فناوری‌های چاپ سه بعدی صنعتی

"به زبان ساده"

چاپگرهای سه بعدی

3DPE

فهرست مطالب

عنوان	صفحه
مقدمه	3
تقسیم بندی فناوریهای چاپ سه بعدی صنعتی	4
مفهوم فناوری چاپ سه بعدی	5
فناوری FDM	6
فناوری SLA	11
فناوری PolyJet	14
فناوری GDP	18
فناوری P3	24
پیش درآمد فناوریهای DOD / PBF / MJ	28
فناوری BJ	30
فناوری SAF	32
فناوری SLS	34
فناوری HSS	37
فناوری XJet / NPJ	40
فناوری MJF	45
پیش درآمد فناوریهای چاپ سه بعدی فلز	48
فناوری فلز Metal FDM / ADAM	50
فناوریهای فلز SLM / DSLM	52
فناوری فلز EBM / EB PBF	53
فناوری فلز DED	55
فناوری فلز Cold Spray	56
فناوری فلز WAAM	57
جدول مقایسه تکنیکهای پرینت سه بعدی صنعتی	59
کاربرد چاپگرهای سه بعدی صنعتی	60
از کجا بخریم؟	63
منابع کتاب	64

بازار چاپ سه‌بعدی یا تولید افزایشی **Additive manufacturing (AM)** : **additive layer manufacturing (ALM)** در اوایل دهه **2010**، زمانیکه تحلیلگران ادعا کردند که این فناوری کاربرد گسترده‌ای در جامعه مصرف‌کننده خرد پیدا می‌کند، چشمگیرترین چرخه تبلیغاتی خود را طی کرد، اوج گرفت و نهایتا حباب شکست و بازار فروکش کرد. با این حال، به دور از بازار حبابی مصرف‌کنندگان عمومی، فناوری‌های نوین تولید افزودنی همچنان با سرعت عجیبی به پیشرفت خود ادامه داده اند.

حالا فناوری‌های چاپ سه‌بعدی صنعتی در بسیاری از صنایع در حال بلوغ هستند و از آستانه‌های حیاتی اولیه کیفیت چاپ، قابلیت اطمینان و ساختار هزینه عبور کرده‌اند. پیشرفت‌های اخیر در ماشین‌آلات، مواد و نرم‌افزار، ماشینهای تولید افزایشی را برای طیف وسیع‌تری از کسب‌وکارها در دسترس قرار داده و شرکت‌های بیشتری را قادر می‌سازد از ابزارهایی استفاده کنند که قبلاً به چند صنعت با فناوری پیشرفته محدود می‌شدند.

امروزه پرینترهای سه بعدی صنعتی به نوآوری و حمایت از کسب و کارها در صنایع مختلف از جمله مهندسی، معماری، تولیدات تحقیقاتی، دندانپزشکی، مراقبتهای بهداشتی، آموزش، سرگرمی، جواهرات، مخترعان آماتور و ... کمک می کنند.

توضیح تصویر روی جلد کتاب: قطعه، نشانگر توانایی بالای تکنیک چاپ سه بعدی SLS است. مدل حاوی لولا و سایر بخشهای متحرک بصورت یکپارچه توسط دستگاه Fuse 1 کمپانی FormLabs با متریال PA12 (نایلون صنعتی) پرینت سه بعدی شده است.

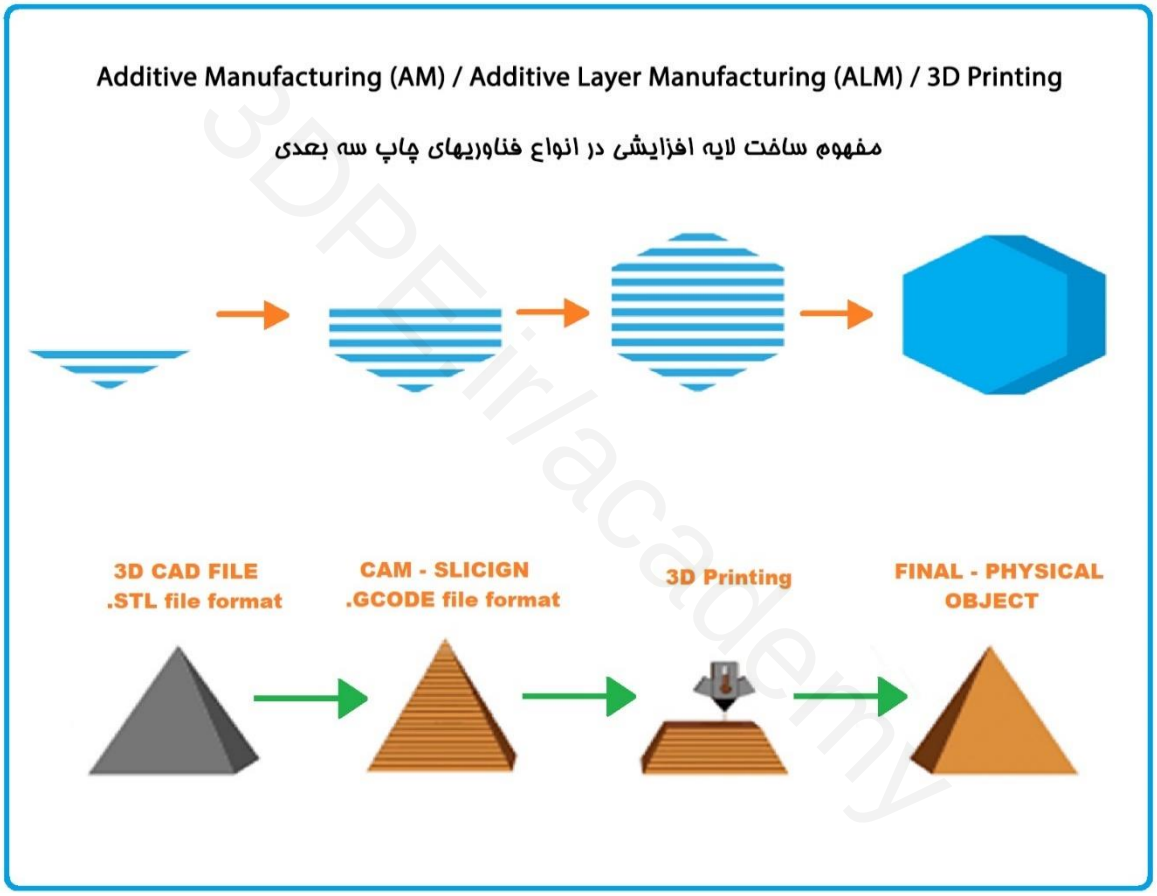
آمریکا و رژیم صهیونیستی در یک همکاری مشترک، بیشترین میزان تحقیق و سرمایه گذاری در حوزه فناوریهای نوین چاپ سه بعدی را دارا هستند که سبب شده به سازنده برتر بازار چند میلیون دلاری ماشینهای صنعتی لایه افزایشی تبدیل شوند.

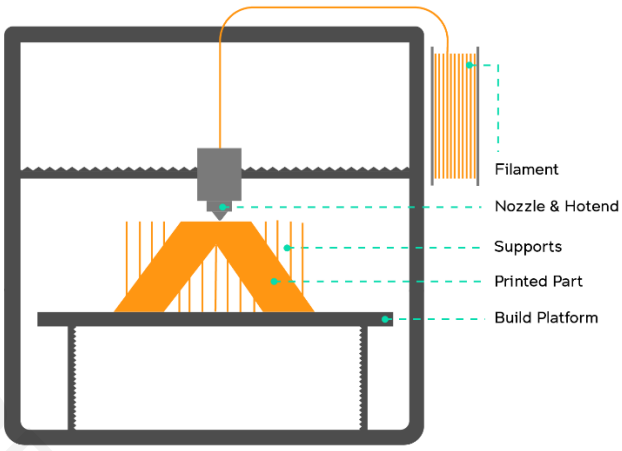
تقسیم بندی تکنیک های چاپ سه بعدی صنعتی

امروزه پرینت سه بعدی صنعتی برای مشاغل مختلف از نمونه های اولیه (پروتوتایپ) گرفته تا تولید مستقیم محصول در دسترس شده است. این فناوری‌ها شامل مدل‌سازی رسوب ذوب شده (FFF/FDM)، استریولیتوگرافی (SLA/DLP)، همجوشی لیزر انتخابی (SLS)، همجوشی جذب انتخابی (SAF)، همجوشی سرعت بالا (HSS)، فوتوپلیمریزاسیون هوشمند (P3)، پلی جت (PolyJet)، مولتی جت فیوژن (MJF)، متریال جتینگ (Material Jerting/Binder Jet)، نانوجت ذرات (NJP) و چندین شیوه ذوب فلزی (AM Metal) است. موضوع مشترک این فناوری‌ها، هر چه بیشتر توانا شدن طی سالهای اخیر در کنار فشرده‌تر و در دسترس‌تر بودن است که به کاهش هزینه‌های سرمایه‌گذاری اولیه از 100.000 تا 200.000 دلار به کمتر از 10.000 دلار کمک کرد.

چاپگر سه بعدی صنعتی می تواند یک تجارت را متحول کند و همچنین هزینه‌ها و زمان تولید را کاهش دهد. در این مطلب جدیدترین فناوریهای Industrial 3D Printer کشورهای پیشرفته را بهمراه مزایا و معایب توضیح می‌دهیم.

3DPE Iran Academy


Additive Manufacturing (AM) / Additive Layer Manufacturing (ALM) / 3D Printing
مفهوم ساخت لایه افزایشی در انواع فناوریهای چاپ سه بعدی
3D CAD FILE
.STL file format
CAM - SLICIGN
.GCODE file format
3D Printing
FINAL - PHYSICAL
OBJECT



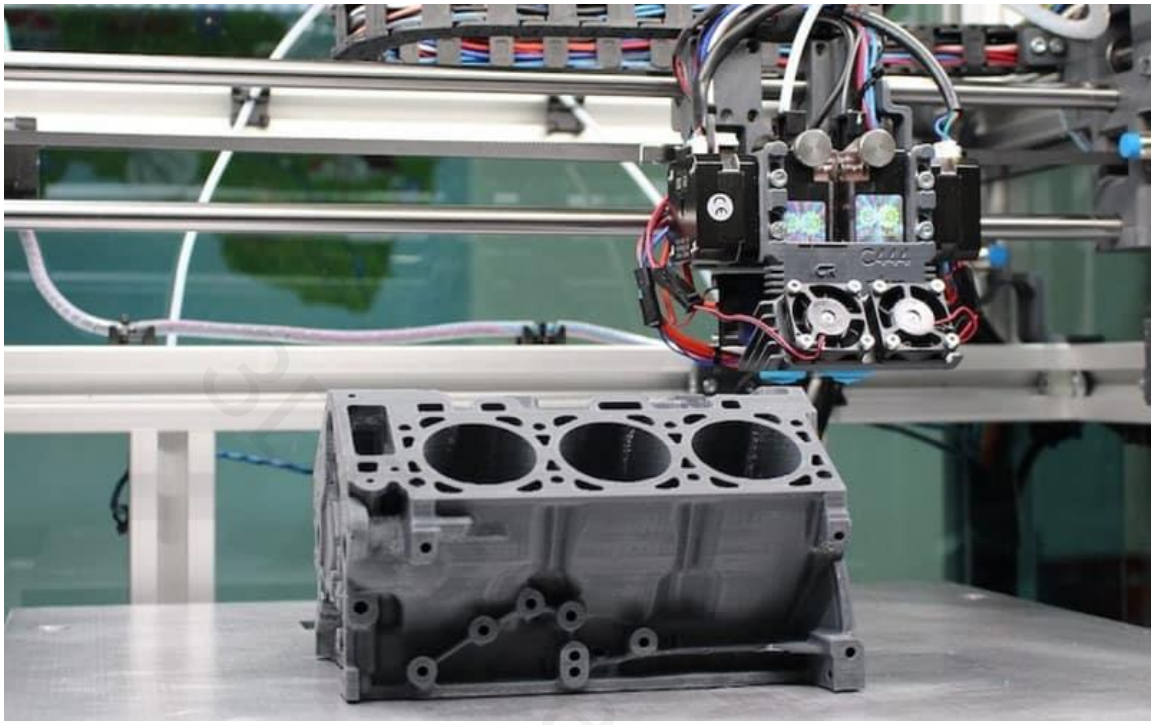
1. مدل سازی رسوب ذوب شده (FDM/FFF)

3dpe.ir/all-type-of-fdm-3d-printer

با نام Fused Deposition Modeling:FDM یا ساخت فیلامنت ذوب شده (FFF: fused filament fabrication) شناخته می‌شود. یک روش پرینت که قطعات را با ذوب و اکسترود کردن رشته ترموپلاستیک (بنام فیلامنت : Filament) و خروج از نازل، لایه به لایه در بستر ساخت قرار می دهد.

FDM پرکاربردترین پرینتر سه بعدی دنیاست که بعلت ظهور کیتهای مونتاژی اوپن سورس بسیار تقویت شده است (با پایان یافتن لایسنس ثبت اختراع «اسکات کرامپ» در اواخر دهه 2000 تکنولوژی ساخت آن منبع باز شده است). چاپگرهای سه بعدی صنعتی FDM نیز در بین حرفه ای های دنیای مهندسی بسیار محبوب هستند.

3DPE.ir academy



مزایای FDM

FDM با مجموعه ای از ترموپلاستیکهای استاندارد مانند ABS، PLA، PETG، Nylon، TPU و ترکیبات مختلف دیگری کار می کند که منجر به قیمت پایین ورودی مواد می شود. FDM به بهترین وجه با مدل‌های اثبات مفهوم اولیه (پروتوتایپ) و ساخت کم هزینه قطعات ساده تا پیچیده مطابقت دارد. از دیگر مزایای آن در دسترس بودن برای همه افراد از کاربران خانگی تا متخصصان حرفه ایست زیرا کار کردن با آن راحت است.

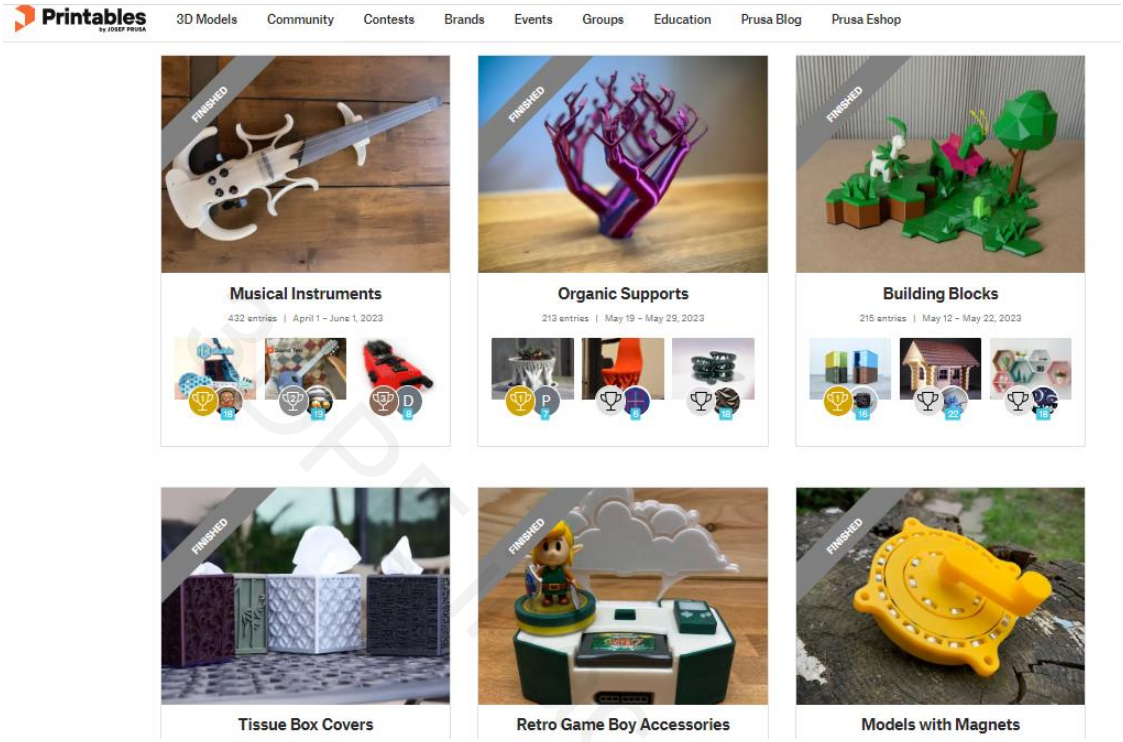
معایب FDM

FDM وضوح و دقت کمتری را در مقایسه با سایر فناوری های چاپ سه بعدی صنعتی مانند SLA یا SLS دارد، به این معنی که بهترین گزینه برای چاپ هندسه های بسیار پیچیده، بلند و باریک یا قطعات کوچک با ظرایف سطح بالا نیست. پرداخت‌های با کیفیت بالاتر

نیازمند فرآیندهای صیقل‌کاری شیمیایی و مکانیکی جداگانه دارند. امروزه نسل جدید پرینترهای سه بعدی FDM صنعتی از ساختار پیشرفته برای کاهش این مشکلات و ارائه طیف وسیعتری از ترموپلاستیکهای مهندسی استفاده می کنند، اما قیمت بالایی نیز دارند. در قطعات خیلی بزرگ، چاپ FDM کند است.

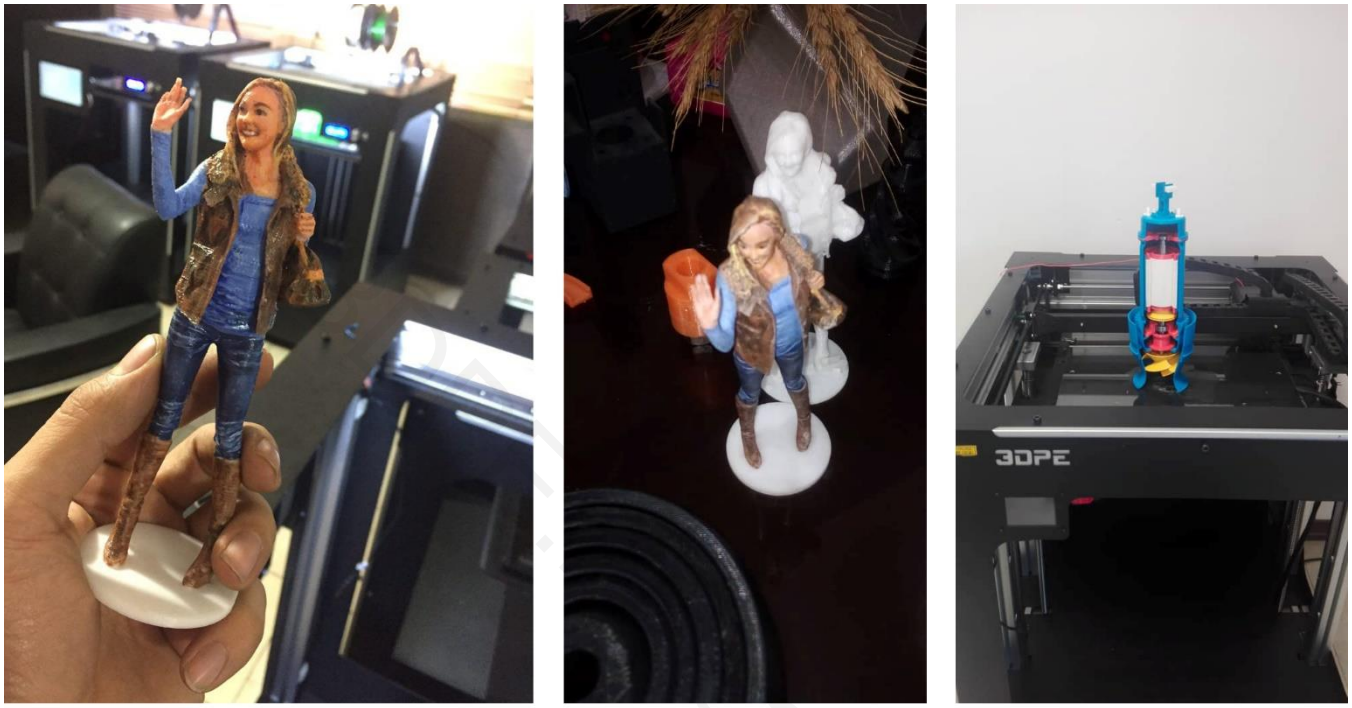
با توجه به شرایط بازار ایران، بهترین و ارزانترین انتخاب برای اکثر مشاغل کوچک تا بزرگ، مهندسان حرفه ای و کاربران خانگی استفاده از چاپگرهای FDM است (ترجیحا ساخت داخل ایران به شرط اینکه کیفیت مونتاژ مناسبی داشته و دارای خدمات پس از فروش معتبر باشند - راهنمای خرید پرینتر سه بعدی در ایران).

