

Zpracování hořčíkových slitin technologií SLM

Jan Suchý, Ing.

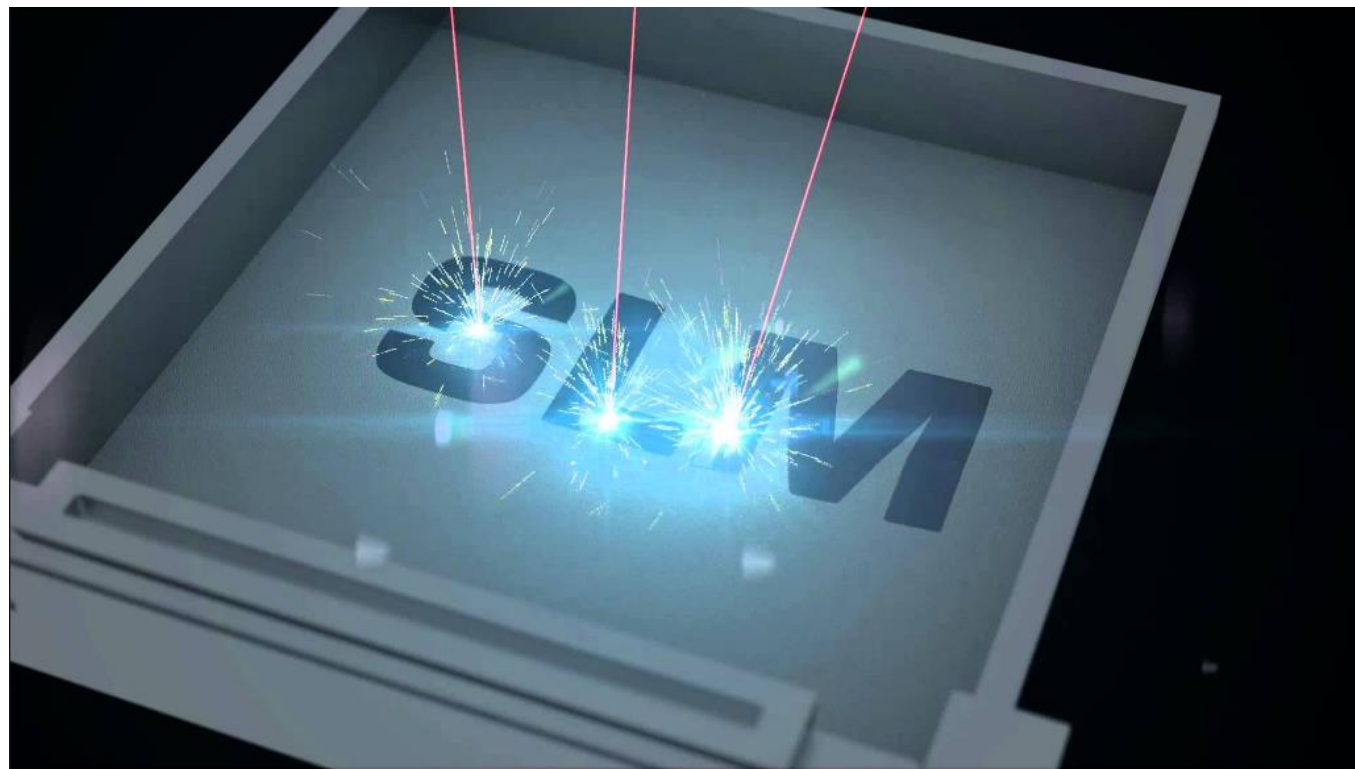
ÚSTAV KONSTRUOVÁNÍ
Fakulta strojního inženýrství
VUT v Brně

9MOP, 26.2.2018



Obsah

- Motivace řešení problému
- Současný stav poznání
- Cíl a přínos práce
- Vědecká otázka
- Metody a plán prací



Motivace

Motivace

Slitiny zpracovatelné SLM

- AlSi10Mg, AlSi12, AlSi7Mg, AlMg4.5Mn0.4, Reintitan, Ti6Al7Nb, Ti6Al4V, Ti64ELI, 1.2709 (ST2709B), 1.4404 (316L), 1.2344 (H13), 1.4542 (17-4PH), Co212-f, Inconel 625, Inconel 718, Incone HX (2.4665)

Hořčikové slitiny

- Lehké, pevné, odolávají vibracím
- Biodegradabilní



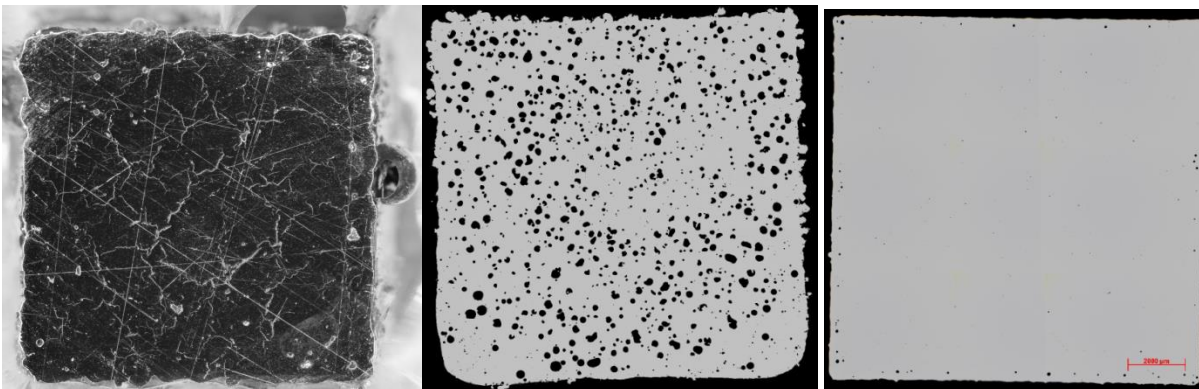
Strukturované díly
(Renishaw)

Vliv procesních parametrů

Pozitivní vlivy na výrobní proces

- Dostatečné sušení prášku
- Předehřev komory a základové desky
- Vyšší výkony laseru
- Průměr paprsku laseru a jeho tvar
- Správně zvolený způsob stavby
- Přetavování povrchu dílu

$$E = \frac{P_{Laser}}{v_{scan} \times h_d \times t_{Layer}}$$



E	Hustota energie
P_{Layer}	Výkon laseru
v_{scan}	Skenovací rychlost
h_d	Vzdálenost jednotlivých stop
t_{Layer}	Šířka vrstvy

