

VIŠJA STROKOVNA ŠOLA ACADEMIA

MARIBOR

**ANALIZA BRUSNIH PLOŠČ PRI BRUŠENJU
INDUSTRIJSKIH VALJEV**

Kandidat: Dražen Šmit

Vrsta študija: študent izrednega študija

Študijski program: Strojništvo

Mentorica – predavateljica: dr. Marija Kisin

Mentorica v podjetju: Marija Popit Fajs, univ. dipl. inž. str.

Lektorica: Jasmina Vajda Vrhunec, prof. slov.

Maribor, 2017

IZJAVA O AVTORSTVU DIPLOMSKEGA DELA

Podpisani Dražen Šmit sem avtor diplomskega dela z naslovom Analiza brusnih plošč pri brušenju industrijskih valjev, ki sem ga napisal pod mentorstvom dr. Marije Kisin.

S svojim podpisom zagotavljam, da:

- je predloženo delo izključno rezultat mojega dela,
- sem poskrbel, da so dela in mnenja drugih avtorjev, ki jih uporabljam v predloženem delu, navedena oz. citirana skladno s pravili Višje strokovne šole Academia Maribor,
- se zavedam, da je plagiatstvo – predstavljanje tujih del oz. misli kot mojih lastnih – kaznivo po Zakonu o avtorski in sorodnih pravicah (Ur. l. RS 16/07 – uradno prečiščeno besedilo, 68/08, 110/2013 in 56/2015; v nadaljevanju ZASP), prekršek pa podleže tudi ukrepom Višje strokovne šole Academia Maribor skladno z njenimi pravili,
- skladno z 32.a členom ZASP dovoljujem Višji strokovni šoli Academia Maribor objavo diplomskega dela na spletnem portalu šole.

Maribor, marec 2017

Podpis študenta:

ZAHVALA

Zahvaljujem se mentorici dr. Mariji Kisin in mentorici v podjetju Mariji Popit Fajs, univ. dipl. inž. str., za pomoč in vodenje pri pisanju diplomskega dela.

Zahvaljujem tudi obratovodji v podjetju Viktorju Zalokarju, ki mi je omogočil nemoteno delo na stroju za namen testiranja brusnih plošč, ter vsem sodelavcem in osebju, ki so pripomogli k nastanku mojega diplomskega dela.

Posebna zahvala velja moji družini, ki me je ves čas spodbujala, da sem študij uspešno zaključil in odprl novo poglavje v svojem življenju.

POVZETEK

Podjetje Valji, d. o. o., iz Štor je proizvajalec ulitih valjev za kovinsko, gumarsko, kemično, tekstilno in živilsko industrijo, izdeluje pa tudi kokile in ulitke za strojogradnjo in druge namene. V diplomskem delu sta predstavljena proizvodni program in postopek brušenja delovne površine valjev na brusilnem stroju Hercules, kjer poteka zaključna tehnološka faza izdelave valjev. Glede na vrsto brušenja, ki se uporablja v podjetju, so v nadaljevanju predstavljene teoretične osnove postopkov brušenja in brusnega orodja, kot so: sestava in vrsta materiala brusnega orodja oziroma brusnih plošč ter vrsta veziva, ki je lahko keramično, smolno, armirano ali kovinsko. Pri izbiri brusnega orodja so glede na vrsto in lastnosti materiala obdelovanca pomembni delovni pogoji brušenja, kot so: obodna hitrost brusa oziroma rezalna hitrost, pomik brusa k obdelovancu oziroma globina rezanja, vzdolžno podajanje in obodna oziroma podajalna hitrost obdelovanca, zrnatost in trdota brusa ter priprava in skladiščenje brusnih plošč. V praktičnem delu diplomskega dela je predstavljeno testiranje brusnih plošč treh različnih proizvajalcev, ki se uporabljajo v podjetju za brušenje delovne površine valjev. Delovne površine trupov valjev so izdelane iz težko obdelovalnih materialov, pri čemer je eden izmed materialov valjev še v fazi razvoja. Testiranje izbranih brusnih plošč je potekalo pri delovnih pogojih, kot so: hitrost obdelovanca, hitrost brusne plošče, globina rezanja oziroma kontinuiran primik in vzdolžno podajanje. Rezultati testiranja oziroma izračuni so zbrani in podani v obliki tabel ter prikazani s stolpičnimi grafikoni. Za vse tri uporabljene rezalne plošče in oba materiala oziroma obdelovanca je izračunan faktor G, ki podaja ekonomičnost oziroma sposobnost materiala za brušenje. Slednja je podana z razmerjem odvzete količine materiala obdelovanca in obrabo rezalne plošče. Na osnovi analize rezultatov so podani pogoji brušenja in priporočila za uporabo brusne plošče Tyrolit pri brušenju materialov CCr-N-77 in CGHSS-NF-7. Uporaba brusne plošče Swaty se priporoča zgolj pri brušenju materiala CCr-N-77. Navedene smernice bodo v pomoč proizvajalcem brusnih plošč za njihov nadaljnji razvoj, prav tako pa tudi podjetju pri optimizaciji postopka brušenja valjev.

Ključne besede: valji za valjanje pločevine, brušenje valjev, faktor G, brusne plošče, brusilni stroj Hercules.

ABSTRACT

THE ANALYSIS OF GRINDING WHEELS IN INDUSTRIAL ROLLS GRINDING

Valji d.o.o. company, based in Štore, is the manufacturer of cast rolls for metal, rubber, chemical, textile and food industry. It also produces molds and castings for mechanical engineering and other purposes. This thesis presents the product line and the process of grinding of the roll work surface on Hercules roll grinder, which represents the finishing phase in the process of production of rolls. Regarding the type of grinding, which is used in the company, below we have presented the theoretical basis of grinding procedures and grinding tools, such as: composition and type of material of grinding tools and grinding wheels as well as the type of bond which can be ceramic, resin, reinforced or metal. For the selection of grinding tools, according to the type and the properties of the workpiece material, relevant working grinding conditions are the following: peripheral speed or cutting speed, displacement of the grinding wheel towards the workpiece or cutting depth, longitudinal feed and peripheral or feed speed of the workpiece, grinding wheel granularity and hardness, as well as the preparation and storage of grinding wheels. The practical part of the thesis presents the testing of grinding wheels of three different manufacturers, which are used in the company for grinding of working surfaces of rolls. Working surfaces of rolls bodies are made of hardly workable materials, with one of the rolls materials being still in development phase. Testing of selected grinding wheels was performed under operating conditions, such as: workpiece speed, grinding wheels speed, cutting depth or continuous movement and longitudinal feed. The results of testing and calculations have been collected and presented in the form of tables and displayed in the form of bar graphs. For all the three used cutting wheels, and both of the materials of the workpiece, G-ratio has been calculated, indicating the economy or the ability of the material for grinding. The latter is given by the ratio of the quantity of material deducted from the workpiece and the wear of the cutting wheel. Based on the analysis of the results, we have obtained the grinding conditions and recommendations for use of the grinding wheel Tyrolit for grinding materials CCR-N-77 and CGHSS-NF-7. The use of SWATY grinding wheel is recommended only for grinding CCR-N-77. These guidelines will help the manufacturers of grinding wheels in their further development, as well as the company in the optimization of rolls grinding process.

Keywords: rolls for sheet rolling, rolls grinding, G-ratio, grinding wheels, Hercules grinder.

KAZALO VSEBINE

1	UVOD.....	6
1.1	OPIS PODROČJA IN OPREDELITEV PROBLEMA	6
1.2	NAMEN, CILJI IN OSNOVNE TRDITVE	6
1.3	PREDPOSTAVKE IN OMEJITVE	7
1.4	UPORABLJENE RAZISKOVALNE METODE	8
2	PREDSTAVITEV PODJETJA.....	9
2.1	OBRAT LIVARNA.....	10
2.2	OBRAT MEHANSKE OBDELAVE	10
2.3	PROIZVODNI PROGRAM VALJEV	11
3	TEORETIČNE OSNOVE BRUŠENJA	15
3.1	PREGLED POSTOPKOV BRUŠENJA	16
3.1.1	<i>Zunanje in notranje krožno brušenje</i>	<i>16</i>
3.1.2	<i>Brušenje ravnih ploskev.....</i>	<i>16</i>
3.1.3	<i>Brušenje brez konic</i>	<i>17</i>
3.2	SESTAVA BRUSNIH PLOŠČ.....	17
3.3	MATERIALI BRUSNIH PLOŠČ	18
3.4	VEZIVA ZA BRUSE.....	19
3.4.1	<i>Keramično vezivo</i>	<i>19</i>
3.4.2	<i>Smolna veziva</i>	<i>19</i>
3.4.3	<i>Armirano smolno vezivo</i>	<i>19</i>
3.4.4	<i>Kovinsko vezivo</i>	<i>20</i>
3.5	ZRNATOST BRUSA	20
3.6	OZNAČEVANJE IN PRAVILNO ROKOVANJE Z BRUSNIMI PLOŠČAMI	21
3.6.1	<i>Označevanje brusov.....</i>	<i>21</i>
3.6.2	<i>Skladiščenje brusnih plošč.....</i>	<i>22</i>
3.7	PRIPRAVA BRUSNIH PLOŠČ ZA UPORABO NA STROJU.....	24
3.7.1	<i>Centriranje brusnih plošč.....</i>	<i>25</i>
3.8	IZBIRA DELOVNIH POGOJEV PRI BRUŠENJU	26
4	TEHNOLOŠKI POSTOPEK BRUŠENJA VALJEV NA BRUSILNEM STROJU HERCULES	27
4.1	VPENJANJE OBDELOVANCA NA STROJ	28
4.2	BRUŠENJE VALJA	29
4.2.1	<i>Dodajanje brusne plošče v smeri osi X oziroma globina rezanja.....</i>	<i>30</i>

4.2.2	<i>Hitrost vzdolžnega podajanja</i>	32
4.2.3	<i>Izbira rezalne hitrosti</i>	32
5	ANALIZA BRUSNIH PLOŠČ PRI BRUŠENJU INDUSTRIJSKIH VALJEV NA BRUSILNEM STROJU HERCULES.....	36
5.1	MATERIAL OBDELOVANCA.....	36
5.2	KARAKTERISTIKE UPORABLJENIH BRUSNIH PLOŠČ	38
5.3	DOLOČITEV PARAMETROV BRUŠENJA PRI ANALIZI BRUSNIH PLOŠČ.....	41
5.4	POGOJI BRUŠENJA IN IZRAČUN BRUSNEGA FAKTORJA G	42
5.5	TESTIRANJE BRUSNIH PLOŠČ	45
5.5.1	<i>Izračun faktorja G pri brušenju materialov CCr-N-77 in CGHSS-NF-7</i>	54
6	SKLEP	58
7	VIRI, LITERATURA.....	61
8	PRILOGE	62

KAZALO SLIK

SLIKA 1:	ZAČETKI ŽELEZARSTVA V ŠTORAH	9
SLIKA 2:	ULIVANJE PLAŠČA VALJA NA CENTRIFUGALNEM STROJU	10
SLIKA 3:	GRAFIČNI PRIKAZ OBLIKE DELOVNE POVRŠINE VALJA NA BRUSILNEM STROJU HERCULES	13
SLIKA 4:	GRAFIČNI PRIKAZ KROŽNIH TEKOV NA BRUSILNEM STROJU HERCULES	14
SLIKA 5:	PRIKAZ ODREZOVANJA Z BRUŠENJEM	15
SLIKA 6:	SKICA SESTAVE BRUSA	17
SLIKA 7:	DOLOČANJE VELIKOSTI ZRNA	20
SLIKA 8:	SISTEM OZNAČEVANJA BRUSNIH PLOŠČ	22
SLIKA 9:	PRIMER SKLADIŠČENJA BRUSNIH PLOŠČ.....	23
SLIKA 10:	TOČKE KONTROLE BRUSA NA ZVOK	24
SLIKA 11:	BRUSNA PLOŠČA NA VPENJALNI GLAVI	24
SLIKA 12:	PRIMERI ZA POLOŽAJ PUŠČICE ZA MONTAŽO	25
SLIKA 13:	BRUSILNI STROJ HERCULES	28
SLIKA 14:	VPENJANJE OBDELOVANCA/VALJA NA STROJ MED KONICE	29
SLIKA 15:	KONTINUIRANO DODAJANJE	30
SLIKA 16:	BRUŠENJE Z DODAJANJEM V TOČKI PREUSMERITVE	30
SLIKA 17:	BRUŠENJE S PRITISKOM BRUSA V ODSOTOKIH	31

SLIKA 18: NAČRT VALJA	34
SLIKA 19: NAPRAVA ZA MERJENJE HRPAVOSTI POVRŠINE	35
SLIKA 20: MIKROSTRUKTURA MATERIALA CCR-N-77	37
SLIKA 21: MIKROSTRUKTURA MATERIALA CGHSS-NF-7	37
SLIKA 22: BRUSNA PLOŠČA TYROLIT	38
SLIKA 23: BRUSNA PLOŠČA THELEICO	39
SLIKA 24: BRUSNA PLOŠČA SWATY	40
SLIKA 25: IZRAČUN VOLUMNA IZBRUŠENE POVRŠINE VALJA.....	42
SLIKA 26: IZRAČUN VOLUMNA OBRABLJENIH BRUSNIH PLOŠČ	42

KAZALO TABEL

TABELA 1: PRIMER KEMIČNE SESTAVE MATERIALA VALJA	12
TABELA 2: TEHNIČNI PODATKI STROJA HERCULES.....	27
TABELA 3: KEMIČNA SESTAVA MATERIALA OBDELOVANCEV (V MAS %)... ..	36
TABELA 4: MEHANSKE LASTNOSTI MATERIALA OBDELOVANCEV	36
TABELA 5: KARAKTERISTIKE UPORABLJENIH BRUSNIH PLOŠČ	40
TABELA 6: MONITORING BRUŠENJA MATERIALA CCR-N-77	45
TABELA 7: PODATKI O BRUŠENJU MATERIALA CCR-N-77.....	45
TABELA 8: PODATKI O REZULTATIH BRUŠENJA MATERIALA CCR-N-77	46
TABELA 9: VOLUMEN ODBRUŠENE POVRŠINE VALJA PRI BRUŠENJU MATERIALA CCR-N-77	47
TABELA 10: VOLUMEN OBRABLJENE POVRŠINE BRUSNE PLOŠČE PRI MATERIALU CCR-N-7	48
TABELA 11: MONITORING BRUŠENJA MATERIALA CGHSS-NF-7	49
TABELA 12: PODATKI O BRUŠENJU MATERIALA CGHSS-NF-7	50
TABELA 13: PODATKI O REZULTATIH BRUŠENJA MATERIALA CGHSS-NF-7	50
TABELA 14: VOLUMEN IZBRUŠENE POVRŠINE VALJA PRI BRUŠENJU MATERIALA CGHSS-NF-77	51
TABELA 15: VOLUMEN OBRABLJENE POVRŠINE BRUSNE PLOŠČE PRI MATERIALU CGHSS-NF-7	52
TABELA 16: IZRAČUN FAKTORJA G	54
TABELA 17: PODATKI O ODBRUŠENI POVRŠINI VALJA NA 1 MM DODAJANJA	56
TABELA 18: PRIPOROČILO ZA UPORABO BRUSNIH PLOŠČ	60

KAZALO GRAFIKONOV

GRAFIKON 1: VOLUMEN IZBRUŠENE POVRŠINE VALJA IN OBRABLJENE POVRŠINE PLOŠČE PRI MATERIALU CCr-N-7	48
GRAFIKON 2: VOLUMEN ODBRUŠENE POVRŠINE VALJA IN OBRABLJENE POVRŠINE PLOŠČE PRI MATERIALU CGHSS-NF-7	52
GRAFIKON 3: PRIMERJAVA MED BRUŠENJEM MATERIALOV CCr-N-77 IN CGHSS-NF-7	53
GRAFIKON 4: PRIKAZ DOBLJENEGA FAKTORJA G ZA POSAMEZNI MATERIAL IN BRUSNO PLOŠČO	54
GRAFIKON 5: UČINEK BRUSNE PLOŠČE ZA POSAMEZNI MATERIAL	55
GRAFIKON 6: ODBRUŠENA POVRŠINA VALJA NA 1 MM DODAJANJA	57

1 UVOD

1.1 Opis področja in opredelitev problema

Podjetje Valji, d. o. o., iz Štor je proizvajalec valjev za kovinsko, gumarsko, kemično, tekstilno in živilsko industrijo, izdeluje pa tudi kokile in ulitke za strojogradnjo in druge namene.

V diplomskem delu bom obravnaval tehnološki postopek brušenja delovne površine industrijskih valjev. Analiziral bom izbiro orodja za brušenje valjev, ki so izdelani (vliti) iz zahtevnejših oziroma težje obdelovalnih materialov. Omenjeni valji so namenjeni za preoblikovanje/valjanje pločevine v industriji ter imajo trdo in obrabno zelo odporno površino.

1.2 Namen, cilji in osnovne trditve

Namen diplomskega dela je predstaviti proizvodni proces izdelave valjev za metalurško industrijo s poudarkom na njihovi končni obdelavi oziroma brušenju. V ta namen bo treba proučiti strokovno literaturo in razpoložljive vire. Pri tem bom uporabil dosedanje znanje in izkušnje pri postopku brušenja novih, zahtevnejših materialov, ki se uporabljajo za delovno površino valja v metalurški industriji. Poudariti želim pomembnost pravilne izbire orodja pri brušenju omenjenih materialov in tudi pomen vplivnih dejavnikov procesa brušenja ter poiskati kompromis med visoko stopnjo odvzetega materiala in malo obrabo brusne plošče.

