آزمایشگاه تحقیقاتی
ساخت افزایشی
دانشگاه سمنان

مباحث منتخب (ساخت افزایشی)

کاربردهای ساخت افزایشی

استاد درس:

دکتر عبدالواحد کمی

انواع پرینترهای سه‌بعدی

Fabbers	Office machines	Shop floor machines
Personal 3D printers	Professional 3D printers	Production 3D printers

3D Systems
BFB 3000

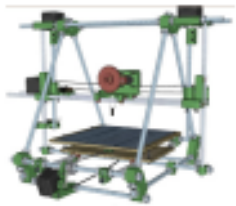
Objet
Eden 500 V

Stratasys
Fortus 900 mc

FIGURE 1.31 Nomenclature for AM machines and its relation to the application levels; examples

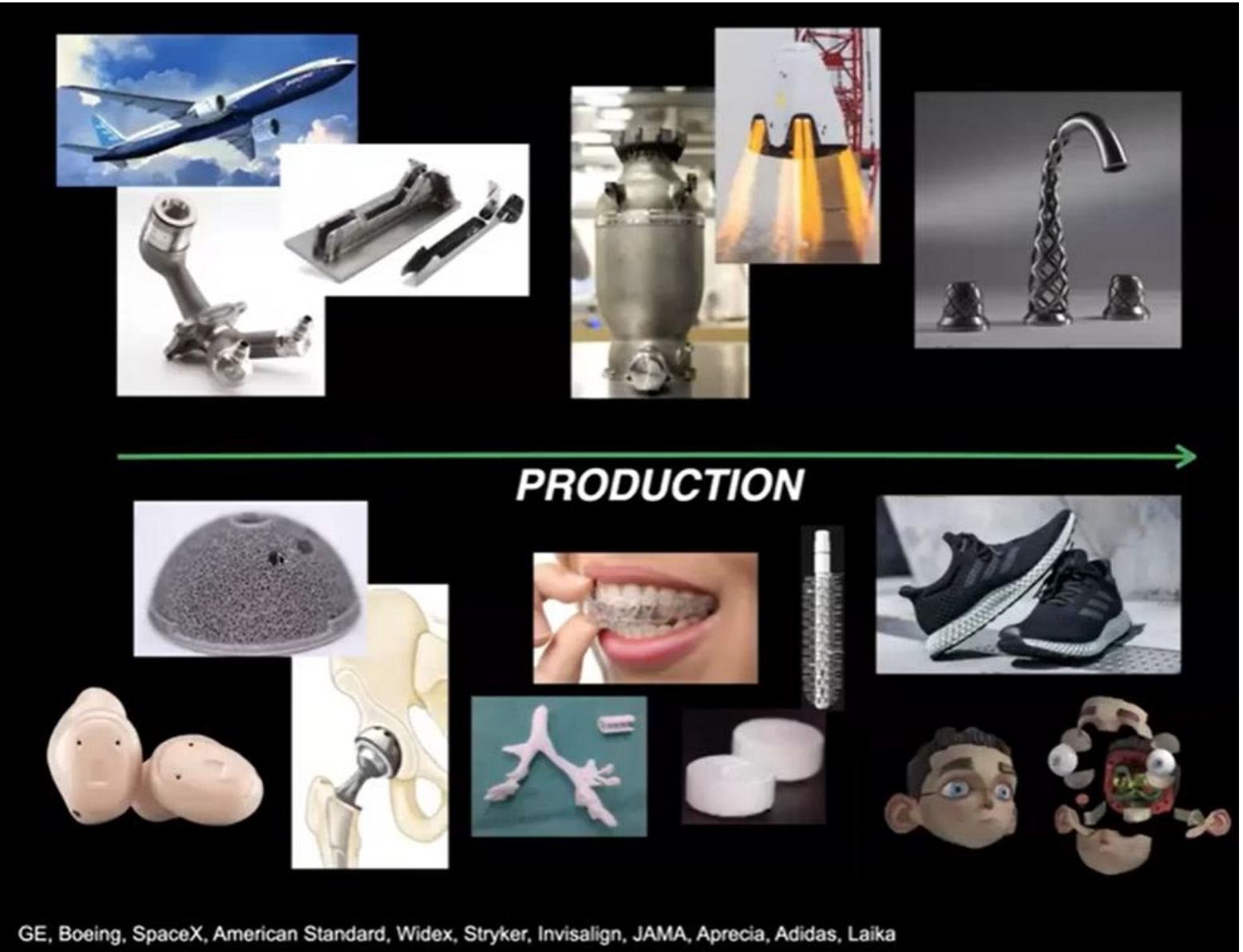
انواع پرینترهای سه‌بعدی

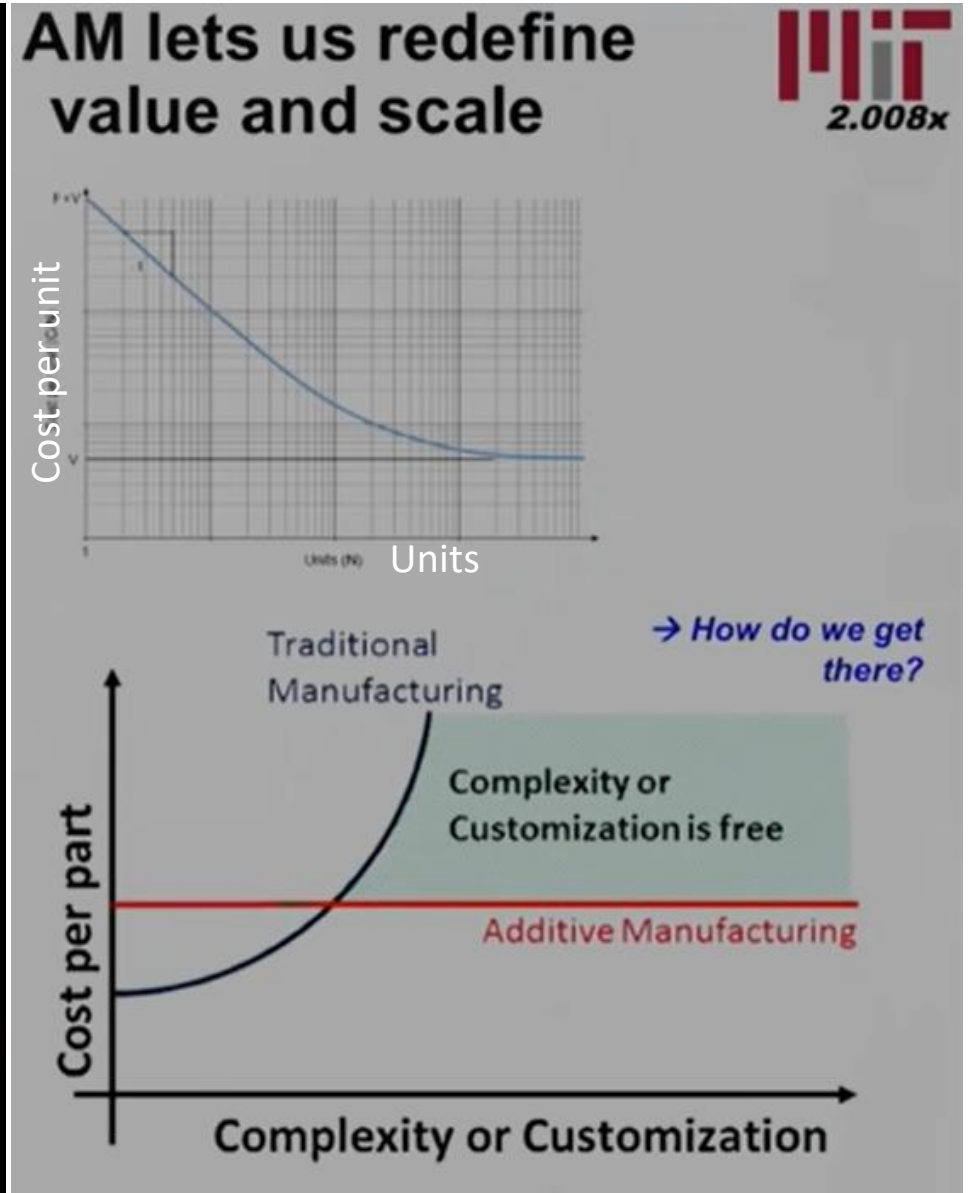
Table 1.1 Classification of machines for Additive Manufacturing/3D Printing

	Machine class			
Designation *	**Prototyper**		**Fabricator**	
	Personal 3D printer		Professional 3D Printer	Production machine Production 3D printer
	Fabber	Personal printer	Office printer	Production printer (Shop floor machine)
Use	Private, domestic	Semiprofes-sional office	Professional office or workshop	Professional, production or job shop
Usage levels (Fig. 1.7)				
▪ Prototypes Display models	X			
▪ Concept models		X		
▪ Functional prototypes			X	
▪ Final products				X
Construction material	Plastic	Plastic	Plastic	Plastic, metal, ceramic
Price level	500 to 4000 € [1 € ≈ 1.07 USD]	1000 to 10,000 €	20,000 to 70,000 €	130,000 to > 800,000 €
Example	 Prusa Mendel	 Dimension	 Objet	 Concept SLM

* The classifications are not standardized and are handled differently by different manufacturers and users. Those used here are based on the recommendation from 3D Systems and follow a system often used in practice.

تولید قطعات به روش ساخت افزایشی





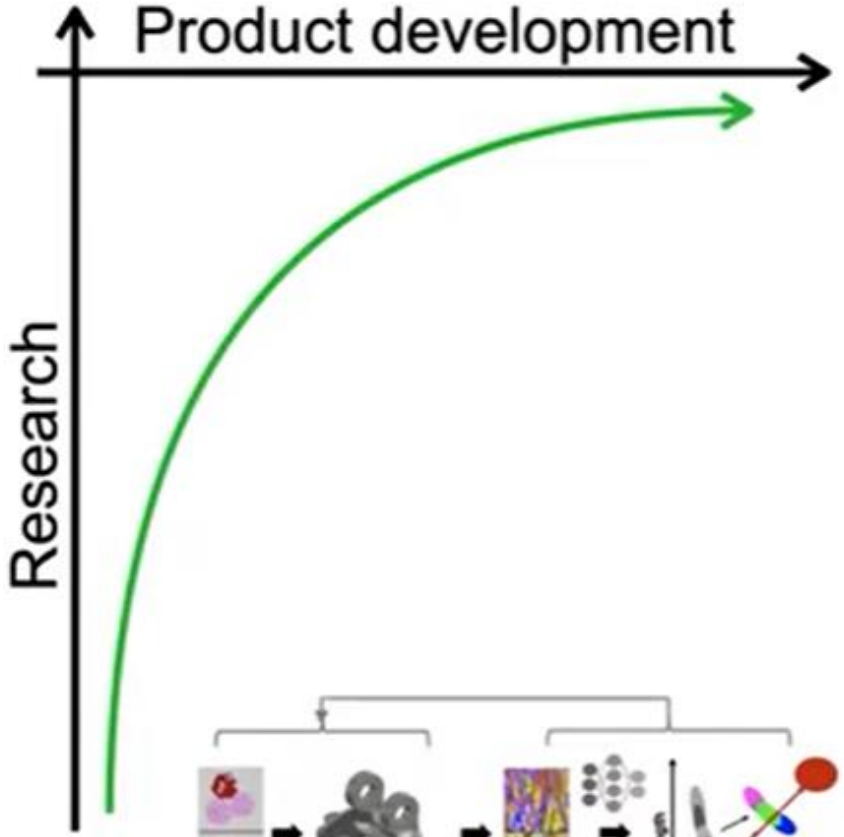
تولید قطعات به روش ساخت افزایشی

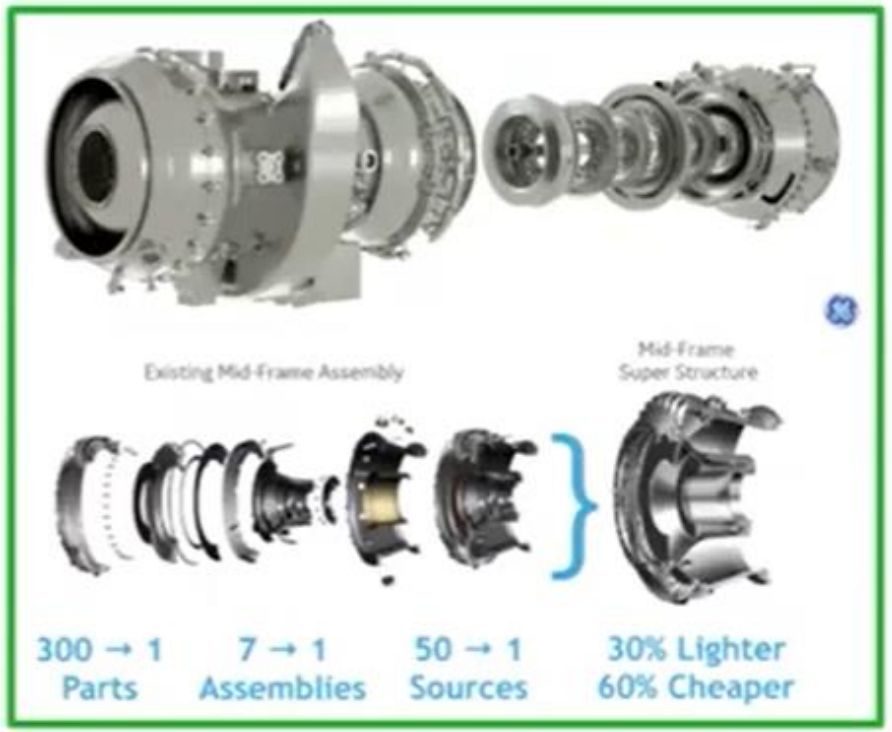
How good (or bad) is additive manufacturing?

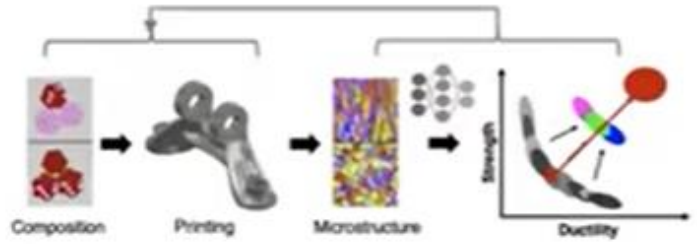
2.008x

Rate	**LOW**	0.01-1 kg/hr (getting better!)
Quality	**LOW**	~0.1 mm resolution (rate-quality tradeoff)
Cost	**HIGH**	$0.1-10 per gram! (highly dependent on material and process)
Flexibility	**AMAZING** (if you know what to do)	

