



ICES
VIŠJA STROKOVNA ŠOLA

Diplomsko delo višješolskega strokovnega študija
Program: Strojništvo

**OPTIMIZACIJA DELOVNEGA PROCESA Z
UPORABO MODERNEGA ORODNEGA
JEKLA**

Mentor: mag. Viktor Jemec
Lektorica: Urša Glušič, mag. prof. slov.

Kandidat: Andraž Mulej

Ljubljana, marec 2021

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorju mag. Viktorju Jemcu za pomoč pri izbiri strokovne teme in za usmeritve pri izdelavi diplomskega dela.

Zahvaljujem se tudi lektorici Urši Gluščič mag. prof. slov., ki je moje diplomsko delo jezikovno in slovnično pregledala.

Posebej bi se rad zahvalil članom moje družine, ki so mi v času študija stali ob strani ter me podpirali in spodbujali pri pisanju diplomskega dela.

IZJAVA

Študent Andraž Mulej izjavljam, da sem avtor tega diplomskega dela, ki sem ga napisal pod mentorstvom mag. Viktorja Jemca.

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

Dne _____

Podpis: _____

POVZETEK

Diplomsko delo predstavlja računalniško podprto programiranje 3-osnega vertikalnega obdelovalnega centra s pomočjo programske opreme SolidCAM. V diplomskem delu so opisane osnove večrezilnega postopka frezanja, osnove delovanja CNC obdelovalnega centra, vrste CNC programiranja, lastnosti modernih jekel v poboljšanem stanju in primerjavi obdelave s pomočjo funkcij, ki jih ponuja program SolidCAM s simulacijami klasičnega frezanja.

Časovne primerjave obdelav so prikazane z obdelavo preprostega obdelovanca s postopki rezkanja z gnanimi orodji. Pri obdelovalnih operacijah so dodane slike s prikazom izgleda obdelovalca pred in po operaciji. Prikazane so tudi slike s samo simulacijo in parametri same operacije in orodja.

KLJUČNE BESEDE

- CNC obdelovalni center
- CNC programiranje
- CAD/CAM
- SolidWorks, SolidCAM
- jeklo
- iMachining

ABSTRACT

The diploma thesis presents computer aided programming of an 3-axis vertical machining center with a use of SolidCAM software. The thesis describes basics of an multi-cutting milling process, basics how an 3-axis vertical machining center operates, properties of a steel in an improved state and comparison of machining processes made with the aid offered by the SolidCAM software with those without aid.

Time comparisons are shown by treating a simple workpiece with milling operations with live tooling. At every machining operation images are displayed showing how the workpiece looked before and after the operation, there are also added images with the software simulation, images of an parameters from the operation and parameters of the tool itself.

KEYWORDS

- CNC machining center
- CNC programming
- CAD/CAM
- SolidWorks, SolidCAM
- Steel

KAZALO VSEBINE

1	UVOD	1
1.1	Predstavitev problema.....	1
1.2	Cilji naloge	1
1.3	Predstavitev okolja	2
1.4	Konkurenčnost podjetja	3
1.4	Predpostavke in omejitve	4
1.5	Metode dela	4
2	REZKANJE	5
2.1	Rezalna orodja.....	6
3	CNC TEHNOLOGIJA	8
3.1	Začetki NC in CNC tehnologije.....	8
3.2	CNC tehnologija	8
3.3	CNC stroj	9
3.3.1	CNC vertikalni obdelovalni center.....	11
3.3.2	Programiranje CNC strojev.....	12
3.4	CAD/CAM	12
3.4.1	CAD	13
3.4.2	CAM	13
3.4.3	Prednosti uporabe CAD/CAM sistema.....	14
4	ORODNA JEKLA	14
4.1	Vrste orodnih jekel	15
4.2	Toolox®	16
4.2.1	Kemična sestava Toolox 44®	16
4.2.2	Kemična sestava Toolox 33®	17
4.2.3	Kakovost jekel Toolox®	18
4.2.4	Primeri uporabe jekla Toolox®	19
4.2.4	Priporočeni parametri za vrtanje v jekla Toolox®.....	22
4.2.5	Priporočeni parametri za rezkanje jekla Toolox®.....	23
4.2.6	Formule za izračun vrtljajev in hitrost pomika	25
5	SOLIDWORKS	25
5.1	SolidCAM.....	25
6	IMACHINING.....	26
6.2	Algoritem za tehnologijo.....	26
6.3	Povezava med debelino odrezkov in podajanjem na zob	28
7	VZDRŽEVANJE ORODNIH JEKEL	29
7.1	Preventivno vzdrževanje	30
7.2	Kurativno vzdrževanje.....	31
7.3	Poškodbe orodij	32
7.3.1	Obrabe orodij	33
7.3.1.1	Adhezijska obraba	33
7.3.1.2	Abrazijska obraba.....	34

7.3.1.3 Obraba zaradi utrujenosti	34
8 EKSPERIMENTALNI DEL	36
8.1 Primerjava Toolox	36
8.1.1 Konvencionalna groba obdelava	37
8.1.2 iMachining groba obdelava	41
9 ZAKLJUČEK	45
10 LITERATURA IN VIRI	47

KAZALO SLIK

Slika 1: Hierarhična lestvica v podjetju Damatech d. o. o.	2
Slika 2: Tračne žage za razrez materiala večjih profilov	3
Slika 3: Obodno rezkanje	5
Slika 4: Čelno rezkanje	6
Slika 5: Vrste rezalnih orodij	7
Slika 6: Krmilnik Siemens	10
Slika 7: Triosni obdelovalni center Doosan MyNX 7500/50	11
Slika 8: Zaporedje v proizvodnji od idejne zasnove do končnega izdelka	14
Slika 9: Primerjava mikorstrukture jekla Toolox 33 in jekla z oznako 1.2312	17
Slika 10: Matrica, narejena v orodju za hladno preoblikovanje	19
Slika 11: Izdelek, narejen v kalupu za brizganje plastike	19
Slika 12: Različna držala za orodje	20
Slika 13: Os avtomobilskega drobilnika	20
Slika 14: Primer kalupa za medeninaste komponente	21
Slika 15: Primer orodja za preoblikovanje	21
Slika 16: Značilni modri odrezki pri obdelovanju jekla Toolox® 44	23
Slika 17: Tako imenovani čarovnik v modulu iMachining	27
Slika 18: Podajanje na zob in debelina odrezka	28
Slika 19: Prikaz povečanja podajalne hitrosti pri manjšem oprijemnem kotu	29
Slika 20: Vzdrževanje – splošni pregled	30
Slika 21: Pregled vzdrževalnih aktivnosti	31
Slika 22: Nanačrtovano in načrtovano vzdrževanje	32
Slika 23: Načelo adhezijske obrabe	33
Slika 24: Načelo abrazijske obrabe (a – dvodelna obraba, b – večdelna obraba) ...	34
Slika 25: Mehanizem obrabe zaradi utrujenosti, ki jih povzročijo majhni delci	35
Slika 26: Mrežaste razpoke kot posledica termičnih napetosti	35
Slika 27: Razpoke na površini in pod njo kot posledica tlačnih in nateznih napetosti	35
Slika 28: Prikaz 3D modela, narisane v programu SolidWorks	36
Slika 29: Merilna sonda in naprava za kalibriranje orodja	37
Slika 30: Rezkalna glava TaeguTec Chase2Feed	37
Slika 31: Stranski prerez rezkalne glave TaeguTec Chase2Feed	38

Slika 32: Vložek glave TT9080	38
Slika 33: Grafični prikaz grobe obdelave s pomočjo simulatorja	40
Slika 34: Časovni prikaz grobe obdelave	41
Slika 35: Karbidni rezkar Sandvik 1P360-2500-XA1620	42
Slika 36: iMachining izbira parametrov za grobo obdelavo	43
Slika 37: Prikaz poteka obdelave v SolidCAM-u	44
Slika 38: Prikaz agresivnosti obdelave v čarovniku iMachining	44

KAZALO TABEL

Tabela 1: Tehnični podatki obdelovalnega centra Doosan MYNX 7500/50	11
Tabela 2: Kemična sestava modernega jekla Toolox 44	16
Tabela 3: Kemična sestava modernega jekla Toolox 33	17
Tabela 4: Priporočene vrednosti za vrtanje s HSS svedri	22
Tabela 5: Priporočene vrednosti za vrtanje s HM svedri	22
Tabela 6: Priporočene vrednosti za vrtanje s svedri z zamenljivo konico	23
Tabela 7: Priporočene vrednosti za rezkanje rež	24
Tabela 8: Priporočene vrednosti za obodno rezkanje	24
Tabela 9: Priporočene vrednosti za čelno rezkanje z kotom orodja 45°	24
Tabela 10: Tehnični podatki za rezkalno glavo TaeguTec Chase2Feed	38
Tabela 11: Tehnični podatki za vložek glave TT9080	39

POJMOVNIK

Nitriranje je termokemična obdelava jekla, s katero površino jekla obogatimo z dušikom. S tem dosežemo povečano trdoto površine in večjo odpornost proti obrabi.

Indukcijsko kaljenje je električno induktivno segretje površine in kaljenje segretega sloja izdelka. Postopek poteka tako, da izdelek vstavimo v žarilno zanko, ki jo napaja srednjefrekvenčni ali visokofrekvenčni izmenični tok.

Razrez z abrazivnim vodnim curkom je tehnološki postopek, pri katerem se material reže z vodnim curkom pod velikim pritiskom, kjer je voda zmešana z abrazivnim (brusnim) materialom – kremenovim peskom.

Ozko grlo proizvodnje je proces, ki je del verige procesov, ki zaradi omejene proizvodne zmogljivosti zmanjšuje zmogljivost celotne verige.

Pomik na zob (f_z) je razdalja na obdelovancu, ki jo posname en zob pri enem obratu frezala.

Debelina odrezka (h_m) je debelina odrezkov na najširšem delu nedeformiranega odrezka, ki je odstranjen od materiala.

Rezalna hitrost (v_c) je hitrost gibanja pri odrezavanju. Omogoča nastanek odrezka. Računamo jo po formuli in je odvisna od materiala, ki ga obdelujemo, obdelovalnega postopka, prereza odrezka, hitrosti podajanja in želene površine (groba ali fina).

Podajalna hitrost (v_f) je hitrost premikanja orodja v rez oziroma material.

Vrtilna hitrost (n) je hitrost, s katero se telo vrti okoli svoje osi.

Produktivnost dela (P_L) je naturalno merilo uspešnosti poslovanja. Produktivnost izračunamo po formuli $Pl = \frac{Q}{L}$ (Q predstavlja proizvedeno količino poslovnih učinkov, ter L vložen delovni čas).

KRATICE IN AKRONIMI

CAM	Računalniško podprta proizvodnja (ang. Computer Aided Manufacturing)
CNC	Računalniški numerični nadzor (ang. Computer Numerical Control)
NC	Numerični nadzor (ang. Numerical control)
CAD	Računalniško podprto načrtovanje (ang. Computer Aided Design)
MRR	Stopnja odvzema materiala (ang. Material Removal Rate)
HM	Karbidno jeklo (ang. Hard metal)
HSS	Hitrorezno jeklo (ang. High speed steel)
ESR	Elektrotaljenje (ang. Electroslag remelting process)
SMED	Metoda hitrih menjav (ang. Single-minute Digit exchange of die)

SEZNAM UPORABLJENIH SIMBOLOV

Oznaka	Enota	Pomen
a_p	mm	globina rezanja
a_e	mm	radialna globina rezanja
D	mm	premer
f_z	mm/zob	pomik na zob
f	mm	podajanje na obrat
h_{sr}	mm	povprečna debelina odrezka
L	mm	dolžina orodja
n	vrt/min	vrtilna hitrost
v_c	m/min	rezalna hitrost
v_f	m/min	podajalna hitrost
Z	/	število zob
ρ	°	kot oprijema
b	mm	širina rezanja

1 UVOD

1.1 PREDSTAVITEV PROBLEMA

V podjetju Damatech d. o. o. opravljamo storitev razreza jekla s tračnimi žagami, razrez z abrazivnim vodnim curkom, plamenskega oz. plazemskega razrez in CNC mehanske obdelave kovin.

Ob porastu trga dela in s hitrim tehnološkim razvojem se podjetja v kovinsko-predelovalni industriji vedno bolj srečujejo z zahtevnejšimi nalogami in intenzivnejšo konkurenco. Posledično iščejo nove načine, s katerimi bi lahko zagotovili proizvodnjo kakovostnejših delov v najkrajšem možnem dobavnem roku in z nižjimi delovnimi stroški. S tem problemom se vsakodnevno srečujemo tudi v našem podjetju. Ker je podjetje še dokaj mlado in beleži vsakoletno rast, je za potrebe tržne konkurenčnosti potrebno uvajati nove tehnologije, saj le z njimi dosegamo poslovne uspehe. V oddelku CNC strojnih obdelav, kjer sem sam zaposlen kot CNC operater, smo se ob vedno večjem številu strank in majhnim strojnim parkom srečevali s problematiko dobavnih datumov.

Glede na to, da so naši obdelovanci pretežno večjih dimenzij in da je za nastanek željenega produkta v večini primerov potrebno odvzeti veliko maso, kar bi nam brez pomoči programske opreme vzelo ogromno časa, to pa bi posledično pomenilo, da na trgu ne bi bili konkurenčni, nam je v veliko pomoč programska oprema SolidCAM, saj zmanjša postopke obdelav tudi za do 50 odstotkov.

Na delovnem mestu CNC operaterja sem zaposlen četrto leto. Na področju tehnologije rezkanja sem pridobil veliko praktičnih izkušenj, ki mi pridejo prav tudi v vsakdanjem življenju. Med pisanjem diplomskega dela želim predstaviti programsko orodje SolidCam in narediti primerjavo obdelav s pomočjo in brez pomoči programa.

1.2 CILJI NALOGE

Namen diplomskega dela je na podlagi študija izbrane strokovne literature in na podlagi naloge, ki sem jo opravljal v samem podjetju, predstaviti postopek in prednosti tehnologije iMachining znotraj programa SolidCAM in na praktičnem primeru pri obdelavi surovca pokazati njegove prednosti.

