

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: N 2301 Strojní inženýrství
Studijní zaměření: 2303T004 Strojírenská technologie - technologie
obrábění

DIPLOMOVÁ PRÁCE

Vliv laserem kalené povrchové vrstvy na velikost
řezných sil při frézování

Autor: **Bc. Miroslav Schejbal**
Vedoucí práce: **Doc. Ing. Milan Honner, Ph.D.**

Akademický rok 2011/2012

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

Tento výsledek vznikl za podpory a na přístrojovém vybavení projektu CENTEM reg. č.CZ.1.05/2.1.00/03.0088, který je spolufinancován z ERDF v rámci programu MŠMT OP VaVpI. Proto bych rád poděkoval vedoucímu diplomové práce Doc. Ing. Milanu Honnerovi, Ph.D. za odborné vedení a pomoc při zpracování této práce. Dále děkuji panu Ing. Miroslavu Zetkovi, Ph.D. a všem zaměstnancům strojní haly za odbornou pomoc během experimentální části této práce.

ANOVAČNÍ LIST DIPLOMOVÉ PRÁCE

AUTOR	Příjmení Schejbal	Jméno Miroslav	
STUDIJNÍ OBOR	N2301 Strojírenská technologie – technologie obrábění		
VEDOUČÍ PRÁCE	Příjmení (včetně titulů) Doc. Ing. Honner, Ph.D.	Jméno Milan	
PRACOVIŠTĚ	ZČU – FST – KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Vliv laserem kalené povrchové vrstvy na velikost řezných sil při frézování		

FAKULTA	Strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

CELKEM	92	TEXTOVÁ ČÁST	50	GRAFICKÁ ČÁST	0
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK) ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY	Diplomová práce se zabývá kalením laserem a jeho využitím v praxi. První část práce vysvětluje pojem laserové kalení a zabývá se teoretickými hledisky. Druhá část je empirická, kdy za podpory NTC testujeme kalení laserem v praxi. Přínosem diplomové práce je přiblížení dané problematiky všem technickým oborům a shrnutí základních faktů o laserovém kalení do uceleného celku.
KLÍČOVÁ SLOVA ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE	laser, laserové kalení, laserová stopa

SUMMARY OF DIPLOMA SHEET

AUTHOR	Surname Schejbal	Name Miroslav	
FIELD OF STUDY	N2301 Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting		
SUPERVISOR	Surname (Inclusive of Degrees) Doc. Ing. Honner, Ph.D.	Name Milan	
INSTITUTION	ZČU – FST – KKS		
TYPE OF WORK	DIPLOMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Influence of laser hardening surface layer to cutting forces during milling		

FACULTY	Industrial	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2012
----------------	------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	92	TEXT PART	50	GRAPHICAL PART	0
----------------	----	------------------	----	-----------------------	---

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	Diploma thesis is focused on steel hardening and its usage in praxis. First part of thesis explain the term of laser hardening and deal with the theoretical viewpoints. Second part is emperic, where laser hardening is tested with support of NTC company. Contribution of diploma thesis is to approach issues to all technical branches and sumarize the basic facts of laser hardening into entirety.
KEY WORDS	laser, laser hardening, laser spot

SEZNAM POJMŮ/SYMBOLŮ

- Laser – název podle počátečních písmen slov Amplification by Stimulated Emission of Radiation a význam písmena L na začátku znamená zesílení světla stimulovaným vyzařováním
- Laserové kalení – opakující se cyklus rychlého ohřevu a následného prudkého ochlazování kritickou rychlostí nutnou ke vzniku zakalené struktury.
- Laserová stopa – kalící přejezd laserovým paprskem po celé délce zkušební vzorku

PŘEHLED POUŽITÝCH ZKRATEK

HPDD laser	– vysokovýkonový diodový kontinuální laser (High Power Direct Diode laser)	
HRC, HRB, HRA	– tvrdost dle Rockwella	
HV	– tvrdost dle Vickerse	
HB	– tvrdost dle Brinella	
HS	– tvrdost dle Shorea	
F_X	– řezná síla ve směru osy X	[N]
F_Y	– řezná síla ve směru osy Y	[N]
F_Z	– řezná síla ve směru osy Z	[N]
R	– řezný odpor	[N]
V_c	– řezná rychlost	[N]
V_f	– posuvová rychlost	[m/min]
n	– otáčky	[ot/min]
a_p	– hloubka řezu	[mm]
a_e	– šířka řezu	[mm]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1	Vliv rychlosti ohřevu na kalící teploty	4
Obrázek 2	Ukázka povrchového kalení plamenem.....	5
Obrázek 3	Dosahované rychlosti ohřevu acetylenový plamen	5
Obrázek 4	Ukázka indukčního kalení	6
Obrázek 5	Samozakalení materiálu.....	7
Obrázek 6	Princip Jominyho čelní zkoušky prokalitelnosti.....	9
Obrázek 7	Pásmo prokalitelnosti	10
Obrázek 8	diagram Fe-Fe ₃ C	13
Obrázek 9	Ukázka mřížek martenzitu a austenitu.....	15
Obrázek 10	schématicky znázorněná martenzitická přeměna	15
Obrázek 11	Zakalené střížné hrany nástrojů.....	18
Obrázek 12	Litinová forma na lisování plechů	19
Obrázek 13	Formy na vstřikování plastů	19
Obrázek 14	Kalení pinčovacích hran	19
Obrázek 15	Zakalené ozubené kolo	20
Obrázek 16	Kalení vnitřního ozubení	20
Obrázek 17	Kalení velkých průměrů	21
Obrázek 18	Ozubená kola malých rozměrů	21
Obrázek 19	Kalené čepy	22
Obrázek 20	Kalení hřídelí velkých průměrů.....	22
Obrázek 21	Díl obráběcího stroje	23
Obrázek 22	Kalení lanovnice	23
Obrázek 23	Schéma postupu při povrchovém kalení příčně lineárním pohybem laseru, tedy překrýváním se stop	24
Obrázek 24	Schéma postupu při povrchovém kalení příčně kývavým pohybem laseru, tedy oscilací.....	24
Obrázek 25	Profil zakaleného povrchu při překrytí stop	24
Obrázek 26	šestiosý průmyslový robot FANUC M710Ic.....	26
Obrázek 27	laserový systém HPDD Coherent ISL 4000L	26
Obrázek 28	frézovací centrum MCV 750A	27
Obrázek 29	rozklad řezné síly do ortogonálních souřadných systémů orientovaných podle rovin čela a hřbetu	27

Obrázek 30	rozklad řezné síly do směrů pohybových vektorů.....	28
Obrázek 31	rotační dynamometr Kistler 9124B	29
Obrázek 32	kabelem propojená sestava: zesilovač – sběrnice – měřicí karta – počítač	29
Obrázek 33	ukázka nastavení měřicího a vyhodnocovacího softwaru LabVIEW8.0	30
Obrázek 34	ukázka nastavení měřicího a vyhodnocovacího softwaru LabVIEW8.0 pro náš experiment.....	30
Obrázek 35	ukázka aktuálně měřených hodnot v softwaru LabVIEW8.0.....	30
Obrázek 36	ukázka měření tvrdosti kalených ploch	31
Obrázek 37	kalící digram oceli ČSN 19 313	32
Obrázek 38	digram závislosti tvrdosti na kalící teplotě oceli ČSN 19 313	33
Obrázek 39	ukázka měření tvrdosti kalených ploch	33
Obrázek 40	upnutí nástroje v rotačním dynamometru	34
Obrázek 41	označení výrobce frézy	34
Obrázek 42	upínací část frézy OSG WXS-HS-CRE 12xR3.....	34
Obrázek 43	řezná část frézy OSG WXS-HS-CRE 12xR3.....	34
Obrázek 44	ukázka zakalených stop prvního experimentu.....	36
Obrázek 45	graf závislosti tvrdosti na hloubce prokalení u pole B3 v kalené stopě B	37
Obrázek 46	ukázka zakalených stop v prvním sloupci po odfrézování 1,6mm - první experiment	37
Obrázek 47	graf závislosti rychlosti laserového paprsku na tvrdosti u kalené stopy B v hloubce 1mm	38
Obrázek 48	graf závislosti tvrdosti na velikosti složky řezné síly F_X u kalené stopy B v hloubce 1mm	39
Obrázek 49	graf závislosti tvrdosti na velikosti složky řezné síly F_Y u kalené stopy B v hloubce 1mm	39
Obrázek 50	graf závislosti tvrdosti na velikosti složky řezné síly F_Z u kalené stopy B v hloubce 1mm	39
Obrázek 51	graf znázornění velikosti složky řezné síly F_X u kalené stopy C v hloubce 0,2mm	40
Obrázek 52	graf znázornění velikosti složky řezné síly F_Y u kalené stopy C v hloubce 0,2mm	40

Obrázek 53	graf znázornění velikosti složky řezné síly F_Z u kalené stopy C v hloubce 0,2mm	41
Obrázek 54	ukázka zakalených stop v prvním sloupci po posledním frézovacím přejezdu prvního experimentu	41
Obrázek 55	ukázka zakalených stop druhého experimentu	42
Obrázek 56	ukázka zakalených stop druhého experimentu	43
Obrázek 57	ukázka zakalených stop druhého experimentu	44
Obrázek 58	ukázka zakalených stop druhého experimentu	44

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1	Srovnání metod povrchového kalení.....	18
Tabulka 2	chemické složení oceli ČSN 19 313.....	32
Tabulka 3	značení oceli ČSN 19 313.....	32
Tabulka 4	řezné podmínky pro frézu od výrobce OSG WXS-HS-CRE 12xR3.....	34
Tabulka 5	parametry pro povrchového zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313....	35
Tabulka 6	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313.....	35
Tabulka 7	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 1mm.....	42
Tabulka 8	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 1mm.....	44

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po ofrézování 0,2mm.....	1
Příloha 2	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 0,4mm.....	1
Příloha 3	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 0,6mm.....	1
Příloha 4	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 0,8mm.....	2
Příloha 5	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 1mm.....	2
Příloha 6	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 1,2mm.....	2
Příloha 7	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 1,4mm.....	3
Příloha 8	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 1,6mm.....	3
Příloha 9	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 1,8mm.....	3
Příloha 10	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 2mm.....	4
Příloha 11	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 2,2mm.....	4
Příloha 12	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý experiment po odfrézování 0,2mm.....	4
Příloha 13	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,4mm.....	5
Příloha 14	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,6mm.....	5
Příloha 15	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,8mm.....	5
Příloha 16	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1mm.....	6

Příloha 17	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,2mm.....	6
Příloha 18	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,4mm.....	6
Příloha 19	dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,6mm.....	7
Příloha 20	hodnoty složky řezné síly F_X [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,2mm.....	7
Příloha 21	hodnoty složky řezné síly F_Y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,2mm.....	7
Příloha 22	hodnoty složky řezné síly F_Z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,2mm.....	8
Příloha 23	hodnoty složky řezné síly F_X [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,4mm.....	8
Příloha 24	hodnoty složky řezné síly F_Y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,4mm.....	8
Příloha 25	hodnoty složky řezné síly F_Z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,4mm.....	9
Příloha 26	hodnoty složky řezné síly F_X [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,6mm.....	9
Příloha 27	hodnoty složky řezné síly F_Y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,6mm.....	9
Příloha 28	hodnoty složky řezné síly F_Z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,6mm.....	10
Příloha 29	hodnoty složky řezné síly F_X [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,8mm.....	10
Příloha 30	hodnoty složky řezné síly F_Y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,8mm.....	10
Příloha 31	hodnoty složky řezné síly F_Z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,8mm.....	11
Příloha 32	hodnoty složky řezné síly F_X [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1mm.....	11
Příloha 33	hodnoty složky řezné síly F_Y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1mm.....	11

Příloha 34	hodnoty složky řezné síly F_Z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1mm.....	12
Příloha 35	hodnoty složky řezné síly F_X [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,2mm.....	12
Příloha 36	hodnoty složky řezné síly F_Y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,2mm.....	12
Příloha 37	hodnoty složky řezné síly F_Z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,2mm.....	13
Příloha 38	hodnoty složky řezné síly F_X [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,4mm.....	13
Příloha 39	hodnoty složky řezné síly F_Y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,4mm.....	13
Příloha 40	hodnoty složky řezné síly F_Z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,4mm.....	14
Příloha 41	hodnoty složky řezné síly F_X [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,6mm.....	14
Příloha 42	hodnoty složky řezné síly F_Y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,6mm.....	14
Příloha 43	hodnoty složky řezné síly F_Z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,6mm.....	15
Příloha 44	hodnoty složky řezné síly F_X [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,8mm.....	15
Příloha 45	hodnoty složky řezné síly F_Y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,8mm.....	15
Příloha 46	hodnoty složky řezné síly F_Z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,8mm.....	16
Příloha 47	hodnoty složky řezné síly F_X [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 2mm.....	16
Příloha 48	hodnoty složky řezné síly F_Y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 2mm.....	16
Příloha 49	hodnoty složky řezné síly F_Z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 2mm.....	17
Příloha 50	hodnoty složky řezné síly F_X [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 2,2mm.....	17

Příloha 51	hodnoty složky řezné síly $F_Y[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 2,2mm.....	17
Příloha 52	hodnoty složky řezné síly $F_Z[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 2,2mm.....	18
Příloha 53	hodnoty složky řezné síly $F_X[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,2mm	18
Příloha 54	hodnoty složky řezné síly $F_Y[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,2mm	18
Příloha 55	hodnoty složky řezné síly $F_Z[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,2mm	19
Příloha 56	hodnoty složky řezné síly $F_X[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,4mm	19
Příloha 57	hodnoty složky řezné síly $F_Y[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,4mm	19
Příloha 58	hodnoty složky řezné síly $F_Z[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,4mm	20
Příloha 59	hodnoty složky řezné síly $F_X[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,6mm	20
Příloha 60	hodnoty složky řezné síly $F_Y[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,6mm	20
Příloha 61	hodnoty složky řezné síly $F_Z[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,6mm	21
Příloha 62	hodnoty složky řezné síly $F_X[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,8mm	21
Příloha 63	hodnoty složky řezné síly $F_Y[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,8mm	21
Příloha 64	hodnoty složky řezné síly $F_Z[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,8mm	22
Příloha 65	hodnoty složky řezné síly $F_X[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1mm	22
Příloha 66	hodnoty složky řezné síly $F_Y[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1mm	22
Příloha 67	hodnoty složky řezné síly $F_Z[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1mm	23

Příloha 68	hodnoty složky řezné síly $F_X[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,2mm 23
Příloha 69	hodnoty složky řezné síly $F_Y[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,2mm 23
Příloha 70	hodnoty složky řezné síly $F_Z[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,2mm 24
Příloha 71	hodnoty složky řezné síly $F_X[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,4mm 24
Příloha 72	hodnoty složky řezné síly $F_Y[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,4mm 24
Příloha 73	Příloha 98 hodnoty složky řezné síly $F_Z[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,4mm 25
Příloha 74	hodnoty složky řezné síly $F_X[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,6mm 25
Příloha 75	hodnoty složky řezné síly $F_Y[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,6mm 25
Příloha 76	hodnoty složky řezné síly $F_Z[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,6mm 26

OBSAH

I.	ÚVOD DO PROBLEMATIKY A CÍLE ŘEŠENÍ.....	3
II.	METODY, ANALÝZA A MOŽNOSTI POVRCHOVÉHO KALENÍ.....	4
2.1.	Kalení plamenem.....	5
2.2.	Kalení indukci.....	6
2.3.	Kalení energetickými svazky.....	7
2.3.1.	<i>Kalení laserem.....</i>	8
2.3.2.	<i>Kalení elektronovým paprskem.....</i>	8
2.3.3.	<i>Kalení plazmou.....</i>	8
2.4.	Hybridní kalení.....	8
III.	JOMINYOHO ČELNÍ ZKOUŠKA PROKALITELNOSTI.....	9
IV.	POPIS TECHNOLOGIE POVRCHOVÉHO KALENÍ LASEREM.....	11
4.1.	Definice laseru.....	11
4.2.	Laserové kalení.....	11
4.2.1.	<i>Aplikace pyrometru.....</i>	12
4.3.	Vznik a velikost zrna.....	12
4.4.	Vliv výchozí struktury.....	13
4.5.	Princip povrchového laserového kalení.....	13
4.5.1.	<i>Výhody a nevýhody povrchového kalení laserem.....</i>	17
4.6.	Využití povrchového laserového kalení v průmyslu.....	18
4.6.1.	<i>Laserové kalení forem a nástrojů.....</i>	18
4.6.2.	<i>Laserové kalení ozubených kol.....</i>	20
4.6.3.	<i>Laserové kalení hřídelí a čepů.....</i>	21
4.6.4.	<i>Laserové kalení strojních dílů pro obráběcí stroje a energetiku.....</i>	23
4.7.	Laserové kalení ploch.....	24

V.	EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST – VLIV LASEREM KALENÉ POVRCHOVÉ VRSTVY NA VELIKOST ŘEZNÝCH SIL PŘI FRÉZOVÁVÍ.....	25
5.1.	Stanovené cíle:	25
5.2.	Hypotézy:	25
5.3.	Měření řezných sil	27
5.4.	Měření tvrdosti kalení ploch.....	31
5.5.	Podmínky experimentu	31
5.6.	Vlastní experimenty.....	35
VI.	TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ	46
VII.	ZÁVĚR.....	47
VIII.	SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY.....	48
	PŘÍLOHY	

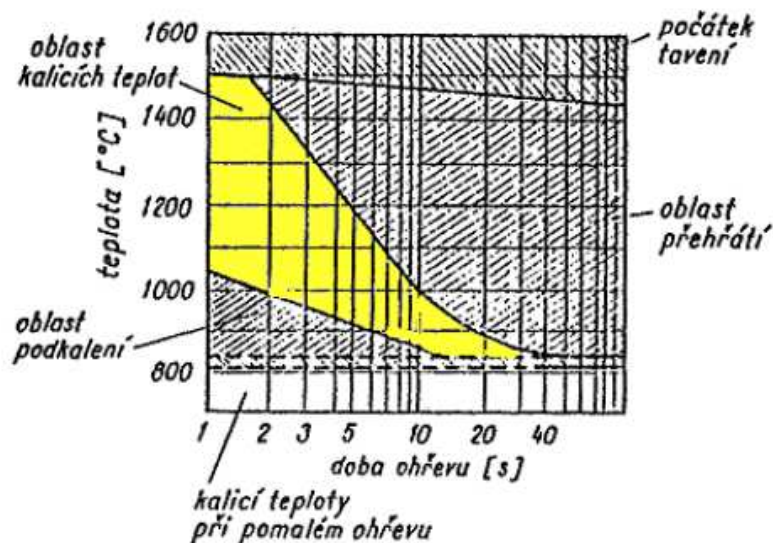
I. ÚVOD DO PROBLEMATIKY A CÍLE ŘEŠENÍ

V současné době vzrůstá tlak na snižování nákladů na výrobu a prodloužení životnosti nástrojů, zápusťek a forem. Řešením je stále zvyšování tvrdosti, potažmo otěru vzdornosti ve všech nejvíce namáhaných místech. Toho lze dosáhnout povrchovým kalením. To se provádí několika možnými metodami. Jedním z nejmodernějších a nejméně nákladných způsobů je zvýšení tvrdosti laserovým paprskem, což bude i předmětem této diplomové práce.

V zásadě je možné použít laserové kalení na litiny s obsahem uhlíku 0,5 až 0,7% a oceli s obsahem uhlíku 0,3 až 0,9%. Co se týká pracovišť zabývajících se povrchovým kalením laserem, jsou zpravidla vybaveny CO₂ laserem nebo diodovým laserem. Laser HPDD je ale při porovnání se zmíněnými lasery odlišný. Tyto odlišnosti mají vliv na průběh procesu povrchového kalení, liší se i v pořizovací ceně a v řadě dalších důležitých aspektů. Je zde tedy stále ještě prostor pro experimentální vývoj. Hlavním cílem této diplomové práce bude stanovení parametrů při povrchovém kalení oceli ČSN 19 313 HPDD laserem. To znamená, praktickými experimenty určit vhodné parametry laserového paprsku při použití vzájemných překrytí kalených stop, které je nutné použít pro rozměrnější povrchové plochy a to tak, aby bylo pokud možno dosaženo konstantní tvrdosti na celé ploše daného vzorku.

II. METODY, ANALÝZA A MOŽNOSTI POVRCHOVÉHO KALENÍ

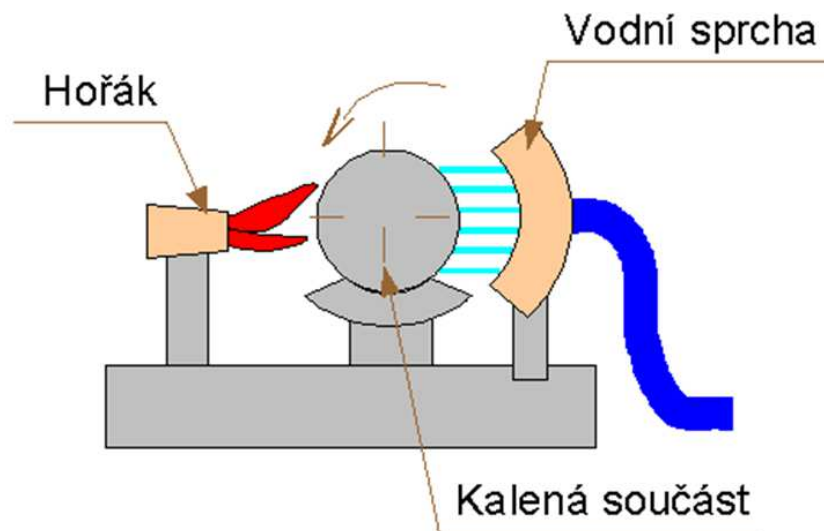
Povrchové kalení spočívá v co možná nejrychlejším ohřevu kalené plochy na teplotu těsně pod teplotu tavení daného materiálu viz obrázek 1, aby se stačil prohřát povrch do určené hloubky. Po dosažení požadované teploty a krátké výdrži na ní je potřeba rychlého ochlazení. Tím vznikne na povrchu při zachování houževnatého jádra nerovnovážná struktura, tzv. martenzit. Ten je oproti konvenčnímu celoobjemovému kalení jemnější a má vyšší tvrdost. Rozdíl mezi oběma zmíněnými principy je tedy v tom, že při celoobjemovém konvenčním kalení se prohřívá celá součást a není kladen takový důraz na rychlost prohřátí a ochlazení. Materiál však ztratí své původní vlastnosti (houževnatost jádra). Martenzitická struktura je hrubší. Z toho vyplývá, že technologický postup povrchového kalení je pro průmyslové využití tam, kde je to možné výhodnější (pro již zmíněné vlastnosti jádra původního materiálu a větší tvrdost povrchu). Energetická náročnost je také nepoměrně nižší a v neposlední řadě i z hlediska ekologie je tato metoda příznivější.