Postopek mehanske obdelave brušenja se začne z ustrezno izbiro in uporabo brusne plošče. S spremljanjem postopka obdelave bom analiziral brusne plošče treh različnih proizvajalcev pri enakih pogojih brušenja. Osredotočenost pri analiziranju bo predvsem na vrednosti izračuna brusnega faktorja G , ki predstavlja razmerje med volumnom odvzetega materiala in volumnom porabljenega brusa (obrabo brusa). Zaželeno je, da je vrednost brusnega faktorja čim večja.

Analize se bom lotil na osnovi kritičnega opazovanja in merjenja ob testiranju brusnih plošč pri brušenju valjev, ki so izdelani iz težko obdelovalnih materialov z oznako kakovosti CGHSS-NF-7 in CCr-N-77.

Namen raziskave je raziskati in analizirati glavne dejavnike, ki vplivajo na proces brušenja, na primer obrabo brusne plošče in efektivni odvzem materiala v časovni enoti brušenja za obdelovanca CCr-N-77 in CGHSS-NF-7.

Cilji diplomskega dela:

- predstaviti podjetje,
- predstaviti postopek brušenja industrijskih valjev,
- predstaviti testno brušenje, spremljanje in analizo rezultatov meritev, parametrov pri brušenju,
- na podlagi analize rezultatov testnega brušenja opredeliti brusne plošče in določiti tisto, ki nam da najboljši rezultat pri brušenju.

1.3 Predpostavke in omejitve

S pravilno izbiro brusnega orodja pri tehnološkem postopku brušenja valjev lahko povečamo učinkovitost tega postopka.

Predpostavke, uporabljene pri proučevanju obravnavane teme:

- poznavanje rezalnih lastnosti brusov pri brušenju je ključnega pomena, če želimo izboljšati kakovost obdelave;
- z razvojem novih materialov pri izdelavi valjev, ki so vzdržljivejši glede na obrabno odpornost, se povečuje tudi potreba po ustreznih orodjih, s katerimi moramo te materiale mehansko obdelovati.

Izpostavljena bo predvsem mehanska obdelava z brušenjem takšnih materialov. Pridobljene ugotovitve bodo prispevale k večji produktivnosti pri tehnološkem postopku brušenja valjev.

Omejitve pri proučevanju obravnavane teme so:

- omejen dostop do podatkov oziroma razpoložljive literature,
- zanesljivost podatkov v podjetju,

- prizadevnost proizvajalca pri prikazu in optimizaciji novih brusnih orodij,
- omejitev praktičnega dela raziskave.

1.4 Uporabljene raziskovalne metode

Pri oblikovanju teoretičnega dela diplomskega dela bom uporabil sekundarne vire podatkov (domačo in tujo literaturo).

Kot metode raziskovanja bom uporabil:

- metodo zbiranja podatkov iz internih virov podjetja,
- metodo kompilacije: opazovanja, povzemanja spoznanj, stališč in sklepov drugih avtorjev ter lastna spoznanja in njihovo združevanje,
- metodo zbiranja podatkov iz strokovnih virov.

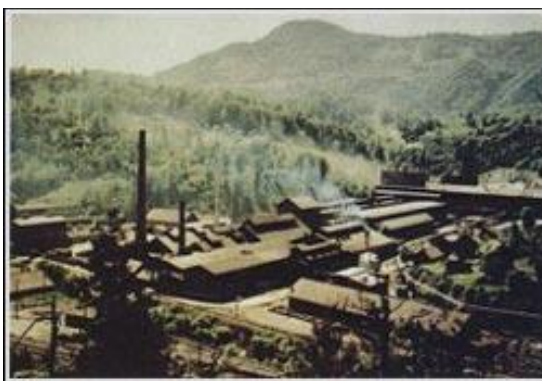
Pri oblikovanju praktičnega dela diplomskega dela bom podatke pridobil v podjetju Valji, d. o. o., v katerem sem zaposlen, in od zastopnika podjetja Swaty.

V praktičnem delu bom uporabil naslednje metode:

- metodo merjenja in opazovanja,
- spremljanje parametrov,
- primerjavo in analizo podatkov.

2 PREDSTAVITEV PODJETJA

Podjetje Valji, d. o. o., nadaljuje tradicijo izdelovanja valjev v Štorah, ki se je začela okrog leta 1900, ko so bili izdelani prvi litoželezni valji, predvsem za potrebe domače in ravske železarne oziroma valjarne. Takrat je bila letna proizvodna zmogljivost približno 50 ton valjev premera 312–415 mm. Zaradi izpopolnjevanja tehnologije in strojev je bilo leto 1960 naslednja velika prelomnica. Proizvodnja je narasla na 2300 ton valjev letno, hkrati pa se je začelo razmišljanje o dvoslojnih valjih. Nova tehnologija ulivanja valjev je bila usvojena že leta 1964. Naslednje leto pa so se usvojili novi tipi litin, kot so tako imenovane »indefinite chill« kakovosti oziroma »indefinite« trde litine (T-D in T-KGR), ter nova vrsta valjev iz tako imenovane nodularne grafitne jeklene litine (NGJL). (Valji d.o.o., 2016)



Slika 1: Začetki železarstva v Štorah

Vir: (Valji d.o.o., 2016)

V podjetju se proizvajajo valji za področje metalurgije in nemetalurški valji za gumarsko, kemično, tekstilno in drugo industrijo. Izdelujejo se tudi ulitki za različne stroje in druge druge metalurške izdelke in kokile.

Proizvodnja v podjetju se deli na dva obrata: obrat livarna in obrat mehanske obdelave valjev.

2.1 Obrat livarna

V livarskem obratu se izvaja ulivanje valjev in raznih večjih ulitkov. Proizvodnja je razdeljena na več enot, kot so: priprava vložka za talilne peči, talilnica litine, kalupirnica, oddelek centrifugalnega ulivanja, oddelek termične obdelave valjev, oddelek čiščenja valjev in odlitkov ter priprava na strojno obdelavo.



Slika 2: Ulivanje plašča valja na centrifugalnem stroju

Vir: (Valji d.o.o., 2016)

Danes se na leto ulije več kot 9000 ton valjev. Vsi se mehansko obdelujejo v podjetju oziroma v obratu mehanske obdelave, okoli 1500 ton pa je še ostalih izdelkov. Razvijajo se nove tehnologije, s katerimi se stremi k čim višji kakovosti, in novi materiali valjev s čim večjo vzdržljivostjo in izboljšanjem ostalih lastnosti.

2.2 Obrat mehanske obdelave

Postopki mehanske obdelave valja so naslednji:

- središčenje,
- struženje,
- rezkanje,
- vrtanje,
- brušenje in poliranje,

- ročna obdelava,
- montaža,
- varjenje,
- antikorozijska zaščita,
- embaliranje.

Postopki mehanske obdelave so opredeljeni s tehnološkimi in delovnimi navodili glede na potrebno tehnološko pot za dokončanje izdelkov.

Delovna navodila so narejena za posamezna opravila v proizvodnji, ki vplivajo na kakovost izdelka, in so vedno na delovnih mestih.

Obdelovance transportirajo na delovno mesto delavci s pomočjo žerjava, ki jih vodijo sami ali jih vodi žerjavovodja do delovnega mesta in se vpnejo na stroj. Med postopkom obdelave delavci uporabljajo stroje in nadzirajo proces obdelave. Pri tem upoštevajo prejeta pisna tehnološka navodila z načrti obdelovanca, spremnimi listi in seznamami orodja. Pri tem upoštevajo delovna in varnostna navodila, ki so splošnega pomena oziroma značaja za delovno mesto. Podrobnejša operativna in tehnološka tolmačenja prejemajo od tehnologov, delovodij in drugih predpostavljenih. Z izvajanjem avtokontrole delavci na strojih preverjajo skladnost z zahtevami kakovosti in v primeru odstopanj korigirajo proces. Po končanem delu na izdelku dajejo kontrolorjem v prevzem in potrditev izvedeno operacijo. (Lastna raziskava, 2016)

2.3 Proizvodni program valjev

Večina proizvodnje temelji na izdelavi valjev za hladno in vroče valjanje pločevine. Valji se izdelujejo iz kakovostnih in obrabno odpornih materialov, ki zagotavljajo visoko zanesljivost in dolgo trajno življenjsko dobo. Trajnost in odpornost proti obrabi se sistematično povečuje z iskanjem oziroma razvojem novih močnejših materialov, izpopolnjevanjem proizvodne tehnologije in pogoji obratovanja, ki jih narekuje uporabnik.

Valji se ulijejo v dveh fazah. V prvi fazi se ulije delovna plast valja (centrifugalno litje), kjer se uporabljajo visoko legirani materiali zaradi boljše obstojnosti in zahtevane odpornosti proti obrabi. V drugi fazi pa se ulije jedro trupa in čepa valja, ki pa mora biti predvsem žilavo. Pri

valjih so pogosti izrazi za material valjev, kot so »Indefinite chill« (indefinitni valji) in »Improved indefinite chill« (izboljšani indefinitni valji).

»**Indefinite chill**« je oznaka za sivo litino, katere delež grafitu se povečuje v globino plasti, delež karbidov pa se hkrati zmanjša. Tako oznako uporabljamo skoraj izključno v valjarstvu, drugje uporabljajo tudi oznako melirana litina.

»**Improved indefinite chill**« je enaka zlitina z dodatkom posebnih legiranih elementov (Nb, V, Ti itd.), ki tvorijo trde in obstojne karbide, zaradi katerih se občutno izboljša obrabna obstojnost delovnih plasti in s tem storilnost valjev.

Valji morajo imeti ustrezno trdoto (odvisno od zahtev kupca), ki se običajno giblje v razponu 52–67 HRC (73–103 HSC), in morajo zagotavljati veliko specifičnih lastnosti, kot so visoka odpornost proti lomu in obrabi, prav tako pa morajo dosegati čim večjo produktivnost. Pomembna je tudi cena valja.

Vsak proizvajalec valjev ima svoje oznake za material, karakteristike oziroma mehanske lastnosti in struktura materiala pa se prilagajajo na željo in potrebo uporabnika valjev.

Kupcu je treba predložiti vsa poročila, ki jih zahteva v naročilu in specifikaciji valja, in sicer:

- a) kemično sestavo delovne plasti in jedra;

Tabela 1: Primer kemične sestave materiala valja

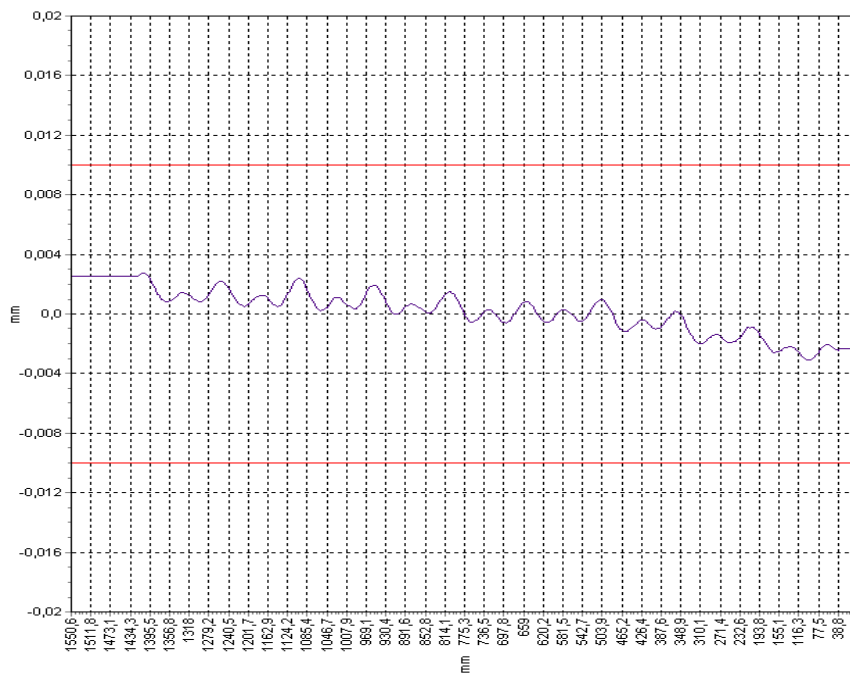
Kemična sestava [%]		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W
	jedro	3,5	0,6	2,1		0,3	0,2	0,8	0,4	0,3	
	plašč	3,5	1,5	1,5	0,03		2,2	4,8	0,02	0,7	0,8

Vir: (Valji d.o.o., 2016)

- b) fotografijo mikrostrukture delovne plasti in jedra; kupcu je treba zagotoviti tudi mikrostrukturo materiala, iz katerega je valj ulit, zato se delajo kemijske in mikrostrukturne analize za vsak valj posebej in se morajo ujemati s številko valja, ki ga spremlja od samega ulivanja, mehanske obdelave do konca njegove življenjske dobe;
- c) vsa poročila o mehanskih preizkusih (npr. natezna trdnost materiala);

- d) poročila o dejanski trdoti trupa valjev in ležajnih površin čepov;
- e) poročilo o merjenju globine plašča oziroma delovne plasti valja;
- f) poročilo o neporušitvenih metodah pregledovanja (npr. kontrola z ultrazvokom in penetrantska kontrola); na valju ne smejo biti nobene razpoke, preglede pa morajo opraviti certificirane oziroma za to usposobljene osebe;
- g) poročilo o dimenzijah.

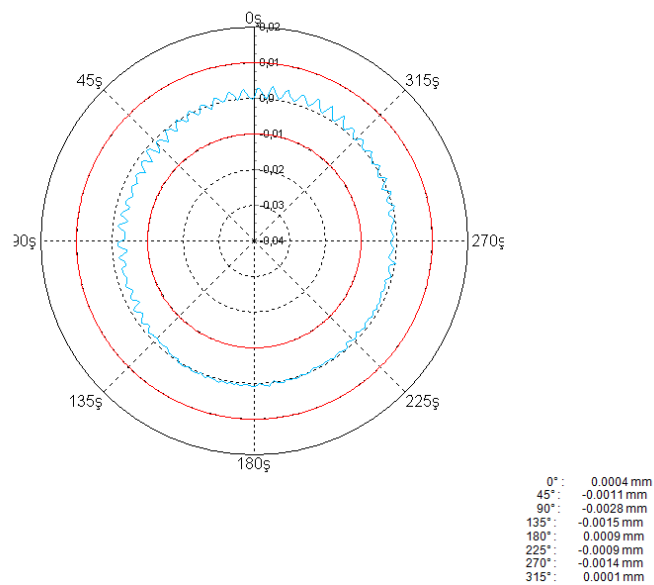
Za vsak valj se izvede atest valja, na katerem je večina podatkov o valju. Na načrtu valja so oblikovne zahteve, kot na primer oblika delovne površine in krožni teki. Na slikah 3 in 4 so prikazani zapisi, ki jih naredimo na brusilnem stroju Hercules s pomočjo merilne naprave na stroju. Na sliki 3 je prikazan grafični zapis oblike in konicitete valja, ki pa je manjša od štirih tisočink milimetra. Zahtevane konicitete valjev se razlikujejo od zahtev uporabnika in so v mejah od 0,05 mm do 0,005 mm.



Slika 3: Grafični prikaz oblike delovne površine valja na brusilnem stroju Hercules

Vir: (Valji d.o.o., 2016)

Na sliki 4 je predstavljen grafični prikaz izmerjenega krožnega teka valja. Krožnica rdeče barve določa tolerančno cono, znotraj katere morajo ležati vse točke geometrijskega elementa. Z merilno napravo na stroju izmerimo odstopanja krožnosti in določimo vrednost merjene točke glede na koordinatni sistem valja in položaj, ki je izražen v stopinjah. Glede na položaj se nam izpišejo vrednosti odstopanja oblike valja od njegove idealne oblike, ki pa je v našem primeru krog. Pri merjenju krožnosti moramo upoštevati, da je toleranca enaka dimenzijski toleranci premera, v nobenem primeru pa ne sme biti večja od splošne tolerance za krožni tek.



Slika 4: Grafični prikaz krožnih tekov na brusilnem stroju Hercules

Vir: (Valji d.o.o., 2016)

3 TEORETIČNE OSNOVE BRUŠENJA

Brušenje je mnogorezilni postopek odrezovanja. Uporablja se za končno fino obdelavo z orodjem, ki se imenuje brus. Brusi so izdelani v celem ali pa so sestavljeni iz brusnih segmentov. Rezila brusa so abrazivna zrna, povsem nepravilne naključne oblike in porazdelitve ter povezana z vezivom in dodatki. (Kisin, 2011)

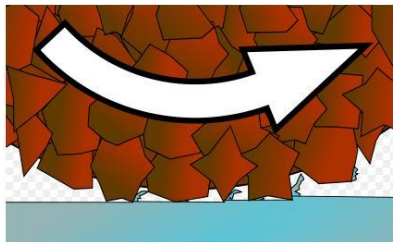
Učinki, ki jih dosežemo z brušenjem, so:

- veliki odvzemi materiala,
- velika natančnost dimenzij,
- zelo gladka površina,
- obdelujemo lahko zelo trde materiale. (Swaty, 2016)

Sloj, ki ga odvizamemo z brušenjem, je zelo tanek (od 0,01 mm do 0,3 mm), zato lahko pri brušenju dosežemo veliko natančnost.

