

ANALIZA UTICAJA PARAMETARA OBRADE I VIBRACIJA NA KVALITET OBRADENE POVRŠINE PRI ČEONOM GLODANJU TANKE PLOČE OD ALUMINIJUMA

ANALYSIS OF INFLUENCE OF PROCESSING PARAMETERS AND VIBRATIONS ON SURFACE QUALITY DURING FACE MILLING OF THIN ALUMINUM PLATES

v.as.mr. Amel Karić, as. Arnel Jašarević dipl.inž.maš.
Mašinski fakultet Univerziteta u Zenici
Zenica

REZIME

Kvalitet obrade površine kao jedan od najbitnijih parametara obrade zavisi od mnogo faktora. U ovom radu analiziran je uticaj parametara obrade i intenziteta i frekvencije vibracija na kvalitet obrađene površine pri čeonom glodanju tanke ploče od aluminijuma. Izrađen je plan eksperimenta i proveden je eksperiment sa mijenjanjem tri parametra na dva nivoa: brzine glodanja, udaljenosti glodala od oslonca i smjera glodanja. Glodanje je izvedeno na CNC glodalici EMCO 155, a vibracije su mjerene pomoću opreme Bruel & Kjaer sa odgovarajućim piezoelektričnim akcelerometrom. Nakon provedenog eksperimenta urađena je analiza dobivenih rezultata. Analizom rezultata uočena je velika zavisnost sva tri parametra na kvalitet površine. Intenzitet vibracija na nižim frekvencijama ima uticaj na kvalitet površine, dok intenzitet vibracija viših frekvencija nema negativan uticaj na hrapavost. Izdvojena je najpovoljnija kombinacija parametara eksperimenta sa aspekta dobivenog kvaliteta obrađene površine. Na kraju su navedeni nedostaci provedenog istraživanja, te date preporuke za dalja istraživanja na ovu temu.

Ključne riječi: čeonu glodanje, vibracije, kvalitet obrade

SUMMARY

Surface quality, as one of the most important processing parameters, depends on many factors. In this paper, the influence of processing parameters and intensity and frequency of vibrations on the surface quality during face milling of a thin aluminum plate was analyzed. An experiment plan was drawn up and an experiment was carried out with three parameters varying on two levels: milling speed, distance of the milling cutter from the support and milling direction. Milling was performed on a CNC milling machine EMCO 155, and vibrations were measured using Bruel & Kjaer equipment with an appropriate piezoelectric accelerometer. After the experiment, the obtained results were analyzed. The analysis of the results showed a great dependence of all three parameters on the quality of the surface. The intensity of vibrations at lower frequencies has an impact on the quality of the surface, while the intensity of vibrations at higher frequencies has no negative impact on the roughness. The most favorable combination of experimental parameters in terms of the obtained surface quality was emphasized. At the end, the shortcomings of the conducted research are listed, and recommendations for further research on this topic are given..

Keywords: face milling, vibrations, surface quality

1. UVOD

Kvalitet obrađene površine je uz tačnost obrade jedan od najbitnijih parametara koji se zahtijevaju prilikom proizvodnje. Faktori koji utiču na kvalitet obrađene površine su: brzina rezanja, dubina rezanja, posmak, vrsta alat i njegov položaj, vrsta materijala itd. [1]. Vibracije su faktor koji takođe zavisi od navedenih faktora, a pojava vibracija posljedično utiče na kvalitet obrađene površine. U ovom radu analiziran je uticaj parametara brzine glodanja, smjera glodanja i udaljenosti glodala od oslonca radnog komada na nastanak vibracija i na kvalitet obrađene površine. Sabreen A. A. je proveo sličnu analizu na komadu aluminijuma, sa kreiranjem modela za predviđanje ponašanja pomoću Artificial Neural Network računarskog sistema, ali su analizirani komadi aluminijuma bili znatno krući [5]. U ovom radu istraživanje je provedeno na tankoj aluminijskoj ploči, gdje je su vibracije dosta većeg intenziteta. Eksperiment je proveden u laboratoriji LORAM na Mašinskom fakultetu u Zenici. Napravljen je plan eksperimenta sa osam tačaka, gdje su navedeni parametri mijenjani na dva nivoa. Za obradu je korištena CNC glodalica EMCO 155, a za praćenje vibracija korištena je oprema Bruel & Kjaer sa softverom Labshop. Parametri vibracija su kasnije također eksportovani u excell gdje je urađena detaljnija analiza uticaja amplituda vibracija po frekvencijama. Nakon završetka eksperimenta izvršeno je mjerenje hrapavosti površine, gdje su uočene velike razlike čak i na različitim dijelovima prolaza sa istim vrijednostima parametara. Da bi se postigli što tačniji rezultati hrapavost je mjerena na više mjesta na istom prolazu, te je određena srednja vrijednost hrapavosti. Nakon toga izvršeno je poređenje rezultata hrapavosti i amplitude, te su izvedeni zaključci. Na kraju uz zaključke navedeni su nedostaci provedenog istraživanja i date smjernice za dalje istraživanje na ovu temu.

