



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ROZBOR TRVANLIVOSTI A NÁKLADŮ MONOLITNÍCH FRÉZOVACÍCH A VRTACÍCH NÁSTROJŮ

ANALYSIS OF DURABILITY AND COSTS OF MONOLITHIC MILLING AND DRILLING TOOLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

David Kašpar

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2020

Zadání bakalářské práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	David Kašpar
Studijní program:	Strojírenství
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	Ing. Milan Kalivoda
Akademický rok:	2019/20

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Rozbor trvanlivosti a nákladů monolitních frézovacích a vrtacích nástrojů

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Vytipované obráběcí nástroje jsou použity v experimentech obrábění za různých podmínek v konkrétní firmě. Získaná data jsou vyhodnocena jak technicky, tak ekonomicky.

Cíle bakalářské práce:

- Specifikace parametrů monolitních nástrojů pro frézování a vrtání
- Experimentálně–výpočtové zjišťování trvanlivosti frézovacích nástrojů
- Experimentálně–výpočtové zjišťování trvanlivosti vrtacích nástrojů
- Rozbor sériovosti výroby zadané součásti
- Technicko–ekonomické zhodnocení získaných dat z obrábění

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. Nástrojové oceli. 1. vyd. Brno: Dům techniky Brno, 1994. 234 s.

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s. r. o., 2008. 240 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

KARPÍŠEK, Zdeněk. Matematika IV: Statistika a pravděpodobnost. 3. vyd. Olomučany: CERM, s. r. o., 2007. 170 s. ISBN 978-80-241-3380-9.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu I. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

PTÁČEK, Luděk et al. Nauka o materiálu II. 2. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 516 s. ISBN 80-72-4283-1.

SAMEK, Radko, Zdeněk LIDMILA a Eva Šmehlíková. Speciální technologie tváření, 2. část. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2011. 163 s. ISBN 987-80-214-4406-5.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. p. 651. ISBN 0-19-514206-3.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

Bakalářská práce se zabývá trvanlivostí rozdílných typů monolitních vrtacích a frézovacích nástrojů z rychlořezné oceli a slinutého karbidu. Teoretická část se zabývá trvanlivostí, možnými typy opotřebení monolitních vrtacích a frézovacích nástrojů a okolností souvisejících s opotřebením. V praktické části je zkoumána trvanlivost rozdílných druhů nástrojů pro vrtání a frézování, jejich porovnání z hlediska ceny a produktivity obrábění a jejich vliv na výrobní náklady, při výrobě jednoduchého dílce.

Klíčová slova

vrtání, frézování, opotřebení, trvanlivost, náklady, rychlořezná ocel, slinutý karbid

ABSTRACT

This bachelor thesis deals with the durability of different types of monolithic drilling and milling tools made of high-speed steel and sintered carbide. The theoretical part deals with durability, possible types of wear of monolithic drilling and milling tools and related circumstances. The practical part examines the durability of different types of tools for drilling and milling, their comparison in terms of cost and productivity of machining and their impact on production costs in the production of a simple part.

Keywords

drilling, milling, wear, durability, costs, high-speed steel, sintered carbide

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KAŠPAR, David. *Rozbor trvanlivosti a nákladů monolitních frézovacích a vrtacích nástrojů* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-10]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124700>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 78 s. 11 příloh. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Rozbor trvanlivosti a nákladů monolitních frézovacích a vrtacích nástrojů** vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

26.6.2020

Datum

David Kašpar

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji Ing. Milanu Kalivodovi z VUT v Brně, za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vykonávání bakalářské práce.

Dále děkuji firmě Kavale spol. s r.o. za možnost realizovat praktickou část bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	10
1 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH TECHNOLOGIÍ	11
1.1 Technologie vrtání	11
1.1.1 Kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovým vrtákem	12
1.1.2 Řezné podmínky	13
1.2 Technologie frézování	13
1.2.1 Kinematika obráběcího procesu	14
1.2.2 Řezné podmínky	16
2 MATERIÁLY NÁSTROJŮ	18
2.1 Rychlořezné oceli (HSS)	19
2.2 Slinuté karbidy (SK)	21
2.3 Povlakování řezných nástrojů	23
2.3.1 Metoda CVD	23
2.3.2 Metoda PVD	23
2.3.3 Druhy povlaků	24
3 MODERNÍ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ	25
3.1 High Speed Cutting	25
3.2 High Performance Cutting	25
3.3 Obrábění nasucho a obrábění s minimálním mazáním	26
3.4 High Feed Cutting	26
4 OPOTŘEBENÍ A TRVANLIVOST ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ	27
4.1 Otopování břitu	27
4.2 Formy opotřebení	28
4.2.1 Typy opotřebení monolitních stopkových fréz	28
4.2.2 Typy opotřebení šroubových vrtáků	32
4.3 Vliv tepla na obrábění	34
4.4 Trvanlivost řezných nástrojů	36
5 PARAMETRIZACE ZVOLENÝCH NÁSTROJŮ	38
5.1 Nástroje pro vrtání	38
5.2 Nástroje pro frézování	39
6 PROVEDENÍ EXPERIMENTU	41
6.1 Stroj použitý pro testy	41
6.2 Zkouška trvanlivosti vrtacích nástrojů	43
6.2.1 Obráběný materiál	43

6.2.2	Volba řezných podmínek.....	44
6.2.3	Provedení experimentu	44
6.2.4	Vyhodnocení experimentu.....	45
6.3	Zkouška trvanlivosti frézovacích nástrojů	50
6.3.1	Obráběný materiál.....	50
6.3.2	Volba řezných podmínek.....	51
6.3.3	Provedení experimentu	51
6.3.4	Vyhodnocení experimentu.....	53
6.4	Zhodnocení získaných dat.....	56
7	ROZBOR VLIVU NÁSTROJŮ NA VÝROBU	58
7.1	Obráběná součást	58
7.2	Řezné podmínky.....	58
7.3	Zhodnocení variant	59
8	DISKUSE	65
8.1	Testování HSS nástrojů.....	65
8.2	Namotávání třísek při vrtání.....	65
8.3	Testování frézovacích nástrojů	65
8.4	Nepříznivé vlivy při obrábění.....	66
8.5	Ostření nástrojů	66
8.6	Nákladová analýza	68
	ZÁVĚR	69
	SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	70
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	74
	SEZNAM PŘÍLOH	78

ÚVOD

Obrábění kovů je součástí výrobního procesu řady různých dílů. Je důležité, aby obrábění bylo efektivní, výrobky konkurenceschopné s ohledem na výrobní náklady. Významného zlepšení obrábění je možno dosáhnout za předpokladu správného zvolení nástrojů. Efektivní obrábění zvyšuje rychlejší návratnost nákladů, zvyšuje výkon stroje a zproduktivňuje práci obsluhy. V obrábění kovů jsou náklady na jeden díl tvořeny několika částmi. Jednou z nich jsou náklady na řezný nástroj, které tvoří část z celkových výrobních nákladů obráběné součásti. Dnešní trh nabízí řadu rozdílných nástrojů od různých výrobců. Jejich trvanlivost a produktivita mají významný vliv na samotný proces obrábění, rozsah prostojů stroje, počet potřebných operací, čas, který musí díly strávit ve výrobním závodě, počet nástrojů, které musí být na skladě, proto je důležité zvolit pro danou zakázku takové nástroje, které budou nejvýhodnější jak z technologického tak z ekonomického hlediska. [1]

Bakalářská práce se zabývá porovnáním vybraných monolitních nástrojů z rychlořezné oceli a slinutého karbidu pro technologii vrtání a frézování (obr. 0.1), určování jejich trvanlivosti v řezu, zkoumáním produktivity a jejich vlivu na výrobu jednoduchého dílce, při vzájemném porovnání.



Obr. 0.1 stopková fréza a šroubovitý vrták [2].

1 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH TECHNOLOGIÍ

V bakalářské práci byly použity technologie vrtání a frézování, proto je dobré si připomenout jejich stručnou charakteristiku.

1.1 Technologie vrtání

Vrtání je výrobní metoda, kterou se zhotovují nebo zvětšují již předvrtané díry. Hlavní pohyb je rotační a lze ho vykonávat nástrojem i obrobkem. Osa vrtáku je obvykle kolmá k ploše, ve které vstupuje vrták do obráběného materiálu. Posuvový pohyb probíhá ve směru osy vrtáku (obr. 1.1). [3, 6]

Charakteristickou vlastností je, že se podél hlavního ostří od středu nástroje směrem k obvodu zvyšuje řezná rychlost, a tak na hranách břitu vzniká největší opotřebení kvůli tření. Největší podíl na namáhání nástroje má nulová rychlost ve středu osy nástroje. [6, 8]

Řezná rychlost v_c , posuvová rychlosti v_f , rychlost řezného pohybu v_e , velikosti úběru materiálu Q , posuv na otáčku f_n se vyjádří pomocí vztahů [3, 19]:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.1)$$

$$v_f = f \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.2)$$

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.3)$$

$$f_z = \frac{f}{z} \text{ [mm} \cdot \text{zub}^{-1}] \quad (1.4)$$

$$Q = \frac{D \cdot f_n \cdot v_c}{4} \text{ [cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.5)$$

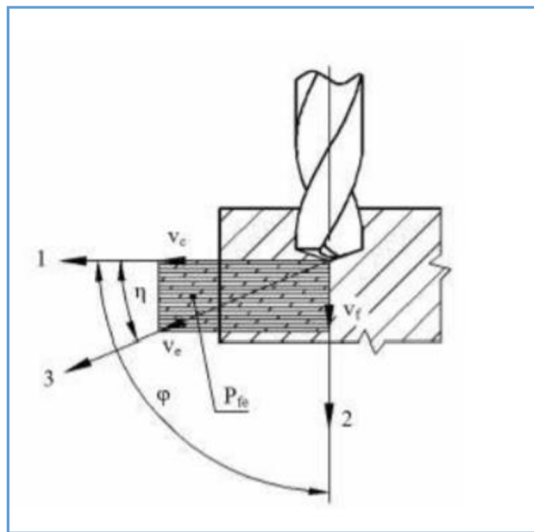
$$f_n = \frac{V_f}{n} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.6)$$

kde:

D – průměr nástroje [mm], d – průměr předvrtané díry [mm], f – posuv za otáčku [mm], h – jmenovitá tloušťka třísky [mm], b – jmenovitá šířka třísky [mm], n – otáčky [m·min⁻¹], z – počet zubů [-],

1.1.1 Kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovým vrtákem

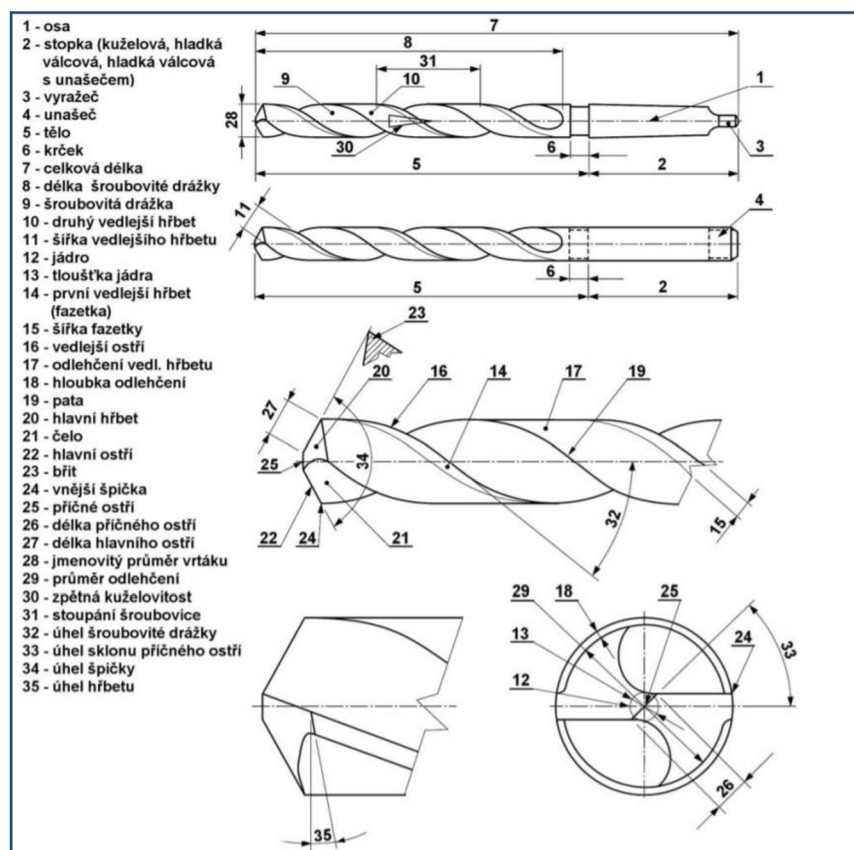
Řezná rychlost je při vrtání závislá na průměru a otáčkách vrtáku. [5]



Legenda: 1 – směr hlavního pohybu, 2 – směr posuvového pohybu, 3 – směr řezného pohybu, v_c – řezná rychlost, v_e – rychlost řezného pohybu, P_{fe} – pracovní boční rovina, φ – úhel posuvového pohybu, η – úhel řezného pohybu

Obr. 1.1 Kinematika vrtacího procesu při vrtání šroubovým vrtákem [3].

Bakalářská práce se zabývá vrtáním šroubovitými vrtáky, proto je dobré znát označení a pojmy na šroubovitém vrtáku (obr. 1.2).



Obr. 1.2 Označení a pojmy šroubovitěho vrtáku [14].

1.1.2 Řezné podmínky

Řezné podmínky mají širší rozsah a závisí na druhu nástroje. V případě vrtání do plného materiálu je hloubka záběru dána poloměrem nástroje. V případě vrtání do předvrtaných děr je určena rozdílem poloměru otvorů před a po obrábění. Posuv na otáčku se volí větší než 0,05 mm. Velikost posuvu se volí podle druhu nástroje a obráběného materiálu. [25]

Řezné rychlosti jsou proti jiným technologiím nižší, kvůli nepříznivým podmínkám, ve kterých nástroje pracují. Odvod tepla z místa řezu je špatný a břit je značně tepelně zatížen, proto je nutné používat procesní kapalinu. U vrtání se řezné rychlosti pohybují okolo 10 - 300 m.min⁻¹. Záleží na materiálu nástroje i obrobku (tab. 1.1–1.2). [25]

Tab. 1.1 Informativní řezné podmínky pro šroubovitě vrtáky z HSS [3].

Obráběný materiál	v_c [m min ⁻¹]	Posuv na otáčku f [mm]						
		Průměr vrtáku D [mm]						
		2	5	8	12	16	25	40
Ocel $R_m = 700$ až 900 MPa	25 až 30	0,04	0,1	0,15	0,20	0,25	0,30	0,35
Ocel korozivzdorná	8 až 12	-	0,05	0,10	0,12	0,15	0,20	0,20
Šedá litina 200 HB	18 až 25	0,06	0,15	0,22	0,30	0,36	0,40	0,60
Mosaz	60 až 70	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,32	0,40
Měď	40 až 55	0,05	0,10	0,15	0,20	0,25	0,32	0,40
Hliníkové slitiny	70 až 85	0,06	0,12	0,20	0,28	0,32	0,40	0,50
Plasty	20 až 35	0,08	0,16	0,30	0,40	0,50	0,60	0,70

Tab. 1.2 Informativní řezné podmínky pro šroubovitě vrtáky z SK [3].

Obráběný materiál	v_c [m/min]	Posuv na otáčku f [mm]		
		Průměr vrtáku D [mm]		
		15	12	20
Austenitická ocel	30 až 40	0,01	0,02	0,03
Nástrojová ocel	10	0,02	0,04	0,06
Litina > 200 HB	30 až 40	0,03	0,04	0,07
Vrstvené plasty	50 až 80	0,04	0,06	0,12

1.2 Technologie frézování

Frézování je obráběcí metoda, při které je materiál obrobku odebírán břity otáčejícího nástroje. Frézování je druh obrábění, vhodný pro vytváření rovinných a zakřivených ploch, drážek nebo ozubení a závitů. Hlavní, rotační pohyb u všech druhů frézování koná nástroj. Posuv nejčastěji koná součást, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posuvové pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech (x, y, z). Při frézování vzniká přerušovaný řez a každý zub nástroje odřezává krátké třísky. [3, 6]

Z technologického hlediska se v závislosti na aplikovaném nástroji rozlišuje frézování válcové (frézování obvodem) a frézování čelní (frézování čelem). Od těchto základních způsobů se odvozují některé další způsoby. [3, 20]

Řezná rychlost v_c , otáčky vřetene n , posuv na zub f_z , posuv na otáčku f_n , velikost posuvu v_f , velikost úběru materiálu Q , se vyjádří podle vztahů: [3, 20]

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.7)$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \text{ [min}^{-1}] \quad (1.8)$$

$$f_z = \frac{v_f}{z_{\text{eff}} \cdot n} \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.9)$$

$$f_n = \frac{v_f}{n} \text{ [mm]} \quad (1.10)$$

$$v_f = f_z \cdot z_{\text{eff}} \cdot n \text{ [mm} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.11)$$

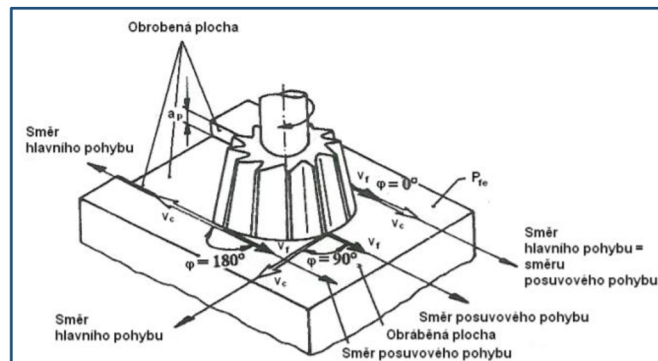
$$Q = \frac{a_p \cdot a_e \cdot v_f}{1000} \text{ [cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}] \quad (1.12)$$

Kde:

D – průměr nástroje [mm], z_{eff} – počet efektivních břitů na nástroji, a_p – výška úběru materiálu, a_e – šířka úběru materiálu

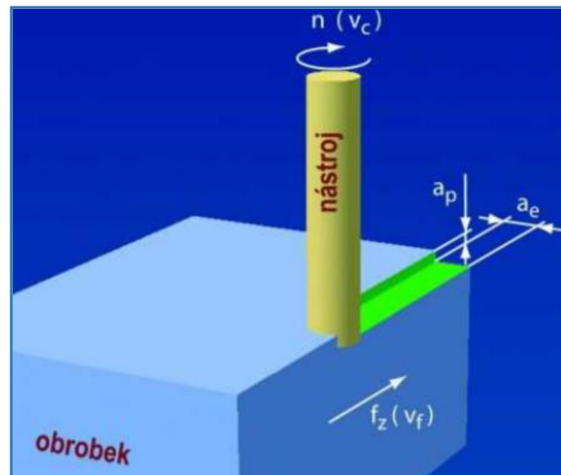
1.2.1 Kinematika obráběcího procesu

Čelní frézování (obr. 1.3) je uplatňováno při práci s čelními frézami, kde jsou břity tvořeny na obvodu i na čele nástroje. V závislosti na kinematice obráběcího procesu (obr. 1.2) se rozliší frézování nesousledné a sousledné (obr. 1.4). [3]



Legenda: a_p – výška úběru, v_c – rezná rychlost, v_f – posuvová rychlost, P_{fe} – pracovní rovina

Obr. 1.2 Kinematika čelního frézování úhlové frézy [3].

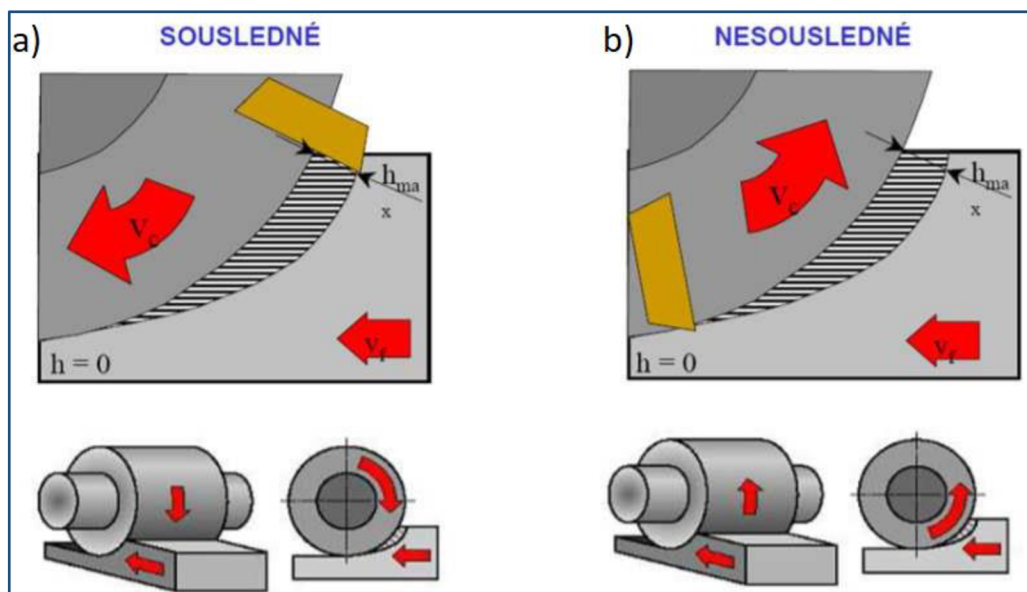


Legenda: n – otáčky, v_c – řezná rychlost, a_p – výška úběru materiálu, a_e – šířka úběru materiálu, f_z – posuv na zub, v_f – posuvová rychlost

Obr. 1.3 Frézování čelní frézou [24].

Sousledné i nesousledné frézování (obr. 1.4) přináší výhody i nevýhody, které jsou následně shrnuty:

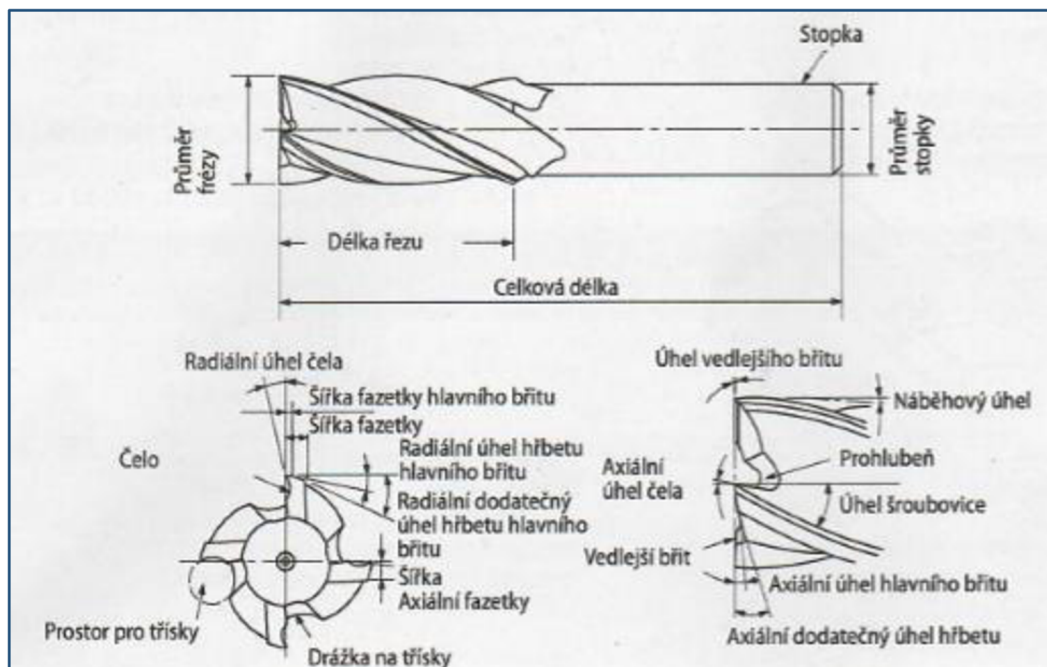
Při nesousledném frézování je smysl rotace nástroje proti směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky se mění z nulové hodnoty na maximální. Díky tomu vznikají vyšší teploty třísky na výstupu a jsou příčinou zkrácení životnosti nástroje a rychlého poškození břitu. Obrobená plocha vzniká při vnikání nástroje do obrobku. Povrch obrobku může být poškozován díky tomu, že třísky dopadají před nástroj a mohou se dostávat znovu do řezu. Řezné síly tlačí obrobek směrem od stolu. Nesousledné frézování je vhodné spíše jen na méně stabilních strojích nebo při obrábění nerovných povrchů a tam, kde se liší velikost přídavek na obrábění, kdy postupné vnikání břitu do materiálu obrobku chrání před prudkým nárazem. [3, 6, 20, 30, 31]



Obr. 1.4 Frézování [24]; a) sousledné; b) nesousledné.

Při sousledném frézování se obráběcí nástroj pohybuje shodně se směrem jeho otáčení. Při vnikání zubu frézy do obrobku je tříška tvořena od maximální tloušťky po nulovou hodnotu, takže se zmenšuje i řezná síla, působící proti pracovnímu stolu stroje, lze se tak vyhnout efektu napružení, takže lze použít jednodušších upínacích přípravků, ale u starších strojů a strojů s malou tuhostí mohou síly směřující proti pracovnímu stolu způsobovat problémy. Trvanlivost břitů je u sousledného frézování vyšší, a tak lze použít vyšších řezných rychlostí. Dále přenos tepla přechází převážně do třísky, tím dochází k ochraně obrobku i řezného nástroje. Obrobená plocha se vytváří, když zub vychází ze záběru, to chrání břit před obrušováním a odíráním o obráběný povrch před zahájením řezu a tak drsnost povrchu bývá nižší. [3, 6, 20, 30, 31]

Bakalářská práce se zabývá frézováním stopkovými frézami, proto je dobré znát označení a pojmy u frézovacího nástroje (obr. 1.5).



Obr. 1.5 Označení a pojmy nástroje [6].

1.2.2 Řezné podmínky

Důležitým faktorem u frézování je hloubka záběru a_p a šířka záběru a_e . Hloubka záběru se volí v rozsahu 0,5 až 20 mm. Záleží na tom, jestli se jedná o hrubování (10-20 mm), pro středně těžké obrábění (2–10 mm), nebo na čisto (0,5 až 2 mm). [25]

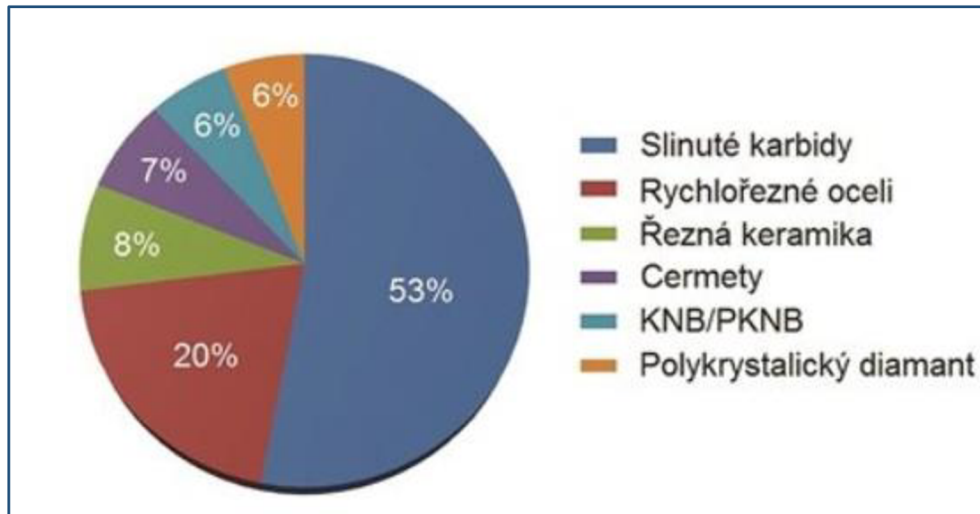
Posuv na zub by neměl klesnout pod 0,05 mm, protože pak se začíná projevovat vliv poloměru ostří nástroje. To platí zejména pro nástroje s břity z povlakovaných slinutých karbidů. Posuv na zub se obvykle pohybuje v rozsahu 0,05 až 0,4 mm. Řezné rychlosti se pohybují v rozsahu 20–570 m·min⁻¹. Odvíjejí se od druhu materiálu nástroje, obrobku a způsobu frézování (tab. 1.3). [25]

Tab. 1.3 Informativní řezné podmínky pro frézování [3].

