



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija

Program: Strojništvo

Modul: Orodjarstvo

**Posodobljen sistem vrtanja in povrtavanja
s samodejnim podajanjem pomika ter
števila vrtljajev na krmilnikih Heidenhain**

Mentor: mag. Slavko Božič
Lektorica: Špela Mlinar, univ. dipl. slov.

Kandidat: Dejan Buh

Kranj, junij 2019

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Slavku Božiču za vodenje, nasvete in vso pomoč pri pisanju diplomskega dela.

Hvala mentorju v podjetju Matjažu Potočniku za pomoč in nasvete med procesom testiranja. Zahvaljujem se mu, da je kljub natrpanemu urniku našel čas za hitro reševanje problemov skozi fazo testiranja orodij in pri nastajanju tega diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Špeli Mlinar, ki je mojo diplomsko nalogo jezikovno in slovnično pregledala.

Predvsem pa bi se rad zahvalil svoji Sabini za vso pomoč in podporo, ki sem jo potreboval za pisanje te diplomske naloge. Hvala!

IZJAVA

»Študent Dejan Buh izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Slavka Božiča.«

»Skladno s 1. odstavkom 21. člena Zakona o avtorski in sorodnih pravicah dovoljujem objavo tega diplomskega dela na spletni strani šole.«

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

V podjetju, kjer sem zaposlen, je bilo za namene vrtnja in povrtavanja treba ugotoviti ustreznost obstoječih parametrov in določiti nove, ustrežnejše, ki smo jih določili skozi serijo testiranj orodij. Nov sistem je bilo nato treba posodobiti. Parametre smo za lažjo uporabo operaterjev v orodjarni poenotili in postavili omare za hrambo orodij na manjših skupinah obdelovalnih centrov. Sestavili smo tabele, ki prikazujejo obrabe orodij in določajo, kateri tipi obrabe orodja so še dovoljeni za nadaljnje obratovanje in zaradi katerih tipov obrabe je treba orodje iz procesa odstraniti. Za nadaljnjo uporabo svedrov smo posodobili knjižnico parametrov. Preučili smo kakovost, ekonomičnost in uporabnost povrtal treh cenovnih razredov. Na koncu smo za določanje parametrov pri vrtnju in povrtavanju sestavili program za uporabo na obdelovalnih centrih, ki samodejno podaja parametre glede na tip orodja.

KLJUČNE BESEDE

- Vrtanje,
- povrtavanje,
- Heidenhain,
- parametri.

ABSTRACT

In the company where I am employed it was necessary, for the purposes of drilling and reaming, to examine the adequacy of the existing parameters and, to determine new, more appropriate parameters for machining, which was done through a series of testing. The new system then needed to be updated. To facilitate the use for the machine shop workers, the parameters were unified and tool boards were set up to store tools in smaller groups of machining centres. Special tables were drawn up, showing tool wear and determining which kinds of tool wear are still permissible for further machining and which ones make the tools unsuitable for further use. The tool library was updated for the further use of drills. We examined quality, economy and usefulness of reamers of three different price ranges. In the end, an automatic program for determining parameters on machine centres was created. The program automatically provides parameters, based on the type of tool being used.

KEYWORDS

- Drilling,
- reaming,
- Heidenhain,
- parameters.

KAZALO

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge	1
1.3	Predstavitev okolja	1
1.4	Predpostavke in omejitve	3
1.5	Metode dela	3
2	VRTANJE IN POVRTAVANJE V TEORIJI	3
2.1	Vrtanje	3
2.2	Orodja iz karbidnih trdin s TiN ali TiAlN prevleko.....	4
2.3	Določitev parametrov pri procesu vrtanja	5
2.4	Povrtavanje	6
2.5	Določitev parametrov pri povrtavanju	7
3	NAČRTOVANJE TESTIRANJA OBDELOVALNIH PROCESOV.....	8
4	UGOTAVLJANJE IN REŠEVANJE NAPAK.....	10
4.1	Oprelitev DEJAVNIKOV	10
4.2	Obdelovalni stroj	10
4.3	Hladilno-mazalno sredstvo	11
4.4	Rezalni rob.....	12
4.5	Vpenjalna tehnika.....	13
4.6	Ustreznost parametrov	14
4.7	Material obdelovanca	15
4.8	Ustrezna predobdelava	17
4.9	Nedoločljivi DEJAVNIKI.....	17
4.10	Povzetek ugotovitev	19
5	NASTAVITVE VRTANJA.....	19
5.1	Material X38CrMoV5-1	20
5.2	Material B.....	23
5.3	Material X36Crmov5-1	23
5.4	Ugotovitve.....	24
6	NASTAVITVE POVRTAVANJA.....	29
6.1	Dobavitelj A – nizkocenovni razred	29
6.2	Dobavitelj B.....	31
6.3	Dobavitelj C – višji cenovni razred.....	33
6.4	Primerjava pred in po	35
6.5	Cenovna primerjava	37
6.6	Ugotovitve	38
7	POENOTENJE SISTEMA	40
7.1	Knjižnica orodij	40
7.2	Sistem hrambe orodij	41
8	PROGRAMSKA OPREMA	42
8.1	SAMODEJNA kalkulacija na krmilnikih itnc530	44
8.2	SAMODEJNA kalkulacija na krmilnikih itnc640	47
8.3	Sestava univerzalnega programa.....	47
9	PRENOVA	50
10	ZAKLJUČEK.....	52
11	LITERATURA IN VIRI.....	55

KAZALO SLIK

Slika 1: Obrat Orodjarna na lokaciji Trata	2
Slika 2: Prikaz osnovnih parametrov pri vrтанju	5
Slika 3: Nezaželena srh.....	7
Slika 4: Zasnova plošče za testiranje vrтанja in povrtavanja	9
Slika 11: Odrezki, nevarni za obdelovanca, orodje in strojne komponente	21
Slika 15: Tvorjenje odrezkov pri optimalnih parametrih za material C	26
Slika 16: Razlike pri odrezkih zaradi delovnega pomika	27
Slika 17: Razlika med vstopnim (levo) in izstopnim (desno) odrezkom	28
Slika 18: Rezultat povrtavanja pri osnovnih parametrih	30
Slika 19: Primerjava velikosti Slimline (levo) in stročnice (desno)	32
Slika 20: Lom orodja zaradi nepravilnih parametrov	34
Slika 21: Tvorjenje odrezkov pri povrtavanju s povrtalom C.....	35
Slika 22: Neustrezna hramba orodij.....	41
Slika 23: Ustrezna hramba orodij.....	42
Slika 24: Sestava osnovnega programa	43
Slika 25: Definicija materialov v tabeli WMAT	45
Slika 26: Definicija materialov orodja	45
Slika 27: Tabela za določitev parametrov posameznim orodjem	46
Slika 28: Pomembni nizi v tabeli orodij za delovanje sistema	46
Slika 29: Kalkulator za pretvarjanje rezalnih parametrov	47
Slika 30: Sestava programa za samodejno dovajanje parametrov.....	48
Slika 31: Del programa za dovajanje parametrov	50

KAZALO TABEL

Tabela 1: Razlike v parametrih za sveder premera 6 mm.....	5
Tabela 2: Tabela s parametri dobavitelja	6
Tabela 3: Cenovna primerjava povrtal	38

KAZALO GRAFOV

Graf 1: Rezultat meritev – povrtalo A.....	30
Graf 2: Rezultat meritev – povrtalo B.....	33
Graf 3: Rezultati meritev s konvencionalno metodo.....	36
Graf 4: Rezultati meritev z nastavljenimi parametri.....	37
Graf 5: Rezultati nastavitve vrтанja.....	52
Graf 6: Ustrezno povrtane izvrtine	53
Graf 7: Čas obdelave polnega cikla izvrtin.....	53

POJMOVNIK

Rezanje: postopek odrezavanja materiala, pri katerem orodje opravlja rotacijsko in premočrtno gibanje, obdelovanec pa je fiksno vpet

Povrtavanje: eden izmed načinov za fino obdelavo izvrtin

Kokila: izdelana iz temperaturno obstojnega jekla; uporablja se v livarski industriji za večkratno litje aluminijastih ulitkov

Helična interpolacija: strategija odzemanja materiala s krožnimi gibi v globino

Kaljenje: toplotna obdelava kovinskih materialov za doseg višje trdote obdelovanca

Duktilnost: sposobnost materiala, da prenese plastično deformacijo, ne da bi se zlomil

Žilavost: odpornost materiala proti zlomu/udarcu

Trdnost: odpornost materiala proti napetosti, preden se ta poruši

Trdota: odpornost materiala proti vdiranju drugega, tršega materiala v njegovo površino

Legirano jeklo: jeklo, ki vsebuje več kot 0,5 % silicija in več kot 0,8 % mangana z možnostjo dodanih drugih elementov

Brainstorming: skupinska tehnika za ustvarjanje idej v kratkem časovnem intervalu

Peck drilling: strategija vrtanja, kjer po manjših korakih delovnega pomika postopoma dosežemo končno globino; med posameznimi koraki se sveder dvigne na začetno točko vrtanja

Škripanje: zvok, ki ga med obdelavo povzroča orodje in je navadno posledica obrabe orodja ali premajhnega odzemanja materiala

KRATICE IN AKRONIMI

OK:	v redu
NOK:	ni v redu
DOE:	metoda dela načrtovanja eksperimentov (angl. design of experiments)
CNC:	računalniško numerično krmiljenje
3D:	trikratni premer orodja
5D:	petkratni premer orodja
HSS:	hitrorezno jeklo
CAD:	računalniško podprto načrtovanje
CAM:	računalniško podprta proizvodnja
PVD:	postopek nanašanja trdih prevlek
HRC:	enota za merjenje trdote po Rockwellu
H7:	tolerančno polje za izvrtine
TiN:	titanov nitrid
TiAlN:	titan-aluminijev nitrid
AFC:	samodejni nadzor podajanja delovnega pomika
WMAT:	razpredelnica obdelovanih materialov
TMAT:	razpredelnica materialov obdelovalnih orodij

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

V podjetju se ukvarjamo s procesom tlačnega litja aluminijevih zlitin v kokile za potrebe avtomobilske industrije. Kokile iz legiranega orodnega jekla se v našem obratu strojno obdelajo s procesom rezkanja in vrtanja na CNC obdelovalnih strojih. Tehnologija rezkanja se stalno izboljšuje in nadgrajuje, tehnologija vrtanja in povrtavanja pa je bila nekoliko zapostavljena, kar povzroča slabe rezultate na tem področju, predvsem zaradi nepoznavanja obdelovalnih procesov. Vsak operater stroja je za vrtanje in povrtavanje uporabljal različne parametre. Predpostavil jih je na podlagi svojih opazanj in ugotovitev, kar opazimo pri nepoistenem sistemu parametrov. Dodaten problem predstavlja dejstvo, da so ti parametri v uporabi že dolgo, v tem obdobju pa se je spremenilo veliko stvari, od materialov obdelovancev do proizvajalca svedrov in povrtal ter menjav operaterjev. Če želimo nadzorovano spremljati kakovost izvrtin ter imeti pod nadzorom delovanje in obrabo naših svedrov in povrtal, je treba sistem obnoviti in poenotiti.

1.2 CILJI NALOGE

Naš cilj je s sistematičnim testiranjem svedrov in povrtal ovrednotiti njihovo kakovost, ekonomičnost in natančnost narejenih izvrtin ter na podlagi teh ugotovitev podati tabele s posodobljenimi parametri. Skozi testiranje orodij želimo opredeliti novejša, učinkovitejša parametre in določiti njihovo razlikovanje glede vseh materialov obdelovancev. Izdelati je treba nov sistem skladiščenja in beleženja orodij, kadar niso v uporabi. Na podlagi podanih parametrov za orodja bomo oblikovali program, ki ga bo mogoče uporabljati na vseh modelih krmilnikov Heidenhain.

1.3 PREDSTAVITEV OKOLJA

Zaposlen sem v podjetju LTH Castings, kjer se ukvarjamo z litjem in obdelavo aluminijastih polizdelkov za potrebe avtomobilske industrije s procesom tlačnega litja aluminijevih zlitin v kokile, izdelovanjem orodij za tlačno litje od konstrukcije do sestave orodja, v zadnjem času pa vedno pogosteje obdelujemo prototipne kose za namene razvoja.

Začetki podjetja segajo v leto 1948 z ustanovitvijo podjetja Motor, ki velja za predhodnika družbe LTH. Od začetkov, ko so v družbi delali zaporniki, se je število zaposlenih v celotni družbi do leta 2017 dvignilo na okoli 3000 zaposlenih in še raste, prav tako je podjetje v letu 2018 praznovalo svojo 70. obletnico (LTH Castings, d. o. o., 2018).

Družba LTH Castings, d. o. o., je razdeljena na več obratov, ki jih najdemo po balkanskih državah. LTH Learnica dooel iz Makedonije ter LTH Alucast, d. o. o., in LTH Metalcast, d. o. o., iz Hrvaške so stoodstotne hčerinske družbe LTH Castings, d. o. o. V Sloveniji se nahajajo še tri poslovne enote, in sicer v Ljubljani, Škofji Loki na Trati in v Vincarjih (LTH Castings, d. o. o., 2018).

Sedež podjetja je še vedno v Vincarjih, kjer se je vse skupaj začelo. Tam danes najdemo livarno, obdelavo, upravo in manjši del orodjarne, namenjen popravilu orodij. Večinski del orodjarne se je namreč leta 2014 preselil v industrijsko cono Trata v nove prostore (slika 1).



*Slika 1: Obrat Orodjarna na lokaciji Trata
(Vir: lthcastings.com)*

Naloga orodjarne je razvijanje in izdelovanje elementov za potrebe livarne in obdelave. V poslovni enoti Orodjarna Trata najdemo več sektorjev. Sektor kadrovske pravne službe se ukvarja s kadrom v podjetju, skrbi za nova zaposlovanja in opravlja ostale kadrovske naloge. Sektor logistike se ukvarja z odvozom in dovozom surovin, odpadkov, že narejenih orodij oz. orodij iz predobdelav ter podpira nemoteno delovanje sektorjev Obdelava in Orodjarna. Sektor obdelave s strojnimi obdelovanjem kosov na CNC strojih obdeluje aluminijaste odlitke, proizvedene v livarni. Poslovna enota Orodjarna se ukvarja s razvojem, konstrukcijo in izdelavo orodij za procese tlačnega litja (LTH Castings, d. o. o., 2018).

Sektor konstrukcija se ukvarja z izdelavo CAD modelov, Sektor razvoja pa predvsem z razvojem serijskih in prototipnih kosov. V podjetju sta še Prodajno-nabavni sektor in Sektor tehnologije, ki se ukvarja z razpisi ter naročanjem materiala in zunanjih storitev, poleg tega pa ustvarja CAM programe, ki se uporabljajo v proizvodnji na CNC rezkalnih strojih. Proizvodnja je sestavljena iz ločenih oddelkov. Na Oddelku erozija najdemo stroje za potopno in žično erozijo, na Oddelku struženje pa klasične in CNC

stružnice. Oddelek ročne orodjarne sestavlja in vzdržuje orodja, Oddelek klasičnih in CNC rezkalnih strojev pa ima tri- in petosne obdelovalne centre. Pomemben element orodjarne je tudi robotski optični merilnik, s katerim preverjajo ustreznost obdelanih kosov, ko pridejo iz predobdelave oz. po koncu vseh obdelovalnih postopkov (LTH Castings, d. o. o., 2018).

1.4 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Poleg časovne omejitve projekta smo pri raziskovalnem delu omejeni z velikostjo testnega kosa, na katerem bomo testirali različna povrtala. Zaradi omejenosti s številom izvrtin obstaja možnost, da realna ocenitev življenjske dobe orodja ne bo mogoča. Omejeni smo tudi s številom testnih orodij, kar pomeni, da v primeru loma orodja prav tako ne bomo dobili realne ocene.

Zaradi varovanja podatkov podjetja v diplomski nalogi ne bodo navedena imena dobaviteljev materiala in orodij.

1.5 METODE DELA

V teoretičnem delu sta uporabljeni opisna metoda in metoda združevanja. Z njima je opisana potrebna teorija za razumevanje diplomske naloge in pojavov med obdelovanjem. Uporabili smo različne avtorje in podatke dobaviteljev orodij, da smo pridobili potrebne podatke in parametre, s katerimi smo čim bolj optimalno izvedli raziskovalni del.

V praktičnem delu smo uporabili sintetično metodo. Z njeno pomočjo smo razčlenili dejavnike, ki vplivajo na sedanje parametre. Nato smo z analitično metodo pridobili nove, optimalne parametre.

2 VRTANJE IN POVRTAVANJE V TEORIJI

2.1 VRTANJE

Vrtanje je eden izmed hitrejših postopkov za odrezavanje materiala. Z vrtljaji okoli svoje osi in aksialnim podajanjem mirujočemu obdelovancu odvezujemo material, s tem pa nastane cilindrična izvrtina (Moderno proizvodno inženirstvo, 2010).

Poznamo več metod vrtanja, ki so namenjene različnim aplikacijam. V našem podjetju za obdelavo pred kaljenjem uporabljamo svedre HSS, z njimi pa izvajamo naslednje postopke. Globoko vrtanje za globoke izvrtine (nad 5D), kjer zaradi odstranjevanja odrezkov uporabljamo svedre z notranjim hlajenjem, če nam stroj to dopušča.

Oblikovno vrtnanje, kjer naloga svedra ni le izvrtati osnovno izvrtino, ampak tudi narediti obliko na začetku luknje, na primer posnetje ali utor za glavo vijaka. Najpogostejše za obdelavo pred kaljenjem je klasično vrtnanje do globin 5D.

Za obdelavo po kaljenju uporabljamo svedre iz karbidnih trdin za vrtnanje globin do 3D, ki se nato nadalje obdelajo bodisi s povrtavanjem, vrezovanjem navojev ali helično interpolacijo.

2.2 ORODJA IZ KARBIDNIH TRDIN S TiN ALI TiAlN PREVLEKO

Karbidne trdine imajo veliko žilavost in veliko trdoto. Trdnost je primerljiva s hitroreznimi jekli, trdota karbidnih trdin pa je občutno večja. Orodja iz karbidnih trdin se izdeluje po postopkih metalurgije prahov. Za njihovo mikrostrukturo so značilna karbidna zrna velikosti 1–10 μm , obdana s tanko plastjo vezne kovine. Več kot je vezne kovine, bolj žilav je material, posledično se zmanjšajo trdota, elastični modul in obstojnost proti obrabi. Prednost karbidnih trdin pred hitroreznimi jekli je večja trdota, ki jo ohranijo tudi pri temperaturah popuščanja orodnih jekel (Penjan, Čekada, 2005, str. 23).

Orodja so prevlečena s TiN ali TiAlN prevleko, naneseno na orodje iz karbidne trdine po postopku PVD. Z njim pri izviru uparimo atome elementov, ki jih bomo nanašali, in atome ali molekule v obliki curkov preko vakuuma prenesemo do orodja, kjer kondenzirajo v obliki tanke plasti (Penjan, Čekada, 2005, str. 47).

Postopek nanašanja se izvaja pri temperaturi 450–500 °C, debelina sloja pa znaša 1–5 μm . Prevleka zagotavlja odlično termično stabilnost in odpornost proti abrazijski obrabi ter tvori vijolično sivo barvo prevleke na orodju (Penjan, Čekada, 2005).

TiN prevleka omogoča dobro zaščito pred obrabo orodja in je primerna za orodja za delo pri manjših rezalnih hitrostih, saj zmanjša ashezijsko obrabo. Prevleka dosega trdote HV 2200 in je oksidacijsko obtojna do 500 °C. Je zelo robustna in omogoča delo tudi pri procesih z manj maziva, njena zlata prevleka pa omogoča hitro prepoznavanje obrabe orodja (Penjan, Čekada, 2005, str. 23).