Glavno gibanje vedno opravlja brus, ki se vrti izredno hitro. Podajanje lahko opravlja orodje ali obdelovanec, odvisno od izvedbe brusilnega stroja. Za brušenje je karakteristična velika rezalna hitrost pri relativno majhnem podajanju, zato nastanejo na obdelovancu v tistih točkah, ki se jih dotikajo vrhovi brusnih zrn, visoke temperature. Material obdelovanca se zato omehča in zrno ga lahko z lahkoto odrine oziroma nastane odrezek (slika 5). (Koper, 2016)

Odrezki odvajajo glavni del proizvedene toplote in so pri brušenju zelo majhnega preseka oziroma so v obliki prahu. Brusimo lahko vse tiste površine, ki smo jih poprej obdelali z znanimi postopki odrezovanja. (Franc Jakopič & Slavko Plazar, 1999)



Slika 5: Prikaz odrezovanja z brušenjem

Vir: (Google.si, 2016)

3.1 Pregled postopkov brušenja

3.1.1 Zunanje in notranje krožno brušenje

Z obodom brusa vedno brusimo rotacijske ploskve. Pri takšnem brušenju razlikujemo več postopkov. Poznamo zunanje krožno in zunanje zarezno brušenje rotacijskih ploskev. Kadar je površina brušenega obdelovanca večja od širine brusa, uporabljamo tudi vzdolžno podajanje. Če je površina brušenega obdelovanca enaka ali manjša od širine brusa, pa ne uporabljamo vzdolžnega podajanja. Takšnemu načinu brušenja pravimo zarezno brušenje.

Notranje krožno brušenje uporabljamo pri brušenju izvrtin. Takšno brušenje delimo na notranje krožno vzdolžno brušenje s podajanjem in na notranje krožno zarezno brušenje brez podajanja. (Franc Jakopič & Slavko Plazar, 1999)

3.1.2 Brušenje ravnih ploskev

Ravne površine lahko brusimo s čelnim ali obodnim brušenjem.

Pri **obodnem brušenju ravnih** površin opravlja glavno krožno gibanje brus, podajalna gibanja (vzdolžno in prečno gibanje) pa opravlja obdelovanec.

Pri **čelnem brušenju ravnih** površin opravlja glavno krožno gibanje brus, premočrtno podajalno gibanje pa obdelovanec. (Koper, 2016)

Čelno se brusi na več načinov. Pri čelnem brušenju je brus lahko nagnjen, nato je lahko pravokotno orientiran glede na obdelovanec z ravno ali stožčasto čelno stranjo. Od takšne postavitve brusa so zelo odvisni sledovi obdelave in kakovost obdelane površine.

Poznamo več možnosti čelnega brušenja – kakovost površine in sledovi obdelave so odvisni od tega, kako se brus dotika obdelovanca.

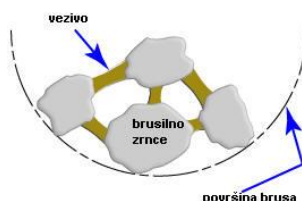
3.1.3 Brušenje brez konic

Brušenje brez konic je postopek brušenja, ki je primeren za majhne obdelovance, ki jim želimo povečati natančnost. Obdelovanec se vrti med dvema brusoma, ki imata različen premer. Pri daljših obdelovancih, kjer potrebujemo tudi podajalno vzdolžno gibanje, je regulacijski brus nagnjen in s trenjem povzroči vijačno vzdolžno gibanje obdelovanca. Bolj je regulacijski brus nagnjen, hitrejša je podajalno gibanje. Večji brus je glavni brus in se vrti z rezalno hitrostjo. Med obdelavo se obdelovanec naslanja na poševno vodilo. (Koper, 2016)

Poznamo še zunanje zarezno brušenje brez konic, ki nam omogoča brušenje profilnih obdelovancev. Pri tem postopku se uporabljajo profilni brusi. Obdelovanec vlagamo od zgoraj med oba brusa, ne giblje se več v vzdolžni smeri.

3.2 Sestava brusnih plošč

Brusno orodje je sestavljeno iz velikega števila brusnih zrn in veziva, ki jih veže v brus. (Puhar Jože & Stropnik Jože, 2011) Brusni material je v tankem sloju lahko nanesen tudi samo na trup ali pa so na trupu pritrjeni brusni segmenti. Mešanico zrn in veziva stisnemo pod pritiskom 75–250 barov v posebnih kalupih v obliko brusa, ki ga nato žgemo pri temperaturah, ki jih potrebujemo glede na zahteve posameznih veziv. (Koper, 2016)



Slika 6: Skica sestave brusa

Vir: (Koper, 2016)

Kakovost in uporabnost brusa je predvsem odvisna od materiala in velikosti brusnih zrn, vrste veziva, trdote in strukture brusa. Vsi našti elementi so standardizirani, vendar se standardi še vedno razlikujejo in ne uporabljajo enotno. Brusi različnega izvora se utegnejo tudi pri enakih označbah znatno razlikovati, zato je treba dobiti priporočila izdelovalca. (dr. Jože Balič & doc. dr. Ivo Pahole, 2006)

3.3 *Materiali brusnih plošč*

Materiali za brusne plošče so lahko umetni ali pa naravni. Danes uporabljamo predvsem umetne materiale, kot so:

- korund (Al_2O_3),
- cirkonijev oksid (ZrO_2),
- silicijev karbid (SiC),
- borov nitrid (CBN, BN),
- diamant (C).

Značilnost teh materialov je, da so izredno trdi in prenašajo visoke delovne temperature.

Korund (Al_2O_3) uporabljamo za brušenje vseh vrst jekel. Lahko je zelo čist (99,5 %) in je bele barve. Pri dodajanju oksidov, kot sta silicijev in titanov oksid, dobimo korund, ki mu rečemo normalni (moder, rjav) ali polplemeniti korund (svetlo moder). Z dodajanjem kromovega oksida pa dobimo plemeniti korund, ki je lahko roza ali rdeče barve.

Silicijev karbid (SiC) pridobivamo s topljenjem kremenčevega peska, koksa in soli pri temperaturi 2300 °C. Njegova značilnost je, da ima zelo dobre rezalne lastnosti. Čistejši črni silicijev karbid uporabljamo za brušenje litega jekla, legur bakra in aluminija. Zeleni silicijev karbid, ki je trši, pa uporabljamo za brušenje sive litine in karbidnih trdin.

Borov karbid (B_4C) pridobivamo s topljenjem borove kisline in koksa. Uporablja se predvsem za proizvodnjo brusnih in polirnih past ter za brušenja karbidnih trdin.

Kubični borov nitrid (CBN) spada med najtrše umetne brusne materiale in dosega trdoto diamanta. Pridobiva se iz bor-klorovega amonijaka pri temperaturi nad 2000 °C. Pri obdelavi jekla ima boljše rezalne lastnosti od diamanta, ki izgublja obstojnost že pri 900 °C.

Diamant je najtrši rezalni material. Poznamo naravni diamant, ki nastane kot posledica geoloških procesov v notranjosti zemeljske skorje, in sintetični ali umetni diamant, ki ga pridobivajo iz grafita pri temperaturi 2000 °C in visokem tlaku. Uporablja se predvsem za

ostrenje orodij iz karbidnih trdin, keramike in brusov. Pri temperaturi nad 900 °C reagira z železom in ni primeren za obdelavo jekla.

3.4 Veziva za bruse

Naloga veziva je, da povezuje in veže brusna zrna, da ta med brušenjem prenašajo rezalno silo in ne izpadejo. Najpogostejše uporabljena veziva so: keramično vezivo, smolna veziva, ki so lahko tudi armirana, in kovinska veziva. Obstajajo pa tudi različice brusov, ki so v galvanski vezi, magnezitni in sintetično-magnezitni vezi, gumi vezi ipd.

3.4.1 Keramično vezivo

Glavne sestavine keramičnih veziv so glina, kaolin, glinenec, frite in pigmenti. Pri žganju v peči se komponente delno talijo ali sintrajo, med seboj reagirajo in pri hlajenju preidejo v steklu ali porcelanu podobno stanje. Keramično vezivo je krhko, neelastično in zelo dobro drži obliko. Občutljivo je na udarce, sunke, velike obremenitve in temperaturne spremembe. Ni občutljivo na delovanje vlage do temperature nad 0 °C. (Swaty, 2016)

3.4.2 Smolna veziva

Glavne sestavine smolnih veziv so fenol-formaldehidne smole ter aktivna in neaktivna polnila. Po toplotni obdelavi fenol-formaldehidne smole kondenzirajo v netopno in netaljivo obliko. Polnila regulirajo nekatere tehnološke, trdnostne in brusne lastnosti veziva. Smolno vezivo je manj krhko, nekoliko bolj elastično in nekoliko slabše ohranja obliko brusa, kot to velja za keramična veziva. Nekoliko manj je občutljivo na sunke, udarce in temperaturne spremembe kot keramično vezivo, je pa občutljivo na delovanje vlage in alkalne hladilne tekočine. (Swaty, 2016)

3.4.3 Armirano smolno vezivo

Gre za različico smolnega veziva, kjer se uporabljajo dodatki vlaknastih snovi (običajno steklena vlakna v obliki tkanine). Ker je tako vezivo armirano, se močno poveča trdnost

izdelka in ga lahko uporabljamo pri povečanih obodnih hitrostih in bočnih obremenitvah. (Swaty, 2016)

3.4.4 Kovinsko vezivo

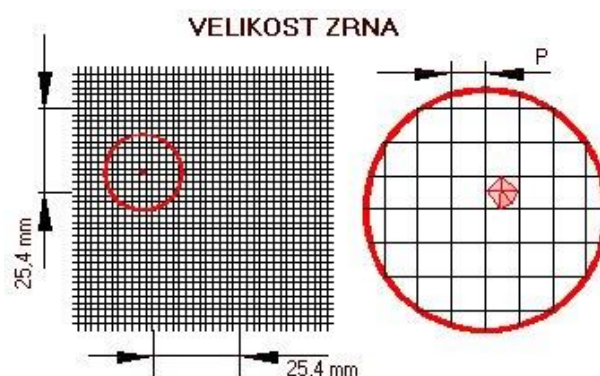
Kovinsko vezivo se uporablja za bruse in rezalne plošče za obdelovanje stekla, kamna ali betona. V novejših izvedbah se uporablja tudi za kovinske materiale, kjer je treba zagotoviti izjemne mehanske lastnosti brusov.

3.5 Zrnatost brusa

Zrnatost nam pove velikost brusnega zrna. Velikost zrna izbiramo glede na zahtevano kakovost površine obdelovanca. Poleg velikosti brusnega zrna vpliva na kakovost površine tudi hitrost obdelave. (Grinding, 2016)

Na splošno velja, da za fino brušenje uporabljamo fino zrno, za grobo brušenje pa grobo zrno.

Velikost zrna predpisuje standard in je označena s številko. Število nam pove, koliko luknjic (P) na dolžini 1 cole (25,4 mm) ima žično sito, ki še prepušča zrnca. Na primer zrno št. 80 je tisto zrno, ki ravno še pade skozi sito, ki ima na dolžini 1 cole 80 luknjic. (Koper, 2016)



Slika 7: Določanje velikosti zrna

Vir: (Koper, 2016)

3.6 Označevanje in pravilno rokovanje z brusnimi ploščami

3.6.1 Označevanje brusov

Za popolno identifikacijo brusnega orodja je treba navesti naslednje skupine podatkov:

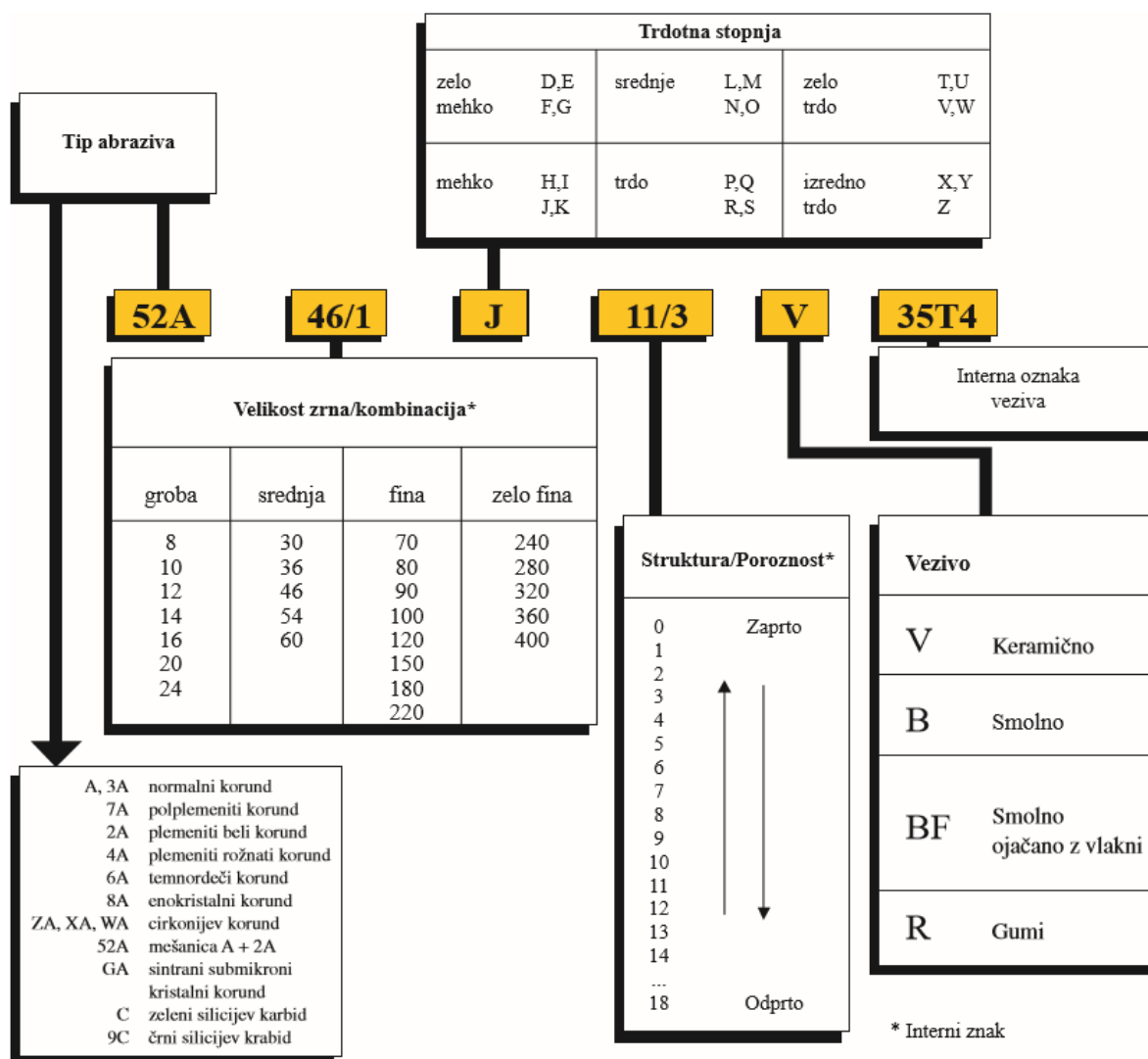
- oblika brusnega orodja,
- dimenzija brusnega orodja,
- vrsta materiala,
- delovna obodna hitrost,
- morebitne posebne zahteve glede izvedbe (toleranca neuravnoteženosti itd.).

(Swaty, 2016)

Po potrebi so posameznim elementom oznake dodane še proizvajalčeve interne oznake.

Sestavo materiala brusnega orodja določajo naslednji glavni elementi:

- vrsta in tip brusilnega zrna,
- granulacija (in kombinacija) brusilnega zrna,
- trdota,
- struktura,
- vezivo,
- interni simbol (tip veziva, tehnološke posebnosti). (Swaty, 2016)



Slika 8: Sistem označevanja brusnih plošč

Vir: (Swaty, 2016)

3.6.2 Skladiščenje brusnih plošč

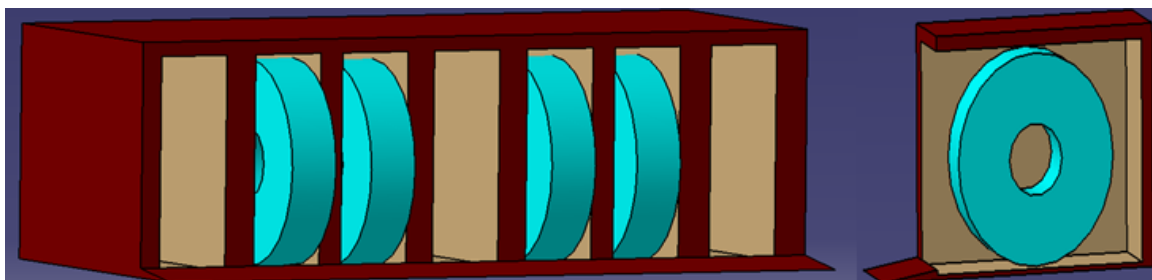
Bruse moramo hraniti v suhih prostorih, kjer niso izpostavljeni vlagi (maksimalno 75-odstotna relativna vlažnost) in vplivom toplote, s stalno temperaturo nad 0 °C. Vlaga in toplota zelo škodujeta smolno vezanim brusom, ki tudi ob ugodnih skladiščnih pogojih zaradi vplivov zračne vlage, zraka in svetlobe sčasoma izgubljajo trdnost. Mesto skladiščenja naj bo čim bližje mestu uporabe, da prepreči mehanske poškodbe brusov med transportom, pozimi pa še kondenzacijo vlage med transportom. Ker so brusi lomljivi, je nujno, da z njimi skrbno ravnamo in uporabljamo vozičke ali podobne priprave, ki omogočajo varen transport večjih in

težjih brusov. Zagotoviti je treba primerna stojala, police, predale ali zaboje za skladiščenje različnih tipov brusov. Upoštevati je treba naslednje smernice:

- brusne plošče večjih dimenzij skladiščimo na spodnjih policah regala, in to pokončno;
- brusne obroče z debelimi stenami tudi skladiščimo pokončno, medtem ko tankostenske obroče polagamo na ravno podlago in vmes vstavimo kartone;
- tanke brusne plošče polagamo na ravno podlago; enako rezalke, da ne pride do krivljenja;
- na zgornjih policah regala skladiščimo manjše brusno orodje in bruse standardiziranih oblik;
- bruse s stebлом, brusne pile in drugo drobno brusno orodje smemo shranjevati v škatlah.