Materiál obrobku R_m , HB	Mat. ná- stroje	Frézovací hlavy		Kotoučové a válčové frézy			Čelní válčové stopkové frézy	
		v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm]	hrubo- vání [m.min ⁻¹]	v_c na čisto [m.min ⁻¹]	f_z [mm]	v_c [m.min ⁻¹]	f_z [mm]
Ocel R_m 500 až 800 MPa	RO	45	0,1÷0,2	27	35	0,1÷0,3	30	0,1÷0,2
Ocel R_m 800 až 1000 MPa	RO	30	0,1÷0,15	20	25	0,1÷0,2	25	0,1÷0,2
Ocel R_m 500 až 800 MPa	SK (P25)	100	0,1÷0,2	175	195	0,15÷0,25	135	0,1÷0,25
Ocel R_m 800 až 1000 MPa	SK (P25)	80	0,1÷0,15	145	160	0,15÷0,25	100	0,1÷0,15
Šedá litina HB 160	RO	35	0,1÷0,3	25	30	0,1÷0,2	35	0,1÷0,2
Šedá litina HB 200	RO	25	0,1÷0,3				25	0,1÷0,15
Šedá litina HB 160	SK (K10)	60	0,1÷0,35	75	100	0,1÷0,3	70	0,1÷0,3
Šedá litina HB 200	SK (K10)	50	0,1÷0,25				55	0,1÷0,2
Hliník střední	RO	250	0,1÷0,3	280	390	0,1÷0,2	110	0,1÷0,2
Hliník střední	SK (K10)	700	0,1÷0,25	550	650	0,1÷0,2	650	0,1÷0,2
Hliník tvrdý	SK (K10)	250	0,1÷0,25				250	0,1÷0,2

2 MATERIÁLY NÁSTROJŮ

Bakalářská práce se zabývá nástroji z rychlořezné oceli a ze slinutého karbidu, proto je třeba se s těmito materiály seznámit. Tyto nástroje jsou celosvětově nejpočetnější skupinou nástrojů (obr. 2.1). Ze světových statistik je patrné, že základní druhy řezných materiálů pro produktivní obrábění a jejich relativní podíly se již příliš nemění, pouze stoupá jejich vyráběný objem. [6, 15]

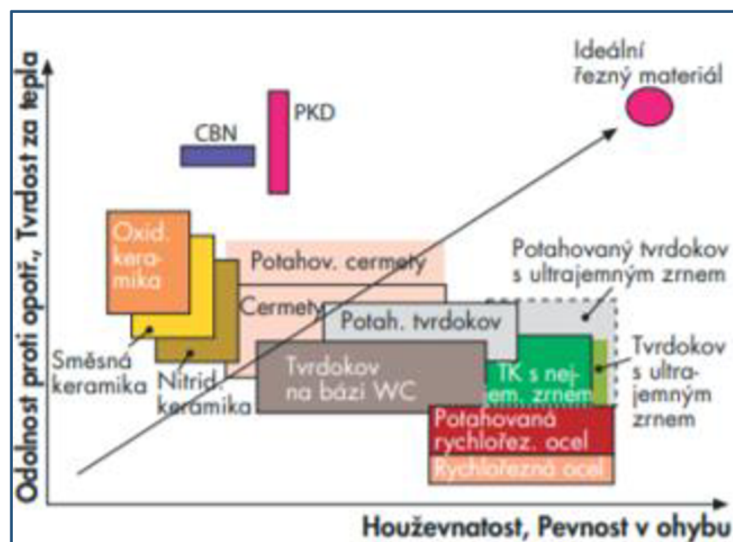


Obr. 2.1 Přehled nástrojových materiálů současnosti [15].

Obecné požadavky na řezné materiály jsou shrnuty v následujících bodech [6] :

- velká tvrdost a pevnost v tlaku
- vysoká pevnost v ohybu a houževnatost
- vysoká odolnost proti otěru
- vysoká tepelná odolnost

Řezné materiály pro třískové obrábění se dají rozdělit následujícím způsobem (obr. 2.2). Nástroje se volí podle požadavku na výrobu například kvůli obrábění tvrdých materiálů, nebo druhu řezu. Vlastnosti řezných materiálů, používaných v bakalářské práci, jsou uvedeny v tab. 2.1. [6]



Obr. 2.2 Vlastnosti používaných řezných materiálů [6].

Tab. 2.1 Vlastnosti řezných materiálů [6].

	Rychlořezná ocel	Tvrdokov P02-P40
Hustota [g/cm ³]	8,0 až 9,0	
Vickersovy tvrdosti HV30	700 až 900	1.350 až 1.650
Mez pevnosti v ohybu [MPa]	2.500 až 4.000	800 až 1.900
Pevnost v tlaku [MPa]	2.800 až 3.800	5.100 až 4.600
Modul pružnosti [GPa]	260 až 300	440 až 560
Tepejná roztažnost [10 ⁻⁶ K ⁻¹]	9 až 12	7,5 až 5,5

2.1 Rychlořezné oceli (HSS)

Rychlořezné oceli se široce používají pro šroubovitě vrtáky a frézy. Rychlořezná ocel se často používá také pro další nástroje, jako jsou soustružnické tvarové a upichovací nože, záhlubníky a výstružníky. Rychlořezné oceli lze použít za nižších řezných rychlostí, při obráběcím procesu je nutné chladit bříty nástroje, odolnost proti otěru je nižší ve srovnání se slinutými karbidy. Rychlořezné oceli mají vysokou pevnost v ohybu. Ceny nástrojů z rychlořezné oceli jsou příznivější, oproti slinutým karbidům. [6, 12]

Nástrojové oceli rychlořezné mají více přísad legujících prvků, než běžné typy nástrojových ocelí, které podstatně zlepšují jejich řezné vlastnosti (karbidotvorné prvky W, Cr, V, Mo). Nejdůležitější přísadou je Wolfram, jehož obsah v rychlořezných ocelích bývá 5 až 20 %. Wolfram ve struktuře oceli vytváří s uhlíkem sloučeninu, a to tzv. karbid wolframu, který je velmi tvrdý a odolný proti otěru. Důležitou přísadou u nejvýkonnějších rychlořezných ocelí je také kobalt (5–10 %). Chemické složení nejpoužívanějších rychlořezných ocelí je uvedeno v tab. 2.3. [3, 6, 12]

Kromě dobré řezivosti má ocel i příznivé mechanické vlastnosti, např. tvrdost (min. 63 HRC), pevnost a houževnatost, jenž se dobře uplatňují při namáhání nástrojů v řezu. U vysoko-wolframových ocelí legovaných kobaltem je trvanlivost za vysokých teplot vyšší. Zvýšený obsah kobaltu velmi zlepšuje řezné vlastnosti rychlořezných ocelí, což je obzvláště výrazné při obrábění těžkoobrobitelných ocelí. Přehled vybraných druhů rychlořezných ocelí dle ČSN a jejich technologické uplatnění je v tab. 2.2. [3, 12]

Rychlořezná ocel se obvykle označuje jako HS _ _ _ _ [3] (např. HS 6–5–2–5)

Wolfram [%]

Molybden [%]

Vanad [%]

Kobalt [%]

Tab. 2.2 Přehled vybraných druhů rychlořezných ocelí a jejich technologické uplatnění [5].

Skupina	Třída	Vlastnosti	Použití
Pro běžné použití	19 820	Velmi dobrá houževnatost, ale nižší odolnost proti opotřebení a proti popouštění. K obrábění materiálu s pevností do 850 MPa. Má větší sklon k oduhlíkování při tepelném zpracování.	Na nástroje pracující s přerušovaným řezem, ale při menším tepelném namáhání. (Stopkové frézy, vrtáky, nástroje na stříhání, tažení, tváření, razidla a kovádla.)
Výkonné	19 802	Menší houževnatost než 19 829 a 19 830, ale méně náchylná k oduhlíčení při tepelném zpracování.	Značně namáhané nástroje pro obrábění materiálu nižší a střední pevnosti.
	19 810	Zvláště vysoká odolnost proti opotřebení, vysoká odolnost proti popouštění, ale nízká houževnatost a špatná obrabitelnost a brusitelnost.	Pro obrábění velkými řeznými rychlostmi, pro materiály o pevnosti asi 900 MPa.
	19 829	Vyšší tvrdost, odolnost proti opotřebení větší než 19 830, menší houževnatost.	Pro obrábění při zvětšeném tepelném namáhání. Značně namáhané nástroje pro obrábění materiálů střední pevnosti i přerušovaným řezem.
	19 830	Nejvyšší houževnatost, odolnost proti opotřebení a dobrá brusitelnost.	
Vysoce výkonné	19 850	Velká tvrdost a odolnost proti popouštění, dobrá houževnatost a vysoká řezivost.	Nejvíce namáhané nástroje na těžko obrobitelné, houževnaté a velmi pevné materiály, v nejnáročnějších řezných podmínkách.
	19 851	Velmi vysoká tvrdost, menší houževnatost.	Obrábění nepřerušovaným řezem na pevné materiály.
	19 852	Vyšší odolnost proti opotřebení, dobrá houževnatost.	Obrábění vysokými rychlostmi nebo materiálů vysoké pevnosti.
	19 855	Velká odolnost proti popouštění a opotřebení.	Představuje doplňkový sortiment na nástroje na kovy.
	19 856	Velmi vysoká odolnost proti popouštění, nižší houževnatost.	Obrábění těžkoobrobitelných materiálů vysokými rychlostmi.
	19 857	Velmi vysoká odolnost proti opotřebení, nižší houževnatost.	Nejvíce namáhané nástroje, pro obrábění pevných materiálů.
	19 861	Vysoká odolnost proti opotřebení, dobrá houževnatost, zhoršená brusitelnost.	Nejvíce namáhané nástroje, pro obrábění při požadavku na vysokou odolnost proti opotřebení.

V praxi se používá několik nejčastějších druhů ocelí, které vycházejí z normy ČSN nebo DIN. Většina firem na trhu tak používá rychlořezné nástroje s následujícím značením [6, 12, 22] :

HSS – Středně výkonná rychlořezná ocel, která je vhodná pro nástroje menších průměrů, vzhledem k její houževnatosti. Vhodná pro frézování materiálů do 900 MPa. Obecně se takto označuje ocel HS 6–5–2.

HSS-E – Výše legovaná rychlořezná ocel. Je vhodná především pro nástroje větších průměrů, vzhledem k její vysoké výkonnosti.

HSS Co5 – Vysoce výkonná rychlořezná ocel, která disponuje dobrou houževnatostí a je vhodná pro frézování tvrdých materiálů (až 1200 MPa). Často se používá ocel HS 6–5–2–5.

HSS Co8 – Vysoce výkonná rychlořezná ocel s dobrou tepelnou odolností, vzhledem k zvýšenému obsahu kobaltu, ale také s nižší houževnatostí. Vhodná pro obrábění vysoce pevných materiálů.

HSS-PM – Vysoce výkonná ocel vyšší jakosti, které se dosahuje díky její výrobě pomocí práškové metalurgie (rychlé tuhnutí rozprašované tekuté oceli a následným slinováním vznikajícího prášku), kdy vzniká jemnozrnná struktura s velmi dobrými mechanickými vlastnostmi, rozměrovou stálostí, vyšší odolností proti opotřebení, tvrdostí a houževnatostí. HSS–PM ocel je vhodná pro obrábění vysoce pevných a těžce obrobitelných materiálů jako např. titanu a jeho slitin. Touto metodou se dají vyrobit rychlořezné oceli s vyšším obsahem legujících prvků.

V tab. 3.3 jsou shrnuty legující prvky a charakteristiky jednotlivých rychlořezných ocelí.

Tab. 2.3 Rozdělení a chemické složení rychlořezných ocelí [6].

Rezný materiál	Použití	Podíly legujících prvků [%]					
		C	W	Mo	V	Co	Cr
HSS	Všeobecné použití	0,9	6,5	5,0	2,0	–	4,2
HSS s oca 5% Co (HSS/Co5)	Vysoká tepelná odolnost pro vyšší řezné rychlosti, Vrtání: Obrábění vysoce pevných materiálů	0,9	6,5	5,0	2,0	4,8	4,2
HSS s Co nebo V (HSS/E)	Širší termín pro HSS/Co5 a HSS/V3, obzvlášť při řezání vnitřních závitů	0,9 1,2	6,5 6,5	5,0 5,0	2,0 3,0	4,8 –	4,2 4,2
HSS s 8% Co (HSS/Co8)	Především pro přerušovaný řez, jako např. frézovacích pracích	0,9	6,5	5,0	2,0	8,0	4,2
HSS s 10% Co, resp. 12,5% Co (HSS/Co10) (HSS/Co12,5)	Mimořádně vysoká tepelná odolnost pro obrábění materiálů odolných proti rezavění a kyselinám při frézování	1,2	9,3	3,6	3,2	10,0 12,5	4,2
Ocel HSS vyrobená práškovou metalurgií (PM)	Především pro obrábění nasucho a pro maximální zatížení při frézování a řezání vnitřních závitů	1,3	6,5	5,0	3,1	8,5	4,2

2.2 Slinuté karbidy (SK)

Slinuté karbidy jsou vícefázový materiál, který vzniká pomocí práškové metalurgie a vyrábí se z různých karbidů a kovového pojiva. Mezi nejdůležitější patří karbid wolframu WC, karbid titanu TiC, karbid tantalu TaC a karbid niobu NbC. Kobalt Co bývá často používán jako pojivo. [3]

Slinuté karbidy se obvykle dělí podle normy ČSN ISO 513 na základě použití do pěti skupin (P, M, K, N, S, H), především do třech hlavních (P, M, K) a dalším dělením jako např. P10, M20, K30. „Vyšší číslo vyjadřuje vyšší obsah pojivého kovu, vyšší houževnatost a pevnost v ohybu a nižší tvrdost a otěruvzdornost materiálu a vymezuje oblast jeho aplikací pro nižší řezné a vyšší posuvové rychlosti“ [9]. Jejich složení a vlastnosti jsou popsány v tab. 2.7. [3, 6, 9]

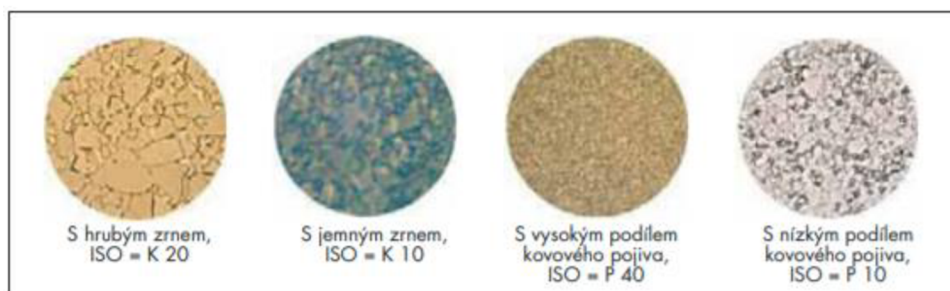
- **P** pro obrábění materiálů tvořících dlouhé třísky, jako je např. ocel, ocelová litina, nerezové oceli a temperovaná litina. Přísada TiC zaručuje vysokou odolnost proti difuzi za vysokých teplot. Vhodnost slinutých karbidů, skupiny P, pro obrábění materiálů s dlouhou třískou, je dána vyšší tvrdostí TiC. Nevýhodou je vyšší křehkost a nízká odolnost, oproti abrazivnímu opotřebení. [4, 6]
- **M** pro materiály tvořící dlouhé i krátké třísky, jako je např. austenitická nerezová ocel, žáruvzdorné materiály, manganové oceli, legované typy slitiny atd. Výhoda této skupiny je vysoká houževnatost, proto se slinuté karbidy této skupiny používají pro přerušované řezy a hrubovací operace. [4, 6]

- **K** pro obrábění materiálů tvořících krátké, drobné třísky, jako je např. šedá litina, kalená ocel a neželezné materiály jako hliník, bronz, plasty atd. Karbidy této skupiny jsou nevhodné pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku, protože mnohem více tepelně zatěžuje čelo nástroje. [4, 6]

Tab. 2.7 Složení a vlastnosti vybraných druhů slinutých karbidů [4].

Označení	Složení [%]			Měrná hmotnost [g cm ⁻³]	Tvrdoost [HV]	Pevnost v ohybu [MPa]	Pevnost v tlaku [MPa]	Modul pruž- nosti v tahu [GPa]	Tepelná vodi- vost [W m ⁻¹ K ⁻¹]	Koeficient délkové roz- tažnosti [10 ⁻⁶ K ⁻¹]
	D) - ve většině případů obsahuje 5 ÷ 40% NbC									
	WC	TiC+TaC ¹⁾	Co							
P01.2	30	64	6	7,2	1800	750	3500			
P01.3	51	43	6	8,5	1750	900	4200	460	17	7,5
P01.4	62	33	5	10,1	1750	1000	4100	480	17	7,5
P05	77	18	5	12,2	1700	1100	4300			6,0
P10	63	28	9	10,7	1600	1300	4600	530	29	6,5
P20	76	14	10	11,9	1550	1500	4800	540	34	6,0
P25	71	20	9	12,4	1450	1750	4800	550	42	6,0
P30	82	8	10	13,1	1500	1700	5000	560	59	5,5
P40	75	12	13	12,7	1400	1900	4900	550	59	5,5
P50	68	15	17	12,5	1300	2100	4000	520	54	
M10	84	10	6	13,1	1750	1350	5000	580	50	5,5
M20	82	10	8	13,4	1550	1600	5000	570	63	5,5
M30	81	10	9	14,4	1450	1800	4800	550	63	5,5
M40	79	6	15	13,6	1300	2100	4400	540	67	6,0
K01	92	4	4	15,0	1800	1200	5900	670	84	4,5
K05	91	3	6	14,5	1750	1400	5900	650	80	5,0
K10	92	2	6	14,8	1600	1500	5700	630	80	5,0
K20	93	1	6	14,8	1550	1700	5200	620	80	5,0
K30	90	1	9	14,4	1450	1900	4700	580	71	5,3
K40	87	1	12	14,2	1300	2100	4500	570	67	5,5

Tvrde částice, zobrazené ve slinutých karbidech se pohybují většinou v rozmezí mezi 1 a 5 μm . Záleží na konkrétním výrobcí. V dnešní době se používají také karbidy s velmi jemným zrnem (0,5–0,8 μm), Pokud obráběcí práce vyžadují vyšší nároky na houževnatost, pevnost a celkovou odolnost rezného materiálu. Mikrostruktury různých typů slinutých karbidů jsou zobrazeny na obr. 2.3. [6]

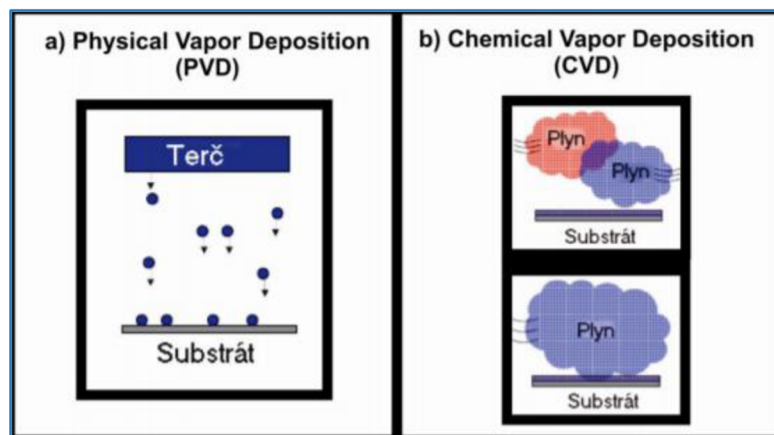


Obr. 2.3 Mikrostruktury různých typů slinutých karbidů [6].

Slinuté karbidy mají v porovnání s rychlořeznou ocelí delší životnost, vyšší odolnost proti opotřebení, vyšší možné rezné rychlosti a posuvy, jsou vhodné pro použití moderních technologií obrábění a tím pádem také disponují vyšších časových objemů a třísek. [6]

2.3 Povlakování řezných nástrojů

Nanášením tenké vrstvy materiálu s vysokou tvrdostí a vynikající odolností proti opotřebení na podkladový materiál dochází ke značnému prodloužení trvanlivosti a tvrdosti nástroje, povlak tvoří bariéru proti difuznímu opotřebení nástroje, zlepšuje použití obrábění nasucho, vznikají nižší řezné síly, snižuje sklon k nepříznivému nalepování třísek na nástroj a k tvorbě nárůstků. Vzhledem k tomu že povlakový materiál neobsahuje žádné pojivo, má jemnější zrnitost a méně strukturních defektů, díky tomu že povlak je nanášen ve formě tenké vrstvy. Metody povlakování se mohou nanášet dvěma způsoby CVD a PVD (obr. 2.4). [4, 6, 35]



Obr. 2.4 Druhy povlakování [17]; a) PVD; b) CVD

2.3.1 Metoda CVD

(Chemical Vapor Deposition) nebo také chemické napařování, se používá ve velkém rozsahu např. při povlakování slinutých karbidů. Hodí se mimořádně pro výrobu vícevrstvých povlaků, protože pomocí plynné fáze lze snadno dosáhnout různého složení vrstev. Vrstvy se nanášejí v různé tloušťce, kombinaci a pořadí na povrch. Výhody CVD metody jsou vysoká odolnost vůči opotřebení, při tvoření silných vrstev jsou CVD povlaky ekonomicky výhodné, nízké náklady na zařízení a řízení procesu. Nevýhody jsou, že nelze dělat některé typy vrstev, kombinací různých typů kovů a hlavně vysoká teplota při deponování (950–1050 °C). U nástrojů z rychlořezné oceli, nelze použít tuto metodu, aby nedošlo k tepelné degradaci základního materiálu [4, 17]

2.3.2 Metoda PVD

(Physical Vapor Deposition) nebo také fyzické napařování spočívá ve vylučování vysokotavitelných látek při nízkých teplotách a s tím spojené šíření substrátu. Jedná se o ekologicky nejšetrnější metodu depozice vrstev, protože u této metody se nepoužívají nebezpečné materiály a toxické látky. Výhoda této metody je menší tloušťka vrstvy, díky které je udržována ostrá řezná hrana, dále vysoká odolnost vrstev, nízký koeficient tření, možnost vytvoření velké kombinace vrstev. PVD proces se uskutečňuje při teplotách mezi 150–500 °C, proto jsou technologie PVD použity převážně pro rychlořezné oceli, ale také součásti z hliníku a plastů. [4, 17]

2.3.3 Druhy povlaků

Povlakování je uváděno mezi jednovrstvé a vícevrstvé povlaky. Obvykle jsou uváděny tyto vývojové stupně [34] :

- 1. generace: jednovrstvý povlak, tvořený TiC, tloušťka asi 7 μm .
- 2. generace: jednovrstvý povlak, tvořený TiC nebo TiCN, případně TiN. Tloušťka dosahuje až 13 μm .
- 3. generace: vícevrstvý povlak, obsahující dvě, tři a více vrstev. Jednotlivé vrstvy jsou obvykle řazeny od podkladu k povrchu v tomto pořadí: TiC–Al₂O₃ , TiC–TiN, TiC–TiCN–TiN, TiC–Al₂O₃–TiN, TiCN–Al₂O₃–TiN.
- 4. generace: vícevrstvý povlak, obsahující i více než 10 vrstev. Používají se stejné materiály, jako u povlaků 3. generace. Mohou být použity i mezivrstvy a také méně výrazné přechody proti povlakům 3. generace.

Charakteristiky často používaných metod povlakování [5, 38] :

TiN – Optimální povlak pro HSS nástroje. Má nízký koeficient tření, vyšší odolnost proti opotřebení (trojnásobné prodloužení trvanlivosti).

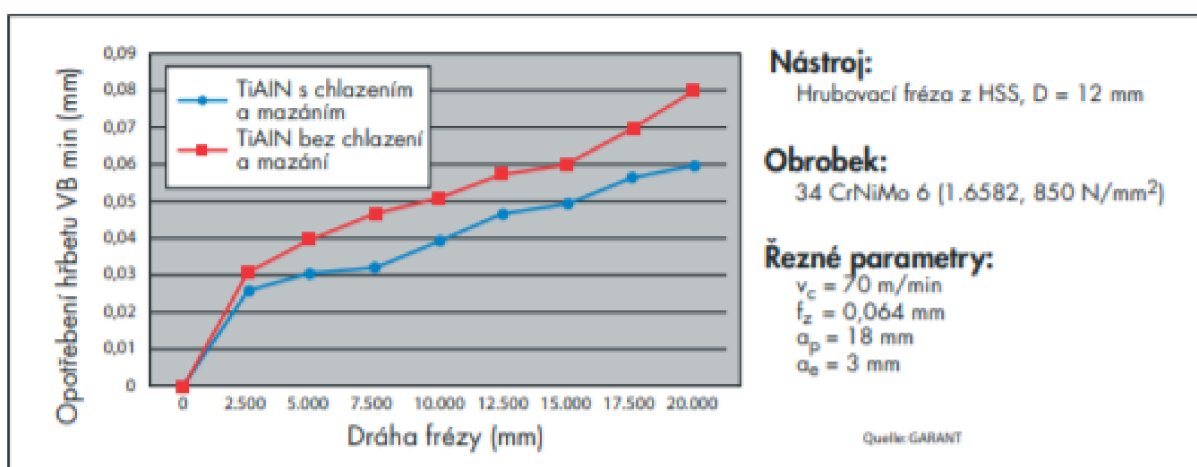
TiAlN – Univerzální povlak pro obrábění celé škály materiálů středních a vyšších pevností středními a vyššími reznými rychlostmi. Má výborný poměr tvrdosti a houževnatosti díky multivrstvé struktuře. Díky vyšší oxidační odolnosti a tvrdosti za vysokých teplot, nevyžaduje dokonalé chlazení.

AlTiN – Povlak s velmi vysokou oxidační odolností vhodný pro náročné aplikace jako jsou frézování vysokými reznými rychlostmi, popřípadě frézování bez chlazení. Povlak je vhodný například tvárné litiny, ocelí vysokých pevností, případně ocelí pro kování.

AlCrN – Povlak s vysokou abrasivní odolností, stabilitou a tvrdostí při vysokých teplotách.

Al₂O₃ – Povlak s vysokou chemickou stálostí a vysokou tvrdostí. Používá se např. pro obrábění uhlíkových ocelí a šedé litiny. Tento povlak je získáván metodou CVD.

Povlak nástrojů z HSS a SK, příslušně přizpůsobený obrábění, dále zvyšuje výkon s ohledem na životnost (obr. 2.5).



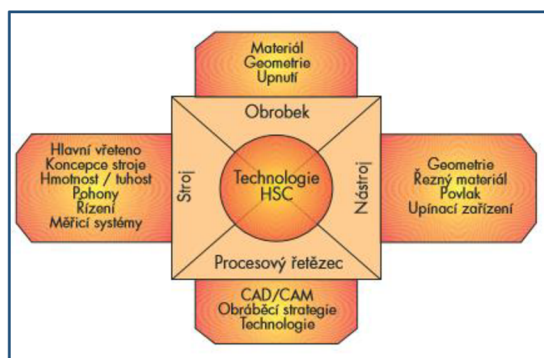
Obr. 2.5 Použití povlaku při frézování s použitím rychlořezné oceli [6].

3 MODERNÍ TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ

V současné době se čím dál častěji používají pro obrábění moderní výrobní technologie, vzhledem ke konkurenčnímu tlaku a snaze snižování výrobních nákladů obráběcího procesu. Mezi tyto technologie patří HSC (High Speed Cutting), HPC (High performance Cutting), HFC (High Feed Cutting), obrábění nasucho a obrábění s minimálním mazáním. V bakalářské práci jsou testovány některé nástroje, zahrnující použití HPC technologií, proto je třeba se o moderních technologiích zmínit. [6, 7]

3.1 High Speed Cutting

(HSC) nebo také vysokorychlostní obrábění je práce s výrazně vyšší řeznou rychlostí při relativně malých hloubkách řezu. Rostoucí řezná rychlost přináší výhody jako značné zkrácení časů obrábění, možnost zvýšení objemu třísek o 30 %, zvýšení rychlosti posuvu až desetkrát, možnost obrábění geometricky komplikovaných součástek bez vibrací nebo možnost snížení síly třískového obrábění o více jak 30 %. Největší nevýhodou je zkrácení životnosti nástroje a to že řezné povlaky musí být přizpůsobené parametrům obrábění. [6, 7, 21]



Obr. 3.1 Ovlivňující faktory pro celý proces [6].

Pro použití vysokorychlostního obrábění je třeba, aby byla zaručena optimální tuhost soustavy S-N-O-P (obr. 3.1). Delší životnosti nástrojů a lepší jakosti povrchu se dosahuje pouze s vhodnými řeznými materiály, pokud je dosažena přesnost obvodové házivosti vřetena a upínacího pouzdra. [6, 7, 21]

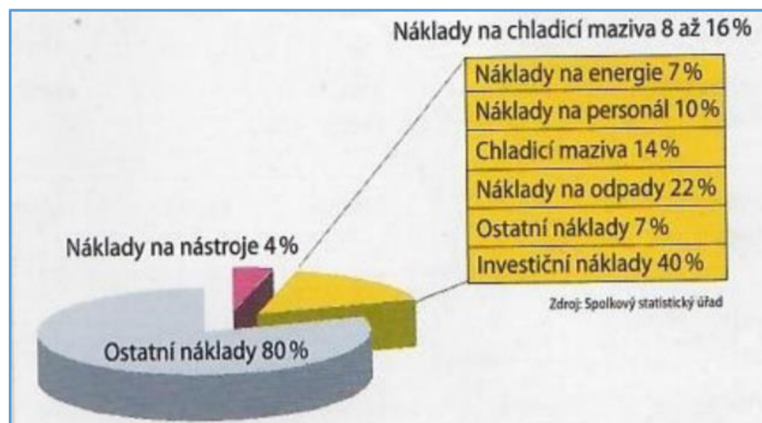
3.2 High Performance Cutting

(HPC) nebo také obrábění s vysokým výkonem vychází z technologie HSC (vysokorychlostního obrábění). HPC technologie si klade ale trochu odlišný cíl, nikoli již jen vysokou řeznou rychlost ale u HPC jde především o vysoký výkon, tedy úběr třísky. Tato technologie je především vhodná pro hrubovací operace u obrábění tzv. 2,5 D obrábění a použití v sériové výrobě, kdy je u obrobku značně převažující strojní čas nad vedlejšími časy. Základním předpokladem pro úspěšnou aplikaci této technologie obrábění je možnost disponovat adekvátním a schopným strojním zařízením a také dodržovat podmínky soustavy S-N-O-P. Požadavky kladené na tzv. HPC stroje jsou jedny z nejnáročnějších a do značné míry ovlivňují celý obráběcí proces. Pro obrábění touto metodou je potřeba zvolit takové nástroje, které jsou vhodné pro použití této metody, tedy kvalitní karbidový substrát s vhodnými povlaky.