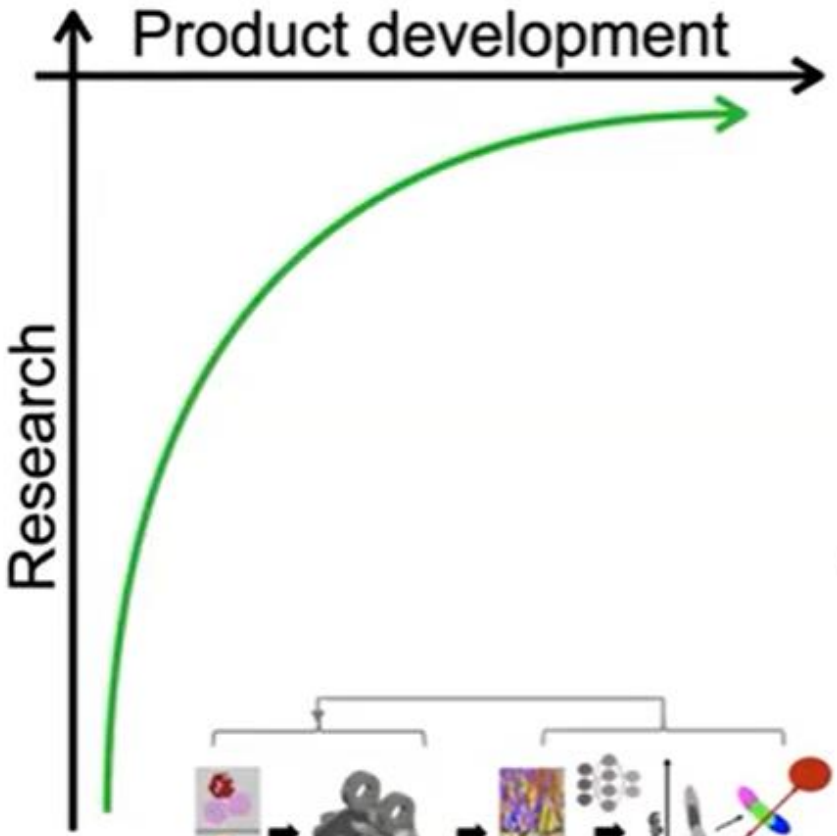
تولید قطعات به روش ساخت افزایشی

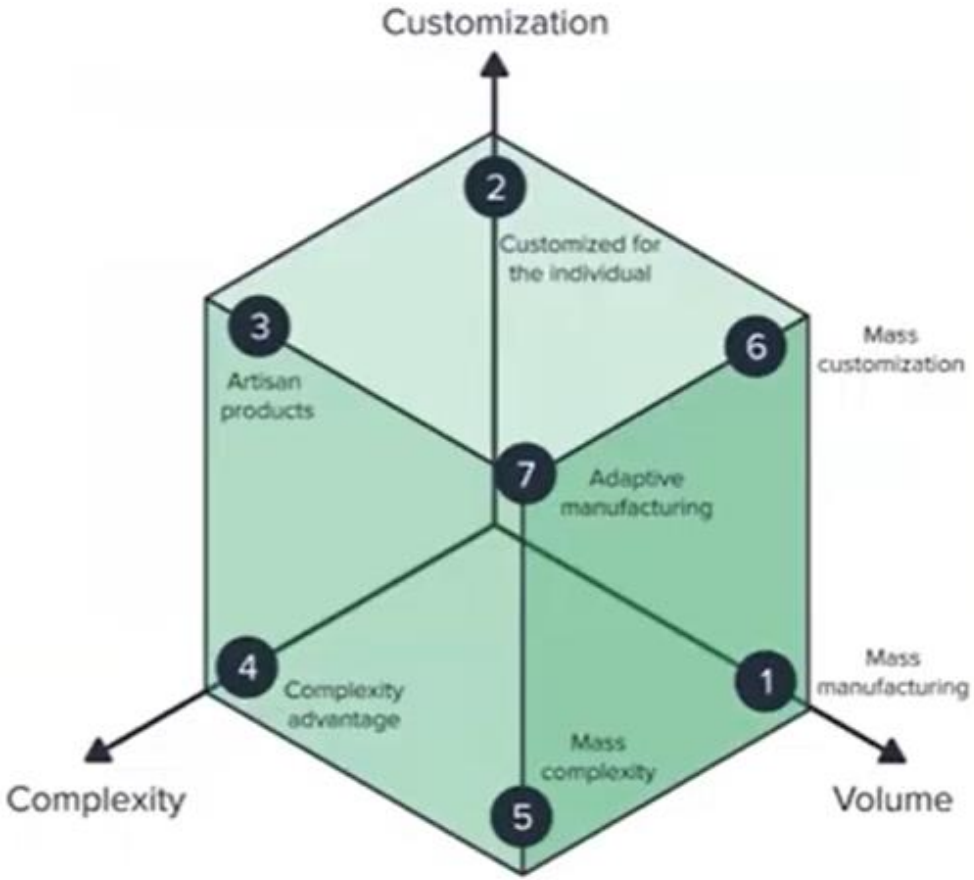


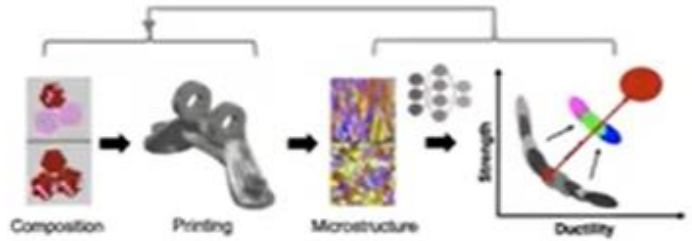




تولید قطعات به روش ساخت افزایشی







حوزه های کاربرد پرینت سه‌بعدی

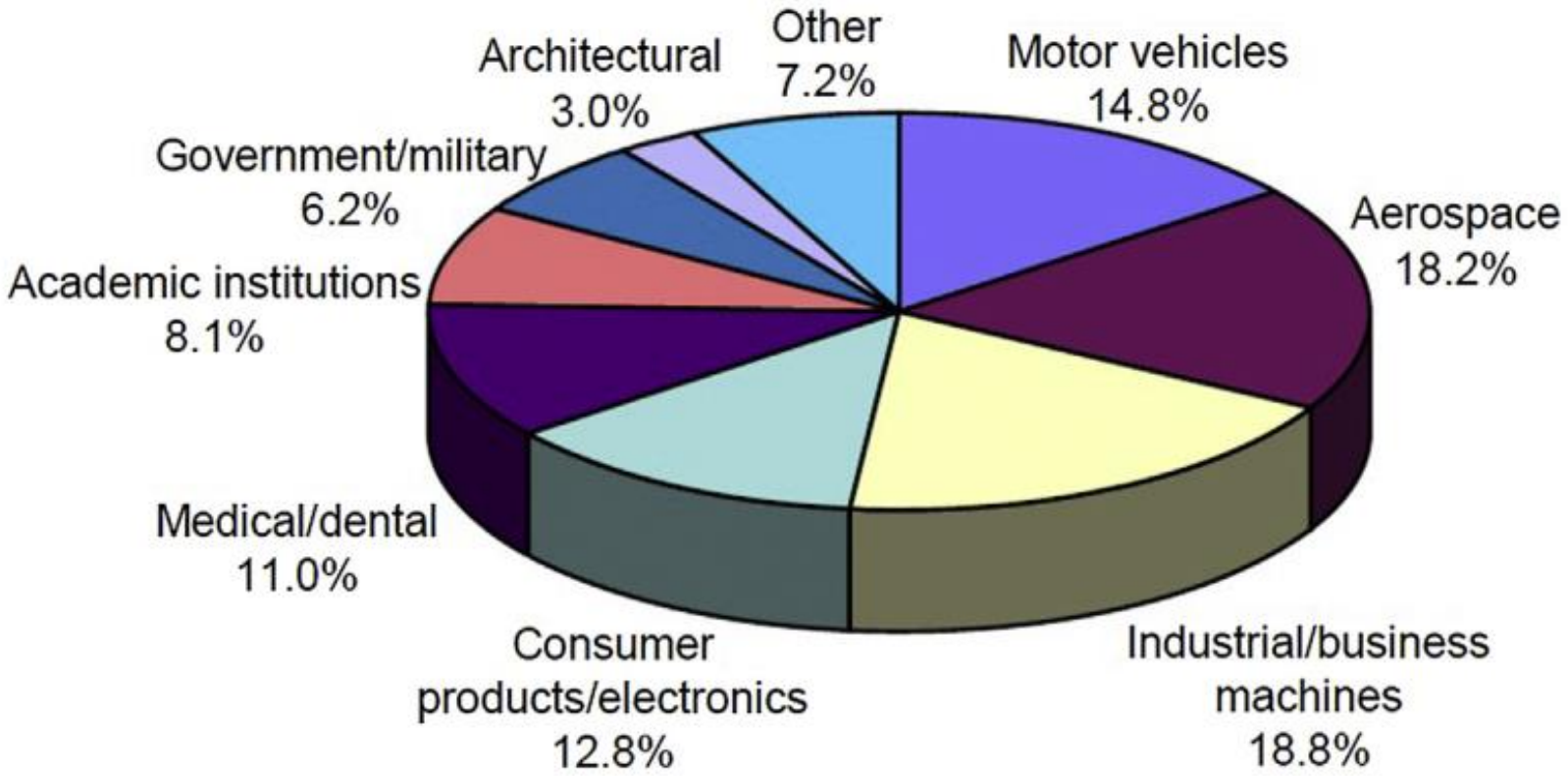


Figure 2.2 Additive manufacturing market share by industry in 2017.
Source: Wohlers, A., Wohlers Report 2017. 3D Printing and Additive Manufacturing State of the Industry. Annual Worldwide Progress Report. 2017: Associates Wohlers. Wohlers Report 2017. Wohlers Associates, Inc. [4].

حوزه های کاربرد پرینت سه‌بعدی

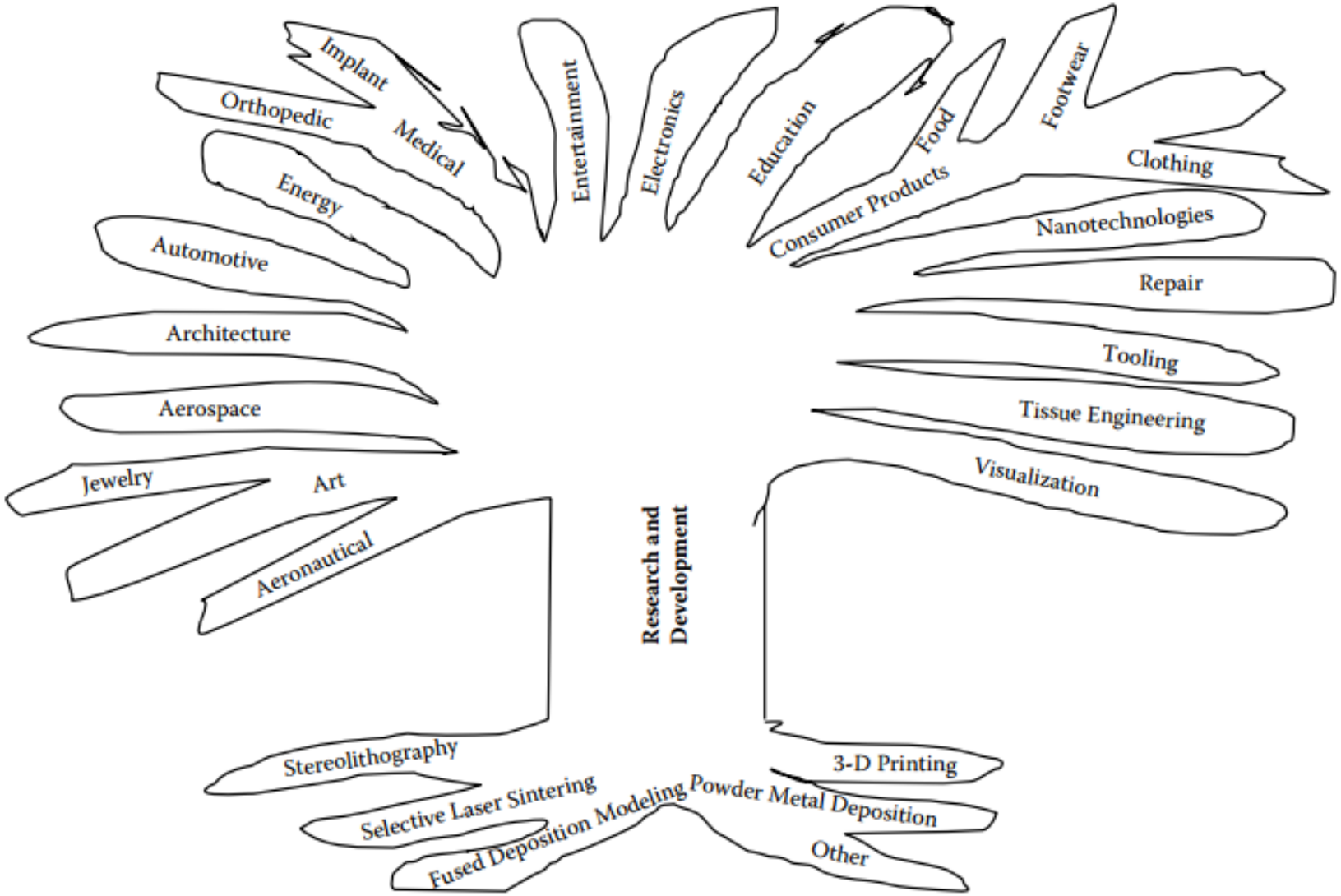


FIGURE 1.17 A simple overview of the field of additive manufacturing and the many domains for research.[110]

کاربردهای پرینت سه بعدی

۱- قالب سازی

۲- جواهرسازی

۳- ساخت سازه های سبک

۴- ماکت سازی

۵- ساخت پوشیدنی ها

۶- ساخت خانه

۷- صنعت خودرو

۸- آموزش

۹- پزشکی

۱۰- کاربردهای خانگی

۱۱- سلفی سه بعدی

۱۲- پرینت غذا

۱۳- صنایع هوایی

۱۴- ریخته‌گری

کاربرد در قالب سازی

- یکی از مشکلات مطرح، صافی سطح کم است.
- اگر امکان تولید با ماشینکاری وجود دارد، استفاده از روش ساخت افزایشی توصیه نمی شود.
- برای ساخت مجموعه کامل قالب، اغلب ترکیبی از روش های کاهش و افزایشی استفاده می شود.

Figure 5.5 Basic setup of an injection mold with plates made of Plexiglas for demonstra purposes (Source: 3D Systems)

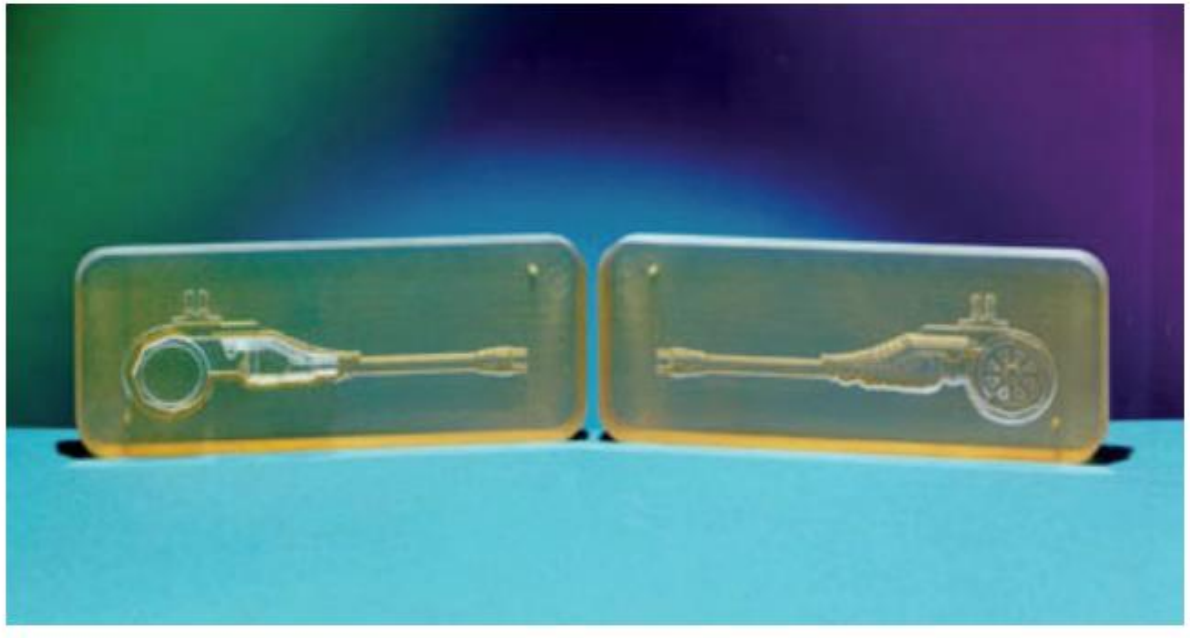


Figure 5.16 Tool inserts of stereolithographic material for use in plastic injection molds (AIM) (Source: 3D Systems)

کاربرد در قالب سازی

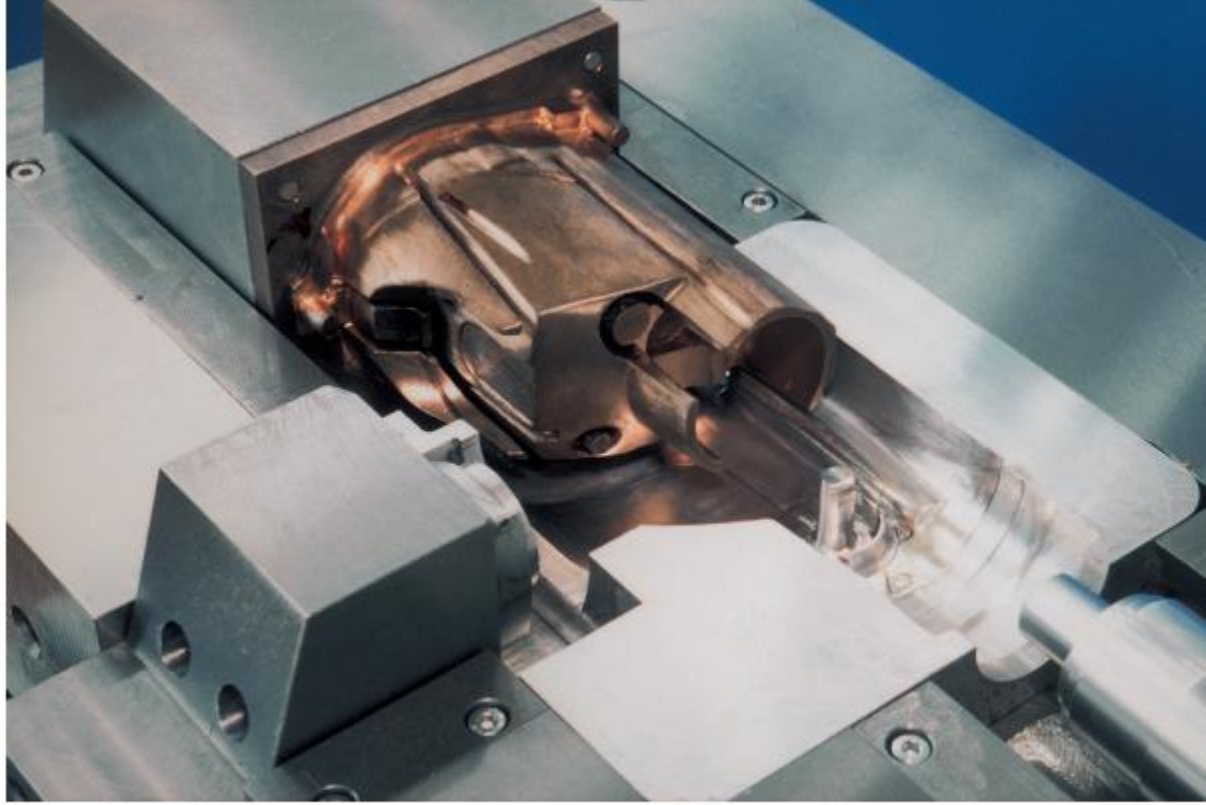


Figure 5.20 Core slider after the selective laser sintering of metals (IMLS) (Source: Breitinger)

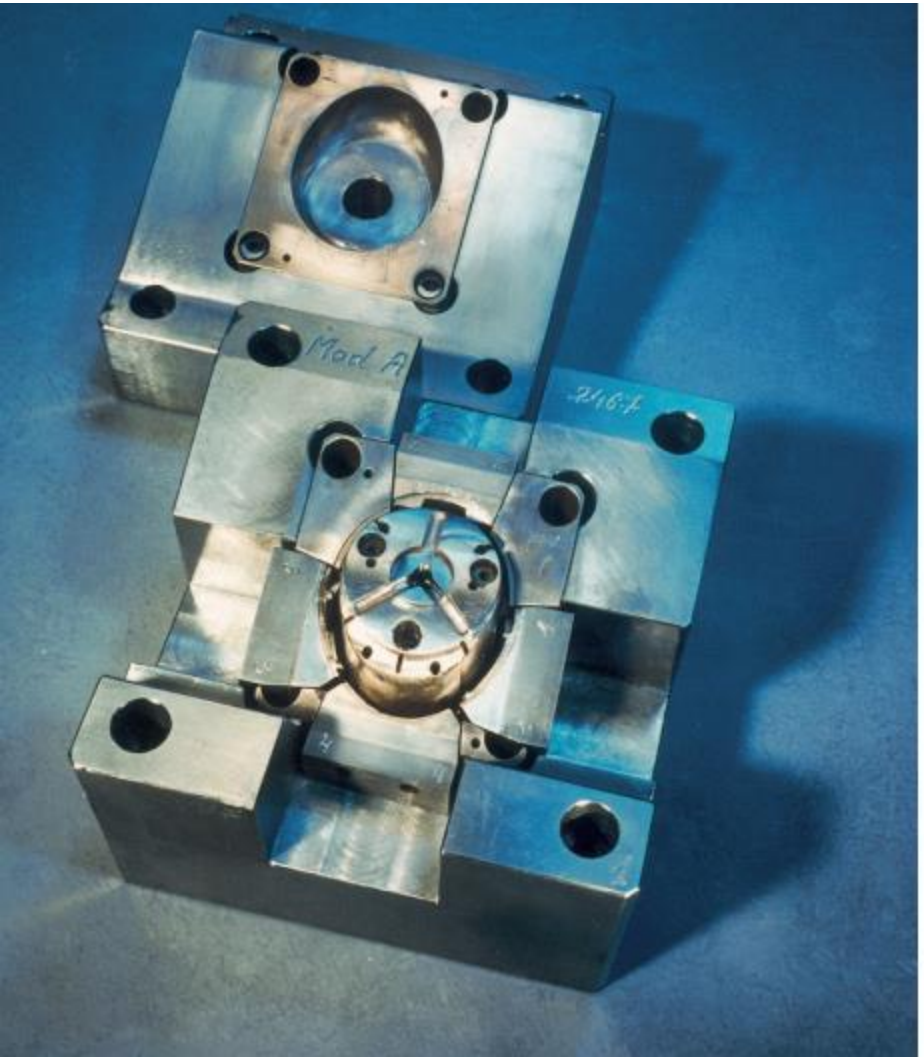


Figure 5.22
Direct metal (1998) with EOS Electrolux multicomponent-material tool with four pushers (Source: EOS)