Tako priporočeno skladišče naj bo na voljo tako za delno rabljene kot za nove bruse.

Čas skladiščenja je za keramično orodje neomejen. Smolno vezani oziroma s steklenimi vlakni ojačani smolno vezani brusi se lahko skladiščijo le omejen čas, ker se smolno vezivo stara. Rok skladiščenja znaša za neojačane bruse eno leto, za bruse, ojačane s steklenimi vlakni, pa tri leta. Po poteku roka uporabe je treba smolno vezane brusne plošče preizkusiti skladno s predpisanimi postopki ali pa jih izločiti (uničiti). (Swaty, 2016)

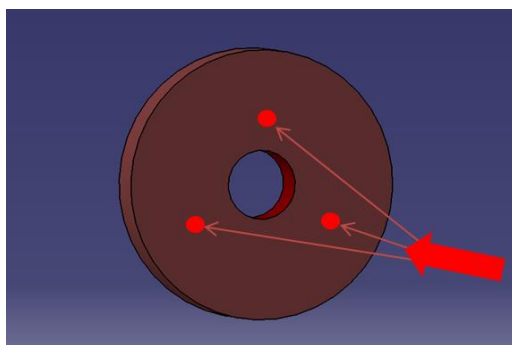


Slika 9: Primer skladiščenja brusnih plošč

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

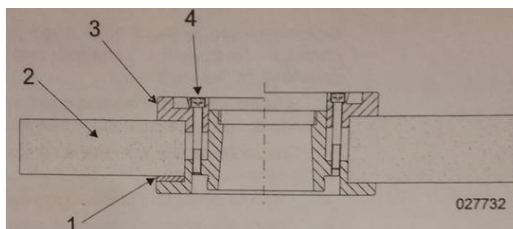
3.7 Priprava brusnih plošč za uporabo na stroju

Po sprejemu v skladišče in še posebno neposredno pred montažo na brusilni stroj je treba pregledati brus, pri okroglih brusih pa opraviti tudi kontrolo na zvok. Na ta način se odkrijejo morebitne poškodbe brusa, nastale pri transportu ali skladiščenju. Kontrolo brusa na zvok izvedemo tako, da po brusu, ki prosto visi, na štirih mestih rahlo udarimo s kovinskim ali lesenim kladivom, pri čemer se mora slišati čist in jasen zvok. Če se po udarcu sliši zamolkel, nečist zvok, to pomeni, da je brus poškodovan in neprimeren za uporabo. (Swaty, 2016)



Slika 10: Točke kontrole brusa na zvok

Vir: (Lastna raziskava, 2016)



Slika 11: Brusna plošča na vpenjalni glavi

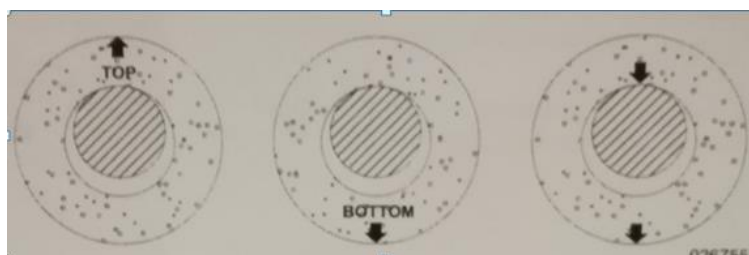
Vir: (Valji d.o.o., 2016)

Legenda:

- 1 – distančni obroč,
- 2 – brusna plošča,
- 3 – napenjalni obroč,
- 4 – pritrditveni vijaki.

Novo brusno ploščo postavimo natančno na sredino vpenjalne glave. Pri ožjih brusnih ploščah v ta namen vstavimo distančne obroče. Na obeh straneh brusne plošče priložimo papirni obroč, debeline 1–2 mm. S tem se izravnavajo neravnine na brusni plošči. Ko nataknemo napenjalni obroč, pritrditvene vijake enakomerno zategnemo. Za zategovanje vijakov pri večvijajčnih prirobnicah uporabljamo momentni ključ. Uporabljeni navor praviloma ne sme presegati 27 Nm. Zategovanje vijakov poteka v križnem zaporedju. (Swaty, 2016)

Nekatere brusne plošče so označene s puščicami za montažo. Te brusne plošče moramo vpeti v skladu s temi oznakami (slika 28).



Slika 12: Primeri za položaj puščice za montažo

Vir: (Valji d.o.o., 2016)

3.7.1 Centriranje brusnih plošč

Bruse večjih dimenzij, ki jih montiramo na prirobnico in skupaj s prirobnico na vreteno stroja, je treba statično uravnotežiti s pomočjo uteži na prirobnici. Če brusna plošča ni statično uravnotežena, se med brušenjem pojavljajo vibracije, ki povzročajo večjo obrabo brusa, slabšo kakovost brušene površine in krajšo življenjsko dobo ležajev glavnega vretena na stroju, med delom pa se brus zaradi centrifugalne sile lahko razleti. Metoda statičnega uravnoteženja brusa temelji na ročni postavitvi uteži v utorih na prirobnici, tako da je skupna masa brusa in uteži enakomerno razdeljena po obodu. (Swaty, 2016)

3.8 Izbira delovnih pogojev pri brušenju

Smernice za izbiro delovnih pogojev se precej razlikujejo. Glavni vzrok za to je v tem, da se lastnosti brusov pri istih označbah po podatkih proizvajalcev med seboj razlikujejo. Eden izmed razlogov je tudi, da so ti delovni pogoji še slabo raziskani. (Čuš, 2009)

Rezalno hitrost izračunamo po enačbi:

$$V_c = d_b \cdot \pi \cdot n_b \quad (3.1)$$

Pri tem so:

- V_c – rezalna hitrost [m/s],
- d_b – premer brusa [m],
- n_b – število vrtljajev brusa [s^{-1}].

Obodno hitrost obdelovanca izračunamo po enačbi:

$$V_f = d_o \cdot \pi \cdot n_o \quad (3.2)$$

Pri tem so:

- V_f – obodna hitrost obdelovanca [mm/s],
- d_o – premer obdelovanca [mm],
- n_o – število vrtljajev obdelovanca [s^{-1}].

Izbrani delovni pogoji močno vplivajo na obstojnost brusa.

Pri izbiri delovnih pogojev bi morali upoštevati tudi želeno obstojnost brusa, podobno kot pri struženju. Vpliv vseh veličin na ekonomičnost obdelave pa še ni tako raziskan, da bi v praksi lahko našli optimalne podatke. (Čuš, 2009)

4 TEHNOLOŠKI POSTOPEK BRUŠENJA VALJEV NA BRUSILNEM STROJU HERCULES

Z brusilnim strojem »Hercules« upravlja en operater. Sam potek dela je računalniško voden. Delovno mesto upravljanja je na suportu stroja, kjer sta tudi brusna plošča in kontrolna oziroma upravljalna enota. Od stroja se pričakujejo storilnost, obratovalna zanesljivost in natančnost dela. Da to zagotovimo, je treba pred pripravo stroja za obratovanje zagotoviti določene preglede, kot sta: pregled hidrostatičnega mazanja vodil brusnega suporta in mazalnega sistema za brusno enoto.

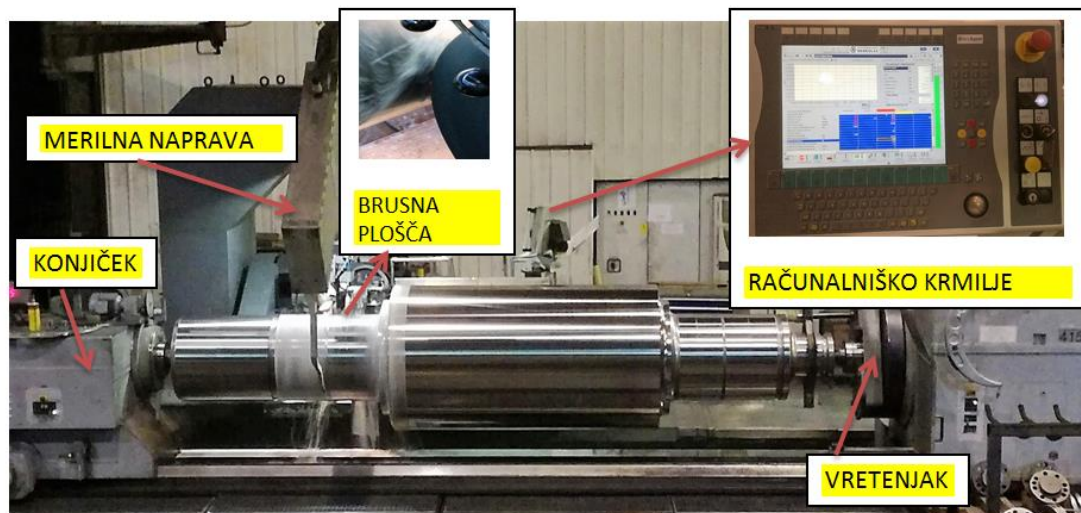
Tabela 2: Tehnični podatki stroja Hercules

Delovno območje stroja		
Razdalja med konicami	mm	8000
Največji premer, ki se obdeluje	mm	1500
Najmanjši premer brušenja	mm	300
Teža obdelovanca		
V hidrodinamičnih linetah	maks. kg.	40000
Napenjanje med konicami	maks. kg.	40000
Pogon vretenjaka brusilnega stroja		
Moč pogonskega motorja	kW	87
Število vrtljajev vpenjalne plošče	1/min	6–60
Vrtljni moment vpenjalne plošče	Nm	38000
Pogon brusnih plošč		
Moč motorja brusnih plošč	kW	85
Število vrtljajev brusilnega vretena	1/min	400–1200
Rezalna hitrost	maks. m/s	45
Os Z		
Pomik brezstopenjsko	mm/min	50–5000
Os X		
Pomik brezstopenjsko	mm/min	3–3000
Kontinuiran pomik	mm/min	0,01–0,2
Brusna plošča		
Premer	maks. mm	980
Premer	min. mm	480
Širina	mm	80–100
Merilna naprava		
Območje merjenja premera	mm	200–1800

Vir: (Valji d.o.o., 2016)

Namen stroja je izključno brušenje valjev. Možni so naslednji procesi brušenja:

- cilindrično, vzbočeno in izbočeno brušenje,
- CNC-krivulje,
- brušenje empiričnih krivulj opornih točk.



Slika 13: Brusilni stroj Hercules

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

4.1 Vpenjanje obdelovanca na stroj

Na podlagi prejetega načrta, delovne karte in tehnološkega lista od delovodje prevzamemo valj na depoju in ga prekontroliramo. Po proučitvi tehnologije in načrta pripravimo stroj za vpenjanje obdelovanca. Pri vpenjanju obdelovanca med konice je pomembno, da izberemo konice s pravilnim kotom, ki je razviden iz načrta obdelovanca. Pri vpenjanju med konice je tudi pomemben podatek o teži obdelovanca, ki je na načrtu in tehnološkem listu oziroma delovnem nalogu. Valj vpnemo med konice s silo teže obdelovanca z dodatkom približno 6 kN.

Po vpetju obdelovanca je pomembno preveriti centričnost in dodatke na površinah, ki so predvidene za brušenje, hkrati pa tudi centrirna izhodišča. Če ugotovimo preveliko opletanje, je treba poslati obdelovanec/valj na popravilo središčnih gnezd.



Slika 14: Vpenjanje obdelovanca/valja na stroj med konice

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Pri vpenjanju na linetah vpnemo valje, če se le da na dva enaka premera, tako da naležna površina ni širša od širine brusa. Valj centriramo v os stroja do 0,05 mm po smeri (dolžini) in višini. Nato zabrusimo s celotno širino brusa naležno površino na lineti s počasnim primikom 0,01 mm/vrt, da dobimo čisto in gladko površino, ter kontroliramo doseženo okroglost. Dopustna neokroglost ležišča v lineti pri normalnih tolerancah v razredu IT6 je 0,01 mm. Ležišče linet je treba izbrati bliže trupa valja, da se zmanjša povese zaradi njegove lastne teže. Po izdelavi ležišča prekontroliramo dodatke in opletanje površin za brušenje ter ponovno centriramo valj v os stroja do 0,01 mm. Med brušenjem je treba večkrat kontrolirati lego valja v osi stroja zaradi obrabe linet in ga ponovno centrirati.

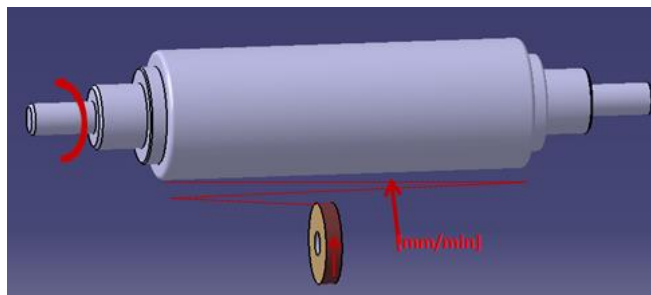
4.2 Brušenje valja

Brušenje valjev je proces cilindričnega brušenja, pri katerem moramo doseči mere, predpisane s strani uporabnika valjev, in določeno hrapavost površine. Kakršne koli napake na valju zaradi brušenja, kot so vzorci brusnih plošč, zareze in podobno, se med delovnim postopkom valjanja prenesejo na obdelovanec (npr. pločevino), ki ga valj obdeluje. Valj brusimo po zahtevah na načrtu in zahtevah tehnologije.

4.2.1 Dodajanje brusne plošče v smeri osi X oziroma globina rezanja

Glede na dodajanje brusne plošče imamo več možnosti brušenja:

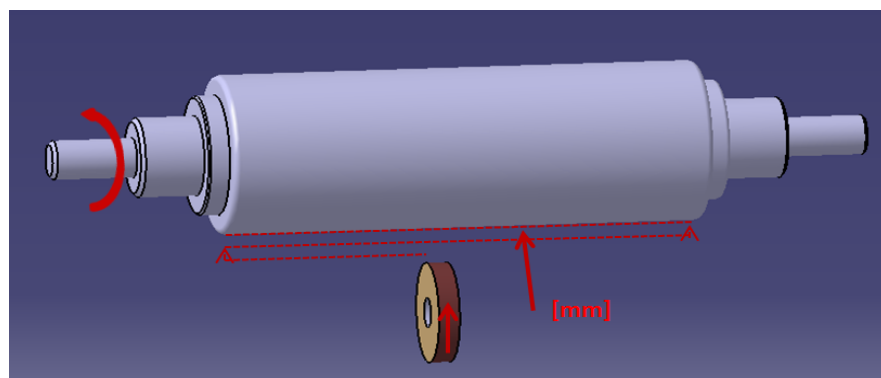
- kontinuirano dodajanje, kjer se brusna plošča kontinuirano premika za vneseno mero [mm/min] v smeri osi X. S tem se izenači obraba brusne plošče, saj je plošča v konstantnem dotiku z obdelovancem. Kontinuirano dodajanje uporabljamo tudi pri zareznem brušenju. Vrednost primika je odvisna od brusne plošče, materiala obdelovanca in želenega rezultata brušenja;



Slika 15: Kontinuirano dodajanje

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

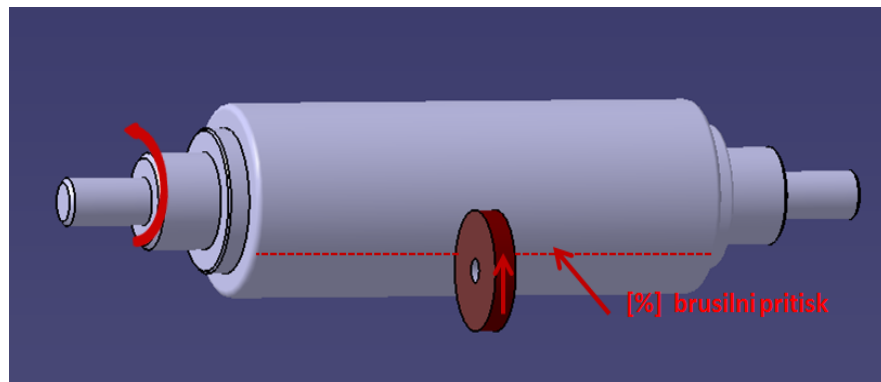
- dodajanje v točki preusmeritve, kjer se brusna plošča v točki preusmeritve primakne za vneseno mero [mm] v smeri osi X. Ta način uporabljamo na čepih valja oziroma na krajših dolžinah brušenja;



Slika 16: Brušenje z dodajanjem v točki preusmeritve

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

- brušenje glede na obremenitev brusne plošče (sila, s katero brusna plošča pritiska na obdelovanec). Ta način uporabljamo za korekturo oblike, da se doseže enakomerna površina valja. Pritisk je določen v odstotkih glede na obremenitev motorja brusilnega pogona. Če brusilni pritisk za korekturo oblike pade pod vneseno vrednost, ga krmilje z upoštevanjem oblike valja avtomatsko naknadno regulira.