Cilji diplomskega dela so:

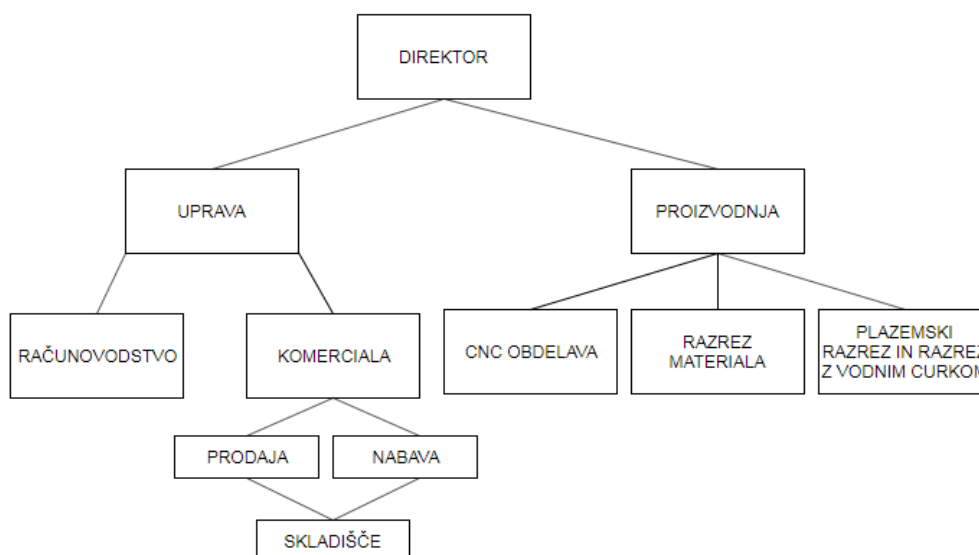
- predstaviti CNC tehnologijo, vertikalni CNC obdelovalni center in postopek rezkanja;
- predstaviti jeklo Toolox;

- narediti praktično primerjavo med klasično konvencionalno tehnologijo in iMachining tehnologijo rezkanja;
- analizirati čase obdelav.

1.3 PREDSTAVITEV OKOLJA

Podjetje Damatech d. o. o. je družinsko podjetje, ki je bilo ustanovljeno leta 2004 in trenutno zaposluje 35 delavcev. Podjetje je specializirano za trženje poboljšanih jekel Toolox za orodjarstvo in strojogradnjo ter Hardox za proizvodnjo obrabno obstojnih delov za potrebe v panogah, kot so gradbeništvo, kmetijstvo, reciklaža, gozdarstvo, rudarstvo, ribištvo in proizvodnja cementa.

Podjetje je svoj uspeh začelo graditi v sodelovanju s švedskim proizvajalcem jekel SSAB, in sicer najprej z razrezom in distribucijo jekla Toolox na slovenskem trgu, nato pa še v Avstriji in Nemčiji. Kasneje so v podjetju med svoje izdelke dodali še obrabno obstojno jeklo Hardox in specifična poboljšana jekla. Podjetje ponuja tudi storitev razreza materiala s tračnimi žagami in plazemski razrez, razrez z abrazivnim vodnim curkom, CNC rezkanje in struženje ter brušenje. Na CNC oddelku, kjer sem zaposlen tudi sam, lahko iz jekel Toolox in Hardox na željo stranke izdelamo tudi izdelek po načrtu. Med najpogosteje izdelanimi izdelki iz orodnega jekla Toolox so sedeži nožev in industrijski noži (noži za reciklažo, stacionarne škarje, mobilne škarje, mletje plastike, prizmatični noži in lomilci). Iz obrabno obstojnih jekel Hardox za stranke pogosto po podanih načrtih izdelujemo obrabne plošče za stroje, sita ali dele sit za reciklažo, dele lopat za bagre in drugo obrabno obstojne dele.



Slika 1: Hierarhična lestvica v podjetju Damatech d. o. o.

(Vir: Lasten)



*Slika 2: Tračne žage za razrez materiala večjih profilov
(Vir: www.damatech.com)*

1.4 KONKURENČNOST PODJETJA

Podjetje že od samega začetka beleži hitro in uspešno rast. Lanska prodaja je znašala več kot 7 milijonov evrov. Pokazatelj uspešnosti podjetja so tudi nominacije in nagrade: dvakratna nominacija za Gorenjsko gazelo, leta 2012 je podjetje pridobilo standard ISO 9001, leta 2017 pa tudi certifikat bonitetne odličnosti AAA (bonitetna ocena odličnosti predstavlja nadpovprečno bonitetno vrednost gospodarskih subjektov. Temelji na računovodskih izkazih subjektov za zadnje poslovno leto in napoveduje varnost poslovanja v naslednjih dvanajstih mesecih).

Poslovanje podjetja se spremlja s pomočjo metode 20 ključev. Gre za metodo celovitega sistema stalnih izboljšav, katere avtor je japonski profesor Iwao Kobayashi. Metoda temelji na razvoju timskega dela na vseh ravneh podjetja, saj je temeljno pravilo, ki vodi do uspeha, ravno vključenost vseh zaposlenih v podjetju.

Velik dejavnik pri uspešni zgodbi je zavest podjetja, da je trg ogromen in da sta za konkurenčnost potrebna stalen napredek in razvoj. Posledično se v podjetju veliko vlaga v razvoj kadra in v nakup opreme in strojev, ki omogočajo racionalnejšo izdelavo izdelkov in storitev.

Pomen napak je v podjetju velik, saj temelji na dejstvu, da ne obstaja podjetje, kjer do napak ne prihaja. V podjetju Damatech d. o. o. velja pravilo, da se napake ne prikrivajo. Na tem mestu je podjetju v veliko pomoč tudi vključenost kupcev v sistem kontrole, ki na podlagi izdelkov, storitev in podpore, ki jo podjetje zagotavlja, podajajo oceno. Pridobitev mnenj kupcev (kot na primer: stopnja zadovoljstva s kvaliteto in natančnostjo reza ali stopnja zadovoljstva z odzivnim časom) podjetju omogoča

pridobitev pomembnih podatkov v povezavi z delujočimi procesi in s procesi, ki imajo še možnost za izboljšavo.

Kadar podjetje uspešno izpolnjuje vse zahteve kupcev glede izdelkov in storitev, to vodi k visokemu zadovoljstvu kupcev in k naslednjim prednostim:

- zvestoba kupcev,
- zmanjšanja fluktuacije kupcev,
- konkurenčna prednost,
- stabilnost, ki temelji na zaupanju vrednem polnem sodelovanju.

Prav iz navedenih razlogov je dolgoročno sodelovanje z vedno aktualnim povratnim odzivom kupcev in dobaviteljev eden izmed ključnih ciljev podjetja Damatech.

1.4 PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE

Predpostavljamo, da bomo lahko dokazali sledeče trditve: s pomočjo modula iMachining skrajšamo čas delovnega procesa za do 70 odstotkov; s tem programom obdelujemo najtrše materiale; z uporabo modernih jekel Toolox in Hardox v poboljšanem stanju privarčujemo na času in na stroških obdelave; izdelki, ki jih bomo izdelali iz modernih jekel, bodo v primerjavi z izdelki, ki so narejeni s standardnimi materiali, tudi lažji.

Omejitve so se pokazale predvsem pri izbiri, saj so moderna jekla švedskega proizvajalca SSAB na trgu dokaj nova in jih ljudje šele spoznavajo. Omejitev je nastala tudi pri pridobivanju gradiva, saj je bilo malo gradiva dostopnega na zelo različnih mestih, večina gradiva pa je bila v tujem jeziku.

1.5 METODE DELA

Za doseganje ciljev bomo uporabili naslednje metode:

- opisno metodo,
- združevalno metodo,
- študij elektronskih virov,
- študij knjižnih virov,
- fotografiranje,
- primerjalno metodo.

V teoretičnem delu bosta uporabljeni opisna metoda, s katero bomo opisali tehnologijo rezkanja, CNC vertikalni center, in združevalna metoda, s katero bomo uporabili izsledke različnih avtorjev in jih združili.

V raziskovalnem delu bo uporabljena primerjalna metoda, s katero bomo primerjali tehnologiji klasičnega in računalniško podprtega rezkanja.

2 REZKANJE

Rezkanje oziroma frezanje je postopek obdelave, pri katerem opravlja orodje – **frezalo** – glavno gibanje, ki je rotacija orodja. Podajalno gibanje je večinoma premočrtno in ga skoraj vedno opravlja obdelovanec, razen v primerih, kjer podajalno gibanje opravlja tudi orodje (5-osni stroji).

Orodja imajo pri rezkanju več rezil, ki se na prijemni poti med obdelovanjem dotikajo samo v manjšem številu. To pomeni, da večji del enega vrtljaja zobje ne režejo.

Posebnost rezkanja je, da se prerezi odrezka, in zato tudi sile na posameznih rezilih, neprestano spreminjajo in s tem povzročajo dinamične obremenitve stroja. Ker hkrati reže več rezil, so tudi statične obremenitve večje kot pri večini drugih postopkov odrezavanja.

Glede na dotik obdelovanca z obodno ali s čelno stranjo razlikujemo med:

- **Obodnim rezkanjem** za ravne in profilirane površine. Glede na gibanje (drug proti drugemu) med orodjem in obdelovancem ločujemo še istosmerno in protismerno obodno frezanje.



Slika 3: Obodno rezkanje
(Vir: www.damatech.com)

- **Čelnim rezkanjem**, ki prihaja v poštev predvsem za večje ravne površine. Lahko je protismerno, istosmerno in simetrično.



Slika 4: Čelno rezkanje
(Vir: www.damatech.com)

Z rezkanjem lahko dobimo ravne in ukrivljene ploskve. Za najustreznejšo izbiro postopka rezkanja se je potrebno vprašati, kakšna naj bo oblika obdelovanca in kakšna naj bo zahtevana kakovost površine.

Za obdelavo ravnih ploskev je najprimernejše čelno rezkanje, saj pri dovolj veliki rezalni hitrosti dobimo zelo gladke ploskve, posledično pa v veliko primerih dodatno brušenje pri zahtevanih izdelkih sploh ni potrebno. Za obdelavo ukrivljenih ploskev že sama oblika ploskve definira način rezkanja.

Rezkamo lahko tudi utore, ki imajo po navadi zelo zahtevne oblike. Te oblike je mogoče dobiti s samim profilom frezala ali s programiranjem poti orodja. Navadno se pri utorih in manjših površinah odločimo za protismerno obodno rezkanje, vendar je kakovost površine v tem primeru nekoliko slabša.

2.1 REZALNA ORODJA

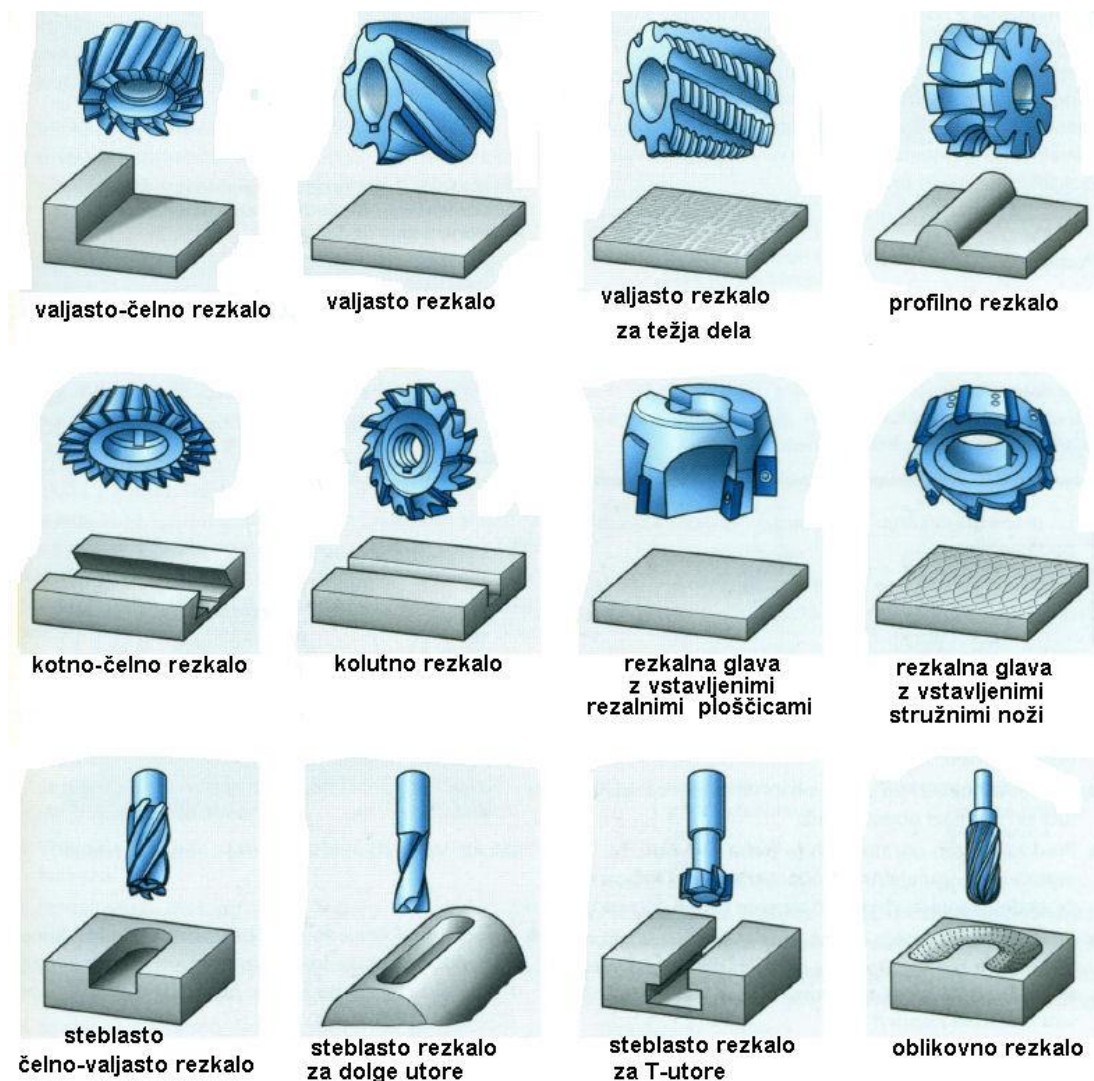
Za rezkanje večinoma uporabljamo standardna frezala:

- valjasto frezalo – za obodno freziranje ravnih ploskev;
- čelno valjasto frezalo – za čelno in obodno rezanje ravnih ploskev;
- kolutno frezalo – za obodno rezanje utorov;
- krožno žago – za zarezovanje ožjih utorov in žaganje;
- stebelasta frezala – za čelno in obodno freziranje, freziranje utorov za moznike in za težja dela;
- konično stebelasta frezala – za kopirano freziranje;
- frezala za izdelavo utorov v obliki črke T;
- frezalne glave – za čelno freziranje večjih ravnih ploskev;

- profilna frezala – za izdelavo raznih zobnikov;
- kotna frezala.

Pri orodjih za frezanje moramo razlikovati med desnoreznimi in levoreznimi, orodja pa je potrebno razlikovati tudi po obliki zob, saj obstajajo tri vrste:

- frezala z ravnimi zobmi,
- frezala s poševnimi zobmi,
- frezala s križnimi zobmi.



Slika 5: Vrste rezalnih orodij
(Vir: www2.sts.si)

3 CNC TEHNOLOGIJA

3.1 ZAČETKI NC IN CNC TEHNOLOGIJE

Začetki tehnologije segajo v zgodnejša 50. leta prejšnjega stoletja, ko so izumili prve tako imenovane NC oziroma numerično krmiljene stroje. Leta 1949 so na bostonski univerzi za tehnologijo v sodelovanju s podjetjem Parsons Works za potrebe Vojne mornarice Združenih držav Amerike začeli z raziskavo in razvojem prvega NC stroja, saj so želeli povečati proizvodnjo krakov helikopterskega rotorja. Leta 1952 jim je to uspelo. Izdelali so prvo elektronsko krmilje, s katerim so lahko krmilili vrtalno vreteno. Istega leta so na bostonski univerzi za tehnologijo predstavili tudi prvi vertikalni NC stroj, katerega je bilo mogoče krmiliti v XYZ smeri (3D).

