

Bakalářská práce

Vliv řezných podmínek na kvalitu povrchu při soustružení konstrukčních ocelí

Studijní program:

Autor práce:

Vedoucí práce:

B0715A270008 Strojírenství

Vojtěch Bečvář

Ing. Tomáš Knápek

Katedra obrábění a montáže

Liberec 2022



Zadání bakalářské práce

Vliv řezných podmínek na kvalitu povrchu při soustružení konstrukčních ocelí

Jméno a příjmení:

Vojtěch Bečvář

Osobní číslo:

S20000277

Studijní program:

B0715A270008 Strojírenství

Zadávací katedra:

Katedra obrábění a montáže

Akademický rok:

2022/2023

Zásady pro vypracování:

1. Úvod ? shrnutí poznatků o integritě povrchu po soustružení, metody měření drsnosti povrchu. Shrnutí poznatků o technologii soustružení.
2. Návrh metodiky experimentů pro zkoumání drsnosti povrchu obrobku a třísky. Návrh řezných podmínek.
3. Realizace a popis experimentů
4. Hodnocení povrchu obrobků a třísky, vyhodnocení naměřených hodnot.
5. Shrnutí výsledků a vyvození závěrů.

Rozsah grafických prací:

Rozsah pracovní zprávy:

Forma zpracování práce:

Jazyk práce:

tištěná/elektronická

Čeština

Seznam odborné literatury:

1. HOLEŠOVSKÝ, F., DUŠÁK, K., JERSÁK, J., aj. Terminologie obrábění a montáže. 1. vyd. Ústí nad Labem: Univerzita J. E. Purkyně, ÚTRV, 2005. 208 s. ISBN 80-7044-616-1.
2. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. Rec. P. Holubář, V. Šída. 1. vyd. Praha: MM publishing s.r.o., 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
3. KOČMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 2. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno, s.r.o., prosinec 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
4. ŘASA, J., GABRIEL, V. Strojírenská technologie 3 – 1. díl – Metody, stroje a nástroje na obrábění. 1. vyd. Praha: Pedagogické nakladatelství Scientia, spol. s.r.o., 2000. 256s. ISBN 80-7183-207-3.
5. SANDVIK Coromant, Sandviken: Technická příručka obrábění ? soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů. 2005.601 s.

Vedoucí práce:

Ing. Tomáš Knápek

Katedra obrábění a montáže

Datum zadání práce:

2. října 2022

Předpokládaný termín odevzdání: 2. dubna 2024

doc. Ing. Jaromír Moravec, Ph.D.
děkan

L.S.

doc. Ing. et Ing. Štěpánka
Dvořáčková, Ph.D.
vedoucí katedry

Prohlášení

Prohlašuji, že svou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně jako původní dílo s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Jsem si vědom toho, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu Technické univerzity v Liberci.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti Technickou univerzitu v Liberci; v tomto případě má Technická univerzita v Liberci právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Současně čestně prohlašuji, že text elektronické podoby práce vložený do IS/STAG se shoduje s textem tištěné podoby práce.

Beru na vědomí, že má bakalářská práce bude zveřejněna Technickou univerzitou v Liberci v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů.

Jsem si vědom následků, které podle zákona o vysokých školách mohou vyplývat z porušení tohoto prohlášení.

Katedra obrábění a montáže

Evidenční číslo práce: **KOM 1321**

Jméno a příjmení: **Vojtěch Bečvář**

Vedoucí práce: Ing. Tomáš Knápek
Konzultant: Bc. Martin Váňa

Počet stran: 62
Počet příloh: 0
Počet tabulek: 17
Počet obrázků: 33
Počet diagramů: 1

PODĚKOVÁNÍ

V první řadě bych tímto rád poděkoval především vedoucímu bakalářské práce panu Ing. Tomášovi Knápkovi a vedoucí katedry paní doc. Ing. Štěpánce Dvořáčkové Ph.D. za vstřícnost, ochotu a cenné rady při zhotovení bakalářské práce. Dále bych rád poděkoval panu Bc. Martinovi Váňovi za jeho ochotu, při výrobě vzorků pro tuto práci a paní doc. Ing. Doře Kroisové, Ph.D. za její čas strávený při hodinách měření. Také bych rád poděkoval celému studijnímu oddělení fakulty strojní za vstřícné jednání a užitečné rady během studia. V neposlední řadě bych poděkoval své rodině, přátelům a kolegům z bakalářského studia za veškerou pomoc a oporu při studiu.

ANOTACE:

Předkládaná bakalářská práce poskytuje informace o vlivu řezných podmínek na kvalitu povrchu při soustružení konstrukčních ocelí.

Hlavním cílem bylo zjistit ideální řezné podmínky pro jednotlivé konstrukční ocele a doporučit podmínky, při kterých vzniká nejmenší drsnost povrchu na základě parametrů R_a a R_z .

V teoretické části byla rozebrána kompletní problematika na toto téma. Obsahem je popis procesů a všech základních aspektů, které přímo ovlivňují výslednou integritu a drsnost povrchu při soustružení konstrukčních ocelí.

Dosažením cíle je věnována experimentální část, obsahující metodiku měření a provádění zvolených experimentů. Na konci práce v diskuzi a závěru je uvedeno vyhodnocení získaných výsledků.

Klíčová slova: řezné podmínky, drsnost, integrita povrchu, parametr R_a a R_z

ANNOTATION:

The presented bachelor's thesis provides information on the effect of cutting conditions on surface quality during turning of structural steels.

The main goal was to find out the ideal cutting conditions for individual structural steels and to recommend the conditions that produce the least surface roughness based on the parameters R_a and R_z .

In the theoretical part, the complete issues on this topic were discussed. The content is a description of the processes and all the fundamental aspects that directly affect the resulting surface integrity and surface roughness in turning structural steels.

The achievement of the objective is dealt with in the experimental part, containing the measurement methodology, and the execution of the chosen experiments. At the end of the work, in the discussion and conclusion, an evaluation of the obtained results is presented.

Keywords: cutting conditions, roughness, surface integrity, parameter R_a and R_z

Obsah

1 Úvod.....	12
2 Teoretická část.....	13
2.1 Základní pojmy.....	13
2.1.1 Princip soustružení.....	13
2.1.2 Řezné podmínky při soustružení.....	14
2.1.3 Geometrie řezného nástroje.....	15
2.1.4 Základní nástrojové úhly.....	15
2.1.5 Ocel.....	17
2.1.6 Obrobitelnost.....	18
2.1.7 Vznik třísky.....	19
2.1.8 Druhy třísek.....	20
2.1.9 Oblasti plastických deformací při tvorbě třísky.....	20
2.2 Vznik nárůstku při obrábění.....	21
2.2.1 Zóna kluzu a tvorba nárůstku.....	22
2.2.2 Části nárůstků.....	22
2.2.3 Nalezení a možnosti měření nárůstku.....	23
2.3 Integrita a drsnost povrchu.....	24
2.3.1 Integrita povrchu.....	24
2.3.2 Drsnost povrchu.....	25
2.3.3 Základní parametry drsnosti povrchu.....	25
2.3.4 Metody měření drsnosti povrchu.....	27
3 Metodika experimentů.....	29
3.1 Charakteristika použitých materiálů.....	29
3.1.1 Ocel k zušlechťování ČSN 12 060.....	29
3.1.2 Konstrukční ocel ČSN 14 220.....	30
3.1.3 Pružinová ocel ČSN 15 260.....	30

3.2 Použité stroje a nástroje	31
3.2.1 Stroj k obrábění materiálu	31
3.2.2 Nástroj k procesu obrábění	31
3.2.3 Příklad k měření zkoumaných veličin	32
3.3 Popis metodiky	33
3.3.1 Zhotovení vzorků	33
3.3.2 Měření	34
4 Realizace experimentů	35
4.1 Obrobek	35
4.1.1 Parametr R_a	35
4.1.2 Parametr R_z	39
4.2 Tříška	42
4.2.1 Parametr R_a	42
4.2.2 Parametr R_z	46
4.3 Ukázka povrchu a profilu vzorků	49
4.3.1 Obrobek	49
4.3.2 Tříška	51
5 Diskuze	54
5.1 Ocel 12 060	55
5.2 Ocel 14 220	56
5.3 Ocel 15 260	57
6 Závěr	58
Seznam použité literatury	60

Seznam použitých zkratk a symbolů

BUE		Built up edge
CAM		Computer aided manufacturing
CCD		Charge – coupled device
ČSN		Česká technická Norma
CLA		Chromatic length Aberration
VBD		výměnná břitová destička
3D		třírozměrný prostor
2D		dvourozměrný prostor
a_p	[mm]	šířka záběru ostří
D	[mm]	průměr obráběné plochy
f	[mm/ot]	posuv na otáčku
n	[mm ⁻¹]	otáčky obrobku
R_a	[μ m]	střední aritmetická úchylka profile
$R_{mr\textcircled{C}}$	[%]	materiálový poměr profile
r_n	[mm]	zaoblení břitu nástroje
R_t	[μ m]	celková výška profile
R_z	[μ m]	výška nerovností z deseti bodů
v_c	[mm/min]	řezná rychlost
v_f	[m/min]	rychlost posuvu
α	[°]	úhel hřbetu
β	[°]	úhel břitu
γ	[°]	úhel čela

δ	[°]	úhel řezu
ε	[°]	úhel špičky
π	[-]	Ludolfovo číslo
χ	[°]	úhel nastavení

1 Úvod

Soustružení patří mezi třískové metody obrábění, při kterém dochází k odběru materiálu za pomoci řezného nástroje – soustružnický nůž. Výsledkem tohoto procesu je tvorba nového povrchu s novou integritou. Výsledná integrita povrchu obrobku a třísky je závislá na řezných podmínkách, především řezné rychlosti. Problematika volby správných řezných podmínek, k dosažení co nejlepší integrity a drsnosti povrchu, je historicky nejvíce řešeným aspektem při obrábění, právě z důvodu neustále se zpřísňujících požadavků na kvalitu. Na drsnosti závisí celá řada faktorů v podobě přesnosti chodů strojních součástí, jejich hlučnosti, odolnosti proti opotřebení atd. Vysoká drsnost především u dynamicky namáhaných součástí nepříznivě působí na únavovou pevnost součástí, jelikož se začínají porušovat zpravidla od povrchu.

V souvislosti s touto problematikou si práce klade za cíl zjistit, jaký mají vliv řezné podmínky na kvalitu povrchu při soustružení konstrukčních ocelí bez procesní kapaliny a vyhodnotit právě ty nejhodnější řezné podmínky, u kterých se dosáhne co nejmenších hodnot parametrů drsnosti povrchu R_a a R_z . Za materiál byly zvoleny běžné konstrukční oceli (ČSN 12 060, 14 220, 15 260).

Práce nejprve přibližuje danou problematiku z teoretického hlediska. Jsou zde zahrnuty základní informace, které toto téma obsahuje. Pojednává především o nejdůležitějších aspektech, které nejvíce ovlivňují výslednou drsnost povrchu – řezné podmínky, geometrie řezného nástroje, materiál, tvorba nárůstku a jiné. Následně se práce věnuje shrnutí poznatků o integritě a drsnosti povrchu a metod pro měření drsnosti povrchu.

Důležitou částí je také praktická část, kde bylo nejdříve nutné určit kompletní metodiku pro vliv řezných podmínek při soustružení konstrukčních ocelí bez procesní kapaliny. Dále se stanovila metodika měření k určení drsnosti výsledného povrchu na základě hodnot parametrů R_a a R_z , pomocí laserového mikroskopu KEYENCE VK-X1100.

Nakonec došlo k vyhodnocení výsledku z dosažených hodnot z předem určené metodiky experimentu a vyvození závěru s doporučenými řeznými podmínkami pro konkrétní konstrukční ocele.

2 Teoretická část

V teoretické části jsou zahrnuty některé základní pojmy, které přímo ovlivňují řešenou problematiku bakalářské práce. Poté se pojednává o nárůstku, jeho vzniku, částech, nalezení a možného měření. Na konci této části dojde ke shrnutí poznatků o integritě povrchu, drsnosti a měření drsnosti povrchu.

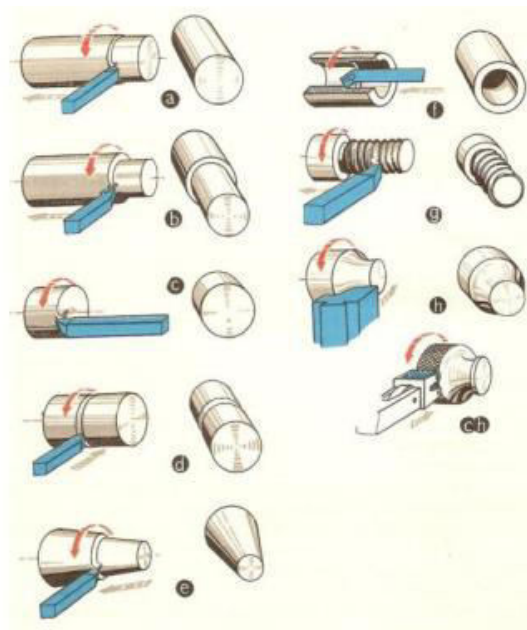
2.1 Základní pojmy

Pro pochopení problematiky vlivu řezných podmínek na kvalitu povrchu při soustružení konstrukčních ocelí, je nejdříve potřeba, si definovat některé základní pojmy, od kterých se tento jev odvíjí nebo přímo ovlivňují jeho proces.

2.1.1 Princip soustružení

Soustružení patří mezi jeden z nejrozšířenějších strojních oborů. Je to proces třískového obrábění, kde k odběru materiálu dochází pomocí jednobřitého nástroje – soustružnický nůž. Nástroj vykonává vedlejší přímočarý pohyb buďto ve směru osy obrobku – podélný posuv, nebo ve směru kolmém na osu obrobku – příčný posuv. Hlavní rotační pohyb vykonává obrobek. Tento proces probíhá na stroji – soustruhu a zhotovují se zde zpravidla výrobky kruhového průřezu. Základními soustružnickými pracemi jsou [1, 2]:

- a) soustružení vnějších válcových ploch
- b) soustružení stupňů
- c) soustružení čelních ploch
- d) zapichování/upichování
- e) soustružení vnějších kuželových ploch
- f) soustružení vnitřních válcových ploch
- g) soustružení závitů
- h) soustružení tvarových ploch
- ch) vroubkování



Obr. 1 Základní soustružnické práce [1]

2.1.2 Řezné podmínky při soustružení

Přesnost rozměrů a drsnost povrchu je při procesu obrábění ovlivněna zejména volbou řezných podmínek, geometrií a materiálem nástroje, tuhostí stroje nebo materiálem samotného obrobku. Při hrubování je prioritní co největší hloubka třísky (úběr materiálu) za jednotku času. Kvalita povrchu není v tomto případě podstatná z důvodu dalšího opracování plochy. Při obrábění na čisto je nutné docílit požadavků výkresové dokumentace (především rozměrů a drsnosti povrchu). Jsou zde kladeny vysoké nároky na řezné podmínky z důvodu dodržení kvality povrchu [3].

Při soustružení volíme řezné podmínky nejdříve s ohledem na velikost přídávku, ze kterého vychází šířka záběru ostří „ a_p “. Ta je omezena délkou ostří nástroje a neměla by být větší než 2/3 její délky. Jako další stanovíme velikost posuvu na otáčku „ f “. Posuv do značné míry ovlivňuje výslednou kvalitu povrchu. Čím menší posuv, tím kvalitnější povrch. Řezná rychlost „ v_c “ se pohybuje od 10 do 600 [m/min] v závislosti na druhu obráběného a nástrojového materiálu. Nízké řezné rychlosti jsou využívány pro obrábění legovaných ocelí, střední pro nelegované oceli nebo litiny a vysoké pro obrábění hliníku a slitin hliníku [3].

Výpočty řezných podmínek:

Hodnoty řezných podmínek je možné podle přesnosti a náročnosti zjistit buď podle normativů, tabulek a nomogramů nebo výpočtem.

Řezná rychlost [3]

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} \text{ [m/min]}$$

kde: v_c [m/min] je řezná rychlost,

D [mm] je průměr obráběné plochy,

n [min⁻¹] jsou otáčky na obrobku.

Rychlost posuvu [3]

$$v_f = f \cdot n \cdot 10^{-3} \text{ [m/min]}$$

kde: v_f [m/min] rychlost posuvu,

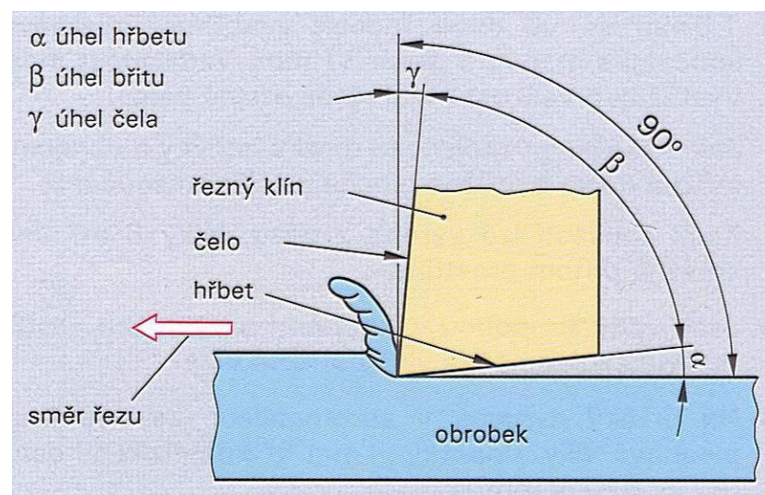
f [mm/ot] je posuv na otáčku.

2.1.3 Geometrie řezného nástroje

Geometrie nástroje má jeden z nejvýznamnějších vlivů při obrábění a to jak na jakost povrchu, produktivitu obrábění, velikosti řezných sil, tak na vnikání nástroje do materiálu a následné tvorby třísek. Aby byl řezný nástroj schopný tohoto bezproblémově docílovat, musí splňovat tyto podmínky [4]:

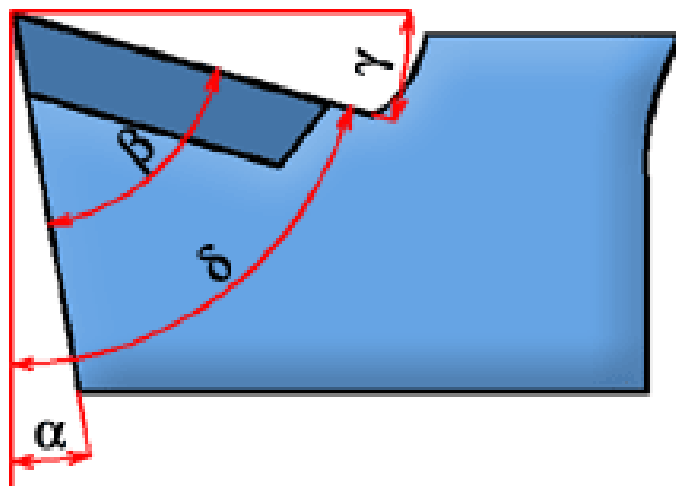
- dostatečná tvrdost proti obráběnému materiálu
- odolnost proti mechanickému a tepelnému namáhání
- správná geometrie břitu (klínu) nástroje

Břit nástroje můžeme považovat za tzv. řezný klín. Je to právě tato část nástroje, která je nejdůležitější, jelikož zde dochází k přímému kontaktu s obrobkem [5]. Řezný klín je tvořen plochou čela a plochou hřbetu (*obr. 2*). Po čelní ploše odchází tříška. Hřbet je plocha, která leží proti obrobené ploše. Průsečnice plochy čela a hřbetu se nazývá řezná hrana neboli břit [6].