Slika 17: Brušenje s pritiskom brusa v odstotkih

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Vrednosti primika brusne plošče (os X) na vsak vzdolžni gib brusilnega suporta so za grobo brušenje, glajenje in poliranje zelo različne.

Vrednost primika brusne plošče je odvisna od:

- materiala valja,
- premera valja,
- števila vrtljajev,
- obodne hitrosti,
- materiala in zrnatosti brusne plošče.

Vrednosti primika segajo od območja v mikronih (poliranje) do območja desetink milimetra (grobo brušenje) in jih je treba prilagoditi vrsti brušenja.

4.2.2 Hitrost vzdolžnega podajanja

Hitrost vzdolžnega podajanja ali hitrost smeri osi Z je odvisna od tega, ali brusimo grobo – kosmačimo ali fino – končno brušenje. Visoke hitrosti, na primer od polovice do cele širine brusne plošče na obrat obdelovanca, se uporabljajo predvsem pri grobem brušenju. Faktor prekrivanja je v tem primeru relativno nizek, kar prispeva k temu, da se uporabljajo maksimalne moči pogona.

Prevelike hitrosti povzročijo predčasen izlom zrn brusne plošče in ne dajo pričakovanega visokega odbrušenja. Pri glajenju ali poliranju si je treba prizadevati za visok faktor prekrivanja, da se dobi zelo dobra kakovost površine.

4.2.3 Izbira rezalne hitrosti

Z naraščajočo obodno hitrostjo brusne plošče, ki je enaka rezalni hitrosti v_c [m/s], se povečujejo rezalne sile in s tem tudi odvzem toka ali obremenitev motorja brusne plošče. Rezalne sile in odvzem toka so pri nizki obodni hitrosti manjše. Obodna hitrost brusne plošče običajno znaša:

- za jeklene valje 25–45 m/s,
- za valje iz trde litine 15–35 m/s.

Hitrost brusa in valja nastavljamo v območju 25–40 m/s. Z naraščajočo obodno hitrostjo brusne plošče se povečujejo rezalne sile in s tem tudi odvzem električnega toka. Rezalne sile in odvzem toka so pri nizki obodni hitrosti manjši. Pri poliranju je priporočljivo delati s kolikor je mogoče nizko hitrostjo brusne plošče (po potrebi pod 20 m/s).

Hitrost obdelovanja je odvisna od dolžine in premera valja, ki se brusi. Pri grobem brušenju se priporoča obdelovanje z višjo hitrostjo obdelovanja. S tem se volumen odbrušenega materiala poveča. Pri tankih dolgih valjih izbiramo manjšo hitrost. Obodna hitrost naj bi bila 5–10 m/min.

Pri brušenju na linetah pa je obodna hitrost valja manjša kot pri vpetju med konicama – nekje 10–15 m/s zaradi segrevanja površine, ki je posledica trenja med obdelovancem, in ležišča na linetah. Vzdolžno podajanje mora biti 2/3 širine brusa. Brus pa mora brusiti vsaj 10 mm čez rob trupa.

Ves čas brušenja mora teči hladilna emulzija na površino valja pod brus, da sproti ohlaja ogreto površino. Pomembno je, da brus ne sme sežigati površine in da brusa ne smemo preveč obremeniti, ker se pri tem pospešeno luščijo zrnca iz brusa in nastaja konična oblika izdelka. Manjše površine na čepih, ki jih brusimo zarezno, morajo biti natančno brušene po celotni dolžini, zato je treba večkrat poravnati brus na diamantu.

Brušene površine morajo biti enakomerno obdelane. Ne sme se videti sled pomika brusa ali sled diamanta po poravnavanju brusa. Valovito nasekano površino odpravimo s poravnavanjem brusa.

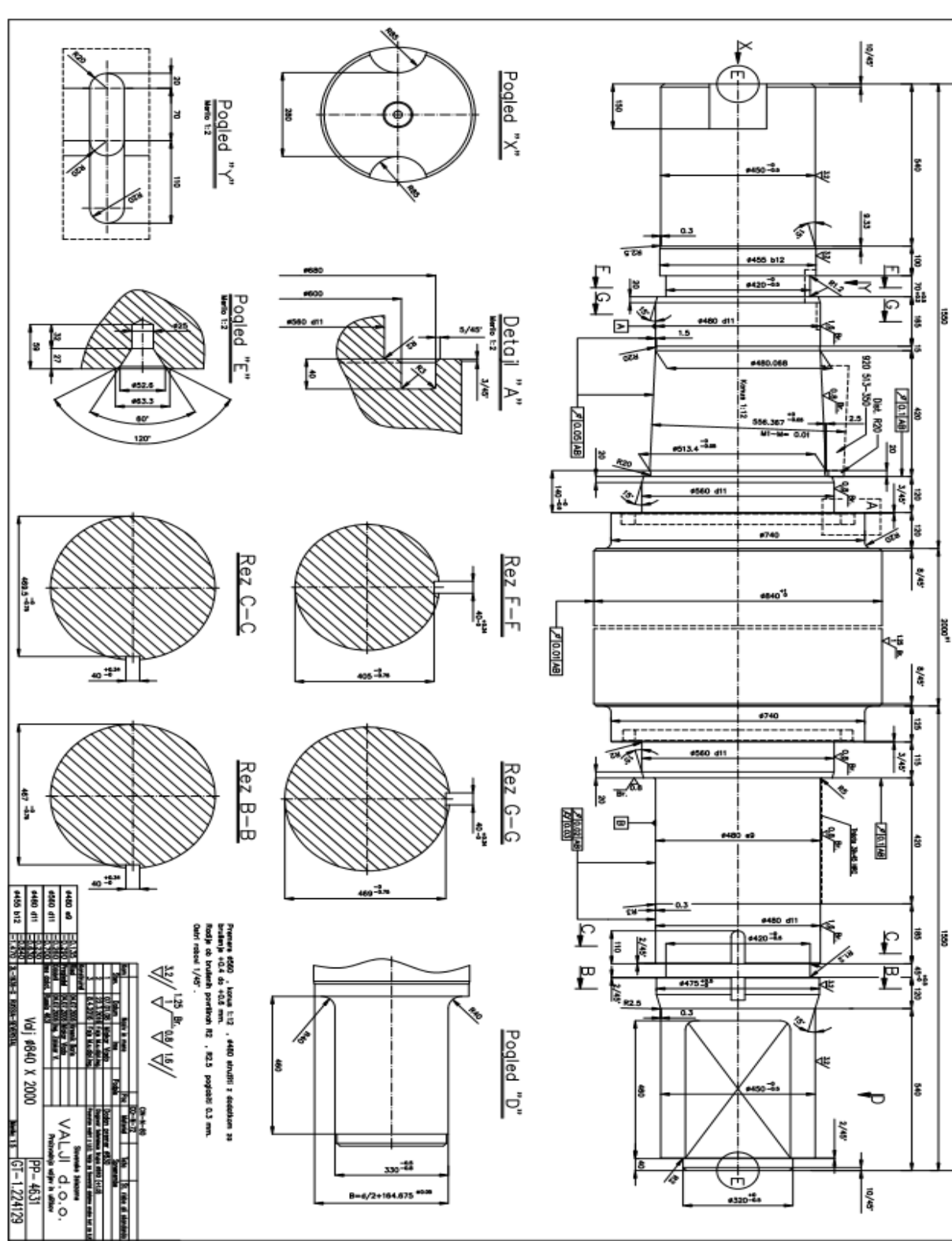
Dolgi in vitki valji se povesejo zaradi lastne teže. Zaradi povesa se vrteči valj v sredini nekoliko odmakne od brusa.

Če dolgi vitki valj miruje več kot 10 min, se enostransko ukrivi in pri meritvi ekscentričnosti lahko ugotovimo napako do 0,1 mm. Takšen valj je treba nato vrteti tako dolgo, da se izravna in napaka izgine.

Ustavljanje med brušenjem zaradi merjenja mora biti čim krajše. Pri zelo velikih zahtevah po centričnosti je treba po končanem brušenju najprej izmeriti centričnost, preden se ustavi vrtenje valja.

Na CNC-stroju se brušenje in opisane meritve opravijo s prehodnim programiranjem in kalibriranjem merilne naprave na lastni napravi stroja.

Dokončno obdelane površine morajo biti enakomernega videza, brez zarez in poškodb, ter morajo dosegati zahtevano hrapavost po načrtu.



Slika 18: Načrt valja

Vir: (Valji d.o.o., 2016)

Pozornost je treba posvetiti zahtevam o kakovosti brušene površine (R_a), ki jo kontroliramo z napravo za merjenje hrapavosti. Glede na zahtevano kakovost obdelave površin valja izberemo brusno ploščo.



Slika 19: Naprava za merjenje hrapavosti površine

Vir: (www.1meritev.si , 2016)

5 ANALIZA BRUSNIH PLOŠČ PRI BRUŠENJU INDUSTRIJSKIH VALJEV NA BRUSILNEM STROJU HERCULES

5.1 Material obdelovanca

Material valjev z oznako kakovosti CCr-N-77 ima poudarek na kromovih karbidih, saj poleg 2,5–3 % ogljika vsebuje še 16–18 % kroma. Tvorijo se trdi karbidi (Cr_7C_3), zaradi katerih je material težje obdelovalen z brušenjem.

Material oznake CGHSS-NF-7 ima dodane legirane elemente, kot so niobij, vanadij in volfram. Ti legirani elementi tvorijo trde MC-karbide ($\text{M} = \text{Nb}, \text{V}, \text{W}$), ki enako vplivajo na veliko trdoto in težjo obdelovalnost valjev. V tabeli 3 je podana kemična sestava, v tabeli 4 pa so prikazane mehanske lastnosti obeh materialov obdelovancev oziroma valjev.

Tabela 3: Kemična sestava materiala obdelovancev (v mas %)

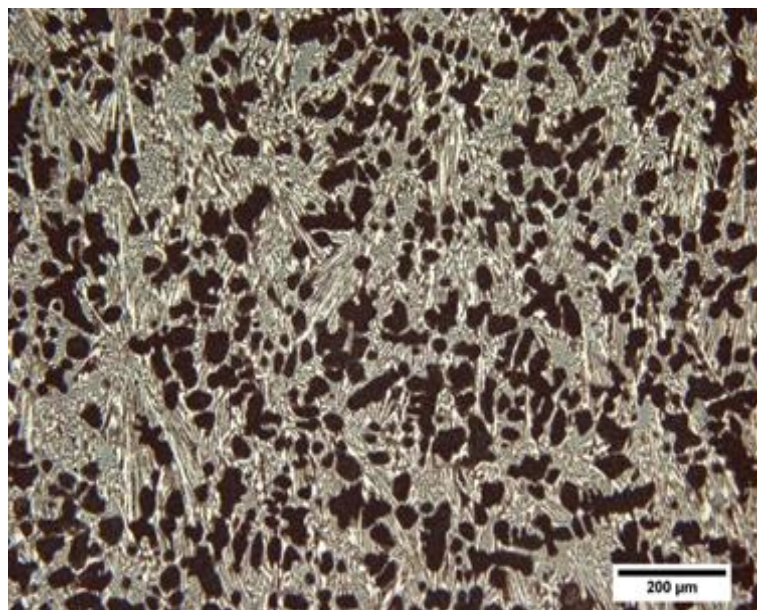
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	V	W	Fe
CGHSS-NF-7	2,4–3,2	2,5–3,5	0,6–1,0	<0,04	<0,03	1,5–3,0	3,0–7,0	3,0–6,0	2,5–5,0	0,4–1,5	Ost.
CCr-N-77	2,5–3,0	0,5–1,0	0,5–1,0	<0,04	<0,03	16,0–18,0	1,0–1,5	1,0–1,5	0,2–0,5		Ost.

Vir: (Valji d.o.o., 2016)

Tabela 4: Mehanske lastnosti materiala obdelovancev

Oznaka materiala	Trdota materiala [Shc]	Natezna trdnost [N/mm^2]	Upogibna trdnost [N/mm^2]
CGHSS-NF-7	68–70	500–700	600–900
CCr-N-77	73–75	600–800	1000–1200

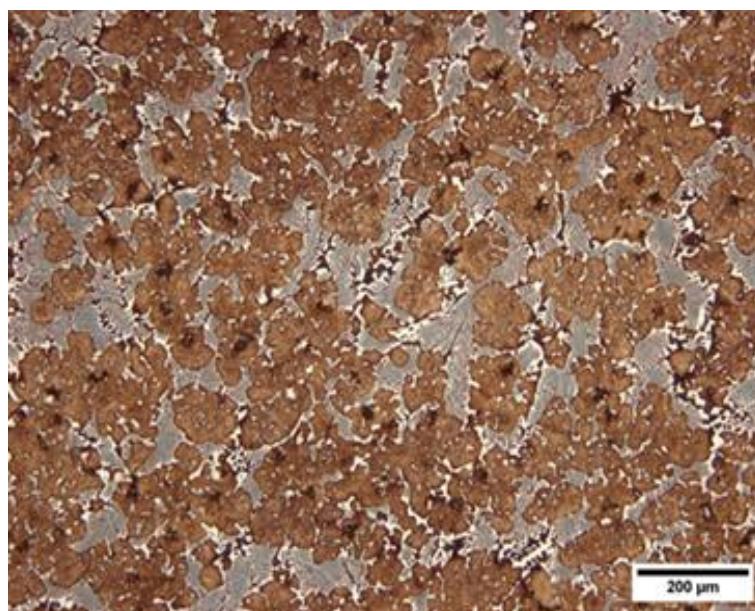
Vir: (Valji d.o.o., 2016)



Slika 20: Mikrostruktura materiala CCr-N-77

Vir: (Valji d.o.o., 2016)

Na sliki 20 je prikazana mikrostruktura materiala CCr-N-77. Material z oznako CCr-N-77 spada med bele železove litine z visoko vsebnostjo kroma. Bele podrobnosti na sliki predstavljajo že omenjene karbide Cr_7C_3 , temne podrobnosti pa železovo matrico.



Slika 21: Mikrostruktura materiala CGHSS-NF-7

Vir: (Valji d.o.o., 2016)

Na sliki 21 je prikazana mikrostruktura materiala CGHSS-NF-7, ki je sestavljena iz belih molibdenovih karbidov M_6C skupaj z manjšimi, okroglimi in tršimi MC-karbidi znotraj železove matrice. Črne podrobnosti na sliki predstavljajo grafit, ki lahko nekoliko olajša obdelovalnost.

5.2 Karakteristike uporabljenih brusnih plošč

Za analizo brusnih plošč sem uporabil plošče treh proizvajalcev: Swaty, Tyrolit in Theleico.

Glede na opredelitve brusnih plošč sem uporabljal oznake na brusnih ploščah s strani dobavitelja.

Brusna plošča Tyrolit je sestavljena iz mešanice abrazivnih zrn aluminijevega oksida in silicijevega karbida z velikostjo zrna 46. Trdota brusa je mehka (H) in struktura je zaprta. Kot vezivo je uporabljeno smolno vezivo.



Slika 22: Brusna plošča Tyrolit

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Brusna plošča Theleico ima abrazivna zrna iz zelenega silicijevega karbida z dodatkom cirkonija in z velikostjo zrn 60. Trdota brusa spada pod mehko trdotno stopnjo z oznako K, kar pomeni, da je malo trdnejša od zgoraj opisane Tyrolitove brusne plošče. Struktura brusne plošče z oznako 11 bolj teži k odprti oz. porozni strukturi. Vezivo je smolno.



Slika 23: Brusna plošča Theleico

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Brusna plošča Swaty vsebuje 30 % cubitrona, ostalo je beli korund. Pri podjetju Swaty je to razvojna testna brusna plošča. Vezivo je smolno. Trdotna stopnja brusne plošče je O, kar pomeni, da ima brusna plošča srednjo trdotno stopnjo. Dodani cubitron je novost pri brusnih zrnih in se pridobiva s kristalizacijo prenasičene raztopine. Obstaja cubitron 1 in cubitron 2. Cubitron 1 je primeren za brusne plošče, cubitron 2 pa se uporablja pri izdelavi brusnega papirja.



Slika 24: Brusna plošča Swaty

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Tabela 5: Karakteristike uporabljenih brusnih plošč

Proizvajalec brusne plošče in oznaka	Tip abraziva	Velikost zrna/kombinacija	Trdotna stopnja	Struktura /poroznost	Vezivo
Tyrolit 41AC46/7H6B01	41AC	46/7	H	6	B
Theleico 85C60/2K11B1191	85C	60/1	K	11	B
Swaty (testna plošča) TA46BA2	38GA	36/9	O	9	B

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

5.3 Določitev parametrov brušenja pri analizi brusnih plošč

Za analizo brusnih plošč bom na začetku uporabil enake parametre za vse tri plošče.

