



3D digitalizace a Rapid Prototyping

Jiří Šafka,
jiri.safka@tul.cz

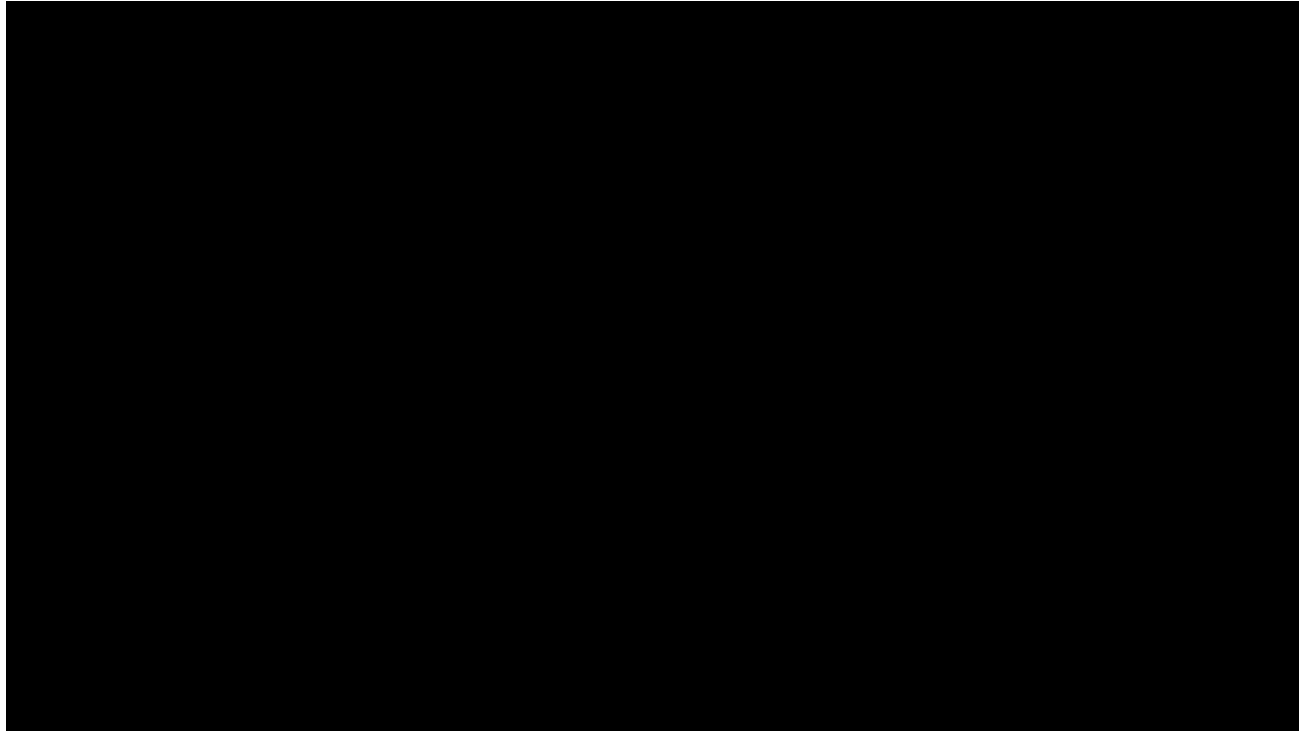
Technologie Multi Jet Fusion

Obsah

- **Princip technologie MJF**
- **HP 4200**
- **HP 5200**
- **HP 5420W**
- **Barevný 3D tisk**
- **HP Metal Jet S100**

Princip technologie MJF

Princip technologie MJF



Technologie Multi Jet Fusion



Materials

- PA12 – PA12GB
- PA11
- TPU, TPA
- PP



Polyamid 12

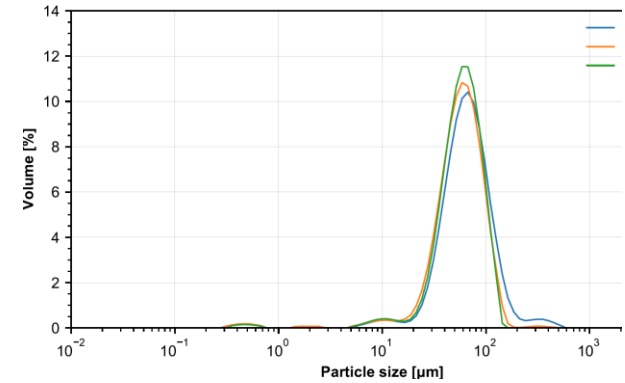
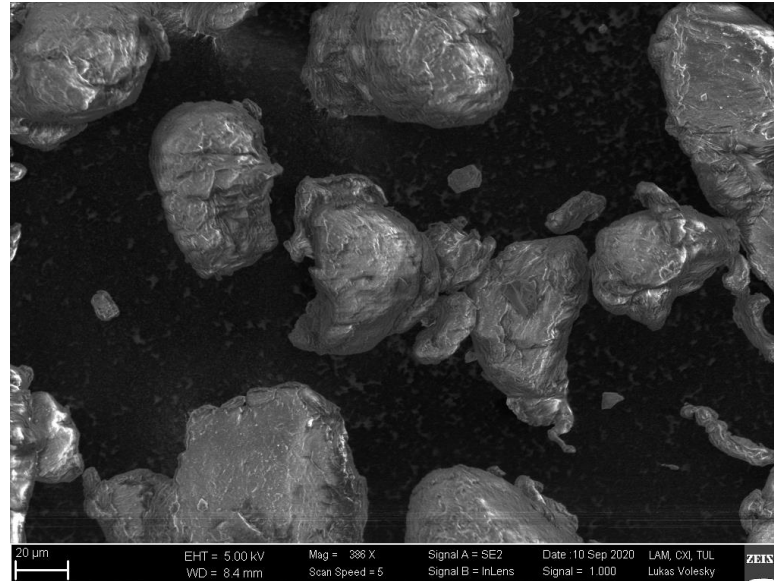
Semikrystalický materiál PA12

Střední hodnota částic 60 μ m

Teplota tavení 187 $^{\circ}$ C

Hustota prášku 0,425 g/cm³

Poměr míchání 80/20



Polyamid 12

Semikrystalický materiál PA12

Střední hodnota částic 60 μ m

Teplota tavení 187°C

Hustota prášku 0,425 g/cm³

Poměr míchání 80/20



Category	Measurement	Value	Method
General properties	Powder melting point (DSC)	187 °C/369 °F	ASTM D3418
	Particle size	60 μ m	ASTM D3451
	Bulk density of powder	0.425 g/cm ³	ASTM D1895
	Density of parts	1.01 g/cm ³	ASTM D792
Mechanical properties	Tensile strength, max load ⁹ , XY	48 MPa/6960 psi	ASTM D638
	Tensile strength, max load ⁹ , Z	48 MPa/6960 psi	ASTM D638
	Tensile modulus ⁹ , XY	1700 MPa/247 ksi	ASTM D638
	Tensile modulus ⁹ , Z	1800 MPa/261 ksi	ASTM D638
	Elongation at break ⁹ , XY	20%	ASTM D638
	Elongation at break ⁹ , Z	15%	ASTM D638
	Flexural strength (@ 5%) ¹⁰ , XY	65 MPa/9425 psi	ASTM D790
	Flexural strength (@ 5%) ¹⁰ , Z	70 MPa/10150 psi	ASTM D790
	Flexural modulus ¹⁰ , XY	1730 MPa/251 ksi	ASTM D790
	Flexural modulus ¹⁰ , Z	1730 MPa/251 ksi	ASTM D790
	Izod impact notched (@ 3.2 mm, 23°C), XYZ	3.5 kJ/m ²	ASTM D256 Test Method A
	Thermal properties	Heat deflection temperature (@ 0.45 MPa, 66 psi), XY	175 °C/347 °F
Heat deflection temperature (@ 0.45 MPa, 66 psi), Z		175 °C/347 °F	ASTM D648 Test Method A
Heat deflection temperature (@ 1.82 MPa, 264 psi), XY		95 °C/203 °F	ASTM D648 Test Method A
Heat deflection temperature (@ 1.82 MPa, 264 psi), Z		106 °C/223 °F	ASTM D648 Test Method A
Recyclability	Refresh ratio for stable performance	20%	
Certifications	USP Class I-VI and US FDA guidance for Intact Skin Surface Devices, RoHS ¹¹ , EU REACH, PAHS		