Porozita dílů

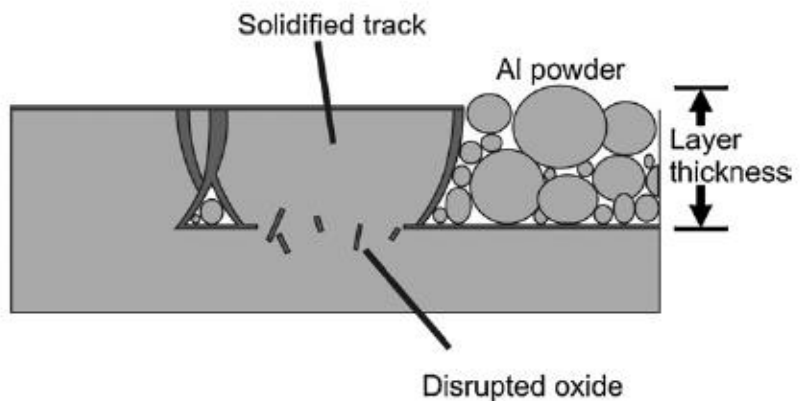
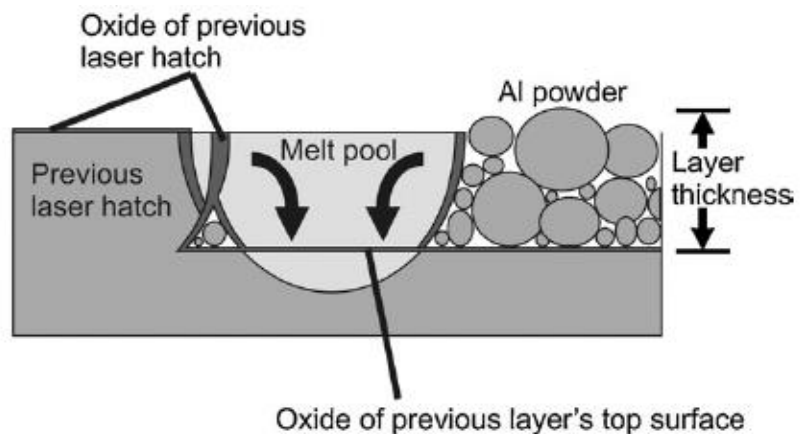
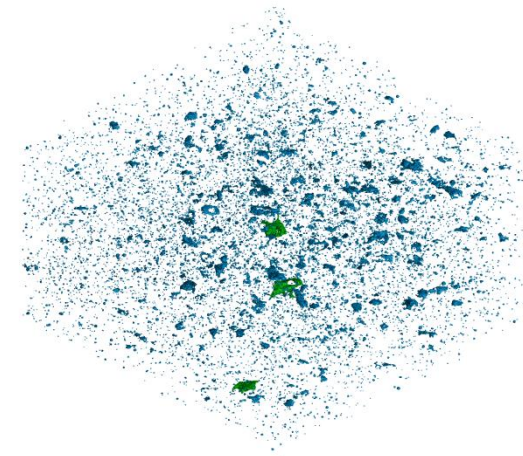
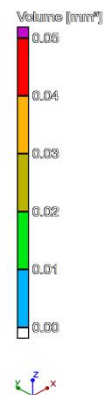
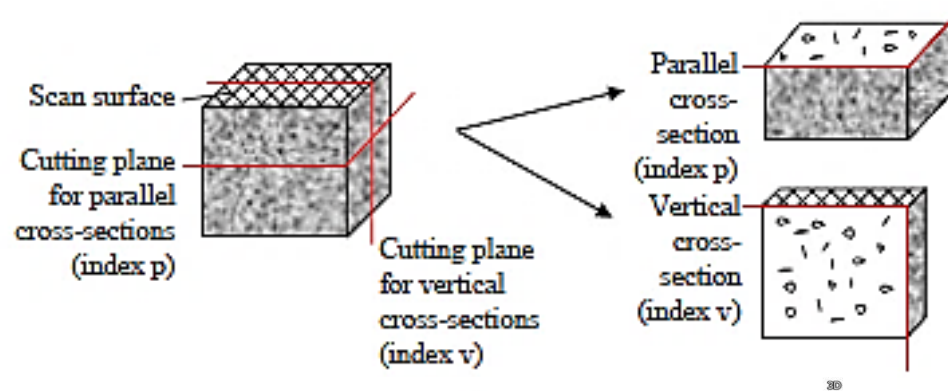
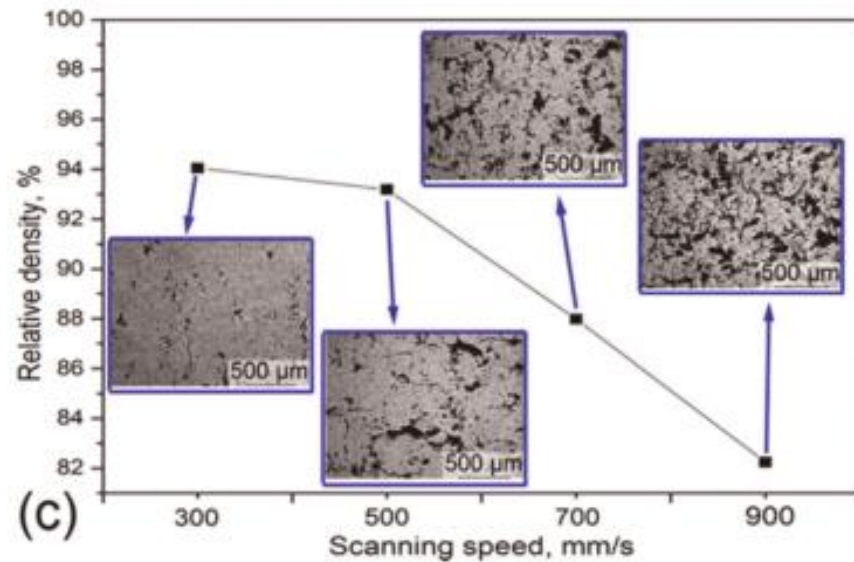
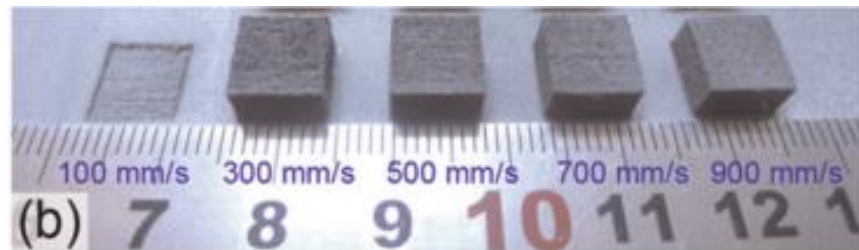