Prevleka TiAlN zelo pripomore k znižanju stroškov obdelave, saj podaljša življenjsko dobo orodja, poveča njegove rezalne sposobnosti, skrajša obdelovalne čase in izboljša kakovost obdelane površine. Dodatek aluminija k titanovemu nitridu proizvede dvig trdote in poveča odpornost proti oksidaciji. Prevleka zaščiti rezalni rob orodja pred temperaturnimi šoki do 800 °C (Arno, 2018, str. 256).

2.3 DOLOČITEV PARAMETROV PRI PROCESU VRTANJA

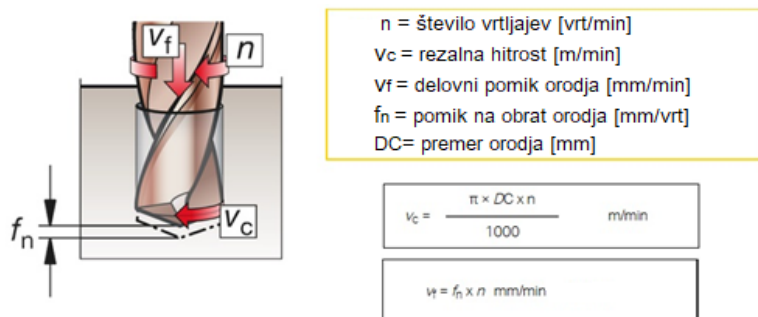
Poznamo splošno enačbo za vrtanje, po kateri lahko dobimo grobe parametre za obdelavo, vendar se moramo zavedati, da je v vsakem procesu toliko spremenljivk, da zanašanje zgolj na preproste enačbe ni mogoče. Enačbe za splošno določevanje parametrov lahko uporabimo, kadar ne vemo, s kakšnimi parametri naj bi obdelovali. Tako dobimo smernico in nato na podlagi opažanj parametre spremenimo, da ustrezajo našim potrebam. Iz tabele 1 lahko razberemo razlike v parametrih za sveder premera 6 mm iz karbidne trdine, kjer prvi stolpec prikazuje parametre iz knjige Postopki odrezavanja avtorja Francija Čuš, stolpec 2 parametre proizvajalca orodij, v stolpcu 3 pa so parametri, ki jih na podlagi izkušenj in dolgoletnih opazovanj uporabljamo v podjetju. Prva vrstica prikazuje število obratov, druga pa obdelovalni pomik orodja.

	SPLOŠNO	DOBAVITELJ	PODJETJE
n (vrt/min)	2514	1214	1200
f (mm/min)	75	62	120

Tabela 1: Razlike v parametrih za sveder premera 6 mm
(Vir: lasten)

V praksi uporabljamo različne materiale obdelovancev. Poznamo različne postopke vrtanja, različne geometrije in prevleke svedrov, zato se na začetku zanašamo na parametre našega dobavitelja oz. proizvajalca orodij. Iz podanih tabel razberemo podatke, ki se nanašajo na naš proces, na njihovi podlagi pa ustvarimo parametre, ki zadovoljijo naše potrebe. Poznamo material obdelovanca, materiala in karakteristik svedra pa ne, zato se za osnovno usmeritev zanašamo na podane parametre proizvajalca.

Na sliki najdemo splošni enačbi, namenjeni pretvarjanju parametrov (slika 2).



Slika 2: Prikaz osnovnih parametrov pri vrtanju
(Vir: Sandvik, 2018)

Za razumevanje in pretvarjanje parametrov poznamo splošni enačbi, ki ju operaterji strojev uporabljajo v mnogih primerih. Na sliki najdemo splošni enačbi, namenjeni pretvarjanju rezilne hitrosti v število vrtljajev orodja in pomika orodja na obrat v podajalno hitrost orodja.

Na mnogih obdelovalnih centrih je možno vstavljanje obeh vrednosti. Kadar stroj, na katerem delamo, ne dopušča vnašanja rezilne hitrosti ali pomika na obrat orodja, so enačbe za pretvarjanje zelo koristne. Uporabljamo jih predvsem pri preizkušanju novih orodij novih dobaviteljev, saj vsi dobavitelji orodij podajajo parametre v obliki rezilnih hitrosti in v primeru vrtnja pomika na obrat orodja. Tabela 2 prikazuje parametre proizvajalca orodij.

Werkstoff / Material / Materiale	Zugfestigkeit Tensile strength Durezza [N/mm ²]	V _c [m/min] V _c [m/rev] V _c [m/min]	Durchmesser / Diameter / Diametro [mm]						
			1~3 f [mm/U]	3~5 f [mm/U]	5~8 f [mm/U]	8~10 f [mm/U]	10~12 f [mm/U]	12~14 f [mm/U]	14~20 f [mm/U]
Kupfer und Kupferlegierungen (Bronze / Messing) Copper and copper alloys (brass / bronze) Rame e leghe di Rame (Ottone / Bronzo)	-	60-170	0,02-0,16	0,06-0,18	0,10-0,20	0,18-0,30	0,25-0,35	0,30-0,38	0,30-0,50
Aluminium hoher Si-Gehalt Aluminium - high Si-content Alluminio con alto contenuto di Silicio	-	60-179	0,05-0,10	0,10-0,20	0,15-0,30	0,20-0,30	0,25-0,35	0,25-0,35	0,30-0,50
Aluminium niedriger Si-Gehalt Aluminium - low Si-content Alluminio a basso contenuto di Silicio	-	70-260	0,05-0,10	0,10-0,20	0,15-0,30	0,20-0,30	0,25-0,35	0,25-0,35	0,30-0,50
Titanlegierungen Titanium alloys Leghe di Titanio	-	13-32	0,01-0,04	0,03-0,07	0,06-0,12	0,06-0,12	0,08-0,15	0,08-0,15	0,10-0,16
Hochtemperaturlegierungen High Temperature alloys Leghe per alte temperature	> 1000	13-27	0,02-0,06	0,03-0,07	0,04-0,08	0,06-0,10	0,08-0,14	0,08-0,14	0,08-0,16

Tabela 2: Tabela s parametri dobavitelja
(Vir: Arno, 2014, str. 249)

2.4 POVRTAVANJE

Osnovni namen povrtavanja je izboljšanje kakovosti površine in doseganje večje natančnosti izvrtine do H7. Povrtavanje je oblika finega grezenja, kjer za obdelavo ne uporabljamo grezil, ampak povrtala (Moderno proizvodno inženirstvo, 2010).

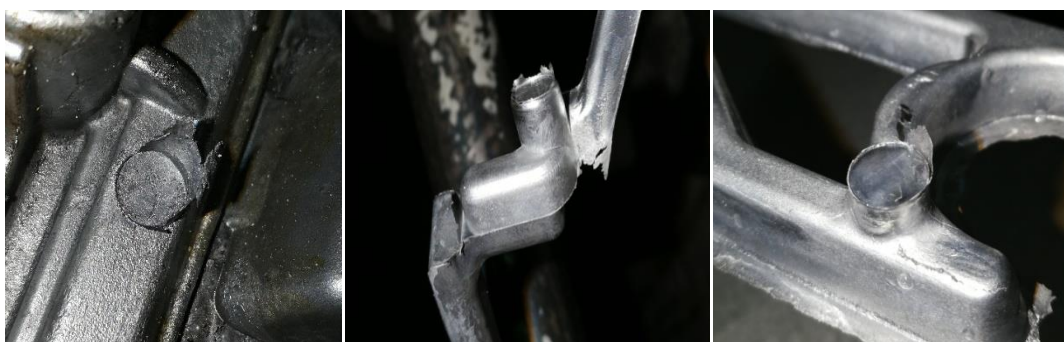
Geometrija povrtal se razlikuje glede na njihov namen in proizvajalca, načeloma pa za vsa povrtala velja, da so na začetku orodja stožčaste oblike za vodenje orodja, sledi ravni del, namenjen obdelavi. Povrtala imajo vedno sodo število rezil, ki so po krožnici porazdeljena neenakomerno, kar dodatno izniči vibracije zaradi obdelave, ki bi lahko vplivale na površino izvrtine. V kategoriji nenastavljivih povrtal poznamo ročna in strojna povrtala, ki se razlikujejo predvsem v dolžini rezilnega dela in kota na prisekanem delu povrtala. Lahko imajo ravne ali vijačno zavite utore (Čuš, 2009, str. 131).

Materiali, ki se uporabljajo za izdelavo povrtal, so bodisi hitrorezna jekla ali karbidne trdine s TiAlN ali TiN prevlekami. V podjetju za povrtavanje izvrtin uporabljamo strojna

povrtala iz karbidnih trdin s TiN prevleko za izvrtine do premera 12 mm. Povrtavamo v toplotno obdelane materiale trdote 43–46 HRC s pomočjo CNC obdelovalnih strojev.

Glavni namen povrtavanja izvrtin v podjetju sta merska ustreznost in površina izvrtine. Hrapava in poškodovana površina izvrtine hitreje pripomore k zagozditvi izmetovalne igle v izvrtini, kar posledično privede do zaustavitve livarskega stroja.

Tolerančna neustreznost izvrtine povzroči nezaželen srh na mestih izmetovalnih igel (slika 3), kar pripomore k hitrejši obrabi ali celo zagozditvi izmetovalne igle. Livarski stroj je treba ustaviti in poškodbo odpraviti, kar je časovno zamudno in cenovno neugodno za podjetje.



*Slika 3: Nezaželen srh
(Vir: lasten)*

Cilj procesa je torej zagotavljanje enotnih in kakovostnih izvrtin, ki mersko in površinsko ustrezajo zahtevam pri maksimalni življenjski dobi orodja.

2.5 DOLOČITEV PARAMETROV PRI POVRTAVANJU

Za določitev parametrov se navadno držimo napotkov dobavitelja povrtal, šele nato pridobljene parametre prilagodimo našemu načinu obdelave. Za identifikacijo uspešnega procesa povrtavanja in tipičnih napak ima večina proizvajalcev orodij sestavljene tabele in diagrame, ki prikazujejo napake med povrtavanjem in pripadajoče rešitve (Sandvik.coromat, 2019).

Če imamo opravka s neznanim povrtalom, katerega geometrije, zaščitne prevleke in sestave ne poznamo, se zanašamo na priročnike ali ga primerjamo z drugimi povrtali, ki so nam na razpolago.

3 NAČRTOVANJE TESTIRANJA OBDELOVALNIH PROCESOV

Za testiranja povrtavanja in vrtanja je bilo treba izdelati podlago za testiranje. S testiranjem bi tako ugotovili, kje prihaja do napak. Napake nastanejo pri povrtavanju ali pa so vzroki za slabo kakovost izvrtin drugje.

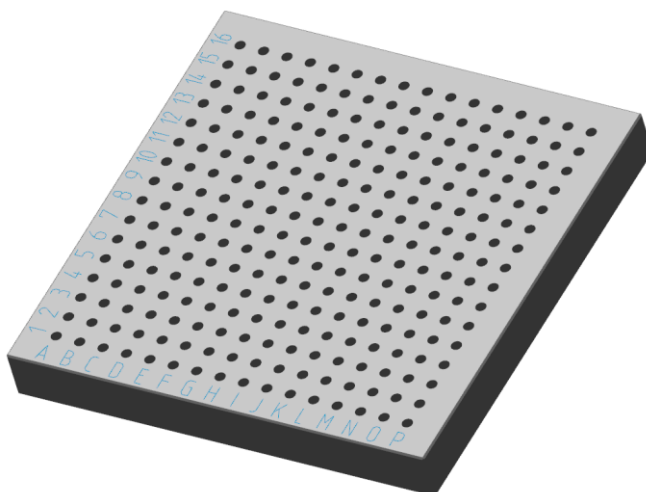
Glede na to, da v podjetju delamo z več materiali, je treba proces optimizirati, izboljšati in ugotoviti odstopanja v parametrih pri različnih materialih. Proces je treba najprej poenotiti in določiti parametre, ki zagotavljajo maksimalno življenjsko dobo obdelovalnih orodij in kakovost izvrtin. Če poznamo približno število kakovostnih izvrtin, ki jih izvrta en sveder pred obrabo do kritične meje, lahko predvidimo njegovo obrabo in pravočasno začnemo monitoring orodja, preden postane neustrezno za obdelavo kakovostnih izvrtin.

Za reševanje problema se bomo zgledovali po metodi Design of Experiments (DOE). To je statistična metoda, ki s sestavo eksperimentov in analiziranjem vhodnih in izhodnih veličin določi smernice za izboljšavo ali analizo delovnega procesa. DOE je optimizacijski proces, ki z uravnavanjem vhodnih veličin vpliva na delovni proces, vplive zabeleži in z analizo podatkov najde optimalno možnost za doseg maksimalnega učinka. DOE je v bistvu kakršnokoli testiranje, kjer lahko kontroliramo vhodne količine in je zanje načrtovana analiza rezultatov (Gemba Academy, 2013).

Dejavniki, ki vplivajo na proces, so lahko določljivi in nedoločljivi. Podjetja največkrat naredijo brainstorming tehnologov, kjer definirajo problem, ki se v podjetju pojavlja. Nato poskušajo določiti dejavnike (določljive in nedoločljive), ki na ta proces vplivajo, ter vzpostavijo cilj in način eksperimentiranja. Dejavnikom določijo vpliv na proces. Namen tega je, da vemo, kateri dejavniki potrebujejo več naše pozornosti in katere lahko zanemarimo. Dejavnike, ki jih lahko določimo in uravnavamo, nato preizkusimo z metodo DOE, ki skozi serijo preizkusov prikaže končne rezultate testiranj ter poskrbi za sistematično analizo dejavnikov in njihovih vplivov na naš proces (Anderson, Whitcomb, 2000).

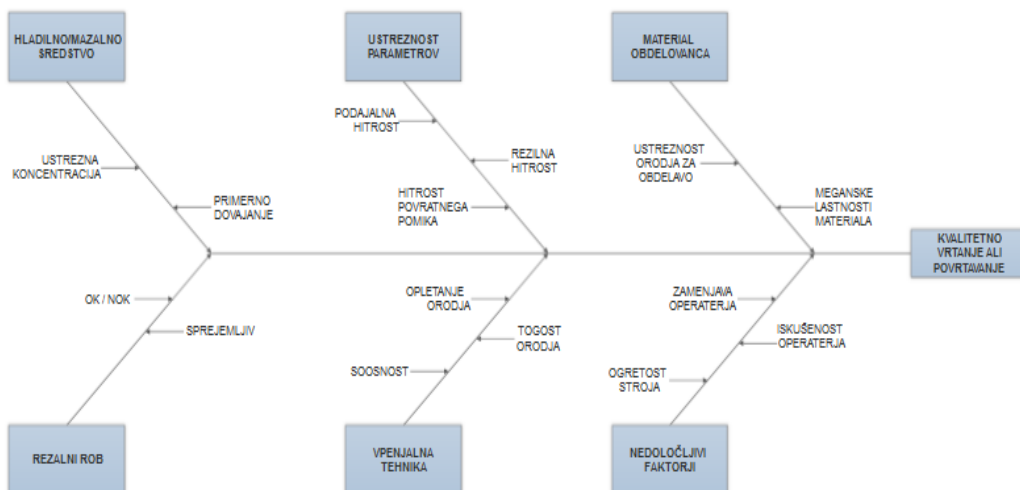
Za testiranja smo v podjetju zasnovali testne plošče iz različnih materialov. Vsakemu dobavitelju povrtal smo namenili tri plošče iz različnih kaljenih materialov, ki se v našem podjetju najpogosteje uporabljajo. Plošče iz kaljenega jekla, trdot 43-46 HRc, so zasnovane tako, da lahko na njej izvrta 256 izvrtin. Na ploščah so z nasprotni strani izvrzane izpraznitve premera 7 mm tako, da lahko kar najbolj simuliramo dejanske pogoje obdelovanja. Vrtali bomo do globine 2,5D s svedri premera 5,9 mm. Tako nam ostane še 0,1 mm dodatka za končno obdelavo povrtala.

Plošče so zasnovane na enostaven način, z enakomernimi razmaki med izvrtinami. Vsaka posamezna izvrtina je označena s pripadajočo črko in številko, kar ji določi točno mesto v koordinatnem sistemu (slika 4).



Slika 4: Zasnova plošče za testiranje vrtnja in povrtavanja (Vir: lasten)

Za splošno določitev dejavnikov, ki vplivajo na proces vrtnja, bomo uporabili diagram Ishikava (slika 5). Z njim na grafično osvetlimo dejavnike, ki vplivajo na naš proces, uporabljamo ga kot lažjo predstavo in vodilo za nadaljnje raziskovanje. Dejavniki so jasno razvidni, zato se lahko postopoma in sistematično lotimo raziskovanja njihovega vpliva na naš proces.



Slika 5: Diagram Ishikawa (Vir: lasten)

4 UGOTAVLJANJE IN REŠEVANJE NAPAK

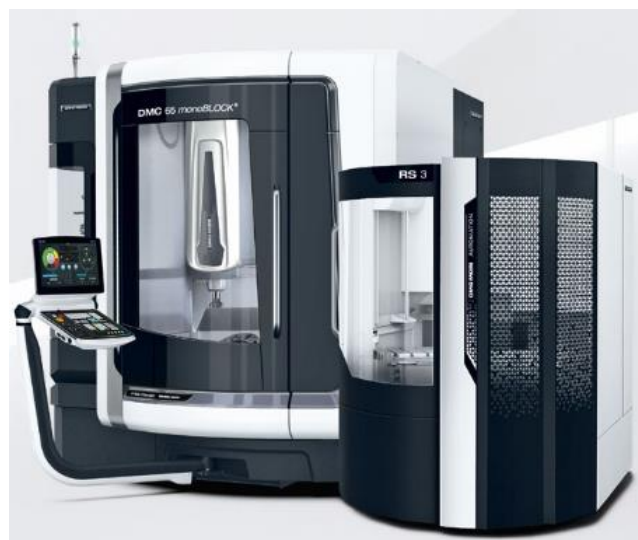
4.1 OPREDELITEV DEJAVNIKOV

Kot vedno se zanašamo na smernice, ki jih poda dobavitelj orodij. Proizvajalci so svoja orodja skozi proces izdelave testirali ter podali splošne parametre in ugotovitve, ki so zelo dobra osnova za ugotavljanje parametrov za naš proces. Poleg rezilnih in podajalnih hitrosti prodajalec navadno poda še druge parametre, ki vplivajo na naš proces. Ker je dobavitelj svedrov v našem podjetju že znan, sledimo njegovim podanim navodilom. Skozi proces ugotavljanja upoštevanja navodil bomo lahko določili dejavnike, ki vplivajo na naš proces in jih je mogoče uravnati.

4.2 OBDELOVALNI STROJ

Testiranje kosov bomo izvajali na petosnem paletnem obdelovalnem centru proizvajalca DMG Mori. Tip stroja monoblock 85 podpira petosno obdelovanje kosov dimenzij 900 x 850 x 650 mm, dosega do 18.000 vrt/min delovnega vretena in podpira možnost hlajenja skozi vreteno orodja z zrakom ali emulzijo (slika 6).

Dodatna prednost stroja je njegov paletni sistem, saj lahko poleg palete, ki jo obdelujemo, hrani še dodatne palete, ki čakajo v skladišču palet. Sosednje palete tako lahko kadarkoli pokličemo v obdelovalni prostor in začnemo obdelovanje. Stroj je dobavljiv s krmilnikom Celos/Siemens ali Heidenhain, katerega različici iTNC 530 in iTNC 640 uporabljamo tudi v našem podjetju (DMG Mori, 2019).



Slika 6: DMC monoblock 85 RS3
(Vir: DMG Mori, 2019)

Pred začetkom testiranj smo opravili kalibracijo stroja, s čimer smo zagotovili njegovo čim boljše in čim natančnejše delovanje. Namen kalibracije je bil izločitev napake stroja iz našega delovnega procesa. Če stroj obratuje znotraj tolerančnega območja, lahko izločimo kakršnekoli napake v procesu vrtnja, ki bi lahko nastale zaradi neustreznosti obdelovalnega stroja.