Polyamid PA12W

Semikrystalický materiál PA12W – 1Q/2023

Dostupné pouze pro HP Jet Fusion 5420W

Střední hodnota částic 57 μ m

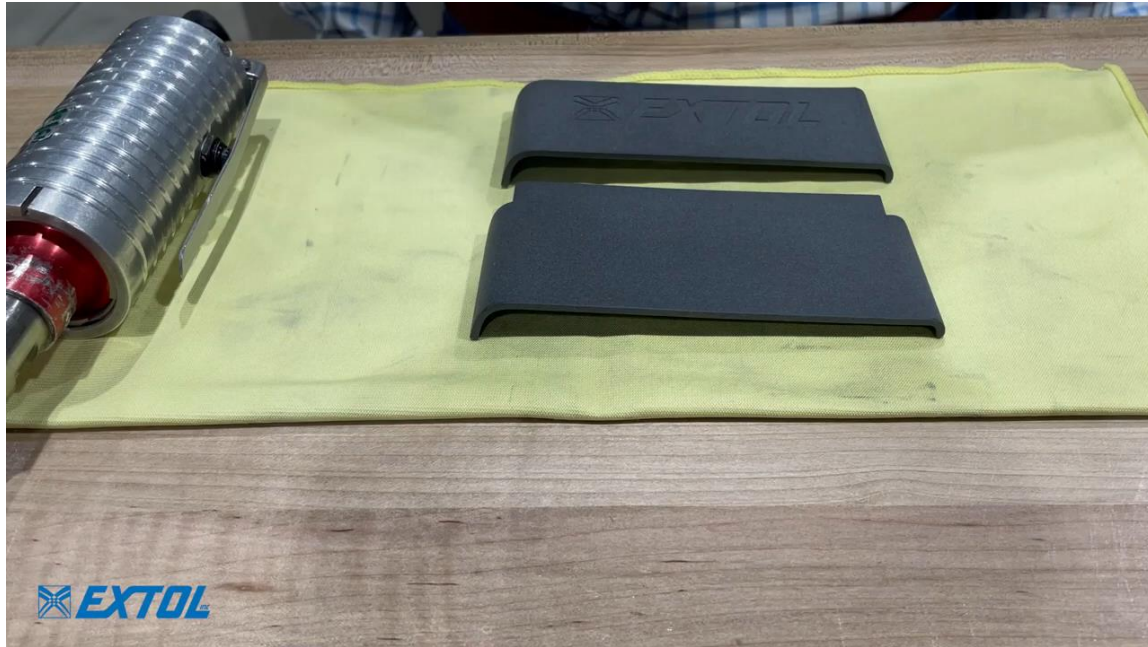
Teplota tavení 188°C

Hustota prášku 0,435 g/cm³

Poměr míchání 75/25



Materiál PA12 - sváření



Polyamid PA12GB

Semikrystalický materiál PA12GB s příměsí skla – 40 procent (kuličky)

Střední hodnota částic 58μm

Teplota tavení 186°C

Hustota prášku 0,48 g/cm³

Poměr míchání 70/30

Category	Measurement	Value	Method
General properties	Powder melting point (DSC)	186° C/367° F	ASTM D3418
	Particle size	58 μm	ASTM D3451
	Bulk density of powder	0.48 g/cm ³ /0.017 lb/in ³	ASTM D1895
	Density of parts	1.3 g/cm ³ /0.047 lb/in ³	ASTM D792
Mechanical properties	Tensile strength, max load ⁷ , XY, XZ, YX, YZ	30 MPa/4351 psi	ASTM D638
	Tensile strength, max load ⁷ , ZX, XY	30 MPa/4351 psi	ASTM D638
	Tensile modulus ⁷ , XY, XZ, YX, YZ	2500 MPa/363 ksi	ASTM D638
	Tensile modulus ⁷ , ZX, XY	2700 MPa/392 ksi	ASTM D638
	Elongation at break ⁷ , XY, XZ, YX, YZ	10%	ASTM D638
	Elongation at break ⁷ , ZX, XY	10%	ASTM D638
	Flexural strength (@ 5%), ⁸ XY, XZ, YX, YZ	57.5 MPa/8340 psi	ASTM D790
	Flexural strength (@ 5%), ⁸ ZX, XY	65 MPa/9427 psi	ASTM D790
	Flexural modulus, ⁸ XY, XZ, YX, YZ	2400 MPa/348 ksi	ASTM D790
	Flexural modulus, ⁸ ZX, XY	2700 MPa/392 ksi	ASTM D790
	Izod impact notched (@ 3.2 mm, 23°C), XY, XZ, YX, YZ, ZX, ZY	3 KJ/m ²	ASTM D256 Test Method A
	Shore Hardness D, XY, XZ, YX, YZ, ZX, ZY	82	ASTM D2240
Thermal properties	Heat deflection temperature (@ 0.45 MPa, 66 psi), XY, XZ, YX, YZ	174° C/345° F	ASTM D648 Test Method A
	Heat deflection temperature (@ 0.45 MPa, 66 psi), ZX, XY	175° C/347° F	ASTM D648 Test Method A
	Heat deflection temperature (@ 1.82 MPa, 264 psi), XY, XZ, YX, YZ	114° C/237° F	ASTM D648 Test Method A
	Heat deflection temperature (@ 1.82 MPa, 264 psi), ZX, XY	120° C/248° F	ASTM D648 Test Method A
Reusability	Minimum refresh ratio for stable performance	30%	
Recommended environmental conditions	Recommended relative humidity	50-70% RH	
Certifications	UL 94, UL 746A, RoHS, ⁹ REACH, PAHs		