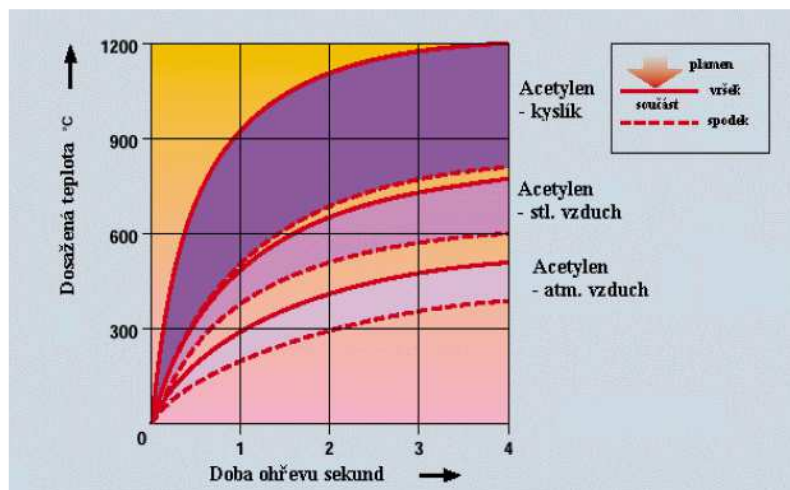
Obrázek 1 Vliv rychlosti ohřevu na kalicí teploty [12]

2.1. Kalení plamenem

Zdrojem tepla je nejčastěji plamen hořáku spalující vhodný plyn s kyslíkem, zpravidla se používá svítiplyn nebo acetylen viz obrázky 2 a 3. Tento způsob ohřevu je vhodný pro součásti velkých rozměrů jednoduchých tvarů. [5]



Obrázek 2 Ukázka povrchového kalení plamenem [15]



Obrázek 3 Dosahované rychlosti ohřevu acetylenový plamen [17]

Při kalení plamenem je hloubka ohřevu dána relativní rychlostí pohybu plamene po povrchu. Kalená plocha se prohřeje do hloubky 1 - 6mm. Přenos tepla do materiálu má však malou účinnost a navíc se ohřívá i okolní povrch. Tím roste doba potřebná pro austenitizaci, hrubne zrna, může dojít ke spálení hranic zrn a na povrchu roste oxidická vrstva. Rovnoměrnost či regulaci teploty nelze nijak korigovat. [1]

Pro kalení plamenem se jako kalící médium využívá nejčastěji voda. Je to nejintenzivnější kalící médium v němž se dosahuje nadkritických rychlostí ochlazování, které jsou nutné pro vznik martenzitické struktury. Nevýhodou tohoto kalícího média je vznik velkých pnutí v zakalené součásti. Vždy existuje nebezpečí vzniku páry a parního polštáře, který neodvede teplo dostatečně a povrch nevytvdne. Navíc je potřeba vodní hospodářství, odsávání par atd. Jinou variantou je kalení do mírnějšího kalícího média a to do oleje. Pro samokalitelné oceli tř. 19 se může použít dmýchaný vzduch pod tlakem 10kPa. [2]

2.2. Kalení indukcí

Při indukčním kalení je generované teplo závislé na odporu a proudu. Hloubka ohřevu závisí na působení střední nebo vysoké frekvence za použití induktoru. Ten je zpravidla vyroben z měděné trubky. Při průchodu střídavého proudu induktorem se indukuje na povrchu kaleného předmětu střídavé magnetické pole, čímž vznikají vířivé proudy. Tyto proudy velice rychle zahřejí povrch tělesa na kalící teplotu tak, aby se následně předmět nebo jeho část zakalila prudkým zchlazením, přičemž pro ochlazení platí totéž, co již bylo zmíněno u kalení plamenem. [3] Čím nižší frekvence, tím menší hloubka prokalení. Vysokofrekvenční ohřev i tak trvá řádově několik vteřin. Velikost a tvar vhodného induktoru závisí na kalené ploše viz obrázek 4, náklady na výrobu jsou však poměrně vysoké.

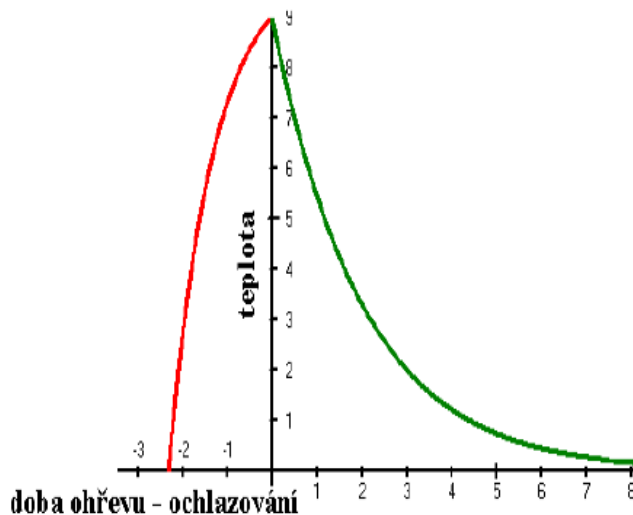


Obrázek 4 Ukázka indukčního kalení [3]

Podobně jako u svarů existuje pod kalenou vrstvou přechodová zóna, kde teplota nebyla dostatečná pro kalení ale na druhou stranu ovlivnila matici základního materiálu. Naneštěstí jsou tyto změny většinou k horšímu. Hloubka kalení však může dosahovat až 10 mm. [1]

2.3. Kalení energetickými svazky

Jedním z nejprogresivnějších způsobů ohřevu povrchových vrstev materiálu je v současné době použití vysokoenergetických zdrojů. Tyto disponují vysokou kapacitou měrné energie a ta umožňuje okamžitý vzestup teploty na požadované hodnoty mezi povrchem a jádrem součásti. Se zvětšující se hodnotou měrné energie klesá doba ohřevu povrchových vrstev. Po ukončení ohřevu dochází ke kritické rychlosti ochlazování bez použití kapalného chladicího média. Průběh samozakalení materiálu je patrný v obrázku 5.



Obrázek 5 Samozakalení materiálu [17]

Předpokladem je malá hloubka prokalení ve srovnání s celkovými rozměry kaleného výrobku a dostatečně rychlý ohřev.

Ve srovnání s ostatními druhy povrchového kalení rychlost průběhu transformačních přeměn umožňuje dosáhnout specifických vlastností zakaleného povrchu. Jde o jemnější martenzitickou strukturu a minimální deformace povrchu. [11]

2.3.1. Kalení laserem

Kalení laserem bude podrobně popsáno v kapitole IV.

2.3.2. Kalení elektronovým paprskem

V tomto případě je energie přenášená elektronovým paprskem. Při vzájemném působení elektronového svazku s povrchem materiálu se přeměňuje kinetická energie elektronů na energii tepelnou a dochází k zpětnému odrazu elektronů, dále k sekundární elektronové emisi a vzniku RTG záření. Proto je nezbytné, aby tento typ kalení probíhal ve vakuových komorách. S ohledem na vysokou rychlost ohřevu a ochlazování je dosažená martenzitická struktura jemnější, avšak ve srovnání s ostatními způsoby povrchového kalení obsahuje větší podíl zbytkového austenitu. Tloušťka prokalené vrstvy je zhruba 0,1-2,5mm. [4]

2.3.3. Kalení plazmou

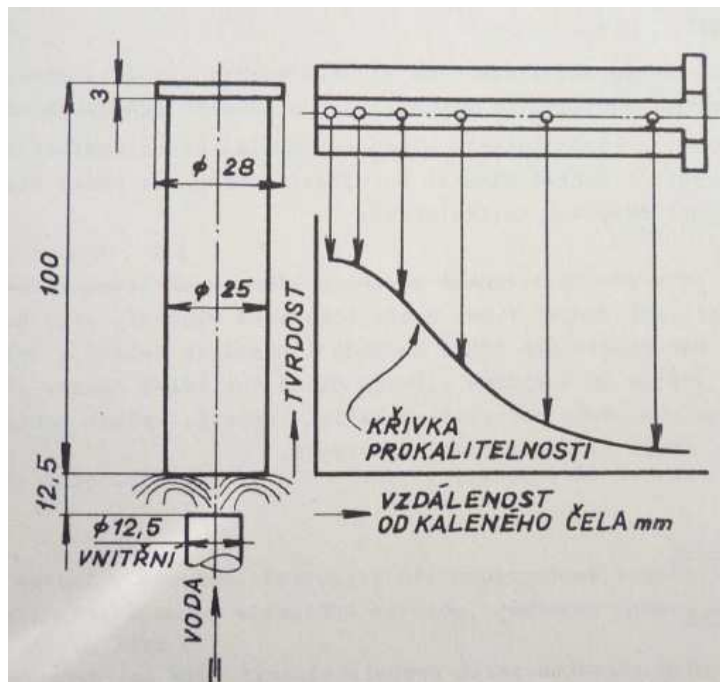
Využití plazmy pro kalení materiálu je zatím poměrně málo rozšířená novinka. Zřídka se používá pro ohřev povrchových vrstev o tloušťkách až do 6mm. Rychlost ohřevu a posléze ochlazení je velmi vysoká, proto pro ochlazení není zapotřebí kapalného chladicího média a u plazmou exponovaných materiálů se využívá samozakalení. [4]

2.4. Hybridní kalení

Hybridní kalení je kombinace laserového paprsku zároveň s induktorem. Jedná se o poslední novinku v oblasti povrchového kalení a jen velmi málo firem na světě ji zatím používá. [1]

III. JOMINYOHO ČELNÍ ZKOUŠKA PROKALITELNOSTI

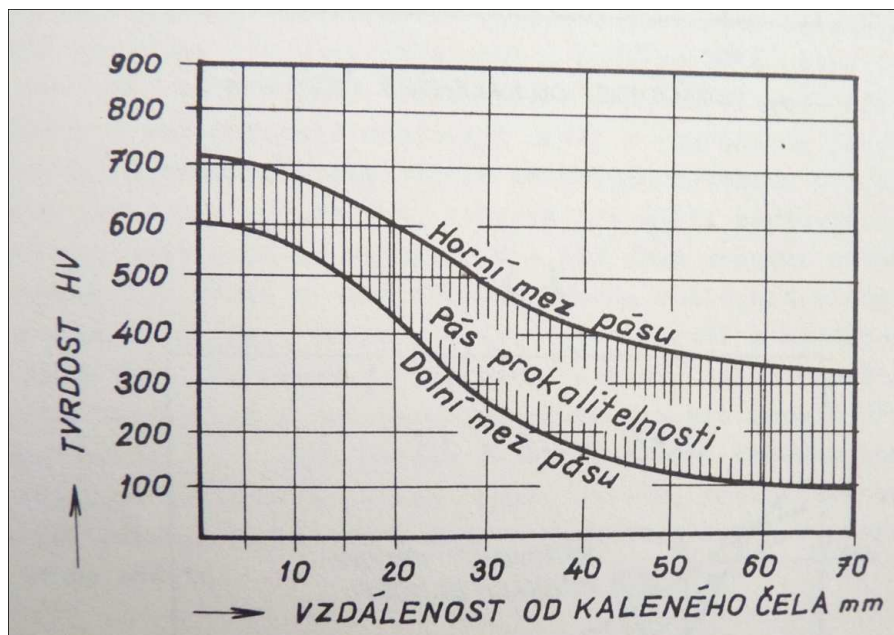
Prokalitelnost je schopnost oceli dosáhnout kalením určité tvrdosti v určité hloubce pod povrchem kalené součásti. Lze ji jednoduše ověřit Jominyho čelní zkouškou prokalitelnosti viz obrázek 6.



Obrázek 6 Princip Jominyho čelní zkoušky prokalitelnosti [6]

Při této zkoušce se čelo zkušební vzorku v přípravku nejprve ohřeje na kalící teplotu a pak se provede jeho ochlazení. Vzorek je z čela prudce ochlazován proudem vody, nebo oleje a rychlost ochlazování vzorku je tedy nepřímo závislá na vzdálenosti od jeho čela. Překročením tzv. kritické rychlosti ochlazování pak vzniká tvrdá martenzitická struktura, jejíž podíl a hloubka po délce vzorku klesá a tím klesá také měřená tvrdost. Po zakalení se do zkušební vzorku vybrousí do hloubky 0,5 mm na válcovém povrchu dvě plošky ležící proti sobě, na kterých se metodami Vickers nebo Rockwell v postupně se zvětšující vzdálenosti od kaleného čela zjišťuje tvrdost (HV nebo HRC). Po provedeném měření na jedné plošce se vzorek obrátí a provede se stejné měření i na druhé zbroušené plošce vzorku. Výsledné hodnoty tvrdosti pro jednotlivé vzdálenosti jsou dány aritmetickým průměrem z obou vtisků. Zjištěné hodnoty tvrdosti v jednotlivých bodech měření se vynášejí do diagramu a jejich spojením vzniká křivka, která charakterizuje prokalitelnost zkoušené oceli. Tyto hodnoty tvrdosti se měří v předepsaných vzdálenostech od kaleného čela směrem k nezakalenému konci. Vzdálenosti měřících bodů jsou stanoveny

v příslušných normách, konkrétně EN ISO 642, ASTM A255. Výsledkem zkoušky je křivka prokalitelnosti a je stanovena na vzorku z určité tavby určité značky oceli. Vzhledem k tomu, že pro každou značku oceli připouští materiálový list určité rozmezí chemického složení a to následně ovlivňuje prokalitelnost, mění se v určitém rozmezí průběh křivek prokalitelnosti i mezi jednotlivými tavbami. Stanovením těchto křivek se dostane tzv. pásmo prokalitelnosti viz obrázek 7, které pak charakterizuje prokalitelnost určité značky oceli. [6]



Obrázek 7 Pásmo prokalitelnosti [6]

Formou vyjadřující prokalitelnost a záruku je pak tzv. index prokalitelnosti. Index se označuje písmenkem J např. J48 – 9/11 znamená, že tvrdosti 48 HRC musí být dosaženo ve vzdálenosti 9 až 11 mm. Obdobně J51/53 – 5 předepisuje ve vzdálenosti 5 mm od čela tvrdost v rozmezí 51-53 HRC. [6]

IV. POPIS TECHNOLOGIE POVRCHOVÉHO KALENÍ LASEREM

4.1. Definice laseru

Laser je z technologického pohledu zdroj vysoce energetického záření, které může sloužit k ohřevu nebo i natavení povrchu. Fyzikálně vzato pro kovy, je to dáno interakcí fotonů laserového paprsku s elektronovou strukturou materiálu a jedná se o rychlý děj. Laser se pro kalení používá zejména díky vysokému výkonu a své schopnosti koncentrovat definovaně koncentrovat energii na velmi malou plochu až deset mikrometrů. [1]

4.2. Laserové kalení

Laserové kalení je ve své základní podstatě opakující se cyklus rychlého ohřevu a následného prudkého ochlazování kritickou rychlostí nutnou ke vzniku zakalené struktury. Teploty používané při povrchovém kalení jsou podstatně vyšší než při běžném tepelném zpracování. Tímto způsobem se dosáhne vysoké místní hustoty energie a vysoké teploty v místě dopadu laserového svazku.

Přechodová oblast prakticky neexistuje. Není třeba povrch chladit zvenku přiváděnou kapalinou (konvekci), protože jádro uvnitř zůstalo studené a odvod tepla je dostatečný. Dá se tedy předpokládat, že transformace začíná probíhat zevnitř materiálu a vnější povrch chladne naposled. Limitujícím faktorem se stává tloušťka stěny kalené součásti. Stěna by měla být alespoň desetkrát silnější než kalená hloubka. Drobné díly je možné přichladit proudem vzduchu nebo ochlazením do nádrže s chladícím médiem. Druhým limitujícím parametrem je maximální hloubka prokalení cca 2 mm v závislosti na vodivosti materiálu. Tuto hranici nelze obejít ani výkonnějším laserem, ani pomalejším pohybem paprsku. [1]

Další nespornou výhodou je dokonalá sterilní energie záření, kterou se do ozařovaného místa nepřivádí nežádoucí nečistoty ani vměstky.

Lasery mohou dodávat vysoký výkon záření jak v kontinuálním režimu, tak i v pulzním režimu, kde mohou být generovány impulzy s přesně určenou délkou a velikostí energie. Pokud se tedy ozáří povrch laserovým svazkem, lze dosáhnout extrémně rychlý ohřev materiálu, který jiným způsobem v současné době nelze vyvolat. Využívá se rychlého ohřevu materiálu pod tavící teplotu až 1400°C v závislosti na materiálu.

V takovém případě uhlíkové atomy v krystalové mřížce změni svoji polohu. Při posunutí laserového paprsku od místa ozáření se začne ozářený povrch velmi rychle ochlazovat v rámci možností své tepelné vodivosti okolním materiálem, který má teplotu prostředí, jež ho obklopuje. Podmíněno tímto ochlazením se kovová mřížka nemůže vrátit do své výchozí polohy a vznikne martenzit. Martenzit má velice tvrdou strukturu. Z tohoto důvodu laserovým paprskem ozářený povrch má daleko vyšší tvrdost než okolní materiál.

4.2.1. Aplikace pyrometru

V souvislosti s povrchovým zpracováním laserem je potřeba zmínit důležitost kontroly hodnot teploty ohřevu povrchové vrstvy materiálu. To je umožněno bezdotykově pomocí pyrometru. Ten po celou dobu procesu zjišťuje průběžné teploty a tím určuje potřebnou energii laseru ke změně struktury. V případě, že by energie laseru byla příliš vysoká, došlo by k překročení teploty a nastalo by natavení zpracovávaného materiálu. Tím by nemohlo dojít k austenitizaci a nedošlo by k zakalení povrchové vrstvy materiálu. Pyrometr tedy vylučuje možnost natavení povrchů a tím redukuje výši nákladů na dodatečné opravy. Ve většině případů je pyrometr připojen přímo k hlavici laseru. Princip měření pyrometrem tkví v měření intenzity vyzařování infračerveného záření, které vyzařují všechny materiály. Infračervené záření se chová jako viditelné světlo pohybující se přímočaře od zdroje záření a intenzita emise záření je ovlivněna stavem povrchu. Je proto vhodné, aby povrch, který bude laserově zpracováván a zároveň měřen pyrometrem, byl pokud je to možné vhodně opracován. Před vlastním měřením je nutné provést kalibraci pyrometru pro konkrétní materiál a jeho teplotní rozsah. Jedině tak lze zajistit, aby údaje vycházející z pyrometru byly objektivní. [7]

