδοντιατρική
- Φροντίδα υγείας
- Πρόσθεση

Μειονεκτήματα

- Μειωμένη αντίσταση

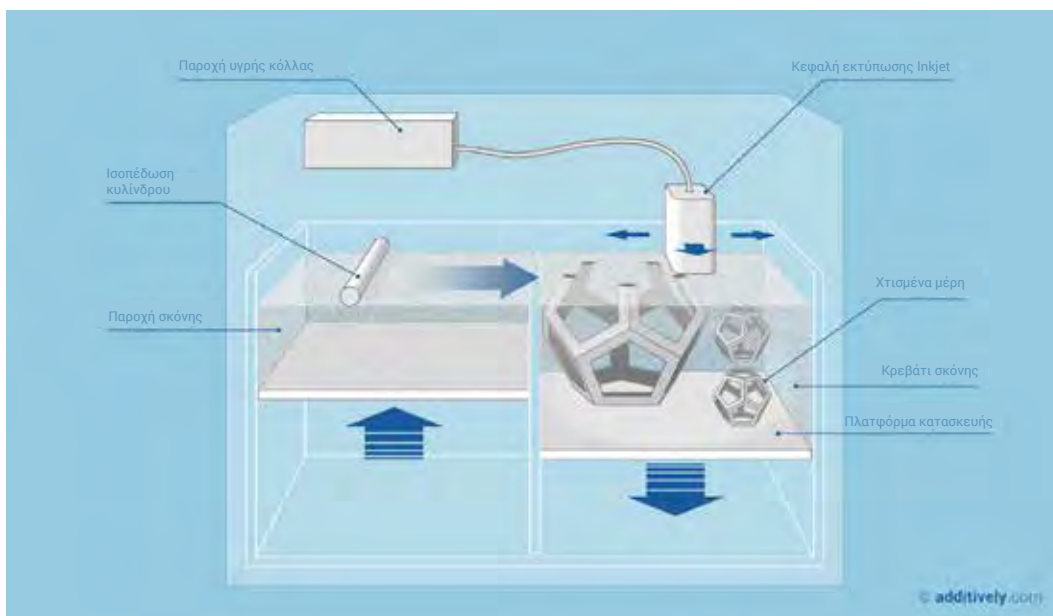
Υλικά

- UV-φωτοευαίσθητες ρητίνες
- Ακρυλικά φωτοπολυμερή (θερμοσκληρυνόμενα)



Binder Jetting

«Διεργασία του Additive Manufacturing κατά την οποία ένα υγρό συνδετικό μέσο εναποτίθεται επιλεκτικά για ένωση υλικών σε σκόνη», σύμφωνα με το ISO / ASTM 52900-18



Πλεονεκτήματα

- Χ50-100 γρηγορότερα από το PBF
- Χ20 χαμηλότερο κόστος από το PBF
- Δεν απαιτείται υποστήριξη
- Κατάλληλο για μέρη με μεγάλη πολυπλοκότητα και μεγάλες σειρές
- Καλή ανάλυση

Εφαρμογές & τομείς

- Μηχανική ακριβείας
- Αυτοκίνητο
- Πρωτότυπα
- Ιατρική

Μειονεκτήματα

- Περιορισμένο μέγεθος (<400x300x200 mm)
- Διάφορες διαδικασίες για το τελικό μέρος (εκτύπωση □ debinder □ sinter)
- Πολύπλοκος χειρισμός πράσινων μερών
- Έλεγχος συστολής κατά τη διάρκεια της σύντηξης
- Περιορισμένο πάχος τοιχώματος (5-10 mm)

