



# ARIS L2-4445: Mehanske lastnosti vzorcev zgrajenih s selektivnim laserskim taljenjem Ti6Al4V z grobim prahom

Avtorji naloge:

**Dr. Simon Malej**  
**Dr. Aleksandra Kocijan**

**Poročilo pripravil:**

Dr. Simon Malej

**Vodja laboratorija:**

dr. Irena Paulin

**Direktor:**

izr. prof. dr. Matjaž Godec

## 1. UVOD

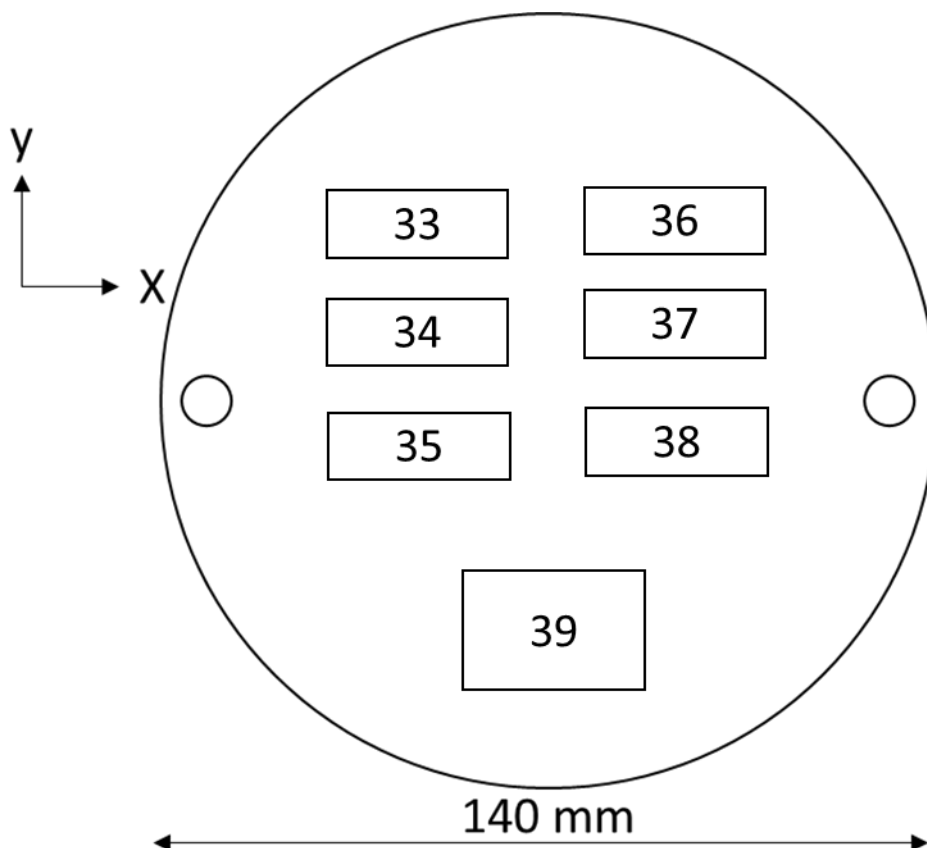
Poročilo je povezano s poročanjem v okviru ARIS projekta L2-4445 z naslovom: Razvoj naprednih Ti6Al4V komponent rezervoarja za letalsko industrijo s hibridno SLM/DED dodajno tehnologijo za 3. poročevalno obdobje glede na časovnico projekta. Poročilo vsebuje rezultate mehanskih preiskav po optimizaciji selektivnega laserskega taljenja titanove zlitine Ti6Al4v z grobim prahom.

## 2. IZDELAVA VZORCEV ZA MEHANSKE PREIZKUSE

V okviru optimizacije (ARIS L2-4445-01 in -02) smo ugotovili, da so parametri podani v Tabeli 1 primerni za izdelavo vzorcev za mehanske preizkuse na osnovi mikrostrukturnih preiskav. Za mehanske preizkuse smo s selectivnim laserskim taljenjem izdelali 6 valjčkov velikosti 45x $\phi$ 7.5 mm. Valjčki 33, 34 in 35 so bili zgrajeni s parametri AK20(Tabela 1) in valjčki 36, 37 in 38 s parametri AK19 (Tabela 1). Poleg valčkov smo natisnili tudi kvader velikosti 30x17x17 mm za korozijske preizkuse. Za kvader smo uporabili parametre AK20. Postavitev vzorcev na osnovni plošči je prikazano na Sliki 1. Uporabili smo isti prašek kot v preteklih preizkusih (AP&C iz Kanade, z velikostjo zrn med 45 in 105  $\mu$ m).