4.3. Vznik a velikost zrna

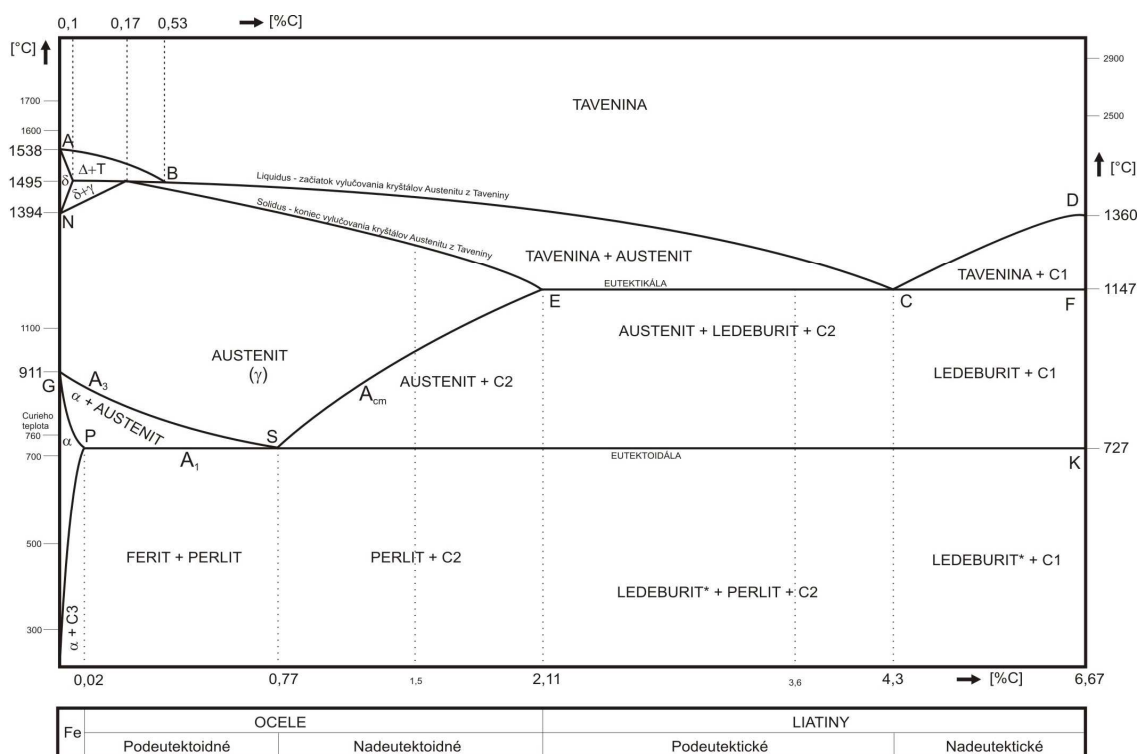
Rychlý ohřev má příznivý i nepříznivý důsledek. Především vyšší rychlosti ohřevu posouvají transformační teploty k vyšším hodnotám. Proto pro kalení laserem neplatí běžné diagramy tepelného zpracování a kalící teploty jsou střeženým know-how jednotlivých firem. U prokalitelnosti platí, že čím větší je zrno, tím lepší je vytvrditelnost. Zvětšení zrna z 0,02 na 0,12mm se zlepší prokalitelnost asi o 50%. Při rychlém ohřevu ale není struktura dostatečně homogenizována, rozpuštěný uhlík se dostane do středu původních feritických zrn a důsledkem jsou rozkolísané hodnoty tvrdosti. To může působit

problémy třeba u masivních odlitků forem a strojních dílů. Pozitivní je rychlost naopak pro zachování jemnozrnnosti, obzvláště u vysokouhlíkových a vysoce legovaných materiálů. Z jemných austenitických zrn vzniká jemnozrnný martenzit, který je méně náchylný ke vzniku a následnému šíření trhlin. [1]

4.4. Vliv výchozí struktury

Výchozí struktura je dalším faktorem s dopadem na prokalitelnost oceli. Podobně je to i s velikostí – větší karbid potřebuje delší dobu pro rozpouštění. V případě, že se nerozpustí, nemá matrice dostatek uhlíku a kalíme v podstatě nízkouhlíkovou matrici. U nástrojových ocelí s primárními karbidy je potřeba volit jiné parametry kalení než u konstrukčních ocelí s jemně precipitujícími karbidy. Z toho plyne, že při kalení musí být rozlišováno, zda jde o součást litou (tedy pravděpodobně hrubozrnnou) nebo tvářenou (jemnozrnnější). Musí být zohledněno, jaké prodělala tepelné zpracování. Pomalu transformující rovnovážné struktury mají karbidy větší, jejich rozpouštění proto bude trvat déle. Naopak zušlechtěné martenzitické materiály mají karbidy velmi jemné a snadněji rozpustitelné. [1]

4.5. Princip povrchového laserového kalení

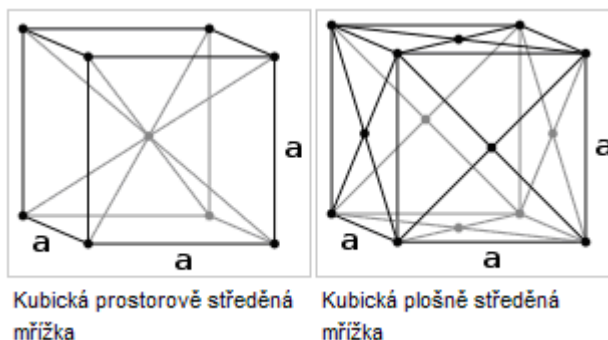


Obrázek 8 diagram Fe-Fe₃C [22]

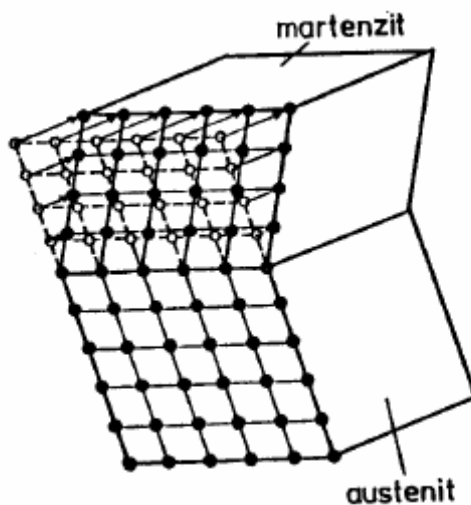
Toto zpracování probíhá za teploty nižší než je teplota solidu viz obrázky 8. Laserový paprsek ohřeje bezdotykově povrch součásti těsně pod tavicí teplotu daného materiálu. Řádově se jedná o teploty mezi 900 – 1400°C. Teplota ohřevu povrchové vrstvy u ocelí se volí podle složení a to zejména podle obsahu uhlíku. Měla by ležet nad překrystalizační teplotou. Jedná-li se o podeutektoidní oceli tj. oceli s obsahem uhlíku do 0,77% tak se ohřev provádí na teplotu 30 až 50°C nad AC_3 . Pokud se jedná o nadeutektoidní ocel tj. oceli s obsahem uhlíku od 0,77 do 2,11% provádí se ohřev na teplotu o 30 až 50°C nad AC_1 . Ve chvíli kdy je dosaženo ohřátí povrchové vrstvy materiálu na požadovanou teplotu, dojde k posunutí paprsku ve směru posuvu a tedy ohřátí dalších částí povrchu materiálu. V takto ozářené povrchové vrstvě materiálu dojde k fázové přeměně feriticko - perlitické struktury na austenit. Již řečené platí pro podeutektoidní oceli. Následuje růst a tvorba zárodků. Ohřev na povrchu obrobku je dosažen ve velmi krátkém čase asi 0,1s působení laserového paprsku na povrch materiálu. Toto teplo je pomocí tepelné vodivosti odváděno do hlubších částí materiálu. Stejný tepelný průběh probíhá při posunutí paprsku pro ochlazování. Jedná se tedy o prudké ochlazování materiálu za pomoci tepelné vodivosti. V takto prudce ochlazené povrchové vrstvě materiálu se nemůže kovová mřížka vrátit do výchozího stavu a tím dojde ke vzniku velice jemnozrné struktury, která je charakteristická vysokou tvrdostí bez křehnutí základního materiálu. Tato struktura se označuje jako martenzit. Tvrdost martenzitu je dána zpevněním tuhého roztoku intersticiálním uhlíkem, dále hranicemi martenzitických útvarů a substrukturním zpevněním (dvojčatový martenzit). Velmi důležitým faktorem přeměny austenitu na martenzit je už výchozí struktura materiálu před samotným povrchovým zpracováním. Čím jemnější a rovnoměrněji rozloženy jsou karbidy ve struktuře tím snáze se rozpouštějí a austenit se lépe homogenizuje. Dalším důležitým faktorem je v co nejkratší možné době dodat do povrchové vrstvy potřebnou tepelnou energii. Laser umožňuje za 0,1s zahřátí povrchové vrstvy materiálu na teplotu 1000°C a tak umožní tvorbu ještě jemnější martenzitické struktury.

Vznik martenzitické struktury začíná až při ochlazování materiálu v určitém rozmezí teplot, které se obvykle označují jako martenzit start (M_S) a martenzit finis (M_F). Jakmile materiál při ochlazování dosáhne teploty M_S začíná se uplatňovat martenzitická přeměna. K dalšímu zvýšení podílu martenzitu je ale zapotřebí další snižování teploty. Pokud tedy teplota dále klesá, pak martenzitická přeměna plynule pokračuje dokud se zcela nezastaví na teplotě M_F . Teploty M_S a M_F nejsou však závislé na rychlosti ochlazování austenitu,

nýbrž na chemickém složení austenitu. Vzhledem k rozdílnému chemickému složení austenitu v materiálech jsou teploty vzniku martenzitu u každého materiálu odlišné. Vzhledem k tomu, že martenzitická transformace je přeměnou bezdifuzní, zůstávají atomy uhlíku v martenzitu na místech ve kterých byly předtím v austenitu viz obrázek 10. Tudíž dojde k přeměně plošně středěné mřížky austenitu na prostorově středěnou mřížku martenzitu viz obrázek 9, aniž by došlo k přerozdělení uhlíku. [10]



Obrázek 9 Ukázka mřížek martenzitu a austenitu [18]



Obrázek 10 schématicky znázorněná martenzitická přeměna [21]

Povrchová vrstva má po tepelném zpracování laserem řádově tvrdost dosahující 55 – 60 HRC (dle materiálu). Pokud je po povrchovém zpracování zjištěna oblast s nevyhovující tvrdostí (například 50 HRC), je možné ji dodatečně povrchově zakalit opětovným vystavením laserového paprsku.

Ozářením malé plochy je deformace vlivem zvýšené teploty velmi malá a tudíž i náklady na dodatečné opracování jsou značně nižší, popřípadě úplně odpadnou. Výsledek povrchového zpracování pomocí laseru nezávisí jen na teplotě ohřevu materiálu ale i na

mnoha dalších parametrech. Mezi něž patří rychlost pohybu paprsku laseru, velikost ozářené plochy laserem, velikost okolní hmoty materiálu a v neposlední řadě druh materiálu a s tím související jeho tepelná vodivost.

Parametry laseru dále závisí na energetickém účinku na materiál. Tento účinek představuje zejména výkon laseru, který zároveň ovlivňuje teplotu během procesu.

Rychlost pohybu laseru, čili chcete-li posuv laserového paprsku opět výrazně ovlivňuje rychlost ohřevu povrchové vrstvy, ale především hloubku prokalení materiálu. Při povrchovém zpracování materiálu laserem je běžná prokalená hloubka od 0,1 do 2,5mm.

Velikost ozářené plochy ovlivňuje šířku zakalené stopy. Šířka kalené stopy se pohybuje v rozmezí od 2 až do 60mm. Při tepelném zpracování povrchů obrobků s malou šířkou, například střížná hrana, jí laser zakalí pomocí jediné kalené stopy. U větších šířek se zakalení uskuteční překrytím jednotlivých stop anebo oscilací laseru s amplitudou kmitu rovnající se šířce funkčního povrchu. Tato problematika je blíže rozepsána v kapitole 4.7. Ovšem pokud se jednotlivé kalené stopy překrývají, vede to k negativnímu vlivu na dosaženou tvrdost.

Velikost okolní hmoty materiálu je důležitým faktorem při povrchovém kalení laserem. Jelikož ochlazení právě ozářeného povrchu materiálu se provádí bez chladícího média, tedy samokalením, musí být tloušťka v místě kalení alespoň desetkrát větší než je prokalená hloubka. Pokud je tedy kalící hloubka 1,5mm musí být tloušťka kaleného materiálu minimálně 15mm.

Dalším důležitým parametrem je již několikrát výše zmíněná tepelná vodivost kaleného materiálu a stav kaleného povrchu. Tyto mají výrazný vliv na absorpci laserového paprsku s materiálem, stejně tak absorpci paprsku ovlivňuje druh materiálu. Aby bylo možné materiál povrchově zpracovat zakalením, musí se jednat o kovový materiál. Další podmínkou je obsah uhlíku, který musí mít dostatečný podíl ve slitině. Povrchové zpracování je možné pro všechny druhy ocelí, které jsou kalitelné a mají podíl uhlíku větší než 0,3%. Pro kalení laserem se také výborně hodí legované oceli s podílem uhlíku větším než 0,3% a lze je též využít pro všechny druhy litin. Důležitým faktorem u litin je podíl uhlíku v základní matici. Ta by měla být perlitická nebo zušlechťená s obsahem uhlíku 0,5 až 0,7%. Obsah křemíku, který snižuje rozpustnost uhlíku v austenitu by měl být udržován na nejnižší hodnotě, která ještě zaručuje grafické tuhnutí, tj. do 2%. Karbidotvorné prvky - Cr, Mo a V zvyšují obsah uhlíku v základní matici a umožňují

dosažení vysoké tvrdosti martenzitu. Množství a forma výskytu grafitu v litinách se významně uplatní rovněž na tepelné vodivosti materiálu, což má pro průběh tepelného zpracování laserem velký význam. Různé typy litin mají odlišné součinitele tepelné vodivosti a při užití stejných parametrů tepelného zpracování laserem je dosaženo rozdílné hloubky vytvrzení. [9]

Pro úplnost nutno dodat, že kalitelnost je schopnost materiálu dosáhnout kalením nerovnovážného strukturního stavu, tedy martenzitické struktury. Se stoupajícím podílem uhlíku vzrůstá pevnost (tvrdost) oceli, ale klesá tažnost a houževnatost. Přesáhne-li podíl uhlíku u oceli 0,9% mění se vlastnosti oceli již jen nepatrně. [8]

Pro povrchové kalení laserem se nehodí měkké oceli do 0,1% uhlíku. Vhodné jsou naopak tvrdé nástrojové oceli s obsahem uhlíku od 0,6 do 1,5% uhlíku, konkrétně oceli ČSN 19 312, ČSN 19 520, ČSN 19 571, rychlořezné oceli ČSN 19 829, ČSN 19 861 a zástupce z litin ČSN 42 2306.

4.5.1. Výhody a nevýhody povrchového kalení laserem

Využití laseru pro povrchové kalení má mnoho předností, z nichž za zmínku stojí:

- minimální ovlivnění teplem
- malé zbytkové pnutí
- minimální deformace
- minimální přídavek pro finální opracování u dílů s následným opracováním, případně konečné opracování odpadá úplně
- kalení vysoce legovaných materiálů
- možnost povrchově kalit jen námi chtěnou oblast
- kalení na velmi těžko přístupných místech
- vysoké možnosti pohybu vlivem roboticky ovládaného laseru
- není potřeba ochlazení
- možnost dodatečného kalení
- vysoká tvrdost dle materiálu až 55 – 60 HRC

Z hlediska nedostatků této technologie je nutné zmínit:

- vysoká pořizovací i provozní cena
- problematictější zpracování vysoce odrazných materiálů

Způsob kalení	kalení plamenem	indukční kalení	kalení laserem
kalená hloubka	do 40mm	do 10mm	do 1,5mm
opakovatelnost/procesní jistota	dobrá	dobrá případně velmi dobrá	vynikající
křivení(stejný materiál a geometrie)	dobré	dobré	velmi dobré
pořadí pracovních pochodů	kalící proces před finálním opracováním	kalící proces před finálním zpracováním	flexibilně volitelné
stav povrchu	povrch následkem oxidace zbarven	povrch následkem oxidace zbarven	reálný lesklý povrch
finální opracování po tepelném opracování	zpravidla potřebné	zpravidla potřebné	odpadá
preciznost zanesení tepla	střední	dobré	splní všechny nároky

Tabulka 1 Srovnání metod povrchového kalení

4.6. Využití povrchového laserové kalení v průmyslu

4.6.1. Laserové kalení forem a nástrojů

Používá se nejčastěji k výrobě nástrojů na ostřihování plechů a textilií do automobilů, formy na výlisky z plechů, nebo vstřikování plastů, kalení pinčovacích hran, dělicích ploch forem atd. viz obrázky 11, 12, 13 a 14.



Obrázek 11 Zakalené střížné hrany nástrojů [14]



Obrázek 12 Litinová forma na lisování plechů [14]



Obrázek 13 Formy na vstřikování plastů [14]



Obrázek 14 Kalení pinčovacích hran [14]

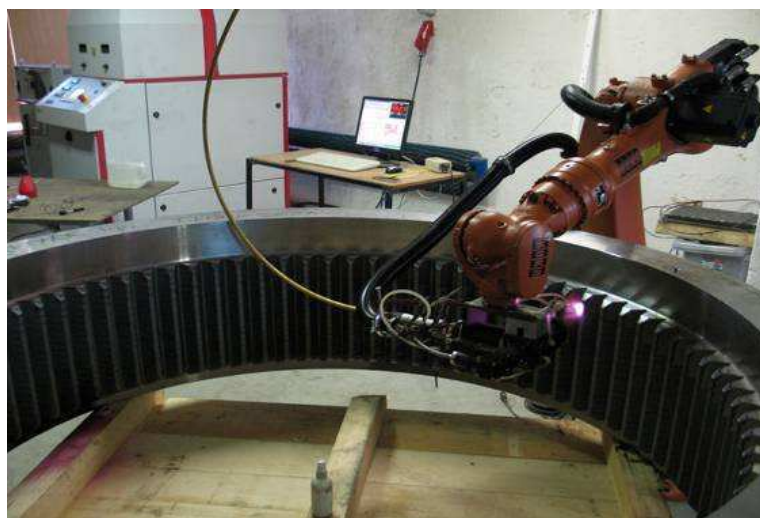
Výhodou je možnost přesného lokálního kalení a velmi nízká oxidace povrchu. Díky tomu lze laserové kalení zařadit jako finální operaci bez nutnosti dodatečného broušení zakalených míst. Je možné povrchově zakalit malé segmenty, vložky i několikátunové formy velkých rozměrů. [1]

4.6.2. Laserové kalení ozubených kol

K nejvíce namáhaným strojním součástem patří hlavně ozubená kola, tyče nebo pastorky, kde při použití laserového kalení odpadá nutnost výroby speciálního induktoru. Bez větších problémů lze zakalit libovolný tvar a modul zubu, jak na vnějším, tak na vnitřním ozubení viz obrázky 15 a 16.



Obrázek 15 Zakalené ozubené kolo [14]



Obrázek 16 Kalení vnitřního ozubení [14]

Za pomoci přídatného otočného stolu se dají laserově zakalit ozubená kola o velikosti několika centimetrů až po kola o průměru několika metrů, sestavené z více segmentů viz obrázky 17 a 18.



Obrázek 17 Kalení velkých průměrů [14]



Obrázek 18 Ozubená kola malých rozměrů [14]

Zakalená vrstva není náchylná na vznik povrchových trhlin a tepelné zatížení okolního materiálu je velmi nízké. [1]

4.6.3. Laserové kalení hřídelí a čepů

Materiál hřídelí se volí podle velikosti a charakteru provozního zatížení (statické, rázové, střídavé), opotřebitelnosti, možnosti tepelného zpracování atd.. U těchto dílů lze zakalení provést podélně nebo po obvodu. Jako u ostatních výše uvedených příkladů se

laserově kalí jak malé čepy viz obrázek 19, tak několikametrové hřídele viz obrázek 20. Deformace po zakalení jsou minimální i u velmi dlouhých dílů a proto není nutné dodatečné rovnání a broušení. Z tohoto důvodu není potřeba dosahovat takových hloubek prokalení jako u indukčního kalení. [1]



Obrázek 19 Kalené čepy [14]



Obrázek 20 Kalení hřídelí velkých průměrů [14]

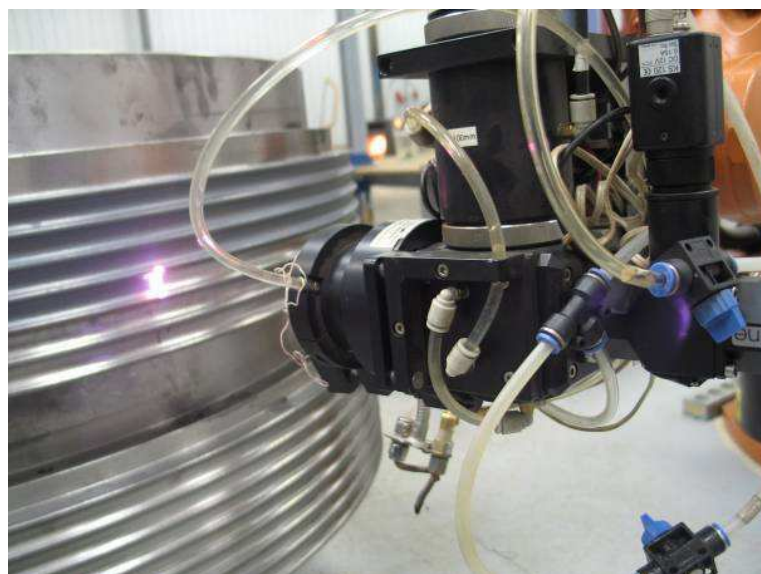
4.6.4. Laserové kalení strojních dílů pro obráběcí stroje a energetiku

K dalším příkladům patří laserové kalení dílů pro obráběcí stroje (lože, čelisti, smýkadla) viz obrázek 21. Časté je také zpracování lanovnic, objímek nebo vodících lišt viz obrázek 22. V energetice jsou to jsou především lopatky parních turbín, kde se díky zakalení náběžné hrany zvyšuje odolnost proti kavitačním účinkům kondenzované páry.