Polyamid PA11

Semikrystalický materiál PA11

Střední hodnota částic 54μm

Teplota tavení 202°C

Hustota prášku 0,48 g/cm³

Poměr míchání 70/30

Category	Measurement	Value	Method
General properties	Powder melting point (DSC)	202 °C/396 °F	ASTM D3418
	Particle size	54 μm	ASTM D3451
	Bulk density of powder	0.48 g/cm ³ /0.017 lb/in ³	ASTM D1895
	Density of parts	1.05 g/cm ³ /0.038 lb/in ³	ASTM D792
Mechanical properties	Tensile strength, max load, ⁹ XY, XZ, YX, YZ	52 MPa/7542 psi	ASTM D638
	Tensile strength, max load, ⁹ ZX, ZY	52 MPa/7542 psi	ASTM D638
	Tensile modulus, ⁹ XY, XZ, YX, YZ	1800 MPa/261 ksi	ASTM D638
	Tensile modulus, ⁹ ZX, ZY	1800 MPa/261 ksi	ASTM D638
	Elongation at break, ⁹ XY, XZ, YX, YZ	50%	ASTM D638
	Elongation at break, ⁹ ZX, ZY	35%	ASTM D638
	Flexural strength (@ 5%), ¹⁰ XY, XZ, YX, YZ, ZX, ZY	70 MPa/10150 psi	ASTM D790
	Flexural modulus, ¹⁰ XY, XZ, YX, YZ, ZX, ZY	1800 MPa/261 ksi	ASTM D790
	Izod impact notched (@ 3.2 mm, 23°C), XY, XZ, YX, YZ	5 kJ/m ²	ASTM D256 Test Method A
	Izod impact notched (@ 3.2 mm, 23°C), ZX, ZY	4.5 kJ/m ²	ASTM D256 Test Method A
	Shore Hardness D, XY, XZ, YX, YZ, ZX, ZY	80	ASTM D2240
Thermal properties	Heat deflection temperature (@ 0.45 MPa, 66 psi), XY, XZ, YX, YZ, ZX, ZY	185 °C/365 °F	ASTM D648 Test Method A
	Heat deflection temperature (@ 1.82 MPa, 264 psi), XY, XZ, YX, YZ, ZX, ZY	54 °C/129 °F	ASTM D648 Test Method A
Reusability	Refresh ratio for stable performance	30%	
Recommended environmental conditions	Recommended relative humidity	50-70% RH	
Certifications	USP Class I-VI and US FDA guidance for Intact Skin Surface Devices ¹¹		

PolyPropylen PP (BASF)

Semikrystalický materiál PP

Dostupné pouze pro HP Jet Fusion 5200

Střední hodnota částic 62 μ m

Teplota tavení 138°C

Hustota prášku 0,34 g/cm³

Poměr míchání 80/20

	Average (XY)	Average Z	Test Method
Tensile strength (MPa) ^{iv v}	30	30	ASTM D638
Tensile modulus (MPa) ^{iv v}	1600	1600	ASTM D638
Heat deflection temperature [@ 0.45 MPa, 66 psi] (°C) ^{vii}	100	100	ASTM D648
Heat deflection temperature [@ 1.82 MPa, 264 psi] (°C) ^{vii}	60	60	ASTM D648
Elongation at yield (%) ^v	10	10	ASTM D638
Elongation at break (%) ^v	20	18	ASTM D638
Impact strength (kJ/m ²) ^{vi}	3.5	3.0	ASTM D256
Density (g/cm ³)	0.89		ASTM D792

Materiał PP



Termoplastický elastomer TPA (Evonik)

Semikrystalický materiál TPA

Dostupné pouze pro HP Jet Fusion 4200

Střední hodnota částic 77 μ m

Teplota tavení 152°C

Hustota prášku 0,42 g/cm³

Tvrdość Shore 91A

Poměr míchání 80/20

HP 3D HR TPA enabled by Evonik ^{i,ii,iii}	Average (XY)	Average (Z)	Test Method
Tensile strength (MPa) ^{iv}	10	8	DIN53504/ ISO-37
Tensile modulus (MPa) ^{iv}	75	80	DIN53504/ ISO-37
Elongation at break (%) ^v	250	120	DIN53504/ ISO-37
Tear strength (KN/m)	50	40	ASTM D624
Rebound (%)	72	72	ASTM D7121
Compression set (%)	40	40	DIN-ISO 815
Hardness (Shore A)	91	91	ASTM D2240
Density (g/cm ³)	1.0		ASTM D792

Termoplastický polyuretan TPU (Lubrizol)

