

Nelinearni model za zaznavanje nestabilnosti procesa brušenja brez konic

Jose Billerman Robles-Ocampo^{1,2} – Juan Carlos Jauregui-Correa^{1,*} - Peter Krajnik³ –
Perla Yasmin Sevilla-Camacho^{1,2} - Gilberto Herrera-Ruiz¹

¹ Avtonomna univerza Queretaro, Fakulteta za strojništvo, Mehika, ² Politehnična univerza Chiapas, Mehika

³ Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo, Slovenija

Brušenje brez konic predstavlja enega izmed najproduktivnejših ter najnatančnejših obdelovalnih postopkov, ki se uporablja za proizvodnjo rotacijsko simetričnih obdelovancev. Prednost postopka brušenja brez konic je v tem, da med obdelavo obdelovanec ni vpet, kar omogoča visoko stopnjo avtomatizacije in doseganje velike produktivnosti. Pomanjkljivost postopka, pri katerem obdelovanec ni vpet med konici, je v nestabilnosti sistema brušenja, ki se odraža v odstopanju krožnosti obdelovanca (obdelovanec mnogokotne oblike). Drugi največji problem procesa brušenja poleg nekrožnosti obdelovanca je povezan z drdranjem. Najočitnejša napaka na površini obdelovanca so sledi drdranja (valovita površina obdelovanca), ki so posledica spreminjajoče se globine rezanja zaradi premika središča obdelovanca, prevelikega kota podpore obdelovanca, podajnosti brusa, velike hitrosti obdelovanca, vsiljenih vibracij stroja ali okvarjenega vretena, ter interference med nebalansiranim brusom in valovitostjo površine obdelovanca. Produktivnost je med drugim odvisna od stabilnosti procesa. Slednja je običajno zagotovljena z zmanjšanjem hitrosti obdelovanca, kar pa končno pripelje do majhnih stopenj odvzema materiala. Prisotnost mnogoterne oblike obdelovanca ponovno povzroči vertikalne premike središča obdelovanca in s tem dinamiko obdelovanca. Zlasti geometrijska nestabilnost je povezana z odstopanjem krožnosti obdelovanca ter valovitostjo obdelovanca. Odstopanje krožnosti je bilo aproksimirano z obliko poligona. Postopek v članku predstavljenega modeliranja upošteva poligonalno obliko obdelovanca kot vhodno silo vzbujanja, medtem ko je togost sistema brušenja brez konic predstavljena s funkcijo polinoma tretjega reda. Model vključuje indeks geometrijske stabilnosti. Nestabilnost procesa brušenja brez konic je analizirana s pomočjo faznega diagrama in zvezne valčne transformacije. Pri tem so v modelu upoštewane podajalna sila brušenja, red nekrožnosti (mnogokotnosti) obdelovanca ter geometrija brusnega območja. Modeliranje procesa brušenja brez konic izhaja iz kinematike obdelovanca. Analiza kinematike obdelovanca temelji na gibanju nekrožnega obdelovanca, podprtega na dveh valjih. Ker je obdelovanec podprt samo v dveh točkah, ima vertikalni položaj obdelovanca le dve možni konfiguraciji: (1) eno oglišče poligona je v stiku z brusom, medtem ko je stranica tangenta glede na regulacijski valj, ali (2) dve stranici sta sočasno v stiku z brusom in regulacijskim valjem. Pri tem je pomembno pripomniti, da je trenutek, v katerem sta dve stranici tangentni tako na brus kakor tudi na regulacijski valj, odvisen od relativnega položaja oglišč poligonalne oblike obdelovanca. Funkcija vertikalnega premika obdelovanca je vključena v dinamski enačbi kot del togosti sistema brušenja brez konic. Pri upoštevanju nelinearne narave togosti to omogoča vpeljavo vpliva mnogokotne oblike obdelovanca. S tem je geometrija odstopanja krožnosti obdelovanca opisana z mnogokotnikom, kar lahko izpeljemo v obliki Duffingove enačbe. Indeks geometrijske stabilnosti je odvisen od geometrije brusnega območja in se nanaša na kote med središčem obdelovanca ter središčno linijo, ki povezuje brus z regulacijskim valjem. Vključitev indeksa stabilnosti izboljša občutljivost funkcije systemske togosti. S tem so v modelu upoštevani tudi vplivi nastavitve stroja. Glavni rezultati v članku so dobljeni na osnovi simulacije brušenja namensko nekrožnega obdelovanca (zarezana površina obdelovanca). Pri simulaciji je bila uporabljena predpostavka, da dobimo iz začetne geometrije obdelovanca poligon velikega reda nekrožnosti. Nestabilnost je bila določena z zmanjševanjem reda nekrožnosti obdelovanca, dokler vertikalni premiki središča obdelovanca niso izkazali nerednega obnašanja. Novost pri razvoju nelinearnega modela za zaznavanje nestabilnosti procesa je vključitev indeksa geometrijske stabilnosti. Pred tem sta bili geometrijska ter dinamična stabilnost procesa brušenja brez konic obravnavani ločeno. Model predpostavlja poligonalno obliko obdelovanca. Nestabilnost izhaja iz gibanja poligona med brusom in regulacijskim valjem, ki povzroča vertikalni premik središča obdelovanca. Ta pojav povzroča samovzbujene vibracije; ugotovljeno je bilo, da obstaja kritični red nekrožnosti obdelovanca, pri katerem je proces popolnoma nestabilen. Pokazano je, da je dinamski model lahko predstavljen v obliki Duffingove enačbe, v kateri je vrednost nelinearne togosti odvisna od vertikalnega premika središča obdelovanca. Meja nestabilnosti je jasno določena z indeksom geometrijske stabilnosti. Nestabilnost procesa brušenja brez konic je analizirana s pomočjo dveh metod: (1) zvezno valčno transformacijo in (2) faznim diagramom. Zvezna valčna transformacija prikazuje razvoj dinamskega odziva procesa kot funkcijo časa in frekvence. V faznem diagramu je pogoj nestabilnosti prikazan kot funkcija Louvilleovega teorema. Obe metodi sta pokazali, da postane proces nestabilen pri brušenju obdelovancev s karakterističnim 40. redom nekrožnosti.

Ključne besede: brušenje brez konic, nekrožnost, drdranje, nelinearni model, fazni diagram, indeks geometrijske stabilnosti

*Naslov avtorja za dopisovanje: Avtonomna univerza Queretaro, Fakulteta za strojništvo, Cerro de las Campanas s/n, Ciudad Universitaria, 76010 Queretaro, Qro., Mehika, jc.jauregui@uaq.mx