قطعه سمت راست با SLA و قطعه سمت چپ با FDM پرینت سه بعدی شده است. به زبری لایه ها در سطح شیب دار قطعه چپ دقت کنید؛ برای دستیابی به بهترین کیفیت سطح پرینت، هر دو تکنیک SLA و FDM نیاز به فرآیندهای پولیشینگ جداگانه دارند.



به کمک جامعه کاربران اوپن سورس سراسر دنیا، دهها مخزن آنلاین مدل سه بعدی مختص پرینتر FDM ایجاد شده است. تنوع این مدلها بالاست و به هزاران فایل سه بعدی بسیار جذاب دسترسی دارید؛ کافیست این مدلها را دانلود، در نرم افزار چاپگر پردازش کرده تا نهایتا پرینتر سه بعدی ترموپلاستیک (FDM) آنها را روی میز کارتان بسازد.

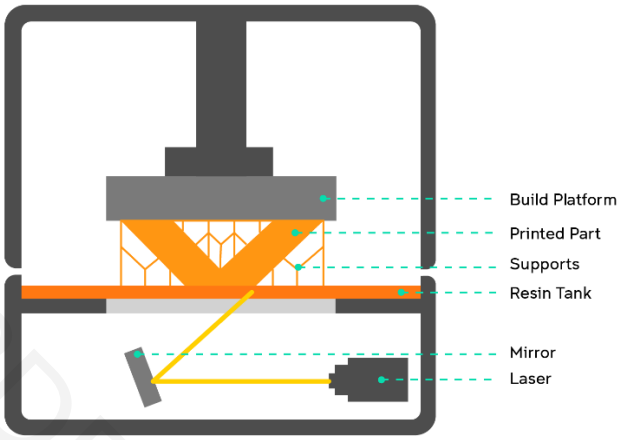
| لیست برترین وبسایتهای رایگان مدل سه بعدی | کالکشن مدل سه بعدی 3DPE |



چاپگرهای سه بعدی
3DPE
توسعه گران بعد سوم

نمونه کارهای چاپگر سه بعدی صنعتی Founder2X / فناوری FDM (متریال ترموپلاستیک)

کاتالوگ چاپگرهای سه بعدی توسعه گران بعد سوم >>



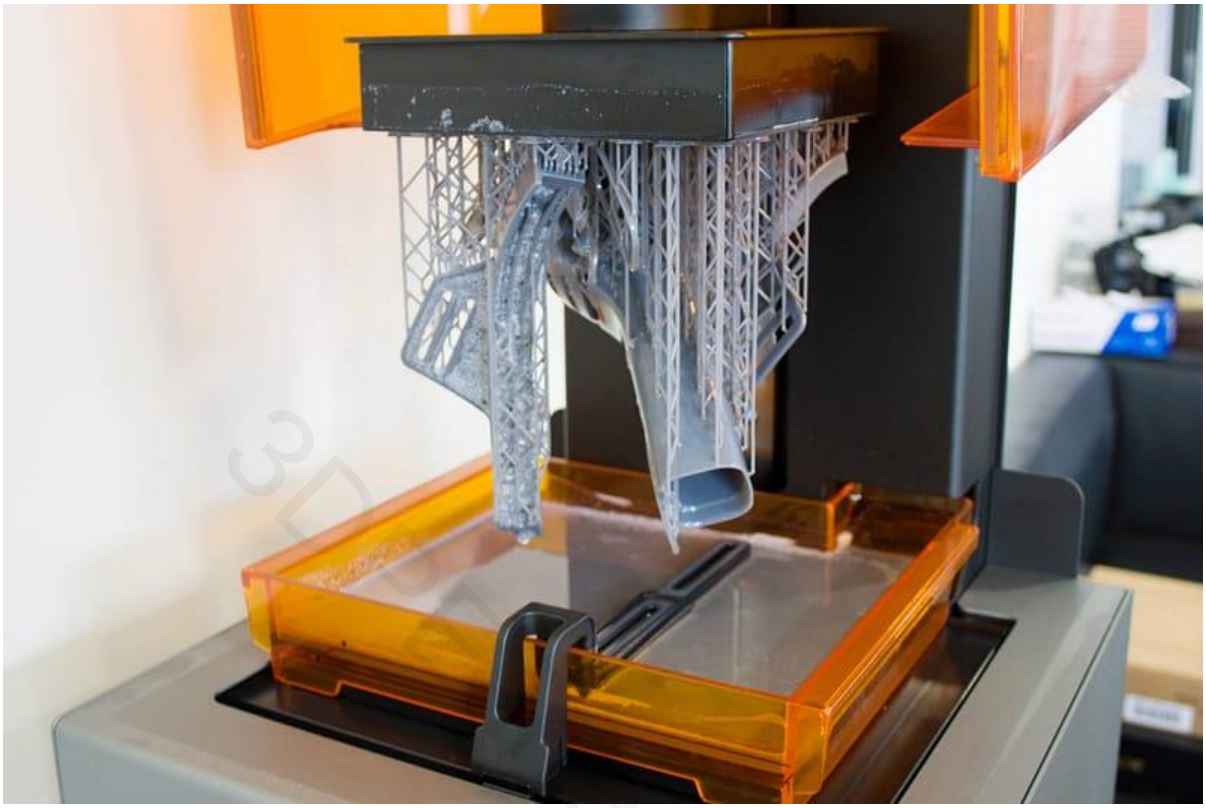
2. استریولیتوگرافی (SLA)

معرفی پرینترهای سه بعدی SLA / DLP

چاپگرهای SLA: Stereolithography از لیزر برای تبدیل رزین مایع به پلاستیک سخت شده در فرآیندی به نام فوتوپلیمریزاسیون استفاده می کنند. SLA به دلیل وضوح بسیار بالا، دقت و تطبیق پذیری مواد، محبوب ترین روش در بین متخصصان است. در پلتفرمهای قدیمی این تکنیک، بستر رو به پایین حرکت میکرد ولی در نسل جدید، بستر به سمت بالا حرکت کرده و قطعه وارونه ساخته میشود که خطای پرینت و مصرف متریال را کمتر می کند.

مثال: قبلاً فناوری SLA فقط در پرینترهای سه بعدی صنعتی بزرگ و پیچیده که بیش از 200.000 دلار قیمت داشتند در دسترس بود (اولین نسل دستگاهها توسط بنیانگذار شرکت 3D Systems بنام چاک هال که سال 1986 این فناوری را در آمریکا ثبت اختراع کرده بود، عرضه تجاری شدند). اما حالا این فرآیند بسیار در دسترس شده است. مثلا با چاپگر آمریکایی Formlabs Form 3، کسب و کارها اکنون به SLA با کیفیت صنعتی تنها با 3.750 دلار دسترسی دارند. ماشین فرمت بزرگ Form 3L فقط از 11.000 دلار شروع می شود. همچنین دستگاههای ارزانتر اروپایی، چینی یا تایوانی هم در بازار هستند.

3DPE.ir academy



مزایای SLA

قطعات SLA بالاترین وضوح، شفاف‌ترین جزئیات و صاف‌ترین سطح را در میان تمام فناوری‌های چاپ سه بعدی حوزه پلاستیک دارند. مزیت اصلی SLA در تطبیق پذیری آن نهفته است. فرمول‌های رزین SLA طیف وسیعی از خواص نوری، مکانیکی و حرارتی را برای مطابقت با ترموپلاستیک‌های استاندارد، مهندسی و صنعتی ارائه می‌دهند.

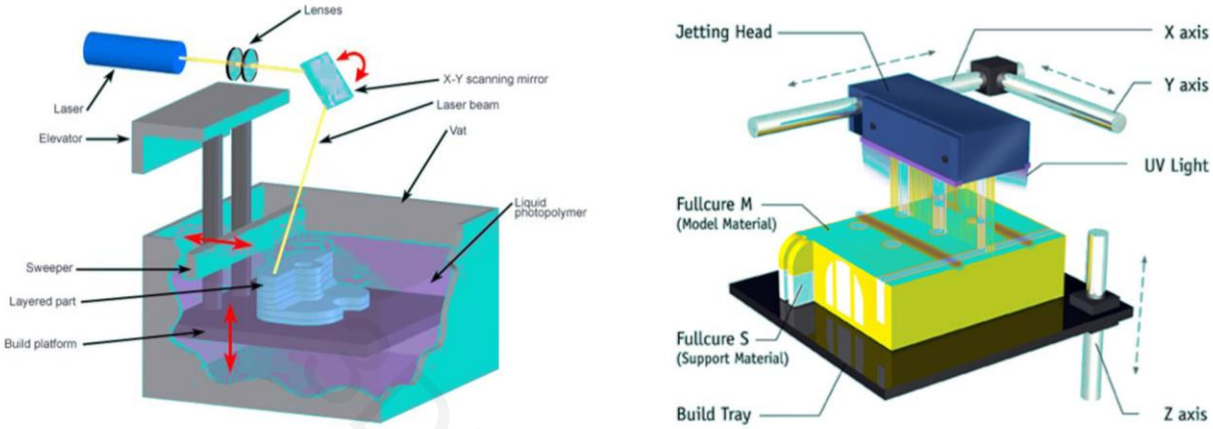
SLA یک گزینه عالی برای نمونه های اولیه بسیار دقیق است که به تحمل محکم و سطوح صاف و همچنین قالبها، ابزار، الگوها، مدلهای پزشکی و قطعات کاربردی نیاز دارند. همچنین موادی را با بالاترین دمای انحراف حرارتی 238 درجه سانتیگراد ارائه می دهد - که آنرا به یک انتخاب ایده آل برای کاربردهای مهندسی و تولید خاص تبدیل می کند - همچنین وسیع ترین انتخاب مواد زیست سازگار برای کاربردهای دندانپزشکی و پزشکی را دارد.

معایب SLA

SLA در مقایسه با FDM بسیار هزینه بر است (اگرچه هنوز هم نسبت به سایر فرآیندهای چاپ سه بعدی صنعتی پیشرفته تر که در ادامه توضیح میدهیم، مقرون بصرفه مانده). ولی بطور کلی هزینه خرید متریال رزین، نگهداری و سرویس دوره ای دستگاه در حد بسیار زیادی بالاست (منظورمان در شرایط فعلی بازار ایران می باشد). کار با فناوری SLA پیچیده بوده و فقط اپراتورهای ماهر بر آن مسلط میشوند زیرا اشتباه در پیکربندی پرینت یک قطعه، سبب ایجاد خطا در اواسط فرآیند و اتلاف کل متریال گران رزین ریخته شده در سینک دستگاه می گردد. قطعات رزین SLA پس از پرینت، نیاز به پرداختکاری جداگانه دارند که شامل شستشوی قطعات و کیورینگ می شود.

نکته: دو فناوری DLP و LCD مشابه فرایند SLA متریال رزین را استفاده می کنند ولی بجای تابنده گران لیزر از پرژکتور نوری یا نمایشگر تخت بهره میبرند که قیمت مناسبتر و سرعت بالاتر ولی دقت کمتری ارائه می نمایند.

3DPE.ir/academy



مقایسه پرینت PolyJet (سمت راست) و SLA (سمت چپ)

3. پلی جت (PolyJet)

3dpe.ir/what-is-polyjet-3d-printing

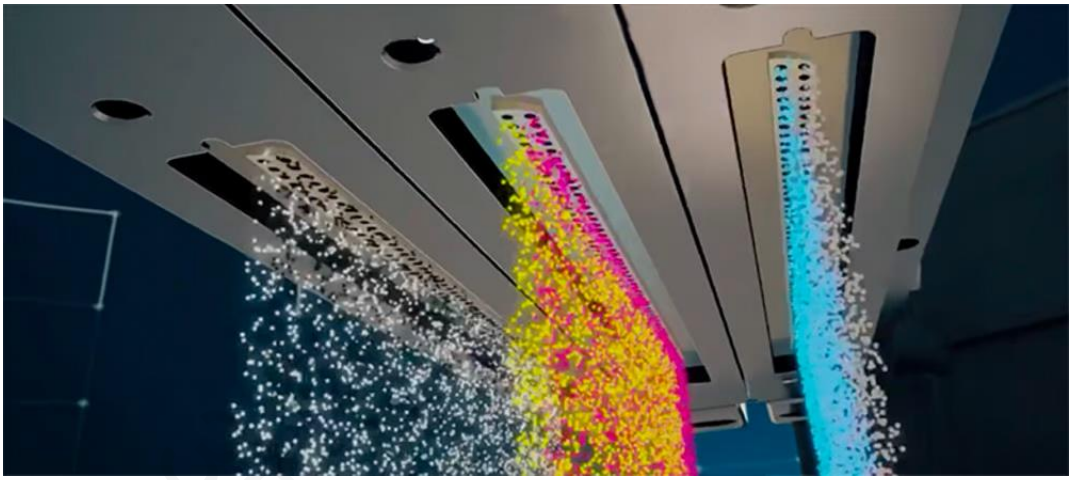
PolyJet نام تجاری نوع خاصی از روش پرتاب مواد (Material Jet) است و اولین بار توسط کمپانی Stratasys مستقر در ایالات متحده و فلسطین اِشغالی ابداع شده است (بنیانگذار استراتاسیس، مخترع فناوری FDM نیز هست). پلی جت دارای چندین ویژگی منحصربفرد است که آنرا از سایر فرآیندها برتر می کند؛ متمایزترین، البته، رنگ پذیری کامل و شگفت انگیز آنست.

فناوری PolyJet بخاطر واقع گرایی برجسته و زیبایی نفس گیرش، مشهور شده است. این فناوری ترکیب فناوری چاپگرهای جوهر افشان و چاپگرهای SLA است، اما بجای پاشش جوهر، یک هد نازل، انواع فتوپلیمرهای مایع را روی سینی ساخت پرتاب می کند که در یک فلاش نور UV خشک می شود.

با نگاهی به عکس محصولات حاصل از PolyJet شاید تصور کنید این عکس‌ها روتوش یا قطعات بعدا رنگ‌آمیزی شده‌اند؛ اما باور کنید که اکثر این قطعات، پس از برداشتن از درون چاپگر و سمباده لایه‌های موقت پشتیبان، با چنین کیفیت و رنگ خیره کننده ای خارج می‌شوند.

هر چاپگر سه بعدی PolyJet رزولوشن عالی، سطوح صاف و جزئیات بسیار ظریف را ارائه می دهد (مشابه کیفیت روش تزریق قالب). با عرضه انواع فتوپلیمرها، پیچیده‌ترین ماشینهای PolyJet می‌توانند همه چیز از پروتوتایپهای معماری یا صنعتی تا بافت رنگی انسانی را در حالت سخت، مقاوم، نرم، انعطاف پذیر، ضد حرارت، ضد آب و ... شبیه‌سازی کنند. اکنون قادرید نمونه‌های اولیه ای با هندسه بسیار پیچیده یا مدل‌ها، بافت‌ها و الگوهایی ایجاد کنید که جزئیات فوق‌العاده‌ای دارند و با 1000 گزینه رنگ و دهها نوع ترکیب شیمیایی مواد برای انتخاب، میتوانید ویژگی‌ها و زیبایی‌شناسی متنوعی را در اختیار داشته باشید.

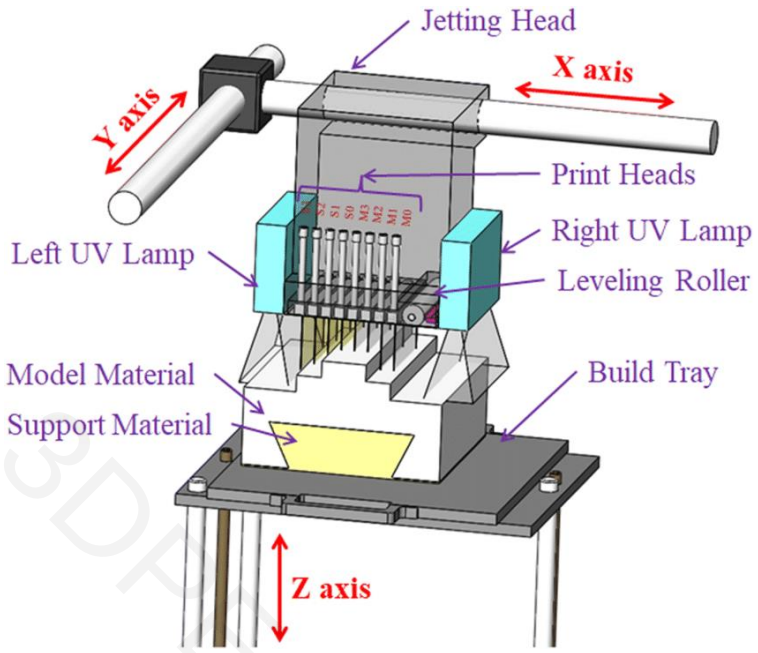
اما قدرت PolyJet فقط منحصر به تمام رنگی بودن یا شفافیت کامل نیست؛ این فناوری، انتخاب ایده آلی برای قطعات صنعتی پیچیده و محصولات زیست سازگار دندانپزشکی با ویژگیهای خاص هست.



چاپگرهای سه بعدی PolyJet شرکت Stratasys ، قطرات ریز رزین را رسوب می دهند که فوراً در زیر نور UV جامد می شوند تا لایه به لایه روی هم قرار بگیرند.

تکنولوژی اولین چاپگری که قطرات فوتوپلیمر را پرتاب و با نور UV پرداخت می کرد توسط شرکتی بنام Objet-Geometries در سال 2000 ساخته شد و آنرا PolyJet نامیدند. در سال 2011، Stratasys این شرکت را تصاحب کرد و فناوری را ارتقا و امکانات کاربردی آنرا گسترش داد. حالا استراتا، چندین نوع ماشین PolyJet جدید راه اندازی کرده است. در حال حاضر 16 مدل چاپگر PolyJet در خانواده محصولات کمپانی Stratasys وجود دارد. کمپانی ژاپنی Mimaki و برند آلمانی Agil نیز سازنده دو محصول پلی جت هستند.

