

# Izboljšanje dimenzijske točnosti valovitega diska iz materiala Ti-6Al-4V po električnem inkrementalnem preoblikovanju pločevine v vročem

Zhengfang Li<sup>1</sup> – Xudong Di<sup>2</sup> – Zhengyuan Gao<sup>3,\*</sup> – Zhiguo An<sup>3</sup> – Ling Chen<sup>4</sup> – Yuhang Zhang<sup>1</sup> – Shihong Lu<sup>5</sup>

<sup>1</sup> Univerza Kunming, Šola za strojništvo in elektrotehniko, Kitajska

<sup>2</sup> Jianghuai Automobile Group Co., Ltd., Raziskovalni inštitut za tehnologijo osebnih vozil, Kitajska

<sup>3</sup> Univerza Chongqing Jiaotong, Šola za mehatroniko in avtomobilsko tehniko, Kitajska

<sup>4</sup> Univerza Kunming, Oddelek za znanost in tehnologijo, Kitajska

<sup>5</sup> Univerza za aeronavtiliko in astronavtiliko v Nanjingu, Kolidž za strojništvo in elektrotehniko, Kitajska

Veganje robov predstavlja veliko težavo pri električnem inkrementalnem preoblikovanju valovitih diskov iz materiala Ti-6Al-4V v vročem in lahko privede do znatnih dimenzijskih napak. V članku je zato predstavljen predlog novega postopka za odpravo napak pri preoblikovanju valovitih diskov iz materiala Ti-6Al-4V, ki kombinira električno inkrementalno preoblikovanje v vročem z električno podprtim kalibriranjem.

Predstavljen je tudi eksperimentalen proizvodni postopek za analizo vpliva parametrov preoblikovalnega procesa in kalibriranja na dimenzijsko točnost diska. Veganje na robu izdelka kot ciljni parameter ( $h$ ) je bilo izmerjeno z inštrumentom za meritve višine. Valoviti disk je bil izdelan na numerično krmiljenem stroju, uporabljena pa sta bila tudi izvor enosmernega toka (od 0 A do 1500 A) za segrevanje in termovizijska kamera (proizvajalec: Shenzhen Ce-temp Technology Co., Ltd; tip: PI1M-PI80x; merilno območje:  $-20\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $1500\text{ }^{\circ}\text{C}$ ; napaka:  $\pm 0,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) za meritve temperature v coni preoblikovanja.

Disk je bil izdelan v dveh korakih. Prva pot preoblikovalnega orodja je bila uporabljena za izdelavo bočne stene valovitega diska, nasprotna stena pa je bila izdelana z drugo potjo. Za analizo kakovosti preoblikovanja valovitega diska po metodi kontrolnih spremenljivk so bili izbrani procesni parametri tok, podajalna hitrost in velikost koraka. Referenčna temperatura žarjenja titanove zlitine Ti-6Al-4V glede na mehanizem popuščenja napetosti je  $600\text{ }^{\circ}\text{C}$  do  $650\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Izbranih je bilo pet vrednosti toka (2200 A, 2400 A, 2600 A, 2800 A in 3000 A) ustrezno tradicionalnim postopkom žarjenja. Ustrezne temperature znašajo  $563,7\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $593,6\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $623,5\text{ }^{\circ}\text{C}$ ,  $652,3\text{ }^{\circ}\text{C}$  in  $684,1\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Uporabljeni so bili časi 10 min, 15 min, 20 min, 25 min, 30 min in 35 min za analizo sprememb ciljne vrednosti ob upoštevanju napak zaradi visokotemperaturne oksidacije titanove zlitine Ti-6Al-4V. Članek obravnava tematsko področje preoblikovanja pločevine.

Eksperimenti so pokazali, da je izdelani valoviti disk brez razpok in izboklin pri kombinaciji parametrov 220 A, 900 mm/min in 0,2 mm. Vrednosti 3000 A in 30 min sta optimalni za kalibriranje, pri katerem so v veliki meri odpravljene napake veganja iz faze preoblikovanja.

Ciljna vrednost pri optimalnih procesnih parametrih še vedno znaša 2,1 mm, nadaljnje zmanjšanje višine pa bo lahko predmet prihodnjih raziskav.

V članku je predstavljen predlog novega postopka za odpravo napak pri preoblikovanju valovitih diskov iz materiala Ti-6Al-4V, ki kombinira električno inkrementalno preoblikovanje v vročem z električno podprtim kalibriranjem. Podrobno je preučen vpliv parametrov procesa na nastanek razpok med preoblikovanjem in določena je optimalna kombinacija parametrov za uspešno preoblikovanje valovitega diska iz materiala Ti-6Al-4V. Na tej podlagi sta bila ločeno izbrana in analizirana naprava za kalibriranje in vrednost el. toka za odpravo napak veganja. Eksperimenti so dokazali uporabnost predlaganega izdelovalnega postopka. Rezultati raziskave bodo uporabni za hitro izdelavo valovitih diskov v letalski in vesoljski industriji, postopek pa bo z dopolnitvami uporaben tudi za avtomobilsko industrijo, biomedicino, industrijo tirnih vozil idr.

**Ključne besede:** inkrementalno preoblikovanje pločevine, električno preoblikovanje v vročem, električno podprto kalibriranje, veganje robov, valoviti disk, optimizacija velikosti