S komercialno uporabo NC tehnologije so začeli v poznih 50. letih, ta pa na začetku s strani proizvajalcev ni bila hitro sprejeta, saj je bila tehnologija za njih nekaj čisto novega. Poleg vsega je sama tehnologija imela še porodne težave, ki so zahtevale ogromno pozornosti. Šele proti koncu tistega desetletja, ko so proizvajalci uvedli standarde z operativnega vidika in so podjetja želela povečati produktivnost, zmanjšati stroške proizvodnje in izboljšati kvaliteto izdelkov, je industrijska panoga začela nadomeščati metode ročne izdelave in zastarelo tehnologijo. To je bil začetek tehnološke revolucije, ki so jo sprožile Združene države Amerike, kasneje pa sta priložnost izkoristili tudi Nemčija in Japonska, ki sta tehnologijo uspeli celo izboljšati in racionalizirati.

CNC oziroma računalniško podprto krmiljenje, kot ga poznamo danes, se je začelo oblikovati v 70. letih prejšnjega stoletja, ko so se na trgu pojavili prvi CNC stroji s serijsko vgrajenim mikroračunalnikom. V 80. letih se je najprej pojavila prva programska oprema, ki je omogočala programiranje na samem stroju, kmalu za tem pa tudi prvi stroj, ki je omogočal grafičen prikaz na ekranu.

3.2 CNC TEHNOLOGIJA

Ko govorimo o CNC tehnologiji, govorimo o numeričnem ali računalniško numeričnem krmiljenju. Gre za avtomatizirano krmiljenje CNC obdelovalnih centrov (vertikalnih in horizontalnih), CNC stružnic, CNC brusilnih strojev, CNC potopne in žične erozije, v zadnjem času pa tudi vedno bolj popularnih 3D tiskalnikov. Numerično krmiljeni obdelovalni stroj je en stroj, ki se uporablja za več vrst obdelav (običajno gre za rezkanje, vrtanje in struženje) materiala (kovina, les, plastika, keramika ali kompozit), da izpolni željene specifikacije z upoštevanjem kodiranih programskih navodil.

Navodila so na CNC stroj naložena v obliki programirane kode. Gre za zaporedje navodil za upravljanje stroja. Najbolj razširjena koda je G-koda. Program lahko napiše

oseba sama ali pa ga napiše sam program za računalniško podprto oblikovanje (CAD).

CNC tehnologija obdelave je v primerjavi s klasično ročno obdelavo velik napredek, saj sta oblikovanje in proizvodnja mehanskega dela skoraj v celoti avtomatizirana. Oblikovanje in določanje mehanskih dimenzij potekata s pomočjo CAD programa, nato pa jih program za računalniško podprto proizvodnjo (CAM) s pomočjo post procesorja pretvori v programirano zaporedje (kodo), ki se naloži na sam stroj.

3.3 CNC STROJ

CNC stroj je motorizirano manevrsko orodje, ki ga obvladuje računalnik v skladu s posebnimi vhodnimi navodili. Je naslednik klasičnega NC stroja, ki je imel NC enoto s fiksno logiko in je bil pri sami uporabi precej omejen. Osnovne prednosti pred klasičnimi stroji so na primer, da program lahko enostavno vnesemo v stroj in ga shranimo, po potrebi pa ga lahko enostavno popravimo. Sodobni stroji omogočajo veliko večjo prilagodljivost, produktivnost, kvaliteto in natančnost ter omogočajo več delovnih operacij.

Sestavljeni so iz dveh glavnih komponent. Prva komponenta je sam stroj, kjer se izvaja obdelava delov, druga komponenta pa je krmilnik, ki to obdelavo krmili. Glavna značilnost CNC strojev je fleksibilnost. Primerni so predvsem za avtomatizacijo maloserijske in srednje serijske proizvodnje, saj jih lahko iz ene na drugo obdelavo hitro preuredimo z manjšimi hitrimi preureditvami stroja in zamenjavo programa.

Mehanski del se po izgledu bistveno ne razlikuje od klasičnega stroja, vendar pa ponuja veliko izboljšav, ki bistveno pripomorejo k lažjemu delu. Omogočena nam je avtomatsko programsko vodena menjava orodij (SMED), kar pomeni, da so nam vsa orodja, ki jih shranimo v stroj, na voljo v CAM programu. Operaterjem je potrebno vpisati le topologijo orodja (velikost, dimenzijo, število zob, material orodja ...). Do teh orodij lahko kasneje dostopamo z enostavno programsko vrstico **TX M6**, pri kateri nam X pove številko orodja v revolverju stroja, M6 pa je ukaz za zamenjavo orodja.

Omogočeno je tudi brezstopenjsko krmiljenje števila obratov glavnega vretena. To je v veliko pomoč, ko na primer delamo prvi kos v serijski proizvodnji in je potreben konstanten nadzor, da lahko v primeru napake zmanjšamo/povečamo hitrost orodja oziroma zmanjšamo/povečamo hitrost pomikanja.

Današnji CNC stroji so veliko bolj togi, kar pomeni, da je veliko manj vibracij, posledično pa sta točnost in kvaliteta izdelkov veliko večja. Merjenje položaja v smeri osi je zelo natančno in prikazano na samem ekranu stroja. Natančnost položaja orodja in delovne mize je izboljšana s sistemi linearnega vodenja s krogličnimi objemnimi

vodili in ležaji s keramičnimi kroglicami, ki prenesejo veliko večje hitrosti in imajo nižjo temperaturo obratovanja.

Krmilni del stroja ima vgrajen računalnik, ki vsebuje vhodno, obdelovalno in izhodno enoto. Vhodno enoto uporabljamo za vnašanje podatkov. To lahko izvajamo direktno na samem stroju ali pa podatke prenesemo preko kabla iz računalnika. Obdelovalna enota služi temu, da podatke obdela, preračunava in pošilja ukaze preko izhodne enote v mehanski del in sprejema povratne informacije o izvedbi le-teh. Število shranjenih podatkov je odvisno od velikosti pomnilnika. Pomembno je, da vsakemu programu določimo svoje ime, saj nam krmilnik omogoča popraviljanje že shranjenih podatkov.

Zelo dobrodošla funkcija krmilnika je tudi omogočanje grafične simulacije obdelav, ki nam prikaže pot orodja in izdelavo izdelka na zaslon ter tako tudi možne napake, ki so nastale pri programiranju.

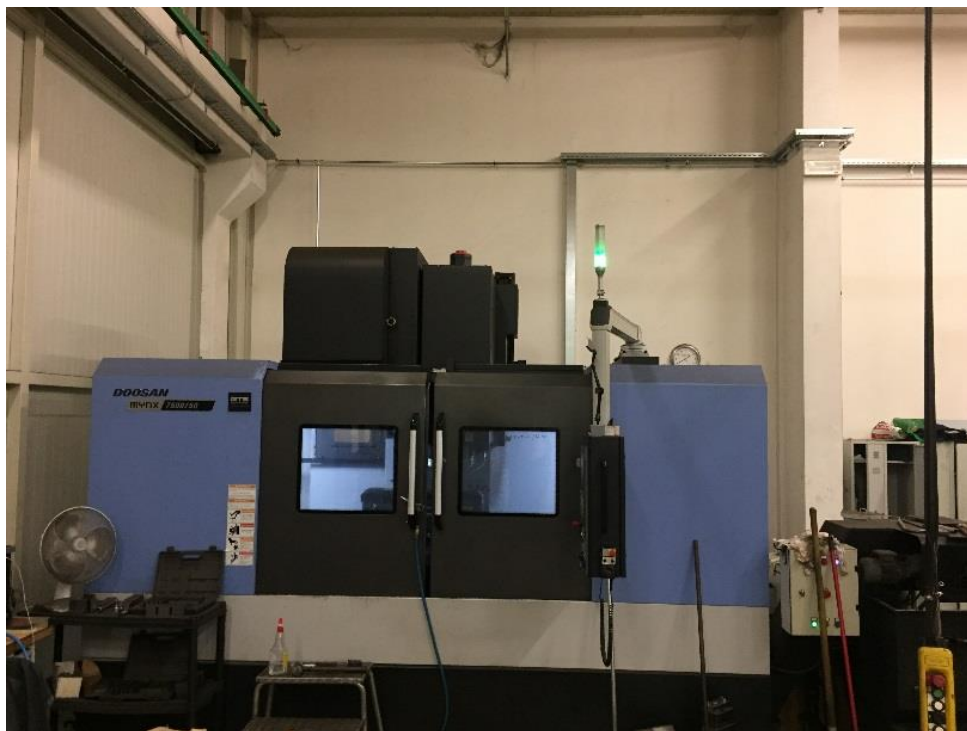
Izhodna enota je tista, ki pošilja podatke krmilnim elektromotorjem, preko katerih se izvaja gibanje in obdelava. Izhodna enota je tudi zaslon, preko katerega lahko operater/programer komunicira s strojem. Zaslon nam prikazuje pozicijo orodij, vrtljaje vrtenja, grafično simulacijo obdelav in alarme, ki nas opozarjajo na napake.



Slika 6: Krmilnik Siemens

(Vir: <https://www.strojnistvo.com/s-siemensovim-sinumerik-operate-shopmill-om-je-frezanje-enostavno.html>)

3.3.1 CNC vertikalni obdelovalni center



Slika 7: Triosni obdelovalni center Doosan MyNX 7500/50
(Vir: Lasten)

Tabela 1: Tehnični podatki obdelovalnega centra Doosan MYNX 7500/50

Država proizvajalka	Koreja
Znamka	Doosan
Oznaka	MYNX 7500/50
Tip krmilnika	Fanuc 0i-MD
Dolžina mize (mm)	1600
Širina mize (mm)	750
Nosilnost mize (kg)	1500
Kapaciteta orodij	40
Moč vretena (kW)	22,4
Obrati vretena (rpm)	6000
Navor vretena (Nm)	453
Tip menjalnika	zobniško gnani
Višina (mm)	3210
Dolžina (mm)	4133
Širina (mm)	3900
Masa (kg)	15,500

3.3.2 Programiranje CNC strojev

Poznamo tri načine programiranja CNC strojev, in sicer:

- ročno programiranje,
- ročno programiranje na izhodni enoti (zaslonu),
- programiranje s pomočjo računalnika.

Ročno programiranje je tehnološko najstarejša in najnižja stopnja programiranja NC in CNC strojev. Programer je od začetka do konca prepuščen sam sebi. Glede na delavniško risbo s pisanjem izvirnega programa vodi orodje od točke do točke. Pri tem mora programer paziti, da upošteva tehnološke parametre (obdelovalnost materiala obdelovanca, lastnosti, optimalne parametre obdelave). Ta način programiranja se uporablja pri tehnološkem razvoju obdelave delov preprostih oblik in v primerih, ko je na voljo majhno število CNC strojev.

Slabost ročnega programiranja je predvsem, da lahko tak način izdelave postane tako imenovano ozko grlo proizvodnje – posebej takrat, ko gre za kompleksne izdelke. Proizvodni proces zahteva večje število programerjev, tehnološki postopek izdelave pa je daljši, kar vpliva tudi na višjo ceno izdelka.

Pri ročnem programiranju direktno na izhodni enoti (zaslonu) programer v roke dobi delavniško risbo, jo preuči in si pripravi vso potrebno orodje. Ko določa in umerja orodja, je dolžan vsakemu orodju določiti parametre glede na zahtevan material obdelovanca. Ko to opravi, sledi operacijski postopek obdelave in njegovo zaporedje. Na tem mestu sta v veliko pomoč sam meni stroja z opcijami, ki so na razpolago, in grafična simulacija poti orodja na ekranu. Programer mora paziti, da se zaporedja obdelav logično in smiselno nadaljujejo (na primer: 1. grezenje, 2. vrtanje, 3. vtiskanje navoja) ter da je obdelovanec narejen v najkrajšem možnem času.

Tretji, najmodernejši način je programiranje s pomočjo računalnika. Pri tem načinu se s pomočjo CAD/CAM sistema ter dialogom med programerjem in računalnikom vnese delavniško risbo na CAD program in se izdela 3D model. Nato se na osnovi lastne baze tehnoloških podatkov orodja in materiala s pomočjo CAM programa napiše program. CAM program tukaj ponuja optimalne tehnološke parametre za določeno orodje ter analizira in izračuna čas izdelave. Program se nato shrani in prenese na stroj. Ta način dandanes prevladuje predvsem zaradi hitrejšega ustvarjanja programa, manjših možnosti napak in boljše uporabe virov.

3.4 CAD/CAM

CAD/CAM je izraz, ki se uporablja za sistem, ki omogoča avtomatski potek od konstruiranje izdelka do njegove proizvodnje. Uporabljamo ga za načrtovanje in izdelavo prototipov, končnih izdelkov in proizvodnih tipov. CAM uporablja module in

sklope, ustvarjene v programski opremi CAD, da ustvari orodne poti, ki poganjajo obdelovalna orodja in pretvorijo modele v fizično obliko

3.4.1 CAD

Izraz CAD oziroma računalniško podprto konstruiranje pomeni uporabo računalnikov (ali delovnih postaj) za pomoč pri ustvarjanju, spreminjanju, analizi ali optimizaciji dizajna. Uporablja se za povečanje produktivnosti oblikovalca, izboljšanje kakovosti oblikovanja, izboljšanje komunikacije s pomočjo dokumentacije in ustvarjanje baze podatkov za izdelavo. CAD predstavlja pomembno industrijsko umetnost, ki se široko uporablja v avtomobilskih, ladjedelniških, vesoljskih, lesarskih, gradbenih in arhitekturnih panogah. Pogosto se uporablja tudi za izdelavo računalniških animacij, za posebne učinke v filmih in oglasih. CAD je bil zaradi svojega ogromnega gospodarskega pomena glavna gonila sila za raziskave računalniške geometrije in računalniške grafike.

3.4.2 CAM

CAM označuje računalniško podprto proizvodnjo ter pomeni učinkovito uporabo programske opreme in računalniško vodenih strojev za načrtovanje, upravljanje in nadziranje proizvodnih procesov. Z uporabo podatkov o dimenzijah izdelka, pridobljenih iz modelov in risb, ustvarjenih v CAD programu, se v CAM programu generira G koda za obdelovanje na stroju, ki ga upravlja računalnik. Za delovanje potrebujemo tri komponente:

- **programsko opremo** (pove nam, kako narediti izdelek z ustvarjanjem poti orodja),
- **stroj** (pretvori surovino v končni izdelek),
- **postprocesor** (pretvori pot orodja v jezik, ki ga razume stroj – G koda).