[1]



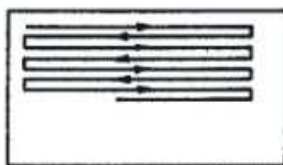
Obrázek 21 Díl obráběcího stroje [14]



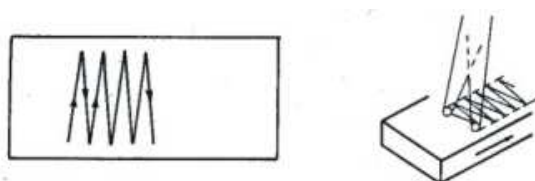
Obrázek 22 Kalení lanovnice [14]

4.7. Laserové kalení ploch

Tepelné zpracování funkčních povrchů výrobků s větší šířkou se uskutečňuje vhodným překrytím jednotlivých stop. V současné době jsou používány dvě technologie pohybu laserového paprsku a to pohyb příčně lineární a příčně kývavý viz obrázky 23 a 24. [4]

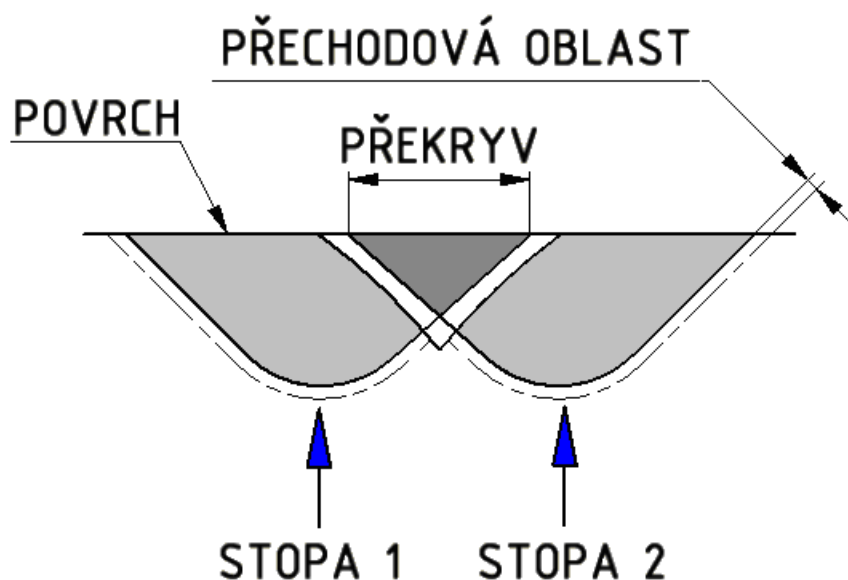


Obrázek 23 Schéma postupu při povrchovém kalení příčně lineárním pohybem laseru, tedy překryváním se stop [4]



Obrázek 24 Schéma postupu při povrchovém kalení příčně kývavým pohybem laseru, tedy oscilací [4]

Střed jedné stopy představuje oblast s největší hloubkou prokalení. Pro vytvoření komplexně povrchově zakalené plochy je tedy nezbytné, aby se stopy laserového svazku překrývaly viz obrázek 25. Nevýhodou zmíněné technologie je nejednotná hloubka prokalení a vytvoření strukturně měkčí tepelně ovlivněné oblasti v místech překrytí jednotlivých stop. Touto problematikou se bude zabývat experimentální část této diplomové práce.



Obrázek 25 Profil zakaleného povrchu při překrytí stop

V. EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST – VLIV LASEREM KALENÉ POVRCHOVÉ VRSTVY NA VELIKOST ŘEZNÝCH SIL PŘI FRÉZOVÁVÍ

5.1. Stanovené cíle:

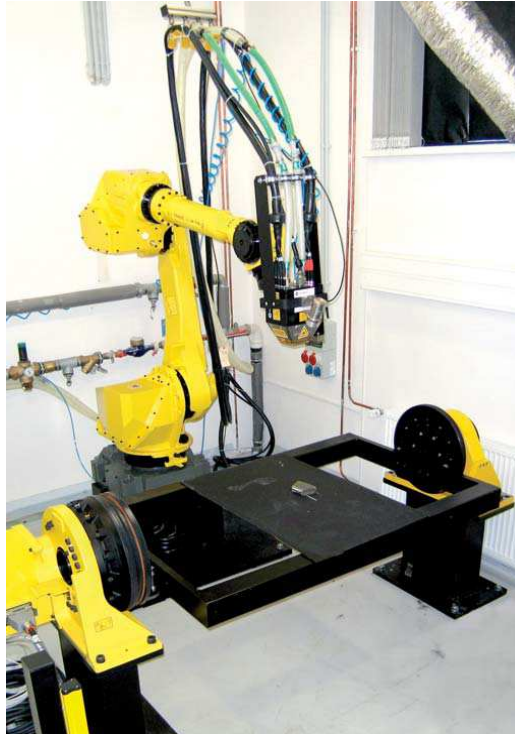
- 1) Stanovit parametry laserového kalení tak, aby splňovaly požadavek tvrdosti 55 – 60 HRC v hloubce 1mm kalené plochy.
- 2) Dosáhnout souvisle zakalené plochy o tvrdosti 55 – 60 HRC v hloubce 1mm.

5.2. Hypotézy:

Ve vztahu k výzkumnému cíli byly zvoleny následující hypotézy:

- H1 Předpokládá se, že průběh změn tvrdosti kalených stop v závislosti na hloubce má přímý vliv na změnu velikosti složek řezné síly.
- H2 Předpokládá se, že čím je rychlost laserového paprsku pomalejší, tím bude hodnota zakalení materiálu vyšší.
- H3 Předpokládá se, že v krajních oblastech zakalených stop a v místech překrytí kalených stop bude dosažená menší tvrdost, než ve středu šířek kalených stop.

Experimentální kalení proběhlo na šestiosém průmyslovém robotu FANUC M710iC s laserovým systémem HPDD Coherent ISL 4000L viz obrázky 26 a 27. Odfřezování zakaleného povrchu proběhlo na frézovacím centru MCV 750A viz obrázek 28.



Obrázek 26 šestiosý průmyslový robot FANUC M710iC [16]



Obrázek 27 laserový systém HPDD Coherent ISL 4000L [16]

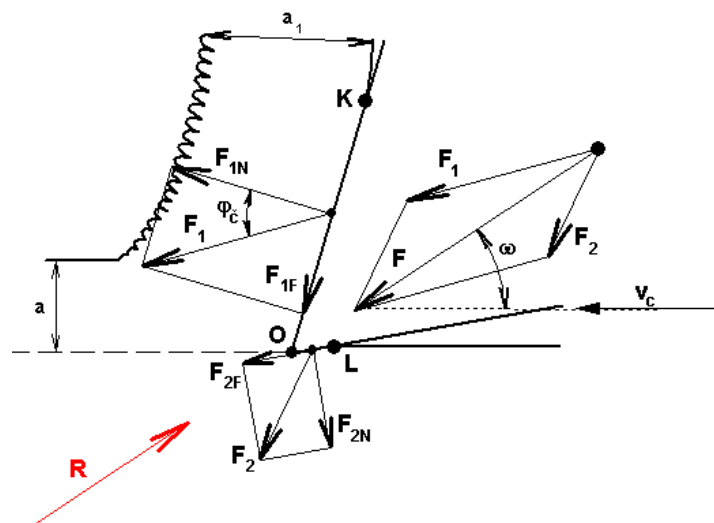


Obrázek 28 frézovací centrum MCV 750A [19]

5.3. Měření řezných sil

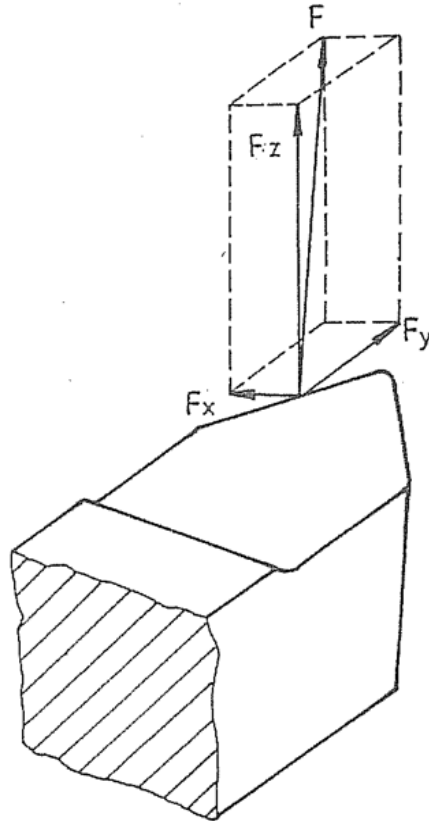
Úkolem experimentu bylo na frézovacím centru MCV 750A odfrézovat jednotlivé zakalené vrstvy a proměřit velikost řezných sil s hloubkou prokalení. K pochopení této problematiky je nutné více se zaměřit na termín řezné síly.

Pro vyvolání takového napětového stavu v materiálu obrobku, aby se odřízl jako tříška, je nutné působit na břit nástroje řeznou silou F , určitého směru a velikosti (vektor), která bude v rovnováze s řezným odporem R kladeným břitu proti vnikání do obrobku viz obrázek 29.



Obrázek 29 rozklad řezné síly do ortogonálních souřadných systémů orientovaných podle rovin čela a hřbetu [19]

Řezná síla F se rozkládá do ortogonálních souřadných systémů orientovaných podle rovin čela a hřbetu, smykové roviny nebo častěji podle směrů pohybových vektorů viz obrázek 30.



Obrázek 30 rozklad řezné síly do směrů pohybových vektorů [19]

- $F_x = F_f$ - složka řezné síly ve směru posuvu, u rotačních pohybů je většinou axiální (osová).
- $F_y = F_p$ - složka řezné síly ve směru přísuvu (nastavení hloubky řezu), u rotačních pohybů je většinou radiální.
- $F_z = F_c$ - složka řezné síly ve směru hlavního řezného pohybu, u rotačních pohybů je tangenciální.

Složky řezné síly jsou ortogonální proto platí:

$$F = \sqrt{F_z^2 + F_y^2 + F_x^2}$$

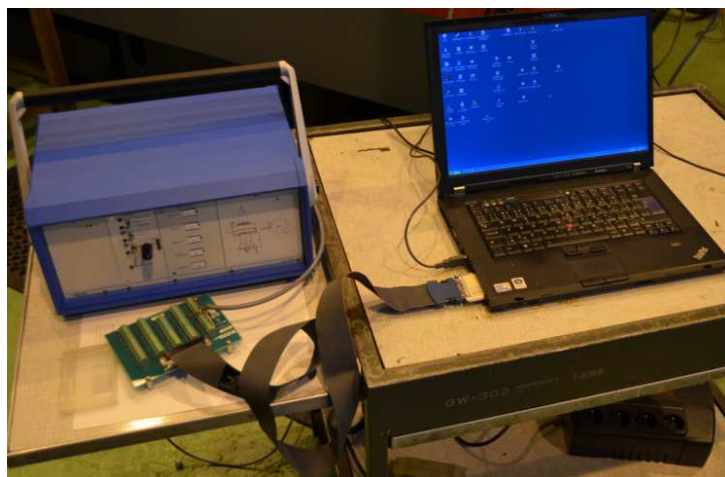
Určit velikost řezných sil lze buďto výpočtem nebo měřením přímou či nepřímou metodou. V našem konkrétním případě se síly zjišťovaly metodou přímou, t.j. měřením vzniklé řezné síly speciálním siloměrem - dynamometrem. Měření složek řezné síly se

provedlo za pomoci rotačního dynamometru Kistler 9124B viz obrázek 31, jehož indikační přístroj ukazuje přímo velikost řezné síly, resp. jejích složek F_x , F_y , F_z .



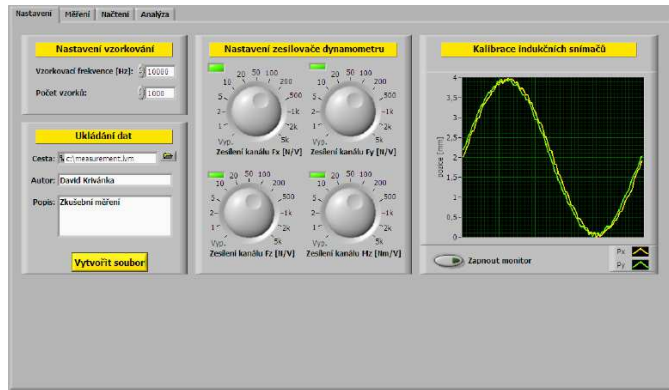
Obrázek 31 rotační dynamometr Kistler 9124B [20]

Dynamometr byl spojený kabelem pro přenos napětí k zesilovači. Kabel byl zapojen do zesilovače a přes sběrnici byla data do programu snímána přes analogovou měřicí kartu viz obrázek 32.



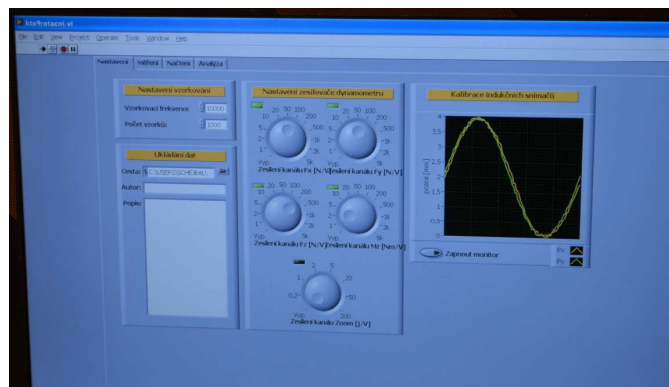
Obrázek 32 kabelem propojená sestava: zesilovač – sběrnice – měřicí karta – počítač

Pro měření rotačním dynamometrem byl použit software LabVIEW8.0 viz obrázek 33. K vyhodnocení řezných sil v tomto softwaru bylo nutno nastavit vzorkovací frekvenci, která udávala počet měření za sekundu. Vhodná hodnota byla 10 000 Hz. Další parametr byl počet vzorků. Počet vzorků je údaj, který slouží pro práci s pamětí a na měření nemá vliv, vhodná hodnota byla 1000.

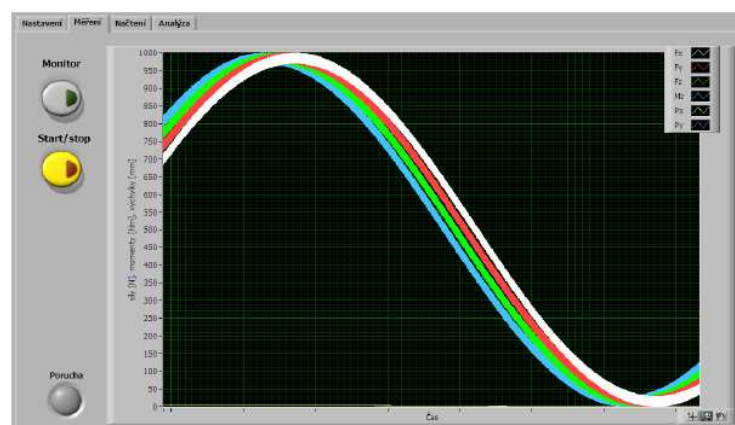


Obrázek 33 ukázka nastavení měřicího a vyhodnocovacího softwaru LabVIEW8.0

Další co se muselo nastavit byl počet vzorků zesílení každého kanálu tak, jak jsou tyto kanály nastaveny na zesilovači. Konkrétní hodnoty byly $F_X = 50$, $F_Y = 50$, $F_Z = 200$. Výsledné jednotky pak byly v [N] viz obrázky 34 a 35.



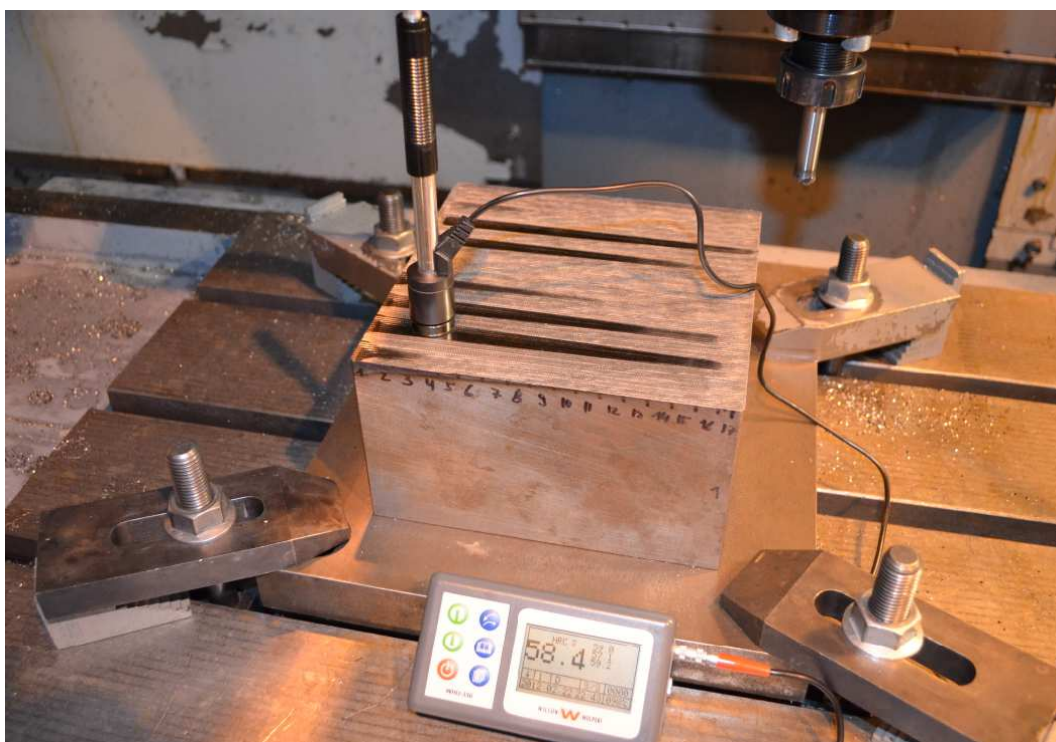
Obrázek 34 ukázka nastavení měřicího a vyhodnocovacího softwaru LabVIEW8.0 pro náš experiment



Obrázek 35 ukázka aktuálně měřených hodnot v softwaru LabVIEW8.0

5.4. Měření tvrdosti kalení ploch

Měření tvrdosti spočívalo v proměření tvrdosti zakalených stop, vždy po odfrézování celého povrchu o jednotnou hloubku. K tomuto účelu byl použit tvrdoměr WHU-330, který tvrdost povrchu měří odrazovou metodou založenou na odrazu kuličky kolmo od měřeného povrchu viz obrázek 36. Nejprve se určil rozsah tvrdosti dle tvrdosti základního materiálu. Došlo se k názoru, že se tvrdost kalených ploch bude měřit v HRC. Jinak tímto tvrdoměrem lze měřit tvrdost i v HRB, HV, HB, HS, HL. Během měření tvrdosti bylo proměřeno každé pole matice 17 x 8 třikrát a z těchto třech náměrů byl určen aritmetický průměr. Při tomto měření byla brána v úvahu vždy šířka zakalené stopy a náměry tvrdosti byly provedeny vždy ve středu šířky kalené stopy. To z toho důvodu, že na krajích kalených stop byly zjištěny podstatně nižší dosažené tvrdosti kalených stop.



Obrázek 36 ukázka měření tvrdosti kalených ploch

5.5. Podmínky experimentu

Jako experimentální materiál byla zvolena ocel ČSN 19 313.1 viz tabulka 3. Doplňková číslice uvádí stav materiálu, který byl pro naše experimenty dodán ve stavu po normalizačním žíhání.

Chemické složení je patrné z tabulky 2. Materiál byl vybrán zejména pro jeho široké využití v průmyslu, kde se hojně využívá k výrobě tvářecích nástrojů, forem a zápustek.

Ocel ČSN 19 313	chemické prvky	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	V
	%	0,8 – 0,9	1,75 – 2,1	0,15 – 0,35	0,03	0,035	0,2 – 0,4	0,35	0,1 -0,2

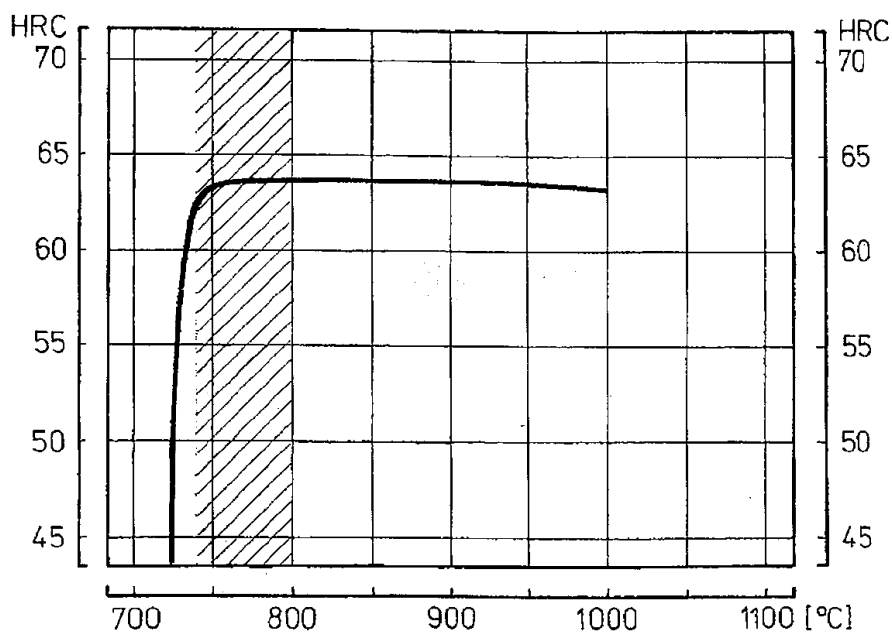
Tabulka 2 chemické složení oceli ČSN 19 313

ČSN 41 9313
EN 4957
DIN 90 MnCrV 8

Tabulka 3 značení oceli ČSN 19 313

Jedná se o nástrojovou mangan-chrom-vanadovou ocel se střední prokalitelností (prokaluje se průměrně do 40 mm), velmi dobrou stálostí rozměru při tepelném zpracování, dobrou houževnatostí a dobrou odolností proti opotřebení. Ocel má dobrou tvářitelnost za tepla a dobrou obrobitelnost ve stavu žíhaném na měkko.