کاربرد در قالب سازی

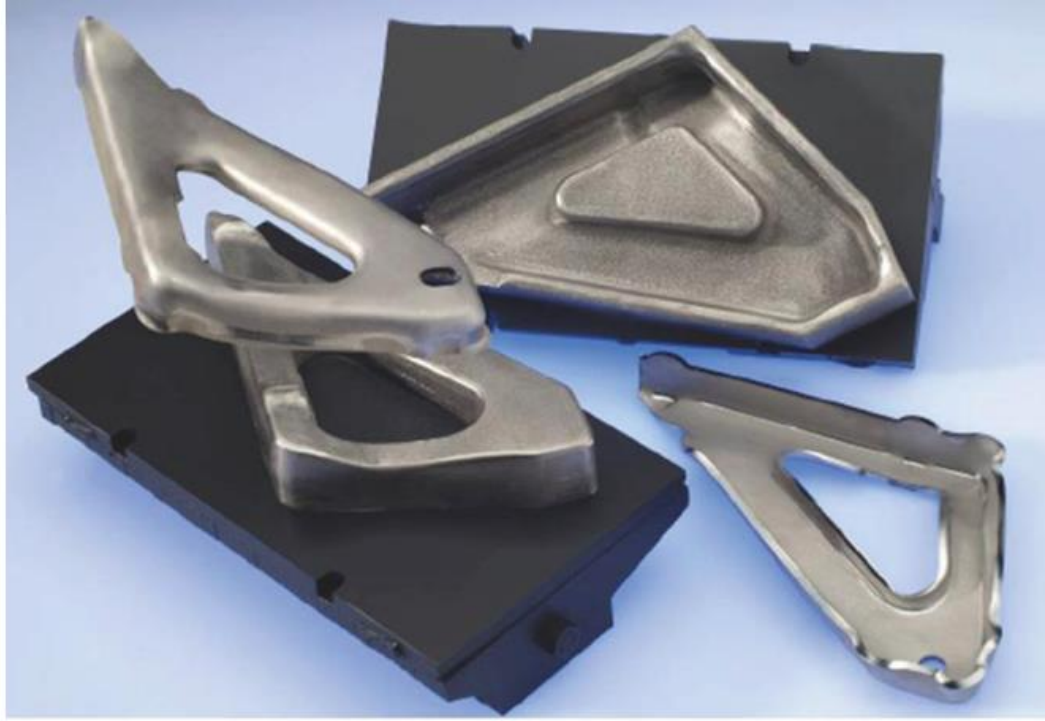


Figure 5.25 Laser melting, die for sheet metal processing, transformed parts (Source: MCP-HEK)

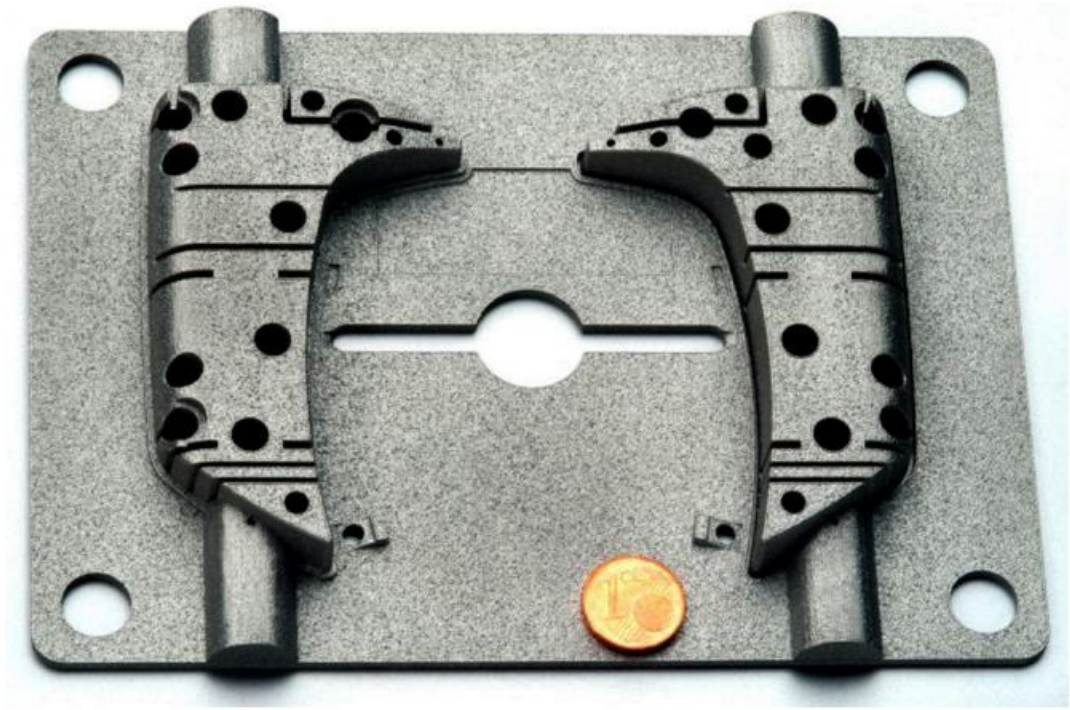


Figure 5.24 Laser melting, mold insert (Source: MCP-HEK)

کاربرد در قالب سازی

Figure 5.26 LaserCUSING, mold insert with conformal cooling, sliced part (Source: Concept Laser)

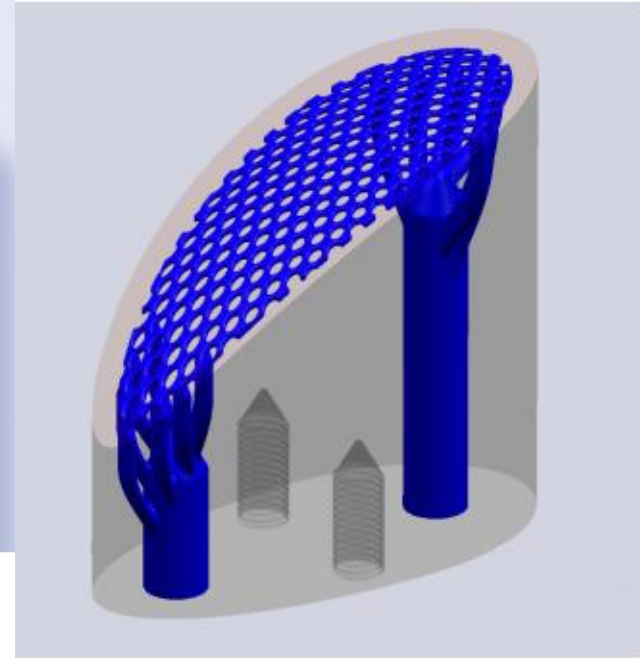
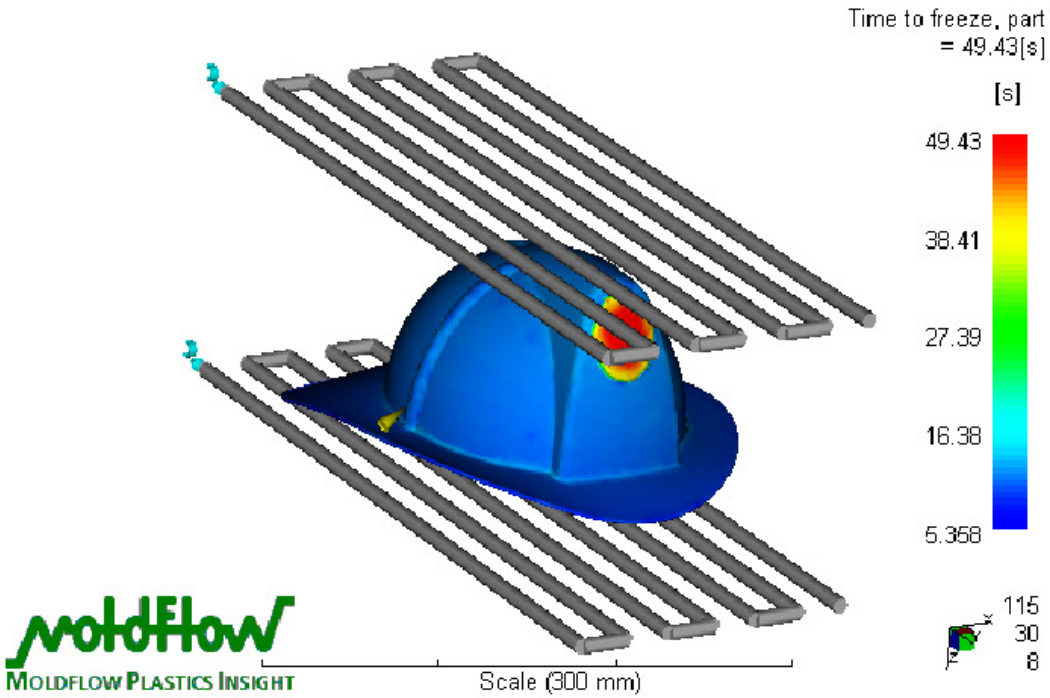
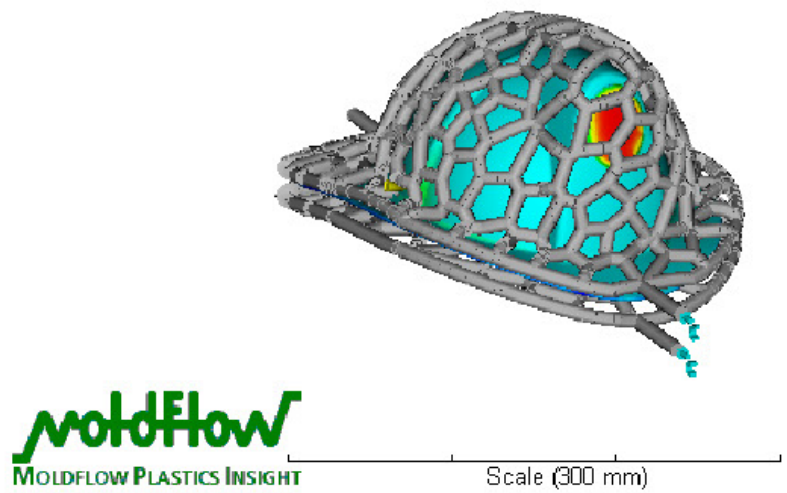


Figure 5.2
Conformal cooling, CAD design of a cooling network (Source: Concept/Hofmann)



(a) Conventional channel design



(b) Channels generated by our approach

کاربرد در قالب سازی

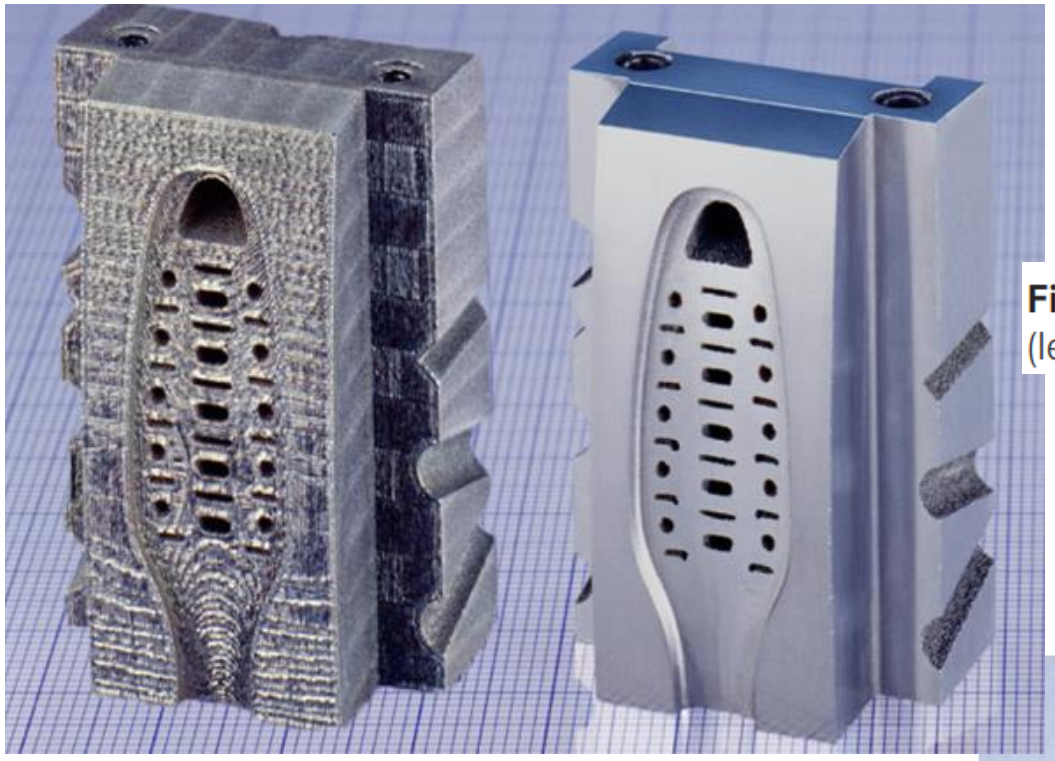


Figure 5.27 Laser forming; mold insert with internal cooling channels after the AM process (left) and postprocessed, ready to use (right) (Source: TRUMPF)

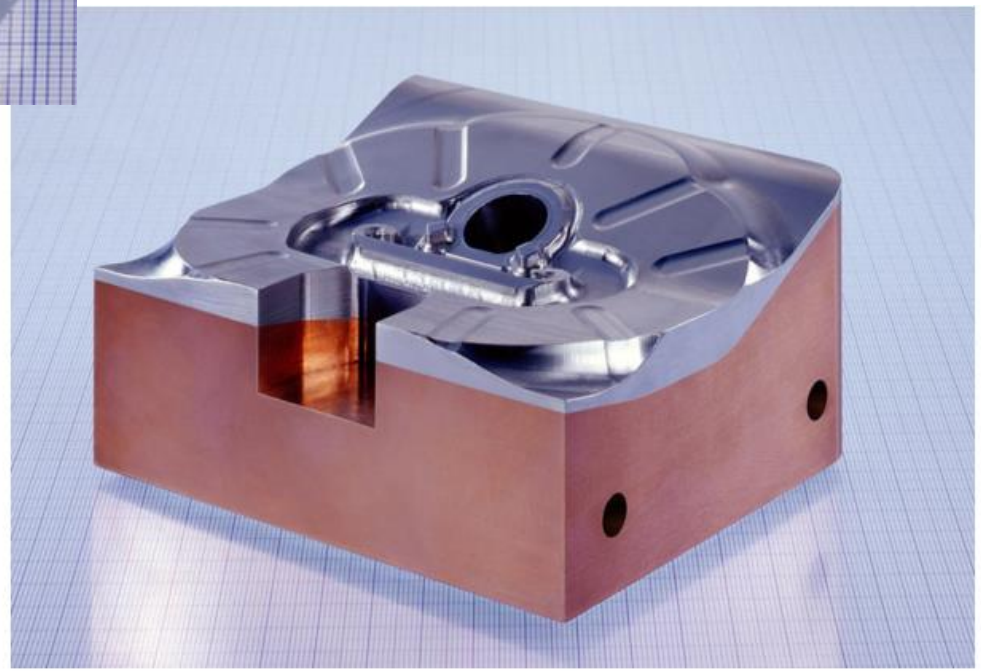
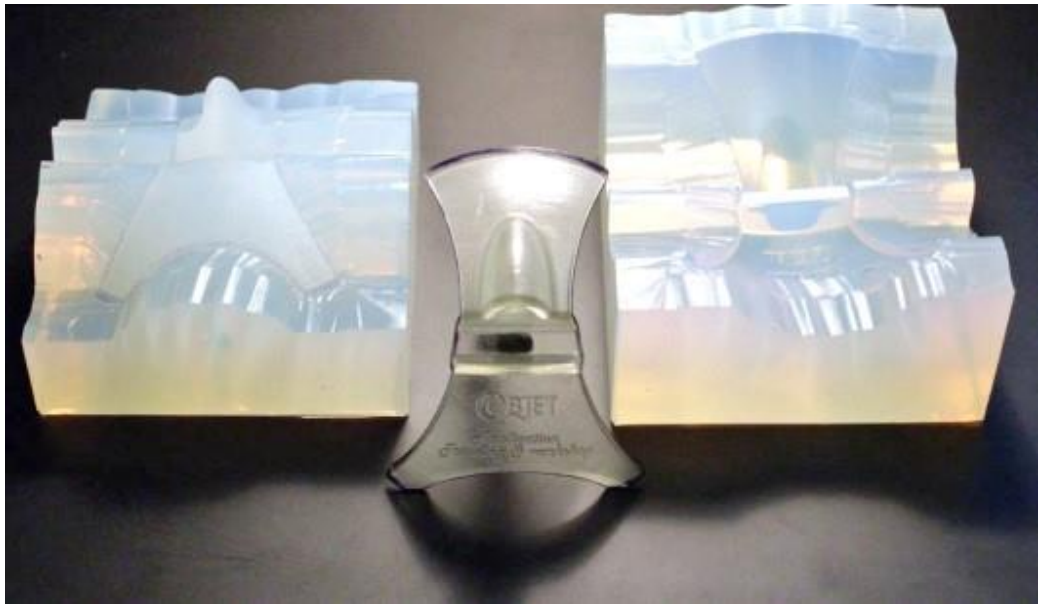


Figure 5.31 Direct metal deposition, bimetal tool of 1.2344 and CuCr (Source: TRUMPF)

[10]

