

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: Strojírenská technologie – technologie obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Obrobitelnost pružinové oceli 42SiCr

Autor: **Bc. Ondřej MARŠÁLEK**

Vedoucí práce: **Ing. Jaroslava FULEMOVÁ, Ph.D.**

Akademický rok 2019/2020

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2019/2020

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE (projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Bc. Ondřej MARŠÁLEK**
Osobní číslo: **S18N0061P**
Studijní program: **N2301 Strojní inženýrství**
Studijní obor: **Strojírenská technologie – technologie obrábění**
Téma práce: **Obrobitelnost pružinové oceli 42SiCr**
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Zásady pro vypracování

1. Úvod do problematiky a cíle řešení
2. Teoretický rozbor řešené problematiky
3. Návrh a realizace experimentálního měření
4. Vyhodnocení získaných dat
5. Závěr

Rozsah diplomové práce: **50 – 70 stran**
Rozsah grafických prací: **dle potřeby**
Forma zpracování diplomové práce: **tištěná**

Seznam doporučené literatury:

- Elektronické informační zdroje dostupné z www.knihovna.zcu.cz
- CIRP ANNALS – Manufacturing Technology: (<http://www.cirp.net/>)
- MM Průmyslové Spektrum, dostupné z www.mmspektrum.com
- Strojírenská technologie, dostupné z <http://casopis.strojirenskatechnologie.cz>
- Mádl, Jan, Kvasnička, Ivo, : Optimalizace obráběcího procesu /Vydání první. Praha : 1998. ISBN 80-01-01864-4
- Adamec, Jaromír, : Obrobitelnost strojírenských materiálů /1. vyd.. Ústí nad Labem : 1998. ISBN 80-7044-232-8
- International standard ISO 3685:1993: Tool-life testing with single-point turning tools
- SANDVIK Coromant, Sandviken: Technická příručka obrábění, dostupné z: <http://sandvik.coromant.com>

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Jaroslava Fulemová, Ph.D.**
Katedra technologie obrábění

Konzultant diplomové práce: **Ing. Josef Sklenička, Ph.D.**
Regionální technologický institut

Datum zadání diplomové práce: **16. října 2019**
Termín odevzdání diplomové práce: **28. května 2020**



Doc. Ing. Milan Edl, Ph.D.
děkan



Doc. Ing. Jan Řehoř, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této diplomové práce.

V Plzni dne:

.....
podpis autora

Poděkování

Tímto bych chtěl poděkovat paní doktorce Jaroslavě Fulemové za všechnen ten čas, který mi věnovala, za odborné vedení a metodickou pomoc, kterou mi poskytla při vypracování diplomové práce a při realizaci experimentů.

Děkuji také svým rodičům, kteří mě celé studium podporovali a věřili mi.

ANOVAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Maršálek	Jméno Ondřej		
STUDIJNÍ OBOR	2303T004 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“			
VEDOUCÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Ing. Fulemová, Ph.D.	Jméno Jaroslava		
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO			
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte	
NÁZEV PRÁCE	Obrobitelnost pružinové oceli 42SiCr			

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2020
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	144	TEXTOVÁ ČÁST	70	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	-----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	<p>Tato práce se zabývá určením obrobitelnosti a klasifikace různými způsoby tepelně zpracovaných zkušebních vzorků pružinové oceli 42SiCr. Dále stanovením měrných řezných odporů u těchto vzorků.</p>
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	<p>Pružinová ocel 42SiCr, obrobitelnost, zkoušky obrobitelnosti, měrný řezný odpor, ISO 3685, trvanlivost, řezné podmínky.</p>

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Maršálek	Name Ondřej	
FIELD OF STUDY	2303T004 „Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Ing. Fulemová, Ph.D.	Name Jaroslava	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Machinability of spring steel 42SiCr		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	Machining Technology	SUBMITTED IN	2020
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	144	TEXT PART	70	GRAPHICAL PART	0
----------------	-----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	This thesis deals with the determination of machinability and classification by various methods of heat-treated test samples of spring steel 42SiCr. Furthermore determination of specific cutting resistance of these samples.
KEY WORDS	Spring steel 42SiCr, machinability, machinability tests, specific cutting resistance, ISO 3685, tool-life, cutting conditions.

Obsah

Seznam obrázků.....	9
Seznam tabulek.....	10
Seznam zkratk, symbolů a značek veličin.....	11
1 Úvod do problematiky a cíle řešení.....	14
1.1 Specifikace problému.....	14
1.1.1 Materiál 42SiCr.....	15
1.1.1.1 Způsoby tepelného zpracování vzorků.....	15
2 Teoretický rozbor řešené problematiky.....	17
2.1 Obrobitelnost.....	17
2.1.1 Kinetická obrobitelnosti.....	18
2.1.2 Zkoušky obrobitelnosti.....	19
2.1.2.1 Krátkodobé zkoušky obrobitelnosti.....	19
2.1.2.2 Dlouhodobá zkouška obrobitelnosti.....	20
2.1.3 Obrobitelnost podle chemického složení materiálu.....	20
2.2 Obrobitelnost pružinových ocelí s vysokou pevností.....	21
2.3 Měrný řezný odpor.....	22
2.4 Norma ISO 3685.....	23
2.4.1 Analýza normy ISO 3685.....	24
2.4.2 Obrobek.....	24
2.4.3 Nástroj.....	25
2.4.3.1 Materiál nástroje.....	25
2.4.3.2 Geometrie břitu nástroje.....	25
2.4.3.3 Standardní podmínky pro nástroj.....	27
2.4.4 Řezné podmínky.....	28
2.4.4.1 Řezná rychlost.....	28
2.4.5 Kritéria trvanlivosti a měření opotřebení nástroje.....	29
2.4.5.1 Běžná kritéria trvanlivosti.....	30
2.4.6 Vybavení.....	31
2.4.7 Postup zkoušky trvanlivosti nástroje.....	31
2.4.8 Vyhodnocování a zaznamenávání výsledků.....	32
3 Experimentální část.....	35
3.1 Obrobitelnosti podle chemického složení materiálu.....	35
3.2 Návrh experimentu.....	36
3.2.1 Zkušební materiál.....	36
3.2.2 Materiál etalonové oceli.....	37
3.2.3 Vybavení.....	37
3.2.3.1 Obráběcí stroj.....	37
3.2.3.2 Měřicí zařízení.....	38
3.2.3.3 Řezný nástroj pro zkoušky obrobitelnosti.....	39
3.2.3.4 Řezný nástroj pro zkoušku měrného řezného odporu.....	43
3.2.4 Řezné podmínky.....	44
3.2.4.1 Zkoušky obrobitelnosti oceli 42SiCr.....	44
3.2.4.2 Zkouška obrobitelnosti etalonové oceli.....	44

3.2.4.3 Zkouška měrného řezného odporu.....	45
3.2.5 Upnutí vzorků ve stroji.....	45
3.2.6 Postupy zkoušek.....	46
3.3 Realizace experimentů.....	47
3.3.1 Zkoušky obrobitelnosti oceli 42SiCr.....	47
3.3.1.1 Pre-experiment.....	47
3.3.1.2 Experiment.....	49
3.3.2 Zkouška obrobitelnosti etalonového materiálu.....	51
3.3.2.1 Experiment.....	51
3.3.3 Zkouška pro zjištění měrného řezného odporu.....	53
3.4 Vyhodnocení experimentů.....	54
3.4.1 Zkouška obrobitelnosti.....	54
3.4.1.1 Zkoušky obrobitelnosti zkušebních vzorků oceli 42SiCr.....	55
3.4.1.2 Zkouška obrobitelnosti etalonové oceli.....	59
3.4.1.3 Určení tříd obrobitelností zkušebních vzorků.....	60
3.4.2 Zkoušky pro zjištění měrných řezných odporů.....	61
4 Technické hodnocení.....	64
5 Závěr.....	66
6 Seznam použité literatury.....	68
7 Seznam příloh.....	70

Seznam obrázků

Obr. 1: Graf pro určení koeficientu m_c [19].....	23
Obr. 2: Graf pro určení měrného řezného odporu [19].....	23
Obr. 3: Geometrie břitu [10].....	26
Obr. 4: Graf zalomené křivky kombinující opotřebení břitu a žlábků na čele otěrem [10].....	29
Obr. 5: Běžné typy opotřebení otěrem na břitu nástroje [10].....	30
Obr. 6: Graf vývoje opotřebení hřbetu pro různé řezné rychlosti, $vc_1 - vc_5$ [10].....	30
Obr. 7: Graf vývoje opotřebení žlábků na čele pro různé řezné rychlosti, $vc_1 - vc_4$ [10].....	32
Obr. 8: Graf závislosti $T = f(vc)$ v logaritmických souřadnicích.....	33
Obr. 9: Ukázka polotovarů vzorků testovaného materiálu.....	37
Obr. 10: Obráběcí stroj EMCO MAXXTURN 25 [21].....	38
Obr. 12: Statický piezoelektrický dynamometr KISTLER [23].....	39
Obr. 11: Digitální mikroskop KEYENCE VHX-6000 [22].....	39
Obr. 13: Aparatura pro měření řezných sil KISTLER [21].....	39
Obr. 14: Držák soustružnického nože SSRCL 1212F09	40
Obr. 15: Držák soustružnického nože SWAPL 1212-06 [25].....	43
Obr. 16: Pohled do pracovního prostoru stroje při zkoušce obrobitelnosti oceli 42SiCr.....	47
Obr. 17: Nový břit.....	48
Obr. 18: Stav břitu po prvním řezu při prvotních řezných podmínkách.....	48
Obr. 19: Nový břit s pomocnými přímkami.....	49
Obr. 20: Měření a stav břitu po prvním řezu při vc 70 m/min u vzorku č. 5.....	49
Obr. 21: Vývoj opotřebení břitu při vc 62,5 m/min u zkoušky vzorku č. 5	50
Obr. 22: Pohled do pracovního prostoru stroje při zkoušce obrobitelnosti etalonové oceli.....	51
Obr. 23: Vývoj opotřebení břitu při vc 100 m/min u zkoušky etalonové oceli.....	52
Obr. 24: Vyhodnocování řezných sil.....	53
Obr. 25: Odlišnost souřadnicových systémů dynamometru a nástroje	54
Obr. 26: Graf vývoje opotřebení hřbetu pro různé řezné rychlosti pro vzorek č. 5.....	56
Obr. 27: Graf závislosti $T = f(vc)$ pro vzorek č. 5.....	57
Obr. 28: Graf závislosti $T = f(vc)$ pro vzorek č. 5 neuvažující limitní rychlost.....	58
Obr. 29: Graf vývoje opotřebení hřbetu pro různé řezné rychlosti pro etalonovou ocel.....	59
Obr. 30: Graf závislosti $T = f(vc)$ pro etalonovou ocel.....	60
Obr. 31: Graf závislosti k_c na R_m	63

Seznam tabulek

Tabulka 1: Chemické složení oceli 42SiCr.....	15
Tabulka 2: Mechanické vlastnosti testovaných vzorků oceli 42SiCr.....	16
Tabulka 3: Značení materiálových skupin a jim příslušné etalony.....	18
Tabulka 4: Indexy a třídy obrobiteľnosti [9].....	19
Tabulka 5: Chemické složení referenční oceli C45 E4 [10].....	25
Tabulka 6: Standardní řezné úhly [10].....	27
Tabulka 7: Standardní řezné podmínky [10].....	28
Tabulka 8: Nestandardní řezné podmínky [10].....	28
Tabulka 9: Konstanty K_{chs1} a K_{chs2} pro určité prvky chemického složení oceli 42SiCr.....	35
Tabulka 10: Hodnoty konstant K_{mh} a třídy obrobiteľností pro jednotlivá tepelná zpracování zkušebních vzorků.....	36
Tabulka 11: Naměřené mechanické hodnoty etalonové oceli.....	37
Tabulka 12: Základní parametry stroje [21].....	38
Tabulka 13: Rozměry a parametry držáku SSRCL 1212F09 [24].....	40
Tabulka 14: Parametry destičky SCMT 09T304-14 [25].....	41
Tabulka 15: Naměřené hodnoty drsností na čele a hřbetu.....	42
Tabulka 16: Naměřené hodnoty poloměrů zaoblení ostří.....	42
Tabulka 17: Rozměry a parametry držáku SWAPL 1212-06 [25].....	43
Tabulka 18: Parametry destičky WPEB 060404N08 IC908 [25].....	43
Tabulka 19: Prvotní stanovené řezné podmínky pro zkoušku obrobiteľnosti oceli 42SiCr.....	44
Tabulka 20: Prvotní stanovené řezné podmínky pro zkoušku obrobiteľnosti etalonové oceli.....	45
Tabulka 21: Řezné podmínky pro zkoušku měrného řezného odporu $k_{c0.5}$	45
Tabulka 22: Optimalizované řezné podmínky.....	48
Tabulka 23: Tabulka s naměřenými hodnotami při v_c 62,5 m/min u zkoušky vzorku č.5.....	50
Tabulka 24: Tabulka s naměřenými hodnotami při v_c 100 m/min u zkoušky etalonové oceli.....	52
Tabulka 25: Naměřené hodnoty sil F_z pro různé v_c u vzorku č.3.....	54
Tabulka 26: Tabulka se zvolenými, změřenými a vypočítanými hodnotami pro v_c 62,5 m/min u vzorku č. 5.....	55
Tabulka 27: Trvanlivosti břitů u jednotlivých řezných rychlostí.....	56
Tabulka 28: Logaritmické souřadnice trvanlivosti břitů a řezných rychlostí.....	57
Tabulka 29: Trvanlivosti břitů u jednotlivých řezných rychlostí u etalonové oceli a jejich logaritmické souřadnice.....	60
Tabulka 30: Indexy obrobiteľností a třídy obrobiteľností zkušebních vzorků.....	61
Tabulka 31: Hodnoty měrných řezných odporů $k_{c0.1}$ pro řezné rychlosti v_c jednotlivých vzorků.....	62
Tabulka 32: Souhrn zjištěných tříd obrobiteľností.....	67

Seznam zkratk, symbolů a značek veličin

Zkratka, symbol, značka veličiny	Jednotka	Popis
A	[%]	tažnost
Al ₂ O ₃	[-]	oxid hlinitý – oxidová keramika
A _p	[mm]	hloubka řezu
b ₁	[mm]	výška držáku
C	[-]	chemická značka uhlíku
CBN	[-]	kubický nitrid bóru
CNC	[-]	Computer Numerical Control – počítačem řízený
Cr	[-]	chemická značka chromu
C _{Tv}	[-]	konstanta
C _{vT}	[-]	Taylorova konstanta
ČSN	[-]	Česká státní norma
D	[mm]	průměr obráběné plochy
DPH	[Kč]	daň z přidané hodnoty
f	[mm/ot]	posuv
f ₁	[mm]	funkční šířka držáku
F _c	[N]	hlavní složka řezné síly
f _o	[mm/ot]	posuv na otáčku
F _y	[N]	složka řezné síly ve směru p
F _z	[N]	složka řezné síly ve směru hlavního řezného pohybu
HRC	[-]	tvrdost podle Rockwella
H	[-]	skupina materiálů podle značení ISO – tvrzené oceli
h	[mm]	tloušťka odřezávané vrstvy
h ₁	[mm]	šířka držáku
h _e	[mm]	tloušťka třísky
i _o	[-]	index obrobitelnosti
ISO	[-]	mezinárodní organizace pro normalizaci
k _c	[MPa]	měrný řezný odpor
k _{c1}	[MPa]	jednotkový měrný řezný odpor
k _{c0.1}	[MPa]	měrný řezný odpor při řezných podmínkách a _p = 1 mm a f _o = 0,1 mm/ot
Kchs1	[-]	konstanta chemického složení
Kchs2	[-]	konstanta součtu konstant chemického složení
KF	[μm]	šířka žlábků na čele
Kmh	[-]	konstanta vlivu fyzikálně mechanických vlastností

KT	[μm]	hloubka žlábků na čele
KT _{krit}	[μm]	kritická hodnota opotřebení na čele
l ₁	[mm]	funkční délka držáku
l ₄	[mm]	maximální vyložení držáku
m	[–]	exponent dán převážně rozsahem řezné rychlosti a druhem řezného materiálu
m _c	[–]	koeficient intenzity změny měrného řezného odporu
Mn	[–]	chemická značka manganu
Mo	[–]	chemická značka molybdenu
N	[–]	skupina materiálů podle značení ISO – neželezné materiály
n	[ot/min]	otáčky vřetena
NC	[–]	Numerical Control – číslicově řízený
Nb	[–]	chemická značka niobu
HV 10	[–]	tvrdost podle Vickerse se zatížením 10 kilopondů
P	[–]	chemická značka fosforu
P _n	[–]	rovina normálová
P _o	[–]	rovina ortogonální
P _r	[–]	rovina základní
P _s	[–]	rovina ostří
q	[°]	kvocient obrobitelnosti
R _a	[μm]	průměrná aritmetická úchylka povrchu
R _m	[MPa]	mez pevnosti
r _n	[mm]	poloměr zaoblení ostří
R _{p0,2}	[MPa]	napětí, při kterém poměrná plastická deformace dosáhne hodnoty 0,2% počáteční délky zkušební tyče
r _e	[mm]	poloměr zaoblení špičky
S	[–]	chemická značka síry
Si	[–]	chemická značka křemíku
Si ₃ N ₄	[–]	nitrid křemičitý – neoxidová keramika
SK	[–]	slinuté karbidy
T	[min]	trvanlivost nástroje
t	[min]	doba řezu
VBD	[–]	vyměnitelná břitová destička
VB _{krit}	[μm]	kritická hodnota opotřebení na hřbetu
VB _A	[μm]	střední opotřebení břitu v oblasti A
VB _B	[μm]	střední opotřebení břitu v oblasti B
VB _{B max.}	[μm]	Maximální opotřebení břitu v oblasti B
VB _C	[μm]	střední opotřebení břitu v oblasti C

v_c	[m/min]	řezná rychlost
VB_N	[μm]	střední opotřebení břitu v oblasti N
X	[–]	osa souřadnicového systému X
Y	[–]	osa souřadnicového systému Y
α	[°]	úhel hřbetu
γ	[°]	úhel čela
γ_o	[°]	úhel čela v ortogonální rovině
δ	[°]	úhel řezu
ε_r	[°]	úhel špičky
κ_r	[°]	úhel nastavení hlavního ostří
λ_s	[°]	úhel sklonu ostří

1 Úvod do problematiky a cíle řešení

Strojírenství je technický obor, který významně přispívá k vývoji lidstva a k tomu, aby mohlo fungovat a žít na jisté úrovni. Průmyslová odvětví beroucí se pro život jako samozřejmost, jimiž jsou například automobilový, letecký a energetický jsou na tomto technickém oboru závislé. V rámci zmíněných oborů je neustálá snaha ke zlepšování a vývoji svých produktů a to z důvodu konkurenceschopnosti, ale především k uspokojení zákazníků.

S neustále se vyvíjejícími technologiemi a nástroji se také vyvíjejí nové materiály a postupy, jak tyto materiály tepelně zpracovávat. Takové materiály, které svými chemickými složeními, fyzikálními a mechanickými vlastnostmi nejvíce vyhovují určitým strojním součástem, díky kterým bude lépe splněna jejich funkčnost, efektivnost, bezpečnost a další aspekty. Vlivem vhodné volby tepelného zpracování je možné vlastnosti materiálu ještě zlepšit. Tepelná zpracování obvykle slouží ke zvýšení jedné určité vlastnosti materiálu. Například kalení pro zvýšení tvrdosti pro součásti potřebující dobrou odolnost proti otěru, nebo žihání ke zvýšení houževnatosti u dynamicky namáhaných součástí. Protože by bylo nejlepší mít materiály, jak s vysokou pevností a tvrdostí, tak s dostatečnou houževnatostí, jsou z toho důvodu vyvíjeny techniky tepelného zpracování, u kterých by byly tyto vlastnosti splněny. Těchto vlastností je kupříkladu vhodné dosáhnout u pružinových ocelí, které jsou používány právě na tyto dynamicky namáhané součásti. Vysoká pevnost i tažnost mají ovšem vliv na obrobitelnost.

Aby mohl být výrobní strojírenský podnik konkurenceschopný, musí kromě zavádění nových materiálů do výroby umět tyto materiály efektivně obrábět. To znamená obrábět v požadované kvalitě za co nejkratší čas a s co nejmenšími náklady. V tomto hraje významnou roli vhodná volba rezných podmínek a rezného nástroje. Ty aby mohly být dobře zvoleny, tak je vhodné, aby byl obráběný materiál co nejvíce specifikován. Tedy aby kromě chemického složení a mechanických vlastností byla specifikována i obrobitelnost. Obrobitelnost je zjišťována převážně pomocí zkoušek. Vlivem známé obrobitelnosti je možné snadněji zvolit vhodné rezné podmínky a rezný nástroj, a tím zvýšit kvalitu výrobků a hospodárnost výroby.

Pružinové oceli zastávají významnou skupinu ušlechtilých konstrukčních ocelí. Díky svým mechanickým vlastnostem a především jejich odolností vůči střídavému, tedy statickému a dynamickému, namáhání jsou využívány na pružiny, a to převážně v automobilovém průmyslu.

Určení obrobitelnosti a její klasifikace u pružinové oceli 42SiCr s různými tepelnými zpracováními pro získání vysoké pevnosti při zachování tažnosti je cíl, který je řešen v rámci této práce. Dále je na tomto materiálu zjišťován měrný rezný odpor, jehož stanovení také slouží k podrobnému popsání pružinové oceli. Zjištění obrobitelnosti a měrného rezného odporu bude sloužit ke klasifikaci oceli a pro volbu vhodných rezných podmínek, pomocí nichž bude možné efektivněji tuto pružinovou ocel obrábět.

1.1 Specifikace problému

V rámci katedry materiálů a strojírenské metalurgie ve spolupráci dalších pracovišť (Benteler, COMTES FHT a.s) byla vyvinuta ocel s označením 42SiCr. Jedná se o ocel, jež spadá do skupiny 13 značení ocelí podle ČSN, tedy o pružinovou ocel. Pro její důkladné popsání v materiálovém listu je vhodné určit, kromě chemického složení, mechanických a fyzikálních

vlastností, i její obrobitelnost. Z tohoto důvodu byl vznesen požadavek na katedru technologie obrábění, která se v rámci oboru touto problematikou zabývá, aby pro tento materiál obrobitelnost stanovila.

1.1.1 Materiál 42SiCr

Zadaný materiál je experimentální vysokopevnostní nízkolegovaná ocel. Hlavními legujícími prvky této oceli jsou uhlík, křemík, mangan a chrom. Podrobnější chemické složení je obsažené v tabulce (Tabulka 1). Materiál 42SiCr má ve výchozím stavu mez pevnosti R_m 980 MPa, tvrdost 281 HV 10, což je tvrdost podle Vickerse se zatížením 10 kilopondů, a tažnost A okolo 15,4 % [1]. Vhodným tepelným zpracováním je možné dosáhnout zvýšení meze pevnosti a tvrdosti ovšem na úkor snížení tažnosti.

Tabulka 1: Chemické složení oceli 42SiCr

C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	S [%]	P [%]	Mo [%]	Nb [%]
0,43	2,03	0,59	1,33	0,004	0,009	0,03	0,03

Testovaného materiálu bylo poskytnuto celkem pět různých vzorků, které se od sebe navzájem lišily svými chemickými vlastnostmi, jimiž je mez pevnosti R_m , tvrdost a tažnost A . Chemické složení u všech vzorků bylo stejné. Různých chemických vlastností bylo u vzorků dosaženo použitím jiných typů tepelných zpracování či různých podmínek při určitém tepelném zpracování. Polotovary vzorků byly kruhové tyče o průměru 20 mm.

1.1.1.1 Způsoby tepelného zpracování vzorků

Vzorek číslo:

- 1) **Kalení a popouštění** – zahřátí vzorku v peci na teplotu 950 °C s výdrží 21 min – kalení do vody na pokojovou teplotu – zahřátí v peci na teplotu 250 °C s výdrží 10 min – volné chlazení na pokojovou teplotu.
- 2) **Standardní Q-P proces¹** – zahřátí vzorku v peci na teplotu 950 °C s výdrží 21 min – kalení do vody po dobu 5 s – solná lázeň o teplotě 200 °C – zahřátí v peci na teplotu 250 °C s výdrží 10 min – volné chlazení na pokojovou teplotu.
- 3) **Q-P proces s prodlouženou dobou prodlevy na teplotě přerozdělení** – zahřátí vzorku v peci na teplotu 950 °C s výdrží 21 min – kalení do vody po dobu 5 s – solná lázeň o teplotě 200 °C – zahřátí v peci na teplotu 250 °C s výdrží 20 min – volné chlazení na pokojovou teplotu.
- 4) **Q-P proces se zvýšenou teplotou přerozdělení** – zahřátí vzorku v peci na teplotu 950 °C s výdrží 21 min – kalení do vody po dobu 5 s – solná lázeň o teplotě 200 °C – zahřátí v peci na teplotu 300 °C s výdrží 10 min – volné chlazení na pokojovou teplotu.

¹ Q-P proces (Quenching and Partitioning Process) je proces, jehož hlavní cíl je stabilizovat netransformovaný (zbytkový) austenit uhlíkem vyloučeným z přesyceného martenzitu a potlačit vznik karbidů vhodným legováním. Tato struktura podporuje tvařitelnost a vysokou mez pevnosti těchto ocelí [2].

- 5) **Q-P proces se sníženou teplotou zakalení** – zahřátí vzorku v peci na teplotu 950 °C s výdrží 21 min – kalení do vody po dobu 7 s – solná lázeň o teplotě 150 °C – zahřátí v peci na teplotu 250 °C s výdrží 10 min – volné chlazení na pokojovou teplotu.

Mechanické vlastnosti testovaných vzorků jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 2). V tabulce je ve sloupcích zleva doprava uvedeno číslo tepelného zpracování, mez pevnosti R_m v megapascalch, tvrdost HV 10 (hodnota tvrdosti v tabulce pro určité zpracování je průměr naměřených hodnot) a tažnost A vyjádřená v procentech. V řádcích tabulky jsou uvedeny hodnoty mechanických vlastností pro dané zpracování.

Tabulka 2: Mechanické vlastnosti testovaných vzorků oceli 42SiCr

Zpracování č.	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tvrdost HV 10	Tažnost A [%]
1	2095	629	11,3
2	1985	588	15
3	1960	575	15,7
4	1830	565	16
5	2050	603	13,6

2 Teoretický rozbor řešené problematiky

2.1 Obrobitelnost

Obrobitelnost materiálu je komplexní technologická vlastnost vyjadřující s jakou efektivitou může být materiál zpracován technologií obráběním při nízkých nákladech za daných technologických podmínek. Je to jedna z nejdůležitějších vlastností z hlediska technologie třískového obrábění. Obrobitelnost daného materiálu lze obtížně definovat absolutní hodnotou některé veličiny. Jedná se totiž o souhrnný vliv [3], [4] a [5]:

- mechanických a fyzikálních vlastností (pevnost, tvrdost, tepelná vodivost materiálu)
- chemického složení (obsah uhlíku, legující prvky)
- mikrostruktury materiálu
- použitého tepelného zpracování
- způsobu zhotovení polotovaru

Nelze ji však vztáhnout pouze k obráběnému materiálu, protože je závislá i na řezném procesu a vlastnostech obráběcího nástroje. Tedy na [3] a [4]:

- způsobu obrábění
- řezném prostředí
- řezných podmínkách
- materiálu nástroje a jeho řezivosti²
- geometrii nástroje
- dalších charakteristikách řezného procesu

Z tohoto důvodu, že se jedná o tak komplexní charakteristiku, se obrobitelnost povětšinou nehodnotí absolutně, tedy že je popsána hodnotou nějaké fyzikální veličiny, například zrychlením pohybu mikročástic v oblasti první plastické deformace³, ale převážně relativně. To znamená, že se testovaný materiál porovná s referenčním neboli etalonovým⁴ materiálem.

Obrobitelnost materiálu je možné hodnotit z několika hledisek. Těmi nejzákladnějšími jsou hledisko technologické a ekonomické. Pro efektivní a dostatečně přesné stanovení obrobitelnosti existuje několik možností, kterými jsou konkrétně možnosti níže uvedené. Z hlediska ekonomického kritéria hodnocení jsou [6]:

- intenzita opotřebení břitů v závislosti na řezné rychlosti
- množství energie potřebné k obrobení dané vrstvy materiálu

2 Řezivost nástroje označuje souhrn jeho vlastností, které komplexně ovlivňují jeho výkon [4].

3 Oblast první plastické deformace je experimentálně stanovená oblast probíhající v omezené oblasti materiálu, která je označována jako oblast tvoření třísky [7].

4 Etalon (standard) měřící jednotky nebo stupnice určité veličiny je měřidlo, sloužící k realizaci a uchování této jednotky nebo stupnice a k jejímu přenosu na měřidla nižší přesnosti [8].

- vztah k dosahované teplotě řezání

a z hlediska technologického kritéria hodnocení:

- dosažená jakost obrobeného povrchu
- druh a tvar tvořící se třísky

Nejobvyklejším kritériem pro stanovení obrobiteľnosti je velikost opotřebení břitů v závislosti na řezné rychlosti, tzv. kinetická obrobiteľnost.

2.1.1 Kinetická obrobiteľnosti

Kinetická obrobiteľnost je hodnocena relativně, to znamená, že je srovnávána obrobiteľnost zkušebního materiálu s obrobiteľností referenčního materiálu. Ten je stanoven pro každou skupinu materiálů k němuž se vztahuje relativní obrobiteľnost ostatních materiálů ve stejné skupině. Materiálových skupin je několik a jsou označeny malými písmeny abecedy. Ve strojírenství se nejběžněji používají první čtyři skupiny. Tyto skupiny a k nim příslušné etalonové materiály jsou obsaženy v následující tabulce (Tabulka 3).

Tabulka 3: Značení materiálových skupin a jim příslušné etalony

Skupina materiálu	Etalon
a – litiny	ČSN 42 2420
b – oceli	ČSN 12 050.1
c – těžké neželezné kovy (měď a jeho slitiny)	ČSN 42 3213.21
d – lehké neželezné kovy (hliník a jeho slitiny)	ČSN 42 4380.11

V každé skupině je maximálně 20 tříd obrobiteľnosti. Tyto třídy jsou označeny číslem a písmenem určité kategorie. Jednotlivé třídy obrobiteľnosti jsou rozřazovány podle takzvaného indexu obrobiteľnosti i_o , který je odstupňován podle geometrické řady s kvocientem $q = 10^{1/10} = 1,26$. Vzorec pro určení indexu obrobiteľnosti:

$$i_o = \frac{v_{cT}}{v_{cT \text{ etalonu}}} \quad (1)$$

kde i_o je index obrobiteľnosti [-], v_{cT} je řezná rychlost při dané trvanlivosti⁵ pro obráběný materiál [m/min], $v_{cT \text{ etalonu}}$ je řezná rychlost při dané trvanlivosti pro obráběný materiál [m/min]

V každé materiálové skupině je jedna třída, jež odpovídá etalonovému materiálu skupiny. Ta má hodnotu $i_o = 1$, které odpovídá kvocient $q = 1,26^0$. U materiálů, u nichž vyjde index obrobiteľnosti nižší než má etalonový materiál, platí, že mají oproti němu horší obrobiteľnost a naopak materiály s vyšším indexem mají obrobiteľnost lepší. Přehled tříd obrobiteľnosti pro dané skupiny materiálů a indexů obrobiteľnosti je uveden v tabulce (Tabulka 4). Pro stanovení indexu obrobiteľnosti je nutné provést zkoušku obrobiteľnosti, jak u testovaného, tak i u etalonového materiálu.

5 Definice trvanlivosti viz kapitola *Kritéria trvanlivosti a měření opotřebení nástroje* na straně 29.

Tabulka 4: Indexy a třídy obrobiteľnosti [9]

Index obrobiteľnosti i_o			Materiál			
Vyjádřeno kvocientem	Střed	Rozsah	Litiny	Oceli	Slitiny mědi hliníku	
$1,26^{-13}$	0,050	0,045÷0,054		1b		
$1,26^{-12}$	0,065	0,055÷0,069		2b		
$1,26^{-11}$	0,080	0,070÷0,089		3b		
$1,26^{-10}$	0,10	0,09÷0,11	1a	4b		
$1,26^{-9}$	0,13	0,12÷0,14	2a	5b	2c	
$1,26^{-8}$	0,16	0,15÷0,17	3a	6b	3c	
$1,26^{-7}$	0,20	0,18÷0,22	4a	7b	4c	
$1,26^{-6}$	0,25	0,23÷0,28	5a	8b	5c	4d
$1,26^{-5}$	0,32	0,29÷0,35	6a	9b	6c	5d
$1,26^{-4}$	0,40	0,36÷0,44	7a	10b	7c	6d
$1,26^{-3}$	0,50	0,45÷0,56	8a	11b	8c	7d
$1,26^{-2}$	0,63	0,57÷0,71	9a	12b	9c	8d
$1,26^{-1}$	0,80	0,72÷0,89	10a	13b	10c	9d
$1,26^0$	1,00	0,90÷1,12	11a	14b	11c	10d
$1,26^1$	1,26	1,13÷1,41	12a	15b	12c	11d
$1,26^2$	1,59	1,42÷1,78	13a	16b	13c	12d
$1,26^3$	2,00	1,79÷2,24	14a	17b	14c	13d
$1,26^4$	2,50	2,25÷2,82		18b	15c	14d
$1,26^5$	3,15	2,83÷3,55		19b		15d
$1,26^6$	4,00	3,56÷4,47		20b		16d

2.1.2 Zkoušky obrobiteľnosti

Zkoušky obrobiteľnosti, které jsou postaveny na principu měření opotřebenění břitu nástroje v závislosti na řezné rychlosti, se dělí na krátkodobé a dlouhodobé.

2.1.2.1 Krátkodobé zkoušky obrobiteľnosti

Tyto zkoušky obrobiteľnosti jsou méně objektivní, jelikož jsou prováděny za podmínek, které neodpovídají těm skutečným, jež se používají při obrábění v reálné praxi. Jsou prováděny při zvýšené řezné rychlosti a sníženém kritériu opotřebenění břitu. Tímto je dosaženo kratší doby trvání testů. Rychlost provedení a tím i menší spotřeba obráběného materiálu jsou hlavními výhodami. Je to ovšem na úkor menší věrohodnosti výsledku. Podle principu a použitého kritéria je možné krátkodobé zkoušky rozdělit na přímé a nepřímé. Přímými metodami jsou například [11]:

- čelní krátkodobá zkouška
- mikrozkouška obrobiteľnosti
- snížení míry opotřebenění
- použití nástroje se sníženou řezivostí

- zvýšení řezné rychlosti

Nepřímými metodami jsou kupříkladu:

- dynamická metoda
- měření tvrdosti obrobku
- porovnání tvaru třísky
- pomocí teploty řezání
- měření hloubky zpevněné vrstvy

2.1.2.2 Dlouhodobá zkouška obrobiteľnosti

Dlouhodobá zkouška je pouze jedna. Jejím kritériem je hodnota řezné rychlosti a je možno ji provést metodou soustružením nebo frézováním. Dlouhodobá zkouška je prováděna za stejných řezných podmínek jako při skutečném obrábění. Vlivem této skutečnosti jsou výsledky, které vykazuje, věrohodné a odpovídající skutečnosti. Je považována za základní zkoušku obrobiteľnosti, a podle ní je posuzována objektivnost ostatních zkoušek [12]. Její nevýhody jsou v relativně dlouhé době trvání zkoušky, při které je spotřebováno velké množství obráběného materiálu. Díky tomuto je zkouška nákladná. Popis a průběh zkoušky je popsán v textu níže.

Zkoušky obrobiteľnosti, zejména dlouhodobé, je žádoucí provádět za normativních podmínek. K těm patří především obráběcí nástroj a řezné podmínky. To z toho důvodu, aby byla zvýšena spolehlivost a srovnatelnost výsledků zkoušek v nezávislosti na tom, kde a kým byla zkouška provedena. Proto jsou postupy a podmínky zkoušek popsány pomocí norem. Jelikož jsou zkušební vzorky tyče rotačního tvaru, tak je nasnadě provést zkoušku technologií soustružením. Zkouška obrobiteľnosti pro tuto technologii je popsána normou ISO 3685, která je uvedena a popsána níže.

2.1.3 Obrobiteľnost podle chemického složení materiálu

Pro získání výsledků u zkoušek obrobiteľnosti je zapotřebí provést experiment, či je provádět přímo za provozu. Ovšem také existují metody pro rychlé určení třídy obrobiteľnosti bez nutnosti provádění experimentu, kterou je například určení obrobiteľnosti z chemického složení materiálu. Tato metoda byla zvolena a v práci je popsána proto, aby byla ještě před samotným experimentem stanovena třída obrobiteľnosti, podle které by bylo možné předběžně určit pravděpodobné chování testovaného materiálu během obrábění a přibližné hodnoty u volby řezných podmínek.

Metoda stanovení obrobiteľnosti podle chemického složení spočívá v tom, že je proveden výpočet, v němž jsou zahrnuty materiálové konstanty získané z tabulek určených k vyhodnocení obrobiteľnosti. Pro získání konstant je zapotřebí u materiálu znát [13]:

- chemické složení
- mechanické vlastnosti
- výchozí stav materiálu
- druh obrábění

Z procentuálního podílu jednotlivých prvků chemického složení materiálu je u každého prvku určena z tabulek hodnota konstanty $Kchs1$. Tabulky s konstantami jsou obsaženy v příloze A. Po součtu konstant $Kchs1$ je získána konstanta $Kchs2$, která se vynásobí konstantou vlivu fyzikálně mechanických vlastností materiálu Kmh . Fyzikálně mechanickými vlastnostmi jsou pevnost a tvrdost. Konstantu $Kchs1$ je u prvků zlepšujících obrobitelnost zapotřebí odečíst. Těmi jsou například měď nebo fosfor a síra u automatových ocelí. Výběr konstanty vlivu fyzikálně mechanických vlastností Kmh ovlivňuje výchozí stav materiálu, tady jestli se jedná o oceli:

- přírodní nebo žíhané
- zušlechtěné nebo kalené

Obě dvě tyto skupiny jsou dále rozdělené na oceli:

- konstrukční a nástrojové – tvářené i lité
- austenitické, korozivzdorné, nemagnetické – tvářené
- austenitické, korozivzdorné, nemagnetické – lité

Konstantu Kmh je také zapotřebí určit podle toho, o jaký druh obrábění se jedná. Tedy jestli se jedná o soustružení, frézování, vrtání, hoblování, obrážení, atd. Po vynásobení konstant $Kchs1$ a Kmh se podle výsledné hodnoty z tabulky určí třída obrobitelnosti. Tato tabulka je součástí tabulky pro určení konstanty Kmh , která je obsažena v příloze A.

2.2 Obrobitelnost pružinových ocelí s vysokou pevností

Před samotným experimentem je žádoucí nejprve provést rešerši aktuálního stavu řešené problematiky. To z toho důvodu, aby bylo možné navázat na už zjištěné poznatky a výsledky, poučit se z nich nebo se vyhnout již zjištěným úskalím.

Nicméně po zevrubném pátrání, jak v tištěných, tak v elektronických člancích a publikacích, nebyly nalezeny o obrobitelnosti nebo obrábění pružinové oceli 42SiCr či oceli příbuzné žádné informace. Po tomto zjištění byla pozornost zaměřena obecně k ocelím s vysokou pevností a tvrdostí, ale nízkou tažností a dále jaký vliv má tažnost na obrobitelnost.

Vysokopevné oceli

Jak již napovídá název skupiny, tak se jedná o oceli s vysokou pevností a to $R_{p0,2} \geq 1500$ MPa. Vysokou pevnost běžně doprovází i vyšší tvrdost. Tyto dvě mechanické vlastnosti materiálu významně ovlivňují jeho obrobitelnost. Obecně platí, že čím vyšší pevnost a tvrdost, tím je horší obrobitelnost a to má za následek nižší trvanlivost břitu rezného nástroje. Další vliv je takový, že vyšší pevností materiálu se zmenšuje oblast primární plastické deformace. Ta potom tolik nezasahuje pod rovinu řezu a tudíž tolik nevzniká zpevnění povrchové vrstvy materiálu, které na povrchu vyvolává nežádoucí zbytková pnutí.