Programska oprema CAM pripravi model za strojno obdelavo z več dejanji vključno z:

- preverjanjem, ali ima model kakršnokoli geometrijsko napako, ki bi vplivala na postopek izdelave;
- izdelavo poti orodja, kar pomeni, da napiše niz koordinat, ki jim bo stroj sledil med obdelavo;
- nastavitvijo potrebnih parametrov stroja (hitrost rezanja, napetost, višina reza itd.);
- konfiguriranjem gnezdenja (sistem določi najboljšo orientacijo dela z namenom učinkovitosti obdelave);
- pripravo izračuna proizvodnega časa, ki poteka samodejno na podlagi parametrov z upoštevanjem velikosti in razporeditve izdelka;
- pripravo simulacije in vizualizacijo proizvodnega procesa.



Slika 8: Zaporedje v proizvodnji od idejne zasnove do končnega izdelka
(Vir: Lasten)

3.4.3 Prednosti uporabe CAD/CAM sistema

Prednosti, ki jih ponuja CAD/CAM sistem, so dandanes nujne za napredovanje in preživetje v svetu globalne konkurence. To so:

- povečanje produktivnosti, ki ga lahko dosežemo z avtomatizacijo rutinskih nalog, vnosom standardnih delov iz baze podatkov in s hitro izdelavo prototipa,
- povečanje programskega potenciala (sposobnost za izdelavo težjih in bolj zapletenih izdelkov),
- odstranjevanje napak, ki se pojavijo v procesu konstruiranja,
- ponovno risanje po spremembi ni več potrebno,
- izboljšanje komunikacije s strankami in na delovnih mestih (med ekipami, inženirji, drugimi programi),
- omogoči pregled številnih možnosti v načrtih, preden so sprejete dokončne odločitve,
- stroški proizvodnje izdelka se lahko določijo v fazi konstruiranja,
- hitrejši razvoj in večja kvaliteta izdelkov.

4 ORODNA JEKLA

Poznamo več kot 200 vrst orodnega jekla, vendar idealnega orodnega jekla zaenkrat še nimamo. Posledično je pri izdelavi orodja pomembna izbira pravega jekla ter pravilne mehanske in toplotne obdelave le-tega. Orodna jekla uporabljamo za izdelavo vseh vrst orodij, ročnih in strojnih, kot so na primer rezilna orodja, kokile in utope.

Zahteve za orodna jekla so:

- trdota v hladnem in vročem,
- žilavost in odpornost proti lomljenju in krušenju,
- odpornost proti obrabi,
- popuščna obstojnost,
- odpornost proti koroziji in škajanju (škaja je oksidna plast na kovini, ki nastane ob žarjenju pri visoki temperaturi),

- trdnost pri povišanih temperaturah,
- dinamična trajna trdnost.

Orodna jekla morajo imeti za dobro uporabnost ustrezno obliko, zato je pomembna lastnost materiala obdelovalnost, ki se pokaže predvsem pri postopkih odrezovanja (struženje, rezkanje in vrtanje). Glede na to, da jih večinoma dobimo v mehko žarjenem stanju, je le-ta omogočena.

4.1 VRSTE ORODNIH JEKEL

Osnovni lastnosti, po katerih ocenjujemo orodna jekla, sta trdota in žilavost. Delitev orodnih jekel v praksi izgleda takole:

- **Ogljikova orodna jekla za delo v hladnem stanju** (po SIST EN 10027-2 1.1820, 1.1620,...) so jekla, za katera sta značilna trda in proti obrabi odporna površina ter mehko in žilavo jedro. Vsebina ogljika v njih je od 0,5 do 1,4 %. Manjši kot je odstotek ogljika, bolj so jekla žilava in bolje prenašajo udarce, večji kot je odstotek ogljika, bolj so jekla trda in odpornejša proti obrabi. Značilno je, da na površini dobimo zelo visoko trdoto 62–68 HRC, ki pri popuščanju na 400 °C že pade pod 50 HRC. Pomembno je, da takšno vrsto jekla ne kalimo, ker v nasprotnem primeru izgubimo žilavost jedra.
- **Legirana jekla za delo v hladnem stanju** (po SIST EN 10027-2 1.2363, 1.4125,...) so jekla, ki so namenjena za delo pri temperaturi do 200 °C. Lastnosti teh jekel se regulirajo s pomočjo vsebnosti ogljika in legiranih elementov (krom, molibden, vanadij in volfram), ki tvorijo karbide v jeklu in s tem spreminjajo njegove lastnosti. Legirana jekla za delo v hladnem stanju se uporabljajo predvsem za orodja za oblikovanje, rezanje, vtiskovanje in valjanje. Trdota teh jekel ostane okoli 50 HRC tudi pri popuščanju na 500 °C.
- **Legirana orodna jekla za delo v vročem** (po SIST EN 10027-2 1.2365, 1.2581,...) so jekla, ki jih uporabljamo za orodja, ki se pri uporabi močno segrejejo. Značilnosti teh jekel so trdota in trdnost v vročem stanju ter obrabna obstojnost. Uporabljajo se, kadar je zahtevana velika popuščna obstojnost, ki jo dosežemo z dodajanjem legiranih elementov.
- **Hitrorezna orodna jekla** (po SIST EN 10027-2 1.3265, 1.3343 ...) so jekla, namenjena za rezalna orodja, štančna orodja in oblikovalna orodja. Lastnosti teh jekel so visoka trdota v hladnem in vročem stanju, visoka obstojnost proti obrabi in visoka žilavost. Pomembni sta predvsem dve skupini hitroreznih jekel, in sicer molibdenova (delež Mo je do 10 %) in volframova (delež volframa je do 20 %). Hitrorezna orodna jekla so izredno zahtevna za obdelavo pri zelo visokih temperaturah. Trdoto dosežemo z visoko koncentracijo ogljika in je od 64 HRC naprej.

4.2 TOOLOX®

Švedski proizvajalec SSAB je z uporabo visokokakovostnih surovin, nizkoogljičnega metalurškega koncepta in naprednega procesa kaljenja razvil jekla Toolox® (DIN 7527), ki imajo na videz nemogočo kombinacijo trdote, žilavosti in trdnosti.

Moderna orodna jekla Toolox® so predhodno kaljena in poboljšana inženirska ter orodna jekla, ki se od konkurenčnih jekel najbolj razlikujejo po morfologiji karbidov. Izjemno popularna so v orodjarstvu in strojogradnji.

Njihove prednosti so:

- veljajo za orodna jekla z najvišjo trdoto v svetovnem merilu Toolox® 44 (41–47 HRC),
- odlične obdelovalne lastnosti;
- visoka žilavost, ki so jo uspeli doseči z visokimi kalilnimi hitrostmi in nizkoogljичnim konceptom (sprememba morfologije karbidov, ki je osnova za varivost, žilavost in obdelovalnost);
- enostavnost za termično rezanje in varjenje;
- odlična dimenzijska obstojnost zaradi visoke temperature popuščanja, kar pomeni, da lahko izdelke izdelamo v enem vpetju, brez potrebe po dodatnem napetostnem žarjenju;
- visoka čistoča za odlično obrabno obstojnost;
- odlična so za poliranje, jedkanje in plastenje,

Kot zanimivost velja omeniti, da je jeklo Toolox® 44 od ostalih klasičnih orodnih jekel na trgu enake trdote (45HRC) dva do tri krat bolj žilavo.

4.2.1 Kemična sestava Toolox 44®

Tabela 2: Kemična sestava modernega jekla Toolox 44

ELEMENT	Toolox® 44
Ogljik (C)	0,32 %
Silicij (Si)	0,6–1,1 %
Mangan (Mn)	0,8 %
Fosfor (P)	Max 0,01 %
Krom (Cr)	1,35 %
Molibden (Mo)	0,80 %
Vanadij (V)	0,14 %
Nikelj (Ni)	Max 1,0 %

Še posebej primerno jeklo za plastične in gumene kalupe je orodno jeklo Toolox® 33. Omenjeno jeklo ima podobne lastnosti kot Toolox® 44, razlikujeta ju le kemična sestava in trdota (33–35 HRC).

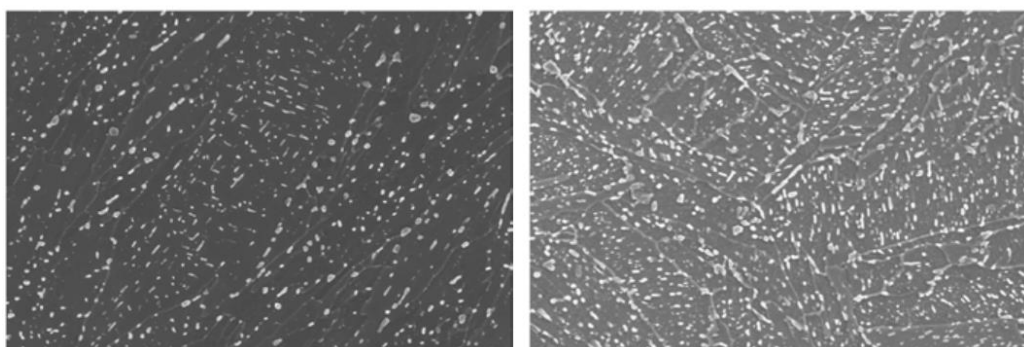
Orodno jeklo Toolox® 33 ima tudi odlične obdelovalne lastnosti, nizko notranjo napetost in dimenzijsko obstojnost. Prav tako je enostavno za poliranje in jedkanje.

4.2.2 Kemična sestava Toolox 33®

Tabela 3: Kemična sestava modernega jekla Toolox 33

ELEMENT	Toolox® 33
Ogljik (C)	0,22–0,24 %
Silicij (Si)	0,6–1,1 %
Mangan (Mn)	0,8 %
Fosfor (P)	Max 0,01 %
Krom (Cr)	1,0–1,2 %
Molibden (Mo)	0,3 %
Vanadij (V)	0,1–0,11 %
Nikelj (Ni)	Max 1,0 %

Če primerjamo kemično sestavo obeh jekel, opazimo, da sta si jekli precej podobni. Izstopata deleža kroma (Cr) in molibdena (Mo), ki sta pri Toolox® 33 občutno nižja, kar rezultatsko pomeni tudi nižjo trdoto samega jekla. Nizek delež ogljika (C) pri obeh jeklih ponazarja odlično varivost.



Toolox 33
Area of carbides 6.4 %

W.Nr. 1.2311 (P20)
Area of carbides 10.0%

Slika 9: Primerjava mikorstrukture jekla Toolox 33 in jekla z oznako 1.2312
(Vir: <https://www.ssab.com/products/brands/toolox/toolox-download>)

Na zgornji sliki vidimo primerjavo mikrostrukture jekla Toolox® 33 in jekla 1.2312. Razberemo lahko spremembo morfologije karbidov, trdih delcev, ki se težko obdelujejo in povzročajo obrabo rezilnega orodja, in 30 odstotkov manjši delež le-teh.

4.2.3 Kakovost jekel Toolox®

Edinstvena struktura jekel Toolox® presega uveljavljene jeklene standarde, napredno litje jekla pa zagotavlja ESR lastnosti. Te lastnosti proizvajalci jekla pridobivajo s pomočjo metode ESR ali elektroslagnega taljenja (elektro taljenje žindre). Elektroslagno taljenje je postopek, pri katerem staljena kovina pred strjevanjem prehaja skozi plast posebnega toka, ki iz taline izbere zunanje elemente, kot so fosfor, žveplo itd. Metoda ESR zagotavlja nizko mikro in makro segregacijo, čistost in homogenost mikrostrukture. Jeklo vsebuje manj škodljivih nečistoč in enakomerno razporejene karbide, ima kompleksno zanimivo sestavo, lep kot, močno trdoto, visoko viskoznost in je najbolj primerno za utrjevanje na zraku. Izdelki, ki potrebujejo take lastnosti, se po navadi pojavljajo tam, kjer obstaja visok rizični koeficient (letalska, jedrska in vojaška tehnologija).



Slika 3.2: Primerjava med jeklom Toolox 44 in jeklom z oznako 1.2379 v aplikaciji
(Vir: <https://www.ssab.com/products/brands/toolox/toolox-download>)

Pri aplikacijah, ki zahtevajo dodatno površinsko trdoto, da preprečimo obrabo, lahko jeklo Toolox® nitriramo (bogatenje z dušikom), dodamo PVD nanos (fizikalna prevleka s parnim nanosom, ki izboljšuje odpornost proti koroziji in rjavenju) ali pa izvajamo indukcijsko kaljenje.

Površinsko obdelavo lahko izvajamo vse dokler temperatura ne preseže 590 °C. Površinska trdota se s takšnimi metodami poveča vse do 65 HRc.

4.2.4 Primeri uporabe jekla Toolox®

1. Orodja za hladno preoblikovanje



Slika 10: Matrica, narejena v orodju za hladno preoblikovanje
(Vir: <https://www.ssab.com/products/brands/toolox/applications>)

Funkcija: Matrica iz nerjavečega jekla, ki se uporablja v toplotnih izmenjevalcih.

Rešitev: Material W.Nr.1.2344 (X40CrMoV5-1) (orodno jeklo za delo v vročem) je nadomestil Toolox® 44.

Izdelava: Zgornji del matrice je bil narejen v enem vpetju, kar je zelo vplivalo na strošek dela in časovno izdelavo. Matrica je bila po izdelavi kaljena na 50HRc.

Rezultat: Več kot 600.000 izdelanih kosov s popolnimi rezultati.

2. Orodja za brizganje plastike in gume



Slika 11: Izdelek, narejen v kalupu za brizganje plastike
(Vir: <https://www.ssab.com/products/brands/toolox/applications>)

Funkcija: Pokrovček za pokrivanje kablov.

Rešitev: Toolox® 44.

Izdelava: Kalup je sestavljen iz dveh delov, in sicer oblikovna stran iz Toolox jekla, ki je bil za poizkusno serijo narejen s standardno trdoto 45 HRc, za serijsko proizvodnjo pa utrjen z nitriranjem na 62 HRc.

Rezultat: Narejenih 50.000 kosov brez napak, kalup je še vedno 100 % funkcionalen.

3. Strojni deli



Slika 12: Različna držala za orodje

(Vir: <https://www.ssab.com/products/brands/toolox/applications>)

Funkcija: Držala za orodje.

Rešitev: AISI 4140 (nizko legirano jeklo) je nadomestil Toolox® 44.

Izdelava: Kosi so se izdelali, ker je material začel kazati razpoke na tankih delih.

Rezultat: Držala za orodje so dosegla 3x daljšo življenjsko dobo brez toplotne obdelave. Pri sami obdelavi je prišlo do manjših vibracij in s tem se je izboljšala tudi kvaliteta površine obdelovanca.

4. Obrabne komponente



Slika 13: Os avtomobilskega drobilnika

(Vir: <https://www.ssab.com/products/brands/toolox/applications>)

Funkcija: Os avtomobilskega drobilnika.

Rešitev: Jeklo za poboljšanje 42CrMo4 je nadomestil Toolox® 44.

Izdelava: Izdelava osi iz drugega materiala je bila nujno potrebna, saj je pri prvotnem materialu prišlo do deformacije pri toplotni obdelavi.