Schéma filmu oxidů
(Louvis, 2010)

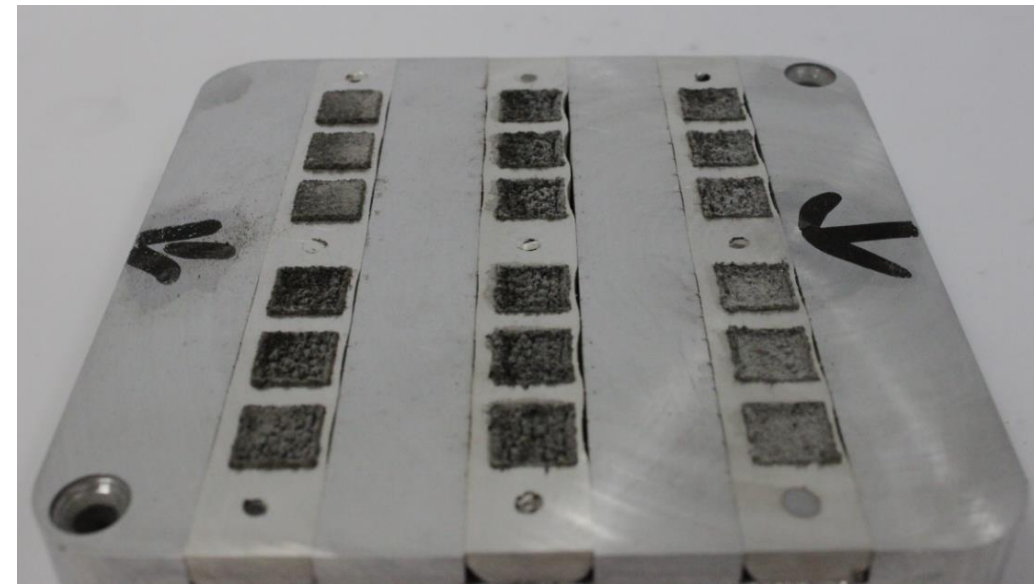


Metody validace vnitřní porozity
(Spierings, 2011)

Vaporizace prášku



Vliv skenovací rychlosti na mikrostrukturu slitiny ZK60
(Wei, 2015)



Test objemu

Vzlet prášku

Hustota hořčíku 1,738 [g/cm⁻³]
 Hustota hliníku 2,700 [g/cm⁻³]

	10W	15W	20W	30W	60W	90W	110W		
0.01 m/s	A	VII. Coarse		II. Much smoke appear and a little of metal remnant		I. Much powder was evaporated			
0.02 m/s	VI. Brittle	B							
0.04 m/s		D	C						
0.08 m/s	V. Loose								
0.16 m/s	IV. Not mechanical strength								
0.3 m/s									
0.5 m/s	III. A little of metal remnant								
1 m/s									

Mapa procesních parametrů Mg-9%Al
 (Zhang, 2012)



Test návarů biodegradabilní slitiny WE43

Inertní atmosféra

Druhy inertních plynů

- N₂
- Ar
- He



O₂ 0,2 %

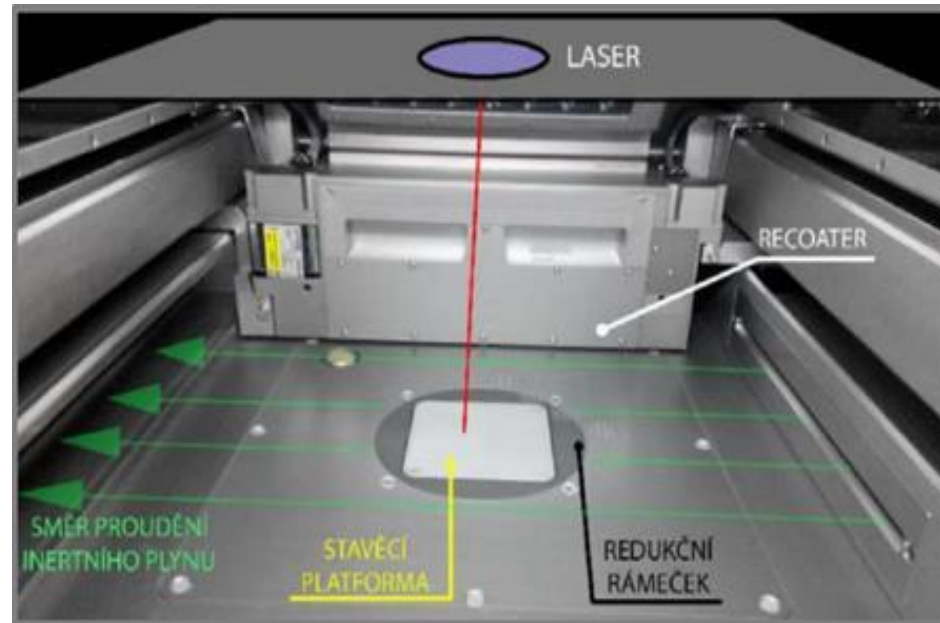


Schéma výrobní komory SLM 280 HL
(Dokoupil, 2015)