Vysokopevné a tvrdé materiály s tvrdostí v rozmezí 45 – 65 HRC jsou řazeny do skupiny H dle ISO řazení obráběných materiálů (do této skupiny zkušební vzorky svými tvrdostmi spadají). Společnost SANDVIK Coromant na svých stránkách u skupiny H uvádí, že *kvůli své tvrdosti jsou všechny tyto materiály obtížně obrobitelné a při jejich obrábění vzniká velké množství tepla*

a na břit tyto materiály působí velice abrazivně [14]. Pro obrábění této skupiny materiálů se používají slinuté karbidy, řezná keramika nebo kubický nitrid bóru (CBN). Obecně platí, že slinuté karbidy je možno použít do tvrdostí 50 HRC. Při vyšších tvrdostech, a pro lepší jakost povrchu, je doporučeno tyto materiály obrábět nástroji z kubického nitridu bóru nebo z řezné keramiky [15].

Tažnost

Vyšší tažnost má většinou negativní vliv na obrobiteľnosť. Je to z toho dôvodu, že materiál je více tvárný a tím vzniká nežádoucí plynulá třísky. Ta je nevhodná proto, že může dojít k namotání třísky před břitem a tím k ohrožení řezného procesu či obsluhu stroje. Další neméně důležitý faktor u tohoto druhu třísky je vysoký objemový součinitel třísek. Pro obrobiteľnosť je tedy lepší nižší tažnost a tvárnosť, která přispívá ke vzniku krátké třísky s dobrou lámavostí. Při takto utvářené třísky je možné lépe využít výkon obráběcího stroje [16].

2.3 Měrný řezný odpor

Měrný řezný odpor, nebo také měrná řezná síla je důležitá silová charakteristika. Je označovaná jako k_c a vyjadřuje velikost měrného řezného odporu, který nástroj překonává během řezání. Mezi faktory, které určují velikost k_c , patří především fyzikální vlastnosti obráběného materiálu a velikost průřezu odřezávané vrstvy, tedy třísky. Dále jej ovšem také ovlivňují řezné podmínky, geometrie břitu, řezné prostředí a další. Z řezných podmínek má na měrný řezný odpor největší vliv řezná rychlost v_c a hloubka řezu a_p . Z geometrie břitu je to úhel řezu δ a do jisté míry i poloměr zaoblení špičky r_c . Mezi materiálové parametry, které největší měrou ovlivňují hodnotu měrného řezného odporu, patří pevnost, houževnatost, tvrdost nebo schopnost zpevňování materiálu [17].

Měrný řezný odpor je možné definovat jako řeznou sílu ve směru hlavního řezného pohybu vztahenou na průřez odřezávané vrstvy. Pokud má odřezávaná vrstva průřez 1 mm^2 a tloušťka této vrstvy h je 1 mm , tak se jedná tzv. měrný řezný odpor jednotkový, který je značený jako k_{c1} . Měrný řezný odpor je dán tímto vztahem [17] a [18]:

$$k_c = \frac{F_c}{S} \quad (2)$$

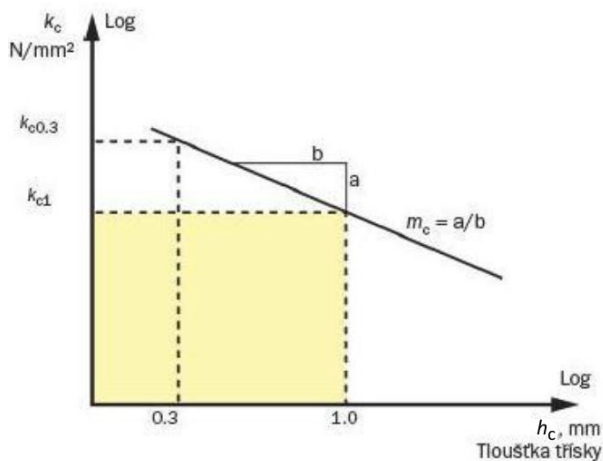
kde k_c je měrný řezný odpor [MPa], F_c je hlavní složka řezné síly [N] a S plocha odřezávané vrstvy [mm^2]

Jelikož je zkouška popsána normou, je zapotřebí během určování měrného řezného odporu u podélného soustružení dodržovat určitá stanoviska. Jsou jimi, že velikost úhlu čela v ortogonální rovině je $\gamma_o = 0^\circ$, úhel nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 90^\circ$ a tloušťka třísky 1 mm . Pokud je tloušťka odřezávané vrstvy h a úhel čela γ_o jiný, je zapotřebí udělat korekci. Poté lze měrný řezný odpor vypočíst pomocí rovnice [19]:

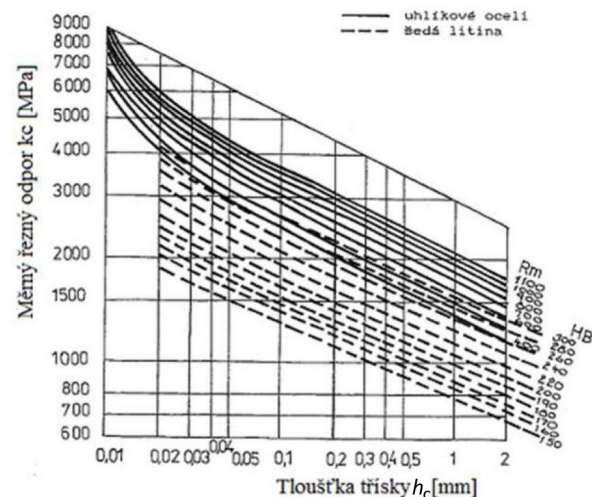
$$k_c = k_{c1} \cdot h^{-m_c} \left(1 - \frac{\gamma_o}{100}\right) \quad (3)$$

kde k_c je měrný řezný odpor [MPa], k_{c1} je jednotkový měrný řezný odpor [MPa], h je tloušťka odřezávané vrstvy [mm], γ_o je úhel čela v ortogonální rovině [°] a m_c je koeficient vyjadřující intenzitu změny měrného řezného odporu v závislosti na tloušťce třísky [-]

Hodnotu koeficientu m_c lze určit z grafu, který je zobrazený na obrázku (Obr. 1). Graf je uvedený v logaritmických souřadnicích. Na vodorovné ose je tloušťka třísky h_c [mm] a na svislé ose je měrný řezný odpor k_c [N/mm²]. Hodnota k_{c1} u různých materiálů je zjišťována experimentálně. Hodnoty jsou uvedené v tabulkách nebo v grafech. Graf je pro ukázkou zobrazený na obrázku (Obr. 2). Z vypočítaného měrného řezného odporu k_c je možné ze vzorce (2) získat hlavní složku řezné síly F_c .



Obr. 1: Graf pro určení koeficientu m_c [19]



Obr. 2: Graf pro určení měrného řezného odporu [19]

2.4 Norma ISO 3685

Mezinárodní norma ISO 3685 popisuje a definuje zkoušku trvanlivosti nástroje pomocí jednobřítých soustružnických nástrojů. Jedná se o druhou druhou edici z roku 1993. Ta nahradila originální normu z roku 1977. Norma byla naposledy zkontrolována a potvrzena v roce 2017 a v době vypracovávání této práce byla norma stále aktuální.

V této mezinárodní normě jsou obsaženy doporučení, jejichž účelem je sjednotit postupy s cílem zvýšit spolehlivost a srovnatelnost výsledků zkoušek při porovnávání řezných nástrojů, materiálů obrobků, řezných podmínek nebo řezných kapalin. Aby těchto cílů bylo dosaženo co nejlépe je to možné, jsou v normě zahrnuty a podrobně specifikovány doporučené referenční materiály a pracovní podmínky, které je nutno dodržovat. Tyto doporučení lze také použít jako pomoc při hledání vhodných řezných podmínek nebo ke stanovení omezujících faktorů a obráběcích charakteristik, jimiž jsou například řezná síla, vlastnosti a jakost obroběného povrchu, tvar třísky atd. [10].

Zkušební podmínky, jež jsou doporučené v této mezinárodní normě, byly navrženy pro zkoušky soustružení ocelových a litinových materiálů za pomoci jednobřítých nástrojů

z rychlořezné oceli nebo nástroji s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu nebo řezné keramiky. S vhodnými úpravami je možné tuto normu použít například při zkouškách soustružení jiných materiálů obrobků nebo s řeznými nástroji vyvinutými pro specifické aplikace [10]. Norma uvádí, že jakákoliv odchylka od doporučení uvedených v normě by měla být uvedena ve zkušebním protokolu.

2.4.1 Analýza normy ISO 3685

Jak bylo zmíněno v předchozí kapitole, tak cílem této mezinárodní normy je poskytnout standardizované postupy a podmínky pro provádění zkoušek trvanlivosti jednobřitého nástroje pro soustružnické operace. Postupy a podmínky jsou definovány z toho důvodu, aby bylo možné porovnávat výsledky testů z různých zdrojů a jejich rozptyl byl co nejmenší.

Tato norma vyhodnocuje trvanlivost nástroje pomocí opotřebením bříty a primárně určuje řezné podmínky, v jejichž důsledku je opotřebením nástroje způsobeno převážně opotřebením ve formě otěru, neboť tento druh opotřebením se vyskytuje při každém případě obrábění řezáním. V normě jsou i uvedeny podmínky, jejichž vlivem je poškození nástroje způsobeno především opotřebením ve formě křehkých lomů a plastické deformace. Tyto podmínky jsou ale uvedeny pouze okrajově a nelze podle nich zkoušku trvanlivosti vyhodnotit.

Obsah normy je rozdělený do dvou částí, kde v první části jsou po kapitolách rozděleny hlavní faktory ovlivňující zkoušku trvanlivosti nástroje, kterými jsou obrobek, nástroj, řezná kapalina, řezné podmínky a příslušenství. Dále je uveden postup zkoušky a její zaznamenávání a vyhodnocování. Druhá část obsahuje přílohy, které upřesňují a rozšiřují informace z první části normy, nebo zahrnují tabulky a vzorce potřebné k vyhodnocení zkoušky. V následujících několika kapitolách této práce budou blíže popsány vybrané kapitoly normy.

Z počátku jsou v normě uvedené definice, které platí pro její účely. Udávají, že [10]:

- opotřebením nástroje je změna tvaru nástroje během řezání z jeho původního tvaru v důsledku postupné ztráty materiálu nebo deformace nástroje
- měření opotřebením nástroje je rozměr, který má být měřen, aby indikoval opotřebením nástroje
- kritérium trvanlivosti nástroje je předem určená prahová hodnota míry opotřebením nástroje nebo výskytu jevu
- trvanlivost nástroje je doba řezání potřebná k dosažení kritéria trvanlivost nástroje

2.4.2 Obrobek

Materiál obrobku je důležitým faktorem pro zkoušku trvanlivosti nástroje. Jeho mikrostruktura, chemické složení, tepelné zpracování a další aspekty značně ovlivňují trvanlivost nástroje. Pro zhotovení zkoušky je možné zvolit materiál obrobku podle vlastního zájmu, ale pro zvýšení srovnatelnosti výsledků mezi zkušebními materiály je doporučeno použít jeden z referenčních materiálů. Referenčním materiálem pro oceli je středně uhlíková ocel válcovaná za tepla s označením C45 E4, která je v souladu s normou ISO 683-1⁶. Evropským ekvivalentem

6 ISO 683-1, Oceli pro tepelné zpracování, oceli legované a oceli automatové - Část 1: Nelegované oceli k zušlechťování.

tohoto označení je C45E. V následující tabulce (Tabulka 5) je uvedeno chemické složení referenčního materiálu pro oceli C45 E4.

Tabulka 5: Chemické složení referenční oceli C45 E4 [10]

C [%]	Si [%]	Mn [%]	S [%]	P [%]
0,45 – 0,50	0,10 – 0,40	0,50 – 0,80	0,035 max.	0,035 max.

Před zahájením zkoušky musí být odstraněny všechny nečistoty způsobené například válcováním nebo odléváním polotovaru obrobku. Poměr průměru obrobku k jeho délce musí být takový, aby nedocházelo vlivem obrábění k vibracím. Jestliže během zkoušky dojde k vibracím, tak je zapotřebí zkoušku přerušit. Norma nedoporučuje poměr délky k průměru větší než 10.

2.4.3 Nástroj

Vlastnosti nástroje, jako jsou například materiál, geometrie, typ, rozměry a jiné, jsou dalším důležitým faktorem mající dopad na zkoušku trvanlivosti. Jako tomu bylo i u volby materiálu obrobku, tak i u nástroje je možná volba zkušební nástroje podle vlastních zájmů, ale pro zvýšení srovnatelnosti výsledků je doporučeno použití jednoho z referenčních tvarů nástrojů, materiálů a geometrie, které jsou uvedeny v textu níže.

2.4.3.1 Materiál nástroje

Pokud je referenčním materiálem nástroje zvolena rychlořezná ocel, je nutné aby to byla nekobaltová slitina patřící do skupin S2 a S4 nebo kobaltová slitina, která patří do skupiny S8 a S11. Tyto materiály odpovídají normě ISO 4957⁷. Jestliže je jako referenční řezný materiál slinutý karbid, tak musí patřit do skupiny ISO aplikací P10⁸ pro obrábění oceli nebo K10⁹ pro obrábění slitiny v souladu s ISO 513¹⁰. V případě volby řezné keramiky musí být na bázi oxidu hlinitého Al₂O₃, kde je tohoto oxidu minimálně sedmdesát procent, nebo na bázi nitridu křemičitého Si₃N₄ s minimálně devadesáti procenty tohoto nitridu. Materiály referenčních nástrojů by neměly opatřeny tenkou vrstvou či jinou povrchovou úpravou pokud není testovací proměnnou samotná tenká vrstva.

2.4.3.2 Geometrie břitu nástroje

Geometrie břitu určuje polohu řezné části nástroje vůči obrobku. Úhly potřebné pro definování orientace řezných hran, čelní plochy a hřbetu jednobřitého řezného nástroje jsou v souladu s normou ISO 3002-1¹¹ a lze je vidět na obrázku (Obr. 3). Na obrázku je uveden

7 ISO 4957, Nástrojové oceli.

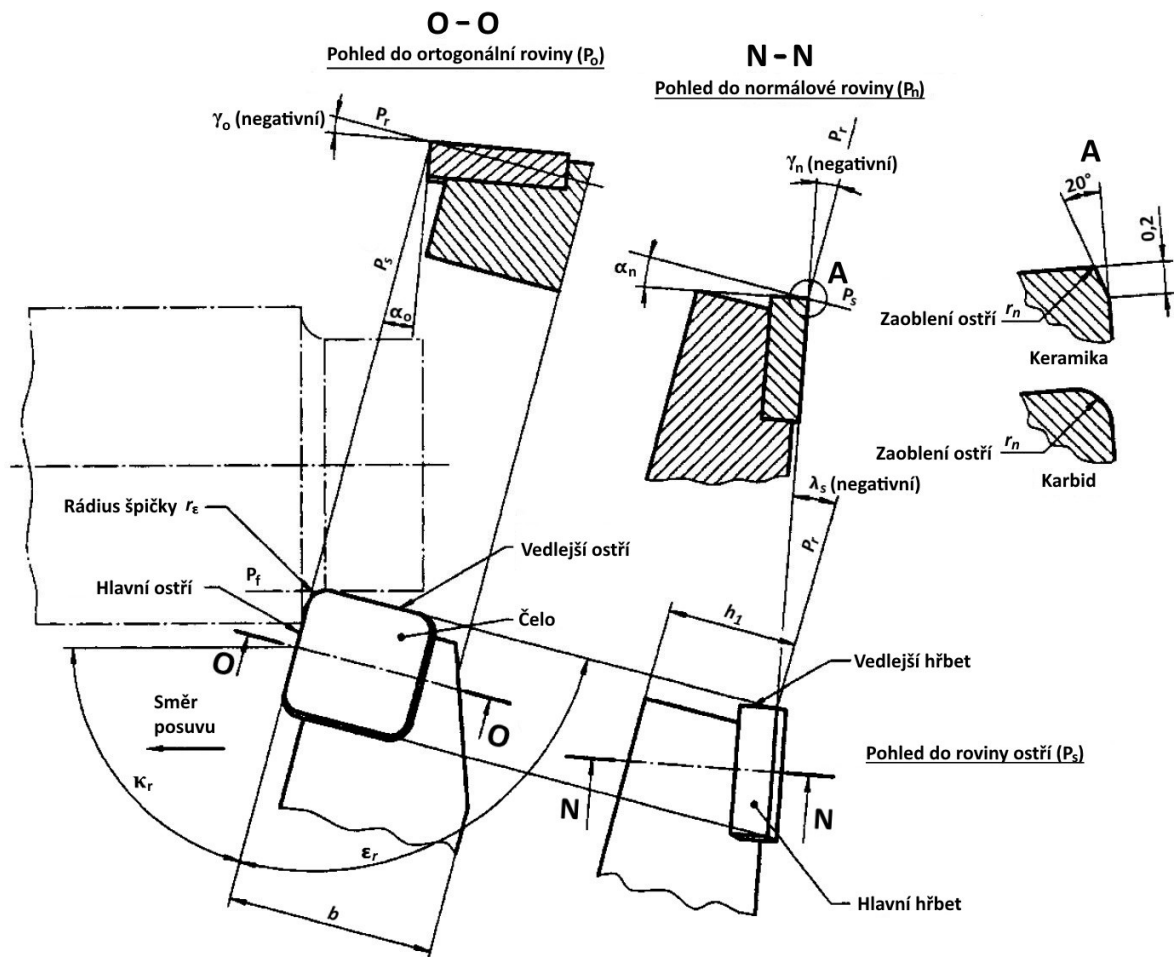
8 SK skupiny P jsou pro obrábění materiálů tvořící dlouhou plynulou třísku. P10 pro obrábění na čisto [7].

9 SK skupiny K jsou pro obrábění materiálů tvořící krátkou a drobnou třísku. K10 pro tvrzené litiny s povrchovými nečistotami a kalené oceli [7].

10 ISO 513, Klasifikace a použití tvrdých řezných materiálů k obrábění kovů určeným ostřím - Označování skupin a podskupin použití.

11 ISO 3002-1, Řezné nástroje. Základní veličiny při řezání a broušení – Část 1: Geometrie aktivní části řezných nástrojů. Obecné pojmy, souřadné systémy, Nástrojové a řezné úhly, lamače třísek.

pohled do roviny základní P_r , na které je vyznačen směr posuvu f a hlavní a vedlejší ostří, také úhel nastavení hlavního ostří κ_r , úhel špičky ε_r a rádius špičky r_ε . Dále je zobrazen pohled do roviny ortogonální P_o , normálové P_n a roviny ostří P_s . U rovin P_o a P_n je uveden úhel čela γ a úhel hřbetu α pro ně příslušné. V rovině ostří P_s je definován úhel sklonu ostří λ_s . Na obrázku je ještě uveden parametr určující řeznou hranu r_n . Rezné hrany jsou pro nástroje ze SK zaoblené a pro keramické zkosené.



Obr. 3: Geometrie břitu [10]

Pokud v rámci zkoušky není testovací proměnnou geometrie nástroje, tak se pro zkoušku volí jedna ze standardních geometrií, které jsou uvedené v tabulce (Tabulka 6). V tabulce je ve sloupcích zleva doprava uvedeno pro jaký řezný materiál se hodnoty vztahují, úhel čela γ , úhel hřbetu α , úhel sklonu ostří λ_s , úhel nastavení hlavního ostří κ_r a úhel špičky ε_r . Poslední dva zmíněné úhly jsou pro všechny řezné materiály stejné. Úhly jsou ve stupních.

Tabulka 6: Standardní řezné úhly [10]

Řezný materiál	Úhel čela γ [°]	Úhel hřbetu α [°]	Úhel sklonu ostří λ_s [°]	Úhel hlavního ostří κ_r [°]	Úhel špičky ϵ_r [°]
Rychlořezná ocel	25	8	0	75	90
Slinutý karbid	+ 6	5	0	75	90
	- 6	6	- 6	75	90
Řezná keramika	- 6	6	- 6	75	90

V případě použití nástrojů ze slinutých karbidů nebo řezné keramiky se musí jednat o nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami. Jako referenční nástroje se nesmí používat pájené a lepené nástroje. U nástrojů s karbidovými břitovými destičkami používanými pouze pro obrábění ocelí a slitin jim podobných, musí mít destička poloměr zaoblení ostří r_n takové, že pokud je rádius špičky $r_e = 0,4$ mm, tak r_n je v rozmezí od 0,02 do 0,03 mm, a pokud je $r_e > 0,4$ mm, musí být r_n od 0,03 do 0,05 mm. Podmínky ostří pro keramické břitové destičky je zapotřebí, aby byly v souladu se zvětšeným pohledem na obrázku (Obr. 3). Všechny ostatní nástroje je možno použít s ostrou hranou ostří, která je výsledkem broušení nebo jiné dokončovací metody.

2.4.3.3 Standardní podmínky pro nástroj

Pro zkoušku je zapotřebí použít přímý ubírací soustružnický nůž určený pro hrubovací operace. Průřez upínací části $h_l \times b_l$ pro držáky nástrojů, kde parametr h_l určuje šířku a parametr b_l výšku, musí být pro:

- monolitní nástroje z rychlořezné oceli 25 mm × 16 mm
- pro karbidové břitové destičky 25 mm × 25 mm
- destičky z řezné keramiky 32 mm × 25 mm

Vyložení nástroje, tedy vzdálenost od držáku nástroje na stroji ke špičce nástroje, musí být 25 mm. Břitové destičky ze slinutých karbidů musí mít čtvercový tvar s délkou řezné hrany 12,7 mm a tloušťkou 4,76 mm pro záporný úhel čela γ a tloušťkou 3,18 mm, pokud je úhel čela γ pozitivní. Hodnoty úhlů čel jsou uvedené v tabulce (Tabulka 6). Keramické destičky musí být čtvercové s délkou řezné hrany 12,7 mm a tloušťkou 4,76 mm.

Pro poloměr rádiusu špičky r_e je v normě definovaná tolerance $\pm 0,1 \times r_e$. Při upnutí nástroje do stroje je potřeba, aby byl nástroj upnut tak, že je špička nástroje s osou rotace obrobku v rozmezí $\pm 0,25$ mm. K povrchové úpravě nástroje norma uvádí, že drsnost povrchu na čele a na hřbetu břitu nesmí být větší než 0,25 μm .

V případě použití nástrojů z rychlořezné oceli se nesmí používat utvařecí třísek, pokud tedy není utvařecí třísek sám o sobě testovací proměnnou nebo pokud je lámání třísek nezbytné. Při zkoušce s nástroji s karbidovými a keramickými břitovými destičkami je použití lamače třísek přípustné, jelikož při použití těchto řezných materiálů je často utvařecí vyžadován jako bezpečnostní faktor [10].

Co se týče řezné kapaliny je v normě uvedeno, že se používá při řezání obrobků z oceli

nástroji z rychlořezné oceli, a to pokud je pro tyto nástroje kritérium destrukce bříty. To znamená, že se při zkoušce nedosahuje určené kritériální hodnoty opotřebení, ale právě destrukce bříty. Při použití všech ostatních řezných a obráběných materiálů by se řezná kapalina neměla používat. Za podmínky, že je řezná kapalina při zkoušce použita, tak musí být její složení, teplota, atd. uvedeny ve zkušebním protokolu.

2.4.4 Řezné podmínky

U všech zkoušek, v nichž nejsou hlavními zkušebními proměnnými posuv f_o , hloubka řezu a_p nebo rádius špičky r_e , musí být zvolena jedna nebo více kombinací ze standardních řezných podmínek uvedených v tabulce (Tabulka 7). V levém sloupci tabulky jsou uvedeny řezné podmínky, a to posuv na otáčku f_o v milimetrech za otáčku, hloubka řezu a_p a rádius špičky r_e v milimetrech. V následujících sloupcích A, B, C a D jsou uvedeny kombinace v určitém poměru pro podmínky v prvním sloupci.

Tabulka 7: Standardní řezné podmínky [10]

Řezné podmínky	A	B	C	D
Posuv f_o [mm/ot]	0,1	0,25	0,4	0,63
Hloubka řezu a_p [mm]	1	2,5	2,5	2,5
Rádius špičky r_e [mm]	0,4	0,8	0,5	1,2

Pokud vlivem okolností nelze zvolit ani jednu z kombinací standardních řezných podmínek, nebo pokud je zkušební proměnnou posuv, hloubka řezu nebo rádius špičky, je doporučeno změnit pouze jeden parametr najednou. Hodnoty nestandardních řezných podmínek jsou obsaženy v tabulce (Tabulka 8). Tabulka uvádí, že minimální hloubka řezu a_p je dvojnásobek rádiusu špičky r_e a maximální a_p je desetinásobek hodnoty zvoleného posuvu. Dále, že maximální posuv je 0,8 násobek rádiusu špičky r_e .

Tabulka 8: Nestandardní řezné podmínky [10]

Minimální hloubka řezu	$2 \times$ rádius špičky
Maximální hloubka řezu	$10 \times$ posuv
Maximální posuv	$0,8 \times$ rádius špičky

2.4.4.1 Řezná rychlost

Řezná rychlost v_c , jež je v metrech za minutu, se stanovuje na obráběném povrchu, tedy na povrchu, který má být obráběn řezáním. Nikoliv tedy na průměru, který je výsledkem řezu. Rychlost řezání se měří až poté co nástroj vnikne do obrobku, a to z důvodu, aby se zohlednila jakákoliv ztráta řezné rychlosti v důsledku působení řezného procesu.

Pro správné vyhodnocení zkoušky je zapotřebí, aby pro každou podmínku řezání byly zvoleny nejméně čtyři různé řezné rychlosti. Pokud je zkoušeného materiálu nedostatek, je možné počet řezných rychlostí omezit pouze na tři. Řezné rychlosti se obecně volí tak, aby při nejvyšší zvolené řezné rychlosti nebyla trvanlivost nástroje nižší než 5 min a v případě nástroje z řezné keramiky nejméně 2 min. V normě je též uvedeno, že při obrábění drahých materiálů lze

zvolit kratší trvanlivost nástroje, ta však nesmí být kratší než 2 min.

Za účelem získání přiměřeně rozmístěných bodů na křivce řezné rychlosti je v normě uvedeno vodítko s rychlostními poměry. Pro nástroje z:

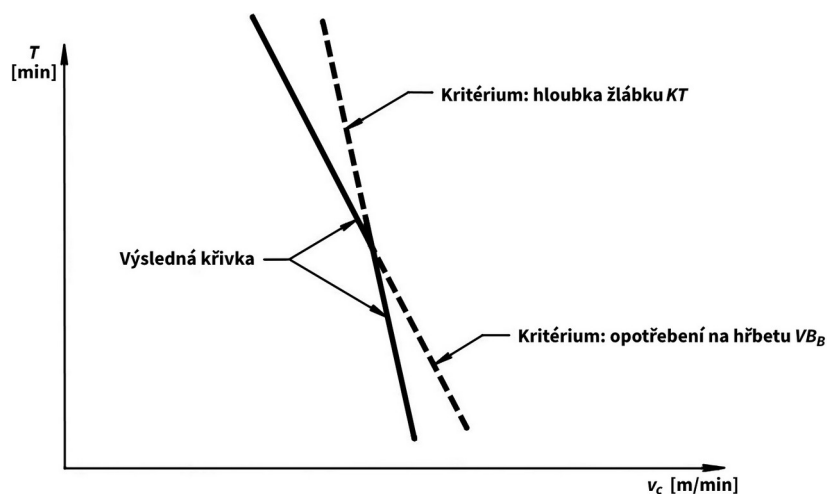
- rychlořezné oceli je poměr 1,06
- slinutých karbidů 1,12
- řezné keramiky 1,25

2.4.5 Kritéria trvanlivosti a měření opotřebení nástroje

Břit nástroje se účinkem procesů při obrábění otupuje. Trvanlivost bříty, jak uvádějí Miroslav Vigner a Zdeněk Příkyl ve své práci *Obrábění*, je čas, po který nástroj pracuje od svého původního stavu nebo naostření až do otupení, tedy do stavu, ve kterém nástroj již nadále není schopen obrábět danou plochu v požadované přesnosti a jakosti povrchu [4]. Za užitečnou trvanlivost nástroje lze považovat také dobu do okamžiku, kdy není nástroj schopen dalšího řezání [4].

Tato norma doporučuje, aby ke stanovení trvanlivosti nástroje bylo použito opotřebení řezného bříty ve formě otěru. Pokud je během zkoušky měřitelný více než jeden typ opotřebení, je potřeba každý typ zaznamenat a jakmile je dosaženo jednoho ze stanovených limitů opotřebení, je dosaženo konce trvanlivosti nástroje.

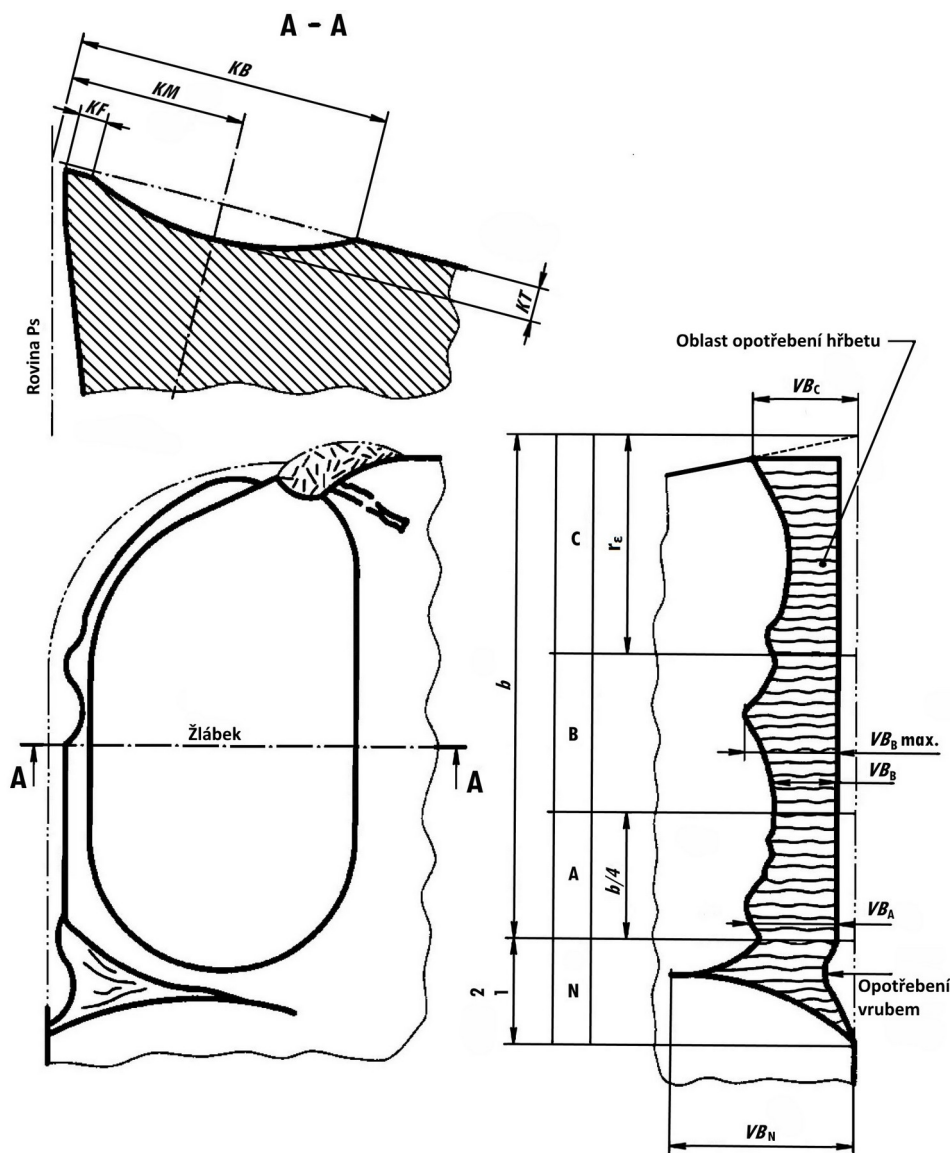
Typ opotřebení, o kterém se předpokládá, že v konkrétní sérii zkoušek nejvíce přispívá ke konci trvanlivosti, se použije jako vodítko pro volbu některého z dále uvedených běžných kritérií trvanlivosti nástroje. Druh a hodnota použitého kritéria musí být uvedeny ve zkušebním protokolu. Pokud během zkoušky není zcela jasné, který typ opotřebení převládá, je možné použít buď dvě kritéria, což má za následek zhotovení dvou křivek ve vyhodnocovacím grafu $v_c - T$, nebo smíšené kritérium, které má za následek zalomenou křivku v grafu $v_c - T$. Ta je pro ukázkou zobrazena v grafu na obrázku (Obr. 4). V grafu lze vidět zalomenou křivku opotřebení bříty v závislosti na řezné rychlosti v_c v logaritmických souřadnicích, která je na ose X a trvanlivosti T v logaritmických souřadnicích na ose Y .



Obr. 4: Graf zalomené křivky kombinující opotřebení bříty a žlábků na čele otěrem [10]

2.4.5.1 Běžná kritéria trvanlivosti

Nejběžněji používaná kritéria pro nástroje z rychlořezné oceli, slinutých karbidů a řezné keramiky jsou maximální šířka plochy opotřebení hřbetu $VB_B \text{ max.}$ a průměrná šířka opotřebení hřbetu VB_B . Kritérium $VB_B \text{ max.}$ je používáno pokud opotřebení hřbetu není pravidelné. V normě uvedená hodnota pro toto kritérium je 0,6 mm, a to pro všechny zmíněné řezné materiály. Kritérium VB_B se používá pokud je opotřebení hřbetu považováno za pravidelně opotřebované a hodnota tohoto kritéria je pro uvedené řezné materiály 0,3 mm. Obě tato kritéria se určují v oblasti B na hřbetu nástroje. Kritéria a oblasti je možné vidět na obrázku (Obr. 5).



Obr. 5: Běžné typy opotřebení otěrem na břitu nástroje [10]

Tento obrázek znázorňuje pohled shora na čelo břitu, jenž je v levém dolním rohu. Vpravo od něj je pohled z boku na hlavní hřbet břitu. Dále obrázek obsahuje řez břitu A – A. Na všech třech pohledech je tenkou čerchovanou čarou znázorněn původní tvar břitu a tlustou plnou čarou tvar břitu po obecném opotřebení otěrem. V pohledu na hlavní hřbet břitu je

znázorněna délka břitu b . Tato oblast je rozdělena do tří oblastí. Oblast C je zakřivená část břitu neboli radius špičky r_ϵ a měří se zde šířka opotřebení VB_C . Oblast A je čtvrtina opotřebované délky břitu b nejbližší od původní špičky nástroje, ve které se měří šířka opotřebení VB_A . Mezi těmito zónami je oblast B v jejích mezích se měří hodnota VB_B a VB_B max. Dále je v tomto pohledu uvedena zóna N. Jedná se o oblast, ve které dochází ke vzájemnému kontaktu mezi nástrojem, obrobkem a třískou. V této oblasti je opotřebení vrubového typu a měří se zde šířka vrubu VB_N . V řezu A – A jsou definované parametry žlábků na čele, kterými jsou hloubka žlábků KT a jeho šířka KB a střed KM . Tyto hodnoty se měří od původního tvaru břitu. Poslední parametr žlábků KF je jeho vzdálenost od opotřebované řezné hrany.

Dalším nejběžněji používaným kritériem pro nástroje z rychlořezné oceli je destrukce břitu. Pro nástroje ze slinutých karbidů jsou dalšími kritérii hloubka žlábků KT . Dále je to kritérium vzdálenosti přední části žlábků KF od řezné hrany, která nesmí být menší než 0,02 mm. Jako posledním kritériem pro karbidové nástroje je, že dojde k protržení žlábků na vedlejším ostří, což je možné vidět na obrázku (Obr. 5) v pohledu shora na čelo břitu.

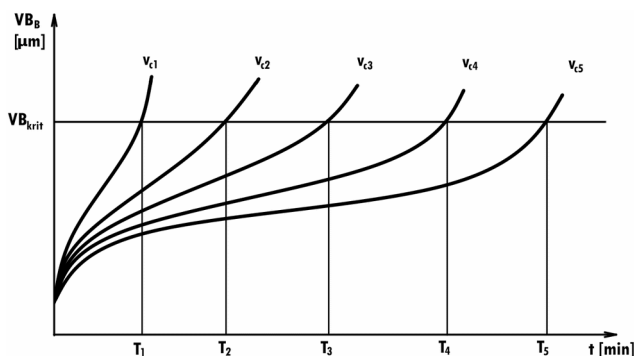
2.4.6 Vybavení

Tato kapitola normy uvádí podmínky, které musí stroj vybraný pro zkoušku splňovat, a seznam zařízení potřebných pro zhotovení zkoušky trvanlivosti nástroje. Soustruh, na kterém bude zkouška prováděna, musí být stabilní konstrukce, takové, aby za zkušebních podmínek nedocházelo k vibracím ani jiným nežádoucím jevům. Je zapotřebí, aby pohon vřetena soustruhu umožňoval plynulou regulaci otáček a pokrýval rozsah otáček vřetena, které mají být použity.

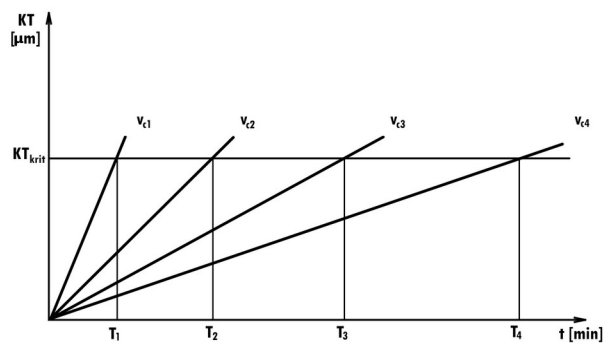
V kapitole příslušenství jsou obsaženy zařízení pro konkrétní měření. Zařízení a měřidla musí mít dostatečnou přesnost, aby s nimi bylo možno dosáhnout tolerancí uvedených v této mezinárodní normě. Vypsáním příslušenství je například zařízení pro přesné měření geometrie nástroje, stopky pro zaznamenávání doby řezání, nástroj pro měření řezné rychlosti a posuvné měřítko pro měření průměru obrobku. Většinu funkcí vypsání zařízení v dnešní době zvládá vykonávat stroj.

2.4.7 Postup zkoušky trvanlivosti nástroje

Postup zkoušky je v této kapitole popsán pouze obecně, protože jak je uvedeno v normě, podmínky zkoušky se budou v každé situaci lišit [10]. Před zahájením je zapotřebí se ujistit, že stroj, obrobek a nářadí splňují všechny požadavky definované normou. Měření opotřebení se provádí ve vhodných intervalech. Všechna data se zaznamenávají do datového listu. Naměřené hodnoty je třeba vynést do grafu, kde je na vodorovné ose čas řezání t v minutách a na svislé ose opotřebení nástroje VB_B nebo KT v mikrometrech. Graf pro typ opotřebení na hřbetě VB_B je znázorněn na obrázku (Obr. 6) a pro opotřebení ve formě žlábků na čele KT je na obrázku (Obr. 7). Vodorovné čáry v obou grafech definují kritériální hodnotu opotřebení. Počátky křivek řezných rychlostí v grafu na obrázku (Obr. 6) nejsou totožné s počátkem souřadného systému os X a Y. Jsou posunuty ve svislé ose o hodnotu, která se přibližně rovná hodnotě poloměru zaoblení ostří r_n .



Obr. 6: Graf vývoje opotřebení hřbetu pro různé řezné rychlosti, $v_{c1} - v_{c5}$ [10]



Obr. 7: Graf vývoje opotřebení žlábků na čele pro různé řezné rychlosti, $v_{c1} - v_{c4}$ [10]

Aby bylo možné s dostatečnou přesností určit čas, kdy je dosaženo hodnoty vybrané jako kritérium trvanlivosti nástroje, musí tyto diagramy obsahovat nejméně pět experimentálně naměřených bodů pro každou křivku. Trvanlivost nesmí být v žádném případě stanovena extrapolací¹² diagramu opotřebení nástroje v závislosti na čase. Výsledky série zkoušek se zaznamenávají do datových listů.