Po kalibraciji stroja smo ugotovili, da osi stroja ne odstopajo od predpisanih vrednosti. S preverjanjem opleta delovnega vretena smo prišli do ugotovitve, da delovno vreteno ne opleta. Ugotovili smo, da je stroj primeren za obdelavo in ne bo vplival na slabo kakovost izvrtin.

4.3 HLADILNO-MAZALNO SREDSTVO

Hladilno-mazalna tekočina pri procesu odrezavanja igra veliko vlogo, saj neposredno hladi mesto obdelave, hkrati pa maže naše orodje. S tem izboljšamo proces obdelave, vplivamo na ustrezno odplakovanje odrezkov iz izvrtine, vplivamo na kakovost obdelane površine in znatno podaljšamo življenjsko dobo orodja.

Z mazanjem rezalnega roba preprečujemo tvorjenje nalepkov, kar neposredno pripomore k izboljšanju kakovosti površine in podalšanju življenjske dobe orodja. Z učinkovitim hlajenjem lahko izboljšamo proces odrezavanja. Rezalno hitrost lahko povečamo za 10–30 %, ne da bi zmanjšali obstojnost orodja. Hladilno-mazalno sredstvo ali emulzija je mešanica vode in olja z dodatki, kot so protikorozijska sredstva, sredstva za boljše mazanje in biocidi, ki preprečujejo penjenje in nastanek bakterij v sredstvu (Moderno proizvodno inženirstvo, 2010).

Hladilno-mazalno emulzijo mešamo v različnih razmerjih, navadno pa znaša 5–12 %, odvisno od aplikacije, za katero jo uporabljamo. Predpisana koncentracija emulzije za obdelovanje nerjavečega jekla in temperaturno odpornih jeklenih litin na primer znaša 10–15 % (Sandvik.coromat, 2019).

Proizvajalec orodij za obdelavo legiranih jekel predlaga 7–8 % koncentracijo sredstva, kar ni v skladu z našimi predpisi (Arno, 2018, str. 251). V podjetju znaša predpisana koncentracija emulzije 5–7 %. Preverja se z notranjimi kontrolnimi pregledi, ki zagotovijo ustrezno koncentracijo, in je na vseh obdelovalnih centrih enaka. Po ugotovitvah je koncentracija emulzije v podjetju prenizka. Da bi ustrezala priporočilom za boljšo obdelavo in podaljšanje življenjske dobe, bi morala znašati okoli 10 %, kar je skoraj podvojena vrednost sedanje koncentracije. Za boljši obdelovalni proces in večjo obstojnost orodij smo za namene testiranj koncentracijo emulzije povečali na predpisano vrednost dobavitelja orodij.

Drug zelo pomemben dejavnik pri hlajenju in mazanju je ustrezno dovajanje sredstva na rezalni rob. Če curek emulzije ni usmerjen na mesto odrezavanja, se zmanjša

hladilni in mazalni učinek emulzije. Zaradi odsotnosti mazanja rezilne ploskve se poveča trenje med obdelovancem in orodjem, kar privede do segrevanja materiala, to pa neugodno vpliva na življenjsko dobo orodja. Prav tako lahko zaradi neustreznega odplakovanja odrezkov pride do poškodovanja obdelane površine ali celo zastoja odrezkov v izvrtini, kar posledično privede do loma orodja.

Da preprečimo zgoraj navedene probleme, je v vseh primerih priporočljivo dovajanje emulzije skozi orodje. Ta način dovajanja vedno hladi in maže na lokalni ravni, kjer je to potrebno, izkoristek dovajane emulzije pa je 100 %, kar pri klasičnem hlajenju ni dosegljivo, saj večji del tekočine odteče mimo obdelovane izvrtine. Kadar vrtamo izvrtine globin nad 5D, je dovajanje emulzije skozi orodje nujno, saj ustrezno odvajanje odrezkov na druge načine ni mogoče.

Hlajenje skozi orodje tako izberemo vedno, kadar je mogoče. V našem podjetju nekateri stroji te možnosti nimajo, in ker večinoma vrtamo v kaljene materiale do globin premerov 2,5D, uporabljamo svedre za vrтанje brez dovajanja emulzije skozi orodje, kar po napotkih proizvajalca svedrov ustreza zahtevam.

Tretja možnost je hlajenje in mazanje z naoljenim komprimiranim zrakom, ki v določenih aplikacijah lahko blagodejno vpliva na obdelovalni proces, v večini primerov pa ga odsvetujejo predvsem zaradi nezadostnega mazanja mesta obdelave.

4.4 REZALNI ROB

Obrabljenost rezalnega roba lahko vpliva na kakovost izvrtine, zato je izjemnega pomena, da vsak operater pozna tipične obrabe svedra in je seznanjen s tem, kakšen sveder je še primeren za nadaljnjo obdelavo in katere svedre je treba umakniti iz obdelovalnega postopka. V ta namen smo svedre razdelili v tri kategorije: OK, sprejemljivo in NOK.

Med svedre brez napak štejemo svedre, na katerih ni nikakršnih sledi obrabe in so primerno skladiščeni, kadar se ne uporabljajo (bodisi v nakrčevalnem trnu ali namenski škatlici). Neprimerno skladiščenje povzroči obrabo in poškodbo svedrov, ki so pogoste, kadar svedri ležijo en ob drugem v predalu brez zaščite.

Svedri, ki so sprejemljivi in so še ustrezni za nadaljnjo obdelavo, zahtevajo večjo pozornost, saj so na meji izdelovanja kakovotnih izvrtin. Mednje štejemo svedre, ki imajo manjše znake obrab na rezalnem robu, saj te ne vplivajo kritično na proces odrezavanja. Najpomembnejši dejavnik rabljenih svedrov je nepoškodovana konica orodja. Ta namreč vodi sveder med odstranjevanjem materiala. Poškodovana konica svedra ne more več zagotavljati koordinatne ustreznosti izvrtine in zaradi slabega vodenja sveder lahko zatava, kar privede do nepravilne oblike izvrtine ali loma orodja. Tak sveder je treba iz obdelovalnega procesa nemudoma odstraniti.

Svedre, ki niso več primerni za obdelavo, je treba ustrezno označiti in jih odstraniti na določeno mesto. V to kategorijo svedrov spadajo vsi svedri, ki imajo v celoti poškodovana oba rezilna robova, svedri s poškodovano konico ter svedri s poškodovanima spiralo in robom na začetku spirale. Na sliki 7 lahko vidimo vse obrabe svedrov, ki pomenijo neustreznost svedra za nadaljnjo uporabo.



*Slika 7: Tipične obrabe svedrov
(Vir: Sandvikcormant.com, 2019)*

Poškodovane svedre je treba odstraniti iz obdelave in napotiti na obnovo rezalnega roba. Tako zmanjšamo stroške podjetja, saj cena novega svedra za vrtanje v kaljeno jeklo premera 6 mm znaša 17,25 EUR¹, za brušenje pa 5,4 EUR². Obnovitveno brušenje orodij je zelo priporočljivo, saj orodju povrne prvotno kakovost, poleg tega pa občutno zniža stroške podjetja.

Za namene ločevanja dobrih in sprejemljivih svedrov od slabih smo izdelali grafično tabelo, ki prikazuje tipične obrabe svedrov in določa, katere izmed njih so sprejemljive za nadaljnjo obdelavo in katere ne.

4.5 VPENJALNA TEHNIKA

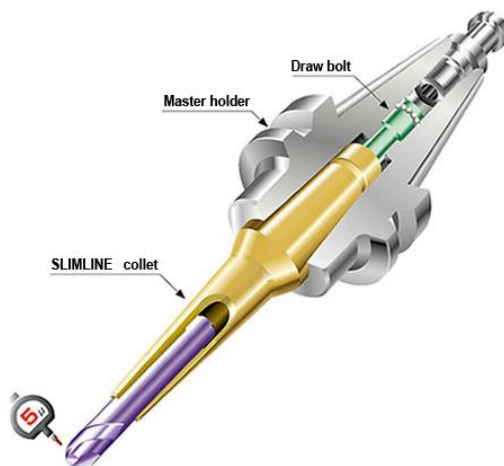
V podjetju smo do pred kratkim uporabljali konuse s sistemom vpenjanja s tehnologijo nakrčevanja orodij. Konus tipa HSK 63 se s pomočjo naprave segreje do predpisane temperature, kar privede do termičnega raztezka konusa in omogoča, da vanj vstavimo naše orodje (sveder, rezkar itd.). Konus nato ohladimo na prvotno temperaturo in z ohlajanjem se skrči v prvotno stanje. Med luknjo v konusu in našim orodjem nastane tako tesen ujem, da dobimo fiksno dvojico. Čeprav to tehnologijo še uporabljamo, smo v letu 2017 začeli uporabljati modularni sistem vpenjanja orodij.

Tehnologija je zelo podobna prejšnji. Komplet je sestavljen iz podaljška, na katerega nakrčujemo orodja. Podaljški so različnih dimenzij glede na premer in dolžino. Glavna držala so standardne oblike za vse podaljške, in sicer v dveh izvedbah, krajši (75 mm)

¹ Vir zaradi varovanja podatkov ni naveden.

² Vir: Kovinos, Vsa orodja v eni hiši. <https://www.kovinos.si/>

in daljši (135 mm). Edina razlika med obema je, da imamo tu dve komponenti, ki pripomoreta k zmanjševanju vibracij med obdelavo, kot vidimo na sliki 8.



Slika 8: Dvodelni vpenjalni sistem
(Vir: MST, 2019)

Za poenoten sistem vrtnja bomo uporabljali izključno nova držala, ker so zaradi ozke oblike sposobna doseči manj dostopna obdelovalna področja. Proizvajalec orodij za doseg optimalnih rezultatov in ugodne življenjske dobe za naše svedre priporoča do maksimalno 0,025 mm radialnega opletanja orodja (Arno, 2018, str. 266). Dobavitelj naših držal orodij zagotavlja 0,005 mm radialnega opletanja pod pogojem, da so vsi spoji na vpenjalu očiščeni in je orodje vpeto v skladu z njihovimi predpisi (MST, 2019).

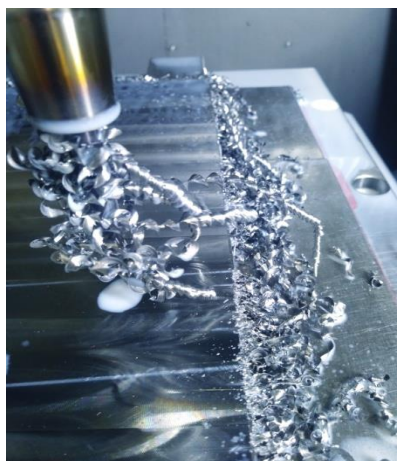
Tudi po preverjanju opleta konusov z mikronsko merilno urico smo prišli do rezultatov opleta znotraj 3 μm . Ugotovili smo, da konusi, ki jih uporabljamo v podjetju, ne vplivajo na kakovost izvrtin in življenjsko dobo orodja.

4.6 USTREZNOST PARAMETROV

Uporaba pravih parametrov močno vpliva na življenjsko dobo orodja in kakovost izvrtin, povečamo našo produktivnost in s tem znižamo splošno ceno izvrtine.

Najboljši kazalnik za oceno uspešnosti našega procesa so odrezki. Neustrezni odrezki lahko poškodujejo orodje ali obdelovanec in motijo proizvodni čas, kadar je treba zaustaviti stroj, da odstranimo odrezke. Če so odrezki nepravilnih oblik, je za obdelovalni proces potrebna vizualna kontrola, kar pomeni dodatne nepotrebne stroške (Dolinšek, Kopač, 1992).

Najbolj zaželeni so kratki odrezki polžastih oblik, saj se najlažje in najhitreje odplavljajo iz izvrtin in so pokazatelj dobrega odrezovanja materiala. Odrezki spiralnih oblik in nedefinirani dolgi trakovi na proces vrtanja vplivajo slabo. Uničujejo sveder, ker se ne morejo hitro odplaviti iz izvrtine, drgnejo ob njene stene in jo tako poškodujejo, prav tako pa lahko poškodujejo že porezkano obliko kokile in na njej pustijo praske (slika 9). Njihova zagostitev lahko privede do zloma svedra, v tem primeru je neustrezna tudi izvrtina, in ker po vrtanju običajno ostanejo na svedru, potencialno ogrožajo tudi strojne komponente obdelovalnega stroja.



*Slika 9: Posledica neustreznih parametrov
(Vir: lasten)*

Reševanje problematike z odrezki je najpreprostejše s kontrolo njihove oblike. Vendar zaradi različnih dejavnikov in njihovih medsebojnih vplivov pri oblikovanju odrezkov ne moremo napovedati njihove predhodne oblike (Dolinšek, Kopač, 1992).

4.7 MATERIAL OBDELOVANCA

Material obdelovanca ima velik vpliv na sposobnost obdelave, življenjsko dobo orodja in kakovost obdelave. Vsak material ima svoje lastnosti. Očitne, ki jih lahko razberemo iz katalogov proizvajalcev, so kemijska sestava, trdota, trdnost, kaljivost itd. Neočitne lastnosti pa opazimo šele, ko material obdelujemo. Material iste kemijske sestave se obdeluje drugače, če je kaljen ali nekaljen, če se obdeluje z odplakovanjem z emulzijo ali s spihovanjem z zrakom. Značilnosti posameznega materiala naredijo vsak material edinstven. Pri obdelovanju zato ne smemo posplošiti procesov in z istimi parametri pričakovati enake rezultate pri vseh materialih. Upoštevati moramo napotke za obdelovanje proizvajalca materiala. Potrebna bo določitev specifičnih parametrov za vsak material posebej.

V nadaljevanju bomo zato pregledali materiale, ki jih v podjetju najpogosteje uporabljamo. V osnovi vsa tri jekla spadajo pod legirana orodna jekla tipa 1.2343 po SIST EN 10027-2 (Kraut, 2007, str. 437).

Kakovost orodnega jekla definiramo z njegovimi mehansko-tehnološkimi sposobnostmi, na katere najbolj vplivajo kemijska struktura materiala, pridobitev in proizvodnja materiala ter termična obdelava. Da v čim večji meri preventivno preprečimo razpoke zaradi utrujenosti materiala in njihovo širjenje, ko že nastanejo, sta v večji meri pomembni žilavost in duktilnost materiala, kot vedno pa je treba paziti na ustrezno razmerje med trdoto in trdnostjo (Böhler, 2015).

Material A

X38CrMoV5-1

Visoko legirano jeklo, znano po dobri trdoti, žilavosti in odpornosti proti obrabi tudi pri visokih temperaturah, odlični kaljivosti ter sposobnosti prenašanja stresov s hlajenjem orodja z vodo. Namenjen proizvodnji gravur, vložkov in jeder za litje lahkih kovin. (Böhler, 2015).

Legirni element krom (5 %) močno vpliva na trdnost, trdoto in odpornost proti kemičnim vplivom na material, blagodejno pa vpliva tudi na žilavost materiala in sposobnost odrezavanja. Drugi legirni element, ki izstopa, je silicij (1,1 %), ki blagodejno vpliva na trajno statično trdnost pri višjih temperaturah in dodatno izboljša sposobnost odrezavanja. Dodani legirni elementi v materialu so še ogljik (0,38 %), Mn (0,4 %), Mo (1,3 %) in V (0,4 %) (Kraut, 2007, str. 391).

Proizvajalec za vrtanje s svedri iz karbidnih trdin priporoča rezilne hitrosti 35–50 m/min in 0,02–0,05 mm/vrt pomika za svedre 3–8 mm (Böhler, 2015).

Material B

Patent³

Material B je patentiral proizvajalec in je zaradi odličnih lastnosti materiala najprimernejši za izdelavo kokil z različnimi preseki. Po toplotni obdelavi namreč dosega enake mehanske lastnosti tako na manjših kot večjih presekih.

Dobavitelj s posebnim postopkom pridobivanja zagotavlja odlično homogenost materiala. Zaradi odličnih mehanskih lastnosti se zelo dobro izkaže pri vrtanju globokih lukenj, saj dosega tudi do 50 % boljše rezultate kot material A. Proizvajalec materiala, je z različnimi testiranjmi prišel do ugotovitev, da z zmanjšanjem rezalne hitrosti lahko zmanjšajo obrabo orodja (Böhler, 2015).

³ Oznaka materiala ni uporabljena zaradi varovanja podatkov podjetja.

Material C

X36CrMoV5-1

Pridobljen je s postopkom taljenja kovin pod vakuumom. Odlikujejo ga odlična mikrostruktura, dobra homogenost materiala, visoka žilavost in temperaturna prevodnost. Zaradi pridobivanja čistih materialov za taljenje ima mikrostrukturo in čistočo materiala, ki dosegata standarde letalske industrije. Za obdelavo tega materiala proizvajalec navaja rezilno hitrost 70 m/min pri 0,1 mm/vrt pomika na obrat orodja (Böhler, 2015).

Na podlagi raziskav moramo upoštevati napotke za obdelovanje proizvajalca materiala. Treba bo sestaviti različne parametre za vsak material posebej.

4.8 USTREZNA PREDOBDELAVA

Predobdelava izvrtin pred povrtavanjem je zelo pomembna za kakovost končne izvrtine in življenjsko dobo povrtala.

Izvrtina premera 6 mm naj bi bila pred povrtavanjem 0,1–0,2 mm manjša od končnega premera izvrtine. Orodje se hitreje obrabi, če dodatka na steni izvrtine ni dovolj, če pa ga je preveč, lahko pride do loma orodja. Nepravilna vrednost dodatka lahko pripelje tudi do neustrezne površine na obdelani izvrtini (Guehring, 2014).

Zaradi poškodovanega svedra ali napak na stroju lahko dobimo ovalne oblike izvrtin, kar negativno vpliva na življenjsko dobo orodja. Če smo med procesom vrtnja in povrtavanja zamaknili koordinatne centre izvrtin, lahko zaradi neustreznega vhoda povrtala v izvrtino poškodujemo izvrtino ali zlomimo povrtalo. V ta namen se priporoča nakup plavajočih držal, ki v tem primeru samodejno izvedejo radialno kompenzacijo med orodjem in izvrtino. V praksi proces povrtavanja sledi procesu vrtnja, zato to možnost v našem primeru zanemarimo, obstaja pa možnost, da zaradi poškodovane samocentrirne konice na svedru koordinata izvrtane izvrtine ni soosna s koordinato, podano krmilniku.

Zaradi koordinatne in merske ustreznosti je bistvenega pomena, da je sveder, s katerim vrtamo, brezhiben. Povrtala so vodena orodja in sledijo poti, ki jo je predhodno postavil sveder. Če je ta pot zašla iz smeri, bo posledično tudi povrtana izvrtina na neustrezni koordinati. Povrtalo je namenjeno doseganju tolerančnih območij in izboljšanju površine izvrtin, ne more pa popraviti zgrešene koordinate, ki smo jo povzročili zaradi poškodovanega svedra.

4.9 NEDOLOČLJIVI DEJAVNIKI

Nedoločljivih dejavnikov je veliko in jih je težko identificirati. Ne vplivajo na natančnost, ampak na homogenost našega procesa. Nedoločljivi dejavniki so vsi spremenljivi

zunanjji vplivi, kot so temperatura, preprih, vibracije stroja in tal, trenje na vodilih stroja, nezadosten vir komprimiranega zraka, nekonstanten tok elektrike, nehomogenost materiala. Natančnost procesa lahko z določljivimi dejavniki precej hitro izboljšamo, homogenost procesa pa je ravno zaradi nedoločljivih dejavnikov toliko težje dosegljiva. Vsak dejavnik lahko v večji ali manjši meri vpliva na proces, zato je naša naloga, da ga identificiramo in odpravimo, kjer je možno (Božič, 2009).