Inertní atmosféra

Druhy inertních plynů

- N₂
- Ar
- He



O₂ 0,2 %

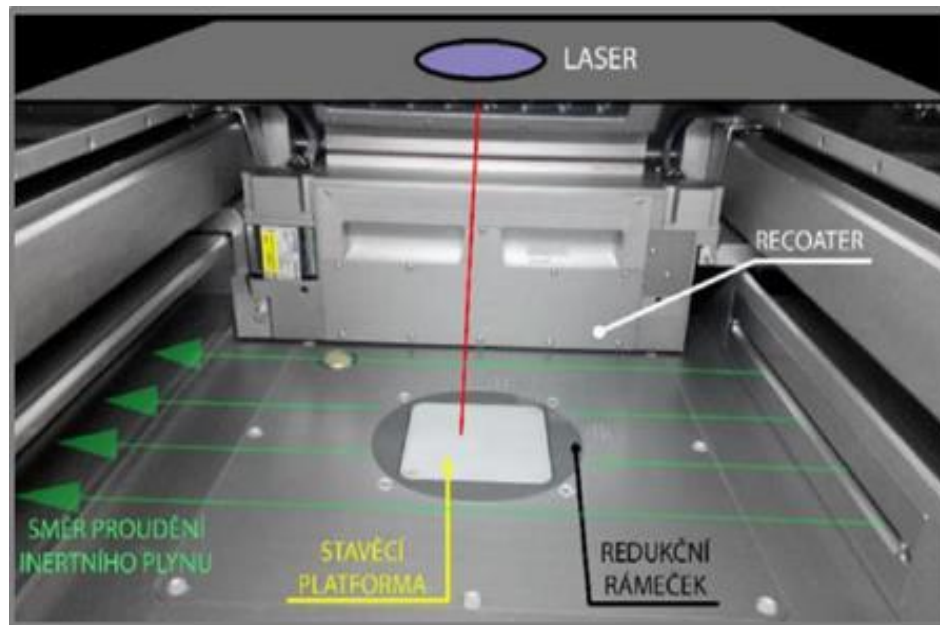
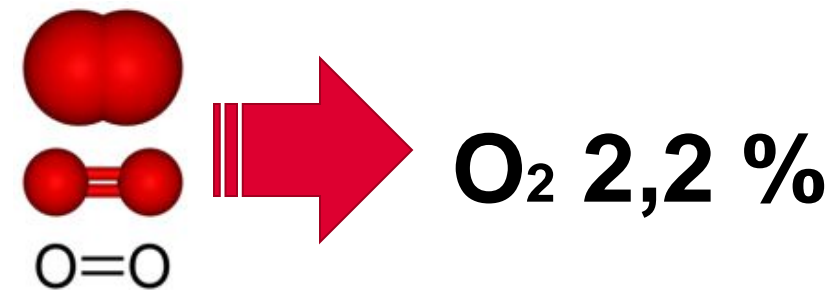
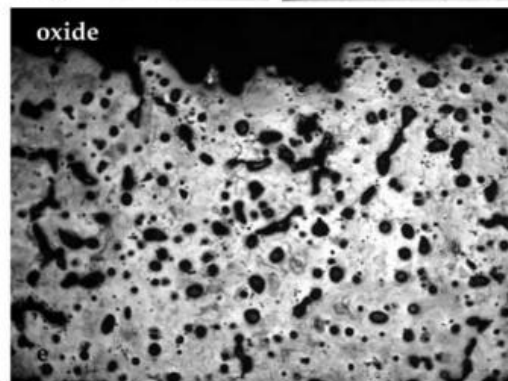
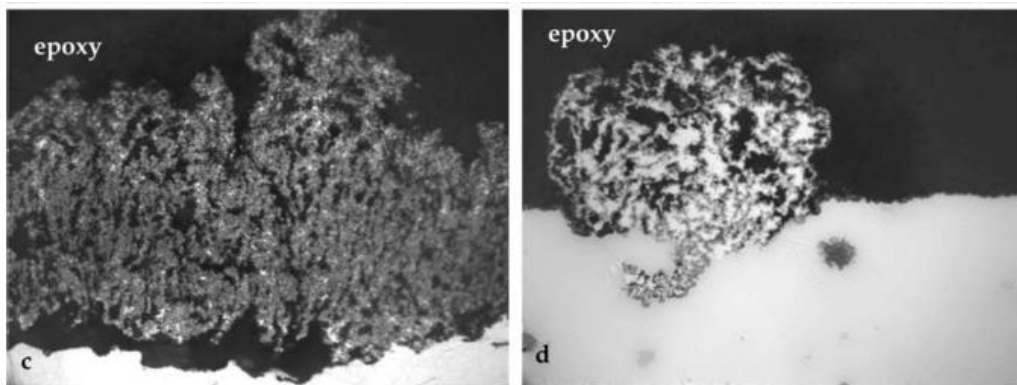


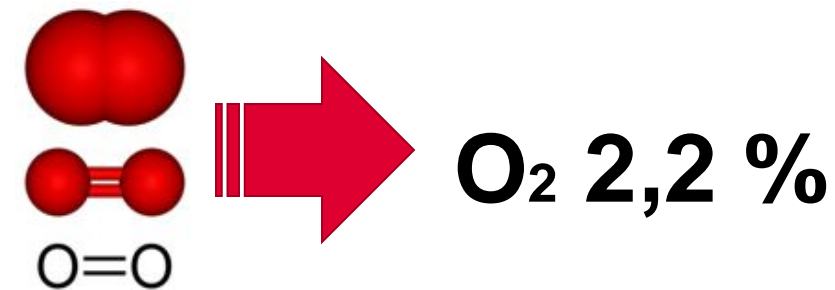
Schéma výrobní komory SLM 280 HL
(Dokoupil, 2015)