2.4.8 Vyhodnocování a zaznamenávání výsledků

Měření opotřebení VB_B nebo KT v závislosti na čase prováděné při několika řezných rychlostech poskytne křivky, jak je znázorněno na obrázcích (Obr. 6) a (Obr. 7), ze kterých je možné určit trvanlivost pro měřené řezné rychlosti. Trvanlivosti je možné určit tak, že se vynesou svislice k ose určující čas t z bodů křivek řezných rychlostí, kde protínají přímkou určující zvolenou kritériální hodnotu VB_{krit} nebo KT_{krit} . Vynesení svislic je zobrazeno na obrázcích (Obr. 6) a (Obr. 7). Vynesením hodnot $(v_{c1} - T_1)$, $(v_{c2} - T_2)$, atd., získaných z grafu opotřebení vůči času, do grafu závislosti $T = f(v_c)$ v logaritmických souřadnicích, je možné lineární regresní analýzou¹³ získat proloženou přímkou $v_c - T$, kterou lze vidět v grafu na obrázku (Obr. 8). Získaná přímka určuje závislost trvanlivosti nástroje na řezné rychlosti. Tato závislost se popisuje tzv. Taylorovým vztahem:

$$v_c \cdot T^n = C_{vT} \quad (4)$$

kde v_c je řezná rychlost [m/min], T je trvanlivost nástroje [min], n je exponent dán převážně rozsahem trvanlivosti bříty a C_{vT} je tzv. Taylorova konstanta, hodnota řezné rychlosti pro trvanlivost bříty 1 min [-].

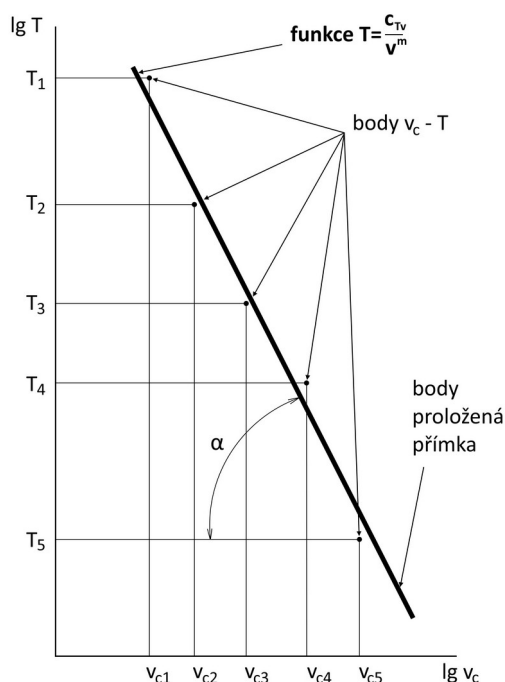
¹² Extrapolace je proces odhadu hodnoty původní proměnné nad rámec původního rozmezí pozorování na základě jejího vztahu s jinou proměnnou [20].

¹³ Regresní analýza je statická metoda díky níž je možné ze souboru dat získat nejlepší proloženou přímkou. Tato metoda určuje rovnici této přímky, od které je součet čtvercových vzdáleností nebo odchylek všech vykreslených bodů v určitém směru minimální [10].

V současné době se Taylorův vztah píše ve tvaru:

$$T = \frac{C_{Tv}}{v_c^m} \quad (5)$$

kde T je trvanlivost nástroje [min], C_{Tv} je konstanta dána hlavně druhem materiálu břitu, v_c je řezná rychlost [m/min] a m je exponent, který závisí převážně na rozsahu řezné rychlosti a druhu řezného materiálu [-].



Obr. 8: Graf závislosti $T = f(v_c)$ v logaritmických souřadnicích

Hodnoty c_{Tv} a m ve výše uvedené rovnici (5) je možné určit z grafu na obrázku (Obr. 8). Velikost hodnoty m lze určit ze vztahu:

$$m = \operatorname{tg} \alpha \quad (6)$$

kde m je exponent, který závisí převážně na rozsahu řezné rychlosti a druhu řezného materiálu, a α je úhel proložené přímky od vodorovné osy [°]

nebo vztahu:

$$m = \frac{\lg T_A - \lg T_B}{\lg v_B - \lg v_A} \quad (7)$$

kde m je exponent, který závisí převážně na rozsahu řezné rychlosti a druhu řezného materiálu, T je trvanlivost nástroje [min], v je řezná rychlost [m/min] a body A a B jsou libovolně zvolené body na proložené přímce

Poslední možností, jak určit velikost hodnoty m , je využití rovnice souřadnic přímky, která je určena funkcí:

$$\lg T = \lg c_{Tv} - m \cdot \lg v_c \quad (8)$$

kde T je trvanlivost nástroje [min], c_{Tv} je konstanta daná hlavně druhem materiálu bříty, m je exponent, který závisí převážně na rozsahu rezné rychlosti a druhu rezného materiálu, a body A a B jsou libovolně zvolené body na proložené přímce,

Velikost hodnoty konstanty c_{Tv} je možné stanovit ze vztahů (5) a (8) vyjádřením této konstanty a dosazením do vztahu všech známých hodnot. Hodnoty konstant c_{Tv} a m je nutno uvést v protokolu o zkoušce.

Pro zaznamenávání výsledků není normou dáno, jaké datové listy je potřeba použít, avšak jsou normou navrhované tři různé datové listy. Ty ale nejsou vhodné pro vyhodnocení výsledků elektronicky. Jako prvním navrhovaným je datový list, který zahrnuje všechny základní údaje pro kompletní řadu zkoušek, další je datový list, jenž obsahuje všechny podrobnosti každé jednotlivé zkoušky trvanlivosti nástroje a poslední list je pro zaznamenávání výsledků řady zkoušek trvanlivosti nástroje prováděných při různých rezných rychlostech. Doporučené datové listy jsou uvedeny v příloze B této práce.

3 Experimentální část

Pro vyhodnocení obrobitelnosti testovaného materiálu bylo zapotřebí provést sérii experimentálních měření. Aby výsledky měření odpovídaly co nejlépe reálné praxi, tak byly použity metody pro dlouhodobou zkoušku obrobitelnosti, která patří, z výše zmíněných důvodů, k nejvíce věrohodným zkouškám. Tato část práce se zabývá návrhem, realizací a vyhodnocením experimentu.

Z toho důvodu, že se jedná o univerzitní zadání práce, tak bylo experimentální měření provedeno v laboratořích Katedry technologie obrábění Západočeské univerzity v Plzni. Tyto laboratoře mají k dispozici vybavení, jež je pro realizaci experimentálních měření nadměru dostačující. Dále disponují odborníky, které je možné pro realizaci experimentu využít.

3.1 Obrobitelnosti podle chemického složení materiálu

Určení obrobitelností podle chemického složení testovaných materiálů bylo provedeno ještě před návrhem experimentu, jelikož tím byly zjištěny třídy obrobitelností a tedy i nastíněno co lze během obrábění zkušebních vzorků očekávat. Podle toho bylo možné lépe stanovit podmínky pro měření. Pro určení tříd obrobitelností bylo potřeba jako první určit konstanty $Kchs1$ a z nich následně konstantu $Kchs2$. Tyto konstanty jsou pro všechny zkušební vzorky stejné a jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 9).

Tabulka 9: Konstanty $Kchs1$ a $Kchs2$ pro určité prvky chemického složení oceli 42SiCr

	C [%]	Si [%]	Mn [%]	Cr [%]	S [%]	P [%]	Mo [%]	Nb [%]
	0,43	2,03	0,59	1,33	0,004	0,009	0,03	0,03
$Kchs1$	1,53	2,12	1,30	0,38	–	–	0,10	0,15
$Kchs2$	$\Sigma Kchs1 = 5,58$							

Dále byly určeny konstanty Kmh na základě mechanických vlastností jednotlivých zkušebních vzorků. Mechanické vlastnosti jsou uvedeny výše v tabulce (Tabulka 2) na straně 16. Konstanty Kmh byly vybírány ze skupiny s označením B pro oceli zušlechťené nebo kalené a dále podskupiny s označením Z_2 pro oceli austenitické, korozivzdorné, nemagnetické – tvářené. Získané hodnoty konstant Kmh jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 10). Po vynásobení $Kchs2$ s Kmh příslušných materiálů byly získány hodnoty, z nichž byly určeny třídy obrobitelností. Tyto hodnoty a třídy obrobitelností jsou též uvedeny v tabulce (Tabulka 10).

Tabulka 10: Hodnoty konstant K_{mh} a třídy obrobitelnosti pro jednotlivá tepelná zpracování zkušebních vzorků

Zpracování č.	Konstanta K_{mh}	$K_{chs2} \cdot K_{mh}$	Třída obrobitelnosti
1	3,05	17,02	6b
2	2,90	16,18	6b
3	2,90	16,18	6b
4	2,75	15,35	6b
5	3,05	17,02	6b

Třída obrobitelnosti u všech zkušebních vzorků vyšla 6b. Z tabulky (Tabulka 4) s třídami obrobitelnosti je možné vidět, že třída obrobitelnosti zkušebních vzorků je hluboko pod třídou obrobitelnosti etalonové oceli, která je 14b. Vlivem zjištěné špatné obrobitelnosti bylo možné předem stanovit, že pro zkoušku bylo potřeba zvolit nízké řezné rychlosti. Bylo predikováno, že vlivem nízkých řezných rychlostí, vysoké pevnosti a tvrdosti se bude pravděpodobně tvořit nežádoucí plynulá tříska, která bude ohrožovat plynulost řezného procesu. Špatná obrobitelnost povede k rychlému opotřebování břitu nástroje.

3.2 Návrh experimentu

3.2.1 Zkušební materiál

Celý návrh experimentu byl odvíjen od zkušebního materiálu. Nejprve od jeho tvaru a rozměrů, které měly vliv na volbu technologie obrábění a vybavení, jež je například obráběcí stroj a řezný nástroj. Dále od jeho chemického složení a mechanických vlastností. Tyto dva parametry ovlivňovaly volbu řezných podmínek. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tabulkách (Tabulka 1) a (Tabulka 2) ve výše uvedené kapitole *Specifikace problému* na straně 14.

Materiálu k testování bylo dohromady pět různých vzorků po pěti kusech od každého z nich, kromě vzorku č. 2, kterého bylo celkem šest kusů. Vcelku bylo tedy dvacet šest kusů vzorků. Polotovary všech vzorků byla kruhová tyč o průměru 20 mm. V každé sadě vzorků byl vždy jeden vzorek s délkou 125 mm a ostatní vzorky sady měly délku 130 mm. Bylo rozhodnuto, že delší zkušební vzorky se použijí pro zkoušku obrobitelnosti a vzorky kratší pro zkoušku měrného řezného odporu.

Vzorky byly od sebe navzájem rozlišeny číslem určité skupiny, jak je možné vidět na obrázku (Obr. 9). Na obrázku jsou zobrazeny sady vzorků č. 1, 3 a 4. Polotovary byly z obou stran opatřeny středícími důlky. Tyto důlky lze též vidět na obrázku (Obr. 9).



Obr. 9: Ukázka polotovarů vzorků testovaného materiálu

3.2.2 Materiál etalonové oceli

Jedná se o ocel s označením ČSN 12 050.1 nebo podle evropské normy C45E, jenž odpovídá charakteristikám a chemickému složení specifikované normou ISO 3685. Chemické složení, jenž musí etalonový materiál splňovat, je uvedené v tabulce (Tabulka 5) na straně 25. Mechanické vlastnosti oceli ČSN 12 050.1 na níž byl prováděn experiment, jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 11), kde zleva je uvedeno číslo měření, mez pevnosti v tahu R_m a tvrdost podle Vickerse. Polotovar etalonového materiálu je kruhová tyč o průměru 70 mm a délce 195 mm. Z jedné strany byl kvůli možnosti podepření otočného hrotu navrtán středící důlek.

Tabulka 11: Naměřené mechanické hodnoty etalonové oceli

Měření č.	Mez pevnosti R_m [MPa]	Tvrdost HV 10
1	675	212
2	687	217

3.2.3 Vybavení

Jelikož bylo v plánu realizovat experiment v rámci laboratoří Západočeské univerzity v Plzni, které jsou vybaveny pevně daným zařízením, byl experiment ve svém počátku v určité míře omezen a bylo zapotřebí počítat s určitými vstupními podmínkami, jež nebylo možné ovlivnit. Těmi podmínkami byly obráběcí stroj a měřicí zařízení.

3.2.3.1 Obráběcí stroj

Hlavní vstupní podmínkou byl obráběcí stroj, od kterého se dále odvíjel výběr rezného nástroje. Pro měření bylo zapotřebí vybrat obráběcí stroj z dostupných strojů univerzity, který odpovídal specifikacím uvedeným v normě ISO 3685, nebo který se, při nejhorším, k těmto

specifikacím nejvíce přibližoval. Dále bylo potřeba vzít v potaz velikosti polotovarů a možnost aplikování do stroje všech potřebných měřicích zařízení.

Těmto podmínkám nejvíce odpovídal soustruh s označením EMCO MAXXTURN 25, který je speciálně vyčleněn pro práce studentů. Jedná se NC soustruh s CNC řízením. Tento stroj je zobrazen na obrázku (Obr. 10). Na tomto obrázku uprostřed je možné vidět obráběcí stroj, vlevo od stroje automatický podavač a vpravo od stroje dopravník na třísky. Základní parametry stroje jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 12), kde v levém sloupci jsou uvedené parametry a k nim ve sloupci pravém jejich hodnoty. Podrobnější specifikace stroje jsou uvedeny v příloze C. Stroj EMCO disponuje protivřetenem, do kterého je možné upnout otočný hrot pro podporu obrobku. Toto opatření bylo z důvodu štíhlosti obrobku nutné a to aby nedocházelo během řezného procesu k vibracím.



Obr. 10: Obráběcí stroj EMCO MAXXTURN 25 [21]

Tabulka 12: Základní parametry stroje [21]

Parametr	Hodnota
Max. průměr obrobku	114 mm
Vzdálenost mezi vřeteny	485 mm
Max. otáčky vřeten	8000 ot/min
Max. výkon hl. vřetena	6,5 kW

3.2.3.2 Měřicí zařízení

Měření otupení břitu

Dlouhodobá zkouška obrobitelnosti spočívá na principu měření intenzity otupování břitu v závislosti na měnící se řezné rychlosti. Tudiž bylo zapotřebí měřicí zařízení, se kterým bylo možné otupení břitu měřit. V normě není nijak zařízení pro toto měření specifikováno, jen že jeho přesnost musí být taková, aby bylo možné opotřebení změřit s dostatečnou přesností.

Pro měření intenzity otupení břitu vyhovoval digitální mikroskop s označením KEYENCE VHX-6000, který má katedra k dispozici. Objektiv mikroskopu umožňuje dostačující zvětšení 20× až 200×. Obraz z digitálního mikroskopu je převáděn na obrazovku, kde je pomocí speciálního programu možné měřit, upravovat a ukládat snímky a další jiné možnosti. Mikroskop je zobrazený na obrázku (Obr. 11). Podrobné parametry mikroskopu KEYENCE VHX-6000 jsou uvedeny v příloze C.



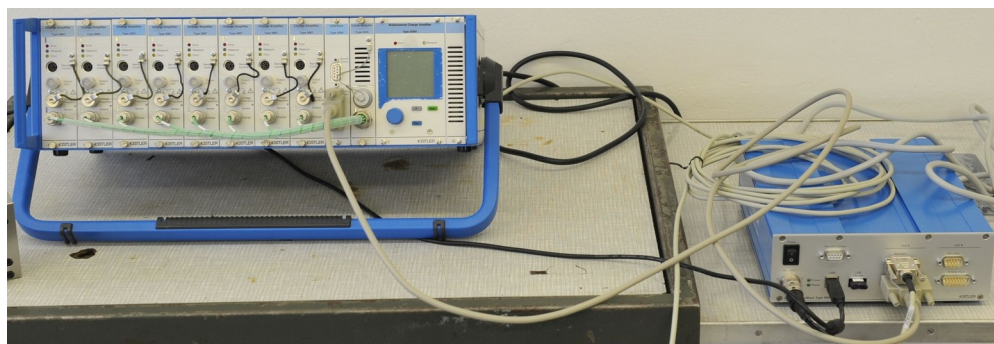
Obr. 11: Digitální mikroskop KEYENCE VHX-6000 [22]



Obr. 12: Statický piezoelektrický dynamometr KISTLER [23]

Měření řezných sil

Aby bylo možné stanovit měrné řezné odpory, je zapotřebí měřit během řezného procesu hlavní složku řezné síly F_c . Pro měření řezných sil je na katedře aparatura od společnosti KISTLER, kterou je možné vidět na obrázku (Obr. 13). Aparatura obsahuje osmikanálový zesilovač, který je na obrázku vlevo, a digitalizační kartu, která je vpravo. Dále tříložkový statický piezoelektrický dynamometr, jenž je uvedený výše na obrázku (Obr. 12).



Obr. 13: Aparatura pro měření řezných sil KISTLER [21]

3.2.3.3 Řezný nástroj pro zkoušky obrobitelnosti

Výběr řezného nástroje byl definován především parametry a specifikacemi uvedenými v normě ISO 3685. Tyto jsou parametry obsaženy ve výše uvedené kapitole *Nástroj*, která je na straně 25. V této kapitole jsou popsány pouze parametry, které se od těch stanovených normou odlišují. Výběr nástroje byl ovšem také ovlivněn i zvoleným strojem a aparaturou pro měření řezných sil, kde tyto dva aspekty ovlivnily zejména rozměry nástroje.

Materiál nástroje

Nejprve bylo zapotřebí zvolit materiál nástroje. Norma umožňuje výběr ze tří materiálů, a to z rychlořezné oceli, slinutého karbidu a řezné keramiky. Především z důvodu dostupnosti a nabídky na trhu bylo rozhodnuto, že pro zkoušku bude použit nástroj s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu. Kromě ceny a dostupnosti je u slinutého karbidu další výhodou, a to taková, že po dosažení hodnoty kritériálního opotřebení na hřbetu je možné destičku

jednoduše a rychle vyměnit. U monolitních nástrojů z rychlořezné oceli by po dosažení hodnoty opotřebování muselo dojít k přebroušení břitu nebo k výměně celého nástroje.

Dále je výhoda vyměnitelných břitových destiček v tom, že pro měření opotřebení na hřbetu pomocí mikroskopu, který je mimo pracovní prostor obráběcího stroje, je možné z nožového držáku destičku pouze vyjmout, zatímco držák nástroje je stále upnutý ve stroji. Výhody vyměnitelných destiček by byly i u volby nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami z řezné keramiky, ovšem u té byl hlavní důvod nezvolení ten, že pro obrábění pružinové oceli by nebyl plně využit potenciál tohoto řezného materiálu. Dalším důvodem bylo, že na omezené množství polotovarů bylo nutné vybrat takový řezný materiál, který bude jevit známky opotřebení i za nižších řezných rychlostí.

Držák nástroje

Výběr nástroje ovlivnil obráběcí stroj a aparatura pro měření řezných sil. Jelikož byla aparatura pořízena právě pro vybraný stroj EMCO MAXXTURN 25, tak má piezoelektrický dynamometr rozměry a typ upínacího systému takový, aby byl s tímto strojem kompatibilní. Z toho důvodu je do dynamometru možné upnout pouze nástroje s upínací částí o rozměrech 12×12 mm. Tento rozměr se rozchází s normou, která uvádí, že rozměry upínací části u nástrojů s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů jsou $25 \text{ mm} \times 25 \text{ mm}$. Tento rozdíl ovlivňuje tuhost nástroje. Zmenšením vyložení nástroje bude tuhost vykompenzována. Volba menšího nástroje musí být uvedena do protokolu o zkoušce.

Nejdostupnější a nejvíce vyhovující parametrům uvedených normou byl držák od společnosti Walter, který nese označení *SSRCL 1212F09*. Tento držák je možné vidět na obrázku (Obr. 14). Kromě parametru úhlu hřbetu α pro použitelnou destičku, který je u tohoto držáku 7° , držák vyhovoval ve všech stanovených parametrech. Odchylku od stanoveného úhlu hřbetu bylo nutné uvést do protokolu o zkoušce. Podrobný přehled rozměrů a parametrů držáku je uvedený v tabulce (Tabulka 13), kde zleva doprava je uvedena výška upínací části h_1 , šířka upínací část b_1 , funkční šířka f_1 , funkční délka l_1 , maximální vyložení l_4 , úhel sklonu ostří λ_s a úhel nastavení hlavního ostří κ_r .



Obr. 14: Držák soustružnického nože
SSRCL 1212F09

Tabulka 13: Rozměry a parametry držáku *SSRCL 1212F09* [24]

h_1 [mm]	b_1 [mm]	f_1 [mm]	l_1 [mm]	l_4 [mm]	λ_s [°]	κ_r [°]
12	12	14	80	15,5	0	75

Vyměnitelná břitová destička

Výběr destičky byl kromě normy nejvíce ovlivněn zvoleným držákem. Bylo zapotřebí vybrat takovou destičku, kterou je možné s držákem použít. Držák už byl ovšem vybírán tak, aby destička co nejvíce odpovídala požadavkům normy. Tedy podle tvaru destičky, kterou lze do

držáku upnout, a podle úhlu hřbetu α . V normě jsou dále uvedené rozměry břitové destičky. Ty nejsou kvůli menší velikosti držáku v souladu s normou. Rozměry zvolené břitové destičky jsou uvedeny níže v tabulce (Tabulka 14). Velikost VBD ovlivňuje její tuhost a maximální možnou hloubku řezu. Menší velikost VBD by kvůli normou stanovenému nízkému a_p neměla mít na zkoušku obrábitelnosti vliv.

Jelikož je držák od společnosti Walter, tak bylo vhodné vybírat destičku od stejné společnosti. Destiček pro držák doporučených k obrábění ocelí je nabízeno několik. Ty se od sebe liší typem utvařeče třísek a druhem tenké vrstvy. Bez tenké vrstvy byly společností Walter nabízeny pouze destičky určené k obrábění ISO skupiny materiálů N, tedy neželezných materiálů, s vysoce pozitivním úhlem čela, který nevyhovuje podmínkám normy.

Z důvodu absence nabídky destiček bez tenkých vrstev u společnosti Walter bylo, kvůli co nejbližší podobnosti s normou, udělána analýza odpovídajících destiček i u jiných společností. Destičky požadovaného označení neopatřené tenkou vrstvou byly nabízeny společností Iscar.

Vlivem této skutečnosti byla, z důvodu nabídky destiček bez tenkých vrstev, pro experiment vybrána destička od společnosti Iscar, která má označení *SCMT 09T304-14*. Parametry destičky jsou vedeny v následující tabulce (Tabulka 14), kde zleva doprava je uvedena délka řezné hrany L , tloušťka destičky S , rádius špičky r_s , úhel hřbetu α , interval doporučeného posuvu na otáčku f_o a rozsah doporučené hloubky řezu a_p . Třída karbidu, ve které je destička vyráběna, je označena *IC20* a je vhodná pro dokončování, polodokončování a polohrubování hliníku, nerezové oceli a litiny. U tohoto karbidu není uvedeno doporučení pro obrábění normou požadované třídy P10. Ta ovšem není u karbidů bez tenkých vrstev doporučována obecně u všech. Z toho důvodu není možné pořídit slinutý karbid nedisponující tenkou vrstvou, který je doporučován pro obrábění ocelí třídy P10.

Tabulka 14: Parametry destičky *SCMT 09T304-14* [25]

L [mm]	S [mm]	r_s [mm]	α [°]	f_o [mm/ot]	a_p [mm]
9,52	3,97	0,40	7,0	0,12 – 0,30	1,00 – 3,50

Poloměr zaoblení ostří r_n a drsnost na čele a hřbetu nástroje nejsou v katalozích výrobců, ať už tištěných nebo elektronických, uváděné. Jelikož jsou však v normě tyto parametry žádané, bylo je kvůli možnosti uvedení do protokolu o zkoušce nutné doměřit.

Drsnost na čele a hřbetu

Drsnosti byly měřeny na přístroji Alicona IFM G4. Jedná se o optické zařízení pro měření 3D povrchů. Přístroj provádí měření na základě bez-dotykové metody. Měření je prováděno v oblasti mikro a nano rozsahu. Měření bylo provedeno na dvou břitových destičkách, kde na jednom náhodně zvoleném břitu byly provedeny tři měření rovnoběžně s břitem a tři kolmo na břit, a to jak čele a tak na hřbetu. Jelikož norma požaduje drsnost R_a , což je průměrná aritmetická úchylna profilu, byla vyhodnocována právě tato drsnost. Výsledné hodnoty drsnosti R_a jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 15). V tabulce jsou uvedeny pouze aritmetické průměry vždy třech příslušných měření. Drsnosti na čele i hřbetu nesmí podle normy překročit hodnotu 0,25 μm . Skutečné naměřené drsnosti tedy odpovídají požadavkům normy.

Tabulka 15: Naměřené hodnoty drsností na čele a hřbetu

VBD	Čelo R_a [μm]		Hřbet R_a [μm]	
	Rovnoběžně k břítu	Kolmo k břítu	Rovnoběžně k břítu	Kolmo k břítu
1	0,20	0,17	0,17	0,14
2	0,16	0,15	0,17	0,16

Poloměr zaoblení ostří

Pro měření poloměru zaoblení ostří byl použit též přístroj Alicona IFM G4. Měření bylo uskutečněno na čtyřech různých břitových destičkách, kde na každé z nich bylo na jednom břítu provedeno padesát měření. V následující tabulce (Tabulka 16) jsou uvedeny maximální a minimální hodnoty a mediány¹⁴ naměřených hodnot. Mediány jsou namísto aritmetických průměrů zvoleny proto, že u vyššího počtu hodnot nejsou ovlivněny extrémními hodnotami. V tabulce jsou hodnoty uvedeny v mikrometrech.

Tabulka 16: Naměřené hodnoty poloměrů zaoblení ostří

VBD	Minimální	Maximální	Medián
	r_n [μm]	r_n [μm]	r_n [μm]
1	42,22	45,31	44,05
2	28,01	36,14	35,05
3	34,93	38,75	37,20
4	39,52	42,53	41,13

Hodnoty mediánů poloměrů zaoblení ostří u všech měřených destiček nespádají do rádiusem špičky stanoveného intervalu od 0,02 do 0,03 mm, ale až do intervalu 0,03 až 0,05 mm pro rádius špičky větší než 0,4 mm. Tyto destičky tedy parametr velikosti poloměru zaoblení ostří nespĺňují. Tuto odchylku je potřeba uvést do protokolu o zkoušce.

Tolerance rádiusu špičky

Norma uvádí, že tolerance rádiusu špičky je $\pm 0,1 \times r_e$, takže pokud je rádius špičky 0,4 mm, jak je tomu v případě zvolené destičky, tak po přepočtu je tolerance rádiusu špičky $\pm 0,04$ mm. Pro změření rádiusu byl použit digitální mikroskop KEYENCE VHX-6000. Po změření bylo zjištěno, že skutečný rozměr rádiusu je 0,41 mm. Rádius zaoblení ostří tedy splňuje podmínku normy. Díky tomuto faktu se naskytuje otázka, že pokud má rádius špičky skutečný rozměr 0,41 mm, tak jestli není zapotřebí uvažovat změnu u podmínky velikosti poloměru zaoblení ostří z $r_e = 0,4$ mm do $r_e > 0,4$ mm? Vlivem této skutečnosti by naměřené hodnoty poloměru zaoblení ostří, jež jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 16), splňovaly parametr daný normou, který jinak nespĺňují. Ovšem při této úvaze by platilo, že pokud by skutečný rozměr rádiusu špičky byl

14 Medián je prostřední hodnota ze vzestupně nebo sestupně uspořádané řady hodnot.

například 0,36 mm, což pořád splňuje podmínku tolerance $\pm 0,04$ mm, tak by nešlo rádius zařadit ani do jedné z kategorií. Podmínka $r_e > 0,4$ mm pravděpodobně platí až pro rádius 0,8 mm, který je ve škále standardně poskytovaných velikostí rádiusů hned nad hodnotou rádiusu 0,4 mm. V normě není nic uvedeno k případu, když tento problém nastane. V protokolu o zkoušce tedy bude uvedeno, že podmínku parametru r_e zvolená VBD nesplňuje.

3.2.3.4 Řezný nástroj pro zkoušku měrného řezného odporu

Při výběru nástroje pro zkoušku měrného řezného odporu bylo zapotřebí dbát podmínek, které jsou uvedeny v kapitole *Měrný řezný odpor* na straně 22. Další podmínka, jež ovlivnila výběr držáku pro tuto zkoušku, byla, že průřez upínací části musí mít 12×12 mm.

Držák nástroje

Držák odpovídající stanoveným podmínkám byl nabízen společností Iscar. Jedná se o držák s označením *SWAPL 1212-06*. Držák je možné vidět na obrázku (Obr. 15). V tabulce (Tabulka 17) jsou uvedeny parametry držáku, kde zleva doprava je uvedena výška upínací části h_1 , šířka upínací část b_1 , funkční šířka f_1 , funkční délka l_1 , úhel sklonu ostří λ_s a úhel nastavení hlavního ostří κ_r .



Obr. 15: Držák soustružnického nože
SWAPL 1212-06 [25]

Tabulka 17: Rozměry a parametry držáku *SWAPL 1212-06* [25]

h_1 [mm]	b_1 [mm]	f_1 [mm]	l_1 [mm]	λ_s [°]	κ_r [°]
12	12	12,1	150	0	0

Vyměnitelná břitová destička

Zvolenému držáku odpovídala podle vymezených podmínek břitová destička s označením *WPEB 060404N08* s tenkou vrstvou s označením *IC908*. Jedná se o přesně broušenou trigonometrickou destičku s úhlem hřbetu $\alpha 8^\circ$ s plochým čelem. Právě ploché čelo destičky zajišťuje podmínku velikosti úhlu čela v ortogonální rovině $\gamma_o 0^\circ$. V následující tabulce (Tabulka 18) jsou uvedeny parametry zvolené břitové destičky, kde zleva doprava je uvedena délka řezné hrany L , tloušťka destičky S , rádius špičky r_e , úhel hřbetu α , interval doporučeného posuvu na otáčku f_o a rozsah doporučené hloubky řezu a_{p0} .

Tabulka 18: Parametry destičky *WPEB 060404N08 IC908* [25]

L [mm]	S [mm]	r_e [mm]	α [°]	f_o [mm/ot]	a_p [mm]
6,0	4,0	0,4	8,0	0,05 – 0,2	0,2 – 3,0

3.2.4 Řezné podmínky

3.2.4.1 Zkoušky obrobitelnosti oceli 42SiCr

Řezné podmínky byly voleny z tabulky (Tabulka 7) pro standardní řezné podmínky a tabulky (Tabulka 8) pro nestandardní řezné podmínky. V tabulce pro standardní podmínky byla zvolena varianta A, jelikož je rádius špičky destičky 0,4 mm. Posuv na otáčku má v této variantě hodnotu 0,1 mm/ot. Z důvodu malého množství testovaného materiálu bylo vhodné zvolit minimální možnou hloubku řezu, kterou norma dovoluje. Ta je uvedena v tabulce (Tabulka 8) pro nestandardní řezné podmínky a uvádí, že minimální hloubka řezu musí být dvakrát větší než velikost rádiusu špičky destičky. Z tohoto vychází, že minimální hloubka řezu je 0,8 mm. Řezný proces musí být podle požadavků normy prováděn bez chladicí kapaliny.

Řezná rychlost

Jelikož řešerše nijak nenastínila jakou řeznou rychlost je příhodné zvolit, tak bylo zapotřebí vhodnou řeznou rychlost odhadnout a přizpůsobit až v průběhu experimentu. Ten byl realizován na vzorku č. 2, jelikož obsahoval o jednu zkušební tyč navíc. Tento vzorek byl vyhrazen právě pro zkoušky k získání vhodných řezných rychlostí.

Parametry dané normou pro volbu řezných rychlostí jsou takové, že je zapotřebí zvolit nejméně čtyři řezné rychlosti, z nichž nejvyšší musí být v řezu nejméně 5 min. Parametr doby bříty v řezu bylo předběžně před zkouškou těžké určit, jelikož nebylo jasné s jakou intenzitou se bude břit otupovat. Před zahájením samotného experimentu bylo potřeba provést pre-experiment, během něhož byla určena řezná rychlost, při které byl parametr doby bříty v řezu splněn. Pomocí výpočtu byla stanovena řezná rychlost při které, ovšem pouze matematicky, je splněna podmínka pěti minut v řezu. Tato řezná rychlost byla zvolena jako výchozí a její hodnota je 79 m/min.

Poslední podmínka potřebná k provedení zkoušky byla hodnota kritériálního opotřebení hřbetu VB_{krit} . Ta je definovaná normou a má být 600 μm . Z důvodu menší zvolené břitové destičky a malého množství zkušebního materiálu byla hodnota kritériálního opotřebení na hřbetu snížena na 300 μm . Normou či jiným způsobem stanovené řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 19), kde je zleva doprava uvedená řezná rychlost, posuv na otáčku, hloubka řezu a kritériální opotřebení hřbetu.

Tabulka 19: Prvotní stanovené řezné podmínky pro zkoušku obrobitelnosti oceli 42SiCr

v_c [m/min]	f_o [mm/ot]	a_p [mm]	VB_{Bkrit} [μm]
79	0,1	0,8	300

3.2.4.2 Zkouška obrobitelnosti etalonové oceli

Aby bylo vyhodnocení zkoušek obrobitelností pružinové a etalonové oceli a z nich následné určení tříd obrobitelnosti správné, bylo zapotřebí provést zkoušky za stejných řezných podmínek. Jediné změny byly provedeny u řezné rychlosti. Předběžná hodnota výchozí řezné rychlosti byla zvolena 150 m/min. Řezné podmínky s předběžnou výchozí řeznou rychlostí jsou uvedeny

v tabulce (Tabulka 20), kde zleva doprava uvedená je řezná rychlost, posuv na otáčku, hloubka řezu a kritériální opotřebení hřbetu.

Tabulka 20: Prvotní stanovené řezné podmínky pro zkoušku obrobiteľnosti etalonové oceli

v_c [m/min]	f_o [mm/ot]	a_p [mm]	VB_{krit} [μm]
150	0,1	0,8	300

3.2.4.3 Zkouška měrného řezného odporu

Pro tuto zkoušku nebyly zvoleny standardizované podmínky, kterými jsou $a_p = 1$ mm a $f_o = 1$ mm. Byl zvolen nižší posuv, a to z toho důvodu, aby během řezného procesu nedošlo k destrukci břitu nebo přetížení obráběcího stroje, což by vedlo k zastavení nástroje v řezu. V obou případech by zkouška nemohla být vyhodnocena. Modifikované řezné podmínky jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 21). Jsou jimi posuv na otáčku $f_o = 0,5$ mm/ot a hloubka řezu a_p 1 mm. Tento měrný řezný odpor bude dále v práci označován jako $k_{c0,5}$, jelikož je průřez odřezávané vrstvy $0,5$ mm². Aby byl měrný řezný odpor vyhodnocen správně, bylo potřeba provést měření alespoň pro čtyři řezné rychlosti. Jako výchozí řezná rychlost byla zvolena rychlost v_c 70 m/min. Podle průběhu řezného procesu během experimentu při výchozí řezné rychlosti byly dále voleny rychlosti buď vyšší nebo nižší.

Tabulka 21: Řezné podmínky pro zkoušku měrného řezného odporu $k_{c0,5}$

f_o [mm/ot]	a_p [mm]	$v_{c\text{ vých.}}$ [m/min]
0,5	1	70

3.2.5 Upnutí vzorků ve stroji

Zkoušky obrobiteľnosti ocelí 42SiCr

Pro upnutí obrobku ve stroji byla použita kleština pro průměry 20 mm. Vzorky byly z důvodu tuhosti upnutí potřeba podepřít otočným hrotem. Středící dűlky byly již na vzorcích opatřeny, a tak nebylo nutné je před experimentem zhotovit. Bylo potřeba určit velikost vyložení vzorků z upínací kleštiny. Od vyložení se dále odvíjela délka dráhy, po kterou je břit v řezu při jednom úběru. Kvůli malému množství zkušebnímu materiálu bylo zapotřebí zvolit vyložení obrobku co největší, aby bylo možno obrobení co největšího objemu materiálu. Co největší vyložení ovšem nesmělo být na úkor dostatečně tuhého upnutí, které bylo nutné zajistit. Ze zkušeností obsluhy stroje bylo, vzhledem k rozměrům polotovaru, doporučeno upnutí minimálně za 15 mm. Vyložení obrobku tady bylo 115 mm.

Zkouška obrobiteľnosti etalonové oceli

Polotovaru byl ve stroji upnut pomocí sklíčidla opatřeného tvrdými čelistmi. Jelikož se jednalo o velice objemný a těžký obrobek s velkým vyložení, tak bylo potřeba podepření obrobku

otočným hrotem. Vyložení polotovaru bylo 190 mm.

Zkouška měrného řezného odporu

Jelikož se jedná o stejné polotovary jako u zkoušek obrobiteľností testovaného materiálu, tak bylo upnutí ve stroji stejné. Jediné co se odlišovalo bylo to, že z důvodu menšího vyložení materiálu z kleštiny, jež bylo 25 mm, nebylo zapotřebí podepírání otočným hrotem.

3.2.6 Postupy zkoušek

Zkoušky obrobiteľnosti oceli 42SiCr

Pro zkoušky byl zvolen takový postup, aby odpovídal požadavkům normy. Ty jsou uvedeny výše v kapitole *Postup zkoušky trvanlivosti nástroje* na straně 31. Měření opotřebení hřbetu nástroje na digitálním mikroskopu bylo prováděno po každém řezu. To zajistilo postačující množství naměřených hodnot pro dostatečně přesné určení času trvanlivosti nástroje jednotlivých řezných rychlostí. Byla měřena hodnota VB_B max. Řezná rychlost u jednotlivých vzorků byla po definovaném kroku zvyšována do té doby, než byla nalezena taková řezná rychlost, u které bylo dosaženo kritériální hodnoty opotřebení na hřbetu po jednom řezu. Poté byly voleny řezné rychlosti nižší, a to do doby, než bylo měření provedeno při minimálně čtyřech řezných rychlostech nebo do spotřebování zkušebních vzorků. Naměřené hodnoty byly zaznamenávány do tabulky.

Z důvodu malého množství zkušebních vzorků bylo rozhodnuto, že zkušební materiály budou zařazeny do normou dané kategorie drahých materiálů, u nichž je minimální doba v řezu při nejvyšší řezné rychlosti minimálně 2 min. Snaha ovšem byla dosáhnout a pohybovat se okolo kritéria 5 min v řezu.

Zkouška obrobiteľnosti etalonové oceli

Postup této zkoušky byl obdobný zkouškám obrobiteľnosti oceli 42SiCr. Z důvodu většího průměru a větší délky obrobku byla dráha řezu, pro měření opotřebení hřbetu nástroje na digitálním mikroskopu, v průběhu obrábění po určitých vzdálenostech přerušována. Obráběním s postupně nižšími řeznými rychlostmi, u nichž se prodlužovala trvanlivost břitů, byla ujetá dráha mezi jednotlivými měřeními na mikroskopu prodlužována. To aby se opotřebení na hřbetu nástroje neustále zvyšovalo.

Zkouška měrného řezného odporu

Postup pro zkoušku měrného řezného odporu byl takový, že před každým měřením byla do programu stroje zadefinována zvolená řezná rychlost. Následovalo seřízení a připravení aparatury pro měření řezných sil. To znamená definování řezných podmínek a přehledná identifikace měřicího dokumentu. Před každým spuštěním programu a vniknutím břitů do obrobku byl spuštěn program zaznamenávající řezné síly. Po ukončení řezu a měření následovalo vyhodnocení a odečtení potřebných sil. Podle průběhu obrábění byla následně zvolena buď vyšší nebo nižší řezná rychlost. Pro každý vzorek byla provedena minimálně čtyři měření s různými rychlostmi. Odečtené hodnoty byly zaznamenávány do tabulky.