Nejsledovanějšími parametry u této metody jsou vždy posuvové rychlosti a maximální otáčky na hlavním vřetenu. [6, 7, 21]

3.3 Obrábění nasucho a obrábění s minimálním mazáním

Při použití těchto metod se využívá žádné nebo pouze velmi malé množství procesní kapaliny, která je buď pod velkým tlakem, nebo ve formě mlhoviny přiváděna jen do úzce omezené oblasti okolo řezné hrany a čela břitu nástroje. Obrábění na sucho je nejefektivnějším využitím třískového obrábění, má mnoho ekonomických a ekologických výhod, protože na používání, ošetřování a následné likvidaci procesní kapaliny jsou vynaloženy nemalé náklady (obr. 3.2). [6, 21]



Obr. 3.2 Náklady procesních kapalin [6].

Průtok procesní kapaliny, při obrábění dosahuje až cca $12\,000\text{ l}\cdot\text{h}^{-1}$, a tak náklady na procesní kapalinu se pohybují v rozmezí 2–8 % celkových nákladů, zatímco při obrábění s minimálním nasazením kapaliny je spotřeba pouze cca $50\text{ ml}\cdot\text{h}^{-1}$. [6, 21]

Aplikace MMM nebo suché obrábění jednak klade specifické nároky na stroj a jeho vybavení, vzhledem ke komplikovanějšímu odstranění třísek, odsávání, potřebě lepšího krytování, ale také na nástroj, kdy jsou vhodné pro použití obrábění nasucho především povlakované slinuté karbidy, řezné keramiky, CBN a PKD. U frézování lze takto dosáhnout k vyšší životnosti nástrojů, kdy nástroj netrpí prudkými změnami teploty, při ochlazování procesní kapalinou při přerušení řezu, naopak u vrtání nasucho vzniká problém s odvodem třísek, a tak je třeba použít nástroje s většími drážkami pro odvod třísek, nebo používat nástroje s povlakem TiAlTiN, pro snižování tření, mezi třískou a nástrojem. [6, 21]

3.4 High Feed Cutting

(HFC) nebo také obrábění vysokými posuvovými rychlostmi. Tato technologie je nejčastěji spojována s frézováním, kdy obrábění probíhá s maximální hloubkou řezu a_p do cca 2 mm ale s vysokým posuvem na zub $f_z = 2,5\text{--}3,5\text{ mm}$. Proto je potřeba na rozdíl od HSC obrábění sledovat nejen otáčky vřetene, ale především posuvové rychlosti a velikosti úběru materiálu. [7] „Obecně je však možno konstatovat, že frézování velkými posuvy (řádově v desetinách až jednotkách milimetrů na zub) má ekonomický i ekologický přínos“ [7].

4 OPOTŘEBENÍ A TRVANLIVOST ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ

U všech strojních součástí, které jsou ve vzájemném kontaktu, vzniká opotřebení. U obrábění dochází ke kontaktu nástroje s obrobkem na hlavním a vedlejším hřbetě nástroje a špičce nástroje a také s třískou na čele nástroje. Tímto dochází k opotřebení nástroje. [3]

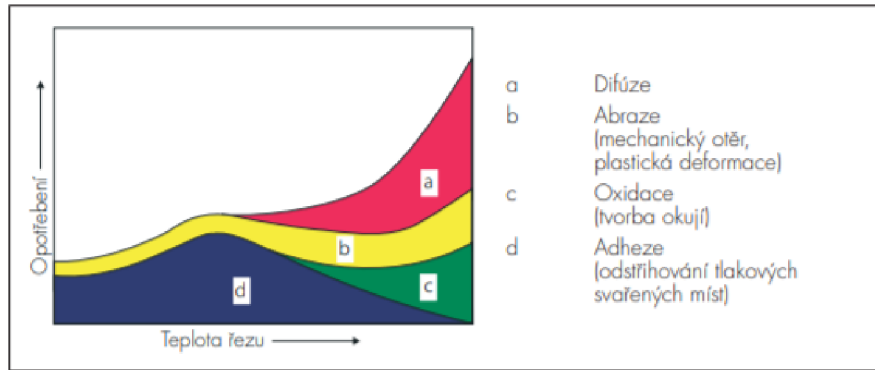
4.1 Otopování bříty

Otopování je specifický výraz pro opotřebenování řezných nástrojů. Jeho druh a intenzita mají vliv na technologický i ekonomický proces výroby. Opotřebením se mění výchozí tvar a kvalita bříty, které jsou ve styku s obráběným materiálem. S růstem opotřebení se pak mění rozměry obrobků, zhoršuje se jakost obrobené plochy a zpravidla vzrůstají řezné odpory, čímž klesá energetická účinnost procesu obrábění. Opotřebení bývá maximální v blízkosti ostří, podle podmínek ze strany čela nebo hřbetu. [6, 11]

Při opotřebení vznikají různé fyzikální, chemické a metalurgické jevy, které souvisí s celým procesem obrábění. Vliv na otopování bříty mají zpravidla vlastnosti řezného a obráběného materiálu, geometrie nástroje, způsob obrábění, řezné podmínky a prostředí. [6, 11]

Trvalý úbytek materiálu v důsledku opotřebení je způsobem mimo jiné následujícími fyzikálními faktory (obr. 4.1). [3, 6, 11]

- **Abrazivní opotřebení** – Nastává díky mechanickému účinku tvrdých vměstků obráběného materiálu na opotřebení řezného nástroje, převážně při obrábění při nízkých řezných rychlostech a lehce obrobitelných materiálech. Tvrdé vměstky mohou být tvořeny například částicemi cementitu, které jsou tvrdší, než například kobaltová vazba.
- **Adhezní opotřebení** – k tomuto typu opotřebení dochází v důsledku mikro-sváru (adheze) materiálu obrobku na bříty, které vznikají nerovností, vzájemně-se třecích ploch. Adhezní opotřebení vede k vylamování částic bříty
- **Difúze** – ta je způsobena přemístěním materiálu mezi obrobkem a řezným nástrojem na atomární úrovni, což umožňuje výměnu atomů mezi obrobkem a řezným nástrojem. Vzájemná difuze prvků vede ke vzniku vrstvy na bříty nástroje, která do hloubky až 20 μm , která vede ke zhoršení materiálových vlastností nástroje a také se snadno odděluje.
- **Chemické opotřebení** – Vzniká při vyšších řezných rychlostech a při obrábění těžko-obrobitelných materiálech. Mezi toto opotřebení patří například oxidace, která vzniká už při 800 °C. Na povrchu nástroje, v důsledku přítomnosti kyslíku z okolního prostředí, vznikají chemické sloučeniny. K oxidaci může dojít mnohem snadněji při přerušovaných řezných procesech v důsledku kontaktu s řezným prostředím během volné pracovní fáze, kdy břit neobrábí.

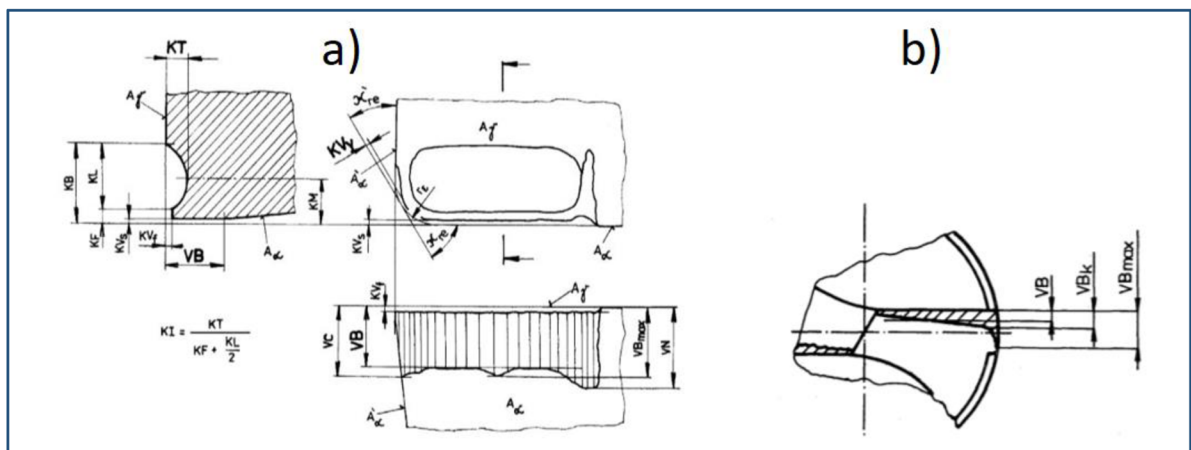


Obr. 4.1 Příčiny opotřebení při třískovém obrábění [6].

4.2 Formy opotřebení

Tato kapitola slouží jako teoretický základ ke vzniku forem opotřebení. V experimentu u frézování se nevyhodnocovala trvanlivost nástrojů na míře opotřebení, ale u nástrojů je zobrazeno opotřebení, jako ukázka, pro porovnání vytipovaných nástrojů, po určitém čase v řezu. U testování vrtacích nástrojů se však trvanlivost stanovovala na základě opotřebení, proto je důležité znát jejich označení a polohu.

Forma otupování dle ČSN ISO 3685 (obr. 4.3), tj. změna tvaru břitu, závisí zejména na materiálu břitu, jeho geometrii a na řezných podmínkách. Nejčastěji se v technologickém procesu otupuje břit nástroje ve formě plošky na hřbetu břitu, u které měříme šířku VB. [11]



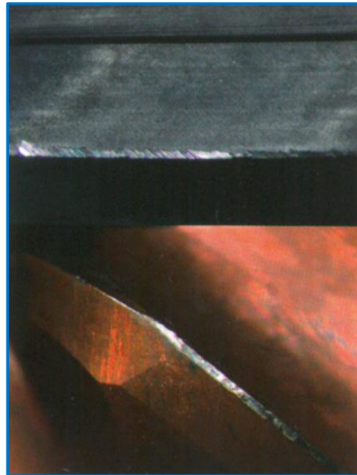
Obr. 4.3 Formy opotřebení břitu [4, 36]; a) VBD destička, b) Šroubovitý vrták.

4.2.1 Typy opotřebení monolitních stopkových fréz

při hodnocení opotřebení nástroje je důležitým faktorem velikost frézy. Typ opotřebení nástroje a jeho maximální povolená velikost je ovlivněno typem frézy a jejich rozměrů. [10,11]

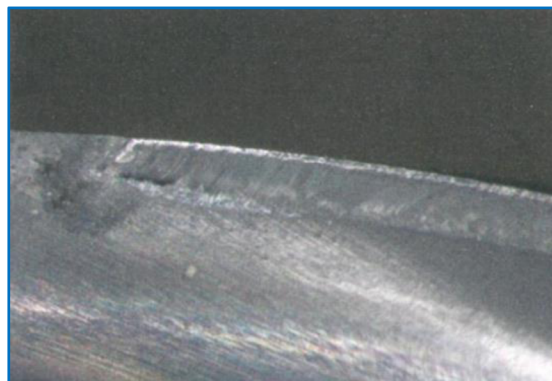
Typická opotřebení jako opotřebení hřbetu, vylamování drobných částic, vrubové opotřebení, opotřebení v důsledku tvorby nárůstků, žlábkovité opotřebení a plastická deformace (obr. 4.4–4.9) ovlivňují základní geometrii a vliv na obráběcí proces. Některé druhy opotřebení jsou následující [6, 10] :

Opotřebení hřbetu fréz – tento typ je výhodnější oproti ostatním typům, protože se jedná o nejběžnější a kontrolovatelný typ opotřebení (obr. 4.4). Dá se mu předejít zvýšením koncentrace emulze, zkontrolováním poměru velikosti řezné a posuvové rychlosti nebo výběru správného řezného materiálu vzhledem k obráběnému materiálu. [10]



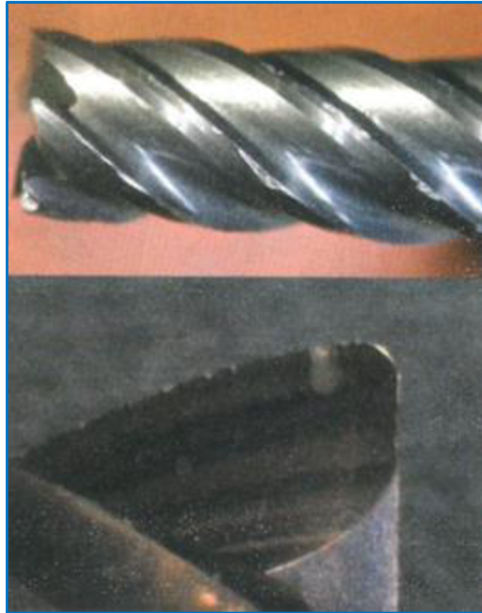
Obr. 4.4 Opotřebení hřbetu frézy [10].

Opotřebení ve tvaru žlábků – toto korytovité ubývání řezného materiálu (obr. 4.5) se u frézování neobjevuje tak často, jedná se o kombinaci difúze, disociace a abrazivního otěru. „*Deformační teplo z tvorby třísek obrobku rozkládá zrna karbidu wolframu v substrátu, uhlík difunduje do třísek, přičemž se na destičce tvoří žlábek*“ [10]. Vzniká často u vysoce-legovaných slitin na bázi titanu. Dá se mu předejít zvýšením koncentrací emulze, zkontrolováním výběru nástroje, snížením řezné rychlosti nebo posuvové rychlosti [10]



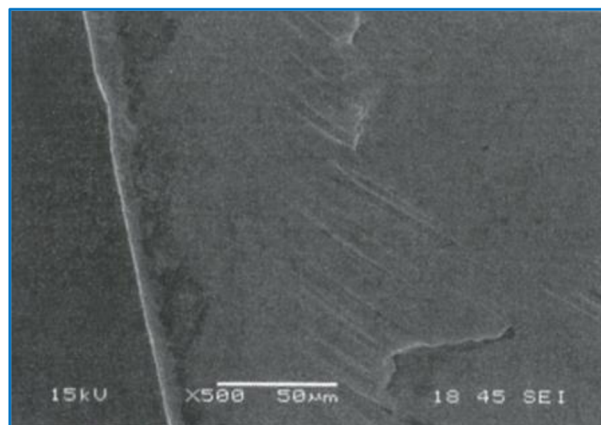
Obr. 4.5 Žlábkovité opotřebení [10].

Vylamování částic břitu – tento druh opotřebení (obr. 4.6) vzniká nejčastěji díky problémům spojených se stabilitou a chvěním při obrábění. Toto opotřebení je často nekontrolovatelné. Dá se mu předejít výběrem co nejkratší délky nástroje, správným odvodem třísek, ověřením tuhosti obráběcí soustavy. [10]



Obr.4.6 Vylamování částic břitu [10].

Opotřebení v důsledku tvorby nárůstku – nárůstek se tvoří tak, že se obráběný materiál nalepí na břit nástroje. Nárůstek (obr. 4.7) se u fréz častěji vyskytuje u obrábění korozivzdorných ocelí a neželezných kovů. Dá se tomu předejít zvýšením řezné rychlosti, zvýšením koncentrace procesní kapaliny, zvolením vhodného tvaru fréz pro daný materiál. [10]



Obr. 4.7 Nárůstek na břitu [10].

Vrubové opotřebení fréz – vrubové opotřebení vzniká tím, že jsou odstraňovány karbidy z určité oblasti břitu. Nejčastěji je to způsobeno otěrem zpevněného materiálu obrobku a také odvodem třísek. Toto opotřebení se častěji vyskytuje u materiálů na bázi niklu a slitin titanu (obr. 16). [6, 10]



Obr. 4.8 Vrubové opotřebení frézy [10].

Celkový lom frézy – pokud některý ze zmíněných druhů opotřebení není v čas zachycen, přeroste až v celkový lom frézy (obr. 4.9). Mezi nejčastější důvody patří mechanické přetížení frézy, vibrace a problémy s odvodem třísek. [10]



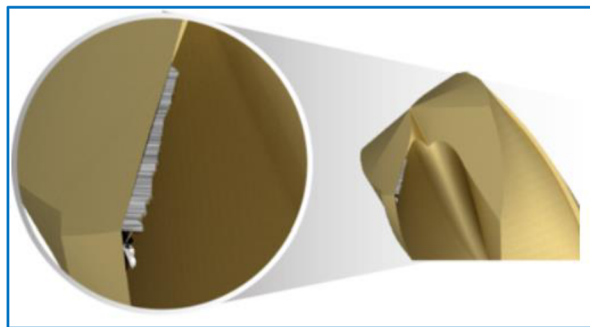
Obr. 4.9 Celkový lom frézy [10].

4.2.2 Typy opotřebení šroubových vrtáků

Výkonnost vrtáků je dána řadou faktorů, kterými se vrtání odlišuje od ostatních obráběcích operací. Zejména teplo je a třísky jsou odváděny obtížněji, proto je u vrtání potřebné používat procesní kapalinu. U vrtání jsou potřebné stabilní řezné podmínky a celková dobrá tuhost obráběcí soustavy, která má významný vliv na opotřebení nástroje, vzhledem k jeho dlouhému vyložení. [10, 16]

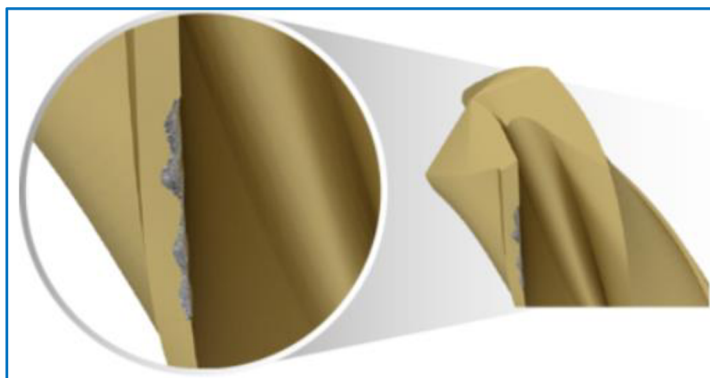
Mezi nejčastější typy opotřebení pozorované při procesu vrtání jsou:

Tvorba nárůstků – nárůstky, které se objevují na břitech (obr. 4.10), mohou vznikat na více místech nástroje. Tvorba nárůstku může naznačovat, že není zvolen optimální posuv nástroje nebo že není optimální teplota v řezném procesu (příliš vysoká nebo nízká). Opotřebení v důsledku nárůstků taktéž může naznačovat, že provoz může probíhat za nestabilních podmínek. Příčiny jsou příliš nízká řezná rychlost, negativní plocha na rozích břitu nebo nedostatečné chlazení. Problém se dá vyřešit zvýšením řezné rychlosti, použitím vrtáku s ostrým rohem břitu nebo kontrolovat přivádění chladicího média. [10, 16]



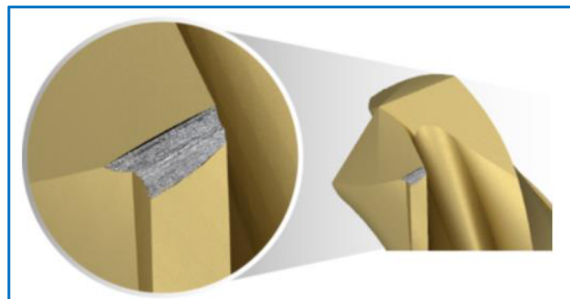
Obr. 4.10 Tvorba nárůstků [16].

Vylamování na vodících fazetkách – toto opotřebení (obr. 4.11) je známkou toho, že probíhá příliš silné tření mezi touto hřbetní a obrobenou plochou, jelikož provoz probíhá za nestabilních podmínek nebo jsou problémy s odvodem třísek, tím se vytváří další teplo v průběhu vrtání. Příčiny jsou nedostatečné chlazení, nebo když se obrobek pohybuje při vyjíždění vrtáku z díry. Problému se dá zamezit lepším upnutím obrobku nebo zvýšením tlaku procesní kapaliny. [10, 16]



Obr. 4.11 Vylamování na vodících fazetkách [16].

Odloupávání na rozích – objevuje se při neoptimálním upnutí obrobku, nedostatečném chlazení nebo příliš velké odchylce obvodové házivosti. Dá se tomu předejít kontrolou upínacího prvku, kontrolou přivádění procesní kapaliny, optimalizací obvodové házivosti (obr. 4.12). [10, 16]



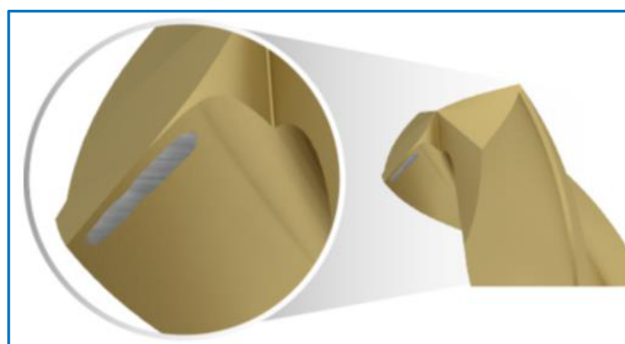
Obr. 4.12 Odlupování na rozích [16].

Opotřebení hřbetu – opotřebení hřbetu se objevuje jako rovnoměrné opotřebení podél břitů (obr. 4.13). Je to kontrolovatelná forma opotřebení, jeho vznik je odezvou bezpečného vrtání. U takového druhu opotřebení se dá jen snížit jeho intenzita. Povolená míra hřbetního opotřebení je 0,1–0,3 mm, záleží na \varnothing nástroje, pak se doporučuje renovace. Dá se tomu zamezit snížením řezné rychlosti, nebo zvýšením koncentrace procesní kapaliny. [10, 16]



Obr. 4.13 Opotřebení hřbetu [10].

Vymílání – může být způsobeno nízkou řeznou rychlostí nebo nedostatečným chlazením, vzniká i poblíž středu vrtáku (obr. 4.14). [16]



Obr. 4.14 Vymílání žlábků [16].

4.3 Vliv tepla na obrábění

Teplo při obrábění má značný vliv na řezání, jelikož až 99 % energie se mění v teplo, tak vzniklé teplo zahřívá obrobek, třísku a nástroj na teploty, které jsou značně rozdílné. Tyto teploty mají vliv na jakost obrobeného povrchu i na přesnost obrobku a působí nepříznivě na nástroj. Velká teplota zmenšuje stálost tvrdosti břitů nástroje, takže se zhoršují jeho řezné schopnosti a trvanlivost břitů nástroje. Tvrdost břitů rychlořezných ocelí se při zvyšující se teplotě, přesahující 600 °C snižuje. Dochází tak při teplotách nižších než u slinutých karbidů. Teplo je jeden z faktorů při stanovování experimentu o trvanlivosti nástroje, proto je třeba připomenout teorii vzniku tepla při řezání. [3, 5, 12, 25]

Téměř veškerá práce se při řezání transformuje v teplo. Teplo během řezného procesu Q_e vzniklé při odebrání materiálu je přibližně rovné práci řezného procesu E_e . Hlavní zdroje tepla (obr. 4.17) jsou v oblasti plastických deformací při tvoření třísky, v oblasti tření třísky po čele nástroje a v oblasti tření hřbetu po obrobené ploše. [3]

$$Q_e = Q_{pd} + Q_y + Q_\alpha \text{ [J]} \quad (4.1)$$

Q_{pd} – teplo vzniklé v oblasti plastických deformací třísky [J]

Q_y – teplo vzniklé v oblasti tření třísky po čele nástroje [J]

Q_α – teplo vzniklé v oblasti tření hřbetu nástroje po přechodové ploše obrobku [J]

Vzniklé teplo řezného procesu Q_e je odváděno do jednotlivých prvků obráběcího systému [3]:

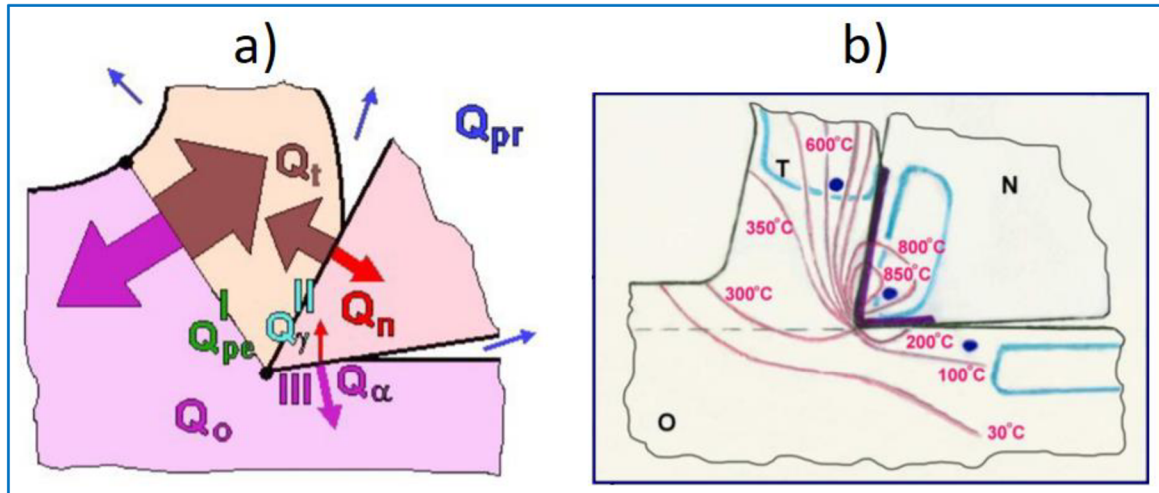
$$Q_e = Q_t + Q_o + Q_a + Q_{pr} \text{ [J]} \quad (4.2)$$

Q_t – teplo odvedené třískou [J]

Q_o – teplo odvedené obrobkem [J]

Q_a – teplo odvedené nástrojem [J]

Q_{pr} – teplo odvedené řezným prostředím [J]



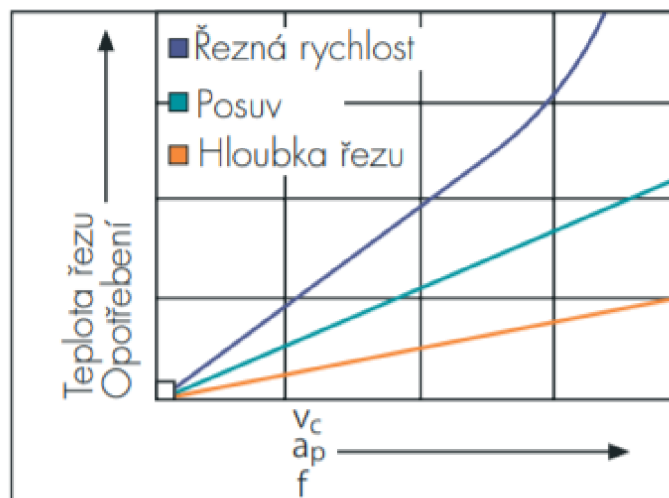
Obr. 4.17 Teplo při obrábění [4, 25]; a) Zdroj a odvod tepla; b) Příklad teplotního pole.

Je třeba volit takové řezné podmínky obrábění, aby teplota v oblasti řezání nepřestoupila kritickou teplotu (tab. 4.1) kterou snese materiál řezné části nástroje. Překročením kritických teplot se rychle zmenšuje tvrdost břitu, nástroj ztrácí řezné schopnosti a jeho opotřebení prudce vzrůstá. [3, 18]

Tab. 4.1 Přípustné hodnoty řezání. [18]

Materiál břitu nástroje	Nejvyšší přípustná teplota řezání (°C)	Přibližná řezná rychlost (m/min)
Slitínová ocel	260	12 až 18
Rychlořezná ocel	560	24 až 36
Slinuté karbidy WC+TiC+Co	900 až 1 100	90 až 150
Keramické materiály	1 100 až 1 200	170 až 300

Teplota, vznikající při třískovém obrábění (s tím související také opotřebení), je závislá na podmínkách obrábění (obr. 4.2). [6]

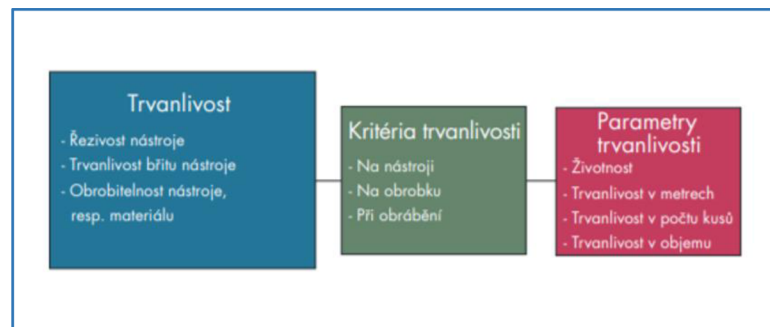


Obr. 4.2 Vliv podmínek třískového obrábění na teplotu obrábění a opotřebení [6].

4.4 Trvanlivost řezných nástrojů

Trvanlivost řezného nástroje lze definovat jako součet všech čistých (strojních) časů řezání. Je to doba provozuschopného stavu nástroje, po kterou je nástroj schopný plnit požadované funkce. **Životnost** nástroje lze definovat, jako součet všech jeho trvanlivostí, nebo též jako doba nástroje v řezu, do které je nástroj schopen pracovat, než dojde k vyčerpání možnosti renovace nástroje. [3, 5, 11]

Hodnota kritéria trvanlivosti musí být stanoveny tak, aby po celou dobu trvanlivosti nástroje nedocházelo k nepříznivým vlivům, působících na obrobek (zhoršená jakost povrchu, změna rozměrů). Kritérium poruchy může být stanoveno parametry opotřebení břitu, drsnosti povrchu obrobené plochy, velikosti řezné síly apod. Parametry trvanlivosti (obr. 4.18) mohou být různé a záleží na technologii obrábění (vrtání, frézování, soustružení). Používají se např. trvanlivost v metrech, trvanlivost v počtu kusů pro automatické strojní linky nebo obráběcí centra. [3, 4, 5, 6]



Obr. 4.18 Terminologie trvanlivosti [6].