Tabela 1: Moč laserja, hitrost vrstičenja, debelina sloja, medlaserska razdalja, premer laserskega žarka in volumska energijska gostota, ki smo jih izbrali v fazi optimizacije.

Oznaka parametrov	Moč laserja P, W	Hitrost v rstičenja v, mm/s	Debelina sloja t [ $\mu$ m] prah	Medlaserska razdalja H [ $\mu$ m]	Premer laserskega žarka d [ $\mu$ m]	Volumska energijska gostota E, J/mm <sup>3</sup>
AK19	400	900	60	60	60	123.4568
AK20	400	800	60	60	60	138.8889



Slika 1: Postavitev vzorcev na osnovni plošči za mehanske preizkuse (33-38) in vzorec za korozijske preizkuse(39).

3D tiskanje smo izvedli na tiskalniku Aconity MINI 3D brez ogrevanja podlage in z zamikom sloja 67°. Stanje vzorce po tiskanju je prikazano na Sliki 2. Vizualna preiskava vzorcev po tiskanju ni pokazala večjih napak. Po pregledu smo vzorce odstranili s podlage, toplotno obdelali (žarjenje 800°C, 2h in ohlajanje v peči) in pripravili vzorce za mehanske preizkuse (SIST EN ISO 6892-1 A224, Tip B 4x20 mm). Po mehanski obdelavi smo vzorcem določili gostoto, s tehtnico Satorius Entris II Essential Line in z dodatkom za merjenje gostote YDK03. Za medij smo uporabili absolutni etanol (CAS n° 64-17-5). Po meritvah gostote smo izvedli natezne preizkuse. Površine prelomov nateznih vzorcev smo pregledali z elektronskim mikroskopom Zeiss Crossbeam 550.



Slika 2: Stanje vzorcev za mehanske in korozijske preizkuse na osnovni plošči po selektivnem laserskem taljenju.

Natezne preskuse smo naredili po standardu SIST EN ISO 6892-1 A224. Uporabili smo naslednjo opremo in parametre:

- Preskusni stroj: INSTRON 1255
- Opis vzorcev: Tip B 4x20 mm
- Ekstenziometer: LMP-AE-17 (20 mm)
- Hitrost preskušanja v območju 1(elastično področje): 0,00025 /s
- Hitrost preskušanja v območju 2(področje plastične deformacije): 0,0067 /s