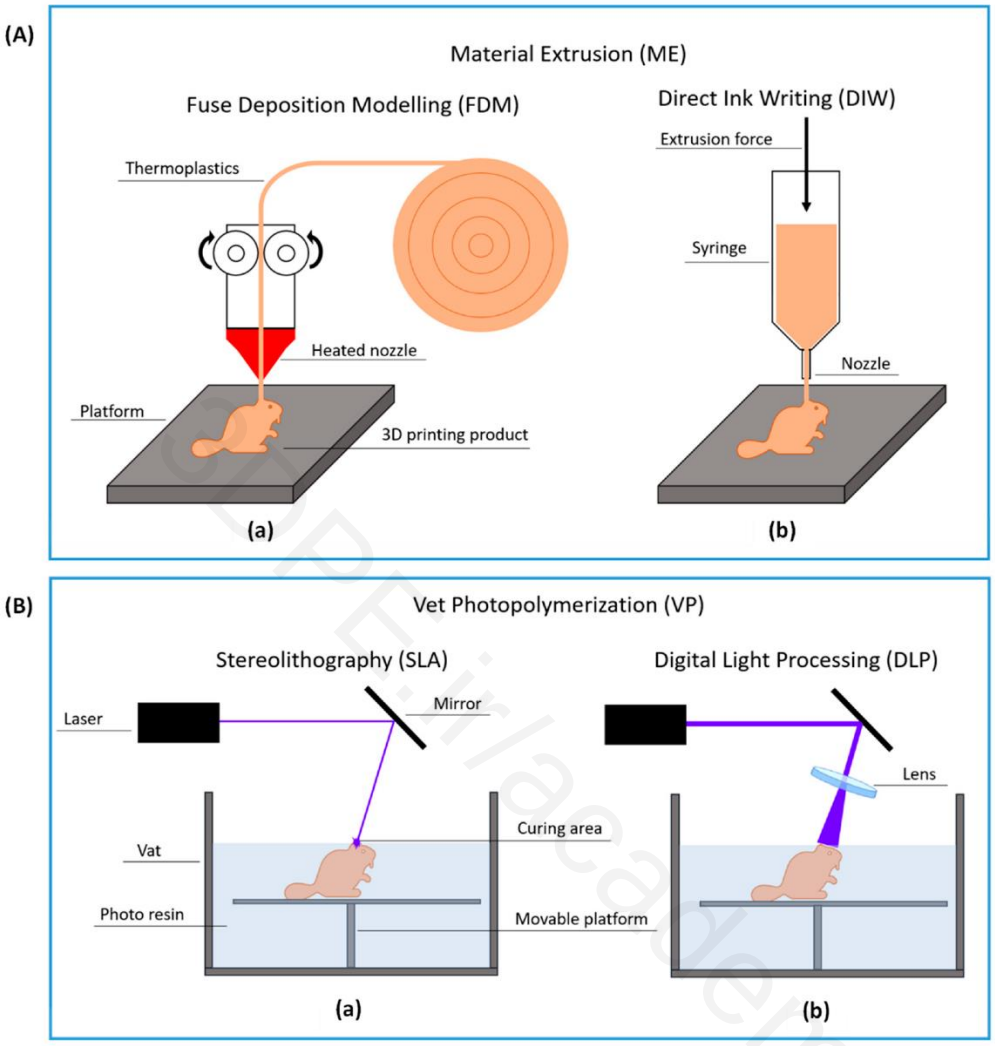
تعداد انگشت شماری از فرآیندهای پرینت سه بعدی تمام رنگی و چند ماده ای یا کاملا شفاف در بازار وجود دارد که PolyJet محبوبترین آنهاست. در کشورهای پیشرفته، این تکنیک توسط دهها دفتر خدمات چاپ سه بعدی ارائه می شود و بعنوان دقیقترین روش ساخت نمونه های اولیه تمام رنگی محصولات صنعتی، معماری و علوم پزشکی استفاده می گردد.



PolyJet در دسته فناوری چاپ سه بعدی متریال جت (MJ) قرار می گیرد: مواد (معمولاً رزین مایع) از مجموعه ای از نازلها بر روی یک سطح رسوب می کنند یا "پرتاب می شوند". پلی جت، هزاران قطره مواد را در یک زمان و بطور دقیق بر اساس مدل دیجیتالی فایل آپلود شده در چاپگر پرتاب می کند.

اگرچه همه پرینترهای PolyJet رنگی نیستند، اما ماشینهایی هم هستند که می توانند بیش از نیم میلیون رنگ منحصربفرد ایجاد کنند؛ در نتیجه ساخت اشیایی بسیار واقعی، از جمله پروتزهای مصنوعی پوشیدنی و نمونه های اولیه (پروتوتایپ) رنگی ممکن شده است. سطح جزئیات دقیق توسط لایه گذاری بسیار ریزی بدست می آید؛ به اندازه 16 میکرون (0.0006 اینچ)، اما معمولاً در محدوده 14 تا 55 میکرون است (با گسترش این تکنیک، دقت آن بهتر هم خواهد شد).

معایب پلی جت: محدودیت سازندگان، هزینه بالای دستگاهها و متریال، هزینه پشتیبانی پریمیوم اجباری شرکت سازنده، عامل بازدارنده قابل توجهی است. همچنین درصورتیکه متریال مناسب و پیکربندی اصولی چاپ بر اساس هدف کارکرد اعمال نشود، قطعات پس از مدتی رنگ یا خواص عملکردی خود را از دست خواهند داد.



مقایسه فناوری GDP با روشهای FDM- SLA-DLP

4. چاپ ژل توزیع شونده یا GDP (Gel Dispensing Printing / Gel-based 3d Printing)

3dpe.ir/what-is-gdp-gel-dispensing-3d-printing

روش پرینت سریع مایع در سوسپانسیون ژل برای ساخت قطعات بسیار بزرگ، آخرین فناوری هیجان انگیز حوزه 3D Print است. فناوریهای پرینت سه بعدی در سالهای اخیر بسیار پیشرفت کرده اند، اما چیزی که نسبتا ثابت مانده، اندازه قطعات چاپ شده میباشد. ساخت مقیاس بزرگ برای کاربردهای مهندسی و طراحی اکنون به لطف فناوری جدید چاپ ژل توزیع کننده (GDP) امکان پذیر است.

در این تکنیک نوعی رزین فتوپلیمری بسرعت با تابش UV درمان می شود و می تواند قطعات بزرگ و بدون نیاز به ساختار نگهدارنده ایجاد کند.

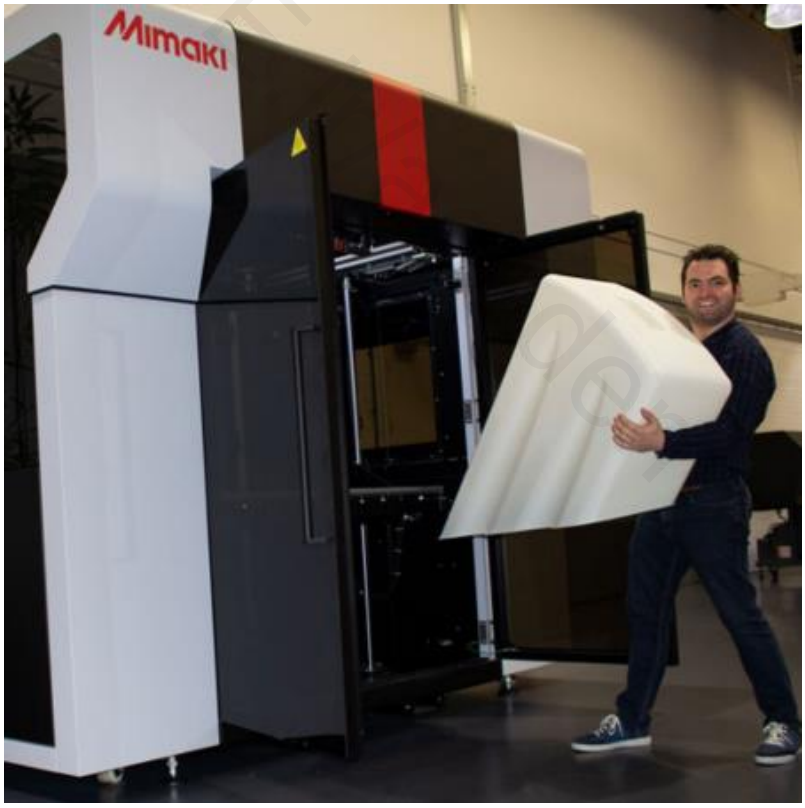
GDP فناوری ابداعی شرکت Massivit 3D (متعلق به رژیم صهیونیستی) است که چاپگر و نرم افزار مربوط به خود را تولید می نماید (شرکت ژاپنی Mimaki نیز محصول Mimaki 3DGD-1800 را بر پایه این فناوری با همکاری ماسیویت، تجاری کرده است). ماشین Massivit 3D 1800 این کمپانی، می‌تواند مدل‌های واقعا حجیم را تا اندازه‌های 5.9*4.9*3.7 اینچ (1.8*1.45*1.1 متر) چاپ کند؛ یعنی به اندازه کافی بزرگ برای چاپ یکپارچه تندیس انسان با قد متوسط در مقیاس کامل (برای درک این موضوع، بزرگترین پرینترهای تکنیک FDM در ارتفاع ساخت کمتر از 5 اینچ قرار دارند). خب، البته مزیت فناوری GDP فقط حجم ساخت عظیم آن نیست؛ نقطه قوت واقعی این فناوری، سرعت چشمگیر آن است.

ماشین Massivit GDP 1800 Pro : ساخت آمریکا و اسرائیل - این قطعه عظیم یک تکه با دقت سطح عالی تنها در 8 ساعت پرینت شده است.

فناوری پرینت سه بعدی GDP چگونه کار می کند؟

شبیه روش مدلسازی رسوب ذوب شده (FDM) اما کاملاً متفاوت. FDM از متریال رشته فیلامنت جامد (فرمولاسیون ترموپلاستیک) استفاده می کند که ذوب شده و سپس از یک نازل اکسترود می شود (نیمه جامد تا بعدا سخت شود)، ولی فرآیند GDP از نوعی ژل مبتنی بر رزین فتوپلیمری استفاده می کند و برای اکستروژن نیازی به ذوب یا حرارت دادن ژل نیست.

رزین ژل قابل درمان با اشعه ماوراء بنفش اختصاصی Massivit 3D که Dimengel نام دارد، توسط یک توزیع کننده با هندسه مارپیچ در حالت پرفشار از نازل اکسترود می شود. ژل لایه به لایه از سر توزیع، اکسترود می شود (دقیقاً مانند پلاستیک ذوب شده فناوری FDM). هنگام اکسترود، ویسکوزیته ژل برای اطمینان از چسبندگی و اتصال، توسط نرم افزار در حالتهای متفاوت تنظیم میشود. الای‌دی‌های UV که در اطراف سر توزیع‌کننده چسبانده شده‌اند، ژل را فوری درمان (Cure) می‌کنند و نیاز به ساختارهای پرکنندگی و بافت نگهدارنده (که چالش بزرگ فناوریهای چاپ سه بعدی هستند) را برطرف می کند. این ویژگی میتواند بسرعت قطعات چاپی قوی و بسیار بزرگ ایجاد کند.



ماشین Mimaki 3DGD-1800 ساخت ژاپن

متریال Dimengel در دو ترکیب Dimengel-100 (DIM-100) و Dimengel-90 (DIM-90) ارائه می شود. DIM 100 یک ژل اکریلیک فتوپلیمری است که هنگام پخت دارای سختی ساحلی در مقیاس D80-85 (مشابه سختی کلاههای ایمنی کارگران کارخانه) و به رنگ شفاف است. DIM 90 مشتق شده از DIM-100 است. برخلاف دیم-100، DIM-90 نمی تواند طیف رنگ روشن داشته باشد.

نرم افزار اسلایسینگ SMART Massivit 3D اجازه می دهد تا ضخامت و وضوح دیوار در طول چاپ متفاوت باشد. SMART یک نرم افزار اختصاصی یکپارچه است که فرمتهای obj و stl را برای ماشین Massivit بهینه می کند. الگوریتم‌های بافت نگهدارنده میکرو، امکان تولید مدل‌های توخالی با زوایای عمودی را فراهم می‌کند تا ضایعات مواد و ساختارهای نگهدارنده به حداقل برسند. سری چاپگرهای سه بعدی Massivit دارای دابل اکستروژن هم هستند. SMART می تواند از هدهای دوگانه برای چاپ همزمان چندین قسمت استفاده کند، بنابراین در زمان چاپ صرفه جویی می گردد.

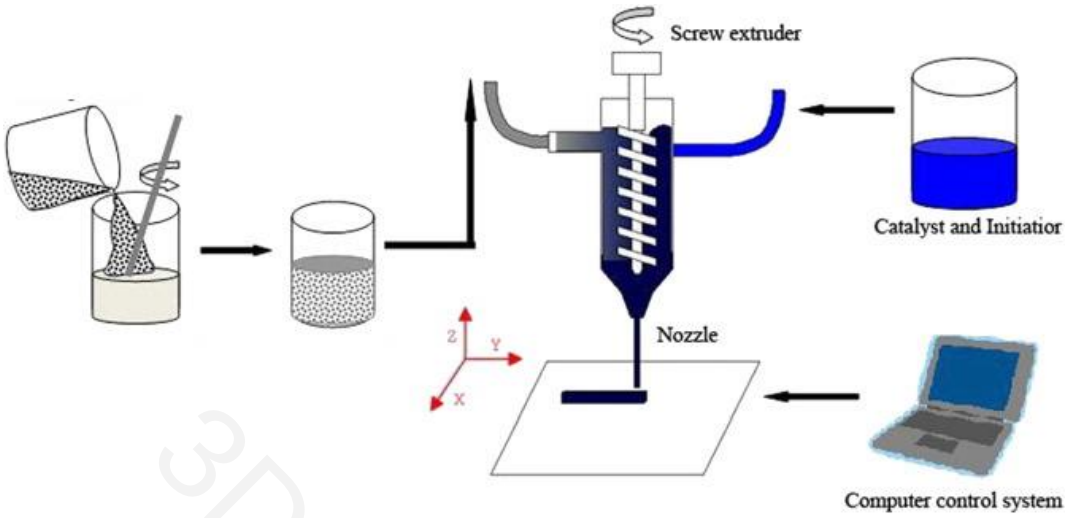
ماشین Gel Dispensing Printing 3DGD-1800 میماکی ساخت ژاپن میتواند این مجسمه 1.8 متری را در 7 ساعت با جزییات سطح خوب پرینت کند؛ یعنی سه برابر سریعتر از تکنیک FDM.

بررسی چند دستگاه چاپگر سه بعدی GDP

محصول پرچمدار، Massivit 3D 1800، دارای حجم ساخت 5.9*4.9*3.7 اینچ (1.8*1.45*1.1 متر) و تک سر توزیع است. رزولوشن از ضخامت لایه 0.8 میلیمتر، 1.0 میلیمتر و 1.3 میلیمتر متغیر است. سرعت بالایی دارند یعنی می تواند بصورت عمودی، 14 اینچ (35.56 سانتیمتر) در ساعت روی محور Z چاپ کند. محصول Massivit 3D1800 Pro مجهز به یک سر دوگانه است و وضوح لایه متغیر را امکان پذیر می کند. محصول مشابه دیگر متعلق به شرکت ژاپنی میماکی است – Mimaki 3DGD-1800 – مشخصات دستگاه عبارتند از:

Manufacturer: Mimaki Offer type: Industrial Country: Japan Materials: Photopolymers Technology: Material Jetting Assembled: Plug & Play Dimensions: 3000×2200×2800mm (118.11×86.61×110.24 in.) Weight: 2500 kg / 5,511.6 lbs Nozzle diameter: 1.8 mm (0.0709 in.)	Min. print thickness: 1.3 µm Print speed: n.a. Max. volume: 1450×1110×1800mm (0.00cm3) File format: .stl, .obj, .3ds Software: Layout software Connectivity: Ethernet Compatible OS: Windows Power: 3x25A, 380-400 VAC ±10% Other features: Auto-Leveling, Closed Chamber, Double Extruder, Touchscreen

3DPE.ir/academy



ساختار عملکردی چاپگر سه بعدی GDP

مزایای Gel Dispensing Printing:

چاپ فوتوپلیمر رزین بر پایه ژل کاربردهای بسیاری در صنعت و معماری دارد. ایجاد قالبهای صنعتی بزرگ با دقت سطح خوب در کمترین زمان ممکن، ایجاد ماکتهای معماری بزرگ، ساخت پروتوتایپهای مبلمان و دیوار نما با سرعت بالا در یک شات چاپ واقعا هیجان انگیز است.

معایب Gel Dispensing Printing:

هزینه زیاد خرید دستگاه و ماده مصرفی آن، تنوع مواد کمتر (مثلا نسبت به SLA)، مخارج بالای سرویسکاری سالیانه، پیچیدگی استفاده و جدید بودن آن در بازار ؛ استفاده از این فناوری را فقط برای سازمانهای بزرگ با بودجه خوب، توجیه پذیر کرده است.

3DPE.ir academy

5. فتوپلیمریزاسیون برنامه ریزی شده یا P3 (Programmable Photopolymerization):

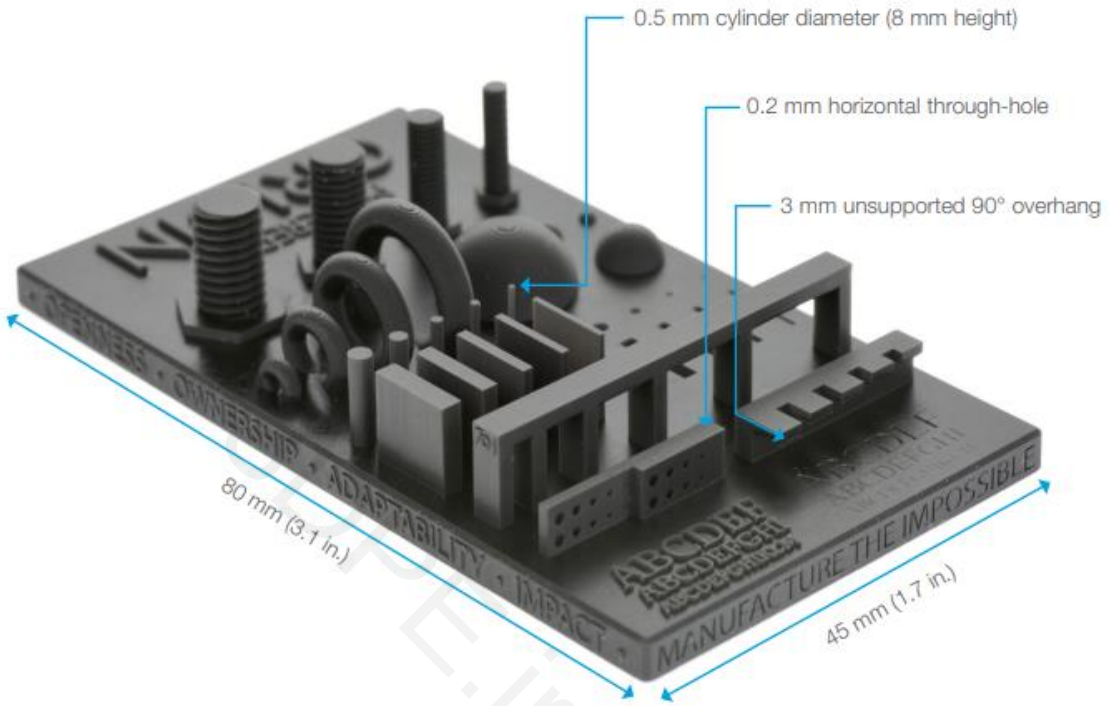
فناوری PhotoPolymerization P3 فناوری ابتکاری کمپانی StrataSYS از نوعی فرآیند پلیمریزاسیون vat حاصل تکامل پردازش نور دیجیتال (DLP) استفاده می کند. (در پرینترDLP؛ بر خلاف روش استریولیتوگرافی لیزری SLA از پروژکتور نوری استفاده می شود). فناوری «پی 3» قابلیت برنامه ریزی بالایی داشته و میتواند برای تولید انبوه قطعات کاربرد نهایی در سری کم با کیفیت سطح مشابه تزریق قالبی و CNC بکار رود.

چه چیزی P3 را منحصر بفرد می کند؟

نرم افزار P3 با استفاده از الگوریتم هوش مصنوعی سبک و پیشرفته 4K؛ نور، دما، نیروهای کششی و پنوماتیک را طوری تنظیم می کند که چاپ در بهترین حالت ممکن بهینه شود، بنابراین یکی از بالاترین رزولوشنها بین تمام فناوریهای چاپ سه بعدی جهان را ارئه می کند: یعنی دقت لایه ای به کوچکی 0.0002 اینچ تولید می نماید که منجر به سطح بسیار صاف و زیبا بدون نیاز به پرداخت ثانویه، سنباده کاری، رنگ آمیزی یا پردازش اضافی می گردد.