Inertní atmosféra



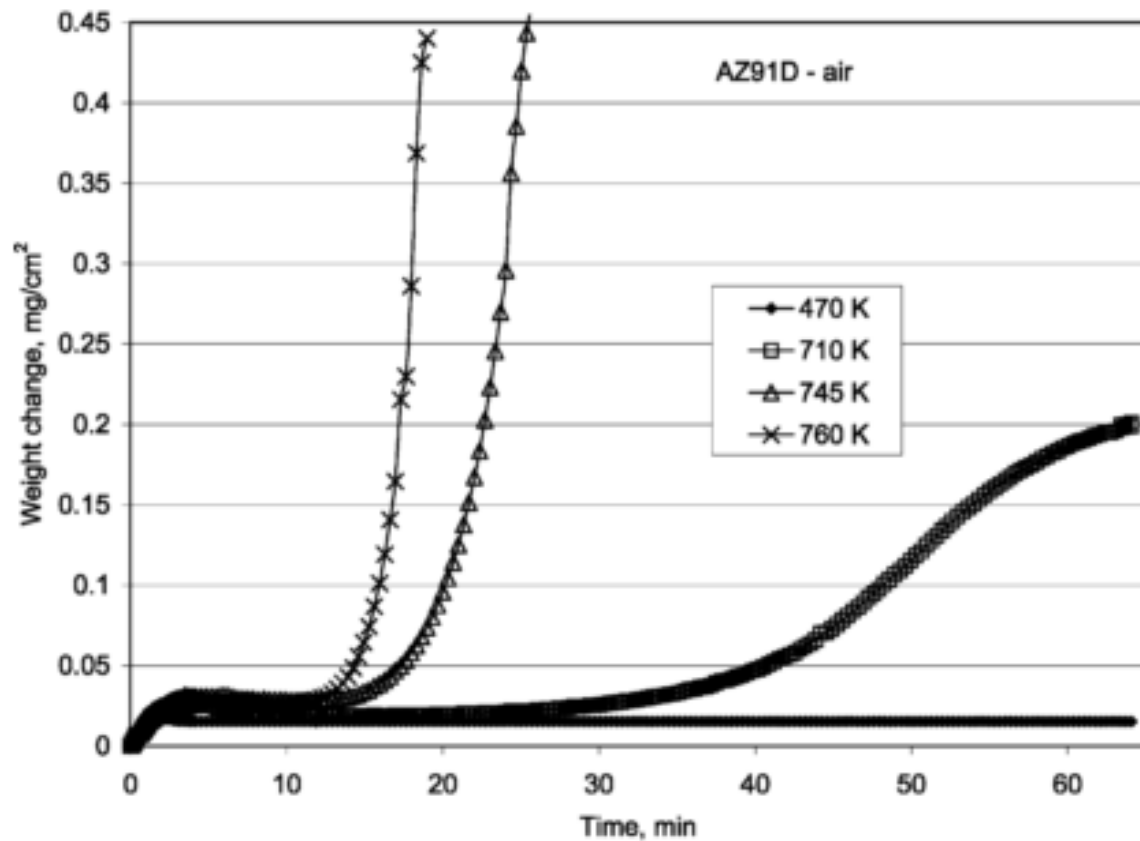
Uvolňování kyslíku a mechanismus oxidace AZ91D
(Czerwinski, 2002)



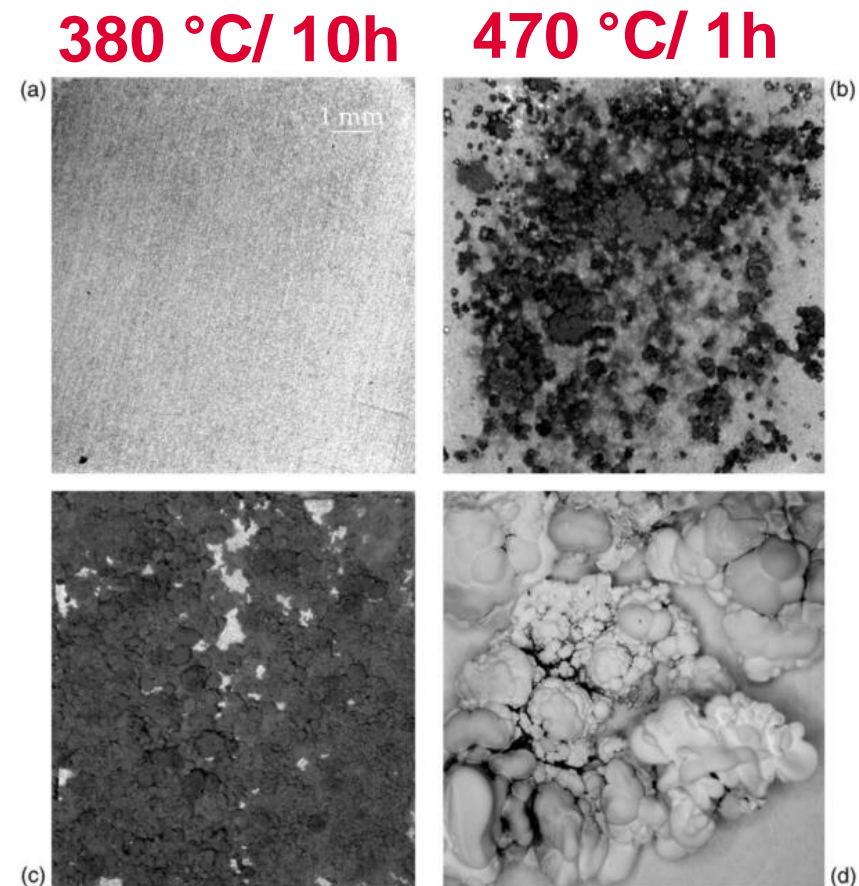
O_2 2,2 %



Oxidace hořčíkových slitin



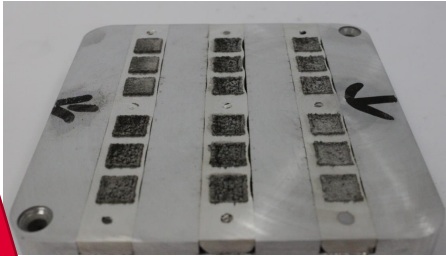
Oxidace hořčíkové slitiny AZ91D za zvýšených teplot
(Czerwinski, 2002)



500 °C/ 1h 550 °C/ 10 min

Ukázka rychlosti oxidace AZ91D
(Czerwinski, 2002)

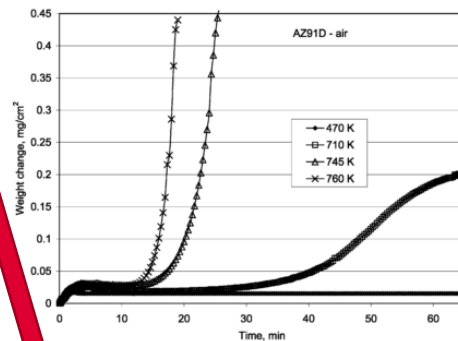
Analýza současného stavu poznání



Definice bílých míst

- Malé množství objemových vzorků
- Nedostatečně popsany processing
- Chybí popis mechanických vlastností
- Testy probíhaly pouze za nízkých skenovacích rychlostí