Obr. 2 Geometrie řezného klínu [6]

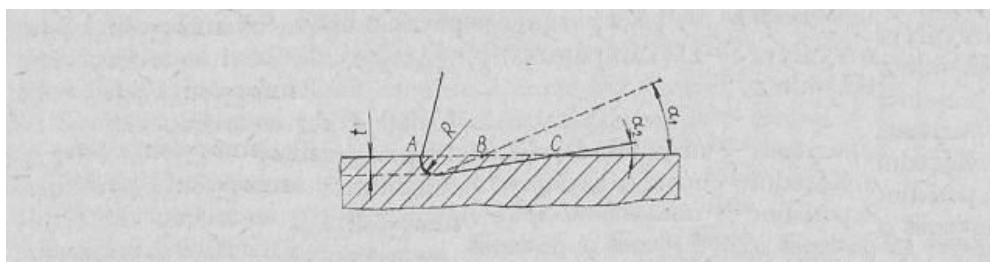
2.1.4 Základní nástrojové úhly



Obr. 3 Základní nástrojové úhly [7]

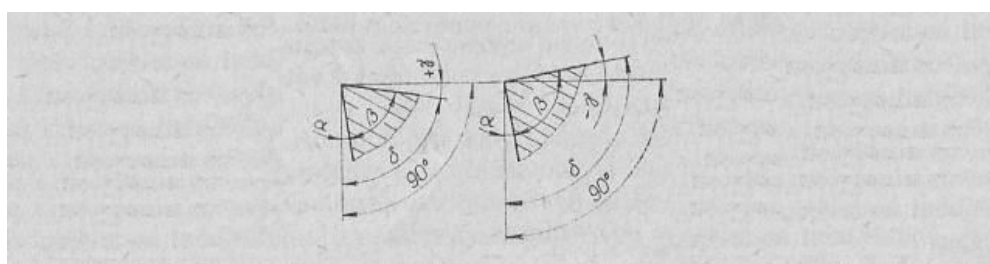
Řezné úhly se značí řeckými písmeny. Je dobré si je zapamatovat, jelikož je označení pro všechny nástroje stejné [4]. Vliv daných úhlů bude popsán pouze pro 4 základní (viz obr. 3). Dále se vyskytují i vedlejší úhly jako například úhel nastavení χ , úhel špičky ϵ atd.

Úhel hřbetu α - jedná se úhel mezi hlavním hřbetem nože a tečnou k řezné ploše obrobku. Velikost úhlu má vliv na velikost tření mezi hlavním hřbetem a řeznou plochou. Platí: čím je úhel větší, tím menší je tření a tím se nůž méně zahřívá [7]. Větší úhly hřbetu jsou vhodné při obrábění s ubíráním třísky malé tloušťky (malým posuvem) a při větších řezných rychlostech. Velikost úhlu α se volí v rozmezí 3 až 20° [4].



Obr. 4 Vliv úhlu hřbetu [4]

Úhel břitu β - je to úhel klínové části nástroje — břitu. Jeho velikost je nejčastěji 45°-90°. Velikost úhlu má vliv na odpor, který klade materiál obrobku noži při obrábění. Nůž s menším úhlem snáze vniká do materiálu, ovšem při příliš malém úhlu je břit málo pevný, při práci se příliš zahřívá, brzy se tupí a může se snadno ulomit. Malý úhel břitu se proto používá pro soustružení měkkých materiálů a pro soustružení pevných a tvrdých materiálů volíme úhel větší [7].



Obr. 5 Geometrie úhlu břitu [4]

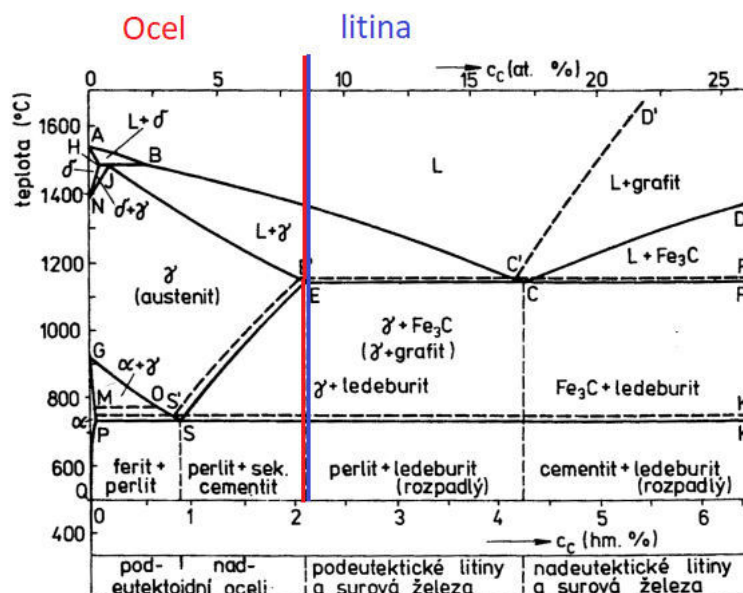
- z obr. 5 je patrné že velikost úhlu břitu vychází z úhlu hřbetu a čela [4].

Úhel čela γ a úhel řezu δ – tyto dva úhly mají největší vliv na průběh řezání, protože určují polohu čela nástroje. Je-li úhel δ menší než 90°, je úhel γ kladný, je-li úhel δ větší než 90°, je úhel γ záporný (viz obr. 5 kde je vidět úhel řezu a jeho závislost na úhlu čela) [4].

Velikost úhlu δ se tedy volí v závislosti na pevnosti obráběného materiálu v rozmezí 50°-105° a γ až do 40° [4, 7].

2.1.5 Ocel

Ocel je slitina železa, kde je hlavní složkou právě železo. Ocel obsahuje uhlík v množství od 0,05 až do 2% a je nejčastěji používaným materiálem obrobků. Při podílu uhlíku přes 2% mluvíme o šedé litině, pod 2% o ocelolitině. Uhlíková ocel, která je v běžném provedení jako nelegovaná, je složena ze železa a uhlíku, zatímco legovaná ocel obsahuje legující prvky. Změnou obsahu uhlíku, legujících prvků a také různým tepelným zpracováním je možné vyrobit enormní počet ocelí s rozdílnými vlastnostmi. Oceli s obsahem uhlíku pod 0,8% jsou tzv. oceli podeutektoidní, přesáhne-li obsah uhlíku 0,8%, mají oceli strukturu nadeutektoidní [8].



Obr. 6 Rovnovážný diagram Fe-Fe₃C [9]

Nelegovaná uhlíková ocel

Je to druh oceli, která nemá žádné jiné prvky přidané během tavení. Tavení je proces těžby kovu z jeho rudy. Tento proces zahrnuje zahřívání a roztavení rudy. Tavení odstraňuje nečistoty přítomné v železné rudě. Proces tavení se provádí několikrát, aby se odstranil uhlík [10].

Tab. 1 Rozdělení nelegovaných ocelí [10]

Ocel	Obsah C (%)
nízkouhlíková	do 0,25
středněuhlíková	do 0,25 do 0,60
vysokouhlíková	nad 0,60

Uhlíkové oceli obvyklé jakosti jsou nejčastěji nízkouhlíkové, jako například stavební ocel, tvarová tyčová ocel a jiné. Ocel se středním obsahem uhlíku se používá jako konstrukční ocel pro obrábění řeznými nástroji nebo k výrobě strojů a tlakových nádob. Vysokouhlíkové oceli jsou nástrojové oceli, které lze zušlechtit [8].

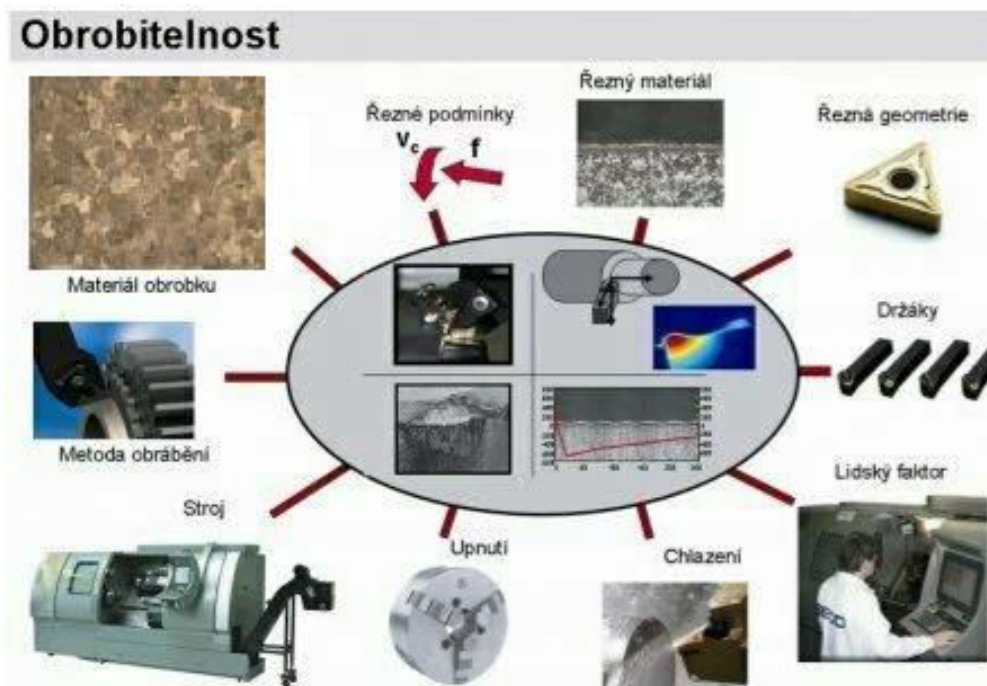
Legovaná ocel

Legovaná ocel je druh oceli složený ze železa, uhlíku a některých dalších prvků. Další přítomné prvky obvykle zahrnují mangan, křemík, nikl, titan, měď a chrom. Tyto prvky se nazývají slitinové prvky, protože jsou smíchány dohromady a vytvářejí slitinu. Účelem přidání těchto prvků je zlepšit vlastnosti oceli [10]. Prvky mají trvalý vliv na strukturu slitin, eutektoidní bod, na přeměnu struktury, jakož i na tvrdost, pevnost, odolnost proti opotřebení a na antikorozi vlastnosti [8].

Je-li obsah legujících prvků nižší než 5% je ocel zařazena jako nízkolegovaná. Při podílu legujících prvků přesahujících 5% se jedná o vysoce legovanou ocel. Tyto vysoce legované druhy ocelí jsou často stabilnější a tvrdší, než uhlíkové oceli obvyklé jakosti a kladou vyšší nároky na obrábění, protože vyšší podíl různých legujících prvků zvyšuje nejčastěji pevnost materiálu, a tím zhoršuje i obrobiteľnosť [8].

2.1.6 Obrobiteľnosť

Nejdříve je nutné si definovat co to obrobiteľnosť je. Obrobiteľnosť je systémová vlastnosť, která vyjadřuje, jak efektivní může být obrábění při nízkých nákladech a za daných technologických podmínek. I když je obrobiteľnosť ovlivněna mnoha faktory (materiál obrobku, řezné nástroje a řezné podmínky, strojní vybavení, strategie řezného procesu (CAM), upnutí obrobků a nástrojů, způsob chlazení, odborné znalosti technologů atd.) viz *obr. 7*, obvykle se hovoří o obrobiteľnosti jako o vlastnosti materiálu [11].



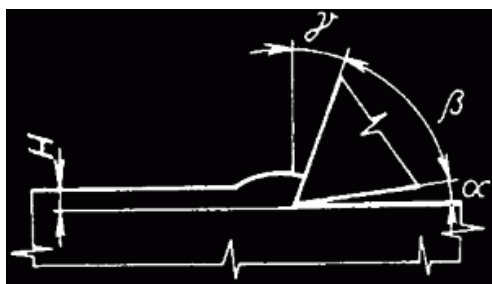
Obr. 7 Posouzení obrobiteľnosti [11]

Obrobitelnost lze považovat za dobrou při splnění jednoho či více z následujících kritérií: obrábění s minimálními energetickými požadavky, minimální opotřebení nástroje (jeho maximální životností), minimální řezné síly, eliminace problémů s utvářením a odvodem třísek, dobrá kvalita povrchu na obrobené ploše atd. Jinými slovy lze říct: dobrá obrobitelnost představuje co nejhospodárnější výrobu za daných technologických podmínek [11].

Pokud se jedná o obrobitelnost ocelí s nízkým obsahem uhlíku, jsou malá tvrdost a tvárnost často negativními faktory, které se projevují mazáním materiálu a tvořením nárůstku na břitu, ale také zkrácením trvanlivosti břitu řezných nástrojů a zhoršenou jakostí obrobeného povrchu obrobku. Vyšší obsah uhlíku v oceli zlepšuje obrobitelnost – tvrdost se mírně zvýší a tvárnost se snižuje. Obrobitelnost této skupiny materiálů se velmi příznivě ovlivní přidáním přísad do oceli, které omezují vznik nárůstku, a také určitými výrobními postupy a dodatečnou úpravou [8].

2.1.7 Vznik třísky

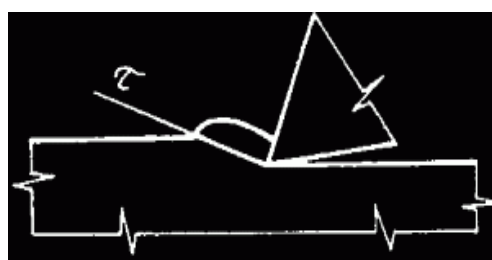
Tlakem nástroje se nejprve obráběný materiál na čelní ploše břitu pěchuje. Vlivem řezné síly vznikají v materiálu značná napětí, která překonávají vnitřní síly soudržnosti a odporu materiálu, až se před břitkem vytvoří trhlinka ve směru působení řezné síly. Při dalším pohybu nástroje se stlačené částičky třísky na čelní ploše nadzvednou, klouzají po čelní ploše břitu, jsou čelem nástroje odtrženy a odváděny jako tříska [12].



Obr. 8a Pěchování materiálu [13]



Obr. 8b Začátek porušování soudržnosti [13]



Obr. 8c Odstržení (usmýknutí) částice [13]



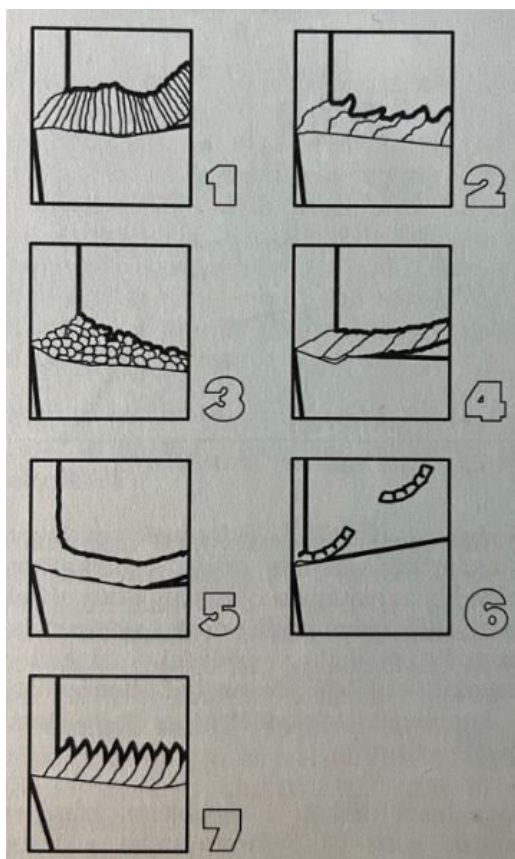
Obr. 8d Skluz usmýknuté částice [13]



Obr. 8e Odvádění třísky po čele nástroje [13]

2.1.8 Druhy třísek

Problémy obrábění se v dnešní době zredukovaly téměř výhradně na utváření třísky. Obrábění je záležitostí kontrolovatelného odchodu třísky, a v případě nutnosti, lámání třísky. Úkolem je nejen odstranění odebíraného materiálu z pracovního prostoru, třísky je nutné kontrolovaným způsobem odvádět z řezné zóny v neposlední řadě pro to, abychom odvedli teplo vzniklé při procesu obrábění [8].

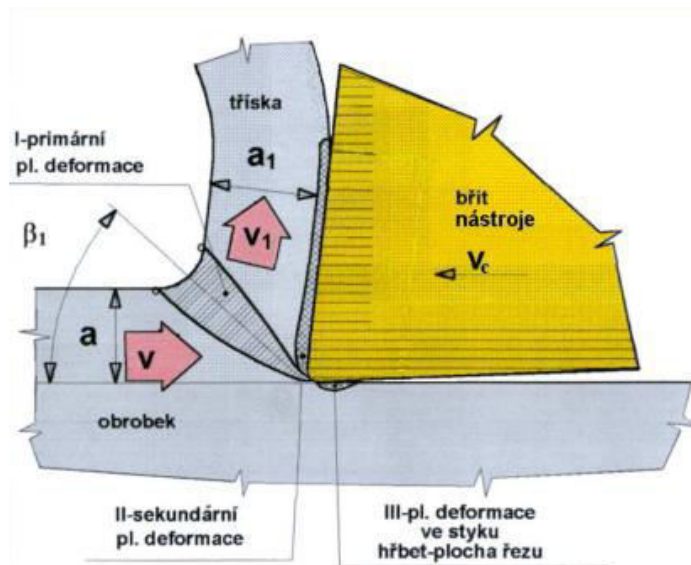


Obr. 9 7 hlavních typů utváření třísek [8]

- 1) plynulá článkovitá soudržná tříska vznikající u většiny ocelí
- 2) plynulá soudržná lamelovitá tříska, vznikající u většiny korozivzdorných ocelí
- 3) tvářená elementární tříska vznikající u většiny litin
- 4) nepravidelná článkovitá plynulá tříska vznikající u většiny vysoce legovaných materiálů
- 5) tvářená plynulá soudržná tříska vznikající při malých řezných silách, např. při obrábění hliníku
- 6) dělená segmentová tříska vznikající při velkých řezných silách a vysokých teplotách řezání, např. při obrábění tvrdých materiálů
- 7) plynulá segmentová tříska vznikající při obrábění titanu

2.1.9 Oblasti plastických deformací při tvorbě třísky

Jak bylo uvedeno v kapitole 2.1.1, soustružení je proces obrábění, při kterém je narušena soudržnost materiálu pomocí nástroje. Díky velkým teplotám, tlakům a kovově čistým povrchům dochází k oddělování materiálu ve formě třísek.



Obr. 10 Oblasti plastických deformací [14]

I. Primární plastická deformace - v oblasti primární plastické deformace dochází k prvotní deformaci obráběného materiálu a vlivem působení smykových napětí také ke změně orientace zrn ve struktuře. Zrna se natáčí do směru působení hlavních smykových napětí. Plastická deformace odřezávaného materiálu způsobí, že průřez vrstvy odřezávaného materiálu je vždy menší, než průřez třísky = pěchování [15].

II. Sekundární plastická deformace – zde dochází k dodatečnému tváření třísky, při intenzivním kontaktu s čelem nástroje. Při tom vlivem vzájemné adheze a také nerovnosti na čele řezného nástroje dochází ke vzniku váznuocí vrstvy (resp. zóny plastického tečení neboli zóny kluzu) a následné tvorby nárůstku [15].

III. Terciální plastická deformace – v důsledku zaoblení břitu nástroje je část materiálu stlačována pod ostří nástroje a tím vzniká plastická deformace obrobené plochy, spolu s ní se projeví i tepelné účinky obrábění – zbytková napětí v povrchové vrstvě [14].

2.2 Vznik nárůstku při obrábění

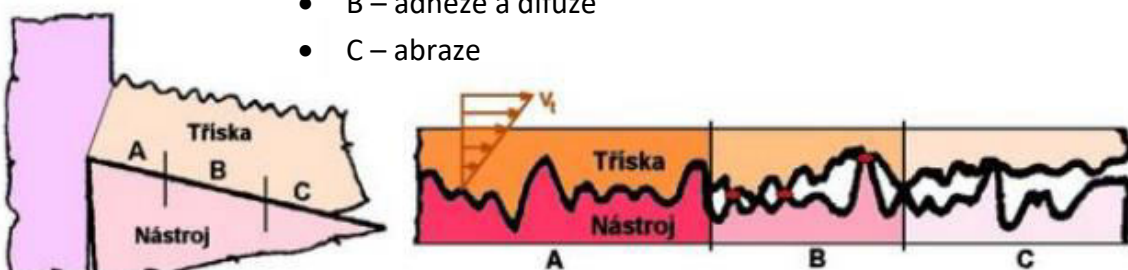
Jev i pojem nárůstek (v angličtině označen jako BUE – built up edge) je odvozen od postupného narůstání vrstev deformovaného kovu na ploše čela, který se zde zachytil účinkem různých mechanismů a ovlivňuje řadu výstupních parametrů, jako jsou řezné síly, teploty řezání, kvalita povrchu, opotřebení řezného nástroje, chvění a další [15]. Vytváření nárůstku je v procesu obrábění vždy negativním jevem [8].