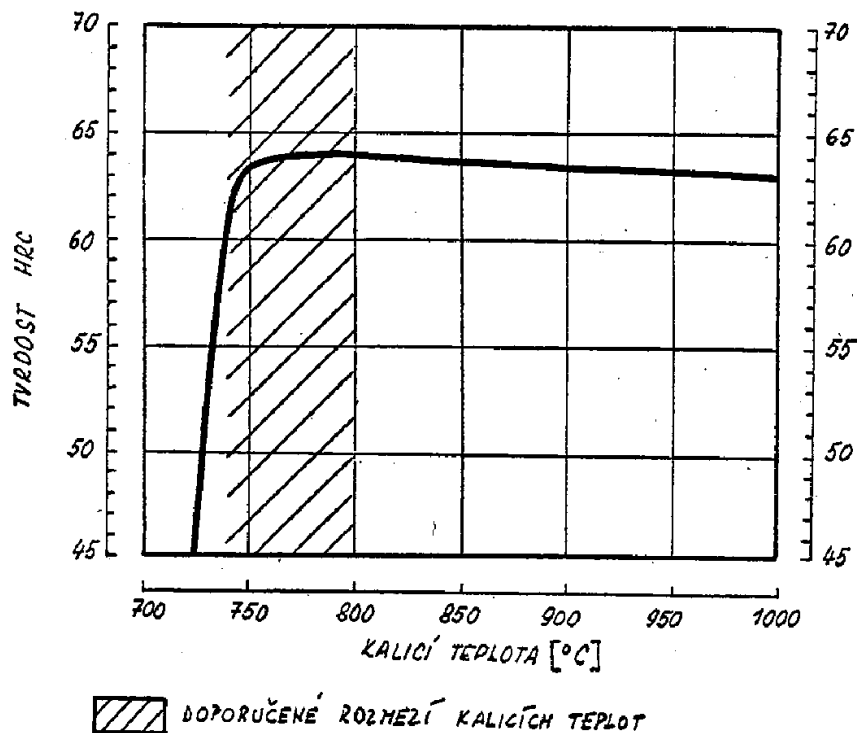
Pro kalení laserem neplatí běžné diagramy tepelného zpracování a laserové kalící teploty jsou tedy střeženým know-how jednotlivých firem. Pro větší představu je na obrázku 37 možné vidět alespoň průběh teplot klasického kalení oceli ČSN 19 313 do oleje.



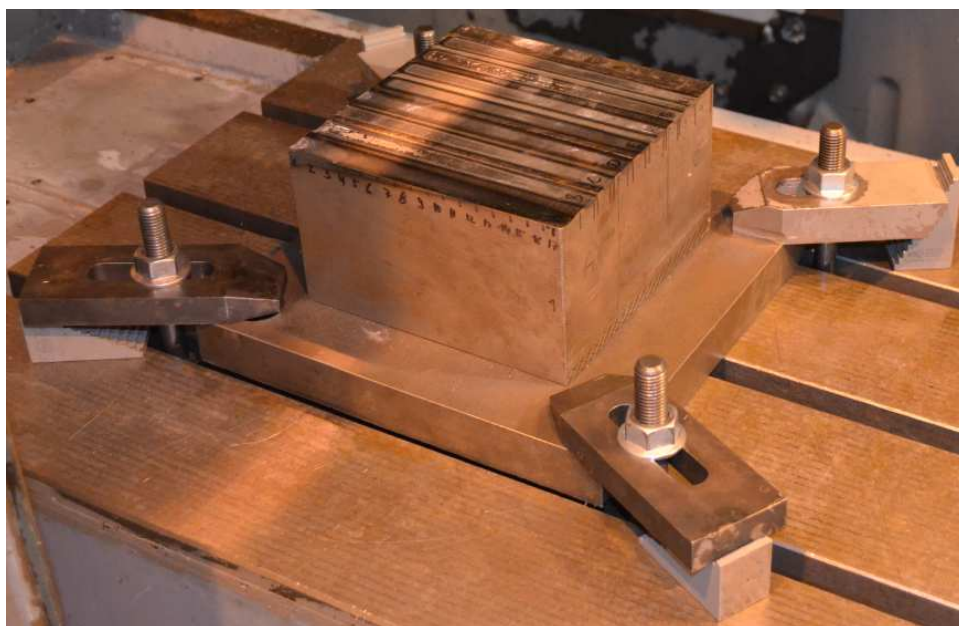
Obrázek 37 kalící digram oceli ČSN 19 313 [13]

Vznik martenzitické struktury M_s se u této oceli pohybuje okolo teploty 180°C . Martenzitická přeměna stále klesá dokud se úplně nezastaví na teplotě M_F , kterou se nepodařilo zjistit.

Povrchová vrstva má po tepelném zpracování laserem řádově tvrdost dosahující min 61 HRC viz obrázek 38 . Tento materiál je tedy po všech stránkách vhodný pro tzv. samozakalení, které nastává při kalení laserem.



Obrázek 38 digram závislosti tvrdosti na kalicí teplotě oceli ČSN 19 313 [13]



Obrázek 39 ukázka měření tvrdosti kalených ploch

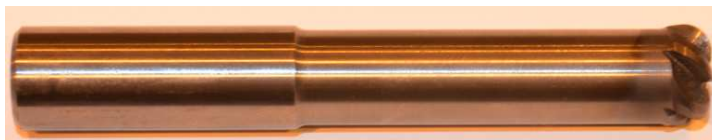
Pro naše experimenty byl zkušební vzorek dodán ve stavu po normalizačním žhání. Experimentální vzorek z výše zmíněného materiálu byl upnut na pracovní plochu stroje viz obrázek 39. Zatímco zvolený nástroj, konkrétně pětibřitá fréza od výrobce OSG WXS-HS-CRE 12xR3 viz obrázek 41 o průměru 12 mm s rádiusem R3 viz obrázky 42 a 43 byla upnuta do rotačního dynamometru a ten posléze ve vřetenu obráběcího stroje viz obrázek 40. Fréza s tímto rádiusem byla vybrána z důvodu plynulého záběru do zakaleného materiálu.



Obrázek 40 upnutí nástroje
v rotačním dynamometru



Obrázek 41 označení výrobce frézy



Obrázek 42 upínací část frézy OSG WXS-HS-CRE 12xR3



Obrázek 43 řezná část frézy OSG WXS-HS-CRE 12xR3

hloubka řezu	a_p	0,2mm
šířka řezu	a_e	1,5mm
otáčky	n	800 [ot/min]
posuvová rychlost	V_f	825 [m/min]
řezná rychlost	V_c	~30 [m/min]

Tabulka 4 řezné podmínky pro frézu od výrobce OSG WXS-HS-CRE 12xR3

Řezné podmínky viz tabulka 4 byly stanoveny odhadem podle katalogu výrobce neboť konkrétní hodnoty výrobce uvádí pouze pro frézu s průměrem 12 mm a rádiusem R2. V našem případě však měl nástroj rádius R3. Velikost hloubka řezu byla zvolena záměrně

tak, aby byl co možná nejvíce patrný průběh změn tvrdosti v závislosti na hloubce a s tím související velikosti složek řezné síly.

5.6. Vlastní experimenty

Měření bylo uskutečněno pomocí jednoduchého programu, který zajišťoval sousledné frézovací přejezdy stop zakalených podle parametrů viz tabulka 5 a obrázek 44.

stopa	počáteční rychlost [cm/min]	konečná rychlost [cm/min]	výkon [%]	maximální tvrdost [HRC]	výkon [W]	výkonová hustota [W/mm ²]	specifická energie [J/mm ²]
A	24	6	100	64	1102.6	15.3	22.97-91.89
B	56	20	100	63	2189.8	28.9	18.56-51.97
C	55	37	100	60	2189.8	28.9	18.9-28.09
D	8	8	83 – 100	60	865.9-1102.6	15.1-15.3	67.97-68.92
E	55	55	83 – 100	62	1715.7-2189.8	24.9-28.9	16.28-18.90
F	45	45	83 – 100	56	1715.7-2189.8	24.9-28.9	19.89-23.10
G	80	80	83 – 100	61	2570-3272.6	35.11-38.96	15.8-17.53
H	100	100	83 - 100	61	2570-3272.6	35.11-38.96	12.64-12.75

Tabulka 5 parametry pro povrchového zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313

Hodnoty tvrdosti uvedené v tabulce 6 byly změřené po laserovém kalení povrchu pro první experiment. Tyto hodnoty byly změřeny před frézováním a tvrdost byla tedy měřena na nesrovnaném povrchu, který mohl mít vliv na změřené hodnoty tvrdosti. Z tohoto důvodu si vysvětlujeme odklon těchto hodnot tvrdosti od náměrů tvrdosti z prvního experimentu.

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	20	20	20	20	22	33	45	58	60	64	63	62	63	61	58	55	50
B	58	57	56	54	55	54	56	53	57	56	62	63	61	58	57	56	62
C	57	57	56	56	55	53	55	55	55	55	55	56	57	53	59	55	60
D	57	60	60	60	60	59	59	60	59	59	60	58	57	58	58	56	57
E	62	61	62	60	60	59	59	58	59	56	59	59	57	60	60	59	60
F	53	56	54	54	54	55	53	54	54	54	55	56	55	52	52	53	54
G	58	51	60	61	60	61	60	60	59	58	59	58	58	60	58	58	60
H	58	59	60	60	60	58	60	60	60	59	57	59	60	58	59	61	60

Tabulka 6 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313

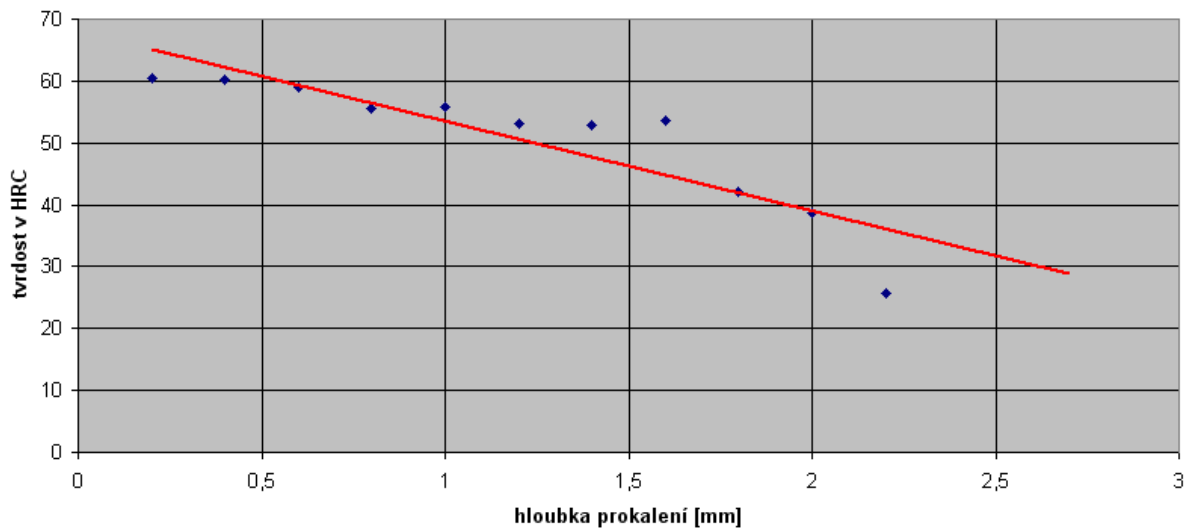


Obrázek 44 ukázka zakalených stop prvního experimentu

Po odfrézování celého povrchu o jednotnou hloubku 0,2 mm došlo vždy k proměření tvrdosti jednotlivých stop. Tímto způsobem proběhlo jedenáct frézovacích přejezdů až do hloubky 2,2 mm. Konečná hloubka nebyla předem záměrně určena, ale jelikož se jednalo o první experiment, šlo hlavně o úplné odfrézování kalených ploch na základní materiál. Posléze v návaznosti na získané hodnoty průběhu změn tvrdosti se zvětšující se hloubkou, byly vybrány varianty, které splňovaly požadavek tvrdosti 55 – 60 HRC v hloubce 1 mm. Ty poté byly znovu aplikovány při laserovém kalení během druhého experimentu, tentokrát již s konstantními parametry laserového paprsku.

Ze změřených tvrdostí prvního experimentu bylo pro všechny stopy patrné, že dosažená tvrdost kalených stop klesala s hloubkou prokalení. Tento jev je ukázán na příkladu konkrétního pole B3 viz obrázek 45 .

Závislost tvrdosti na hloubce prokalení u pole B3 v kalené stopě B



Obrázek 45 graf závislosti tvrdosti na hloubce prokalení u pole B3 v kalené stopě B

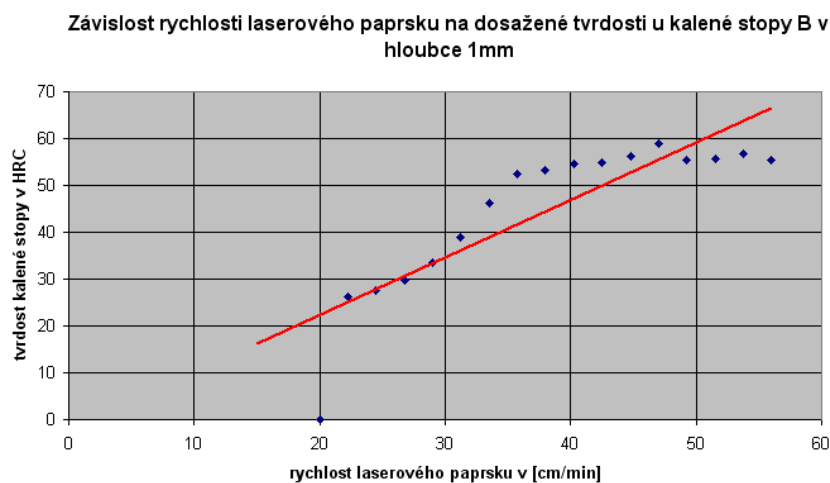
Dále je zřejmé, že největší tvrdosti je dosaženo v prvním sloupci všech stop matice 17×8 viz obrázek 46. To z toho důvodu, že v okamžiku kdy laserový paprsek najede do zkušební vzorku, je obklopen největším množstvím okolního materiálu a tedy dochází k nejintenzivnějšímu odvodu tepla. Lze tedy prohlásit, že čím je vyšší kritická rychlost ochlazování, tím vyšší je tvrdost kaleného povrchu. Tento jev je v závislosti na hloubce nejvíce zřejmý u stopy B.



Obrázek 46 ukázka zakalených stop v prvním sloupci po odfrézování 1,6mm - první experiment

Ze zkušební vzorku je dále patrné, že čím jak laserový paprsek zpomaluje, má materiál více času absorbovat laserový paprsek. Je tedy zřejmé, že při použití nižších rychlostí laserového paprsku (stopa A a stopa D) je viditelná rozsáhlejší tepelně ovlivněná oblast.

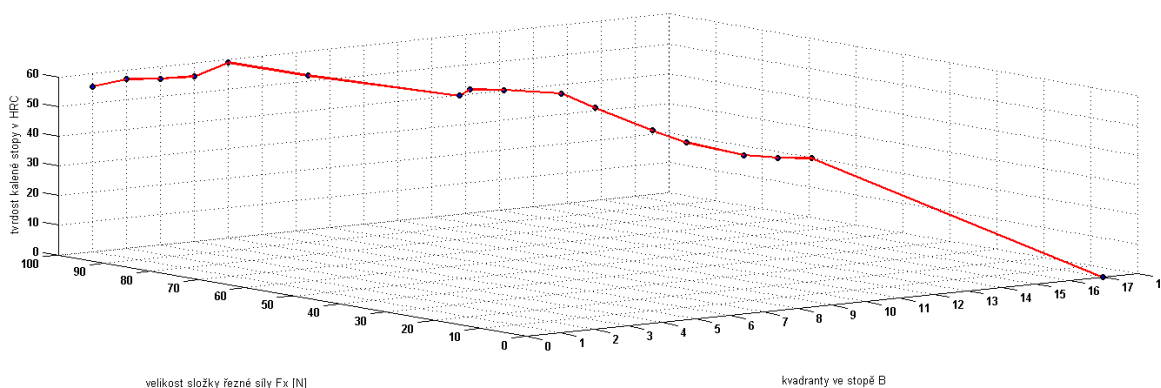
Jak již bylo výše zmíněno, dosažená tvrdost kalených stop je přímo úměrná rychlosti pohybu laserového paprsku. Při relativně malé rychlosti laserového paprsku (stopa A) je materiál vystaven delšímu ochlazení. Odvod tepla do okolního materiálu proběhne v delším čase, což se negativně projeví zpožděným nástupem zakalené struktury. Jinak je tomu u relativně velké rychlosti laserového paprsku. V tomto případě je materiál vystaven kratšímu ochlazení viz obrázek 47. Zde k ochlazení materiálu dojde rychleji, z čehož vyplývá, že i zakalení struktury bude intenzivnější. Tento jev je samozřejmě jinak patrný podle použitého materiálu. Změny tvrdosti kalené stopy dosažené změnou rychlosti laserového paprsku jsou viditelné i ve větších hloubkách prokalení. To je u obou experimentů markantní v tabulkách naměřených tvrdostí v závislosti na hloubce viz přílohy 1 až 19. Z již řečeného dále vyplývá, že vhodné nastavení rychlosti paprsku laseru bude mít každý materiál jiné.



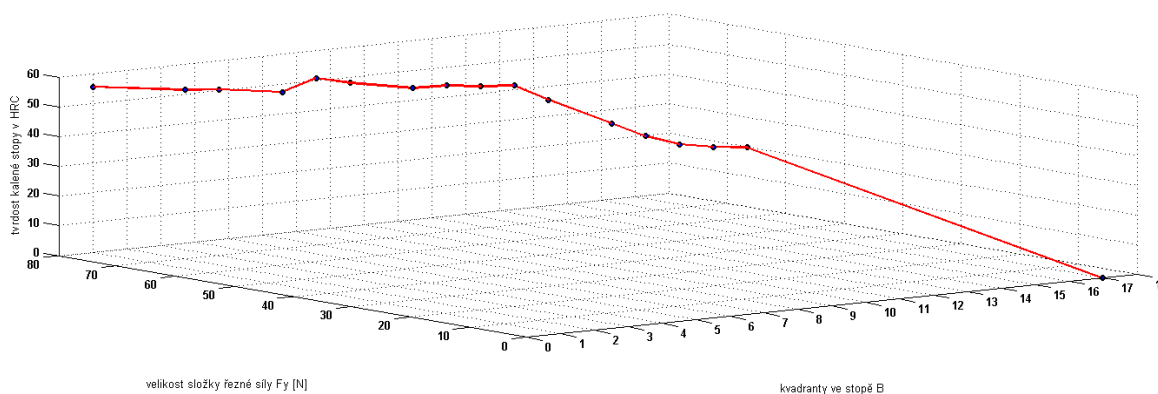
Obrázek 47 graf závislosti rychlosti laserového paprsku na tvrdosti u kalené stopy B v hloubce 1mm

Dále pak nejvíce dosaženou tvrdost ovlivňuje výstupní výkon laserového paprsku. Vysokým výkonem se do materiálu zkušební vzorku vpravuje měrná energie, která umožňuje okamžitý vzestup teploty. Se zvyšujícím se výkonem a tedy se zvětšující se hodnotou měrné energie klesá doba ohřevu povrchové vrstvy. Z tohoto důvodu je vhodné mít výkon nastavený na maximum.

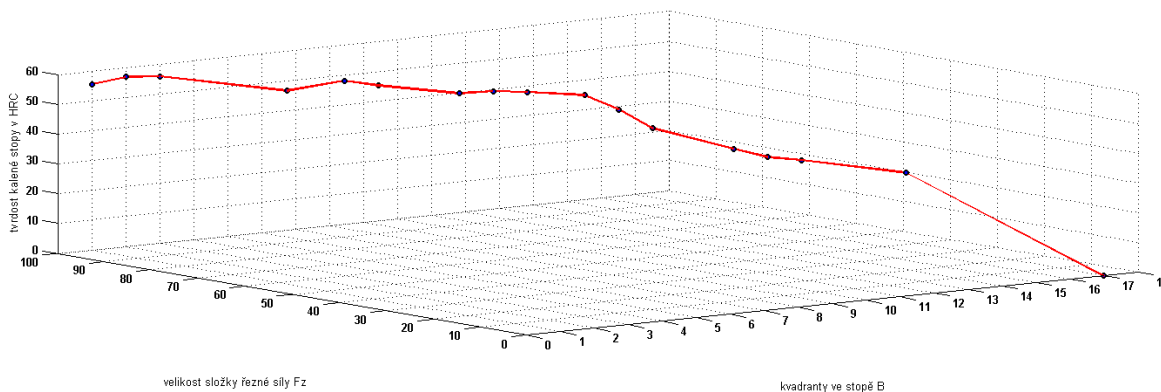
Závěrem prvního experimentu je zjištění, že na základě tabulek náměrů tvrdosti viz přílohy 1 až 11 a tabulek náměrů složek řezné síly viz přílohy 20 až 52 lze konstatovat, že tvrdost kalených stop je přímo úměrná velikosti složek řezné síly. V jednotlivých polích matice 17×8, kde byla naměřena vyšší tvrdost 50 – 65 HRC, byla úměrně tomu zjištěna i odpovídající zvýšená velikost složek řezné síly viz obrázky 48, 49 a 50.