کاربرد در قالب سازی



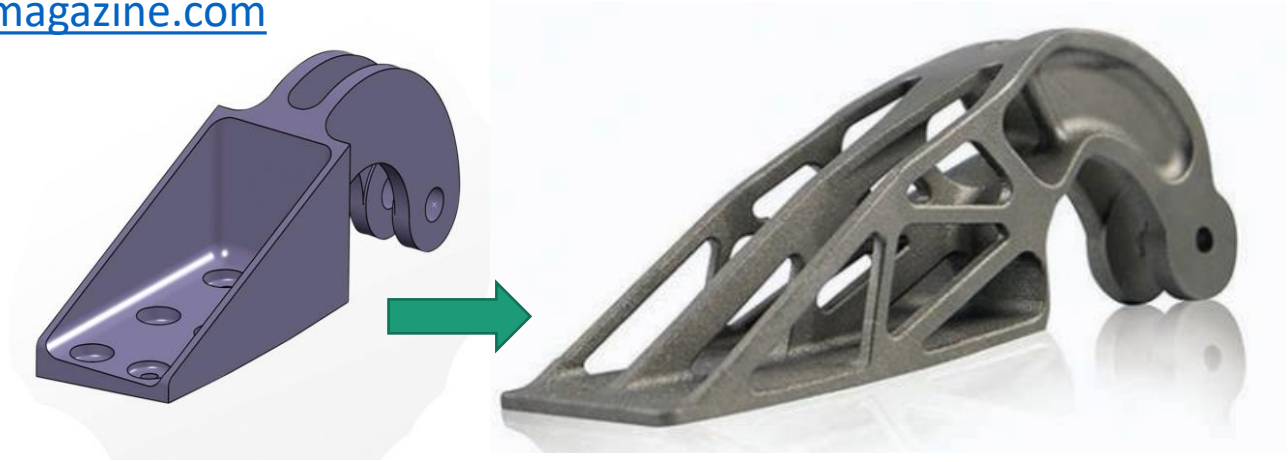
پرینت الگو و استفاده از آن برای ساخت قالب سیلیکونی

قالب بادی تولید بطری

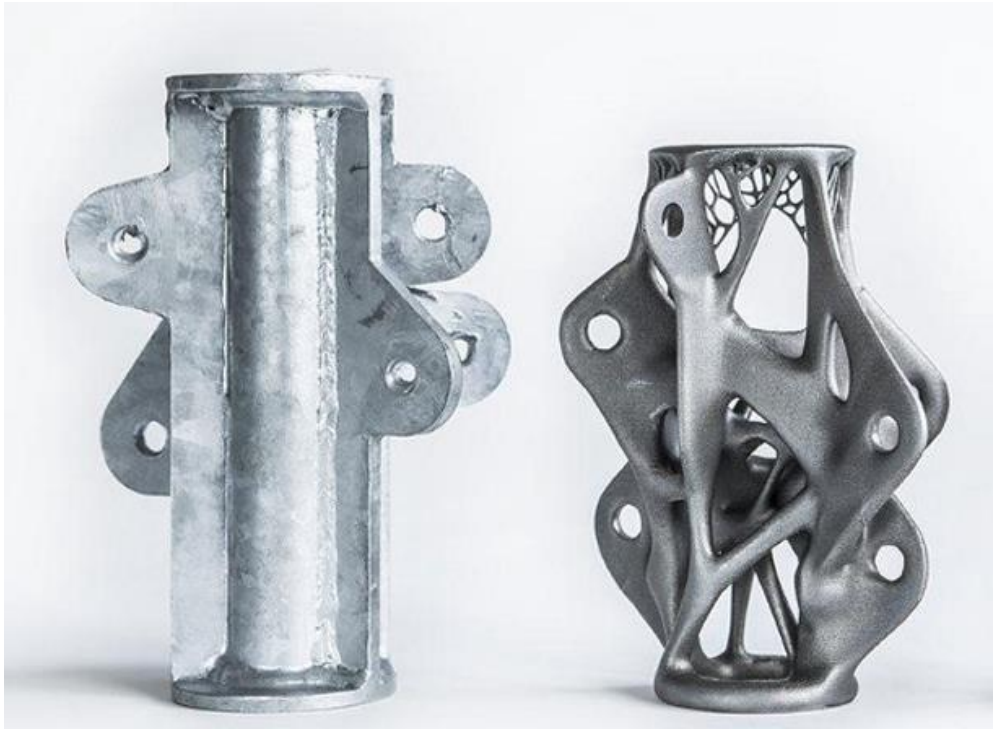
قالب تزریق پلاستیک
صابون (شرکت Unilever)

tctmagazine.com

ساخت سازه های سبک



براکت لولا برای هواپیمای ایرباس A320 (از جنس تیتانیوم)



سازه بهینه شده

موتورسیکلت ساخته شده توسط APWorks با ۳۰٪ کاهش وزن

کاربرد در معماری

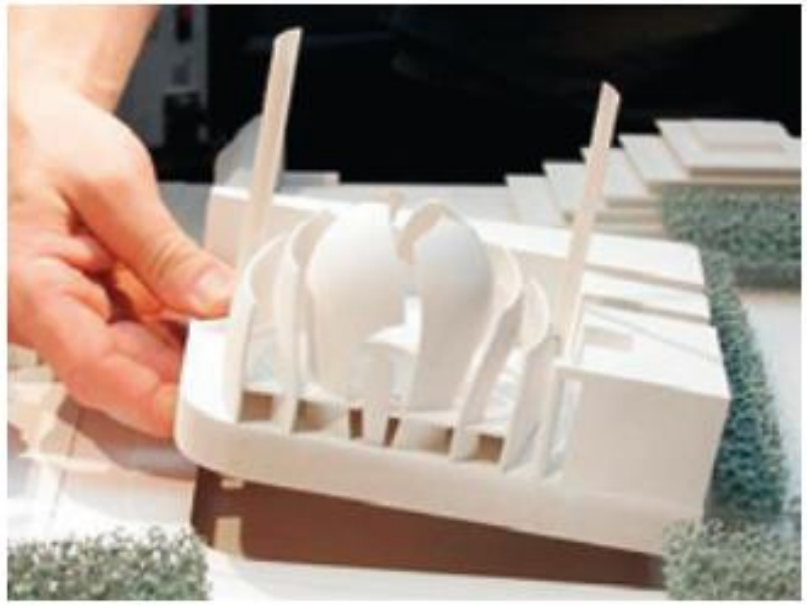
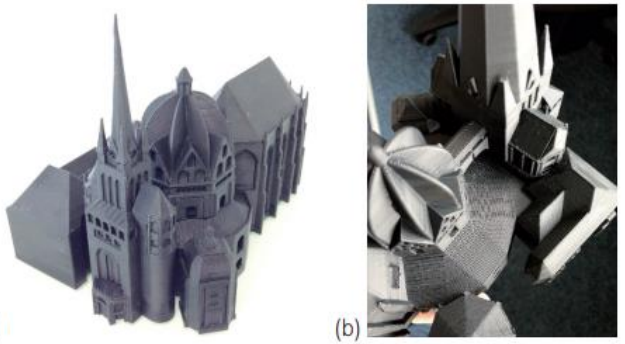


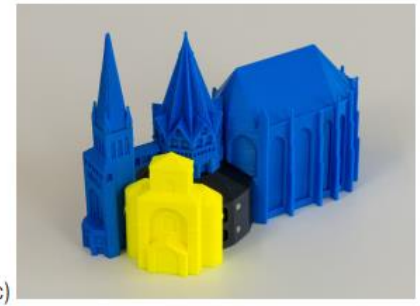
FIGURE 3.37 Architectural model, mosque, laser sintering (Source: Deutschlandwoche, 10/2007)

FIGURE 3.38 3D display of a concept for a touristic center, laser sintering of polyamides (Source: Bernhard Bader)

Figure 4.49 Ground Zero, New York, competition contribution by United Architects: 2D rendering (upper left), screenshot of the 3D animation (upper right), and stereolithography part as component of an architecture model (bottom) (Source: United Architects)



(a) (b)



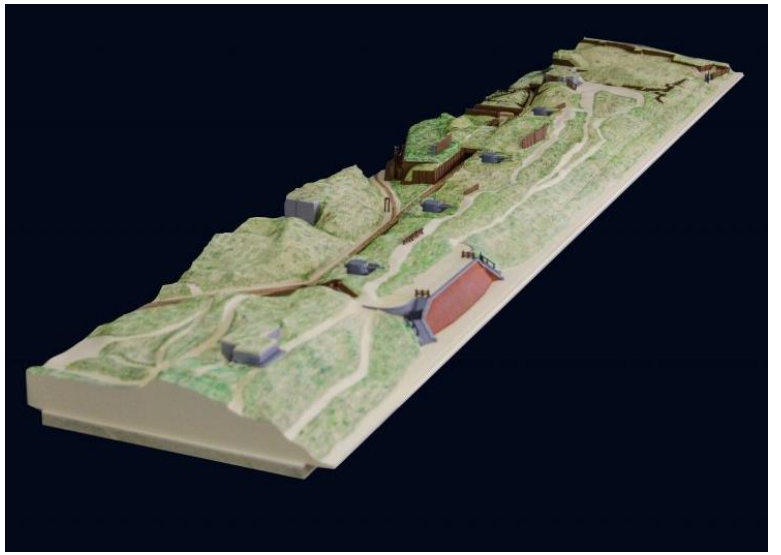
(c)

Figure 4.50 Model of the Aachen cathedral, fused deposition modeling. The CAD data were reconstructed from images and processed for model building: (a) full model, scale around 1 : 468, (b) detail of the roof, with deliberate extrusion structure, (c) important parts of the building history produced as single parts (Source: FH Aachen/Einhard Gymnasium Aachen)

کاربرد در معماری

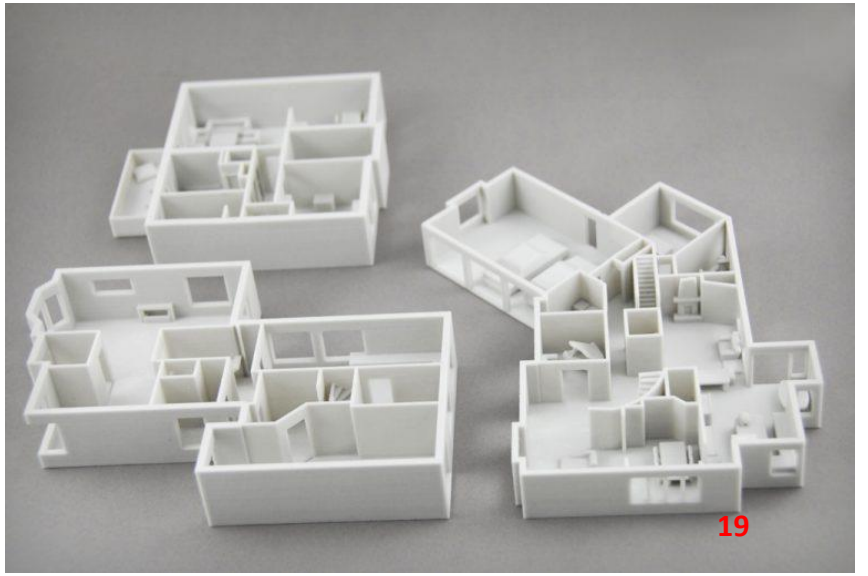
ماکت شهر برای نمایشگاه یا نمایش طرح های توسعه

خط ساحلی بلژیک در طول جنگ جهانی اول (برای نمایش در موزه)



مدل پرینت شده برای شرکت Linde آلمان

پرینت و بررسی پلان طبقات ساختمان قبل از ساخت آن

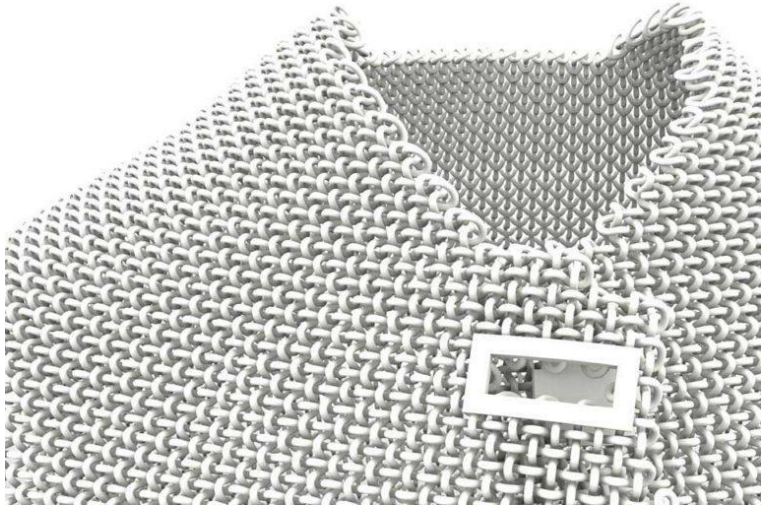


ساخت پوشیدنی ها: عینک

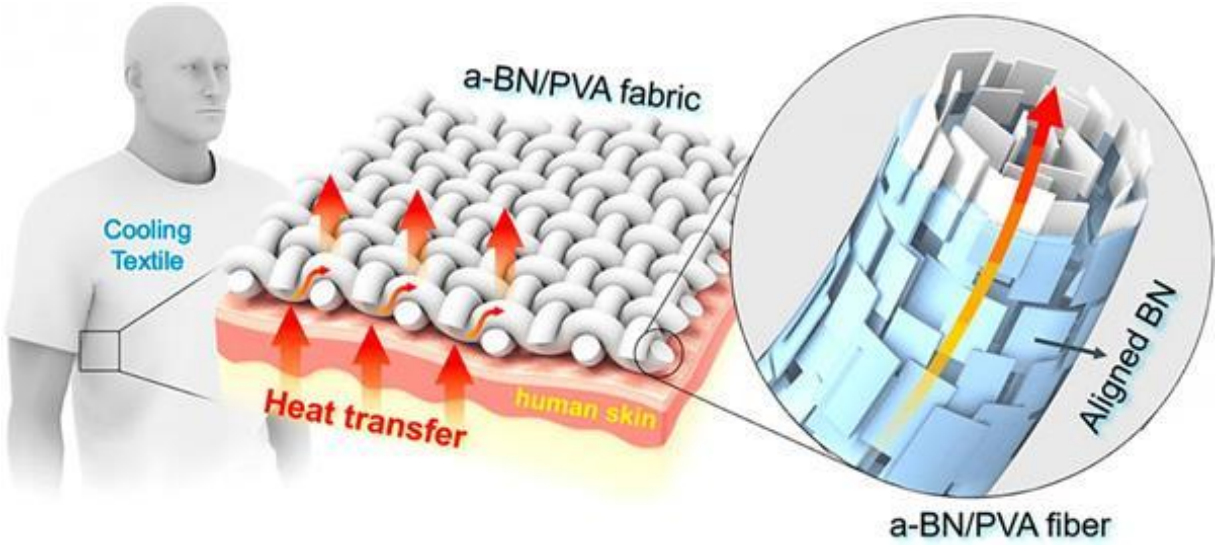
چند نمونه از استارتاپ های این حوزه:

- King Children
- Dear Deer
- Fitz Frames

ساخت پوشیدنی ها: لباس



لباس تولید شده از جنس TPU، تولید مشترک شرکت ژاپنی Free-D و STARTed



تولید پارچه با خاصیت خنک کنندگی بالا،
University of Maryland College Park (UMCP)

ساخت پوشیدنی ها: کفش

CONTINUUM

Peak Sport

Adidas & Carbon “Birdsnest”

Nike & Proways

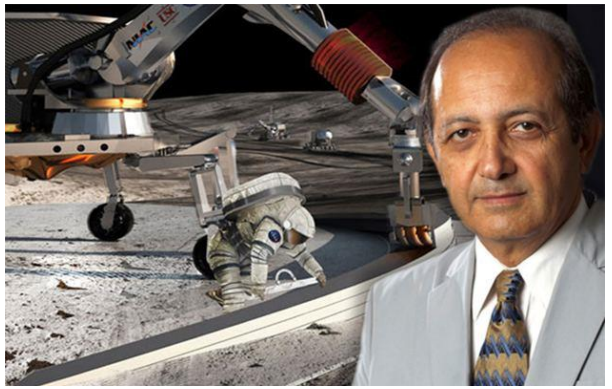
ساخت خانه

ساخت خانه با متراژ ۳۳ مترمربع در کمتر از ۲۴ ساعت و با هزینه تقریبی ۴۰۰۰ دلار (ICON)

روش Contour Crafting

مخترع: بهرخ خوشنویس

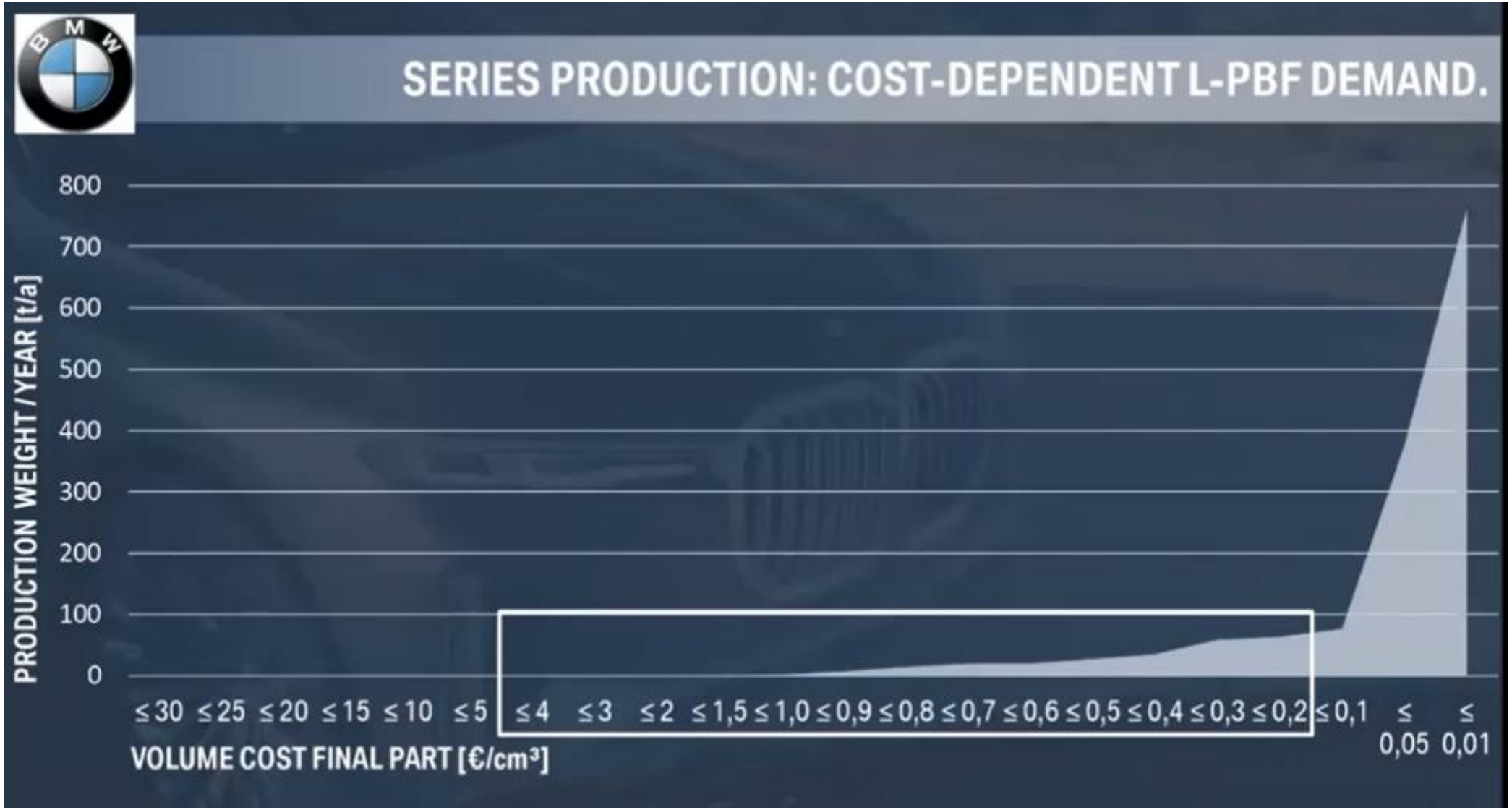
ساخت خانه در کره ماه و مریخ



کاربرد در صنایع خودرویی

- خودروسازها جزء اولین گروه استفاده کننده از تکنولوژی AM بودند.
- نمونه سازی و ابزارسازی سریع
- تولید قطعات خودروهای خاص با حجم تولید کم
- قطعات سفارشی برای خودروهای لوکس
- جایگزینی قطعات خودروهای کلاسیک
- جایگزینی قطعات نایاب/کمیاب خودروهای موجود در بازار (ایران)