3.3 Realizace experimentů

3.3.1 Zkoušky obrobitelnosti oceli 42SiCr

Před zahájením experimentu bylo nutné nejdříve připravit pracoviště. To zahrnovalo upnutí všech potřebných komponentů do stroje. Tedy upnutí dynamometru do revolverové hlavy, kleštiny do hlavního vřetena a otočného hrotu do protivřetena. Dalším zařízením, co bylo potřeba připravit a ověřit, byl digitální mikroskop. Pro měření opotřebení břitu hřbetu na mikroskopu byl pro rychlejší měření zhotoven přípravek, který umožňuje umístění břitové destičky na mikroskopu do stejné polohy.

Zapotřebí bylo také upnout nožový držák s břitovou destičkou do držáku dynamometru a jeho polohu zadefinovat do programu stroje. Pak upnout samotný zkušební vzorek do kleštiny s vyložení 15 mm a zadefinovat nulový bod obrobku do programu. Na obrázku (Obr. 16) je znázorněn pohled do pracovního prostoru stroje, kde je vlevo možné vidět hlavní vřeteno s kleštinou. Vpravo je otočný hrot s upraveným hrotem pro možnost soustružení do malých průměrů. Mezi hlavním vřetenem a otočným hrotem je zkušební vzorek. Jako poslední je v pravém horním rohu na obrázku vidět piezoelektrický dynamometr s upnutým nástrojem.



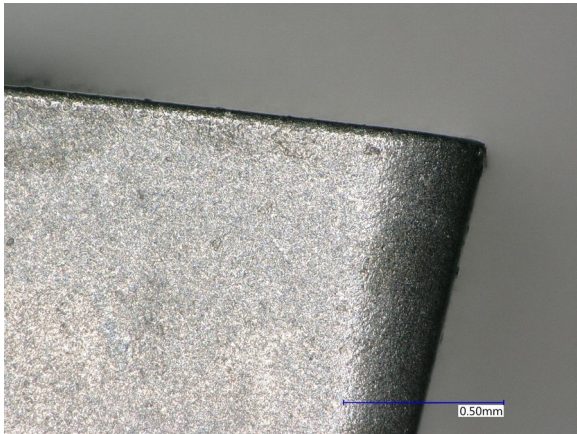
Obr. 16: Pohled do pracovního prostoru stroje při zkoušce obrobitelnosti oceli 42SiCr

Dále bylo nutné pro realizaci experimentu vytvořit program pro obrábění. Ten byl vytvořen přímo na stroji a jednalo se o jednoduchý program pro podélné soustružení, ve kterém bylo definováno, že po každém řezu odjel nástroj, kvůli snadnému vyjmutí a upevnění břitové destičky, do bezpečné vzdálenosti od obrobku.

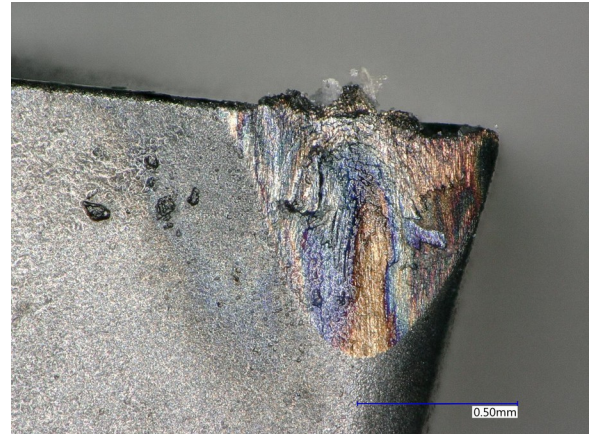
3.3.1.1 Pre-experiment

Než bylo zahájeno samotné měření, tak byl proveden pre-experiment na jedné zkušební tyči vzorku č. 2, jehož hlavním cílem bylo zjistit vhodnost stanovených rezných podmínek, které jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 19), a případné optimalizování těchto podmínek. Při prvním řezu s těmito podmínkami bylo již v průběhu řezání zřejmé, že podmínky nejsou vhodné. Během

řezného procesu docházelo k vibracím a tavení třísky. Následné měření na mikroskopu toto tvrzení potvrdilo. Snímek břitu z měření na mikroskopu je zobrazen na obrázku (Obr. 18). Na tomto obrázku je zobrazen pohled na hlavní hřbet břitu, kde je vidět, že došlo k velice výraznému opotřebení. Na obrázku (Obr. 17) je uveden snímek původního stavu břitu, tedy nový břit. Měřítka všech snímků břitů uvedených v této práci je 500 μm . Vlivem této skutečnosti, že došlo k tak rychlému opotřebení břitu, bylo zapotřebí změnit řezné podmínky.



Obr. 17: Nový břit



Obr. 18: Stav břitu po prvním řezu při prvotních řezných podmínkách

Byla navržena změna hloubky řezu na 0,6 mm. Tato hodnota hloubky řezu sice není definována normou ani jako nestandardní podmínka, ale kvůli vlastnostem zkušební vzorku a chování při obrábění, bylo potřeba tuto hodnotu snížit. K této hloubce řezu byla dopočtena řezná rychlost, taková, při níž bude břit v řezu při obrobení jednoho vzorku 5 min. Tato řezná rychlost má hodnotu 105 m/min. Výsledek zkoušky s těmito novými podmínkami dopadl obdobně jako s podmínkami původními, a to, že během prvního řezu došlo k takovému opotřebení břitu, se kterým by nešlo dále obrábět.

Pro další pokus byl ponechán posuv na otáčku 0,1 mm/ot a hloubka řezu 0,6 mm a byla snížena řezná rychlost na 70 m/min. Při použití těchto řezných podmínek již vyšlo takové opotřebení hřbetu, které bylo pro správné vyhodnocení zkoušky použitelné. S těmito podmínkami se tedy v měření dále pokračovalo, aby bylo zjištěno, jak se opotřebení na hřbetu bude dále vyvíjet. Opotřebení v průběhu experimentu postupně narůstalo. Bohužel kritériální hodnoty opotřebení hřbetu nebylo dosaženo, a to z důvodu vyčerpání testovacího vzorku. Díky příznivému vývoji intenzity opotřebování břitu byly tyto podmínky stanoveny jako výchozí řezné podmínky pro zkoušky trvanlivosti břitu testovaných vzorků. Hodnoty nových zvolených řezných podmínek jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 22).

Tabulka 22: Optimalizované řezné podmínky

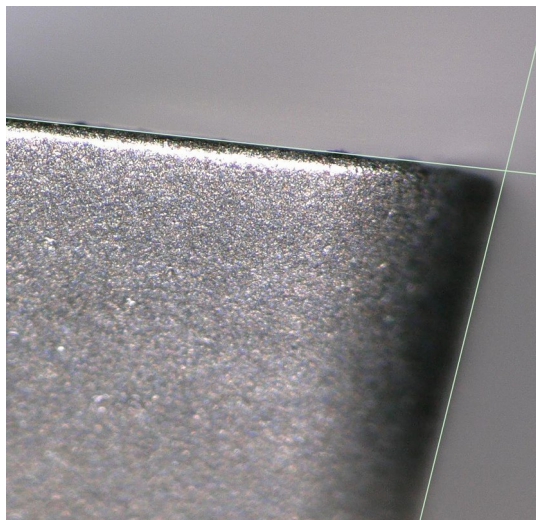
v_c [m/min]	f_o [mm/ot]	a_p [mm]	VB_{krit} [μm]
70	0,1	0,6	300

Po pre-experimentu již následovaly měření pro jednotlivé zkušební vzorky. Zkoušky byly prováděny přesně podle postupu, jenž je uvedený výše. V následujícím textu bude podrobněji

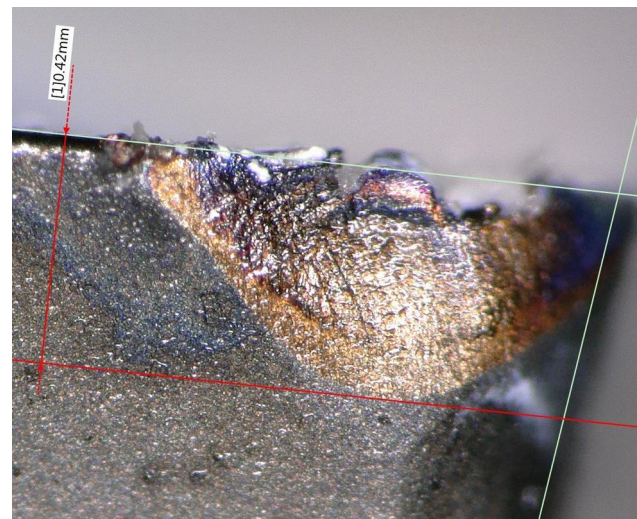
popsána celá zkouška pro jedenu sérii zkušebních vzorků.

3.3.1.2 Experiment

V této kapitole je popsána zkouška obrobiteľnosti pro vzorky č. 5. Před začátkem každého měření, a pokaždé, kdy nastala změna břitu a řezné rychlosti, byl na digitálním mikroskopu udělán snímek nového břitu. Ve speciálním programu, kterým je digitální mikroskop ovládán a pomocí kterého lze na mikroskopu měřit, byly na zvětšeném obraze břitu zhotoveny pomocné přímky, jež kopírují jeho obrys. Tyto přímky jsou potřebné k měření velikosti opotřebení. Je možné je vidět na obrázku nového břitu (Obr. 19). Po zhotovení snímku nového břitu byla břitová destička upnuta do držáku nástroje a do programu stroje byly zadefinovány řezné podmínky. Jako první byly použity podmínky určené pre-experimentem.



Obr. 19: Nový břit s pomocnými přímkami

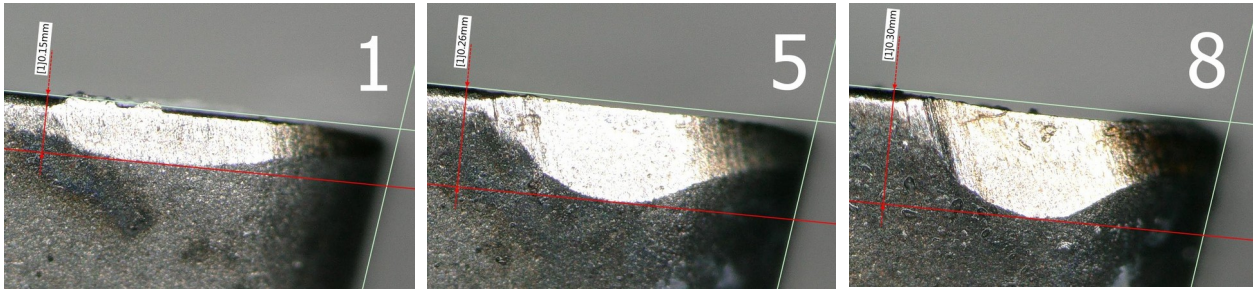


Obr. 20: Měření a stav břitu po prvním řezu při v_c 70 m/min u vzorku č. 5

Po obrobení první vrstvy byla destička vyjmuta z držáku, očištěna a následně změřena na mikroskopu. Na hřbetu byla měřena hodnota VB_B max. Měření na mikroskopu probíhalo tak, že od pomocné přímky definující původní břit byla vynesena měřicí kóta, kterou byla změřena velikost opotřebení VB_B max. Stav břitu po prvním řezu a jeho měření je možné vidět na obrázku (Obr. 20). Na obrázku má měřicí kóta červenou barvu. U kóty je v bílém rámečku v závorkách uvedené pořadové číslo kóty a následně hodnota kóty v milimetrech. Tyto dva údaje je možné vidět na obrázku (Obr. 20) v levém horním rohu. Výsledná hodnota VB_B max. je 0,42 mm, tedy 420 μ m, a jelikož kritériální hodnota opotřebení břitu VB_{krit} byla stanovena na 300 μ m, tak bylo možné toto měření při zvolené řezné rychlosti ukončit. Výsledná hodnota byla uvedena do tabulky. Tabulky s veškerými naměřenými hodnotami jsou uvedeny v příloze D. Důvod proč u tohoto vzorku bylo dosaženo hodnoty VB_{krit} po prvním řezu s řeznou rychlostí stanovenou pre-experimentem 70 m/min je ten, že tento vzorek má oproti vzorku č. 2 vyšší pevnost a tvrdost.

Z výsledku měření bylo zřejmé, že řezná rychlost 70 m/min je moc vysoká, a tudíž bylo pro následující měření zapotřebí zvolit nižší řeznou rychlost. Ta byla snížena o normou doporučený krok 1,12 na hodnotu 62,5 m/min. Při této řezné rychlosti již bylo dosahováno pro vyhodnocení zkoušky vhodných výsledků. Opotřebení břitu postupně rostlo. Vývoj opotřebování hřbetu je

možný vidět na obrázku (Obr. 21), kde je zleva uvedené měření po prvním, pátém a osmém řezu.



Obr. 21: Vývoj opotřebení břitu při v_c 62,5 m/min u zkoušky vzorku č. 5

Všechny naměřené hodnoty této řezné rychlosti jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 23). V prvním řádku tabulky jsou uvedeny řezné podmínky, tedy řezná rychlost v_c , posuv na otáčku f_o , hloubka řezu a_p a hodnota kritériálního opotřebení VB_{krit} . Dále jsou v tabulce uvedeny sloupce, kde zleva doprava je číslo řezu, výchozí průměr D , dráha řezu L a naměřené hodnoty opotřebení VB_B max. Takováto tabulka byla použita pro všechny řezné rychlosti ve všech testovaných materiálech. U tohoto zkušební vzorku byly použity rychlosti v_c 70; 62,5; 56 a 50 m/min.

Tabulka 23: Tabulka s naměřenými hodnotami při v_c 62,5 m/min u zkoušky vzorku č.5

$v_{c3} = 56$ [m/min] $f_o = 0,1$ [mm/ot] $a_p = 0,6$ [mm] $VB_{krit} = 300$ [μ m]			
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μ m]
1.	17,6	110	140
2.	16,4	110	170
3.	15,2	110	190
4.	14	110	190
5.	12,8	110	190
6.	11,6	110	200
7.	10,4	110	200
8.	9,2	110	200
9.	20	110	320

Mimořádné jevy nastalé během měření ostatních vzorků

V průběhu měření vzorku č. 1 docházelo u řezné rychlosti 50 m/min k tvorbě nárůstku. Nárůstek je vrstva materiálu třísky, která ulpívá na břitu nástroje a vyznačuje se vysokou pevností a tvrdostí (2 až 3krát vyšší než materiál třísky). Je schopný řezat a přebírá po dobu své stability funkci břitu [17]. Nárůstek je ve většině případů nežádoucí jev, který má negativní účinky na břit, jelikož při zániku částice nárůstku ulpívají na třisce, se kterou odchází a způsobují vyšší opotřebení čela nástroje. Jiné částice nárůstku ulpívají na obrobené ploše, kterou poškozují a zhoršují její jakost [26]. Vlivem skutečnosti tvorby nárůstku nebyla tato řezná rychlost

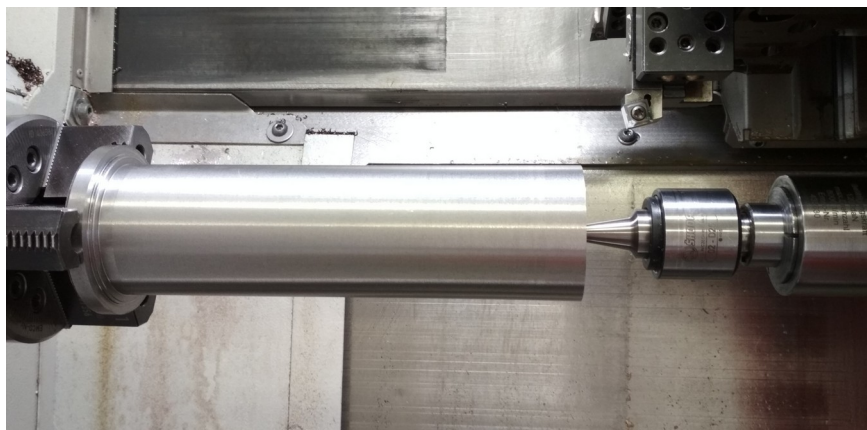
zahrnuta do vyhodnocení zkoušky, nicméně však byla do protokolu o zkoušce uvedena poznámka zmiňující tento jev.

Jak bylo uvedeno výše v postupu zkoušky, tak byla u testovaných materiálů snaha nalézt limitní řeznou rychlost, u které byla kritériální hodnota opotřebení překonána po jediném řezu. Tohoto cíle bylo dosaženo u všech testovaných vzorků kromě vzorků č. 4. U těchto vzorků byla řezná rychlost po daném kroku zvyšována až do rychlosti 121,6 m/min, u které stále nebylo limitní řezné rychlosti dosaženo. Nicméně doba v řezu u této rychlosti byla méně než dvě minuty, tedy méně než normou dovolená nejnižší možná doba v řezu. Aby zbylo dostatek zkušebního materiálu pro nižší řezné rychlosti, při kterých bude dodržena podmínka doby v řezu stanovená normou, bylo stanovování hraniční hodnoty řezné rychlosti přerušeno.

Při obrábění všech vzorků se tvořila nežádoucí dlouhá plynulá tříška, kvůli které musel být řezný proces v několika případech přerušen, aby mohla být odstraněna tříška, která se namotala na obrobku před břitem. Tato skutečnost nijak neovlivnila výsledky zkoušek. Naměřené hodnoty ze všech měření jsou uvedeny v příloze této práce s označením D.

3.3.2 Zkouška obrobiteľnosti etalonového materiálu

Příprava pracoviště se u této zkoušky lišila pouze v upnutí univerzálního sklíčidla do vřetene stroje a upevnění tvrdých čelistí do sklíčidla. Čelisti musely být rozevřeny tak, aby po jejich sevření bylo zajištěno dostatečně tuhé upnutí polotovaru. Na obrázku (Obr. 22) lze vidět pohled do pracovního prostoru stroje, kde na levé straně je sklíčidlo, ve kterém je upnut testovaný materiál. Na pravé straně obrázku je zobrazen otočný hrot a nad ním upnutý řezný nástroj.



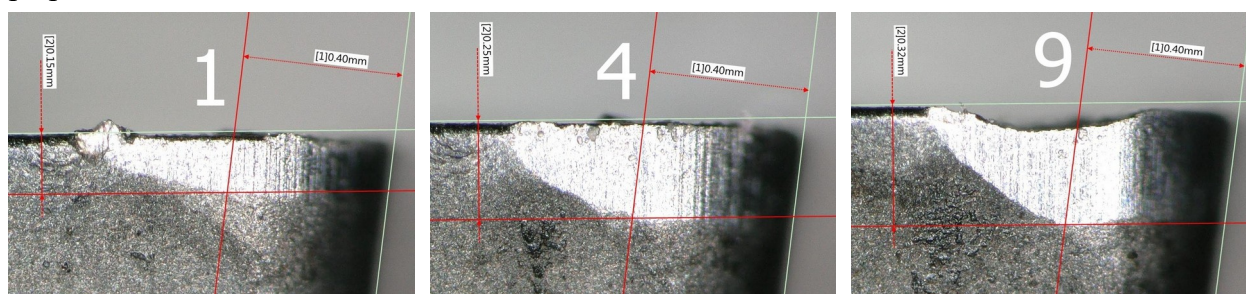
Obr. 22: Pohled do pracovního prostoru stroje při zkoušce obrobiteľnosti etalonové oceli

3.3.2.1 Experiment

Jelikož se jedná o stejnou zkoušku jako při experimentu s pružinovou ocelí 42SiCr, tak již v této kapitole není dopodrobna popisován průběh experimentu. Jsou zde popsány pouze odlišnosti v průběhu a naměřené hodnoty jednoho měření. Kromě řezné rychlosti byly zvoleny podmínky z tabulky (Tabulka 22) s optimalizovanými řeznými podmínkami, která je uvedena na straně 48. Pro první měření byla použita výše stanovená výchozí řezná rychlost 150 m/min. Po prvním řezu bylo při měření na mikroskopu zjištěno, že při této řezné rychlosti byla po jednom řezu přesažena stanovená hodnota VB_{krit} . Po této skutečnosti byla řezná rychlost snížena na

hodnotu 100 m/min, u které sice již nebyla přesažena hodnota VB_{krit} po jednom řezu, nicméně měla takovou hodnotu, že při dalším by jistě došlo k přesažení. Vlivem tohoto by byla v grafu pro vyhodnocení trvanlivosti břitu křivka znázorňující vývoj opotřebení pro danou řeznou rychlost určena pouze dvěma body. Norma ovšem stanovuje, že je potřeba pro stanovení křivky minimálně pět experimentálně naměřených bodů. Z tohoto důvodu byla původní dráha řezu rozdělena na kratší úseky.

Po aplikování této strategie bylo již pro zhotovení křivky vývoje řezné rychlosti 100 m/min naměřeno dostatečné množství hodnot. Na následujícím obrázku (Obr. 23) je zobrazen vývoj opotřebení na hřbetu při této řezné rychlosti. Na obrázku jsou zleva doprava zobrazené měření po prvním, čtvrtém a devátém řezu.



Obr. 23: Vývoj opotřebení břitu při v_c 100 m/min u zkoušky etalonové oceli

Kompletní vývoj opotřebení při $v_c = 100$ m/min je uvedený v tabulce (Tabulka 24). Řezné rychlosti použité při této zkoušce měly hodnoty 112; 100; 89; 79 a 70,5 m/min. Kromě $v_c = 112$ m/min se u všech ostatních rychlostí v průběhu obrábění tvořil nárůstek a nežádoucí plynulá tříška, která se namotávala před břitkem na obrobku. V několika případech bylo zapotřebí řezný proces zastavit a tříšku odstranit, aby nedošlo k poškození břitu a ohrožení průběhu zkoušky.

Tabulka 24: Tabulka s naměřenými hodnotami při v_c 100 m/min u zkoušky etalonové oceli

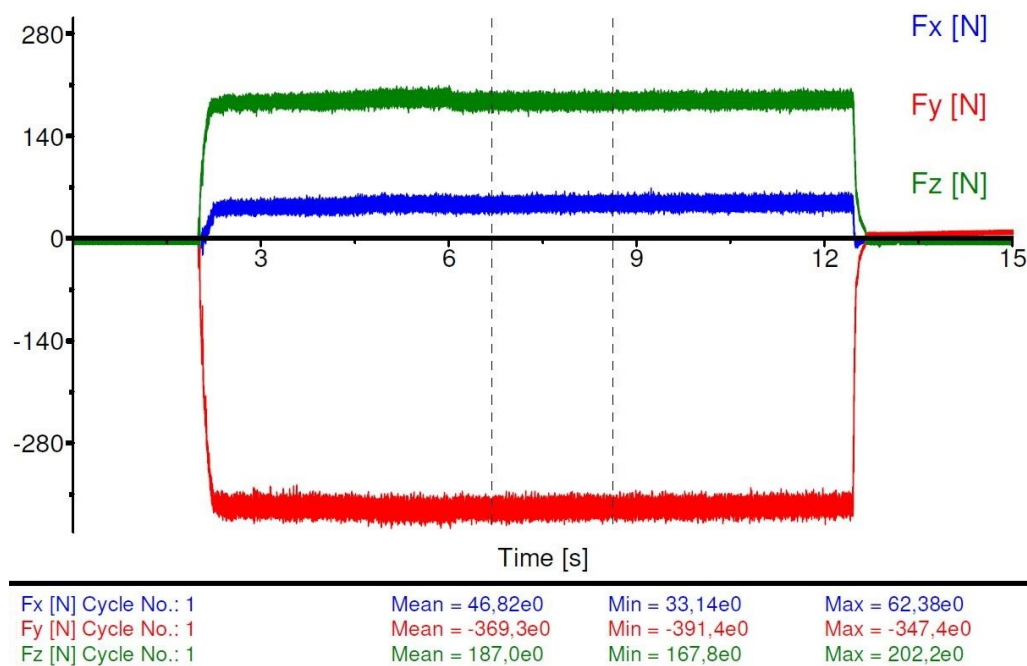
$v_{c3} = 100$ [m/min] $f_o = 0,1$ [mm/ot] $a_p = 0,6$ [mm] $VB_{krit} = 300$ [μ m]			
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μ m]
1.	67,1	30	150
2.	67,1	30	190
3.	67,1	30	220
4.	67,1	30	250
5.	67,1	22	260
6.	67,1	43	280
7.	65,9	30	290
8.	65,9	30	300
9.	65,9	30	320

3.3.3 Zkouška pro zjištění měrného řezného odporu

Stejně jako u předchozích zkoušek, tak i u této bylo pro správné a úplné provedení experimentu zapotřebí připravit pracoviště. Po upnutí zkušební vzorku, jak je uvedeno v kapitole *Upnutí vzorků ve stroji* bylo dále zapotřebí upnout dynamometr s nástrojem do stroje. Dynamometr bylo potřeba propojit příslušnými kabely se zesilovačem, digitalizační kartou a počítačem vybaveným speciálním programem pro vyhodnocování řezných sil. Poté bylo důležité ověřit funkčnost celé aparatury pro měření sil. V měřícím programu bylo dále nutné nastavit parametry rozsahů měření pro jednotlivé kanály řezných sil a čas záznamu. Rozsahy měření musí být takové, aby během měření nedošlo k přetížení kanálu nebo aby záznam řezných sil neměl příliš malé rozlišení. To bylo před začátkem měření možné stanovit pouze odhadem na základě zvolených řezných podmínek. Po prvním měření byly hodnoty rozsahů buď ponechány, nebo došlo k optimalizaci a novému měření. Čas záznamu bylo nutné stanovit takový, aby nedošlo k ukončení záznamu před koncem řezu. Jako poslední bylo nutné sestrojít program stroje a definovat nulové body.

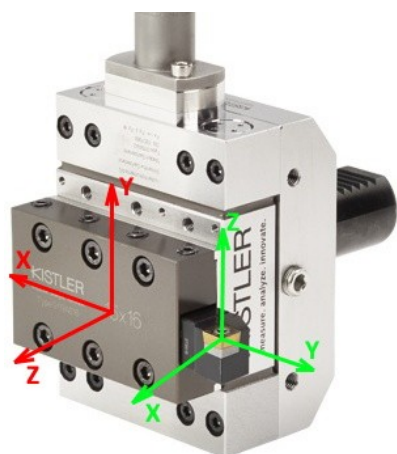
Samotné měření probíhalo tak, že byl před spuštěním programu stroje zapnut program na záznam řezných sil a po vyjetí nástroje z řezu záznam manuálně vypnut. Poté následovalo vyhodnocení záznamu, a to odečtením hodnoty požadované složky řezné síly. Během prvního řezu se zvolenými podmínkami, jež jsou uvedeny v tabulce (Tabulka 21), sice nedošlo k přetížení obráběcího stroje, ale došlo k destrukci řezného břitů. Řezné podmínky musely být z tohoto důvodu dále upraveny, a to tak, že byl snížen posuv f_o na hodnotu 0,1 mm/ot. Bylo zapotřebí i změnit označení na $k_{c0.1}$. U těchto podmínek již nedocházelo k destrukcím břitů.

Záznam jednoho měření je zobrazen na následujícím obrázku (Obr. 24). Na obrázku je možné vidět vykreslené křivky naměřených řezných sil, tedy sílu ve směru hlavního řezného pohybu F_y , přísluvu F_x a posuvu F_z . Dále jsou na obrázku pod grafem zobrazeny naměřené maximální (Max), minimální (Min) a střední (Mean) hodnoty pro jednotlivé silové složky.



Obr. 24: Vyhodnocování řezných sil

Pro zjištění naměřených hodnot bylo zapotřebí zvolit oblast měření, která je na obrázku (Obr. 24) vymezena dvěma svislými přerušovanými čarami. Oblast je volena ve střední části měření, a to nejlépe v oblasti, kde jsou síly ustálené. Střední část je volena z toho důvodu, že při vjetí a vyjetí břitu do a z obrobku dochází k rozkmitání soustavy. Vyhodnocována byla pouze složka řezné síly ve směru hlavního řezného pohybu F_z , která je ovšem z důvodu odlišného souřadnicového systému dynamometru se systémem nástroje uvedena v protokolu měření jako síla F_y . Pro orientaci v souřadnicových systémech je níže uveden obrázek (Obr. 25), kde červeně je zobrazen systém dynamometru a zeleně systém nástroje. Vyhodnocována byla tedy síla F_y , u které byla odečítána střední hodnota (Mean). Ta má tedy v případě uvedeném na obrázku (Obr. 24) v absolutní hodnotě 369,3 N. Tímto způsobem byly vyhodnoceny síly pro všechny zkušební vzorky. Pro ukázkou je níže uvedena tabulka (Tabulka 25) se všemi naměřenými hodnotami u vzorku č.3, kde je zleva uvedeno číslo měření, řezná rychlost v_c a naměřená střední hodnota mean. Tabulky s naměřenými hodnotami všech vzorků jsou uvedeny v příloze D.



Obr. 25: Odlišnost souřadnicových systémů dynamometru a nástroje

Tabulka 25: Naměřené hodnoty sil F_z pro různé v_c u vzorku č.3

Vzorek 3		
poř. č.	v_c [m/min]	F_z [N]
1	70	359,6
2	98	353,5
3	56	389,0
4	80	363,1

3.4 Vyhodnocení experimentů

3.4.1 Zkouška obrobitelnosti

Cílem zkoušky je určit index obrobitelnosti i_o , díky kterému je možné stanovit třídu obrobitelnosti testovaného materiálu. Index obrobitelnosti je možné určit pomocí Taylorova vztahu pro testovaný a etalonový materiál. Taylorův vztah je možné dále využívat k určení trvanlivostí břitů pro různé řezné rychlosti u daného materiálu obrobku. Vzorec indexu obrobitelnosti (1) je uvedený na straně 18 a vzorec Taylorova vztahu (5) na straně 33. V následujícím textu bude popsán postup výpočtu Taylorova vztahu pro zkušební vzorek č. 5. Výpočty pro ostatní vzorky jsou uvedeny v příloze D této práce.

Jako první je potřeba sestavit graf, který udává závislost opotřebení na hřbetu na době řezu. Z tohoto grafu je následně možné zjistit trvanlivosti břitů T při určitých řezných rychlostech. Tento graf je možné vidět na obrázku (Obr. 6) na straně 32 a na obrázku (Obr. 26). Pro sestavení grafu je tedy zapotřebí znát hodnoty VB_B max. a dobu, po jakou byl břit v řezu t . Hodnoty

VB_B max. byly experimentálně naměřeny a dobu v řezu t bylo potřeba dopočítat. Pro výpočet času v řezu byl použit vzorec:

$$t = \frac{L}{v_f} \quad (9)$$

kde t je čas [min], L je ujetá dráha nástrojem při jednom řezu [mm] a v_f je posuvová rychlost [mm/min]

Posuvová rychlost potřebná do vzorce (9) byla vypočtena pomocí vzorce:

$$v_f = \frac{n}{f_o} \quad (10)$$

kde v_f je posuvová rychlost [mm/min], n jsou otáčky vřetena [ot/min] a f_o je posuv za otáčku [mm/ot]

Do vzorce pro posuvovou rychlost je zapotřebí znát otáčky a pro jejich zjištění byl použit vzorec:

$$n = \frac{1000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} \quad (11)$$

kde n jsou otáčky vřetena [ot/min], v_c je řezná rychlost [m/min], a D průměr obráběné plochy [mm]

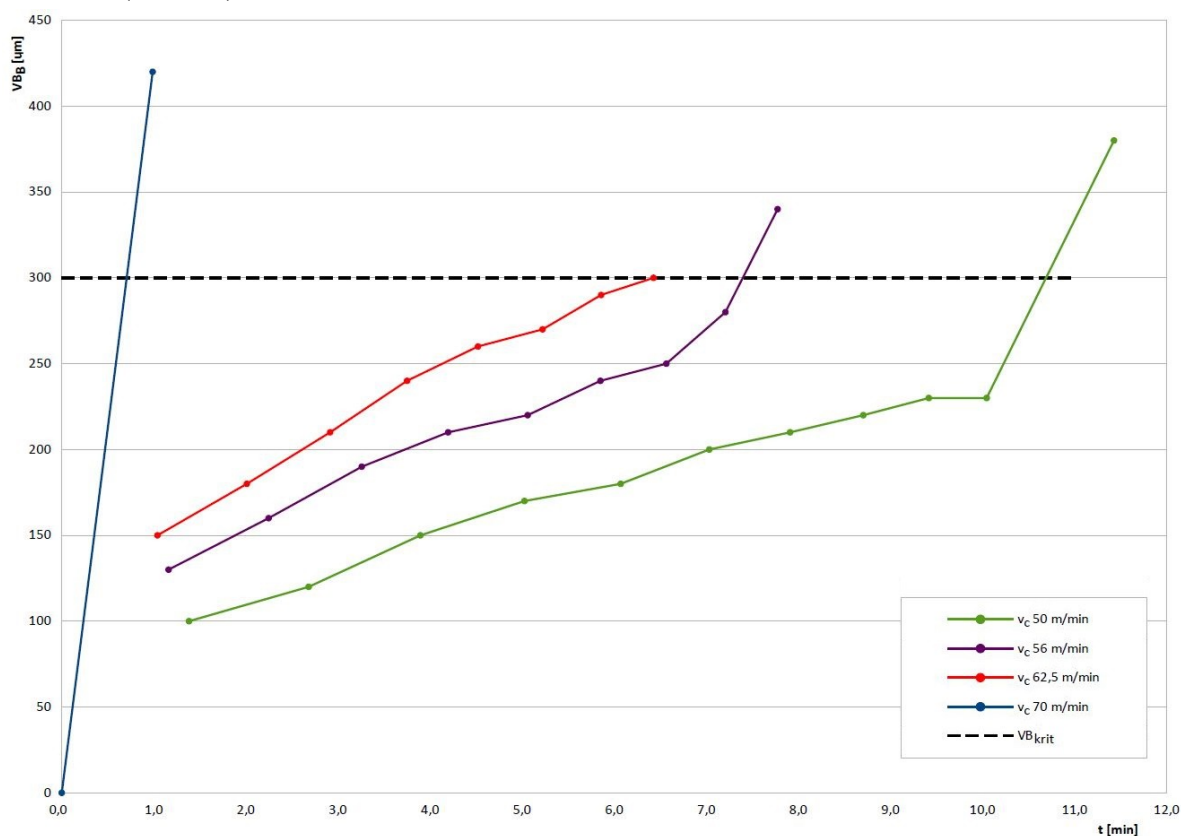
3.4.1.1 Zkoušky obrobiteľnosti zkušebních vzorků oceli 42SiCr

Za pomoci výše uvedených vzorců je možné vypočítat dobu v řezu pro každý jednotlivý řez. Pro dobrý přehled zvolených, změřených a vypočítaných hodnot byla pro každou řeznou rychlost u zkušebních vzorků zhotovena tabulka. Jedná se rozšířené tabulky (Tabulka 23) a (Tabulka 24), které je možné vidět výše. Pro ukázkou je jedna tabulka pro řeznou rychlost 56 m/min u vzorku č. 5 uvedena v tabulce (Tabulka 26). V tabulce přibyly sloupce s dobou v řezu t , celkovou dobou v řezu Δt , posuvovou rychlostí v_f a otáčkami vřetene n .

Tabulka 26: Tabulka se zvolenými, změřenými a vypočítanými hodnotami pro v_c 62,5 m/min u vzorku č. 5

$v_{c3} = 62,5$ [m/min] $f_o = 0,1$ [mm/ot] $a_p = 0,6$ [mm] $VB_{krit} = 300$ [μ m]							
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μ m]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	18,8	110	150	1,039	1,039	105,821	1058,211
2.	17,6	109,7	180	0,970	2,010	113,036	1130,362
3.	16,4	109,7	210	0,904	2,914	121,307	1213,071
4.	15,2	109,4	240	0,836	3,750	130,884	1308,840
5.	14	109,4	260	0,770	4,520	142,103	1421,026
6.	12,8	109,1	270	0,702	5,222	155,425	1554,247
7.	11,6	109,1	290	0,636	5,858	171,503	1715,032
8.	10,4	108,8	300	0,569	6,427	191,292	1912,920

Z hodnot opotřebení na hřbetu VB_B max. a celkové doby řezu Δt je možné sestavit graf udávající závislost opotřebení na hřbetu VB_B na době řezu t . Tento graf lze vidět na obrázku (Obr. 26). Po vynesení všech bodů lze sestavit křivku znázorňující průběh opotřebení na hřbetu pro hodnocenou řeznou rychlost. Průběh opotřebení řezné rychlosti 62,5 m/min je zobrazen v grafu na obrázku (Obr. 26) červenou barvou.



Obr. 26: Graf vývoje opotřebení hřbetu pro různé řezné rychlosti pro vzorek č. 5

Takto je zapotřebí sestavit křivky pro všechny testované řezné rychlosti. V grafu je také potřeba vytvořit přímkou udávající hodnotu kritického opotřebení VB_{krit} . Bod průniku přímky kritického opotřebení a křivky určité řezné rychlosti určuje trvanlivost břitů T dané řezné rychlosti. Trvanlivosti určitých řezných rychlostí u vzorku č. 5 jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 27), ve které v je levém sloupci uvedena řezná rychlost a k ní příslušná trvanlivost ve sloupci pravém.

Tabulka 27: Trvanlivosti břitů u jednotlivých řezných rychlostí

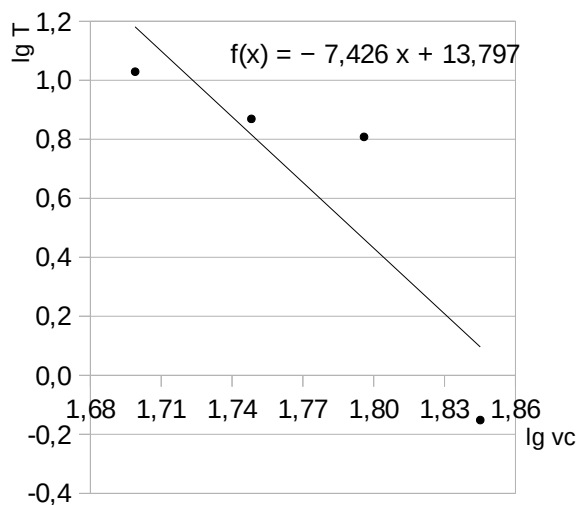
v_c [m/min]	T [min]
50	10,690
56	7,397
65,5	6,427
70	0,705

Dalším krokem pro získání Taylorova vztahu je sestavení grafu závislosti $T = f(v_c)$. Pro zhotovení tohoto grafu je zapotřebí převést řezné rychlosti a jim příslušné trvanlivosti do logaritmických souřadnic. Pro převedení byl z důvodu jednoduššího následného počítání zvolen dekadický logaritmus lg . Logaritmické souřadnice řezných rychlostí a trvanlivostí jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 28).

Tabulka 28: Logaritmické souřadnice trvanlivostí břitů a řezných rychlostí

$lg v_c$	$lg T$
1,653	1,176
1,748	0,883
1,796	0,824
1,845	-0,246

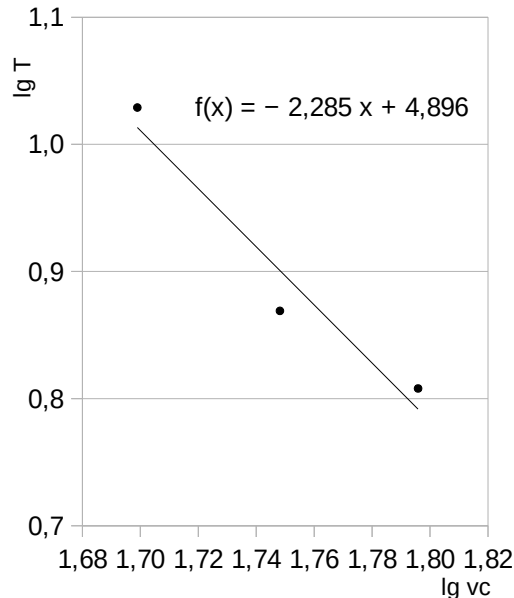
Logaritmické souřadnice se pomocí bodů vynesou do grafu závislosti $T = f(v_c)$. Proložením těchto bodů přímkou vznikne grafické vyjádření Taylorova vztahu. Proloženou přímkou je možné získat nejen metodou nejmenších čtverců nebo regresní analýzou, ale též je ji možné zjistit pomocí tabulkových procesorů, kterými jsou například Microsoft Excel a LibreOffice Calc. Graf závislosti $T = f(v_c)$ je zobrazený na obrázku (Obr. 27).