Obrázek 48 graf závislosti tvrdosti na velikosti složky řezné síly F_x u kalené stopy B v hloubce 1mm

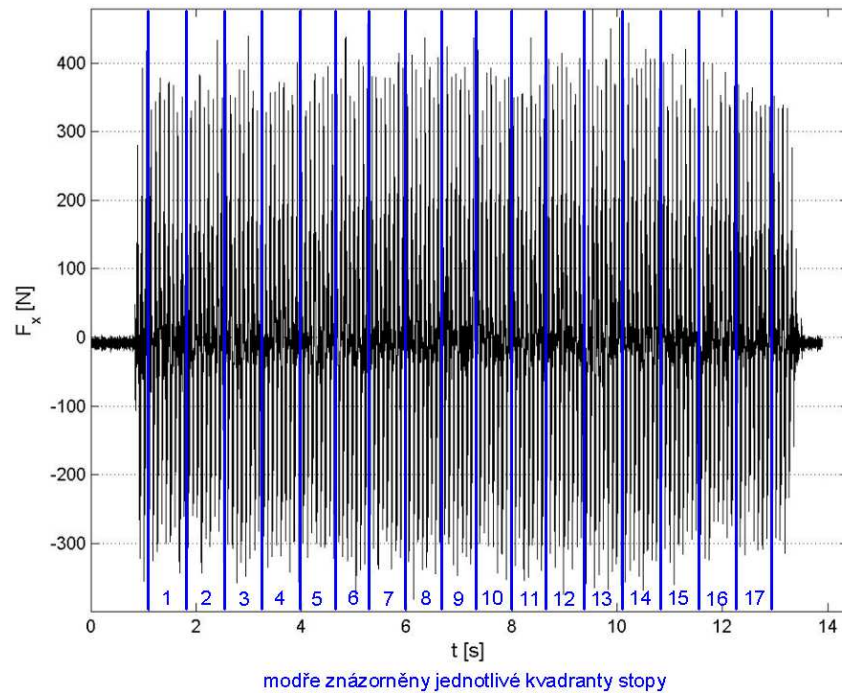


Obrázek 49 graf závislosti tvrdosti na velikosti složky řezné síly F_y u kalené stopy B v hloubce 1mm

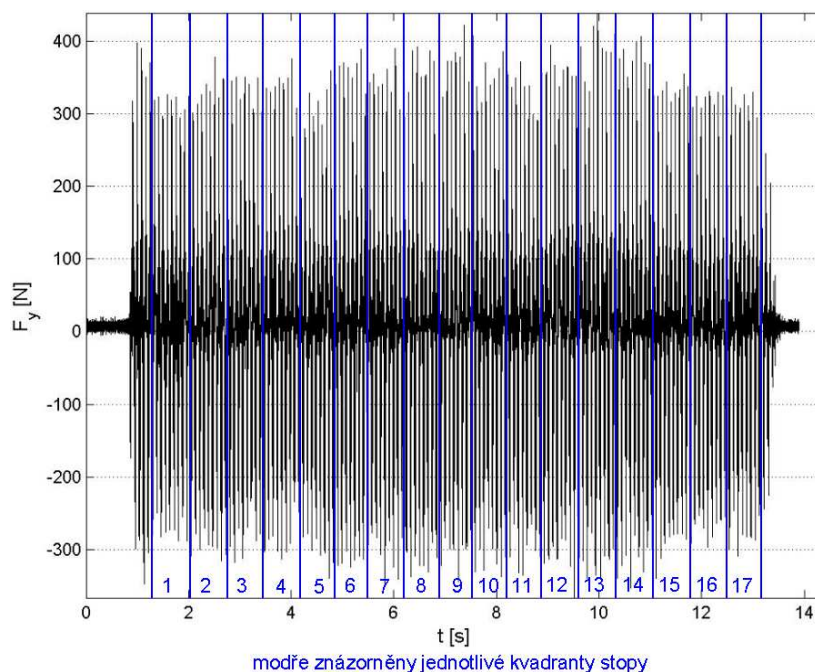


Obrázek 50 graf závislosti tvrdosti na velikosti složky řezné síly F_z u kalené stopy B v hloubce 1mm

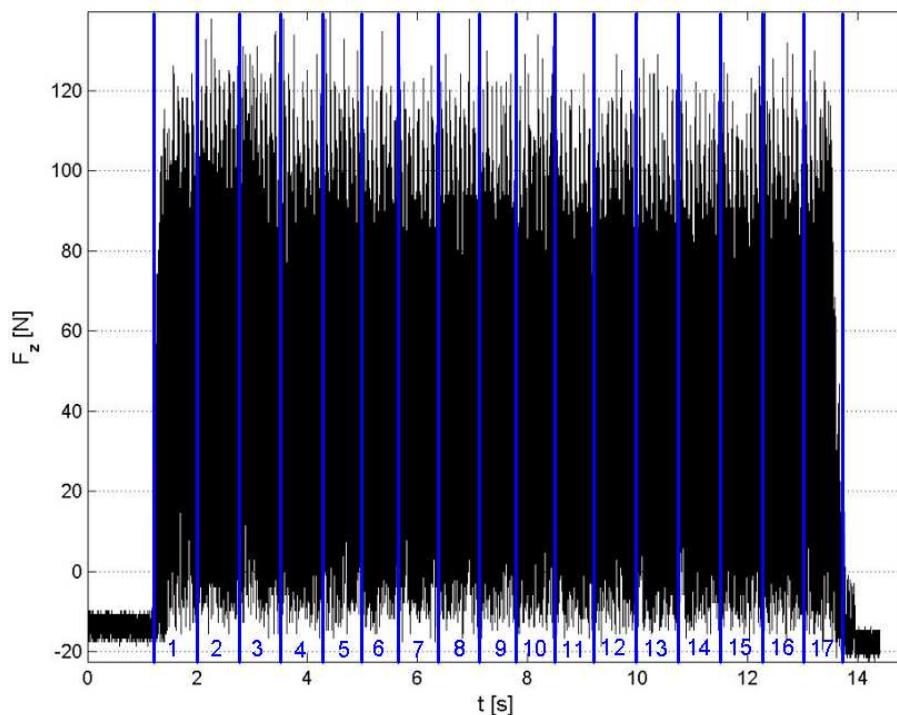
Také je potřeba říci, že z naměřených dat není patrná dominance určité složky řezné síly nad ostatními viz obrázky 51, 52 a 53. Do objektivního posouzení této problematiky je nutno zahrnout otupení a vytvoření vlastní mikro geometrie na nástroji, které během experimentů značně ovlivnilo velikost složek řezné síly. Vliv opotřebení nástroje na jeho silové zatížení však nebyl předmětem této diplomové práce a proto nebyl nadále zohledňován.



Obrázek 51 graf znázornění velikosti složky řezné síly F_x u kalené stopy C v hloubce 0,2mm



Obrázek 52 graf znázornění velikosti složky řezné síly F_y u kalené stopy C v hloubce 0,2mm



modře znázorněny jednotlivé kvadranty stopy

Obrázek 53 graf znázornění velikosti složky řezné síly F_z u kalené stopy C v hloubce 0,2mm

Co se týče požadavku dosažené tvrdosti 55 – 60 HRC v hloubce 1mm je splněn pouze stopou A v poli 1, dále stopou B v polích od 1 až do 10 a stopou C v polích 1 až 3 viz obrázek 54 a tabulka 7.



Obrázek 54 ukázka zakalených stop v prvním sloupci po posledním frézovacím přejezdu prvního experimentu

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	58,7	43,7	36,4	26,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	55,5	56,8	55,8	55,4	58,9	56,1	55	54,6	53,2	52,3	46,3	38,9	33,6	29,6	27,5	26,2	-
C	54,2	52,9	50,6	49,8	36,4	45,9	44,5	40,3	33,5	29,6	30,1	28,2	-	-	-	-	-
D	47,4	44,4	42,1	38,8	36	32,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

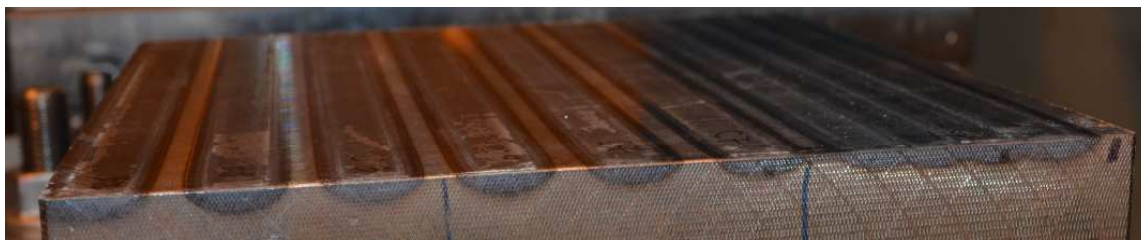
Tabulka 7 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 1mm

Pro další experiment byla vybrána 4 konkrétní nastavení laserového paprsku z polí B3, B8, C3 a C7. U stopy B bylo dosaženo nejvyšších a nejrovnoměrěji rozložených hodnot tvrdosti. Proto jsou z této stopy hned dva zástupci použity pro další experiment.

První zástupce B3 byl vybrán z důvodu patřičného odstupu od najetí laserového paprsku do zkušební vzorku (pole B1) tedy od nejintenzivnějšího odvodu tepla. Druhé nastavení B8 bylo vybráno záměrně z důvodu co možná nejdemonstrativnějšího znázornění průběhu změn tvrdosti v rámci stopy B. Ze stejného důvodu jako u pole B3 byl vybrán první zástupce stopy C a to pole C3. U stopy s konstantním nastavením laserového paprsku dle pole C3 se v druhém experimentu zkoumala a posuzovala stálost (opakovatelnost) tvrdosti, potažmo velikosti složek řezné síly. Pro objektivitu a ověření věrohodnosti náměrů tvrdosti z prvního experimentu byla během druhého experimentu také realizována stopa s nastavením laseru z pole C7. U stopy C7 se v druhém experimentu zkoumala a posuzovala stálost tvrdosti a tím pádem velikosti složek řezné síly nejen pro případ, kdy se stopy vzájemně nepřekrývají, ale i pro případ vzájemného překrytí stop. Na základě výše zmíněných důvodů, byly tedy vybrány čtyři varianty (B3, B8, C3, C7) konstantního nastavení laseru v celé délce zakalených stop během druhého experimentu.



Obrázek 55 ukázka zakalených stop druhého experimentu



Obrázek 56 ukázka zakalených stop druhého experimentu

Měření během druhého experimentu probíhalo stejným způsobem jako v prvním experimentu, s tím rozdílem, že se do zkušební vzorku zakalilo po jedné stopě u stop B3 a B8. Stopa C3 byla do zkušební vzorku zakalena 2x a to tak, aby se stopy vzájemně nepřekrývaly a ani se nedotýkaly. Dále se zakalily dvě, vzájemně se nepřekrývající ani se nedotýkající stopy C7. V poslední části experimentu byla vytvořena souvisle zakalená plocha. Ta vznikla z několika částečně se překrývajících stop C7 viz obrázky 55 a 56.

Bylo uskutečněno 8 frézovacích přejezdů s hloubkou řezu 0,2mm, kde se při sedmém (hloubka 1,4mm) a osmém (hloubka 1,6mm) přejezdu markantně snížila dosažená tvrdost a ztratila svou vypovídající hodnotu.

Co se týká posouzení stálosti tvrdosti a tím pádem velikosti složek řezné síly lze jak na základě náměrů tvrdosti i velikosti složek řezné síly u dvojice stop C3 a u dvojice stop C7 konstatovat, že jak tvrdost, tak i velikosti složek řezné síly byly ve všech stopách s nepatrnými odchylkami poměrně stálé. To tedy znamená, že při konstantním nastavení laserového paprsku v případě, že se stopy vzájemně nepřekrývají, lze dodržet požadovanou tvrdost v určité konkrétní hloubce. Pro hodnocení objektivnosti a ověření věrohodnosti náměrů tvrdosti stopy C7 z prvního experimentu svědčí odchylka náměrů tvrdosti v rozsahu 5 až 10 HRC až do hloubky 0,8mm.

Během tohoto experimentu se dosažená tvrdost v hloubce 1mm dala měřit pouze u stop B3, B8 a u dvou stop C3, které se vzájemně nepřekrývaly. Požadavek dosažené tvrdosti 55 – 60 HRC v hloubce 1mm byl splněn střídavě u všech čtyř stop viz následující tabulka 8.

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	52,4	54,6	55,6	56,3	56,4	54,5	55,4	56,9	55,8	55,3	55,6	54,3	55,3	51,7	50,3	52,9	51,9
B8	58	57,6	55,4	53,2	54,8	55,6	54	54,8	57	54	53,4	53,9	55,5	52,4	51,9	53,8	52,1
C3 ₍₁₎	55,4	55,9	55	53,5	54,9	55,7	55,9	54,9	55,1	55,1	54,9	54,5	52,3	53,8	54,5	55,7	54,6
C3 ₍₂₎	56,5	55,6	53,5	55	53,8	52,3	52,4	51,9	55	53,9	53,4	53	53,2	55,1	52	52,3	51,1

Tabulka 8 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 1mm



Obrázek 57 ukázka zakalených stop druhého experimentu



Obrázek 58 ukázka zakalených stop druhého experimentu

Jakákoliv tvrdost se bohužel nedala změřit v případě stop C7 ať se vzájemně překrývaly nebo se navzájem vůbec nedotýkaly viz obrázek 57. Z tohoto důvodu analýza překrývajících stop C7 viz obrázek 58 proběhla v hloubkách od 0,2 – 0,8mm. Stejně jako v případě dvojic nepřekrývajících se stop C3 a C7 lze konstatovat, že jak tvrdost, tak i velikosti složek řezné síly v případě překrývajících se stop C7 byly ve všech středech stop s nepatrnými odchylkami poměrně stálé. Dále lze říci, že už v hloubce 0,2mm se při

proměření krajních oblastí a míst překrytí stop zjistila diametrálně menší tvrdost než ve středu kalených stop. Je zde tedy patrná nejednotná hloubka prokalení a vytvoření strukturně měkčí tepelně ovlivněné oblasti v místech překrytí jednotlivých stop. Nejinak je tomu i ve větších hloubkách s tím rozdílem, že při hlubším odfrézování zakalení v místech překrytí stop, zakalení úplně vymizí a o tvrdosti dosažené zakalením se vůbec nedá hovořit. Bohužel nebyla možnost si zakalení formou větších či menších překrytí kalených stop vyzkoušet vícekrát a najít tak optimální parametry laserového paprsku pro jednotně zakalenou plochu v hloubce 1mm.

Po finanční stránce je nutné konstatovat, že nejvíce času při kalení laserem zaberou přípravné práce. Jde hlavně o naprogramování laserového paprsku a vyřešení upnutí kaleného kusu. Konkrétně je velký časový rozdíl naprogramovat trajektorii laserového paprsku u s hloubkou proměnných tvarových ploch forem a zápustek, kde je nutné během chodu programu měnit rychlost laserového paprsku oproti jednoduchému kalícímu X-Y přejezdu pro potřebu experimentů, jako v případě této práce. Přípravná část pro laserové kalení se pohybuje řádově v hodinách, zatímco vlastní pohyb laserového paprsku je v řádu minut. Ve výsledné ceně laserem kalené součásti se pak promítnou oba časy v hodinové sazbě stroje. Ta z důvodu ochrany know-how společnosti NTC nebude uvedena. Pro vyšší ceny je samozřejmě rozhodující počet kalených součástí, jelikož doba naprogramování laserového paprsku je stejná pro jeden kus, tak i pro větší počet kusů. Cena za samotné kalení je pak násobkem počtu kusů. Výsledná cena kalení je pak $\pm 10\%$ od ceny svého největšího konkurenta indukčního kalení, kde stejně jako u laserového kalení nejdelší dobu trvá přípravná část. Ta tkví v upravení tvaru a velikosti induktoru vůči kalené ploše. Cena za samotné kalení je pak opět násobkem počtu kusů.

Náklady na laserové kalení se ve výsledné ceně při výrobě forem či zápustek tedy nepochybně výrazně promítnou. Na druhou stranu z hlediska ekonomiky lze vhodným nastavením laserového paprsku dosáhnout požadované tvrdosti v konkrétní hloubce námi chtěné oblasti. Následně je možné frézováním s vhodně zvolenými řeznými parametry docílit předepsané přesnosti rozměru, bez použití další dokončovací operace. Tím se výrazně sníží náklady, zefektivní se výroba forem a zápustek a v kratším čase se dosáhne ekonomičtějšího výsledku.

VI. TECHNICKO – EKONOMICKÉ HODNOCENÍ

Výzkumné cíle:

- 1) Stanovit parametry laserového kalení tak, aby splňovaly požadavek tvrdosti 55 – 60 HRC v hloubce 1mm kalené plochy.
- 2) Dosáhnout souvisle zakalené plochy o tvrdosti 55 – 60 HRC v hloubce 1mm.

H1 Předpokládá se, že průběh změn tvrdosti kalených stop v závislosti na hloubce má přímý vliv na změnu velikosti složek řezné síly.

Tvrdot kalených stop je přímo úměrná velikosti složek řezné síly, tudíž se tato hypotéza potvrdila. Tato fakta lze prokázat na základě tabulek náměrů tvrdosti a tabulek náměrů složek řezné síly. V jednotlivých polích matice 17 x 8, kde byla naměřena vyšší tvrdost 50 – 60 HRC, byla úměrně tomu zjištěna odpovídající zvýšená velikost složek řezné síly.

H2 Předpokládá se, že čím je rychlost laserového paprsku pomalejší, tím bude hodnota zakalení materiálu vyšší.

Tato hypotéza se nepotvrdila. Zjistilo se, že tvrdost kalených stop je přímo úměrná rychlosti pohybu laserového paprsku. Z výzkumu vyplynulo, že čím je rychlost laserového paprsku vyšší, tím je odvod tepla do okolního materiálu intenzivnější. A tudíž ochlazení probíhá větším šokem, což má za následek vyšší tvrdost kalené stopy. Naopak při relativně malé rychlosti laserového paprsku je materiál vystaven delšímu ochlazování. Odvod tepla do okolního materiálu proběhne v delším čase, což se negativně projeví zpožděným nástupem zakalené struktury. Tato fakta lze doložit tabulkami náměrů tvrdosti.

H3 Předpokládá se, že v krajních oblastech zakalených stop a v místech překrytí kalených stop bude dosažená menší tvrdost, než ve středu šířek kalených stop.

Tato hypotéza se potvrdila. Z výzkumu bylo zcela zřejmé, že krajní oblasti zakalených stop a místa překrytí stop v hloubkách od 0,2 do 0,8mm měly diametrálně menší tvrdost než středy šířek kalených stop. A v neposlední řadě zde byla patrná i nejednotná hloubka prokalení.

VII. ZÁVĚR

Jaký je vliv laserem kalené povrchové vrstvy na velikost řezných sil a jakým způsobem lze povrchové kalení realizovat v praxi? To byly hlavní myšlenky pro vznik této práce. První část práce vysvětluje pojem povrchové kalení laserem a zabývá se teoretickými hledisky. Druhá část je empirická, kdy jsou pomocí experimentů analyzovány parametry povrchového laserového kalení s ohledem na dosaženou tvrdost a velikost složek řezné síly se zvětšující se hloubkou prokalení. Pro tyto experimenty se použil šestiosý průmyslový robot FANUC M710iC osazený laserovým systémem HPDD Coherent ISL 4000L a k odfrézování zakaleného povrchu se využilo frézovací centrum MCV 750A.

Provedenými experimenty se podařilo navázat na stanovené cíle. Z poznatků výzkumu bylo zjištěno, že hypotéza č. 1 se potvrdila. Byla zde empiricky prokázána přímá úměrnost mezi tvrdostí kalených stop a velikostí složek řezné síly. Naproti tomu u hypotézy č.2 došlo k vyvrácení našich předpokladů. Očekávali jsme, že čím bude rychlost laserového paprsku pomalejší, tím bude hodnota zakalení materiálu vyšší. Tuto hypotézu vyvracíme, jelikož se výzkumem prokázalo, že tvrdost kalených stop je přímo úměrná rychlosti pohybu laserového paprsku. U hypotézy č.3 bylo zjištěno, že krajní oblasti zakalených stop a místa překrytí stop měly diametrálně menší tvrdost než středy šířek kalených stop. Toto jsme očekávali, tudíž se nám hypotéza potvrdila.

Z této práce dále vyplývá, že z finančního hlediska se náklady na laserové kalení výrazně promítají ve výsledné ceně forem či zápusťek. Ovšem za předpokladu správného nastavení laserového paprsku a vhodně zvolených řezných podmínek při následném frézování lze v důsledku další nepotřeby dokončovacích operací docílit podstatné finanční a časové úspory na konečném produktu. Tudíž se výrazně sníží náklady, zefektivní se výroba forem a zápusťek a v kratším čase se dosáhne ekonomičtějšího výsledku.

Přínosem této diplomové práce je přiblížení dané problematiky všem technickým oborům a shrnutí základních faktů o jevech vznikajících při laserovém kalení povrchu a jeho následném odfrézování.