Proizvodnja, v kateri delamo, in obdelovana kokila naj bosta segreti na sobno temperaturo, stroj, s katerim delamo, pa ogret na delovno temperaturo. Pri zahtevanih tolerancah, ki jih moramo dosegati pri obdelavi orodij, že manjša sprememba v temperaturi lahko pomeni napako na obdelavi. Če neobdelano gravuro pripeljemo od zunaj, kjer temperatura okolice znaša 5 °C, in jo začnemo takoj obdelovati na stroju, kjer temperatura emulzije znaša 20 °C, utegnemo po dvigu temperature gravure na temperaturo emulzije opaziti odstopanja od zahtevanih toleranc.

Po neprespani noči je delavec zjutraj nesposoben opravljati delo po svojih najboljših zmogljivostih, kar lahko privede do neupoštevanja predpisanih navodil, napačno nastavljenih parametrov, nezadostnega posvečanja tolerančnim zahtevam ali nasploh uporabe napačnega orodja. Vidimo, da je za kakovostno opravljanje dela pomemben dejavnik tudi psihofizična sposobnost delavca.

Homogenost materiala ima lahko velik vpliv na orodje in kakovost izvrtine. Če orodje naleti na nečistočo v obdelovancu, lahko pride do neustrezno obdelane izvrtine, obrabe ali celo loma orodja. Iste posledice lahko povzroči odrezek, ki je v napoto našemu orodju. Orodje zadane ob odrezek, ta ga lahko zablokira, povzroči raze na izvrtini, zopet nas ogroža lom orodja.

Izpad toka, padec pritiska komprimiranega zraka ter neustrezna raven hladilnih in mazalnih tekočin na stroju lahko privedejo do njegove nenadne zaustavitve. To se lahko zgodi sredi obdelave izvrtine, kar neugodno vpliva na njeno tolerančnost.

Kakovost in ustreznost stroja, s katerim obdelujemo, je sicer dejavnik, ki bi ga morali upoštevati vedno že pri ugotavljanju parametrov, saj ima vsak stroj svoje sposobnosti in lastnosti, vendar smo se za določanje dejavnikov v našem primeru odločili, da to poglavje umestimo pod nedoločljive dejavnike. Razlog za to je preprost. V podjetju je trenutno 21 CNC obdelovalnih strojev in niti dva od njih nista enaka. Ali je stroj nov ali star, je bil že kdaj poškodovan, obdelujemo tri- ali petosno, ima stroj urejeno kinematiko, kakšna je geometrija stroja, moč stroja, opletanje delovnega vretena ... Vse to so dejavniki, ki na naš proces vplivajo na svoj način. Ker se bo sistem poenotil, bomo na vseh strojih uporabljali enake parametre. Na dejavnik, kot so lastnosti stroja, ne moremo vplivati, treba pa je vedeti, kateri stroj izdeluje kakovostne izvrtine in kateri ne.

Vsi ti dejavniki lahko drastično vplivajo na naš proces, zato se jih moramo zavedati in nad njimi izvajati določen monitoring. Točka, kjer je vpliv na proces prevelik, mora biti jasno določena, da jo lahko v primeru realizacije takoj identificiramo in odpravimo.

4.10 POVZETEK UGOTOVITEV

Če je naš zastavljen cilj jasen in vemo, kako ga doseči, je razčlemba dejavnikov preprosto in učinkovito orodje za realizacijo našega načrta. Samo teoretično znanje ne zadošča, saj v praksi stvari navadno pokažejo svojo plat, zato je zelo priporočljiva metoda brainstorminga, kjer vključimo tehnologe in proizvodne delavce. Z več zornih kotov kot gledamo proces, bolje ga lahko določimo. Na nedoločljive dejavnike ne moremo vplivati, lahko pa uravnavamo vse ostale parametre v procesu.

5 NASTAVITVE VRTANJA

Na podlagi ugotovitev, ki smo jih pridobili z raziskovanjem, bomo izvedli poskuse nastavljanja parametrov in opazovanja odrezkov, ki jih ti parametri tvorijo. Svedri, ki jih uporabljamo v našem podjetju, so namenjeni obdelavi kaljenih jekel. Po izračunih in upoštevanjih tabel dobavitelja orodij med našimi parametri in parametri proizvajalca orodij ni bistvenih razlik, razen v pomiku orodja.

Proizvajalec orodij za obdelavo tlačnih orodij priporoča rezilno hitrost 13–27 m/min. V našem primeru za vrtanje izvrtine premera 5,9 mm to pomeni med 700 in 1450 vrt/min. Delovni pomik orodja naj bi znašal 0,04–0,08 mm/U za premere orodij 5–8 mm. V obeh primerih izberemo srednjo vrednost, ki se najbolj nanaša na naš premer orodja. Točnih navodil ni, zato parametre izberemo okvirno in jih vstavimo v enačbo za preračun parametrov. Parametri proizvajalca orodij tako znašajo 1075 vrt/min pri 65 mm/min delovnega pomika.

V našem primeru so leta izkušenj privedla do parametrov, ki prinašajo sorazmerno dobre rezultate, zato bomo za izhodiščno točko pri testiranju na vseh materialih uporabili parametre, ki jih uporabljamo že dlje. Izhodiščni parametri za obdelavo tako znašajo 1200 vrt/min pri 120 mm/min delovnega pomika.

Vrtali bomo s svedrom premera 5,9 mm iz karbidne trdine s TiAlN prevleko za vrtanje izvrtin do globin 3D brez hlajenja skozi orodje. Vrtali bomo v vse podane materiale trdot 43–46 HRc. Vrtali bomo pod optimalnimi pogoji.

Pred testiranjem svedrov smo upoštevali vsa priporočila proizvajalca orodij. Koncentracijo emulzije smo dvignili na 10 %, uporabili smo nova vpenjala, ki

zagotavljajo minimalno opletanje orodja, in za vsak testni model uporabili nov, nerabljen sveder.

Cilj testiranja je podaljšati življenjsko dobo orodij, povečati kakovost in opredeliti nove parametre, ki se navezujejo na specifične materiale. Preprečiti je treba lom orodja, površinske poškodbe na obdelovancih, ki nastanejo zaradi navitja odrezkov okrog orodja, in uvesti protokol ugotavljanja napak na orodju, ki bi slabo orodje izvrigel iz uporabe, preden pride do neželenih rezultatov (slika 10).



*Slika 10: Hitra obraba orodja
(Vir: lasten)*

5.1 MATERIAL X38CrMoV5-1

Material je znan po dobrih obdelovalnih lastnostih in pri trenutno uporabljenih parametrih tvori ustrezne odrezke, zato smo na tem materialu izvajali dodatne teste za definicijo parametrov in ugotavljanje napak, ki se dogajajo zaradi nepoučenosti operaterjev.

Za prvi poskus smo uporabili parametre, ki jih je predlagal sodelavec. Za vrtnje uporablja polovično vrednost pomika pri istih obratih, kot jih uporabljajo drugi sodelavci. Parametri tako znašajo 1200 vrt/min pri 60 mm/min delovnega pomika.

Parametre smo vstavili v program in začeli vrtati. Ob začetku je bilo nemudoma slišati škripanje orodja in tvorjenje dolgih spiralnih odrezkov. Proces smo zato po 40 izvrtinah ustavili in po pregledu orodja prišli do ugotovitve, da se zaradi premajhnega delovnega pomika med svedrom in obdelovancem ustvari toliko trenja, da to povzroči segrevanje orodja in posledično hudo obrabo centrirne konice ter nalepek obdelovanega materiala na rezilnih robovih svedra.

Zaradi segrevanja orodja se poškoduje zaščitna prevleka, kar privede do hitrejše obrabe orodja. Kot vidimo na sliki 11, uporabljeni parametri tvorijo dolge spiralne odrezke, ki so pokazatelj pomanjkanja delovnega pomika. Taki odrezki lahko poškodujejo orodje, obdelovanca ali celo obdelovalni stroj.



*Slika 5: Odrezki, nevarni za obdelovanca, orodje in strojne komponente
(Vir: lasten)*

Sveder je po 20 izvrtinah neprimeren za nadaljnjo uporabo, zato ga iz procesa izvržemo. Test je pokazal, da je delovni pomik prepočasen, zato smo za naslednji test uporabili parametre večine operaterjev v podjetju.

Po testiranju standardnih parametrov smo prišli do ugodnih rezultatov. Kot pričakovano sta odrezka ob vstopu in izstopu iz izvrtine daljše spiralne oblike, vmesni odrezki pa so kratki in imajo polžasto obliko. To so pokazatelji uspešnega vrtanja, saj ustvarjamo odrezke, ki se hitro odplavljajo iz izvrtine in tako ne predstavljajo nevarnosti loma orodja in poškodb obdelovanca. Površina izvrtin je na pogled nepoškodovana, na vhodu in izhodu iz izvrtine je mogoče opaziti manjšo (sprejemljivo) iglo. Čeprav je proti koncu obdelave sveder začel rahlo škripati, po obdelavi na njem ni bilo najdenih večjih mehanskih napak, razen blage obrabe rezilnega roba, ki pa ni kritična za nadaljnje obdelovanje svedra.

Proces je stabilen, saj tvorimo ustrezne odrezke, sveder pa je izvrtal vseh 256 izvrtin brez večjih težav. Po preizkusu z merilnim tipalom smo ugotovili, da je izvrtina mersko ustrezna.

Zaradi daljših odrezkov ob vstopu v izvrtino, rahlega segrevanja orodja in povečane obrabe orodja smo se odločili, da kljub ugodnemu delovanju dosedanjih parametrov poskusimo s povečanjem pomika za 20 %. Po 256 izvrtinah sta sledila pregled orodja in analiza odrezkov. Po podrobnejšem ogledu orodja smo prišli do ugotovitev, da je rezalni rob orodja vizualno nepoškodovan, na njem nismo opazili nikakršnih znakov obrabe. Odrezki so pravih oblik, od odrezkov iz prvotnih parametrov se razlikujejo le po debelini in teži. Vhodni in izhodni odrezki so pričakovane spiralne oblike in

nekoliko krajši kot v prejšnjem primeru. Na izvrtinah ni vizualnih poškodb, na vходу in izhodu iz izvrtine lahko opazimo (sprejemljivo) iglo, izvrtina je mersko ustrezna.

Po ugodnih rezultatih smo se odločili za nadaljnje 40 % povečanje delovnega pomika orodja, število obratov se ni spremenilo. Po končanem ciklu izvrtanih 256 izvrtin smo na podlagi odrezkov ugotovili, da je delovni pomik prevelik. Odrezki niso več polžaste oblike, vendar so nekoliko potlačeni. Na robovih odrezkov je bil opazen nazobčan profil, kar dodatno potrjuje ugotovitev, da je delovni pomik prevelik. Začetni in končni odrezek sta se skrajšala, če ju primerjamo z odrezkom iz prvega poskusa, na njem pa opazimo znake tlačenja materiala. Na izvrtinah ni vidnih znakov poškodb površine, po preizkusu z merilnim trnom trn težje vstavimo v izvrtino, kar je dodaten pokazatelj prevelikega delovnega pomika. Čeprav po obdelavi na svedru ni bilo znakov obrabe, povečan delovni pomik ne tvori ustreznih odrezkov. Nadaljnja uporaba teh parametrov bi lahko privedla do loma orodja, zato smo jih opustili.

Sodelavec uporablja tehniko peck drilling vrtanja, ki se ji pri vrtanju v kaljene materiale načeloma izogibamo, saj prekinjanje reza dodatno poveča obrabo rezilnega orodja. Peck drilling strategija se uporablja predvsem pri vrtanju v mehko, kjer svedri nimajo centrirne konice. Sveder zato vsakih par milimetrov dvignemo iz izvrtine in vrtanje začnemo na novo, saj bi brez tega sveder lahko zašel iz osi obdelave, neustrezno odvajanje odrezkov pa lahko poškoduje steno izvrtine in privede do loma orodja.

Centrirna konica na vrhu svedrov za hitro obdelavo omogoča vodenje orodja v obdelovalni smeri, kar svedru omogoča vrtanje do končne globine brez presledka. Če uporabljamo 3D sveder premera 6 mm, pomeni, da lahko vrtamo v polno brez presledka do globine 18 mm.

Odločili smo se, da tehniko testiramo na naših kosih. Ker operater uporablja iste parametre kot vsi ostali, jih za ta test ne bomo spreminjali, spremeni se samo strategija vrtanja. Sveder bo v tem primeru na vsak zvrtni milimeter globine vrnjen na izhodiščno točko vrtanja, proces pa se bo tako ponavljal do končne globine.

Proizvedeni odrezki so bili na začetku prave oblike. Po nekaj ponovitvah cikla se je zaslislalo škripanje svedra, povečala se je tudi obremenitev delovnega vretena, kar je bil jasen pokazatelj obrabe rezilnega roba. Test smo po 20 izvrtinah prekinili zaradi loma orodja. Izbrana strategija ima na delovni proces neugodne učinke. Prekinjanje reza orodja slabo vpliva na orodje, vsak odrezek, ki ni bil odplaknjen iz izvrtine, poškoduje naš sveder ob vračanju proti mestu obdelave, huda poškodba rezalnega roba pa morebiti pripelje do loma orodja, zato smo parametre takoj opustili.

5.2 MATERIAL B

Material, ki je namenjen izdelavi večjih gravur, ima lastnost, da je trd na površju, globlje v obdelovancu pa izrazito žilav. Glede na to, da ima dobre obdelovalne lastnosti, smo predvidevali, da bo njegova obdelava preprostejša kot obdelava materiala A, čeprav proizvajalec za obdelavo priporoča znižanje rezalne hitrosti. Teste smo začeli s standardnimi parametri in po 120 izvrtinah obdelovalni proces ustavili zaradi loma orodja. Sveder je po 80 izvrtinah začel škripati in kmalu začel tvoriti dolge spiralne odrezke. Izvrtine so bile vizualno neustrezne zaradi hudih poškodb na stenah izvrtin. Parametre smo zato znižali na 900 vrt/min pri 100 mm/min delovnega pomika.

Proces tvori ustrezne odrezke, ki pa so nekoliko potlačeni. Med obdelavo smo opazili dodatno obremenitev delovnega vretena, zato smo v naslednjem koraku dvignili obrate delovnega vretena na 1000 vrt/min pri enakem pomiku orodja. Sveder prestane test in izvrta vseh 256 izvrtin na testnem kosu. Po pregledu odrezkov smo se odločili, da zaradi zaprtih polžastih odrezkov poskusimo z dvigom delovnega pomika na 110 mm/min. Proces zdaj tvori lepe polžaste odrezke pravih dolžin. Orodje po zaključenem procesu nima večjih poškodb rezalnega roba. Izvrtine so brez vidnih poškodb. Po pregledu z merilnim sistemom stroja smo ugotovili, da so izvrtine mersko ustrezne.

5.3 MATERIAL X36CrMoV5-1

Material C v podjetju povzroča veliko preglavic, saj na obdelovalnih orodjih naredi veliko škode v sorazmerno kratkem času. Njegova najboljša lastnost je izredno fina mikrostruktura, kar v našem primeru za obdelavo pomeni hitrejše segrevanje orodja. Cilj nastavljanja parametrov je bil, da z odrezavanjem čim manj zvišamo temperaturo obdelovanca in orodja, kar pomeni zmanjšanje števila obratov ali povečanje delovnega pomika. Testirati smo zopet začeli pri osnovnih parametrih za testiranje.

Sveder že po nekaj izvrtinah začne škripati, kar pomeni preveč obratov. Odrezki so dolgih spiralnih oblik in se dokaj kmalu začnejo navijati okoli svedra. Cikel smo tako po 100 izvrtinah ustavili zaradi povečane obremenitve delovnega vretena in po pregledu orodja ugotovili, da sta centrirna konica in rezalni rob na svedru popolnoma uničena. Ker sveder ni več zagotavljal koordinatne točnosti vrtanja in je bil zelo podvržen lomu orodja, smo ga izvrgli iz obdelovalnega cikla.

Ker je proizvajalec za obdelavo priporočil bistveno višje parametre od teh, ki so v uporabi v podjetju, smo se odločili za 20 % povečanje delovnega pomika pri istem številu obratov. Parametri takoj tvorijo dolge spiralne odrezke, sveder začne škripati v izvrtini in po 60 izvrtinah povzroči lom orodja.

Naslednji korak je bil znižanje parametrov za 30 %. Število obratov smo spustili na 800 vrt/min, pomik pa na 80 mm/min. Po začetku vrtnja smo takoj opazili tvorbo ustreznih odrezkov. Sveder med vrtnjem ne škripa več, opazili pa smo povečano obremenitev delovnega vretena. Po končanem ciklu vrtnja smo pregledali sveder, ki je imel rahlo obrabljeno centrino konico. To je eden izmed pokazateljev, da je bilo uporabljeno število obratov premajhno. Drugi pokazatelj so odrezki, ki so bili v tem primeru nekoliko potlačeni. Zato smo se v naslednjem koraku odločili za dvig parametrov na 900 vrt/min pri 100 mm/min delovnega pomika.

Sveder od začetka deluje brezhibno. Proces proizvaja ustrezne odrezke polžaste oblike, vendar so še vedno nekoliko predolgi, kar pomeni pomanjkanje delovnega pomika. Dodaten pokazatelj pomanjkanja pomika so bile vizualne poškodbe na stenah izvrtin, kar pomeni, da se odrezki niso dovolj hitro izplakovali iz izvrtin, posledica pa so praske na stenah. S povečanjem pomika se trenje na delu odrezavanja med orodjem in obdelovancem zmanjša, to pa tvori bolj odprte odrezke, ki so primernejši za naš proces, kjer želimo čim bolj zmanjšati segrevanje orodja. Za naslednji korak smo tako uporabili isto število obratov, delovni pomik pa dvignili na 120 mm/min.

Proces zdaj tvori lepe odrezke polžastih oblik, ki so bolj odprti, kar pomeni, da smo zmanjšali trenje na rezalnem robu. Sveder je bil po 256 izvrtinah brez vidnih poškodb in ustrezen za nadaljnjo obdelavo. Izvrtine so bile vizualno ustrezne in brez poškodb na steni izvrtine, po preizkusu z merilnim sistemom stroja pa smo prišli do ugotovitve, da so izvrtine znotraj tolerančnega območja.

5.4 UGOTOVITVE

Najugodnejši material za obdelavo je material A. Po preizkusih z uravnavanjem parametrov smo za ta material prišli do ugotovitve, da že uporabljani parametri tvorijo ustrezne odrezke in kakovostne izvrtine, vendar dolgoročno ustvarijo rahlo obrabo rezalnega roba. Ugotovili smo, da s strategijo peck drilling znatno povečamo obrabo orodja, zmanjšanje delovnega pomika zaradi dodatno ustvarjenega trenja pa pospeši obrabo rezalnega roba.

Problem smo tako odpravili z 20 % povečanjem podajalne hitrosti pri istih obratih delovnega vretena in dosegli obliko odrezkov, ki odražajo pravilen proces odrezovanja (slika 12).



*Slika 12: Tvorjenje odrezkov pri optimalnih parametrih za material A
(Vir: lasten)*

Material B je pri standardnih parametrih povzročal pregrevanje orodja, zato smo po končanem nastavljanju parametrov prišli do ugotovitve, da zmanjšanje števila obratov in delovnega pomika blagodejno vpliva na proces. Končno število obratov tako znaša 1000 vrt/min pri 110 mm/min delovnega pomika. Pri teh parametrih orodje proizvaja ustrezne odrezke tudi po več izvrtinah (slika 13).