Semikrystalický materiál TPU

Dostupné pouze pro HP Jet Fusion 4200

Střední hodnota částic 62 μ m

Teplota tavení 200°C

Hustota prášku 1,1 g/cm³

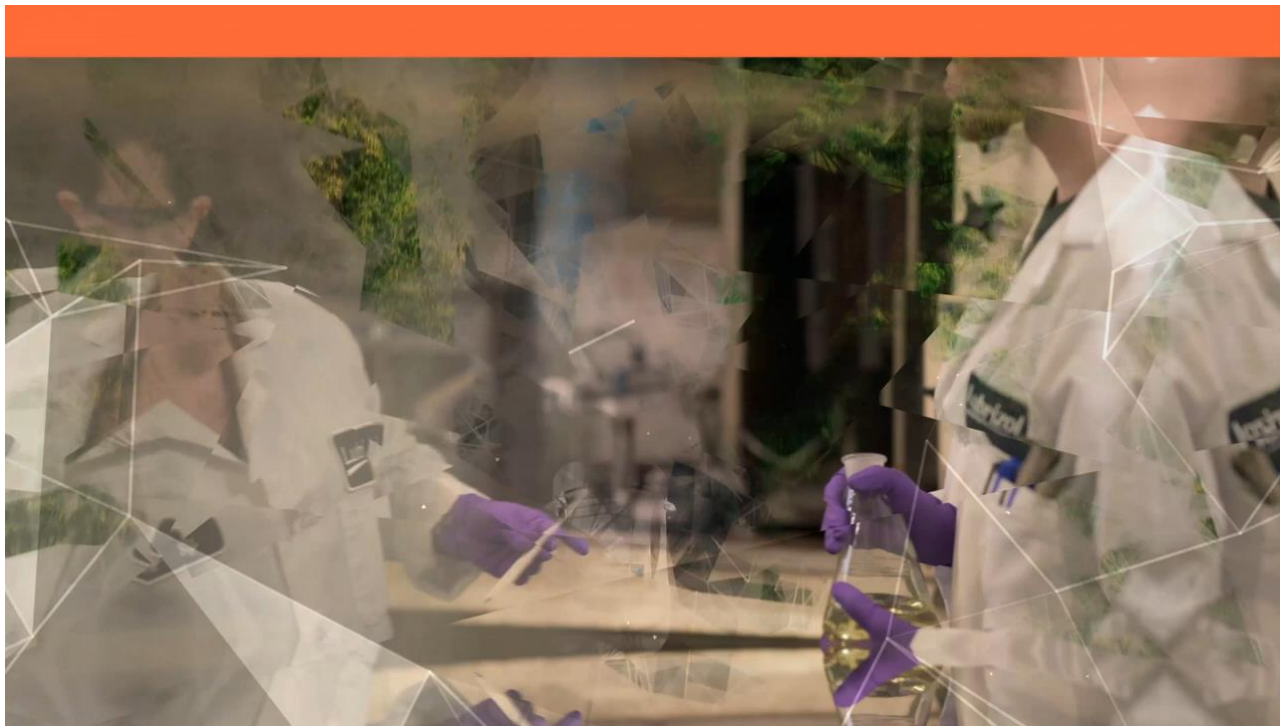
Tvrdość Shore 95A

Poměr míchání 80/20

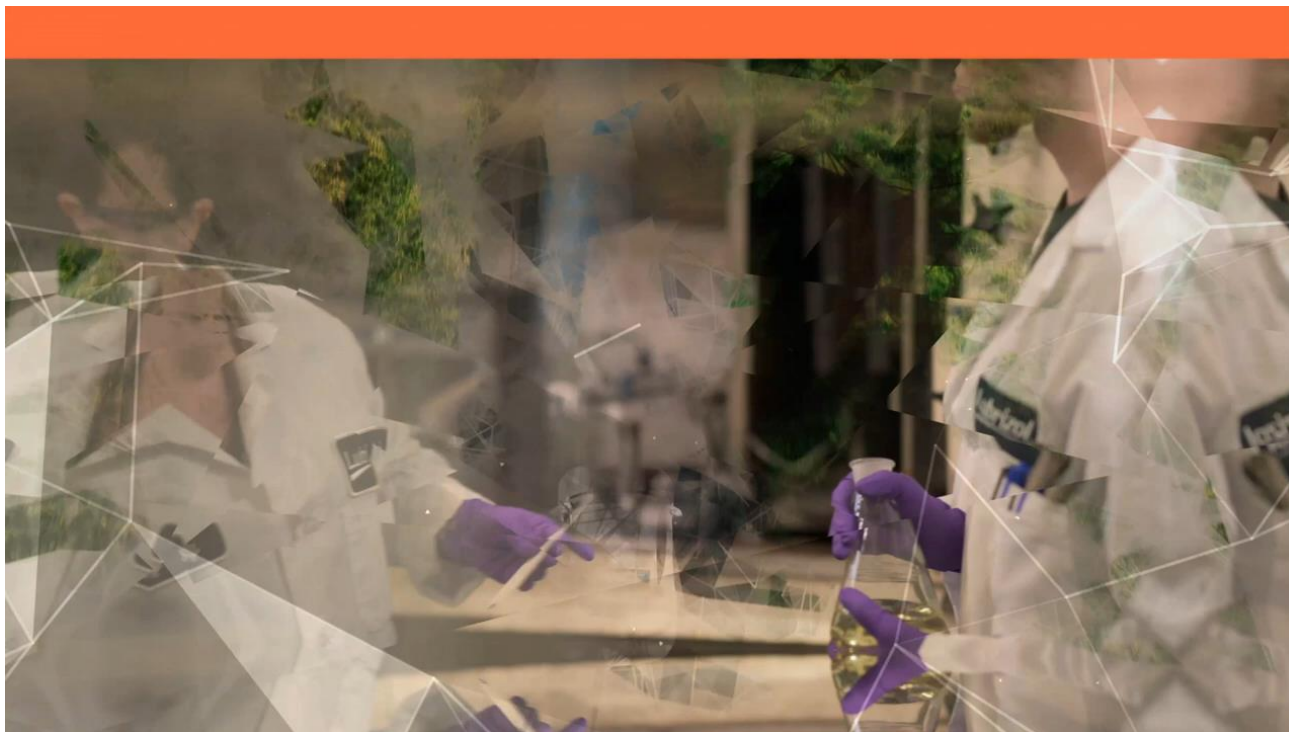


ESTANE® 3D TPU M95A ^{ii iii}	XY (Gen 1)	XY % degradation from Gen 1 to Gen 11	Z (Gen1)	Z % degradation from Gen 1 to Gen 11	Test method
Tensile strength (MPa)	16	18%	7	26%	DIN-53504/ISO-37
Elongation at break (%)	370	17%	90	38%	DIN-53504/ISO-37
Tear strength (N/mm) [Die C]	109	16%	53	28%	ASTM D624
Hardness (5 sec) [Shore A]	90	N/A	90	N/A	ASTM D2240
Abrasion volume loss (mm ³)	92	19%	80	26%	DIN-53516/ISO-4649

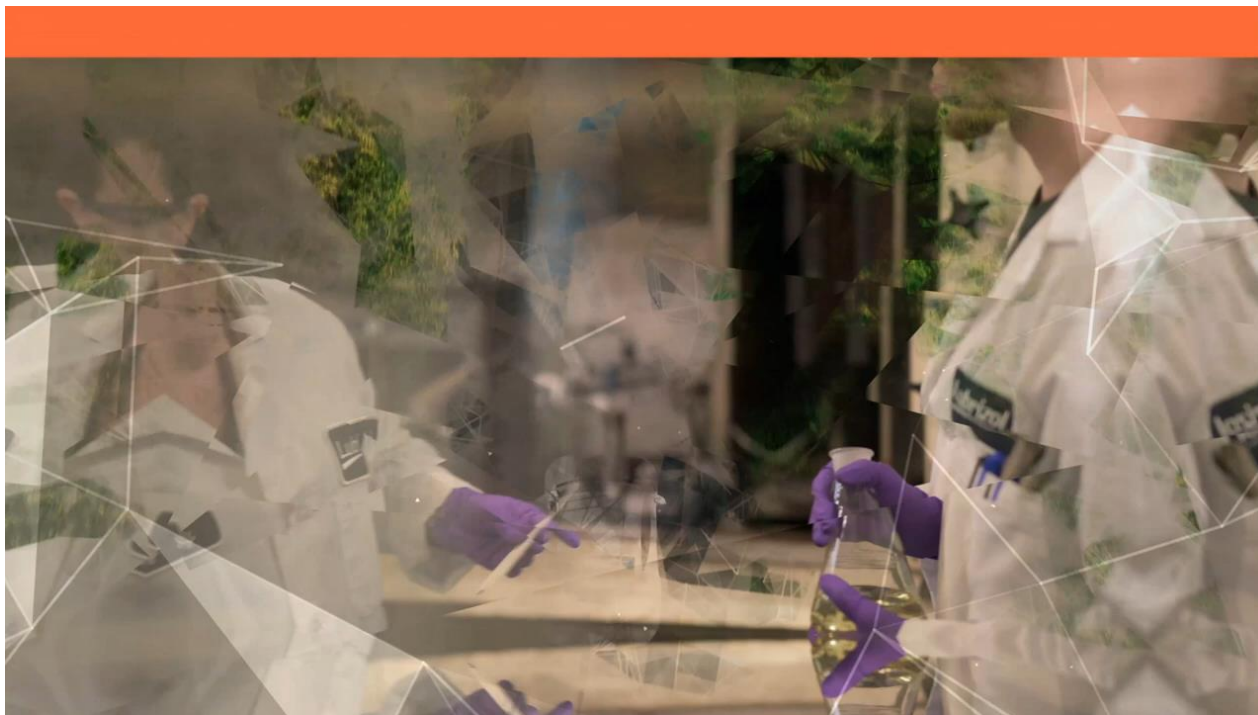
Materiál TPU



Materiál TPU



Materiál TPU



Termoplastický polyuretan TPU (Lubrizol)

Semikrystalický materiál TPU (ESTANE 3D M88A TPU)

Dostupné pouze pro HP Jet Fusion 5210 – od 1Q/2023

Střední hodnota částic 62 μ m

Teplota tavení 200°C

Hustota prášku 1,1 g/cm³

Tvrdość Shore 88A

Poměr míchání 80/20



Termoplastický polyuretan TPU (BASF)