VIII. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] NĚMEČEK, Stanislav. Laserové kalení forem a nástrojů [online].
Dostupné z: http://www.metal2012.com/files/proceedings/metal_11/lists/papers/917.pdf
- [2] Wikipedie, Kalení. [online]. Vystaveno 2. 5. 2012
Dostupné z: <http://cs.wikipedia.org/wiki/Kalen%C3%AD>
- [3] Böhler Uddeholm CZ s.r.o. Indukční kalení [online].
Dostupné z: <http://www.kalirna-vyskov.cz/indukcni-kaleni/>
- [4] Laserové zpracování materiálů [online].
Dostupné z: <http://dp.bajaja.net/05.html>
- [5] LINTECH, spol. s.r.o. Typy laserové technologie[online]
Dostupné z: <http://www.lintech.cz/laserove-kaleni>
- [6] METROTEST, spol.s.r.o. Jominyho zkouška čelní prokalitelnosti a tvrdoměry Qness.
[online]
Dostupné z: <http://www.metrotest.cz/files/Jominy-celni%20zkouska%20prokalitelnosti-tvrdomer.pdf>
- [7] PRAGUE PRECISION, spol.s.r.o. Inteligentní vícepásmové optické pyrometry řady OP-400 [online] Dostupné z: http://www.prague-precision.com/op_cz.htm
- [8] MARTÍNKOVÁ, Jana. Tepelné zpracování konstrukčních ocelí SVOČ 2008 [online]
Dostupné z: http://old.fst.zcu.cz/_files_web_FST/_SP_FST%28SVOC%29/_2008/_sbornik/PapersPdf/Bc/Martinkova_Jana.pdf
- [9] ZATLOUKAL, Petr. Tepelné zpracování laserem[online]
Dostupné z: <http://www.welding.cz/laser/tepelne.htm>
- [10] Rozpad austenit [online] Dostupné z: http://www.ateam.zcu.cz/tep_zprac.pdf

[11] KLUFOVÁ, Pavla. Návrh technologie laserového povrchového zpracování konstrukčních ocelí [online]

Dostupné z: https://portal.zcu.cz/wps/PA_StagPortletsJSR168/KvalifPraceDownloadServlet?typ=1&adipidno=34796

[12] KRÍŽ, Antonín. Povrchové kalení v průmyslové aplikaci [online]

Dostupné z: <http://www.ateam.zcu.cz/download/povrchove%20kaleni08.pdf>

[13] Materiálový list oceli ČSN 19 313

[14] MATEX PM, s.r.o. Laserové kalení [online] Dostupné z: www.matexpm.com

[15] Povrchové kalení [online]

Dostupné z: <http://strojirenstvi-ucivo.blogspot.com/2011/03/36141-povrchove-kaleni.html>

[16] HONNER, Milan. Vysokovýkonový diodový kontinuální laser [online]

Dostupné z: <http://laser.zcu.cz/files/pdf/HPDD%20Laser.pdf>

[17] DAŘOUREK, Karel. Teorie tepelného zpracování [online]

Dostupné z: http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_magistri/VTM/vtm%20Dad/02povrkal.pdf

[18] Wikipedie, Alotropické modifikace železa. [online]. Vystaveno 19. 3. 2012

Dostupné z: http://cs.wikipedia.org/wiki/Alotropick%C3%A9_modifikace_%C5%BEEleza

[19] Obráběcí centrum MCV 750 A

Dostupné z: <http://www.mwelding.eu/m-technics/eshop/3-1-Kovoobrabeni-v-kooperaci/1-2-Obrabeci-centrum>

[19] HOFMANN, Petr. Skripta předmětu STO na FST.ZCU

[20] Rotační dynamometr Kistler 9124B

Dostupné z: http://www.kistler.com/us_en-us/KIC_Force_CutDyno/Force-Cutting-Force-Dynomometer.html

[21] Fázové přeměny

Dostupné z: <http://tzs.kmm.zcu.cz/premeny.pdf>

[22] Diagram Fe-Fe₃C

Dostupné z: <http://www.uloz.to/xHbaNtW/diagram-fe-fe3c-jpg>

PŘÍLOHY

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	60,7	59	55	50,9	45,3	40,2	38	37,6	35	34,8	35,6	36	34	29,3	27,6	28,1	25,6
B	60,2	60	60,5	60,4	60,4	61,4	61,4	62,2	61,6	59,9	60,1	61,1	59,4	60,6	60,4	60	56,4
C	61,3	62	62,1	61,1	61,1	60,5	61	61,4	60,2	58,8	60,1	60,1	58,6	58,2	55,4	55,9	53
D	62,5	61,8	62,7	62,6	59,8	59,5	62,5	59,9	60,2	60,4	58,7	57,8	57,8	56,2	50,8	48,8	48,2
E	60,8	59,1	59,1	58,3	49,8	47,4	45,1	43	38,9	39,6	34,5	33,6	34	32,8	33,1	30,9	28,9
F	59,4	59,5	59,9	60,5	59,1	60,4	60,8	60,8	61	58,4	55,6	54,9	44,7	46	45,3	44,3	41,4
G	59,5	57,6	59,6	58,1	57,9	58,5	59,7	59	58,7	58,6	58	57,4	56,9	55,1	54,6	55,5	51
H	59,2	59,4	58,5	58,9	53,9	50,7	51,1	47,3	48,5	47,8	48,2	41,9	37,8	38,5	36,3	33,2	33

Příloha 1 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po ofrézování 0,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	60	59	55	50,9	45,3	35,6	35,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	59,8	59,7	60,3	60,2	59,7	58,8	59,8	59,7	59,5	58,5	60	58,2	54,6	59,6	59,8	59,7	55,6
C	59,8	59,2	58,7	60,3	58,8	58,5	58,5	53,2	59,9	57,6	59,1	59,5	50,9	49,6	45,8	45	42,3
D	59,3	61,6	60,7	61,3	59,3	56,5	53,6	51,1	47,9	46,8	47	45,6	44	38,4	36,5	-	-
E	40,9	39,8	33,2	35,8	34,2	30,1	28,8	26,6	26,3	25,7	-	-	-	-	-	-	-
F	58,5	59	59,6	57,3	58,8	55,9	58,6	58,4	54,5	53,8	52,9	53,1	42,1	42,3	40,1	39,4	34,3
G	57,5	57,5	57,8	57,7	54,6	53,7	54,1	55,2	53	53,7	55	49,6	49,7	43,2	41,8	40,9	30,9
H	43,2	44,3	45,8	38,7	40,1	37,7	34,1	33,7	36,1	27,9	26,3	-	-	-	-	-	-

Příloha 2 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 0,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	59,9	58,5	54,5	46,7	36,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	58	59,7	58,9	58,7	56,5	58,3	59,3	59,5	58,9	59,4	57,9	57	55,9	51,8	49,7	45,6	35,9
C	58,9	58,8	55,5	57,6	58,4	59,1	59,5	43,8	43,7	46,8	46,7	48	39,8	36,3	33,9	38,2	32,6
D	58,4	55,5	53,1	49,6	49,1	47,5	44,8	43,9	43,9	41,4	38,4	39,7	35,8	35,8	32,8	-	-
E	33,2	35,8	34,2	30,1	28,8	23,6	20,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	42,5	42	42,1	41,8	42,2	41,4	41,5	40,1	32,4	31,8	29	27,9	-	-	-	-	-
G	47,3	49,6	43	42,1	41,8	41,4	38,5	36,5	32,2	31	30,8	29,7	26,2	-	-	-	-
H	36,9	37,2	33,9	31,8	28,8	26,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 3 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 0,6mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	58,7	46,4	39,9	34,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	58,5	59	55,5	54,9	55,6	56,9	57,1	59,2	59,2	57,3	52,3	52	43,3	40,3	39,1	36,5	35,9
C	58,5	54,9	57,6	57,6	57,4	58,5	56,3	42	42,5	46,9	46,9	45,9	42,3	38,1	34	36,8	32,3
D	48,9	43,6	41,9	41,6	42,3	40,9	38,6	36,9	33,3	32,2	29,7	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	25,6	22,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	28,9	26,9	25,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 4 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 0,8mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	58,7	43,7	36,4	26,2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	55,5	56,8	55,8	55,4	58,9	56,1	55	54,6	53,2	52,3	46,3	38,9	33,6	29,6	27,5	26,2	-
C	54,2	52,9	50,6	49,8	36,4	45,9	44,5	40,3	33,5	29,6	30,1	28,2	-	-	-	-	-
D	47,4	44,4	42,1	38,8	36	32,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 5 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 1mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	56,9	41	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	58,8	55	53,2	54,3	54,4	54,4	54,6	52,9	53	43,2	-	-	-	-	-	-	-
C	54,2	49,3	44,2	38,8	36,4	33,1	29,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	48,9	32,7	30,7	23,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 6 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 1,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	56,7	33,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	54,8	53,9	52,9	54,1	47,9	44,6	40,9	40,9	38,3	32,9	-	-	-	-	-	-	-
C	53,4	48,8	43,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	46,4	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 7 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 1,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	53,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	54,8	54,5	53,5	44,4	37	29,3	25,8	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	52,5	34,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	40,6	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 8 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 1,6mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	52,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	53,9	52,1	42,1	34,1	27,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	40,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	35,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 9 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 1,8mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	52,5	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	51,9	42,5	38,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	35,1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	37,3	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 10 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	49	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	52	36,1	25,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	20,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	23,7	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 11 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – po odfrézování 2,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	64,1	65,3	65,2	64	63,5	62,4	63,3	62,5	61,3	60,5	60,6	64,5	60,7	64,1	65	63,9	62,2
B8	60,6	60,3	61	60,5	60,3	58,9	60	64,5	62,5	61,5	61,5	62,8	63,5	61	62,6	64	62
C3 ₍₁₎	61,1	60,5	58,7	58,6	59,6	58,6	62,8	58,9	60	60,2	60	62,3	62,4	58,8	60,9	63	62,4
C3 ₍₂₎	59,8	60,1	60,4	58,5	58,6	56,9	62,5	59,6	59,2	59,2	60,1	58,7	61,3	58,9	60	58,9	62
C7 ₍₁₎	61,2	58,7	58,7	60	58,6	60,3	61,7	60,2	60,3	60,1	60	58,8	58,7	59,6	61,3	60,1	60,4
C7 ₍₂₎	59,8	57,6	58	57,3	60,1	57	60,3	58,3	57,6	57,2	58,8	59,3	58	59,4	59,7	58,4	59,7
C7 ₍₃₎ ^[1]	58,1	57,3	55,9	56,8	57,4	56,8	60,2	59,3	59,6	56,8	58,7	56,7	57,8	58,4	56,4	57,6	58,4
C7 ₍₃₎ ^[2]	60,1	58,3	56,9	56,3	56,8	56,9	55,8	59,6	57,6	58,8	58,3	58,8	57	58,8	58	58,9	58,3
C7 ₍₃₎ ^[3]	60	59,3	58,8	57,7	56,8	59,8	58,8	59,7	59,7	59,3	56,4	58,5	56,1	55,8	60,3	59,3	60

Příloha 12 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý experiment po odfrézování 0,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	60	59	61,3	60,7	58,5	58,5	60,3	58,8	56,9	58,4	58,3	57,3	58,9	61,3	61,7	62,4	59,9
B8	59,2	59,7	60,8	60,4	58,1	57,8	58,6	59,5	59,1	58,4	57,9	59,4	59,8	59,5	60,1	61,3	59,9
C3₍₁₎	60,3	60,1	57,8	56,8	57,5	58,4	57,7	57,5	58,5	59,6	58,8	56,7	56,8	59,3	57,9	58,9	57,1
C3₍₂₎	59,2	58,8	58,2	58,2	57,6	55,9	60,1	60,4	55,9	59,1	58,5	57,3	57,1	59	58,6	58,5	60
C7₍₁₎	58,2	57,6	56,7	57,5	56,9	56,5	60,4	59,8	57,8	58,8	57,9	56,6	58,2	56,5	58,5	57,1	57
C7₍₂₎	57,5	57,5	54,9	54,6	55,1	56,9	58,3	57,2	57,4	57	56,4	56,1	57,9	58,3	58,8	58,1	58,9
C7₍₃₎^[1]	56,3	56,9	55,8	55	55,9	56,8	56,5	57,4	55,8	57,2	58,5	55,7	57,2	56,9	58,6	54,8	55,8
C7₍₃₎^[2]	54,3	56,7	55,5	53,8	56,5	55,6	55,3	56,4	55	57,3	58	56,5	56,9	55	55,3	55,3	58,3
C7₍₃₎^[3]	58,2	56,9	55,5	54,5	56,3	57,8	57,8	55,6	55,8	55	54,8	53,6	55,8	55	55,8	58,5	58,5

Příloha 13 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	58,8	58	56,5	56,4	57,8	58,9	55,7	57,2	55,9	55,4	55,9	55,3	57,9	58,1	57,6	57,5	58,7
B8	60,5	60,3	57,9	57,5	56,9	56,4	56,9	58,4	57,4	57,4	57,6	58,3	58,6	59	57,3	58,3	60,3
C3₍₁₎	58,9	57,6	56,3	56,8	55,9	57	56,9	56,9	55,8	59,3	58,1	55,9	54,7	57,5	57,7	58,2	55
C3₍₂₎	58,2	58,2	57,9	57,3	57,5	55,5	58,6	57	55	57,7	57,8	55,9	55,8	58,3	58,8	58,3	57,7
C7₍₁₎	53,7	56,9	52,4	53,8	52,7	55,8	52,7	52,2	52,6	52	56,5	53,5	55,4	56,5	53,7	53,8	54,6
C7₍₂₎	55,1	55,9	54,8	53,3	54,8	56,3	56,5	56,5	56,3	56,6	56	54,8	55,9	58,2	58	54,6	55,1
C7₍₃₎^[1]	53,9	53,5	52,3	53,3	52,9	51,4	55,6	54,7	51,8	56,9	55,5	54,9	55,3	55,1	55,3	53,2	55
C7₍₃₎^[2]	54	56,1	53,8	52,4	56,8	56,3	53,5	52,4	53,8	52,9	53,4	51,9	52,8	56	53,5	55,3	56
C7₍₃₎^[3]	53,8	54,2	53,6	54,5	55,4	56,5	56,8	55,5	52,3	54	53,8	51,8	55,8	55,8	55,3	55,3	52,8

Příloha 14 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,6mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	55,9	55,9	56,5	54,9	52,9	54,3	57,9	55,1	56,5	55,1	56,8	55,9	55,8	53,6	53,6	54,2	53,5
B8	58,7	58,8	53,7	54,4	53,9	53,4	55,3	57,6	54,8	56,3	56,5	58	53,5	54,6	54,3	54,9	54,1
C3₍₁₎	58	56,7	56,7	55,8	55,8	55,9	58,4	57	55,8	55,7	57	55,8	54,9	57,6	56,5	57,8	55,1
C3₍₂₎	58,9	58,6	54,7	56,9	54,9	51,9	55,1	52,9	56,8	56,8	56,5	54,8	55,7	56,9	58,7	58,3	57
C7₍₁₎	40,2	40,9	39,9	35,6	39,7	38,6	41,6	40,8	42,4	41,2	42,8	40,9	41,9	40,9	40,2	40,8	41,3
C7₍₂₎	38,6	39,7	37,6	38,4	44,7	45,8	45,6	46,4	47,8	48,7	42,4	40,1	40,3	36,9	39,8	39,4	38,9
C7₍₃₎^[1]	40,2	39,9	39,9	38,7	39,8	39,7	37,4	36,5	37,4	38,9	40,1	40,2	40,7	40,8	40,9	39,4	39
C7₍₃₎^[2]	40	40,4	40,5	44,2	39,9	40,1	39,9	35,4	38,9	37,6	38,3	40,3	40,6	40,9	43,1	43,9	40,5
C7₍₃₎^[3]	38,7	40,1	45,6	44,8	47,5	40,5	35,6	37,8	37,5	38,9	39,6	40,6	40,4	39,8	43,2	40,2	40,3

Příloha 15 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,8mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	52,4	54,6	55,6	56,3	56,4	54,5	55,4	56,9	55,8	55,3	55,6	54,3	55,3	51,7	50,3	52,9	51,9
B8	58	57,6	55,4	53,2	54,8	55,6	54	54,8	57	54	53,4	53,9	55,5	52,4	51,9	53,8	52,1
C3 ₍₁₎	55,4	55,9	55	53,5	54,9	55,7	55,9	54,9	55,1	55,1	54,9	54,5	52,3	53,8	54,5	55,7	54,6
C3 ₍₂₎	56,5	55,6	53,5	55	53,8	52,3	52,4	51,9	55	53,9	53,4	53	53,2	55,1	52	52,3	51,1
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 16 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	51,9	53,1	52,3	51,6	52	50,9	50,6	50,7	51,1	50,6	50,6	50,5	50,7	50,5	50	48,8	51
B8	52	52,2	53,2	50,5	51,8	52	50,4	50,7	51,4	51	51,2	50,7	50	48,5	48,7	51	47,8
C3 ₍₁₎	40,1	37,6	38,2	38	38,5	39,3	38,8	37,6	36,1	36,3	33,9	35,9	36,9	33,6	32,4	31,8	31,2
C3 ₍₂₎	35,6	37,4	38,2	38,9	35,9	39,4	36,9	36,5	37,7	35,6	33,9	38,6	35,6	33,9	31,9	32	33,1
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 17 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	38,8	35,8	38,8	37,7	31,9	31,8	32,5	42	42,4	38,4	38,9	31,9	34,8	33,6	31,2	33,2	32
B8	35,9	36,3	34,5	35,8	33,9	33,4	38,9	42,4	38,9	33,7	32,9	33,8	32,8	33,7	33,8	33	30,9
C3 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 18 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	37,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B8	34,9	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 19 dosažené tvrdosti [HRC] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,6mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	225	220	215	200	200	200	190	180	150	140	120	120	110	110	100	100	100
B	215	210	205	210	210	205	200	195	190	170	155	150	150	145	120	110	110
C	140	140	135	130	130	120	120	125	115	120	125	125	110	115	120	115	115
D	160	160	145	130	125	120	120	120	110	100	100	100	100	100	100	90	85
E	135	125	125	95	85	85	80	80	80	80	80	80	70	60	50	40	40
F	145	145	145	140	140	140	135	125	120	115	110	110	100	100	100	100	100
G	140	140	140	140	140	140	130	125	125	125	125	120	115	110	110	110	100
H	120	120	115	100	100	100	100	100	100	100	100	100	100	98	80	80	75

Příloha 20 hodnoty složky řezné síly F_x [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	90	90	90	80	80	70	75	60	55	55	50	50	50	45	40	35	35
B	240	235	235	230	225	225	185	185	160	100	90	80	80	80	80	75	75
C	125	120	120	115	110	110	120	110	110	110	100	110	105	105	105	100	100
D	145	145	145	140	140	135	130	85	90	90	65	60	60	60	45	45	35
E	85	80	80	80	80	75	75	70	70	70	60	55	50	50	40	35	25
F	120	110	100	100	100	100	100	85	85	70	70	60	60	45	40	40	35
G	100	100	100	100	100	100	100	90	95	85	80	65	55	50	35	35	35
H	100	100	90	90	75	70	70	75	70	75	70	60	50	45	45	40	40

Příloha 21 hodnoty složky řezné síly F_y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	90	90	90	90	90	80	80	80	65	65	70	65	60	55	45	45	40
B	130	125	120	120	120	120	120	110	100	100	100	100	75	70	60	60	50
C	85	95	90	850	80	85	90	90	85	85	80	80	80	85	85	85	80
D	90	85	80	85	85	80	80	80	70	65	65	65	65	45	40	40	40
E	90	80	80	75	75	75	70	70	70	65	65	65	60	60	45	40	35
F	120	115	110	100	95	90	85	85	85	80	80	80	80	75	65	55	40
G	125	120	110	105	105	100	100	95	90	90	80	75	75	65	65	60	50
H	120	100	90	90	85	85	85	75	75	70	70	70	70	55	45	40	35

Příloha 22 hodnoty složky řezné síly F_z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	100	100	100	100	100	75	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	150	150	150	135	135	120	120	120	115	110	110	110	110	110	100	100	90
C	150	135	120	115	110	110	110	100	100	100	100	90	85	85	85	80	80
D	140	130	120	110	110	85	80	80	75	85	80	80	70	70	70	-	-
E	90	85	80	80	75	75	70	70	55	50	-	-	-	-	-	-	-
F	135	135	130	125	120	110	110	100	100	100	100	100	90	90	90	85	80
G	160	150	140	135	130	125	120	115	90	90	90	85	90	90	85	80	80
H	110	90	90	90	85	80	75	65	60	60	40	-	-	-	-	-	-

Příloha 23 hodnoty složky řezné síly F_x [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	50	50	75	65	50	55	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	100	80	100	80	85	90	80	80	85	75	75	75	70	70	65	65	65
C	90	80	100	75	60	65	60	65	75	75	75	65	65	65	55	50	50
D	100	80	60	70	75	65	70	70	70	70	70	65	70	55	45	-	-
E	60	65	65	75	85	70	75	70	65	50	-	-	-	-	-	-	-
F	70	75	75	70	80	90	85	90	70	60	60	70	75	65	65	50	55
G	70	80	85	70	65	85	90	75	85	65	75	65	60	70	55	55	55
H	75	80	75	80	60	65	60	55	55	50	40	-	-	-	-	-	-

Příloha 24 hodnoty složky řezné síly F_y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	80	80	70	80	80	60	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	200	200	200	200	200	210	150	125	105	105	100	75	75	70	65	60	50
C	150	160	165	165	155	135	115	120	85	90	80	90	80	55	55	55	55
D	100	100	100	100	100	100	95	100	85	85	55	55	50	50	50	-	-
E	80	85	75	80	85	75	80	60	55	50	-	-	-	-	-	-	-
F	200	165	160	125	100	110	95	90	90	85	80	85	90	85	80	60	50
G	220	220	215	160	215	200	150	90	80	80	75	70	60	60	60	60	60
H	85	80	90	80	80	80	80	70	70	50	50	-	-	-	-	-	-