„Trvanlivost nástroje, podobně jako opotřebení nástroje, závisí zejména na metodě obrábění (soustružení, frézování, vrtání, atd.), vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu a řezných podmínkách (řezná a posuvová rychlost, šířka záběru ostří, řezné prostředí)“ [4]. Řezná rychlost má největší vliv na trvanlivost. Základní vztah těchto dvou veličin, je znám, jako "T–vc závislost" nebo Taylorův vztah a užívá se ve tvaru [4] :

$$T = \frac{C_T}{V_C^m} \text{ [min]} \quad (4.3)$$

nebo častěji ve tvaru [4] :

$$V_C = \frac{C_V}{T^{1/m}} \text{ [m} \cdot \text{min}^{-1}] \quad (4.4)$$

C_T – konstanta [–]

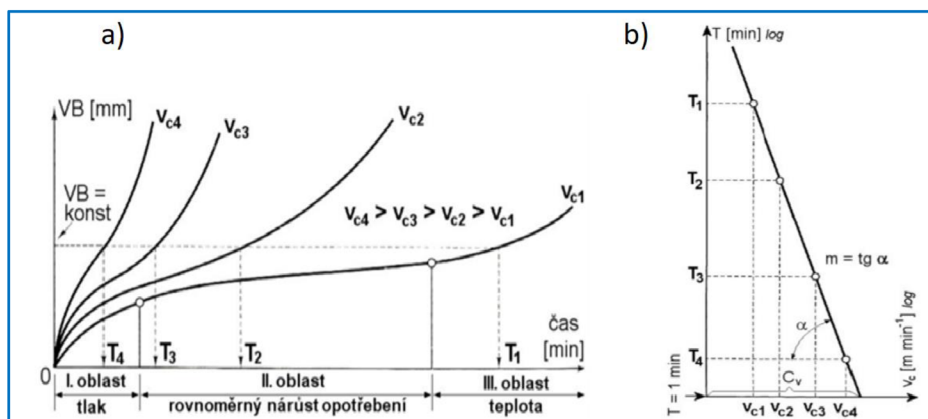
V_C – řezná rychlost [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]

m – exponent (míra závislosti řezné rychlosti na trvanlivosti) [–]

C_V – konstanta [–]

T – trvanlivost [min]

T- v_c závislost se stanovuje pro kombinaci řezný nástroj - obráběný materiál, který je obráběn za konstantních řezných podmínek (f , a_p), při minimálně čtyřech řezných rychlostech a sleduje se opotřebení za čas, které se vnáší do závislostí $VB = f(t)$ (obr. 4.19 a), než se dosáhne předem stanovená hodnota opotřebení (např. $VB = 0,3$ mm.) Řezné rychlosti se volí podle normy ČSN ISO 3685. Ze závislosti opotřebení na čase jsou z časových křivek VB odečteny hodnoty trvanlivosti T_{1-4} , které odpovídají zvoleným řezným rychlostem v_{c1-4} . Body o souřadnicích $v_{c1}-T_1$, $v_{c2}-T_2$, $v_{c3}-T_3$ a $v_{c4}-T_4$ jsou pak vyneseny do diagramu s logaritmičnými souřadnicemi T a v_c (obr. 4.19 b), kde vytvoří přímku, která odpovídá zvolené hodnotě VB . [4, 13]



Obr. 4.19 a) Závislost opotřebení na čase při různých řezných rychlostech [13];
b) Zlogaritmovaný diagram $T-v_c$ [13].

V praxi jsou proto často používány rozšířené vztahy pro $T-v_c$ závislost (rov. 4.5, 4.6). Orientační hodnoty konstant a exponentů jsou zobrazeny v tab. 4.2. [4]

$$V_{cT} = \frac{C_{vT}}{a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} \quad [m \cdot \text{min}^{-1}] \quad (4.5)$$

$$V_C = \frac{C_V}{T^{1/m} \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} \quad [m \cdot \text{min}^{-1}] \quad (4.6)$$

kde:

V_{cT} – řezná rychlost, při konstantní trvanlivosti [$m \cdot \text{min}^{-1}$]

C_{vT} – konstanta [–]

x_v – exponent, vyjadřující hloubku řezu [–]

y_v – exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku [–]

C_V – konstanta [–]

T – trvanlivost [min]

Tab. 4.2 Orientační hodnoty konstant a exponentů [3].

Materiál		C_{vT}	m	a_p [mm]	x_v	f [mm]	y_v
obrobku	nástroje						
12 050.1	RO s chlazením	60	5,9	do 1,5	0,10	do 0,5	0,33
	RO bez chlazení	54	5,9	do 1,5	0,10	do 0,5	0,25
	RO bez chlazení	94	5,9	nad 5	0,38	0,5 až 1,25	0,33
	P 10	600	3,1	do 1,2	0,18	do 0,3	0,24
	P 20	1250	2,0	do 1,8	0,18	do 0,3	0,10
	P 30	400	2,9	nad 5	0,20	0,35 až 2,5	0,48
42 2420	P 40	500	2,5	nad 5	0,22	0,50 až 3,0	0,17
	RO	42	7,1	do 12	0,18	do 0,3	0,32
	K 10	165	3,8	do 12	0,16	do 0,3	0,26

5 PARAMETRIZACE ZVOLENÝCH NÁSTROJŮ

Pro každou technologii se porovnávaly cenově rozdílné nástroje z rozdílných řezných materiálů. Pro technologii vrtání i technologii frézování byly zvoleny tři typy nástrojů. Jeden nástroj z rychlořezné oceli a zbylé dva ze slinutého karbidu. Nástroje se zvolily se stejnou vhodností. Kvůli širokému spektru zvolených nástrojů se obráběl materiál o pevnosti do $500 \text{ N}\cdot\text{mm}^{-2}$, aby bylo možné spolu s nástroji ze slinutého karbidu testovat a porovnávat také nástroje z rychlořezné oceli. Všechny nástroje byly zvoleny $\varnothing 6 \text{ mm}$. Všechny tři typy nástrojů pro každou technologii mají rozdílné vlastnosti a jejich parametry jsou uvedeny v tabulkách 5.1 a 5.2. Nástroje pro obě technologie byly voleny poměrně odlišně, aby byl viditelný rozdíl při porovnávání nástrojů a bylo znázorněno širší porovnání nástrojů. Nástroje byly vybírány z katalogu Hoffmann Group.

Pro výpočty a porovnání v dalších krocích byly nástroje rozděleny do dvou skupin, dle příslušné technologie obrábění. Skupina V – vrtací nástroje, skupina F – frézovací nástroje. Dále dle konkrétního nástroje.

Pro skupinu V – 1) HSS – nižší varianta, 2) SK₁ – střední varianta 3) SK₂ – vyšší varianta

Pro skupinu F – 1) HSS – nižší varianta, 2) SK₁ – střední varianta 3) SK₂ – vyšší varianta

5.1 Nástroje pro vrtání

Pro technologii vrtání byly zvoleny následující nástroje:

Šroubovitý vrták z rychlořezné oceli (V1) – HSS Claver Drill – tento vrták značky Horex (obr. 5.1) byl zvolen jako nižší varianta pro vrtání.



Obr. 5.1 Šroubovitý vrták z rychlořezné oceli značky Horex [32].

Provedení: Stabilní dvoubřitý vrták z rychlořezné oceli, pro všechna standardní použití. Má zlepšené vlastnosti při navrtávání díky křížovému hrotu. Vrták má broušený profil. Cena nástroje je 52 Kč. Technické údaje nástroje jsou uvedeny v tab. 5.1. [32]

Šroubovitý vrták ze slinutého karbidu (V2) – SK vrták Pro Steel – tento vrták značky Horex (obr. 5.2) byl zvolen jako střední varianta pro vrtání.



Obr. 5.2 Šroubovitý vrták ze slinutého karbidu značky Horex [32].

Provedení: Dvoubřitý vrták ze slinutého karbidu s povlakem TiAlN. Vhodný pro použití technologie HPC. Přímé hlavní břity a speciální profil drážek zajišťují dobrý odvod třísek. Robustní geometrie břitu zajišťuje bezpečný proces vysoce výkonného vrtání. Je vyroben z materiálu SK universal což je jemnozrnný slinutý karbid v rozsahu K10 – K40 a P40. Cena nástroje je 576 Kč. Technické údaje jsou uvedeny v tab. 5.1. [32]

Šroubovitý vrták ze slinutého karbidu (V3) – Master SPEED – tento vrták značky Garant (obr. 5.3) byl zvolen jako vyšší varianta pro vrtání.



Obr. 5.3 Šroubovitý vrták ze slinutého karbidu značky Garant [32].

Provedení – Dvoubřitý vrták ze slinutého karbidu, s povlakem TiAlN, vhodný pro použití technologie HPC. Vhodný při použití vysokých řezných rychlostí a pro stroje s vysokými otáčkami. Úzké příčné ostří a zvláštní uspořádání vodících fazetek zaručují vysokou přesnost polohování a lícování. Optimalizovaná mikrogeometrie pro delší životnost a vyšší výkonost. Je vyroben z materiálu SK universal což je jemnozrný slinutý karbid v rozsahu K10 – K40 a P40. Cena nástroje je 1101 Kč. Technické údaje jsou uvedeny v tab. 5.1. [32]

Tab. 5.1 Technické údaje vrtacích nástrojů [32].

TECHNICKÉ ÚDAJE	NÁSTROJE		
	V1	V2	V3
Povlak	bez povlaku	TiAlN	TiAlN
Vnitřní chlazení	ne	ne	ne
Řezný materiál	HSS	SK	SK
Max. hloubka díry	8xD	4xD	4xD
Počet břitů	2	2	2
Tolerance jmenovitý Ø	h8	h7	h7
Norma	DIN 338	DIN 6537 K	DIN 6537 K
Jmenovitý Ø	6 mm	6 mm	6 mm
Vrcholový úhel	130 mm	140 mm	140 mm
Celková délka	133 mm	66 mm	66 mm
Délka drážky na třísky	88 mm	28 mm	28 mm
Ø stopky	6 mm	6 mm	6 mm
Katalogové číslo	114030	122501	122415

5.2 Nástroje pro frézování

Pro technologii frézování byly zvoleny následující nástroje:

Fréza z rychlořezné oceli (F1) – Stopková fréza HSS-Co8 6 mm – tato fréza od výrobce Garant (obr. 5.4) byla zvolena jako nižší varianta pro frézování



Obr. 5.4 Stopková fréza z rychlořezné oceli značky Garant [32].

Provedení: Čtyřbřitá stopková fréza z rychlořezné oceli, s úhlem šroubovice 30 °. Použití jako drážkovací fréza nebo jako stopková fréza. Geometrie čelních břitů pro zanořování do materiálu. Je vyrobena z materiálu HSS Co8. Cena nástroje je 281 Kč. Technické údaje nástroje jsou uvedeny v tab. 5.2. [32]

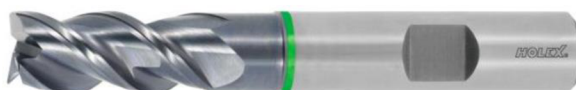
Fréza ze slinutého karbidu (F2) – Karbidová fréza 6 mm – tato fréza značky Horex (obr. 5.5) byla zvolena jako střední varianta pro frézování.



Obr. 5.5 Stopková fréza ze slinutého karbidu značky Horex [32].

Provedení: Tříbřitá stopková fréza ze slinutého karbidu s povlakem AlCrN s úhlem šroubovice 45 °. Fréza má zlepšený povlak pro univerzální použití v oceli a litině. Je vyrobena z materiálu SK universal což je jemnozrnný slinutý karbid v rozsahu K10 – K40 a P40. Cena nástroje je 423 Kč. Technické údaje jsou uvedeny v tab. 5.2. [32]

Fréza ze slinutého karbidu (F3) – Pro STEEL SK hrubovací fréza 6 mm – tato fréza značky Horex (obr. 5.6) byla zvolena jako vyšší varianta pro frézování.



Obr. 5.6 Stopková fréza ze slinutého karbidu značky Horex [32].

Provedení: Tříbřitá stopková fréza ze slinutého karbidu s povlakem TiAlN s úhlem šroubovice 45 °, vhodná pro hrubování a dokončování. Vhodná pro použití do Ø 1xD v plném materiálu při nejvyšších hodnotách posuvu a velmi klidném chodu. Výhoda je optimalizovaný tvar drážek, excentrické podbroušení, velké prostory pro třísky. Je vyrobena z materiálu SK universal což je jemnozrnný slinutý karbid v rozsahu K10 – K40 a P40. Cena nástroje je 601 Kč. Technické údaje jsou uvedeny v tab. 5.2. [32]

Tab. 5.2 Technické údaje frézovacích nástrojů [32].

TECNICKÉ ÚDAJE	NÁSTROJE		
	F1	F2	F3
Povlak	bez povlaku	AlCrN	TiAlN
Norma	DIN 844 B	DIN 6527	DIN 6528
Rohový úhel čela	90 °	45 °	45 °
Počet zubů	4	3	3
Stopka	DIN 1835 B s h6	DIN 6535 HB s h6	DIN 6535 HB s h6
Tolerance jmenovitý Ø	e8	e8	0/ -0,03
Celková délka	72 mm	72 mm	72 mm
Ø stopky	10 mm	10 mm	10 mm
Úhel sklonu šroubovice	30 °	45°	45°
a _p max obvodové frézování	22 mm	22 mm	22 mm
a _p max plné frézování	10 mm	10 mm	10 mm
Katalogové číslo	191500	202296	202414

6 PROVEDENÍ EXPERIMENTU

V experimentu se porovnávaly různé typy monolitních frézovacích a vrtacích nástrojů z rychlořezné oceli a ze slinutého karbidu. Nástroje rozdílných cenových řad se dostávaly do záběru a zkoumalo se porovnání jejich trvanlivosti, opotřebení a množství odebraného materiálu za čas v řezu.

Zkoušky nástrojů probíhaly ve firmě Kavale spol. s r.o. (obr. 6.1).



Obr. 6.1 Logo firmy Kavale spol. s r.o.

Kritéria trvanlivosti se dají posoudit několika způsoby. V bakalářské práci se trvanlivost při **vrtání** měřila jako doba řezného procesu, která se rozdělila do několika časových intervalů, po kterých se měřilo opotřebení nástroje. U **frézování** se měřila doba řezného procesu, která korespondovala s provozuschopným stavem břitu nástroje, který byl postupně kontrolován, díky výkonovému zatížení vřetene stroje, zobrazeného v procentech na displeji stroje, ze kterého se při vyhodnocení určila charakteristika závislosti zatížení na čase v řezu. U frézovacích nástrojů se po vyřazení nástrojů změřilo jejich opotřebení pro porovnání, mezi jednotlivými nástroji. [37]

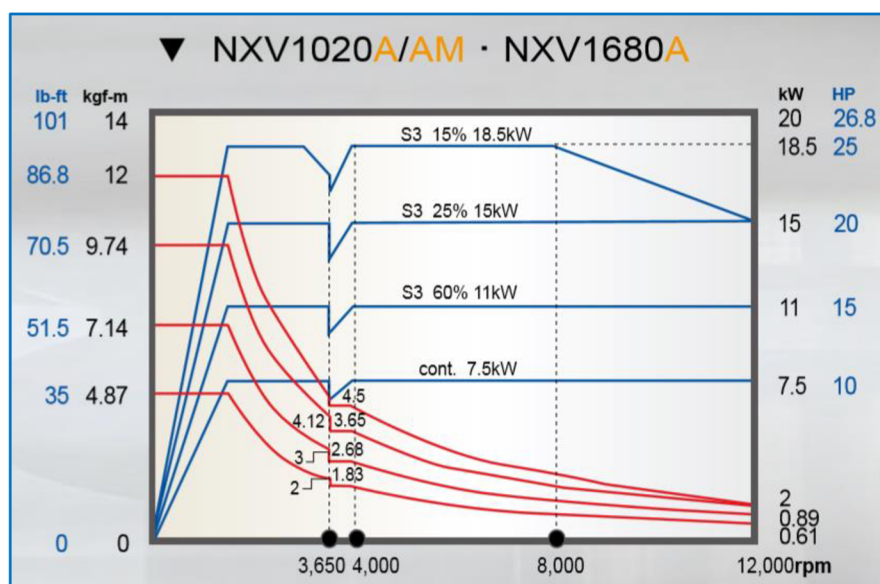
U testování vrtacích nástrojů se stanovilo maximální opotřebení, při kterém je dobré vyměnit nástroj za nový. U testování frézovacích nástrojů byla určena celková trvanlivost podle stanovení nástroje v řezu. Doporučená trvanlivost byla vyčtena z grafů závislosti zatížení na čase jako hodnota, při které je vhodné nástroj vyměnit za nový. Testování probíhalo za podmínek, které jsou vhodné pro zvolené nástroje a zvolený materiál. Čas nástrojů v řezu je určen, jako čistý (strojní) čas nástroje v řezu. [3, 29, 37]

6.1 Stroj použitý pro testy

Pro testování nástrojů bylo použito tříosé CNC vertikální obráběcí centrum značky YCM NSV1020A (obr. 6.1) s řídicím systémem Fanuc mxp – 200 FA. Potřebné parametry stroje se nacházejí v tab. 6.2. Výkonová a momentová charakteristika je zobrazena na obr. 6.3. Další informace o stroji se nacházejí v příloze 3.



Obr. 6.2 Vertikální obráběcí centrum NSV1020A.



Obr. 6.3. Výkonová a momentová charakteristika stroje [39].

Tab. 6.1 Parametry stroje [39].

VŘETENO	HODNOTY
Maximální otáčky vřetena	12 000 min ⁻¹
Maximální výkon motoru	7,5 kW
Podélné přestavení stolu (osa x)	1 020 mm
Podélné přestavení stolu (osa y)	520 mm
Podélné přestavení stolu (osa z)	540 mm

6.2 Zkouška trvanlivosti vrtacích nástrojů

Nástroje pro technologii vrtání byly zkoušeny tak, že se do zvoleného materiálu o rozměrech 160 x 100 mm a tloušťky 14 mm vrtaly průchozí díry. Obrábění probíhalo za konstantních řezných podmínek, zvolených pro každý nástroj. S přibývajícím časem se zvyšovalo otupení břitů nástroje, které bylo postupně kontrolováno po časových intervalech a měřeno na mikroskopu. Po každém intervalu byly nástroje vyjmuty a bylo změřeno jejich opotřebení. Program pro CNC stroje byl vytvořen v systému Autodesk HSM Inventor.

Kritéria pro měření byly tedy opotřebení nástroje, čas nástroje v řezu a odebrané množství materiálu. Z hodnot opotřebení materiálu, závislého na čase byly sestaveny grafy pro každý nástroj, které jsou výchozí pro zhodnocení dat z obrábění.

6.2.1 Obráběný materiál

Jako obráběný materiál byla využita ocel S235JR (1.0037). Chemické složení a mechanické vlastnosti materiálu jsou zobrazeny v tab. 6.2. Hutní atest materiálu se nachází v příloze 1.

Tab. 6.2 Chemické a mechanické vlastnosti obráběného materiálu.

Značka - S235JR						Číselné označení - 1.0037						
Chemické složení [%]												
C	Mn	Si	P	S	N	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	Ti	Nb
0,1	0,83	0,016	0,016	0,01	0,003	0,09	0,04	0,05	0,01	0,039	0,001	0,001
Mez v kluzu R_e [MPa]				Pevnost v tahu R_m [MPa]					Tažnost A [%]			
276				384					39			

Na experiment byl vyhrazen plech o tloušťce 15 mm, který se následně nařezal laserovým řezáním na díly o rozměrech 160 x 100 mm. Před samotným testováním byla snížena plocha pro vrtání z obou stran o 0,5 mm, tudíž plech měl před testování tloušťku 14 mm.

6.2.2 Volba řezných podmínek

Řezné podmínky jsou důležitým faktorem, mají vliv na průběh experimentu a následující výpočty. Podle vztahu dle kapitoly 4.4 by se daly určit optimální řezné podmínky podle Taylorova vztahu, ale tím, že na experiment je dodán omezený počet nástrojů, tak je třeba určit řezné podmínky podle výrobců řezných nástrojů. Tyto řezné podmínky je třeba dále upravit, podle zkušeností z obrobny ve firmě. V tab. 6.3 jsou zobrazeny řezné podmínky, pro zvolené vrtací nástroje. Pro všechny tři typy nástrojů bylo použito vnitřní chlazení procesní kapalinou. Chladicí účinek procesní kapaliny je závislý na její koncentraci. V tomto případě byla použita procesní kapalina s koncentrací 6 % ve vodě. Jako mazací olej byl použit QUACERCOOL 7200 HBFF. Vygenerované řezné podmínky z aplikace výrobců nástrojů se nacházejí v příloze 4. [23]

Tab. 6.3 Řezné podmínky jednotlivých nástrojů pro vrtání.

TECHNICKÉ ÚDAJE	NÁSTROJE		
	V1	V2	V3
Materiál	S235JR	S235JR	S235JR
Řezná rychlost v_c [$m \cdot min^{-1}$]	35	115	170
Počet otáček n [min^{-1}]	1860	6100	9020
Posuv f [mm]	0,12	0,14	0,25
Rychlost posuvu v_f [$mm \cdot min^{-1}$]	223	854	2250
Krouticí moment M_d [N_m]	1,577	1,781	2,89
Řezný výkon P_c [kW]	0,307	1,138	2,73
Chlazení	ANO	ANO	ANO

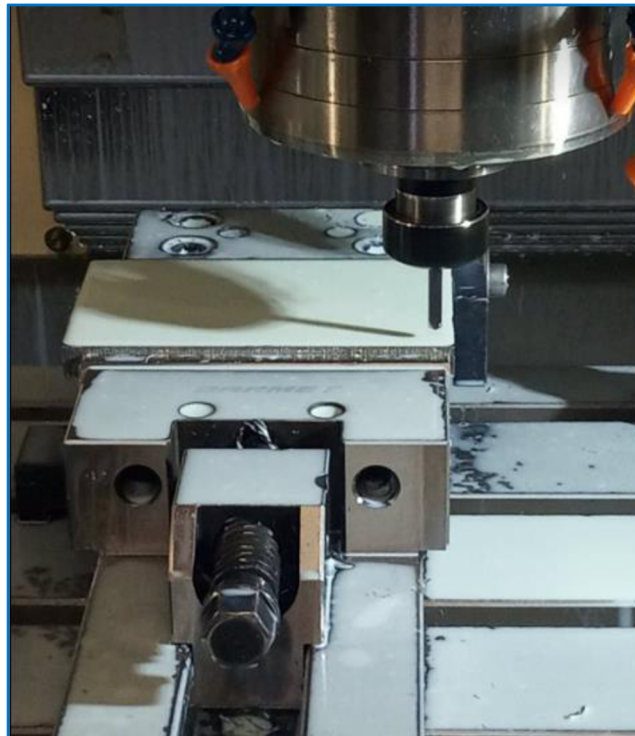
6.2.3 Provedení experimentu

Nástroje byly upnuty v kleštinovém upínači HAIMER 40.320.14 dle normy DIN 69871 ADB SK 40-ER16 (obr. 6.4). Tento upínač slouží k upnutí nástrojů s válcovou stopkou v kleštinách ve shodě s ISO 15488. [28]



Obr. 6.4 Kleštinový upínač Haimer.

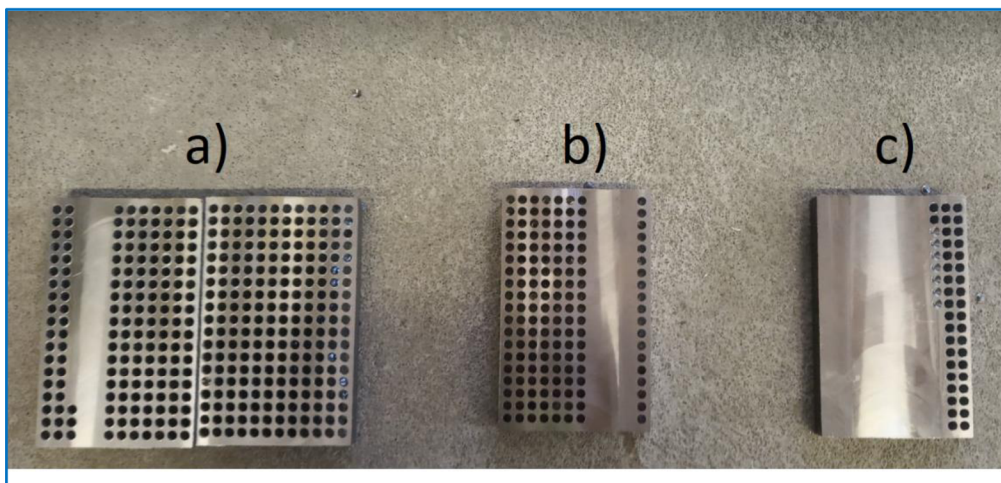
Materiál byl ve stroji upnut pomocí mechanického svěráku na 2 podložky o rozměrech 8 x 39 x 160 mm (obr. 6.5). Podložky bylo nutné po každém upnutí vytahovat, aby nedošlo k navrtání podložek a tím způsobení destrukce nástroje. U nástroje z rychlořezné oceli, bylo třeba díry navrtat. U nástrojů V2 a V3, vzhledem k jejich vlastnostem, navrtávání nebylo potřeba. Nástroje vrtaly průchozí díry, vzdálené od sebe středově 8,5 mm. Na jeden kus plechu se vešlo 225 děr. Dokumentace z obrábění se nachází v příloze 6. Seřizovací listy pro vrtání se nachází v příloze 7. NC kód pro vrtání je zobrazen v příloze 11.



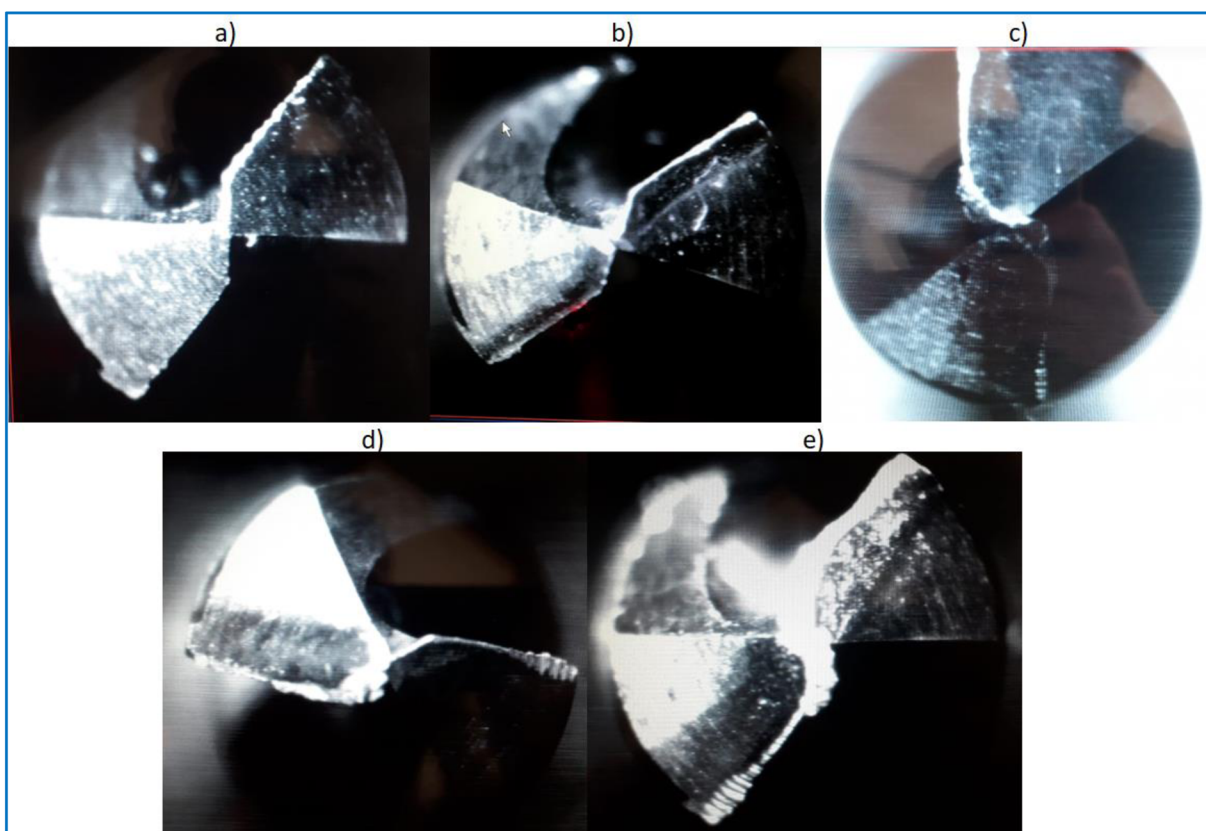
Obr. 6.5 Upnutý materiál těsně před započítím testu.

6.2.4 Vyhodnocení experimentu

V experimentu byla provedena zkouška všech třech nástrojů. Testování probíhalo, za předem určených podmínek (tab. 6.2). Nástroje se spustily jednotlivě do řezu a jejich opotřebení bylo měřeno po časových intervalech. Všechny tři typy nástrojů jsou rozdílné a za jeden interval odeberou rozdílné množství materiálu, tedy vyvrtají rozdílný počet děr. Pro ukázkou průběžné opotřebení nástroje V1 (obr. 6.7) a vyvrtaný počet děr všemi nástroji, po 2,5 minutách v řezu (obr. 6.6). Nástroje byly měřeny na přístroji PWB SWISS TOOLMASTER 250. Technická data přístroje se nacházejí v příloze 3.



Obr. 6.6 Odebraný materiál při prvním intervalu nástroji: a) V3; b) V2; c) V1.