Υλικά

- Χάλυβες
- Βασισμένο σε Ni
- Κράματα CoCr
- W, WC

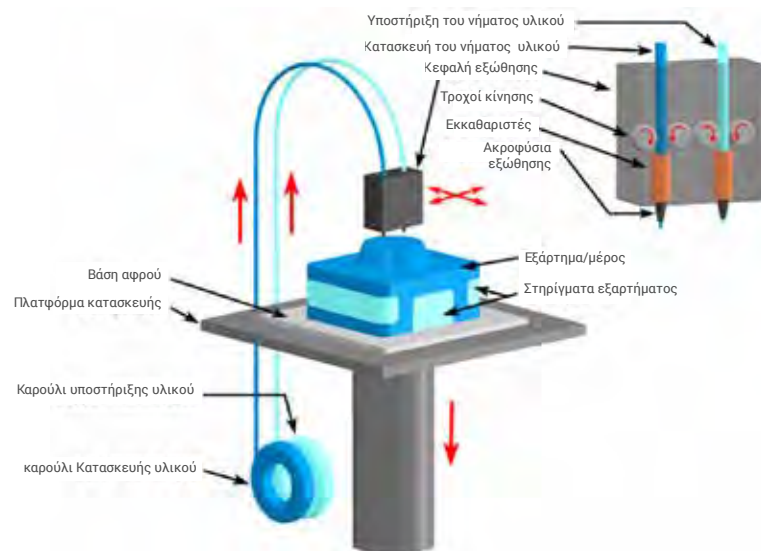




Photo: Michal Kamaryt / CTK / Alamy

Material Extrusion

«Δεργασία του AdditiveManufacturing κατά την οποία το υλικό διανέμεται επιλεκτικά μέσω ακροφυσίου ή στομίου», σύμφωνα με το ISO / ASTM 52900-18



Πλεονεκτήματα

- Μεγάλη επιλογή υλικού εκτύπωσης (πλαστικά)
- Εύκολη και φιλική προς το χρήστη διαδικασία (FDM)
- Χαμηλό αρχικό και λειτουργικό κόστος
- Μικρό μέγεθος εξοπλισμού σε σύγκριση με άλλα AM
- Χαμηλότερο κόστος παραγωγής (σε μέταλλα)
- Κατάλληλο για μικρά, πολύ περίπλοκα μέρη (50 mm)
- Κατάλληλο για εξαρτήματα μικρών σειρών

Εφαρμογές & τομείς

- Ταχεία προτυποποίηση (Rapid Prototyping)
- Αυτοκινητοβιομηχανία
- Τομείς υγείας

Μειονεκτήματα

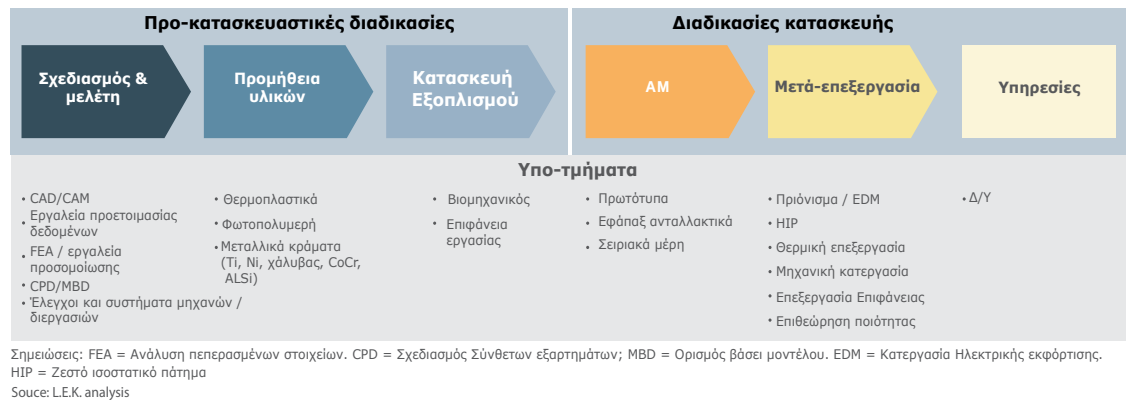
- Τοξικά υλικά εκτύπωσης (μερικά θερμοπλαστικά)
- Συρρικνωμένη συρρίκνωση (σε μέταλλα)
- Περιορισμένο πάχος τοιχώματος (σε μέταλλα: 5-10 mm)

Υλικά

- Θερμοπλαστικά (PLA, ABS, PC)
- Σύνθετο υλικό (πλαστικό ενισχυμένο)
- Μέταλλα (Χάλυβας, Cu, Inco625)

02 Αλυσίδα αξίας (Value Chain) για το Additive Manufacturing-AM

Το Value Chain ορίζεται ως το σύνολο των δραστηριοτήτων από την έρευνα στην αγορά, κατά τη διάρκεια μιας διαδικασίας δημιουργίας και προσθήκης αξίας.