Příloha 25 hodnoty složky řezné síly F_Z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	95	90	70	80	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	200	150	140	140	130	130	125	120	115	115	110	110	100	95	75	70	55
C	140	140	135	135	125	120	115	115	115	105	100	95	95	80	65	55	50
D	100	100	105	90	95	95	75	80	75	80	80	80	80	80	60	-	-
E	100	90	85	65	65	65	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	100	100	95	85	80	75	75	70	65	60	60	60	-	-	-	-	-
G	100	90	90	90	90	85	85	65	60	65	65	65	55	-	-	-	-
H	80	75	65	60	55	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 26 hodnoty složky řezné síly F_X [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,6mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	75	70	70	65	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	140	120	105	105	105	100	100	100	90	80	80	80	65	65	60	60	55
C	110	105	105	105	105	100	95	95	95	95	95	90	75	70	65	60	55
D	105	75	85	100	100	100	95	90	90	70	65	65	65	60	60	-	-
E	75	75	70	65	65	60	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	100	100	100	100	100	90	80	80	80	80	80	65	-	-	-	-	-
G	130	110	100	100	95	95	85	85	80	75	75	55	50	-	-	-	-
H	80	60	60	55	50	40	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 27 hodnoty složky řezné síly F_Y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,6mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	220	200	130	105	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	250	250	245	230	220	130	105	105	100	100	100	100	90	90	90	80	60
C	240	225	200	200	190	170	165	150	115	110	90	85	85	85	80	75	60
D	110	90	90	85	85	85	85	80	80	75	75	75	70	70	65	-	-
E	100	90	80	80	70	70	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	240	220	200	170	130	135	120	100	100	80	70	60	-	-	-	-	-
G	220	200	175	150	125	105	100	100	100	90	85	85	60	-	-	-	-
H	105	80	75	70	70	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 28 hodnoty složky řezné síly F_Z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,6mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	80	75	70	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	105	100	100	95	90	85	80	70	80	80	75	65	75	60	50	50	50
C	120	85	80	75	70	70	70	70	60	60	60	55	55	55	55	50	50
D	85	75	75	70	70	70	70	65	65	60	55	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	100	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	100	90	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 29 hodnoty složky řezné síly F_X [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,8mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	80	80	65	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	95	95	90	85	70	80	80	75	70	70	65	60	60	60	60	50	50
C	100	75	75	70	70	70	65	65	60	60	60	60	55	55	50	50	50
D	70	70	70	60	65	65	55	60	60	55	50	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	100	85	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	105	80	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 30 hodnoty složky řezné síly F_Y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,8mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	80	80	75	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	115	105	100	95	95	90	90	85	80	85	80	70	70	70	60	50	50
C	120	115	100	100	85	85	85	75	70	70	65	65	55	50	50	45	40
D	100	95	90	95	90	80	80	70	65	65	55	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	90	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	90	90	90	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 31 hodnoty složky řezné síly F_z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 0,8mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	80	80	75	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	100	100	100	100	100	90	65	70	70	65	65	60	60	55	55	55	-
C	100	100	90	90	90	80	80	80	70	55	55	55	-	-	-	-	-
D	90	85	85	60	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 32 hodnoty složky řezné síly F_x [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	75	65	55	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	80	70	70	65	65	65	60	60	60	60	60	55	55	55	55	55	-
C	85	80	70	70	65	60	60	60	60	55	55	55	-	-	-	-	-
D	70	60	65	60	55	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 33 hodnoty složky řezné síly F_y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	70	65	65	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	100	100	100	80	75	75	65	65	65	60	60	60	50	50	50	35	-
C	90	90	90	85	85	70	80	70	70	65	55	40	-	-	-	-	-
D	95	85	75	80	70	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 34 hodnoty složky řezné síly F_z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	90	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	115	100	105	85	95	90	85	70	70	55	-	-	-	-	-	-	-
C	90	80	70	55	50	45	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	80	65	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 35 hodnoty složky řezné síly F_x [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	90	80	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	100	95	90	85	90	95	75	80	75	70	-	-	-	-	-	-	-
C	70	80	70	80	60	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	70	80	65	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 36 hodnoty složky řezné síly F_y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	75	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	80	80	80	60	65	55	65	60	50	40	-	-	-	-	-	-	-
C	75	65	50	55	50	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	60	55	55	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 37 hodnoty složky řezné síly F_z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	65	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	80	80	80	75	70	75	55	60	55	45	-	-	-	-	-	-	-
C	65	55	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 38 hodnoty složky řezné síly F_x [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	70	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	100	70	70	75	85	60	55	60	55	45	-	-	-	-	-	-	-
C	65	65	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	70	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 39 hodnoty složky řezné síly F_y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	80	75	70	65	65	60	55	60	45	45	-	-	-	-	-	-	-
C	50	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 40 hodnoty složky řezné síly F_z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313

– první náměr po odfrézování 1,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	70	65	60	55	60	60	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	65	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 41 hodnoty složky řezné síly F_x [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313

– první náměr po odfrézování 1,6mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	70	75	60	65	65	60	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	55	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 42 hodnoty složky řezné síly F_y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313

– první náměr po odfrézování 1,6mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	70	55	50	45	50	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	50	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 43 hodnoty složky řezné síly F_z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,6mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	55	55	55	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 44 hodnoty složky řezné síly F_x [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,8mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	55	60	55	60	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 45 hodnoty složky řezné síly F_y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,8mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	55	55	55	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 46 hodnoty složky řezné síly F_z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 1,8mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	55	55	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 47 hodnoty složky řezné síly F_x [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	60	50	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 48 hodnoty složky řezné síly F_y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	55	55	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 49 hodnoty složky řezné síly F_z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	55	50	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 50 hodnoty složky řezné síly F_x [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 2,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	55	55	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 51 hodnoty složky řezné síly F_y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 2,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
A	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B	50	45	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
D	45	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
E	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
F	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
G	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
H	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 52 hodnoty složky řezné síly F_z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – první náměr po odfrézování 2,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	120	115	115	115	105	105	90	85	75	100	85	75	85	75	85	85	85
B8	125	115	115	105	100	95	85	110	85	110	100	80	85	100	80	85	90
C3 ₍₁₎	100	110	100	115	105	95	95	105	100	125	85	90	95	110	90	95	85
C3 ₍₂₎	100	150	90	85	100	90	80	85	80	140	140	90	90	105	85	90	80
C7 ₍₁₎	100	140	100	120	160	100	90	100	90	95	85	90	100	105	100	80	85
C7 ₍₂₎	105	130	95	95	100	90	115	150	90	95	80	90	100	95	100	80	85
C7 ₍₃₎ ^[1]	100	120	100	90	105	85	100	105	95	85	80	90	115	105	90	80	85
C7 ₍₃₎ ^[2]	100	90	120	90	100	105	90	120	90	90	80	85	110	100	100	90	80
C7 ₍₃₎ ^[3]	90	100	105	90	105	90	85	105	95	95	85	85	100	105	95	85	85

Příloha 53 hodnoty složky řezné síly F_x [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	110	105	115	115	95	105	95	85	75	100	85	80	85	80	85	85	85
B8	115	105	95	105	105	95	85	110	85	110	105	85	95	90	80	85	85
C3 ₍₁₎	110	110	90	95	95	95	90	95	105	105	95	90	95	115	95	85	85
C3 ₍₂₎	105	110	95	90	105	95	85	80	95	115	105	95	90	90	85	90	80
C7 ₍₁₎	110	100	100	100	110	100	90	80	90	85	85	85	105	95	95	85	75
C7 ₍₂₎	115	110	105	95	105	100	95	100	95	85	80	95	90	90	90	85	85
C7 ₍₃₎ ^[1]	90	100	110	95	95	95	90	95	85	75	85	90	100	95	75	75	85
C7 ₍₃₎ ^[2]	95	85	110	95	95	100	95	110	90	80	100	95	100	90	95	80	80
C7 ₍₃₎ ^[3]	90	90	100	100	95	85	95	85	85	85	95	95	90	100	100	85	75

Příloha 54 hodnoty složky řezné síly F_y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	150	115	160	205	135	170	210	170	130	120	120	125	130	150	160	140	150
B8	200	200	150	150	140	140	120	100	105	100	95	120	110	105	95	100	105
C3₍₁₎	125	150	150	150	155	105	105	105	95	95	130	130	130	110	150	90	100
C3₍₂₎	140	200	115	100	110	105	105	110	105	125	105	115	95	110	115	95	95
C7₍₁₎	170	160	200	165	210	210	200	150	200	205	120	150	105	115	120	100	95
C7₍₂₎	210	240	200	290	220	250	260	240	260	290	305	160	200	160	190	150	130
C7₍₃₎^[1]	260	260	240	340	270	260	260	260	220	235	260	190	160	140	180	210	150
C7₍₃₎^[2]	250	270	200	260	210	190	250	240	170	220	250	200	150	150	210	210	180
C7₍₃₎^[3]	215	240	190	225	200	200	230	220	180	185	220	175	140	170	200	180	190

Příloha 55 hodnoty složky řezné síly F_z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313

– druhý náměr po odfrézování 0,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	100	110	100	110	95	100	95	85	115	105	90	85	90	95	85	90	90
B8	110	95	100	100	110	95	90	90	100	100	95	95	85	85	85	100	75
C3₍₁₎	100	100	95	110	110	90	80	100	100	100	95	100	80	95	90	90	80
C3₍₂₎	105	90	85	95	95	95	90	95	85	95	105	100	85	95	95	80	75
C7₍₁₎	110	105	125	85	95	110	85	80	90	100	105	90	100	95	80	80	80
C7₍₂₎	125	95	105	95	100	110	90	90	95	100	105	90	110	95	95	85	85
C7₍₃₎^[1]	140	110	115	100	90	100	90	100	100	100	100	100	95	90	90	95	90
C7₍₃₎^[2]	130	110	105	100	95	95	95	95	100	100	100	90	90	95	100	95	90
C7₍₃₎^[3]	125	115	95	110	90	95	95	100	100	100	80	85	105	95	95	90	85

Příloha 56 hodnoty složky řezné síly F_x [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313

– druhý náměr po odfrézování 0,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	75	75	100	110	75	100	85	85	75	105	90	75	100	105	90	80	90
B8	110	95	100	100	110	95	90	100	80	100	95	115	115	85	100	110	85
C3₍₁₎	105	110	85	110	110	80	85	130	115	150	95	100	85	85	110	90	80
C3₍₂₎	105	90	100	90	90	85	85	90	80	90	105	100	105	90	90	90	75
C7₍₁₎	105	85	120	85	90	110	85	85	90	100	145	90	100	95	100	80	80
C7₍₂₎	95	95	115	90	90	105	90	90	95	100	125	90	100	95	105	85	85
C7₍₃₎^[1]	120	100	105	100	100	100	90	100	100	100	100	100	95	90	90	95	90
C7₍₃₎^[2]	110	100	95	100	95	90	95	95	95	100	100	95	90	90	100	95	85
C7₍₃₎^[3]	95	95	90	95	90	95	100	100	95	110	90	85	100	95	95	85	80

Příloha 57 hodnoty složky řezné síly F_y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313

– druhý náměr po odfrézování 0,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	90	85	105	110	110	85	120	120	100	85	85	85	95	95	100	105	100
B8	150	165	170	165	160	150	155	120	125	120	115	125	165	170	120	100	85
C3₍₁₎	95	85	90	105	115	120	125	100	95	90	80	85	95	105	100	110	95
C3₍₂₎	100	90	100	110	95	105	140	100	75	90	85	90	75	100	85	85	75
C7₍₁₎	140	100	90	90	100	125	115	95	105	95	90	90	90	100	90	90	90
C7₍₂₎	120	105	85	95	105	105	95	90	100	90	85	85	100	105	85	90	85
C7₍₃₎^[1]	140	150	100	85	100	115	200	120	150	165	95	110	105	120	105	85	100
C7₍₃₎^[2]	150	130	95	100	100	105	185	120	130	135	130	115	110	115	105	105	125
C7₍₃₎^[3]	165	150	100	90	105	100	165	125	140	150	140	120	110	95	100	100	110

Příloha 58 hodnoty složky řezné síly $F_{z}[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	95	115	120	110	115	110	105	120	115	100	95	120	105	95	95	95	85
B8	100	100	120	120	115	105	100	105	140	90	85	80	100	80	95	105	80
C3₍₁₎	120	120	120	105	115	110	90	80	85	100	95	90	95	100	65	70	50
C3₍₂₎	120	120	100	100	95	105	90	90	85	95	95	90	90	110	65	60	60
C7₍₁₎	135	100	95	95	115	105	105	100	100	95	105	90	95	100	110	80	75
C7₍₂₎	120	100	95	95	115	110	110	100	95	100	95	90	95	95	100	85	85
C7₍₃₎^[1]	110	100	100	105	100	105	85	85	100	100	100	100	95	100	95	80	75
C7₍₃₎^[2]	110	105	105	95	100	105	90	80	95	95	105	105	95	95	95	85	80
C7₍₃₎^[3]	120	115	110	100	120	110	100	80	100	95	120	110	90	100	90	85	80

Příloha 59 hodnoty složky řezné síly $F_{x}[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,6mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	90	90	95	100	95	90	90	90	95	85	85	85	90	85	85	75	70
B8	90	85	90	110	90	90	90	95	95	80	90	90	90	90	90	75	75
C3₍₁₎	100	85	100	90	90	105	100	95	100	90	100	90	95	85	90	80	75
C3₍₂₎	100	95	100	90	85	90	110	95	105	100	100	90	90	75	90	80	80
C7₍₁₎	95	90	90	100	105	105	105	95	105	105	95	105	95	85	75	80	80
C7₍₂₎	100	105	100	90	125	95	95	95	95	95	55	100	105	100	70	80	80
C7₍₃₎^[1]	105	105	90	90	95	80	115	110	100	100	85	90	95	100	90	80	70
C7₍₃₎^[2]	110	105	95	90	95	85	100	105	100	100	90	90	95	95	85	75	70
C7₍₃₎^[3]	105	105	105	95	105	90	105	105	105	105	90	85	90	90	85	80	80

Příloha 60 hodnoty složky řezné síly $F_{y}[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,6mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	290	200	130	180	270	260	335	300	100	150	230	265	350	205	155	115	70
B8	400	410	340	375	175	215	250	265	380	380	370	205	270	250	195	150	100
C3₍₁₎	300	210	200	175	165	155	150	130	130	120	100	95	90	90	80	65	65
C3₍₂₎	280	270	190	185	170	175	175	160	115	95	95	95	95	95	90	85	80
C7₍₁₎	405	410	405	320	385	350	370	240	225	175	150	150	140	130	135	90	80
C7₍₂₎	430	410	360	340	365	370	250	200	275	150	160	155	135	115	110	105	80
C7₍₃₎^[1]	340	300	285	300	300	300	275	200	220	200	180	130	140	115	100	95	80
C7₍₃₎^[2]	300	350	310	315	330	250	230	200	200	190	170	150	145	115	110	80	80
C7₍₃₎^[3]	315	270	255	235	225	205	200	190	185	150	145	125	145	130	100	90	70

Příloha 61 hodnoty složky řezné síly $F_{z}[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,6mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	130	105	125	100	120	125	110	110	105	90	80	75	65	65	65	65	65
B8	150	125	110	110	105	115	95	95	85	85	85	80	80	65	65	65	65
C3₍₁₎	105	105	100	150	125	140	105	95	90	85	80	75	75	75	70	65	50
C3₍₂₎	110	95	95	120	105	120	95	95	95	95	90	85	80	70	70	70	55
C7₍₁₎	200	200	190	175	165	120	105	100	85	80	70	75	70	70	70	70	70
C7₍₂₎	195	180	155	145	140	125	100	100	90	90	85	80	75	75	75	75	70
C7₍₃₎^[1]	190	200	165	125	120	105	105	100	95	95	90	90	85	80	80	75	70
C7₍₃₎^[2]	180	210	195	120	145	125	105	100	100	90	85	80	80	75	75	60	55
C7₍₃₎^[3]	165	220	235	105	115	130	100	100	95	90	85	85	80	75	70	70	55

Příloha 62 hodnoty složky řezné síly $F_{x}[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,8mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	130	125	115	85	90	80	80	75	75	70	70	70	65	65	60	60	55
B8	140	115	105	95	95	90	80	75	70	70	65	60	65	60	60	55	50
C3₍₁₎	130	115	115	100	100	100	100	90	85	80	80	80	80	70	65	55	50
C3₍₂₎	120	125	125	115	100	100	95	80	70	65	65	65	60	55	50	50	50
C7₍₁₎	115	120	105	110	100	95	95	90	90	95	85	85	70	65	60	60	55
C7₍₂₎	120	125	95	95	105	95	90	90	90	90	80	80	75	70	75	65	65
C7₍₃₎^[1]	105	105	110	100	95	105	100	95	95	90	80	70	60	60	55	55	55
C7₍₃₎^[2]	130	120	95	100	95	105	100	105	95	95	75	70	65	60	60	55	50
C7₍₃₎^[3]	135	115	105	105	95	95	100	105	95	95	80	70	65	60	60	55	55

Příloha 63 hodnoty složky řezné síly $F_{y}[N]$ po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,8mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	165	165	160	160	150	130	110	105	100	100	85	85	85	80	80	80	70
B8	265	255	250	255	245	165	165	150	140	110	105	100	90	70	70	70	70
C3 ₍₁₎	300	315	320	290	275	190	150	180	150	130	95	85	85	80	80	80	80
C3 ₍₂₎	315	320	320	190	150	120	115	115	105	105	100	105	95	80	80	80	80
C7 ₍₁₎	310	305	305	215	170	150	140	120	105	115	120	110	100	95	75	75	70
C7 ₍₂₎	280	285	315	180	130	140	120	105	105	105	95	85	85	90	70	70	65
C7 ₍₃₎ ^[1]	290	315	270	170	145	145	125	100	115	110	75	95	90	80	65	70	55
C7 ₍₃₎ ^[2]	305	305	280	240	165	135	120	145	115	100	95	90	90	90	80	70	65
C7 ₍₃₎ ^[3]	320	290	255	155	160	155	135	125	105	100	80	85	90	80	80	70	65

Příloha 64 hodnoty složky řezné síly F_Z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 0,8mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	150	125	115	115	110	110	110	110	100	105	105	90	85	85	80	75	70
B8	165	115	115	115	110	115	120	100	105	90	90	100	90	80	85	75	70
C3 ₍₁₎	105	105	105	105	105	95	95	95	90	95	90	80	80	80	75	75	60
C3 ₍₂₎	120	100	105	120	115	105	100	90	90	85	80	80	80	75	70	55	55
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 65 hodnoty složky řezné síly F_X [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	95	95	90	90	95	80	80	80	75	75	75	75	60	65	55	50	50
B8	125	125	120	90	100	80	80	85	80	75	75	75	75	70	65	60	60
C3 ₍₁₎	80	80	75	70	70	65	65	65	65	65	55	65	55	50	60	50	50
C3 ₍₂₎	80	80	70	70	65	55	60	60	55	60	55	55	55	50	55	50	50
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 66 hodnoty složky řezné síly F_Y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	425	380	375	315	340	310	305	185	175	135	120	95	80	75	75	65	65
B8	440	310	350	325	325	365	280	215	180	165	145	110	100	80	75	65	65
C3 ₍₁₎	305	300	270	260	265	255	215	185	195	125	95	80	70	75	65	55	55
C3 ₍₂₎	295	290	245	245	270	240	205	170	155	105	80	65	60	50	55	50	50
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 67 hodnoty složky řezné síly F_z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	90	80	80	80	80	75	70	70	70	70	65	65	65	65	65	65	60
B8	105	80	80	80	85	90	75	75	75	75	75	75	70	70	70	70	60
C3 ₍₁₎	95	70	65	60	60	60	60	60	60	60	55	55	55	55	55	50	50
C3 ₍₂₎	70	60	65	65	65	65	65	65	60	55	60	55	55	50	55	55	45
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 68 hodnoty složky řezné síly F_x [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	75	65	60	70	65	75	70	70	70	70	65	65	65	65	65	65	60
B8	75	80	65	65	65	70	65	60	60	70	55	55	60	55	50	50	50
C3 ₍₁₎	65	60	55	50	50	50	50	50	50	50	55	45	45	45	45	40	40
C3 ₍₂₎	60	60	55	55	50	50	50	65	50	50	50	45	45	40	45	45	45
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 69 hodnoty složky řezné síly F_y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	100	100	85	75	65	65	65	60	60	65	55	50	50	55	55	50	45
B8	100	90	85	80	70	70	70	70	65	65	65	65	60	55	55	55	55
C3 ₍₁₎	80	65	65	65	65	60	50	50	50	45	50	45	40	40	40	45	40
C3 ₍₂₎	75	70	70	55	60	60	60	60	55	60	60	55	55	55	50	40	40
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 70 hodnoty složky řezné síly F_z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,2mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	80	70	75	70	65	65	65	70	70	60	60	60	60	60	60	50	45
B8	85	80	75	75	70	70	70	70	65	65	65	60	60	60	60	55	50
C3 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 71 hodnoty složky řezné síly F_x [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	85	80	75	75	65	60	65	70	70	60	60	50	55	50	50	50	45
B8	95	80	80	75	75	70	55	60	55	65	65	60	55	50	55	55	50
C3 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 72 hodnoty složky řezné síly F_y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	105	90	100	90	70	70	70	70	70	65	60	60	60	45	45	50	45
B8	115	105	95	80	75	75	65	65	65	60	70	65	65	65	65	55	55
C3 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 73 Příloha 98 hodnoty složky řezné síly F_Z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,4mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	60	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B8	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 74 hodnoty složky řezné síly F_X [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,6mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	50	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B8	65	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 75 hodnoty složky řezné síly F_Y [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313 – druhý náměr po odfrézování 1,6mm

pořadí stop	1.	2.	3.	4.	5.	6.	7.	8.	9.	10.	11.	12.	13.	14.	15.	16.	17.
B3	55	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
B8	75	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C3 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₁₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₂₎	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[1]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[2]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-
C7 ₍₃₎ ^[3]	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-

Příloha 76 hodnoty složky řezné síly F_z [N] po povrchovém zpracování vzorku z oceli ČSN 19 313

– druhý náměr po odfrézování 1,6mm