2.2.1 Zóna kluzu a tvorba nárůstku

Při sekundární plastické deformaci viz kapitola 2.1.9, vzniká tzv. zóna kluzu. Ta se vyskytuje vždy, jakmile se začnou povrchové plochy zadírat a pohyb mezi třískou a nástrojem pokračuje. Rychlost materiálu třísky narůstá v oblasti plochy styku z teoretické nuly do velmi vysokých hodnot při dalším pohybu na čele nástroje. Vlivem deformačního procesu třísky pak v této oblasti vzniká značné teplo a díky tomu i tavenina kovu [8].

Zónu lze rozdělit na 3 oblasti:

- A – ulpívání
- B – adheze a difúze
- C – abraze



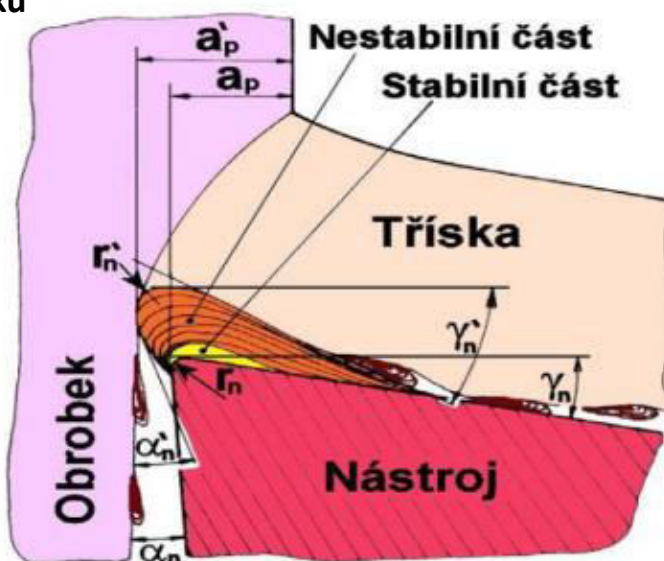
Obr. 11 Kontakt mezi třískou a nástrojem [16]

Zóna kluzu putuje po povrchové ploše vzniklé materiálové vrstvy stále výše a vytváří nárůstek (obr. 12). Na horní straně břitu vzniká kontinuální proces svařování tlakem. Tvar nárůstku mění úhel čela nástroje a tím tloušťku třísky. Nárůstek se v určitém okamžiku odlomí a může s sebou vylomit část břitu, což vede k výraznému opotřebení nástroje, a tím i zhoršení kvality povrchu [8].



Obr. 12 Nárůstek na břitu nástroje [7]

2.2.2 Části nárůstků



Obr. 13 Nárůstek a jeho druhy [16]

Jak můžeme vidět na *obr. 13*, zabrzděné vrstvy na čele nástroje, které tvoří nárůstek, se dělí na dvě části. Jednou je stabilní část, ta představuje pevné adhezní spojení materiálu třísky a materiálu nástroje, které odolalo smykovým silám, jež se ho snažily porušit. Druhou je pak nestabilní část, která může ulpět na tříске nebo se může dostat pod hřbet nástroje a zůstat tak na obrobené ploše a tím opět zhoršit jakost povrchu [15].

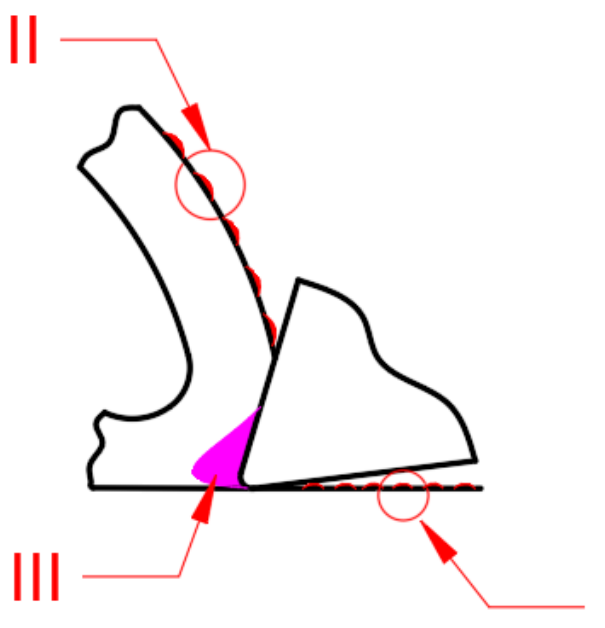
Zároveň si lze všimnout jiné geometrie řezného nástroje (úhel hřbetu α' a čela γ'). Důvodem je, že se vlivem nárůstku zvětšuje zaoblení břitu nástroje (r_n'). To způsobuje i značně větší úběr materiálu (a_p').

2.2.3 Nalezení a možnosti měření nárůstku

Tvorba nárůstku je kritickým faktorem, který přímo ovlivňuje výsledný povrch. Je zde mnoho faktorů zodpovědné za jeho vznik. Hodně záleží na parametrech obrábění, např. řezná rychlost, hloubka řezu, druh mazání, kombinace materiálu nástroje a obrobku, stav nástroje atd. Změna jednoho nebo kombinace výše uvedených faktorů by generovalo různé povrchy obrobků. Tvorba nárůstku je přerušovaná a vysoce nepředvídatelná. Pro kvantifikaci přítomnosti nárůstku je nejdříve nutné jeho identifikování [17].

Po obrábění lze nárůstek hledat na 3 různých místech:

- I - na povrchu obrobku
- II - na třískách shromážděných během obrábění
- III - na hřbetu nebo čele řezného nástroje



Obr. 14 Možnosti nalezení nárůstku

Měření je možné ve dvou provedení. Buďto nárůstek měříme přímo na stroji nebo mimo stroj. K měření mimo stroj se používají zpravidla mikroskopy, a to buďto rastrovací elektronové, optické nebo 3D laserové mikroskopy. Tyto metody jsou účinné ale bohužel velmi nákladné, přičemž nástroj musí být odpojen od stroje a změřen v laboratoři.

Na stroji se používá metoda, které detekuje nárůstek pořízením 2D snímku bříty nástroje pomocí CCD kamery s vysokým rozlišením. Tato metoda je možná ve dvou provedení – odečítací metoda nebo metoda transformace polárního poloměru [18].

2.3 Integrita a drsnost povrchu

S rozvojem vědy a techniky a s uplatňováním jejich výsledků má stále větší význam problematika jakosti strojních součástí. Její důležitost vychází z požadavků snižování hmotnosti dynamicky namáhaných součástí jak za normálních, tak i za extrémních podmínek zatěžování. Pod pojmem jakosti z hlediska technologie výroby je třeba chápat přesnost rozměrů, přesnost geometrického tvaru, polohy a drsnosti povrchu. Jakost povrchu a vlastnosti povrchové vrstvy, ovlivňují velmi výrazně životnost a spolehlivost provozu součástí. Na drsnosti povrchu závisí přesnost chodu strojních součástí, jejich hlučnost, doba záběhu, odolnost proti opotřebení apod. [19].

2.3.1 Integrita povrchu

Výsledkem každého obráběcího procesu je vznik nového povrchu. Tomuto povrchu říkáme obrobená plocha. Integrita povrchu v sobě zahrnuje podmínky, za kterých obrobená plocha vzniká. Na vlastnosti obrobené plochy má vliv druh technologie, řezné podmínky a řezné prostředí při obrábění. Musíme tedy uvažovat s mnoha faktory, aby se zachovaly parametry jednotlivých složek integrity povrchu a nedošlo tak k nežádoucím vlivům [20].

Zkoumání integrity povrchu a provádění funkčních zkoušek je velmi významné. V současné době jsou totiž kladeny vysoké požadavky na jakost a to především z potřeby záruky vyšší spolehlivosti a životnosti [21].

Faktory mající největší vliv na integritu povrchu obrobené plochy:

- drsnost povrchu,
- mikrotvrдость,
- povrchové napětí,
- fázové přeměny.

2.3.2 Drsnost povrchu

Drsnost povrchu je důležitým činitelem zejména pro dynamicky namáhané součásti, které se začínají porušovat zpravidla od povrchu. Větší drsnost tedy nepříznivě působí na únavovou pevnost součástí, a popřípadě i na jejich odolnost proti otěru [22].

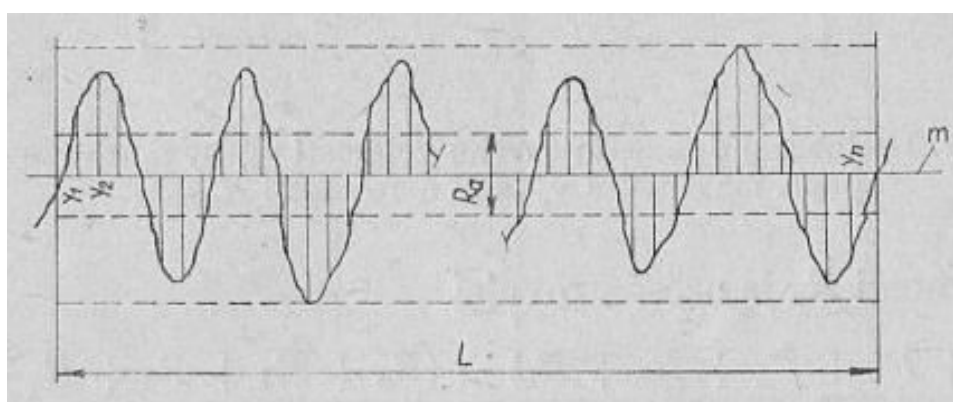
Obrobená plocha není v žádném případě ideálně hladká. Vykazuje vždy určitý stupeň drsnosti, který je určen mikro nerovnostmi vzniklými při obrábění [22].

Drsnost obrobené plochy je způsobena stopami, které na ní zanechá břit nástroje. Druh a stupeň drsnosti závisí na způsobu obrábění, na fyzikálních a mechanických vlastnostech obráběného materiálu, na jakosti, tvaru a geometrii břitu, na řezných podmínkách, zejména na velikosti posuvu a na řezné rychlosti. Drsnost povrchu dosahovaná při obrábění může být dále ovlivňována tuhostí soustavy stroj - nástroj – obrobek, způsobem upínání obrobku, řeznou kapalinou, třením třísky a nástroje o obrobený povrch, opotřebením nástroje apod. [22].

2.3.3 Základní parametry drsnosti povrchu

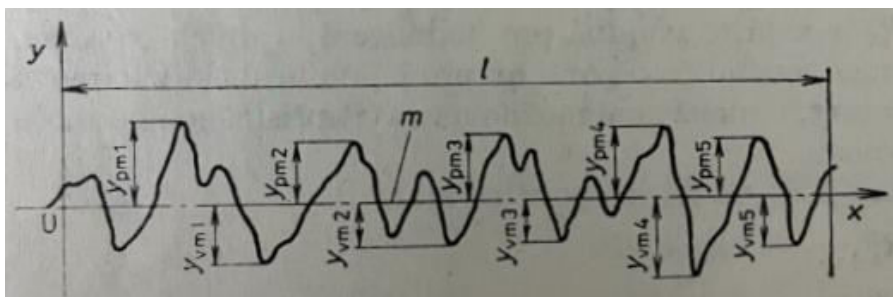
Požadavky na drsnost povrchu se vyjadřují charakteristickou (veličinou) drsnosti povrchu (buď jednou, nebo několika) podle ČSN 01 4451, číselnou hodnotou příslušné veličiny a základní délkou, na které se veličina určuje [19].

Střední aritmetická úchylka profilu R_a – je přednostní výškovou charakteristikou drsnosti povrchu. Je to střední aritmetická hodnota absolutních úchylek profilu v rozsahu základní délky. Tato charakteristika nám nemůže umožnit představu o tom, jak skutečně povrch vypadá. Je to však základní veličina pro popis mikrogeometrie povrchu [19].



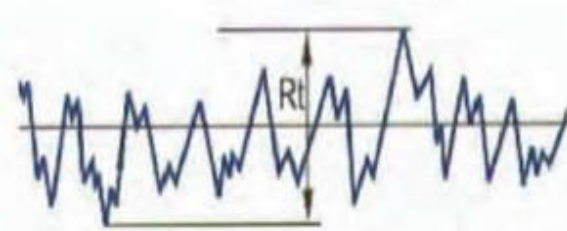
Obr. 15 Vyjádření hodnoty R_a [22]

Výška nerovností profilu z deseti bodů R_z - je střední hodnota z absolutních hodnot výšek pěti nejvyšších výstupků profilu a hloubek pěti nejnižších prohlubní profilu v rozsahu základní délky [19].



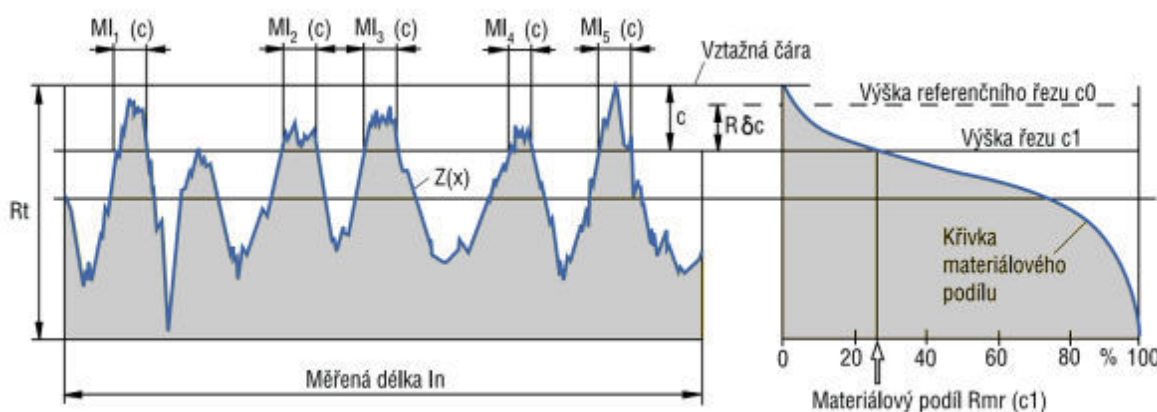
Obr. 16 Vyjádření hodnoty R_z [19]

Celková výška profilu R_t - součet výšky Z_p nejvyššího výstupku profilu a hloubky Z_y nejnižší prohlubně profilu v rozsahu vyhodnocované délky [23].



Obr. 17 Vyjádření hodnoty R_t [23]

Materiálový poměr profilu (nosný podíl) $R_{mr(c)}$ - poměr materiálové délky profilu $MI(c)$ na dané úrovni c , k vyhodnocované délce l_n , kde $MI(c)$ je definován jako součet délek úseků, které jsou získány protnutím prvků profilu rovnoběžkou s osou X na dané úrovni c . Nosný podíl je obvykle vyjadřován v procentech [23].



Obr. 18 Vyjádření hodnoty nosného podílu + křivka materiálového podílu [24]

Křivka materiálového podílu (Abbott-Firestoneova křivka) prakticky ukazuje, jak narůstá nosná délka povrchu směrem dovnitř materiálu napříč celým profilem drsnosti a v provozu také jak se zvětšuje nosná délka povrchu s postupujícím opotřebením [24].

2.3.4 Metody měření drsnosti povrchu

V rámci měření drsnosti je výrobek posuzován podle jeho vlastností, funkce a odolnosti vůči opotřebení. Při kontrole kvality povrchu se používají pro měření drsnosti různé metody. Ty se dají v zásadě rozdělit na [25]:

- **Kvalitativní hodnocení drsnosti povrchu** – při kvalitativním posuzování se určuje drsnost povrchu lidskými smysly, tj. porovnáváním kontrolovaného povrchu se vzorovými plochami zrakem a hmatem, popř. vizuálně jednoduchými optickými pomůckami, jako jsou lupy a komparační mikroskopy [19].



Obr. 19 Kvalitativní hodnocení pomocí vzorkovnice [23]

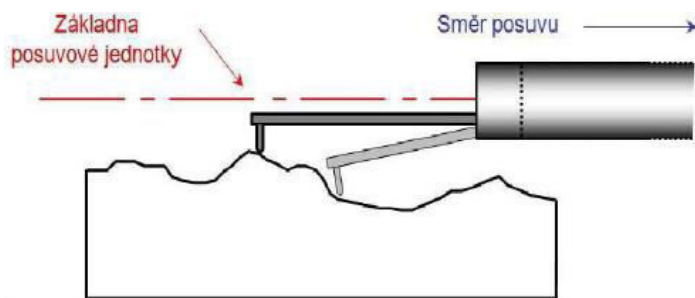
- **Kvantitativní hodnocení drsnosti povrchu** – při tomto hodnocení se vyjadřuje drsnost číselnou hodnotou [20]. K měření se používají měřicí přístroje a to kontaktní nebo bezkontaktní [25].

Kontaktní přístroje

Kontaktní přístroj znamená, že speciálně upravený hrot snímá souřadnice vyhodnocovaného povrchu (*obr. 20*), které jsou potom počítačově zpracovány. Pohyb snímacího hrotu musí být velmi přesný co do přímosti a rovnoměrnosti. Rychlost musí být volena s ohledem na dynamické vlastnosti snímacího systému [26].

Vertikální pohyb hrotu při přechodu výstupků a prohlubní je indukčním měřidlem převáděn na elektrický signál. Ten se potom dále počítačově zpracovává a následovně vyhodnocuje [26].

V tradičním strojírenském prostředí mají kontaktní metody proti bezkontaktním zřejmou výhodu ve větší toleranci vůči znečištění. Snímací hrot odsune malé nečistoty nebo mu nevádí olejová vrstva. Bezkontaktní sonda vyžaduje skutečně čistý měřený povrch [26].



Obr. 20 Kontaktní přístroj [23]

Bezkontaktní přístroje

V laboratorní a vědecké praxi se především využívají přístroje na hodnocení povrchů pracující na bezkontaktním principu (*obr. 21*). Přístroje se rozlišují podle používaného snímače, z nich nejčastěji se využívá snímačů CLA (Chromatic Length Aberration) a snímačů laserových [23, 26].

Princip CLA snímače je možno popsat takto. Bílé světlo je rozkládáno a optikou je směřováno na kontrolovaný povrch. Optika rozloží světlo podle vlnových délek a v každém bodě povrchu je zaostřena jen určitá vlnová délka. Světlo odražené z povrchu prochází otvorem, který propustí jen světlo zaostřené vlnové délky. Spektrometr vychýlí světlo na maticový senzor, kde je každému bodu připravena prostorová poloha, která je následně počítačově zpracována a vyhodnocena. Na místo CLA snímačů je možné použít i snímačů laserových. Ty však nejsou tak přesné jako snímače CLA. Nasnímané prostorové polohy jsou potom zpracovány speciálními softwary, které umožní 3D zpracování dat, včetně 3D vizualizace [26].



Obr. 21 Bezkontaktní přístroj [23]

3 Metodika experimentů

Tato část bakalářské práce se bude věnovat praktické části, která zahrnuje popis vybraných materiálů, nástrojů, přípravě vzorků k obrábění, měření a následnému postupu při měření zkoumaných veličin.

Vzorky k procesu obrábění a měření byly zkoumány a připravovány v rámci rozměrové přesnosti a integrity povrchu.

Příprava a obrábění obrobků probíhalo na hrotovém soustruhu TOS SU 50/1500 v laboratořích katedry obrábění a montáže (KOM) v budově L - Ústav pro nanomateriály, pokročilé technologie a inovace, Technické univerzity v Liberci.

Příprava a měření vytvořených vzorků z procesu obrábění bylo provedeno taktéž na stejné katedře, jen v budově E na 3D laserovém skenovacím mikroskopu KEYENCE VK – X1100.

3.1 Charakteristika použitých materiálů

Pro posouzení vlivu řezných podmínek na kvalitu povrchu při soustružení jsou zvoleny tři druhy konstrukčních ocelí:

1. Ocel 12 060
2. Ocel 14 220
3. Ocel 15 260

Bližší parametry a vlastnosti jednotlivých ocelí jsou uvedeny v následujících bodech.