تکنیک فتوپولیمریزاسیون هوشمند رزین، ترکیبی از چندین مرحله کاملاً کنترل شده است که مزایای چاپ DLP را گسترش میدهد و از نسل بعدی پرینت با فوتوپلیمرها پشتیبانی می کند. ترکیب قدرتمند فناوری بهتر از SLA، مواد عملکردی و اندازه ساخت بزرگتر، کاربردهای بیشماری ایجاد می کند. متریال قابل استفاده در فناوری «پی 3» میتواند عمومی، مقاوم به گرما، سخت، منعطف، الاستومر و ... باشد.

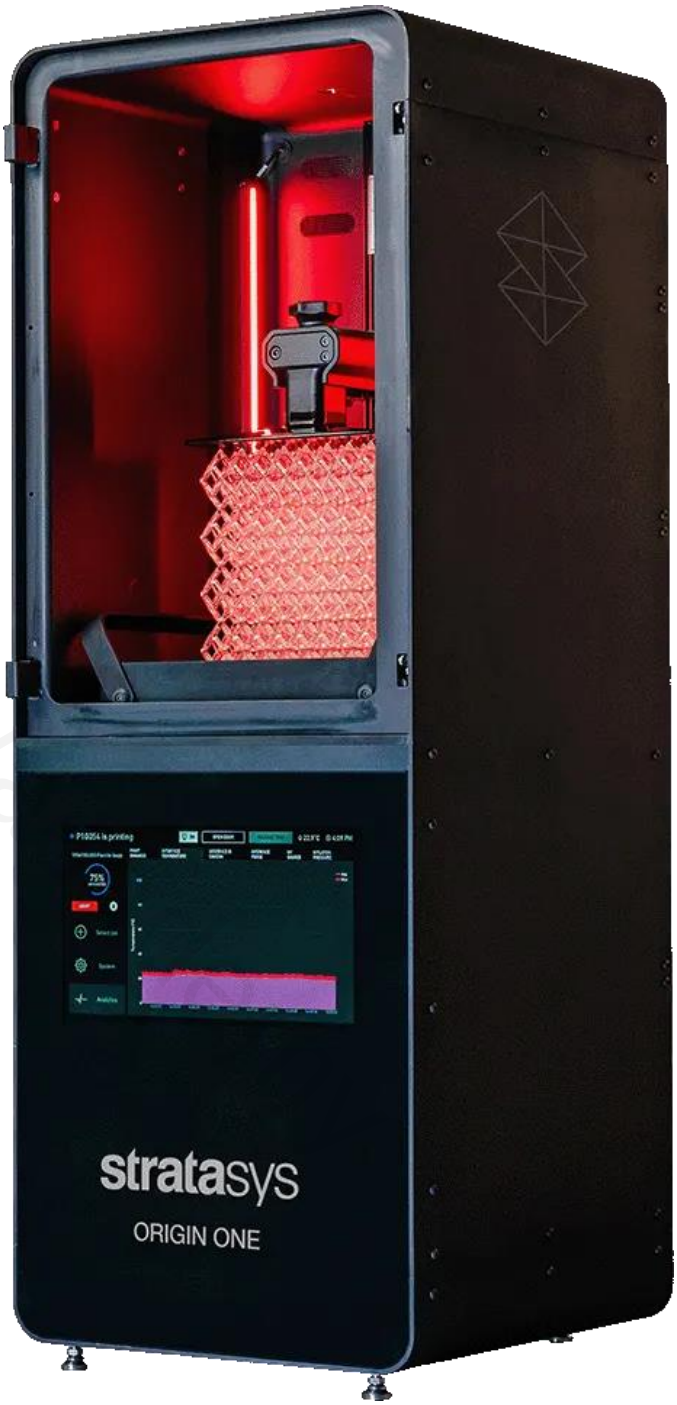
3DPE.ir/academy



کیفیت سطح بسیار بالا و جزییات پیچیده قطعه پرینت شده با فناوری P3

تفاوت بین P3 و Stereolithography (SLA) چیست؟

هر دو فناوری برای پردازش رزین مایع به واکنش نوری متکی هستند، اما P3 این مزیت را دارد که از یک موتور نوری رزولوشن 4K برای پخت رزین به جای لیزر تک نقطه‌ای استریولیتوگرافی استفاده می‌کند که منجر به زمان چاپ بسیار سریع‌تر و کیفیت سطح بسیار بهتر می‌شود.



حداکثر اندازه قطعه قابل ساخت در فناوری پی3 چقدر است؟

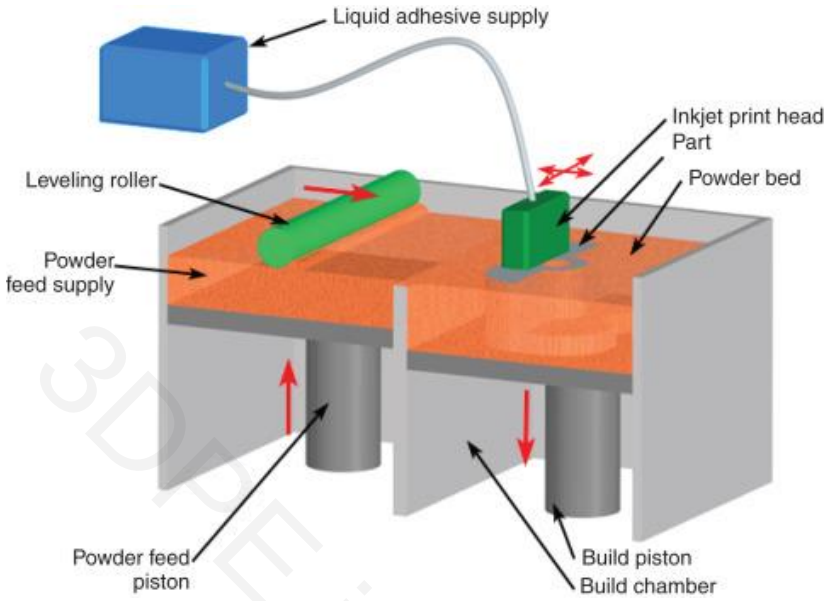
حداکثر اندازه توصیه شده معادل 12*4.25*7.5 اینچ یا 190.5*107.5*304.8 میلیمتر است.

مزیت P3:

با پرینت «پی3» ، تولید کنندگان می توانند سری قطعات تعداد کم تا متوسط را با کیفیتی مشابه روش قالب گیری تزریقی و برش سی ان سی در هزینه مناسبتری بسازند- دسترسی به طیف گسترده ای از مواد درجه تجاری با مدول بالا ، استحکام ضربه و مقاومت در برابر حرارت زیاد و موارد دیگر.

محدویت P3:

هزینه زیاد بعلت لایسنس جدید آن که در انحصار شرکت استراتاسیس می باشد.

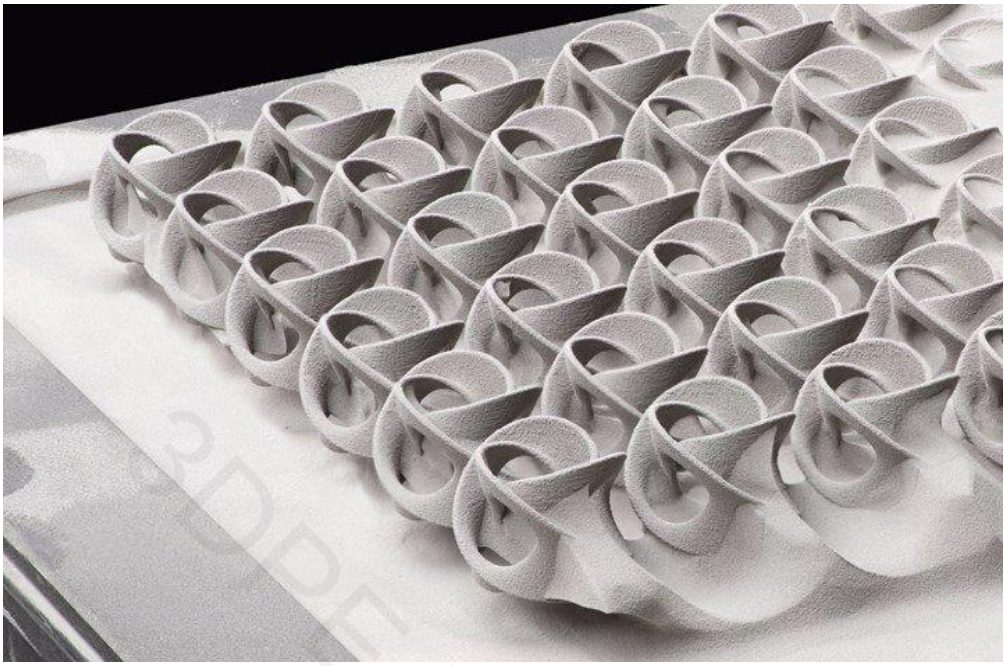


جت کردن مواد (Drop on Demand) Material Jetting / ذوب بستر پودر Power Bed Fusion:

معرفی روشهای لایه افزایشی متریال جت

پرینترهای سه بعدی پرتاب کننده مواد از یک هد چاپی، مشابه هد چاپگرهای جوهرافشان، برای رسوب دادن (اسپری) مواد فوتوپلیمری یا مواد جاذب حرارت بستر پودر که در زیر نور فرابنفش، لیزر، تابش گرما و ... سخت می‌شوند، استفاده می‌کنند. برخی از پرینترهای پرتاب کننده مواد پیشرفته می توانند قطعاتی را از چندین ماده ایجاد کنند. از تکنیکهای متریال جت میتوان به پلی جت، بایندرجت، مولتی جت فیوژن،SAF، NanoXJet، HSS و غیره نام برد.

در تمامی تکنیکهای بستر پودری، قطعه خام ساخته شده باید در فرآیند پولیش باد پرفشار قرار گیرد تا ذرات اضافه حذف شوند. همچنین معمولا نیاز به مراحل جداگانه حرارت دهی کوره ای برای دستیابی به بالاترین میزان سختی را دارند.

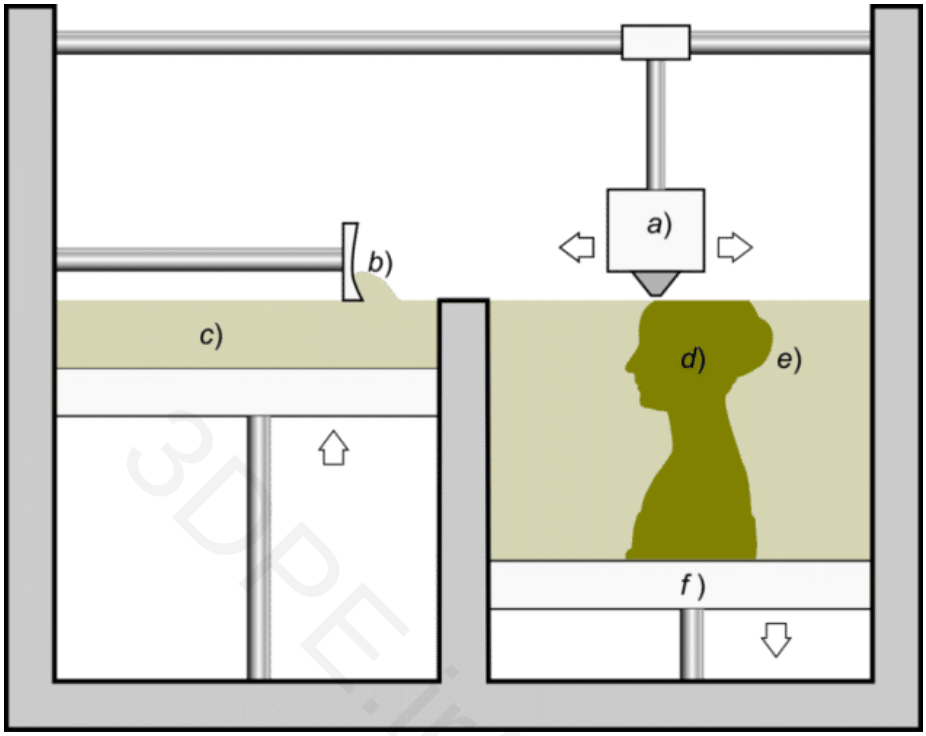


مزایای چاپگرهای سه بعدی متریال جتینگ

جت کردن مواد منجر به محصول نهایی دقیق می شود. دقت کلی، همراه با این واقعیت که یکی از تنها فرآیندهای ساخت افزایشی است که چاپ چند ماده ای و تمام رنگی را ارائه می دهد، آنرا به گزینه ای ایده آل برای نمونه های اولیه واقعی، مانند پروتوتایپ تمام رنگی یا مدلهای آناتومیکی تبدیل می کند.

معایب پرینترهای3بعدی متریال جتینگ

چاپگرهای جت معمولا با موادی کار می کنند که ویسکوزیته پایینی دارند که گزینه های متریالی را محدود می کند. محصولات نهایی معمولا کمی شکننده، سطح کمی زبر، تا حدی حساس به نور یا گرما هستند. زوال تدریجی آنها باعث می شود که بعنوان نمونه های کاربردی کمتر مناسب باشند. درحالیکه فرضا در پرینت سه بعدی رزینی SLA طیف وسیع تری از مواد کاربردی، از جمله رزین هایی که حاوی ذراتی مانند شیشه یا سرامیک هستند، ارائه می شود تا آنها را با خواص خاصی ترکیب کند.



6. پرتاب همبست شده یا BJ (Binder Jetting):

چاپگر سه بعدی بایندرجت چیست؟

بایندر جت، یک فناوری کاربردی متریال جت - بستر پودری است که بین صنعتگران بواسطه ویژگیهای استثنایی اش محبوب است. در تکنیک بایندرجتینگ، هیچ تابنده لیزری یا پرتو UV یا حرارت دهنده مشابه وجود ندارد؛ در عوض، مایع شیمیایی همبستی با توجه به مختصات مدل سه بعدی روی هر لایه بستر پودر پرتاب می گردد که باعث همبستگی و سخت شدن متریال پودر (هر زمان یک لایه) می‌گردد (در صورت نیاز اسپری مواد رنگی از نازلهای جوهر افشان نیز صورت می گیرد). اینکار تا پایان تکمیل مدل فیزیکی ادامه می‌یابد. سپس این قطعه خام (green state)، توسط دستگاه دمنده هوا تمیزکاری شده و برای تثبیت پیوند، افزایش استحکام، حذف خلل و فرخ داخلی تحت عملیاتهای ثانویه Infiltration و sintering (پالایش داخلی و همجوشی حرارتی) قرار می گیرد تا ماده چسبنده سوخته شده، ذرات در هم جوش خورده و منافذ داخلی حذف شوند. قطعات در این تکنیک میتواند پلیمری، سرامیکی، فلزی، شن (سیلیکا) قالبسازی، پودر سنگ ماسه و در حالت تک رنگ یا رنگی باشند. پارتهای بایندرجت غیرفلزی (اکثرا رنگی) با ابرچسبها تقویت شده و سپس توسط مواد اپوکسی درخشان میشوند.

دو نمونه قطعه حاصل از فناوری بایندرجت؛ برای ایجاد قطعه رنگی از نازلهای جوهرافشان حین ریزش ماده چسبنده استفاده میشود.

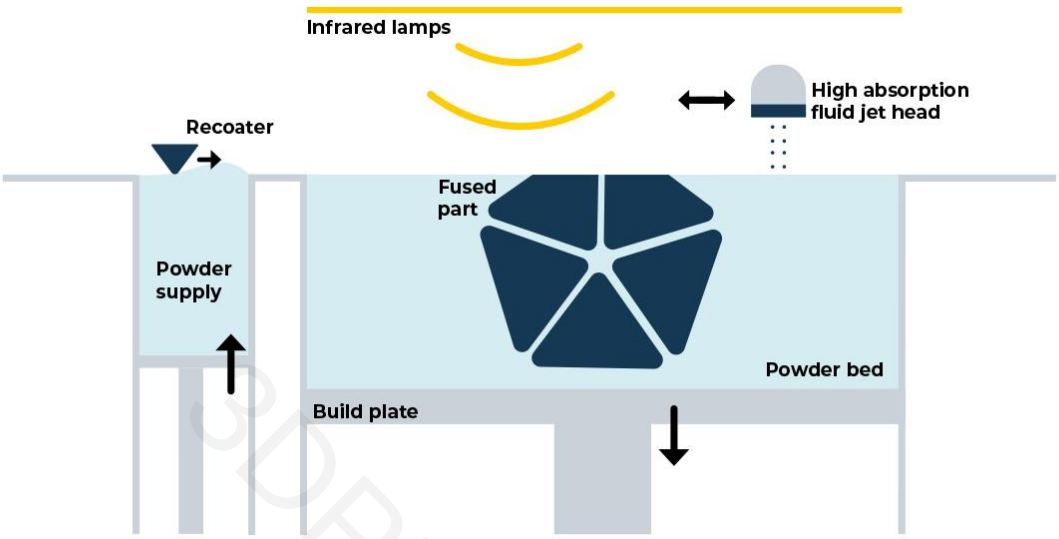
تکنیک BJ در انستیتو ماساچوست آمریکا (وابسته به دانشگاه MIT) توسعه یافته است. «امانوئل ایلای ساچز» در سال 1993 تکنیک ساخت لایه افزایشی بایندرجت را به کمک همکارش «مایک جِی سایما» در انجمن فناوری ماساچوست آمریکا ابداع کرد. در سال 1995 لایسنس تجاری آن به شرکت Z Corporation فروخته شد؛ شرکت Z Corporation سال 2012 به تملک کمپانی 3D Systems درآمد (به بنیان گذاری چاک هال و مخترع فناوری SLA). پس از آن بنامهای Z Printers یا Z Corp معرفی شد و برای مدتی رکورد سریعترین چاپگر سه بعدی جهان را کسب کرد (سه برابر سریعتر از تمامی سازندگان آن زمان).

مزایای BJ:

تنوع متریال و ساخت قطعات رنگی، فلزی، سرامیکی یا تولید قالبهای بزرگ ریخته گری شن (2200*1200*600mm) با هزینه بسیار کمتر و سرعت بیشتر نسبت به سایر روشهای لایه افزایشی لیزری (مثلا SLS یا SLM)، مهمترین عامل محبوبیت این تکنیک بین صنعتگران و هنرمندان است. در این روش نیازی به ساختار موقت ساپورت نیست. بایندرجت روش خوبی برای سری سازی قطعات صنعتی یا معماری با رزولوشن 35 تا 400 میکرونی است.

محدودیت BJ:

قطعات بایندرجت در هر حال کمی شکننده بوده و با وجود مراحل تخلل زدایی همچنان نفوذپذیر هستند؛ بنابراین کارکرد مکانیکی و تحت تنش محدودی دارند زیرا موجب فرسودگی و شکست آن می شود. قطعات فلزی نیز در بهترین حالت 50 میکرون هستند و کاملا صیقلی "High-End" نیستند.