Προστιθέμενη αξία από AM

Προστιθέμενη αξία: σύνολο πρόσθετων χαρακτηριστικών προϊόντος ή υπηρεσίας που τα καθιστούν πιο ελκυστικά για τον πελάτη έναντι της αρμοδιότητας

- Προσαρμογή
- Παραγωγή επί τόπου και κατ' απαίτηση (χωρίς αποθέματα)
- Ελάχιστος χρόνος αγοράς
- Βιωσιμότητα και ενεργειακή απόδοση
- Διαφορετικός σχεδιασμός
- Βελτίωση σχεδιασμού:
 - Ενσωμάτωση εξαρτημάτων
 - Μικρό βάρος
- Βελτίωση κόστους:
 - Μικρές παρτίδες
 - Υλικά υψηλού κόστους

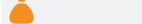
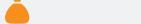
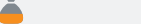
Ποια είναι η καλύτερη διαδικασία AM για το προϊόν μου?

	ΤΕΧΝΟΛΟΓΙΑ	ΥΛΙΚΑ	ΤΥΠΙΚΕΣ ΑΓΟΡΕΣ	ΣΧΕΤΙΚΗ ΓΙΑ ΜΕΤΑΛΛΑ	
Συγχρονισμός	 Powder bed fusion - Η θερμική ενέργεια λιώνει επιλεκτικά περιοχές με πούδρα (powder bed)	Μέταλλα, πολυμερή	Πρωτότυπο, άμεσο μέρος		AM technologies for metal objects
	 Direct Energy Deposition - Η εστιασμένη θερμική ενέργεια χρησιμοποιείται για την τήξη υλικών με τήξη καθώς εναποτίθεται το υλικό	Μέταλλα	Άμεσο μέρος, επισκευή		
	 Sheet Lamination - Τα φύλλα υλικού συνδέονται για να σχηματίσουν ένα αντικείμενο	Μέταλλα, χαρτί	Πρωτότυπο, άμεσο μέρος		
Σύντηξη	 Binder Jetting - Το υγρό συνδετικό μέσο εναποτίθεται επιλεκτικά για να ενώσει το υλικό, το οποίο είναι σε μορφή σκόνης	Μέταλλα, πολυμερή, άμμος χυτηρίου	Πρωτότυπο, άμεσο μέρος, καλούπια χύτευσης		
	 Material Jetting - Σταγονίδια δομικού υλικού εναποτίθενται επιλεκτικά	πολυμερή, κερί	Πρωτότυπο, μοτίβο χύτευσης		
	 Εξώθηση υλικού - Το υλικό διανέμεται επιλεκτικά μέσω ακροφυσίου ή στομίου	πολυμερή	Πρωτότυπο		
	 Vat photopolymerization - Το υγρό, φωτοπολυμερές, βρίσκεται σε κάδο και σκληρύνεται επιλεκτικά (πολυμερίζεται) με φως	Φωτοπολυμερή	Πρωτότυπο		

Source: ASTM International Committee F42 on Additive Manufacturing Technologies; Roland Berger