کاربرد در صنایع خودرویی



کاربرد در صنایع خودرویی

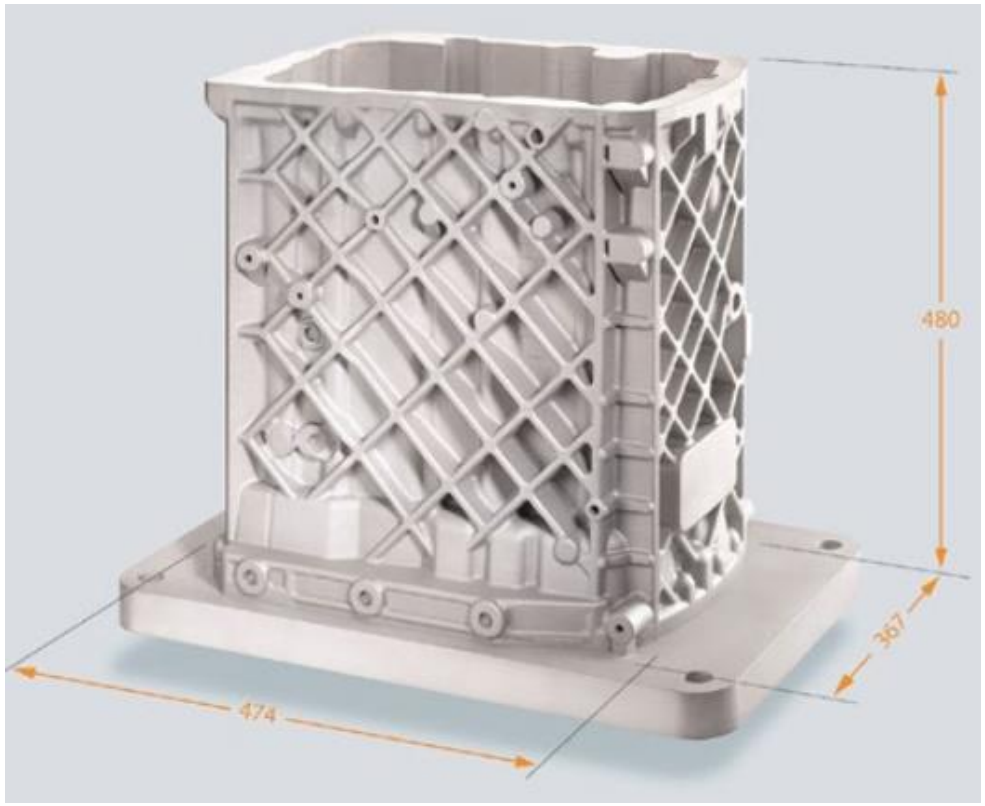
FIGURE 3.6 Dashboard insert; laser sintering, polyamide (left); fuel tank. laser sintering polyamide (right). both: 1 : 1 scale (Source: EOS)

FIGURE 3.7 Speakers, stereolithography master and silicon mold (left), cast part (RTV, right) (Source: CP-GmbH)

FIGURE 3.8 Interior lighting; design variations; stereolithography and RTV with inserts (Source: CP-GmbH)

کاربرد در صنایع خودرویی

This oil pump housing is made of aluminium alloy and manufactured on a Concept Laser M2 cusing machine from CL 31AL (AlSi10Mg). As well as offering a reduction in manufacturing time, AM enabled an optimum design in terms of flow properties as there are no sharp-edged transitions as a result of drill holes (Courtesy Concept Laser)



This gearbox is made of aluminium and manufactured on a Concept Laser X line 2000R machine. The material is CL 31AL (AlSi10Mg). Additive Manufacturing offered reductions in weight, cost and manufacturing time as well as giving the designer significant design freedom (Courtesy Concept Laser)

نمونه‌هایی از قطعات فلزی

کاربرد در صنایع خودرویی

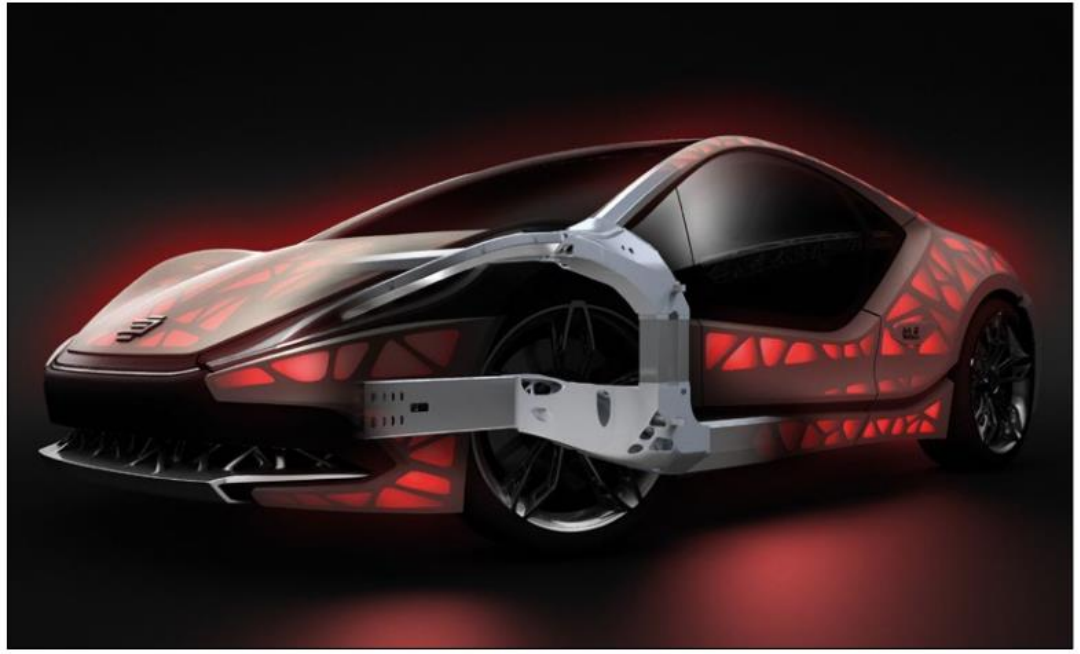
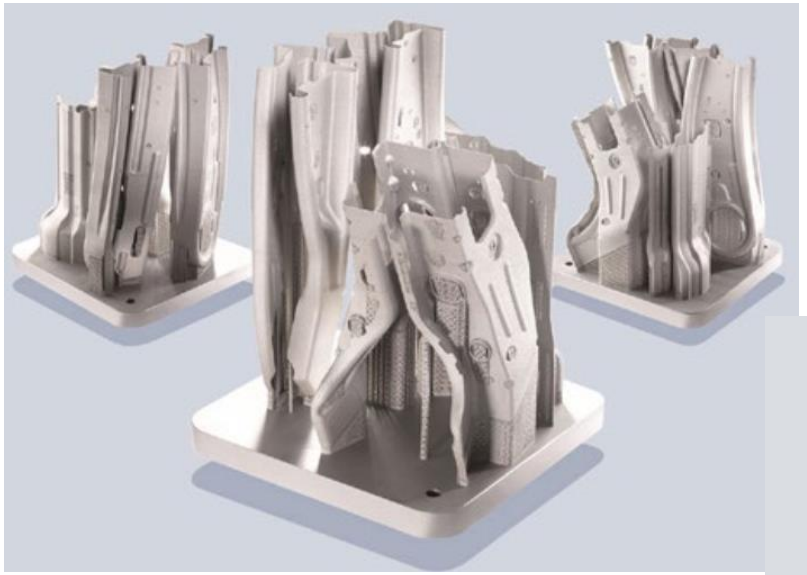


Fig. 2 The EDAG Light Cocoon concept car showing the use of additively manufactured nodes combined with steel profiles in the NextGen spaceframe

Fig. 3 In the NextGen spaceframe concept the AM nodes are part of an adaptable and flexible production concept that can produce vehicle structures 'just in sequence' (JIS), tailored for different load stages



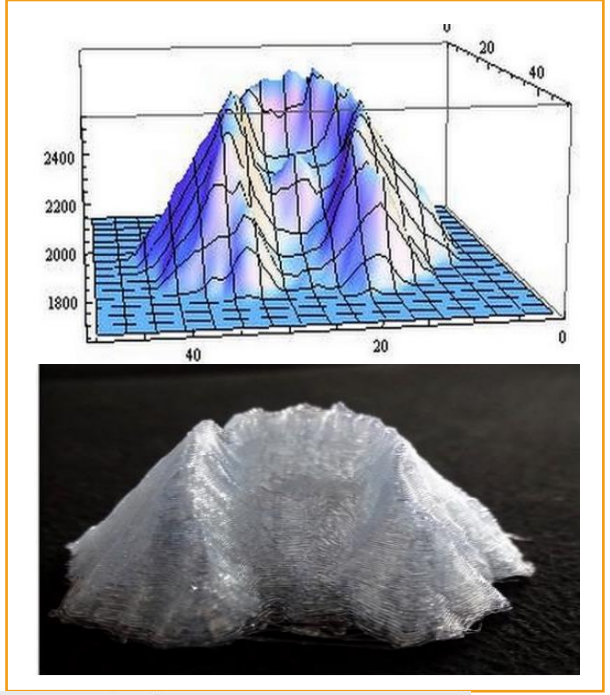
کاربرد در صنایع خودرویی

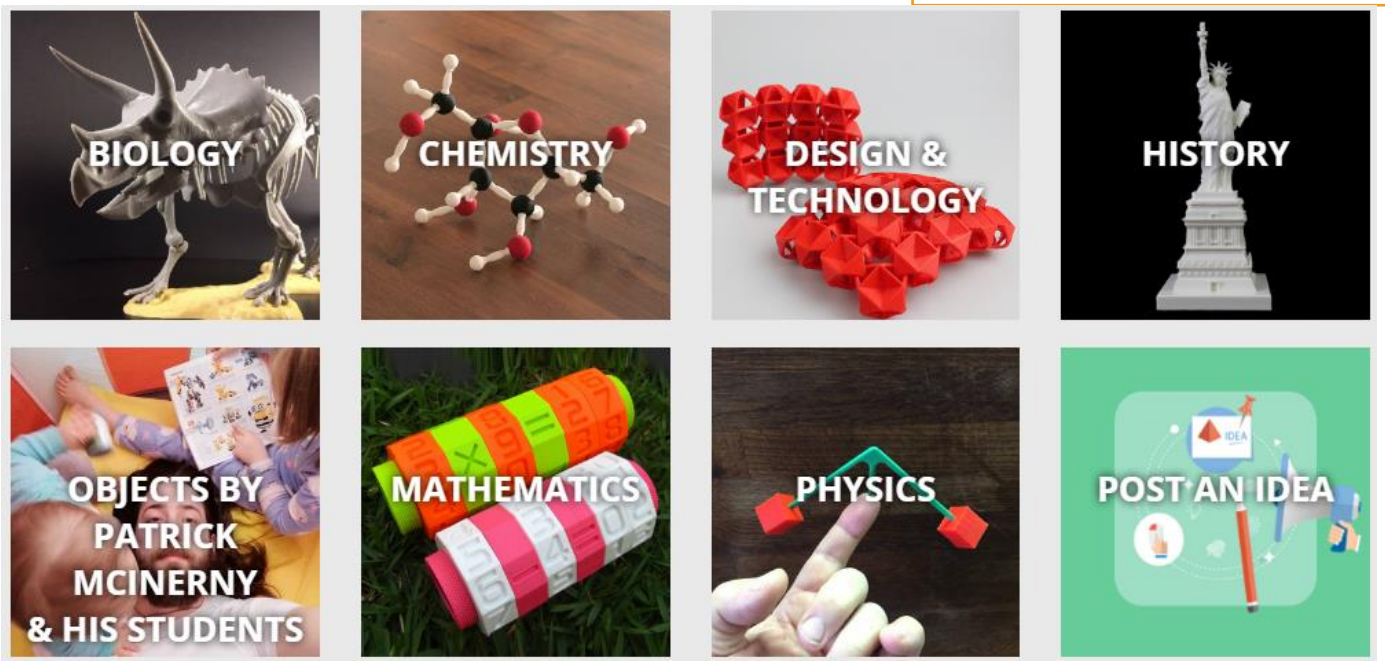
- دسترسی به پودر ارزان و با کیفیت تیتانیوم
- توسعه پرینترهای بستر پودری

جدول ۳-۲: برخی از کاربردهای آلیاژهای تیتانیم در اجزای مختلف خودروها [۵]

قطعه/مشخصه	آلیاژ	سازنده	مدل
دسته پیستون	Ti-3Al-2V-rare earth	Honda	Acura NSX
دسته پیستون	Ti-6Al-4V	Ferrari	All 12-cyl.
پیچ‌های زهوار چرخ	Ti-6Al-4V	Porsche	گزینه چرخ اسپورت
پین راهنما دیسک ترمز	Ti grade 2	Daimler	کلاس S
واشرهای آب بندی ترمز	Ti grade 1 s	Volkswagen	همه مدل‌ها
دستگیره میله دنده	Ti grade 1	Honda	S2000 Roadster
دسته پیستون	Ti-6Al-4V	Porsche	GT3
سوپاپ‌ها	Ti-6Al-4V and PM-Ti	Toyota	Altezza 6-cyl.
چرخ توربوشارژر	Ti-6Al-4V	Daimler	کامیون موتور دیزل
فنرهای تعلیق	TIMETAL LCB	Volkswagen	Lupo FSI
پیچ‌های زهوار چرخ	Ti-6Al-4V	BMW	گزینه تکنولوژی M
نگهدارنده فنر سوپاپ	β-Ti alloys	Mitsubishi	All 1.81 4-cyl.
چرخ توربوشارژر	γ-TiAl	Mitsubishi	Lancer
سیستم اگزوز	Ti grade 2	General Motors	Corvette Z06
پیچ‌های زهوار چرخ	Ti-6Al-4V	Volkswagen	مدل اسپرت GTI
سوپاپ‌ها	Ti-6Al-4V and PM-Ti	Nissan	Infiniti Q45
فنرهای تعلیق	TIMETAL LCB	Ferrari	360 Stradale

آموزش



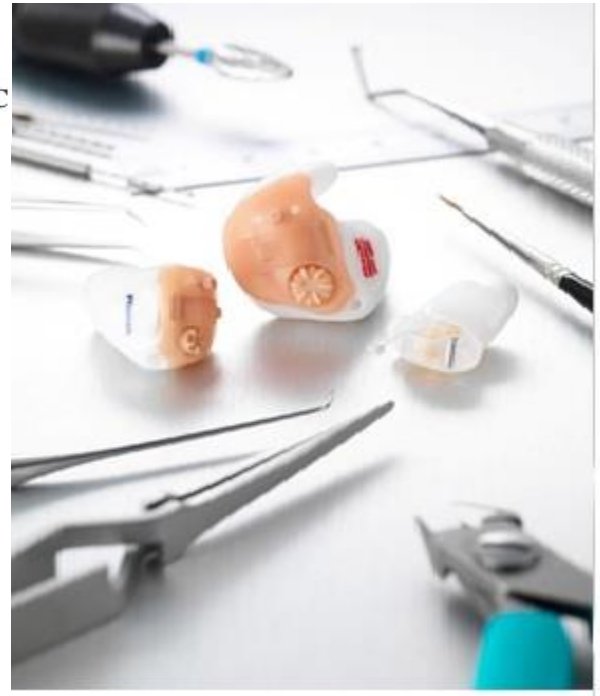


https://www.myminifactory.com/category/education

کاربرد در پزشکی: ساخت سمعک

FIGURE 15.12 3D hearing aids printed with (left) Stratasys (www.stratasys.com) and (right) EnvisionTEC materials (www.envisiontec.com).