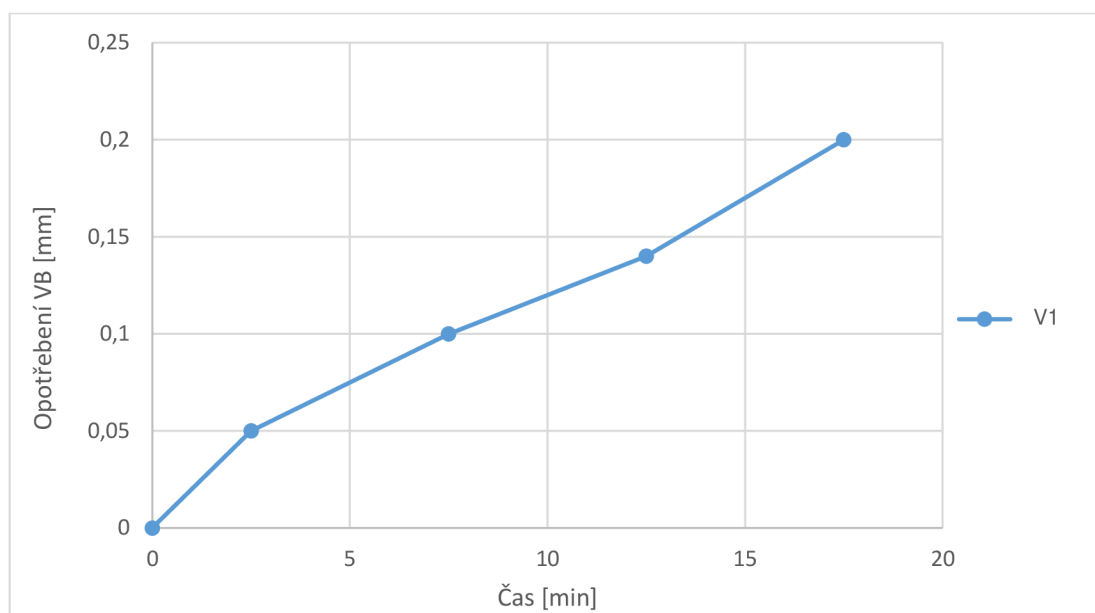


Obr. 6.7 Opotřebení nástroje V1; a) VB₀; b) VB_{2,5}; c) VB_{7,5}; d) VB_{12,5}; e) VB_{17,5}.

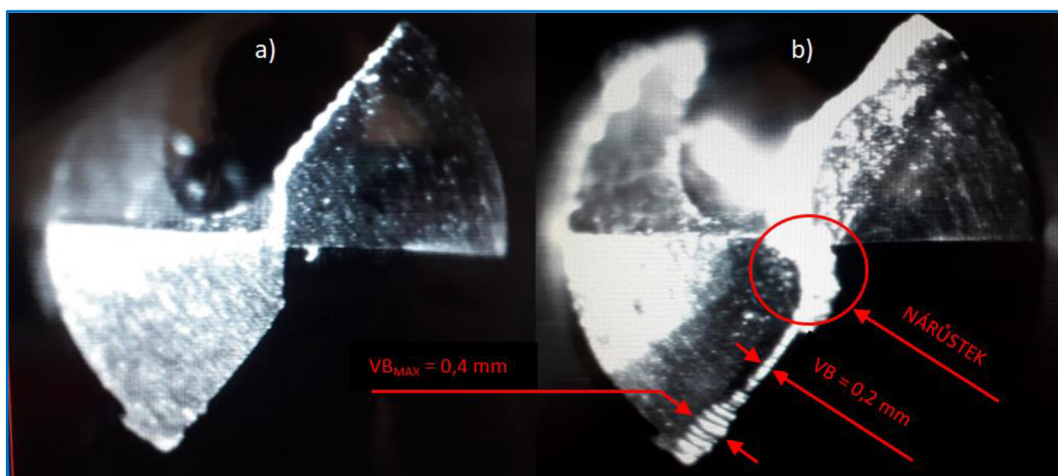
Nástroj V1 (HSS vrták Claver drill) – U tohoto nástroje bylo naměřeno přibližné opotřebení na hřbetě 0,2 mm po 17,5 minutách v řezu (tab. 6.4). Za tuto dobu vyvrtal 280 děr. Na nástroji bylo vyhodnoceno také nadměrné opotřebení na špičce nástroje ve formě nárůstku. Opotřebení bylo měřeno po několika časových intervalech. Porovnání nového a opotřebeného nástroje je zobrazeno na obr. 6.9. Nástroj byl náchylný kromě tvorby nárůstku také k nepříznivému namotávání třísek. Nevýhoda tohoto nástroje oproti nástrojům ze slinutého karbidu je taková, že je potřeba díry navrtat, a tak dochází k značnému prodloužení strojních časů. Závislost opotřebení na čase je zobrazena na obr. 6.8.

Tab. 6.4 Opotřebení nástroje V1.

Čas [min]	0	2,5	7,5	12,5	17,5
VB [mm]	0	0,05	0,1	0,14	0,2



Obr. 6.8 Průběh opotřebení nástroje V1.

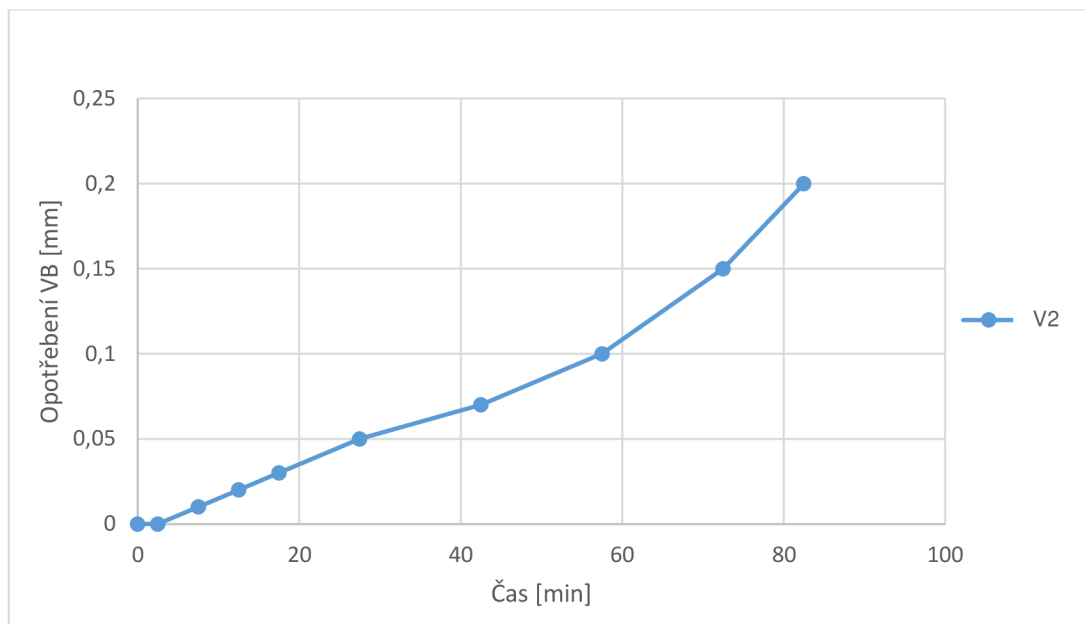


Obr. 6.9 Nástroj V1; a) nový; b) po 17,5 minutách v řezu.

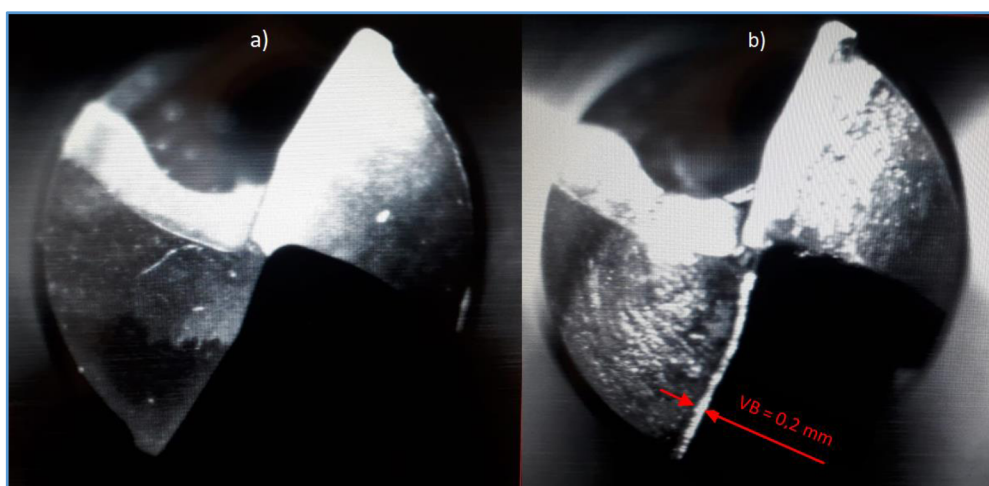
Nástroj V2 (SK vrták Holec) – U tohoto nástroje bylo naměřeno přibližné opotřebení na hřbetě 0,2 mm po 82,5 minutách v řezu (tab. 6.5). Za tuto dobu vyvrtal 5032 děr. Nástroj vykazoval téměř konstantní opotřebení na hřbetě, jak by tomu mělo být, při správně zvolených řezných podmínkách. Opotřebení bylo měřeno po několika časových intervalech. Na obr 6.11 je zobrazeno opotřebení nástroje před započítím a po skončení v řezu. Závislost opotřebení na čase je zobrazena na obr. 6.10.

Tab. 6.5 Opotřebení nástroje V2.

Čas [min]	0	2,5	7,5	12,5	17,5	27,5	42,5	57,5	72,5	82,5
VB [mm]	0	0	0,01	0,02	0,03	0,05	0,07	0,1	0,16	0,2



Obr. 6.10 Průběh opotřebení nástroje V2.

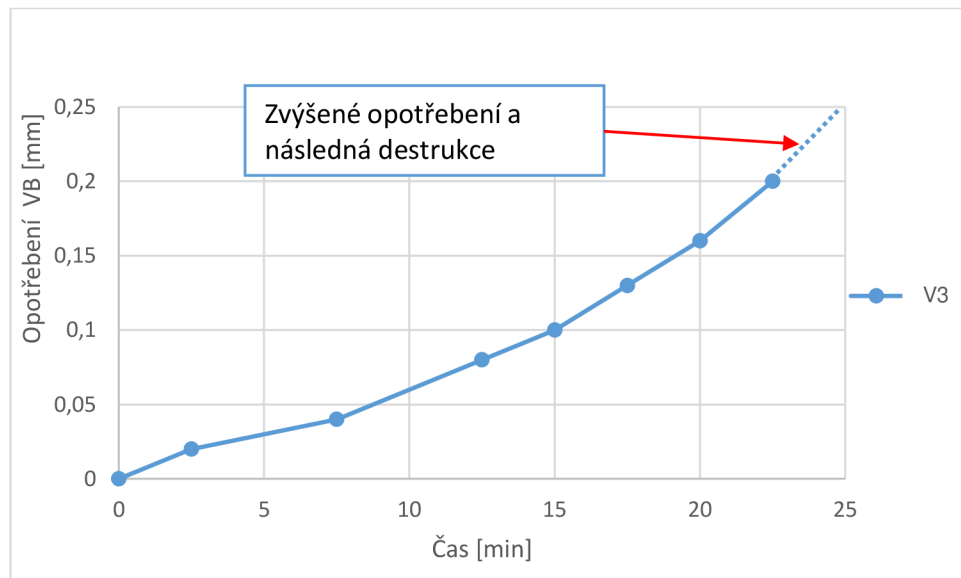


Obr. 6.11 Nástroj V2; a) Nový; b) Opotřebení po 82,5 minutách v řezu.

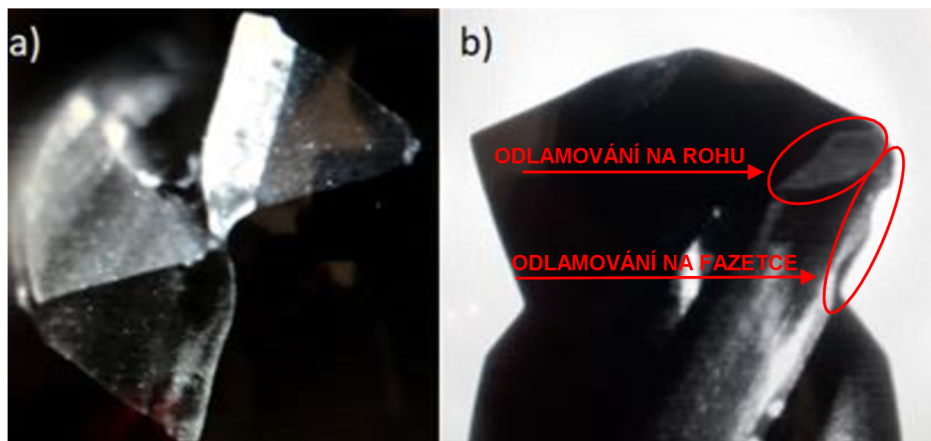
Nástroj V3 (SK vrták GARANT) – Tento nástroj je vhodný pro použití technologie HPC. S tím souvisí také volba řezných podmínek a také nutná mimořádná tuhost soustavy S-N-O-P. Nástroj po 22,5 minutách v řezu vykazoval opotřebení hřbetu 0,2 mm (tab. 6.6), ale také vykazoval nežádoucí typy opotřebení na rozích a fazetce. Po opětovném vpuštění nástroje došlo pravděpodobně ke zvýšenému opotřebení a tím došlo k destrukci nástroje. Nežádoucí opotřebení mohlo vzniknout při špatném odvodu třísek, špatném přívodu procesní kapaliny, rozkmitáním obrobku nebo nástroje (kapitola 4.2.2). Tento nástroj má vysoký objem třísek za čas. Za 22,5 minut dokázal vyvrtat 3645 děr. Závislost opotřebení na čase je zobrazena na obr. 6.12. Opotřebení nástroje na obr. 6.13.

Tab. 6.6 Opotřebení nástroje V3.

Čas [min]	0	2,5	7,5	12,5	15	17,5	20	22,5
VB [mm]	0	0,02	0,04	0,08	0,1	0,13	0,16	0,2



Obr. 6.12 Průběh opotřebení nástroje V3.



Obr. 6.13 Nástroj V3; a) nový nástroj; b) odlamování na rohu a fazetce.

6.3 Zkouška trvanlivosti frézovacích nástrojů

Nástroje pro technologii frézování byly zkoušeny tak, že se do zvoleného materiálu frézovaly průjezdy v ose x, aby docházelo k rovnoměrnému zatížení vřetene v jednom směru. Obrábění probíhalo za konstantních rezných podmínek, zvolených pro každý nástroj. Program pro CNC stroje byl vytvořen v systému Autodesk HSM Inventor.

Jak už bylo zmíněno, trvanlivost frézovacích nástrojů se dají posoudit několika způsoby, v tomto případě se měřilo výkonového zatížení vřetene stroje. Nástroje od začátku v řezu vykazovaly výkonové zatížení na vřeteni stroje, zobrazené v procentech na displeji stroje. To se postupem času zvyšovalo s přibývajícím otupením břitů nástroje. Spolu s vřetenem byl kontrolován také čas a počet průjezdů, při kterém docházelo k procentuálnímu navýšení výkonového zatížení vřetene stroje. Po době, které nástroj přestával být provozuschopným a plnit požadované funkce se vyřadil. Následně se změřilo jeho opotřebení pro porovnání s dalšími nástroji.

Kritéria pro měření byly tedy čas nástroje v řezu, výkonové zatížení vřetena při obrábění, odebrané množství materiálu a nakonec také opotřebení nástroje. Z hodnot procentuálního rozdílu výkonu při obrábění, závislého na čase byly sestaveny grafy, které jsou výchozí pro zhodnocení dat z obrábění.

6.3.1 Obráběný materiál

Jako obráběný materiál byla využita ocel S355J2 (1.0057). Chemické složení a mechanické vlastnosti materiálu jsou zobrazeny v tab. 6.7 Hutní atest materiálu je zobrazen v příloze 2.

Tab. 6.7 Chemické a mechanické vlastnosti materiálu.

Značka - S355J2						Číselné označení - 1.0057						
Chemické složení [%]												
C	Mn	Si	P	S	N	Cu	Ni	Cr	Mo	Al	Ti	Sn
0,19	1,28	0,41	0,007	0,01	0,11	0,17	0,07	0,11	0,02	0,036	0,014	0,012
Mez v kluzu R_m [MPa]				Pevnost v tahu R_e [MPa]				Tažnost A [%]				
381				582				31				

Na experiment byla vyhrazena čtvercová tyč o rozměrech 100 x 100 x 2000 mm. Materiál byl dělen na kostky o rozměrech 100 x 100 x 200 mm.

6.3.2 Volba řezných podmínek

Řezné podmínky jsou důležitým faktorem, mají vliv na průběh experimentu a následující propočty. Podle vztahů dle kapitoly 4.4 by se daly určit optimální řezné podmínky podle Taylorova vztahu, ale tím, že na experiment je dodán omezený počet nástrojů, tak bylo třeba určit řezné podmínky podle výrobců řezných nástrojů. Tyto řezné podmínky bylo třeba dále upravit, podle zkušeností z obrobny ve firmě. V tab. 6.8 jsou zobrazeny řezné podmínky, pro zvolené frézovací nástroje. Důležitými faktory je hloubka řezu a_p a šířka řezu a_e , které kvůli porovnání nástrojů zůstanou pro všechny nástroje na stejné hodnotě, tedy $a_p = 6$ mm, $a_e = 2$ mm. Všechny ostatní hodnoty jsou rozdílné, vzhledem k různým typům nástrojů. Pro všechny tři typy nástrojů bylo použito vnitřní chlazení procesní kapalinou. Chladicí účinek procesní kapaliny je závislý na její koncentraci V našem případě byla použita procesní kapalina s koncentrací 6 % ve vodě. Jako mazací olej byl použit QUACERCOOL 7200 HBFF. Vygenerované řezné podmínky z aplikace výrobců nástrojů se nacházejí v příloze 5. [23]

Tab. 6.8 Řezné podmínky jednotlivých nástrojů pro frézování.

TECHNICKÉ ÚDAJE	NÁSTROJE		
	F1	F2	F3
Materiál	S355J2	S355J2	S355J2
Řezná rychlost v_c [$m \cdot min^{-1}$]	25	80	220
Počet otáček n [min^{-1}]	1380	4240	11700
Posuv f [mm]	0,0275	0,176	0,162
Posuv na zub f_z [mm]	0,00689	0,0588	0,0539
Rychlost posuvu v_f [$mm \cdot min^{-1}$]	36,5	748	1890
Kroutící moment M_d [Nm]	0,448	1,1642	1,541
Řezný výkon P_c [kW]	0,062	0,73	1,883
Chlazení	ANO	ANO	ANO

6.3.3 Provedení experimentu

Nástroje byly upnuty v upínači Weldon SK 40-10-50-K dle normy DIN 69871 AD/B (obr. 6.14). Slouží k upnutí nástrojů s válcovou stopkou, opatřenou odpovídající boční plochou. Tento upínač má dle označení AD/B průchozí otvor pro centrální přívod procesní kapaliny a dva otvory na pásu nástrojů pro boční přívod chladicí kapaliny. Upínače Weldon používají k upnutí jeden nebo dva šrouby kolmé k ose nástroje. [27]



Obr. 6.14 upínač Weldon SK 40–10–50–K.

Materiál byl ve stroji upnut pomocí mechanického svěráku na 2 podložky o rozměrech 43 x 8 x 150 mm, tím pádem byl upnut za 10 mm své výšky, aby se mohlo obrobit co nejvíce materiálu. Upnutí bylo provedeno do mechanického svěráku a před samotným zahájením testu bylo na materiálu sníženo čelo o 0,5 mm čelní frézou \varnothing 72 mm. Následně byly strany kostky obrobena stopkovou frézou \varnothing 10 mm do hloubky 31 mm a do strany 2 mm (obr 6.15), aby se zamezilo nepříznivým vlivům na nástroje, kvůli nepřesnostem polotovaru. Kostka materiálu byla frézována průjezdy v ose x, aby zatížení vřetena vykazovalo konstantní hodnotu. Po odfrézování 30 mm materiálu bylo nutné znovu kostku obrobit obvodovým frézováním do strany 2 mm a do hloubky 30 mm. Dokumentace z obrábění se nachází v příloze 6. Seřizovací listy pro frézování se nachází v příloze 8. NC kód pro frézování je zobrazen v příloze 10.

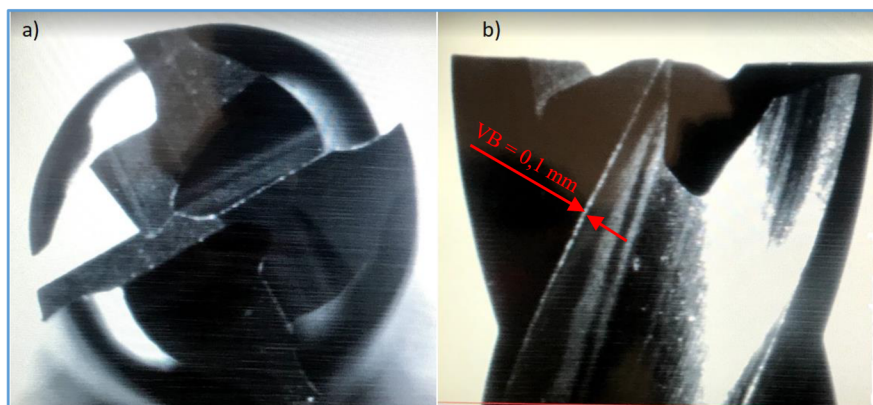


Obr. 6.15 upnutí materiálu ve stroji.

6.3.4 Vyhodnocení experimentu

V experimentu byla provedena zkouška všech třech nástrojů. Testování probíhalo, za předem určených podmínek (tab. 6.8). Nástroje s přibývajícím časem vykazovaly čím dál větší silové zatížení na vřetení stroje, tudíž docházelo k čím dál většímu opotřebení nástrojů. Z těchto závislostí byly vytvořeny grafy, ze kterých je patrný nárůst opotřebení a lze stanovit hodnotu trvanlivosti T_{dop} , která určuje doporučenou dobu provozu nástroje. Hodnota trvanlivosti T_{celk} určuje celkový čas v nástroje v řezu. V tab. 6.9 - 6.11 jsou zobrazeny naměřené hodnoty a nárůst zatížení vřetena při časovém údaji pro nástroje F2 a F3. Opotřebení nástroje bylo měřeno na přístroji PWB SWISS TOOLMASTER 250. Technická data přístroje se nacházejí v příloze 3.

Nástroj F1 (HSS Fréza Hoxlex) - Už při stanovení rezných podmínek byl patrný rozdíl v produktivitě, mezi tímto nástrojem a nástroji F2 a F3. Jelikož fréza byla použita při malé rezné rychlosti a posuvu, zatížení vřetena vykazovalo od začátku řezu 0 %. Síly působící na vřetení byly tak malé, že se zatížení nezvyšovalo ani při otupení nástroje, které po 45 minutách v řezu dosahovalo 0,1 mm na hřbetě ostří (obr. 6.16). Pro tento nástroj nebyl sestaven průběh trvanlivosti, kvůli nízkým hodnotám zatížení a bylo rozhodnuto, že nástroj nebude dále pokračovat v řezu.

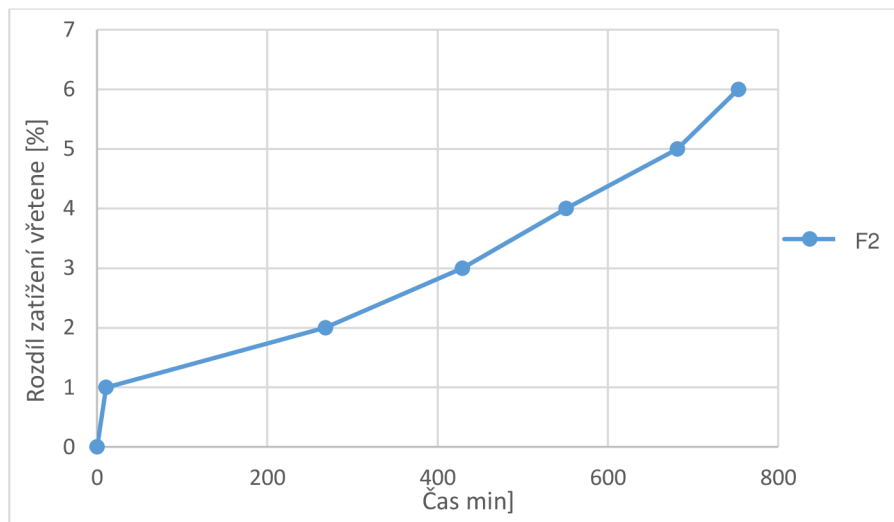


Obr. 6.16 opotřebení nástroje F1; a) na čele; b) na hřbetě ostří.

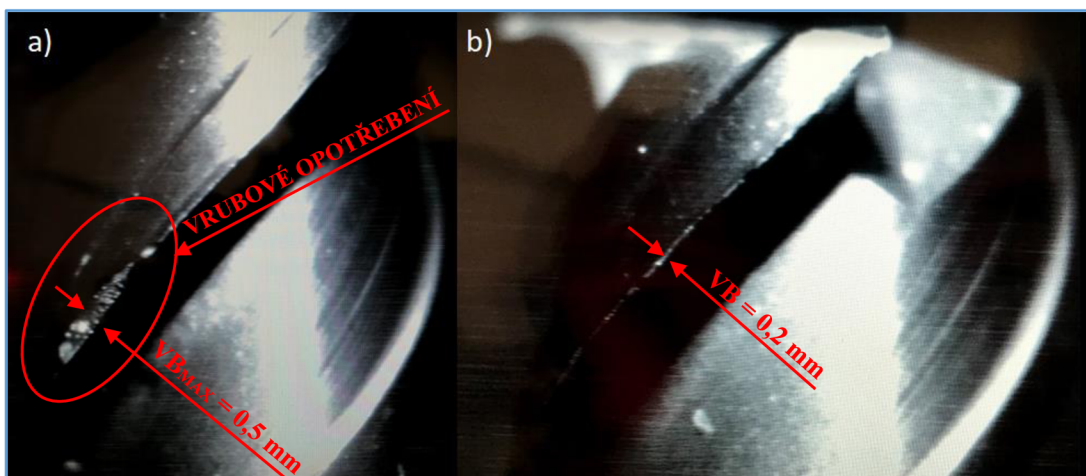
Nástroj F2 – (SK Fréza Holes) - Při zahájení řezu zatížení vykazovalo 3 %. Od 10,6 minut v řezu zatížení vzrostlo na 4 %. Potom se zatížení zvětšovalo pomaleji, téměř konstantně. Po 550 minutách v řezu se objevovaly na obráběném materiálu otřepy, které dále navyšovaly na intenzitě (pravděpodobně způsobené vrubovým opotřebením nástroje). Po 753 minutách v řezu nástroj nekorespondoval s provozuschopným stavem břitu a nebyl schopen plnit požadované funkce ostrého nástroje, proto byla tato hodnota stanovena jako T_{celk} . V tuto dobu vykazoval zatížení 8 %, tedy od začátku řezu do vyjmutí vykazoval rozdíl v zatížení 5 %. Po změření nástroje pod mikroskopem bylo zjištěno konstantní hřbetní opotřebení nástroje 0,2 mm a také vrubové opotřebení břitu (obr. 6.18). Za tento časový údaj bylo ubráno 6754 cm³ materiálu. Podle průběhu obrábění byla doporučená trvanlivost nástroje T_{dop} stanovena na 550 minut. Na obr. 6.17 je zobrazen průběh zatížení vřetene.

Tab. 6.9 Zatížení vřetene, závislé na čase.

Čas [min]	10,6	268,8	429,1	550,7	681,4	753,2
rozdíl zatížení [%]	1	2	3	4	5	6



Obr. 6.17 Graf průběhu trvanlivosti nástroje F2.



Obr. 6.18 Opotřebení nástroje F2; a) vrubové opotřebení; b) opotřebení na hřbetě.

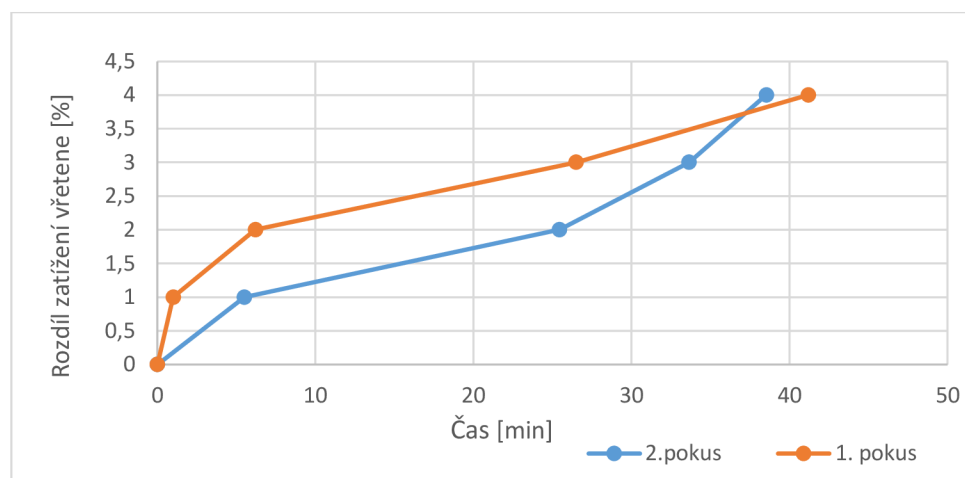
Nástroj F3 – (SK Fréza pro STEEL) - Při zahájení experimentu bylo zatížení vřetena 27 %, ovšem samotné vřeteno bez záběru v materiálu vykazovalo zatížení 10 %. Po 5,5 minutách v řezu zatížení vzrostlo na 28 %, poté zatížení vzrostlo na 29 % po 25,5 minutách v řezu. Po 33 minutách vzrostlo zatížení na 30 %. Dále fréza obráběla do času 38,5 minuty, kdy došlo nečekaně k destrukci nástroje. Téměř nic však nenaznačovalo tomu, že by mělo dojít k destrukci. Rozdíl v zatížení vřetene také o moc nevystoupal. Bylo tedy rozhodnuto dát do záběru ještě jeden nástroj, ale výsledek byl podobný (tab. 6.10, 6.11). Trvanlivost tohoto nástroje, by měla být daleko vyšší. Je třeba zvážit, jestli bylo dodrženo správného postupu při stanovování rezných podmínek, při upínání nástrojů, kdy mohlo dojít k rozkmitání nástroje v upínači, nebo při špatném odvodu třísek (kapitola 4.2.1). Při takovémto vysokoproduktivním obrábění i malá chyba dokáže nepříznivě působit na obráběcí proces. Za 41 minut v řezu bylo odebráno 934 cm³ materiálu. Průběhy zatížení vřetene do destrukce jsou zobrazeny na obr. 6.19.