3.1.1 Ocel k zušlechťování ČSN 12 060

Tato ocel je vhodná k zušlechťování. Používá se na hřídele turbokompresorů, karuselů, zalomené a jiné hřídele, ozubená kola a věnce, pístnice, vřetena, čepy, lamely, spojky, pojistky, západky, držáky, šrouby, páky, destičky abnormálních řetězů, různé spojovací součásti apod. Pružiny, konstrukční elementy lisovacího nářadí. Na méně namáhané hřídele silničních vozidel. Na součásti strojů, které mají vzdorovat opotřebení (ozubené věnce, vřetena vrtaček). Její svařitelnost je obtížná [27].

Tab. 2 Chemické složení oceli 12 060 [24]

Prvek		C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Cu
Obsah [hm. %]	min	0,52	0,5	0,15					
	max	0,6	0,8	0,4	0,04	0,04	0,25	0,3	0,4

3.1.2 Konstrukční ocel ČSN 14 220

Ušlechtilá konstrukční mangan-chromová ocel k cementování. Ocel je dobře tvářitelná za tepla, po žíhání naměkko i za studena, je dobře obrobitelná a svařitelná. Vhodná pro strojní součásti pro zušlechtnění do průměru 35 mm, k cementování s velkou pevností v jádře, např. hřídele, ozubená kola, vačkové hřídele, zdviháky ventilů, pístní čepy a zubové spojky [28].

Tab. 3 Chemické složení oceli 14 220 [25]

Značka oceli	Chemické složení v %					
	C	Mn	Si	Cr	P max.	S max.
ČSN 14 220	0,14-0,19	1,10-1,40	0,17-0,37	0,80-1,10	0,035	0,035

3.1.3 Pružinová ocel ČSN 15 260

Ocel je dobře tvárná za tepla, ve stavu žíhaném naměkko dobře obrobitelná. Je vhodná pro velmi namáhané strojní součásti silničních motorových vozidel, čepy, pružiny, šrouby, hřídele tvářené za tepla a vřetena. Dále se ocel používá na pružiny větších průřezů [29].

Tab. 4 Chemické složení oceli 15 260 [26]

C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	W
0,47-0,55	0,7-1	0,15 - 0,4	max 0,035	max 0,035	0,9 - 1,2	max 0,3	0,1 - 0,2

3.2 Použité stroje a nástroje

3.2.1 Stroj k obrábění materiálu

K obrábění výše uvedených materiálů a zhotovení vzorků k následnému měření, je zvolen hrotový soustruh SU 50/1500 od výrobce TOS Lipník (*obr. 22*).



Obr. 22 Hrotový soustruh SU 50/1500

- Parametry stroje [30]:
- oběžný průměr nad ložem 500 mm
 - vzdálenost hrotů 1500 mm
 - oběžný průměr nad suportem 250 mm
 - největší váha obrobku 1100 kg
 - rozsah otáček vřetena 11,2-1400 ot/min
 - podélný posuv až 3,8 mm/ot, příčný až 1,9 mm/ot
 - výkon 2x5,5 kW

3.2.2 Nástroj k procesu obrábění

Jako obráběcí nástroj byl zvolen vnější soustružnický nůž přímý (*obr. 23*), který se skládá ze dvou částí – nožového držáku a vyměnitelné břitové destičky (VBD), která je upevněna pomocí šroubu.



Obr. 23 Vnější soustružnický nůž přímý

Jako VBD bude použita povlakovaná destička značky pramet DNMG 110404E-FM; 3025 viz parametry na *obr. 24*.

DNMG 110404E-FM ;3025						
80014143						
2291 - 2184344		QTY 10		PRAMET		
	STEEL	STAINLESS	CAST IRON	NON-FERROUS	SUPERALLOYS	HARD MATERIAL
GROUP	P25 - P40	M20 - M35	K20 - K40	-	S15 - S25	-
v_c (m/min)	195-125	115-75	185-115	-	55-25	-
f_r (mm/rev)	0,10-0,24	0,10-0,18	0,10-0,24	-	0,10-0,14	-
a_p (mm)	0,4-3,0	0,4-2,3	0,4-3,0	-	0,4-1,8	-



Obr. 24 VBD pramet DNMG 110404E-FM

3.2.3 Přístroj k měření zkoumaných veličin

K naměření parametrů drsnosti povrchu a zkoumání výsledného povrchu bude použit 3D laserový bezkontaktní profiloměr KEYENCE VK-X1100 (*obr. 25*).

Tento přístroj může provádět bezkontaktní měření profilu, drsnosti a tloušťky povrchové vrstvy s rozlišením nanometrů na jakémkoli materiálu nebo tvaru. Na rozdíl od interferometrů nebo jiných 3D měřicích systémů lze přesně měřit i objekty se strmými nebo zakřivenými povrchy nebo objekty, které velmi dobře neodrážejí světlo [23].

Výšky nerovností se měří analýzou intenzity vráceného laserového světla vzhledem k pozici laseru. Měřicí plocha mikroskopu se rozlišuje od 50 mm do 1 nanometru. Skenování a měření vzorku se provádí automaticky [23].



Obr. 25 Přístroj KEYENCE VK-X1100

3.3 Popis metodiky

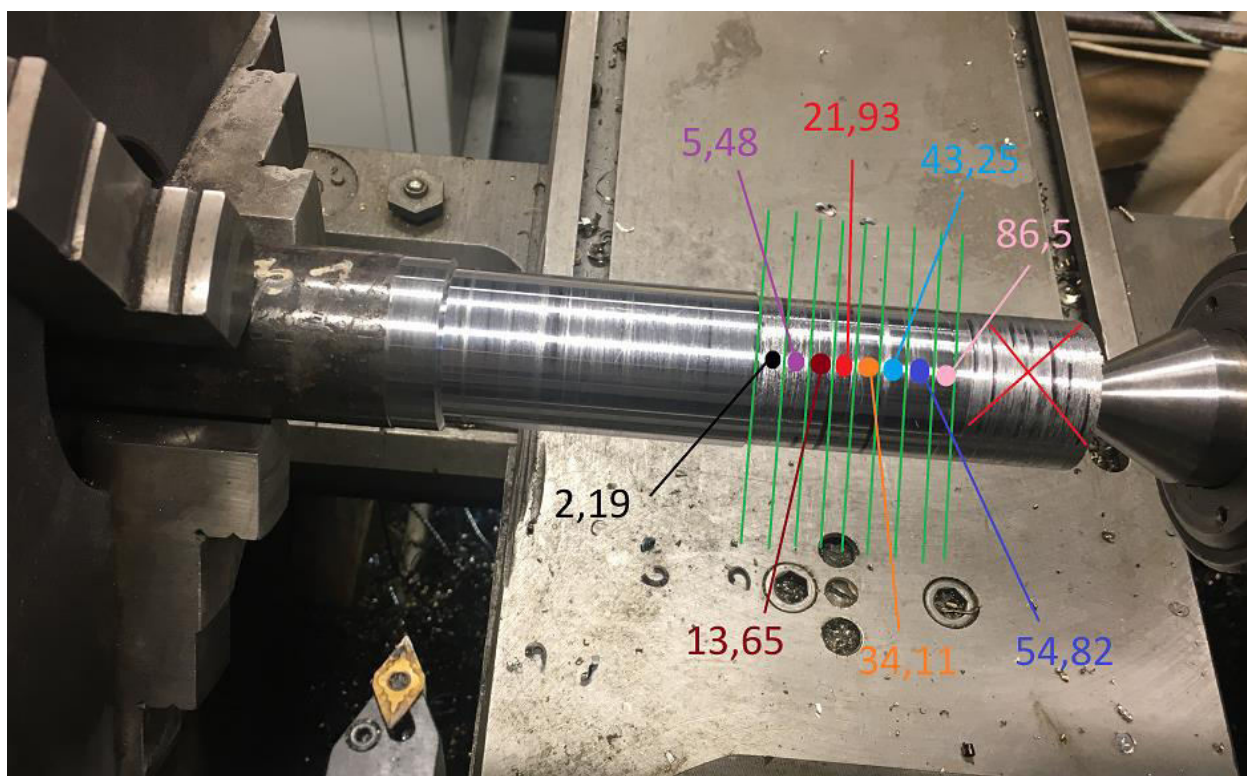
V této části kapitoly bude popsán podrobný postup při realizaci metodiky experimentů ke zjištění vlivu řezných podmínek na kvalitu povrchu při soustružení konstrukčních ocelí.

3.3.1 Zhotovení vzorků

Zvolené polotovary třech konstrukčních ocelí – ČSN 12 060, 14 220, 15 260, byly řádně očištěny a naměřeny. Výchozím polotovarem byla ve všech případech kulatina o průměru $D = 38,8$ mm. Povrch byl obráběn jedním posuvem $f = 0,1$ mm/ot a hloubkou záběru $a_p = 2,5$ mm. Obrábění každého polotovaru bylo rozděleno na 8 částí po 5 mm. Pro každou část byla přiřazena jiná řezná rychlost v_c . Hranice mezi jednotlivými řeznými rychlostmi byly po obrábění vyznačeny fixem z důvodu následného měření obrobku (obr. 26).

Tab. 5 Řezné podmínky

Posuv	f	0,1 mm/ot					
Úběr	a_p	2,5 mm					
Délka řezu	l	5 mm					
Řezná rychlost v_c [m/min]							
86,5	54,82	43,25	34,11	21,93	13,65	5,48	2,19



Obr. 26 Rozdělení obrobku dle řezných rychlostí

Na obr. 26 lze vidět rozdělení obrobku dle řezných rychlostí. Na každou konstrukční ocel byla použita nová výměnná destička. Při obrábění byly zároveň shromažďovány třísky, které se následně rozdělily do sáčku dle použité řezné rychlosti.

Soustružení všech konstrukčních ocelí probíhalo bez použití procesní kapaliny.

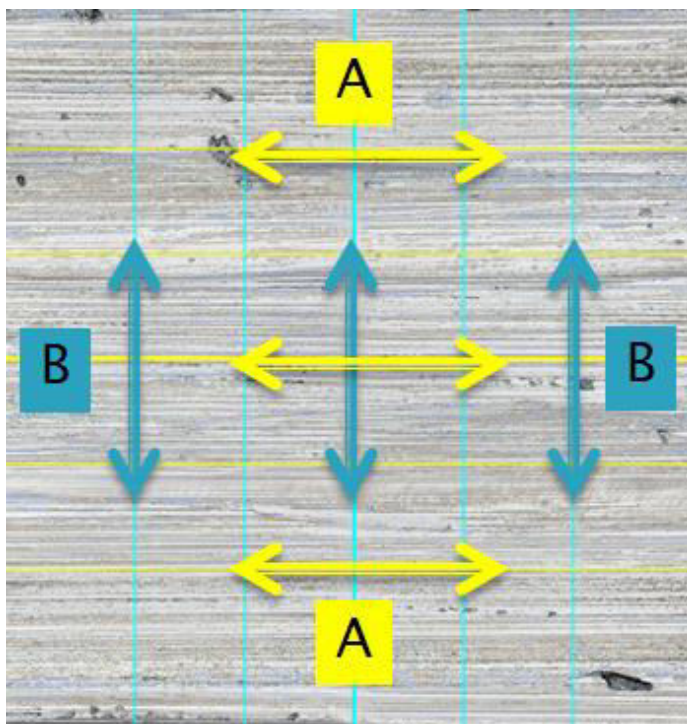
3.3.2 Měření

Za vybrané parametry drsnosti povrchu byla střední aritmetická úchylka profilu - R_a a výška nerovnosti profilů z deseti bodů - R_z .

K naměření hodnot byl použit již zmíněný přístroj KEYENCE VK-X1100. Tento přístroj je vybaven počítačem se softwarovým rozhraním VK ANALYZER, kde se nastavují potřebné parametry ke správnému naměření všech zkoumaných veličin. Dále byl stroj vybaven stolkem se svěrákem, kam se upínaly zhotovené vzorky.

Každý vzorek byl před měřením řádně očištěn vatou a technickým benzínem, aby bylo měření co nejméně ovlivněno nečistotami na materiálu.

Pro naše účely byl vybrán objektiv s optickým zvětšením 50x. Jak na vzorku polotovaru, tak na vzorku třísky byl vybrán úsek pro měření ve velikosti plochy 500x500 μm . Pro každou řeznou rychlost bylo provedeno 5 měření drsnosti na různých místech, jak na obrobku, tak na třísce. Na obr. 27 je znázorněno, že měření probíhalo jak v podélném směru (A), tak příčném směru (B).



Obr. 27 A-podélné měření, B-příčné měření

4 Realizace experimentů

V této kapitole bakalářské práce budou uvedeny a shrnuty naměřené hodnoty parametrů drsnosti povrchu R_a a R_z v závislosti na druhu konstrukční oceli a použité řezné rychlosti v_c . Prezentované výsledky jsou váženým aritmetickým průměrem s uvedenou nejistotou měření z 5 naměřených hodnot pro každou řeznou rychlost.

Při realizaci experimentu byl dodržen přesný postup, který byl uveden v kapitole pro metodiku experimentu.

4.1 Obrobek

Jak bylo zmíněno v předchozích kapitolách, každý obrobek konstrukční oceli byl po obrábění rozdělen na 8 úseků dle řezných rychlostí. V následujících tabulkách a grafech budou uvedeny průměrné hodnoty z pěti naměřených pro každou řeznou rychlost.

4.1.1 Parametr R_a

Tab. 6 Hodnoty parametru R_a pro obrobek oceli 12 060

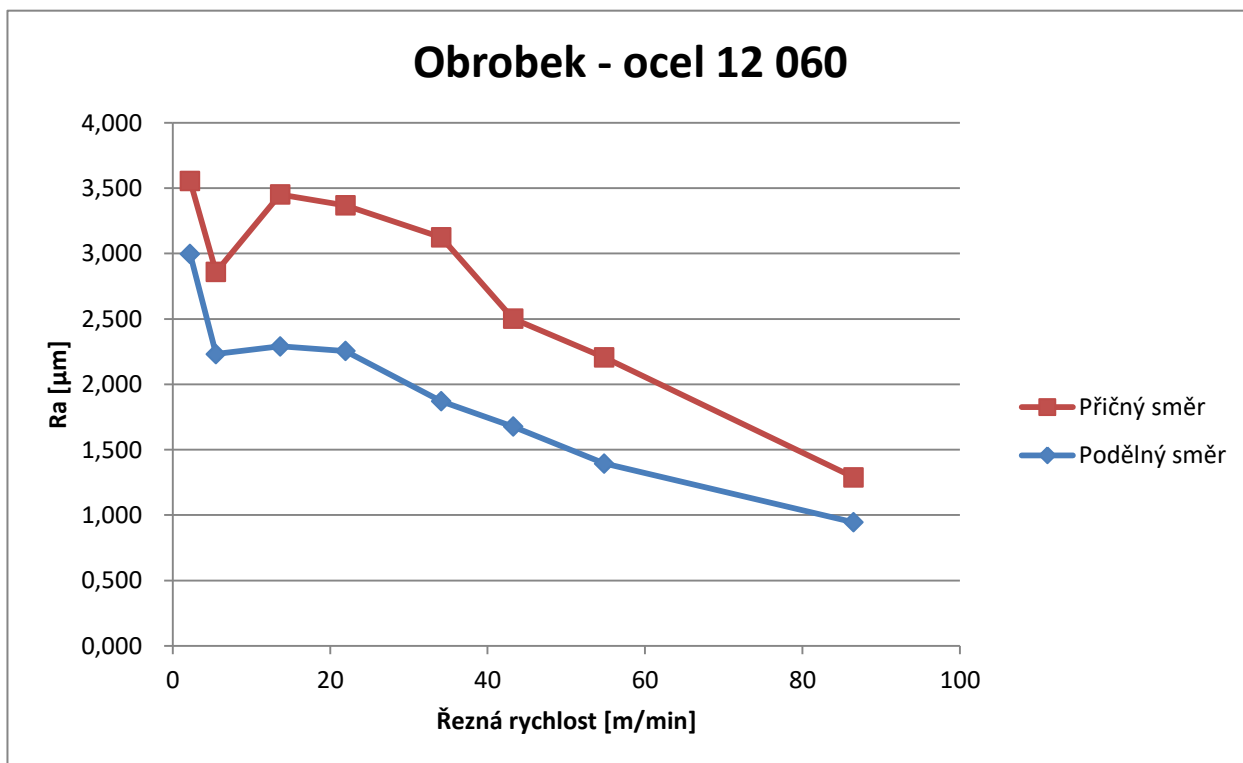
Ocel 12 060 - obrobek		
Řezná rychlost	podélný směr	příčný směr
v_c	R_a	R_a
m/min	μm	μm
86,5	$0,945 \pm 0,224$	$1,288 \pm 0,170$
54,82	$1,394 \pm 0,203$	$2,206 \pm 0,529$
43,25	$1,677 \pm 0,144$	$2,502 \pm 0,423$
34,11	$1,870 \pm 0,196$	$3,124 \pm 0,484$
21,93	$2,254 \pm 0,455$	$3,368 \pm 0,345$
13,65	$2,290 \pm 0,609$	$3,451 \pm 0,493$
5,48	$2,232 \pm 0,178$	$2,859 \pm 0,250$
2,19	$2,998 \pm 0,045$	$3,556 \pm 0,250$

Nejvyšší hodnota parametru R_a v podélném směru byla $2,298 \mu\text{m}$ při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_a v podélném směru byla $0,945 \mu\text{m}$ při $v_c = 86,5 \text{ m/min}$.

Nejvyšší hodnota parametru R_a v příčném směru byla $3,556 \mu\text{m}$ při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_a v příčném směru byla $1,288 \mu\text{m}$ při $v_c = 86,5 \text{ m/min}$.



Graf 1 Porovnání hodnot R_a v podélném a příčném směru

Z grafu je patrné, že hodnoty parametru drsnosti povrchu R_a pro obrobek konstrukční oceli 12 060, jsou vyšší pro příčný směr. V obou případech se zvětšující se řeznou rychlostí snižuje hodnota R_a , s výjimkou skoku z druhé nejnižší řezné rychlosti, která mohla být způsobena přesností obrábění nebo tuhostí stroje.

Tab. 7 Hodnoty parametru R_a pro obrobek oceli 14 220

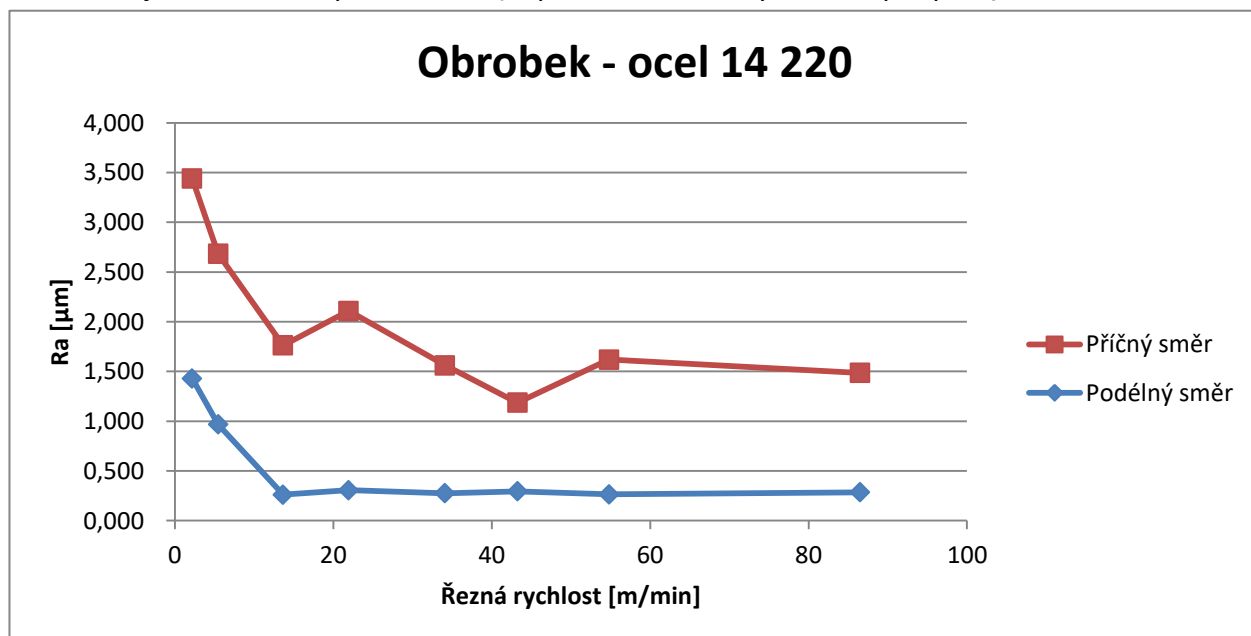
Ocel 14 220 - obrobek		
Řezná rychlost	podélný směr	příčný směr
v_c	R_a	R_a
m/min	μm	μm
86,5	$0,284 \pm 0,038$	$1,486 \pm 0,197$
54,82	$0,264 \pm 0,057$	$1,620 \pm 0,425$
43,25	$0,295 \pm 0,064$	$1,186 \pm 0,300$
34,11	$0,275 \pm 0,071$	$1,562 \pm 0,752$
21,93	$0,306 \pm 0,077$	$2,109 \pm 0,801$
13,65	$0,261 \pm 0,050$	$1,762 \pm 0,523$
5,48	$0,967 \pm 0,427$	$2,683 \pm 0,731$
2,19	$1,429 \pm 0,472$	$3,439 \pm 1,085$

Nejvyšší hodnota parametru R_a v podélném směru byla $1,429 \mu\text{m}$ při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_a v podélném směru byla $0,261 \mu\text{m}$ při $v_c = 13,65 \text{ m/min}$.