Rezultat: Lažja in hitrejša izdelava, 30 % daljša življenjska doba.

5. Manjše oblike tlačnega litja



Slika 14: Primer kalupa za medeninaste komponente
(Vir: <https://www.ssab.com/products/brands/toolox/applications>)

Funkcija: Kalup za medeninaste komponente.

Rešitev: Jeklo QRO 90 (legirano jeklo za delo v vročem) je nadomestil Toolox® 44.

Izdelava: Kalup iz jekla QRO 90 se je izkazal kot tehnično dobro delujoča odločitev, vendar se je problem izkazal pri stroških izdelave, ki so bili nesprejemljivi.

Rezultat: Cenejša izdelava, enostavnejša strojna obdelava in boljša kvaliteta površine po poliranju.

6. Orodja za preoblikovanje z iztiskanjem



Slika 15: Primer orodja za preoblikovanje
(Vir: <https://www.ssab.com/products/brands/toolox/applications>)

Funkcija: Orodje, ki se uporablja za izdelavo stebrov v avtomobilski industriji.

Rešitev: Material W.Nr. 1.2379 (X153MoCrV12) je nadomestil Toolox® 33.

Izdelava: Zaradi novih zahtev za preizkus porušitve je bilo potrebno novo orodje. Material Toolox® 33 je proizvajalec izbral v prvi vrsti zaradi dobavnega roka prejšnjega materiala.

Rezultat: Rok izdelave matric po naročilu se je skrajšal za 14 dni, saj se je proizvajalec ognil postopka toplotne obdelave. Obdelava materiala je bila enostavnejša z manjšimi odstopanji kot pri prejšnjem materialu.

4.2.4 Priporočeni parametri za vrtanje v jekla Toolox®

Proizvajalec jekla SSAB priporoča, da v kolikor imamo v delavnici nestabilen stroj, smemo uporabljati samo HSS svedre. Če so strojni pogoji dobri, smemo uporabljati tudi karbidne svedre in svedre z zamenljivo glavo.

Priporočeno je tudi, da preden konica svedra prodre skozi površino materiala, znižamo hitrost podajanja. V nasprotnem primeru se nam lahko zgodi, da polomimo konico vrtalnega svedra.

Tabela 4: Priporočene vrednosti za vrtanje s HSS svedri

Diameter (mm)	METRIC	Toolox 33 65-90		Toolox 44 40-65	
	V_c (m/min)	min-max	start value	min-max	start value
	f_n (mm/rev)				
3.0 - 5.0		0.08-0.15	0.10	0.06-0.11	0.07
5.01-10.0		0.09-0.16	0.12	0.08-0.13	0.10
10.01-15.0		0.16-0.22	0.18	0.12-0.18	0.15
15.01-20.0		0.22-0.28	0.25	0.16-0.20	0.18

Tabela 5: Priporočene vrednosti za vrtanje s HM svedri

Diameter (mm)	METRIC	Toolox 33 50-80		Toolox 44 40-60	
	V_c (m/min)	min-max	start value	min-max	start value
	f_n (mm/rev)				
7.5-12.0		0.10-0.16	0.13	0.08-0.14	0.11
12.01-20.0		0.15-0.23	0.20	0.12-0.20	0.15
20.01-25.0		0.18-0.27	0.22	0.14-0.22	0.17
25.01-30.0		0.20-0.30	0.24	0.16-0.25	0.19

Tabela 6: Priporočene vrednosti za vrtanje s svedri z zamenljivo konico

Diameter (mm)	METRIC	Toolox 33 65-90		Toolox 44 40-65	
	V_c (m/min)	min-max	start value	min-max	start value
	f_n (mm/rev)				
3.0 - 5.0		0.08-0.15	0.10	0.06-0.11	0.07
5.01-10.0		0.09-0.16	0.12	0.08-0.13	0.10
10.01-15.0		0.16-0.22	0.18	0.12-0.18	0.15
15.01-20.0		0.22-0.28	0.25	0.16-0.20	0.18

4.2.5 Priporočeni parametri za rezkanje jekla Toolox®

Pri rezkanju jekla Toolox® je priporočljivo, da se pri vpenjanju uporablja metodo "deformation free", kar pomeni, da kos vpenjamo na obdelovalno mizo tako, da imamo iz vseh strani surovca prosto pot do obdelovalne površine. Priporoča se uporabo magnetnih miz.

Pred samo obdelavo surovca je potrebno odrezati 2 do 3 mm površine, če je surovec rezan s plinskim gorilnikom. Pokazatelj tega je rdečkastorjava površina surovca. S tem dejanjem bomo dosegli najboljšo obdelovalnost.

Med rezkanjem smo opazili, da so odrezki obarvani modro, kar je pokazatelj, da se temperatura rezanja prenese v odrezek in ne v orodje. To je posledica spremembe morfologije karbida jekla z manj ogljika s strani proizvajalcev.



Slika 16: Značilni modri odrezki pri obdelovanju jekla Toolox® 44
(Vir: Lasten)

Pomembno je, da vedno uporabljamo metodo "climb milling" oziroma rezkanje navzdol in da se izogibamo rezanju po sredinski črti rezalnika, saj to lahko povzroči vibracije in nam skrajša življenjsko dobo orodja.

Tabela 7: Priporočene vrednosti za rezkanje rež

		Toolox 33	Toolox 44
V_c (m/min)		85-110	70-95
Feed rate (f_z)		min-max	min-max
Diameter	3.0-6.0	0.01-0.03	0.01-0.03
	8.0-12.0	0.04-0.07	0.03-0.06
	14.0-20.0	0.07-0.10	0.06-0.08

Globina rezanja a_p pri rezkanju rež je maksimalno polovica premera orodja.
 $A_p = 0,5 \cdot D$

Tabela 8: Priporočene vrednosti za obodno rezkanje

		Toolox 33	Toolox 44
V_c (m/min)		200-230	160-190
Feed rate (f_z)		min-max	min-max
Diameter	3.0-6.0	0.02-0.05	0.02-0.04
	8.0-12.0	0.07-0.10	0.06-0.09
	14.0-20.0	0.10-0.14	0.10-0.12

Globina rezkanja a_p pri obodnem rezkanju je lahko celotna rezalna dolžina orodja, pri radialni globini rezanja a_e pa maksimalno 10 odstotkov premera orodja.

$$A_p = 1 \cdot D$$

$$A_e = maks. 0,1 \cdot D$$

Tabela 9: Priporočene vrednosti za čelno rezkanje z kotom orodja 45°

V_c (m/min)	Toolox 33 180-220		Toolox 44 120-160	
	min-max	start value	min-max	start value
Insert grade P30	0.15-0.35	0.25	0.15-0.35	0.25

3.2.6 Formule za izračun vrtljajev in hitrost pomika

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

$$V_f = F_z \cdot n \cdot Z$$

n = vrtljaji (min^{-1})

V_c = podajalna hitrost (m/min)

D = premer rezkarja (mm)

V_f = hitrost pomika (m/min)

F_z = pomik/zob (mm)

Z = število zob orodja

5 SOLIDWORKS

SolidWorks je svetovno znan program podjetja Dassault Systemes za računalniško podprto oblikovanje in inženirske analize. Program zajema 3D modelirnik, modul za sestavljanje in modul za izdelavo tehniške dokumentacije. Zaradi relativno enostavne uporabe je zelo priljubljen v panogah, kot so strojništvo, elektrotehnika in lesarstvo, čeprav ga po zmogljivosti prekašajo razni programski paketi drugih ponudnikov. Je eden izmed prvih CAD programov, zasnovanih za sistem Windows, saj je bila prva različica predstavljena že leta 1993.

Izdelava modela v programu SolidWorks se običajno začne z 2D skico, čeprav imajo zahtevnejši uporabniki možnost 3D skice. Skica je sestavljena iz geometrije, kot so točke, črte, loki, stožci in vretena. Ko je skica zaključena, se dodajo dimenzije, da se določi velikost geometrije (dimenzije je mogoče nadzorovati neodvisno ali z razmerjem do drugih parametrov). Za določitev lastnosti lahko dodajamo razmerja, kot so tangenca, paralelizem, pravokotnost in koncentričnost.

5.1 SOLIDCAM

SolidCAM je vodilna integrirana programska oprema CAM, ki deluje znotraj CAD programa (SolidWorks) in je popolnoma integrirana. Je edina programska oprema, ki pokriva celoten spekter programskih modulov za 2.5D rezkanje, 3D rezkanje, 4/5 osno pozicionirano in simultano rezkanje, struženje in žično erozijo. SolidCAM ponuja možnost, da je mogoče pod enim oknom vse postopke obdelave definirati in simulirati, brez da bi zapustili okolje CAD. Z njihovim modulom iMachining, ki je posebno priljubljen med zahtevnimi tehnologiji, je mogoče obdelovalne čase skrajšati tudi do 3x.

6 IMACHINING

SolidCAM iMachining je modul znotraj programske opreme SolidCAM in predstavlja inteligentno tehnologijo rezkanja z visokimi hitrostmi, ki je oblikovana za hitro izdelavo varnih CNC programov za obdelavo mehanskih komponent.

Narejen je tako, da na podlagi materiala obdelovanca, dimenzije obdelovanca, orodja in stanja orodja določi takšne parametre in poti orodja, da sta obdelava in stopnja obrabe orodja čim manjša.

V primerjavi z najhitrejšo konvencionalno obdelavo je iMachining občutnejše hitrejši, saj namesto vzporedne obdelave s povratki orodja uporablja spiralno pot (zvezno spremenljive spirale) s čim manj nepotrebne rezanja zraka. V primeru, ko spiralne poti niso mogoče, tehnologija uporablja trohoidno tehniko. Trohoidna tehnika odrezavanja je metoda odrezavanja, pri kateri s krožnimi gibi odrezujemo obdelovanec. Bistveno manjše je tudi tveganje za lom orodja ali izpostavljenost prekomerni obrabi stroja. Za doseg tega cilja tehnologija iMachining uporablja patentirane algoritme, ki ohranjajo konstantno mehansko in toplotno obremenitev orodja z rezkanjem tankih odrezkov pri visokih hitrostih in globinah rezanja.

Modul je bil razvit leta 2011, in sicer s ciljem razvoja čim bolj optimalnih poti orodja pri čemer morajo biti pogoji obdelovanja izračunani avtomatsko s pomočjo algoritmov.

Uporablja se v serijskih proizvodnjah za manjše in srednje velike obdelovance, predvsem tam, kjer je potrebno odstraniti velike količine materiala.

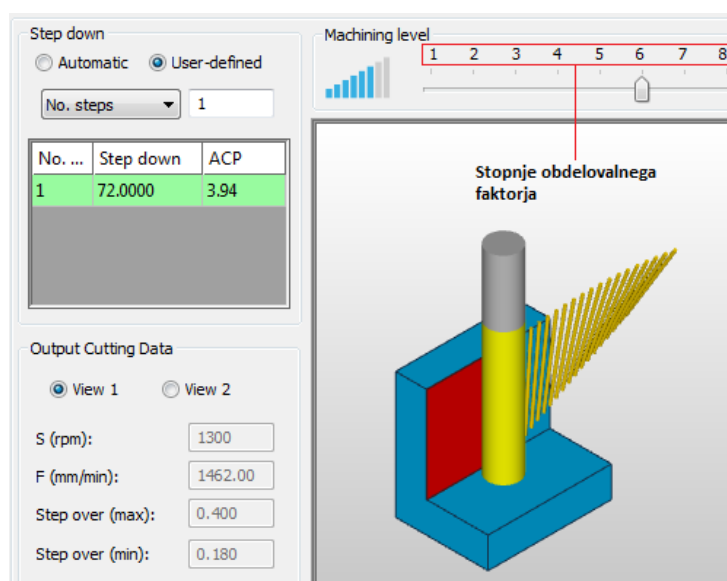
6.2 ALGORITEM ZA TEHNOLOGIJO

Običajno parametre obdelave določamo na podlagi izkušenj, preizkusov in beleženja učinkovitih kombinacij, pri iMachining tehniki pa to delo opravlja tako imenovani iMachining tehnološki čarovnik, ki na podlagi podatkov o materialu in orodju z algoritmom določi obdelovalne parametre (vrtilna hitrost, hitrost podajanja ipd.). Za podatek o materialu program potrebuje njegovo natezno trdnost, ki pa se po navadi že nahaja v SolidCAM-ovi knjižnici. Če teh podatkov v knjižnici ni, jih lahko vnašamo sami.

Na samem začetku je algoritem uporabljal tako imenovani Power Factor, ki nam pove, kakšno moč potrebujemo, da odrežemo kubični centimeter materiala v minuti. Problem tega parametra je bil, da ni obstajal ali pa ni bil na voljo, zato so razvili algoritem, ki izračuna parametre na podlagi natezne trdnosti materiala.

Podatke o materialih se lahko najde na spletnih straneh, kot je na primer www.matweb.com.

Dodatno lahko v čarovniku spreminjamo tudi obdelovalni faktor (ang. Machinability Factor), ki nam pove, s kakšno intenzivnostjo lahko obdelujemo določen surovec. Izbiramo lahko med osmimi različnimi stopnjami obdelave, pri čemer je osma najbolj agresivna. Ta faktor lahko spreminjamo samo, ko opazimo, da lahko določen surovec obdelujemo hitreje ali počasneje, vsaka stopnja pa nam ponuja približno 10 % višjo podajalno hitrost. Višja stopnja obdelovalnosti ima tudi negativen učinek. Zaradi debelejših odrezkov vpliva na obstojnost orodja, zaradi velikega momenta na vretenu pa tudi na življenjsko dobo samega stroja.



Slika 17: Tako imenovani čarovnik v modulu iMachining
(Vir: Lasten)

Čarovnik na našo izbiro stopnje odgovori z obarvanim kvadratom, kjer sta prikazana število korakov in globina rezanja v treh različnih barvah: zelena – priporočeno, rumena – srednja verjetnost vibracij, rdeča – velika verjetnost vibracij.

S povečanjem podajanja in hitrosti vretena za 10 % pri vsakem koraku se bo povečal MRR brez spremembe debeline odrezka, vendar se bosta hkrati povečala tudi izhodna moč, ki jo potrebujemo, in rezalna hitrost. Preden se odločimo za višjo stopnjo obdelovalnega faktorja, je priporočljivo, da se prepričamo, ali imamo na razpolago dovolj moči, dober hladilni sistem in novo ostro orodje z nedotaknjeno prevleko, saj si bomo v nasprotnem primeru naredili samo strošek s hitreje izrabljenimi orodji, kljub zmanjšanemu obdelovalnemu času.

6.3 POVEZAVA MED DEBELINO ODREZKOV IN PODAJANJEM NA ZOB

Modul iMachining uporablja tako imenovano tehnologijo kontroliranega koraka. To pomeni, da lahko debelino odrezka kontroliramo s podajanjem na zob, širino reza, prijemnim kotom in premerom orodja, kot je razvidno iz spodnje enačbe.