Tab. 6.10 Zatížení vřetene, závislé na čase (1. pokus).

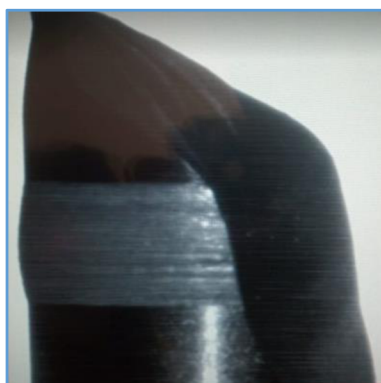
Čas [min]	1	6,2	26,5	41,2
rozdíl zatížení [%]	1	2	3	4

Tab. 6.11 Zatížení vřetene, závislé na čase (2. pokus).

Čas [min]	5,5	25,4	33,6	38,5
rozdíl zatížení [%]	1	2	3	4



Obr. 6.19 Graf průběhu trvanlivosti nástroje F3



Obr. 6.20 Destrukce nástroje F3

6.4 Zhodnocení získaných dat

V této kapitole bylo provedeno zhodnocení naměřených dat z obrábění. Hodnocení bylo provedeno rozdílně, podle zvolené technologie. V tabulkách 6.12 a 6.13 jsou přehledně sestaveny hodnoty pro frézování a vrtání. Odebrané množství Q_{\min} bylo spočítáno podle vztahů (2.5) pro vrtání a (2.15) pro frézování. Celkové odebrané množství materiálu Q_{celk} je vynásobená množství Q_{\min} celkovou trvanlivostí T_{celk} . Trvanlivost u frézování je určena trvanlivostí T_{dop} , která byla určena jako doporučená hodnota, kdy je třeba nástroj vyjmout z řezu. Dráha je určena, jako celková dráha nástroje v metrech, kterou nástroj konal po dobu řezného procesu. U vrtání je v tab. 6.13 zobrazen také čas při opotřebení na hřbetě nástroje $VB = 0,2$ mm a počet vyvrtaných děr. [37]

Tab. 6.12 Zhodnocení vrtacích nástrojů.

NÁSTROJ	V1	V2	V3
Čas při $VB = 0,2$ mm [min]	17,5	82,5	22,5
Q_{\min} [$\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]	6,29	24,15	63,6
Q_{celk} [cm^3]	110,1	1 992,4	1 431
počet děr $\cdot \text{min}^{-1}$ [ks]	16	61	162
počet děr za trvanlivost [ks]	280	5 032	3 645

Tab. 6.13 Zhodnocení frézovacích nástrojů.

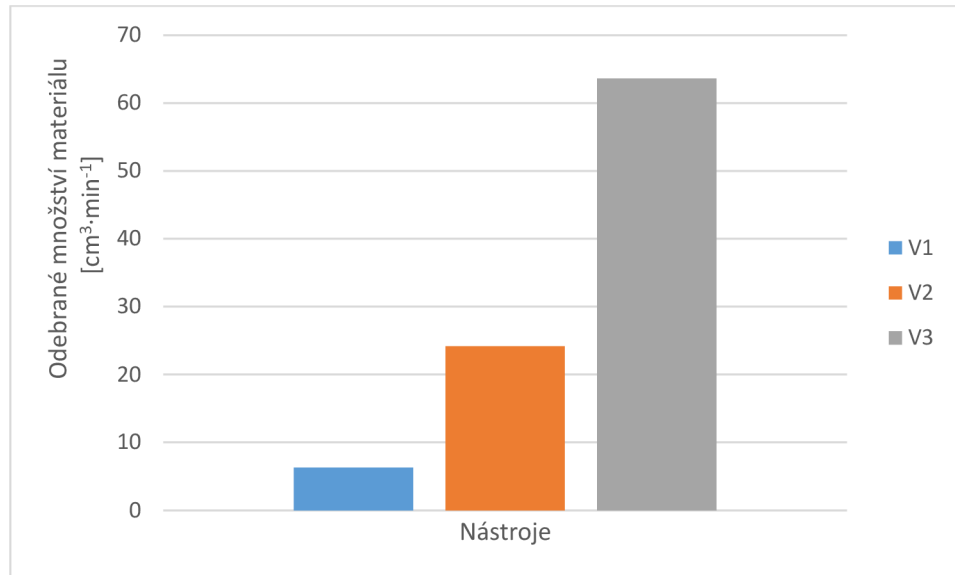
NÁSTROJ	F1	F2	F3
T_{celk} [min]	–	753	41,2
T_{dop} [min]	–	550	–
Q_{\min} [$\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]	0,44	8,97	22,68
Q_{celk} [cm^3]	–	6 754	934
s [m]	–	576	72,7

Odebrané množství materiálu různými druhy frézovacích (obr. 6.21) a vrtacích nástrojů (obr. 6.22) za minutu v řezu je značně rozdílné. Při obrábění nástroji z rychlořezné oceli (V1, F1) byla zjištěna produktivita obrábění mnohem nižší, v porovnání s nástroji ze slinutého karbidu. To vše souvisí se zvolenými nástroji a s podmínkami obrábění. U nástrojů ze slinutého karbidu (V2, V3, F2, F3) je produktivita vysoká, ovšem úměrná ceně nástrojů. Blíže je tato problematika rozebrána v diskusi.

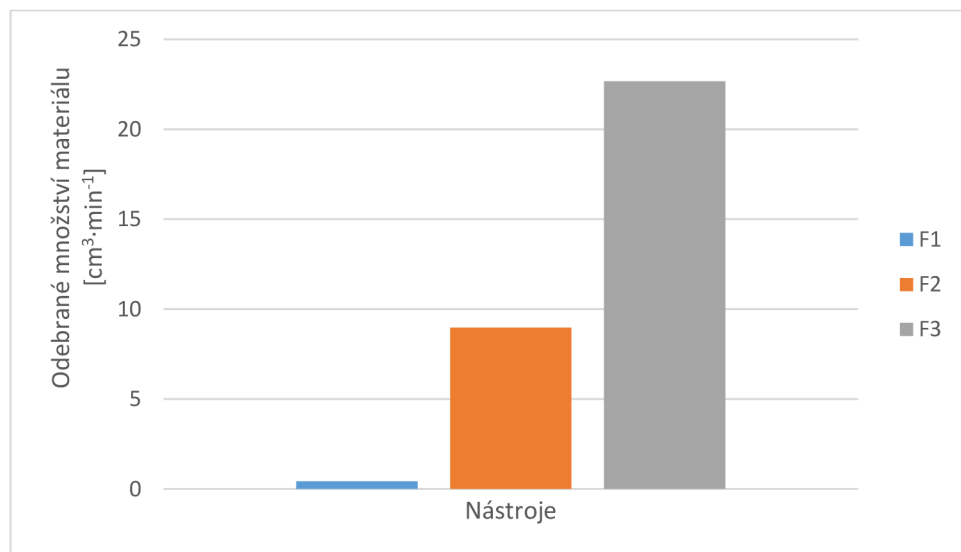
Při porovnání odebraného materiálu jednotlivými nástroji, za dobu jedné trvanlivosti u vrtání, je patrný rozdíl v trvanlivosti a v produktivitě mezi nástroji V1 a V2. Zajímavé je porovnání nástrojů V2 a V3. Nástroj V2 sice dokázal odebrat více materiálu za trvanlivost a to o $561,4 \text{ cm}^3$, ale nástroj V3 je mnohem produktivnější a to o více než 60%.

U frézovacího nástroje F1 je patrné, že jeho produktivita při zvoleném druhu obrábění je velice nízká, v porovnání k jeho ceně, která činí 75% ceny daleko více produktivnějšího nástroje F2. Nástroj F2, dokázal být v řezu při provozuschopném

stavu 753 minut a odebral 6754 cm³ materiálu. Hodnota doporučené trvanlivosti byla vyhodnocena na 550 minut. Nástroj F3, který disponuje vysokým množstvím odebraného materiálu za čas v řezu však i při opakovaném pokusu nevydržel více než 41,2 minut, než došlo k destrukci nástroje, která pravděpodobně nastala kvůli nesprávně zvoleným podmínkám při obrábění (kapitola 4.2.1).



Obr. 6.21 Graf odebraného množství materiálu za minutu v řezu vrtacími nástroji.



Obr. 6.22 Graf odebraného množství materiálu za minutu v řezu frézovacími nástroji.

Porovnání vrtacích nástrojů a jejich ekonomické zhodnocení pro nasazení v praxi, při obrábění jednoduché součásti je sepsáno v kapitole 7.

7 ROZBOR VLIVU NÁSTROJŮ NA VÝROBU

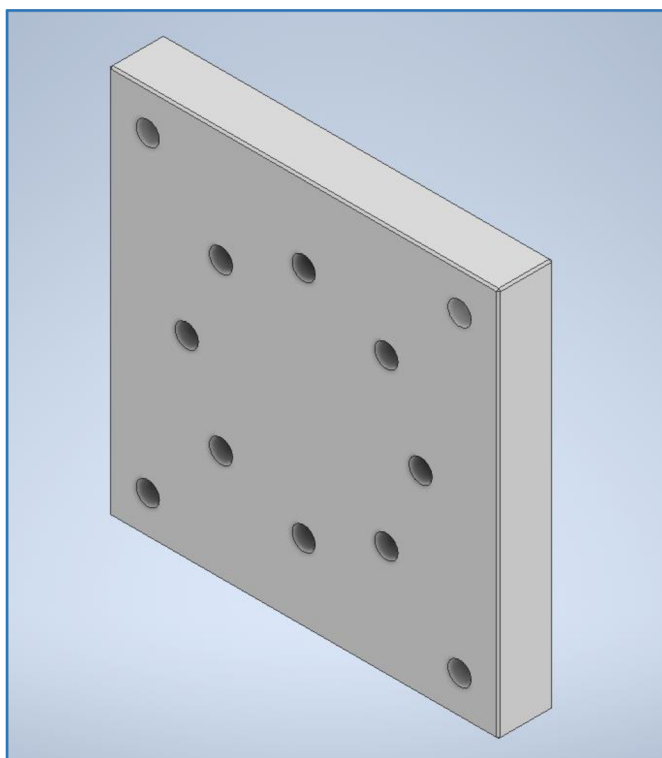
Další částí experimentu je ekonomický vliv nástrojů na výrobu. Tato část experimentu vychází z naměřených hodnot trvanlivosti v kapitole 6. Zvolený díl byl obroben technologií vrtání pro porovnání nákladů třemi nástroji (V1, V2, V3).

Tato část experimentu byla provedena pouze teoreticky, protože důležitým výsledkem této části experimentu je časový údaj obrobení zvoleného dílce. Po získaných hodnotách byly provedeny výpočty, odkazující na naměřenou trvanlivost nástrojů v předchozí části experimentu, díky kterým byl zjišťován vliv na výrobu.

Rozbor byl proveden pouze pro vrtací nástroje, vzhledem k nepříznivým hodnotám trvanlivosti frézovacího nástroje F3.

7.1 Obráběná součást

Pro ukázkou vlivu nástrojů na výrobu byla zvolena jednoduchá součást (obr. 7.1), z materiálu S235JR, do které přijde vyvrtat 12 průchozích děr. Řezné podmínky pro vrtání byly zvoleny stejné, jako při testování nástrojů, aby hodnoty trvanlivosti byly co nejpřesnější a dalo se počítat s naměřenými hodnotami ze zkoušek trvanlivosti.



Obr. 7.1 Obráběná součást.

7.2 Řezné podmínky

Řezné podmínky pro jednotlivé vrtáky byly voleny stejné jako v experimentu v kapitole 6.2 (tab. 6.3).

7.3 Zhodnocení variant

Jednotlivé varianty byly porovnávány podle celkových operačních nákladů, které se skládají z nákladů na strojní práci, nákladů na vedlejší práci a výměnu nástroje a nákladů na nástroj. Výchozí hodnotou pro výpočty byla trvanlivost nástrojů (kapitola 6.2) a strojní čas, který se dá určit dle vztahu 7.1 a za pomoci obr. 7.1. [5]

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{L_N + L + L_P}{n \cdot f} \quad [\text{min}] \quad (7.1)$$

Kde: L_n = náběh vrtáků [mm]

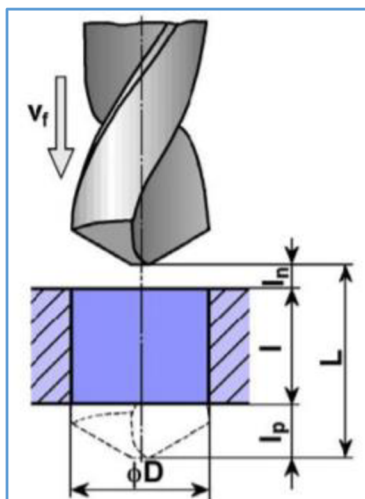
L = délka vrtané díry [mm]

L_p = přeběh vrtáků [mm]

v_f = posuvová rychlost [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]

n = otáčky [min^{-1}]

f = posuv [mm]



Obr. 7.2 Hodnoty pro výpočet strojního času při vrtání [14].

Pro jednotlivé vrtáky byly vypočteny následující hodnoty strojního času (tab. 7.1).

Délky: $L = 14$ mm, $L_n = 1,5$ mm, $L_p = 2,5$ mm

Tab. 7.1 Hodnoty strojního času.

NÁSTROJ	V1	V2	V3
Rychlost posuvu v_f [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$]	223	854	2 250
Strojní čas t_{AS} [$\text{min} \cdot \text{ks}^{-1}$]	1,16	0,26	0,1

Strojní čas nástroje V1 je navýšen o $0,15 \text{ min} \cdot \text{ks}^{-1}$, kvůli použití navrtávačku (viz seřizovací list v příloze 7).

Pro zhodnocení bylo třeba vyhodnotit operační výrobní náklady na zhotovení jednoho kusu součásti. [5]

$$N_c = N_s + N_v + N_n \text{ [Kč]} \quad (7.2)$$

N_s [Kč] – náklady na strojní práci
 N_v [Kč] – náklady na vedlejší práci
 N_n [Kč] – náklady na nástroj

Náklady na strojní práci se vypočítají podle vztahu: [5]

$$N_s = t_{AS} \cdot N_{sm} \text{ [Kč]} \quad (7.3)$$

t_{AS} – jednotkový strojní čas [min]
 N_{sm} – náklady na minutu strojní práce [Kč]

Náklady na minutu strojní práce byly stanoveny podle režijních nákladů firmy na 700 Kč za hodinu, tedy 11,6 Kč za minutu.

V tab. 7.1 jsou shrnuty výsledky z rovnice 7.3 (náklady na strojní práci), pro rozdílný počet vyrobených kusů.

Tab. 7.1 Náklady na strojní práci, vztahené na počet kusů.

POČET [ks]	V1 [Kč]	V2 [Kč]	V3 [Kč]
1	13,45	3,06	1,16
20	269	61	23
50	672	153	58
100	1 345	306	116
150	2 017	459	174
200	2 690	612	232
300	4 035	918	348
500	6 725	1 530	580
700	9 415	2 142	812
1000	13 450	3 060	1 160
1500	20 175	4 590	1 740
2000	26 900	6 120	2 320
5000	6 7250	15 300	5 800

Náklady na strojní práci jsou mnohem vyšší u nástroje V1, kvůli jeho nízké produktivitě a také díky tomu, že je třeba zahrnout také navrtání děr, před samotným procesem vrtání.

Náklady na nástroj se vypočítaly z trvanlivosti, získané v experimentu (kapitola 6) a jako cena nástroje + počet možných přestřehů (rozložených pro počet obráběných kusů), které bylo stanoveno u nástrojů (V2, V3), vzhledem k délce nástrojů a technologii přestřehů (obr. 7.3) na 3 a u nástroje z rychlořezné oceli (V1) na 7. [33, 37]



Obr. 7.3 Originální přestřehy nástrojů [33]

Cena originálního přestřehy nástrojů byla stanovena od výrobce nástrojů. Nástroje V1 a V2 se z ekonomických důvodů nevyplatí přestřehovat (tab. 7.3), jelikož cena přestřehy nástroje do původní podoby stojí více (V1) nebo téměř stejně (V2), jako nový nástroj, takže u tohoto nástroje se dá říct, že trvanlivost = životnost. Toto závisí na původní ceně a průměru nástroje. U nástroje V3 je přestřehy ekonomicky výhodné. V tab. 7.2 jsou zobrazeny náklady na nástroje, pro rozdílný počet vyrobených kusů. [33]

Tab. 7.3 Náklady na přestřehy [33].

NÁSTROJ	VELIKOST [mm]	MATERIÁL	POVLAK	OCHRANNÁ FAZETKA	CENA [Kč]
V1	6	HSS	-	-	99,4
V2	6	SK	TiAlN	-	565,8
V3	6	SK	TiAlN	ANO	626,5

Po zjištění strojního času a trvanlivosti nástrojů (kapitola 6.2) bylo zjištěno, kolik kusů dokážou obrobit jednotlivé nástroje za jednu trvanlivost a životnost nástroje (tab. 7.4)

Tab. 7.4 počet kusů obrobených nástroji za hodnotu jedné trvanlivosti a životnosti nástroje.

NÁSTROJ	V1	V2	V3
TRVANLIVOST	15 KS	312 KS	224 KS
ŽIVOTNOST	15 KS	312 KS	896 KS

Tab. 7.2 Náklady na nástroje, vztažené na počet kusů.

POČET [ks]	V1 [Kč]	V2 [Kč]	V3 [Kč]
1	51	576	1 101
20	51	576	1 101
50	153	576	1 101
100	255	576	1 101
150	357	576	1 101
200	459	576	1 101
300	663	1 152	1 701
500	1 122	1 728	2 301
700	1 581	2 304	2 901
1000	2 244	2 880	4 002
1500	3 366	4 032	5 202
2000	4 437	4 600	6 901
5000	11 118	11 520	17 808

Náklady na vedlejší práci se vypočítají se podle vztahu [5] :

$$N_v = (t_{AV} + t_{VN}) \cdot N_{vm} \quad [\text{Kč}] \quad (7.4)$$

t_{AV} – jednotkový vedlejší čas [min]

t_{VN} – čas na výměnu nástroje [min]

N_{vm} – náklady na minutu vedlejší práce [Kč]

$N_{vm} \cong N_{sm}$

V tomto případě je jednotkový vedlejší čas stejný pro všechny tři varianty, a tak je tento čas brán jako konstanta (t_{AV}) a nebyl zahrnut do celkových operačních nákladů, i když tento čas by byl vysoký, vzhledem k obráběné součásti. Do nákladů na vedlejší práci je nutné zahrnout také čas na výměnu nástroje, který je rozdílný na počet kusů, vzhledem k trvanlivosti nástrojů. Čas na výměnu nástroje na jednu trvanlivost byl určen na 2 minuty. Náklady na vedlejší práci jsou zobrazeny v tab. 7.3. [37]

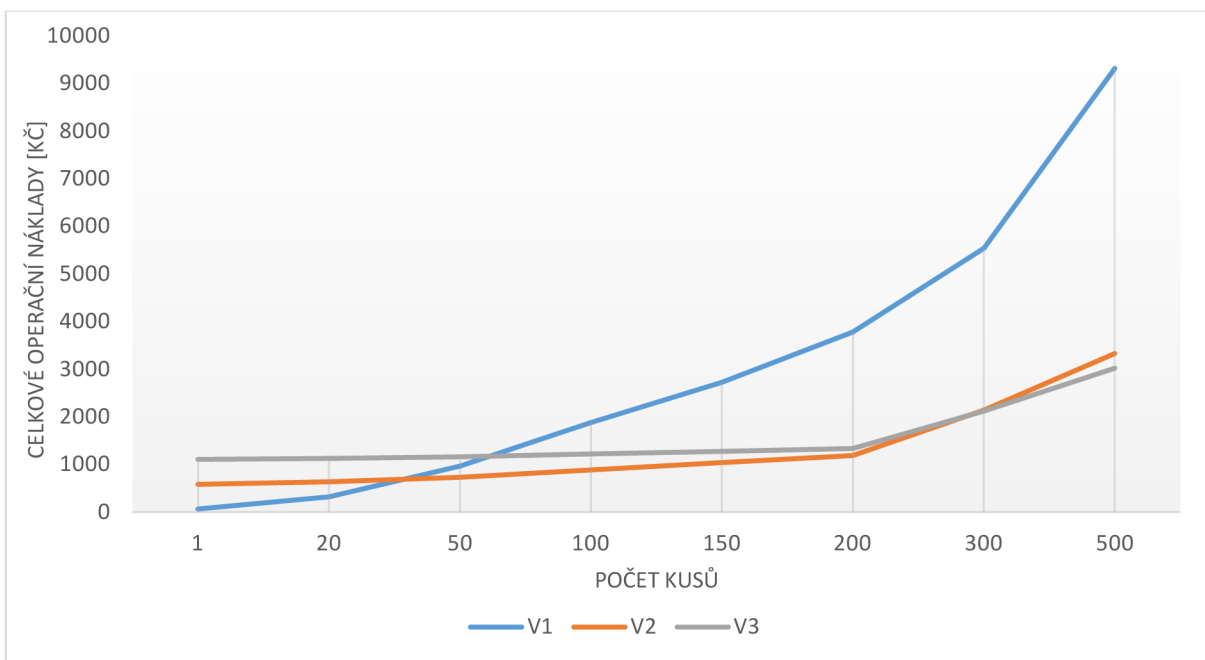
Tab. 7.3 Náklady na vedlejší práci, vztahené na počet kusů.

POČET [ks]	V1 [Kč]	V2 [Kč]	V3 [Kč]
1	0+t _{AV}	0+t _{AV}	0+t _{AV}
20	0+t _{AV}	0+t _{AV}	0+t _{AV}
50	140+t _{AV}	0+t _{AV}	0+t _{AV}
100	280+t _{AV}	0+t _{AV}	0+t _{AV}
150	350+t _{AV}	0+t _{AV}	0+t _{AV}
200	630+t _{AV}	0+t _{AV}	0+t _{AV}
300	840+t _{AV}	70+t _{AV}	70+t _{AV}
500	1 470+t _{AV}	70+t _{AV}	140+t _{AV}
700	2 100+t _{AV}	70+t _{AV}	210+t _{AV}
1000	3 010+t _{AV}	140+t _{AV}	280+t _{AV}
1500	4 550+t _{AV}	210+t _{AV}	490+t _{AV}
2000	6 020+t _{AV}	280+t _{AV}	700+t _{AV}
5000	15 260+t _{AV}	840+t _{AV}	1 050+t _{AV}

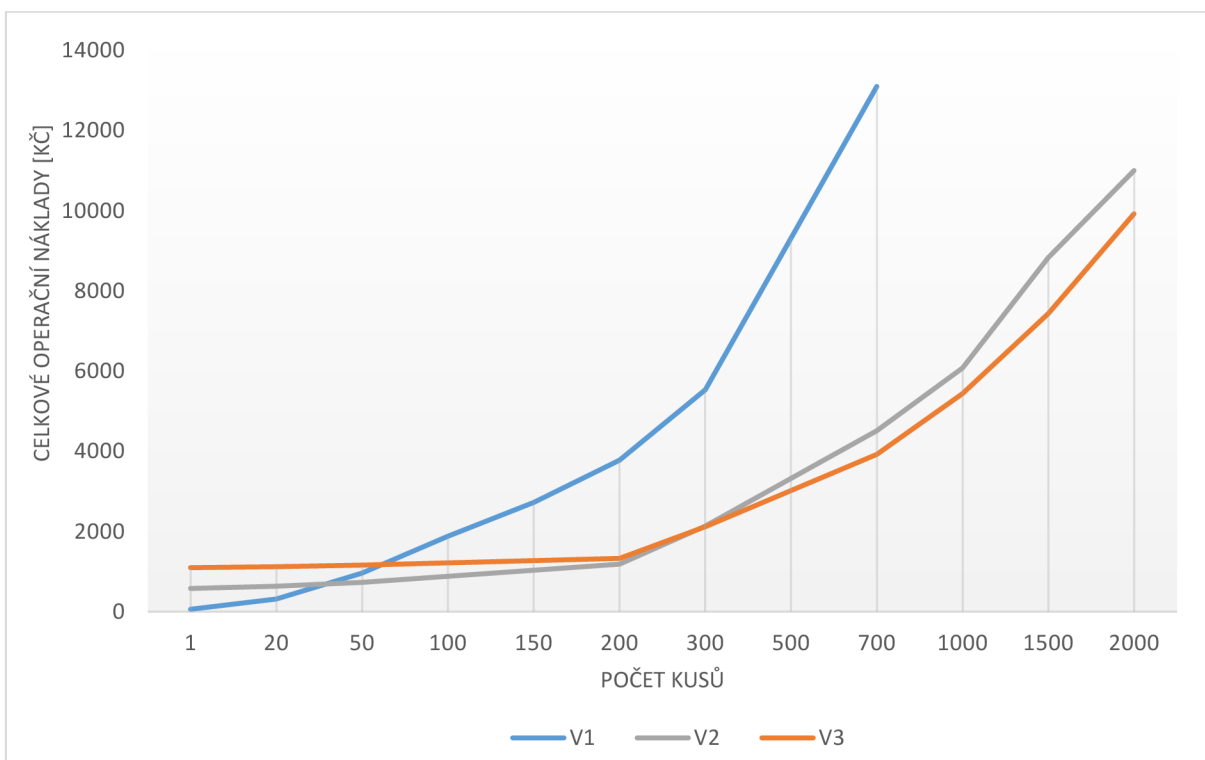
Celkové operační náklady (tab. 7.4) jsou počítány podle rovnice 7.2, bez jednotkových vedlejších časů, které jsou připočteny jako konstanta (t_{AV}). Z tabulky a grafu celkových operačních nákladů (obr. 7.2) je patrné, že nástroj V1 z rychlořezné oceli se nevyplatí pro sériovou výrobu, jelikož se jeho náklady prolínají s nástrojem V2 při cca 250 kusech. Při sériové výrobě je použití nástroje V3 výhodnější (obr. 7.3) vzhledem k jeho vysoké produktivitě.

Tab. 7.4 Celkové operační náklady, vztahené na počet kusů.

POČET [ks]	V1 [Kč]	V2 [Kč]	V3 [Kč]
1	64	579	1 102
20	320	637	1 124
50	965	729	1 159
100	1 880	882	1 217
150	2 724	1 035	1 275
200	3 779	1 188	1 333
300	5 538	2 140	2 119
500	9 317	3 328	3 021
700	13 096	4 516	3 923
1000	18 704	6 080	5 442
1500	28 091	8 832	7 432
2000	37 357	11 000	9 921
5000	93 628	27 660	24 658



Obr. 7.3 Vliv nástrojů V1, V2, V3 na celkové operační náklady do 500 ks.



Obr. 7.3 Vliv nástrojů V1, V2, V3 na celkové operační náklady do 2000 ks.

8 DISKUSE

Problémy, řešené v bakalářské práci jsou blíže shrnuty v následujících podkapitolách.

8.1 Testování HSS nástrojů

Je diskutabilní, jestli je možné porovnávat HSS nástroje s ostatními nástroji z SK, za obráběcích podmínek, použitých v experimentu. Některé HSS nástroje by však dokázali obrábět i za použití vyšších rezných rychlostí a posuvů a být tak konkurenceschopnější, např. HSS PM nástroje s použitím povlaků. Tyto nástroje se však cenově přibližují nástrojům ze slinutého karbidu a třeba si před obráběcím procesem posoudit, zda je vhodné pro dané obrábění použít nástroje z rychlořezné oceli nebo investovat do dražších nástrojů ze slinutého karbidu. Porovnání nákladů na výrobu použitých nástrojů v experimentu je rozebráno v kapitole 7. Použití HSS nástrojů může být však vhodnější při obrábění plastů a hliníkových slitin, dále například HSS-E nástroje s TiAlN povlakem jsou vhodné k suchému obrábění litiny, neboť dobře odolávají vysokým teplotám, zatímco nástroje HSS-PM s TiAlN povlakem jsou vhodné k obrábění slitin titanu a niklu. [32, 26]

8.2 Namotávání třísek při vrtání

Namotávání třísek při vrtání (obr. 8.1) způsobovalo rozstříkávání procesní kapaliny, její špatný přívod a další odvod třísek. U HSS nástroje (V1) to mohlo být způsobeno nízkým posuvem, až se tříska nedokázala lámat. Díky tomu byl také nástroj náchylnější k tvorbě nárůstku (kapitola 4.2.2). Oproti tomu na nástroj V2 se během celého procesu nenamotávaly třísky a nebylo potřeba obráběcí proces ani jednou zastavit a třísky vyjmout. U nástroje V3 docházelo k namotávání třísek na nástroj až ke konci procesu, kdy mohla mít vliv na špatný odvod třísek opotřebovaná geometrie nástroje a tím také mohlo dojít k jeho nepříznivému vrubovému opotřebování.



Obr. 8.1 Namotávání třísek u nástroje V1.