*Slika 13: Tvorjenje odrezkov pri optimalnih parametrih za material B
(Vir: lasten)*

Material C je zaradi fine mikrostrukture povzročal največ preglavic pri standardnih parametrih, saj je zaradi hitrega segrevanja orodja zaščitna prevleka na njem hitro izgubila zaščitne lastnosti. To je privedlo do njegove pospešene obrabe. Proces je pri standardnih parametrih na začetku tvoril ustrezne odrezke, vendar že po nekaj izvrtinah začel proizvajati dolge, potlačene spiralne odrezke (slika 14), ki niso le pokazatelj neustreznih parametrov, ampak tudi hude poškodbe rezalnega roba.



*Slika 14: Pokazatelj obremenitve delovnega vretena
(Vir: lasten)*

Ta poškodba ne omogoča ustreznega loma odrezkov, zato se pri povečanem trenju zbirajo v trakove. Problem smo rešili z zmanjšanjem števila obratov pri istem delovnem pomiku. S temi parametri smo podaljšali življenjsko dobo orodja in dosegli ustrezno obliko odrezkov (slika 15).



*Slika 6: Tvorjenje odrezkov pri optimalnih parametrih za material C
(Vir: lasten)*

Pomembnost parametrov pri vrtnanju smo potrdili z njihovim dodatnim testiranjem, kjer smo ugotovili, da sprememba delovnega pomika za 10 mm/min že spremeni tvorjenje odrezkov. To morebiti vpliva na življenjsko dobo in kakovost izvrtin.

Ugotovili smo, da je 900 vrt/min najbolj optimalno število obratov za obdelovanje materiala C. V preizkusu smo tako uravnali le delovni pomik orodja, ki je, kot je razvidno na sliki 16, tvoril različne oblike odrezkov pri minimalni spremembi delovnega pomika.



*Slika 7: Razlike pri odrezkih zaradi delovnega pomika
(Vir: lasten)*

Slika 16 na levi prikazuje 130 mm/min delovnega pomika. Proces sicer tvori ustrezne odrezke, ki se dobro odplakujejo z mesta odrezavanja. Podaljšani repki odrezkov nakazujejo nestabilen proces odrezavanja, ki lahko vodi do poškodbe orodja ali obdelovanca. Slika 16 na sredini prikazuje 120 mm/min delovnega pomika, ki je med testiranjem proizvajal ustrezne odrezke in najboljšo kakovost izvrtin pri dolgi življenjski dobi orodja. Slika 16 na desni pa prikazuje 110 mm/min pomika, kjer lahko opazimo začetek tvorjenja dolgih spiralnih odrezkov (pokazatelj pomanjkanja delovnega pomika), ki so za naš proces neugodni.

Med obdelavo smo imeli težave z navijanjem dolgih spiralnih odrezkov na orodje kljub ustreznim parametrom za obdelavo. Kasneje smo ugotovili, da se med vrtnanjem izvrtin tvorita dve vrsti odrezkov. Klasični odrezki polžaste oblike in krajši spiralni odrezki, ki so posledica vstopa svedra v obdelovanec in so pri vrtnanju normalni. Poleg njiju je naš proces odrezavanja tvoril tudi daljše nedefinirane spiralne odrezke.



*Slika 8: Razlika med vstopnim (levo) in izstopnim (desno) odrezkom
(Vir: lasten)*

Z dodatnimi testi smo ugotovili, da se ta oblika odrezkov tvori le, kadar vrtamo izvrtine na položajih, kjer je s hrbtne strani že izvrtana izpraznitev (slika 17).

Če se izvrtina konča s prebojem ravne površine, je izhodni odrezek krajše spiralsne oblike in je zelo podoben vhodnemu odrezku. Kjer je predvrtana izpraznitev za jedro/izmetač, pa s svedrom prebijemo neravno površino. Sveder bo naletel na stožčasto izpraznitev. V primeru ponavljanja velikih odstopanj v soosnosti predobdelane izvrtine in osi vrtnja se znatno poveča tudi obraba orodja zaradi neenakomerne obremenitve rezalnega roba ob izstopanju svedra iz izvrtine.

Če bi bila konica svedra osno poravnana s konico izpraznitve, bi proces tvoril dva krajša spiralsna odrezka. Ker je v praksi predobdelana izvrtina le malokrat osno poravnana z vrtnjem izvrtin po kaljenju, ob preboju v izpraznitev pride do nastanka dolgih nedefiniranih odrezkov. Navijajo se na orodje in lahko prav tako škodijo orodju, obdelovancu ali strojnim komponentam. Med obdelavo izvrtin so se ti odrezki le malokrat navili okrog orodja, zato v praksi ne predstavljajo velike slabosti za proces obdelave.

Najbolj optimalne bi bile izpraznitve za jedra vrtnja s svedri, ki ustvarijo ravno dno. Ker v praksi to ni mogoče, je treba nedefinirane spiralsne odrezke pričakovati, saj niso posledica nenastavljenih parametrov, ampak načina vrtnja.

6 NASTAVITVE POVRTAVANJA

Za obdelavo izvrtin po kaljenju je bilo treba določiti dobavitelja orodij. Je podjetje zadovoljno s trenutnim dobaviteljem ali izberemo drugo možnost, ki jo ponuja tržišče? Odločili smo se, da testiramo tri proizvajalce povrtal različnih cenovnih razredov in ocenimo njihovo kakovost, ekonomičnost in ponovljivost kakovostnih izvrtin.

Proizvajalci za izvrtine premera 6 mm priporočajo 0,1 mm dodatka na končno mero izvrtine, kot mazalno sredstvo pa uporabo olja ali emulzije. Ta navodila so bila upoštevana pri preizkusih vseh povrtal.

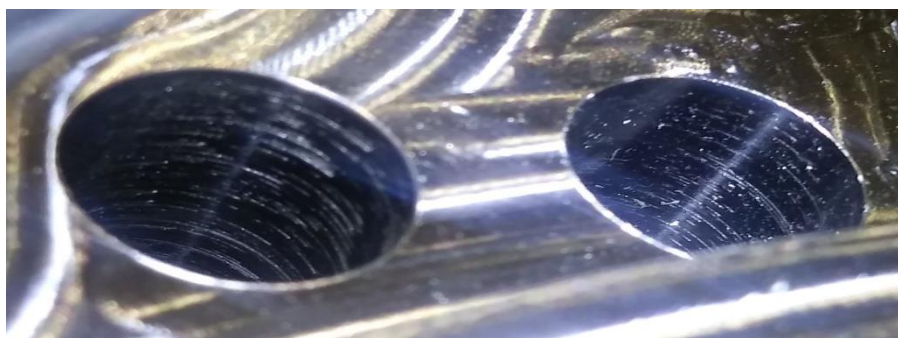
Primerjalne teste smo izvajali na materialu C, saj je izmed vseh najzahtevnejši za obdelavo. Vsakemu proizvajalcu je bila namenjena ena testna plošča. Ustreznost predobdelanih izvrtin je bila vizualno pregledana in preverjena z merilnim sistemom stroja, merska ustreznost izvrtin pa je bila dodatno premerjena na koordinatnem merilnem stroju.

6.1 DOBAVITELJ A – NIZKOCENOVNI RAZRED

Eden najtežjih proizvajalcev orodij za nastavljanje parametrov bo tisti, ki ga v podjetju uporabljamo trenutno. Njegova orodja uporabljamo že dolgo, vendar vseeno o njih vemo zelo malo. Zanje namreč ni podanih parametrov proizvajalca, vendar pri dosedanjih parametrih dobivamo sorazmerno dobre rezultate. Uporabili jih bomo kot izhodiščno točko za nadaljnje raziskave.

Povrtalo iz karbidne trdine s TiN prevleko dosega tolerančno polje H7 in je namenjeno obdelovanju materialov trdot do 55 HRc. Povrtalo ima šest rezin v skoraj enakomernih razmakih po obodu povrtala brez možnosti hlajenja skozi orodje (Globevnik, 2011).

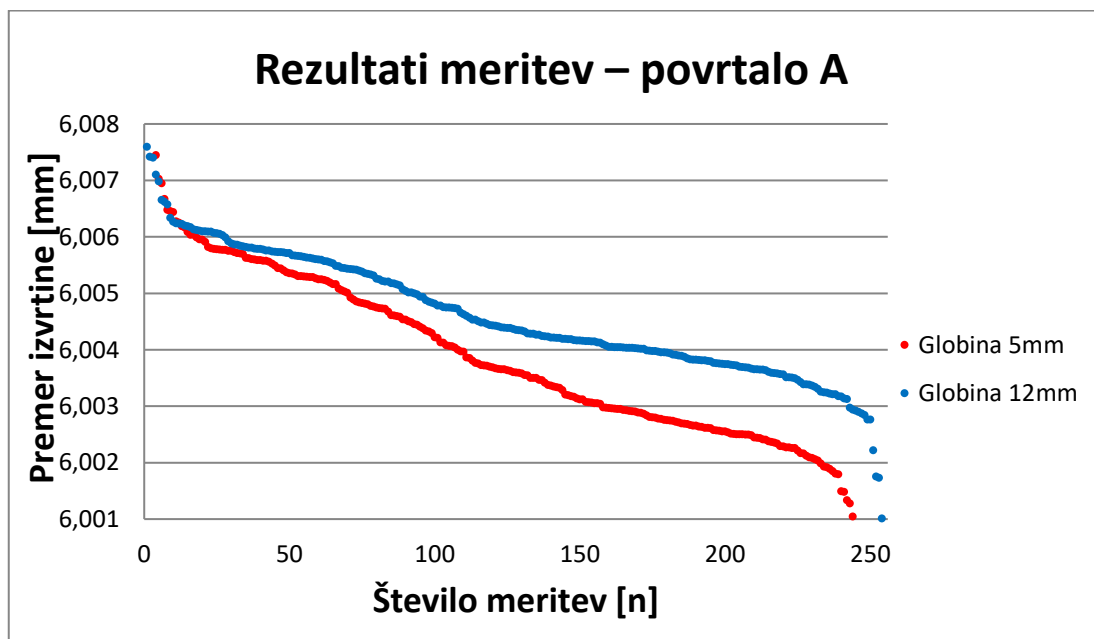
Za izhodiščne parametre smo uporabili 250 vrt/min pri 35 mm/min pomika. Po nekaj povrtanih izvrtinah smo ugotovili, da za obdelavo izvrtin uporabljamo premalo obratov in delovnega pomika. Pokazatelj tega so bile površinske poškodbe na stenah izvrtine (slika 18) in navijanje dolgih spiralnih odrezkov na orodje, ki ogrožajo življenjsko dobo orodja in površino obdelovanca.



Slika 9: Rezultat povrtavanja pri osnovnih parametrih
(Vir: lasten)

Obdelovalni proces smo zato ustavili in ponastavili parametre na 280 vrt/min pri mm/min pomika. Še vedno tvorijo poškodbe na stenah izvrtin in krajše spiralne odrezke, ki se po več ponovitvah cikla navijejo na obdelovalno orodje, zato smo se odločili za dodatno povečanje števila obratov. Pri 320 vrt/min na stenah izvrtin ne opazimo več vizualnih poškodb. Po preverjanju premera izvrtine z merilnim tipalom stroja smo prišli do ugotovitve, da so merjene izvrtine znotraj tolerančnega območja.

Po merjenju na koordinatnem merilnem stroju smo iz rezultatov naredili graf 1, ki prikazuje vedno večji razpon med izvrtinami, pomerjenimi na globinah 5 in 12 mm. Opazna je tudi stalna obraba povrtala, ki na koncu ne tvori več mersko ustreznih izvrtin. Ocenili smo, da približno 150 izvrtin mersko ustreza našim zahtevam.



Graf 1: Rezultat meritev – povrtalo A
(Vir: lasten)

Povprečen premer izvrtin na globini 5 mm znaša 6,00376 mm, na globini 12 mm pa 6,004556 mm. Te meritve so bližje spodnji meji tolerančnega območja H7, kar ni najzadovoljiveje.

Okroglost izvrtin se meri glede na odstopanje merjene točke od teoretične krožnice izvrtine in ne sme presegati 0,01 mm. V našem primeru na globini 5 mm znaša 1,9 μm , na globini 12 mm pa 2,23 μm , kar ustreza našim zahtevam. Po dodatnem merjenju koordinatnih točk izvrtin smo prišli do ugotovitve, da v povprečju odstopajo za 0,004955 mm od teoretičnih koordinat, kar ustreza našim minimalnim zahtevam.

Za dodatno potrditev ustreznosti parametrov smo v naslednjem koraku povečali število obratov na 360 vrt/min pri istem delovnem pomiku orodja. Stene izvrtin so bile vizualno brezhibne, merilno tipalo je potrdilo mersko ustreznost, pospešila pa se je obraba orodja, kar nakazuje previsoko rezilno hitrost orodja, zato smo te parametre opustili.

Povrtalo vseh testirancev obratuje na najmanjšem delovnem pomiku, zato je celoten obdelovalni čas trajal kar 4 ure in 4 minute. Druga velika pomanjkljivost je, da se z obrabo orodja skozi proces povečuje tudi koničnost izvrtin.

6.2 DOBAVITELJ B

Povrtalo je namenjeno obdelovanju skoznjih izvrtin kaljenih materialov trdote do 48 HRc. Povrtalo iz karbidne trdine s TiAlN prevleko je zasnovano s šestimi rezilnimi robovi, ki so po obodu povrtala postavljeni v zelo neenakomernih razmakih, ki dodatno zmanjšajo vibracije med obdelavo (Guhring, 2014).

Glede na to, da vsi obdelovalni stroji v podjetju ne podpirajo možnosti dovajanja emulzije skozi delovno vreteno, je bilo to povrtalo zaradi boljše prevleke in geometrije orodja favorit med tremi. Njegova velika pomanjkljivost je vpenjalni premer orodja, ki ga nakrčimo v vpenjalo. Po standardu DIN 6535 HA so standardne mere za nakrčevanje orodij 2, 3, 4, 5, 6, 8, 10, 12 mm itd. (Guhring, 2014).

V našem primeru vpenjalna mera orodja znaša 5,6 mm. To je velika slabost, saj ga moramo vpeti v vpenjalne zatezne glave, ki so v primerjavi s nakrčevalnimi konusi masivnejše in zavzamejo veliko več prostora glede na premer orodja (slika 19). Povečan premer orodja po obdelovalni osi pa pomeni manjšo dostopnost orodja do težko dostopnih mest na gravurah.



Slika 10: Primerjava velikosti Slimline (levo) in stročnice (desno)
(Vir: lasten)

Za najbolj objektivno primerjavo med orodji smo v našem primeru izbrali zatezno glavo krajšega tipa, da bi čim bolj izničili oplet orodja, večji premer zatezne matice pa dodatno poskrbi za fiksno vpetje orodja v držalu.

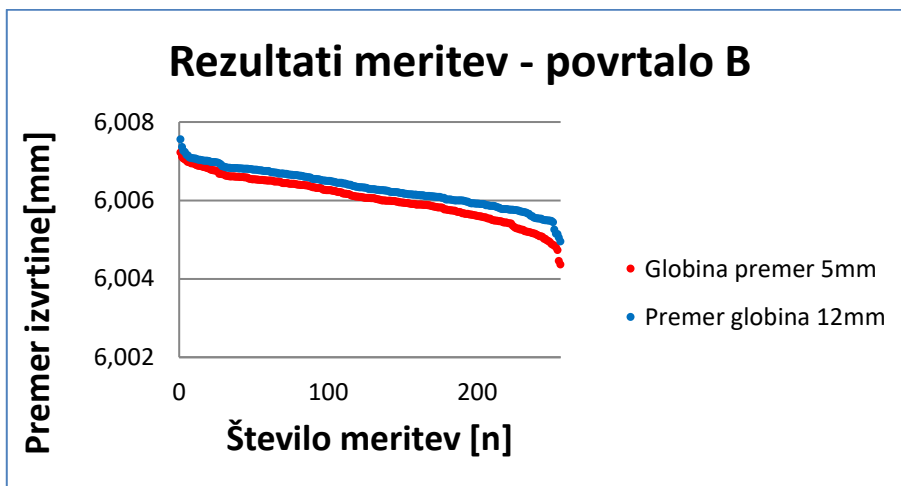
Pred obdelavo izvrtin smo se glede parametrov posvetovali z distributerjem orodij. Za povrtavanje orodnih jekel, ki imajo natezno trdnost višjo od 1400 N/mm^2 , proizvajalec priporoča rezilno hitrost 11 m/min pri pomiku $0,12 \text{ mm/U}$. Kot hladilno sredstvo je priporočena uporaba olja (Guhring, 2014).

Začeli smo povrtavanje izvrtin s parametri proizvajalca. Preračunano v podatke, ki jih uporabljamo v podjetju, parametre nastavimo na 585 vrt/min pri 71 mm/min delovnega pomika.

Med opazovanjem procesa smo kmalu opazili, da obremenitev vretena stalno narašča, zato smo proces ustavili. Po pregledu testnega kosa in orodja smo ugotovili, da se površina izvrtin z vsako povrtano izvrtino slabša. Rezilni rob povrtala je bil zelo poškodovan, preostali del pa skoraj nerabljen.

Sklepali smo, da je koncentracija emulzije v našem primeru prenizka, zato smo procesu dodali olje, ki je poskrbelo za dodatno mazanje orodja. Odločilen dejavnik za slabo povrtavanje je bila poškodovana stročnica, ki zaradi prevelike obrabe ni zagotavljala fiksnega vpetja orodja. Stročnico smo zamenjali in postopek ponovili.

Povrtalo smo po procesu pregledali in prišli do ugotovitev, da razen poškodovanega rezalnega roba na njem ni vidnih večjih napak. Kljub večjim poškodbam površin določenih izvrtin so bile vse meritve znotraj tolerančnih območij (graf 2).



Graf 2: Rezultat meritev – povrtalo B
(Vir: lasten)

Na grafu opazimo dobro razmerje vhodnih in izhodnih premerov izvrtin ter dolgo življenjsko dobo orodja. Območje delovanja orodja se po 256 izvrtinah poslabšalo zgolj za slabe 3 μm . Vsi premeri izvrtin so znotraj tolerančnega območja H7, povprečna meritev premera znaša 6,006 mm, povprečna okroglost povrtanih izvrtin pa 1,96–2,05 μm . Odmik vrtanih točk od koordinatnih v povprečju znaša 0,00566 mm. To pomeni, da so vse izvrtine znotraj tolerančnega območja in ustrezajo našim zahtevam. Povrtalo B obratuje s skoraj enkrat večjim delovnim pomikom kot povrtalo A. Čas obdelave se tako skoraj prepolovi na 2 uri in 20 minut.

Ker so dosedanji parametri na stenah izvrtin povzročali vizualne poškodbe, smo jih s povečanjem parametrov poskušali odpraviti. S povečanjem števila obratov na 800 vrt/min pri pomiku 80 mm/min smo se znebili poškodb na stenah izvrtin, negativna posledica pa je bila dodatna obraba orodja, zato smo te parametre opustili.

6.3 DOBAVITELJ C – VIŠJI CENOVNI RAZRED

Po posvetu z dobaviteljem orodij smo se v podjetju odločili za testiranje povrtal iz karbidne trdine s TiAlN prevleko s šestimi neenakomerno razporejenimi rezilnimi robovi. Povrtala omogočajo visoko hitrostno obdelavo in dovajanje emulzije skozi orodje. Dobavitelj zagotavlja toleranco znotraj polja H7 in dolgo življenjsko dobo orodja (SandvikCoromant, 2019).

Po geometriji orodja sta si orodji dobaviteljev B in C dokaj podobni. Bistvena razlika je možnost dovajanja emulzije skozi orodje, kar dobavitelja C postavi v veliko prednost pred konkurenco, saj bistveno skrajša čas obdelave. Ta je v prejšnjih primerih trajal 2–4 ure, v tem primeru za isto količino izvrtin naredimo v 8 minutah.