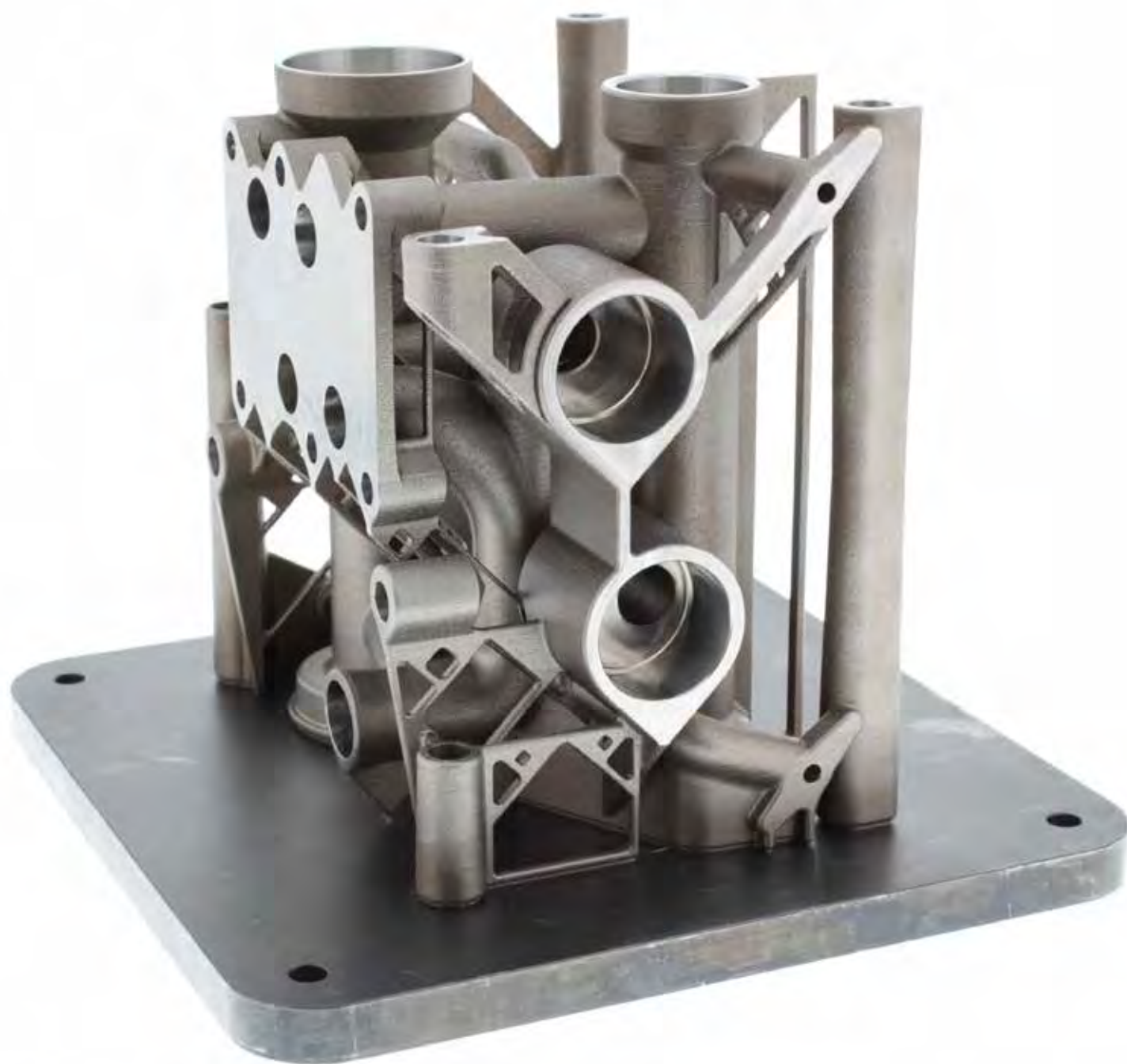
Established and challenger technologies for metal AM

Several new metal AM technologies are emerging alongside powder bed fusion or direct energy deposition – Simplified overview (schematic)