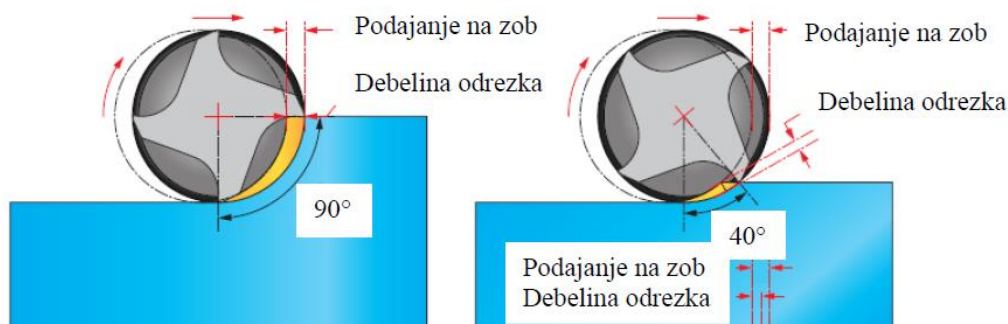
$$h = fz \cdot \sqrt{\frac{ae}{D}}$$

Širine reza zaradi tehnologije prilagodljivih spiral ne spreminjamo. Da ohranimo debelino odrezka, lahko torej spreminjamo podajanje na zob ali premer orodja. Podajanje na zob oziroma razdalja na obdelovancu, ki jo posname en zob pri enem obratu, je odvisno od podajanja na obrat in števila zob.

$$fz = \frac{f}{Z}$$

Število zob frezala je konstantno, zato moramo spreminjati podajanje na obrat, ki pa je odvisno od podajalne hitrosti in vrtilne hitrosti.

$$f = \frac{vf}{n}$$



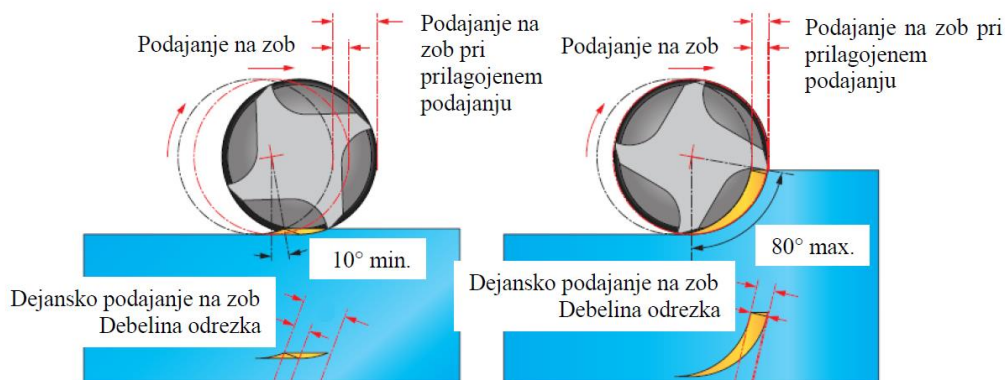
Slika 18: Podajanje na zob in debelina odrezka

(Vir: F. Markovič, diplomsko delo iMachining)

Pri kotu oprijema 90° sta debelina odrezka in razdalja, ki jo posname en zob pri enem obratu frezala, enaki. S tem ko kot oprijema manjšamo, manjšamo tudi debelino odrezka.

V praksi običajno želimo, da je debelina odrezkov konstantna, saj s tem zagotovimo konstantno silo na orodje. To v praksi dosežemo s spreminjanjem podajalne hitrosti.

Ko je kot oprijema večji, podajalno hitrost manjšamo, ko je kot oprijema manjši, pa podajalno hitrost večamo. S tem omogočimo visok MRR in delovanje orodja v optimalnem območju.

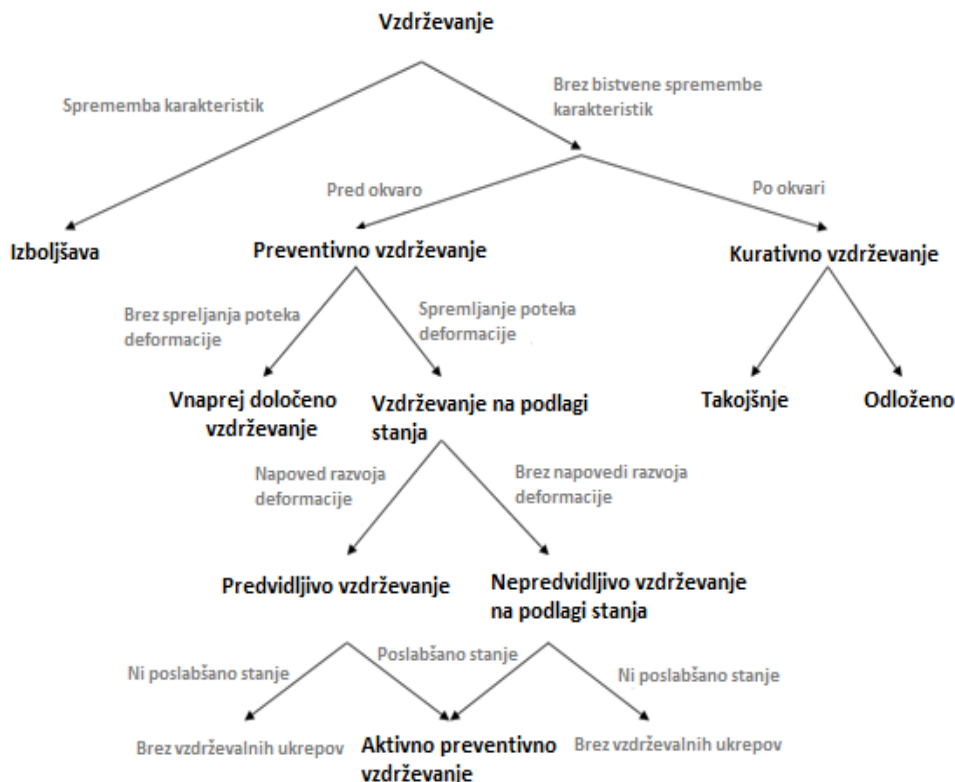


Slika 19: Prikaz povečanja podajalne hitrosti pri manjšem oprijemnem kotu
(Vir: F. Markovič, diplomsko delo iMachining)

7 VZDRŽEVANJE ORODNIH JEKEL

Vzdrževanje orodij je kombinacija vseh tehničnih dejanj med uporabnim obdobjem orodja, ki imajo namen ohraniti ali vzpostaviti stanje, v katerem lahko orodje izvršuje zahtevano funkcijo.

V orodjarstvu se srečujemo z dvema metodama vzdrževanja, in sicer preventivnim in kurativnim vzdrževanjem.



Slika 20: Vzdrževanje – splošni pregled
(Vir: Evropski standard SIST EN 13306-2017)

7.1 PREVENTIVNO VZDRŽEVANJE

Bistvo preventivnega vzdrževanja je, da se vzdrževalna dela opravljajo ciklično, po vnaprej določenem zaporedju, preden pride do okvare ali zastoja. S tem zmanjšujemo obrabo različnih delov orodij, strojev in naprav ter preprečujemo nenačrtovane okvare ali lome posameznih delov. Sistem preventivnega vzdrževanja je razmeroma drag, posledično pa ga je za posamezne dele smiselno ekonomsko pretehtati, saj lahko stroški znatno vplivajo na končno ceno izdelka ali storitve.

Tehnologija preventivnega vzdrževanja zajema sledeča dela:

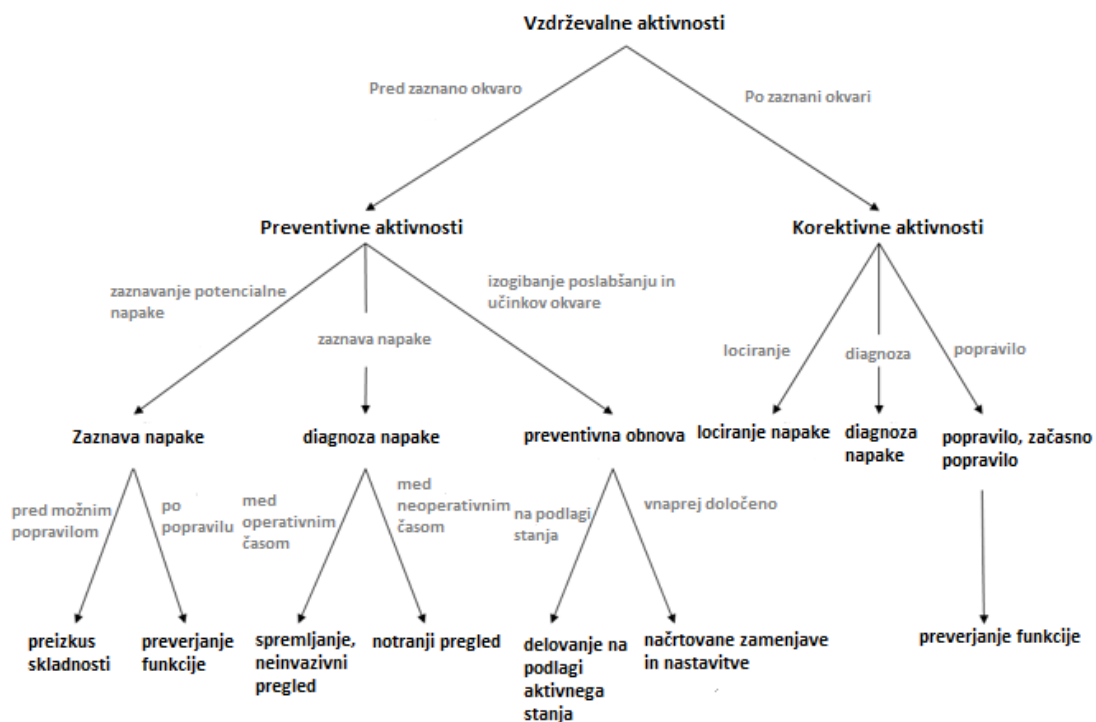
- periodične preglede, kamor spadajo preventivni pregledi (merjenje, odčitavanje, primerjanje, opazovanje), čiščenje in mazanje,
- iskanje in odkrivanje slabih mest na tehničnem sistemu,
- kontrolne preglede,
- planska popravila (obnova ali zamenjava obrabljenih delov, da tehnični sistem zdrži do časa, ki je ekonomsko upravičen).

Na osnovi statističnih ugotovitev lahko vnaprej določimo življenjsko dobo posameznih delov in strojev. To nam je v veliko pomoč, saj lahko načrtujemo zamenjavo in s tem preprečimo, da bi prišlo do okvare ali zastoja. Nenadnih okvar ali lomov različnih strojnih delov pa kljub preventivnemu vzdrževanju ne moremo v celoti preprečiti. Na tem mestu si pomagamo z metodo kurativnega vzdrževanja. Po omenjeni metodi moramo pokvarjene sestavne dele ali sisteme popraviti v najkrajšem možnem času.

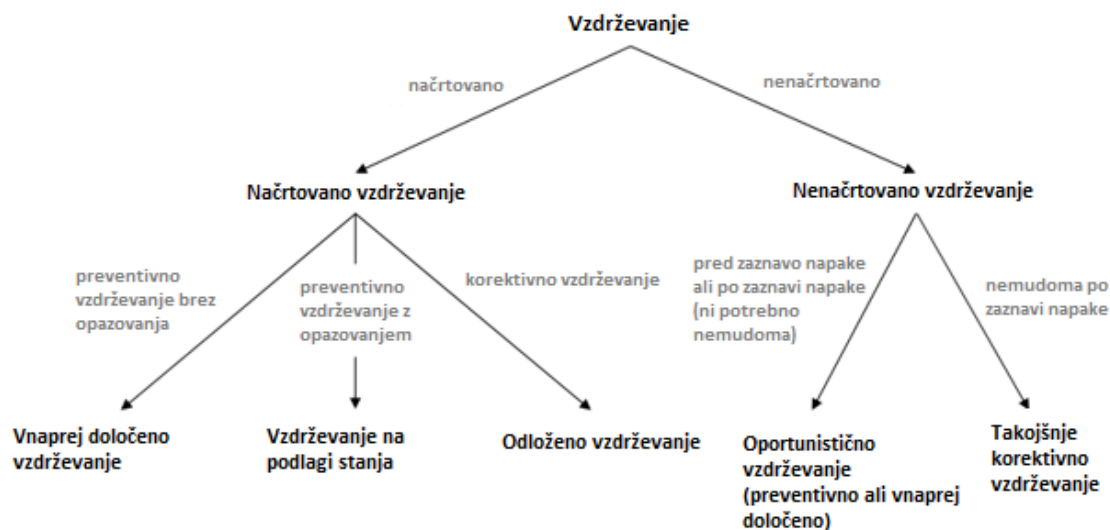
7.2 KURATIVNO VZDRŽEVANJE

Kurativno vzdrževanje nastopi, ko na napravi pride do okvare. Omenjeni način vzdrževanja se danes uporablja samo za nepomembne strojne dele, katerih zastoj ne vpliva direktno na odvijanje proizvodnega procesa.

Pri takšni metodi se okvarjen sestavni del ali sistem vrača v stanje dela, dokler ne pride do poškodbe. Z nastankom poškodbe pride do naglega izpada sistema in s tem do menjave ali popravila sestavnega dela ali sistema.



Slika 21: Pregled vzdrževalnih aktivnosti
(Vir: Vir: Evropski standard SIST EN 13306-2017)



Slika 22: Nenačrtovano in načrtovano vzdrževanje
(Vir: Vir: Evropski standard SIST EN 13306-2017)

Prednosti kurativne metode vzdrževanja:

- 100 % izkoristek strojnih delov ali sklopov,
- ne potrebujemo znanja zakonitosti poškodovanja sestavnih delov sistema.

Slabosti kurativne metode vzdrževanja:

- ne moremo predvidevati terminov izpada sistema,
- velika verjetnost dolgotrajnega vzdrževanja (naročilo in izdelava rezervnih delov),
- okvara lahko povzroči deformacijo tudi na drugih delih stroja, lahko pride celo do poškodbe obdelovanca ali delavca,
- skrajšuje se življenjska doba delovnih sredstev,
- produktivnost dela je zmanjšana v celotni družbi, saj se z okvarami slabša izkoriščanje naprav in delovne sile.

7.3 POŠKODBE ORODIJ

Poškodbe orodij lahko razdelimo na:

- obrabo,
- plastično deformacijo,
- krušenje roba orodja,
- razpoke.

Pri kaljenju in popuščanju orodnih jekel se izdelek lahko malenkost deformira. Deformacija lahko nastane zaradi:

- **grobe obdelave**, saj se med obdelavo material segreje, napetosti pa se sprostijo, kar privede do deformacije kovine. Ravno zaradi omenjenega je priporočljivo, da se izdelek žari po grobi obdelavi;
- **temperature** (neenakomerno segrevanje in ohlajanje lahko povzroči velike napetosti, ki deformirajo izdelek);
- **pramenske napetosti** (nastanek zaradi temperaturnih sprememb različnih gostot ferita, austenita in martenzita).