	10W	15W	20W	30W	60W	90W	110W
0.01 m/s	A	VII. Coarse					
0.02 m/s	VI. Brittle	B		II. Much smoke appear and a little of metal remnant			
0.04 m/s		D	C				
0.08 m/s		V. Loose					I. Much powder was evaporated
0.16 m/s	IV. Not mechanical strength						
0.3 m/s							
0.5 m/s	III. A little of metal remnant						
1 m/s							



Procesní parametry

- Hustota energie 83 – 167 J/mm³
- Výkon laseru 200 W
- Skenovací rychlost 300 mm/s
- Vzdálenost stop laseru 80 – 100 μm
- Šířka vrstvy 20 – 50 μm

Cíl a přínos práce

Hlavní cíl práce

- Hlavním cílem práce bude odladit výrobní proces hořčkových slitin pro třídu laserů Ng-YAG s ohledem na dosažení co nejvyšších mechanických a únavových vlastností.

Dílčí cíle

- Odhalení vlivu hlavních procesních parametrů na stabilitu výrobního procesu
- Naladit výrobní proces pro vyšší rychlosti
- Popis mikrostruktur vznikajících při různých nastaveních laseru
- Nalezení mikrostruktury vhodné pro vysoké mechanické vlastnosti

Klíčová slova

- SLM, hořčík, mikrostruktura, mechanické vlastnosti

Vědecká otázka

Vědecká otázka

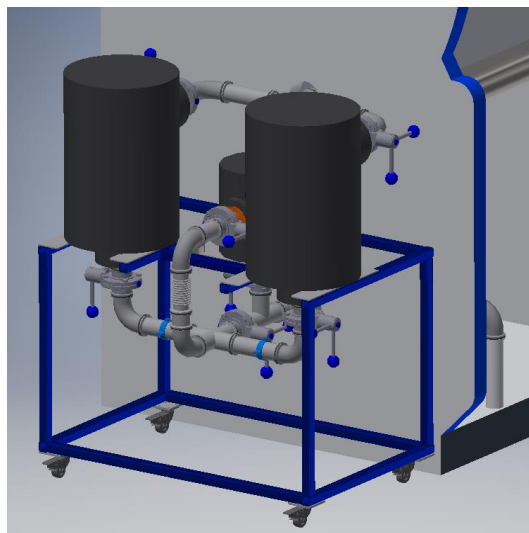
„Jakou kombinací hlavních procesních parametrů lze dosáhnout stabilního procesu výroby a zároveň vyšších mechanických vlastností, než při konvenčních způsobech výroby dílů z hořčíkových slitin?“

Hypotéza

„Zvolená kombinace procesních parametrů leží někde v rozsahu hustoty energie 83 – 167 J/mm³ a zvolená skenovací rychlost a vzdálenost mezi jednotlivými návary musí být nejvyšší, jakou stabilita procesu snese.“

Přestavba stroje SLM 280 HL

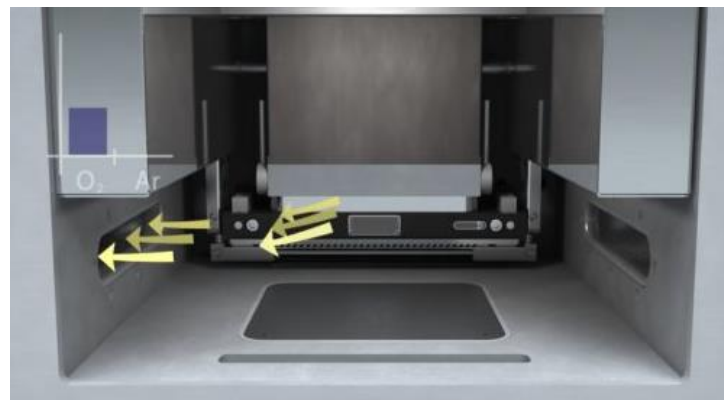
Bezpečnost



Návrh filtrační jednotky



Odtah kouře a O₂



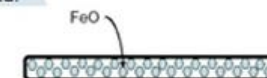
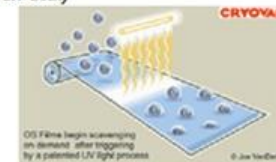
Přestavba systému dopravy inertního plynu



Redukce O₂ Absorbéry kyslíku

- **princip:**
- oxidace Fe a/nebo FeO (Ageless, ATCO, FreshPax atd.)
- enzymová reakce (Bioka)
- kyselina askorbová (Ageless E, Toppan™ C)
- pyrokatechol (Tamotsu™)

- **uspořádání:**
- sáčky, nálepky, těsnící vložky do uzávěrů lahví, systémy inkorporované do fólie atd.



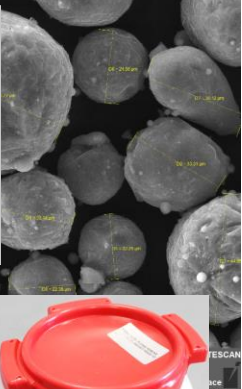
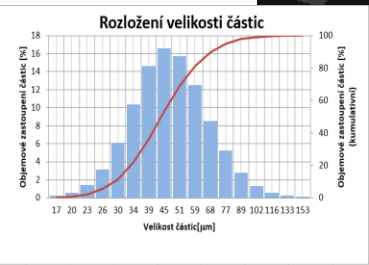
Paper/plastic laminate



Vývoj kyslíkového filtru

Objasnění vlivu procesních parametrů

Analýza prášku



Magnesium Elektron
CERTIFICATE OF COMPLIANCE AND ANALYSIS

Q00008166 University of Chemistry & Technology Prague Q000000000
MAGNESIUM ELECTRON a.s. 16 100 Praha 600000000000000000000000
LOT NO. 18 12 0000

The chemical composition of the material conforms to the following:

	2%	4%
Magnesium	99.84	99.84
Aluminum	0.06	0.06
Heavy Rare Earth Elements	0.06	0.06
Cadmium	0.0003	0.0003
Lead	0.0001	0.0001
Other Elements	0.0001	0.0001

Total Rare Earth Elements: 0.06%

This product meets the elemental requirements of ASTM B213/B213M 01 Specifications.