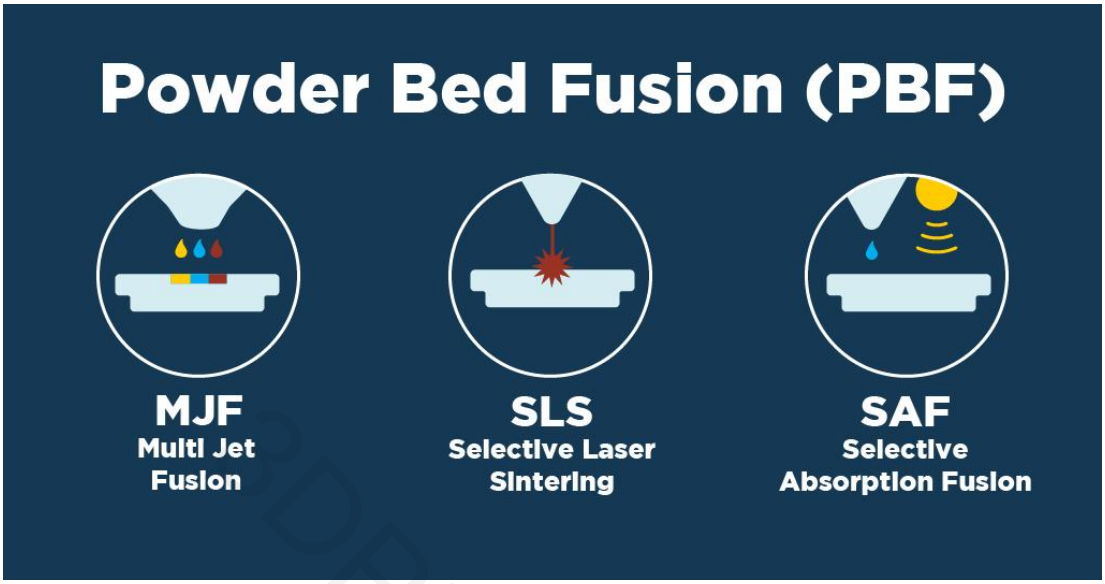


7. همجوشی جذب انتخابی یا SAF (Selective Absorption Fusion):

فناوری جذب انتخابی پلیمر (ترکیب تکنیکهای متریال جتینگ و بستر پودری) از اختراعات شرکت آمریکایی اسرائیلی StrataSyS است. فناوری SAF قادر به پردازش انواع مواد مانند پلی آمیدها و الاستومرهاست. از هد چاپ قابل اعتماد صنعتی بهمراه روش نوآورانه برای مدیریت پودر استفاده می کند. تراکم پیوندی بالا و مزیت چاپ/ذوب تک مرحله ای سریع (one-pass print-and-fuse)، توان تولید بهتری را نسبت به سایر فناوریهای تولید افزایشی پلیمری (مثلا SLS) امکان پذیر می کند.

SAF داری بستر پودری است که از مایع جذب مادون قرمز HAF استفاده می کند تا ذرات پودر پلیمر را در لایه ها با هم ترکیب کند تا قطعات را بسازد. همچنین از الگوریتم مدیریت پودر Big Wave هم استفاده مینماید (یک فناوری اختصاصی که توزیع پودر قابل‌اعتماد را در سرتاسر ساختمان فراهم می‌کند). هدهای چاپ پیزوالکتریک صنعتی، مایع HAF را در مناطق تعیین‌شده برای ایجاد هر مقطع از قطعه پرتاب می‌کنند و بدنبال آن، در معرض انرژی مادون قرمز قرار می گیرند که باعث می شود نواحی دارای HAF ذوب شده و با هم ترکیب شوند. این روند تکرار می شود تا کل هندسه کامل شود.

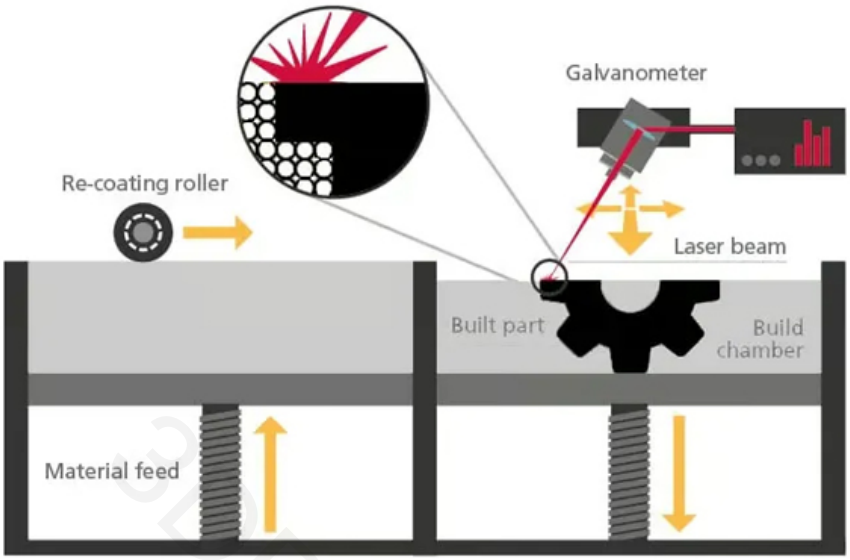
SAF بمنظور دستیابی به حجم بیشتر قطعات تولید نهایی (سری سازی قطعات کوچک تا متوسط) توسعه یافته است. این فناوری کنترل جامع فرآیند چاپ را ممکن و میتواند قطعات دقیق، سازگار و قابل تکرار با مواد ترموپلاستیک درجه مهندسی را تولید کند؛ پس بهترین جایگزین قالبگیری تزریقی برای سری سازی قطعات کوچک تا متوسط است.



مقایسه سه نوع فناوری پرینت سه بعدی بستر پودری (PBF): MJF مولتی جت فیوژن – SLS ذوب انتخابی لیزر – SAF همجوشی جذبی انتخابی

فیوژن جذب انتخابی گزینه ای عالی برای ساخت یک پارت واحد در کمیت بالاتر یا سری سازی چندین نوع قطعه متفاوت در یک فرآیند پرینت با هزینه کمتر نسبت به روش تزریق قالب است (تولید بطور هم زمان و در عین حال مقرون بصرفه).

فناوری SAF قطعات پلاستیکی کاربردی کوچک و متوسط با تحمل محکمتر از تکنیک SLS با سطح بهبود یافته برای استفاده نهایی تولید می کند.

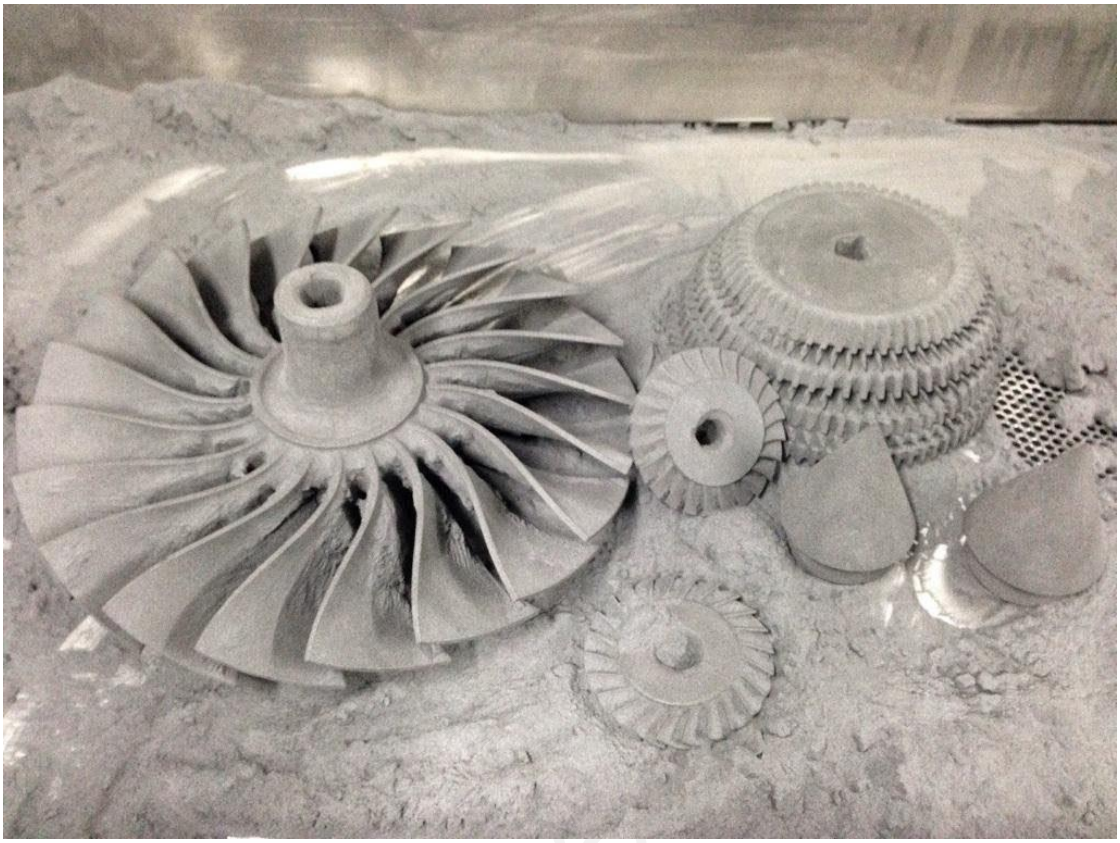


8. همجوشی انتخابی لیزر (SLS)

فناوری پرینت پلیمری Laser Sintering : SLS فناوری پرینت فلزی SLS: Cold Metal Fusion

فناوری مشتق شده از تکنیک بستر پودر پلیمری (PBF: Power Bwd Fusion) است. چاپگرهای SLS از یک لیزر پرقدرت برای همجوشی ذرات کوچک پودر پلیمر استفاده می کنند (پرداخت نقطه ای/خطی). پودر ذوب نشده از قطعه در حین چاپ پشتیبانی می کند و نیاز به *ساختارهای نگهدارنده* (ساپورت) اضافی را از بین می برد و SLS را به یک انتخاب موثر برای قطعات مکانیکی پیچیده تبدیل میکند. توانایی SLS در تولید قطعات با قابلیتهای مکانیکی مناسب، باعث شده رایج ترین فناوری تولید افزودنی پلیمری برای کاربردهای صنعتی محسوب شود.

مثال: دستگاههای SLS قبلاً تنها در سیستم‌های با فرمت بزرگ پیچیده و قیمت حدود 200.000 دلار در دسترس بودند اما با عرضه چاپگر SLS Fuse 1 Formlabs، کسب و کارها اکنون می توانند به SLS صنعتی با قیمت 18.500 دلار با حجم ساخت 30*16.5*16.5 سانتی متر دسترسی داشته باشند. نمونه های خوب دستگاههای ساخت اروپا و چین نیز قیمت کمتری از محصول آمریکایی «فُرم لبَز» دارند.

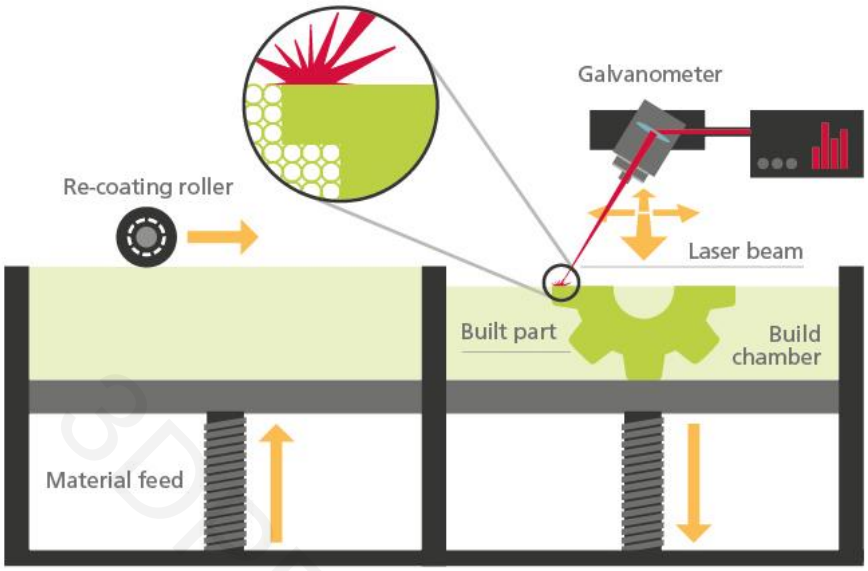


مزایای SLS

از آنجا که چاپ SLS به ساختارهای نگهدارنده جداگانه نیاز ندارد، برای هندسه های پیچیده (تو در تو)، از جمله ویژگیهای داخلی، برشهای زیرین، دیوارهای نازک و ویژگی های منفی ایده آل است. قطعات تولید شده با چاپ SLS دارای دوام مناسبی هستند.

رایج ترین ماده برای SLS ، پلیمر نایلون است، یک ترموپلاستیک مهندسی محبوب با خواص مکانیکی عالی. نایلون سبک، قوی و تا حدی انعطاف پذیر است و همچنین در برابر ضربه، مواد شیمیایی، گرما، نور UV، آب و خاک پایدار است.

ترکیبی از هزینه نسبتا کم برای هر قطعه، بهره‌وری بالا و مواد تثبیت شده، SLS را به یک انتخاب محبوب بین مهندسان بمنظور تولید کاربردی و مقرون بصرفه سری قطعات کوچک بجای روش قالب‌گیری تزریقی کرده است.

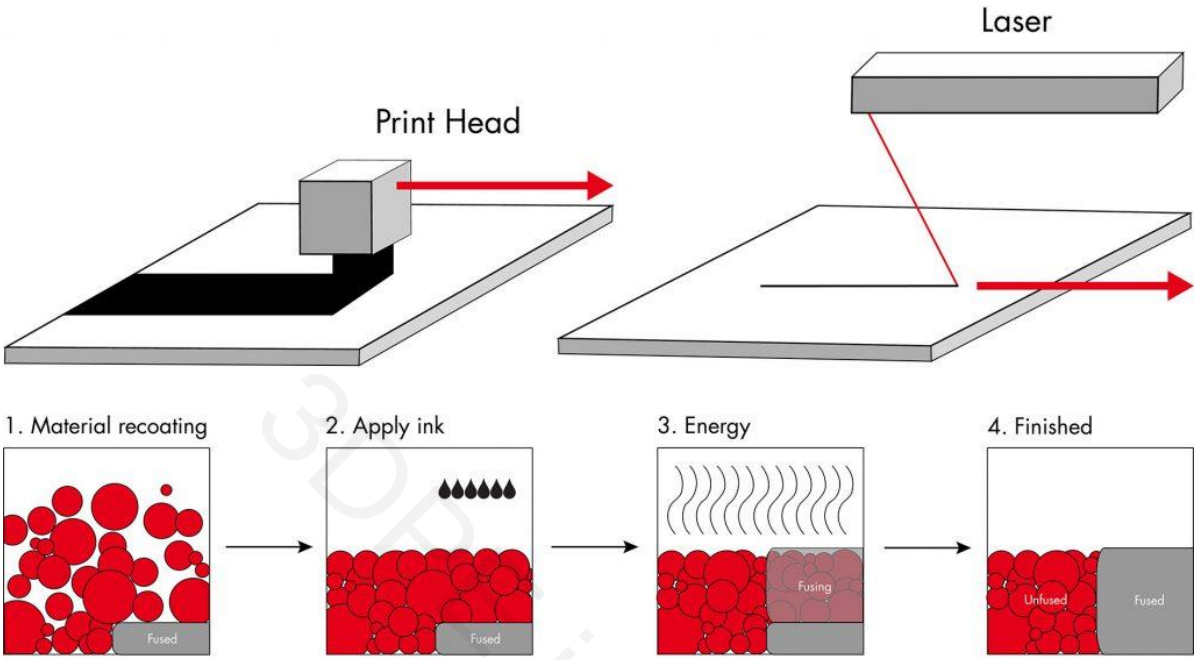


معایب SLS

SLS قیمت ورودی بالاتری نسبت به فناوری‌های FDM یا SLA دارد. در کشورهای در حال توسعه مثل ایران هزینه متریال همچنان بالاست. درحالیکه نایلون یک ماده همه کاره است، انتخاب مواد برای SLS محدودتر از FDM و SLA است. قطعات با سطح کمی ناهموار از چاپگر بیرون می آیند و برای یک سطح کاملا صاف نیاز به پولیشکاری دارند.

***

تاریخ ثبت پتنت فناوری SLS به سال 1988 و حمایت دانشکده مکانیک دانشگاه آستین تگزاس آمریکا (مرکز رشد فناوری و بنیاد علوم ملی و اسپانسری DARPA) از دانشجویی بنام Carl R. Deckard بعنوان مخترع و دکتر Joe Beaman ، استاد ارشد او مربوط میباشد.



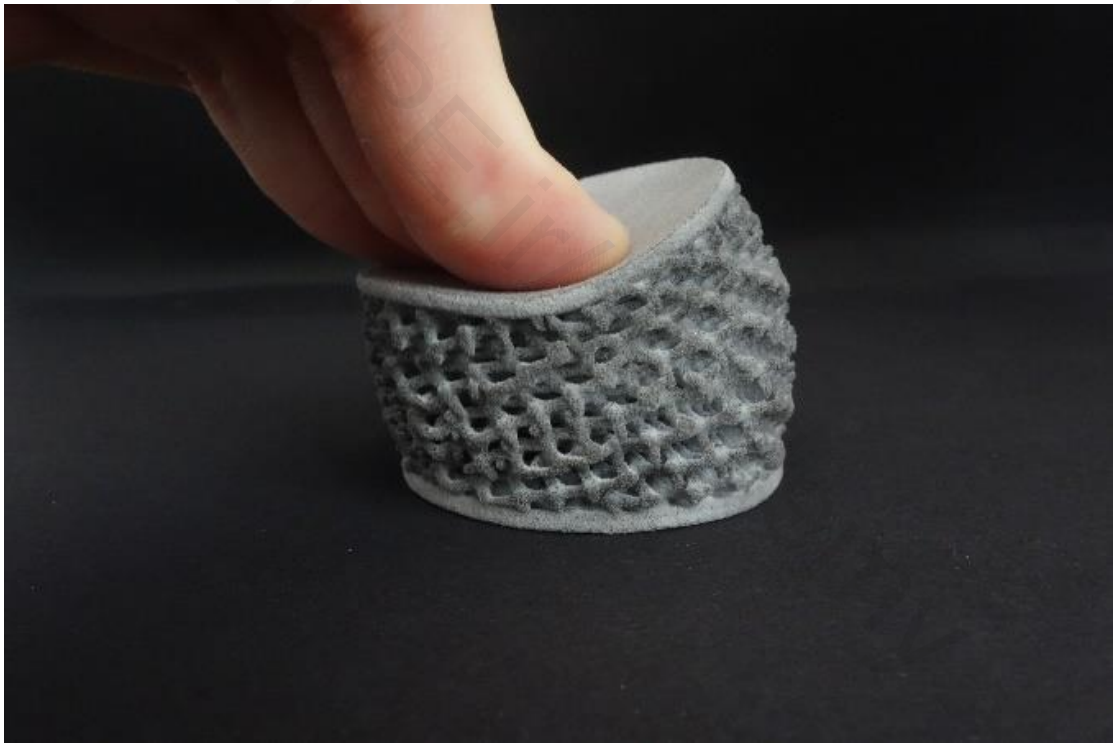
برتری HSS نسبت به SLS: استفاده از هِد جوهر افشان در فرآیند HSS آنرا بطور قابل توجهی سریعتر از پرداخت نقطه ای تکنیک SLS می کند (روشی که برای جوش/ذوب کردن مواد به تابنده نقطه ای لیزر نیاز است).

9. همجوشی سرعت بالا یا HSS (High Speed Sintering):

3dpe.ir/shop/what-is-high-speed-sintering-3d-print-technology

در این روش ابتدا یک لایه رسوب ریز از پودر پلیمر روی بستر ریخته میشود و سپس هدهای جوهر افشان یک سیال جذب کننده IR (مادون قرمز) را روی آن اسپری می کنند (در الگوی مقطع مورد نیاز یک برش از هندسه سه بعدی). سپس کل منطقه ساخت با یک لامپ مادون قرمز تابش می شود. مایع سبب جذب این انرژی تابشی/گرمایی و ذوب/پیوند (تثبیت) لایه پودر میشود. سپس این فرآیند لایه به لایه تکرار می شود تا تمام برشهای هندسه سه بعدی کامل شود.