Semikrystalický materiál TPU - BASF Ultrasint® TPU01

Dostupné pouze pro HP Jet Fusion 5200

Střední hodnota částic 80 μ m

Teplota tavení 135°C

Hustota prášku 0,5 g/cm³

Tvrdość Shore 90A

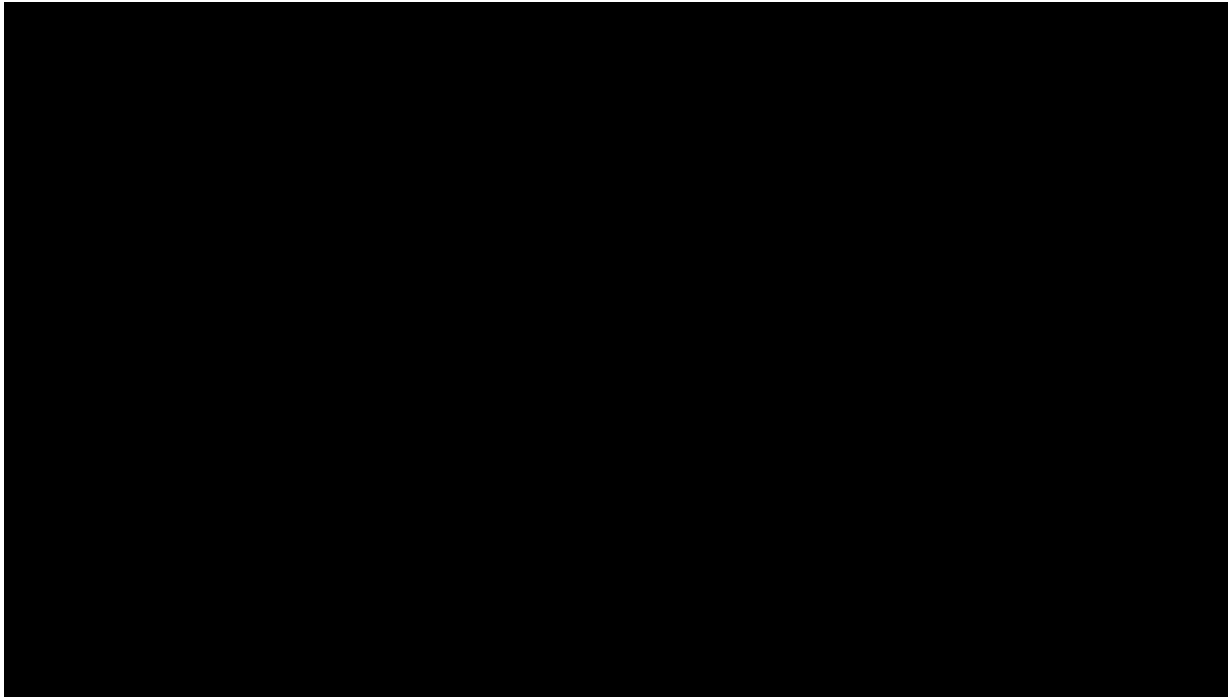
Poměr míchání 80/20



	Average (XY)	Average (Z)	Test method
Tensile strength (MPa) ⁵	9	7	DIN53504
Modulus (MPa) ⁵	56	61	DIN53504
Elongation at break (%) ⁵	213	137	DIN53504
Tear resistance (KN/m)	33	45	ASTM D624
Rebound (%)	63	63	ASTM D7121
Compression set (%)	20	20	ASTM D395
Abrasion loss (mm ³)	158	120	ASTM D4060

Table 5. Mechanical property test results for BASF Ultrasint™ TPU01

Materiál TPU



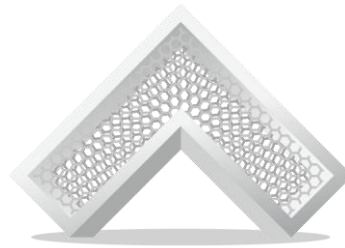
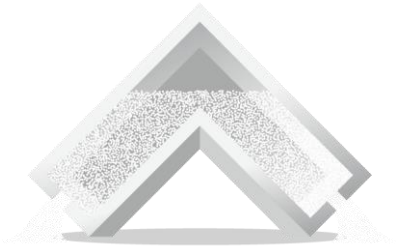


Výrobky

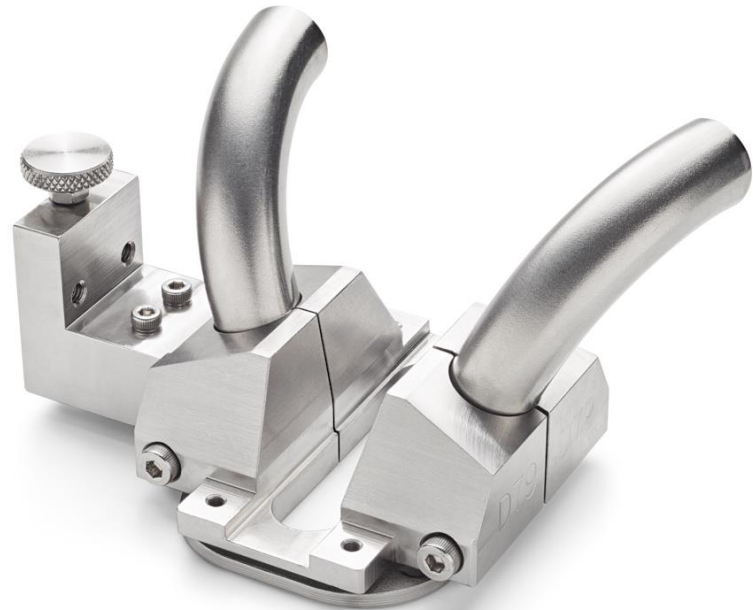


Konstrukční zásady

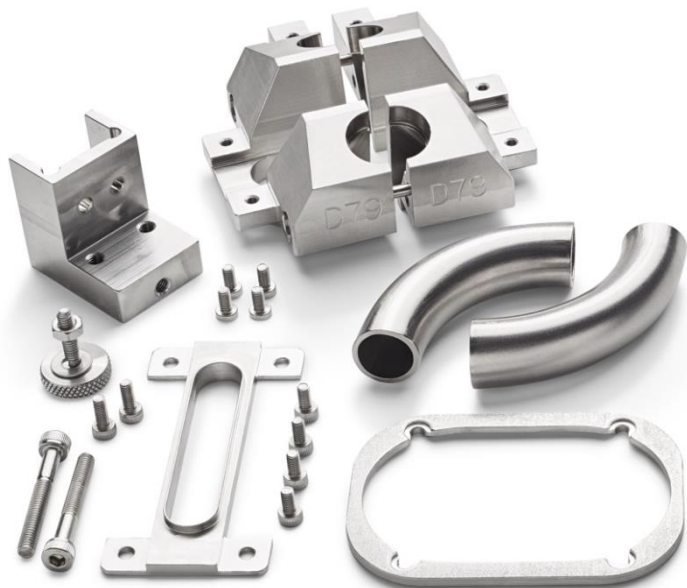
Konstrukční zásady



Optimalizace designu



Optimalizace designu



Hmotnost: 575 g
Cena za obrábění CNC stroji : 9180 Kč



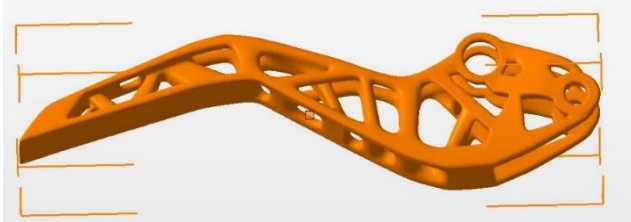
Hmotnost: 42,4 g
Cena za 3D tisk dílců : 459 Kč