Po navodilih dobavitelja orodij smo najprej nastavili parametre na 6900 vrt/min pri 1700 mm/min pomika. V primerjavi z do zdaj uporabljanimi parametri v tem primeru govorimo o precej višjih parametrih obdelave, kar lahko pomeni tudi povečano občutljivost procesa. Po nastavljenih parametrih smo začeli obdelavo izvrtin. Po 25 povrtanih izvrtinah je prišlo do loma orodja (slika 20). Obdelane izvrtine so bile brez vidnih poškodb na stenah, po preverjanju merske ustreznosti z merilnim tipalom pa smo ugotovili skladnost s predpisanimi tolerancami.



*Slika 11: Lom orodja zaradi nepravilnih parametrov
(Vir: lasten)*

Med obdelavo smo opazovali obremenitev delovnega vretena, ki ni nikoli preseгла 3 % obremenitve. V primeru dobavitelja A lahko na monitorju opazujemo stalno obremenitev delovnega vretena, ki v primeru obrabe orodja postopoma narašča do kritične točke. V našem primeru nismo zaznali naraščanja obremenitve, kar pomeni, da orodje zelo hitro doseže kritično točko obrabe.

Ker je med obdelavo orodje škripalo, smo predpostavili, da obratujemo s previsokimi parametri, zato smo v drugem poskusu znižali število obratov na 6200 vrt/min pri pomiku 1500 mm/min. Orodje je med obdelavo še vedno škripalo, vendar le na vходу v izvrtino. Zopet smo opazovali obremenitev delovnega vretena, ki ni nikoli preseгла 3 %, do zadnje izvrtine, kjer se je orodje zopet zlomilo. Po nastavitvi parametrov smo povrtali 36 izvrtin, kar je glede na ceno povrtala neupravičeno.

Uporabljeni parametri očitno niso bili pravi, zato smo se zopet posvetovali z dobaviteljem orodij. Po posvetu smo prišli do ugotovitve, da je napaka v premeru predvrtane izvrtine, ki je v našem primeru znašala 5,9 mm. Proizvajalec orodij predlaga velikost predobdelane izvrtine 5,8 mm. V nasprotnem primeru povrtalo ne odrezuje dovolj materiala, kar posledično vodi do nepotrebnega segrevanja orodja.

Za zadnji test smo tako uporabili prvotne parametre dobavitelja, nov nakrčevalni konus, za hlajenje orodja pa dovajanje emulzije skozi vreteno orodja, klasično dovajanje emulzije in dodatno uporabo mazalnega olja za najbolj optimalno mazanje orodja. Izvrtine smo najprej izvrtali s svedrom premera 5,5 mm in jih nato dodatno povečali z rezkanjem na premer 5,8 mm. Postopek smo ponovili in s tem zagotovili cilindričnost obdelane izvrtine. Test smo po 28 izvrtinah prekinili zaradi ponovnega loma orodja.

Glede na rezultate ne smemo sklepati, da so povrtala slabe kakovosti, uporabljali smo namreč parametre, ki jih navaja proizvajalec orodij. Ti so orientacija za določanje pravih parametrov. Če bi uporabljali pravilne parametre, bi bil lahko rezultat bistveno drugačen. Že z delnim zmanjšanjem števila obratov in delovnega pomika smo dosegli izboljšanje življenjske dobe orodja.

Glede na oglašanje orodja med obdelavo smo predvidevali, da so parametri še vedno previsoki. Dodaten pokazatelj so bili odrezki. Kot vidimo na sliki 21, je proces obdelave tvoril dolge spiralne odrezke, ki slabo vplivajo na naš proces. Velika možnost je, da je ravno zaradi oblike odrezkov, ki so nastali med procesom povrtavanja, prišlo do loma orodja, ker niso bili ustrezno odplavljeni iz izvrtine. Dodatne teste smo zaradi neugodnih rezultatov opustili.



Slika 12: Tvorjenje odrezkov pri povrtavanju s povrtalom C
(Vir: lasten)

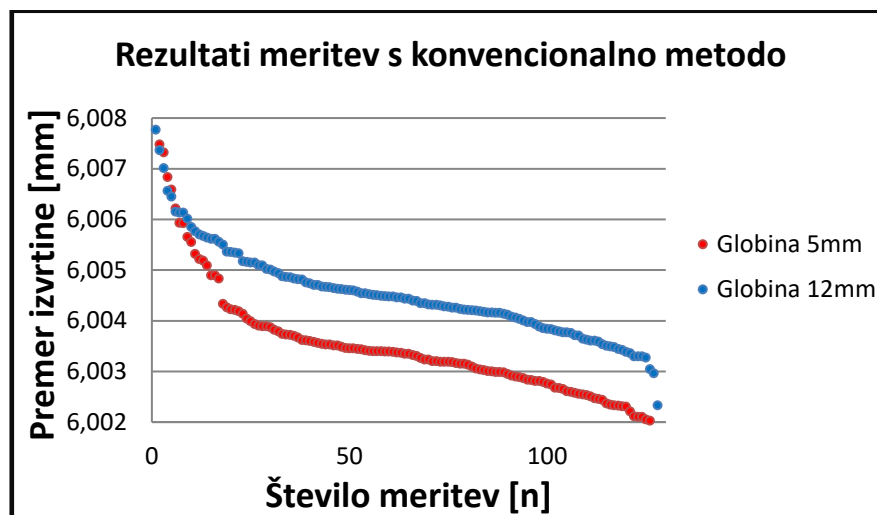
6.4 PRIMERJAVA PRED IN PO

Eden izmed ciljev je bil določitev razlike med starim načinom povrtavanja in načinom, pri katerem upoštevamo vse dejavnike, ki vplivajo na proces in jih v največji možni meri izničimo ali minimaliziramo.

Za test smo uporabili ploščo iz materiala A, saj je najmanj zahteven za obdelavo. Za polovico plošče smo uporabili nov sveder za simulacijo ustreznega rezalnega roba, ki smo ga nakrčili v ustrezen, nerabljen konus. Orodje smo izpeli na minimalno možno dolžino, s tem pa dodatno zagotovili minimalen oplet orodja. Za obdelavo smo uporabili nove parametre, za katere smo ugotovili bolj optimalno delovanje. Za drugo

polovico izvrtin smo uporabili rabljen sveder z delno poškodovanim rezalnim robom. Vpet je bil v konus starega tipa s poljubno dolžino izpetja. Za obdelavo druge polovice izvrtin smo uporabili konvencionalne parametre, ki so bili v uporabi do zdaj.

Namen testa sta bila opazovanje procesa in jasna določitev razlike med neupoštevanjem in upoštevanjem dejavnikov za obdelavo. Vsaki izvrtini smo pomerili premer, okroglost izvrtine in koordinatno točnost na dve globinah (5 in 12 mm).



Graf 3: Rezultati meritev s konvencionalno metodo
(Vir: lasten)

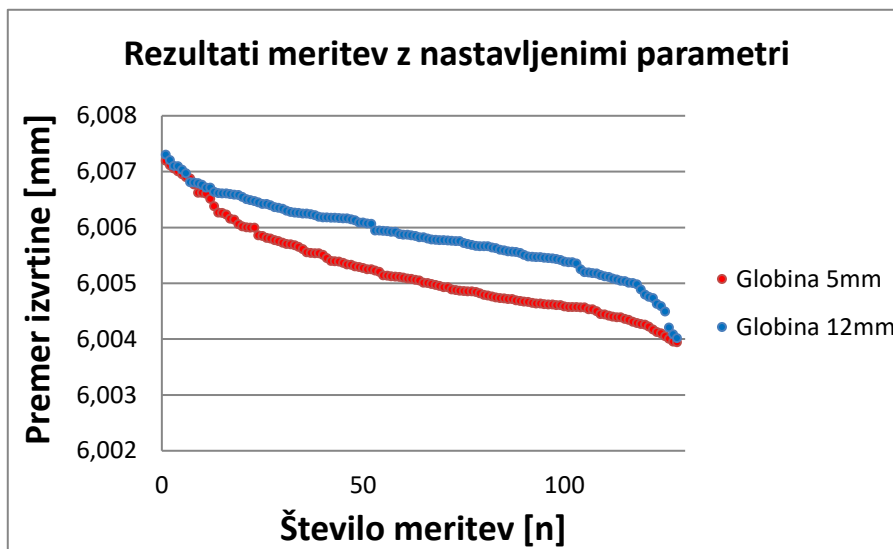
Na grafu 3 lahko opazimo dokaj hitro obrabo orodja, saj že v nizu 128 povrtanih izvrtin izgubimo 6 μ m premera izvrtine. Merjene izvrtine so sicer še znotraj tolerančnega območja, nadaljevanje povrtavanja na ta način pa bi lahko privedlo do merske neustreznosti izvrtin, slabe površine povrtanih izvrtin ali loma orodja. Razberemo lahko tudi koničnost posameznih izvrtin, saj je povprečna meritev premera na globini 5 mm znašala 6,003514 mm, na globini 12 mm pa 6,004517 mm. Premeri izvrtin so na globljih predelih izvrtine večji zaradi prenehanja odrezovanja povrtala. Ker je povrtalo vodeno orodje, se mu z izhodom iz izvrtine zmanjša vodeni del, kar posledično poveča oplet orodja, rezultat pa je večja izvrtina, ki je v našem primeru zanemarljiva.

Tipična koničnost povrtanih izvrtin, kjer je začetni premer večji od izhodnega, je pokazatelj slabe predobdelave izvrtin, obrabljenosti povrtala ali poškodbe strojnih elementov na stroju.

Na površini izvrtin lahko opazimo poškodbe (praske), kar dodatno potrjuje ugotovitev obrabe orodja, hkrati pa lahko predpostavimo prenizko rezalno hitrost, ki je

pripomogla k hitrejši obrabi orodja. Pospešena obraba je privedla do večjega razpona merjenih premerov, ki so bili med procesom povrtani.

Na grafu 4 je opazen manjši razpon merjenih premerov. Tolerančno območje se zdaj giblje znotraj 3 μm , obraba povrtala pa se večja enakomerneje kot v prejšnjem primeru. Na površini izvrtin lahko opazimo manjše praske, ki so izrazitejše proti koncu obdelovalnega cikla.



Graf 4: Rezultati meritev z nastavljenimi parametri
(Vir: lasten)

Samo z nastavitvijo parametrov in upoštevanjem napotkov za kakovostno obdelavo izvrtin smo pridobili mersko enotnejše izvrtine, lepše površine in daljšo življenjsko dobo orodja. Okroglost izvrtin v obeh primerih znaša okoli 2,5 μm , večja odstopanja pa opazimo pri njihovi koordinatni točnosti.

H kakovosti izvrtin sodi tudi njihova koordinatna točnost, zato smo opravili meritve njihove oddaljenosti od predpisanih koordinatnih točk. Merjen odklik koordinatne točke v primeru vrtnja z dobrim svedrom znaša okoli 0,0177 mm. V primeru vrtnja s slabim svedrom pa odstopanje znaša okoli 0,025 mm, kar pomeni, da nekatere naše izvrtine niso več znotraj zahtevanega tolerančnega območja.

6.5 CENOVNA PRIMERJAVA

Čeprav sta najpomembnejša dejavnika pri izbiri povrtal življenjska doba in kakovost obdelanih izvrtin, veliko vlogo igra tudi cena orodij. V ta namen smo izdelali preprosto primerjavo, kjer smo želeli določiti ekonomičnost posameznih povrtal.

V izračunih smo upoštevali povprečno urno postavko za strojno uro v podjetju, ki znaša okrog 50 EUR. Če predpostavimo, da so vsa tri povrtala uspešno prestala obdelovalni proces, lahko po preračunu opazimo, da cenovno ugodno povrtalo A zaradi najdaljše obdelave ustvari skoraj iste stroške obdelave kakor dražje povrtalo B. Stroški glede na ceno povrtala in čas obdelovanja so najnižji pri povrtalu C po zaslugi izjemno hitre obdelave.

Čas obdelave na našem področju dela ni poglobitnega pomena. Pomembno je, da je povrtana izvrtina mersko ustrezna in ustreza minimalnim zahtevam. Tako se izognemo nezaželenim popravilom in reklamacijam, ki povzročijo veliko časovnih zastojev in nepotrebnih stroškov. Najpomembnejši podatek je v našem primeru število ustreznih izvrtin, ki jih povrtalo lahko doseže, zato smo pri primerjavi upoštevali podatke za kakovostno obdelane izvrtine.

POVRTALO	CENA POVRTALA [EUR]	USTREZNE IZVRTINE	ČAS OBDELAVE [h]	STROŠKI OBDELAVE [EUR]	STROŠEK IZVRTINE [EUR]
A	41,31	150	2,34	158,31	1,05
B	123,85	256	2,33	240,35	0,94
C	167	30	0,0156	167,78	5,59

Tabela 3: Cenovna primerjava povrtal
(Vir: lasten)

V tabeli 3 je razvidno, da povrtalo B v istem času povrta 106 izvrtin več kot povrtalo A. Povrtalo C kljub visoki ceni orodja obdrži minimalne stroške obdelave zaradi hitrih delovnih pomikov. Zaradi loma orodja že po 30 izvrtinah tako strošek na izvrtino v primeru povrtala C narase kar na 5,59 EUR. Stroški na izvrtino so si podobni, če primerjamo povrtali A in B, vendar je povrtalo B v tem primeru še vedno v prednosti zaradi daljše življenjske dobe orodja in več kakovostnih povrtanih izvrtin.

Pomembno je, da za slabe rezultate ni kriva kakovost povrtala, ampak nenastavljeni parametri. Povrtalo obratuje pri bistveno višjih rezalnih hitrostih in delovnih pomikih, kar posledično pomeni tudi večje rezalne sile in predvsem manjši časovni okvir za ugotavljanje napak. V primerjavi s povrtalom A, kjer smo imeli za opazovanje delovnega procesa 4 ure časa, je minuta obdelovanja pred lomom orodja v primeru povrtala C občutno manjši časovni okvir za opazovanje procesa.

6.6 UGOTOVITVE

Povrtalo A je kakovostno povrtalo dober del tesnih izvrtin v daljšem časovnem obdobju. Prednost TiN prevleke, s katero je povrtalo prevlečeno, je, da zaradi zlate

barve že s prostim očesom zelo hitro opazimo obrabo orodja in ga tako pravočasno odstranimo iz obdelovalnega procesa. Kljub nizki nabavni ceni povrtala in sorazmerno dobremu uspehu pri proizvodnji kakovostnih izvrtin je njegova najslabša lastnost zelo dolg čas obdelave. Kljub temu lahko konkurira povrtalom srednjega cenovnega razreda.

Povrtalo B se je zaradi dolge življenjske dobe in veliko kakovostnih izvrtin izkazalo za najboljše razmerje med časom, kakovostjo in ceno. Če ne upoštevamo slabše površine izvrtin, tvori mersko ustrezne izvrtine skozi ves proces obdelave. Njegova največja slabost je vpenjanje v sistem stročnic, kar pomeni, da je orodje neprimerno za obdelavo izvrtin na težko dostopnih mestih na obdelovancih. Upoštevati je treba, da parametri, pod katerimi je povrtalo obratovalo, niso bili optimalno nastavljeni glede na material obdelovanca. Ta podatek je zelo pomemben, saj bi z nastavitvijo parametrov podaljšali življenjsko dobo orodja, s tem pa še dodatno zmanjšali strošek na povrtano izvrtino.

Povrtalo C zaradi posebne geometrije in možnosti dovajanja emulzije skozi orodje obratuje pod bistveno višjimi parametri kot povrtala A in B, zato je strošek obdelave lahko v primeru delovanja povrtala bistveno nižji. Če bi povrtalo na testih kakovostno povrtalo vseh 256 izvrtin, bi cena na izvrtino znašala zgolj 0,03 EUR. Zaradi loma orodja pri vseh poskusih smo testiranje povrtal C opustili.

Za naše potrebe je ena izmed največjih pomanjklivosti povrtala ravno njegova najboljša lastnost. To je hitrost. Nemalokrat na obdelovancih obdelujemo izvrtine na težko dostopnih mestih, ki so zaradi oblike obdelovancev mnogokrat očem skrite. V primeru povrtala A čas obdelave ene izvrtine znaša 0,94 minute. V tem času lahko opazujemo orodje in v primeru potencialnega naslona delovnega vretena proces pravočasno ustavimo ter s tem preprečimo poškodbo strojnih elementov. V primeru povrtala C čas obdelave ene izvrtine znaša približno 0,03 sekunde pri 1700 mm/min delovnega pomika. Poškodba stroja je v primeru povrtavanja nedostopne izvrtine skoraj neizbežna.

Povrtalo C bi bilo ustrežnejše za serijsko obdelavo izvrtin, kjer lahko proces nastavimo in ga ponavljamo. V našem primeru, kjer se oblika obdelovancev in obdelovani materiali dnevno spreminjajo, v proces uvedemo veliko spremenljivk, ki lahko privedejo do istega rezultata kot na testih loma orodja.

Med testiranjem smo preverili tudi trditev sodelavca, ki je pripomnil, da povrtalo ob prehitrem izhodu iz povrtane izvrtine občasno na stenah pusti spiralne zareze po celi globini izvrtine.

Ko povrtalo na globini izstopi iz izvrtine na spodnji strani, se mu postopoma zmanjša učinek odrezovanja materiala, zato na nižjih predelih opazimo rahlo večji premer

izvrtine kot na višjih predelih. Povrtalo takoj po prenehanju odrezavanja preide v izstop iz izvrtine s povratnim hitrim hodom. Ker orodje v točki odpoklica še vedno odrezuje material, se na povratnem hodu iz izvrtine ustvarijo spiralne praske, ki so posledica rahlega opleta orodja ob izhodu iz izvrtine. Problem lahko rešimo bodisi z zmanjšanjem povratnega hoda iz izvrtine ali z določitvijo časa, ki naj ga povrtalo prestane na končni globini izvrtine.

Praske so bile opazne samo v določenih primerih izvrtin, povrtanih s povrtalom A, kjer praske pridejo do izraza zaradi velike razlike med rezalno hitrostjo in povratnim pomikom orodja. V primeru povrtavanja s povrtalom B spiralne praske kljub visokim povratnim pomikom niso bile več opazne.

Povrtalo je vodeno orodje, zato ne more vplivati na koordinatno točnost izvrtine. Za kakovosten rezultat je potrebna ustrezno predvrtana izvrtina. Za mersko ustreznost je pomembna pravilna uporaba parametrov in mazilnega sredstva, ki zmanjša trenje med orodjem in obdelovancem ter hkrati podaljša življenjsko dobo orodja. Povrtalo s poškodovanim rezalnim robom je treba takoj odstraniti iz procesa obdelovanja, saj lahko tvori izvrtine, ki bodo zaradi odstopanja od zahtev in tolerančnih mer lahko reklamirane.

7 POENOTENJE SISTEMA

Vsak operater je za vrtanje ali povrtavanje uporabljal svoje parametre, pridobljene bodisi od sodelavcev ali iz lastnih izkušenj. Izbrani parametri so bili vedno enaki ne glede na obdelovan material. Med seboj so si različni tudi obdelovalni stroji in vpenjalne tehnike orodij, kar privede do veliko spremenljivk, ki vsaka posamezno vplivajo na obdelovalni proces.

Na podlagi ugotovitev iz testiranj smo ugotovili, da zaradi specifičnih lastnosti vsakega materiala ne moremo posploševati načinov obdelav in parametrov, s katerimi obdelujemo, zato smo sistem poenotili in pri tem upoštevali vse nove ugotovitve, ki so privedle do boljšega procesa odrezavanja.

7.1 KNJIŽNICA ORODIJ

Knjižnica orodij je sestavljena iz vseh podatkov, ki so potrebni za jasno določen proces vrtanja ali povrtavanja. V njej najdemo podatke, kot so interna koda skladišča orodja, ki je potrebna za identifikacijo orodja znotraj podjetja, dolžina izpetja orodja iz nakrčevalnega konusa in priporočena globina vrtanja ali povrtavanja za vsak sveder posebej. Vpisane so priporočena koncentracija emulzije in razlike v parametrih glede na vse obdelovane materiale.