Nejvyšší hodnota parametru R_a v příčném směru byla $3,439 \mu\text{m}$ při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_a v příčném směru byla $1,186 \mu\text{m}$ při $v_c = 43,25 \text{ m/min}$.



Graf 2 Porovnání hodnot R_a v podélném a příčném směru

Z grafu je patrné, že hodnoty parametru drsnosti povrchu R_a pro obrobek konstrukční oceli 14 220, jsou vyšší pro příčný směr. V obou případech se do $v_c 13,65 \text{ m/min}$ se zvětšující se v_c snižuje hodnota R_a . Poté se hodnota R_a především pro podélný směr stává stálejší.

Tab. 8 Hodnoty parametru R_a pro obrobek oceli 15 260

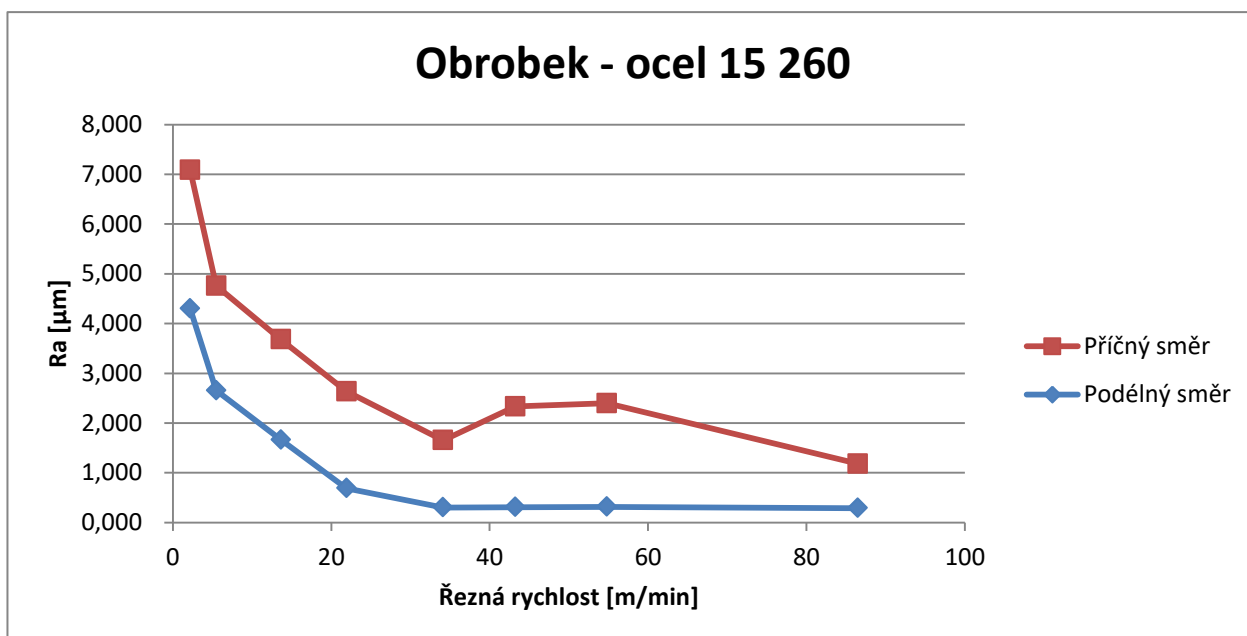
Ocel 15 260 - obrobek		
Řezná rychlost	podélný směr	příčný směr
v_c	R_a	R_a
m/min	μm	μm
86,5	$0,289 \pm 0,017$	$1,179 \pm 0,197$
54,82	$0,314 \pm 0,119$	$2,397 \pm 0,468$
43,25	$0,309 \pm 0,058$	$2,334 \pm 0,608$
34,11	$0,302 \pm 0,062$	$1,653 \pm 0,315$
21,93	$0,689 \pm 0,418$	$2,634 \pm 0,483$
13,65	$1,665 \pm 1,475$	$3,681 \pm 1,040$
5,48	$2,655 \pm 1,430$	$4,758 \pm 1,780$
2,19	$4,298 \pm 3,265$	$7,084 \pm 1,419$

Nejvyšší hodnota parametru R_a v podélném směru byla $1,429 \mu\text{m}$ při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_a v podélném směru byla $0,261 \mu\text{m}$ při $v_c = 13,65 \text{ m/min}$.

Nejvyšší hodnota parametru R_a v příčném směru byla $3,439 \mu\text{m}$ při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_a v příčném směru byla $0,186 \mu\text{m}$ při $v_c = 43,25 \text{ m/min}$.



Graf 3 Porovnání hodnot R_a v podélném a příčném směru

Z grafu je patrné, že hodnoty parametru drsnosti povrchu R_a pro obrobek konstrukční oceli 15 260, jsou vyšší pro příčný směr. V obou případech do $v_c 34,11 \text{ m/min}$ se zvětšující se v_c snižuje hodnota R_a . Poté se hodnota R_a především pro podélný směr stává stálejší.

4.1.2 Parametr R_z

Tab. 9 Hodnoty parametru R_z pro obrobek oceli 12 060

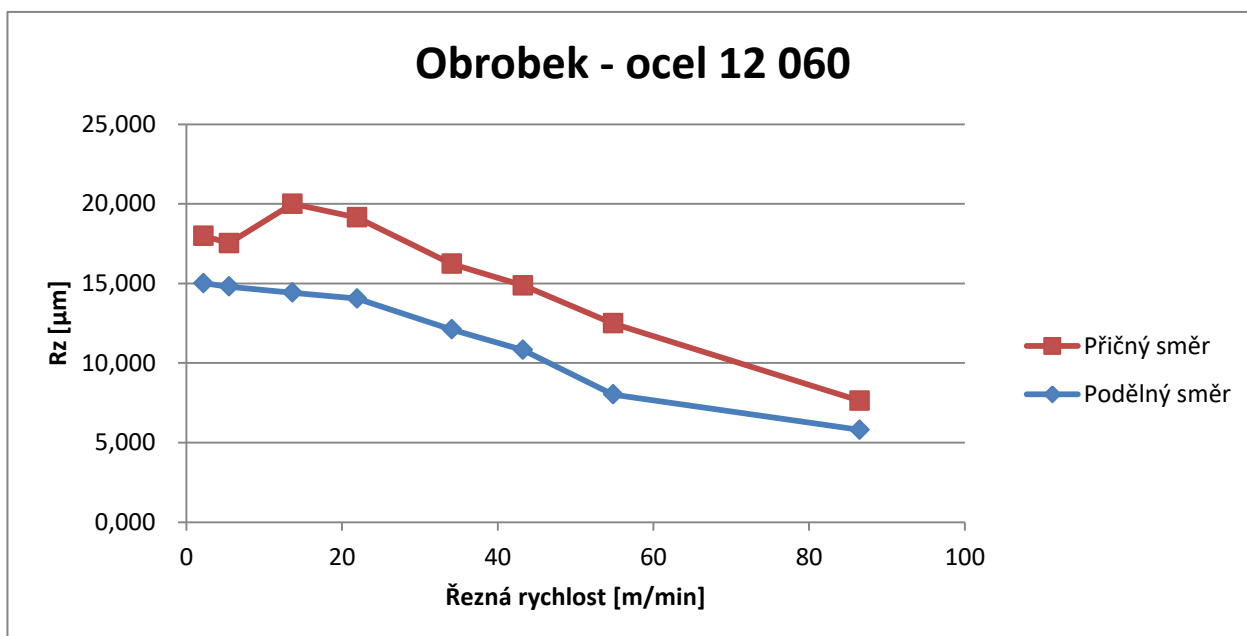
Ocel 12 060 - obrobek		
Řezná rychlost	podélný směr	příčný směr
v_c	R_z	R_z
m/min	μm	μm
86,5	5,799 ± 1,225	7,626 ± 0,865
54,82	8,022 ± 0,849	12,492 ± 2,214
43,25	10,821 ± 1,252	14,873 ± 2,997
34,11	12,108 ± 2,609	14,873 ± 2,997
21,93	14,047 ± 2,267	19,150 ± 0,975
13,65	14,419 ± 4,382	19,996 ± 0,968
5,48	14,803 ± 1,847	17,525 ± 1,503
2,19	15,010 ± 1,094	17,989 ± 1,368

Nejvyšší hodnota parametru R_z v podélném směru byla 15,010 μm při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_z v podélném směru byla 5,799 μm při $v_c = 86,5 \text{ m/min}$.

Nejvyšší hodnota parametru R_z v příčném směru byla 19,996 μm při $v_c = 13,65 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_z v příčném směru byla 7,626 μm při $v_c = 86,5 \text{ m/min}$.



Graf 4 Porovnání hodnot R_z v podélném a příčném směru

Z grafu je patrné, že hodnoty parametru drsnosti povrchu R_z pro obrobek konstrukční oceli 12 060, jsou vyšší pro příčný směr. V obou případech se zvětšující se řeznou rychlostí snižuje hodnota R_z , s výjimkou skoku z druhé nejnižší řezné rychlosti v příčném směru.

Tab. 10 Hodnoty parametru R_z pro obrobek oceli 14 220

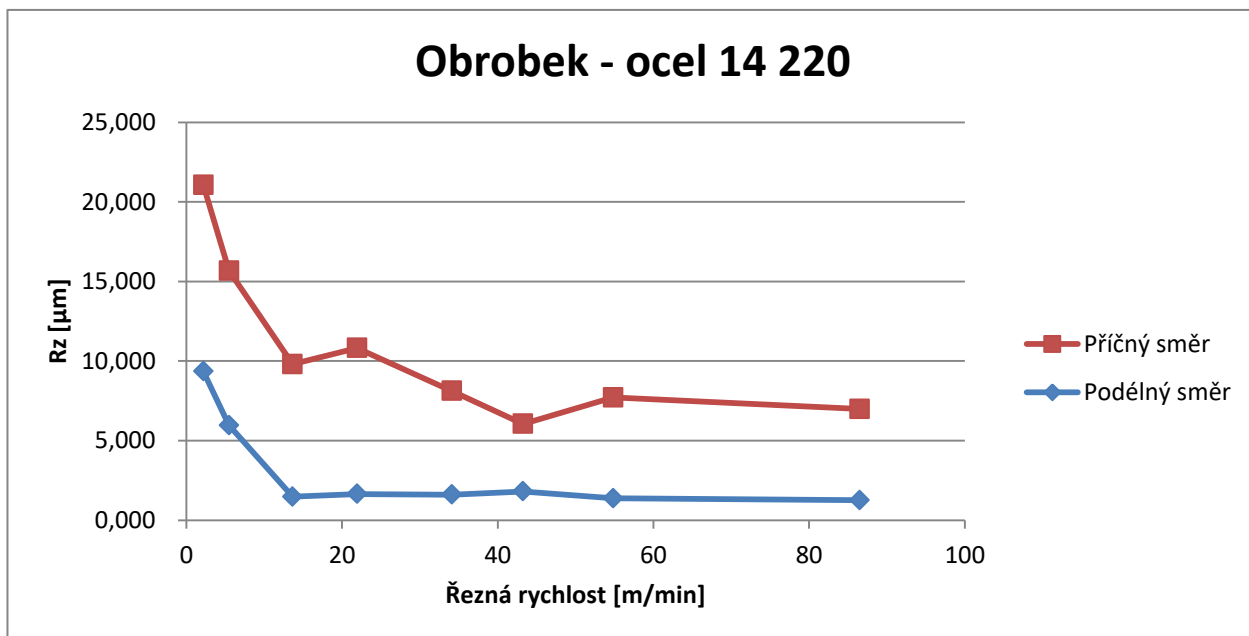
Ocel 14 220 - obrobek		
Řezná rychlost	podélný směr	příčný směr
vc	R_z	R_z
m/min	μm	μm
86,5	$1,254 \pm 0,153$	$6,986 \pm 0,992$
54,82	$1,379 \pm 0,287$	$7,710 \pm 2,219$
43,25	$1,806 \pm 0,817$	$6,050 \pm 2,060$
34,11	$1,610 \pm 0,883$	$8,123 \pm 3,315$
21,93	$1,644 \pm 0,493$	$10,824 \pm 4,156$
13,65	$1,479 \pm 0,475$	$9,804 \pm 3,545$
5,48	$5,965 \pm 2,497$	$15,679 \pm 3,613$
2,19	$9,351 \pm 1,514$	$21,056 \pm 5,464$

Nejvyšší hodnota parametru R_z v podélném směru byla $9,351 \mu\text{m}$ při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_z v podélném směru byla $1,254 \mu\text{m}$ při $v_c = 86,5 \text{ m/min}$.

Nejvyšší hodnota parametru R_z v příčném směru byla $21,056 \mu\text{m}$ při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_z v příčném směru byla $6,050 \mu\text{m}$ při $v_c = 43,25 \text{ m/min}$.



Graf 5 Porovnání hodnot R_z v podélném a příčném směru

Z grafu je patrné, že hodnoty parametru drsnosti povrchu R_z pro obrobek konstrukční oceli 14 220, jsou vyšší pro příčný směr. V obou případech se do $v_c 13,65 \text{ m/min}$ se zvětšující se v_c snižuje hodnota R_z . Poté se hodnota R_z především pro podélný směr stává stálejší.

Tab. 11 Hodnoty parametru R_z pro obrobek oceli 15 260

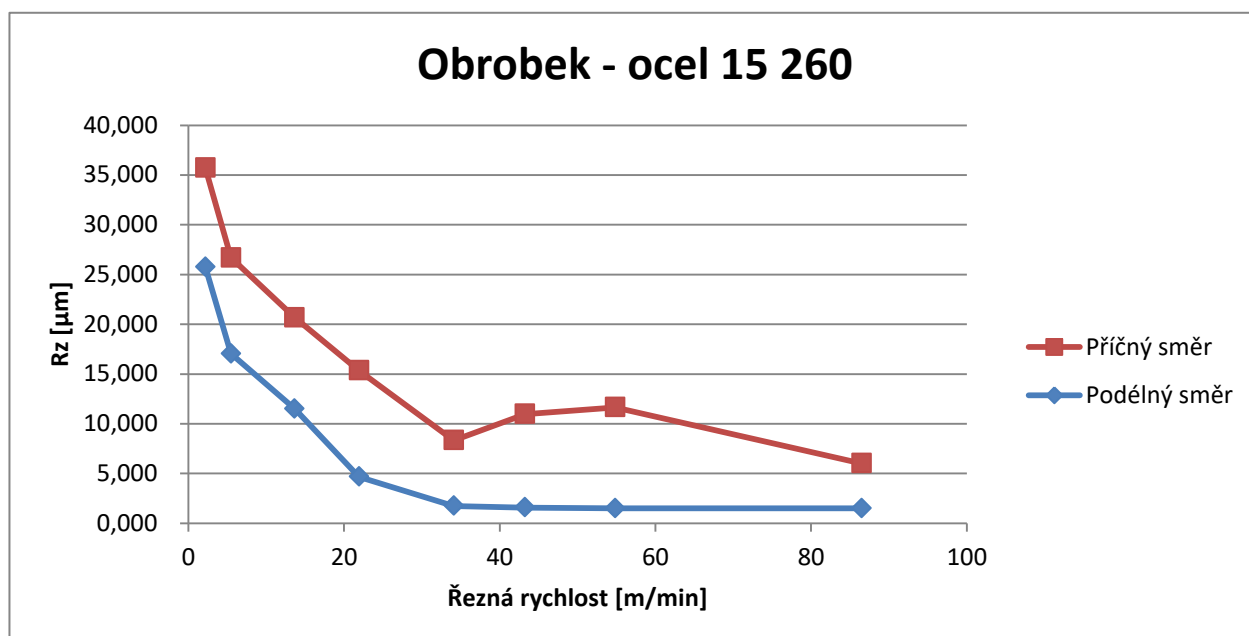
Ocel 15 260 - obrobek		
Řezná rychlost	podélný směr	příčný směr
v_c	R_z	R_z
m/min	μm	μm
86,5	1,491 ± 0,245	6,020 ± 0,694
54,82	1,493 ± 0,359	11,649 ± 2,045
43,25	1,569 ± 0,516	10,966 ± 2,581
34,11	1,737 ± 0,509	8,335 ± 1,105
21,93	4,659 ± 1,956	15,355 ± 2,654
13,65	11,502 ± 8,541	20,670 ± 5,396
5,48	17,036 ± 6,060	26,697 ± 9,019
2,19	25,760 ± 22,110	35,720 ± 6,935

Nejvyšší hodnota parametru R_z v podélném směru byla 25,760 μm při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_z v podélném směru byla 1,491 μm při $v_c = 86,5 \text{ m/min}$.

Nejvyšší hodnota parametru R_z v příčném směru byla 35,720 μm při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_z v příčném směru byla 6,020 μm při $v_c = 86,5 \text{ m/min}$.



Graf 6 Porovnání hodnot R_z v podélném a příčném směru

Z grafu je patrné, že hodnoty parametru drsnosti povrchu R_z pro obrobek konstrukční oceli 15 260, jsou vyšší pro příčný směr. V obou případech se do $v_c 34,11 \text{ m/min}$ se zvětšující se v_c snižuje hodnota R_z . Poté se hodnota R_z především pro podélný směr stává stálejší.

4.2 Tříška

Třísky byly po obrobení rozděleny do sáčku dle jednotlivých řezných rychlostí. Před finálním měřením se každá tříška řádně očistila technickým benzínem a vatou. Manipulace probíhala pouze pomocí pinzety, aby nedošlo ke styku s dalšími nečistotami.