Optimalizace designu



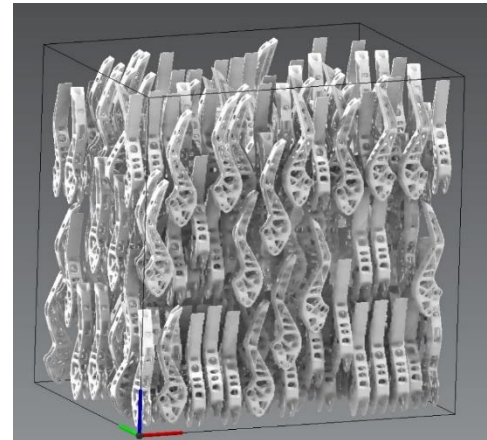
- CNC obrábění může být nahrazeno vytištěním jednoho celistvého dílce
- Nízká hmotnost (až 93%) a snížení nákladů na výrobu (až 95%)

Optimalizace designu brzdového pedálu



Přípravné práce	
Příprava tiskárny pro 3D tisk	1 h
Počty kusů v jednom tisku	270
Doba výroby	10 h
Doba chlazení	10 h
Očištění a dokončení dílců	1 h
270 dílů za den (cena na kus: 73,7 Kč*)	

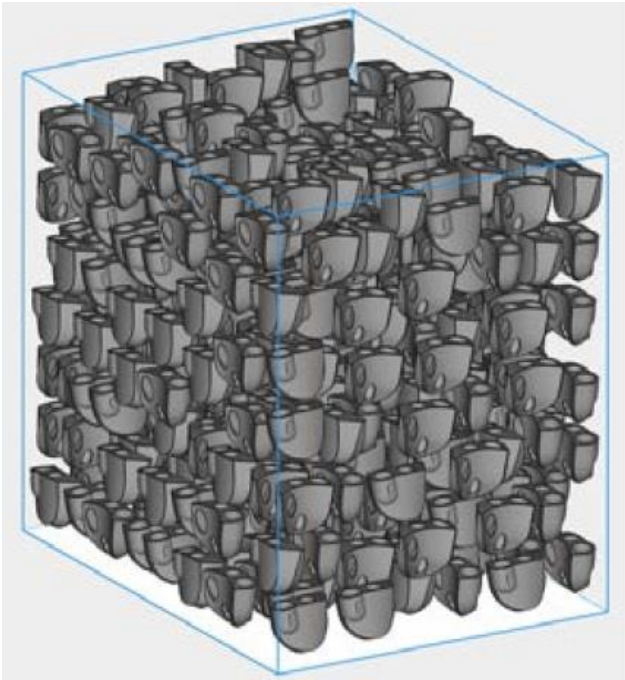
- Redukce váhy
- Individuální design
- Velice pevný a odolný materiál
- Nelze vyrobit konvenční technologií



SURFBOARD – sériová výroba






SURFBOARD – sériová výroba



WATER AND PRESSURE RESISTANT 3D PRINTED PIECES

- HP Jet Fusion – 400 parts produced in 10 hours

SURFBOARD – sériová výroba

Počty dílců	Technologie	Cena na kus	Doba výroby
1		661	3,5 h
400		505	715 h
1		-	-
400		30*	-
1		69	30 min
400		59	10 h

*Cena za vstřikovací formu není započítána
(350 000 Kč.)