PŮVODNÍ SPECIFIKACE	
	AKTUÁLNÍ MĚŘENÍ
Typ	Velikost (μm)
100	100
50	50
20	20

Approved Quantity: 2000 kg (5000 lbs) / 10000 kg (22000 lbs)
Approved Date: 2018-12-01

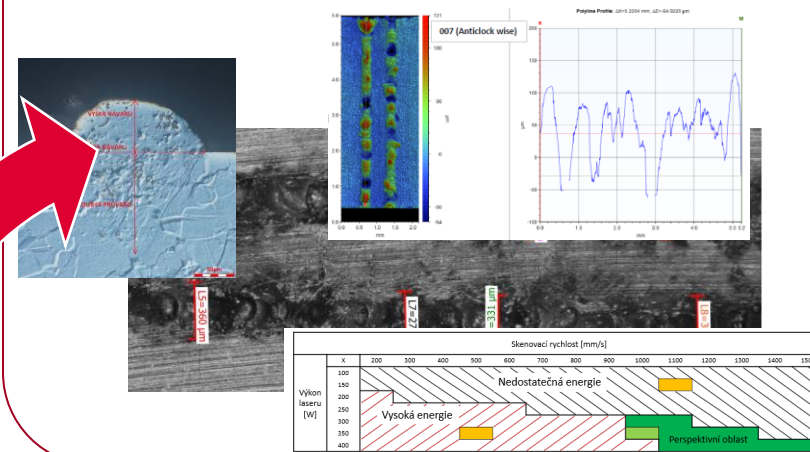


Objasnění vlivu procesních parametrů

Analýza prášku

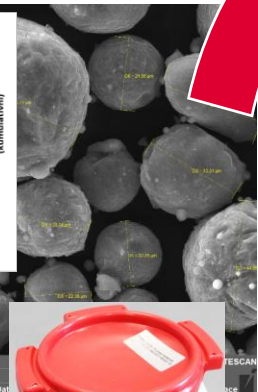
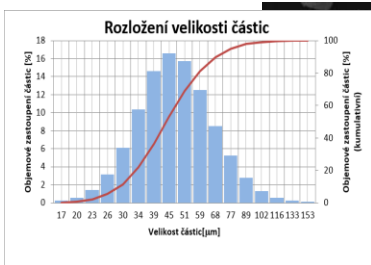


Test návarů



Objasnění vlivu procesních parametrů

Analýza prášku



Magnesium Elektron
CERTIFICATE OF COMPLIANCE AND ANALYSIS

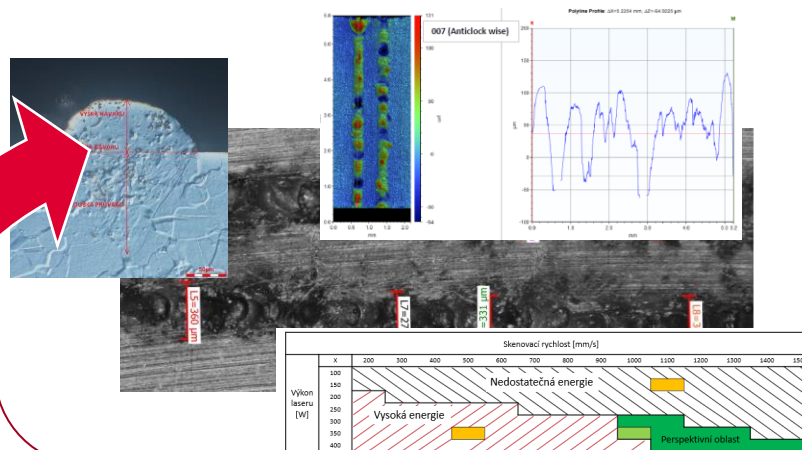
Client: HAVELKA, University of Chemistry & Technology, Prague
Order: 020201
Product: Magnesium Elektron Mg, 10 kg
Lot: 18-12-0028
Product: Magnesium Elektron Magnesium High Purity, 47.9999%
Product: Magnesium Elektron Magnesium High Purity, 47.9999%

Element	Actual	Specification
Mg	99.99%	99.99%
Al	0.001%	0.001%
Si	0.001%	0.001%
Fe	0.001%	0.001%
Ni	0.001%	0.001%
Cu	0.001%	0.001%
Zn	0.001%	0.001%
Pb	0.001%	0.001%
Sr	0.001%	0.001%
Ca	0.001%	0.001%
Other Elements	0.001%	0.001%

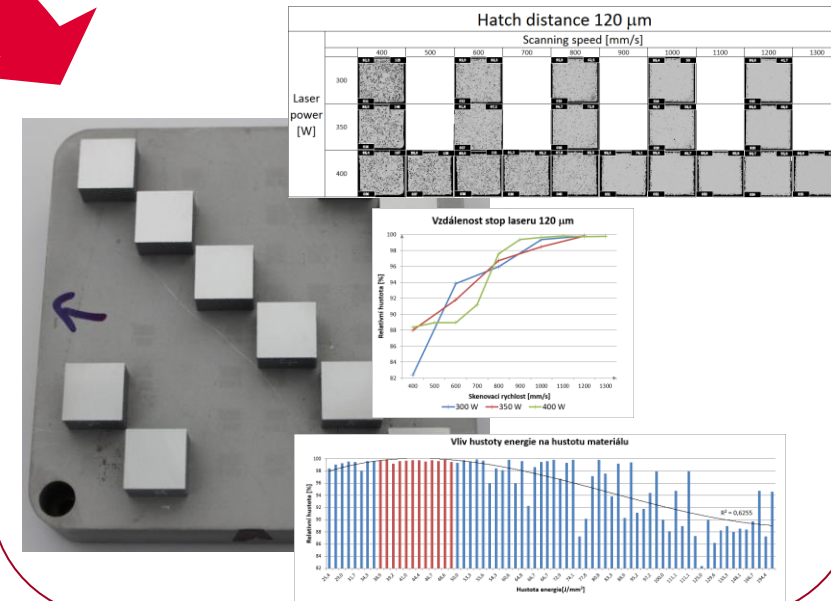
Actual Particle Size: 100 μm
Specification: 100 μm