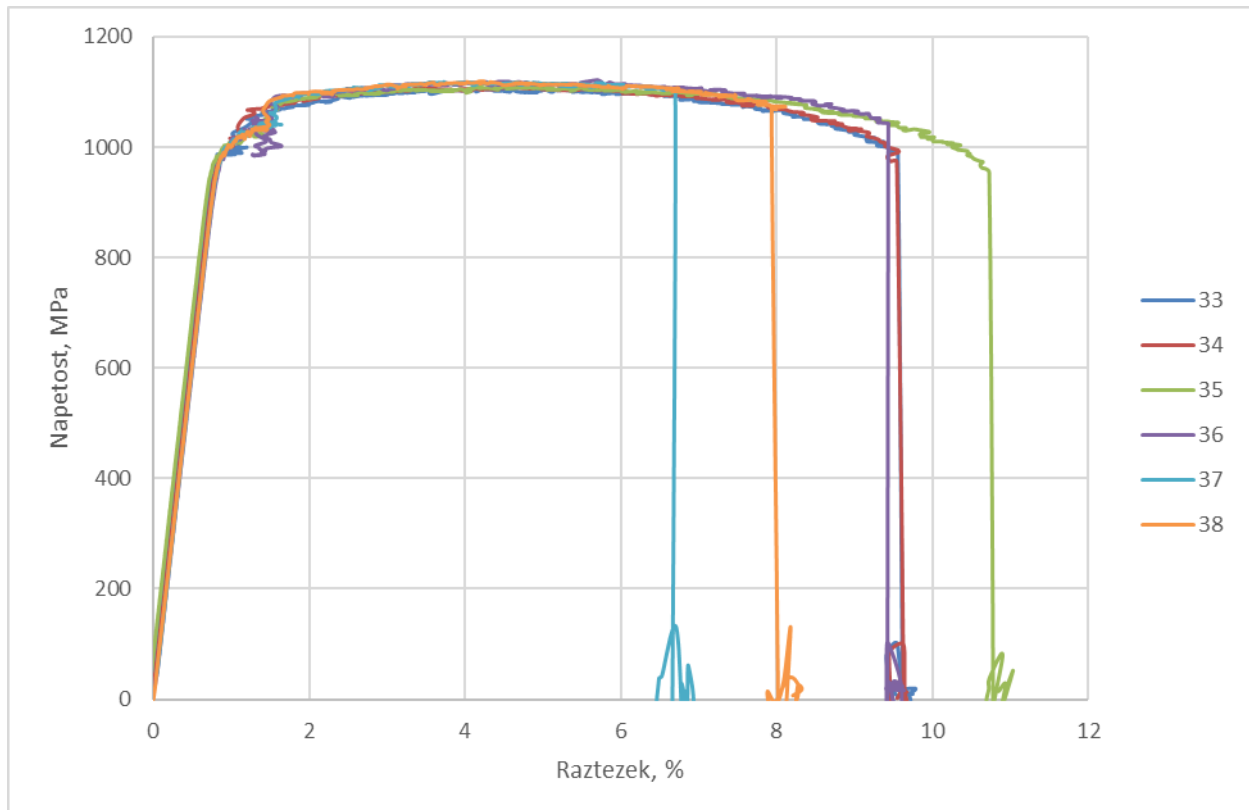
### 3. REZULTATI

Tabela 2 prikazuje rezultate meritev gostote vzorcev za mehanske preizkuse v primerjavi z najboljšimi vzorci iz 2. optimizacije. Arhimedova gostota vzorcev 33, 34 in 35 je blizu gostoti vzorca AK20, ker so bili natisnjeni z istimi parametri. V povprečju je gostota vzorcev od 33 do 35 malo višja od AK20. Arhimedove gostote vzorcev 36, 37 in 38 so višje od AK19. Ta razlika je nastala kljub temu, da so bili vzorci zgrajeni z istimi parametri. Razlika je v tem, da so vzorci 36, 37 in 38 mehansko obdelani. Meritev gostote vzorca AK19 pa so se vršile v tiskanem stanju. Hrapava površina po tiskanju lahko ujame mehurčke, ki lahko vplivajo na meritev gostote.

Tabela 2: Arhimedova gostota vzorcev z 2. optimizacije (AK19 in 20) in vzorcev za mehanske preizkuse (33-38).

Vzorec	Arhimedova gostota, g/mm <sup>3</sup>
AK19	4.388
AK20	4.397
AK33	4,397
AK34	4,405
AK35	4,399
AK36	4,393
AK37	4,393
AK38	4,402

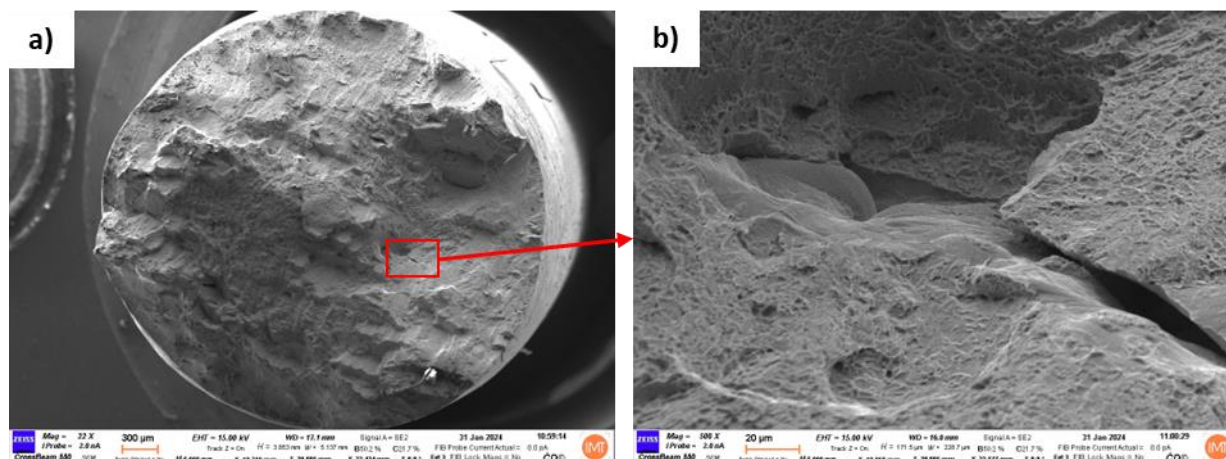
Slika 3 prikazuje natezne krivulje za vzorce od 33 do 38. Na osnovi natezних krivulj lahko vidimo, da se med seboj krivulje v elastičnem in plastičnem (pred začetkom kontrakcije) področju ujemajo. To potrjuje tudi povzetek rezultatov z natezних preizkusov v Tabeli 3. Iz Tabele 3 lahko vidimo, da so napetost tečenja, natezna trdnost in elastični modul vzorcev od 33-38 med seboj podobni. To pomeni, da hitrost vrstičenja (AK20  $v=800$  mm/s in AK19  $v=900$  mm/s, ostali parametri so enaki) ne vpliva veliko na napetost tečenja, natezno trdnost in elastični modul vzorcev 33-38. Največji vpliv spremembe v hitrosti vrstičenja je na raztezek. Povprečen raztezek vzorcev od 33 do 35, ki so bili zgrajeni s parametri AK20 je 8,7%. Povprečen raztezek je manjši za vzorce od 36 do 38 (6,4%), ki so bili zgrajeni s parametri AK19. Ta razlika je povezana z volumsko energijsko gostoto. Volumska energijska gostota za AK20 parametre je večja od AK19 (Tabela 1). Ker je hitrost skeniranja pri vzorcih 36-38 večja se pretali manjši volumen, kar poveča verjetnost za nastanek napak v obliki linijske poroznosti. To se razločno vidi s površine prelomov, kjer je delež por večji v vzorcu AK36(Slika 5a-b) kot v vzorcu AK33(Slika 4a-b). Kljub temu, da je volumska energijska gostota parametra AK20 velika, nismo eliminirali vseh napak (Slika 4a-b). Zaradi tega je raztezek še vedno majhen. Običajno je raztezek za titanovo zlitino Ti6Al4V izdelano s selektivnim laserskim taljenjem od 11-15%.