Knjižnica je sestavljena z namenom, da lahko operater ob pridobitvi koordinat izvrtin iz tabele razbere ustrezne parametre za material obdelovanca, jih ročno vstavi v svoj program in začne vrtati. Knjižnica opisuje vse dejavnike, ki so potrebni za najučinkovitejše vrtanje ali povrtavanje.

7.2 SISTEM HRAMBE ORODIJ

Eden izmed dejavnikov, ki vplivajo na življenjsko dobo orodja, je tudi njihova hramba. Ta je bila do zdaj neustrezna, saj je način shranjevanja slabo vplival na življenjsko dobo orodja, zaradi nepreglednosti sistema pa sta bila ločevanje velikosti orodij in njihova ustreznost za nadaljnjo obdelavo precej otežena. Kot vidimo na sliki 22, so se v istem predalu nahajali vsi svedri in vsa povrtala. Med večkratnim odpiranjem in zapiranjem predalov med orodji prihaja do manjših trkov, ki lahko vodijo do poškodbe orodja. Slaba orodja se nahajajo v istem predalu kot dobra, kar privede do vnovičnega pregledovanja orodij vsakič, ko želimo iz predala vzeti drugo orodje.



*Slika 13: Neustrezna hramba orodij
(Vir: lasten)*

Sistem je bilo treba obnoviti, saj je slabo vplival na življenjsko dobo orodij, zaradi nepreglednosti pa tudi na kakovost izvrtin in efektivni delovni čas delavca.

Ker so vpenjalni konusi, ki jih uporabljamo v podjetju, iz dveh delov, lahko imamo svedre in povrtala, ki so večkrat v uporabi, vedno nakrčene na zgornjem sestavnem delu konusa, spodnji del konusa pa lahko še vedno uporabljamo za druga orodja. Tako smo se odločili, da določimo mesto v omari z orodji, ki bo namenjeno samo povrtalom in svedrom. Ena orodna omara je za dva do tri stroje, s čimer dosežemo bolj lokalno uporabo orodij. V praksi lahko opazimo, da lokalna uporaba orodij zagotavlja višjo raven kontrole, discipline in kakovosti, kot če sistem posplošimo.



*Slika 14: Ustrezna hramba orodij
(Vir: lasten)*

Kot je razvidno na sliki 23, smo v omari z orodji namenili prostor svedrom in povrtalom, ki so najpogostejše v uporabi. V omari se nahaja tabela s slikami, kjer operater lahko preveri ustreznost orodja za nadaljnjo obdelavo in ga zamenja, če je to potrebno. Dolžnost vsakega operaterja je, da rabljeno orodje, ki ne ustreza minimalnim zahtevam kakovosti, umakne iz obdelave. Neustrezna orodja se odvrže v poseben predal, ki se v intervalih izprazni, zbrana orodja pa se napoti na obnovev rezalnega roba.

8 PROGRAMSKA OPREMA

Kot smo omenili, tehnologi v podjetju s pomočjo opreme CAM določijo koordinatna mesta izvrtin, operater jih ročno vnese v svoj program, popravi določene parametre in začne vrtati.

Večinoma vsi naši obdelovalni centri delajo s krmilniki Heidenhain iTNC530 ali iTNC640, starejše različice pa se počasi umikajo iz proizvodnje. Krmilnika iTNC530 in iTNC640 se med seboj razlikujeta le v malenkostih, kot so grafike na zaslonu, dodatne funkcije pri ciklih za programiranje in dodatne funkcije za upravljanje krmilnika.

Če pogledamo sestavo programa, ni skoraj nobene razlike med obema krmilnikoma. Na sliki 24 vidimo osnovno sestavo programa za povrtavanje izvrtin. Vsi programi za

obdelavo so si po strukturi zelo podobni, razlikujejo se le v definicijah obdelovalnih ciklov.

0 BEGIN PGM TEST-SISTEM-AUTOSPEED MM	
1 BLKFORM 0.1 Z X-125 Y-125 Z-30	Definicija delovnega območja
2 BLKFORM 0.2 X+125 Y+125 Z+0	
3 WMAT "1.2343"	Definicija materiala obdelovanca
4 TOOL CALL 74 Z S250 F50	Definicija orodja in parametrov
5 L Z+50 R0 FMAX M3	Spust k obdelovancu in vklop obratov vretena
6 CYCL DEF 201 REIBEN ~	Obdelovalni cikel
Q200=+2 ;SICHERHEITS-ABST. ~	
Q201=-20 ;TIEFE ~	
Q206= AUTO ;VORSCHUB TIEFENZ. ~	
Q211=+0 ;VERWEILZEIT UNTEN ~	
Q208=+300 ;VORSCHUB RUECKZUG ~	
Q203=+0 ;KOOR. OBERFLAECHE ~	
Q204= PREDEF ;2. SICHERHEITS-ABST.	
7 CYCL CALL POS X-50 Y-50 Z+0 FMAX	Koordinate točk obdelave
8 CYCL CALL POS X-50 Y+50 Z+0 FMAX	
9 CYCL CALL POS X+0 Y+0 Z+0 FMAX	
10 L Z+200 R0 FMAX M30	Odmik od obdelovanca in konec programa
11 END PGM TEST-SISTEM-AUTOSPEED MM	

*Slika 15: Sestava osnovnega programa
(Vir: lasten)*

Definicija delovnega območja predstavlja naše geberitne mere obdelovanca. Vnos vrednosti ni potreben za delovanje programa, ampak za grafični prikaz izvajane obdelave.

Vnos materiala obdelovanca je potreben samo, kadar uporabljamo funkcijo AFC, ki samodejno prilagaja parametre glede na material obdelovanca. Če te funkcije ne uporabljamo, lahko niz WMAT preskočimo.

V naslednjem nizu definiramo obdelovalno orodje. Navedemo položaj v skladišču orodij, v našem primeru je to število 74, kar pomeni, da se naše orodje nahaja na položaju 74. Naslednji ukaz definira os orodja. V našem primeru je delovno vreteno postavljeno na navpični osi, zato je naša orodna os os »Z«.

Zdaj definiramo le še obdelovalne parametre – obrate delovnega vretena (S) in delovni pomik orodja (F). Orodje je definirano in v naslednjem nizu se lahko premakne na varno višino nad obdelovancem, kjer vklopimo obrate delovnega vretena.

Krmilnik pozna veliko obdelovalnih ciklov z različnimi načini obdelave. Cikel 200 je namenjen klasičnemu vrtanju, cikel 201 povrtavanju, cikel 207 vrezovanju navojev, cikel 25 profilnemu rezkanje kontur itd. Vsi Heidenhainovi krmilniki z grafičnim prikazom posameznih parametrov bistveno pripomorejo k lažjemu razumevanju posameznih ciklov. Vsi cikli so sestavljeni na isti način. Predstavljamo si jih lahko kot delovne mape, ki vsebujejo ukaze za obdelavo. Te ukaze definiramo s Q-funkcijami.

Nekatere Q-funkcije so v vseh ciklih enake, na primer Q200, ki določa višino nad koordinato obdelave, do katere se orodje približa s hitrim hodom. Od te točke naprej se orodje premika z delovnim pomikom, določenim s Q206, ki je lahko številске vrednosti ali, kot v našem primeru, AUTO, kar pomeni, da prevzemamo delovni pomik, ki je bil določen že v nizu klica orodja. Funkcija Q203 opredeli začetek izvrtine po Z-osi, s Q201 pa določimo inkrementalno razdaljo po Z-osi od funkcije Q203. S funkcijo Q211 določimo čas obstanka povrtala na končni globini in s Q208 povratni pomik iz izvrtine nazaj do parametra Q200.

Naslednji korak je definicija koordinatnih točk, na katerih bomo opravljali operacije. Z vnosom točk treh osi (X, Y, Z) natančno določimo koordinato obdelovalnega polja. Za vsako vneseno koordinato krmilnik na njej izvede določen cikel. V našem primeru smo povrtali tri izvrtine na različnih položajih. Ko stroj obdela vse tri točke, se s hitrim pomikom dvigne na varno višino, krmilnik pa prek funkcije M30 zaustavi program.

Opisali smo osnovno strukturo vsakega programa. Vsak operater vanjo naknadno vnaša obdelovalne cikle, popravlja parametre, določa koordinatne točke ali piše konture za profilno rezkanje. Vsak uporablja svoje parametre, premika vrstni red ukazov, ima svojo taktiko pisanja programov, kar pomeni, da je vsak program personaliziran. Za boljšo sledljivost procesov in enotnost parametrov je bilo treba uvesti avtomatiziran in celovit način obdelovanja izvrtin, ki zahteva le minimalne popravke.

8.1 SAMODEJNA KALKULACIJA NA KRMILNIKIH iTNC530

Krmilniki iTNC 530 imajo možnost samodejnega podajanja rezalnih parametrov. S točno določitvijo orodja v orodni tabeli in obdelovanega materiala krmilnik na podlagi podanih parametrov samodejno izračuna število obratov vretena in poda delovni pomik orodja. Datoteke za urejanje parametrov se že nahajajo na vseh krmilnikih tega tipa, treba jih je le urediti in vanje vnesti podatke, ki so aktualni za naš obdelovalni proces.

Za samodejno podajanje parametrov moramo najprej urediti datoteko WMAT (slika 25). Vanjo lahko vnesemo vse obdelovane materiale, od tipičnih do tistih, ki so redko v uporabi. V prvi stolpec vnesemo želena imena materialov, drugi stolpec je dodatno pojasnilo materialu. Namen tega je, da v prvi stolpec vnesemo okrajšavo za material, v drugega pa polno ime. Tako se izognemo odvečnemu tipkanju vsakič, ko želimo v program vstaviti zelen material.

```

Datei: WMAT-TEST-RAJB.TAB
NR      NAME      DOC
0        STEEL      1.2343
1        OCR        1.2675
2        AL220      220
[END]

```

Slika 16: Definicija materialov v tabeli WMAT
(Vir: lasten)

Naslednji korak je ureditev tabele orodij TMAT (slika 26), v kateri imamo zabeležena vsa uporabljena obdelovalna orodja. Vanjo vnesemo tipe uporabljenih orodij in jih razdelimo na logične skupine. Tabela je podobna kot tabela WMAT. V prvi stolpec vnesemo ime orodja, v drugega pa bodisi njegovo polno specifikacijo, prevleko orodja ali material orodja.

```

Datei: TMAT-TEST-RAJB.TAB
NR      NAME      DOC
0        REAM-6      TiAlN
1        REAM-8      TiAlN
2        REAM-10     TiAlN
3        REAM-12     TiAlN
[END]

```

Slika 17: Definicija materialov orodja
(Vir: lasten)

V obeh tabelah je pomemben prvi stolpec, saj se navezuje na nadaljnje programiranje, drugi stolpec je osebna referenca. Urejeni tabeli WMAT in TMAT sta pogoj za delovanje datoteke FRAES_2.CDT, kjer najdemo vse podatke, potrebne za obdelavo, kot vidimo na sliki 27.

Datei: FRAES-TEST.CDT				
NR	WMAT	TMAT	Vc1	F1
0	STEEL	REAM-6	11	0.12
1	STEEL	REAM-8	11	0.16
2	STEEL	REAM-10	11	0.2
3	STEEL	REAM-12	11	0.2
4	OCR	REAM-6	9	0.12
5	OCR	REAM-8	9	0.16
6	OCR	REAM-10	9	0.2
7	OCR	REAM-12	9	0.2
8	AL220	REAM-6	30	0.16
9	AL220	REAM-8	30	0.2
10	AL220	REAM-10	30	0.25
11	AL220	REAM-12	30	0.25
END				

Slika 18: Tabela za določitev parametrov posameznim orodjem
(Vir: lasten)

Stolpec WMAT predstavlja material obdelovanca. Vanj vnesemo vse materiale obdelovancev, s katerimi obdelujemo. Za vsak material obdelovanca nato vnesemo še material obdelovalnega orodja v stolpec TMAT. Če želimo imeti v isti tabeli parametre za vrtnanje in povrtavanje, lahko v stolpec TMAT vnesemo poljubni imeni, ki natančno določata obdelovalno orodje, in za vsak material obdelovanca pripišemo samo tista orodja, s katerimi ga obdelujemo. Preostaneta le še vnos parametrov v stolpca Vc1 (rezilna hitrost) in F1 (pomik na obrat orodja). Parametri se spreminjajo glede na tip, premer, sestavo in material orodja, zato elemente razvrstimo v logične skupine.

V tabelo orodij (slika 28) zdaj vnesemo podatke, ki so pomembni za definiranje orodja. Poleg osnovnih podatkov, kot so ime, dolžina in premer orodja, moramo za delovanje samodejne kalkulacije popraviti še poglavja TMAT, kjer določimo, ali je vpeto povrtalo ali sveder. Poglavje krmilniku CDT poda povezavo do mape FRAES_2.CDT, kjer smo predhodno določili obdelovalne parametre in poglavje TYP. V poglavju TYP izbiramo med tipi orodij, ki jih poda krmilnik. Slednji drugače preračunava parametre za rezkarje, kjer je treba v tabelo orodij vnesti še število zob orodja, ali za svedre in povrtala, kjer so za preračun parametrov dovolj le podatki iz tabele FRAES_2.CDT. Razumeti je treba, da poglavji TYP in TMAT ne predstavljata istega parametra. Poglavje TYP definira enačbo, po kateri krmilnik preračuna število obratov in pomik orodja, poglavje TMAT pa izbiro parametrov, ki smo jih podali v tabeli FRAES_2.CDT.

T	NAME	L	R	DL	TYP	TMAT	CDT
73	A-10R0.5	+163.544	+5	+0			
74	POVRTALO-12	+161.81	+6	+0	REAM	REAM-12	FRAES-TEST

Slika 19: Pomembni nizi v tabeli orodij za delovanje sistema
(Vir: lasten)

V načinu ročnega pisanja programa pred nizom TOOL CALL s posebno funkcijsko tipko WMAT definiramo material obdelovanca. V nizu TOOL CALL krmilnik nato samodejno vnese potrebne parametre za obdelavo.

Sistem je zelo priročen in uporaben predvsem za serijsko obdelavo kosov, ali če imamo na voljo več prostih mest v skladišču orodij. Orodja, ki jih redno uporabljamo in jih iz skladišča ne odstranjujemo, so za ta sistem priporočljiva, za vsakodnevno uporabo pa je treba vpisati preveč podatkov v tabelo orodij, kar bi lahko povzročilo zmedo podatkov in potencialne kolizije stroja. Določena mesta v skladišču tudi večkrat na dan zamenjajo orodje, vsakemu orodju pa pripada toliko podatkov, da bi jih operater zelo hitro lahko pomešal. Sistem zaradi varnostnih razlogov in načina dela v naši orodjarni tako ni priporočljiv za vsakodnevno uporabo.

8.2 SAMODEJNA KALKULACIJA NA KRMILNIKIH iTNC640

Krmilniki tipa iTNC640 ne podpirajo funkcije samodejnega izračuna parametrov, ponujajo pa možnost kalkulatorja parametrov. Krmilnik samodejno pretvori rezilno hitrost v vrtljaje delovnega vretena in pomik na obrat orodja v delovni pomik glede na vstavljeno vrednost. Funkcija ni namenjena ročnemu nastavljanju parametrov, ampak preračunavanju iz ene veličine v drugo, kar v praksi operaterju le redko koristi. Na sliki 29 opazimo, da je samodejni kalkulator parametrov pravzaprav digitalna oblika enačbe za pretvorbo obdelovalnih parametrov.

The image shows a software window titled "Računalo podatkov o reza...". It contains two main sections: "Polmer orodja?" and "Pomik:".

Polmer orodja?

- St. vrt.: []
- R: [0.000] mm
- VC: [0.000] m/min
- S: [0.000] vrt/min

Pomik:

- S: [0.000] vrt/min
- Z: [1]
- FZ: [0.000] mm/zob
- FU: [0.000] mm/vrt
- F: [0.000] mm/min

At the bottom, it displays: "Orodje: 112: R = 8 mm" and "St. vrt.: S = 2000 vrt/min".

Slika 20: Kalkulator za pretvarjanje rezalnih parametrov
(Vir: lasten)

8.3 SESTAVA UNIVERZALNEGA PROGRAMA

Ker krmilnik tipa iTNC640 ne podpira več samodejnega sistema podajanja parametrov s pomočjo tabel, iTNC530 pa od operaterja zahteva preveč podatkov, je bilo treba sestaviti program, ki je preprost za uporabo, razumljiv in uporaben na vseh krmilnikih. Program smo tako sestavili iz dveh delov. V prvi del operater vnese

podatke, potrebne za obdelavo, drugi del pa skrbi za samodejno podajanje parametrov obdelovalnemu orodju.

Kot vidimo na sliki 30, je prvi del programa namenjen vstavljanju osnovnih podatkov, ki so potrebni za delovanje programa. Premer orodja navedemo s polnim številom, brez decimalk. Za določevanje parametrov je v praksi dovolj, če upoštevamo zapis premera na milimeter. Premer orodja 11,5 mm tako zaokrožimo na 12 mm.

V polje za vstavljanje koordinat vstavimo vse obdelovalne koordinate. Vsaka koordinata je opredeljena po X-, Y- in Z-osi. Pomembno je, da zabeležimo najnižjo definirano število po Z-osi. V našem primeru je to število –61,3, ki ga vnesemo v polje Najnižja koordinata začetka vrtanja. Polje je obvezno, saj prepreči nastanek kolizije med orodjem in obdelovancem.

```
0 BEGIN PGM AUTO-SPEED-FEED MM
1 FN 0: QL29 =+74 ;POZICIJA ORODJA V MAGAZINU
2 FN 0: QL30 =+12 ;PREMER ORODJA (POLNA MERA)
3 FN 0: QL31 =-61.3 ;NAJNIZJA KOORDINATA ZACETKA VRTANJA
4 ;;;;;;;;;;NE SPREMINJAJ;;;;;;;;;;
7 FN 1: QL32 =-QL31 + +10 ;VARNA VISINA
8 FN 12: IF +QL32 LT +0 GOTO LBL 64 ;VARNOSTNI STAVEK ZA VISINO
9 TOOL CALL QL29 Z
10 ;===== KONTROLA ORODJA =====
11 FN 18: SYSREAD QL33 = ID50 NR2 ;R orodja v tabeli
12 FN 3: QL34 =+QL33 * +2
13 FN 10: IF +QL34 NE +QL30 GOTO LBL 64
14 FN 9: IF +QL30 EQU +4 GOTO LBL 1
15 FN 9: IF +QL30 EQU +6 GOTO LBL 2
16 FN 9: IF +QL30 EQU +8 GOTO LBL 3
17 FN 9: IF +QL30 EQU +10 GOTO LBL 4
18 FN 9: IF +QL30 EQU +12 GOTO LBL 5
19 ;;;;;;;;;;NE SPREMINJAJ;;;;;;;;;;
20 ;
21 LBL 62 ;VSTAVI KOORDINATE IZ CAM
22 CYCL CALL POS X+20 Y+20 Z-61.3 FMAX
23 CYCL CALL POS X+84.56 Y+39.92 Z-61.3 FMAX
24 CYCL CALL POS X+42.43 Y-83.26 Z-61.3 FMAX
25 CYCL CALL POS X-24.13 Y-90.29 Z-61.3 FMAX
26 LBL 0
```

Slika 21: Sestava programa za samodejno dovajanje parametrov
(Vir: lasten)

V delu, ki ga ne spreminjamo, s pomočjo Q-funkcij in logičnih enačb, ustvarimo varnostne in operativne stavke, s katerimi definiramo obdelavo. Vnesena najnižja koordinata vrtanja se s pomočjo logične enačbe pretvori v pozitivno vrednost, ki ji dodatno prištejemo število 10. Krmilnik namreč za varno višino samodejno uporablja

število 50, kar pomeni, da se po vsaki opravljeni operaciji orodje dvigne za 50 mm in s hitrim pomikom premakne nad drugo točko.