Hitrost obdelovanja: 40 m/s

Hitrost brusne plošče: 40 m/s

Kontinuiran primik smeri X: 0,01–0,03 mm/min (odvisno od obremenitve motorja, ki pa bo maks. 45 %)

Začetni prislon brusne plošče na obdelovanec bo 10–15 %, odvisno od obremenitve motorja.

Podajanje v smeri Z: 2500 mm/min

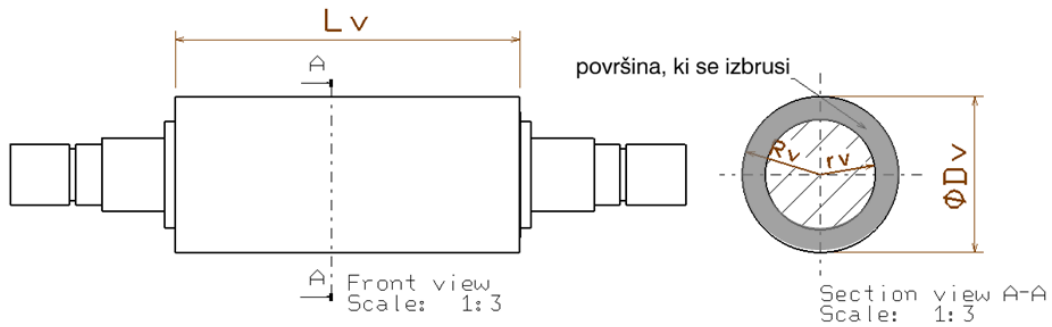
Čas brušenja bom omejil na 30 prehodov brusne plošče in hitrost prehoda bo 2500 mm/min za posamezno brusno ploščo. Začetni prislon brusne plošče na obdelovanec bo 10–15 % obremenitve motorja pogona brusne plošče. Glede na obnašanje brusnih plošč pri brušenju (pojav morebitnih vibracij, ki nastanejo tudi zaradi obrabe brusne plošče) bo treba izvesti korektivne ukrepe, kot so:

- zmanjšanje števila obratov obdelovanja,
- zmanjšanje hitrosti brusnih plošč,
- zmanjšanje primika brusne plošče na obdelovanec.

Pri brušenju bom pozoren na obremenitev motorja glede na kontinuirano dodajanje. V primeru, da bo obremenitev presegla mejo 45 % obremenitve motorja bom, kontinuirano dodajanje izključil. Ob velikih obremenitvah motorja se povečujejo tudi sile pri odrezovanju, s tem pa se zmanjšuje obstojnost brusa. Posledice tega so, da pride do tresljajev oziroma vibracij, ki pa imajo tudi negativen vpliv na pogonsko vreteno brusne plošče. Na obdelovancu se ti tresljaji prenesejo v obliki udrtin na valju, ki jih odstranimo samo z večkratnim prehajanjem brusne plošče na diamant, s tem pa izgubljamo čas in dosegamo večjo obrabo brusa. Smiselno je uporabljati bruse, ki imajo dobre odrezovalne sposobnosti pri manjših obremenitvah pogonskega motorja, saj s tem tudi zmanjšamo strošek porabe energije.

5.4 Pogoji brušenja in izračun brusnega faktorja G

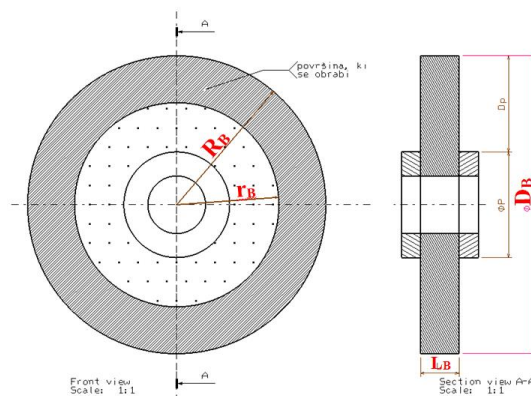
Na sliki 25 je predstavljena geometrijska oblika valja, na osnovi katere lahko izračunamo premer in volumen izbrušene površine valja.



Slika 25: Izračun volumna izbrušene površine valja

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Na sliki 26 je predstavljena geometrijska oblika brusne plošče, na osnovi katere lahko izračunamo premer brusne plošče in volumen obrabljene brusne plošče.



Slika 26: Izračun volumna obrabljenih brusnih plošč

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Premier brusne plošče sem dobil tako, da sem z globinskim merilom izmeril dolžino do prirobnice (D_p) (slika 26) in sem nato po enačbi (4.1) izračunal premer in polmer brusne plošče. Volumen obrabljene brusne plošče sem izračunal po enačbi (4.2).

$$D = 2D_p + P \quad (4.1)$$

Pri tem so:

- D – premer brusne plošče,
- D_p – izmerjena dolžina do prirobnice [mm],
- P – premer prirobnice [408 mm].

$$V_P = (R_B^2 - r_B^2)\pi \cdot L_B \quad (4.2)$$

Pri tem so:

- V_B – volumen obrabljene površine plošče [cm³],
- R_B – polmer brusne plošče pred začetkom brušenja [cm],
- r_B – polmer brusne plošče po koncu brušenja [cm],
- L_B – širina brusne plošče [cm].

Volumen izbrušene površine valja sem dobil po naslednji enačbi:

$$V_V = (R_V^2 - r_V^2) \cdot \pi \cdot L_V \quad (4.3)$$

Pri tem so:

- V_V – volumen izbrušene površine valja [cm³],
- R_V – izmerjen polmer valja pred brušenjem [cm],
- r_V – izmerjen polmer valja po brušenju [cm],
- L_V – dolžina brušene površine valja [cm].

Izračun faktorja G pri brušenju sem dobil iz naslednje enačbe:

$$G = \frac{V_V}{V_P} \quad (4.4)$$

Pri tem so:

G – brusni faktor oziroma faktor produktivnosti pri brušenju,

V_V – volumen odbrušene površine valja [cm^3],

V_B – volumen obrabljene površine plošče [cm^3].

Izračun učinka brusne plošče sem dobil iz naslednje enačbe:

$$U_B = \frac{V_V}{t} \quad (4.5)$$

Pri tem so:

U_B – učinek brusne plošče v časovni enoti [cm^3/ura],

V_V – volumen izbrušene površine valja [cm^3],

t – čas brušenja površine valja [ura].

Vir: (Čuš, 2009)

5.5 Testiranje brusnih plošč

Tabela 6: Monitoring brušenja materiala CCr-N-77

Št. prehodov	Tyrolit		Swaty		Theleico	
	Dodajanje ob prehodu [mm]/ kontinuirano dodajanje [mm/min]	Obrem. mot. [%]	Dodajanje ob prehodu [mm]/ kontinuirano dodajanje [mm/min]	Obrem. mot. [%]	Dodajanje ob prehodu [mm]/ kontinuirano dodajanje [mm/min]	Obrem. mot. [%]
1	0,018 ^(0,02)	12	0,009 ^(0,01)	12	0,008 ^(0,01)	12
2	0,029 ^(0,03)	12	0,018	15	0,018	16
3	0,050	27	0,027	17	0,025	20
4	0,078	29	0,037	21	0,033	22
5	0,104	43	0,045	22	0,042	26
6	0,123 ^(0,02)	42	0,054	25	0,052	27
7	0,134	46	0,062	25	0,056	30
8	0,134 ^(0,00)	35	0,072	29	0,069	31
9	0,141 ^(0,01)	35	0,080	30	0,078	35
10	0,149	40	0,089	34	0,087	35
11	0,159	37	0,098	35	0,099	40
12	0,167	42	0,107 ^(0,00)	40	0,104	38
13	0,177	40	0,109	35	0,113	43
14	0,185	45	0,115 ^(0,01)	39	0,113 ^(0,00)	40
15	0,194	42	0,124	39	0,117 ^(0,01)	40
16	0,204	45	0,132	42	0,124	38
17	0,212	42	0,134 ^(0,00)	38	0,133	41
18	0,221	43	0,134	37	0,141	40
19	0,230	40	0,142 ^(0,01)	36	0,150	40
20	0,239	40	0,150	40	0,159	36
21	0,248	38	0,156 ^(0,005)	40	0,162	35
22	0,256	40	0,161	40	0,177	32
23	0,263	37	0,166	37	0,186	31
24	0,275	40	0,170	39	0,199 ^(0,015)	30
25	0,285	37	0,175	36	0,212	29
26	0,292	39	0,179 ^(tresljaji)	38	0,225	27
27	0,301	36	0,185 ^{v.35 b.30}	32	0,242	28
28	0,311	38	0,192	32	0,263	28
29	0,320	36	0,196	33	0,271	27
30	0,328	38	0,201	35	0,297	27

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Tabela 7: Podatki o brušenju materiala CCr-N-77

Material obdelovanca: CCr-N-77										
Brusna plošča	D_V Premer valja na začetku brušenja [mm]	d_V Premer valja na koncu brušenja [mm]	L_V Dolžina valja [mm]	D_B Premer brusne plošče na začetku brušenja [mm]	d_B Premer brusne plošče na koncu brušenja [mm]	L_B Širina brusne plošče [mm]	Število prehodov brusne plošče	Čas brušenja [ur]	Skupno podajanje v smeri X [mm]	Povprečna obrem. motorja [%]
Tyrolit	772,25	772,11	2286	940,80	940,50	100	30	0,43	0,328	37,20
Swaty	772,11	772,03	2286	861,40	861,20	100	30	0,43	0,201	32,43
Theleico	772,03	771,93	2286	977,80	977,20	100	30	0,43	0,297	31,46

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Iz podatkov v tabeli 7 sem dobil naslednje rezultate o brušenju materiala CCr-N-77 za posamezno brusno ploščo, kot so: odbrušen premer obdelovanca v času brušenja, obraba brusne plošče glede na premer in predviden odbrušen premer obdelovanca v času ene ure. Podatki so prikazani v tabeli 8.

Tabela 8: Podatki o rezultatih brušenja materiala CCr-N-77

Material obdelovanca: CCr-N-77			
Brusna plošča	Odbrušen premer valja [mm]	Obraba brusne plošče glede na premer [mm]	Predviden odbrušen premer v času ene ure [mm]
Tyrolit	0,14	0,30	0,32
Swaty	0,08	0,20	0,18
Theleico	0,10	0,60	0,23

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Kot je razvidno iz tabel 7 in 8, je bilo z brusno ploščo **Tyrolit** doseženo skupno dodajanje k obdelovancu 0,328 mm na steno obdelovanca. Glede na premer obdelovanca je bilo odbrušeno 0,14 mm materiala, kar pomeni, da bi bilo v času ene ure odbrušeno 0,32 mm premera obdelovanca. Povprečna obremenitev motorja od samega začetka brušenja je bila 37,20 %. Med brušenjem sem kontinuirano dodajanje spreminjal glede na obremenitev motorja. Po sedmem prehodu je obremenitev motorja dosegla 46 % in sem kontinuirano dodajanje ustavil. S tem je obremenitev upadla, kar pomeni, da so se sile pri odrezovanju zmanjšale. Po devetem prehodu sem brušenje nadaljeval s kontinuiranim dodajanjem 0,01 mm/min in se je brušenje nadaljevalo v povprečju s 40 % obremenitve motorja. Pri brušenju do konca preizkusa ni bilo zaznanih nobenih vibracij, ki jih povzroča trenje, ki nastaja predvsem zaradi otopitve brusnega zrna in zamašenih por na brusu.

Z brusno ploščo **Swaty** je bilo doseženo skupno dodajanje k obdelovancu 0,201 mm na steno obdelovanca. Glede na premer obdelovanca je bilo v času preizkusa odbrušeno 0,08 mm in bi bilo v času ene ure odbrušeno 0,18 mm premera obdelovanca, kar je za 0,14 mm manj kot z brusno ploščo Tyrolit. Seveda pa ta navedba drži, če ne bi bilo treba pred tem zaradi prevelike obrabe brusne plošče poravnati na diamantu. Brusna plošča Swaty se je pri brušenju obnašala drugače kot Tyrolit. Ob povečanem kontinuiranem dodajanju so sile pri brušenju

precej hitreje naraščale. Vzroki za ta pojav so lahko v tem, da je trdota brusne plošče Swaty večja kot pri brusni plošči Tyrolit. Brusna zrnca hitreje otopijo in ne izpadajo pravočasno. Pri 26. prehodu (tabela 6) so se začeli pojavljati tresljaji, ki so pokazatelj obrabe brusne plošče. Z regulacijo hitrosti obdelovanja in hitrosti brusne plošče so se tresljaji zmanjšali. Če bi z brušenjem nadaljevali, bi kmalu morali brus poravnati na diamantu. Treba bi bilo še proučiti parametre za brušenje s to brusno ploščo. Menim, da bi z manjšimi parametri, kot so obodna hitrost brusne plošče, hitrost obdelovanja in pomik, dosegli boljše rezultate glede na samo odrezovanje.

Z brusno ploščo **Theleico** je bilo doseženo skupno dodajanje k obdelovancu 0,297 mm. V primerjavi z brusno ploščo Swaty je bilo v času preizkusa odbrušeno z brusno ploščo Theleico za 0,02 mm več materiala glede na premer obdelovanja. Obraba brusne plošče Theleico v času brušenja pa je glede na premer bila 0,60 mm, kar je dvakrat več kot pri brusni plošči Tyrolit in trikrat več kot pri brusni plošči Swaty. Že na podlagi podatka o obrabljenem premeru brusne plošče Theleico lahko sklepam, da ta brusna plošča ni primerna za brušenje materiala CCr-N-77.

Iz podatkov v tabeli 7 sem izračunal volumen odbrušenega materiala valja in volumen obrabljene površine brusnih plošč v cm³. Rezultati, ki sem jih dobil, so v tabelah 9 in 10.

Tabela 9: Volumen odbrušene površine valja pri brušenju materiala CCr-N-77

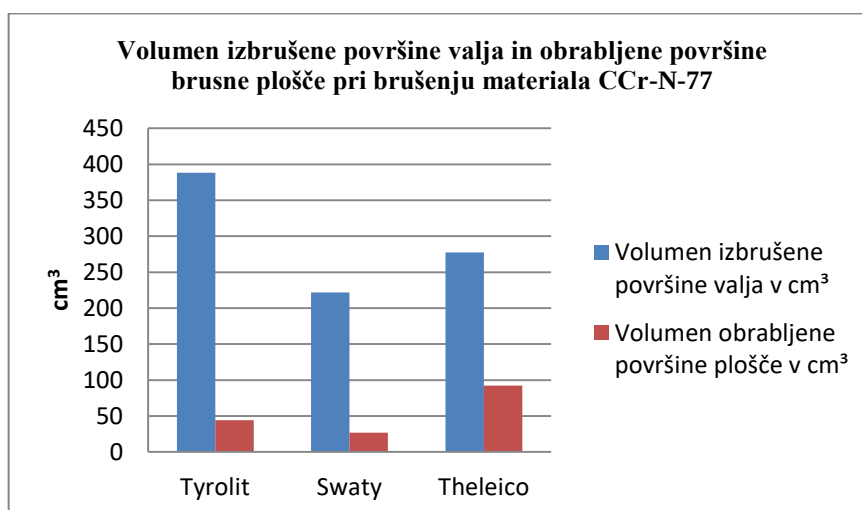
Izračun volumna izbrušene površine valja (V_V) pri brušenju materiala CCr-N-77			
Brusna plošča	$R_V = \frac{D_V}{2} / 10$ [cm]	$r_V = \frac{D_V}{2} / 10$ [cm]	$V_V = (R_V^2 - r_V^2) \cdot \pi \cdot \frac{L_V}{10}$ [cm ³]
Tyrolit	38,6125	38,6055	388,188
Swaty	38,6055	38,6015	221,790
Theleico	38,6015	38,5965	277,205

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Tabela 10: Volumen obrabljene površine brusne plošče pri materialu CCr-N-7

Izračun volumna obrabljene površine brusne plošče (V_B) pri brušenju materiala CCr-N-77			
Brusna plošča	$R_B = \frac{D_B}{2} / 10$ [cm]	$r_B = \frac{D_B}{2} / 10$ [cm]	$V_B = (R_B^2 - r_B^2) \cdot \pi \cdot \frac{L_B}{10}$ [cm ³]
Tyrolit	47,040	47,025	44,327
Swaty	43,070	43,060	27,058
Theleico	48,890	48,860	92,127

Vir: (Lastna raziskava, 2016)



Grafikon 1: Volumen izbrušene površine valja in obrabljene površine plošče pri materialu CCr-N-7

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Grafikon 1 prikazuje volumen izbrušene površine valja in obrabljene površine brusne plošče v cm³ pri brušenju materiala CCr-N-77. Iz grafikona je razvidno, da so bilo pri volumnu izbrušene površine valja doseženi najboljši rezultati z brusno ploščo Tyrolit, druga najboljša

vrednost pa je bila dosežena z brusno ploščo Theleico. Z brusno ploščo Swaty je bila pri volumnu izbrušene površine valja dosežena najmanjša vrednost, je pa bila tudi obraba brusne plošče najmanjša. Na podlagi podatkov o volumnu izbrušene površine valja in volumnu obrabe brusne plošče lahko sklepam, da bi za brušenje materiala CCr-N-77 bili primerni obe brusni plošči (Tyrolit in Swaty), brusna plošča Theleico pa zaradi prevelikega volumna obrabljene površine ne bi bila primerna za brušenje tega materiala, predvsem z ekonomskega vidika.