7.3.1 Obrabe orodij

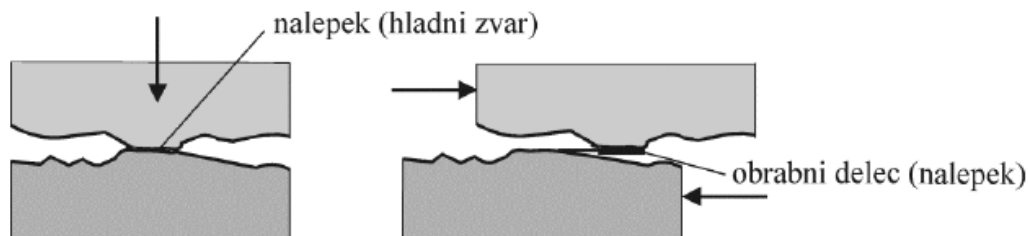
Obraba se pojavi praktično pri vseh preoblikovalnih operacijah, kjer pride do stika vrhov (grebenov) stičnih površin, in pri relativnem drsenju (odnašanje orodja in/ali preoblikovanca). Ne pojavi se samo v primeru, ko sta stični površini orodja in preoblikovanca ločeni z mazalnim filmom, to pa je nazaželjeno, saj tak način povečuje hrapavost izdelka.

Ločimo med naslednjimi vrstami obrab:

- adhezijska obraba – nastanek in trganje med molekularnimi vezmi,
- abrazijska obraba – odstranjevanje materiala z mikroodrezovanjem,
- obraba zaradi utrujenosti
- korozivna obraba.

7.3.1.1 Adhezijska obraba

Kljub temu da je površina preoblikovanca običajno prekrita z oksidnimi in absorpcijskimi sloji ter mazivom, grebeni vrhov materiala še vedno prodrejo skozi. Stiki grebenov med orodjem in preoblikovancem povzročijo ekstremno velike lokalne pritiske. Grebeni se plastično deformirajo, kontaktna površina se povečuje in lahko privede do hladnega zvara. Če se hladnega zvara (nalepka) ne odstrani, se ta povečuje, kar povzroči, da utrjeni vrhovi prodrejo skozi mazalni film in poškodujejo preoblikovanec.



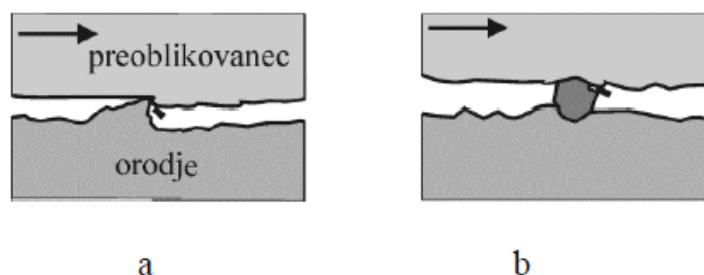
Slika 23: Načelo adhezijske obrabe
(Vir: Z. Kampuš: Skripta izdelovanje in vzdrževanje orodij)

7.3.1.2 Abrazijska obraba

Abrazijska obraba nastane zaradi abrazije med preoblikovancem in orodjem (dvodelna obraba) ali zaradi vrinjenih delcev med stičnimi površinami (večdelna obraba).

Dvodelna obraba se pojavi, ko grebeni tršega materiala z mikroodrezovanjem (razenjem) med drsenjem v mehkejšem materialu naredijo žleb. Po pojavu žleba kasneje pride tudi do odtrganih delcev. Dvodelno obrabo je v nasprotju z večdelno abrazivno obrabo možno zmanjšati s čim bolj gladko površino.

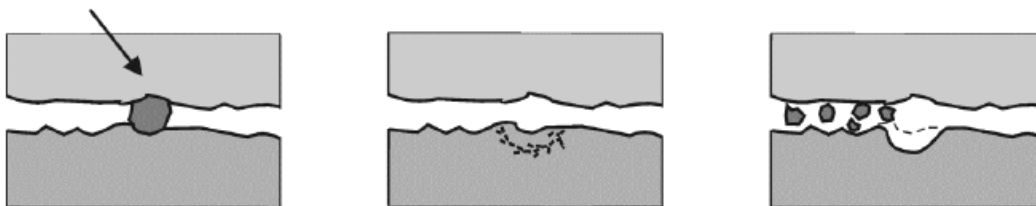
Vrinjeni delci, kot so na primer pesek, prah ali utrjeni delci, ki so nastali zaradi korozije ali pri adhezivni obrabi, so glavni razlog za nastanek **večdelne abrazivne obrabe**. Možnost nastanka večdelne obrabe je tudi zaradi velikih razlik trdot med obdelovancem in orodjem, saj se vrinjeni delci lahko vtisnejo v mehkejši material in poškodujejo tršo površino. Zmanjševanje obrabe je možno z mazivom, saj le-ta loči stične površine.



Slika 24: Načelo abrazijske obrabe (a – dvodelna obraba, b – večdelna obraba)
(Vir: Z. Kampuš: Skripta izdelovanje in vzdrževanje orodij)

7.3.1.3 Obraba zaradi utrujenosti

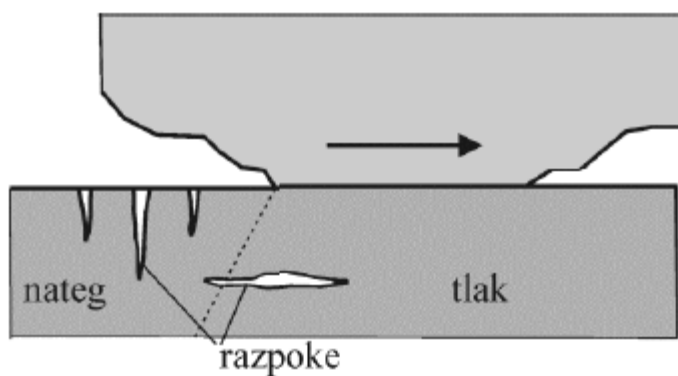
Mehanizmov, ki povzročijo to vrsto obrabe, je več in se prepletajo z adhezijsko in abrazivno obrabo. Izredno velik vpliv imajo še termične napetosti (neprestano segrevanje in ohlajanje stičnih površin) ter velike izmenične tlačne in natezne napetosti.



Slika 25: Mehanizem obrabe zaradi utrujenosti, ki jih povzročijo majhni delci
(Vir: Z. Kampuš: Skripta izdelovanje in vzdrževanje orodij)



Slika 26: Mrežaste razpoke kot posledica termičnih napetosti
(Vir: Z. Kampuš: Skripta izdelovanje in vzdrževanje orodij)



Slika 27: Razpoke na površini in pod njo kot posledica tlačnih in nateznih napetosti
(Vir: Z. Kampuš: Skripta izdelovanje in vzdrževanje orodij)

Za obnovo poškodovanih orodij uporabljamo tehnologijo reperaturnega varjenja.

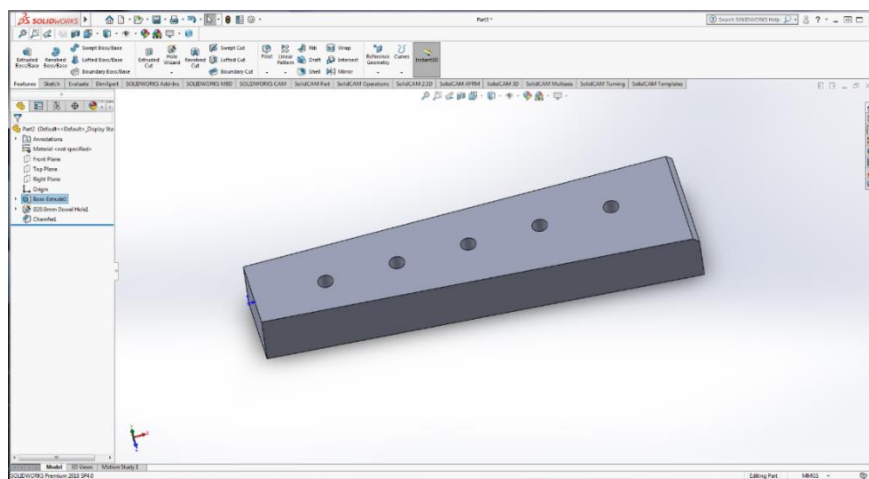
8 EKSPERIMENTALNI DEL

V raziskavi smo na posameznih primerih primerjali CNC obdelavo modernega jekla s konvencionalno metodo in metodo iMachining.

Primerjavo smo izvajali na zgoraj omenjenem 3-osnem horizontalnem CNC obdelovalnem centru znamke Doosan oznake Mynx 7500/50, z maksimalno 6000 obratov na minuto.

8.1 PRIMERJAVA TOOLOX

Glede na to, da je bilo materialu potrebno odvzeti veliko količino materiala, smo se odločili, da naredimo primerjavo grobe obdelave s konvencionalno in iMachining metodo obdelave. Kot prvi korak je na vrsto prišla izdelava 3D modela samega izdelka v programu SolidWorks. Potem je sledila izbira, priprava orodja in umerjanje orodja. Za grobo konvencionalno obdelavo smo si izbrali rezkalno glavo s ploščicami iz karbidne trdnine premera 42mm, za iMachining pa rezkar iz karbidne trdnine premera 25mm.



Slika 28: Prikaz 3D modela, narisane v programu SolidWorks
(Vir: Lasten)

V obeh primerih smo uporabili identična surovca materiala Toolox® 44, dimenzij 600 mm x 150 mm x 72 mm, ki sta bila predhodno odrezana na tračni žagi znamke Behringer. Omenjena znamka ima avtomatsko vodeni sistem CNC in lahko v zelo kratkem času ter z veliko natančnostjo reže jekla do formata 6.300 x 2.500 x 250 mm in mase 10 ton. Pred samim testom smo očistili delovno mizo in na novo vpeli dva primeža, ki smo ju na novo umerili z merilno uro, da je bilo odstopanje paralelnosti manjše od 0,01 mm. Surovca smo vpeli na podloge tako, da je bila maksimalna globina frezanja 75 mm. Pri obeh surovcih smo na sredino z merilno sondo nastavili ničli in ju s čelnim frezalom poravnali, da je bila zgornja ploskev vodoravna.



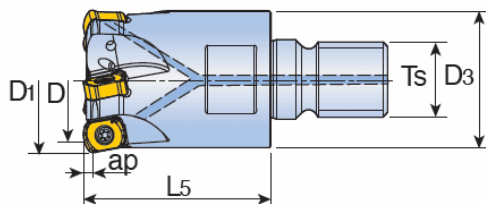
Slika 29: Merilna sonda in naprava za kalibriranje orodja
(Vir: <https://www.renishaw.com/en/ots-3d-touch-trigger-tool-setter--6783>)

8.1.1 Konvencionalna groba obdelava

V prvem primeru smo uporabili rezkalno glavo proizvajalca TaeguTec Chase2Feed oznake TEBL 542-M16-09 s petimi karbidnimi vložki, ki se uporabljajo za splošno grobo rezkanje pri manjših globinah z visokimi hitrostmi podajanja. Ta glava se je v naši proizvodnji izkazala za zelo uporabno orodje, saj se jo lahko uporablja za čelno in obodno rezkanje, rezkanje naklonov, vijačno rezkanje in potopno rezkanje.



Slika 30: Rezkalna glava TaeguTec Chase2Feed
(Vir: Lasten)

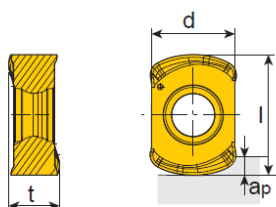


Slika 31: Stranski prerez rezkalne glave TaeguTec Chase2Feed
(Vir: www.taegutec.com)

Tabela 10: Tehnični podatki za rezkalno glavo TaeguTec Chase2Feed

D - premer orodja [mm]	31,6
D1 - zunanji premer orodja [mm]	42
D3 - premer držala [mm]	29
L5 - dolžina do priključitve [mm]	43
ap - efektivna višina rezkanja [mm]	1,5
Ts - navoj vpetja	M16
Teža [kg]	0,292

Vložki glave z oznako TT9080 se uporabljajo za splošno obdelavo jekla, nerjavečega jekla in toplotno odpornega jekla ter dosegajo odlično površinsko obdelavo.



Slika 32: Vložek glave TT9080
(Vir: www.taegutec.com)

Tabela 11: Tehnični podatki za vložek glave TT9080

t – širina vložka	3,73 mm
d – premer vložka	6,4 mm
l – višina vložka	9,0 mm
a _p – globina rezanja	1,5 mm
ISO domet – P/M/K	(P20-P40)(M20-M40)
ISO domet – H/S/N	(S20-S40)
Trdota (Rockwell)	92
Vrsta prevleke	PVD (fizikalna prevleka s parnim nanosom)
Sloj prevleke	AlTiN-TiN aluminijev titanov nitrid (do 62 HRC, obdelava materialov z veliko trdnostjo, visokohitrostna obdelava)
Hladilno sredstvo	Zrak

Proizvajalec materiala priporoča za obdelavo jekla podajalno hitrost med 120 in 160 m/min, proizvajalec vložkov (TaeguTec) pa podajalno hitrost med 95 in 160 m/min. Po naših izkušnjah je pri materialu Toolox® 44 optimalna izbira 150 m/min, zato smo izbrali vrednost 150m/min. Priporočena vrednost podajanja na zob proizvajalca materiala je 0,15 mm/zob.

Osnovne informacije o obdelavi:

- material obdelovanca: **Toolox® 44**,
- rezalni material: **karbidna trdnina**,
- predpostavljen čas obstojnosti: **T=60min**,
- izbrano orodje: **modularno frezalo**.

Izbira delovnih pogojev:

- podajanje na zob frezala: **f_z= 0,15 mm/zob**,
- hitrost frezanja: **V_c= 150 m/min**,
- število zob rezkala: **5**,
- globina frezanja: **a_p= 0,8 mm**,
- srednja specifična sila: **k_{c,sf}= 4800 N/mm²**.