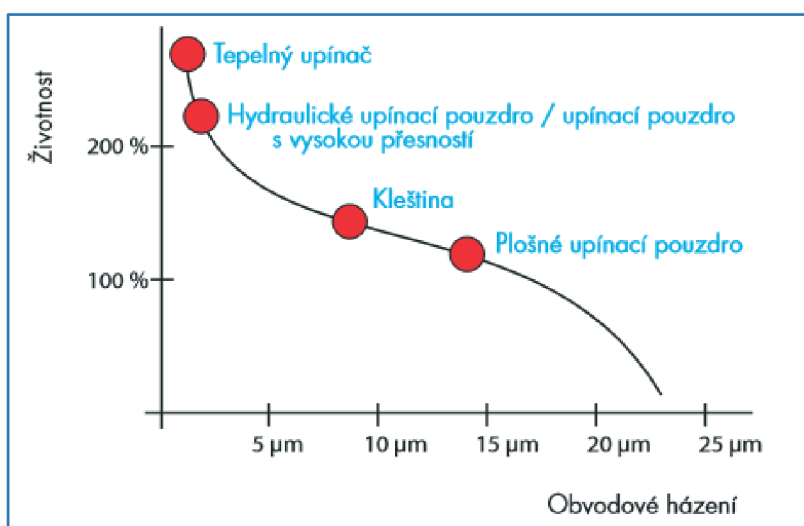
8.3 Testování frézovacích nástrojů

Při testování frézovacích nástrojů se měřilo výkonové zatížení vřetene. Zajímavé pro testování bylo sledovat, jak se při postupném opotřebování nástrojů zatížení vřetene zvyšovalo. Vzhledem k tomu, že byly použity nástroje $\varnothing 6$ mm, tak navyšování zatížení

nebylo tak velké, jako by bylo u nástrojů s větším průměrem, proto u nástroje F1 nevznikalo žádné zatížení, vzhledem k nízké řezné rychlosti, posuvu a průměru nástroje. U nástroje F2 při celkové trvanlivosti zatížení vzrostlo jen o 6 %, i při výrazném vrubovém opotřebení. Při použití většího průměru nástroje by byl výsledný průběh zatížení procentuálně vyšší a tím pádem by grafické vykreslení výkonového zatížení na čase přesněji zobrazovalo průběh opotřebení nástroje. Zajímavý průběh výkonového zatížení na čase by pravděpodobně vznikl u nástroje F3, vzhledem k průběhu, než došlo k destrukci nástroje.

8.4 Nepříznivé vlivy při obrábění

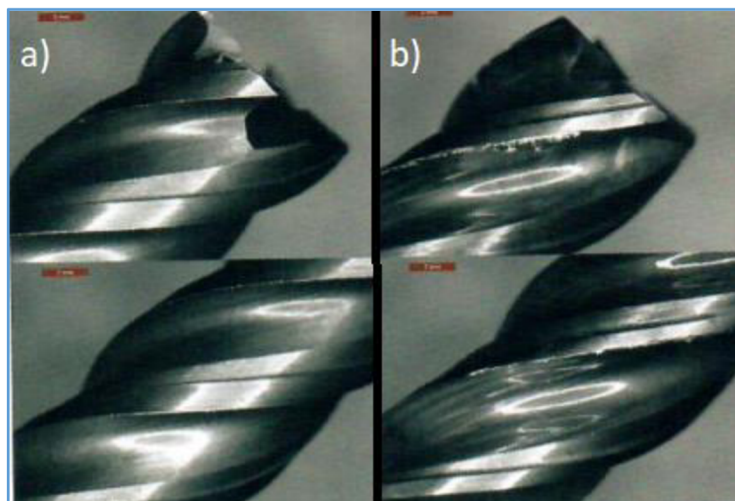
Je otázka, do jaké míry bylo způsobeno nepříznivé opotřebení nástrojů vlivy jako druh materiálu, volba řezných podmínek a celková tuhost soustavy, ale u nástrojů, vhodných pro HPC obrábění (V3, F3) je potřeba se vyvarovat všem nepříznivým vlivům, působících na soustavu S-N-O-P. Je otázka, jaká by byla reálná hodnota času v řezu nástroje F3, kdyby nedošlo k destrukci nástroje. Po domluvě s výrobcí nástrojů by tato hodnota měla být okolo 200–250 minut, pro opotřebení na hřbetě $VB = 0,2 \text{ mm}$. Pravděpodobným důsledkem destrukce nástroje F3 při obrábění bylo zvolené upínací pouzdro, které vykazuje házivost až $15 \mu\text{m}$ (obr. 8.2), nebo samotné upnutí nástroje. [6]



Obr. 8.2 Háizivost různých druhů upínání nástrojů [6].

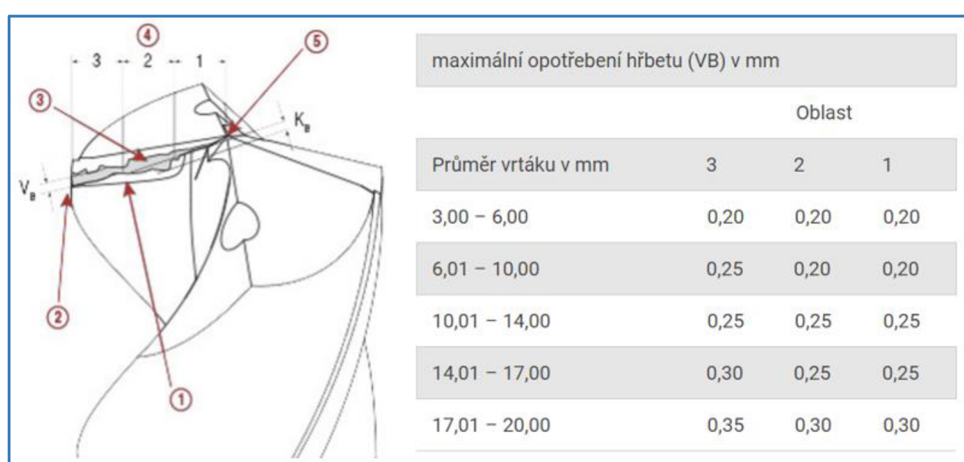
8.5 Ostření nástrojů

Jakmile dosáhnou nástroje stanovené trvanlivosti, jsou ve většině případů přeastřeny. Přeastření nástroje závisí na několika faktorech, jako průměr nástroje, materiál, povlak, druh geometrie ale hlavně typ opotřebení a jeho povolený rozsah. Při plánovaném přeastřování nástrojů by se měli upravit řezné podmínky, aby docházelo k optimálnímu opotřebení, vhodnému k přeastření (obr. 8.3).



Obr. 8.3 Opotřebení k přeastření [10]; a) vhodné; b) nevhodné.

Originální přeastření těchto nástrojů spočívá v několika operacích (obr. 7.5). Hlavní faktor při zasílání nástrojů na přeastření je průměr nástroje. V bakalářské práci byly použity nástroje $\varnothing 6$ mm. U takového průměru je třeba přeastřit, zda se vyplatí zasílat nástroje na přeastření. U vrtacího nástroje z rychlořezné oceli, použitého v tomto experimentu lze díky jeho jednoduché geometrii nástroj přeastřovat ručně na brusce pro vrtací nástroje. Při tomto přeastření ale nemusí docházet k dokonalému přeastření a trvanlivost nástrojů nemusí být taková, jako při novém nástroji. U vrtacích nástrojů ze slinutého karbidu je třeba při přeastření brát v úvahu složitější geometrii nástroje nebo např. dvojitou fazetku a hlavně nutnost povlaku, a tak je třeba tyto nástroje zasílat na speciální přeastření (stejně jako frézovací nástroje). Po originálním přeastření nástrojů od výrobce by trvanlivost nástrojů měla být stejná, jako při koupi nového nástroje. Při dovoleném opotřebení záleží také na průměru nástroje. Na obr. 8.4 je zobrazeno doporučené opotřebení pro vrtací nástroje, vztažené k průměru nástroje. [10, 33]



Legenda – 1 - Plocha čela; 2 – Vodící fazetka; 3 – Hřbet; 3 – Oblast; 4 – Střed vrtáku
Obr. 8.4 Doporučené velikosti opotřebení VB pro šroubovitě vrtáky [16].

8.6 Nákladová analýza

Obecně náklady na strojní práci by měli tvořit nejvyšší zastoupení celkových operačních nákladů. Náklady na nástroj a náklady na vedlejší práci a výměnu nástroje by měli tvořit jen malou část nákladů. V kapitole 7 byla popsána krátká nákladová analýza jednoduché součásti, vyrobené třemi druhy nástrojů. U takovéto součásti vzhledem ke krátké hodnotě strojního času a zbytkových cen nástroje, vyšly náklady na nástroj u nástrojů (V2 a V3) poměrně vysoké. Náklady na vedlejší práci byly k celkovým operačním nákladům přičteny jako konstanta, jelikož jsou stejné u všech třech variant. V tomto případě by však tyto náklady byly značně vysoké, vzhledem k obráběné součásti, hlavně tedy u nástrojů V2 a V3.

Obrábění s těmito nástroji (V2, V3, eventuálně F3) za použití HPC obrábění není vhodné pro jednoduché součásti s vysokými vedlejšími časy. U obrábění s těmito nástroji je vhodné upřednostnit součásti se zanedbatelným vedleším časem, jako například u automatizovaných linek nebo u zařízení, kde je automatická výměna obrobků a nástrojů. V takovém případě je významné zvyšování rezné nebo posuvové rychlosti výhodné [7].

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo porovnání trvanlivosti a nákladové analýzy vybraných monolitních nástrojů z rychlořezné oceli a slinutého karbidu. Dosažené výsledky jsou následující:

- Použití vrtacího nástroje z HSS (V1) na CNC strojích je vhodné pro kusovou výrobu, nebo tam, kde zakázka časově nezávisí na operaci vrtání.
- Použití frézovacího nástroje z HSS (F1) pro obrábění ocelí je neproduktivní, oproti nástrojům ze slinutého karbidu (F2, F3), vzhledem k jeho ceně, proti nástroji F2. Nástroj z HSS (F1) je v současné době vhodný spíše pro obrábění plastů, neželezných kovů nebo litiny.
- Výhoda vrtacího nástroje z HSS (V1) je jeho nízká cena a jednoduché přeostření. Nástroj není třeba posílat na přeostření k dodavateli nástrojů, nebo do specializované brusírny a lze snadno přebrousit pomocí brousícího stroje na vrtáky, vzhledem k jeho jednoduché geometrii. Mezi jeho hlavní nevýhody patří to, že je potřeba díry předvrtat, dále časté namotávání třísek na nástroj a tvorba nárůstku na špičce nástroje.
- Nástroje ze slinutého karbidu jak pro technologii vrtání, tak pro frézování se vyznačují velmi dobrými reznými vlastnostmi a vyšší trvanlivostí při obrábění oceli, oproti nástrojům z HSS. Tyto nástroje (V2, V3) disponují vysokou produktivitou odebraného množství materiálu za čas. Jsou vhodné při použití sériové výroby, pokud jsou dodrženy požadavky na obrábění HPC, při stanovených rezných podmínkách, jako vysoká tuhost soustavy S-N-O-P, aby nedocházelo k nepříznivému opotřebení nástroje a tím snižování jeho životnosti. Nástroje jsou vhodné při použití tam, kde jsou zanedbatelné vedlejší časy.
- Je třeba si ověřit, zda je výhodné přeostřovat nástroje ze slinutého karbidu Ø 6 mm. U některých nástrojů se to vyplatí až od vyššího průměru. Záleží na typu nástroje, jeho materiálu, geometrii a druhu povlaku. To samé platí také pro nástroje z HSS, pokud je třeba nástroj povlakovat.
- Při obrábění monolitními nástroji má volba nástroje zásadní vliv na výrobu a také produktivitu, vzhledem k rozdílným rezným podmínkám a trvanlivosti nástrojů, proto je dobré zvolit na výrobu takové nástroje, které jsou nejvhodnější k zvolené technologii a druhu výroby (kusová / sériová).

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. SANDVIK Coromant, technická redakce. *Příručka obrábění – kniha pro praktiky*. Praha: Scientia, s.r.o. Praha, 1997, 910 s. ISBN 91-97 22 99-4-6
2. Frézy a vrtáky. *Pilana karbid*. [online]. [cit. 2020-19-05]. Dostupné z: <https://pilanakarbid.cz/cs/>
3. KOČMAN, Karel; PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. 2.vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2005. 270 s. ISBN 80-214-3068-0.
4. HUMÁR, Anton. *Technologie I – Technologie obrábění – 1. část*. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, [cit. 2020-05-03]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
5. FOREJT, Milan; PÍŠKA, Miroslav. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9
6. Hoffmann GmbH Qualitätswerkzeuge. *Příručka obrábění*. Cross Media Solutions GmbH, Würzburg, 2016, 561 s. ISBN 978-3-9818286-2-7
7. PÍŠKA, Miroslav a kolektiv, *Speciální Technologie Obrábění* 1.vyd. Brno: AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o., 2009. 246 s. ISBN 978-80-214-4025-8
8. HUMÁR, Anton. *Technologie II – Technologie obrábění – 2. část*. [online]. Studijní opory pro magisterskou formu studia. VUT v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2003, [cit. 2020-23-03]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
9. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje* [online]. 2006 [cit. 2020-11-05]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf
10. DE VOS, Patrick., STÄHL, Jan-Eric. *Opatřebení řezných nástrojů: praktické zkušenosti*. Fagersta: Seco Tools AB, 2014, 168 s
11. HRUBÝ, Jindřich. *Teorie obrábění*. 2. vyd. Ostrava: Vysoká škola báňská Ostrava, 1988. 213 s.
12. ROČEK, Vladimír, *Příručka obrábění*. 1. vyd. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1973. 228 s.

13. ČEP, Robert a Petřů, Jana. ÚVOD DO TEORIE OBRÁBĚNÍ [online]. Ostrava, 2013 [cit. 2020-15-03]. ISBN 978-80-248-3013-1. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/463/edubase/VY_01_002/%C3%A1Avod%20do%20teorie%20obr%C3%A1b%C4%9Bn%C3%AD/02%20Text%20pro%20e-learning/%C3%A1Avod%20do%20teorie%20obrabeni%2004%20Opot%C5%99eben%C3%AD%20%C5%99ezn%C3%BDch%20n%C3%A1stroj%C5%AF.pdf
14. BRYCHTA, J; ČEP, R; NOVÁKOVÁ, J; Petřkovská, L. Technologie II – 1. díl [online]. Ostrava: VŠB – TU Ostrava, 2007 [cit. 2020-04-03]. ISBN 978-80-248-1641-8. Dostupné z: http://home1.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf
15. Řezné materiály současnosti. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2018, 09.05.2018, [cit. 2020-10-02]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rezne-materialy-soucasnosti.html>
16. Typy ostření HSS a TK vrtáků. *WNT* [online]. WNT Česká republika, 2016. [cit. 2020-22-02]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/nastroje/wnt-restart-ostreni/restart-guide-vrtani/typy-opotrebeni-hss-a-tk-vrtaku.html>
17. *Tenké vrstvy*, [online]. [cit. 2020-18-03]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/tenke_vrstvy_sma.pdf
18. DRIML, Bohuslav. *Teorie obrábění* [online]. Brno: Střední Průmyslová Škola Strojnická a Vyšší Odborná Škola Technická, Sokolská 1, [cit. 2020-23-02]. Dostupné z: <http://www.elitalyceia.wz.cz/files/tep/tep19.pdf>
19. Sandvik Coromant. *Výpočtové vztahy a definice pro vrtání*. [online]. [cit. 2020-18-02]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/machining-formulas-definitions/pages/drilling.aspx>
20. Základní vzorce pro frézování. *Tegutec* [online]. [cit. 2020-08-02]. Dostupné z: http://www.taegutec.cz/innotool/prirucka_obrabeni_2114.pdf
21. SKOPEČEK, Tomáš. Aplikace HPC a strategické otázky. *Technický týdeník*. [online] 2006. [cit. 2020-26-03]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/archiv/aplikace-hpc-a-strategicke-otazky_11363.html
22. Materiály. *ZPS-FN* [online]. [cit. 2020-19-03]. Dostupné z: <https://www.zps-fn.cz/cz/materialy/>

-
23. HOLÝ, Jan. *Řezné kapaliny a jejich použití při obrábění*. [online]. Brno, 2010 [cit. 2020-04-04]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=27633Di plomová práce obhájena na VUT v Brně, Fakultě strojního inženýrství, vedoucí práce Karel Osička.
24. *Frézování* [online]. Ostrava: Střední Průmyslová Škola Ostrava - Vítkovice, příspěvková organizace, [cit. 2020-17-04]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/texty/texty/STT/STT2-10_Frezovani_RAJ.pdf
25. *Technologie III* [online]. Liberec: TUL – Technická univerzita v Liberci, [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: http://educom.tul.cz/KOM_TOB
26. PAILING, Ricky. HSS substrates are anything but outdated. *Dormer pramet* [online]. 2018 [cit. 2020-01-05]. Dostupné z: <http://www.dormerprametblog.com/single-post/2018/08/08/HSS-substrates-are-anything-but-outdated>
27. BORO VAN, Petr. Upínáče nástrojů. *Technický týdeník* [online]. 2006. [cit. 2020-27-04]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/upinace-nastroju-2_8498.html
28. Upínací technika. *VERKO*. [online]. [cit. 2020-27-4]. Dostupné z: <https://www.verko.cz/data/pdf/CZ2013-404.pdf>
29. MALÝ, Jan a STEJSKAL, Michal. *Funkční testy válcových fréz při obrábění oceli ČSN 12 050.9* [online]. Praha, 2017 [cit. 2020-05-05]. Dostupné z: <https://slideplayer.cz/slide/17567099>
30. Sandvik Coromant. *Sousledné frézování nebo nesousledné frézování*. [online]. [cit. 2020-20-04]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/pages/up-milling-vs-down-milling.aspx>
31. Mechnické zatížení při frézování. *Mava* [online]. [cit. 2020-14-05]. Dostupné z: <http://www.mava.cz/mechanicke-zatizeni-pri-frezovani>
32. HOFFMANN, GmbH: *Katalog obráběcí a upínací technika*. Hoffmann GmbH, Munich, Germany. 1.8.2019

33. HOFFMANN, GmbH: *Originální přebroušení pro originální výkon*. Hoffmann GmbH, Munich, Germany. 1.8.2019. [online]. [cit. 2020-12-05]. Dostupné z: https://ecatalog.hoffmann-group.com/index.html?country=ces_CZ_CZE/catalogs/&catalog=90018012#page_1
34. Trendy v povlakování slinutých karbidů. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 11.7.2001, [cit. 2020-13-03]. Dostupné z: <http://www.cnckonstrukce.cz/clanek-118/trendy-v-povlakovani-slinutych-karbidu.html>
35. BORO VAN, Petr. Řezné nástroje (1). *Akademie CNC obrábění* [online]. 2006. [cit. 2020-27-04]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/rezne-nastroje/rezne-nastroje-1_8513.html
36. Mádl, J. a Kvasnička, I. *Optimalizace obráběcího procesu*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998. ISBN 80-01-01864-6
37. KAŠPAR, Martin. Obrábění na CNC strojích. 2.3.2020. 14:45; [cit. 2020-12-4]. Osobní komunikace.
38. Povlaky. *ZPS-FN* [online]. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <https://www.zps-fn.cz/cz/povlaky/>
39. NXV Series. VASON CZ s.r.o.. *VASON CZ s.r.o. Obráběcí stroje* [online]. [cit. 2020-21-5]. Dostupné z: <http://www.vason.cz/nxv-series>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

SYMBOL	JEDNOTKA	POPIS
A	[%]	Tažnost
C_V	[-]	Konstanta
C_{VT}	[-]	Konstanta
C_T	[-]	Konstanta
D	[mm]	Průměr nástroje
E_e	[J]	Práce řezného procesu
L_n	[mm]	Délka náběhu
L	[mm]	Délka vrtané díry
L_p	[mm]	Délka přeběhu
N_c	[Kč]	Celkové operační náklady
N_s	[Kč]	Náklady na strojní práci
N_v	[Kč]	Náklady na vedlejší práci
N_n	[Kč]	Náklady na nástroj
N_{sm}	[Kč]	Náklady na minutu strojní práce
N_{vm}	[Kč]	Náklady na minutu vedlejší práce
Q_e	[J]	Teplo během řezného procesu
Q	[$\text{cm}^3 \cdot \text{mm}^{-1}$]	Odebrané množství materiálu
Q_{pd}	[J]	Teplo vzniklé v oblasti plastických deformací
Q_y	[J]	Teplo vzniklé v oblasti tření třísky po čele nástroje
Q_α	[J]	Teplo vzniklé v oblasti tření hřbetu nástroje po přechodové ploše obrobku
Q_t	[J]	Teplo odvedené třískou
Q_o	[J]	Teplo odvedené obrobkem
Q_a	[J]	Teplo odvedené nástrojem
Q_{pr}	[J]	Teplo odvedené řezným prostředím
Q_{min}	[$\text{cm}^3 \cdot \text{min}^{-1}$]	Odebrané množství materiálu za minutu v řezu
Q_{celk}	[cm^3]	Celkové odebrané množství materiálu
R_m	[MPa]	Mez pevnosti v tahu
R_e	[MPa]	Mez pevnosti v kluzu
T_{celk}	[min]	Celková trvanlivost nástroje
T_{dop}	[min]	Doporučená trvanlivost nástroje
T	[min]	Trvanlivost
VB	[mm]	Opotřebení na hřbetě
V_{cT}	[$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$]	Řezná rychlost při konstantní trvanlivosti
a_p	[mm]	Výška úběru materiálu
a_e	[mm]	Šířka úběru materiálu
b	[mm]	Jmenovitá tloušťka třísky

d	[mm]	Průměr předvrtané díry
f_n	$[m \cdot \text{min}^{-1}]$	Posuv na otáčku
f	[mm]	Posuv
f_z	[-]	Posuv na zub
h	[mm]	Jmenovitá tloušťka třísky
m	[-]	exponent
n	$[m \cdot \text{min}^{-1}]$	otáčky
t_{AV}	[min]	Jednotkový vedlejší čas
t_{VN}	[min]	Čas na výměnu nástroje
v_c	$[m \cdot \text{min}^{-1}]$	Řezná rychlost
v_f	$[mm \cdot \text{min}^{-1}]$	Posuvová rychlost
v_e	$[m \cdot \text{min}^{-1}]$	Rychlost rezného pohybu
x_v	[-]	Exponent vyjadřující hloubku řezu
y_v	[-]	Exponent vyjadřující vliv posuvu na otáčku
z	[-]	Počet zubů nástroje
z_{eff}	[-]	Počet efektivních zubů nástroje
ρ_{fe}	[-]	Pracovní boční rovina
φ	[°]	Úhel posuvového pohybu
η	[°]	Úhel rezného pohybu

ZKRATKA	POPIS
AlTiN	Hliník – titan nitrid
AlCrN	Nitrid chromu hliníku
Al ₂ O ₃	Oxid hlinitý
Al	Hliník
Co	Kobalt
CVD	Metoda chemického naprašování
CBN	Kubický nitrid boru
CNC	Číslicové řízení pomocí počítače
C	Uhlík
Cu	Měď
Cr	Chrom
F1	Fréza z rychlořezné oceli, k.č. 191260
F2	Fréza ze slinutého karbidu, k.č. 202296
F3	Fréza ze slinutého karbidu, k.č. 202414
HSC	Vysokorychlostní obrábění
HPC	Obrábění s vysokým výkonem
HFC	Obrábění s vysokým posuvem
HV	Tvrdost podle Vickerse
HS	High speed
HSS	High speed steel
HB	Tvrdost podle Brinella
MMM	Obrábění s minimálním množstvím mazání
Mn	Mangan
Mo	Molybden
NC	Číslicově řízený
N	Dusík
Nb	Niob
Ni	Nikl
P	Fosfor
PVD	Metoda fyzického naprašování
PKD	Polykrystalický diamant
RO	Rychlořezná ocel
SK	Slinutý karbid
S-N-O-P	Stroj-nástroj-obrobek-přípravek
Si	Křemík
S	Síra
TiC	Karbid titanu
TaCa	Karbid tanalu
NbC	Karbid niobu
TiCN	Karbido – nitrid titanu
TiN	Nitrid titanu
TiAlN	Nitrid hliníku titanu
TiAlNTiN	Nitrid titanu nitridu hliníku titanu



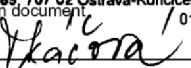
SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK

Ti	Titan
V1	Vrták z rychlořezné oceli, k.č. 114030
V2	Vrták ze slinutého karbidu, k.č. 122501
V3	Vrták ze slinutého karbidu, k.č. 122415

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1: Hutní atest materiálu S235JR
- Příloha 2: Hutní atest materiálu S355J2
- Příloha 3: Parametry obráběcího stroje a měřidla
- Příloha 4: Řezné podmínky pro vrtací nástroje
- Příloha 5: Řezné podmínky pro frézovací nástroje
- Příloha 6: Dokumentace z obrábění a měření
- Příloha 7: Seřizovací listy pro vrtací nástroje
- Příloha 8: Seřizovací listy pro frézovací nástroje
- Příloha 9: Výkres součásti pro nákladovou analýzu
- Příloha 10: NC kód pro frézování
- Příloha 11: NC kód pro vrtání

Příloha 1
Hutní atest materiálu S235JR

A01 ArcelorMittal Ostrava a.s. Vratimovská 689 707 02 Ostrava-Kunčice Česká republika TEL.: +420-595682303		A02 INSPECTION CERTIFICATE "3.1" EN 10204:2004		Z02 Ostrava,03.09.2018		A04  ArcelorMittal													
A07 Purchaser's Order No. and/or Item No. 1577/2018																			
A08 Manufacturer's Job No. 8101003834/ 000010 16/18/501960 8101003835/ 000010 16/18/501961 1661 80269 0 8		A06 Customer/consignee Ferona-Servis Centrum Slovakia, a.s Pristavna 12 821 09 Bratislava Slovakia																	
A09 Supplier's Order No. 3100358936/10																			
Product, Dimensions, Steel designation, Condition, Terms of Delivery, Any supplementary requirements: B01,B02,B03,B04,B05,B09 Hot rolled Steel in Coils acc. to EN 10051:2011 Quality S235JRC+N-CL1 acc. to EN 10025-2:2005 Inspection certificate 3.1 acc. to EN 10204:2005 Size 1250 x 15.00 mm																			
B13		Actual weight		68.520,000 KG															
C71 Chemical Analysis of Liquid Alloy (%)																			
B07 Heat No.	Test type	C70	C [%]	MN [%]	SI [%]	P [%]	S [%]	N [%]	CU [%]	NI [%]	CR [%]	MO [%]	V [%]	AL [%]	B [%]	TI [%]	NB [%]	B08	
			>0 <0.17	>0 <1.4	>0 <0.030	>0 <0.035	>0 <0.035	>0 <0.012	>0 <0.55									Pieces	Bunches
10852E	H	0	0.06	0.83	0.016	0.016	0.010	0.003	0.09	0.04	0.05	0.01	< 0.001	0.039	0.0001	< 0.001	< 0.001	0	3
B07 Heat No.	Test type	C70	AS [%]	SN [%]	CA [%]	CEV [%]													
10852E	H	0	0.002	0.005	0.0019	0.22													
Continuation see Attachment																			
5 Test results				2 Tensile test acc.to EN ISO 6892-1:2017															
Heat No.	C00 Specimen No.			C11 Yield or proof limit	C12 Tensile strength	C57 Ratio Re/Rm	C13 Elongation A5												
	C04 Regulation	C05 Coil ID No.	C02	>235	>360 <510	>0.00	24.0												
10852E	20515780	1118350083	1	276	384	0.72	39.0												
10852E	20515781	1118350084	1	272	389	0.70	39.8												
Continuation see Attachment																			
6 Bend test according to EN ISO 7438:2016																			
C52	Bend Test																		
C53	Rebend test																		
Environmental product declaration: EPD-BFS-20130094-IBG1-EN																			
C93 The mass activity ionizing radiation value in liquid alloy analysis does not exceed 100 Bq/kg.																B06, Z04			
Z01 The Manufacturer confirms that such Product is in duly compliance with Order's requirements, the Purchase Contract's requirements and that it has been tested in duly compliance with technical requirements																1020 06 HRC0007_CPR2013-07-01_TO_V001 http://dop.arcelormittal.net/pdf/HRC0007_CPR2013-07-01_TO_V001_SK_SK.pdf EN 10025-1			
D01 The inspection and the test were carried out on the delivered product or on a product test unit.																Z02, Z03, A05			
 ArcelorMittal Ostrava a.s. Vratimovská 689, 707 02 Ostrava-Kunčice Issued by:  IC: 45193258 017																WORKS INSPEKTOR IDENTIFICATION No. 12 Ing. Roman Durdiak PHONE: +420 595685376 replaces seal and signature Issued by: Sylvie Tkáčová			

Příloha 2
Hutní atest materiálu S355J2

Válcovny trub Chomutov, a.s., pracoviště Hrádek
HUTNÍ ATEST / ABNAHMEPRÜFZEUGNIS / INSPECTION CERTIFICATE

ČSN EN 10204 - 3.1



Č./Nr./No./ 2019/240
Datum:/Datum/Date/ 13.02.2019

Odběratel:/Besteller/Purchaser
IMFEREX,s.r.o.