زینترینگ فوق سریع (HSS) یک فناوری پرینت سه بعدی مبتنی بر متریال جت است که توسط نیل هاپکینسون، پروفسور دانشگاه لافبورو انگلستان (Loughborough) در سال 2000 توسعه داده شد. او بعدها به کمپانی Xaar پیوست و پتنت را به آنها فروخت و اکنون مدیر توسعه این فناوری است. شرکت آلمانی دیگری بنام VoxelJet سال 2016 (از سازندگان مشهور ماشینهای لایه افزایشی سایز بزرگ)، لایسنس خاص خود را از دانشگاه لافبورو دریافت کرد تا به تجاری سازی آن کمک کند. حالا آنها دستگاههای HSS خود را با ویژگیهای جالب متریالی HDPE material development توسعه داده اند.



ماده voxeljet greyscale با قابلیت ایجاد انعطاف پذیری در قطعه HSS شرکت وُکسِل

همانند روش SLS، فناوری HSS نیز بدون نیاز به ساختارهای دردسرساز ساپورتینگ (بافت نگهدارنده بخشهای آویزان)، قطعات را در ابعاد بزرگ چاپ می کند؛ به این معنی که اشکال توپر، توخالی و پیچیده با ویژگی های درونی به آسانی و با سرعت بالاتر از سایر فرآیندهای مشابه ساخته میشوند.

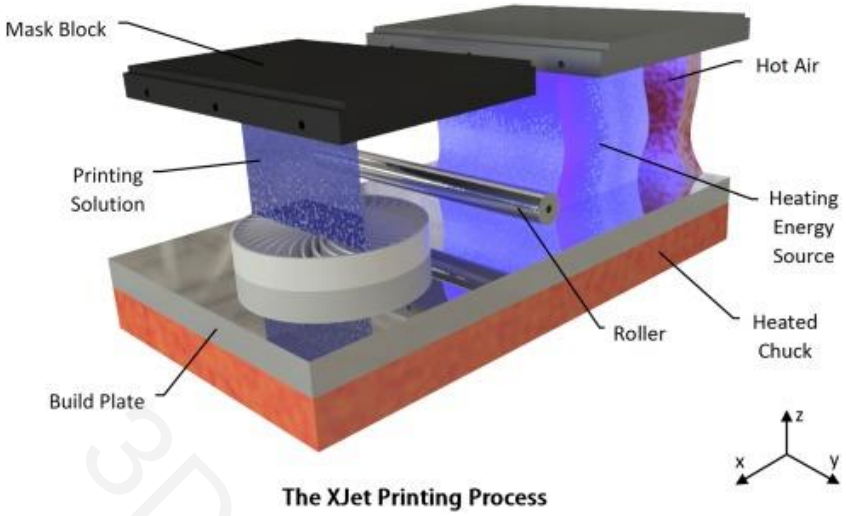
پرینتر سه بعدی صنعتی VoxelJet VX2000 با فناوری HSS

مزیت HSS:

تکنیک «ذوب پرسرعت پلیمری» نسبت به رقیب قدیمتر خود یعنی SLS دو برتری مهم دارد: سرعت بهتر و اندازه ساخت بسیار بزرگتر.

محدودیت HSS:

همانند اکثر روشهای متریال جتینگ، قطعات حاصل از «های اسپید زینترینگ» دارای بافت کمی زبر هستند. این تکنیک، چون لایسنس جدیدی دارد، هنوز تولیدکنندگان کمی در بازار حضور دارند که استفاده از آنرا گرانقیمت کرده است. رنگبندی و ترکیب شیمیایی مواد نیز فعلا نسبت به سایر روشها محدودتر است.



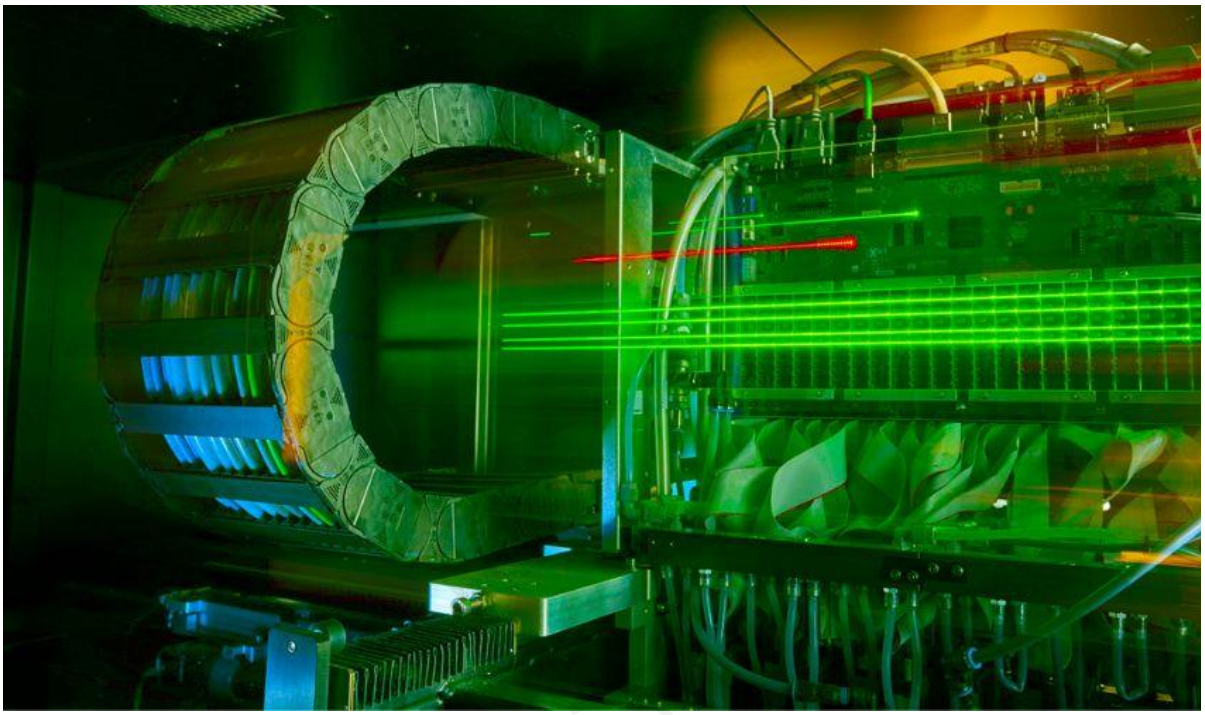
The XJet Printing Process

10. ایکس جت / پرتاب نانومتری ذرات یا NPJ (XJET / NanoParticle Jetting):

تصور کنید که می توانید با سهولت و تکرارپذیری یک چاپگر جوهر افشان، یک قطعه سرامیکی یا فلزی را پرینت نمایید. کمپانی XJET 3D می گوید فناوری تولید افزودنی نانوذرات اختصاصی آنها (NPJ AM) صرف نظر از اینکه هندسه چقدر پیچیده است، براحتی قسمتهایی که باید سریع و با دقت چاپ شوند را می سازد.

NPJ دارای یک هد چاپ با هزاران نازل جوهری مقیاس نانومتریست (بنام Mask Block) که همزمان میلیونها قطره بسیار ریز ماده اصلی (جوهر سرامیک یا فلز) و ماده پشتیبانی را روی سینی ساخت با لایه گذاری بسیار نازک اسپری می کند. بنابراین تقریباً هر هندسه بسیار پیچیده ای هم قابل چاپ است. از آنجا که تکیه گاه بخشهای آویزان قطعه (بافت پشتیبانی) با یک ماده تجزیه شونده محلول ساخته می شوند، هیچ کاری برای عملیات پس از پردازش (بادزنی پودر خام و ...) وجود ندارد که صرفه جویی بسیاری در زمان فراهم می کند. بعنوان آخرین مرحله، قطعه در کوره های حرارت دهی مرسوم صنعت، پیوند نهایی ذرات را تثبیت می کند (مانند سایر روشهای پرینت صنعتی بستر پودری).

3DPE.ir/academy



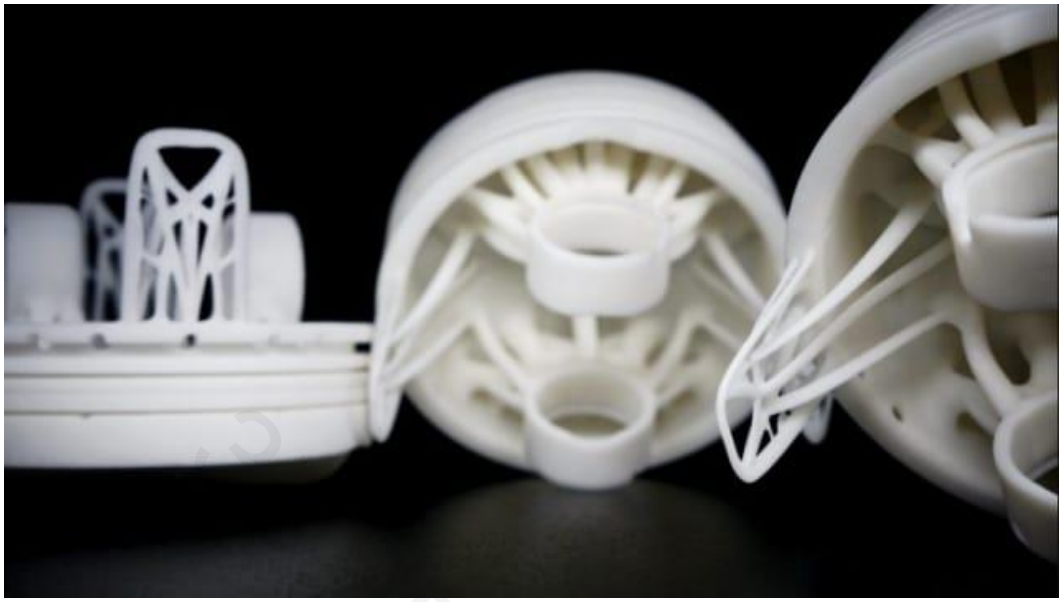
بر خلاف دیگر فناوری های AM، که برای فیوز کردن قطعات فلزی یا سرامیکی (روی بستر پودری) به پرتو لیزر نیاز دارند، NPJ روشی نوآورانه است که مایعات (جوهر) نانوذرات فلز یا سرامیک را با لایه گذاری سریع نانومتری مستقیما روی بستر پرتاپ میکند (اسپری همزمان میلیونها قطره). پراکندگی مایع آن شامل متریال اصلی ساخت و ماده موقت نگهدارنده است. سیستم تعلیق مایع در کارتریج های مهر و موم شده قرار می گیرد و نیاز به کنترل مواد خطرناک را از بین می برد.

پرتاب نانومتری مواد یک ویژگی خاص است زیرا سایر تکنیکها عملا مثل ماسه بازی هر بار پودر را پخش می کنند تا لیزر یا چسب شود (مانند کیک آنرا می سازند). فناوری NPJ ثبت اختراع شده توسط شرکت صهیونیستی XJET3D تنها روش پرینت سه بعدی جهان است که واقعا خود فلز یا سرامیک را جت می کند. پاشش مستقیم مواد، تفاوت چشمگیری هنگام ساخت قطعات بسیار پیچیده فراهم می نماید.

ماشین XJet's Carmel 1400 سازنده قطعات سرامیکی یا فلزی با دقت، قابلیت تکرار و سرعت بالا است.

مزایای پرینت سه بعدی NPJ:

- بالاترین جزئیات پرینت را دارد و می تواند هر هندسه پیچیده ای را بسازد زیرا دو ماده با پیوند موقت، همزمان پرتاب می شوند.
- متریال پشتیبانی ماده متفاوتی است که در مایعات بدون عملیات دستی حل می شود.
- ضخامت لایه گذاری فناوری «نانوجت پرینت» از بهترینها در صنعت است: 10 میکرون برای متریال سرامیک و 8 میکرون برای فلز استیل (فولاد) ضدزنگ.
- ابعاد ساخت 1400 سانتیمتر مکعبی ارائه می کند.
- فعلا سه متریال (در آینده تعداد آنها بیشتر میشود) شامل زیرکونیا (Zirconia : سرامیک مقاوم برای دندانپزشکی و قطعات صنعتی)، آلومینا (Alumina : سرامیک مقاوم صنعتی) و فلز فولاد ضد زنگ (Stainless Steel : مقاوم به گرما، سرما، خوردگی برای کاربردهای پزشکی و صنعتی) است.
- قابلیت تکرارپذیری و سری سازی قطعات با سرعت و دقت سطح بالا



قطعه کمپانی SPA ساخته شده از چاپگر NPJ Carmel 1400C AM XJET ، توانست اولین پیستون خودرویی تمام سرامیک را ایجاد کند.

فناوری NPJ قطعات با کیفیت بالا در فلز و سرامیک را بدون استفاده از بستر پودر، کار دستی یا تمیزکاری وقت گیر ثانویه، تولید می کند. چیزی که این موفقیت را امکان پذیر کرده، فرایند تولید افزودنی منحصر بفرد XJET است که بر اساس jetting مستقیم نانو ذرات (نانوجوهر) می باشد و قطعات را با وضوح بسیار بالا با استفاده از سخت ترین مواد سرامیک یا فلز در مقیاس کوچک تا بزرگ چاپ میکند. در این فرایند، مواد پشتیبانی و مواد اصلی هر دو جوهر هستند، نه پودر - یک رویکرد انقلابی در AM .

- جزئیات و حفره های داخلی: 200 میکرومتر
- دقت: 50 میکرومتر
- صافی سطح: 1.6 میکرومتر
- تراکم (چگالی): 99.5 درصد

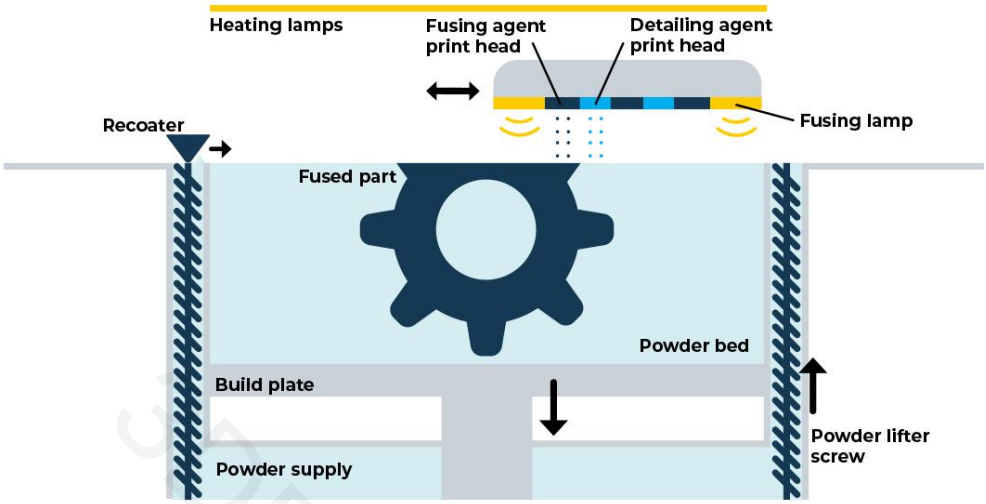
دو قطعه با هندسه پیچیده حاصل فناوری نانو پارتیکل جت – متریال فلز – قطعه سمت چپ در حالت یکپارچه بدون نیاز به اسمبلی، پرینت شده است.

بیایید کمی عمیق تر به روش چاپ NPJ شیرجه بزنیم؛ آنرا اینطور تصور کنید: چاپ – شستشو - همجوشی.

همانطور که گفتیم اصل اساسی، استفاده از مواد قابل تهیه بر اساس نانوذرات است. با این کار، ما می توانیم بطور همزمان مواد قطعه و پشتیبانی را چاپ کنیم (یک ماده بسیار سخت اما محلول). پس از اتمام ساخت، ماده موقت پشتیبانی از طریق یک فرآیند اتوماتیک در آب شسته می شود. مرحله پخت نهایی در یک کوره صنعتی استاندارد انجام می شود (اصطلاحا مرحله زینتر کردن)، اما در دمای قابل توجهی پایینتر از قطعات چاپگرهای بستر پودری. این فناوری بالاترین پیچیدگی، دقت و کیفیت سطح را امکان پذیر می کند. همچنین محدودیتهای مربوط به طراحی را از بین می برد. در این تکنیک، استفاده از لایه های نانوذرات نازک و پشتیبانی محلول باعث ایجاد هندسه‌های واقعا پیچیده و دقیق از جمله اجزای داخلی می شود. همچنین امکان طراحی جدید را به گونه ای فراهم می کند که تاکنون غیرممکن تلقی می شد.

محدودیت NPJ:

قیمت بالای دستگاه و مواد مصرفی، انحصاری بودن، محدودیت نوع متریال و رنگ بندی و هزینه اجباری سرویسکاری سالیانه

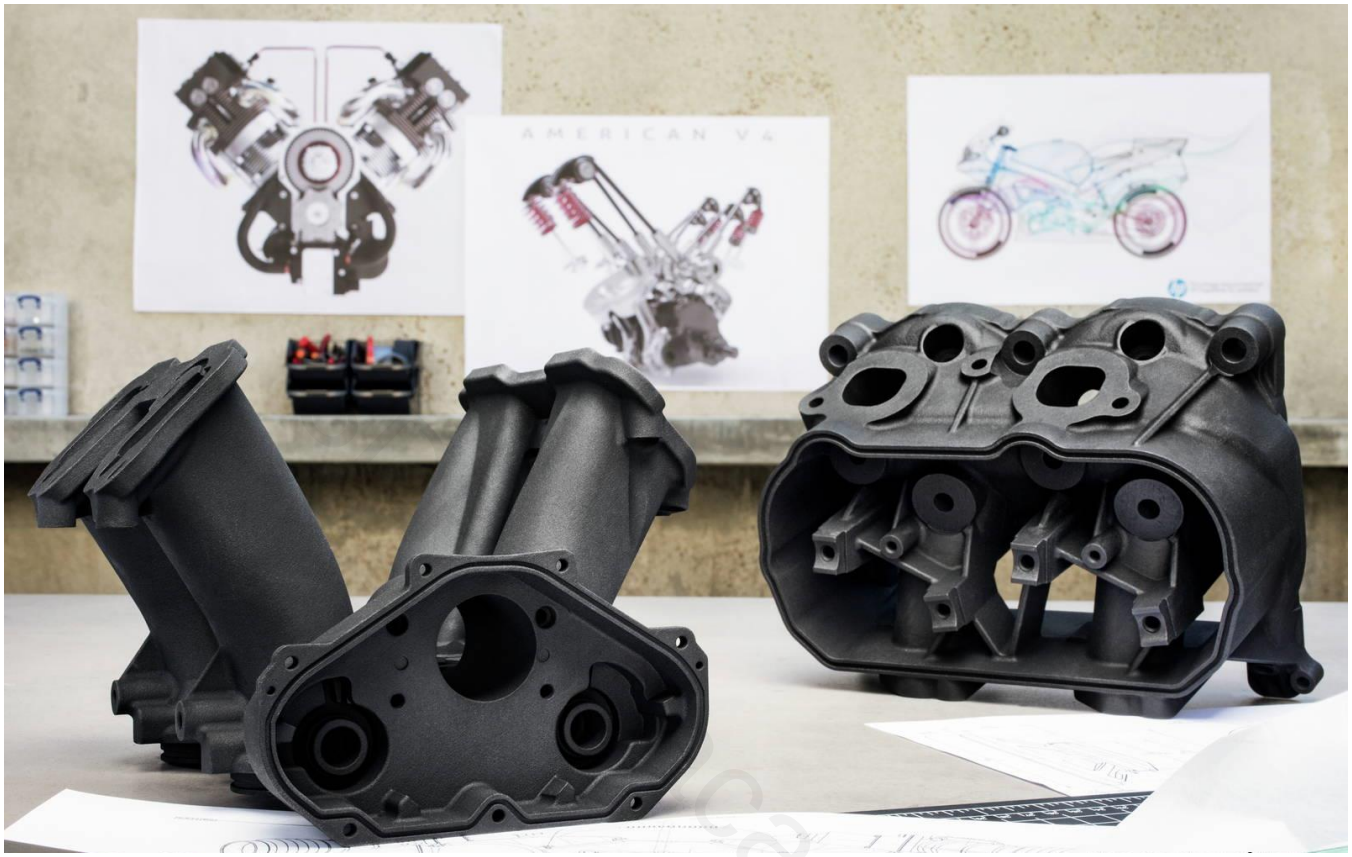


11. مولتی جت فیوژن MJF:

3dpe.ir/multi-jet-fusion-hp-3d-printer-review

اگر بشنوید یک چاپگر سه بعدی ساخته شده که ده برابر سریعتر از دیگر ماشینها، قطعات را چاپ می کند، میتوانید مفهوم آنرا درک کنید؟! خب؛ یعنی اینکه حالا قادر هستید یک هزار چرخ دنده کوچک را فقط در سه ساعت پرینت سه بعدی کنید.