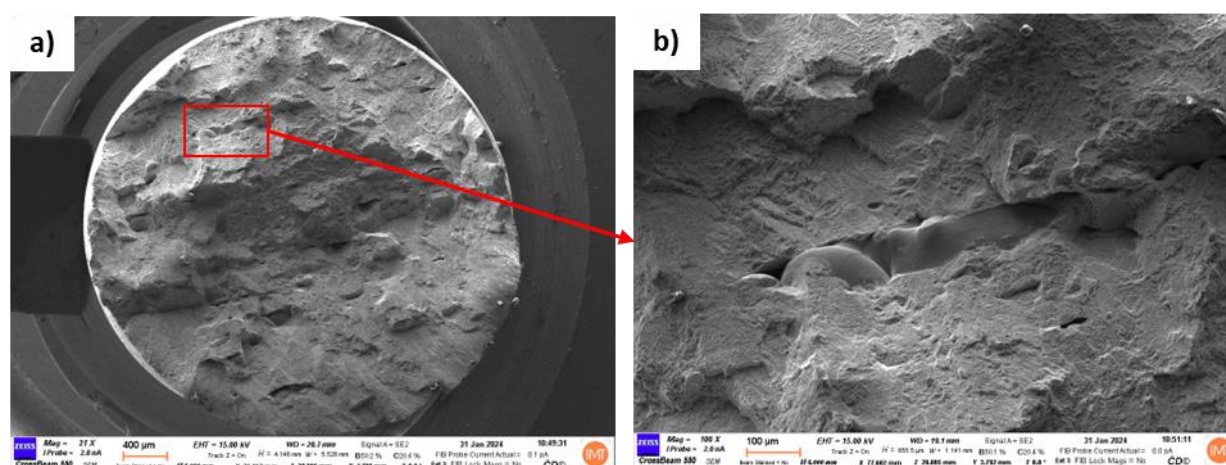
Slika 3: Natezne krivulje napetost-raztezek za vzorce 33-38.

Tabela 3: Napetost tečenja, natezna trdnost, raztezek, kontrakcija in elastični modul vzorcev AK33 do AK38.

Parameter	Vzorec	Napetost tečenja, MPa	Natezna trdnost, MPa	Raztezek, %	Kontrakcija, %	Elastični modul, MPa
AK20	33	986	1105	8,0	30,0	124
	34	1007	1109	8,1	29,6	122
	35	1003	1110	10,0	32,5	123
AK19	36	1011	1122	7,6	15,9	121
	37	1014	1118	4,4	14,5	122
	38	1010	1119	7,4	19,1	122



Slika 4: Površina preloma vzorca 33 po nateznem preizkusu.



Slika 5: Površina preloma vzorca 36 po nateznem preizkusu.

#### 4. ZAKLJUČKI

Trdnost vzorcev izdelanih s parametri AK19 in AK20 je visoka in primerljiva z vzorci, ki so izdelani z bolj finim prahom. Zaradi pojava por, točneje votlic je raztezek vzorcev izdelanih s parametri Ak19 zelo majhen. Po standardih mora biti povprečen raztezek Ti6Al4V vzorcev več kot 8%. Mejo 8% smo presegli pri vzorcih, ki smo jih izdelali s parametri AK20. Povprečen raztezek vzorcev izdelanih s parametri AK20 je bil 8,7%. Ta vrednost, je še vedno veliko manjša v primerjavi z vzorci, ki so izdelani z bolj finim prahom. Glavi razlog za nizek raztezek je linijska poroznost.