SURFBOARD – sériová výroba



Výrobní stroje Multi Jet Fusion

Sériová Výroba

Prototypování



<10



Malé série



<500



Sériová výroba



<10 000

3D printer HP 5200



3D printer HP 5200



3D tiskárna HP 5420W



3D tiskárna HP 5420W



3D tiskárna HP 5600

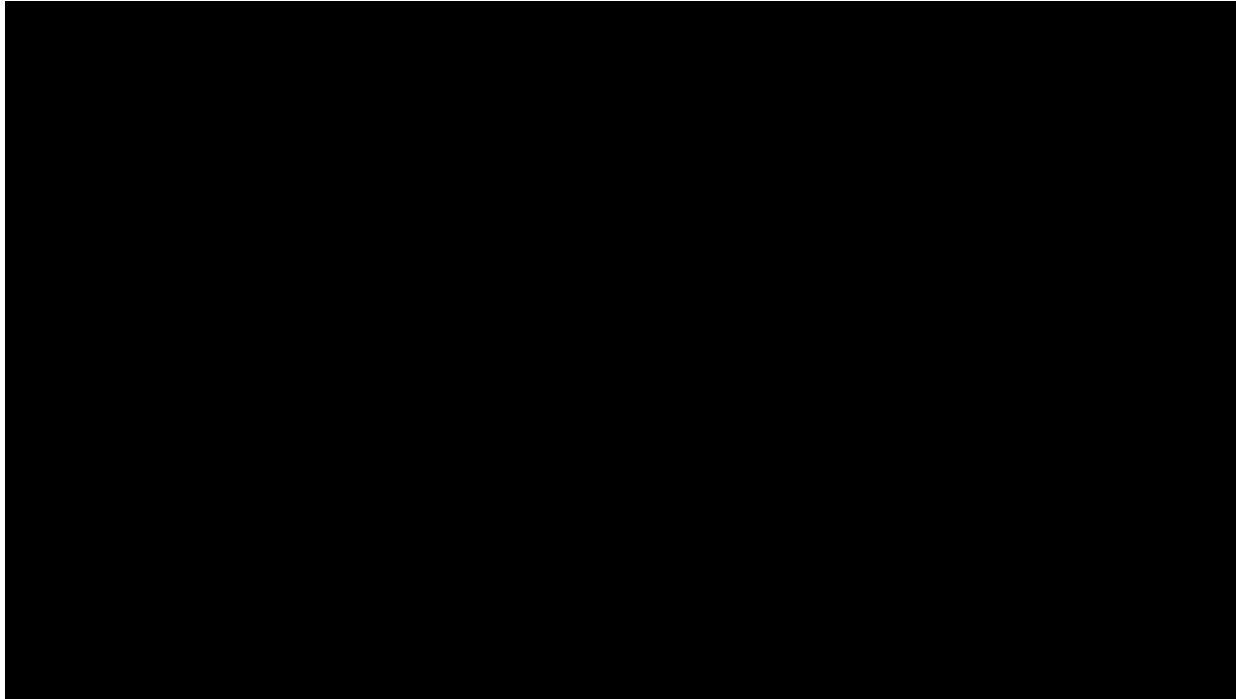


Post Procesing

Barvení dílců + dokončení



Barvení dílců + dokončení

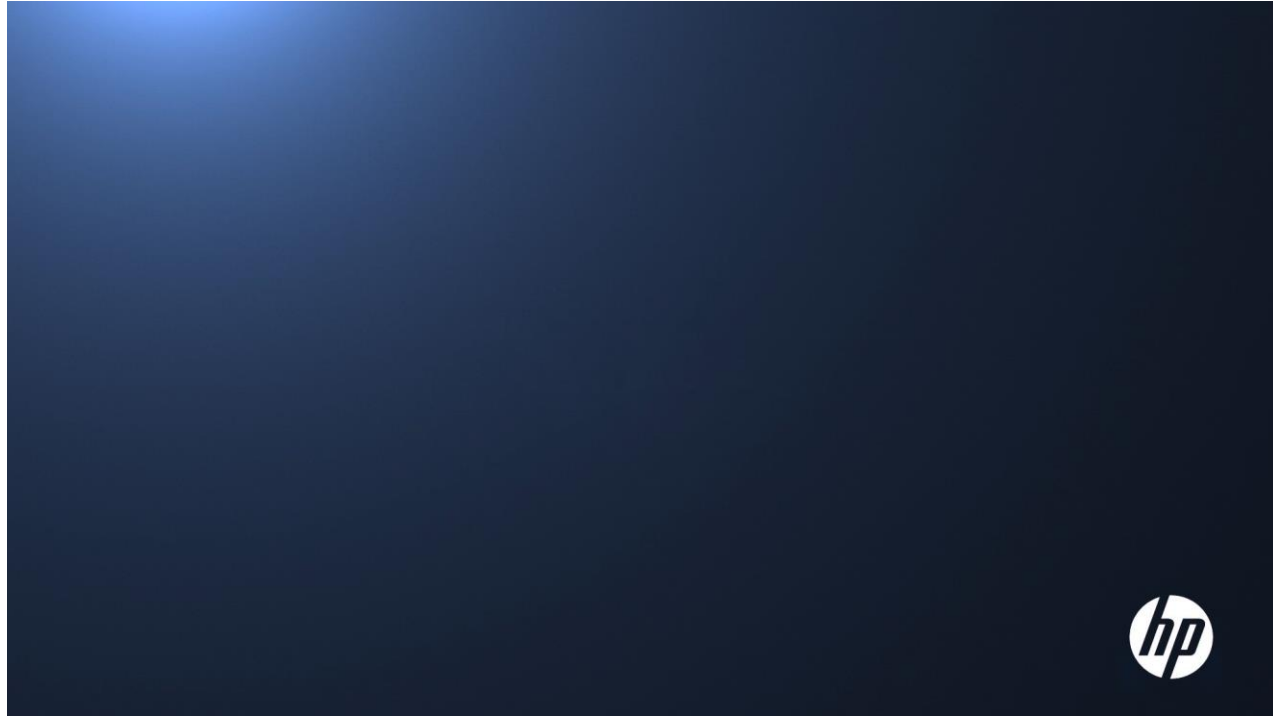


Chemické vyhlazení



Barevné díly

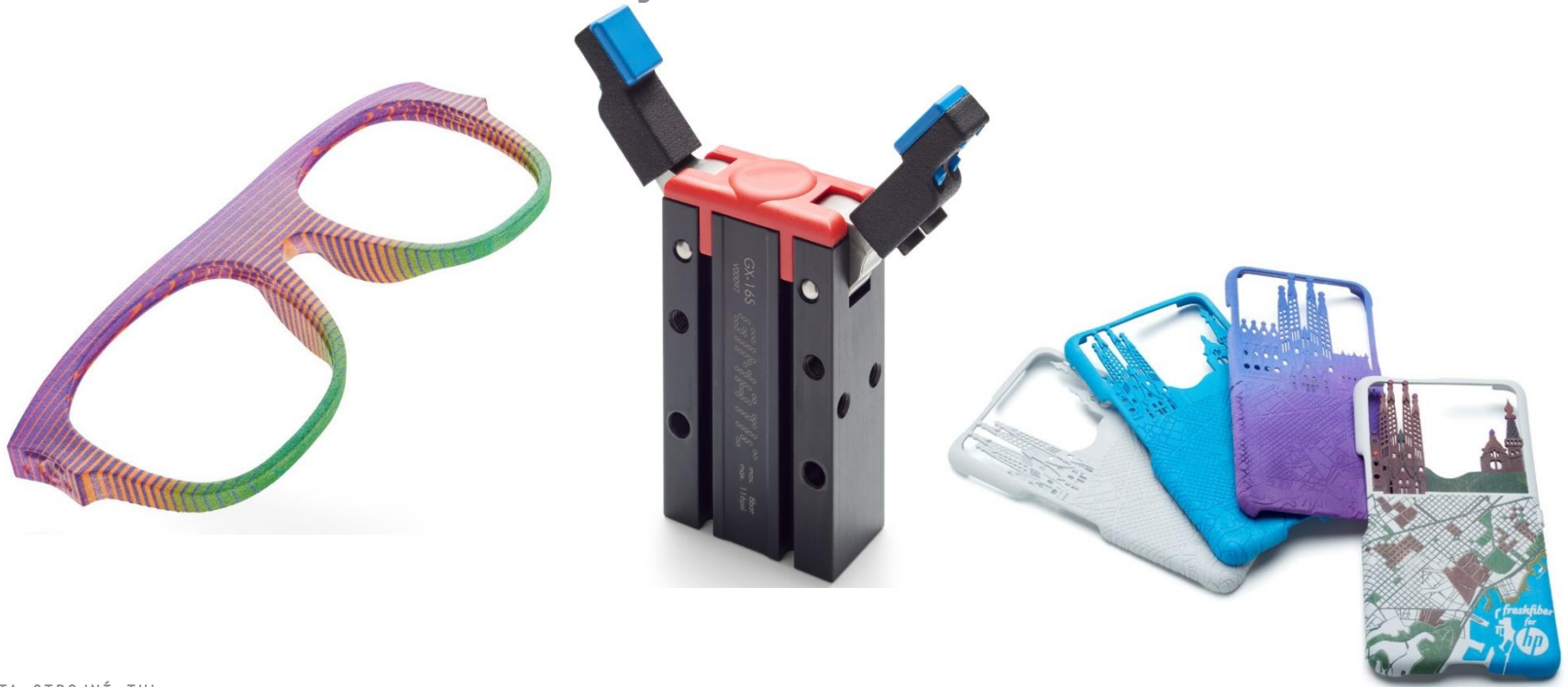
Barevný 3D tisk HP580



Barevný 3D tisk HP580



Barevný 3D tisk HP580



Voxel tisk – budoucnost u HP



Metal Jet

HP Metal Jet



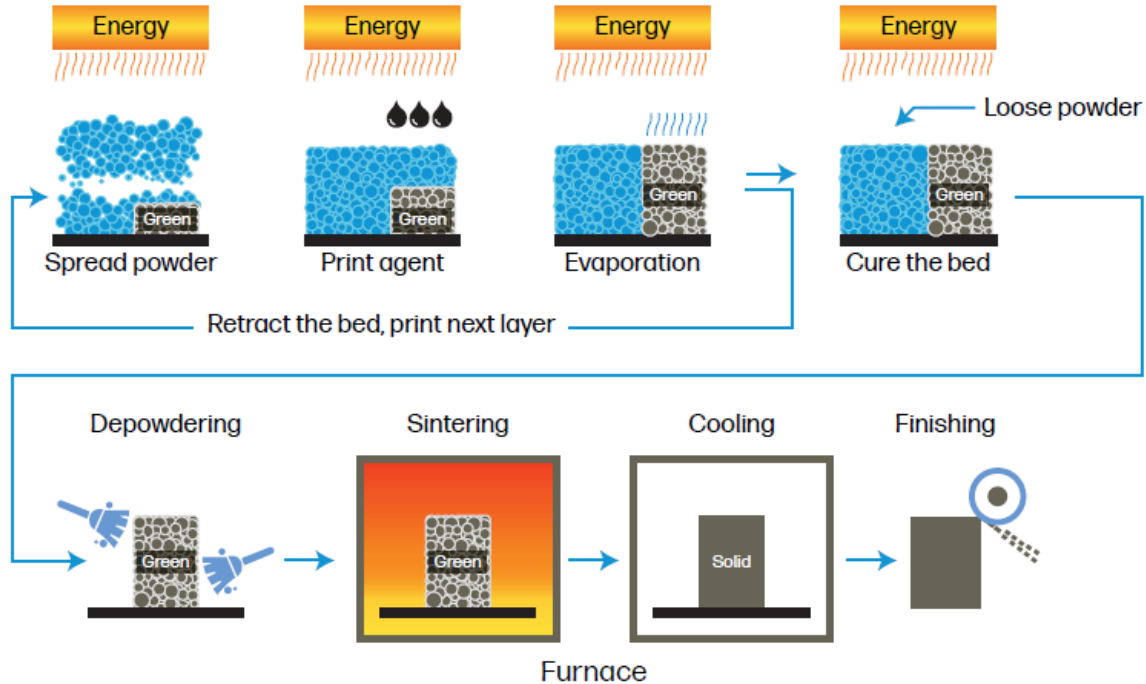