Obr. 27: Graf závislosti $T = f(v_c)$ pro vzorek č. 5

Protože u zkoušek obrobitelnosti bylo cílem stanovit limitní řeznou rychlost, tak se u vyhodnocování výsledků zkoušek vyskytl problém, že trvanlivost u limitních rychlostí dosahovala tak nízkých hodnot, že u jejich logaritmických souřadnic vyšla záporná čísla. Tato skutečnost nepříznivě ovlivňuje vývoj grafu závislosti $T = f(v_c)$, a tím je i nepříznivě ovlivněn výsledek, jelikož dochází ke zkreslení směrnice přímky. Jelikož bylo zjištěno, že pro správné vyhodnocení experimentu je možné počítat pouze se třemi hodnotami a sama norma toto tvrzení při nedostatku materiálu vyhodnotit zkoušku povoluje, tak bylo rozhodnuto, že u vyhodnocování zkoušek nebude s limitními řeznými rychlosti počítáno. Hodnoty limitních řezných rychlostí budou uvedeny v protokolech o zkouškách, nicméně tam budou sloužit pouze jako doplňkové

informace při volbě řezných podmínek. Finální graf bez uvažování limitní řezné rychlosti je uveden na obrázku Obr. 28.



Obr. 28: Graf závislosti $T = f(v_c)$ pro vzorek č. 5
neuvažující limitní rychlost

Grafické znázornění Taylorova vztahu je nyní nutné z grafu závislosti $T = f(v_c)$ na obrázku (Obr. 28) převést do rovnice Taylorova vztahu (5), která je na straně 33. K převedení grafu je zapotřebí získat hodnoty m a c_{Tv} . Jak tyto hodnoty získat je uvedeno výše v kapitole *Vyhodnocování a zaznamenávání výsledků* na straně 32. Pro získání hodnot m a c_{Tv} byla použita rovnice přímky (8). Jelikož byl pro zhotovení grafu použit tabulkový procesor, u kterého je možnost zobrazení rovnice proložené přímky, je zjištění hodnot m a c_{Tv} velice snadné a přesné. Rovnici přímky je možné vidět v grafu na obrázku (Obr. 28) a její znění je:

$$f(x) = -2,285x + 4,896 \quad (12)$$

kde podle rovnice (8) $f(x)$ je $lg T$; 2,285 je m ; x je $lg v$; a 4,896 je $lg c_{Tv}$.

Velikost exponentu m je tedy možné z rovnice přímky hned zjistit a jeho hodnota je 2,554. Konstanta c_{Tv} je v rovnici přímky v logaritmických souřadnicích a je zapotřebí ji nejdříve převést. Jelikož byly pro sestavení grafu použity přirozené logaritmy, lze konstantu c_{Tv} převést pomocí rovnice:

$$c_{Tv} = 10^{lg c_{Tv}} \quad (13)$$

kde c_{Tv} je hledaná konstanta a $lg c_{Tv}$ konstanta získaná z rovnice přímky

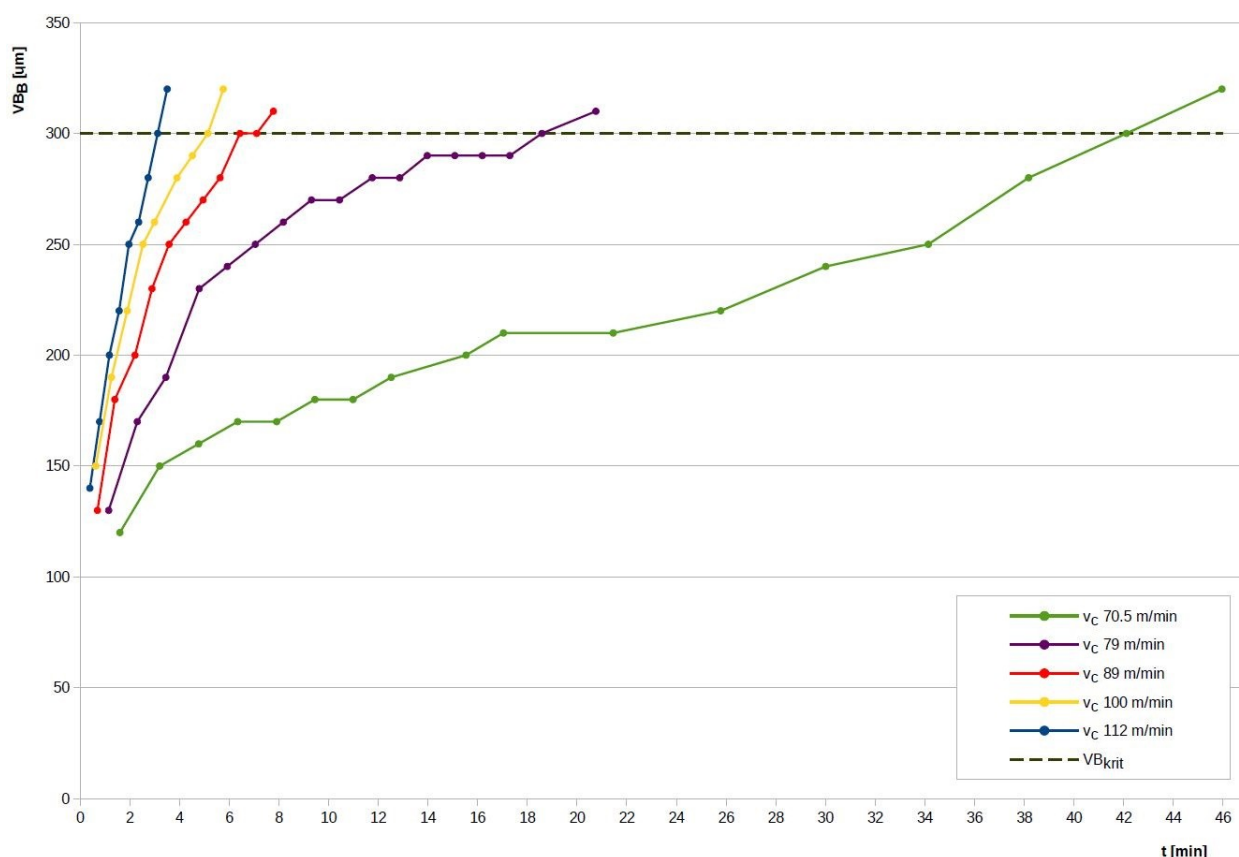
Výsledná hodnota konstanty c_{Tv} je $7,87 \cdot 10^4$. Nyní jsou již známy všechny hodnoty potřebné pro určení Taylorova vztahu a je možné jej sestavit. Po dosazení do rovnice vypadá výsledný Taylorův vztah pro vzorek č. 5 testované pružinové oceli 42SiCr takto:

$$T_{42SiCr(5)} = \frac{7,87 \cdot 10^4}{v_c^{2,285}} \quad (14)$$

Aby mohl být určen index obrobiteľnosti a následné přidělení třídy obrobiteľnosti, je potřeba určit Taylorův vztah pro etalonový materiál. Všechny tabulky s naměřenými hodnotami, výpočty a grafy jsou obsaženy v příloze D. Pro sestavení protokolů o jednotlivých měřeních byly použity normou doporučené datové listy, které byly mírně upraveny pro lepší elektronické vyhodnocení. Protokoly o zkouškách testovaných vzorků jsou uvedeny v příloze E.

3.4.1.2 Zkouška obrobiteľnosti etalonové oceli

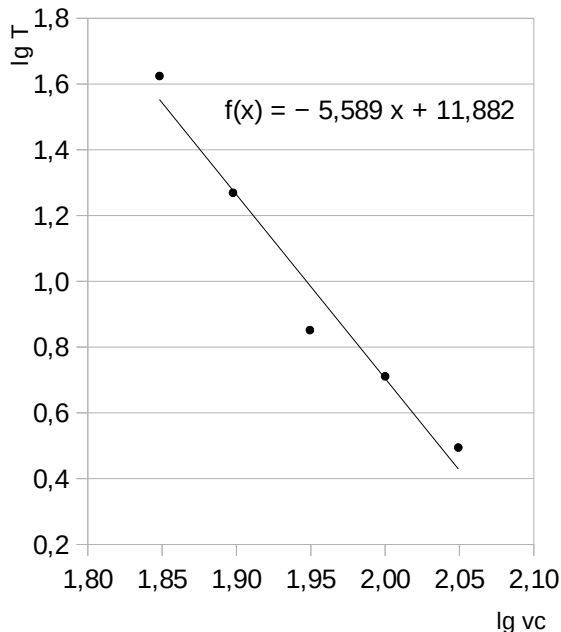
Hodnoty získané měřeními byly u této zkoušky zaznamenávány do stejných tabulek jako u zkoušky obrobiteľnosti pružinové oceli (Tabulka 26). Stejně tak byly dopočteny všechny hodnoty potřebné ke zhotovení grafu VB_B-t . Naměřené a vypočtené hodnoty pro všechny použité řezné rychlosti jsou uvedeny v příloze D této práce. Sestavený graf VB_B-t je zobrazen na obrázku (Obr. 29). Řezná rychlost $v_c = 100$ m/min, pro kterou bylo v této kapitole provedeno vyhodnocení, je v grafu znázorněna žlutou barvou.



Obr. 29: Graf vývoje opotřebení hřbetu pro různé řezné rychlosti pro etalonovou ocel

Z grafu bylo následně možné určit pro použité řezné rychlosti trvanlivosti břitů T . Ty jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 29). V této tabulce jsou také rovnou zahrnuty

logaritmické souřadnice řezných rychlostí a trvanlivostí potřebné ke zhotovení grafu udávající závislost $T = f(v_c)$. Po vynesení bodů v logaritmických souřadnicích do grafu, byla sestrojena přímka prokládající tyto body. Z rovnice této přímky je možné sestavit Taylorův vztah. Graf závislosti $T = f(v_c)$ s proloženou přímkou je ukázán na obrázku (Obr. 30).



Tabulka 29: Trvanlivosti břitů u jednotlivých řezných rychlostí u etalonové oceli a jejich logaritmické souřadnice

v_c [m/min]	T [min]	$\lg v_c$	$\lg T$
70,5	42,113	1,848	1,624
79	18,588	1,898	1,269
89	7,107	1,949	0,852
100	5,142	2,000	0,711
112	3,124	2,049	0,495

Obr. 30: Graf závislosti $T = f(v_c)$ pro etalonovou ocel

Z rovnice proložené přímky $f(x) = -5,589x + 11,882$ je tedy patrné, že exponent m má hodnotu 5,589 a konstanta c_{TV} má po převedení z logaritmických souřadnic dle rovnice (13) hodnotu $7,62 \cdot 10^{11}$. Nyní je možné sestavit Taylorův vztah pro etalonovou ocel 12 050.1 a její znění je:

$$T_{C45E} = \frac{7,62 \cdot 10^{11}}{v^{5,589}} \quad (15)$$

Kompletní tabulky s naměřenými hodnotami, výpočty a grafy jsou obsaženy v příloze D. Protokol o zkoušce etalonové oceli 12 050.1 je uveden v příloze E.

3.4.1.3 Určení tříd obrobitelností zkušebních vzorků

Jelikož byly již sestrojeny Taylorovy vztahy pro zkušební vzorky pružinové oceli 42SiCr a etalonové ocel 12 050.1 je možné sestavení indexů obrobitelností a z nich určení tříd obrobitelností zkušebních vzorků. Indexy obrobitelnosti jsou určovány rovnicí (1), která je uvedena na straně 18 této práce. Do této rovnice je potřeba znát řezné rychlosti zkušebního a referenčního materiálu při určité trvanlivosti T . Ty je možné vypočítat z příslušných Taylorových rovnic, ze kterých je vyjádřena řezná rychlost a dosažená požadovaná trvanlivost. Rovnice pro výpočet řezné rychlosti zní:

$$v = \sqrt[m]{\frac{C_{Tv}}{T}} \quad (16)$$

Pro ukázkou výpočtu jsou v této kapitole použity Taylorovy rovnice pro zkušební vzorek č.5 a etalonový materiál (14) a (15), jelikož pro ně byla výše provedená vyhodnocení. Nejdříve bylo nutné stanovit pro jakou trvanlivost T budou řezné rychlosti počítány. Protože bylo cílem zkoušek se u zkušebních vzorků pohybovat s trvanlivostí okolo 5 min, tak bylo rozhodnuto, že řezné rychlosti budou počítány právě pro tuto trvanlivost. Pro ukázkou následuje rovnice s vyjádřenou řeznou rychlostí při $T = 5$ min pro etalonovou ocel:

$$v_{c5etalon} = \sqrt[5,589]{\frac{7,6 \times 10^{11}}{5}} \quad (17)$$

Velikost řezné rychlosti $v_{c5etalon} = 100,1$ m/min. Takto bylo potřeba vypočíst v_c při $T = 5$ min i u vzorku č. 5, u které vyšel výsledek $v_{c5vzorek(5)} = 68,7$ m/min. Po dosažení do rovnice indexu obrobitelnosti (1) byla získána hodnota 0,686. Vyhledáním této hodnoty v tabulce (Tabulka 4) s třídami obrobitelností bylo zjištěno, že testovaný vzorek č. 5 pružinové oceli 42SiCr spadá do třídy 12b. Vypočtené indexy obrobitelností všech zkušebních vzorků jsou uvedeny v následující tabulce (Tabulka 30), kde zleva doprava je uvedené číslo vzorku, vypočtená hodnota indexu obrobitelnosti i_o a třída obrobitelnosti.

Tabulka 30: Indexy obrobitelností a třídy obrobitelností zkušebních vzorků

Vzorek č.	Index obrobitelnosti i_o	Třída obrobitelnosti
1	0,682	12b
2	0,851	13b
3	0,715	12b
4	0,757	13b
5	0,686	12b

Po výpočtu vyšlo najevo, že třídy obrobitelností získané experimentem se výrazně liší od těch vypočtených metodou stanovením obrobitelnosti podle chemického složení, kde u všech vzorků vyšly třídy 6b. Této skutečnosti je více věnováno níže v kapitole *Technické hodnocení*.

3.4.2 Zkoušky pro zjištění měrných řezných odporů

Měrné řezné odpory byly počítány pomocí rovnice (2), která je uvedena na straně 22 v kapitole *Měrný řezný odpor*. Do této rovnice je potřeba znát hlavní složky řezný sil F_c^{15} jednotlivých vzorků a plochu odřezávané vrstvy S . Řezné síly F_c byly zjištěny pomocí experimentu a plocha odřezávané vrstvy je dána vztahem:

15 Označení složky řezné síly ve směru hlavního řezného pohybu je jak F_c tak F_z . Platí tedy $F_c = F_z$.

$$S = a_p \cdot f_o \quad (18)$$

kde S je plocha odřezávané vrstvy [mm^2], a_p je hloubka řezu [mm] a f_o je posuv na otáčku [mm/ot]

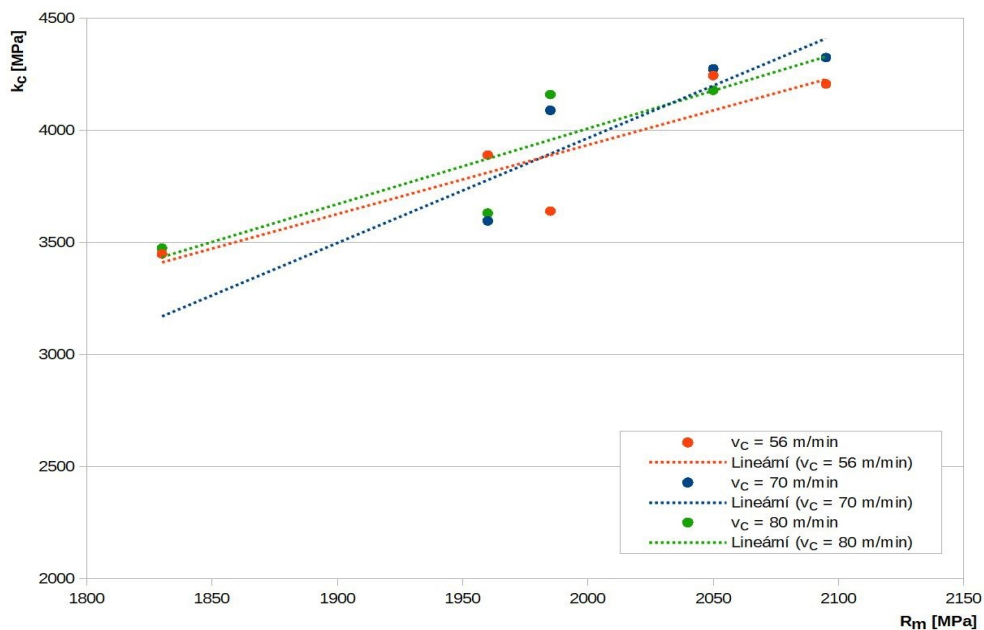
Jelikož je hloubka řezu a_p 1 mm a posuv na otáčku f_o 0,1 mm/ot, tak plocha odřezávané vrstvy má velikost 0,1 mm^2 . Nyní již bylo možné dopočíst měrné řezné odpory $k_{c0.1}$ pro všechny řezné rychlosti zkušebních vzorků. Vypočtené hodnoty měrných řezných odporů jsou obsaženy v tabulce (Tabulka 31). V této tabulce je zleva uvedena zvolená řezná rychlost v_c a vypočtený měrný řezný odpor k_c pro určité vzorky. Všechny řezné rychlosti nebyly použity u všech zkušebních vzorků.

Tabulka 31: Hodnoty měrných řezných odporů $k_{c0.1}$ pro řezné rychlosti v_c jednotlivých vzorků

v_c [m/min]	$k_{c0.1}$ [MPa]				
	Vzorek				
	1	2	3	4	5
41	4628	4572	–	–	–
48	4286	–	–	–	–
56	4207	3640	3890	3449	4245
65	–	3504	–	3684	–
70	4325	4090	3596	5323	4275
80	–	4160	3631	3475	4179
98	–	–	3535	3407	3620

Použité řezné podmínky: a_p 1 mm, f_o 0,1 mm/ot

Po zhotovení experimentů a provedení výpočtů bylo rozhodnuto, že jako nejvhodnější způsob vyhodnocení měrných řezných odporů je sestrojení jejich závislosti na mezi pevnosti R_m . To vždy pro jednu zvolenou řeznou rychlost. Řezné rychlosti zvolené pro vyhodnocení byly ty, které byly použity u minimálně čtyřech různých vzorků. Tedy v_c 56; 70 a 80 m/min. Hodnota k_c u vzorku č. 4 při v_c 70 m/min byla z důvodu vysoce odlišné hodnoty z vyhodnocení vyloučena. Toto vychýlení bylo způsobeno již vysokým opotřebením břitu z předchozích měření. Pro vynesené hodnoty zvolených v_c byly v grafu sestrojeny pomocí regresní analýzy proložené přímkou, které znázorňují lineární vývoj závislosti k_c na R_m . Graf závislosti měrného řezného odporu k_c na mezi pevnosti R_m je zobrazený na obrázku (Obr. 31). V grafu je možné vidět, že se zvyšující se pevností měrný řezný odpor roste.



Obr. 31: Graf závislosti k_c na R_m

4 Technické hodnocení

Provedením zkoušek obrobiteľností, a z nich získaných naměřených hodnot, byly pro jednotlivé zkušební vzorky pružinové oceli 42SiCr stanoveny třídy obrobiteľností a sestrojeny Taylorovy vztahy. Tyto získané výstupy slouží ke klasifikaci a zařídění materiálu do skupiny ocelí třídy P. Ovšem podle experimentem naměřených hodnot měrných řezných odporů, které mají průměrnou hodnotu okolo 3700 MPa, zkušební vzorky dle údajů uvedených na stránkách společnosti SANDVIK Coromant spíše spadají do skupiny ocelí třídy H [14]. Zaznamenáním tříd obrobiteľností do materiálového listu bude rozšířena specifikace oceli a technolog či konstruktér zkoumající tento materiál si bude moci z jeho listu vytvořit lepší představu o vlastnostech oceli 42SiCr.

Experimenty všech zkoušek dopadly úspěšně. Během jejich realizace nastalo několik málo komplikací, ty ale nijak neovlivnily výsledky testů. Při zkouškách obrobiteľnosti byly dodrženy, až na drobné odchylky, podmínky stanovené normou. Tyto odchylky, zapříčiněné převážně nedostupností řezných nástrojů s normou požadovanými parametry, ovšem nijak nezhodnotily výsledky zkoušek.

Během řezných procesů zkoušek testovaných vzorků oceli 42SiCr se u všech zvolených řezných rychlostí tvořila nežádoucí plynulá tříška. Chování během řezání se u zkušební etalonového materiálu 12 050.1 lišilo pouze při nejvyšší zvolené řezné rychlosti v_c 112 m/min, kde se tvořila tříška dělená. Řezné procesy obou materiálů si byly tedy velice podobné. Co se týče rozdílů v hodnotách trvanlivostí mezi zkouškami zkušebních vzorků a referenční oceli, tak byl jediný ten, že při nejnižších použitých v_c dosahovala trvanlivost etalonové oceli až 8× vyšších hodnot. Při vyšších řezných rychlostech dosahovaly trvanlivosti u všech zkoušek obdobných hodnot, tedy přibližně okolo 5 min.

Obrobiteľnost zkušebních vzorků byla v této práci určována dvěma způsoby, a to podle chemického složení a provedením dlouhodobé zkoušky obrobiteľnosti. Výsledky obou způsobů se od sebe značně liší. Výpočtem dle chemického složení bylo určeno, že třídy obrobiteľností jsou u všech vzorků 6b, zatímco experimentem ujištěné třídy mají u vzorků č. 1, 2 a 3 hodnotu 12b a u vzorků č. 2 a 4 hodnotu 13b. Toto zjištění bylo velice překvapivé, protože chemické složení pružinové oceli 42SiCr a mechanické vlastnosti zkušebních vzorků získané různými tepelnými zpracováními nasvědčovaly tomu, že budou obrobiteľnosti výrazně horší.

Těchto tříd u vzorků bylo dosaženo zřejmě proto, že řezné rychlosti pro indexy obrobiteľností byly počítány v rovnici (19) pro zvolenou trvanlivost $T = 5$ min. Jelikož k výrazným rozdílům v průběžích zkoušek testovaných vzorků a etalonového materiálu, jak je uvedeno výše v této kapitole, docházelo až při vyšších trvanlivostech, liší se třídy obrobiteľností stanovené podle této trvanlivosti jen o nanejvýš dvě třídy. Pokud by byly indexy obrobiteľností počítány pro vyšší trvanlivosti, tak by pravděpodobně u zkušebních vzorků vyšly nižší třídy obrobiteľností.

V reálné praxi by s nejvyšší pravděpodobností byl pro obrábění oceli 42SiCr zvolen řezný nástroj odlišné geometrie a opatřený tenkou vrstvou a ne jak bylo provedeno v experimentu řízeného normou. Při správné geometrii a volbě tenké vrstvy je možné trvanlivost břitu navýšit. Jak je uvedeno v práci pana Švarce *Obrobiteľnost materiálů typu b* může být trvanlivost u deponovaného nástroje více než 2 krát větší [13]. Pořizovací náklady takto upravených

nástrojů jsou vyšší, ale ovšem ve vztahu trvanlivosti a velikosti obrobku mohou být celkové náklady nižší.

Experimenty z pohledu času trvaly okolo 35 h. Jsou do toho započítány i přípravy pracovišť, optimalizace řezných podmínek a opravy stroje. Do této doby však není zahrnut čas, který byl potřebný k prostudování normy a výběru odpovídajícího sortimentu a podmínek. Tento čas též nebyl zanedbatelný. Strojní hodinová sazba činí 900 Kč/hod. Po vynásobení této sazby s časem, jenž zabral celý experiment, je možné určit jeho cenu co se týče doby trvání. Ta tedy činí 31 500 Kč.

Pro zkoušky obrobitelnosti byl zakoupen nožový držák a břitové destičky. Během experimentu bylo opotřebeno 27 řezných hran, a to pokud jsou počítány pouze ty, jejichž naměřené hodnoty byly použity k vyhodnocení zkoušky. Protože bylo obráběno destičkami čtvercového tvaru, které mají čtyři břity, bylo tedy během zkoušek použito sedm VBD. Pro pre-experiment byly použity další čtyři břity, tedy další celá jedna břitová destička. VBD jsou obvykle prodávány po 10 ks. Toto platilo i v tomto případě. Cena balení destiček *SCMT 09T304-14* byla bez DPH 825 Kč. Nožový držák *SSRCL 1212F09* stál 1 695,20 Kč bez DPH. Pro zkoušky ke zjištění měrného řezného odporu byly pořízeny VBD a nožový držák. V rámci měření bylo použito 6 řezných hran. Trigonometrický tvar destiček poskytuje tři řezné hrany, tudíž bylo během zkoušky použity tři destičky. Destičky *WPEB 060404N08 IC908* jsou také prodávány po 10 ks a toto balení stálo 4 281 Kč bez DPH. Cena nožového držáku *SWAPL 1212-06* bez DPH byla 2 270 Kč.

Celková cena experimentů po sečtení všech pořízených položek a doby činí 40 571,2 Kč. V této částce nejsou, z důvodu realizování zkoušek v rámci laboratoří katedry technologie obrábění, započítány ceny testovaných materiálů, jelikož jimi katedra disponovala. Jinak by samozřejmě byla celková cena o náklady na materiály ještě navýšena.

5 Závěr

Jak bylo zmíněno v úvodu, tak je ve strojírenství snaha o vývoj stále nových materiálů a jejich tepelných zpracování, které svými fyzikálními a chemickými vlastnostmi budou lépe vyhovovat požadavkům v neustále se vyvíjejících průmyslech. Pro zjištění a popsání fyzikálních, mechanických a dalších vlastností nových materiálů je zapotřebí jejich podrobení řadě zkoušek. Jelikož je jedním z nejrozšířenějších způsobů opracovávání kovových materiálů třískové obrábění, je výhodné určit jejich obrobiteľnosti.

Určení obrobiteľností a klasifikace různými způsoby tepelně zpracovaných zkušebních vzorků pružinové oceli 42SiCr bylo cílem této práce. Dále stanovit u těchto vzorků měrné řezné odpory, které též přispívají k jejich lepší specifikaci. Pro dosažení těchto stanovených cílů bylo nejdříve nutné teoretické seznámení s řešenou problematikou. Zjištění možných způsobů jejich dosažení a následné naplánování, realizace a vyhodnocení.

Obrobiteľnost zkušebních vzorků byla stanovena dvěma způsoby, a to určením podle chemického složení a mechanických vlastností materiálů a pomocí dlouhodobé zkoušky obrobiteľnosti, jež byla vybrána z důvodů věrohodnosti naměřených výsledků. Aby byla zvýšena spolehlivost a srovnatelnost výsledků, tak byla dlouhodobá zkouška obrobiteľnosti provedena dle normy ISO 3685, která se touto problematikou, tedy zkouškou trvanlivosti nástrojů pomocí jednobřítých soustružnických nástrojů, zabývá. Tato norma byla pro správnost zkoušky prostudována a následně, z důvodu vysokého počtu požadovaných podmínek, vypracována podrobnější analýza této normy. Zkouška pro zjištění měrného řezného odporu je též popsána normou, a pro správné provedení zkoušky bylo zapotřebí zjištění normou stanovených podmínek.

Ze získaných poznatků byly provedeny návrhy experimentů. To zahrnovalo popisy a charakteristiky testovaných vzorků a použitého vybavení. Dále volby řezných nástrojů a řezných podmínek podle normou stanovených charakteristik a v poslední řadě způsoby upnutí polotovarů a postupy zkoušek. Po návrzích následovala samotná realizace experimentů pro určení obrobiteľností a měrných řezných odporů. V jednotlivých částech této kapitoly byly blíže popsány průběhy zkoušek a jejich zaznamenávání. Pro kompletní určení obrobiteľností testovaných materiálů bylo zapotřebí provést dlouhodobou zkoušku obrobiteľnosti i pro etalonovou ocel s označením 12 050.1 podle ČSN. Pro tuto zkoušku musel být též vypracován návrh a zhotovena realizace experimentu.

Z experimentální části této práce bylo vypracováno vyhodnocení zkoušek, ve kterých byly dle vzorců a vztahů definovaných v teoretické části práce stanoveny konečné výsledky, jež mohli být prezentovány. Pro shrnutí následuje tabulka (Tabulka 32), ve které jsou obsaženy zjištěné třídy obrobiteľností získaných jak z chemického složení a mechanických vlastností, tak z dlouhodobých zkoušek obrobiteľností. V tabulce je zleva doprava uvedeno číslo vzorku a třídy obrobiteľností rozdělené podle způsobu stanovení. Kompletní naměřené hodnoty, výsledky a protokoly zkoušek jsou uvedené v přílohách práce.

Tabulka 32: Souhrn zjištěných tříd obrobitelnosti

Vzorek č.	Třída obrobitelnosti	
	z chemického složení	ze zkoušek obrobitelnosti
1	6b	12b
2	6b	13b
3	6b	12b
4	6b	13b
5	6b	12b

Popis a komentář ke zjištěným výsledkům zahrnuje kapitola *Technické hodnocení*. Ta také obsahuje základní náklady provedených experimentů a v poslední řadě použitelnost v reálné praxi. Z důvodu veliké odlišnosti výsledků získaných výpočtem a experimentálně by bylo vhodné doporučit, aby byly za účelem ověření výsledků provedeny další série testů.

6 Seznam použité literatury

- [1] JANDA, Tomáš, JIRKOVÁ, Hana a JANÍČEK, Štěpán. *Comparing Properties of the 42SiCr Steel after Conventional Heat Treatment and QP Processing* [online]. 2018. [cit. 11.11.2019]. Dostupné z: https://www.daaam.info/Downloads/Pdfs/proceedings/proceedings_2018/167.pdf
- [2] AIŠMAN, David. *Vliv tepelného zpracování na vlastnosti vysocepevné nízkolegované oceli* [online]. [cit. 13.1.2020]. Dostupné z: [https://www.old.fst.zcu.cz/_files_web_FST/_SP_FST\(SVOC\)/_2008/_sbornik/PapersPdf/Ing/Aisman_David.pdf](https://www.old.fst.zcu.cz/_files_web_FST/_SP_FST(SVOC)/_2008/_sbornik/PapersPdf/Ing/Aisman_David.pdf)
- [3] VLACH, Bohumil. *Technologie obrábění*. dot. Praha: ČVUT, 1986. 263 s.
- [4] VIGNER, Miloslav a PŘIKRYL, Zdeněk. *Obrábění*. Vyd. 1. Praha: SNTL, 1984. 800 s.
- [5] CHOUHURY, Ahmed Imtiaz. *Machinability Studies of High Strength Materials and the Development of A Data Base System*. [online] Dublin City University, 1995. [cit.]. Dostupné z: <https://core.ac.uk/download/pdf/147604626.pdf>
- [6] ČEP, Robert. *Obrobitelnost materiálů* [online]. 2011. [cit. 10.12.2019]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/EMO_kapitola_06.pdf
- [7] SOVA, František. *Technologie obrábění a montáže*. 1. vyd. Plzeň: VŠSE, 1989. 273 s. ISBN 80-7082-006-3.
- [8] ČESKÝ METROLOGICKÝ INSTITUT. *Kalibrace. Základní pojmy* [online]. [cit. 19.1.2020]. Dostupné z: <https://www.cmi.cz/node/537>
- [9] VAŠÍČEK, František. *Analýza obrobitelnosti pružinových ocelí po tepelném zpracování*. Brno, 2013. Bakalářská práce (Bc.). Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství.
- [10] ISO 3685. *Tool-life testing with single-point turning tools*. 2. vyd. Švýcarsko: International Organization for Standardization, 1993.
- [11] KLIČKOVÁ, Nikola. *Vliv obráběného materiálu při frézování ozubení na proces obrábění*. Plzeň, 2013. Diplomová práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [12] HANUS, Petr. *Návrh metodiky hodnocení obrobitelnosti bloků motoru ze slitin hliníku*. Pardubice, 2008. Bakalářská práce. Univerzita Pardubice. Dopravní fakulta Jana Pernera. Katedra dopravních prostředků.
- [13] ŠVARC, Vojtěch. *Obrobitelnost materiálů skupiny b*. Plzeň, 2011. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [14] SANDVIK COROMANT. *Obráběné materiály*. [online]. [cit. 16.6.2020]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/materials/pages/workpiece->

materials.aspx

- [15] NOSEK, Karel. *Soustružení těžkoobrobitelných materiálů*. Plzeň, 2013. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [16] AB SANDVIK COROMANT. *Příručka obrábění*. 1. vyd., Praha, Scientia, s.r.o.,1997. ISBN 91-97 22 99-4-6.
- [17] PŘIKRYL, Zdeněk a MUSÍLKOVÁ, Rosa. *Teorie obrábění*. 3. opr. vyd. Praha: SNTL, 1982.
- [18] MAREK, Josef. *Experimentální ověření závislosti měrného řezného odporu na tloušťce odřezávané vrstvy*. V Plzni, 2018. Diplomová práce (Ing.). Západočeská univerzita v Plzni, Fakulta strojní.
- [19] SKLENIČKA, Josef. *Příspěvek k experimentálnímu stanovení modelu silového zatížení šroubovitého vrtáku*. V Plzni, 2017. Disertační práce (Ph.D.). Západočeská univerzita v Plzni. Fakulta strojní.
- [20] IT SLOVNÍK. *Extrapolace*. [online]. [cit. 4.11.2019]. Dostupné z: https://it-slovník.cz/pojem/extrapolace/?utm_source=cp&utm_medium=link&utm_campaign=cp
- [21] *Katedra technologie obrábění. Vybavení a prostory katedry* [online]. [cit. 3.2.2020]. Dostupné z: https://www.kto.zcu.cz/o-katedre/Vybaveni_katedry/UF106.html
- [22] *Advanced test equipment rentals. Keyence VHX-6000 Digital Microscope* [online]. [cit. 7.2.2020]. Dostupné z: <https://www.atecorp.com/products/keyence/vhx-6000>
- [23] *KISTLER: 3-Component Measuring System for Turning up to 3kN*. [online]. [cit. 7.2.2020]. Dostupné z: <https://www.kistler.com/en/product/type-9119a/>
- [24] *Walter*. [online]. [cit. 15.2.2020]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/cs-cz/search/pages/default.aspx#/product/SSRCL1212F09>
- [25] *ISCAR. Ecatalog* [online]. [cit. 15.2.2020]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/Ecatalog/Item.aspx?cat=5550400&fnum=338&mapp=IS&GFSTYP=M&srch=1>
- [26] KOČMAN, Karel a PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: CERM, 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.