Tabela 11: Monitoring brušenja materiala CGHSS-NF-7

Št. prehodov	Tyrolit		Swaty		Theleico	
	Dodajanje ob prehodu [mm]/ kontinuirano dodajanje [mm/min]	Obrem. mot. [%]	Dodajanje ob prehodu [mm]/ kontinuirano dodajanje [mm/min]	Obrem. mot. [%]	Dodajanje ob prehodu [mm]/ kontinuirano dodajanje [mm/min]	Obrem. mot. [%]
1	0,008 ^(0,01)	15	0,010 ^(0,01)	15	0,010 ^(0,01)	10
2	0,019	20	0,019	15	0,019	15
3	0,027	22	0,028	15	0,028	10
4	0,036 ^(0,02)	24	0,036	15	0,036	15
5	0,053	28	0,055 ^(0,02)	20	0,045	15
6	0,070	30	0,072	20	0,056	19
7	0,088	35	0,091	25	0,063	15
8	0,100	45	0,107	25	0,072	18
9	0,124	45	0,124	30	0,081	16
10	0,141	43	0,143	30	0,094 ^(0,02)	21
11	0,159	43	0,157	34	0,112	20
12	0,177	40	0,178	30	0,130	26
13	0,195	40	0,182	30	0,149 ^(0,03)	21
14	0,212	37	0,195 ^(0,03)	35	0,176	26
15	0,229	37	0,222	35	0,208 ^(0,05)	23
16	0,247	36	0,250	10	0,256	26
17	0,276 ^(0,03)	40	0,277	5	0,299	20
18	0,297	38	0,301	10	0,363 ^(0,08)	25
19	0,325	40	0,328	10	0,444 ^(0,10)	23
20	0,351	35	0,363 ^(0,04)	15	0,562 ^(0,15)	30
21	0,378 ^(0,04)	35	0,407 ^(0,05)	17	0,694 ^(0,20)	23
22	0,400	35	0,456 ^(0,06)	25	0,867	27
23	0,447	40	0,509	15	1,060	26
24	0,481	30	0,567	14	1,227	27
25	0,524 ^(0,05)	40	0,627 ^(0,07)	20	1,415	30
26	0,573	38	0,700	30	1,580	30
27	0,612	35	0,775 ^(0,100)	24	1,750	28
28	0,656	35	0,861	15	1,927	27
29	0,703	35	0,996 ^(0,200)	30	2,105	28
30	0,747	35	1,146	15	2,301	27

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Tabela 12: Podatki o brušenju materiala CGHSS-NF-7

Material obdelovanca: CGHSS-NF-7										
Brusna plošča	D_V Premer valja na začetku brušenja [mm]	d_V Premer valja na koncu brušenja [mm]	L_V Dolžina valja [mm]	D_B Premer brusne plošče na začetku brušenja [mm]	d_B Premer brusne plošče na koncu brušenja [mm]	L_B Širina brusne plošče [mm]	Število prehodov brusne plošče	Čas brušenja [ur]	Skupno podajanje v smeri osi X [mm]	Povprečna obrem. motorja [%]
Tyrolit	738,95	738,70	2070	905,60	904,60	100	30	0,40	0,747	35,03
Swaty	738,12	737,97	2070	860,60	858,60	100	30	0,40	1,146	20,96
Theleico	737,97	737,77	2070	976,20	971,80	100	30	0,40	2,301	22,23

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Tabela 13: Podatki o rezultatih brušenja materiala CGHSS-NF-7

Material obdelovanca: CGHSS-NF-7			
Brusna plošča	Odbrušen premer valja [mm]	Obraba brusne plošče glede na premer [mm]	Predviden odbrušen premer v času ene ure [mm]
Tyrolit	0,25	1,00	0,62
Swaty	0,15	2,00	0,37
Theleico	0,20	4,40	0,50

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Z brusno ploščo **Tyrolit** je bilo doseženo skupno dodajanje k obdelovancu 0,747 mm na steno obdelovanca. Glede na premer obdelovanca je bilo odbrušeno 0,25 mm materiala, kar pomeni, da bi bilo v času ene ure izbrušeno 0,62 mm premera obdelovanca. Največja dosežena obremenitev motorja pri brušenju je bila 45 %, nakar je začela upadati. Ne glede na to, da se je kontinuirano dodajanje povečevalo, ni bila dosežena večja obremenitev motorja od 40 %. Razlaga za takšen pojav je lahko, da brusna zrnca izpadajo, preden se otopijo, in s tem prispevajo k večji obrabi brusa. Pri brušenju do konca preizkusa ni bilo zaznanih nobenih vibracij, ki jih povzroča trenje, ki nastaja predvsem zaradi otopitve brusnega zrna in zamašenih por na brusu.

Z brusno ploščo **Swaty** je bilo doseženo skupno dodajanje k obdelovancu 1,146 mm na steno obdelovanca. Glede na premer obdelovanca je bilo v času preizkusa odbrušeno 0,15 mm

materiala in bi bilo v času ene ure odbrušeno 0,37 mm materiala, kar pa je za 0,25 mm manj izbrušenega materiala glede na premer obdelovanca kot s ploščo Tyrolit. Vrednost dodajanja brusa k obdelovancu v času preizkusa je bila večja kot pri brusni plošči Tyrolit in je znašala 1,146 mm, povprečna obremenitev motorja pa je bila 21 %. Večje sile pri brušenju niso bile dosežene predvsem zaradi hitrejšje obrabe brusa. Zanimiv je pojav pri 15. prehodu brusne plošče, ko so se začeli pojavljati zelo velike vibracije in tresljaji ter je obremenitev motorja naglo padla na 5 %. Čeprav sem s povečevanjem kontinuiranega dodajanja hotel povečati sile, ki so potrebne pri odrezovanju, mi to v določeni meri ni uspelo. Zaradi tresljajev in vibracij, ki so se pojavile na sredini preizkusa, lahko predvidevam, da so se brusna zrna pri brušenju tega materiala zelo hitro otopila in niso izpadla, hkrati pa je prišlo do deformacije brusne plošče. Zaradi podatkov je brušenje do konca preizkusa potekalo ob povečanem kontinuiranem dodajanju. V nasprotnem primeru bi bilo treba brus že poravnati in naostriti na diamantu. To nakazuje zelo slabo obstojnost brusne plošče pri brušenju tega materiala.

Z brusno ploščo **Theleico** je bilo doseženo skupno dodajanje k obdelovancu 2,301 mm na steno obdelovanca. Največja dosežena obremenitev motorja pri brušenju je bila 30 %, ki pa je bila dosežena pri maksimalnem kontinuiranem dodajanju 0,20 mm/min. Povprečna obremenitev je znašala 22 %. Obraba brusne plošče je bila zelo velika glede na odrezovalnost. Glede na premer obdelovanca smo v času preizkusa odbrusili za 0,2 mm materiala, kar je za 0,05 mm več kot pri brušenju z brusno ploščo Swaty in za 0,05 mm manj kot pri brušenju z brusno ploščo Tyrolit. Obraba brusne plošče je bila glede premera plošče 4,4 mm in je bila bistveno večja kot pri brušenju z brusnima ploščama Swaty in Tyrolit.

Tabela 14: Volumen izbrušene površine valja pri brušenju materiala CGHSS-NF-77

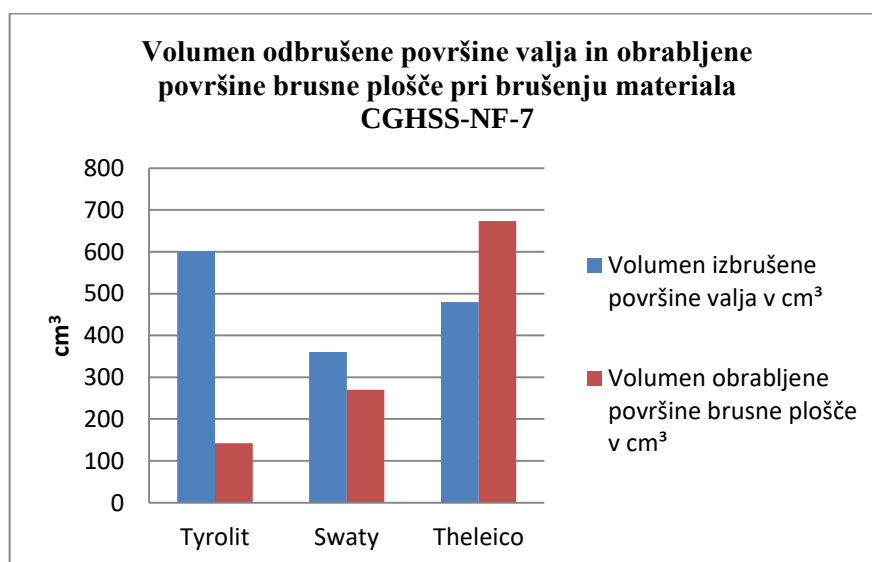
Izračun volumna odbrušene površine valja (V_V) pri brušenju materiala CGHSS-NF-7			
Brusna plošča	$R_V = \frac{D_V}{2} / 10$ [cm]	$r_V = \frac{D_V}{2} / 10$ [cm]	$V_V = (R_V^2 - r_V^2) \cdot \pi \cdot \frac{L_V}{10}$ [cm ³]
Tyrolit	36,9475	36,935	600,581
Swaty	36,906	36,8985	359,968
Theleico	36,8985	36,8885	479,844

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Tabela 15: Volumen obrabljene površine brusne plošče pri materialu CGHSS-NF-7

Izračun volumna obrabljene površine brusne plošče (V_B) pri brušenju materiala CGHSS-NF-7 [cm^3]			
Brusna plošča	$R_B = \frac{D_B}{2} / 10$ [cm]	$r_B = \frac{D_B}{2} / 10$ [cm]	$V_B = (R_B^2 - r_B^2) \cdot \pi \cdot \frac{L_B}{10}$ [cm^3]
Tyrolit	45,280	45,230	142,172
Swaty	43,030	42,930	270,051
Theleico	48,810	48,590	673,180

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

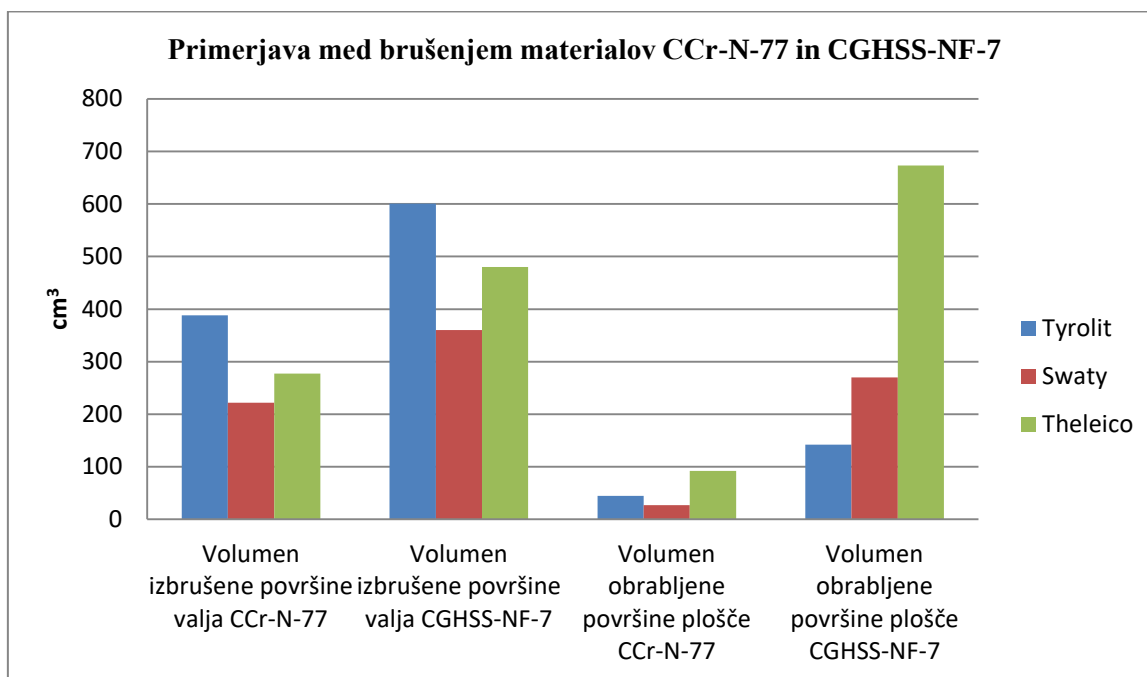


Grafikon 2: Volumen odbrušene površine valja in obrabljene površine plošče pri materialu CGHSS-NF-7

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Grafikon 2 prikazuje volumen izbrušene površine valja in obrabljene površine brusne plošče v cm^3 pri brušenju materiala CGHSS-NF-7. Iz grafikona je razvidno, da so bili pri volumnu izbrušene površine valja doseženi najboljši rezultati z brusno ploščo Tyrolit, druga najboljša vrednost pa je bila dosežena z brusno ploščo Theleico. Brusna plošča Theleico je imela tudi največjo vrednost glede na volumen obrabljene površine brusne plošče, ki je celo presegla vrednost izbrušene površine valja s to ploščo. Z brusno ploščo Swaty je bila pri volumnu

izbrušene površine valja dosežena najmanjša vrednost, obraba brusne plošče pa je bila tudi prevelika glede na volumen izbrušene površine valja s to ploščo. Na podlagi podatkov o volumnu izbrušene površine valja in volumnu obrabe brusne plošče lahko sklepam, da bi bila za brušenje materiala CGHSS-NF-7 primerna brusna plošča Tyrolit, medtem ko brusni plošči Theleico in Swaty zaradi prevelikega volumna obrabljene površine ne bi bili primerni za brušenje tega materiala, predvsem z ekonomskega vidika.



Grafikon 3: Primerjava med brušenjem materialov CCr-N-77 in CGHSS-NF-7

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Grafikon 3 prikazuje primerjavo pri volumnu izbrušenega materiala valja in volumna obrabljene površine brusne plošče pri brušenju materialov CCr-N-77 in CGHSS-NF-7. Iz grafa je razvidno, da so bili z vsemi tremi testiranimi brusnimi ploščami (Tyrolit, Swaty in Theleico) doseženi boljši rezultati pri brušenju materiala CGHSS-NF-77 glede na volumen izbrušene površine valja. Pri brušenju obeh materialov se največje razlike kažejo pri obrabi brusnih plošč. Iz podatkov v grafikonu lahko sklepam, da je material CGHSS-NF-7 bolj obdelovalen kot material CCr-N-77. Razlog za to je lahko nižja trdota materiala CGHSS-NF-7 (68–70 Shc (Shore)) v primerjavi z materialom CCr-N-77, pri katerem smo izmerili trdoto 73–75 Shc. Če primerjam kemično sestavo materialov in mikrostrukturo, lahko zaključim, da je v mikrostrukturi materiala CGHSS-NF-7 del ogljika izločen tudi v obliki grafita,

koncentracije ostalih legiranih elementov, kot so nikelj, molibden, vanadij in wolfram, pa so večje kot pri materialu CCr-N-77.

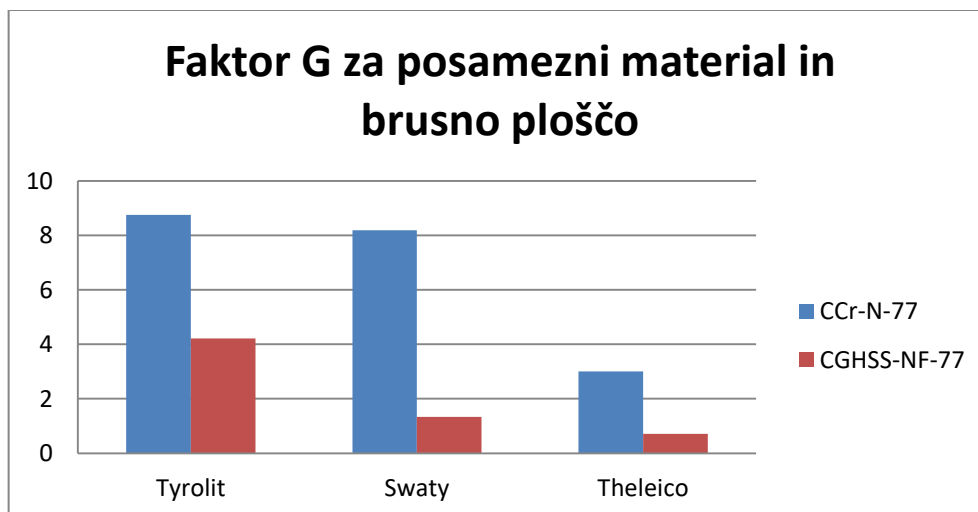
5.5.1 Izračun faktorja G pri brušenju materialov CCr-N-77 in CGHSS-NF-7

Na podlagi dobljenih rezultatov o volumnu izbrušene površine valja (tabela 9 za material CCr-N-77 in tabela 13 za material CGHSS-NF-7) in dobljenih rezultatov o volumnu obrabljene površine brusnih plošč (tabela 10 za material CCr-N-77 in tabela 14 za material CGHSS-NF-7) sem izračunal faktor G za posamezno brusno ploščo.