- قالب گیری از کانال گوش
- اسکن سه بعدی قالب
- تهیه مدل سه بعدی از فایل اسکن
- پرینت سه بعدی
- انجام عملیات ثانویه و ارسال برای بیمار
- قابلیت تولید ۶۵ پوسته سمعک یا ۴۷ قالب گوش در ۶۰ تا ۹۰ دقیقه



envisionTEC

آلمان

PHONAK
life is on

سوییس

کاربرد در پزشکی : ارتودنسی

مبتکران مکاترونیک ارک

بنیان مکاترونیک ایرانیان

Candid Care آمریکا

Invisalign آمریکا

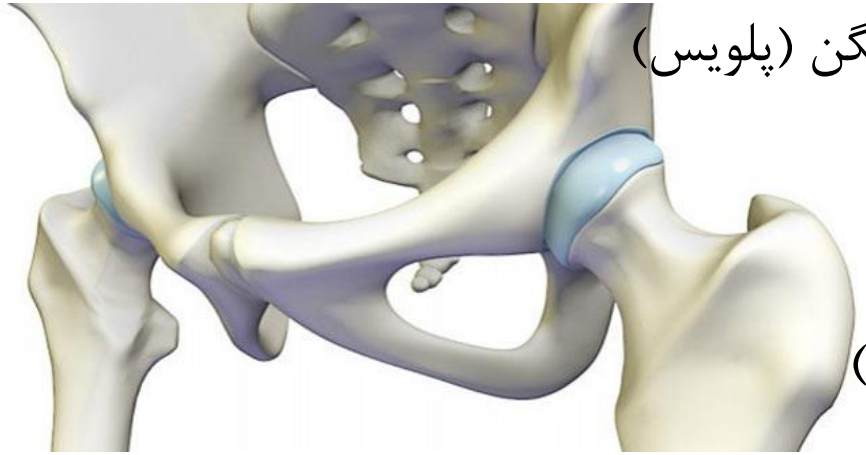
Smartee شانگهای چین

مراحل: ۱- قالب گیری از دندان، ۲- اسکن سه بعدی قالب، ۳- تهیه مدل سه بعدی از فایل اسکن، ۴- پرینت سه بعدی مدل دندان، ۵- شکلدهی گرم ورق شفاف

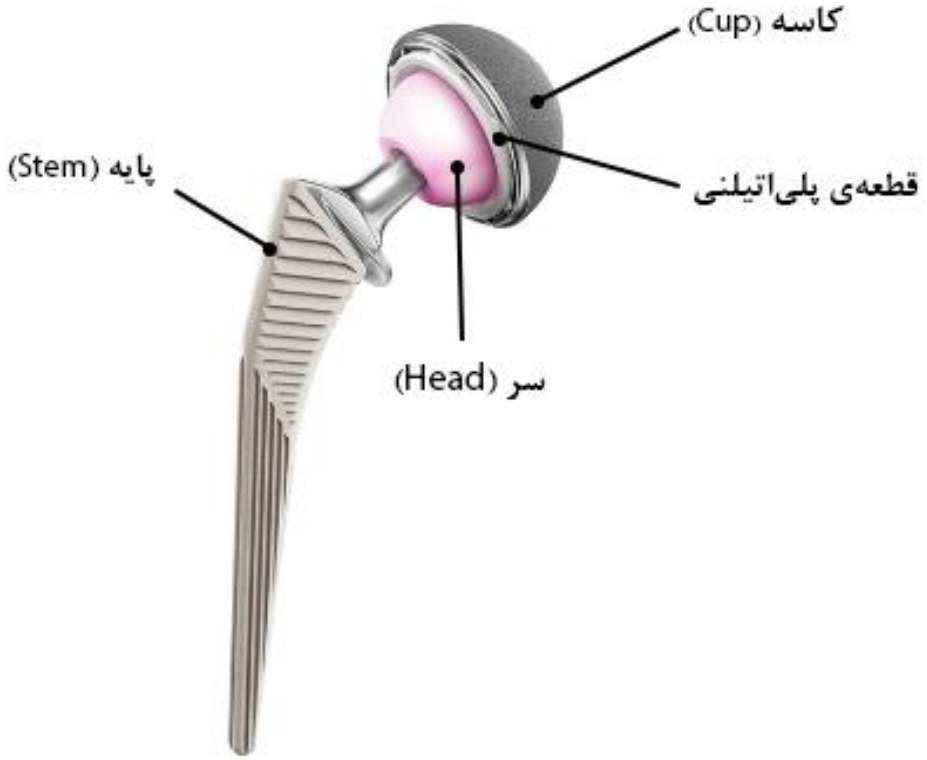
مزایا: ۱- شفاف بودن، ۲- قابلیت تعویض (هر ۲ هفته)، ۳- امکان خارج کردن برای مسواک، نخ کشیدن و غذا خوردن، ۴- آسیب نزدن به دندان

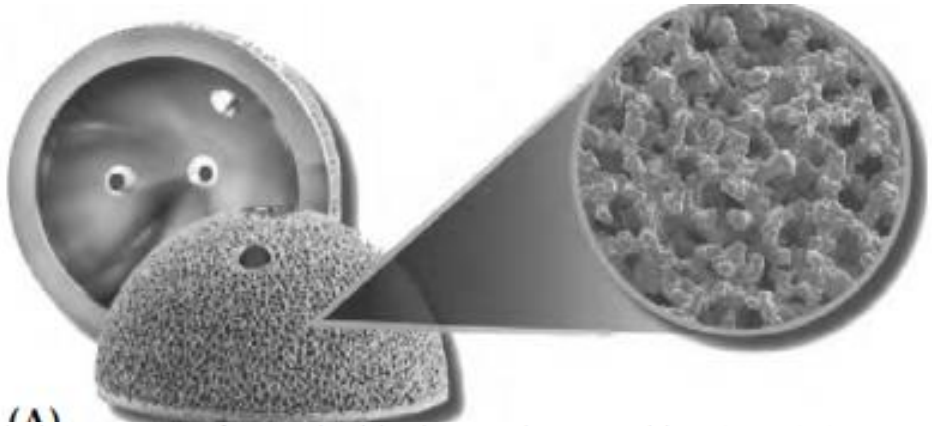
کاربرد در پزشکی

استخوان لگن (پلویس)



استخوان ران (فمور)





Arcam acetabular cup manufactured with electron beam melting (EBM) (www.arcam.

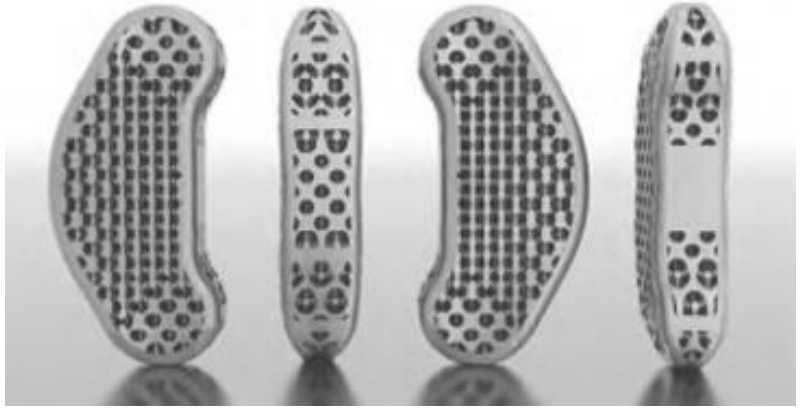
کاربرد در پزشکی

ترمیم بخش از بین رفته جمجمه

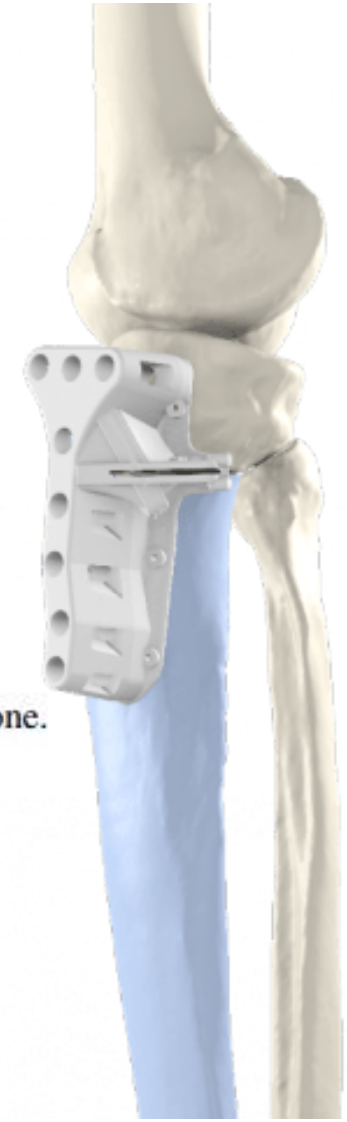
دکتر احتشامی،
بیمارستان فوق‌تخصصی شفای ساری

انواع راهنماهای جراحی

ULTEM 9085 FDM process: fibula guide placed on PolyJet model of fibula bone.



EOS spinal cages manufactured using direct metal laser sintering (DMLS) (www.eos.info/en)



کاربرد در پزشکی: سایر کاربردها

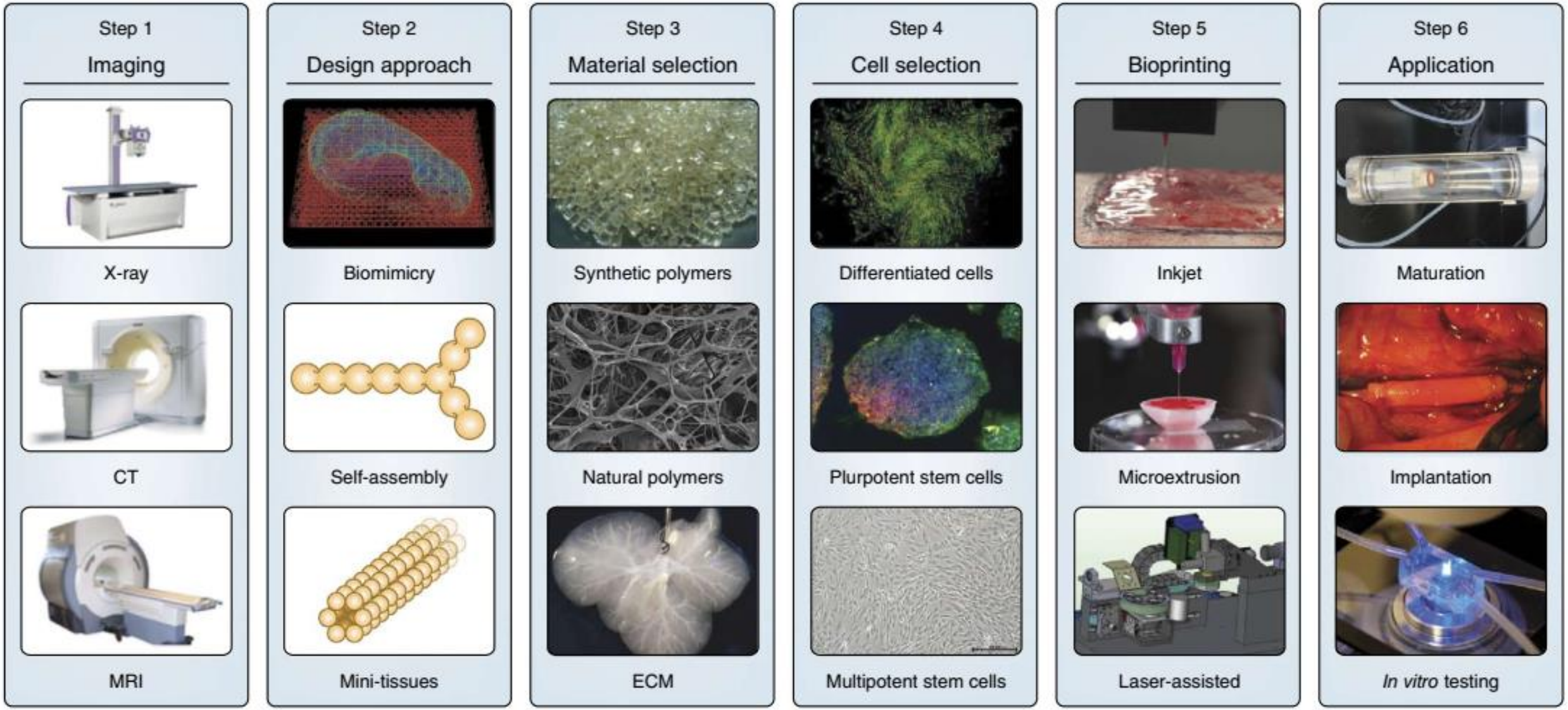
پرینت اندام های زنده

ساخت اعضای مصنوعی

ساخت داروی سفارشی بر اساس پیشرفت روند درمان

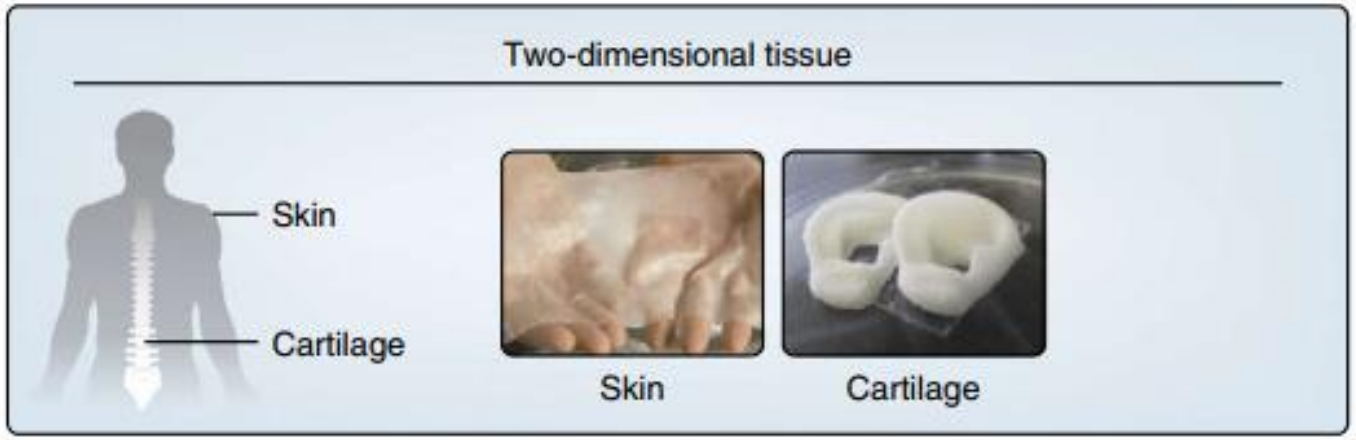
کاربرد در پزشکی: سایر کاربردها

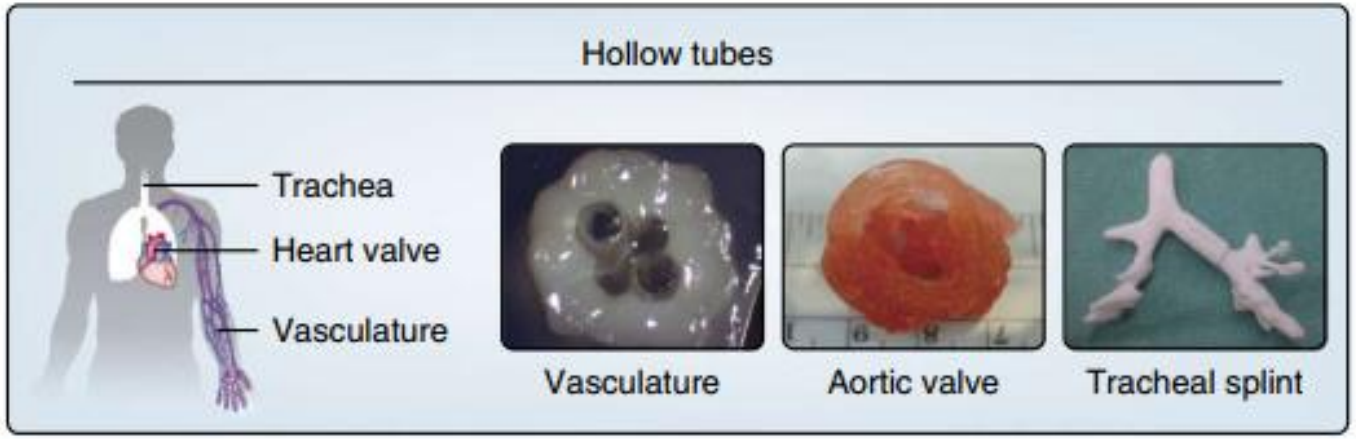
A typical process for bioprinting 3D tissues.

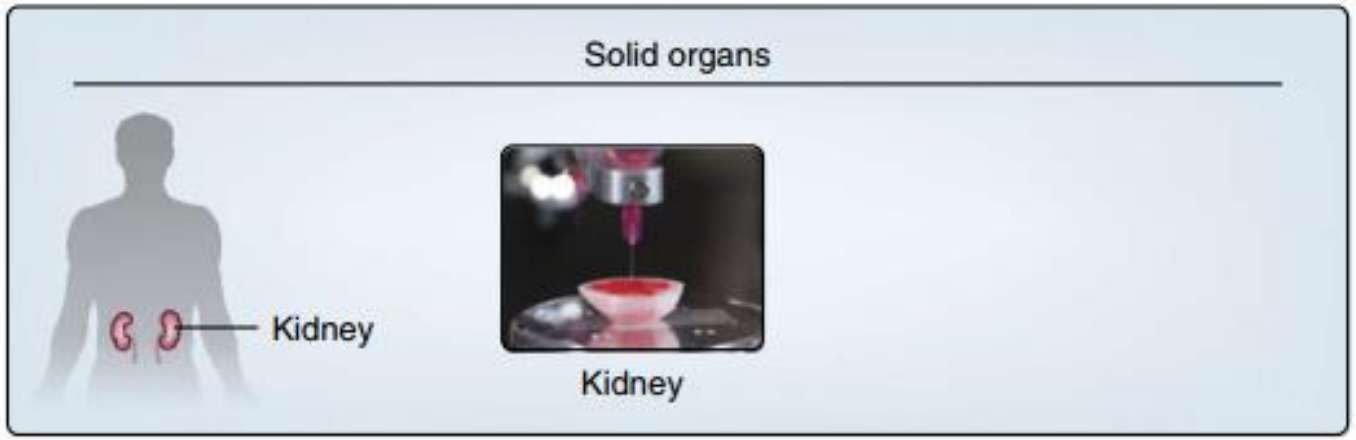


https://www.nature.com/articles/nbt.2958

کاربرد در پزشکی





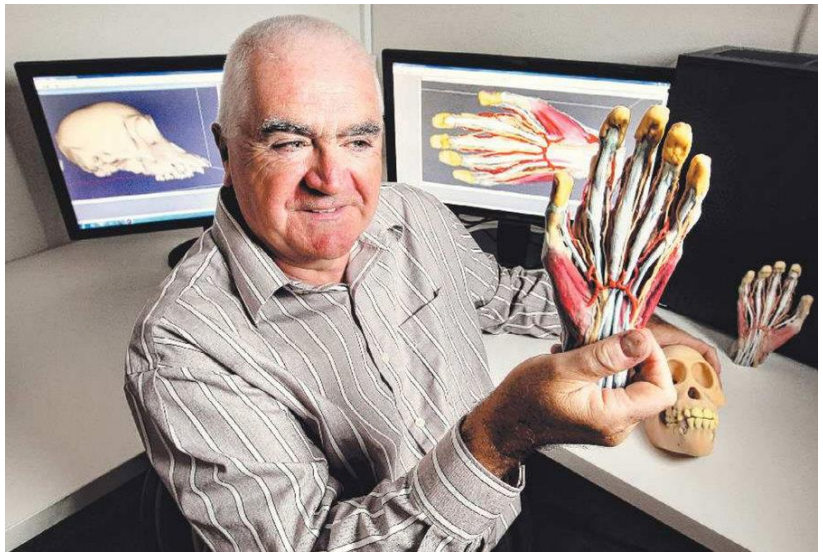


Examples of human-scale bioprinted tissues.