7 Seznam příloh

- Příloha A – Tabulky pro určení obrobiteľností podle chemického složení
- Příloha B – Datové listy doporučené normou
- Příloha C – Parametry stroje a měřidel
- obráběcí stroj EMCO MAXXTURN 25
 - digitální mikroskop KEYENCE VHX–6000
 - aparatura pro měření řezných sil KISTLER
 - zařízení pro měření drsností a poloměru zaoblení ostří Alicona IFM G4
- Příloha D – Naměřené hodnoty a vyhodnocení zkoušek
- vzorek č. 1
 - vzorek č. 2
 - vzorek č. 3
 - vzorek č. 4
 - vzorek č. 5
 - etalonový materiál 12 050.1
 - měrný řezný odpor
- Příloha E – Protokoly o zkouškách obrobiteľnosti
- vzorek č. 1
 - vzorek č. 2
 - vzorek č. 3
 - vzorek č. 4
 - vzorek č. 5
 - etalonový materiál 12 050.1

Příloha A

Tabulky pro určení obrobitelnosti podle chemického složení

STROJÍRENSTVÍ Normativy		Oceli třída 10 – 19, 26 – 29										Tabulka číslo : 1 a			
OBRÁBĚNÍ								– konstanty Kchs 1							
% prvků	C	Mn	Si	Cr	V	Co	Al Ta Nb -Cu	% prvků	Mn	Si	Cr	V	Co	Al Ta Nb -Cu	
	N		Ti	Ni	W	Mo				Ti	Ni	W	Mo		
	Kchs 1								Kchs 1						
0,10	1,40	0,85	0,23	0,10	0,10	0,10	0,15	3,60		3,30	0,73	0,43	1,10	2,20	
0,12	1,30	0,82	0,26	0,10	0,10	0,12	0,17	3,70		3,37	0,75	0,43	1,12	2,25	
0,14	1,25	0,80	0,29	0,10	0,10	0,13	0,19	3,80		3,45	0,76	0,44	1,14	2,30	
0,16	1,18	0,78	0,32	0,10	0,10	0,14	0,21	3,90		3,52	0,77	0,45	1,17	2,35	
0,18	1,12	0,67	0,35	0,10	0,10	0,15	0,23	4,00		3,60	0,79	0,46	1,20	2,40	
0,20	1,08	0,74	0,38	0,10	0,10	0,16	0,25	4,20		3,70	0,81	0,48	1,24	2,48	
0,22	1,05	0,72	0,40	0,11	0,10	0,17	0,27	4,40		3,80	0,84	0,50	1,28	2,56	
0,24	1,02	0,74	0,43	0,11	0,10	0,19	0,29	4,60		3,90	0,87	0,51	1,32	2,64	
0,26	1,02	0,76	0,46	0,12	0,10	0,20	0,31	4,80		4,00	0,90	0,52	1,36	2,72	
0,28	1,07	0,78	0,49	0,12	0,10	0,21	0,32	5,00		4,15	0,92	0,53	1,40	2,80	
0,30	1,13	0,82	0,52	0,13	0,10	0,22	0,34	5,50		4,40	0,98	0,55	1,50	3,00	
0,35	1,26	0,88	0,57	0,14	0,11	0,24	0,38	6,00		4,80	1,04	0,58	1,65	3,20	
0,40	1,40	0,95	0,62	0,15	0,11	0,26	0,42	6,50		5,10	1,09	0,61	1,75	3,40	
0,45	1,53	1,05	0,67	0,16	0,12	0,28	0,46	7,00		5,40	1,16	0,64	1,90	3,60	
0,50	1,67	1,15	0,74	0,18	0,13	0,30	0,50	7,50		5,70	1,22	0,67	2,00	3,80	
0,55	1,75	1,22	0,80	0,19	0,14	0,31	0,53	8,00		6,00	1,28	0,70	2,12	4,00	
0,60	1,87	1,30	0,86	0,21	0,15	0,33	0,57	8,50		6,25	1,34	0,72	2,25	4,20	
0,65	2,00	1,37	0,91	0,22	0,16	0,35	0,60	9,00	9,20	6,50	1,40	0,75	2,35	4,40	
0,70	2,15	1,45	0,97	0,23	0,16	0,37	0,64	9,50	9,60	6,75	1,46	0,77	2,47	4,55	
0,75	2,25	1,52	1,02	0,24	0,17	0,39	0,67	10,00	10,00	7,00	1,52	0,79	2,60	4,70	
0,80	2,35	1,60	1,07	0,25	0,18	0,40	0,70	10,50	10,40	7,25	1,57	0,80	2,70	4,85	
0,85	2,45	1,67	1,12	0,26	0,19	0,42	0,73	11,00	10,80	7,50	1,62	0,82	2,80	5,00	
0,90	2,57	1,75	1,17	0,27	0,19	0,44	0,76	11,50	11,20	7,75	1,67	0,84	2,92	5,20	
0,95	2,68	1,82	1,22	0,28	0,20	0,46	0,80	12,00	11,50	8,00	1,72	0,86	3,05	5,40	
1,00	2,80	1,90	1,28	0,30	0,21	0,48	0,84	12,50	11,80	8,25	1,76	0,88	3,16	5,60	
1,10	3,00	2,02	1,35	0,32	0,22	0,50	0,90	13,00	12,10	8,50	1,80	0,91	3,30	5,75	
1,20	3,20	2,15	1,42	0,34	0,23	0,53	0,97	13,50	12,60	8,75	1,85	0,93	3,40	5,90	
1,30	3,40	2,30	1,50	0,36	0,24	0,56	1,03	14,00	13,00	9,00	1,90	0,96	3,50	6,05	
1,40	3,60	2,45	1,60	0,38	0,25	0,59	1,10	14,50	13,30	9,25	1,95	0,98	3,62	6,20	
1,50	3,78	2,50	1,70	0,40	0,26	0,62	1,15	15,00	13,60	9,60	2,00	1,00	3,75	6,35	
1,60	3,95	2,65	1,80	0,42	0,27	0,65	1,20	16,00	14,20	10,00	2,13	1,04	3,95		
1,70	4,13	2,77	1,88	0,44	0,28	0,68	1,25	17,00	15,00		2,28	1,08	4,20		
1,80	4,30	2,90	1,96	0,46	0,29	0,70	1,30	18,00	15,60		2,40	1,12	4,40		
1,90	4,45	3,00	2,03	0,47	0,30	0,72	1,36	19,00	16,20		2,55	1,15	4,60		
2,00	4,60	3,15	2,12	0,48	0,31	0,75	1,40	20,00	17,00		2,68	1,18	4,85		
2,10		3,25	2,20	0,50	0,31	0,77	1,45	21,00			2,80		5,05		
2,20		3,35	2,28	0,52	0,32	0,80	1,50	22,00			2,95		5,30		
2,30		3,50	2,36	0,53	0,33	0,82	1,55	23,00			3,10		5,50		
2,40		3,60	2,44	0,55	0,34	0,85	1,60	24,00			3,22		5,75		
2,50		3,68	2,50	0,56	0,35	0,87	1,65	25,00			3,35		6,00		
2,60		3,75	2,58	0,58	0,36	0,90	1,70	26,00			3,50		6,20		
2,70		3,85	2,66	0,60	0,37	0,92	1,75	27,00			3,62		6,40		
2,80		4,00	2,72	0,61	0,38	0,94	1,80	28,00			3,75		6,60		
2,90		4,10	2,80	0,62	0,39	0,96	1,85	29,00			3,87		6,80		
3,00		4,20	2,88	0,64	0,39	0,98	1,90	30,00			4,00		7,00		
3,10			2,95	0,65	0,40	1,00	1,95	32,00			4,30		7,40		
3,20			3,02	0,67	0,40	1,02	2,00	34,00			4,55				
3,30			3,10	0,68	0,41	1,04	2,05	36,00			4,80				
3,40			3,16	0,70	0,42	1,06	2,10	38,00			5,05				
3,50			3,22	0,71	0,42	1,08	2,15	40,00			5,04				

Obr. 1: Tabulka pro určení konstant Kchs1

STROJÍRENSTVÍ Normativy				OCELI třída 10 - 19, 26 - 29							Tabulka číslo: 1 b		
OBRÁBĚNÍ				tab. A - oceli přírodní nebo žíhané - Kmh							tab. B - oceli zušlechtněné nebo kalené - Kmh		
				tab. C - skupiny obrobitelnosti									
A. Ocel přírodní nebo žíhaná				B. Ocel zušlechtněná nebo kalená									
A1. - Soustružení, hoblování, obrážení				B1 - Soustružení, hoblování, obrážení, frézování, vrtání									
Tvrдост - pevnost				Materiál			Tvrдост - pevnost				Materiál		
HV	HB	MPa	kp/ mm ²	Z ₁	Z ₂	Z ₄	HV	HB	MPa	kp/ mm ²	Z ₁	Z ₂	Z ₄
				Kmh							Kmh		
121	115	400	41	0,68			195	180	600	61	0,70	0,80	0,93
126	121	420	43	0,66			210	196	650	66	0,76	0,87	1,00
135	127	440	45	0,64	0,64		227	212	700	71	0,83	0,95	1,05
144	138	480	48	0,63	0,63		243	228	750	76	0,92	1,02	1,12
153	149	580	52	0,62	0,62	0,75	259	244	800	81	1,00	1,10	1,20
170	166	620	59	0,61	0,70	0,82	275	259	850	86	1,07	1,16	1,25
182	178	660	63	0,64	0,75	0,87	291	275	900	92	1,15	1,23	1,32
193	189	700	67	0,68	0,80	0,93	308	292	950	97	1,23	1,30	1,38
204	200	740	71	0,72	0,85	0,97	325	307	1000	101	1,30	1,37	1,44
2014	212	780	75	0,77	0,90	1,02	340	323	1050	107	1,38	1,42	1,50
226	224	820	79	0,82	0,94	1,07	355	337	1100	112	1,46	1,50	1,57
237	235	860	84	0,87	0,98	1,11	369	350	1150	116	1,54	1,57	1,64
248	246	900	88	0,95	1,03	1,16	383	363	1200	122	1,62	1,65	1,70
258	259	940	92	1,00	1,08	1,20	397	378	1250	127	1,70	1,70	1,75
271	271	980	96	1,05	1,13	1,24	413	393	1300	132	1,78	1,78	1,82
282	282	1020	100	1,10	1,18	1,28	430	409	1350	138	1,86	1,86	1,90
293	293	1060	104	1,15	1,24	1,32	442	420	1400	143	1,95	1,95	
303	304	1100	108	1,20	1,30	1,36	417	432	1450	148	2,02	2,02	
315	315	1140	112	1,26	1,34	1,40	474	446	1500	153	2,10	2,10	
325	327	1180	116	1,32	1,38	1,45	486	459	1550	158	2,20	2,20	
339	338	1220	120	1,38	1,42	1,50	502	469	1600	163	2,30	2,30	
349	350	1260	124	1,44	1,48	1,55	529	492	1700	173	2,45	2,45	
360	363	1260	128	1,50	1,54	1,60	560	518	1800	183	2,60	2,60	
370	370	1294	132	1,55	1,60	1,65	590	535	1900	193	2,75	2,75	
380	380	1320	135	1,60	1,65	1,68	620	555	2000	203	2,90	2,90	
390	390	1360	139	1,65	1,68	1,72	647	573	2100	212	3,05	3,05	
400	400	1390	142	1,70	1,72	1,75	678	590	2200	225	3,20	3,20	
410	410	1430	146	1,75	1,76	1,77	707	606	2300	234	3,40	3,40	
420	420	1470	150	1,80	1,80	1,80	737	622	2400	245	3,60	3,60	
A2. - Frézování, vrtání				C. Skupiny obrobitelnosti									
Tvrдост - pevnost				Materiál			Kchs2 × Kmh	Skup. obrob.	Kchs2 × Kmh	Skup. obrob.			
HV	HB	MPa	kp/ mm ²	Z ₁	Z ₂	Z ₄	Nad - 47,70	1b	6,01 - 7,50	10b			
				Kmh			37,01 - 47,60	2b	4,81 - 6,00	11b			
121	115	400	41	0,90	0,90		30,01 - 37,00	3b	3,86 - 4,80	12b			
126	121	420	43	0,84	0,84		23,81 - 30,00	4b	3,08 - 3,85	13b			
135	127	440	45	0,80	0,80		18,91 - 23,80	5b	2,46 - 3,07	14b			
144	138	480	48	0,75	0,76		15,01 - 18,90	6b	1,96 - 2,45	15b			
153	149	520	52	0,70	0,73	0,75	11,98 - 15,00	7b	1,58 - 1,95	16b			
170	166	580	59	0,64	0,70	0,82	9,51 - 11,97	8b	1,26 - 1,57	17b			
Nad 166 HB podle tab. A1 nebo B1							7,51 - 9,50	9b	1,00 - 1,25	18b			
Druh materiálu:				Z ₁ - oceli konstrukční a nástrojové tvářené a lité									
				Z ₂ - oceli austenitické, korozivzdorné, nemagnetické - tvářené									
				Z ₄ - oceli jako Z ₂ , ale lité									

Obr. 2: Tabulka pro určení konstant Kmh a tříd obrobitelnosti

Příloha B

Datové listy doporučené normou

Company		Wear VB_B, KT versus time t measurement						Reg. No.		
								Order No.		
Date		Ordered by				Performed by				
Test bars, tool and cutting data										
Insert or tool No.	Edge No.	Rough diameter mm	Diameter before machining mm	Length of workpiece mm	Machined zone mm	Chipbreaker height distance				
Feed f mm/rev		Depth of cut a_p mm		Cutting speed v_c m/min						
Miscellaneous										
Test values										
Measurement No.	Time t min	Diameter D mm	Flank wear				Cratering		Chip form	Remarks
			VB_B mm	VB_B max. zone mm	1)	KT mm	1)			
0			-	-	-	-	-	-		
1										
2										
3										
4										
5										
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										
Tool-life criterion		1) If other wear measure is applied					Is chipforming affected by chipbreaker? Yes <input type="checkbox"/> No <input type="checkbox"/>			
The scales of the two axes shall be adapted to the values obtained.										
<div style="display: flex; align-items: center; justify-content: center;"> <div style="writing-mode: vertical-rl; transform: rotate(180deg); margin-right: 10px;">$VB_B, KT, \text{ mm}$</div> <div style="border: 1px solid black; width: 80%; height: 150px; margin: 0 auto;"></div> <div style="margin-left: 10px;">Time $t, \text{ min}$</div> </div>										

Příloha C

Parametry stroje a měřidel

Obráběcí stroj EMCO MAXXTURN 25

Work area		Tool turret	
Swing over bed	325 mm (12.8")	Shaft diameter for boring bars	16 mm (0.63")
Swing over cross slide	150 mm (5.9")	Turret indexing time	0.2 sec
Main spindle / counter spindle distance	485 mm (19")	Driven tools	
Maximum turning diameter	114 mm (4.5")	Speed range	0 – 6000 rpm
Maximum part length	315 mm (12.4")	Maximum torque	4 Nm (2.9 ft/lbs)
Maximum bar diameter	25.4 mm (1")	Maximum drive power	1.2 kW (1.6 hp)
Travel		Number of driven tools	6
Travel in X	100 mm (3.9")	Feed drives	
Travel in Z	320 mm (12.6")	Rapid motion speed X / Y / Z	20 / 10 / 30 m/min (787 / 394 / 1181 ipm)
Travel in Y	+20/-15 mm (0.78"/-0.59")	Feed force in the X / Y / Z axis	3000 / 4000 / 4000 N (674 / 900 / 900 lbs)
Travel in in Z2	350 mm (13.8")	Positioning scatter VDI 3441 in X / Y / Z	3.5 / 3 / 4 (0.00014/0.00012/0.00014")
Main spindle		Coolant system	
Speed range	0 – 8000 rpm	Tank volume	140 Liter (37 gal)
Torque at spindle	30 Nm (22.1ft/lbs)	Pump power standard	0.57 kW (2.2 hp)
Spindle nose	ø 70 h5	Pump capacity at 3,5bar / 1bar	15 / 65 l/min (4 / 17.2 gal/min)
Spindle bearing	60 mm (2.36")	Pump capacity at 14 bar / 6 bar (optional)	10 / 60 l/min (2.6 / 15.8 gal/min)
Spindle bore hole	33 mm (1.3")	Power consumption	
Counter spindle		Connected load	12 kVA
Speed range	0 – 8000 rpm	Compressed air	6 bar (87 PSI)
Torque at spindle	20 Nm (14.7 ft/lbs)	Dimensions and weight	
Spindle nose	ø 70 h5	Height of spindle center above floor	1140 mm (45")
Spindle bearing	45 mm (1.77")	Total machine height	1870 mm (73.6")
C axis		Foot print (without chip conveyor) LxD	2180 x 1425 mm (85.8" x 56.1")
Resolution	0.001°	Total weight	2100 kg (4630 lb)
Rapid motion speed	1000 rpm	Safety devices	
Spindle indexing	0.01°	CE conform	
Drive power			
Main spindle	6.5 kW (8.7 hp)		
Counter spindle	3.5 kW (4.7 hp)		
Tool turret			
Number of tool positions	12		
Number of indexing positions	36		
VDI shaft (DIN 69880)	VDI16		
Tool cross-section for square tools	12 x 12 mm (0.47" x 0.47")		

Digitální mikroskop KEYENCE VHX-6000

Model		VHX-6000	
Camera	Image sensor	1/1.8-inch CMOS image sensor Virtual pixels: 1600 (H) × 1200 (V)	
	Scanning system	Progressive	
	Frame rate	50 F/s (max.)	
	High Dynamic Range	16-bit intensity range through RGB data from each pixel	
	Gain	Auto, Manual, Preset	
	Electronic shutter	Auto, Manual, 1/60, 1/120, 1/250, 1/500, 1/1000, 1/2000, 1/5000, 1/9000, 1/19000	
	Supercharge shutter	0.02 to 4 s	
	White balance	Push set, Auto, Manual, Preset (2700K, 3200K, 5600K, 9000K)	
	Back-focus adjustment	Not required	
LCD monitor	Size	Color LCD (IPS) 23"¹	
	Panel size	509.184 (H) × 286.416 (V) mm 20.05"(H) × 11.28"(V)¹	
	Pixel pitch	0.2652 (H) × 0.2652 (V) mm 0.01"(H) × 0.01"(V)¹	
	Number of pixels	1920 (H) × 1080 (V) (FHD)¹	
	Display colors	Approx. 16770000 colors²¹	
	Brightness	300 cd/m² (Center 1 Point, typical)¹	
	Contrast ratio	1000:1 (typical)¹	
	Field of view	±89° (typ., horizontal), ±89° (typ., vertical)¹	
CD-R/CD-RW/DVD drive unit	Unit	DVD-ROM super-multi drive unit	
	Applicable disk	CD-R/CD-RW/DVD±R/DVD±R DL/DVD±RW/DVD-RAM	
	Storage capacity	8.7 GB (when using DVD±R DL)	
Hard disk drive unit		500 GB (including 165 GB reserved area) Approx. 1680000 images (when a 2-million-pixel image is compressed) to approx. 55000 images (when a 2-million-pixel image is not compressed)	
Image format		JPEG (with compression), TIFF (without compression)	
Observable image size		20000 (H) × 20000 (V) pixels (when stitched)	
Light source	Lamp	High-brightness LED	
	Lamp life	40000 hours (reference)	
	Color temperature	5700K (typical)	
Video output	Output method	DVI-I (1920 × 1080 pixels)	
	Scanning frequency	Special LCD monitor	66 kHz (H), 60 Hz (V)
		External monitor	
Input	Mouse input	USB mouse supported	
	Keyboard input	USB keyboard supported	
	External remote input	Pause/Recording, Non-voltage input (Contact/Noncontact)	
Interface	LAN	RJ-45 (10BASE-T/100BASE-TX/1000BASE-T)	
	USB 2.0 Series A	6 types	
	USB 3.0 Series A	2 types	
Power supply	Power voltage	100 to 240 VAC, 50/60 Hz	
	Power consumption	280 VA	
Environmental resistance	Ambient temperature	+5 to +40 °C 41 to 104 °F	
	Relative humidity	35 to 80 % RH (No condensation)	
Weight	Controller	Approx. 12.5 kg	
	Camera unit	Approx. 1.2 kg (VHX-6100/6020)	
	Console	Approx. 0.5 kg	
Dimensions (Excluding the projected areas)		550 (W) × 470 (H) × 200 (D) 21.65"(W) × 18.50"(H) × 7.87"(D) (when stored)	

Piezelektrický dynamometr

KISTLER: 9119AA2

Measuring range (central), single components	F_x, F_y, F_z M_x, M_y M_z	kN N·m N·m	-4 ... 4 -150 ... 150 -300 ... 300
Meas. range when compon. act simult.(centr.), $M_x, M_y, M_z = 0$	F_x, F_y, F_z	kN	-2,5 ... 2,5
Calibrated measuring range			
100 %	F_x, F_y, F_z	N	0 ... 4 000
10 %	F_x, F_y, F_z	N	0 ... 400
1 %	F_x, F_y, F_z	N	0 ... 40
Overload (central), single comp.	F_x, F_y, F_z	kN	-4,5/4,5
Threshold		N	<0,002
Sensitivity	F_x, F_z F_y	pC/N pC/N	≈-26 ≈-13
Linearity			
Meas. range 10% ... 100%		%/FSO	≤±0,3
Meas. range 0% ... <10%		%/FSO	≤±0,5
Hysteresis			
Meas. range 10% ... 100%		%/FSO	≤±0,3
Meas. range 0% ... <10%		%/FSO	≤±0,5
Crosstalk	$F_z \rightarrow F_x, F_y$ $F_x \leftrightarrow F_y$ $F_x, F_y \rightarrow F_z$	% % %	≤±2 ≤±2 ≤±2
Natural frequency (without additional mass)	$f_n(x)$ $f_n(y)$ $f_n(z)$	kHz kHz kHz	≈4,3 ≈4,6 ≈4,4
Operating temperature range		°C	-20 ... 70
Capacitance	F_x, F_y, F_z	pF	≈230
Insulation resistance (20 °C)		Ω	>10 ¹³
Ground isolation		Ω	>10 ⁸
Degree of protection EN60529		-	IP67 ¹⁾
Weight	Dynamometer Cover plate	kg kg	1,35 0,72
Mounting surface		mm	55x80

Osmikanálový zesilovač KISTLER:5080

Connector Type		BNC neg.
Measuring range FS	pC	±2 ... 2 200 000
Measurement uncertainty (0 ... 50 °C)		
FS ≥2 ... <10 pC	%	<±2
FS ≥10 ... <100 pC	%	<±0,6
FS ≥100 ... <2 200 000 pC	%	<±0,3
Drift, measuring mode DC (Long)		
at 25 °C, max. relative Humidity RH of 60 % (non-condensing)	pC/s	<±0,03
at 25 °C, max. relative Humidity RH of 70 % (non-condensing)	pC/s	typ. <±0,05
at 50 °C, max. relative Humidity RH of 50 % (non-condensing)	pC/s	<±0,3
Overload	%FS	≈±110

Digitalizační karta KISTLER: 5697

Dimensions	mm	208x70x249
Weight	kg	2,15
Operating temperature range	°C	0 ... 50
Min./max. temperature	°C	-10/60

Power supply

Galvanic isolation (max. 40 V) between input voltage and supply voltage

Input voltage range	VDC	10 ... 36
Consumption	VA	≈5

A/D conversion

Number of channels		28 ¹⁾
Resolution (per channel)	Bit	16
Input voltage ranges (configured through software)	V	±0,1/±0,2/±0,5 ±1/±2/±5/±10
Input voltage	V	max. ±20
Sampling frequency (configured through software)	kS/s	... 1 000
max. @ 1 channel	kS/s	1 000
max. @ 3 channels	kS/s	333
max. @ 8 channels	kS/s	125
max. @ 14 channels	kS/s	71

Alicona IFM G4

Hlavní specifikace	
Princip měření	bez-kontaktní, optický, 3 rozměrný, založeno na změně zaostření
Výsledky měření	hustý, skutečný barevný povrchový model s G4 a - f: 2-25M 3D body
	G4 g a následující: 2-100M 3D body
Čas měření	od 10 s (2M měřicí body v jednom měření)
Údržba	bezúdržbový
Vzorek	
Povrchová struktura vzorku	Povrchová struktura Ra nad 10-15 nm, v závislosti na struktuře povrchu
Materiál	jakýkoli pevný materiál
Max. výška vzorku	100 mm až do 340 mm
Max. hmotnost vzorku	35 kg (větší váha je volitelná)
Max. úhel sklonu	až do 90°
Příprava vzorku	žádná

Měřicí jednotka	
Osvětlení	Koaxiální bílé LED světlo, vysoký výkon, elektrický kontrolovatelné
Optické osvětlení	Prstencové bílé LED světlo, vysoký výkon, elektrický kontrolovatelné
Objektivy	2,5x, 5x, 10x, 20x, 50x, 100x
Sensory	snímané barevné zaostření (1624x1236 3D body)
Revolverová hlavice:	6 objektivů manuálních nebo 6 objektivů poháněných
Max. rozsah pohybu (XY)	100 mm x 100 mm
Max. rozsah pohybu (Z)	100 mm
Max. moment v ose X	200 Nm
Max. moment v ose Y	200 Nm
Hmotnost	95-100 kg, v závislosti na vybavení
Rozměry	šířka: 710 mm, hloubka: 540 mm
Výška	628 mm až do 868 mm
Teplotní rozsah	možné 5°-40 °C, kalibrované pro teplotu 18°-22 °C (lze také kalibrovat jiné teplotní rozsahy)
Teplotní spád	méně než 1 °C za hodinu
atmosférická vlhkost	ideální: 45 % (±5 %) platný rozsah: 45 % (±15 %)
Třída IP:	IP 20 (dle DIN EN 60529)

Příloha D

Naměřené hodnoty a vyhodnocení zkoušek

Zkouška obrobiteľnosti – vzorek č. 1

Experimentálně naměřené a dopočtené hodnoty:

$v_{c1} = 45$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	20	110	110	1,536	1,536	71,620	716,197
2.	18,8	110	120	1,444	2,980	76,191	761,912
3.	17,6	109,7	140	1,348	4,328	81,386	813,861
4.	16,4	109,7	160	1,256	5,584	87,341	873,411
5.	15,2	109,4	180	1,161	6,744	94,236	942,365
6.	14	109,4	190	1,069	7,814	102,314	1023,139
7.	12,8	109,1	200	0,975	8,789	111,906	1119,058
8.	11,6	109,1	230	0,884	9,672	123,482	1234,823
9.	10,4	108,8	250	0,790	10,462	137,730	1377,302
10.	9,2	108,8	250	0,699	11,161	155,695	1556,951
11.	8	108,8	260	0,608	11,769	179,049	1790,493

$v_{c2} = 50$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	14	110	110	0,968	0,968	113,682	1136,821
2.	12,8	110	150	0,885	1,852	124,340	1243,398
3.	11,6	110	200	0,802	2,654	137,203	1372,025
4.	10,4	110	280	0,719	3,373	153,034	1530,336
5.	9,2	110	280	0,636	4,009	172,995	1729,945

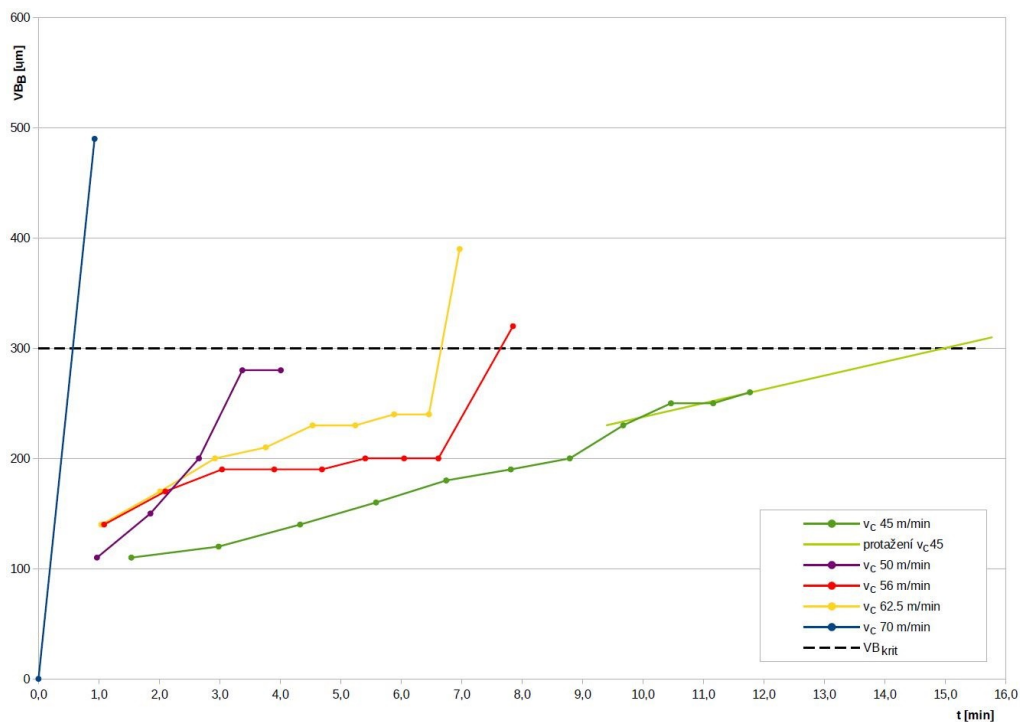
$v_{c3} = 56$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	17,6	110	140	1,086	1,086	101,280	1012,804
2.	16,4	110	170	1,012	2,098	108,691	1086,912
3.	15,2	110	190	0,938	3,036	117,272	1172,721
4.	14	110	190	0,864	3,900	127,324	1273,240
5.	12,8	110	190	0,790	4,690	139,261	1392,606
6.	11,6	110	200	0,716	5,406	153,667	1536,668
7.	10,4	110	200	0,642	6,048	171,398	1713,976
8.	9,2	110	200	0,568	6,615	193,754	1937,538
9.	20	110	320	1,234	7,849	89,127	891,268

	$v_{c4} = 62,5$ [m/min]	$f_o = 0,1$ [mm/min]	$a_p = 0,6$ [mm]	$VB_{krit} = 300$ [μm]			
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	18,8	110	140	1,039	1,039	105,821	1058,211
2.	17,6	110	170	0,973	2,013	113,036	1130,362
3.	16,4	110	200	0,907	2,919	121,307	1213,071
4.	15,2	110	210	0,840	3,760	130,884	1308,840
5.	14	110	230	0,774	4,534	142,103	1421,026
6.	12,8	110	230	0,708	5,242	155,425	1554,247
7.	11,6	110	240	0,641	5,883	171,503	1715,032
8.	10,4	110	240	0,575	6,458	191,292	1912,920
9.	9,2	110	390	0,509	6,967	216,243	2162,431

Poznámka: U řezu č. 9 byla měřena hodnota VB_C max.

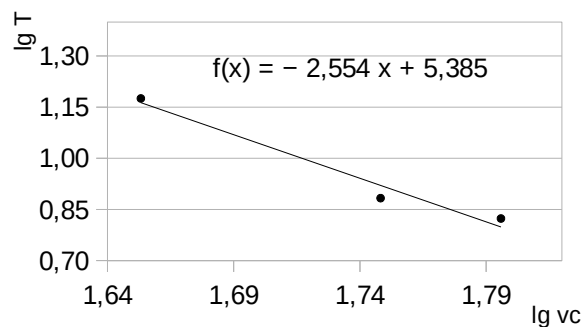
	$v_{c5} = 70$ [m/min]	$f_o = 0,1$ [mm/min]	$a_p = 0,6$ [mm]	$VB_{krit} = 300$ [μm]			
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	18,8	110	490	0,928	0,928	118,520	1185,196

Grafické vyhodnocení:



Vyhodnocení naměřených hodnot:

v_c [m/min]	T [min]	$\lg v_c$	$\lg T$
45,0	14,983	1,653	1,176
56,0	7,643	1,748	0,883
62,5	6,662	1,796	0,824



Konstanty:

$$m = 2,554$$

$$c_{TV} = 10^{5,385} = 2,4 \cdot 10^5$$

Taylorův vztah:

$$T_{42SiCr(1)} = \frac{2,4 \cdot 10^5}{v^{2,554}}$$

Zkouška obrobitelnosti – vzorek č. 2

Experimentálně naměřené a dopočtené hodnoty:

$v_{c1} = 70$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	18,8	110	140	0,928	0,928	118,520	1185,196
2.	17,6	110	170	0,869	1,797	126,601	1266,005
3.	16,4	110	210	0,810	2,607	135,864	1358,640
4.	15,2	110	230	0,750	3,357	146,590	1465,901
5.	14	110	250	0,691	4,048	159,155	1591,549
6.	12,8	110	260	0,632	4,680	174,076	1740,757
7.	11,6	110	270	0,573	5,253	192,084	1920,836
8.	10,4	110	280	0,513	5,766	214,247	2142,470
9.	9,2	110	280	0,454	6,220	242,192	2421,923

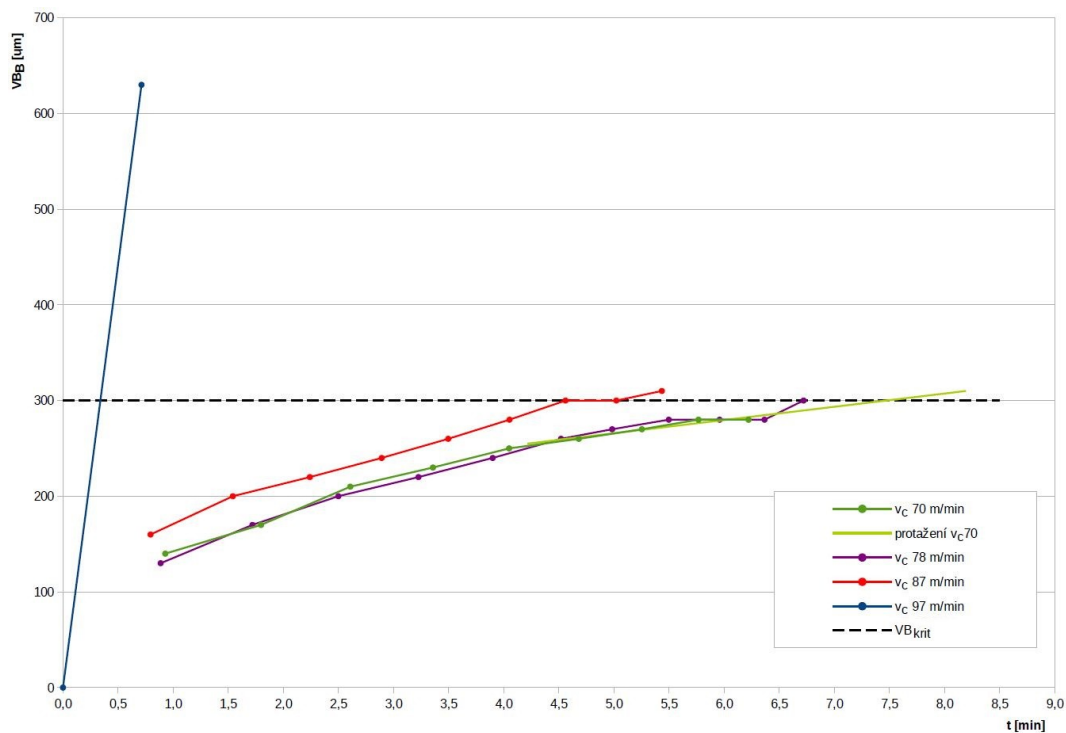
$v_{c2} = 78$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	20	110	130	0,886	0,886	124,141	1241,409
2.	18,8	110	170	0,833	1,719	132,065	1320,647
3.	17,6	110	200	0,780	2,499	141,069	1410,692
4.	16,4	110	220	0,727	3,225	151,391	1513,913
5.	15,2	110	240	0,673	3,899	163,343	1633,432
6.	14	110	260	0,620	4,519	177,344	1773,441
7.	12,8	90	270	0,464	4,983	193,970	1939,701

8.	11,6	110	280	0,514	5,497	214,036	2140,360
9.	10,4	110	280	0,461	5,958	238,732	2387,324
10.	9,2	110	280	0,408	6,365	269,871	2698,714
11.	8	110	300	0,354	6,720	310,352	3103,521

$v_{c3} = 87$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μ m]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μ m]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	20	110	160	0,794	0,794	138,465	1384,648
2.	18,8	110	200	0,747	1,541	147,303	1473,030
3.	17,6	110	220	0,699	2,240	157,346	1573,464
4.	16,4	110	240	0,651	2,892	168,860	1688,595
5.	15,2	110	260	0,604	3,495	182,191	1821,905
6.	14	110	280	0,556	4,052	197,807	1978,069
7.	12,8	110	300	0,508	4,560	216,351	2163,513
8.	11,6	110	300	0,461	5,021	238,732	2387,324
9.	10,4	110	310	0,413	5,434	266,278	2662,785

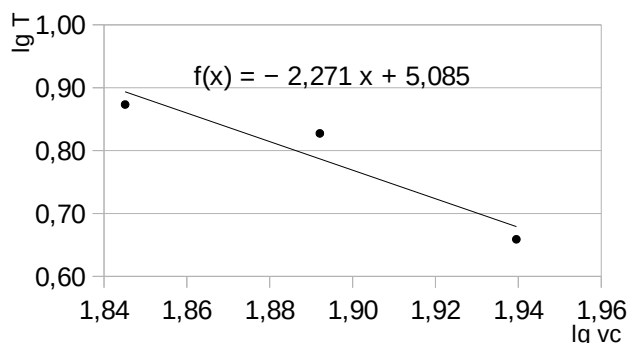
$v_{c4} = 97$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μ m]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μ m]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	20	110	630	0,713	0,713	154,380	1543,803

Grafické vyhodnocení:



Vyhodnocení naměřených hodnot:

v_c [m/min]	T [min]	$\lg v_c$	$\lg T$
70	7,469	1,845	0,873
78	6,720	1,892	0,827
87	4,560	1,940	0,659



Konstanty:

$$m = 2,271$$

$$c_{TV} = 10^{5,085} = 1,2 \cdot 10^5$$

Taylorův vztah:

$$T_{42SiCr(2)} = \frac{1,2 \cdot 10^5}{v^{2,271}}$$

Zkouška obrobitelnosti – vzorek č. 3

Experimentálně naměřené a dopočtené hodnoty:

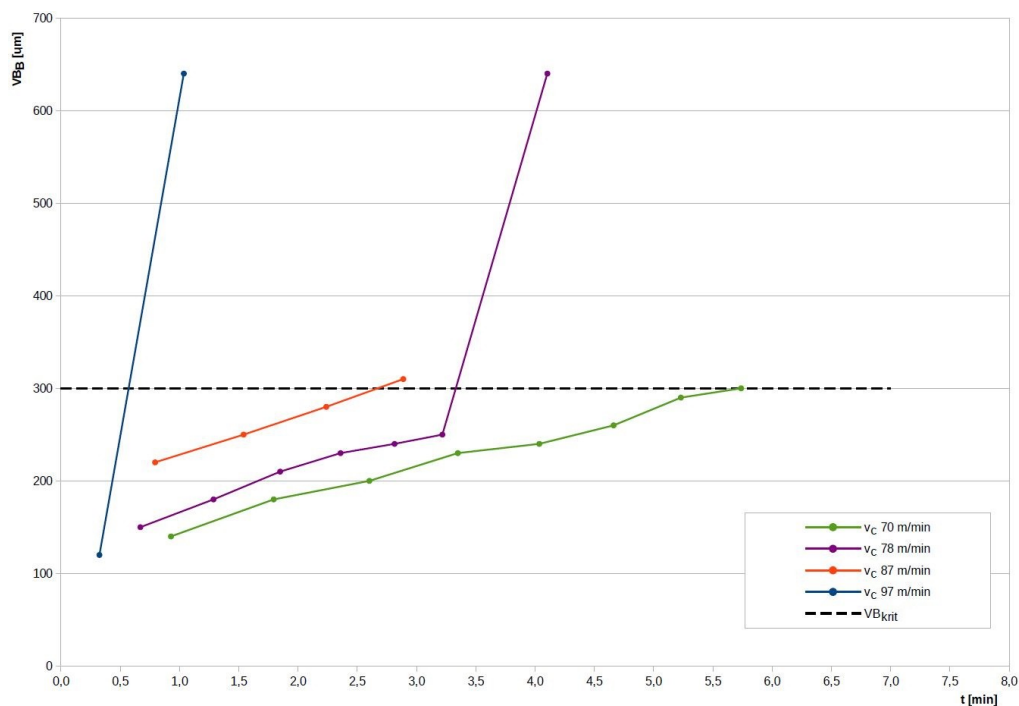
$v_{c1} = 70$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	18,8	110	140	0,928	0,928	118,520	1185,196
2.	17,6	109,7	180	0,867	1,795	126,601	1266,005
3.	16,4	109,7	200	0,807	2,602	135,864	1358,640
4.	15,2	109,4	230	0,746	3,348	146,590	1465,901
5.	14	109,4	240	0,687	4,036	159,155	1591,549
6.	12,8	109,1	260	0,627	4,662	174,076	1740,757
7.	11,6	109,1	290	0,568	5,230	192,084	1920,836
8.	10,4	108,8	300	0,508	5,738	214,247	2142,470

$v_{c2} = 78$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	15,2	109,4	150	0,670	0,670	163,343	1633,432
2.	14	109,4	180	0,617	1,287	177,344	1773,441
3.	12,8	109,1	210	0,562	1,849	193,970	1939,701
4.	11,6	109,1	230	0,510	2,359	214,036	2140,360
5.	10,4	108,8	240	0,456	2,815	238,732	2387,324
6.	9,2	108,8	250	0,403	3,218	269,871	2698,714
7.	20	110	640	0,886	4,104	124,141	1241,409

$v_{c3} = 87$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	20	110	220	0,794	0,794	138,465	1384,648
2.	18,8	110	250	0,747	1,541	147,303	1473,030
3.	17,6	109,7	280	0,697	2,238	157,346	1573,464
4.	16,4	109,7	310	0,650	2,888	168,860	1688,595

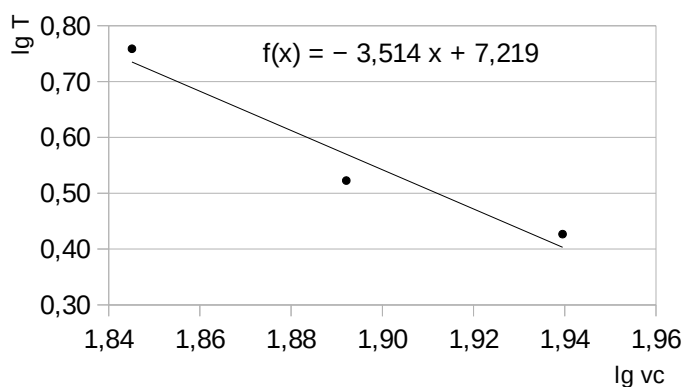
$v_{c4} = 97$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	9,2	108,8	120	0,324	0,324	335,609	3356,093
2.	20	110	640	0,713	1,037	154,380	1543,803

Grafické vyhodnocení:



Vyhodnocení naměřených hodnot:

v_c [m/min]	T [min]	$\lg v_c$	$\lg T$
70	5,738	1,845	0,759
78	3,332	1,892	0,523
87	2,671	1,940	0,427



Konstanty:

$$m = 3,514$$

$$c_{Tv} = 10^{7,219} = 1,7 \cdot 10^7$$

Taylorův vztah:

$$T_{42SiCr(3)} = \frac{1,7 \cdot 10^7}{v^{3,514}}$$

Zkouška obrobitelnosti – vzorek č. 4

Experimentálně naměřené a dopočtené hodnoty:

$v_{c1} = 78$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	18,8	110	140	0,833	0,833	132,065	1320,647
2.	17,6	109,7	170	0,778	1,611	141,069	1410,692
3.	16,4	109,7	200	0,725	2,335	151,391	1513,913
4.	15,2	109,4	230	0,670	3,005	163,343	1633,432
5.	14	109,4	260	0,617	3,622	177,344	1773,441
6.	12,8	109,1	270	0,562	4,184	193,970	1939,701
7.	11,6	109,1	290	0,510	4,694	214,036	2140,360
8.	10,4	108,8	300	0,456	5,150	238,732	2387,324