Test návarů

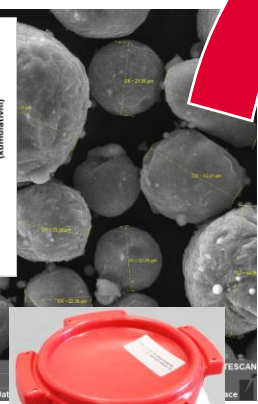
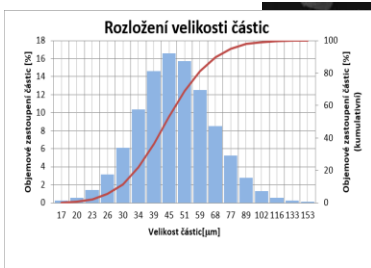


Test objemu



Objasnění vlivu procesních parametrů

Analýza prášku



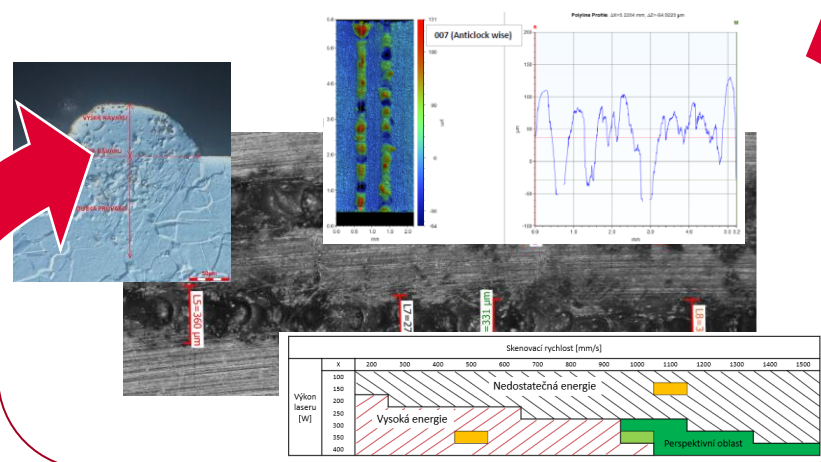
Magnesium Elektron
CERTIFICATE OF COMPLIANCE AND ANALYSIS

Client: HAVELKA, University of Chemistry & Technology, Prague
Date: 2023-03-08
Product: Magnesium Elektron, 100 g
Lot No.: 16-12-2023
Product description: Magnesium Elektron, 100 g

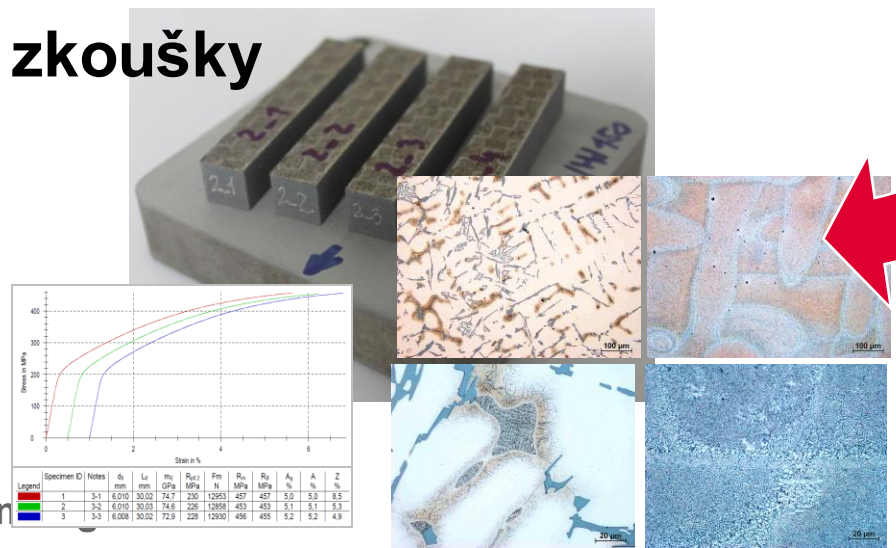
Element	Symbol	Unit	Value
Al	Al	%	0.01
Ca	Ca	%	0.01
Fe	Fe	%	0.01
Mg	Mg	%	99.97
Si	Si	%	0.01
S	S	%	0.01
Zn	Zn	%	0.01



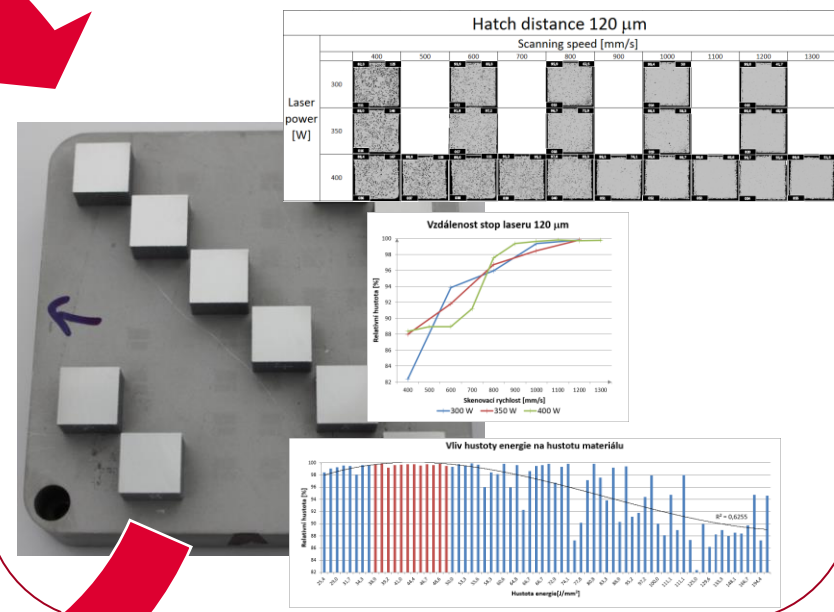
Test návarů



Mikrostruktura a mech. zkoušky



Test objemu



Ověření správnosti postupu



DĚKUJI VÁM ZA POZORNOST

Jan Suchý, Ing.

Jan.Suchy1@vut.cz



ÚSTAV
KONSTRUOVÁNÍ

www.ustavkonstruovani.cz