HP Metal Jet S100



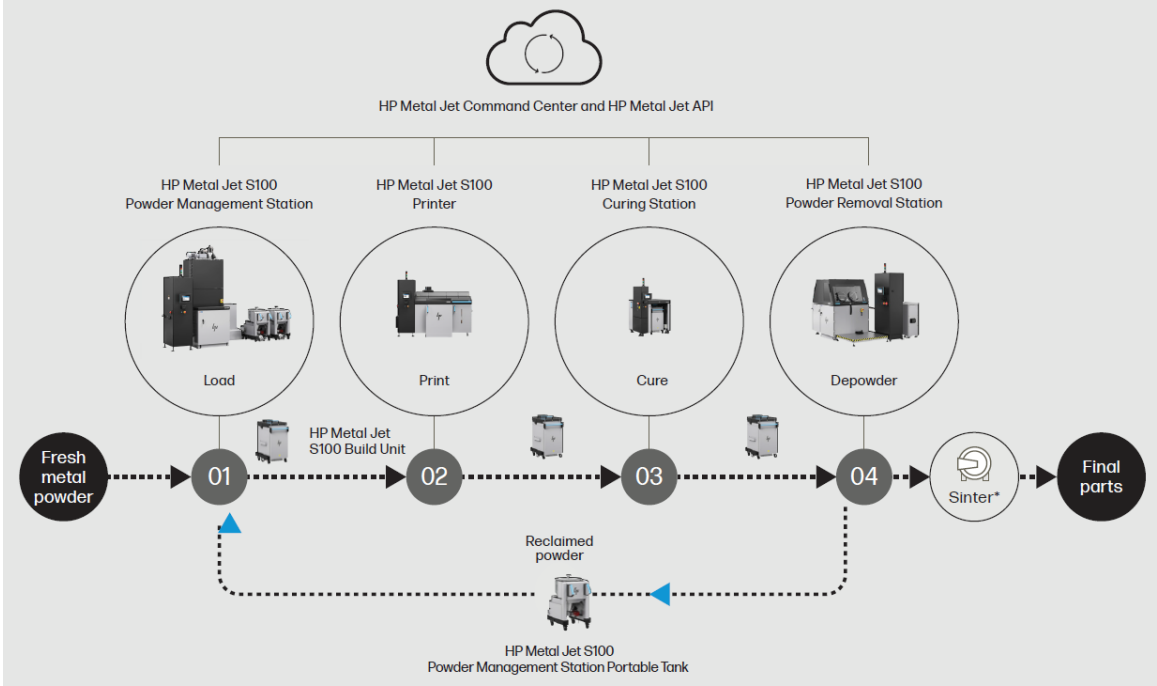
HP Metal Jet S100



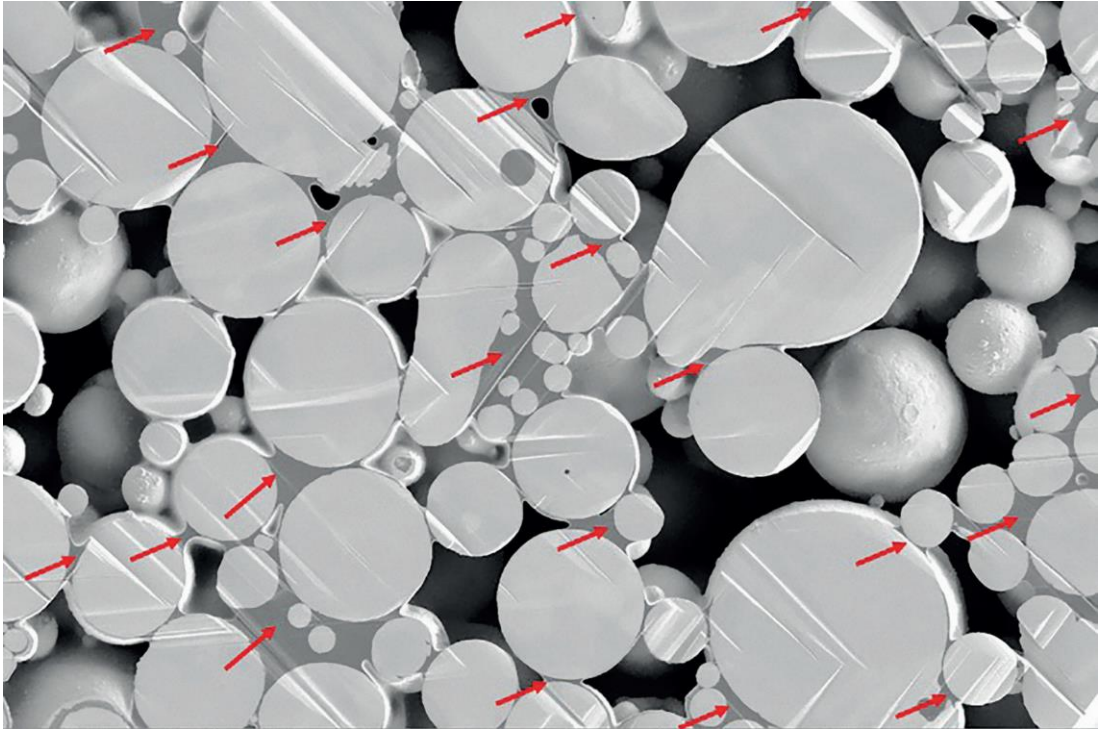
HP Metal Jet S100



HP Metal Jet S100



HP Metal Jet S100



HP Metal Jet S100

HP Metal Jet S100

HP Metal Jet SS 316L



HP Metal Jet S100

HP Metal Jet SS 17-4PH



HP Metal Jet S100



DR. JOCHEN MÜLLER

MANAGER GLOBAL DIGITAL ENGINEERING

HP Metal Jet S100

Pracovní objem tiskové komory: 430 x 309 x 200 mm

Rychlost tisku - 1990 cm³/hr (50 μm – výška vrstvy)

Výška vrstvy: 35 – 140 μm

Tiskové rozlišení 1200 dpi pro (x,y)

Automatická kontrola trysek při tisku

Hustota po sintraci více jak 95%.



Děkuji za pozornost