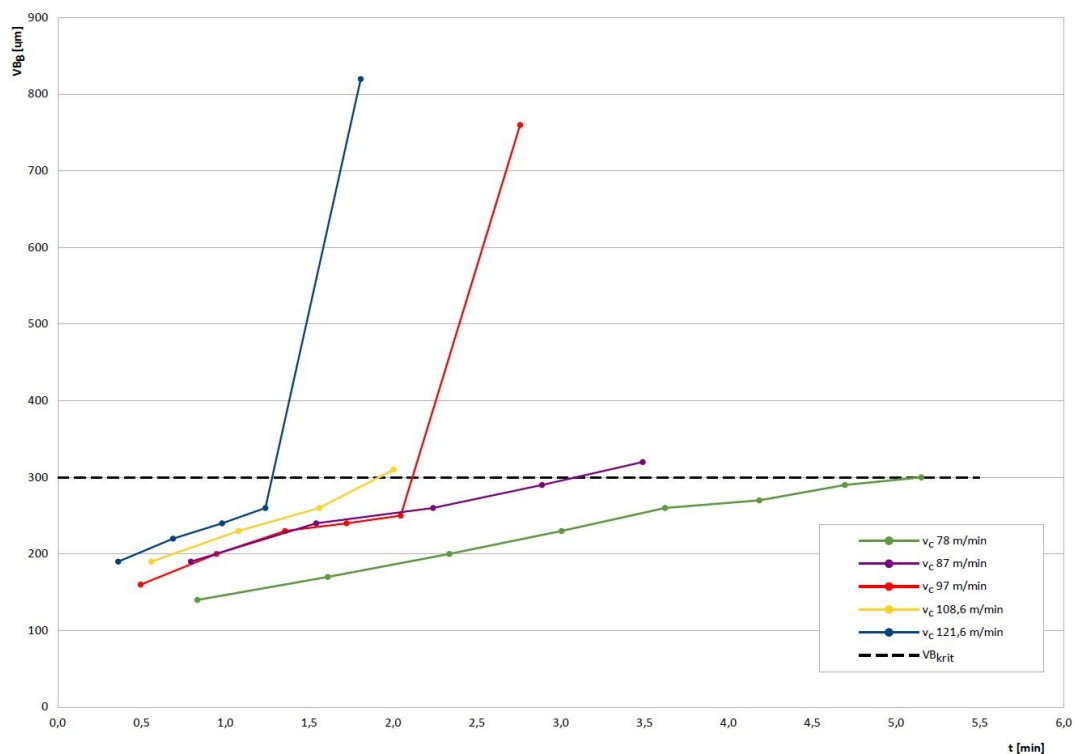
$v_{c2} = 87$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	20	110	190	0,794	0,794	138,465	1384,648
2.	18,8	110	240	0,747	1,541	147,303	1473,030
3.	17,6	109,7	260	0,697	2,238	157,346	1573,464
4.	16,4	109,7	290	0,650	2,888	168,860	1688,595
5.	15,2	109,4	320	0,600	3,488	182,191	1821,905

$v_{c3} = 97$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	14	109,1	160	0,495	0,495	220,543	2205,433
2.	12,8	109,1	200	0,452	0,947	241,219	2412,192
3.	11,6	108,8	230	0,409	1,356	266,173	2661,729
4.	10,4	108,8	240	0,366	1,722	296,885	2968,852
5.	9,2	108,4	250	0,323	2,045	335,609	3356,093
6.	20	110	760	0,713	2,758	154,380	1543,803

$v_{c4} = 108,6$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	17,6	109,7	190	0,559	0,559	196,412	1964,117
2.	16,4	109,7	230	0,520	1,079	210,783	2107,833
3.	15,2	109,4	260	0,481	1,560	227,424	2274,240
4.	14	109,4	310	0,443	2,003	246,918	2469,175

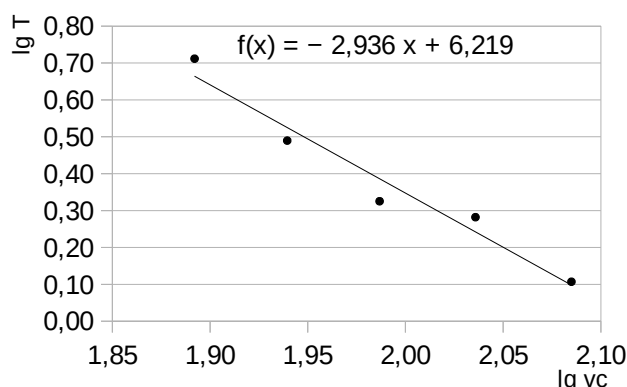
$v_{c5} = 121,6$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	12,8	109,1	190	0,361	0,361	302,394	3023,944
2.	11,6	109,1	220	0,327	0,688	333,677	3336,766
3.	10,4	108,8	240	0,292	0,980	372,178	3721,777
4.	9,2	108,8	260	0,259	1,239	420,723	4207,226
5.	20	110	820	0,568	1,807	193,532	1935,324

Grafické vyhodnocení:



Vyhodnocení naměřených hodnot:

v_c [m/min]	T [min]	$\lg v_c$	$\lg T$
78	5,150	1,892	0,712
87	3,088	1,940	0,490
97	2,115	1,987	0,325
108,6	1,914	2,036	0,282
121,6	1,280	2,085	0,107



Konstanty:

$$m = 2,936$$

$$c_{Tv} = 10^{6,219} = 1,7 \cdot 10^6$$

Taylorův vztah:

$$T_{42SiCr(4)} = \frac{1,7 \cdot 10^6}{v^{2,936}}$$

Zkouška obrobitelnosti – vzorek č. 5

Experimentálně naměřené a dopočtené hodnoty:

$v_{c1} = 50$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	$VB_B \text{ max.}$ [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	20	110	100	1,382	1,382	79,577	795,775
2.	18,8	110	120	1,299	2,682	84,657	846,569
3.	17,6	109,7	150	1,213	3,895	90,429	904,289
4.	16,4	109,7	170	1,130	5,025	97,046	970,457
5.	15,2	109,4	180	1,045	6,070	104,707	1047,072
6.	14	109,4	200	0,962	7,032	113,682	1136,821
7.	12,8	109,1	210	0,877	7,910	124,340	1243,398
8.	11,6	109,1	220	0,795	8,705	137,203	1372,025
9.	10,4	108,8	230	0,711	9,416	153,034	1530,336
10.	9,2	108,8	230	0,629	10,045	172,995	1729,945
11.	20	110	380	1,382	11,427	79,577	795,775

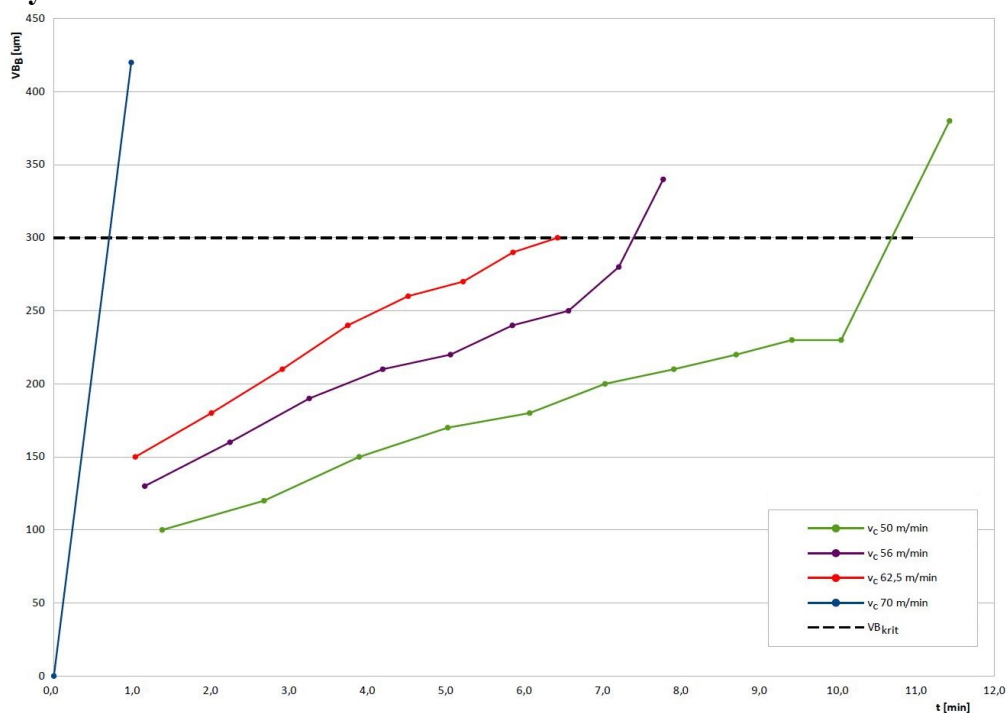
$v_{c2} = 56$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	$VB_B \text{ max.}$ [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	18,8	110	130	1,160	1,160	94,816	948,157
2.	17,6	110	160	1,086	2,246	101,280	1012,804
3.	16,4	110	190	1,012	3,258	108,691	1086,912

4.	15,2	110	210	0,938	4,196	117,272	1172,721
5.	14	110	220	0,864	5,060	127,324	1273,240
6.	12,8	110	240	0,790	5,850	139,261	1392,606
7.	11,6	110	250	0,716	6,566	153,667	1536,668
8.	10,4	110	280	0,642	7,208	171,398	1713,976
9.	9,2	109,8	340	0,567	7,774	193,754	1937,538

$v_{c3} = 62,5$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	18,8	110	150	1,039	1,039	105,821	1058,211
2.	17,6	109,7	180	0,970	2,010	113,036	1130,362
3.	16,4	109,7	210	0,904	2,914	121,307	1213,071
4.	15,2	109,4	240	0,836	3,750	130,884	1308,840
5.	14	109,4	260	0,770	4,520	142,103	1421,026
6.	12,8	109,1	270	0,702	5,222	155,425	1554,247
7.	11,6	109,1	290	0,636	5,858	171,503	1715,032
8.	10,4	108,8	300	0,569	6,427	191,292	1912,920

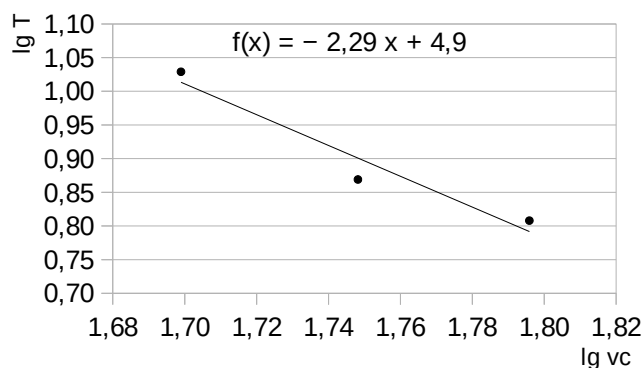
$v_{c4} = 70$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	20	110	420	0,987	0,987	111,408	1114,085

Grafické vyhodnocení:



Vyhodnocení naměřených hodnot:

v_c [m/min]	T [min]	$\lg v_c$	$\lg T$
50	10,690	1,699	1,029
56	7,397	1,748	0,869
62,5	6,427	1,796	0,808



Konstanty:

$$m = 2,29$$

$$c_{Tv} = 10^{4,9} = 7,9 \cdot 10^4$$

Taylorův vztah:

$$T_{42\text{SiCr}(5)} = \frac{7,9 \cdot 10^4}{v^{2,29}}$$

Zkouška obrobitelnosti – etalonový materiál 12 050.1

Experimentálně naměřené a dopočtené hodnoty:

Řez č.	$v_{c1} = 70,5$ [m/min]		$f_o = 0,1$ [mm/min]		$a_p = 0,6$ [mm]		$VB_{krit} = 300$ [μm]	
	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μm]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]	
1	59,9	60	120	1,602	1,602	37,464	374,639	
2	59,9	60	150	1,602	3,203	37,464	374,639	
3	58,7	60	160	1,569	4,773	38,230	382,297	
4	58,7	60	170	1,569	6,342	38,230	382,297	
5	58,7	60	170	1,569	7,911	38,230	382,297	
6	57,5	60	180	1,537	9,449	39,028	390,276	
7	57,5	60	180	1,537	10,986	39,028	390,276	
8	57,5	60	190	1,537	12,524	39,028	390,276	
9	56,3	120	200	3,011	15,534	39,859	398,594	
10	56,3	60	210	1,505	17,039	39,859	398,594	
10	55,1	60	210	1,473	18,513	40,727	407,275	
11	55,1	120	210	2,946	21,459	40,727	407,275	
12	53,9	180	220	4,323	25,782	41,634	416,342	
13	52,7	180	240	4,227	30,010	42,582	425,823	
14	51,5	180	250	4,131	34,140	43,574	435,745	
15	50,3	180	280	4,035	38,175	44,614	446,140	
16	49,1	180	300	3,938	42,113	45,704	457,044	
17	47,9	180	320	3,842	45,955	46,849	468,494	

$v_{c2} = 79$ [m/min]							
$f_o = 0,1$ [mm/min]							
$a_p = 0,6$ [mm]							
$VB_{krit} = 300$ [μ m]							
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μ m]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	63,5	30	130	1,151	1,151	26,066	260,663
2.	63,5	30	170	1,151	2,302	26,066	260,663
3.	63,5	30	190	1,151	3,453	26,066	260,663
4.	63,5	35	230	1,343	4,795	26,066	260,663
5.	62,3	30	240	1,129	5,925	26,568	265,684
6.	62,3	30	250	1,129	7,054	26,568	265,684
7.	62,3	30	260	1,129	8,183	26,568	265,684
8.	62,3	30	270	1,129	9,312	26,568	265,684
9.	62,3	30	270	1,129	10,441	26,568	265,684
10.	62,3	35	280	1,317	11,759	26,568	265,684
11.	61,1	30	280	1,107	12,866	27,090	270,902
12.	61,1	30	290	1,107	13,973	27,090	270,902
13.	61,1	30	290	1,107	15,081	27,090	270,902
14.	61,1	30	290	1,107	16,188	27,090	270,902
15.	61,1	30	290	1,107	17,296	27,090	270,902
16.	61,1	35	300	1,292	18,588	27,090	270,902
17.	59,9	60	310	2,171	20,759	27,633	276,329

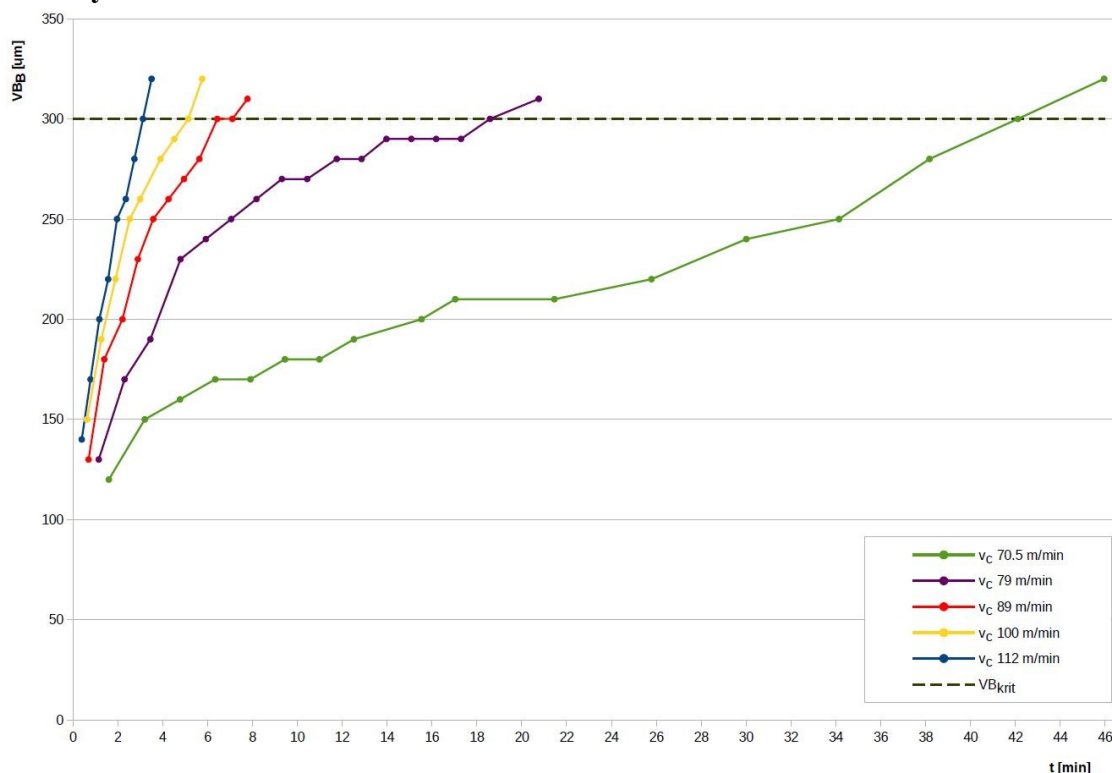
$v_{c3} = 89$ [m/min]							
$f_o = 0,1$ [mm/min]							
$a_p = 0,6$ [mm]							
$VB_{krit} = 300$ [μ m]							
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μ m]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	65,9	30	130	0,698	0,698	42,989	429,887
2.	65,9	30	180	0,698	1,396	42,989	429,887
3.	65,9	35	200	0,814	2,210	42,989	429,887
4.	64,7	30	230	0,685	2,895	43,786	437,861
5.	64,7	30	250	0,685	3,580	43,786	437,861
6.	64,7	30	260	0,685	4,265	43,786	437,861
7.	64,7	30	270	0,685	4,950	43,786	437,861
8.	64,7	30	280	0,685	5,636	43,786	437,861
9.	64,7	35	300	0,799	6,435	43,786	437,861
10.	63,5	30	300	0,672	7,107	44,614	446,135
11.	63,5	30	310	0,672	7,780	44,614	446,135

$v_{c4} = 100$ [m/min]							
$f_o = 0,1$ [mm/min]							
$a_p = 0,6$ [mm]							
$VB_{krit} = 300$ [μ m]							
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μ m]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	67,1	30	150	0,632	0,632	47,438	474,381
2.	67,1	30	190	0,632	1,265	47,438	474,381
3.	67,1	30	220	0,632	1,897	47,438	474,381
4.	67,1	30	250	0,632	2,530	47,438	474,381
5.	67,1	22	260	0,464	2,993	47,438	474,381

6.	67,1	43	280	0,906	3,900	47,438	474,381
7.	65,9	30	290	0,621	4,521	48,302	483,020
8.	65,9	30	300	0,621	5,142	48,302	483,020
9.	65,9	30	320	0,621	5,763	48,302	483,020

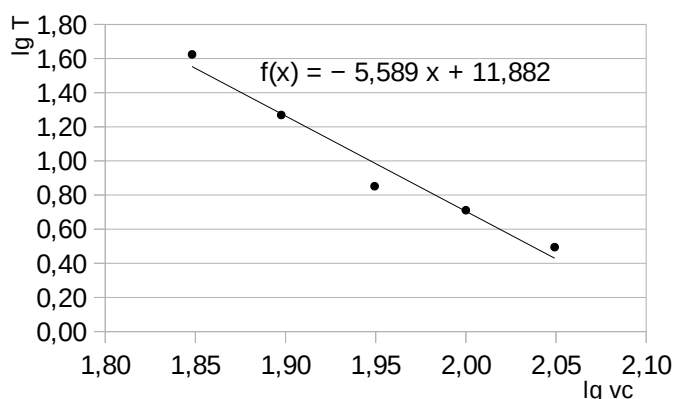
	$v_{c5} = 112$ [m/min]	$f_o = 0,1$ [mm/min]	$a_p = 0,6$ [mm]	$VB_{krit} = 300$ [μ m]			
Řez č.	D [mm]	L [mm]	VB_B max. [μ m]	t [min]	Δt [min]	v_f [mm/min]	n [ot/min]
1.	46,7	30	140	0,393	0,393	76,340	763,398
2.	46,7	30	170	0,393	0,786	76,340	763,398
3.	46,7	30	200	0,393	1,179	76,340	763,398
4.	46,7	30	220	0,393	1,572	76,340	763,398
5.	46,7	30	250	0,393	1,965	76,340	763,398
6.	46,7	30	260	0,393	2,358	76,340	763,398
7.	45,5	30	280	0,383	2,741	78,353	783,532
8.	45,5	30	300	0,383	3,124	78,353	783,532
9.	45,5	30	320	0,383	3,507	78,353	783,532

Grafické vyhodnocení:



Vyhodnocení naměřených hodnot:

v_c [m/min]	T [min]	$\lg v_c$	$\lg T$
70,5	42,113	1,848	1,624
79,0	18,588	1,898	1,269
89,0	7,107	1,949	0,852
100,0	5,142	2,000	0,711
112,0	3,124	2,049	0,495



Konstanty:

$$m = 5,589$$

$$c_{Tv} = 10^{11,882} = 7,6 \cdot 10^{11}$$

Taylorův vztah:

$$T_{12050.1} = \frac{7,6 \cdot 10^{11}}{v^{5,589}}$$

Zkouška měrného řezného odporu

Experimentálně naměřené a dopočtené hodnoty:

VZOREK 1			
poř.č.	v_c [m/min]	F_c [N]	$k_{c0.1}$ [MPa]
1	70	432,5	4325
2	56	420,7	4207
3	48	428,6	4286
4	41	462,8	4628

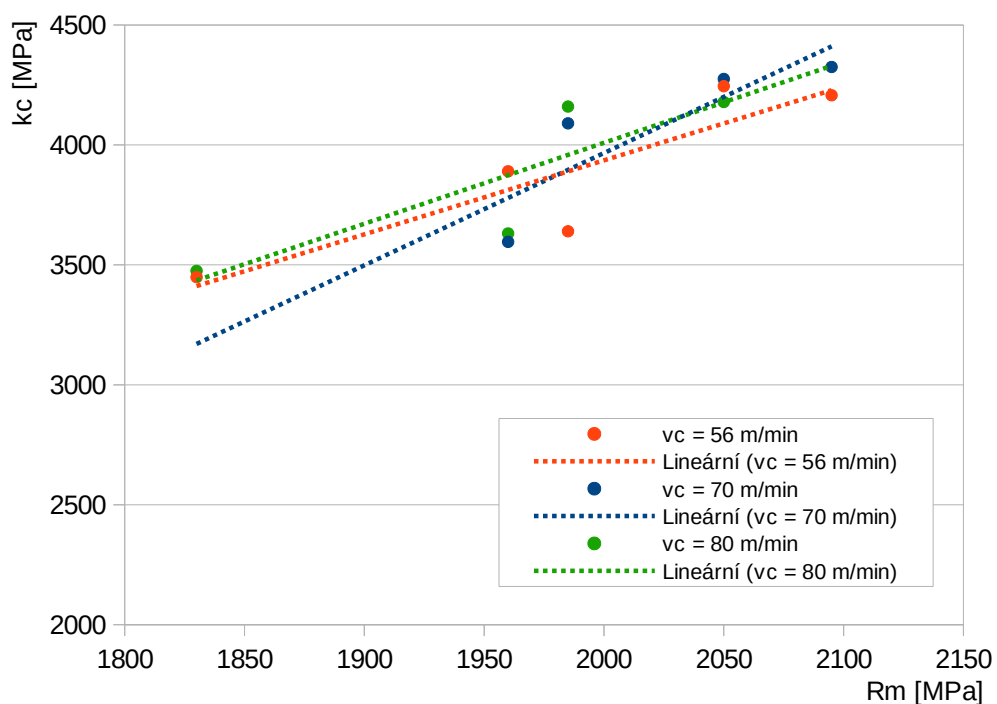
VZOREK 2			
poř.č.	v_c [m/min]	F_c [N]	$k_{c0.1}$ [MPa]
1	70	409	4090
2	56	364	3640
3	80	416	4160
4	65	350,4	3504
5	41	457,2	4572

VZOREK 3			
poř.č.	v_c [m/min]	F_c [N]	$k_{c0.1}$ [MPa]
1	70	359,6	3596
2	98	353,5	3535
3	56	389	3890
4	80	363,1	3631

VZOREK 4			
poř.č.	v_c [m/min]	F_c [N]	$k_{c0.1}$ [MPa]
1	70	532,3	5323
3	56	344,9	3449
4	80	347,5	3475
5	98	340,7	3407
6	65	368,4	3684

VZOREK 5			
poř.č.	v_c [m/min]	F_c [N]	$k_{c0,1}$ [MPa]
1	70	427,5	4275
2	56	424,5	4245
3	80	417,9	4179
4	98	362	3620

Grafické vyhodnocení:



Příloha E

Protokoly o zkouškách obrobitelnosti experimentálních vzorků

Vzorek č. 1

Společnost	Obecné podmínky											Číslo listu: 1 / 7	
Datum: 13.12.2019	Zákazník: ZČU LET						Měřil: Maršálek Ondřej						
Cíl zkoušky Sestrojení Taylorova vztahu a určení třídy obrobitelnosti pro klasifikaci oceli.													
Testovací materiál													
Označení 42SiCr	Výrobce						Země						
Analýza %	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Nb	Al	%
Norma												O	%
												N	%
Zkušební tyč	0,43	2,03	0,59	0,009	0,004	-	1,33	0,03	-	-	0,03	H ₂	%
Analýza strusky a zařazení	SiO ₂		Al ₂ O ₃		FeO		MnO		Zařazení (typ, velikost, atd.)				
	CaO		MgO		TiO ₂		Cr ₂ O ₃						
Úprava ingotu (velikost ingotu, válcování atd.) KR20 – 130													
Tepelné zpracování Kaleno a popuštěno											Struktura		
Mechanické vlastnosti	R _m 2095 N/mm ²		Tvrdost podle Vickerse		Doplňující údaje								
	R _{eh} N/mm ²		629 HV10		Tažnost A 11,3 %								
	R _{el} N/mm ²												
Nástroje													
Výrobce WALTER				Země				Materiál nástroje					
Slitý karbid	<input checked="" type="checkbox"/>			Břit. destičky (označ.) SCMT 09T304-14				Skupina aplikace (ISO 513) N					
Řezná keramika: Al ₂ O ₃ – typ	<input type="checkbox"/>			Držák nástroje (typ a označení) SSRCL 1212F09									
Řezná keramika: Si ₃ N ₄ – typ	<input type="checkbox"/>												
Rychlořezná ocel	Složení						Tvrdost						
	Tepelné zpracování						Označení nástroje						
	Metoda broušení												
Geometrie nástroje	$\gamma_n = 0^\circ$		$\lambda_s = 0^\circ$		$\epsilon_r = 90^\circ$		$r_n = 0,044$ mm		$\rho_{By} =$				
	$\alpha_n = 7^\circ$		$\kappa_r = 75^\circ$		$r_\epsilon = 0,4$ mm				$l_{Bn} =$				
Soustruh													
Výrobce EMCO		Typ MAXXTURN 25		Číslo				Rok výroby					
Výstupní výkon 6,5 kW		Výška pracovního prostoru 325 mm		Délka pracovního prostoru 485 mm				Záznam o strojních podm. č.					
Ukotvení stroje (příšroubováno atd.)				Plynulá regulace otáček								Ano <input checked="" type="checkbox"/>	
Různé													
Upínač													
Upínač je				Skličidlo <input type="checkbox"/>		Další zařízení (popis) otočný hrot							
				Kleština <input checked="" type="checkbox"/>									
				Hroty <input type="checkbox"/>									
Chladicí kapalina													
Chladicí kapalina použita		Ano <input type="checkbox"/>	Ne <input checked="" type="checkbox"/>	Typ		Označení		Tlak		Teplota		Množství l/min	
Odchyly od normy ISO 3685:				Normou požadované				Zdůvodnění odchyly					
				držák nástroje 25 × 25 mm				nemožnost upnutí do použitého obráběcího stroje					
				velikost VBD: L = 12,7 mm, S = 4,76 mm				nemožnost upnutí do zvoleného nožového držáku					
				geometrie břitu: $\gamma_n = +6^\circ$, $\alpha_n = 5^\circ$				na trhu nedostupná VBD s těmito úhly					
				$r_n = 0,02$ až $0,03$ mm				na trhu nedostupná VBD s tímto r_n					
posuv na otáčku 0,8 mm/ot				během experimentu určen jako nevhodný									

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t					Číslo listu: 2 / 7		
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 1	Řezná hrana č. 1	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 20 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	45 m/min				
Poznámka: Délka řezu vždy po dvou řezech snižována o 0,3 mm.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	–	–	–	–	–	–	–	–	
1	1,536	20		B	110			2.3.1	
2	2,98	18,8		B	120			2.3.1	
3	4,328	17,6		B	140			2.3.1	
4	5,584	16,4		B	160			2.3.1	
5	6,744	15,2		B	180			2.3.1	
6	7,814	14		B	190			2.3.1	
7	8,789	12,8		B	200			2.3.1	
8	9,672	11,6		B	230			2.3.1	
9	10,462	10,4		B	250			2.3.1	
10	11,161	9,2		B	250			2.3.1	
11	11,769	8		B	260			2.3.1	
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$			1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

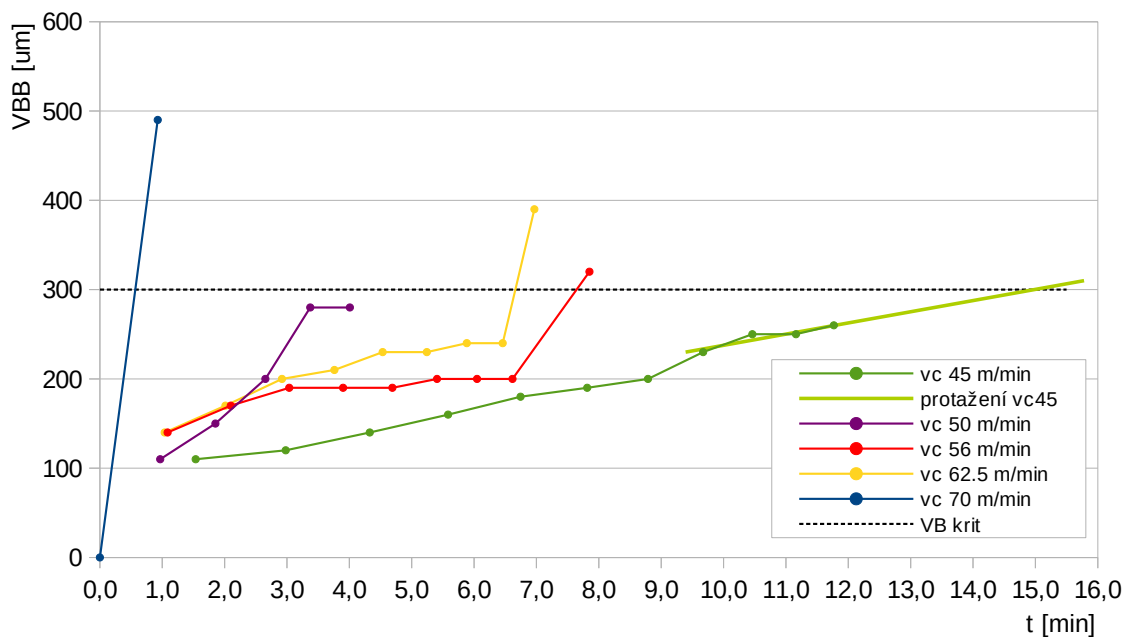
Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t				Číslo listu: 3 / 7	
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej		
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje							
VBD / nástroj č. 1	Řezná hrana č. 2	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 14 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost	
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	50 m/min		
Poznámka:							

Zkušební hodnoty										
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu				Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)			
0	—	—	—	—	—	—	—	—		
1	0,968	14		B	110			2.3.1		
2	1,852	12,8		B	150			2.3.1	nárůstek	
3	2,654	11,6		B	200			2.3.1	nárůstek	
4	3,373	10,4		B	280			2.3.1		
5	4,009	9,2		B	280			2.3.1		
6										
7										
8										
9										
10										
11										
12										
13										
14										
15										

Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$ 1) Pokud je použito jiné opotřebení Je tvar třísky ovlivněn utvařečem? Ano Ne

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.



Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_g max. v závislosti na čase t					Číslo listu: 4 / 7		
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 1	Řezná hrana č. 3	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 17,6 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	56 m/min				
Poznámka:									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_g mm	VB_g max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	1,086	17,6		B	140			2.3.1	
2	2,098	16,4		B	170			2.3.1	
3	3,036	15,2		B	190			2.3.1	
4	3,9	14		B	190			2.3.1	
5	4,69	12,8		B	190			2.3.1	
6	5,406	11,6		B	200			2.3.1	
7	6,048	10,4		B	200			2.3.1	
8	6,615	9,2		B	200			2.3.1	
9	7,849	20		B	320			2.3.1	
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$		1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>			

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t					Číslo listu: 5 / 7		
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 1	Řezná hrana č. 4	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 18,8 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	62,5 m/min				
Poznámka:									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	1,039	18,8		B	140			2.3.1	
2	2,013	17,6		B	170			2.3.1	
3	2,919	16,4		B	200			2.3.1	
4	3,76	15,2		B	210			2.3.1	
5	4,534	14		B	230			2.3.1	
6	5,242	12,8		B	230			2.3.1	
7	5,883	11,6		B	240			2.3.1	
8	6,458	10,4		B	240			2.3.1	
9	6,967	9,2		C	390			2.3.1	
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$		1) Pokud je použito jiné opotřebení					Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t					Číslo listu: 6 / 7		
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 2	Řezná hrana č. 1	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 18,8 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	70 m/min				
Poznámka:									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—		
1	0,928	18,8		B	490			2.3.1	
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$			1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Vzorek č. 2

Společnost		Obecné podmínky										Číslo listu: 1 / 6			
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LET					Měřil: Maršálek Ondřej								
Cíl zkoušky															
Sestrojení Taylorova vztahu a určení třídy obrobitelnosti pro klasifikaci oceli.															
Testovací materiál															
Označení 42SiCr		Výrobce					Země								
Analýza %		C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Nb		Al	%
Norma														O	%
														N	%
Zkušební tyč		0,43	2,03	0,59	0,009	0,004	-	1,33	0,03	-	-	0,03		H ₂	%
Analýza strusky a zařazení		SiO ₂		Al ₂ O ₃		FeO		MnO		Zařazení (typ, velikost, atd.)					
		CaO		MgO		TiO ₂		Cr ₂ O ₃							
Úprava ingotu (velikost ingotu, válcování atd.) KR20 – 130															
Tepelné zpracování Kaleno a popuštěno										Struktura					
Mechanické vlastnosti		R _m 1985 N/mm ²		R _{eh} N/mm ²		R _{el} N/mm ²		Tvrdomost podle Vickerse			Doplňující údaje				
								588 HV10			Tažnost A 15 %				
Nástroje															
Výrobce WALTER				Země				Materiál nástroje							
Slinutý karbid		<input checked="" type="checkbox"/>		Břit. destičky (označ.) SCMT 09T304-14				Skupina aplikace (ISO 513) N							
Řezná keramika: Al ₂ O ₃ – typ		<input type="checkbox"/>		Držák nástroje (typ a označení) SSRCL 1212F09											
Řezná keramika: Si ₃ N ₄ – typ		<input type="checkbox"/>													
Rychlořezná ocel		Složení				Tvrdomost									
		Tepelné zpracování				Označení nástroje									
		Metoda broušení													
Geometrie nástroje		γ _n = 0°		λ _s = 0°		ε _r = 90°		r _n = 0,044 mm		ρ _{By} =					
		α _n = 7°		κ _r = 75°		r _ε = 0,4 mm				l _{Bn} =					
Soustruh															
Výrobce EMCO		Typ MAXXTURN 25		Číslo				Rok výroby							
Výstupní výkon		Výška pracovního prostoru		Délka pracovního prostoru				Záznam o strojních podm.							
6,5 kW		325 mm		485 mm				č.							
Ukotvení stroje (příšroubováno atd.)				Plynulá regulace otáček				Ano <input checked="" type="checkbox"/> Ne <input type="checkbox"/>							
Různé															
Upínač															
Upínač je		Sklíčidlo <input type="checkbox"/>		Další zařízení (popis) otočný hrot											
		Kleština <input checked="" type="checkbox"/>													
		Hroty <input type="checkbox"/>													
Chladicí kapalina															
Chladicí kapalina použita		Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		Typ		Označení		Tlak		Teplota		Množství l/min			
Odchytky od normy ISO 3685:		Normou požadované				Zdůvodnění odchytky									
		držák nástroje 25 × 25 mm				nemožnost upnutí do použitého obráběcího stroje									
		velikost VBD: L = 12,7 mm, S = 4,76 mm				nemožnost upnutí do zvoleného nožového držáku									
		geometrie břitu: γ _n = +6°, α _n = 5°				na trhu nedostupná VBD s těmito úhly									
		r _n = 0,02 až 0,03 mm				na trhu nedostupná VBD s tímto r _n									
		posuv na otáčku 0,8 mm/ot				během experimentu určen jako nevhodný									

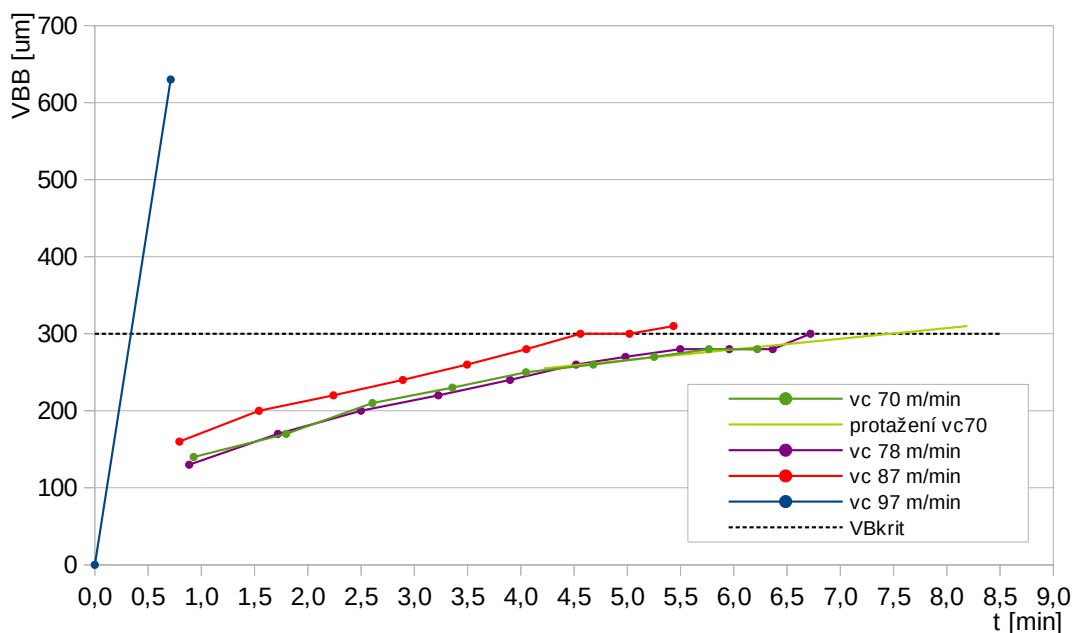
Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t					Číslo listu: 2 / 6		
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 2	Řezná hrana č. 2	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 18,8 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	70 m/min				
Poznámka:									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—		
1	0,928	18,8		B	140			2.3.1	
2	1,797	17,6		B	170			2.3.1	
3	2,607	16,4		B	210			2.3.1	
4	3,357	15,2		B	230			2.3.1	
5	4,048	14		B	250			2.3.1	
6	4,68	12,8		B	260			2.3.1	
7	5,253	11,6		B	270			2.3.1	
8	5,766	10,4		B	280			2.3.1	
9	6,22	9,2		B	280			2.3.1	
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$		1) Pokud je použito jiné opotřebení					Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t				Číslo listu: 3 / 6			
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE		Měřil: Maršálek Ondřej					
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 2	Řezná hrana č. 3	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 20 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	78 m/min				
Poznámka:									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	0,886	20		B	130			2.3.1	
2	1,719	18,8		B	170			2.3.1	
3	2,499	17,6		B	200			2.3.1	
4	3,225	16,4		B	220			2.3.1	
5	3,899	15,2		B	240			2.3.1	
6	4,519	14		B	260			2.3.1	
7	4,983	12,8		B	270			2.3.1 Délka řezu 90 mm	
8	5,497	11,6		B	280			2.3.1	
9	5,958	10,4		B	280			2.3.1	
10	6,365	9,2		B	280			2.3.1	
11	6,72	8		B	300			2.3.1	
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$			1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařečem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.



Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t					Číslo listu: 4 / 6		
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 2	Řezná hrana č. 4	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 20 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	87 m/min				
Poznámka:									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	0,794	20		B	160			2.3.1	
2	1,541	18,8		B	200			2.3.1	
3	2,24	17,6		B	220			2.3.1	
4	2,892	16,4		B	240			2.3.1	
5	3,495	15,2		B	260			2.3.1	
6	4,052	14		B	280			2.3.1	
7	4,56	12,8		B	300			2.3.1	
8	5,021	11,6		B	300			2.3.1	
9	5,434	10,4		B	310			2.3.1	
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$		1) Pokud je použito jiné opotřebení					Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t				Číslo listu: 5 / 6			
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 3	Řezná hrana č. 1	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 20 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	97 m/min				
Poznámka:									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	0,713	20		B	630			2.3.1	
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$			1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařečem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost	Trvanlivost nástroje T v závislosti na řezné rychlosti v_c					Číslo listu: 6 / 6		
Datum:	Zákazník: ZČU LET			Měřil: Ondřej Maršálek				
Základní údaje								
Testovaný materiál 42SiCr	Označení nožového držáku SSRCL 1212F09		Označení VBD SCMT 09T304-14		Posuv f_o 0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p 0,6 mm		
Geometrie nástroje	$\gamma_n = 0^\circ$	$\alpha_n = 7^\circ$	$\lambda_s = 0^\circ$	$\kappa_r = 75^\circ$	$\epsilon_r = 90^\circ$	$r_\epsilon = 0,4$		
Řezná kapalina: _____								
Poznámky:								
					Zkušební hodnoty			
					Číslo listu	Kritérium trvanlivosti nástroje	Řezná rychlost v_c m/min	Trvanlivost T , min
					2	VB _B	70	7,469
					3	VB _B	78	6,72
					4	VB _B	87	7,56
					5	VB _B	97	0,33
Taylorův vztah:					Třída obrobitelnosti: 13b			
$T_{42SiCr} = \frac{1,2 \cdot 10^5}{v^{2,271}}$								
Poznámky: Řezná rychlost v_c 97 m/min není z důvodu nízké trvanlivosti uvažována. Slouží pouze jako informativní limitní rychlost.								

Vzorek č. 3

Společnost	Obecné podmínky										Číslo listu: 1 / 6			
Datum: 13.12.2019	Zákazník: ZČU LET					Měřil: Maršálek Ondřej								
Cíl zkoušky Sestrojení Taylorova vztahu a určení třídy obrobiteľnosti pro klasifikaci oceli.														
Testovací materiál														
Označení 42SiCr	Výrobce										Země			
Analýza %	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Nb		Al	%
Norma													O	%
													N	%
Zkušební tyč	0,43	2,03	0,59	0,009	0,004	-	1,33	0,03	-	-	0,03		H ₂	%
Analýza strusky a zařazení	SiO ₂		Al ₂ O ₃		FeO		MnO		Zařazení (typ, velikost, atd.)					
	CaO		MgO		TiO ₂		Cr ₂ O ₃							
Úprava ingotu (velikost ingotu, válcování atd.) KR20 – 130														
Tepelné zpracování Kaleno a popuštěno										Struktura				
Mechanické vlastnosti	R _m 1960 N/mm ²		R _{eH} N/mm ²		R _{eL} N/mm ²		Tvrdost podle Vickerse				Doplňující údaje			
							575 HV10				Tažnost A 15,7 %			
Nástroje														
Výrobce WALTER					Země					Materiál nástroje				
Slinutý karbid <input checked="" type="checkbox"/>			Břit. destičky (označ.) SCMT 09T304-14					Skupina aplikace (ISO 513) N						
Řezná keramika: Al ₂ O ₃ – typ <input type="checkbox"/>			Držák nástroje (typ a označení) SSRCL 1212F09											
Řezná keramika: Si ₃ N ₄ – typ <input type="checkbox"/>														
Rychlořezná ocel							Složení				Tvrdost			
							Tepelné zpracování				Označení nástroje			
							Metoda broušení							
Geometrie nástroje			$\gamma_n = 0^\circ$		$\lambda_s = 0^\circ$		$\epsilon_r = 90^\circ$		$r_n = 0,044$ mm		$\rho_{By} =$			
			$\alpha_n = 7^\circ$		$\kappa_r = 75^\circ$		$r_\epsilon = 0,4$ mm				$l_{Bn} =$			
Soustruh														
Výrobce EMCO			Typ MAXXTURN 25			Číslo			Rok výroby					
Výstupní výkon			Výška pracovního prostoru			Délka pracovního prostoru			Záznam o strojních podm.					
6,5 kW			325 mm			485 mm			č.					
Ukotvení stroje (příšroubováno atd.)						Plynulá regulace otáček						Ano <input checked="" type="checkbox"/> Ne <input type="checkbox"/>		
Různé														
Upínač														
Upínač je						Sklíčidlo <input type="checkbox"/>		Další zařízení (popis)		otočný hrot				
						Kleština <input checked="" type="checkbox"/>								
						Hroty <input type="checkbox"/>								
Chladicí kapalina														
Chladicí kapalina použita			Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		Typ		Označení		Tlak		Teplota		Množství l/min	
Odchyłky od normy ISO 3685:			Normou požadované					Zdůvodnění odchyłky						
			držák nástroje 25 × 25 mm					nemožnost upnutí do použitého obráběcího stroje						
			velikost VBD: L = 12,7 mm, S = 4,76 mm					nemožnost upnutí do zvoleného nožového držáku						
			geometrie břitu: $\gamma_n = +6^\circ$, $\alpha_n = 5^\circ$					na trhu nedostupná VBD s těmito úhly						
			$r_n = 0,02$ až $0,03$ mm					na trhu nedostupná VBD s tímto r_n						
			posuv na otáčku 0,8 mm/ot					během experimentu určen jako nevhodný						

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t				Číslo listu: 2 / 6			
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 3	Řezná hrana č. 2	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 18,8 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařeč třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	70 m/min				
Poznámka: Délka řezu vždy po dvou řezech snižována o 0,3 mm.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	0,928	18,8		B	140			2.3.1	
2	1,795	17,6		B	180			2.3.1	
3	2,602	16,4		B	200			2.3.1	
4	3,348	15,2		B	230			2.3.1	
5	4,036	14		B	240			2.3.1	
6	4,662	12,8		B	260			2.3.1	
7	5,23	11,6		B	290			2.3.1	
8	5,738	10,4		B	300			2.3.1	
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$		1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařečem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>			

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t					Číslo listu: 3 / 6		
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 3	Řezná hrana č. 3	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 15,2 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o 0,1 mm/ot.		Hloubka řezu a_p 0,6 mm		Řezná rychlost v_c 78 m/min					
Poznámka: Délka řezu vždy po dvou řezech snižována o 0,3 mm.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	0,67	15,2		B	150			2.3.1	
2	1,287	14		B	180			2.3.1	
3	1,849	12,8		B	210			2.3.1	
4	2,359	11,6		B	230			2.3.1	
5	2,815	10,4		B	240			2.3.1	
6	3,218	9,2		B	250			2.3.1	
7	4,104	20		B	640			2.3.1	
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$			1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

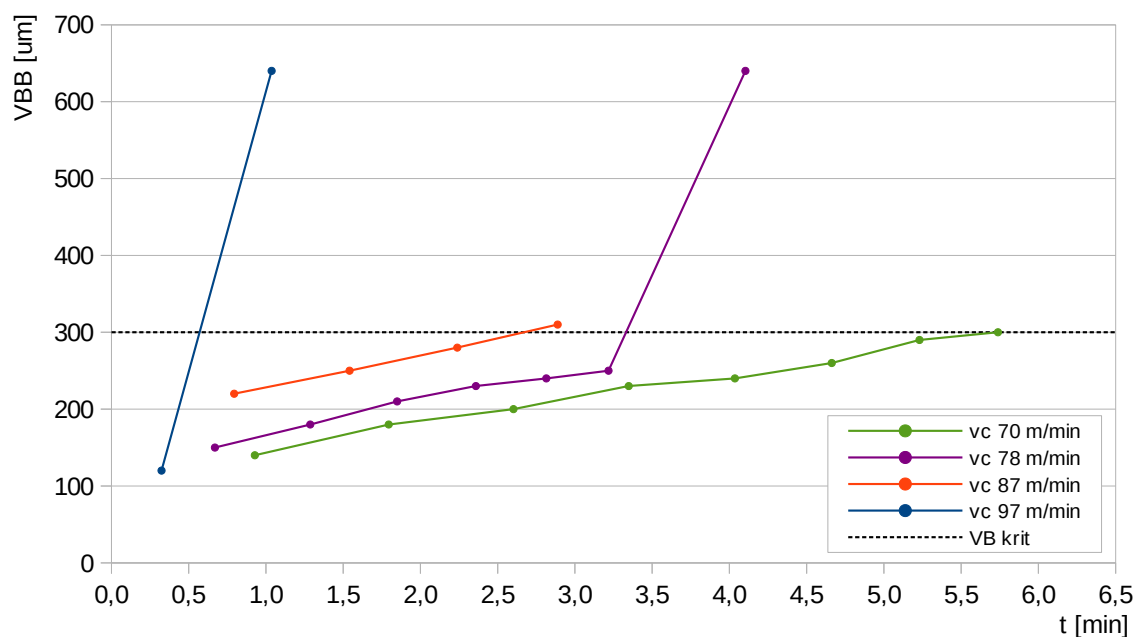
Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t					Číslo listu: 4 / 6		
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 3	Řezná hrana č. 4	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 20 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	87 m/min				
Poznámka: Délka řezu vždy po dvou řezech snižována o 0,3 mm.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	0,794	20		B	220			2.3.1	
2	1,541	18,8		B	250			2.3.1	
3	2,238	17,6		B	280			2.3.1	
4	2,888	16,4		B	310			2.3.1	
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$		1) Pokud je použito jiné opotřebení					Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t				Číslo listu: 5 / 6			
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE		Měřil: Maršálek Ondřej					
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 4	Řezná hrana č. 1	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 9,2 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	97 m/min				
Poznámka: Délka řezu vždy po dvou řezech snižována o 0,3 mm.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—		
1	0,324	9,2		B	120			2.3.1	
2	1,037	20		B	640			2.3.1	
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$			1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.



Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost	Trvanlivost nástroje T v závislosti na řezné rychlosti v_c					Číslo listu: 6 / 6			
Datum:	Zákazník: ZČU LET			Měřil: Ondřej Maršálek					
Základní údaje									
Testovaný materiál 42SiCr	Označení nožového držáku SSRCL 1212F09		Označení VBD SCMT 09T304-14		Posuv f_o 0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p 0,6 mm			
Geometrie nástroje	$\gamma_n = 0^\circ$	$\alpha_n = 7^\circ$	$\lambda_s = 0^\circ$	$\kappa_r = 75^\circ$	$\epsilon_r = 90^\circ$	$r_\epsilon = 0,4$			
Řezná kapalina: _____									
Poznámky:									
						Zkušební hodnoty			
						Číslo listu	Kritérium trvanlivosti nástroje	Řezná rychlost v_c m/min	Trvanlivost T , min
						2	VB _B	70	5,738
						3	VB _B	78	3,332
						4	VB _B	87	2,671
						5	VB _B	97	0,571
Taylorův vztah:						Třída obrobitelnosti: 12b			
$T_{42SiCr} = \frac{1,7 \cdot 10^7}{v^{3,514}}$									
Poznámky: Řezná rychlost v_c 90 m/min není z důvodu nízké trvanlivosti uvažována. Slouží pouze jako informativní limitní rychlost.									

Vzorek č. 4

Společnost	Obecné podmínky										Číslo listu: 1 / 7		
Datum: 13.12.2019	Zákazník: ZČU LET					Měřil: Maršálek Ondřej							
Cíl zkoušky Sestrojení Taylorova vztahu a určení třídy obrobitelnosti pro klasifikaci oceli.													
Testovací materiál													
Označení 42SiCr	Výrobce					Země							
Analýza %	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Nb	Al	%
Norma												O	%
												N	%
Zkušební tyč	0,43	2,03	0,59	0,009	0,004	-	1,33	0,03	-	-	0,03	H ₂	%
Analýza strusky a zařazení	SiO ₂		Al ₂ O ₃		FeO		MnO		Zařazení (typ, velikost, atd.)				
	CaO		MgO		TiO ₂		Cr ₂ O ₃						
Úprava ingotu (velikost ingotu, válcování atd.) KR20 – 130													
Tepelné zpracování Kaleno a popuštěno										Struktura			
Mechanické vlastnosti	R _m 1830 N/mm ²		Tvrdość podle Vickerse		Doplňující údaje								
	R _{eH} N/mm ²		565 HV10		Tažnost A 16 %								
	R _{eL} N/mm ²												
Nástroje													
Výrobce WALTER				Země				Materiál nástroje					
Slitý karbid	<input checked="" type="checkbox"/>			Břit. destičky (označ.) SCMT 09T304-14				Skupina aplikace (ISO 513) N					
Řečná keramika: Al ₂ O ₃ – typ	<input type="checkbox"/>			Držák nástroje (typ a označení) SSRCL 1212F09									
Řečná keramika: Si ₃ N ₄ – typ	<input type="checkbox"/>												
Rychlořečná ocel	Složení					Tvrdość							
	Tepelné zpracování					Označení nástroje							
	Metoda broušení												
Geometrie nástroje	$\gamma_n = 0^\circ$		$\lambda_s = 0^\circ$		$\epsilon_r = 90^\circ$		$r_n = 0,044$ mm		$\rho_{By} =$				
	$\alpha_n = 7^\circ$		$\kappa_r = 75^\circ$		$r_\epsilon = 0,4$ mm				$l_{Bn} =$				
Soustruh													
Výrobce EMCO		Typ MAXXTURN 25		Číslo				Rok výroby					
Výstupní výkon		Výška pracovního prostoru		Délka pracovního prostoru				Záznam o strojních podm.					
6,5 kW		325 mm		485 mm				č.					
Ukotvení stroje (příšroubováno atd.)				Plynulá regulace otáček				Ano <input checked="" type="checkbox"/> Ne <input type="checkbox"/>					
Různé													
Upínač													
Upínač je				Skličidlo <input type="checkbox"/>		Další zařízení (popis) otočný hrot							
				Kleština <input checked="" type="checkbox"/>									
				Hroty <input type="checkbox"/>									
Chladicí kapalina													
Chladicí kapalina použita		Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		Typ		Označení		Tlak		Teplota		Množství l/min	
Odchytky od normy ISO 3685:		Normou požadované				Zdůvodnění odchytky							
		držák nástroje 25 × 25 mm				nemožnost upnutí do použitého obráběcího stroje							
		velikost VBD: L = 12,7 mm, S = 4,76 mm				nemožnost upnutí do zvoleného nožového držáku							
		geometrie břitu: $\gamma_n = +6^\circ$, $\alpha_n = 5^\circ$				na trhu nedostupná VBD s tímto úhly							
		$r_n = 0,02$ až $0,03$ mm				na trhu nedostupná VBD s tímto r_n							
posuv na otáčku 0,8 mm/ot				během experimentu určen jako nevhodný									

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t					Číslo listu: 2 / 7		
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 4	Řezná hrana č. 2	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 18,8 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	78 m/min				
Poznámka: Délka řezu vždy po dvou řezech snižována o 0,3 mm.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	0,833	18,8		B	140			2.3.1	
2	1,611	17,6		B	170			2.3.1	
3	2,335	16,4		B	200			2.3.1	
4	3,005	15,2		B	230			2.3.1	
5	3,622	14		B	260			2.3.1	
6	4,184	12,8		B	270			2.3.1	
7	4,694	11,6		B	290			2.3.1	
8	5,15	10,4		B	300			2.3.1	
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$		1) Pokud je použito jiné opotřebení					Je tvar třísky ovlivněn utvařečem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_g max. v závislosti na čase t					Číslo listu: 3 / 7		
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 4	Řezná hrana č. 3	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 18,8 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o 0,1 mm/ot.		Hloubka řezu a_p 0,6 mm		Řezná rychlost v_c 87 m/min					
Poznámka: Délka řezu vždy po dvou řezech snižována o 0,3 mm.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_g mm	VB_g max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	0,794	20		B	190			2.3.1	
2	1,541	18,8		B	240			2.3.1	
3	2,238	17,6		B	260			2.3.1	
4	2,888	16,4		B	290			2.3.1	
5	3,488	15,2		B	320			2.3.1	
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$		1) Pokud je použito jiné opotřebení					Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_g max. v závislosti na čase t					Číslo listu: 4 / 7		
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 4	Řezná hrana č. 4	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 14 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	97 m/min				
Poznámka: Délka řezu vždy po dvou řezech snižována o 0,3 mm.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_g mm	VB_g max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	0,495	14		B	160			2.3.1	
2	0,947	12,8		B	200			2.3.1	
3	1,356	11,6		B	230			2.3.1	
4	1,722	10,4		B	240			2.3.1	
5	2,045	9,2		B	250			2.3.1	
6	2,758	20		B	760			2.3.1	
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$		1) Pokud je použito jiné opotřebení					Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Time t [min]	VB_g [μm] (vc 78)	VB_g [μm] (vc 87)	VB_g [μm] (vc 97)	VB_g [μm] (vc 108,6)	VB_g [μm] (vc 121,6)
0,495	160				
0,947	200				
1,356	230				
1,722	240				
2,045	250				
2,758	760				
3,5	320				
5,2	300				

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t					Číslo listu: 5 / 7		
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 5	Řezná hrana č. 1	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 17,6 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o 0,1 mm/ot.		Hloubka řezu a_p 0,6 mm		Řezná rychlost v_c 108,6 m/min					
Poznámka: Délka řezu vždy po dvou řezech snižována o 0,3 mm.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	0,559	17,6		B	190			2.3.1	
2	1,079	16,4		B	230			2.3.1	
3	1,56	15,2		B	260			2.3.1	
4	2,003	14		B	310			2.3.1	
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$		1) Pokud je použito jiné opotřebení					Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Time t [min]	v_c 78 m/min	v_c 87 m/min	v_c 97 m/min	v_c 108,6 m/min	v_c 121,6 m/min
0,5	150	180	160	190	190
1,0	160	200	210	230	240
1,5	170	220	240	260	280
2,0	190	250	280	310	820
2,5	200	260	760		
3,0	230	290			
3,5	260	320			
4,0	270				
4,5	290				
5,0	300				
5,2	300				

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t					Číslo listu: 6 / 7		
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 5	Řezná hrana č. 2	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 12,8 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	121,6 m/min				
Poznámka: Délka řezu vždy po dvou řezech snižována o 0,3 mm.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	0,361	12,8		B	190			2.3.1	
2	0,688	11,6		B	220			2.3.1	
3	0,98	10,4		B	240			2.3.1	
4	1,239	9,2		B	260			2.3.1	
5	1,807	20		B	820			2.3.1	
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$		1) Pokud je použito jiné opotřebení					Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Trvanlivost nástroje T v závislosti na řezné rychlosti v_c				Číslo listu: 7 / 7			
Datum:		Zákazník: ZČU LET			Měřil: Ondřej Maršálek				
Základní údaje									
Testovaný materiál 42SiCr		Označení nožového držáku SSRCL 1212F09		Označení VBD SCMT 09T304-14		Posuv f_o 0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p 0,6 mm		
Geometrie nástroje		$\gamma_n = 0^\circ$	$\alpha_n = 7^\circ$	$\lambda_s = 0^\circ$	$\kappa_r = 75^\circ$	$\epsilon_r = 90^\circ$	$r_\epsilon = 0,4$		
		Řezná kapalina: _____							
Poznámky:									
						Zkušební hodnoty			
						Číslo listu	Kritérium trvanlivosti nástroje	Řezná rychlost v_c m/min	Trvanlivost T , min
						2	VB _B	78	5,15
						3	VB _B	87	3,088
						4	VB _B	97	2,115
						5	VB _B	108,6	1,914
						6	VB _B	121,6	1,28
Taylorův vztah:						Třída obrobitelnosti: 13b			
$T_{42SiCr} = \frac{1,7 \cdot 10^6}{v^{2,936}}$									
Poznámky:									

Vzorek č. 5

Společnost	Obecné podmínky										Číslo listu: 1 / 6		
Datum: 13.12.2019	Zákazník: ZČU LET					Měřil: Maršálek Ondřej							
Cíl zkoušky Sestrojení Taylorova vztahu a určení třídy obrobitelnosti pro klasifikaci oceli.													
Testovací materiál													
Označení 42SiCr	Výrobce					Země							
Analýza %	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Nb	Al	%
Norma												O	%
												N	%
Zkušební tyč	0,43	2,03	0,59	0,009	0,004	-	1,33	0,03	-	-	0,03	H ₂	%
Analýza strusky a zařazení	SiO ₂		Al ₂ O ₃		FeO		MnO		Zařazení (typ, velikost, atd.)				
	CaO		MgO		TiO ₂		Cr ₂ O ₃						
Úprava ingotu (velikost ingotu, válcování atd.) KR20 – 130													
Teplné zpracování Kaleno a popuštěno										Struktura			
Mechanické vlastnosti	R _m 2050 N/mm ²		Tvrdost podle Vickerse		Doplňující údaje								
	R _{eH} N/mm ²		603 HV10		Tažnost A 13,6 %								
	R _{eL} N/mm ²												
Nástroje													
Výrobce WALTER				Země				Materiál nástroje					
Slitutý karbid	<input checked="" type="checkbox"/>			Břit. destičky (označ.) SCMT 09T304-14				Skupina aplikace (ISO 513) N					
Řezná keramika: Al ₂ O ₃ – typ	<input type="checkbox"/>			Držák nástroje (typ a označení) SSRCL 1212F09									
Řezná keramika: Si ₃ N ₄ – typ	<input type="checkbox"/>												
Rychlořezná ocel	Složení					Tvrdost							
	Teplné zpracování					Označení nástroje							
	Metoda broušení												
Geometrie nástroje	$\gamma_n = 0^\circ$		$\lambda_s = 0^\circ$		$\epsilon_r = 90^\circ$		$r_n = 0,044$ mm		$\rho_{By} =$				
	$\alpha_n = 7^\circ$		$\kappa_r = 75^\circ$		$r_\epsilon = 0,4$ mm				$l_{Bn} =$				
Soustruh													
Výrobce EMCO		Typ MAXXTURN 25		Číslo				Rok výroby					
Výstupní výkon		Výška pracovního prostoru		Délka pracovního prostoru				Záznam o strojních podm.					
6,5 kW		325 mm		485 mm				č.					
Ukotvení stroje (příšroubováno atd.)				Plynulá regulace otáček				Ano <input checked="" type="checkbox"/> Ne <input type="checkbox"/>					
Různé													
Upínač													
Upínač je				Sklíčidlo <input type="checkbox"/>		Další zařízení (popis) otočný hrot							
				Kleština <input checked="" type="checkbox"/>									
				Hroty <input type="checkbox"/>									
Chladicí kapalina													
Chladicí kapalina použita		Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		Typ		Označení		Tlak		Teplota		Množství l/min	
Odchyšky od normy		Normou požadované					Zdůvodnění odchyšky						
ISO 3685:		držák nástroje 25 × 25 mm					nemožnost upnutí do použitého obráběcího stroje						
		velikost VBD: L = 12,7 mm, S = 4,76 mm					nemožnost upnutí do zvoleného nožového držáku						
		geometrie břitu: $\gamma_n = +6^\circ$, $\alpha_n = 5^\circ$					na trhu nedostupná VBD s těmito úhly						
		$r_n = 0,02$ až $0,03$ mm					na trhu nedostupná VBD s tímto r_n						
		posuv na otáčku 0,8 mm/ot					během experimentu určen jako nevhodný						

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t				Číslo listu: 2 / 6			
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 5	Řezná hrana č. 3	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 20 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o 0,1 mm/ot.		Hloubka řezu a_p 0,6 mm		Řezná rychlost v_c 50 m/min					
Poznámka: Délka řezu vždy po dvou řezech snižována o 0,3 mm.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	1,382	20		B	100			2.3.1	
2	2,682	18,8		B	120			2.3.1	
3	3,895	17,6		B	150			2.3.1	
4	5,025	16,4		B	170			2.3.1	
5	6,07	15,2		B	180			2.3.1	
6	7,032	14		B	200			2.3.1	
7	7,91	12,8		B	210			2.3.1	
8	8,705	11,6		B	220			2.3.1	
9	9,416	10,4		B	230			2.3.1	
10	10,045	9,2		B	230			2.3.1	
11	11,427	20		B	380			2.3.1	
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$			1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařečem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t				Číslo listu: 3 / 6			
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 5	Řezná hrana č. 4	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 18,8 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	56 m/min				
Poznámka:									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	1,16	18,8		B	130			2.3.1	
2	2,246	17,6		B	160			2.3.1	
3	3,258	16,4		B	190			2.3.1	
4	4,196	15,2		B	210			2.3.1	
5	5,06	14		B	220			2.3.1	
6	5,85	12,8		B	240			2.3.1	
7	6,566	11,6		B	250			2.3.1	
8	7,208	10,4		B	280			2.3.1	
9	7,774	9,2		B	340			2.3.1	
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$			1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařečem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

t [min]	vc 50 m/min [um]	vc 56 m/min [um]	vc 62,5 m/min [um]	vc 70 m/min [um]
0,0	0	0	0	0
1,16				420
1,16	100	130	150	
2,246	120	160	180	
3,258	150	190	210	
4,196	170	210	240	
5,06	180	220	260	
5,85	180	240	270	
6,566	200	250	290	
7,208	210	280	300	
7,774	220	340		
9,0	230			
10,0	230			
11,0	380			

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t				Číslo listu: 4 / 6			
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 6	Řezná hrana č. 1	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 18,8 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o 0,1 mm/ot.		Hloubka řezu a_p 0,6 mm		Řezná rychlost v_c 62,5 m/min					
Poznámka: Délka řezu vždy po dvou řezech snižována o 0,3 mm.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	–	–	–	–	–	–	–	–	
1	1,039	18,8		B	150			2.3.1	
2	2,01	17,6		B	180			2.3.1	
3	2,914	16,4		B	210			2.3.1	
4	3,75	15,2		B	240			2.3.1	
5	4,52	14		B	260			2.3.1	
6	5,222	12,8		B	270			2.3.1	
7	5,858	11,6		B	290			2.3.1	
8	6,427	10,4		B	300			2.3.1	
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$		1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>			

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t					Číslo listu: 5 / 6		
Datum: 13.12.2019		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 6	Řezná hrana č. 2	Průměr obrobku 20 mm	Průměr před obráběním 20 mm	Délka obrobku 130 mm	Délka řezu 110 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	70 m/min				
Poznámka:									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—		
1	0,987	20		B	420			2.3.1	
2									
3									
4									
5									
6									
7									
8									
9									
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$		1) Pokud je použito jiné opotřebení					Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

t [min]	vc 50 m/min [µm]	vc 56 m/min [µm]	vc 62,5 m/min [µm]	vc 70 m/min [µm]
0,0	0	0	0	0
1,0	100	130	150	420
2,0	120	160	180	
3,0	140	190	210	
4,0	160	210	240	
5,0	170	220	260	
6,0	180	240	290	
7,0	200	250	300	
8,0	210	280		
9,0	220			
10,0	230			
11,0	380			

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost	Trvanlivost nástroje T v závislosti na řezné rychlosti v_c					Číslo listu: 6 / 6	
Datum:	Zákazník: ZČU LET			Měřil: Ondřej Maršálek			
Základní údaje							
Testovaný materiál 42SiCr	Označení nožového držáku SSRCL 1212F09		Označení VBD SCMT 09T304-14		Posuv f_o 0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p 0,6 mm	
Geometrie nástroje	$\gamma_n = 0^\circ$	$\alpha_n = 7^\circ$	$\lambda_s = 0^\circ$	$\kappa_r = 75^\circ$	$\epsilon_r = 90^\circ$	$r_\epsilon = 0,4$	
Poznámky:						Řezná kapalina: _____	
				Zkušební hodnoty			
				Číslo listu	Kritérium trvanlivosti nástroje	Řezná rychlost v_c m/min	Trvanlivost T , min
				2	VB _B	50	10,690
				3	VB _B	56	7,397
				4	VB _B	62,5	6,427
				5	VB _B	70	0,705
Taylorův vztah:				Třída obrobitelnosti: 12b			
$T_{42SiCr(5)} = \frac{7,9 \times 10^4}{v^{2,29}}$							
Poznámky: Řezná rychlost v_c 70 m/min není z důvodu nízké trvanlivosti uvažována. Slouží pouze jako informativní limitní rychlost.							

Etalonová ocel 12 050.1

Společnost	Obecné podmínky										Číslo listu: 1 / 7		
Datum: 29.5.2020	Zákazník: ZČU LET					Měřil: Maršálek Ondřej							
Cíl zkoušky Sestrojení Taylorova vztahu pro zhotovení indexů obrobitelnosti zkušebních vzorků.													
Testovací materiál													
Označení 42SiCr	Výrobce					Země							
Analýza %	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	V	Nb	Al	%
Norma												O	%
Charge												N	%
Zkušební tyč	0,48	0,25	0,65	0,025	0,027	-	-	-	-	-	-	H ₂	%
Analýza strusky a zařazení	SiO ₂		Al ₂ O ₃		FeO		MnO		Zařazení (typ, velikost, atd.)				
	CaO		MgO		TiO ₂		Cr ₂ O ₃						
Úprava ingotu (velikost ingotu, válcování atd.) KR70 – 195													
Tepelné zpracování Kaleno a popuštěno										Struktura			
Mechanické vlastnosti	R _m 687 N/mm ²		N/mm ²		Tvrdość podle Vickerse				Doplňující údaje				
	R _{eH}		N/mm ²		217 HV10								
	R _{eL}		N/mm ²										
Nástroje													
Výrobce WALTER				Země				Materiál nástroje					
Slitý karbid	<input checked="" type="checkbox"/>			Břit. destičky (označ.) SCMT 09T304-14				Skupina aplikace (ISO 513) N					
Řezná keramika: Al ₂ O ₃ – typ	<input type="checkbox"/>			Držák nástroje (typ a označení) SSRCL 1212F09									
Řezná keramika: Si ₃ N ₄ – typ	<input type="checkbox"/>												
Rychlořezná ocel	Složení					Tvrdość							
	Tepelné zpracování					Označení nástroje							
	Metoda broušení												
Geometrie nástroje	γ _n = 0°		λ _s = 0°		ε _r = 90°		r _n = 0,044		ρ _{By} =				
	α _n = 7°		κ _r = 75°		r _ε = 0,4				l _{Bn} =				
Soustruh													
Výrobce EMCO		Typ MAXXTURN 25		Číslo				Rok výroby					
Výstupní výkon		Výška pracovního prostoru		Délka pracovního prostoru				Záznam o strojních podm.					
6,5 kW		325 mm		485 mm				č.					
Ukotvení stroje (příšroubováno atd.)				Plynulá regulace otáček				Ano <input checked="" type="checkbox"/> Ne <input type="checkbox"/>					
Různé													
Upínač													
Upínač je				Skličidlo <input checked="" type="checkbox"/>		Další zařízení (popis) otočný hrot							
				Kleština <input type="checkbox"/>									
				Hroty <input type="checkbox"/>									
Chladicí kapalina													
Chladicí kapalina použita		Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		Typ		Označení		Tlak		Teplota		Množství l/min	
Odchytky od normy				Normou požadované				Zdůvodnění odchytky					
ISO 3685:				držák nástroje 25 × 25 mm				nemožnost upnutí do použitého obráběcího stroje					
				velikost VBD: L = 12,7 mm, S = 4,76 mm				nemožnost upnutí do zvoleného nožového držáku					
				geometrie břitu: γ _n = +6°, α _n = 5°				na trhu nedostupná VBD s těmito úhly					
				r _n = 0,02 až 0,03 mm				na trhu nedostupná VBD s tímto r _n					
				posuv na otáčku 0,8 mm/ot				během experimentu určen jako nevhodný					

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t				Číslo listu: 2 / 7			
Datum: 29.5.2020		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 6	Řezná hrana č. 3	Průměr obrobku 70 mm	Průměr před obráběním 59,9 mm	Délka obrobku 195 mm	Délka řezu 180 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o 0,1 mm/ot.		Hloubka řezu a_p 0,6 mm	Řezná rychlost v_c 70,5 m/min						
Poznámka: Délka řezu dělena.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast	μm	1)	KT mm		
1	1,602	59,9		B	120			2.3.1	
2	3,203	59,9		B	150			2.3.1	
3	4,773	58,7		B	160			2.3.1	
4	6,342	58,7		B	170			2.3.1	
5	7,911	58,7		B	170			2.3.1	
6	9,449	57,5		B	180			2.3.1	
7	10,986	57,5		B	180			2.3.1	
8	12,524	57,5		B	190			2.3.1	
9	15,534	56,3		B	200			2.3.1	
10	17,039	56,3		B	210			2.3.1	
10	18,513	55,1		B				2.3.1	
11	21,459	55,1		B	210			2.3.1	
12	25,782	53,9		B	220			2.3.1	
13	30,01	53,9		B	240			2.3.1	
14	34,14	53,9		B	250			2.3.1	
15	38,175	53,9		B	280			2.3.1	
16	42,113	53,9		B	300			2.3.1	
17	45,955	53,9		B	320			2.3.1	
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$			1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t				Číslo listu: 3 / 7			
Datum: 29.5.2020		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 6	Řezná hrana č. 4	Průměr obrobku 70 mm	Průměr před obráběním 63,5 mm	Délka obrobku 195 mm	Délka řezu 180 mm	Utvařec třísky			
Posuv f_o	0,1 mm/ot.	Hloubka řezu a_p	0,6 mm	Řezná rychlost v_c	79 m/min	výška	vzdálenost		
Poznámka: Délka řezu dělena.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	–	–	–	–	–	–	–	–	
1	1,151	63,5		B	130			2.3.1	
2	2,302	63,5		B	170			2.3.1	
3	3,453	63,5		B	190			2.3.1	
4	4,795	63,5		B	230			2.3.1	
5	5,925	62,3		B	240			2.3.1	
6	7,054	62,3		B	250			2.3.1	
7	8,183	62,3		B	260			2.3.1	
8	9,312	62,3		B	270			2.3.1	
9	10,441	62,3		B	270			2.3.1	
10	11,759	62,3		B	280			2.3.1	
11	12,866	61,1		B	280			2.3.1	
12	13,973	61,1		B	290			2.3.1	
13	15,081	61,1		B	290			2.3.1	
14	16,188	61,1		B	290			2.3.1	
15	17,296	61,1		B	290			2.3.1	
16	18,588	61,1		B	300			2.3.1	
17	20,759	59,9		B	310			2.3.1	
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu\text{m}$			1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_g max. v závislosti na čase t				Číslo listu: 4 / 7			
Datum: 29.5.2020		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 7	Řezná hrana č. 1	Průměr obrobku 70 mm	Průměr před obráběním 65,9 mm	Délka obrobku 195 mm	Délka řezu 180 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o 0,1 mm/ot.		Hloubka řezu a_p 0,6 mm		Řezná rychlost v_c 89 m/min					
Poznámka: Délka řezu dělena.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_g mm	VB_g max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	0,698	65,9		B	130			2.3.1	
2	1,396	65,9		B	180			2.3.1	
3	2,21	65,9		B	200			2.3.1	
4	2,895	64,7		B	230			2.3.1	
5	3,58	64,7		B	250			2.3.1	
6	4,265	64,7		B	260			2.3.1	
7	4,95	64,7		B	270			2.3.1	
8	5,636	64,7		B	280			2.3.1	
9	6,435	64,7		B	300			2.3.1	
10	7,107	63,5		B	300			2.3.1	
11	7,78	63,5		B	310			2.3.1	
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$			1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařečem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>		

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t				Číslo listu: 5 / 7			
Datum: 29.5.2020		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej				
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje									
VBD / nástroj č. 7	Řezná hrana č. 2	Průměr obrobku 70 mm	Průměr před obráběním 67,1 mm	Délka obrobku 195 mm	Délka řezu 180 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost			
Posuv f_o 0,1 mm/ot.		Hloubka řezu a_p 0,6 mm		Řezná rychlost v_c 100 m/min					
Poznámka: Délka řezu dělena.									
Zkušební hodnoty									
Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu			Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)		
0	—	—	—	—	—	—	—	—	
1	0,632	67,1		B	150			2.3.1	
2	1,265	67,1		B	190			2.3.1	
3	1,897	67,1		B	220			2.3.1	
4	2,53	67,1		B	250			2.3.1	
5	2,993	67,1		B	260			2.3.1	
6	3,9	67,1		B	280			2.3.1	
7	4,521	65,9		B	290			2.3.1	
8	5,142	65,9		B	300			2.3.1	
9	5,763	65,9		B	320			2.3.1	
10									
11									
12									
13									
14									
15									
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu m$		1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařecem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>			

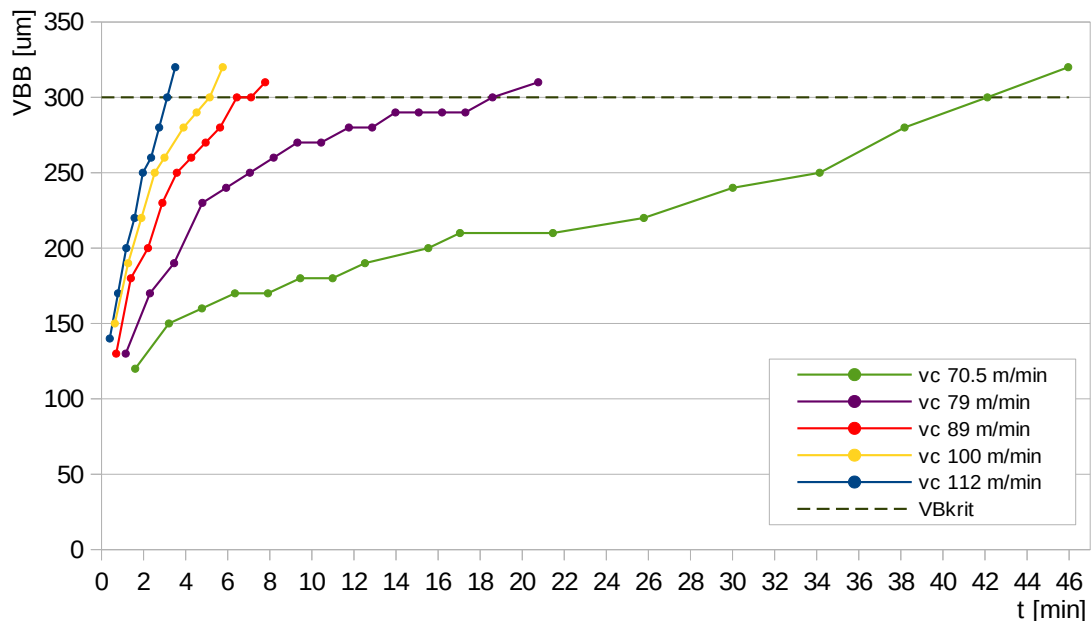
Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.

Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

Společnost		Opotřebení VB_B max. v závislosti na čase t				Číslo listu: 6 / 7	
Datum: 29.5.2020		Zákazník: ZČU LTE			Měřil: Maršálek Ondřej		
Zkušební tyče, nástroje a řezné údaje							
VBD / nástroj č. 7	Řezná hrana č. 3	Průměr obrobku 70 mm	Průměr před obráběním 46,7 mm	Délka obrobku 195 mm	Délka řezu 180 mm	Utvařec třísky výška vzdálenost	
Posuv f_o 0,1 mm/ot.		Hloubka řezu a_p 0,6 mm	Řezná rychlost v_c 112 m/min				
Poznámka: Délka řezu dělena.							

Měření č.	Čas Δt min	Průměr D mm	Opotřebení hřbetu				Žlábek		Druh třísky	Poznámky
			VB_B mm	VB_B max. oblast μm	1)	KT mm	1)			
0	—	—	—	—	—	—	—	—		
1	0,393	46,7		B 140				6.2.1		
2	0,786	46,7		B 170				6.2.1		
3	1,179	46,7		B 200				6.2.1		
4	1,572	46,7		B 220				6.2.1		
5	1,965	46,7		B 250				6.2.1		
6	2,358	46,7		B 260				6.2.1		
7	2,741	45,5		B 280				6.2.1		
8	3,124	45,5		B 300				6.2.1		
9	3,507	45,5		B 320				6.2.1		
10										
11										
12										
13										
14										
15										
Kritérium trvanlivosti nástroje $VB_{krit} = 300 \mu\text{m}$			1) Pokud je použito jiné opotřebení				Je tvar třísky ovlivněn utvařečem? Ano <input type="checkbox"/> Ne <input checked="" type="checkbox"/>			

Měřítka obou os se přizpůsobí získaným hodnotám.



Poznámka: Graf zahrnuje křivky všech použitých řezných rychlostí

