

3D-modeliranje sil pri trdem struženju jekla AISI 4140 po metodi končnih elementov

Anastasios Tzotzis^{1,*} – César García-Hernández¹ – José-Luis Huertas-Talón¹ – Panagiotis Kyratsis²

¹ Univerza v Zaragozi, Oddelek za konstruiranje in proizvodno strojništvo, Španija

² Univerza Zahodne Makedonije, Oddelek za produktni in sistemski inženiring, Grčija

Struženje v trdo je eden najbolj razširjenih obdelovalnih postopkov v industriji, ki lahko zmanjša potrebo po končni obdelavi z brušenjem in tako zniža proizvodne stroške. Jeklo AISI 4140 se običajno uporablja za aplikacije, ki zahtevajo visoko obstojnost. Do zdaj še ni bilo opravljenih mnogo študij obdelave jekla AISI 4140 s 3D-analizo po metodi končnih elementov (MKE) in pričujoči članek zato preučuje kritične dejavnike vpliva na proces obdelave jekla AISI 4140 s ciljem razvoja 3D-modela po MKE za napovedovanje sil pri struženju v trdo.

Opravljenih je bilo skupno 27 simulacij za preučitev odvisnosti med tremi glavnimi parametri (rezalna hitrost, podajanje in globina rezanja) ter njihovega vpliva na komponente sil pri obdelavi z odrezavanjem. Za rezalne parametre so bile izbrane po tri vrednosti rezalne hitrosti (80 m/min, 115 m/min, 150 m/min), podajanja (0,08 mm/vrt, 0,11 mm/vrt, 0,14 mm/vrt) in globine rezanja (0,10 mm, 0,20 mm, 0,30 mm). 3D-simulacije so bile opravljene s komercialno programsko opremo za analize po MKE DEFORM3D™. Predlagani model upošteva nekatere vidike, kot so začetek in napredovanje poškodb v materialu, stik med stružno ploščico in obdelovancem ter standardni robni pogoji. Modeli orodja in obdelovanca so bili pripravljene v programskem okolju SolidWorks™. Narejene so bile tudi določene poenostavitve problema za doseganje sprejemljivega trajanja simulacij. Tako je bil namesto celotnega cilindričnega modela obdelovanca uporabljen le njegov manjši del – natančneje, pretvorjen je bil v krožni lok premera 72 mm. Za mreženje so bili uporabljeni tetraedrični elementi s štirimi oglišči, mreža pa je bila zgoščena v srednjem delu površine obdelovanca. Tudi pri modelu rezalne ploščice je bila uporabljena gostejša mreža v bližini rezalnega roba. Tovrstne optimizacije običajno zagotavljajo natančnejše rezultate in skrajšanje časa računanja. Temu je sledilo modeliranje materiala. Za orodje je bila uporabljena konvencionalna keramična ploščica CNGA120408, modelirana po standardih ISO 13399. Za simulacijo napetosti tečenja obdelovanega materiala je bil uporabljen posplošeni Johnson–Cookov model, za simulacijo ločevanja materiala pa normalizirani Cockroftov in Lathamov model. Za aproksimacijo trenja med rezalnim robom orodja in obdelovancem je bil uporabljen standardni Coulombov model. Upoštevana sta bila tudi interakcija med nastalimi odrezki in neobdelano površino obdelovanca ter konvektivni prenos toplote.

Rezultati numeričnih simulacij so bili za verifikacijo primerjani z rezultati eksperimentov. Postavljen je bil tudi matematični model na osnovi statističnih metod, kot sta metodologija odzivne površine (RSM) in analiza variance (ANOVA). Rezultati simulacij se dobro ujemajo z eksperimentalno določenimi vrednostmi glavne rezalne sile in njenih komponent: ujemanje rezultante rezalnih sil je v mnogih testih presežlo 90 %. Verifikacija primernosti statističnega modela je pokazala stopnjo točnosti 8,8 %. Iz tega sledijo naslednji sklepi:

- Višje vrednosti globine rezanja in podajanja povzročijo signifikantno povečanje rezalnih sil. Globina rezanja je dejavnik z največjim vplivom na glavno rezalno silo (F_{gl}). Z ozirom na simulirane vrednosti F_{gl} je bilo ugotovljeno približno 104-odstotno povprečno povečanje rezultante rezalnih sil, ko se je globina rezanja povečala z 0,10 na 0,20 mm. Ob prehodu z globine 0,20 mm na 0,30 mm se je sila F_{gl} povečala za približno 50 %.
- Podobno se je rezultanta rezalnih sil ob povečanju vrednosti podajanja z 0,08 mm/vrt na 0,11 mm/vrt oz. z 0,11 mm/vrt na 0,14 mm/vrt povečala za približno 24 % oz. 16 %.
- Rezalne sile nasprotno upadajo s povečevanjem rezalne hitrosti, pri čemer pa je vpliv rezalne hitrosti manj pomemben od vpliva globine rezanja in podajanja. Ocenjeno zmanjšanje vrednosti F_{gl} ob zmanjšanju rezalne hitrosti s 150 m/min na 115 m/min tako znaša približno 10 %. Ko se rezalna hitrost zmanjša s 115 m/min na 80 m/min, se vrednost F_{gl} v povprečju zmanjša za približno 13 %.

Ključne besede: struženje AISI 4140, sile pri obdelavi, 3D-analiza po metodi končnih elementov, metodologija odzivne površine