Ker so začetne točke naših izvrtin na globinah –61,3 mm, bi se v običajnem primeru orodje dvignilo na globino –11,3 mm, kar lahko privede do kolizije orodja.

Če pravilno vnesemo vse koordinate po Z-osi, bo v našem primeru krmilnik vedno dvignil orodje 10 mm nad obdelovanec, s čimer se izognemo koliziji. Če se v zahtevana polja vnese napačno število in je seštevek obeh števil negativen, nas krmilnik opozori na neustreznost parametrov in samodejno ustavi nadaljnjo obdelavo.

Drugi varnostni stavek iz tabele orodja razbere vnesen polmer orodja in ga pretvori v premer. Če se preračunan premer ne ujema z vnesenim premerom pod funkcijo QL30, se program zopet samodejno zaustavi.

Po podanih parametrih in pod pogojem, da nobeden od varnostnih stavkov ni bil sprožen, krmilnik samodejno preusmeri potek programa na določeno področje glede na vnesen premer orodja.

V drugem delu programa (slika 31) se krmilnik samodejno preusmeri na področje, ki ga potrebuje za nadaljnjo obdelavo. V našem primeru najdemo pod LBL5 poglavje za obdelavo premera izvrtin 12 mm. Sestava tega podprograma je zelo podobna sestavi osnovnega, ki smo ga preiskali v prejšnjem podpoglavju. Orodje v nizu TOOL CALL kličemo prek Q-funkcije, podane v prvem delu programa, obrate orodja in delovni pomik pa podamo vnaprej glede na premer obdelovalnega orodja. Podprogram nato pokliče način obdelave, ki je prilagojen specifičnemu orodju, pokliče koordinate, na katerih se izvede obdelovalni cikel, in po koncu obdelave samodejno kliče konec programa.


```

28 .....;NE SPREMINJAJ;.....
29 LBL 2 ;POVRTAVANJE FI6
30 TOOL CALL QL29 Z S250 F35
40 L X+0 Y+0 R0 FMAX M3 M25
50 CYCL DEF 201 REIBEN ~
60 CALL LBL 62 ;KOORDINATE
61 CALL LBL 63 ;KONEC
62 LBL 0

63 .....
64 LBL 5 ;POVRTAVANJE FI12
65 TOOL CALL QL29 Z S180 F35
66 L X+0 Y+0 R0 FMAX M3 M25
67 CYCL DEF 201 REIBEN ~
68 CALL LBL 62 ;KOORDINATE
69 CALL LBL 63 ;KONEC
70 LBL 0

71 .....
72 LBL 63 ;KONEC
73 CALL PGM TNC:\MC2.H
74 M30
75 LBL 0

76 .....
77 LBL 64 .....;NAPAKA;.....
78 .....;PREVERI PARAMETRE;.....
79 CYCL DEF 9.0 VERWEILZEIT
80 CYCL DEF 9.1 V.ZEIT20
81 FN 14: ERROR= 1097
82 M30
83 LBL 0

84 END PGM AUTO-SPEED-FEED MM

```

Slika 22: Del programa za dovajanje parametrov
(Vir: lasten)

Prednost programa je, da je uporaben na vseh Heidenhainovih krmilnikih, ki podpirajo uporabo Q-funkcij. Uporabimo ga lahko za vse vrste obdelav, kjer obdelujemo koordinatna mesta, kot so vrtnje, povrtavanje, vrezovanje navojev, središčenje, globoko vrtnje itd. Prednost nastavljanja obdelovalnih ciklov je tudi, da delovanje programa ni odvisno od sposobnosti stroja. Obdelovalni stoji z manjšo močjo delovnega vretena namreč za obdelavo izvrtin potrebujejo več obratov vretena, saj lahko v nasprotnem primeru zaradi preobremenitve pride do neželene zaustavitve stroja.

9 PRENOVA

Za izdelavo kakovostnih izvrtin in doseganje minimalnega števila reklamacij zaradi slabih izvrtin predlagam uvedbo poenotenega sistema vrtnja in povrtavanja na vseh obdelovalnih centrih. To je izvedljivo, če celotna proizvodnja uporablja enotne parametre, vsak zaposlen pa je seznanjen z dejavniki, ki vplivajo na proces, in jih tudi upošteva, saj v primeru napak in odstopanj lažje lociramo napako in jo tako hitreje odstranimo. Napaka, ki v procesu ni identificirana, lahko še naprej tvori neustrezne

izvrtine, kar vodi do reklamacij obdelanih kosov, ki so v vsakem podjetju zelo nezaželene.

Na ravni celotne proizvodnje je število zaposlenih preveliko, kar pogosto privede do zmede, neurejenosti in prelaganja odgovornosti, kadar govorimo o poenotenju sistema, zato bi bilo smiselno vzpostaviti eno omaro za shranjevanje standardnih orodij za vrtnanje in povrtavanje na 2 do 3 obdelovalne stroje (okoli 6 zaposlenih). Tako znatno znižamo frekvenco uporabe in s tem potrebo po stalni menjavi orodij. Orodje je zaradi manjše skupine uporabnikov bistveno lažje locirati, prav tako je lažje ugotoviti neustrezno shranjevanje in odgovornega operaterja v primeru poškodbe orodja. V to omaro sodijo standardno vpeti svedri in povrtala na standardnih vpenjalnih konusih ter tabela za lažje identificiranje obrabe svedra ali povrtala in njegove ustreznosti za nadaljnjo uporabo.

Pri obdelovanju izvrtin se priporoča upoštevanje pomembnih dejavnikov za daljšo življenjsko dobo orodij. Dva izmed pglavitnih dejavnikov za daljšo življenjsko dobo orodij sta koncentracija emulzije in obdelovalni parametri. Koncentracija emulzije za obdelavo jekel v našem podjetju bi morala znašati okoli 10 %, saj trenutno predpisana stopnja 5–7 % vidno pripomore k obrabi orodij.

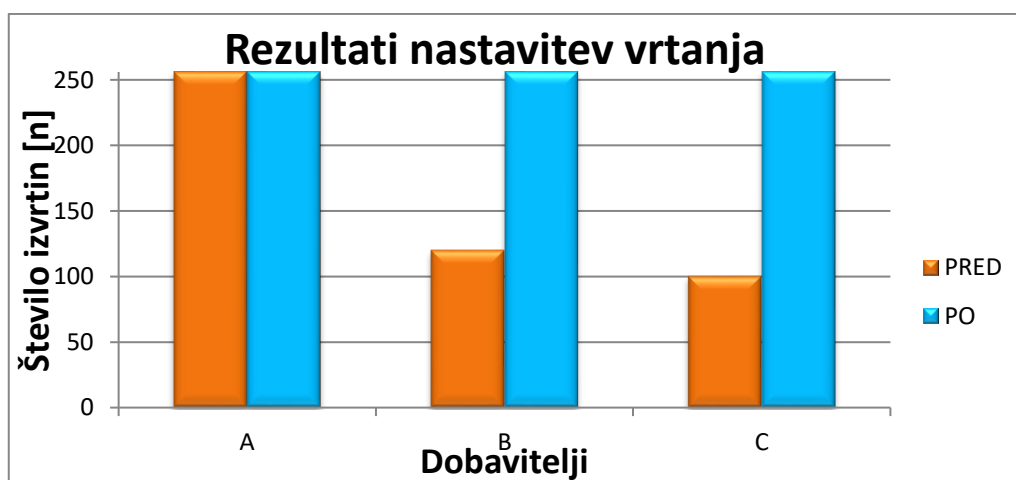
Drugi pomemben dejavnik so parametri, ki so se do zdaj enotno uporabljali ne glede na obdelovan material. S serijo preizkusov smo določili nove parametre, ki občutno podaljšajo življenjsko dobo orodja in izboljšajo kakovost izvrtin. Ker je med obdelavo izvrtin treba upoštevati obliko obdelovanca, ki je v praksi pogosto glavna ovira pri dostopnosti izvrtin, predlagam poenotenje sistema programiranja in obdelave izvrtin. Programer s pomočjo opreme CAM določi koordinatne točke vrtnanja, ki jih operater stroja nato vnese v samodejni program vrtnanja in povrtavanja. S tem razbremenimo programerja, ki bi v nasprotnem primeru moral popravljati parametre v napisanem programu, hkrati pa operaterju stroja omogočimo, da na podlagi obdelovanca sam določi ustreznost standardno vpetega orodja in parametrov, ki jih bo uporabil.

Pri povrtavanju izvrtin odsvetujem uporabo hitroreznih povrtal, saj predstavljajo nevarnost za stroj in obdelovanca ter so glede na vrsto obdelav v podjetju nepotrebna. Trenutno uporabljana povrtala so ob upoštevanju navodil in ustrezne hrambe orodij konkurenčna dražjim proizvajalcem, saj zagotavljajo sorazmerno veliko ponovitev ustreznih izvrtin. Povrtala srednjega cenovnega razreda ob dodatnih testiranjih in ustreznih nastavitvah parametrov obetajo dolgo življenjsko dobo z veliko kakovostno povrtanih izvrtin. Testirano povrtalo je uspešno povrtalo vseh 256 izvrtin, zato sklepamo, da bi kljub rahli obrabi rezalnega roba lahko obdelavo nadaljevali.

V primerjavi cen na obdelano izvrtino sta nizkocenovno povrtalo in povrtalo srednjega cenovnega razreda zelo konkurenčna, upoštevati pa je treba dejstvo, da povrtalo srednjega cenovnega razreda ni imelo optimalno nastavljenih parametrov.

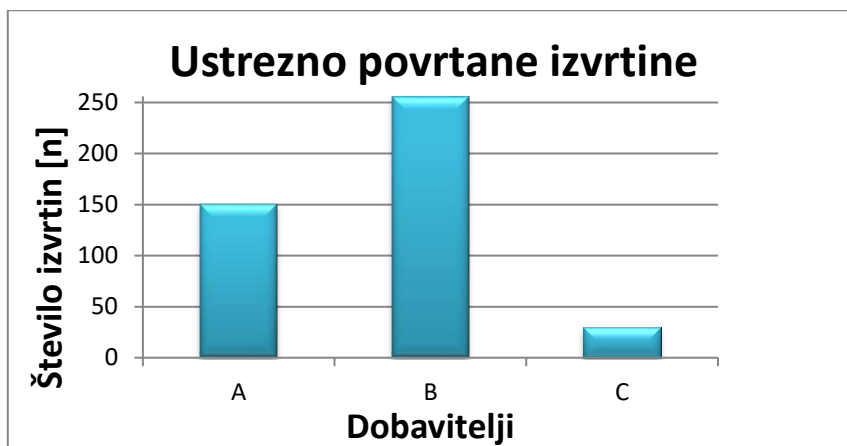
10 ZAKLJUČEK

Pred začetkom testiranja smo predpostavili, da je naš nepoenoten in zastarel proces vrtnja in povrtavanja izvrtin glavni krivec za kratko in nenadzorovano življenjsko dobo orodij ter slabo kakovost obdelanih izvrtin. V ta namen smo zasnovali testne plošče za testiranje svedrov in povrtal. Z upoštevanjem navodil distributerjev orodij smo iz obdelovalnega procesa izločili vse dejavnike, ki bi lahko neugodno vplivali na kakovost izvrtin, in tako z eksperimentiranjem uspešno določili nove parametre za vsak posamezen material. Na grafu 5 vidimo, da smo v primeru materialov B in C več kot 200 % podaljšali življenjsko dobo orodja in izboljšali kakovost izvrtin.



Graf 5: Rezultati nastavitve vrtnja
(vir: lasten)

Po meritvah povrtanih izvrtin smo ugotovili, da povrtalo A glede na ceno orodja dosega zadovoljive rezultate. Povrtalo B je uspešno povrtalo vseh 256 izvrtin, treba pa je upoštevati, da je bilo po obdelavi zmožno nadaljnje obdelave. Nadaljnje testiranje povrtala C smo zaradi slabih rezultatov opustili (graf 6).



Graf 6: Ustrezno povrtane izvrtine
(vir: lasten)

Največji krivec za slabe rezultate povrtala C so bili neustrezno nastavljeni parametri, ki jih je zaradi hitrosti obdelave povrtala precej težje doseči kot pri drugih dveh dobaviteljih, kjer so obdelovalne hitrosti bistveno nižje, kar prikazuje graf 7.



Graf 7: Čas obdelave polnega cikla izvrtin
(vir: lasten)

S tem smo prišli do ugotovitev, da je povrtalo C ravno zaradi visokohitrostne obdelave neprimerno za naš tip obdelave, kjer obdelovanci niso serijskega tipa, izvrtine pa se

pogosto nahajajo na težko dostopnih in nepreglednih mestih. Počasnejše procese bistveno lažje nadzorujemo kot procese pri visokih hitrostih, kjer bi bila poškodba strojnih elementov v primeru neustreznega vpetja orodja glede na obliko konture neizbežna.

Za naše procese obdelovanja je tako priporočljiva izbira univerzalnih povrtal iz karbidnih trdin z ustrezno zaščitno prevleko s poudarkom na dolgi življenjski dobi orodja, počasnejših parametroh in konstantni kakovosti proizvedenih izvrtin.

Po določitvi novih parametrov smo za svedre in povrtala v omari z orodji določili stalno mesto, kjer na standardnih vpenjalnih konusih najdemo standardno izpeta orodja. Dobavitelja svedrov se v prihodnosti ne bo menjalo, v primeru zamenjave dobavitelja povrtal pa bosta potrebni vnovična določitev dejavnikov, ki vplivajo na kakovost procesa, in nastavitve novih parametrov. Čeprav je nizkocenovno povrtalo proizvedlo nemalo ustreznih izvrtin in je kljub temu bistveno cenejše od ostalih testirancev, je povrtalo tipa B zaradi daljše življenjske dobe in konstantnejše kakovosti izvrtin primernejše za naše procese obdelave.

Glede na raznolikost krmilnikov na obdelovalnih strojih smo sestavili preprost in razumljiv program, ki je uporaben na vseh krmilnikih Heidenhain in je jasno razumljiv tudi operaterju z manj delovnimi izkušnjami. Program samodejno poda parametre, potrebne za obdelavo, hkrati pa vsakemu operaterju na stroju omogoča njihovo prilagoditev, če je to potrebno.

11 LITERATURA IN VIRI

Anderson, Mark J., Whitcomb Patrick J. DOE simplified: practical tools for effective experimentation. Library of Congress Cataloging – in – Publication data, 2000.

ARNO, Werkzeuge. Werkzeuge und Wendeschneidenplatten zum Bohren. 2014.

Böhler, 2015. Warmarbeitsstahl hot work tool steel, Böhler W350. Pridobljeno 20. 4. 2019 s: <https://www.boehler-edelstahl.com/media/productdb/downloads/W350DE.pdf>

Böhler, 2015. Warmarbeitsstahl hot work tool steel, Böhler W300. Pridobljeno 20. 4. 2019 s: <https://www.boehler-edelstahl.com/media/productdb/downloads/W300DE.pdf>

Böhler, 2015. Warmarbeitsstahl hot work tool steel, Böhler W400. Pridobljeno 20. 4. 2019 s: <https://www.boehler-edelstahl.com/media/productdb/downloads/W400DE.pdf>

Ctemag.com. 2019. Cutting tool engineering. Pridobljeno 29. 3. 2019 s: <https://www.ctemag.com/news/articles/getting-reaming-right>

Čuš, Franc. Postopki odrezavanja. Maribor: Fakulteta za strojništvo, 2009.

De Vos, Patrick. Uporabna fizika odrezavanja kovin: dobre prakse / Patrick De Vos; v sodelovanju z Jan-Ericom Ståhlom [prevod Marko Oreškovič, s. p.]. – Škofljica: Profidtp, 2017.

DMG MORI. 2019. DMC 85 monoBLOCK. Pridobljeno 16. 4. 2019 s: <https://en.dmgmori.com/products/machines/milling/5-axis-milling/dmc-monoblock/dmc-85-monoblock>

DOLinšek, Slavko; Kopač, Janez. Odrezavanje: dopolnilno gradivo za predavanja in vaje. Ljubljana: Fakulteta za strojništvo, 1992.

Gemba academy. 2013. Learn how powerful a design of experiment (doe) can be when leveraged correctly. Pridobljeno 29. 3. 2019 s: <https://www.youtube.com/watch?v=tzwaybkyvjm&t=217s>

Globevnik, 2011. Dobro orodje delo skrajša – Vsestranski sodoben servis rezilnega orodja. Pridobljeno 26. 4. 2019 s: <https://www.globevnik.si/wp-content/uploads/2018/10/KATALOG-2011-Globevnik.pdf>

GUHRING. Reamers, countersinks de – burring tools, complete range 2014. 2014.

Ishikawa, Koaru. Kako celovito obvladati kakovost: japonska pot; iz angleščine prevedel Lotar Kozina – [prvi ponatis] – Ljubljana: Tehniška založba Slovenije, 1989.

Jereb, Janez, 1943–2001. Vrtanje, grezenje, povrtavanje: tehnologija obdelave za kovinarsko usmeritev: programirano gradivo. Ljubljana: Državna založba Slovenije, 1980.

Kraut Bojan., 1908–1991. Krautov strojniški priročnik – 14. slovenska izd., predelana / izdajo pripravila Jože Puhar, Jože Stropnik – Ljubljana: Littera picta, 2007.

LTH Castings (Škofja Loka). Zgodba kot ulita: Zbornik ob 70-letnici družbe LTH Castings (1948–2018). Glavni urednik Miha Naglič, fotografije avtorske, LTH Castings, zasebne zbirke; urejanje fotografij Aljoša Fajfar, Sabina Mohorič. Škofja Loka: LTH Castings, 2018.

Moderno proizvodno inženirstvo: priročnik / [napisala skupina avtorjev; redaktor Karl Kuzman]. Grosuplje: Grafid Trade, 2010.

MST-corp.co. 2019. Freely Combine Master Holders and Collets. Pridobljeno 20. 4. 2019 s: http://www.mst-corp.co.jp/en/slimline/2piece_type/

Panjan, Peter, Čekada, Miha. Zaščita orodij s trdimi PVD-prevlekami. Ljubljana: Institut »Jozef Stefan«, 2005.

Sandvikcoromant.com. 2019. CoroReamer™ 835. Pridobljeno 29.4.2019, s: https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/products/cororeamer_835/

Sandvik.coromant. 2019. Drilling tips. Pridobljeno 19. 4. 2019 s: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/drilling/pages/drilling-tips.aspx>

Sandvik.coromant. 2019. Troubleshooting for reaming. Pridobljeno 29. 3. 2019 s: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/reaming/pages/troubleshooting.aspx>

Slika 1: LTH Castings. pridobljeno 14. 3. 2019 s: <https://www.lthcastings.com/default.asp?mid=en&pid=toolshoptrata>

Slika 2: Sandvik. Pridobljeno 20. 3. 2019 s: <https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/drilling.aspx>

Slika 6: DMG MORI. Pridobljeno 16. 4. 2019 s:

<https://en.dmgmori.com/resource/blob/44916/c3cd8c6d4cfc1c11bf696f6ad616518b/pm0uk-dmu-dmc-monoblock-series-pdf-data.pdf>

Slika 7: Sandvikcoromant.com. Pridobljeno 16. 4. 2019 s:

<https://www.sandvik.coromant.com/en-gb/knowledge/drilling/pages/drilling-wear-and-troubleshooting.aspx>

Slika 8: MST, 2019. Pridobljeno 20. 4. 2019 s: http://www.mst-corp.co.jp/en/slimline/2piece_type/

Tabela 2: ARNO, Werkzeuge. Werkzeuge und Wendeschneidenplatten zum Bohren. 2014.