2. PROVEDBA EKSPERIMENTA

2.1. Plan eksperimenta

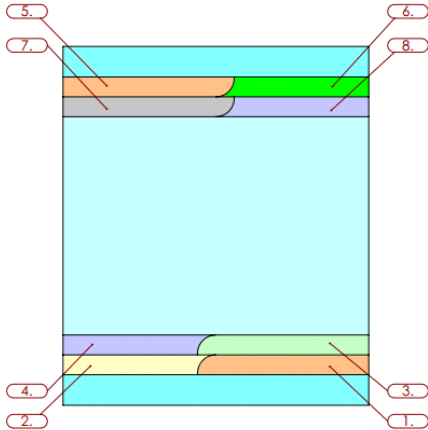
Eksperiment je sadržavao analizu uticaja vrijednosti parametara brzine, smjera glodanja i udaljenosti glodala od oslonca. Svi parametri su analizirani na dva nivoa vrijednosti. Prema tome plan eksperimenta je napravljen kao puni plan sa ukupno 8 faza eksperimenta prikazanih u tabeli 1.

Tabela 1. Plan eksperimenta

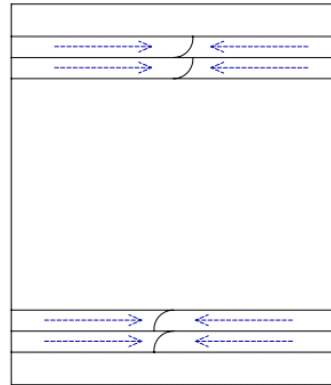
Faza	Broj obrtaja	Smjer glodanja	Udaljenost od stege
	n (o/mn)		[mm]
1	1500	lijevi	39,5
2	1500	desni	39,5
3	1500	lijevi	33
4	1500	desni	33
5	1000	lijevi	39,5
6	1000	desni	39,5
7	1000	lijevi	33
8	1000	desni	33

Prvo su izvršene faze 1,2, 3 i 4 nakon čega je radni komad otpušten iz stege i zaokrenut na drugu stranu, zatim ponovo stegnut za provedbu faza 5,6,7 i 8.

Položaj faza na pripreмку i smjerovi glodanja po fazama su prikazani na slikama 1. i 2..



Slika 1. Faze obrade



Slika 2. Smjer glodanja po fazama

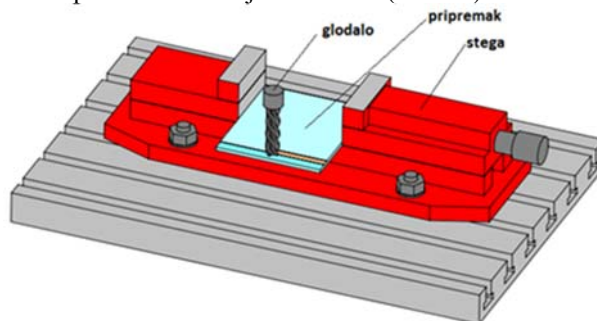
Parametri koji se nisu mijenjali ondoso koji su bili isti za sve faze obrade su:

- dubina glodanja $a = 0,5\text{mm}$
- posmak $f = 150\text{ mm/mim}$
- širina obrade po fazi $e = 6,5\text{ mm}$.

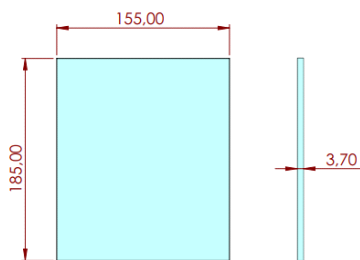
Bitno je napomenuti da zbog visokih amplituda oscilovanja nije bilo moguće vršiti obradu sa većim brojem obrtaja od 1500 o/min, jer je zbog velikog intenziteta vibracija prekoračen mjerni kapacitet senzora.