Iz teh podatkov lahko izračunamo:

Izračun podajanja:

$$f = f_z \cdot z_n = 0,15\text{mm} \cdot 5 = 0,75\text{mm/vrt}$$

f_z podajanje na zob frezala [mm/zob]

Zn število zob frezala

Izračun vrtljajev:

$$n = \frac{V_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} = \frac{150 \cdot 1000}{3,14 \cdot 42} = \frac{150000}{131,88} = \mathbf{1137 \text{ min}^{-1}}$$

n število vrtljajev [min^{-1}]

V_c priporočena rezalna hitrost [m/min]

D premer frezala [mm]

Izračun podajalne hitrosti:

$$vf = fz \cdot n \cdot zn = 1137 \times 0,15 \times 5 = \mathbf{852,75 \text{ mm/min}}$$

fz podajanje na zob [mm/zob]

zn število zob frezala

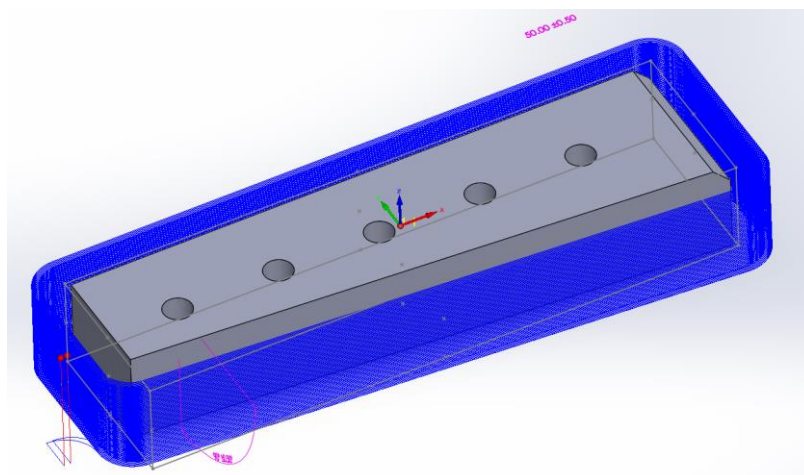
n število vrtljajev [min^{-1}]

Izračun kota prijema:

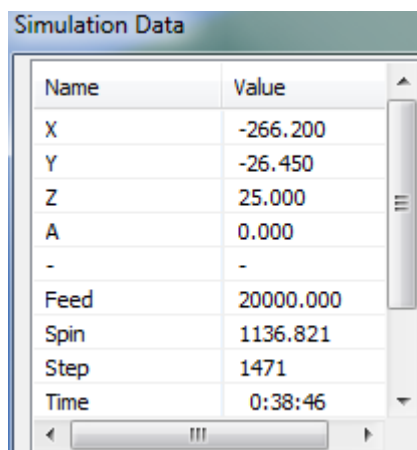
$$\cos \rho = 1 - \frac{2 \cdot ap}{d} = 1 - \frac{2 \times 0,8}{42} = \mathbf{15,84}$$

Izračun povprečne debeline odrezka:

$$h_{sr} = fz \cdot \sqrt{\frac{ap}{D}} = 0,15 \cdot \sqrt{\frac{0,8}{42}} = \mathbf{0,02 \text{ mm}}$$



Slika 33: Grafični prikaz grobe obdelave s pomočjo simulatorja
(Vir: Lasten)



Name	Value
X	-266.200
Y	-26.450
Z	25.000
A	0.000
-	-
Feed	20000.000
Spin	1136.821
Step	1471
Time	0:38:46

Slika 34: Časovni prikaz grobe obdelave
(Vir: Lasten)

Izračun stroška orodja:

$$s1 = (\text{cena vložka} \cdot \text{število vložkov}) + \text{cena glave} = (1,81\text{€} \cdot 5) + 436,12\text{€} = \mathbf{445,17 \text{ €}}$$

Izračun cene strojne ure:

$$s2 = \text{cena strojne ure} \cdot \text{ura} = 50\text{€} \cdot 0,65 = \mathbf{32,50 \text{ €}}$$

Kot je razvidno iz simulacije, smo za prvi poizkus načina grobe obdelave potrebovali 38 minut in 46 sekund, ker je približno 65 % ene ure. Skupni strošek izdelave bi bil 477,67€, če predpostavljamo, da nimamo orodja in bi morali iti v nakup le-tega.

8.1.2 iMachining groba obdelava

Za primerjavo s prvim poizkusom smo v drugem poizkusu uporabili tehniko iMachining v kombinaciji s karbidnim rezkarjem srednje grobe obdelave proizvajalca Sandvik z oznako 1P360-2500-XA1620 premera 25mm.

Pri tej obdelavi nam je program že avtomatsko določil parametre rezkanja glede na bazo podatkov, ki se nahajajo v SolidCAM modulu.



Slika 35: Karbidni rezkar Sandvik 1P360-2500-XA1620
(Vir: Lasten)

Tabela 12: Tehnični podatki za rezkar Sandvik 1P360-2500-XA1620

L - Dolžina celotnega orodja	153 mm
L1 - maks. globina reza	90 mm
D - premer orodja	25 mm
Zn - število zob	4
P - rezalni kot [°]	45
v_c - priporočena rezalna hitrost [m/min]	133
f_z - pomik na zob	0,25
Vrsta prevleke	PVD (fizikalna prevleka s parnim nanosom)
Sloji prevleke	AlTiN - aluminijev titanov nitrid (do 62 HRC, obdelava materialov z veliko trdnostjo, visokohitrostna obdelava)
Hladilno sredstvo	Zrak

Osnovne informacije o obdelavi:

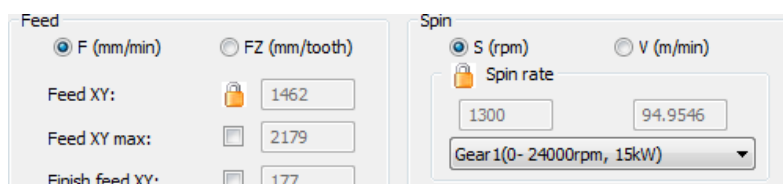
- material obdelovanca: **Toolox® 44**,
- rezalni material: **karbidna trdnina**,
- predpostavljen čas obstojnosti: **T=240min**,
- izbrano orodje: **modularno frezalo**.

Programska izbira delovnih pogojev:

- podajanje na zob frezala: **$f_z= 0,25$ mm/zob**,

- hitrost frezanja: $V_c = 133 \text{ m/min}$,
- število zob rezkala: 4 ,
- globina frezanja: $a_p = 72 \text{ mm}$,
- srednja specifična sila: $k_{c,sr} = 4800 \text{ N/mm}^2$.

Na spletni strani proizvajalca smo vnesli podatke našega surovca. Proizvajalec stebelnega rezkala priporoča za material Toolox® 44 hitrost rezanja v_c 133 m/min in podajanje na zob f_z 0,25 mm/zob.



Slika 36: iMachining izbira parametrov za grobo obdelavo
(Vir: Lasten)

Iz slike je razvidno, da je program določil bistveno nižjo vrednost hitrosti rezanja od priporočljive in manjše število vrtljajev na minuto. Razberemo lahko, da je vrednost podajanja na zob približno enaka priporočljivi vrednosti proizvajalca, rezalna hitrost pa je bistveno nižja, kot jo priporoča proizvajalec.

Iz teh podatkov lahko izračunamo:

Izračun podajanja:

$$f = f_z \cdot z_n = 0,25 \text{ mm} \cdot 4 = 1,0 \text{ mm/vrt}$$

f_z podajanje na zob frezala [mm/zob]

Z_n število zob frezala

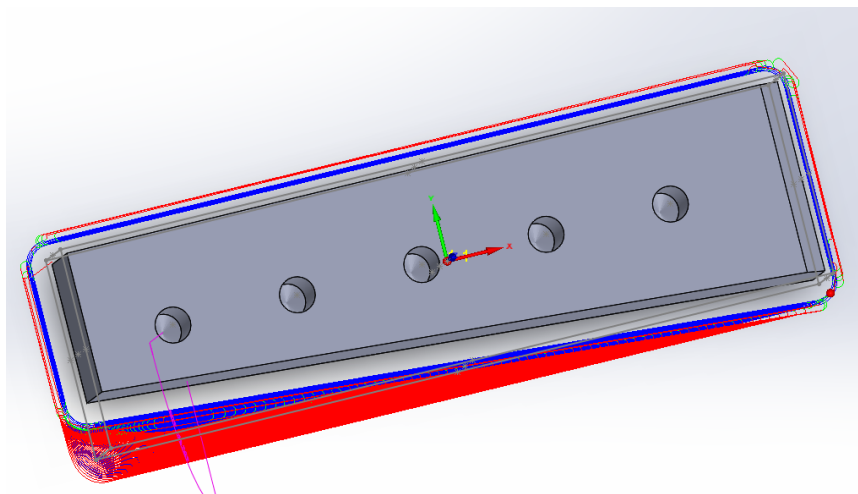
Izračun podajalne hitrosti:

$$vf = f_z \cdot n \cdot z_n = 0,25 \times 1300 \times 4 = 1300 \text{ mm/min}$$

f_z podajanje na zob [mm/zob]

z_n število zob frezala

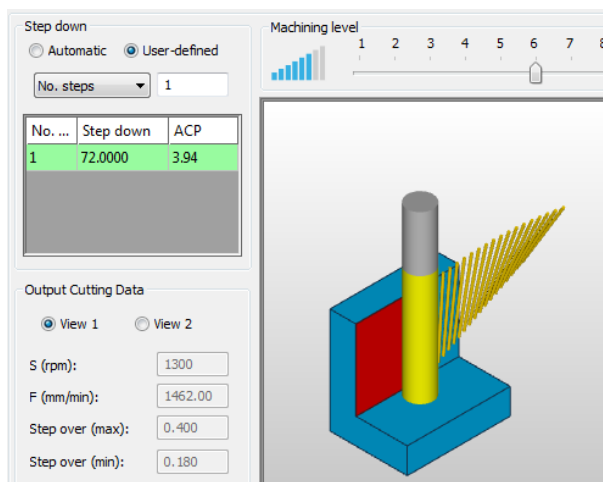
n število vrtljajev [min^{-1}]



Slika 37: Prikaz poteka obdelave v SolidCAM-u
(Vir: Lasten)

Na prikazani simulaciji iMachininga vidimo prilagajajočo se spiralno pot orodja, ki se razvija iz točke, označene z rdečo piko. Vidimo lahko, da je celotna pot orodja oblikovana z eno samo neprekinjeno spiralo, kar pomeni, da je orodje pod konstantno obremenitvijo.

Tehnološki čarovnik je namenjen izračunu vrednosti podajanja, hitrosti vretena, osni globini rezanja, kota rezanja in debelini odrezka na osnovi mehanskih lastnosti obdelovanca ter rezalnega orodja. Čarovnik nam tudi omogoča, da sami izberemo primerno stopnjo agresivnosti obdelave in nam na našo izbiro odgovori v treh različnih barvah: zelena – priporočeno, rumena – srednja verjetnost vibracij, rdeča – velika verjetnost vibracij.



Slika 38: Prikaz agresivnosti obdelave v čarovniku iMachining
(Vir: Lasten)

V našem primeru je bila agresivnost obdelave obarvana z zeleno barvo, kar pomeni dobro. Za samo grobo obdelavo s pomočjo iMachininga smo porabili 19 minut in 55 sekund.

Izračun stroška orodja:

$$s1 = \text{cena rezkarja} = 494,87 \text{ €}$$

Izračun cene strojne ure

$$s2 = \text{cena strojne ure} \cdot \text{ura} = 50\text{€} \cdot 0,33 = 16,50 \text{ €}$$

Skupni strošek takšne obdelave bi bil 511,37€, če predpostavljamo, da nimamo orodja in bi morali iti v nakup le-tega. V tem primeru bi bila obdelava s pomočjo iMachininga dražja, kar izpodbija začetno misel, da bo obdelava na tak način cenejša, kljub temu da je bil čas obdelave veliko krajši. Vseeno pa smo mnenja, da bi se v primeru serijske izdelave tak način bolj izplačal.

Časa, ki smo ju porabili za grobo obdelavo, sta bila 38 minut in 46 sekund za obodno rezkanje s konvencionalno metodo ter 19 minut in 55 sekund za rezkanje s pomočjo iMachining tehnologije, kar pomeni, da smo enak izdelek naredili skoraj 50 odstotkov hitreje. To potrjuje začetno misel, da lahko z uporabo tehnologije iMachining skrajšamo čas proizvodnje tudi do 50 odstotkov.

9 ZAKLJUČEK

Jekla Toolox so izboljšana inženirska jekla, ki so predhodno kaljena in se od konkurenčnih jekel razlikujejo po morfologiji karbidov. Njihove prednosti so trdota, odlične obdelovalne lastnosti, visoka žilavost in čistoča ter enostavnost za rezanje in varjenje. Ugotovljeno je bilo, da sta najbolj primerni obdelavi za jekla Toolox rezanje in odrezovanje.

Za tehnologijo iMachining je bilo ugotovljeno, da je v primerjavi s konvencionalno obdelavo občutno hitrejša. Namesto vzporedne obdelave s povratki orodja uporablja spiralne poti, ko pa le-te niso mogoče, iMachining uporablja trohoidno tehniko. Uporablja se večinoma v serijskih proizvodnjah za manjše in srednje velike obdelovance.

V eksperimentalnem delu je bila potrjena hipoteza, da bomo s pomočjo tehnologije iMachining prihranili do 50 odstotkov pri času izdelave. Prav tako smo ovrgli hipotezo, da bo tak način izdelave cenejši, če predpostavljamo, da smo v delavnici brez potrebnega orodja in moramo v nakup le-tega. Ugotovitve kažejo, da bi s tehnologijo

iMachining v prihodnosti lahko dosegali večjo produktivnost z razmeroma majhnim vložkom denarja.

10 LITERATURA IN VIRI

Čuš, F. (2009). *Postopki odrezovanja*. Maribor: Fakulteta za strojništvo.

Damatech d. o. o. (b. l.) Pridobljeno s spletnega naslova <https://www.damatech.com/en/>. Pridobljeno dne 19. 4. 2019.

Jež, M. et al. (1986). *Strojnotehnološki priročnik*. Ljubljana: Tehniška založba Slovenije.

Kampuš, Z. (2019). *Izdelava in vzdrževanje orodij*. Pridobljeno s spletnega naslova www.ic-geoss.si › 2020/02 › skripta-IVO-Litija-2019. Pridobljeno dne 7. 1. 2021.

Krajnc, R. (2016). *Priprava tehnologije struženja in rezkanja s programskim paketom Edgcam za CNC stružnico z gnanimi orodji*. Diplomsko delo, Maribor. Univerza v Mariboru, Fakulteta za strojništvo.

Markovič, F. (2018). *iMachining*. Diplomsko delo, Ljubljana. Univerza v Ljubljani, Fakulteta za strojništvo

Orodna jekla (b. l.). Pridobljeno s spletnega naslova https://sl.wikipedia.org/wiki/Orodno_jeklo. Pridobljeno dne 25. 4. 2019.

Rezalna orodja (b. l.). Pridobljeno s spletnega naslova <http://www2.sts.si/arhiv/teho/projekt2/r6.htm>. Pridobljeno dne 23. 4. 2019.

Solidworks in SolidCAM (b. l.). Pridobljeno s spletnega naslova <https://www.solidworld.si/>. Pridobljeno dne 7. 5. 2019.

TeaguTec (b. l.). Pridobljeno s spletnega naslova <https://www.taegutec.com/pages/en/>. Pridobljeno dne 18. 6. 2020.

Toolox (b. l.), članki. Pridobljeni s spletnega naslova <https://www.ssab.com/products/brands/toolox/toolox-download>. Pridobljeno dne 12. 6. 2019.

Vrste vzdrževanja (b. l.). Pridobljeno s spletnega naslova <http://www2.arnes.si/~sspvjeme/vzdrzevanje/prevantivnovzdr.htm>. Pridobljeno dne 7. 1. 2021.