4.2.1 Parametr R_a

Tab. 12 Hodnoty parametru R_a pro třísky oceli 12 060

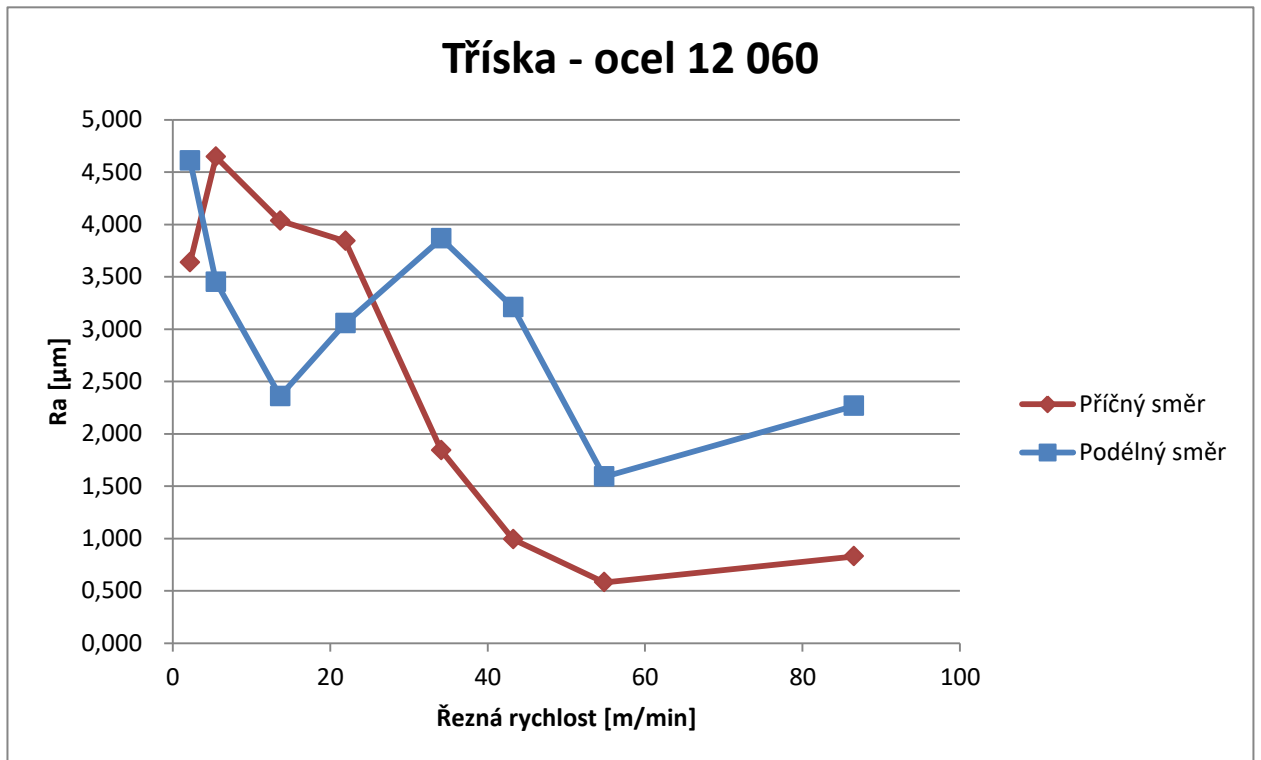
Ocel 12 060 - tříška		
Řezná rychlost	podélný směr	příčný směr
vc	R_a	R_a
m/min	μm	μm
86,5	$2,266 \pm 0,792$	$0,829 \pm 0,312$
54,82	$1,590 \pm 0,356$	$0,581 \pm 0,092$
43,25	$3,208 \pm 0,739$	$0,992 \pm 0,471$
34,11	$3,866 \pm 1,898$	$1,840 \pm 0,677$
21,93	$3,057 \pm 1,825$	$3,841 \pm 1,811$
13,65	$2,359 \pm 1,310$	$4,035 \pm 1,943$
5,48	$3,452 \pm 2,224$	$4,646 \pm 0,790$
2,19	$4,609 \pm 1,044$	$3,635 \pm 0,477$

Nejvyšší hodnota parametru R_a v podélném směru byla $4,609 \mu\text{m}$ při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_a v podélném směru byla $1,590 \mu\text{m}$ při $v_c = 54,82 \text{ m/min}$.

Nejvyšší hodnota parametru R_a v příčném směru byla $4,646 \mu\text{m}$ při $v_c = 5,48 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_a v příčném směru byla $0,581 \mu\text{m}$ při $v_c = 54,82 \text{ m/min}$.



Graf 7 Porovnání hodnot R_a v podélném a příčném směru

Z grafu je patrné, že vyšší hodnoty parametru drsnosti povrchu R_a pro tříšku konstrukční oceli 12 060, převládají v podélném směru. V příčném směru, vyjma nejnižší a nejvyšší řezné rychlosti, se s rostoucí řeznou rychlostí snižuje hodnota R_a .

Tab. 13 Hodnoty parametru R_a pro třísky oceli 14 220

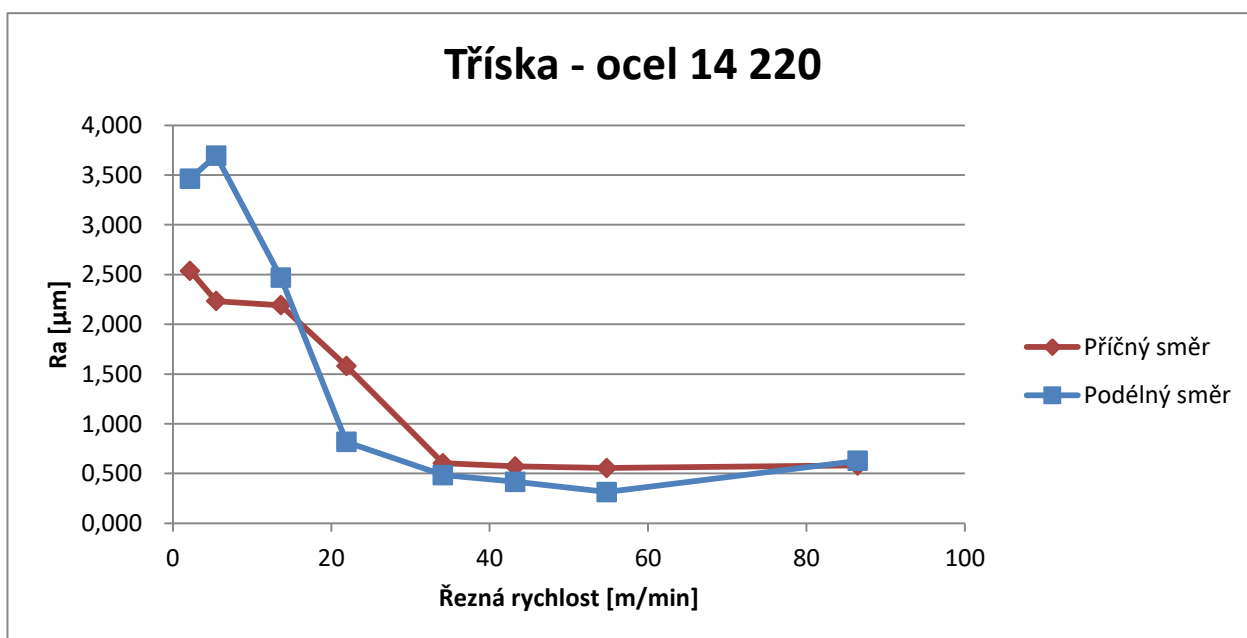
Ocel 14 220 - tříška		
Řezná rychlost	podélný směr	příčný směr
v_c	R_a	R_a
m/min	μm	μm
86,5	$0,627 \pm 0,251$	$0,581 \pm 0,196$
54,82	$0,314 \pm 0,053$	$0,556 \pm 0,327$
43,25	$0,417 \pm 0,262$	$0,572 \pm 0,163$
34,11	$0,484 \pm 0,418$	$0,602 \pm 0,195$
21,93	$0,818 \pm 0,599$	$1,581 \pm 1,382$
13,65	$2,470 \pm 2,068$	$2,191 \pm 0,816$
5,48	$3,695 \pm 2,116$	$2,232 \pm 1,178$
2,19	$3,464 \pm 0,860$	$2,536 \pm 0,912$

Nejvyšší hodnota parametru R_a v podélném směru byla $3,695 \mu\text{m}$ při $v_c = 5,48 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_a v podélném směru byla $0,314 \mu\text{m}$ při $v_c = 54,82 \text{ m/min}$.

Nejvyšší hodnota parametru R_a v příčném směru byla $2,536 \mu\text{m}$ při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_a v příčném směru byla $0,556 \mu\text{m}$ při $v_c = 54,82 \text{ m/min}$.



Graf 8 Porovnání hodnot R_a v podélném a příčném směru

Z grafu je patrné, že vyšší hodnoty parametru drsnosti povrchu R_a pro tříšku konstrukční oceli 14 220, převládají v podélném směru. V příčném směru, vyjma nejvyšší řezné rychlosti, se s rostoucí řeznou rychlostí snižuje hodnota R_a .

Tab. 14 Hodnoty parametru R_a pro třísky oceli 15 260

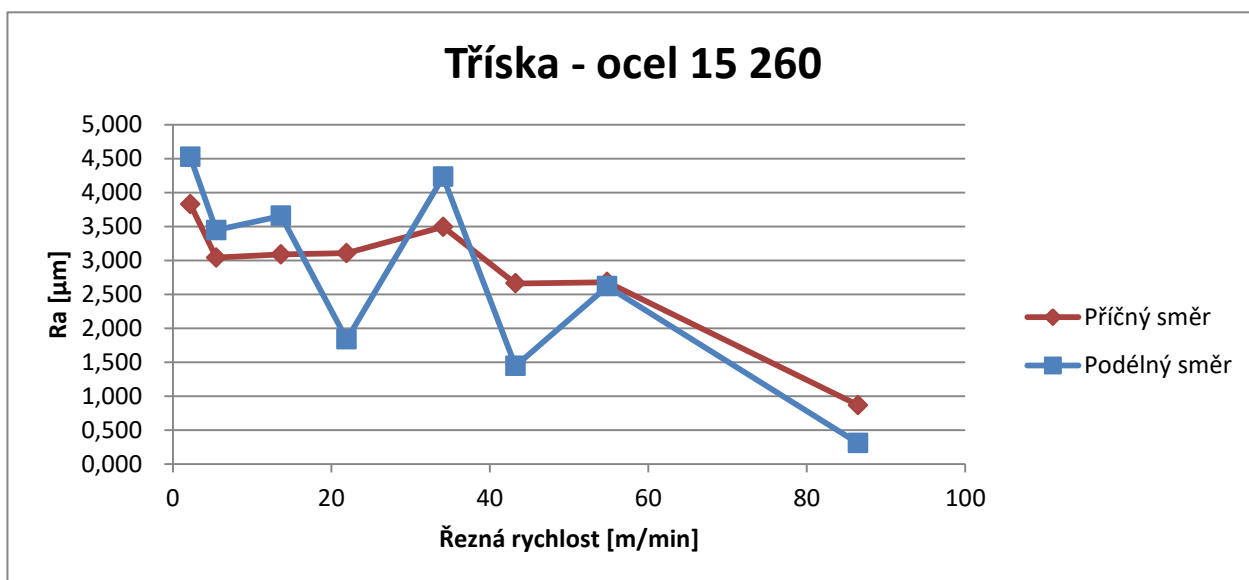
Ocel 15 260 - tříška		
Řezná rychlost	podélný směr	příčný směr
v_c	R_a	R_a
m/min	μm	μm
86,5	$0,306 \pm 0,143$	$0,866 \pm 0,455$
54,82	$2,617 \pm 0,527$	$2,679 \pm 1,093$
43,25	$1,443 \pm 0,469$	$2,660 \pm 1,157$
34,11	$4,230 \pm 2,934$	$3,493 \pm 0,905$
21,93	$1,834 \pm 1,277$	$3,107 \pm 0,804$
13,65	$3,656 \pm 1,559$	$3,088 \pm 1,132$
5,48	$3,446 \pm 2,360$	$3,039 \pm 1,463$
2,19	$4,525 \pm 1,244$	$3,828 \pm 0,839$

Nejvyšší hodnota parametru R_a v podélném směru byla $4,525 \mu\text{m}$ při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_a v podélném směru byla $0,306 \mu\text{m}$ při $v_c = 86,5 \text{ m/min}$.

Nejvyšší hodnota parametru R_a v příčném směru byla $3,828 \mu\text{m}$ při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_a v příčném směru byla $0,866 \mu\text{m}$ při $v_c = 86,5 \text{ m/min}$.



Graf 9 Porovnání hodnot R_a v podélném a příčném směru

Z grafu lze určit, že v průměru jsou vyšší hodnoty parametru drsnosti povrchu R_a , pro třísku konstrukční oceli 15 260, v podélném směru. Výchytky, které lze vidět mohou být způsobeny např. nárůstkem.

4.2.2 Parametr R_z

Tab. 15 Hodnoty parametru R_z pro třísky oceli 12 060

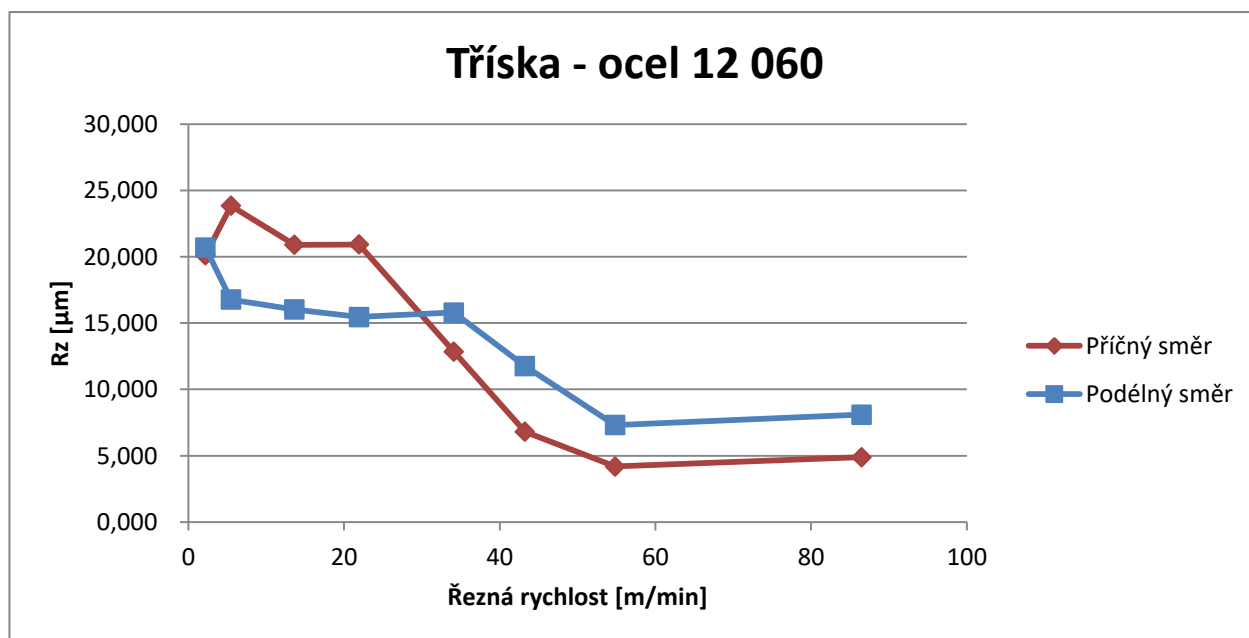
Ocel 12 060 - tříška		
Řezná rychlost	podélný směr	příčný směr
v_c	R_z	R_z
m/min	μm	μm
86,5	8,090 ± 2,532	4,890 ± 2,964
54,82	7,315 ± 1,307	4,184 ± 1,720
43,25	11,757 ± 2,578	6,810 ± 3,084
34,11	15,789 ± 6,350	12,846 ± 4,166
21,93	15,452 ± 6,694	20,926 ± 9,356
13,65	16,020 ± 13,233	20,895 ± 12,810
5,48	16,774 ± 7,477	23,839 ± 4,439
2,19	20,693 ± 5,998	20,101 ± 5,677

Nejvyšší hodnota parametru R_z v podélném směru byla 20,693 μm při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_z v podélném směru byla 7,315 μm při $v_c = 54,82 \text{ m/min}$.

Nejvyšší hodnota parametru R_z v příčném směru byla 23,839 μm při $v_c = 5,48 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_z v příčném směru byla 4,184 μm při $v_c = 54,82 \text{ m/min}$.



Graf 10 Porovnání hodnot R_z v podélném a příčném směru

Z grafu je patrné, že vyšší hodnoty parametru drsnosti povrchu R_z pro tříšku konstrukční oceli 12 060, převládají v podélném směru.

Tab. 16 Hodnoty parametru R_z pro třísky oceli 14 220

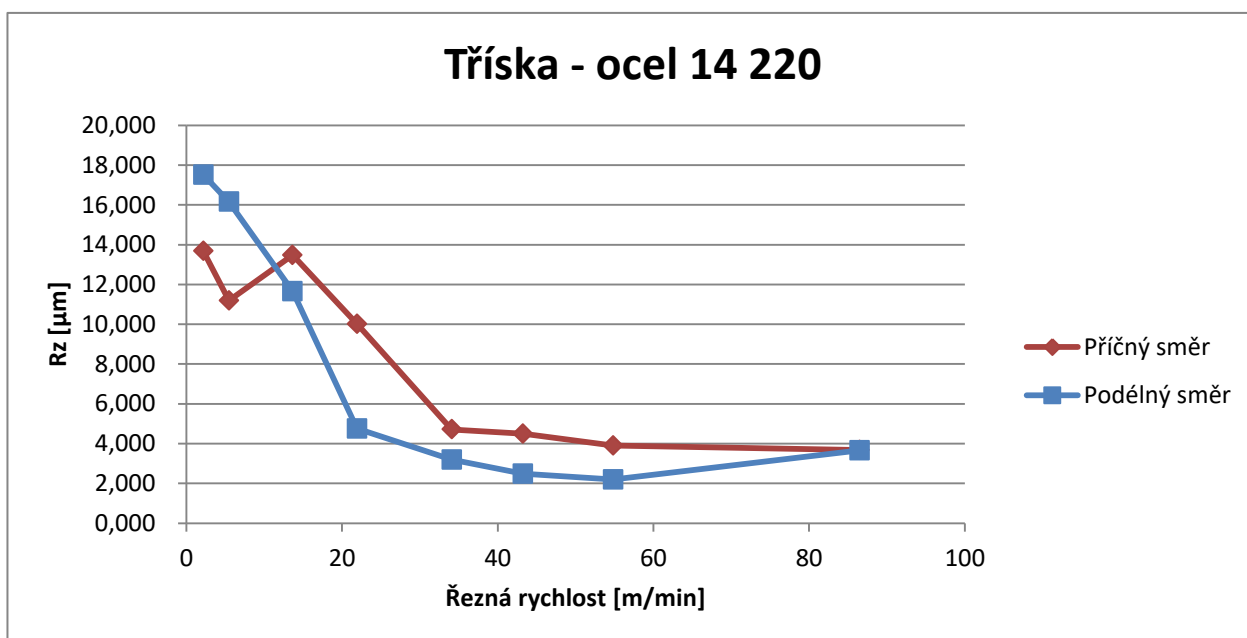
Ocel 14 220 - tříška		
Řezná rychlost	podélný směr	příčný směr
vc	R_z	R_z
m/min	μm	μm
86,5	$3,656 \pm 2,056$	$3,673 \pm 1,160$
54,82	$2,192 \pm 0,742$	$3,901 \pm 2,265$
43,25	$2,485 \pm 1,663$	$4,494 \pm 1,906$
34,11	$3,192 \pm 2,084$	$4,712 \pm 1,226$
21,93	$4,756 \pm 2,837$	$10,012 \pm 6,812$
13,65	$11,656 \pm 10,402$	$13,475 \pm 7,222$
5,48	$16,156 \pm 10,475$	$11,186 \pm 3,005$
2,19	$17,513 \pm 6,873$	$13,672 \pm 5,384$

Nejvyšší hodnota parametru R_z v podélném směru byla $17,513 \mu\text{m}$ při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_z v podélném směru byla $2,192 \mu\text{m}$ při $v_c = 54,82 \text{ m/min}$.

Nejvyšší hodnota parametru R_z v příčném směru byla $13,672 \mu\text{m}$ při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_z v příčném směru byla $3,673 \mu\text{m}$ při $v_c = 86,5 \text{ m/min}$



Graf 11 Porovnání hodnot R_z v podélném a příčném směru

Z grafu je patrné, že vyšší hodnoty parametru drsnosti povrchu R_z pro třísku konstrukční oceli 14 220, převládají v příčném směru. V podélném směru, vyjma nejvyšší řezné rychlosti, se s rostoucí řeznou rychlostí snižuje hodnota R_z .