https://www.nature.com/articles/nbt.2958

کاربرد در پزشکی: سایر کاربردها

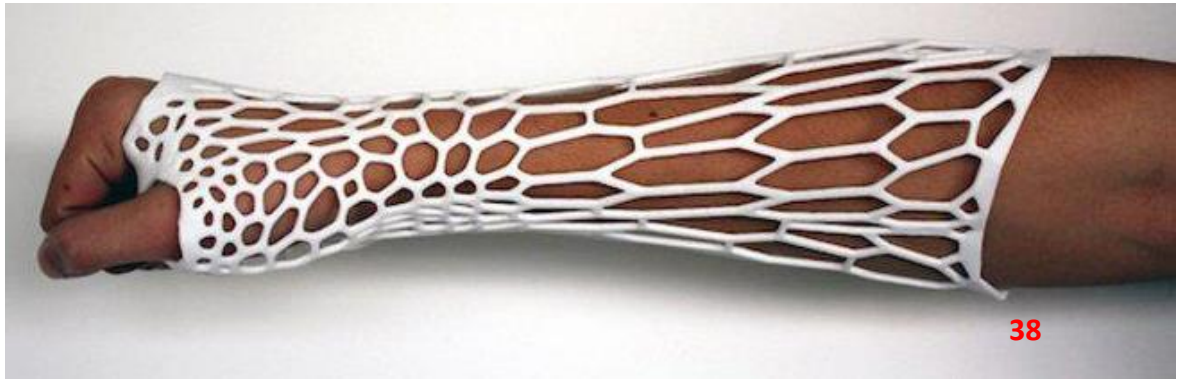
ساخت ابزارهای جراحی خاص



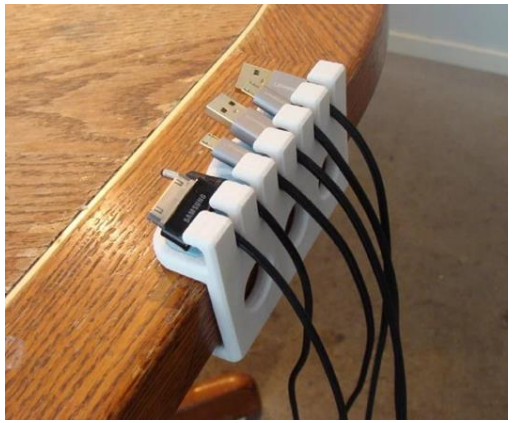
آموزش پزشکی

بررسی اندام ها و ایمپلنت ها قبل از عمل جراحی

استفاده از قالب پرینت شده بجای گچ گیری شکستگی



کابردهای عمومی



سلفی سه بعدی

اسکن سه بعدی و سپس پرینت سه بعدی تصویر

شرکت های فعال در ایران:

- استارتآپ مینیاتور
- موسسه مصاف
- مستر تری دی Mr3d

https://all3dp.com/2/3d-printing-yourself-printed-action-figure-of-yourself-selfie/

پرینت غذا

کاربرد در صنایع هوایی

- نمونه‌سازی و نیز تولید محصول نهایی
- روش‌های پرکاربرد: SLM، LMD و DMLS
- نیاز به قطعات با نسبت استحکام به وزن و دوام بالا
- امکان تولید قطعات از آلیاژهای نیکل و ترکیبات بین‌فلزی
- تولید یکپارچه قطعات مونتاژی
- اتلاف کمتر مواد گران‌قیمت

کاربرد در صنایع هوایی

Fig. 1 Laser sintered leap engine fuel nozzle in cobalt chrome

یکپارچه‌سازی ۲۰ قطعه

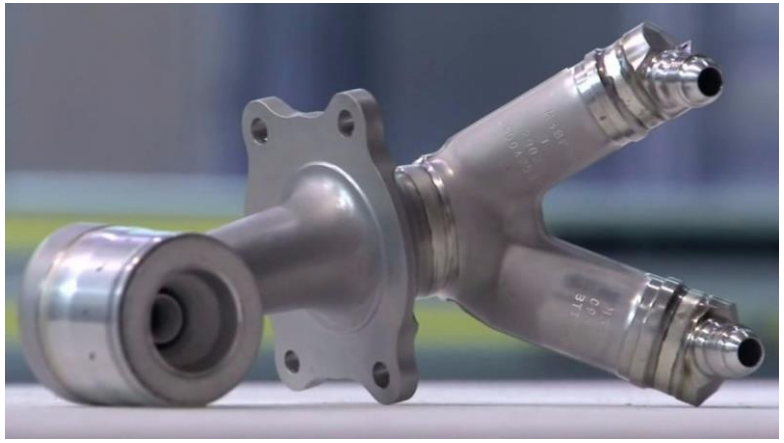


Fig. 2 Leap engine (nozzle indicated) *Courtesy* GE aviation

۱۹ نازل سوخت

Fig. 3 Engine stator vane aircraft in high temperature alloys

Fig. 5 Cabin bracket for the Airbus A350 XWB made of titanium, manufactured using the laser CUSING technology (*Courtesy* Airbus)

کاهش زمان تولید از ۶ به ۱ ماه

کاهش وزن ۳۰٪

کاهش اتلاف مواد و عدم نیاز به ابزارسازی

Fig. 4 The first test piece produced on the M2 cusing machine (*Courtesy* NASA/MSFC/Andy Hardin)

مورد استفاده در انژکتور موتور موشک

یکپارچه‌سازی ۱۱۵ قطعه

کاربرد در صنایع هوایی

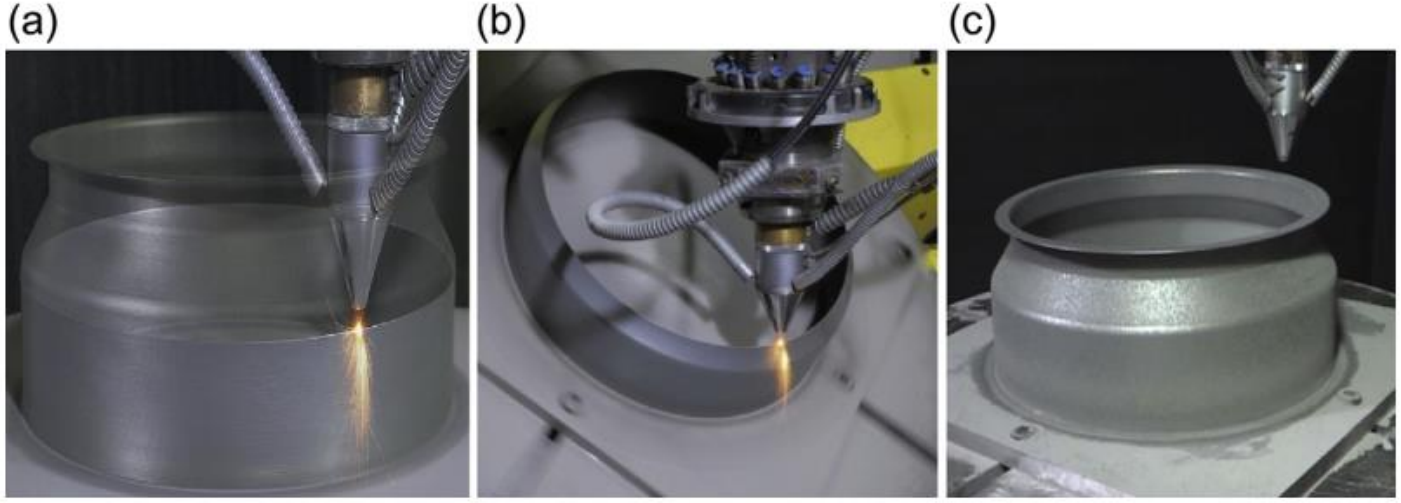


Figure 13.3 IN718 helicopter engine combustion chamber fabricated by a five-axis LMD process: (a) deposition showing the 2.5-dimensional tool path; (b) multiaxis deposition; and (c) the finished part.
Courtesy TWI.

- تولید یا تعمیر قطعات پیچیده بدون نیاز به تکیه گاه

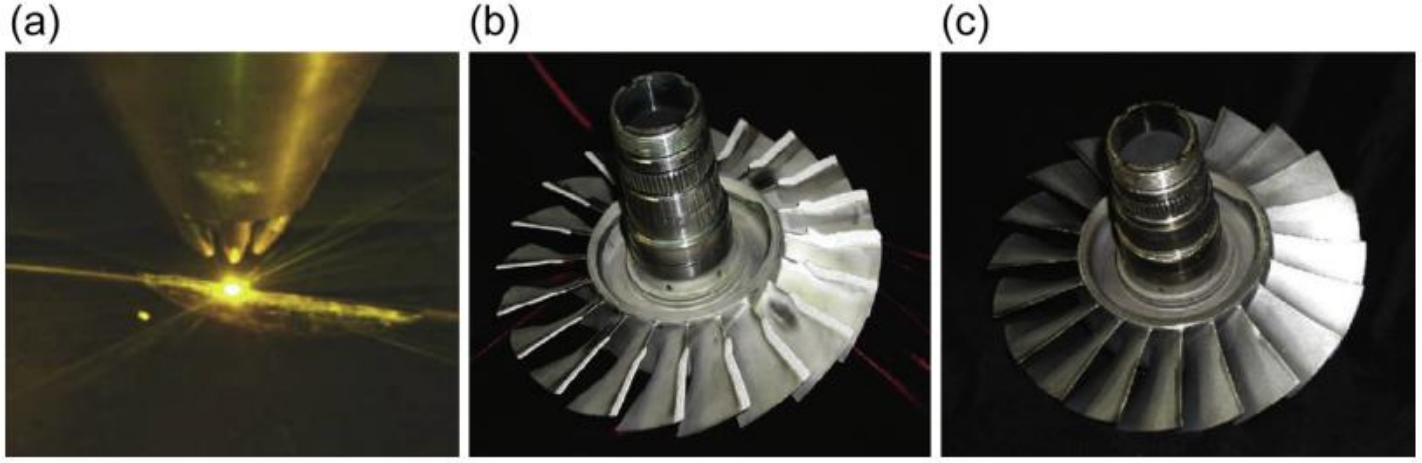


Figure 13.13 T700 blisk repair using the laser engineering net-shape process: (a) in-process repair of the leading edge of a Ti64 airfoil, (b) the blisk after deposition, and (c) the blisk after finishing.
Courtesy Optomec.

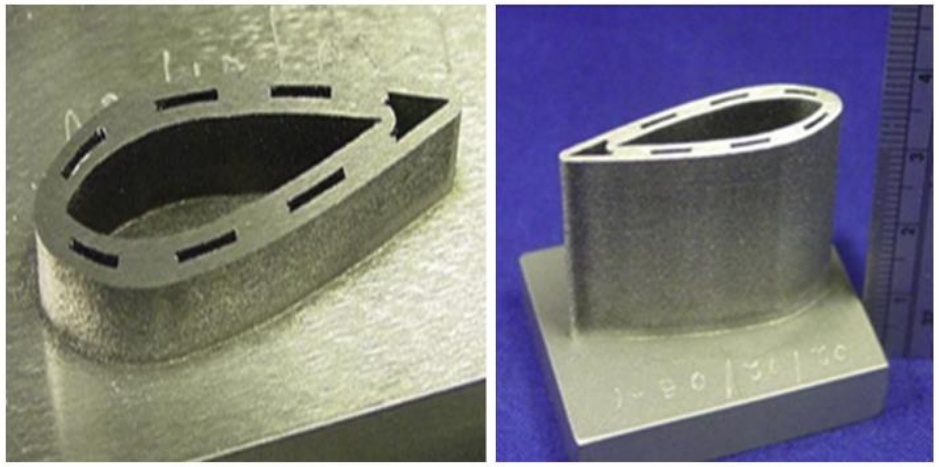


Figure 13.5 Ti-6Al-4V airfoils with embedded cooling channels built using the laser metal deposition process.
Courtesy Integrated Manufacturing Technologies Institute of the National Research Council, Canada.

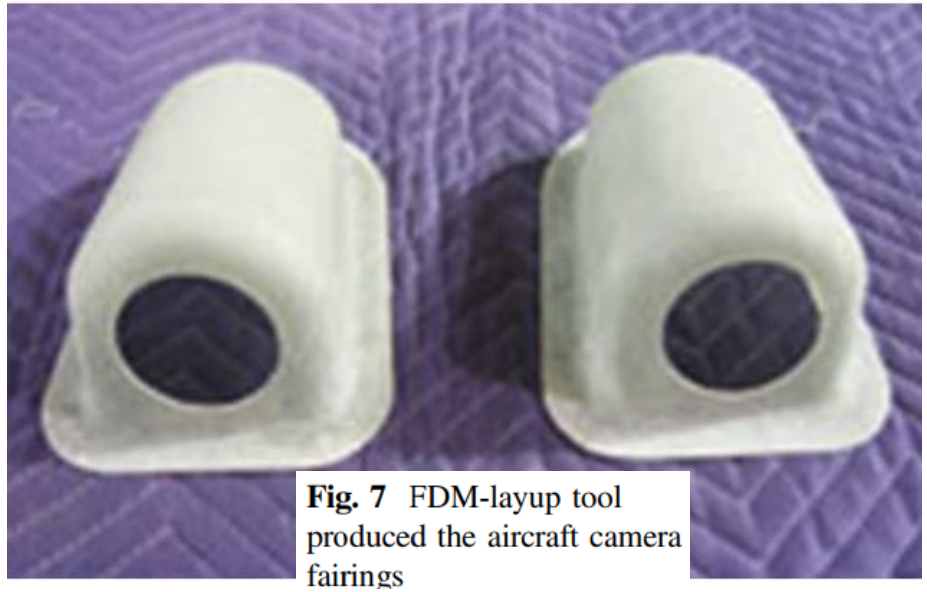


Fig. 7 FDM-layup tool produced the aircraft camera fairings

کاربرد در ریخته‌گری

S-Max® Pro

The S-Max® Pro covers the full range of 3D sand printing from prototyping to serial production and is able to process all ExOne binder systems. It is available as a stand-alone solution but is also scalable and can be connected by a network that creates a fully automated production line, to realize the industrial serial production in 3D sand printing.

- Build Box **1,800 X 1,000 X 700 mm/400H***
- Build Volume **1260 L**
- Max Build Rate **up to 125* l/h (depending on jobbox utilization, sand type, layer height, resolution & environmental conditions)**
- Layer Height **0.26 – 0.38 mm**

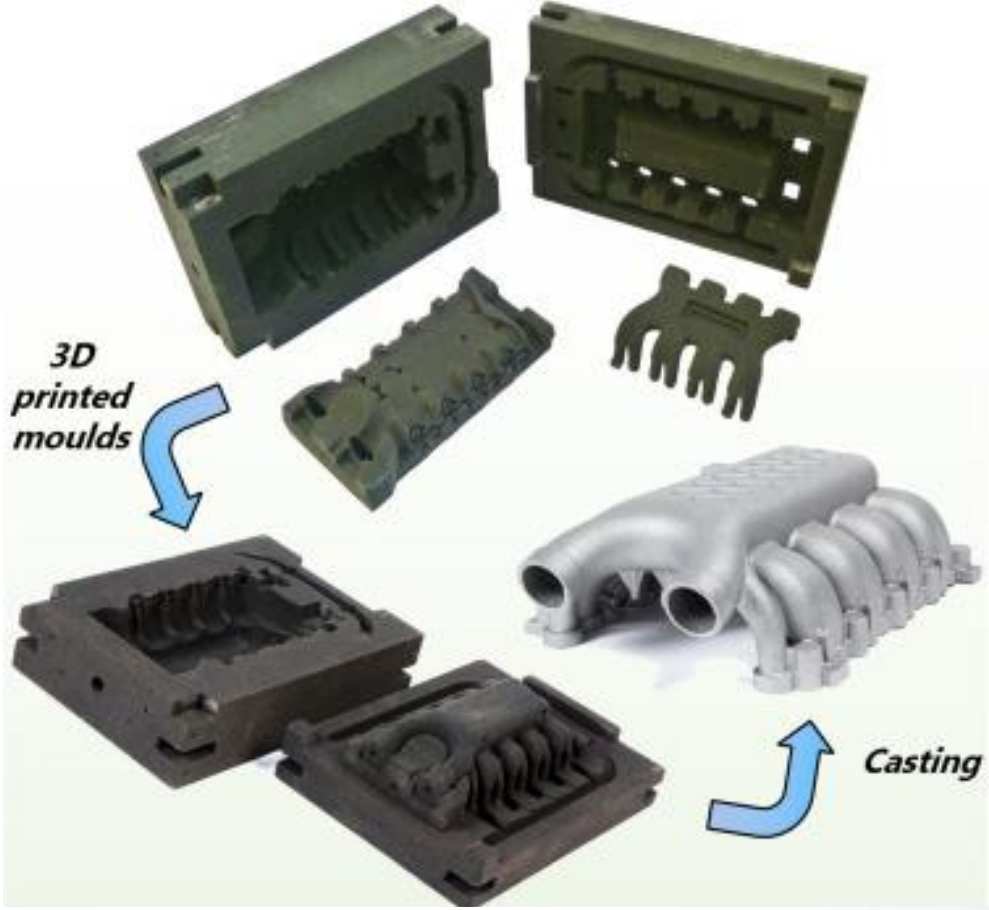
کاربرد در ریخته‌گری

VX4000: The world's largest 3D printer for sand

The VX4000 is the largest 3D printing system for sand molds in the world. With a contiguous footprint of 4 x 2 x 1 meters, it is unrivaled in terms of build volume. Despite your high-volume production jobs, the VX4000 ensures consistent build times and impressive precession and part quality.

LEARN MORE

کاربرد در ریخته‌گری



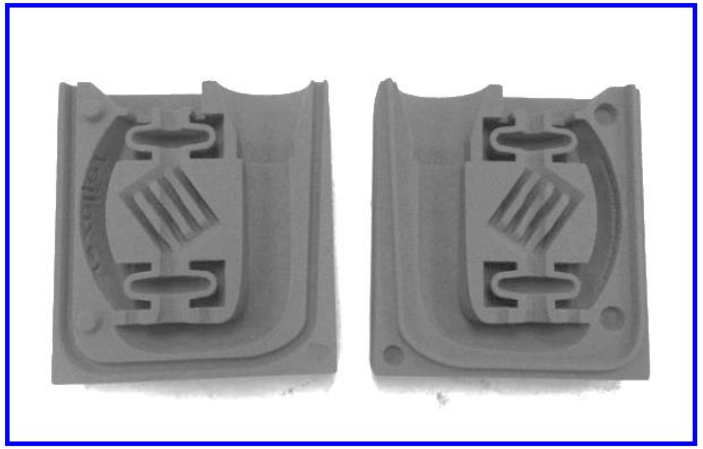
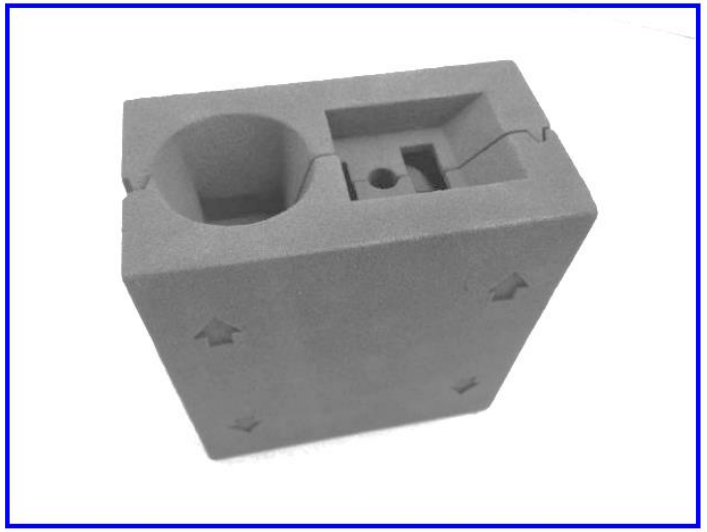


FIGURE 9.12
Open aluminum sand casting mold made using binder jetting on a Voxeljet vx200 platform. (Copyright Rapid Prototype and Manufacturing, LLC, Avon Lake, Ohio, 2014.)



https://uni.edu/~rao/rt/casting.htm

FIGURE 9.11
Closed aluminum sand casting mold made using binder jetting on a Voxeljet vx200 platform. (Copyright Rapid Prototype and Manufacturing, LLC, Avon Lake, Ohio, 2014.)