2.2. Izvođenje eksperimenta

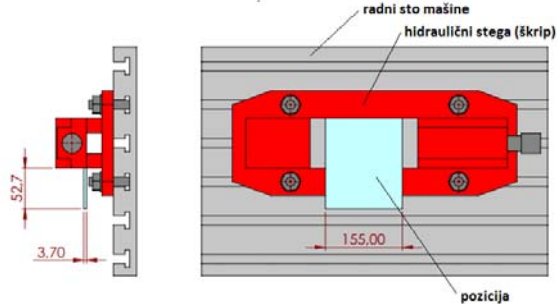
Eksperiment je obuhvatao obradu aluminijske pozicije na troosnoj CNC mašini EMCO 155 te praćenje amplitude i frekvencije oscilovanja ploče na njenom središnjem dijelu. Obrada se vršila vretenastim HSS glodalom, prečnika $D=12\text{mm}$ i radne dužine $80,57\text{ mm}^{(1)}$. Šematski prikaz obrade je prikazan na slici 2. Materijal obradatka je aluminij oznake ENAW 7075⁽²⁾. Dimenzije obratka su prikazane na slici 3. Obradak je prepušten za 52,7 mm van stege kako bi se postigli uslovi za samopobudne vibracije u komadu (slika 5.)



Slika 3. Konceptualni prikaz obrade

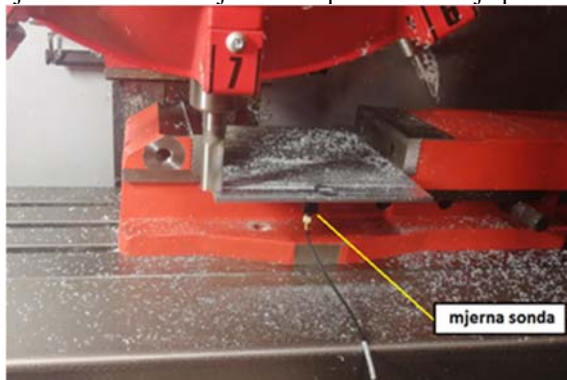


Slika 4. Početni oblik komada (pripremak)



Slika 5. Prikaz stezanja komada

Mjerenje se vršilo sa piezoelektričnim akcelometrima B&K 4500A osjetljivosti $0,316 \text{ pC/ms}^{-2}$, koji su postavljeni na sredinu vanjske ivice ploče kao što je prikazano na slici 6.



Slika 6. Postavljanje senzora

Na slici 8 prikazana je postavka eksperimenta. Eksperiment je vršen na glodalici koja je prikazana na desnoj strani slike. Akcelometar je pričvršćen na ploču pomoću voska, te kablom koji je provučen ispod vrata obradnog centra spojen na analizator signala. Analizator je LAN kablom spojen na računar na kojem je pomoću softvera Labshop vršeno mjerenje i analiza signala.