Tab. 17 Hodnoty parametru R_z pro třísky oceli 15 260

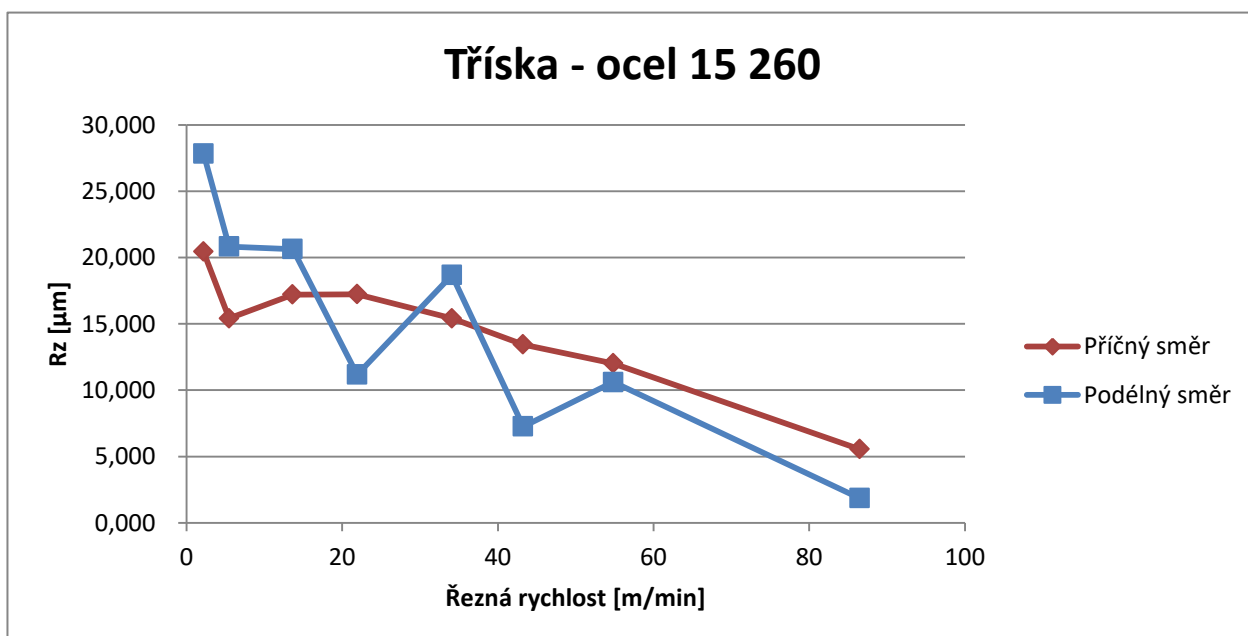
Ocel 15 260 - tříška		
Řezná rychlost	podélný směr	příčný směr
v_c	R_z	R_z
m/min	μm	μm
86,5	1,852 ± 0,901	5,554 ± 2,607
54,82	10,601 ± 2,808	12,021 ± 3,224
43,25	7,269 ± 1,712	13,439 ± 6,356
34,11	18,681 ± 13,834	15,410 ± 4,850
21,93	11,169 ± 8,728	17,226 ± 5,841
13,65	20,634 ± 10,073	17,204 ± 5,622
5,48	20,831 ± 20,476	15,403 ± 7,654
2,19	27,843 ± 12,617	20,435 ± 4,343

Nejvyšší hodnota parametru R_z v podélném směru byla 27,843 μm při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_z v podélném směru byla 1,852 μm při $v_c = 86,5 \text{ m/min}$.

Nejvyšší hodnota parametru R_z v příčném směru byla 20,435 μm při $v_c = 2,19 \text{ m/min}$.

Nejnižší hodnota parametru R_z v příčném směru byla 5,554 μm při $v_c = 86,5 \text{ m/min}$



Graf 12 Porovnání hodnot R_z v podélném a příčném směru

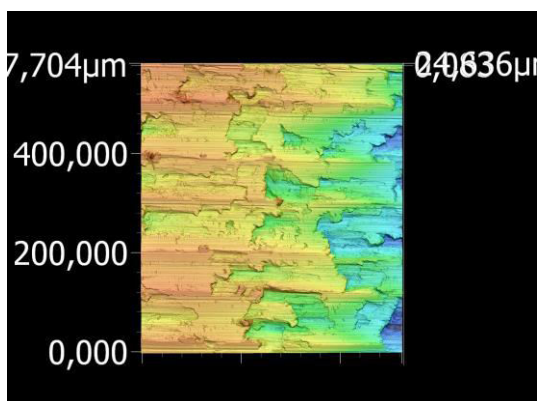
Z grafu lze určit, že v průměru jsou vyšší hodnoty parametru drsnosti povrchu R_z , pro třísku konstrukční oceli 15 260, v podélném směru. V příčném směru, vyjma $v_c = 5,48 \text{ m/min}$, se s rostoucí řeznou rychlostí snižuje hodnota R_z .

4.3 Ukázka povrchu a profilu vzorků

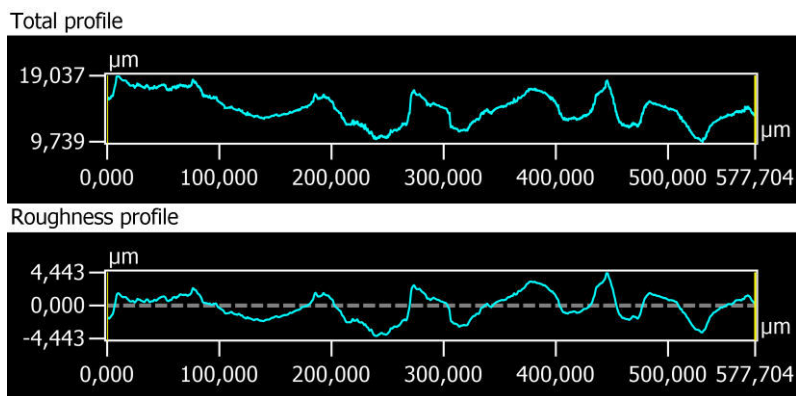
Při měření na přístroj KEYENCE VK-X1100 se pracovalo s programem VK ANALYZER, kde se nastavovaly požadované hodnoty k měření. Mimo jiné díky tomuto programu lze zobrazit povrch měřeného vzorku společně s profilem drsnosti. Nyní budou následovat ukázky měřených povrchů a profilů jednotlivých ocelí, u kterých byla naměřena nejmenší drsnost.

4.3.1 Obrobek

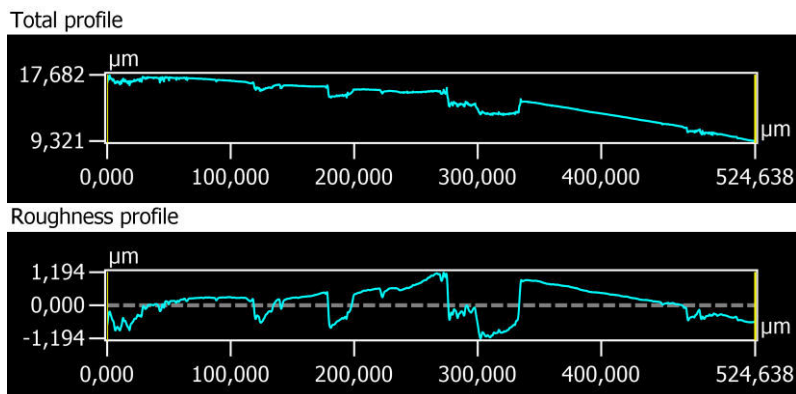
Ukázka povrchu a profilu pro obrobek **oceli 12 060**:



Obr. 28a Povrch obrobku v_c 86,5 m/min

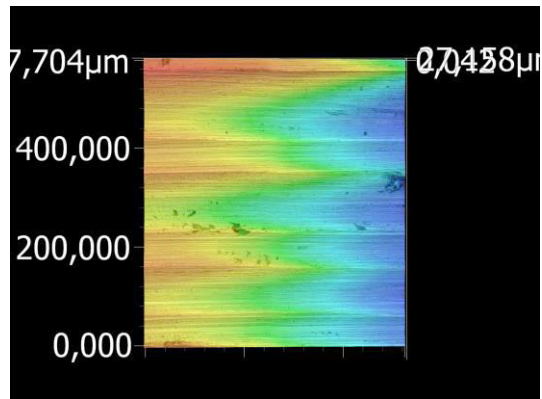


Obr. 28b Profil R_q obrobku v_c 86,5 m/min



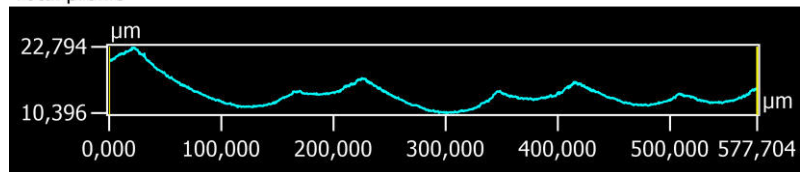
Obr. 28c Profil R_z obrobku v_c 86,5 m/min

Ukázka povrchu a profilu pro obrobek **oceli 14 220**:

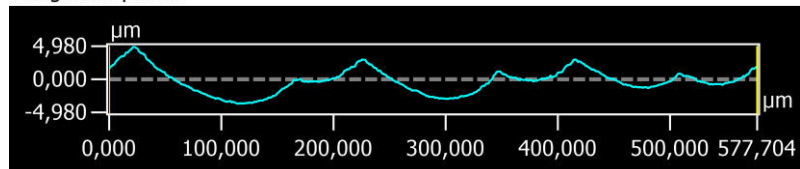


Obr. 29a Povrch obrobku v_c 13,65 m/min

Total profile

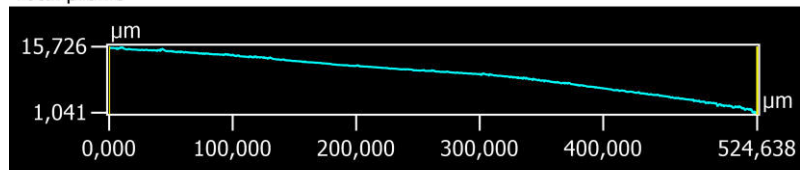


Roughness profile

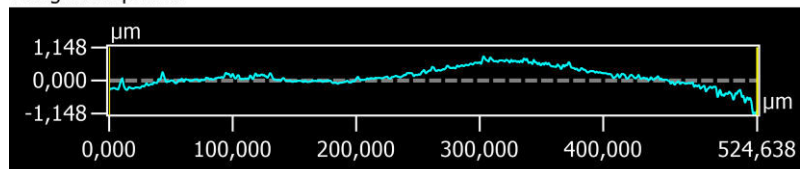


Obr. 29b Profil R_a obrobku v_c 13,65 m/min

Total profile

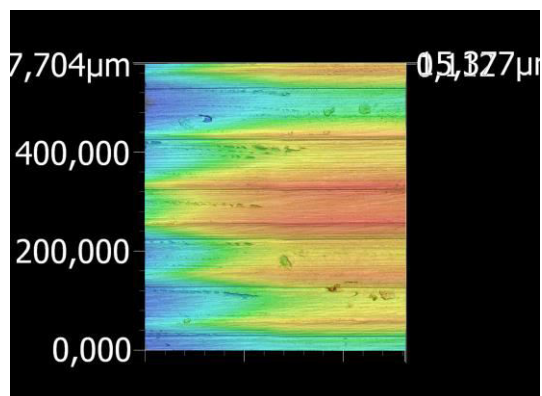


Roughness profile

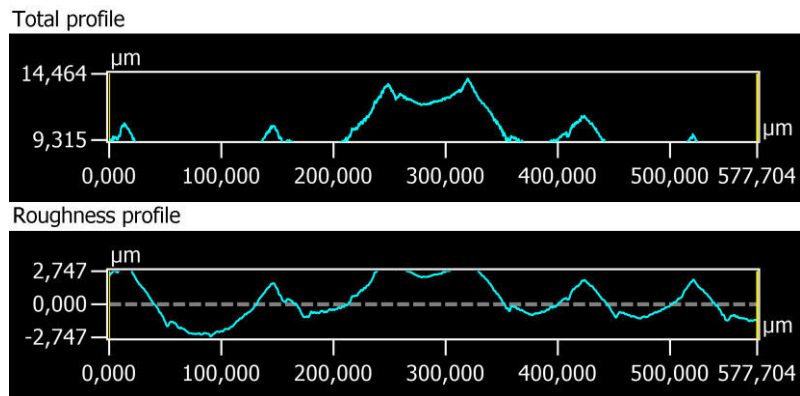


Obr. 29c Profil R_z obrobku v_c 13,65 m/min

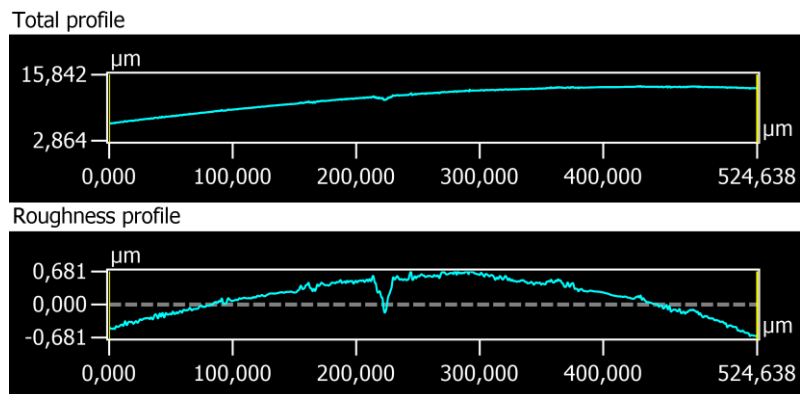
Ukázka povrchu a profilu pro obrobek **oceli 15 260**:



Obr. 30a Povrch obrobku v_c 86,5 m/min



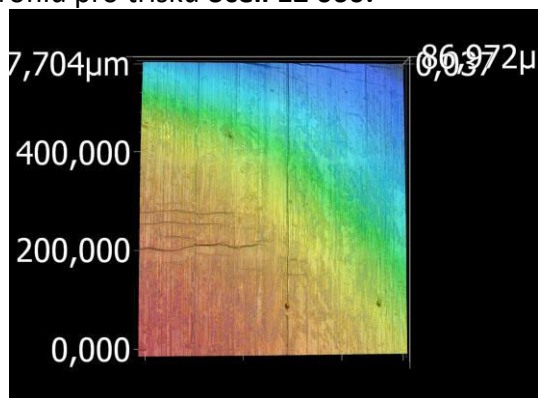
Obr. 30b Profil R_a obrobku v_c 86,5 m/min



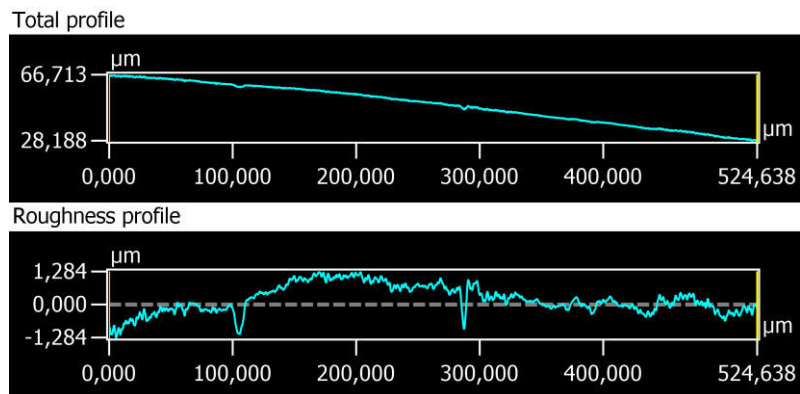
Obr. 30c Profil R_z obrobku v_c 86,5 m/min

4.3.2 Tříska

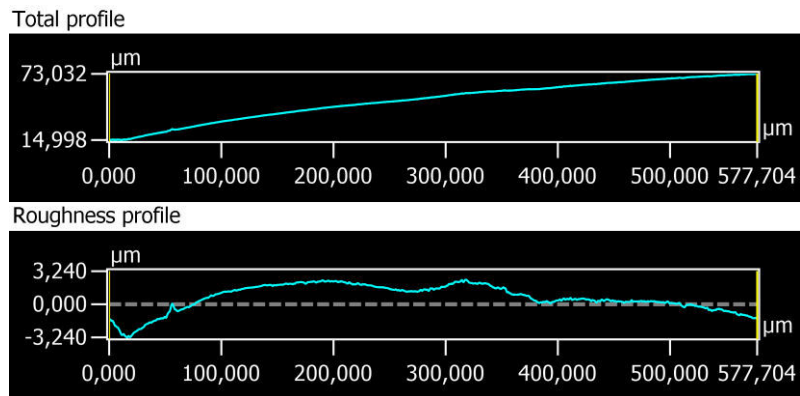
Ukázka povrchu a profilu pro třísku oceli 12 060:



Obr. 31a Povrch třísky v_c 54,82 m/min

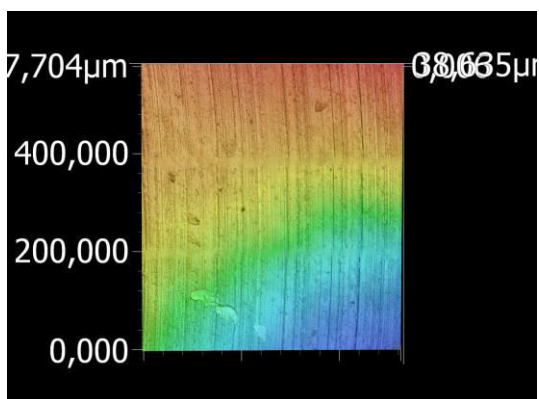


Obr. 31b Profil R_a třísky v_c 54,82 m/min

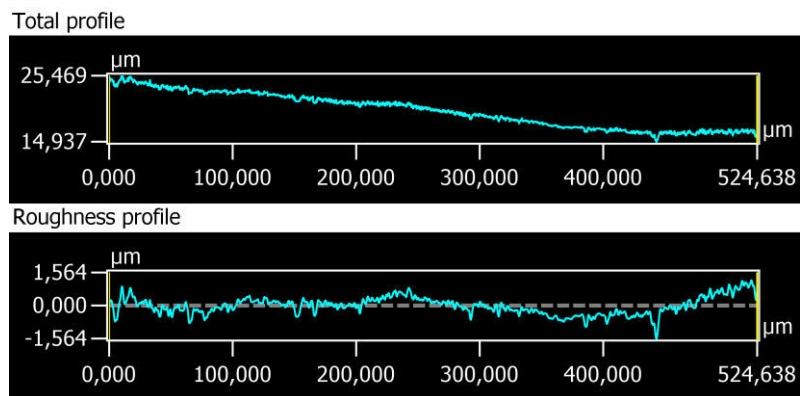


Obr. 31c Profil R_z třísky v_c 54,82 m/min

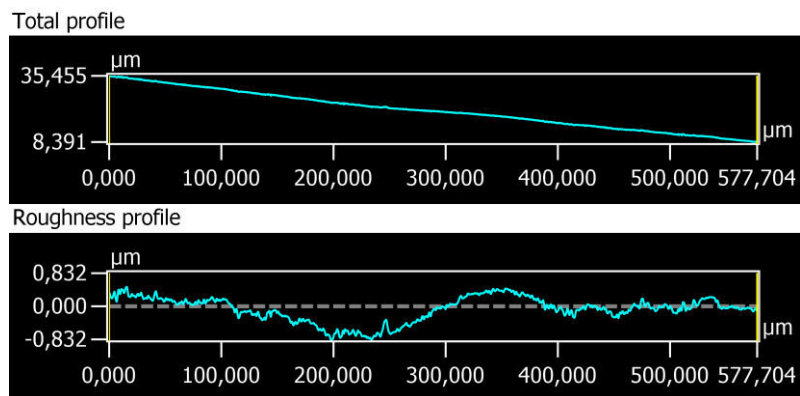
Ukázka povrchu a profilu pro třísku oceli 14 220:



Obr. 32a Povrch třísky v_c 54,82 m/min

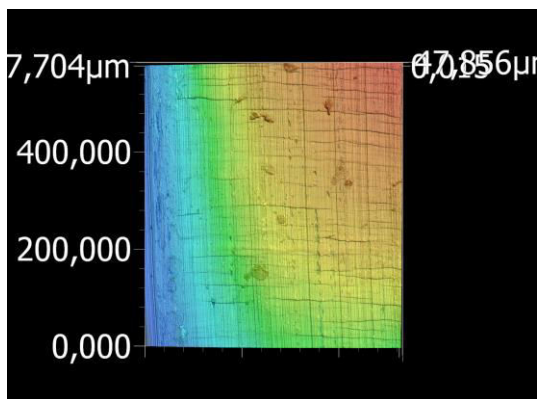


Obr. 32b Profil R_a třísky v_c 54,82 m/min

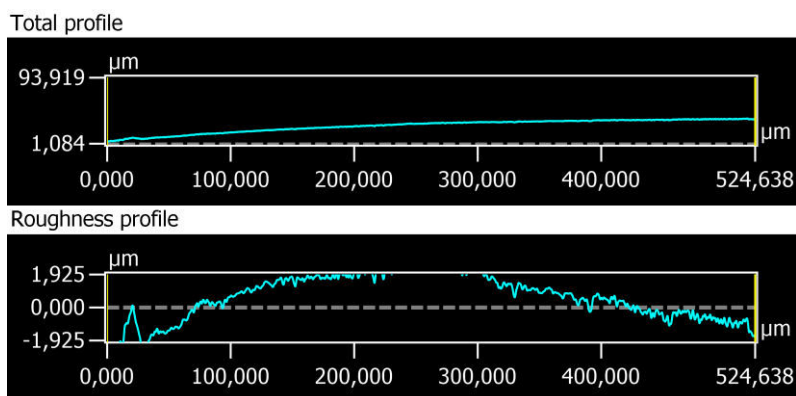


Obr. 32c Profil R_z třísky v_c 54,82 m/min

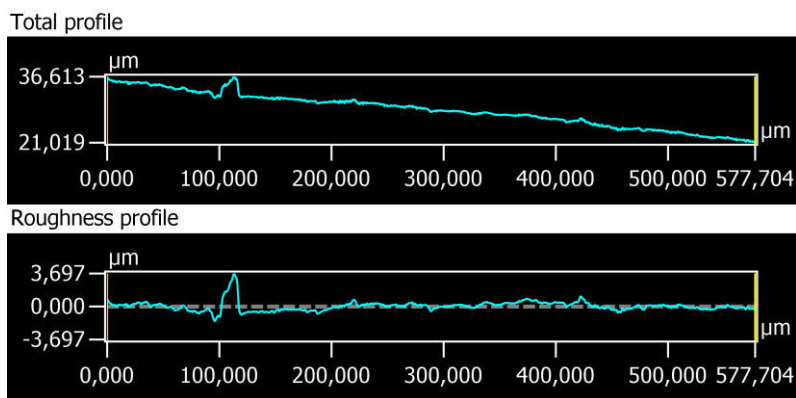
Ukázka povrchu a profilu pro třísku oceli 15 260:



Obr. 33a Povrch třísky v_c 86,5 m/min



Obr. 33b Profil R_a třísky v_c 86,5 m/min



Obr. 33c Profil R_z třísky v_c 86,5 m/min

Na snímkách lze vidět výsledný povrch vzorků po obrobení společně s profilem drsnosti. Byly vybrány pouze snímky konkrétních řezných rychlostí (těch ideálních), u kterých byla zjištěna nejnižší hodnota parametru drsnosti povrchu R_a a R_z . Zároveň z křivek profilu drsnosti je možné vidět, jaká byla výsledná mikrogeometrie nástroje.