Tabela 16: Izračun faktorja G

Izračun faktorja G za materiala CCr-N-77 in CGHSS-N-7		
Brusna plošča	Faktor $G = \frac{V_V}{V_B}$	
	CCr-N-77	CGHSS-NF-7
Tyrolit	8,75	4,22
Swaty	8,19	1,33
Theleico	3,00	0,71

Vir: (Lastna raziskava, 2016)



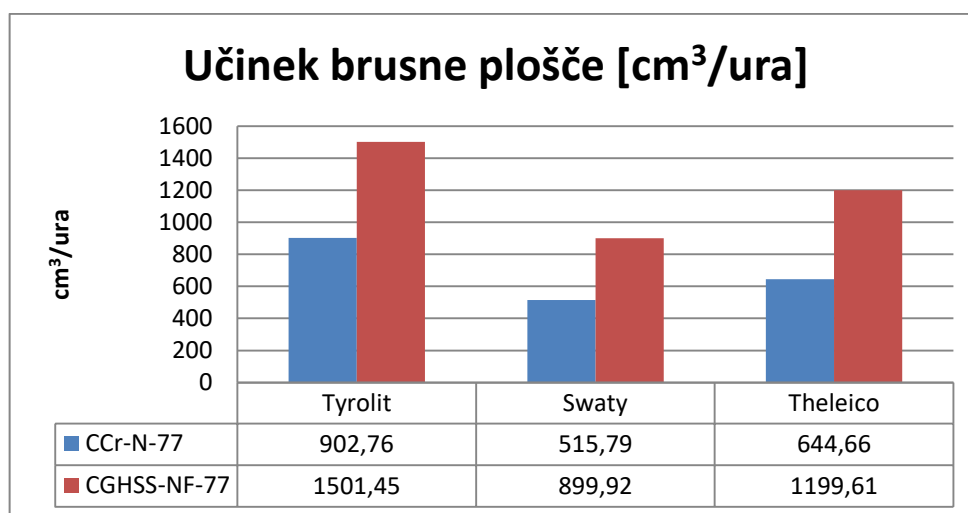
Grafikon 4: Prikaz dobljenega faktorja G za posamezni material in brusno ploščo

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Iz grafikona 4 je razvidna izračunana vrednost faktorja G oziroma tako imenovani faktor produktivnosti za testne brusne plošče Tyrolit, Swaty in Theleico.

Glede na vrednost faktorja G je najboljše rezultate pri brušenju dosegla brusna plošča Tyrolit, in sicer tako pri materialu CCr-N-77 kot pri materialu CGHSS-NF-7.

Tudi brusna plošča Swaty je imela pri materialu CCr-N-77 dober faktor G, in sicer 8,19, ampak je učinek brusne plošče v enoti časa precej slabši (grafikon 5) kot pri brusni plošči Tyrolit. Z brusno ploščo Theleico je bil sicer dosežen boljši učinek pri brušenju obeh materialov od brusne plošče Swaty. Zaradi velike obrabe pa brusna plošča ni primerna za brušenje takšnih materialov. Pri brušenju materiala CCr-N-77 se je brusna plošča glede na volumen obrabljene površine obrabila za 92,127 cm³. S takšno vrednostjo je imela brusna plošča Theleico 2-krat večjo obrabo od brusne plošče Tyrolit in 3,4-krat večjo obrabo od brusne plošče Swaty pri brušenju materiala CCr-N-77. Pri brušenju materiala CGHSS-N-7 se je brusna plošča Theleico glede na volumen obrabljene površine obrabila za 673,18 cm³ in je imela 4,7-krat večjo obrabo od brusne plošče Tyrolit in 2,5-krat večjo obrabo v cm³ v primerjavi z brusno ploščo Swaty.



Grafikon 5: Učinek brusne plošče za posamezni material

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Iz grafikona 5 je razviden podatek o učinku brusnih plošč, ki sem ga dobil iz razmerja med volumnom izbrušene površine valja in časom brušenja površine valja. Glede na učinek je imela najboljše rezultate brusna plošča Tyrolit, najslabše pa brusna plošča Swaty. Brusna plošča Theleico je imela nekoliko slabši učinek, ampak zaradi prevelike obrabe, ki sem jo že omenil, ni primerna za brušenje teh materialov.

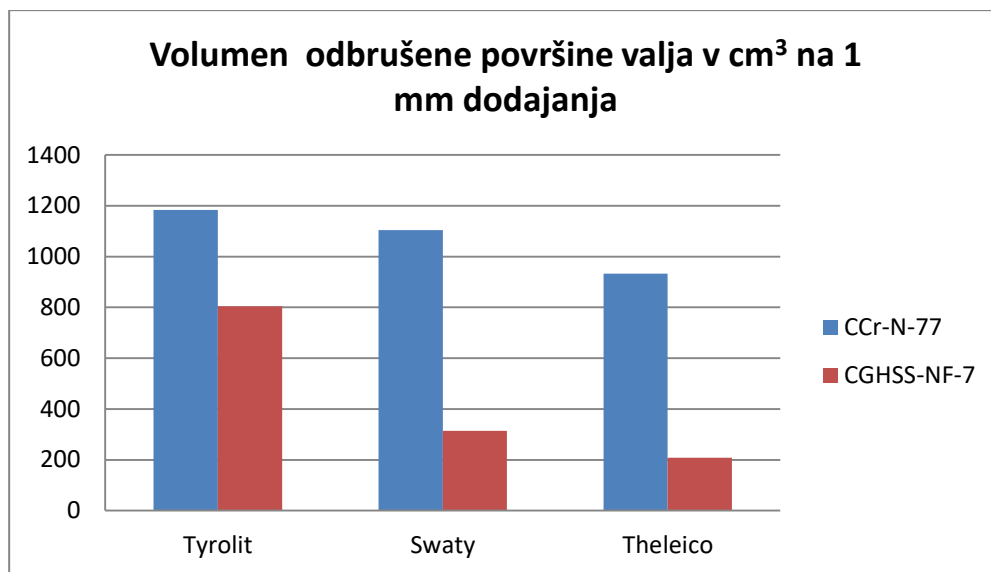
Na podlagi rezultatov je smiselno uporabljati brusno ploščo Tyrolit za brušenje delovne plasti valjev, ki so vlti iz materiala CCr-N-77. Pri materialu CGHSS-NF-7 pa je treba s proizvajalci brusnih plošč na podlagi testiranj narediti brusno ploščo, ki bo dala zadovoljive rezultate, predvsem z ekonomičnega vidika brušenja. Analiza rezultatov je potrdila, da pri podanih pogojih brušenja materiala CGHSS-NF-7 ni doseženo zadovoljivo brusno razmerje oziroma zadovoljiva vrednost faktorja G, ki je pomemben ekonomski pokazatelj produktivnosti brušenja.

Iz podatkov o skupnem dodajanju brusne plošče na obdelovanec [mm] (os X) in izbrušenem volumnu materiala valja [cm³] sem dobil podatek, katera plošča da boljše rezultate glede na 1 mm dodajanj brusne plošče k obdelovancu [cm³/mm] (tabela 16).

Tabela 17: Podatki o odbrušeni površini valja na 1 mm dodajanja

Brusna plošča	Material: CCr-N-77			Material: CGHSS-NF-7		
	Skupno dodajanje [mm]	Volumen izbrušene površine valja [cm ³]	Volumen izbrušene površine na en mm dodajanja [cm ³ /mm]	Skupno dodajanje [mm]	Volumen izbrušene površine valja [cm ³]	Volumen izbrušene površine na en mm dodajanja [cm ³ /mm]
Tyrolit	0,328	388,18	1183,47	0,747	600,58	803,98
Swaty	0,201	221,79	1103,98	1,146	359,96	314,10
Theleico	0,297	277,20	933,33	2,301	479,84	208,53

Vir: (Lastna raziskava, 2016)



Grafikon 6: Odbrušena površina valja na 1 mm dodajanja

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Grafikon 6 podaja vrednosti izbrušene površine valja v cm³ na 1 mm dodajanja pri brušenju materialov CCr-N-77 in CGHSS-NF-7.

Pri obeh materialih obdelovanca je najslabšo odrezovalnost imela brusna plošča Theleico, saj je vrednost izbrušene površine najmanjša glede na brusni plošči Tyrolit in Swaty. Pri materialu CCr-N-77 je brusna plošča Tyrolit odrezala 79,49 cm³ na 1 mm primika (globina rezanja) več materiala kot pa brusna plošča Swaty. Pri materialu CGHSS-NF-77 je bilo to razmerje večje oziroma je brusna plošča Tyrolit odrezala za 489,88 cm³ na 1 mm primika več materiala kot pa brusna plošča Swaty.

6 SKLEP

V diplomskem delu je predstavljen proizvodni proces izdelave valjev za metalurško industrijo s poudarkom na njihovi končni obdelavi oziroma brušenju. Predstavljeni so orodje za brušenje oziroma brusne plošče in delovni pogoji pri postopku brušenja industrijskih valjev. Poznavanje razmer pri brušenju zelo pripomore k optimizaciji procesa brušenja ter tudi k razvoju novih brusnih plošč in optimizaciji postopka njihove izdelave. Predstavljen je postopek testiranja in analiziranja brusnih plošč pri brušenju težje obdelovalnih materialov z oznakama CCr-N-77 in CGHSS-NF-7. S spremljanjem postopka obdelave sem analiziral brusne plošče treh različnih proizvajalcev (Tyrolit, Swaty in Theleico) pri enakih pogojih brušenja. Pri analiziranju je bila v ospredju predvsem osredotočenost na vrednosti brusnega faktorja G, pri katerem je zaželeno, da je vrednost čim večja.

Glede na analizo rezultatov testiranja brusnih plošč treh različnih proizvajalcev pri brušenju delovne površine valja, ki je iz materiala oznake CCr-N-77, lahko sklepam, da na sposobnost brušenja tega materiala vplivajo kemična sestava, mikrostruktura in posledično predvsem trdota materiala zaradi številnih trdih kromovih karbidov, ki so prisotni v mikrostrukturi. Glede na izračunani faktor G sta primerni dve brusni plošči: Tyrolit in Swaty. Pri obeh je bil faktor G večji od 8, kar je tudi izhodiščni parameter pri brušenju tega materiala. Dobro bi bilo zaradi malo trše strukture brusne plošče Swaty opraviti še nadaljnje testiranje s spremembo oziroma z zmanjšanjem obodne hitrosti brusa in dodajanje omejiti na največ 35 % obremenitve motorja.

Zanimivo je, da se pri brušenju materiala z oznako CGHSS-NF-7 rezultati pri vseh treh brusnih ploščah precej razlikujejo od rezultatov brušenja materiala CCr-N-77. Obrabe brusnih plošč so bile večje, prav tako je večji tudi učinek glede na volumen izbrušene površine valja v časovni enoti, kar je med drugim posledica večjega dodajanja brusa k obdelovancu. Obremenitev motorja pri danih pogojih brušenja materiala CGHSS-NF-7 je bila namreč manjša, kar nakazuje manjše sile, ki so potrebne za odvzem materiala. Pri tem pa je izračunana vrednost faktorja G, ki pri materialu CCr-N-77 dosega pri uporabi brusne plošče Tyrolit in Swaty optimalno vrednost, pri materialu CGHSS-NF-77 popolnoma neustrezna.

Na podlagi izračunanega faktorja G sklepam, da je produktivnost pri brušenju materiala CGHSS -NF-7 z najboljšo brusno ploščo Tyrolit, ki je trenutno na voljo v podjetju, do dvakrat manjša od vrednosti, ki sem jo dobil pri brušenju materiala CCr-N-77, kar pa vpliva tudi na samo ekonomičnost obdelave in s tem povečuje stroške zaradi obrabe orodja.

Iz dobljenih rezultatov testiranj brusnih plošč sem ugotovil, da je sicer smiselno še naprej uporabljati brusno ploščo Tyrolit za brušenje delovnih plasti valjev iz materialov CCr-N-77 in CGHSS-NF-77. Brusna plošča Swaty bi bila uporabna za brušenje materiala CCr-N-77, medtem ko za brušenje materiala CGHSS-NF-7 ni primerna predvsem zaradi prevelike obrabe brusne plošče, kar povečuje stroške glede na obrabo orodja.

Brusna plošča Theleico zaradi prevelike obrabe in nizke vrednosti faktorja G ne bi bila primerna za brušenje pri nobenem izmed materialov, ki sta bila uporabljena za to testiranje.

Ugotavljam, da so pri izbiri vrste brusne plošče poleg njenih osnovnih značilnosti, kot so sestava, struktura in trdota brusne plošče, izredno pomembne tudi kemična sestava, mikrostruktura in trdota obdelovanca.

Glede na rezultate pri brušenju materiala CGHSS-NF-7, ki je še v razvoju, je potrebno sodelovanje s proizvajalcem brusnih plošč pri razvoju novega brusa. Namen bi bil preseči izhodiščne parametre in optimizirati brušenje, predvsem z ekonomskega vidika, in sicer zaradi prevelike obrabe brusnih plošč pri brušenju tega materiala. Analiza je pokazala, da je obraba najboljše brusne plošče (Tyrolit) pri brušenju materiala CGHSS-NF-7 tudi do dvakrat večja kot pa pri brušenju materiala CCr-N-77.

S pomočjo pridobljenih rezultatov sem izdelal tabelo s priporočili za uporabo brusnih plošč (ki sem jih testiral in ugotovil njihovo uporabnost) za grobo brušenje delovnih površin valjev, ki so iz materialov CCr-N-77 in CGHSS-NF-7, na brusilnem stroju Hercules.

Tabela 18: Priporočilo za uporabo brusnih plošč

Priporočilo za uporabo brusne plošče Tyrolit pri brušenju materialov CCr-N-77 in CGHSS-NF-7					
Material	Obodna hitrost obdelovanja m/s	Obodna hitrost brusa m/s	Vzdolžno podajanje os Z [mm/min]	Kontinuirano dodajanje os X [mm/min]	Priporočljiva obremenitev motorja osi brusne plošče [%]
CCr-N-77	40	40	2500	0,02	45
CGHSS-NF-7	45	40	2000	0,03	50
Priporočilo za uporabo brusne plošče Swaty pri brušenju materiala CCr-N-77					
CCr-N-77	40	35	2500	0,01	35

Vir: (Lastna raziskava, 2016)

Na podlagi analize rezultatov testiranja brusnih plošč sem izpeljal ugotovitve, ki mi bodo v prihodnje še kako pomagale pri delu. Poznavanje rezalnih lastnosti brusov pri brušenju je ključnega pomena, če želimo izboljšati kakovost obdelave. Smiselno je uporabljati brusne plošče, ki zagotavljajo nižje stroške brušenja, velik odvzema materiala na časovno enoto in veliko vrednost brusnega faktorja, ki pa mora biti v dotičnem primeru večja od 8. Zaradi vedno večjih zahtev kupcev o vzdržljivejših valjih glede na obrabno odpornost lahko v prihodnje pričakujemo vedno večje izzive glede pravilne izbire orodja in obdelave teh materialov, da bo obdelovalnost ekonomično upravičena. Zaradi časovne omejitve nisem mogel oziroma nisem imel možnosti testiranja materialov glede na vplive odrezovalnih parametrov, kot so obodna hitrost brusa, pomik brusa in obodna hitrost obdelovanja za posamezni brus. To pa ne pomeni, da je raziskava s tem končana.

Prepričan sem, da sem s tem diplomskim delom pridobil koristne informacije za podjetje in tudi za proizvajalca brusnih plošč, s katerim ima podjetje namen vnaprej sodelovati pri razvoju in testiranju novih brusov, ki bodo pripomogli k produktivnosti tega obdelovalnega postopka v obravnavanem podjetju.

7 VIRI, LITERATURA

- Čuš, F. (2009). *Postopki odrezovanja*. Maribor: Fakulteta za strojništvo Maribor.
- dr. Jože Balič, & doc. dr. Ivo Pahole. (2006). *Proizvodne tehnologije*. Maribor: Fakulteta za strojništvo, Maribor.
- Franc Jakopič, & Slavko Plazar. (1999). *Tehnologija odrezovanja kovin*. Ljubljana: Zavod Republike Slovenije za šolstvo.
- Google.si. (15. September 2016). Prevezeto 15. September 2016 iz <http://url.sio.si/rx8>
- Grinding. (17. September 2016). Prevezeto 17. September 2016 iz spletno mesto organizacije SME: <https://www.sme.org/WorkArea/DownloadAsset.aspx?id=73765>
- Kisin, M. (2011). *Tehnologija*. Ljubljana: Zavod IRC.
- Koper, S. (20. Oktober 2016). *Tehnologija na internetu*. Prevezeto 20. Oktober 2016 iz Tehnologija: www2.sts.si/arhiv/tehn/
- Lastna raziskava. (2016).
- Puhar Jože, & Stropnik Jože. (2011). *Krautov strojniški priročnik*. Ljubljana: Littera picta d.o.o.
- Swaty. (25. Oktober 2016). *Generalni katalog*. Prevezeto 25. Oktober 2016 iz spletno mesto podjetja Swaty: www.swatycomet.si/fileadmin/documents/VsiPDF/SwatyComet_Katalog_SLO.pdf
- Valji d.o.o. (20. September 2016). Železarska cesta 3. 3320 Štore. *Interni viri podjetja*. Štore, Štore, Slovenija.
- www.1meritev.si . (16. September 2016). Prevezeto 16. September 2016 iz Mitutoyo SJ-210 Merilec hrapavosti www.1meritev.si: http://www.1meritev.si/art/Merilec_hrapavosti_STROJNISTVO_Merilna_oprema_za_strojnistvo_POMICNA_MERILA_MIKROMETRI_MERILCI_DEBEL/Merilec_hrapavosti_SJ-210

8 PRILOGE

Priloga 1: Načrt valja