Multi Jet Fusion: MJF، تکنیک ابداعی HP یکی از غولهای فناوری جهان است (ثبت اختراع از سال 2016). این نوآوری بر پایه استفاده از بستر پودر و متریال جتینگ (PBF/MJ) است که در آن از لیزر مرسوم استفاده نمی شود بلکه ترکیب پاشش ماده از نازل، نور UV و حرارت قطعه روی بستر پودر باعث میشود تا قطعه با دقت بسیار بالا و سرعت زیاد ساخته شود. متریال این تکنیک انواع پلی آمید (نایلون) صنعتی است.

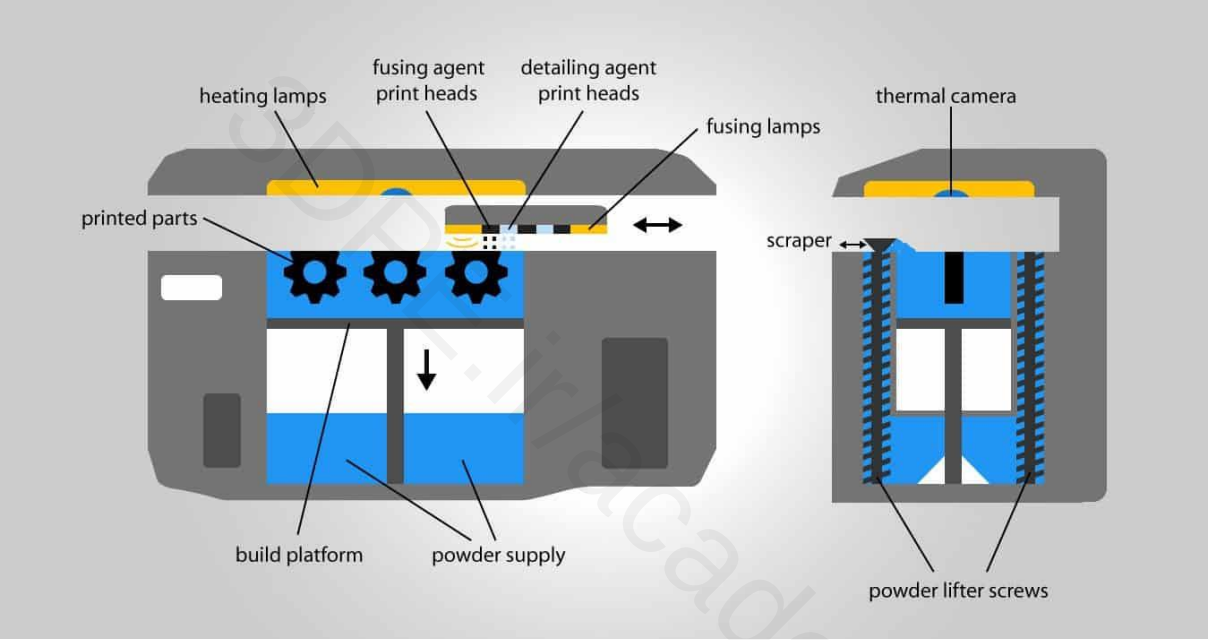


مزایای پرینترهای سه بعدی صنعتی مولتی جت فیوژن

تولید سریع، دقیق با کیفیت سطح عالی (رزولوشن بالا) قطعات پیچیده هندسی با خواص مکانیکی قابل مقایسه با روشهای سنتی تزریق قالب مهمترین ویژگی تکنیک MJF است. حتی میتوان سری کوچک قطعات را بسرعت و با هزینه کمتر نسبت به قالبگیری تزریقی تولید نمود. قطعات در این روش نیاز به پرداخت جداگانه حرارت دهی ندارند و پس از پرینت آماده استفاده خواهند بود (فقط باید از مابقی بستر پودر جدا شوند).

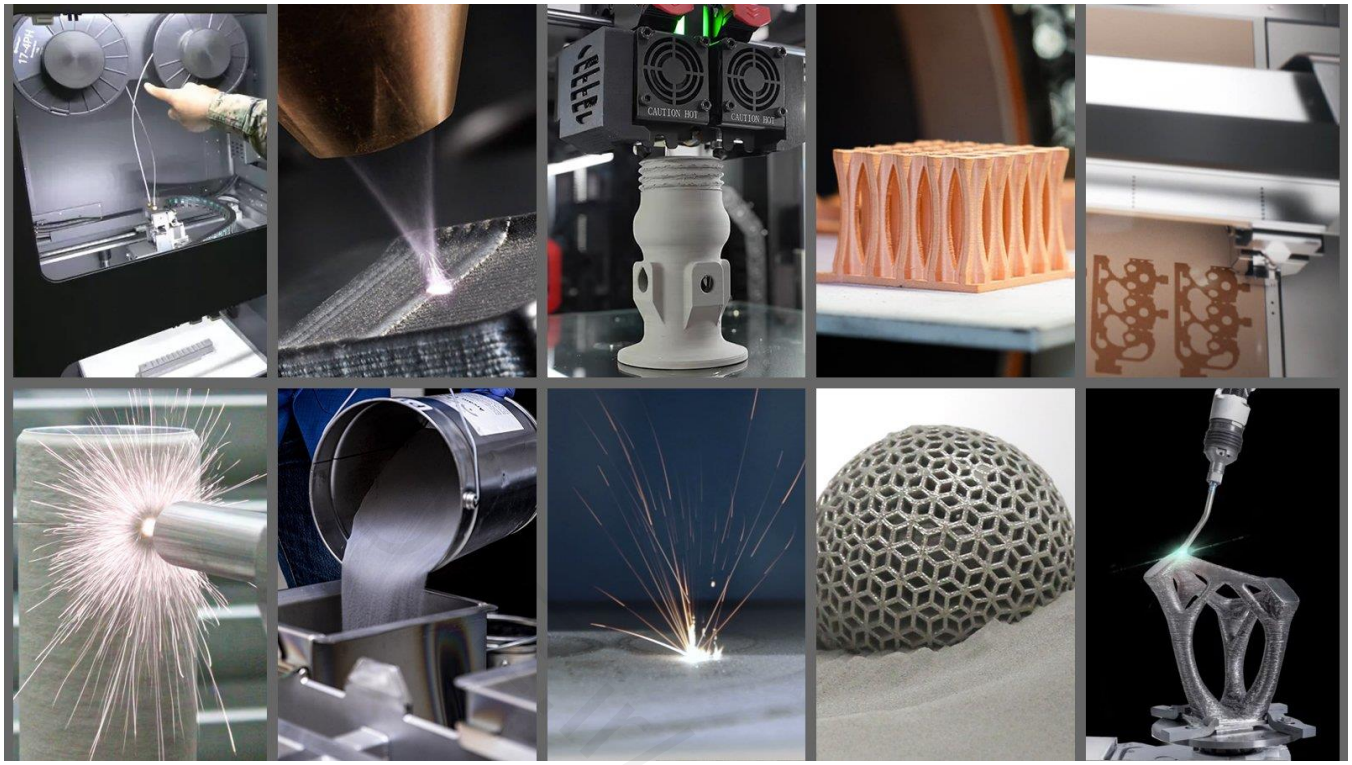
اجسام پرینت شده بوسیله پلی آمید دارای استحکام و پایداری بالایی هستند و همچنین در برابر اکثر مواد شیمیایی مقاوم اند. با اشباع آن می توان قطعه را ضدآب کرد. متریال PA 12 که در تکنولوژی Multi Jet Fusion استفاده می شود ذرات ریزتری دارد و به همین دلیل قطعات ساخته شده دارای چگالی بالاتر و مقاومت نفوذناپذیری بهتر نسبت به تولیدات فناوری پرینت SLS هستند.

مثال: شرکت HP عرضه کننده متریال PA12 سازگار و سری محصولات 5400 از کف قیمت 200.000 دلار است.



محدودیت مولتی جت فیوژن:

با وجود ویژگیهای خیره کننده روش MJF قیمت خرید این محصول و سرویسکاری سالیانه بالاست. همچنین قطعات ساخته شده منحصر به طیف رنگی خاکستری یا سفید هستند (اگرچه پوشش دهی رنگ و پولیش صنعتی پس از پرینت امکان پذیر است).



12. پرینتر سه بعدی فلزی

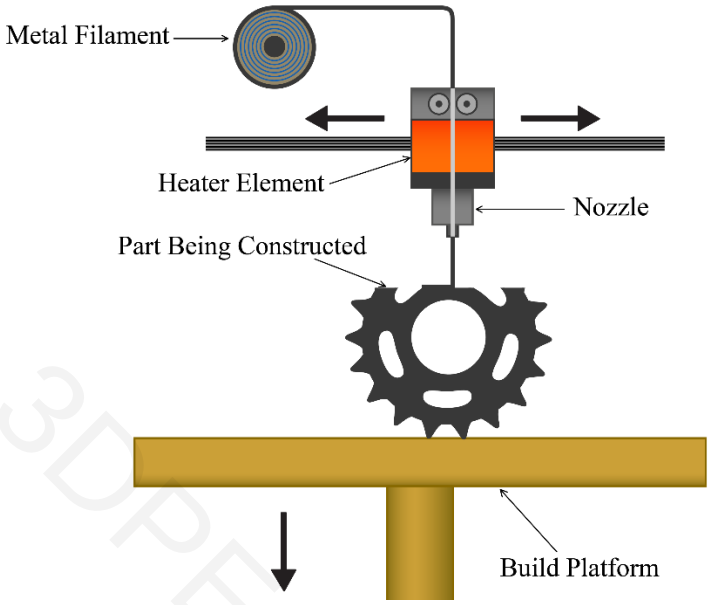
بیایید از محدودیتهای پلاستیک و پودر پلیمر خارج شده و با انقلاب صنعتی جدیدی رودرو شویم: بله؛ چاپ فلزات واقعیت یافته و دیگر منحصر به فیلمهای علمی تخیلی نیست و جالب آنکه چندین نوع فناوری پرینت سه بعدی فلزی هم تجاری شده اند.

تکنیکهای تولید افزودنی فلزات از دهه 1990، زمانیکه اولین پتنت برای ذوب مستقیم لیزری فلزات (DMLS) ثبت شد، معرفی شدند.

امروزه این فناوریها گسترش یافته و تقسیم بندی کلی آن شبیه روشهای متریال پلیمری (بخش قبل) است:

- *Metal FDM*
- *فیوژن بستر پودری (Powder Bed Fusion)*
- *بایندر جتینگ (Binder Jetting): این تکنیک عمدتا شامل متریال پودر پلیمر و گاهی فلز است.*
- *نانوجت (NanoXjet): شامل اسپری نانومتری جوهر سرامیک یا فلز*
- *رسوب مستقیم انرژی (Direct Energy Deposition)*
- *اکستروژن پودر محدود (Bound Powder Extrusion)*

3DPE.ir/academy

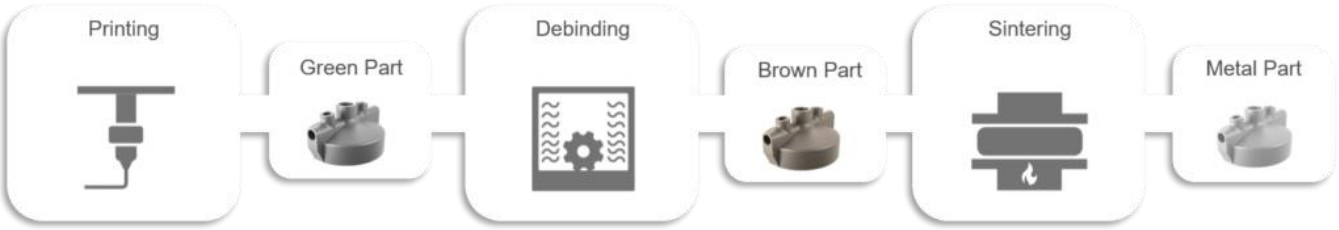


- **FDM فلزی / Metal FDM یا ADAM:**

3dpe.ir/best-metal-fdm-3d-printer

تکنیک Atomic Diffusion Additive Manufacturing (ADAM) یا ساخت افزایشی توسط نفوذ (انتشار) اتمی، یک فرایند چاپ سه بعدی آلیاژ فلزی جدید است که اولین بار توسط کمپانی Markforged توسعه یافت. در این تکنیک، پرینتر فلزی مشابه همان پرینترهای FDM ترموپلاستیک کار می کنند ولی تفاوت در ساختار متریال است: ترکیب ترموپلاستیک در این حالت، درصد بسیار کمی بوده و فقط بعنوان چسب موقت پلیمر بالای 90 درصد فولاد (steel) عمل می کند. بنابراین از ذوب و اکسترود رشته پلاستیک-فولاد (که توسط بایندرهای پلیمری بهم متصل شده اند)، قطعه خام (Green) فلزی پرینت و این قطعه "سبز" در کوره به روش مرسوم حرارت فلز، پخته می شود تا چسب حذف و فلز قوام یافته نهایی باقی بماند (این فرایند چاپ سه بعدی بر پایهٔ قالب گیری تزریقی فلز ساخته شده است). این تکنیک برای تولید قطعات سری کمی که مستقیما استفاده میشوند یا تحت تنش هستند، سودمند است.

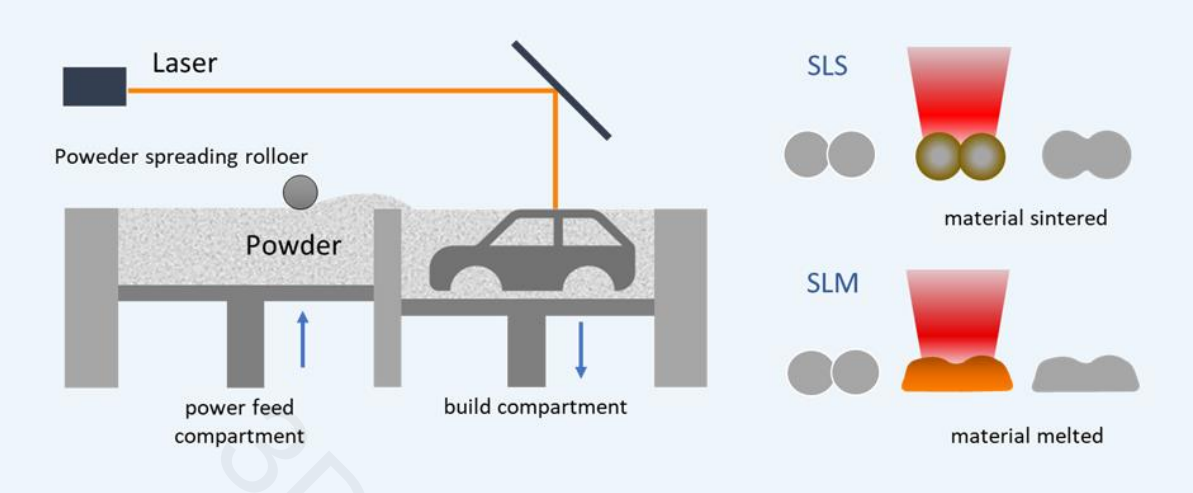
3DPE.ir/academy



با هرچه ارزانتر شدن و پیشرفته تر شدن فناوری Metal FDM بزرگترین عیب FDM پلاستیکی که استحکام معمولی آن بود، برطرف خواهد شد. واقعا شگفت انگیز است که حالا میتوانید روی میز کارتان، ابزارهایی فلزی را پرینت کنید.

محدودیت Meta FDM:

جهت استفاده از متریال فیلامنت فولادی، چاپگر باید ساختار اکسترودر تمام فلزی داشته باشد (برخی برندهای معروف سازنده این نوع دستگاهها یا پک اکسترودر هستند). همچنین رول فیلامنت فولادی آن نیز قیمت بالایی دارد و همه جا در دسترس نیست (آنرا با فیلامنتهای فانتزی طرح فلز یا چوب که در بازار ایران می بینید، اشتباه نگیرید).



تفاوت SLS (پودر پلیمر) با SLM (پودر فلز)

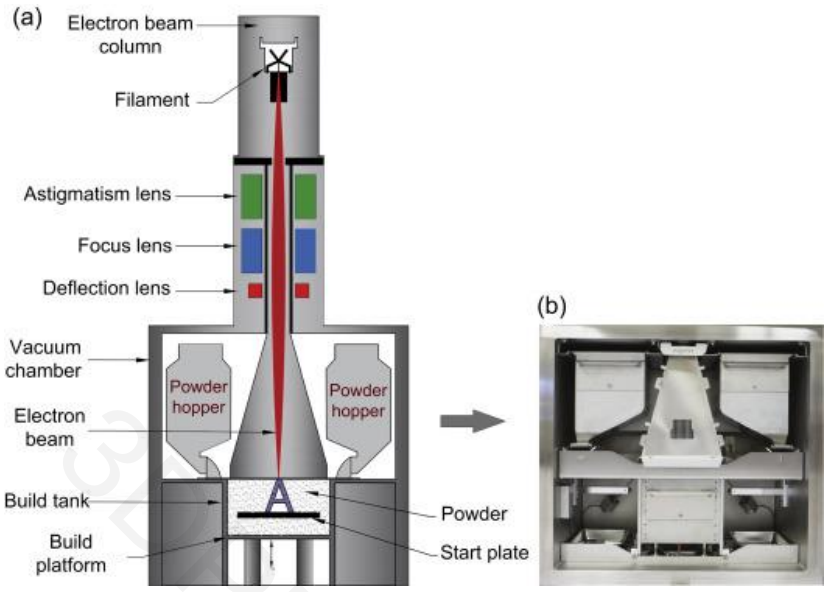
- **ذوب لیزر انتخابی (SLM)**

3dpe.ir/slm-metal-3d-printer-technical-guid

در روش Selective Laser Melting از لیزر برای ذوب کامل پودر فلز آلمینیوم، فولاد، تیتانیوم استفاده می شود تا قطعه ای همگن تولید شود. این فناوری کاربردهای وسیعی در صنایع نظامی، هوافضا و پزشکی دارد ولی فعلا اندازه ساخت متوسطی داشته و میزان استحکام و تخلخل نیز مسئله دیگریست. همچنین یکی از پر هزینه ترین روشهای ساخت فلزی محسوب میشود (میانگین قیمت هر دستگاه 500 هزار دلاری).

- **جوش لیزری مستقیم فلزات (DMLS)**

پرینترهای SLM و DMLS مشابه پرینترهای SLS کار می کنند، اما ذرات پودر فلز را لایه به لایه با استفاده از لیزر به جای پلیمرها با هم ترکیب می کنند. چاپگرهای سه بعدی SLM و DMLS می توانند محصولات فلزی قوی، دقیق و پیچیده ایجاد کنند که این فرآیند را برای کاربردهای نظامی، دریایی، پتروشیمی، هوافضا، خودرو و پزشکی ایده آل می کند.