5 Diskuze

Závěrečná část bakalářské práce hodnotí vliv řezných podmínek na třech konstrukčních ocelích - 12 060, 14 220 a 15 260. Hlavním cílem bylo stanovit ideální řezné podmínky pro konkrétní konstrukční ocele na základě parametru drsnosti R_a a R_z v podélném a příčném směru.

Základem k dosažení tohoto cíle bylo nejdříve nutné určit kompletní metodiku pro vliv řezných podmínek při soustružení konstrukčních ocelí bez procesní kapaliny. Dále se stanovila metodika měření k určení drsnosti výsledného povrchu pomocí snímků a naměřených hodnot parametrů R_a a R_z .

V teoretické části kapitoly 2, byla rozebrána kompletní problematika na toto téma. Kapitola obsahuje popis procesů a všech základních aspektů, které přímo ovlivňují výslednou integritu a drsnost povrchu.

Kapitola 3 a 4 obsahuje přesný popis postupu pro zhotovení a měření vzorků, popis použitých strojů, nástrojů a přístrojů, které byly použity během prováděného experimentu. Zároveň se zde nachází přehled všech naměřených veličin a snímků.

Jako zkoumané vzorky byly zvoleny následující materiály:

- konstrukční ocel 12 060,
- konstrukční ocel 14 220,
- konstrukční ocel 15 260.

Po soustružení byl materiál a třísky rozděleny dle použitých řezných rychlostí. Soustružení probíhalo bez použití procesní kapaliny s povlakovanou VBD značky Pramet.

Měřené parametry byly:

- střední aritmetická úchylka profilu R_a ,
- výška nerovností profilu z deseti bodů R_z .

Parametry se měřily jak na tříse, tak na obrobku v podélném i příčném směru.

5.1 Ocel 12 060

Obrobek

Nejmenší hodnota parametru R_a v podélném směru byla **0,945 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 710 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 86,5 \text{ m/min}$)

Nejmenší hodnota parametru R_z v podélném směru byla **5,799 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 710 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 86,5 \text{ m/min}$)

Nejmenší hodnota parametru R_a v příčném směru byla **1,288 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 710 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 86,5 \text{ m/min}$)

Nejmenší hodnota parametru R_z v příčném směru byla **7,626 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 710 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 86,5 \text{ m/min}$)

Tříska

Nejmenší hodnota parametru R_a v podélném směru byla **1,590 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 450 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 54,82 \text{ m/min}$)

Nejmenší hodnota parametru R_z v podélném směru byla **7,315 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 450 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 54,82 \text{ m/min}$)

Nejmenší hodnota parametru R_a v příčném směru byla **0,581 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 450 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 54,82 \text{ m/min}$)

Nejmenší hodnota parametru R_z v příčném směru byla **4.184 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 450 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 54,82 \text{ m/min}$)

Pro konstrukční ocel 12 060 bylo zjištěno, že vyšší řezná rychlost má značný vliv na drsnost povrchu. S rostoucí řeznou rychlostí klesá parametr drsnosti povrchu jak v podélném, tak příčném směru. Nejmenší hodnoty parametrů R_a a R_z na obrobku byly naměřeny pro nejvyšší řeznou rychlost $v_c = 86,5 \text{ m/min}$. V příčném směru se objevují značně vyšší naměřené hodnoty než v podélném směru. Na třísce se pro změnu naměřily nejmenší hodnoty drsnosti při řezné rychlosti $v_c = 54,82 \text{ m/min}$.

5.2 Ocel 14 220

Obrobek

Nejmenší hodnota parametru R_a v podélném směru byla **0,261 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 112 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 13,65 \text{ m/min}$)

Nejmenší hodnota parametru R_z v podélném směru byla **1,254 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 710 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 86,5 \text{ m/min}$)

Nejmenší hodnota parametru R_a v příčném směru byla **1,186 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 355 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 43,25 \text{ m/min}$)

Nejmenší hodnota parametru R_z v příčném směru byla **6,050 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 355 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 43,25 \text{ m/min}$)

Tříska

Nejmenší hodnota parametru R_a v podélném směru byla **0,314 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 450 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 54,82 \text{ m/min}$)

Nejmenší hodnota parametru R_z v podélném směru byla **2,192 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 450 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 54,82 \text{ m/min}$)

Nejmenší hodnota parametru R_a v příčném směru byla **0,556 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 450 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 54,82 \text{ m/min}$)

Nejmenší hodnota parametru R_z v příčném směru byla **3,673 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 710 \text{ ot/min}$, $a_p = 2 \text{ mm}$, $f = 0,1 \text{ mm/ot}$ ($v_c = 86,5 \text{ m/min}$)

Pro konstrukční ocel 14 220 bylo zjištěno, že vyšší řezná rychlost již nemá tak významný vliv na drsnost povrchu. Na obrobku i na třísce okolo řezné rychlosti $v_c = 13,65 \text{ m/min}$ jsou hodnoty parametrů R_a a R_z ustálenější a s rostoucí řeznou rychlostí se již drsnost tolik nesnižuje. V příčném směru se objevují značně vyšší naměřené hodnoty než v podélném směru.

5.3 Ocel 15 260

Obrobek

Nejmenší hodnota parametru R_a v podélném směru byla **0,289 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 710 \text{ ot/min}, a_p = 2 \text{ mm}, f = 0,1 \text{ mm/ot} (v_c = 86,5 \text{ m/min})$

Nejmenší hodnota parametru R_z v podélném směru byla **1,491 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 710 \text{ ot/min}, a_p = 2 \text{ mm}, f = 0,1 \text{ mm/ot} (v_c = 86,5 \text{ m/min})$

Nejmenší hodnota parametru R_a v příčném směru byla **1,179 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 710 \text{ ot/min}, a_p = 2 \text{ mm}, f = 0,1 \text{ mm/ot} (v_c = 86,5 \text{ m/min})$

Nejmenší hodnota parametru R_z v příčném směru byla **6,020 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 710 \text{ ot/min}, a_p = 2 \text{ mm}, f = 0,1 \text{ mm/ot} (v_c = 86,5 \text{ m/min})$

Tříska

Nejmenší hodnota parametru R_a v podélném směru byla **0,306 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 710 \text{ ot/min}, a_p = 2 \text{ mm}, f = 0,1 \text{ mm/ot} (v_c = 86,5 \text{ m/min})$

Nejmenší hodnota parametru R_z v podélném směru byla **1,852 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 710 \text{ ot/min}, a_p = 2 \text{ mm}, f = 0,1 \text{ mm/ot} (v_c = 86,5 \text{ m/min})$

Nejmenší hodnota parametru R_a v příčném směru byla **0,866 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 710 \text{ ot/min}, a_p = 2 \text{ mm}, f = 0,1 \text{ mm/ot} (v_c = 86,5 \text{ m/min})$

Nejmenší hodnota parametru R_z v příčném směru byla **5,554 μm** při řezných podmínkách $\rightarrow n = 710 \text{ ot/min}, a_p = 2 \text{ mm}, f = 0,1 \text{ mm/ot} (v_c = 86,5 \text{ m/min})$

Pro konstrukční ocel 15 260 bylo také zjištěno, že vyšší řezná rychlost již nemá tak významný vliv na drsnost povrchu. Především na obrobku okolo řezné rychlosti $v_c = 34,11 \text{ m/min}$ jsou hodnoty parametrů R_a a R_z ustálenější a s rostoucí řeznou rychlostí se již drsnost tolik nesnižuje. V příčném směru se objevují značně vyšší naměřené hodnoty než v podélném směru.

6 Závěr

Tato bakalářská práce pojednává o vlivu řezných podmínek na kvalitu povrchu při soustružení konstrukčních ocelí, bez použití procesní kapaliny. Úkolem bylo zjistit ideální řezné podmínky pro jednotlivé konstrukční ocele a doporučit ty podmínky, při kterých vzniká nejmenší drsnost povrchu na základě parametrů R_a a R_z . Práce byla rozdělena na tři hlavní části.

V první - teoretické části jsou rozebrány některé základní informace, které s touto problematikou souvisí. Především zde byl brán důraz na hlavní faktory, které přímo ovlivňují výslednou integritu a drsnost povrchu.

Druhá část se zabývá metodikou experimentu, která nastiňuje popis postupu pro zhotovení a měření vzorků, popis použitých strojů, nástrojů a přístrojů, které byly použity během prováděného experimentu.

Třetí část je věnována samotnému experimentu, výsledkům a přehledům všech naměřených veličin a snímků. Závěrem této části je diskuze a závěr, kde jsou prezentovány poznatky a výsledky dosažené v práci.

Jako hodnotící faktor pro určení ideálních řezných podmínek byly brány hodnoty naměřené pouze na obrobku. Hodnoty parametrů R_a a R_z na tříse, jsou uvedeny pouze informativně, například pro potvrzení tvorby nárůstku, který odchází s danou třískou a zároveň zůstává i na povrchu obrobku a tím pak zhoršuje jeho drsnost.

Z rozsáhlého souboru naměřených hodnot a výsledků lze shrnout následující poznatky:

Ocel 12 060 – u této oceli se zcela jasně potvrzuje trend, že s rostoucí řeznou rychlostí, v podélném i příčném směru, klesají oba dva parametry drsnosti povrchu R_a a R_z . Nejmenší hodnota obou parametrů jak v podélném, tak příčném směru, byla naměřena při řezné rychlosti $v_c = 86,5$ m/min. **Doporučené řezné podmínky pro soustružení konstrukční oceli 12 060 jsou tedy -> $v_c = 86,5$ m/min, $a_p = 2$ mm, $f = 0,1$ mm/ot.**

Ocel 14 220 – tato ocel již ne tak úplně splňuje zmíněný trend. Po překročení určité řezné rychlosti, konkrétně $v_c = 13,65$ m/min, se hodnoty R_a a R_z ustálí. V tomto případě tedy následné zvyšování řezné rychlosti, především v podélném směru, již nemá vliv na parametry drsnosti povrchu. Hodnoty v příčném směru jsou opět vyšší a jejich vychýlení od ustálených hodnot může mít za následek například vliv nárůstku, tuhost stroje nebo přesnost obrábění.

Nejmenší hodnoty parametrů R_a a R_z , v podélném i příčném směru, byly naměřeny v rozsahu řezných rychlostí od $v_c = 13,65$ do $86,5$ m/min. **Doporučené řezné podmínky pro soustružení konstrukční oceli 14 220 jsou tedy $\rightarrow v_c = 13,65 - 86,5$ m/min, $a_p = 2$ mm, $f = 0,1$ mm/ot.**

Ocel 15 260 – tato ocel vykazuje totožné vlastnosti závislosti řezných podmínek na kvalitě povrchu, jako výše zmíněná ocel 14 220. Po překročení řezné rychlosti $v_c = 34,11$ m/min, se hodnoty R_a a R_z ustálí. Zvyšování řezné rychlosti, především v podélném směru, již nemá vliv na parametry drsnosti povrchu. Hodnoty v příčném směru jsou opět vyšší a jejich vychýlení od ustálených hodnot může mít za následek například vliv nárůstku, tuhost stroje nebo přesnost obrábění. Nejmenší hodnoty parametrů R_a a R_z , v podélném i příčném směru, byly naměřeny v rozsahu řezných rychlostí od $v_c = 34,11$ do $86,5$ m/min. **Doporučené řezné podmínky pro soustružení konstrukční oceli 15 260 jsou tedy $\rightarrow v_c = 34,11 - 86,5$ m/min, $a_p = 2$ mm, $f = 0,1$ mm/ot.**

V závislosti s probíraným tématem se zde vyskytuje problematika tvorby nárůstku a jeho vlivu na drsnost povrchu. Další zaměření v návaznosti na toto téma by mělo v navazující studii směřovat právě na výskyt a analýzu vlivu nárůstku na výslednou kvalitu povrchu.

Seznam použité literatury

- [1] *zaklady_soustruzeni.pdf* [online]. [vid. 2022-09-18]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/zaklady_soustruzeni.pdf
- [2] *Základy soustružení. - ppt stáhnout* [online]. [vid. 2022-09-17]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/12351681/>
- [3] *zav_prace_soubor_verejne.pdf* [online]. [vid. 2022-10-28]. Dostupné z: https://www.vut.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=101752
- [4] *Popis obecné geometrie bříty řezných nástrojů | TumliKOVO:Technologie strojního obrábění kovů* [online]. [vid. 2022-09-20]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/geometrie-britu-obecne/>
- [5] *pr03_Geometrie řezného klínu nástroje a jeho opotřebení.pdf* [online]. [vid. 2022-09-20]. Dostupné z: https://fraxinus.mendelu.cz/vyuka/soubory/TMZD_NMS/Povinne_predmety/Nastroje_a_procesy_obrazeni/pr03_Geometrie%20%C5%99ezn%C3%A9ho%20kl%C3%ADnu%20n%C3%A1stroje%20a%20jeho%20opot%C5%99eben%C3%AD.pdf
- [6] *Elektronická učebnice - ELUC* [online]. [vid. 2022-09-20]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1816>
- [7] *Multimediální výuka SOUSTRUŽENÍ* [online]. [vid. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://www.osu.cz/dokumenty/proportal/pdf/kpv/soustruzeni/lekce3.htm>
- [8] SANDVIK COROMANT, ed. *Příručka obrábění - Kniha pro praktiky*. Sandviken: Sandvik Coromant, 1996. ISBN 978-91-972299-4-4.
- [9] PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II. 2., opr.rozš. vyd.* Brno: CERM, 2002. ISBN 978-80-7204-248-7.
- [10] Rozdíl mezi legovanou a nelegovanou ocelí - Zprávy 2022. *Web logo graphic* [online]. [vid. 2022-09-21]. Dostupné z: <https://cs.weblogographic.com/difference-between-alloy>
- [11] Příručka pro technology - Obrobitelnost | MM Průmyslové spektrum. *www.mmspektrum.com* [online]. nedatováno [vid. 2022-09-22]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-obrobitelnost>

- [12] *Vznik třísky, tvorba třísky - PDF Stažení zdarma* [online]. [vid. 2022-09-23]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/37212235-Vznik-trisky-tvorba-trisky.html>
- [13] *Elektronická učebnice - ELUC* [online]. [vid. 2022-09-23]. Dostupné z: <https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1190>
- [14] JERSÁK, Jan. *Technologie III - OBRÁBĚNÍ*. nedatováno, 12.
- [15] GAZDA, Jaromír. *Teorie obrábění: průvodce tvorbou třísky*. Liberec: Technická univerzita v Liberci. 2004. ISBN 80-7083-789-6.
- [16] TOMÁŠ, Tišer. *Tvorba nárůstku při obrábění Al slitin* [online]. 2018 [vid. 2022-09-28]. Dostupné z: <https://dspace.cvut.cz/handle/10467/79873>
- [17] KOVVURI, Vivekananda Reddy. *Experimental Study of Built-up-edge Formation in Micro Milling*. nedatováno, 131.
- [18] SHAHABI, H. H. a M. M. RATNAM. In-cycle detection of built-up edge (BUE) from 2-D images of cutting tools using machine vision. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology* [online]. 2010, 46(9–12), 1179–1189. ISSN 02683768. Dostupné z: [doi:10.1007/s00170-009-2180-y](https://doi.org/10.1007/s00170-009-2180-y)
- [19] BUMBÁLEK, Bohumil. *Drsnost povrchu*. Praha: SNTL-NAKLADATELSTVÍ TECHNICKÉ LITERATURY, nedatováno.
- [20] GOLDMAN, Michal. *Vliv moderních procesních kapalin od světových výrobců na trvanlivost nástroje a drsnost povrchu při soustružení konstrukční oceli* [online]. B.m., 2015 [vid. 2022-09-09]. Thesis. Technická Univerzita v Liberci. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/17363>
- [21] ŠINDELÁŘ, Jan. *Integrita povrchu po soustružení austenitických a duplexních ocelí* [online]. B.m., 2019 [vid. 2022-10-01]. b.n. Dostupné z: <https://dspace.tul.cz/handle/15240/149803>
- [22] *Drsnost obrobeného povrchu | TumliKOVO:Technologie strojního obrábění kovů* [online]. [vid. 2022-10-01]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/drsnost-obrobeneho-povrchu/>
- [23] DVOŘÁČKOVÁ, Štěpánka. *Měření drsnosti povrchu*. B.m.: TUL-FS, katedra obrábění a montáže. 20. duben 2022. PDF dokument

- [24] HAVLÍK, Luboš. *Integrita povrchu při vystružování s využitím vystružovací hlavice MT3* [online]. B.m., nedatováno [vid. 2022-10-02]. Vysoké učení technické v Brně. Fakulta strojního inženýrství. Dostupné z: <http://dspace.vutbr.cz/handle/11012/6091>
- [25] Měření struktury povrchu. *ACCRETECH (Europe)* [online]. [vid. 2022-10-02]. Dostupné z: <https://www.accretech.eu/cs/mereni-struktury-povrchu/>
- [26] *Měření drsnosti - M&B Calibr, spol. s.r.o.* [online]. [vid. 2022-10-02]. Dostupné z: <https://www.mbcaltibr.cz/mereni-drsnosti.html>
- [27] PROTECT.CZ. *Ocel k zušlechťování ČSN 12060, C55 | T-PROM s.r.o.* [online]. [vid. 2022-10-23]. Dostupné z: <http://www.tprom.cz/wiki/ocel/12060>
- [28] PROTECT.CZ. *Konstrukční ocel ČSN 14220 | T-PROM s.r.o.* [online]. [vid. 2022-10-23]. Dostupné z: <http://www.tprom.cz/wiki/ocel/14220>
- [29] PROTECT.CZ. *Pružinová ocel ČSN 15260 | T-PROM s.r.o.* [online]. [vid. 2022-10-23]. Dostupné z: <http://www.tprom.cz/wiki/ocel/15260>
- [30] *Soustruh hrotový #12746 (Stroje/Soustruh)* [online]. [vid. 2022-10-23]. Dostupné z: <https://www.strojesvoboda.cz/katalog.php?page=DETAIL&katalog=Stroje/Soustruh&key=&id=12746&ids=12769&o=1>