کاربرد در ریخته‌گری: دقیق

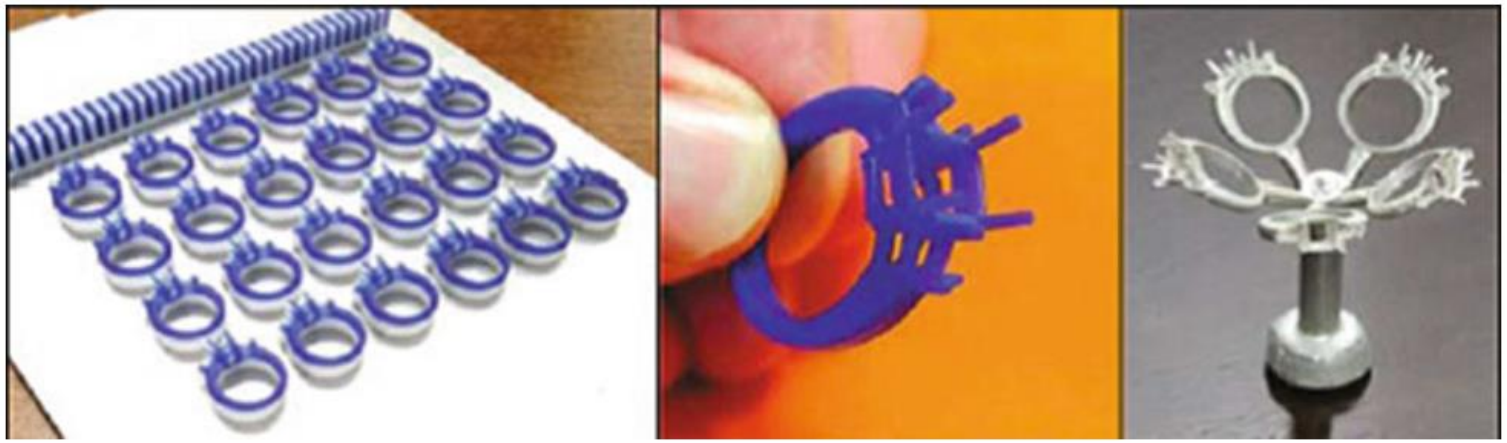


Fig. 14.11 Rings for investment casting, made using a ProJet® CPX 3D Printer (Courtesy 3D Systems)

	CONVENTIONAL PROCESS	TECH CAST PROCESS
Total time to finish casting	10-12 weeks	4 weeks
Labor cost (at $60/hr)	Base	Base - $81
Purchases	$40,000	$3,150

Figure 5.15 Hollow constructed lost stereolithographic model (Quick Cast) and associated investment casting component (Source: 3D Systems)

FIGURE 3.30 Investment casting; casting tree made from AM-pattern using wax runners, sprue and gating (left), casting before cleaning (right) (Source: 3D Systems)

کاربرد در هنر

Figure 4.46 Alexander Puschkin, Alisa Minyukova, laser sintering, vacuum casting, bronze casting (Source: Minyukova, CP-GmbH, Ellerbrock)

RE 3.23 Art objects; metal 3D printing (Prometal); part after AM production (left) and after post-processing and finishing by surface treatment (Source: Prometal, Bathsheba)

Figure 6.3 Twister lamp (Source: Freedom of Creation)

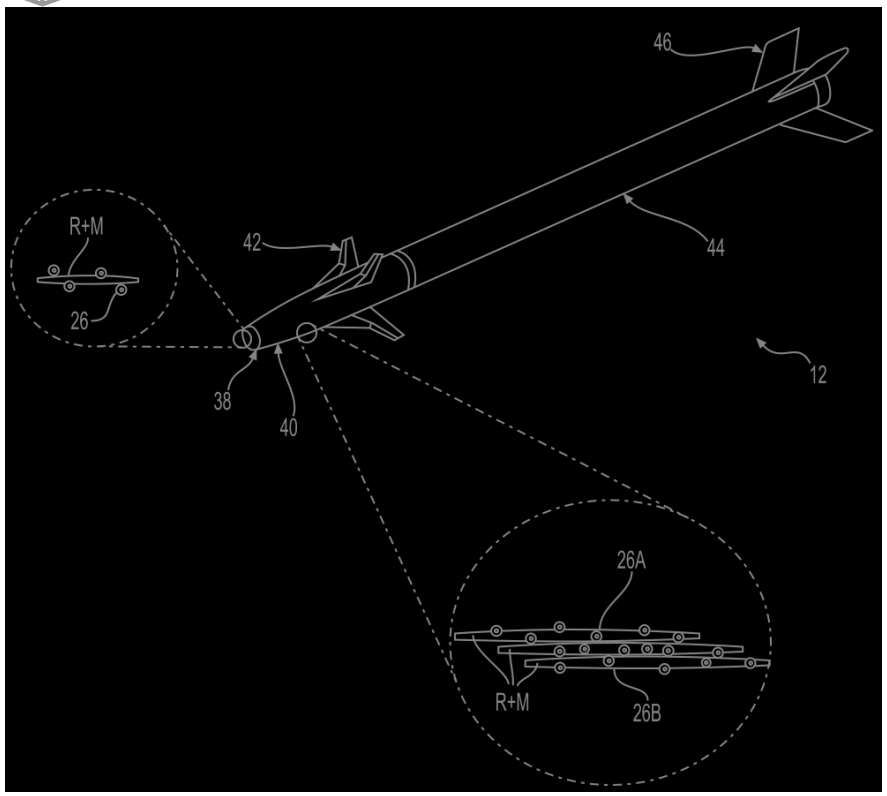
Figure 6.4 Laser-sintered chair (Source: Voigt-Weizenegger)

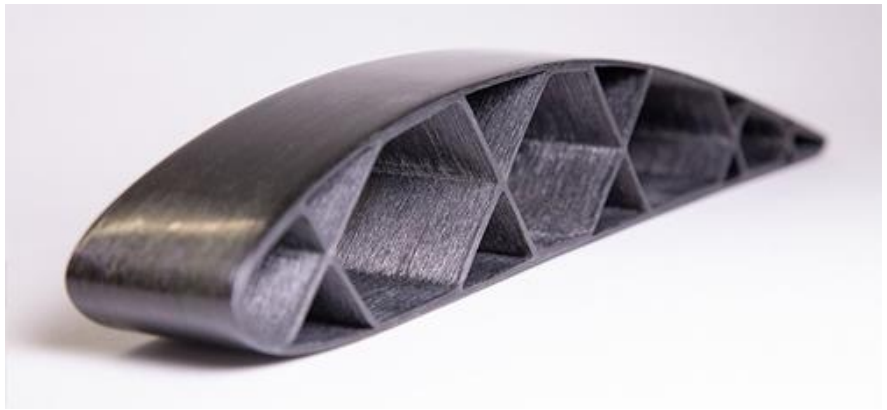
https://xometry.eu/en/vacuum-casting-technology-overview/

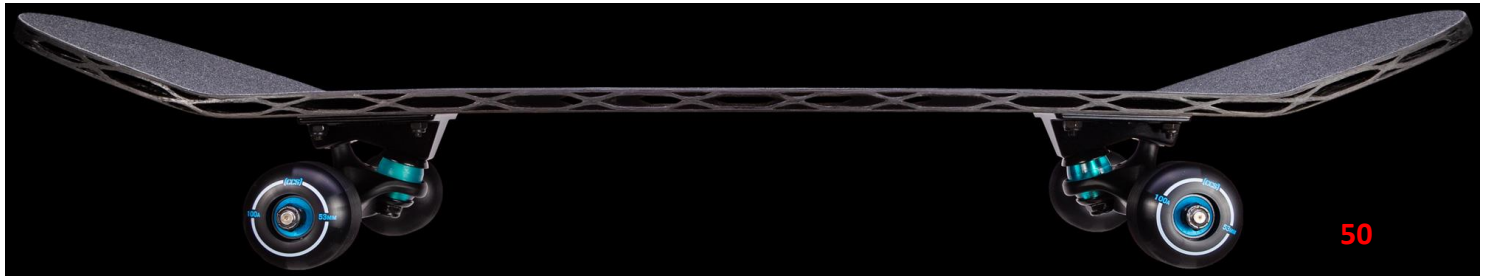
Continuous Composites

مثال‌هایی از کاربرد کامپوزیت‌های پرینت شده

۷۵ پتنت ثبت شده

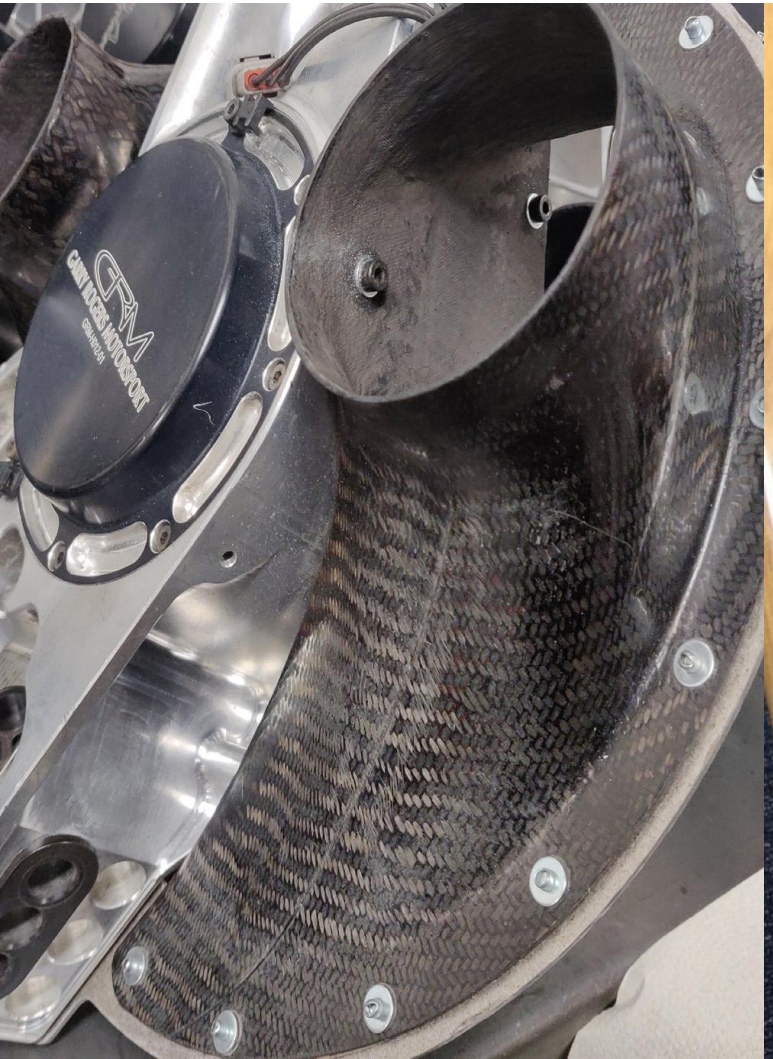






مثال‌هایی از کاربرد کامپوزیت‌های پرینت شده

هزینه ساخت از ۶۷۰ به ۵۰ دلار کاهش یافته و زمان تولید از یک هفته به ۲۴ ساعت کاهش یافته است.



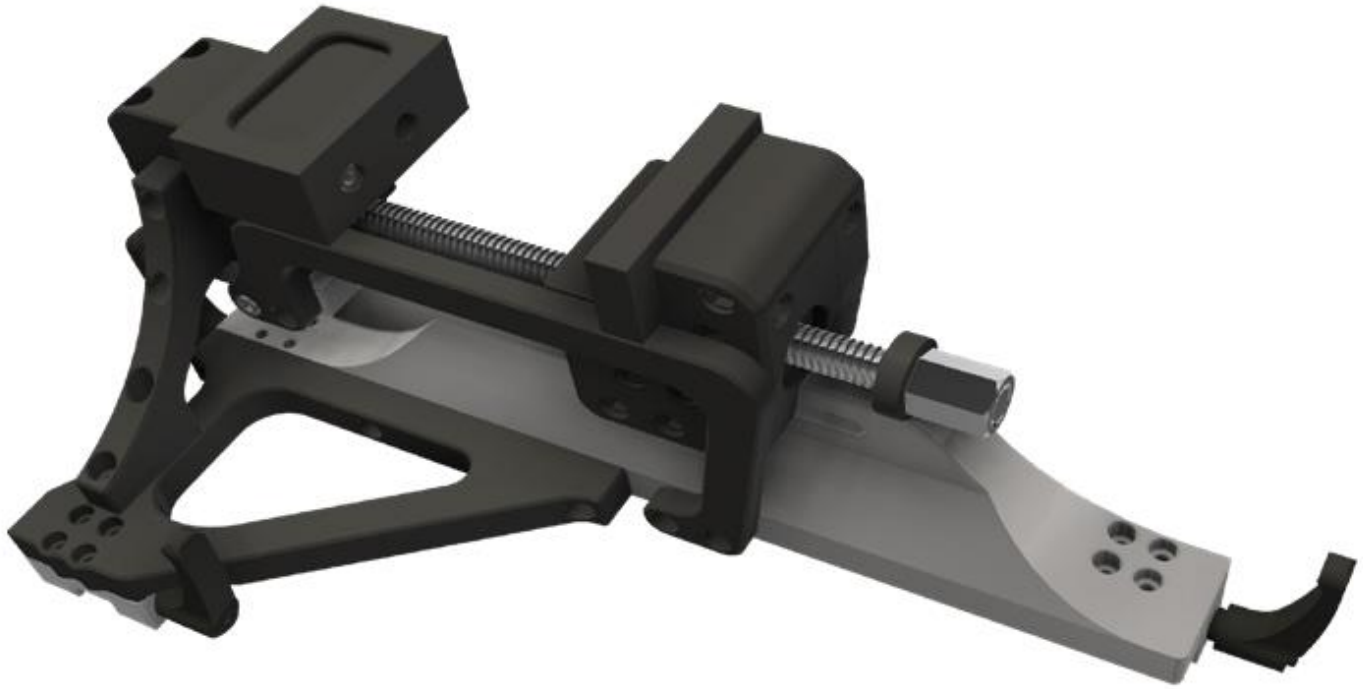
مثال‌هایی از کاربرد کامپوزیت‌های پرینت شده

ساخت بازوی رباتیک در شرکت هدیگتون داینامیکس، کاهش تعداد قطعات، هزینه و زمان ساخت

	Time	Parts
Traditional	30 days	800
Markforged	9 days	70
Savings	**70%**	**91%**

مثال‌هایی از کاربرد کامپوزیت‌های پرینت شده

ساخت فیکسچر با کاربرد خاص در شرکت لین ماشین



	Time	Cost
Traditional	3 weeks	$6,000
Markforged	1 week	$1,500
Savings	66%	75%

anisoprint

مثال‌هایی از کاربرد کامپوزیت‌های پرینت شده

Aluminum
weight: 400g

Plastic + CCF
(Composite Carbon Fiber),
weight: 250g

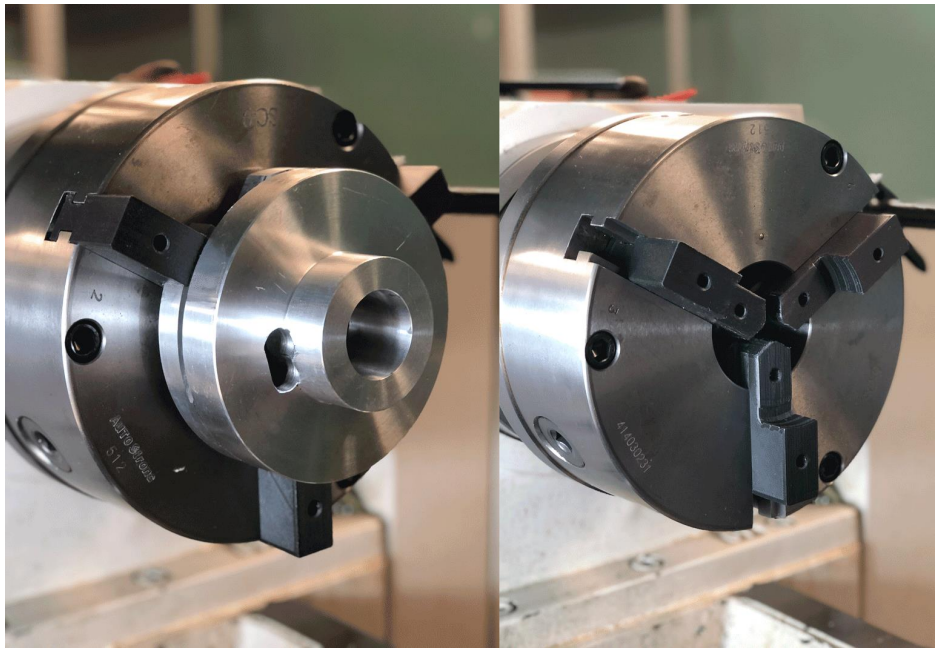
هر پایه ۱/۵ تن بار تحمل می‌کند. ۴۰٪ کاهش وزن.

BostonDynamics

	Aluminum	Anisoprinted composite (Smooth PA + CCF)	Savings
Price	€460	€260	40%

۷۰٪ کاهش وزن با همان خواص مکانیکی

مثال‌هایی از کاربرد کامپوزیت‌های پرینت شده



PARAMETER	CNC METAL	ANISOPRINTING
Weight	600g	251g
Price	€113	€45