- **ذوب الکترونی فلز** (EBM: Electron Beam Melting / EB PBF)

3dpe.ir/what-is-electron-beam-melting-3d-printer

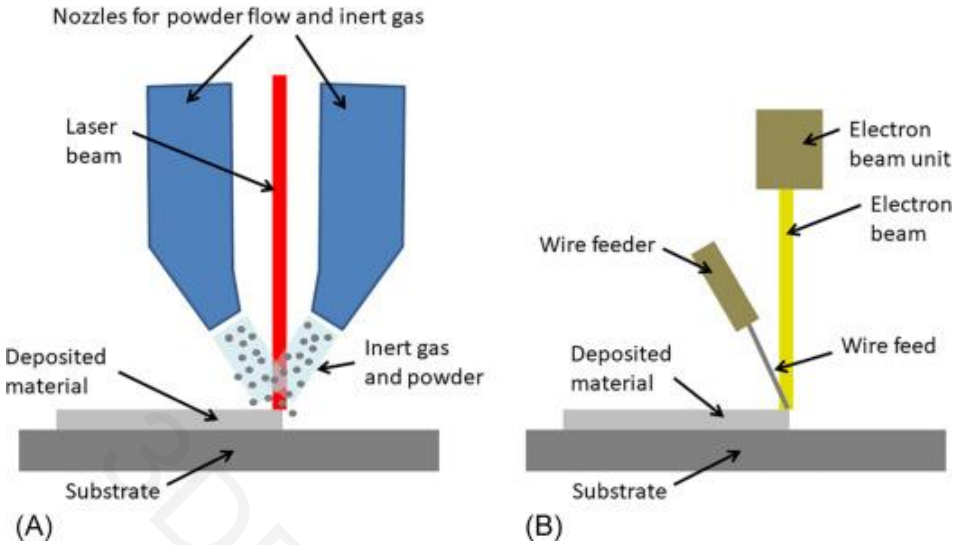
شرکت سوئدی Arcam از مجموعه شرکتهای GE Additive (وابسته به کمپانی جنرال الکتریک آمریکا)، برند برتر فناوری EBM جهان است. از تکنیک EBM یا Electron Beam Powder Bed Fusion (همجوشی بستر پودر پرتو الکترونی) مخصوصا برای ساخت قطعات سایز کوچک تا متوسط، سریهای محدود با هندسه بسیار پیچیده استفاده می شود. به همین دلیل است که کاربران اصلی آن صنایع زیست پزشکی (مثلا ساخت پروتز)، صنایع هوا-فضا، پتروشیمی و صنایع خودروسازی هستند.

در فرآیند EBM از پرتو الکترونی بجای پرتو لیزر استفاده میشود: ابتدا رشته فلز تنگستن (Tungsten Filament) در شرایط خلاء حرارت یافته تا الکترونهایی آزاد شوند که در واقع ذرات اولیه الکتریکی هستند. این ذرات توسط آهنربای الکتریکی شتاب گرفته و جهت داده شده و با سرعت بالا به سطح پودر فلز (متریال اصلی ساخت) برخورد می کنند. این کار اثر حرارتی کارآمدی بر روی ذرات پودر ایجاد میکند و قطعه فلزی بسیار مقاومی با لایه گذاری تدریجی ساخته میشود.

برای آنکه از عملکرد درست پرتو الکترون اطمینان حاصل شود، تمام این مراحل در شرایط خلاء انجام می گردد. مزیت دیگر آنست که از اکسید شدن پودر فلز در زمان حرارت دهی جلوگیری می شود. دستگاههای شرکت Arcam دارای طیف متریال قابل پرینت عموما از تیتانیوم و آلیاژهای کروم کبالت هستند.

محدودیت EBM:

فرآیند Electron Beam Melting بر پایه نیروی الکتریکی است، بنابراین متریال مورد استفاده باید حتما رسانا باشد. در غیر اینصورت، هیچ گونه کنش و واکنشی بین پرتو الکترون و پودر اتفاق نمی افتد. در نتیجه تولید قطعات پلیمری یا سرامیکی بوسیله پرتو الکترون از لحاظ فنی غیر ممکن است. ماشین ای بی ام و متریال آن هنوز گران هستند؛ قیمت هر دستگاه بین 100.000 تا 300.000 دلار و هزینه متریال 500 دلار برای هر کیلوست. اندازه ساخت کوچک تا متوسط آن را هم در نظر بگیرید.

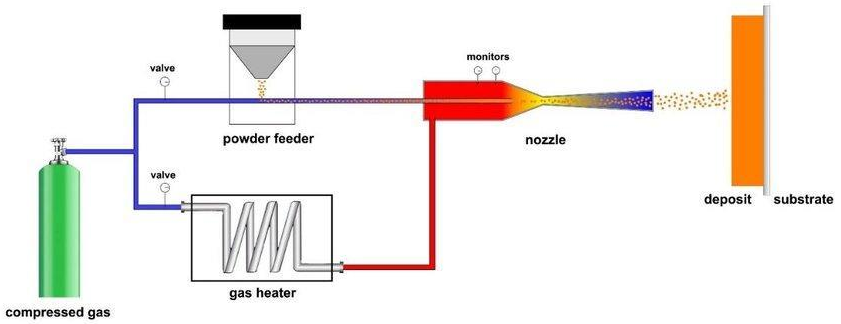


- **رسوب مستقیم انرژی** (Direct Energy Deposition: DED)

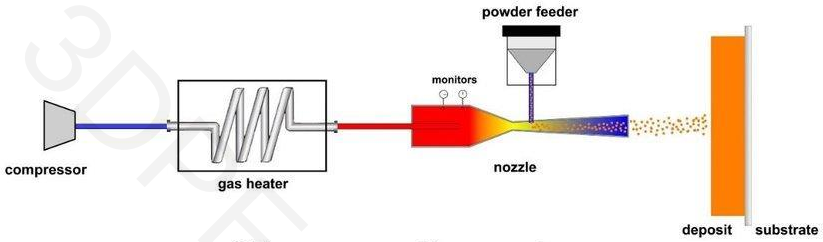
3dpe.ir/what-is-ded-3d-printer

تکنیک نوظهور و بسیار کاربردی که برای تعمیر یا افزودن متریال اضافی به قطعات فلزی سالم یا خراب موجود استفاده می شود. پس بندرت برای تولید کامل یک قطعه فلزی بکار میرود.

DED 3D Printer شامل یک نازل است که بر روی بازوی چند محوره نصب شده و متریال ذوب شده (پودر فلز یا سیم فلز) را روی سطحی معین دپوزیت میکند و متریال همانجا سفت و جامد می شود. فرآیند شامل اکستروژن مواد از سر نازل است اما نازل میتواند در جهات مختلف حرکت کند و بستر هم ثابت نیست: متریال بواسطهٔ شاسی چهار یا پنج محوره در هر زاویه ای دپوزیت شده و توسط یک لیزر یا پرتو الکترونی ذوب می گردد. در این فرایند می توان پلیمر و سرامیک هم بکار برد، اما معمولاً از فلزات بصورت پودر یا سیم، استفاده می شود.



(a) high pressure cold spray system



(b) low pressure cold spray system

- **پاشش سرد فلز** (Metal Cold spray)

3dpe.ir/what-is-cold-spray-3d-printing

رسوب متریال فلز با گاز تحت فشار هیدروژن یا هلیوم و با سرعت مافوق صوت - بخش «سرد» در نام این فرایند به این واقعیت اشاره دارد که پودرهای مورد استفاده ذوب نمی شوند؛ بلکه، شتاب بسیار بالا روی پودر اثر می گذارد و آنرا نرم می کند و باعث ایجاد یک پیوند متالوژیک با لایهٔ زیرین میگردد.

3DPE.ir/academy

- **قوس الکتریکی فلز** (WAAM: Wire arc additive manufacturing)

3dpe.ir/waam-what-is-wire-arc-additive-manufacturing

تولید افزایشی قوس سیمی فلز، چیزی شبیه فرآیند مرسوم جوشکاری ریخته گری (جوشکاری قالبی) بوده که سالهاست در صنایع سنگین و هوانوردی بکار می رود. در تکنیک WAAM از سیم فلز بعنوان متریال و از قوس الکتریکی بعنوان منبع انرژی استفاده می شود.

قوس سیمی، چاپ سریع و مقرون بصرفهٔ اشیاء فلزی – ساخت قطعات فلزی بسیار بزرگ - امکان ساخت با هر فلز قابل جوشکاری - حجم و نرخ دپوزیت بالا و کاهش متریال مصرفی را فراهم می کند.

بغیر از WAAM، هیچ راه دیگری وجود ندارد که بتوان قطعات فلزی بزرگ و کارکرد مستقیم را به این سرعت و دقت ساخت. از قوس سیمی در صنایع نظامی، دریایی، معماری و هوافضا استفاده می شود.

With wire arc additive manufacturing (WAAM), components are 'welded up' layer-by-layer before being skimmed into their finished form. In the example shown, the component is being produced from titanium.

قطعات حاصل از فناوری WAAM پس از ساخت ماشینکاری می شوند که در مقایسه با فرآیندهای تولید سنتی فلز، گاهی تا حدود 70 درصد در مصرف مواد صرفه جویی می شود و زمان تولید نیز کاهش چشمگیری دارد.

***

درحالیکه قیمت انواع فناوریهای پرینتر سه بعدی فلزی کم کم شروع به کاهش کرده است (با حداقل قیمت 100.000 تا حداکثر 1 میلیون دلار)، ولی همچنان اکثر این سیستمهای خیره کننده برای مشاغل تجاری کوچک تا متوسط قابل دسترس نیستند و فعلا در انحصار سازمانهای دولتی یا خصوصی بزرگ یا صنایع ملی کشورهاست (بغیر از روش Metal FDM). در داخل کشورمان نیز چند شرکت بومی شروع به ساخت ماشینهای slm و ... کرده اند.

3DPE.ir/academy

جدول مقایسه انواع فناوریهای چاپ سه بعدی صنعتی (MultiJet Fusion-SAF-GDP-NanoJet-PolyJet منظور نشده اند).						
METAL 3D PRINTING (METAL FDM, DMLS, SLM, EBM, DED, WAAM)	MATERIAL JETTING	SELECTIVE LASER SINTERING (SLS)	STEREOLITHOGRAPHY (SLA)	FUSED DEPOSITION MODELING (FDM)		
اندازه ساخت 300 x 200 x 200mm (metal FDM), 400 x 400 x 400 mm (large industrial DMLS/SLM)	اندازه ساخت 300 x 200 x 150 mm (industrial 3D printer)	اندازه ساخت 165 x 165 x 300 mm (industrial 3D printer)	حداکثر اندازه ساخت 300 x 335 x 200 mm (desktop 3D printer) پلتفرم رومیزی با کاربرد صنعتی و پزشکی	اندازه ساخت 300 x 300 x 600 mm (desktop / industrial 3D printer)	میانگین حجم ساخت	
شروع قیمت$100,000	شروع قیمت $20,000 (multi-material شروع قیمت($100,000	شروع قیمت$18,500	شروع قیمت$3,750	شروع قیمت$2,500	رنج قیمت دلاری	
فولاد ضد زنگ، تیتانیوم، کروم کبالت و آلومینیوم.	انواع رزین (پلاستیکهای گرماگیر).	ترموپلاستیکهای مهندسی، معمولاً نایلون و کامپوزیت های آن (نایلون PA12 زیست سازگار + قابلیت استریلیزاسیون).	انواع مایع رزین (پلاستیکهای گرماگیر). استاندارد، مهندسی) مانند ABS، PP، سیلیکون و مواد انعطاف پذیر، مقاوم حرارت، مواد سخت (مثل ریخته گری، دندانپزشکی و پزشکی (بیوسازگار).	ترموپلاستیکهای استاندارد مانند ABS، PLA، نایلون، پلی پروپیلن، PETG و ... جدیدا کامپوزیت فولاد (فقط با دستگاههای سازگار و شامل مرحله جداگانه حرارت دهی)	متریال	
قطعات قوی و بادوام با هندسه های بسیار پیچیده؛ ایده آل برای کاربردهای هوافضا، خودرو و پزشکی.	نمونه های اولیه بسیار دقیق، از جمله نمونه های اولیه واقعی چند ماده ای و تمام رنگی.	هندسه های پیچیده، نمونه های اولیه کاربردی، تولید کوتاه مدت یا پل.	نمونه های اولیه بسیار دقیق که به تحمل های محکم و سطوح صاف، قالب ها، ابزار، الگوها، مدل های پزشکی و قطعات کاربردی نیاز دارند.	مدلهای اولیه اثبات مفهوم، نمونه سازی کم هزینه قطعات ساده تا پیچیده. اندازه ساخت بزرگ، قابلیت رنگ و پولیش، نسبتا مستحکم	برنامه های کاربردی ایده آل	
فعلا گران و با پیچیدگی بالا، الزامات سختگیرانه امکانات و قوانین حقوقی، عدم عرضه تجاری عمومی.	گزینه های مواد محدود محصولات نهایی معمولا شکننده و حساس به نور هستند. برای نمونه های اولیه کاربردی کمتر مناسب است.	پرداخت سطح کمی خشن، گزینه های مواد محدود.	برخی از مواد به قرار گرفتن طولانی در معرض نور UV حساس هستند. گرانی متریال و نگهداری دستگاه، اندازه ساخت کوچک. نیازمند Curing و شستشو پس از چاپ	وضوح و دقت معمولی؛ برای طرح های بسیار پیچیده یا کوچک نامناسب است. برای سطح کاملا صیقلی نیاز به پولیشکاری جداگانه دارد.	معایب	

GDPEngineeringAcademy

کاربردهای پرینتر سه بعدی صنعتی

چندین بستر کاربردی وجود دارد که از چاپگرهای سه بعدی صنعتی استفاده می کنند، مانند نمونه سازی محصول، تولید ترکیبی و تا حدی تولید مستقیم (برخی از ویژگیهایی که در ادامه توضیح داده میشود بر اساس سطح استاندارد کشورهای پیشرفته منظور شده است).

نمونه سازی سریع

با نمونه‌سازی افزایشی، طراحان و مهندسان می‌توانند قطعات پروتوتایپ را مستقیماً از داده‌های CAD سریع‌تر از همیشه ایجاد کنند و بازبینی‌های دقیق و مکرر طرح‌های خود را بر اساس آزمایش و بازخورد در دنیای واقعی انجام دهند. از آنجاییکه این قطعات یا مجموعه‌ها معمولاً با استفاده از تکنیک‌های ساخت افزودنی بر خلاف روش‌های کاهشی سنتی ساخته می‌شوند، این عبارت مترادف با ساخت افزودنی و چاپ سه بعدی شده است: Additive Manufacturing: 3D Printing

تولید افزودنی یک شیوه اورجینال نمونه سازی است: زیرا آزادی فرم نامحدودی را فراهم می کند، نیازی به ابزار دستی ندارد و میتواند قطعاتی با خواص مکانیکی و مطابق با مواد مختلف ساخته شده فرآیندهای سنتی تولید کند.

با چاپگرهای سه بعدی صنعتی، مهندسان و طراحان می توانند نمونه های اولیه واقعی و کاربردی را سریعتر و با هزینه کمتری نسبت به روش ماشینکاری سنتی تولید کنند تا بسرعت بین طرح های دیجیتال و نمونه های اولیه فیزیکی تکرار شوند. اکنون می‌توان نمونه‌های اولیه را در یک روز ایجاد کرد و بر اساس نتایج آزمایش‌ها و تحلیل‌های واقعی، چندین بار طراحی، اندازه، شکل یا مونتاژ را انجام داد. در نهایت، فرآیند نمونه سازی افزایشی به شرکتها کمک می کند تا محصولات بهتری را سریعتر از رقبای خود به بازار عرضه کنند.

تولید هیبریدی

تولید هیبریدی - پرینت سه بعدی را با فرآیندهایی مانند قالب گیری تزریقی، ترموفرمینگ یا ریخته گری ترکیب می کند. با بهبود انعطاف پذیری، چابکی، مقیاس پذیری و کارایی هزینه، فرآیند تولید محصول بهبود می یابند. در نتیجه، تولیدکنندگان قادرند نیازهای در حال تغییر کسب و کار را بسرعت برآورده کنند.

پرینتر سه بعدی یا قالب گیری تزریقی؛ کدام روش برای شما مناسبتر هستند؟

پرینترهای سه بعدی صنعتی سبب صرفه جویی روزها و هفته ها هنگام تولید جگ ها، وسایل و ابزارآلات داخلی میشوند؛ نتیجه: بهبود چابکی عملیاتی و کاهش چشمگیر هزینه در مقایسه با ماشینکاری سنتی یا برون سپاری به یک خدمات دهنده خارجی تولید کاهشی (مثلا فرم دهی شمش یا بلوک پلاستیک و فلز و ...).

دستگاه برش CNC یا پرینتر سه بعدی: راهنمایی، توصیف و مقایسه

تولید مستقیم

همانطور که اقتصاد پرینت سه بعدی در حال بهبود است و آستانه هزینه مواد در حال کمتر شدن است: استفاده از این فناوری در برنامه‌های کاربردی خاص و تحقیقاتی بخوبی عملی می شود. تولید مواد افزودنی که با نوآوری فناوری و بهبود خواص مواد تغذیه می‌شود، احتمالاً فراتر از نمونه‌سازی محض بسمت قطعات مصرفی (تولید نهایی)، گسترش بیشتری خواهد یافت. چندین صنعت کلان حوزه نظامی، هوا فضا و دریایی قبلاً پرینت سه بعدی را در فرآیندهای تولید خود برای ایجاد قالبها و الگوهای ریخته گری یا چاپ قطعات نهایی استفاده کرده اند.

- *سفارشی سازی انبوه*

راه‌حل‌های چاپ سه بعدی می‌توانند به اتوماسیون و مقیاس‌سازی محصولات شخصی‌سازی‌شده در فرصت‌های بازار انبوه مانند مدل‌های خاص بیمار در مراقبت‌های بهداشتی تا محصولات مصرفی مانند کفش کمک کنند.

sDPEinfacademy

- *تولید کوتاه مدت*

تولید کوتاه مدت با پرینتر سه بعدی، انعطاف پذیری را برای تغییر طرحها بدون هزینه های زیاد فراهم کرده است و یک جایگزین مقرون بصرفه جهت تولید قطعات نهایی در سری کم است.

با پرینت سه بعدی صنعتی، کار خود را شروع کنید

جدیدترین نسل پرینترهای سه بعدی صنعتی، ساخت قطعات پروتوتایپ (نمونه اولیه محصول) و قطعات مصرفی نهایی کم تعداد را سریعتر و ارزانتر کرده است و تقریباً درها را در هر حوزه ای باز کرده تا برای بهبود مرحله تحقیق توسعه "R&D" تولید محصول استفاده شود.

3DPE.ir/academy

شرکت «توسعه گران بعد سوم» تولیدکننده چاپگرهای سه بعدی صنعتی FDM در ایران می باشد. محصولات ما دارای گارانتی و خدمات پس از فروش بلند مدت هستند و این افتخار را داشته ایم که به برترین سازمانهای دولتی و خصوصی کشورمان خدمت رسانی کنیم.

(گالری مشتریان) - برای دریافت راهنمایی و مشاوره کاربرد پرینتر سه بعدی FDM در کسب و کار خود میتوانید با ما تماس بگیرید.

منابع کتاب:

- *https://www.3dpe.ir/academy*
- *https://formlabs.com/blog/industrial-3d-printer*
- *https://markforged.com/resources/blog*
- *https://3dprint.com*
- *https://www.fabbaloo.com*
- *https://3dprinting.com/news*
- *https://www.stratasys.com*
- *https://xjet3d.com*