	POWDER BED FUSION		DIRECT ENERGY DEPOSITION	WIRE BY LASER / PLASMA / EB	MATERIAL JETTING	MATERIAL EXTRUSION	BINDER JETTING
	BY LASER	BY ELECTRON BEAM	POWDER BY LASER				
BUILD PRINCIPLE	Thermal energy by laser fuses regions of a powder bed	Thermal energy by electron beam fuses regions of a powder bed	Fusion of powdered material by melting during deposition	Fusion of wire fed material by melting during deposition	Deposition of droplets of molten metal	Dispensing of material through nozzle to form a green part	Joining powder with binding agent to form a green part
MANUFACTURING READINESS FOR AM	Manufacturing readiness reached for selected industries 	Manufacturing readiness reached for selected industries 	So far mainly used for coating, AM only in niche applications 	So far mainly used for coating, AM only in niche applications 	Production capabilities shown 	Production capabilities shown for prototyping 	Manufacturing readiness reached for niche applications 
KEY MATERIALS	Al, Ti, Ni-alloys, CoCr, steel	Ti, Ni-alloys, CoCr	Ti, Ni-alloys, steel, Co, Al	Ti, Ni, steel, Co, Al, W, Zr-alloy, CuNi	Al, steel	Cu, Inco, steel, (others incl. Ti in development)	WC, W, CoCr, steel/bronze, steel, Inco, non-metal molds
MECHANICAL PROPERTIES							
POST-PROCESSING REQUIRED	HT ¹⁾ /HIP ²⁾ , machining, surface treatment 	Machining, surface treatment 	HT ¹⁾ , machining, surface treatment 	HT ¹⁾ , machining, surface treatment 	HT ¹⁾ /(HIP ²⁾), machining, surface treatment 	HT ¹⁾ /(HIP ²⁾), machining, surface treatment 	HT ¹⁾ /(HIP ²⁾), machining, surface treatment 
BUILD COSTS							
CORE APPLICATION INDUSTRIES	Aerospace, turbines, med-tech, dental, automotive	Aerospace, turbines, med-tech	Aerospace, general MRO-related business	Aerospace, general MRO-related business	Precision engineering, automotive, prototyping	Precision engineering, automotive, prototyping	Precision engineering, automotive, prototyping, med-tech, arts and design
EQUIPMENT SUPPLIERS (SELECTION)	Concept Laser, Trumpf, EOS, Renishaw, DMG MORI, SLM Solutions, Additive Industries	Arcam	DMG MORI, Mazak, BeAM, PM Innovations, Trumpf, Optomec	Sciaky, OR Laser, Trumpf, Norsk Titanium	Vader Systems, XJet	Desktop Metal, Markforged, BASF	ExOne, Digital Metal, Desktop Metal
	Established technologies			Challenger technologies			

¹⁾ Heat treatment ²⁾ Hot isostatic pressing
Source: Company information; expert interviews; Roland Berger

 Low degree required  High degree required  Low  High  Proof of concept  Full rate production



AMable

Τι είναι το AMable

Το **AMable** είναι μια ομάδα ανθρώπων από διαφορετικούς οργανισμούς που στοχεύουν στη δημιουργία ενός νέου οικοσυστήματος για την απορρόφηση του AM. Αυτοί οι άνθρωποι παρέχουν μια ευρεία βάση εμπειρογνωμοσύνης από την τεχνολογία, τις επιχειρήσεις και την κατάρτιση. Η Ευρωπαϊκή Επιτροπή υποστηρίζει αυτήν την κοινοπραξία στο πλαίσιο του I4MS με χρηματοδότηση από το πρόγραμμα πλαίσιο H2020 και με καθοδήγηση προς μια ανοιχτή πλατφόρμα για τις ευρωπαϊκές εταιρείες.

Ο πρωταρχικός στόχος είναι μικρές και μεσαίες εταιρείες (MME) που χρειάζονται υποστήριξη στην υιοθέτηση του AM. Η AMable στοχεύει στην ενδυνάμωση των ατόμων σε αυτές τις εταιρείες για να ενισχύσουν τις δεξιότητές τους αντί να κάνουν τη χειρωνακτική δουλειά. Ωστόσο, το οικοσύστημα θα αναπτύξει μια ευρεία προσφορά από επιστημονική υποστήριξη μέσω δεξιοτήτων και εκπαίδευσης έως και εμπορικών υπηρεσιών.



Επικοινωνία

projectoffice@amable.eu

www.amable.eu

Συντονισμός

Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT
c/o Ulrich Thombansen
+49/241/8906-320
ulrich.thombansen@ilt.fraunhofer.de

Στοιχεία επικοινωνίας

Επικοινωνία
projectoffice@amable.eu
www.amable.eu

Συντονισμός
Fraunhofer Institute for Laser Technology ILT
c/o Ulrich Thombansen
+49/241/8906-320
ulrich.thombansen@ilt.fraunhofer.de

© AMable Project Consortium 2020, v1.0
Lead Editors Ana Cardoso (EWF), Pedro Alvarez (LORTEK)



Αυτό το έργο συγχρηματοδοτείται από το πρόγραμμα έρευνας και καινοτομίας «HORIZON 2020» της Ευρωπαϊκής Ένωσης βάσει της συμφωνίας επιχορήγησης 768775

www.amable.eu