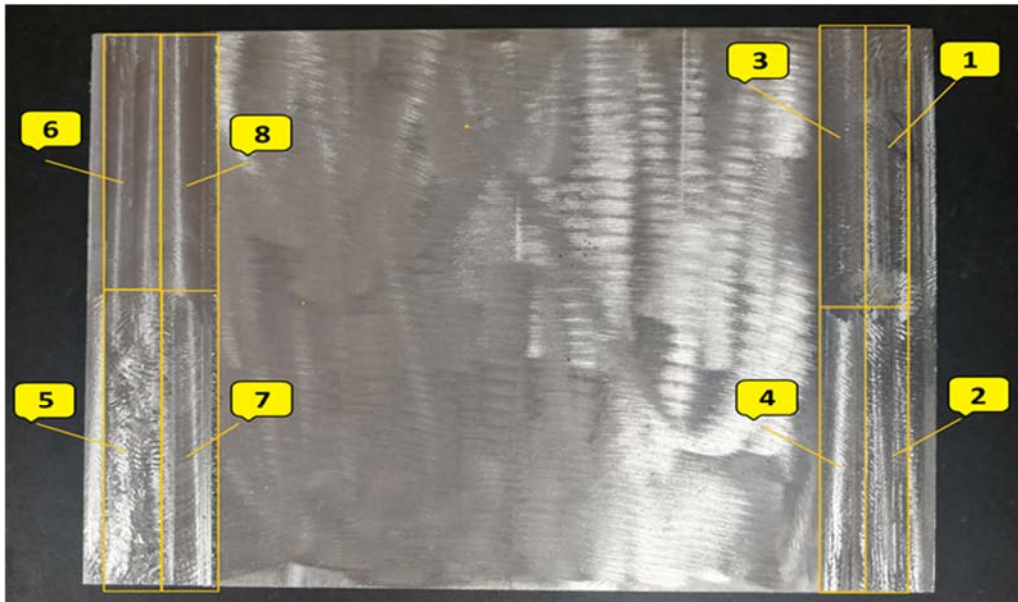


Slika 8. Postavka opreme u toku eksperimenta

2.4. Mjerenje hrapavosti površine

Samim vizuelnim pregledom površina moguće je uočiti da je kvalitet površine nakon obrade narušen zbog vibracija komada koje su se javile u svim fazama. Pojava vibracija je bila praćena velikom bukom tokom obrade.

Izgled dobivenih površina prikazan je na slici 9, gdje se jasno uočava razlika u hrapavosti površine u pojedinim koracima eksperimenta. Vizuelno je uočljivo da je općenito površina bolja na unutrašnjim prolazima, tj. u fazama 3, 4, 7 i 8 u odnosu na vanjske prolaze, tj. faze 1, 2, 5 i 6.



Slika 9. Izgled površina po fazama od 1 do 8 nakon završene obrade.

Mjerenje hrapavosti obrađenih površina po fazama vršeno je uređajem za mjerenje hrapavosti, pertometrom Mahr M1, koji je prikazan na slici 10.



Slika 10. Pertometar Mahr M1

Uređaj posjeduje mogućnost da mjeri parametre površine R_a , R_z i R_{max} , gdje je:

R_a - srednje aritmetičko odstupanje profila

R_z - srednja visina neravnina

R_{max} - najveća visina profila

Mjerenje hrapavosti površine pokazalo je da ona veoma varira od tačke do tačke, pa čak i mjerenja na istoj fazi pokazuju različite parametre hrapavosti na različitim segmentima. To je bilo i za očekivati pošto se intenzite vibracija mijenjao tokom svakog prolaza, a što je bilo praćeno promjenom zvuka. Međutim uzimajući veći broj tačaka i usrednjavanjem njihovih vrijednosti moguće je doći do vrijednosti prikazanih u tabeli 2.

Tabela 2. Vrijednost parametara hrapavosti po koracima eksperimenta

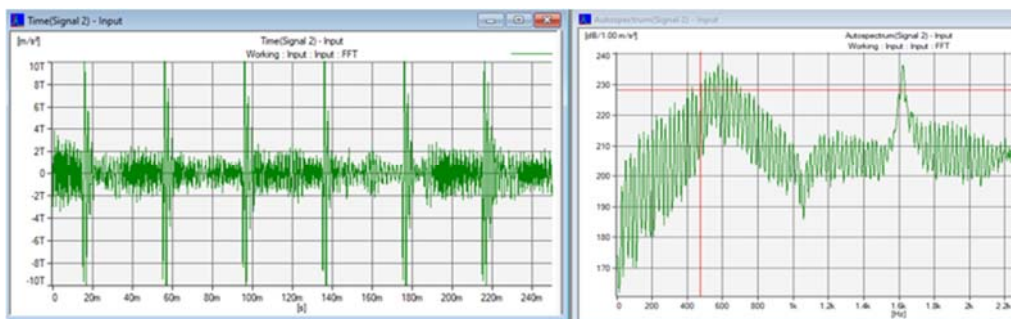
	Faza ekspeimenta							
	1	2	3	4	5	6	7	8
R_a [μm]	1,28	1,37	1,46	1,36	2,55	1,22	1,18	0,62
R_z [μm]	6,83	7,51	8,19	7,88	13,37	6,36	6,39	4,32
R_{max} [μm]	9,04	11,63	11,25	9,99	16,93	9,09	7,98	5,76

Iz navedenih podataka da se zaključiti da je kvalitet površine bolji što je rastojanje glodala od stege manje, te što je manji broj obrataja. Također rezultati pokazuju znatno povećanje u kvalitetu obradu pri desnom glodanju u odnosu na lijevo, naročito pri broju obrataja od 1000 o/min.

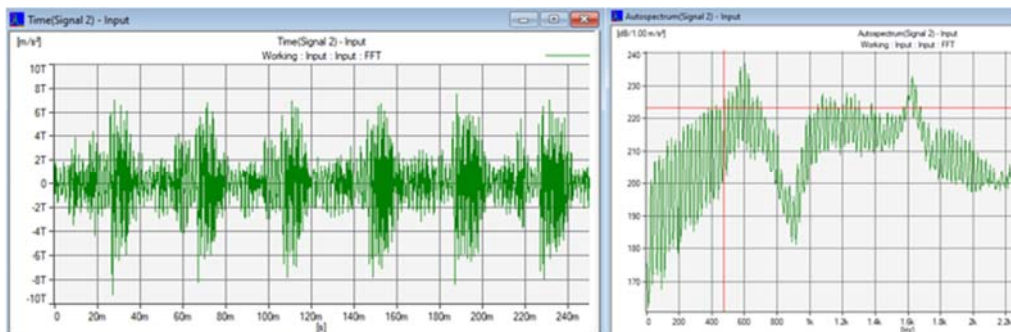
3. ANALIZA REZULTATA MJERENJA

Nakon prikupljanja rezultata mjerenja izvršena je analiza dobivenih rezultata. Analizom rezultata hrapavosti dobivene površine uočeno je da je najbolja hrapavost u prolazu osam, a da je u prolazu 5 najslabiji kvalitet površine. Loš kvalitet površine u koraku 5 eksperimenta uzrokovan je pojavom nekoliko velikih brazgotina što potvrđuje i vrijednost R_{max} koja je daleko veća u koraku 5 od svih ostalih koraka eksperimenta. Pojava navedenih brazgotina može biti uzrokovana neravninama iz pripreme obrade, jer su i tokom pripreme obrade bile prisutne značajne vibracije. Općenito je moguće zaključiti da je bolji kvalitet površine pri desnom glodanju u odnosu na lijevo glodanje, sa izuzetkom koraka 1, gdje je i pri lijevom glodanju dobiven dobar kvalitet površine. Takođe, moguće je izvesti zaključak da se sa manjom brzinom glodanja dobija bolja površina, što se vidi poređenjem rezultata hrapavosti u koracima 1,2,3 i 4, gdje je glodanje vršeno sa 1500 o/min, u odnosu na korake 5,6, 7 i 8 gdje je glodano brzinom od 1000 o/min. Izuzetak od navedenog je opet tačka 5, a razlog je objašnjen. Parametar udaljenosti glodala od oslonca utiče na hrapavost na način da je hrapavost manja ukoliko je glodalo bliže osloncu. Najbolja površina dobivena je u koraku 8, koji predstavlja povoljniju kombinaciju svih parametara, tj. manja brzina glodanja, desno glodanje i manja udaljenost od oslonca ploče.

Analizom vibracija ploče uočeno je da pri lijevom glodanju, tj. u tačkama eksperimenta 1,3,5 i 7, dobiveni signal u svim koracima ima isti oblik, prikazan na slikama 11 i 12. Uočljivi su udari niže frekvencije čija je amplituda dominantna u odnosu na ostale frekvencije oscilovanja. Dok pri prolazu u suprotnom smjeru amplituda viših frekvencija se značajno povećava.



Slika 11. Dijagram amplituda – vrijeme i amplituda – frekvencija pri lijevom glodanju



Slika 12. Dijagram amplituda – vrijeme i amplituda – frekvencija pri desnom glodanju

S obzirom da je glodanje vršeno glodalom sa šest reznih ivica pri broju obrtaja od 1000 i 1500 o/min, frekvencija udara reznih ivica u obradak dobija se iz izraza:

$$f_{p1} = 1000 \frac{o}{min} \cdot 6 \cdot \frac{1}{60} = 100 \frac{udar}{s} = 100 \text{ Hz}$$

$$f_{p2} = 1500 \frac{o}{min} \cdot 6 \cdot \frac{1}{60} = 150 \frac{udar}{s} = 150 \text{ Hz}$$

Očitavanjem rezultata mjerenja oscilovanja uočeno je da se maksimalna amplituda u svim koracima javlja pri frekvencijama 600 Hz i 1600 Hz. Promjenom vrijednosti parametara eksperimenta mijenja se amplituda oscilovanja navedenim frekvencijama, kako je navedeno u tabeli (). Oblik dijagrama je isti u svim tačkama eksperimenta, s tim da u tačkama sa desnim prolazom glodala amplituda frekvencija u domenu od 1000 Hz do 1400 Hz značajnije raste u odnosu na druge frekvencije. [2][3][4]

Takođe veća brzina uzrokuje veći intenzitet vibracija, a što se vidi i na osnovu amplitude, gdje je u tačkama sa većom brzinom glodanja, tj. tačkama 1,2,3 i 4, amplituda veća nego u tačkama 5,6,7 i 8.

Približavanje glodala centru ploče smanjuje intenzitet vibracija, što je bilo i očekivano jer se smanjuje krak sila rezanja u odnosu na oslonac ploče.

U tabeli 3 prikazane su uporedno vrijednosti hrapavosti i maksimalne amplitude po tačkama eksperimenta.

Na osnovu podataka iz tabele uočeno je da je izmjerena vrijednost amplitude oscilovanja veća u tačkama sa boljom površinom, odnosno pri prolazima sa manjom amplitudom hrapavost je veća. Navedeno se odnosi na amplitudu oscilovanja frekvencijom od 600 Hz, za koju je mjerena amplituda u softveru Labshop. Promjena hrapavosti povezana je i sa vrijednosti amplitude

oscilovanja frekvencijama u rasponu od 1000 do 1400 Hz, gdje je uočeno da je kod prolaza sa većom amplitudom postignut bolji kvalitet površine.

Tabela 3. Vrijednost hrapavosti i amplitude po tačkama eksperimenta

Broj eksperimenta	Srednja izmjerena hrapavost [μm]	Amplituda vibracija frekvencijom od 600 Hz [m/s^2]
1	1,28	3,54E+12
2	1,37	6,11E+12
3	1,46	7,65E+11
4	1,36	2,31E+12
5	2,55	7,65E+11
6	1,22	2,31E+12
7	1,18	1,82E+12
8	0,62	1,04E+12

4. ZAKLJUČAK

Provedena analiza je pokazala da je kvalitet obrađene površine parametar koji zavisi od mnogo različitih faktora. Sa aspekta vrijednosti parametara koji su mijenjani u toku eksperimenta uočeno je da se kvalitet površine povećava sa smanjenjem brzine glodanja, smanjenjem udaljenosti od oslonca i pri kretanju glodala u desno.

Analiza vibracija je pokazala da su dominantne vibracije frekvencijama od 600 Hz i 1600 Hz, ali da te frekvencije ne utiču negativno na kvalitet površine. Tačnije, uočeno je suprotno, tj. da sa povećanjem amplitude na tim frekvencijama hrapavost se smanjuje. S obzirom da je frekvencija udara zuba glodala u obradak 100Hz i 150 Hz za dva nivoa brzine glodanja, pretpostavlja se da su upravo amplitude oscilovanja na frekvencijama u tom domenu od presudnog uticaja na hrapavost površine, tj. da više frekvencije, iako imaju veću amplitudu oscilovanja, nemaju značajan uticaj na kvalitet površine.

Nedostatak provedenog eksperimenta je neadekvatno pripremljena površina obratka jer su i tokom pripreme obrade bile prisutne značajne vibracije, a što je uticalo na pojavu neravnina koje su imale značajan uticaj na rezultate u tačkama 1,2,5 i 6 eksperimenta.

5. LITERATURA

- [1] Ekinović S.: Postupci obrade rezanjem, Univerzitet u Sarajevu, Mašinski fakultet u Zenici, Zenica, 2003. god
- [2] Den Hartog J.P. :Vibracije u mašinstvu, Građevinska knjiga, Beograd 1972. god
- [3] Smith J.D.: Vibration measurement and Analysis, 1989. god
- [4] Graham Kelly S.: Advanced Vibration Analysis, 2006.
- [5] Sabreen A. A.: Surface Roughness Modeling and Prediction Based on Vibration Signal Analysis and Machining Parameters in Milling of Aluminum by Artificial Neural Network, Journal of The Institution of Engineers (India) Series C 104(2):1-31, februar, 2023. god