Adresa : Továrni 629, Chomutov 430 01, Czech Republic
Pracoviště: Rokycanská 204, 338 42 Hrádek, Czech Republic

Mimošská 634/22
190 00 Praha 9
Czech Republic

DP č./ Unsere Auftrags-Nr./ Our Order No./	103019	Objednávka č./ Bestellung Nr./ Order No./	2180007	Zakázka č./ Werksnummer Nr./ Order No./	3192006												
Výrobek/ Erzeugnisform/ Product/	Tyče čtvercové válcované Gewalzte Vierkantstäbe Square bars hot rolled	Rozměrová norma/ Abmessungsnorm/ Size tolerance/	EN 10059	Tech.dod.podmínky/ Lieferbedingungen Term of Delivery:/	EN 10025 EN 10221/A												
Tavba č./ Schmelze-Nr./ Cast No.:/	Jakost/ Werkstoff-Lieferzust./ Quality:/	Rozměr mm/ Abmessungen/ Dimensions:/	Délka mm/ Länge/ Length:/	Hmotnost kg/ Gewicht/ Weight:/	ks/ Stk/ pcs/	sv/ Bunde/ bundles:/	Způsob tavení/ Schmelz. Art/ Meltingfurnace:/										
81440 81444	S355J2	100,00	4500 + 200 - 0	24550			E+LF										
Tavba č./ Schmelze-Nr./ Cast No.:/	Chemický rozbor/Chemische Zusammensetzung (Schmelzanalyse)/Chem. Composition of Cast																
	%C	%Mn	%Si	%P	%S	%Cr	%Ni	%Cu	%V	%Mo	%Al	%N	%Ti	%B	%Sn	%Nb	
81440 81444	0,19 0,18	1,28 1,30	0,41 0,39	0,007 0,010	0,010 0,012	0,11 0,09	0,07 0,06	0,17 0,15	0,0028 0,0028	0,02 0,02	0,036 0,045	0,0090 0,0071	0,014 0,014	0,0003 0,0002	0,012 0,010	0,0002 0,0002	
	%Ca	%As	%Bi	%W	%Sb	%CEV	ppm H2	ppm O2									
81440 81444	0,0006 0,0006	0,0072 0,0057		0,0002 0,0008		0,450 0,430											
Tavba č./ Schmelze-Nr./ Cast No.:/	Stav/ Prüfungszustand/ State:/	Mez kluzu/ Streckgrenze/ Yield stress/ Re N/mm2	Mez pevnosti/ Zugfestigkeit/ Tensile strength/ Rm N/mm2	Tažnost/ Bruchdehnung/ Elongation/ A5 %	Zúžení/ Einsschnürung/ Contraction of areal/ Z %	Nárazová práce/ Kerbschlagarbeit/ Impact Value/ Joule	Tvrдость/ Härte/ Hard/ HB										
81440 81444		381 375	582 586	31,0 30,6	68,2 67,3												
Tavba č./ Schmelze-Nr./ Cast No.:/	Prokalitelnost/Durchhartbarkeit nach Jominy/Test of Hardenability - Jominy/ mm HRC										Velikost zrna/ Korngröße/ Grainsize	Mikročistota/ Reinheitsgrad/ Degree of purity:/					
81440 81444	1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50		
Poznámka/Bemerkungen/Remarks										Maximální aktivita je menší než 100[Bq.kg-1] Maximale Aktivität ist kleiner als 100[Bq.kg-1] Maximum activity is lower than 100[Bq.kg-1]							
Mikročistota garantována na základě statistického hodnocení.																	

Zodpovědný pracovník/Der Werkssachverständige/Works inspector : Ing. Kotyza

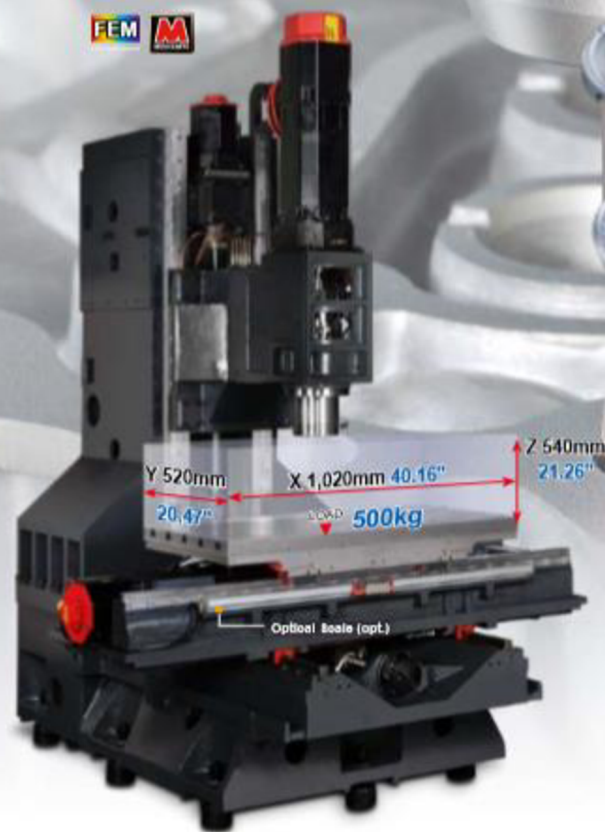
Kotyza
Válcovny trub Chomutov, a.s.
Továrni 629, 430 01 Chomutov
IČ: 227 74 645, DIČ: CZ22774645
pracoviště:
Rokycanská 204, 338 42 Hrádek

Příloha 3
 Parametry obráběcího stroje a měřidla (1/4)

NXV 1020A/AM

High Performance Vertical Machining Center

The brand new NXV series offers excellent cost performance with high precision and economical price. NXV1020A incorporates the features of high speed and high rigidity Satisfying diverse machining requirements of automotive job shops and electronics industries. The high precision NXV1020AM meets your demands for die & mold machining of automotive, mechanic and electronic industries.



NXV 1020A Rapid Feedrate

X	48 m/min	1,890 ipm
Y	48 m/min	1,890 ipm
Z	32 m/min	1,260 ipm

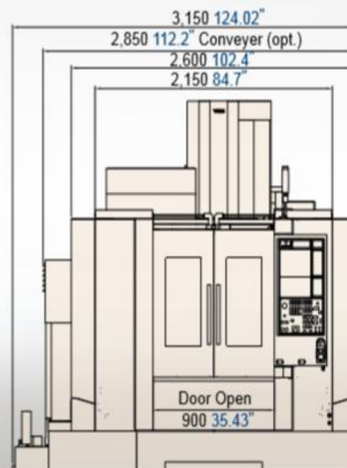
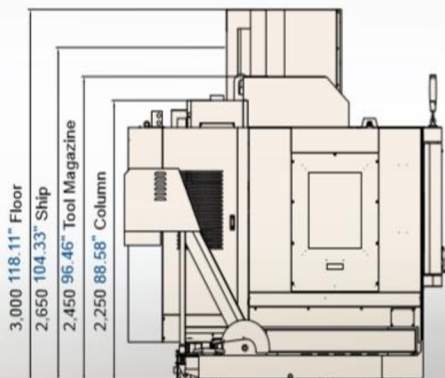
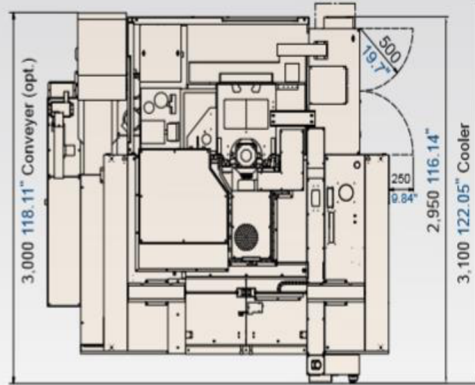
NXV1020A/AM		
ACCURACY	ISO 10791-4	YCM*
Axial Travel	Full Length	
Positioning (X/Y/Z) A	0.032/0.025/0.025 mm 0.00126"/0.001"/0.001"	0.01/0.01/0.01 mm 0.0004"/0.0004"/0.0004"
Repeatability (X/Y/Z) R	0.018/0.015/0.015 mm 0.0007"/0.0006"/0.0006"	0.007/0.007/0.007 mm 0.0003"/0.0003"/0.0003"

*All values shown above are measured for the machine in good air-conditioned environments.

Příloha 3
 Parametry obráběcího stroje a měřidla (2/4)

■ DIMENSIONS Unit: mm **Inch** **NXV 1020A/AM**

■ Triple-Chip Auger



Příloha 3
Parametry obráběcího stroje a měřidla (3/4)

CUTTING CAPACITY NXV 1020A/AM BBT40 12,000rpm Fanuc System

<p>FACE MILL S45C Steel</p> <p>Depth of Cut</p> <p>6.5 mm</p>  <p>Tool ø80mm x 5T Spindle Speed 600rpm Feedrate 450mm/min. Width of Cut 60mm</p>	<p>FACE MILL S45C Steel</p> <p>Material Removal Rate</p> <p>648 cc/min.</p>  <p>Tool ø63mm x 6T Spindle Speed 1,500rpm Feedrate 2,700mm/min. Width of Cut 60mm Depth of Cut 4mm</p>
<p>U-DRILL S45C Steel</p> <p>Drilling (Max.)</p> <p>ø44 mm</p>  <p>Tool ø44mm Spindle Speed 1,500rpm Feedrate 150mm/min. Depth of Cut 44mm</p>	<p>TAP S45C Steel</p> <p>Tapping (Max.)</p> <p>M24</p>  <p>Tool M24 x 3P Spindle Speed 80rpm Feedrate 240mm/min. Depth of Cut 24mm</p>
<p>RIGID TAP A6061 Aluminum</p> <p>Tapping (Min.)</p> <p>M1.2</p>  <p>Tool M1.2 x P0.25 Spindle Speed 1,200rpm Feedrate 300mm/min.</p>	

	NXV1020A	NXV1020AM
Product position	Parts machining	Die & Mold machining
Spindle lubrication System	Std.:12,000rpm (Grease Lubrication) Opt.:15,000rpm (Oil-air Lubrication)	Std.:12,000rpm (Oil-air Lubrication) Opt.:15,000rpm (Oil-air Lubrication)
Spindle Cooling System	Optional	Standard
Feedrate System	Standard resolution	High resolution
Applied Industries	Automotive, job shops and electronic industries.	Automotive mold, machine mold and electronic mold industries.

Příloha 3 Parametry obráběcího stroje a měřidla (4/4)

Technical data

Resolution	0.001 mm
Longitudinal travel (X-axis)	100 mm
Vertical travel (z axis)	400 mm
Spindle nose:	
Spindle nose: ISO	50
+ reduction ISO	40
Voltage 50 Hz 3x	230 Volt
Total power required	0.2 kVA
Machine's weight about	80 kg
Dimensions:	
Length	550 mm
Width	600 mm
Height	900 mm
Various accessories:	
Adjusting mandrel	
Reduction SK40 - HSK-A40	
Reduction VDI - SK40 with clamping lever	
Printer	



Příloha 4 Řezné podmínky pro vrtací nástroje (1/3)


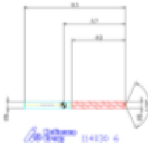


Aplikační data > Aplikační data

09.04.2020

Aplikační data

Metoda	Standardní vrtání S235JR <ul style="list-style-type: none">Hloubka otvoru l1 [mm]: 14Vlhká/suchá hodnota: S chlazením
--------	---

Číslo zboží Velikost	114030 6 Spirálový vrták HSS CleverDrill N
	
	
Materiál /materiálová třída	S235JR
Řezná rychlost Vc [m/min]	35
Počet otáček n [1/min]	1860
Posuv f [mm/U]	0,12
Rychlost posuvu vf [mm/min]	223
Krouticí moment Md [Nm]	1,577
Řezný výkon Pc [kW]	0,307
Hlavní čas th [min]	0,0736
Vlhká/suchá hodnota []	S chlazením

V případě hodnot se jedná o přibližné údaje pro nejkratší možné upnutí. V případě delších nebo nestabilních upnutí je případně nutné hodnoty snížit. Za správnost hodnot nepřebíráme ručení.

Příloha 4 Řezné podmínky pro vrtací nástroje (2/3)


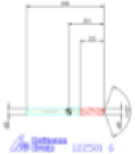


Aplikační data > Aplikační data

09.04.2020

Aplikační data

Metoda	Standardní vrtání S235JR <ul style="list-style-type: none">Hloubka otvoru I1 [mm]: 14Vlhká/suchá hodnota: S chlazením
--------	---

Číslo zboží Velikost	122501 6 TK vrták Pro Steel válcová stopka DIN 6535 HA
	
	
Materiál /materiálová třída	S235JR
Řezná rychlost Vc [m/min]	115
Počet otáček n [1/min]	6100
Posuv f [mm/U]	0,14
Rychlost posuvu vf [mm/min]	854
Krouticí moment Md [Nm]	1,781
Řezný výkon Pc [kW]	1,138
Hlavní čas th [min]	0,0188
Vlhká/suchá hodnota []	S chlazením

V případě hodnot se jedná o přibližné údaje pro nejkratší možné upnutí. V případě delších nebo nestabilních upnutí je případně nutné hodnoty snížit. Za správnost hodnot nepřebíráme ručení.

Příloha 4 Řezné podmínky pro vrtací nástroje (3/3)


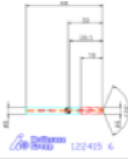


Aplikační data > Aplikační data

09.04.2020

Aplikační data

Metoda	Standardní vrtání S235JR • Vlhká/suchá hodnota: S chlazením
--------	---

Číslo zboží Velikost	122415 6 TK vrták Master Steel SPEED, válcová stopka DIN 6535 HA
	
	
Materiál /materiálová třída	S235JR
Řezná rychlost Vc [m/min]	170
Počet otáček n [1/min]	9020
Posuv f [mm/U]	0,25
Rychlost posuvu vf [mm/min]	2250
Krouticí moment Md [Nm]	2,89
Řezný výkon Pc [kW]	2,73
Hlavní čas th [min]	–
Vlhká/suchá hodnota []	S chlazením

Příloha 5 Řezné podmínky pro frézování (1/3)


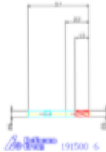


Aplikační data > Aplikační data

01.04.2020

Aplikační data

Metoda	Rohové frézování S355J2G3 <ul style="list-style-type: none">• Šířka záběru a_e [mm]: 2• Hloubka řezu a_p [mm] (vztaženo na jeden řez): 6• Vlhká/suchá hodnota: S chlazením
--------	---

Číslo zboží Velikost	191500 6 GARANT Stopková fréza HSS-Co 8
	
	
Materiál /materiálová třída	S355J2G3
Řezná rychlost V_c [m/min]	25
Počet otáček n [1/min]	1330
Posuv f [mm/U]	0,0275
Posuv na zub f_z [mm]	0,00689
Rychlost posuvu v_f [mm/min]	36,5
Řezný výkon P_c [kW]	0,062
Krouticí moment M_d [Nm]	0,448
Hlavní čas t_h [min]	—
Vlhká/suchá hodnota []	S chlazením

Příloha 5 Řezné podmínky pro frézování (2/3)


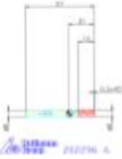


Aplikační data > Aplikační data

01.04.2020

Aplikační data

Metoda	Rohové frézování S355J2G3 <ul style="list-style-type: none">• Šířka záběru a_e [mm]: 2• Hloubka řezu a_p [mm] (vztaženo na jeden řez): 6• Vlhká/suchá hodnota: S chlazením
--------	---

Číslo zboží Velikost	202296 6 Tvrdokovová fréza
	
	
Materiál /materiálová třída	S355J2G3
Řezná rychlost V_c [m/min]	80
Počet otáček n [1/min]	4240
Posuv f [mm/U]	0,176
Posuv na zub f_z [mm]	0,0588
Rychlost posuvu v_f [mm/min]	748
Řezný výkon P_c [kW]	0,73
Krouticí moment M_d [Nm]	1,642
Hlavní čas t_h [min]	–
Vlhká/suchá hodnota []	S chlazením

Příloha 5 Řezné podmínky pro frézování (3/3)


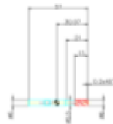


Aplikační data > Aplikační data

01.04.2020

Aplikační data

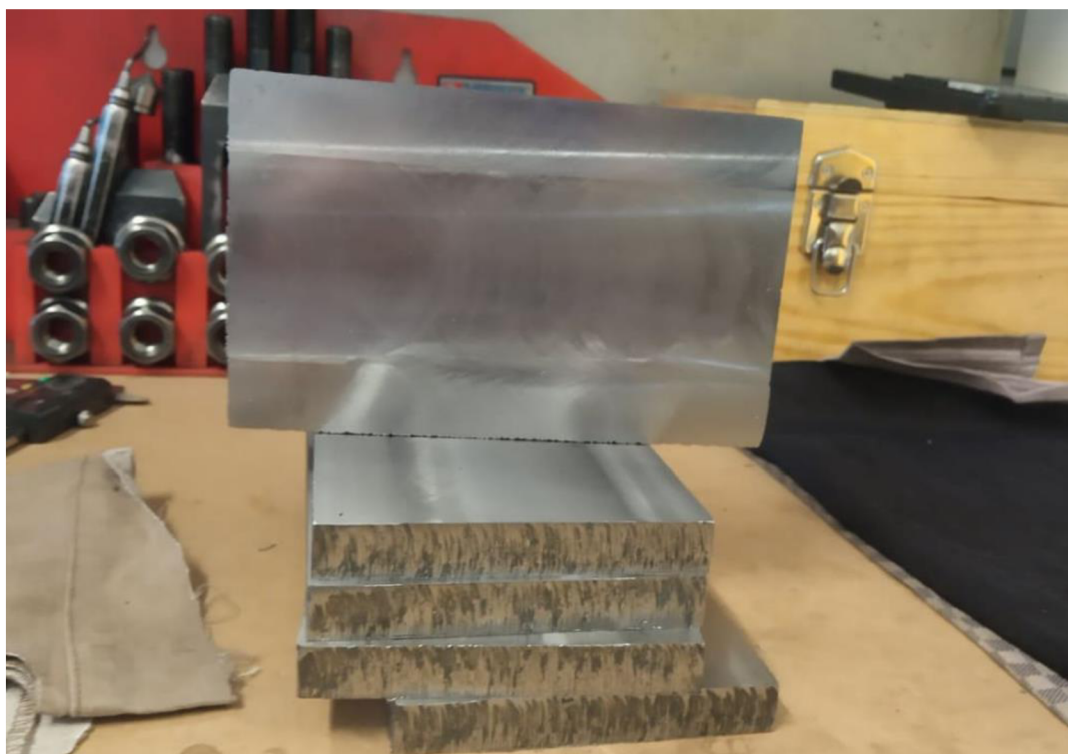
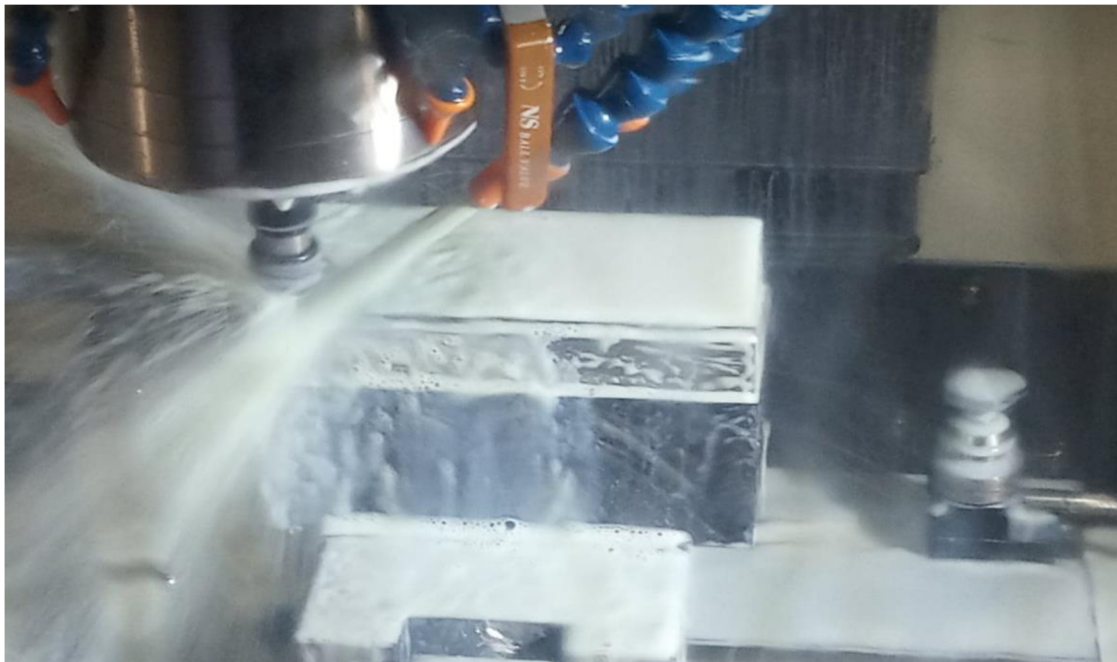
Metoda	Rohové frézování S355J2G3
	<ul style="list-style-type: none">• Šířka záběru a_e [mm]: 2• Hloubka řezu a_p [mm] (vztaženo na jeden řez): 6• Vlhká/suchá hodnota: 5 chlazením

Číslo zboží Velikost	202414 6 Pro Steel TK hrubovací fréza HPC
	
	
Materiál /materiálová třída	S355J2G3
Řezná rychlost V_c [m/min]	220
Počet otáček n [1/min]	11700
Posuv f [mm/U]	0,162
Posuv na zub f_z [mm]	0,0539
Rychlost posuvu v_f [mm/min]	1890
Řezný výkon P_c [kW]	1,883
Krouticí moment M_d [Nm]	1,541
Hlavní čas t_h [min]	–
Vlhká/suchá hodnota []	S chlazením

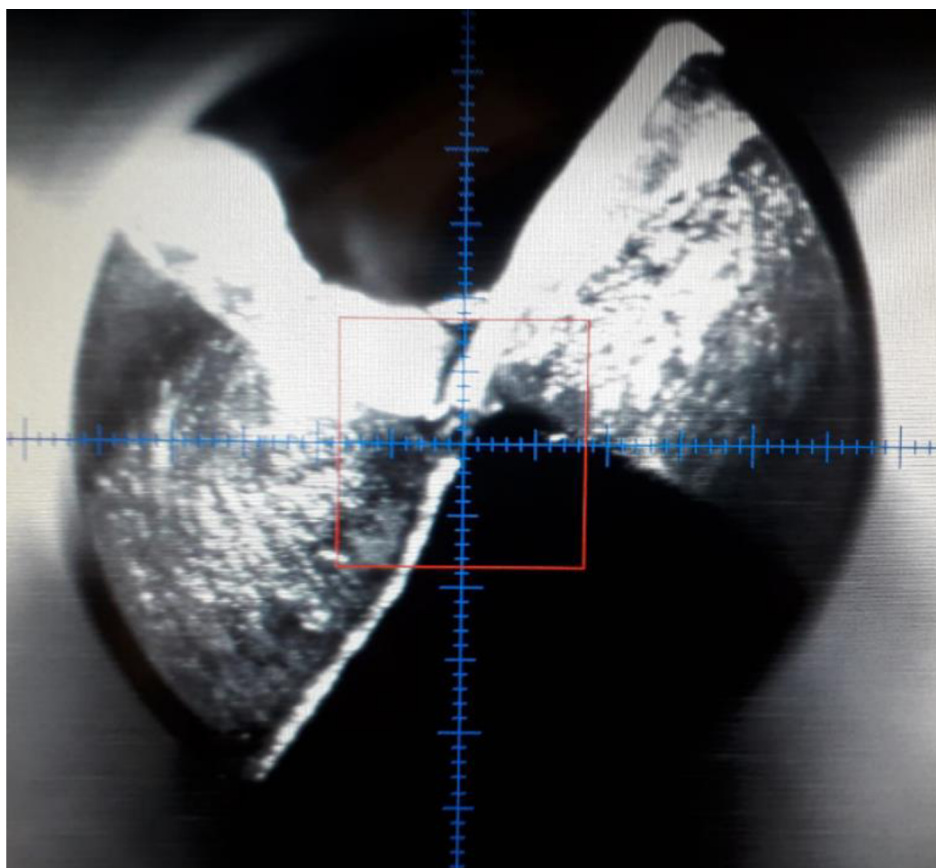
Příloha 6
Dokumentace z obrábění a měření (1/3)



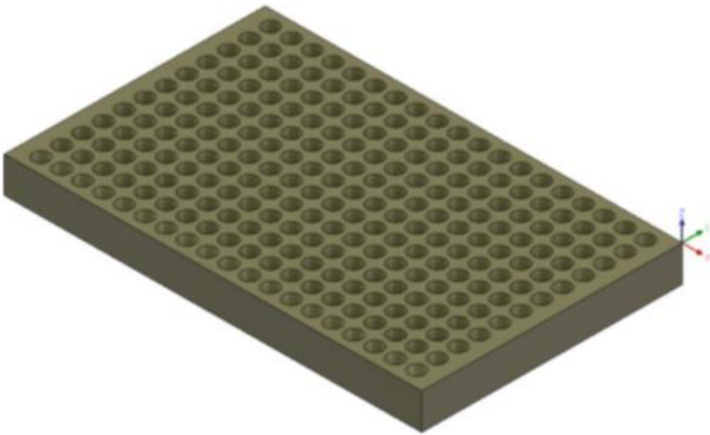

Příloha 6
Dokumentace z obrábění a měření (2/3)



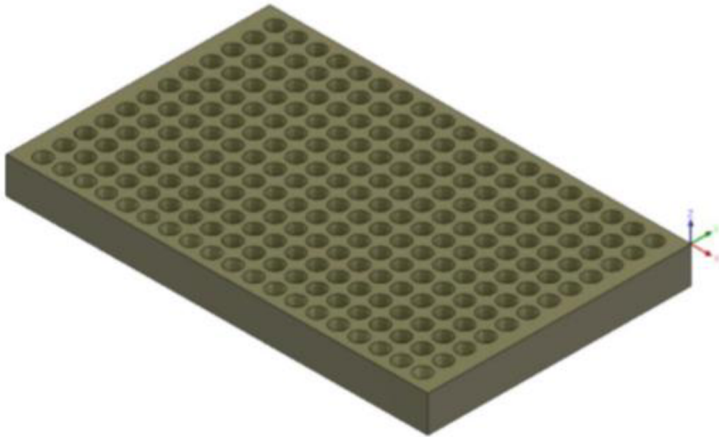

Příloha 6
Dokumentace z obrábění a měření (3/3)



Příloha 7 (1/3)
Seřizovací listy pro vrtání

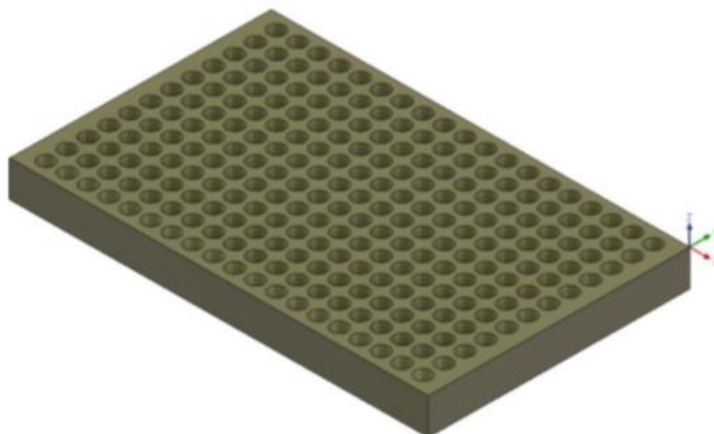
Program 6022	Seřizovací list		KAVALE spol. s r. o. Kameničky 220 539 41 Kameničky 420 463 813 770		Datum April 9, 2020 14:53				
Komentář	6022				Díl Vrták 6 v2				
									
Reference	Nastavení		třezování HSS 6022		Díl				
Dráha nástroje	Programátor		KasparM		DX [mm]	160,00			
	Souradný systém		0		DY [mm]	100,00			
	Počet operací		2		DZ [mm]	14,00			
	Počet nástrojů		2		DX [mm]	160,00			
	Čas		0:32:33		DY [mm]	100,00			
	Posuv [mm]		7022,99		DZ [mm]	14,00			
	Rychloposuv [mm]		10758,99		X min [mm]	-160,00			
					Y min [mm]	-100,00			
					Z min [mm]	-14,00			
					X max [mm]	0,00			
					Y max [mm]	0,00			
					Z max [mm]	0,00			
ID nástroje	Ø	R na rohu	Úhel kužele	Nástroj	Popis	Z min	Otáčky vřetene	Max. posuv	Čas
T1	6,00	R0	118,00	Vrták 6mm HSS	Vrták 6mm	-17,80	1857	223	0:24:03
T15	16,00	R0	45,00	Navrtávák 16mm	Navrtávák 16mm	-3,00	7958	239	0:08:01
ID operace	Nástr.	Souř. Systém	Chlazení	Strategie	Popis	Krok dolů	Krok do strany	Z min	Čas
1	15	0	Flood	Drill3	Navrtávák 16mm			-3,00	0:08:01
2	1	0	Through tool	Drill1 (2)	Vrták 6mm			-17,80	0:24:03

Příloha 7 (2/3)
Seřizovací listy pro vrtání

Program 6020	Seřizovací list			KAVALE spol. s r. o. Kameničky 220 539 41 Kameničky 420 463 813 770	Datum April 9, 2020 14:52				
Komentář	6020				Díl Vrták 6 v2				
									
Reference	Nastavení		trezovani Prosteel 6020	Díl	DX [mm]	160,00			
	Programátor		KasparM		DY [mm]	100,00			
Dráha nástroje	Souradny system		U		DZ [mm]	14,00			
	Počet operací		1	Polotovar	DX [mm]	160,00			
	Počet nástrojů		1		DY [mm]	100,00			
	Čas		0:07:03		DZ [mm]	14,00			
	Posuv [mm]		5198,99		X min [mm]	-160,00			
Rychloposuv [mm]		7066,99	Y min [mm]		-100,00				
					Z min [mm]	-14,00			
					X max [mm]	0,00			
					Y max [mm]	0,00			
					Z max [mm]	0,00			
ID nástroje:	Ø	R na rohu	Úhel kužele	Nástroj	Popis	Z min	Otáčky vřetene	Max. posuv	Čas
T1	6,00	R0	118,00	Vrták 6mm prosteel	Vrták 6mm	-17,80	6101	854	0:06:48
ID operace:	Nástr.	Souř. Systém	Chlazení	Strategie	Popis	Krok dolů	Krok do strany	Z min	Čas
1	1	0	Through tool	Drill1	Vrták 6mm			-17,80	0:06:48

Příloha 7 (3/3)
Seřizovací listy pro vrtání

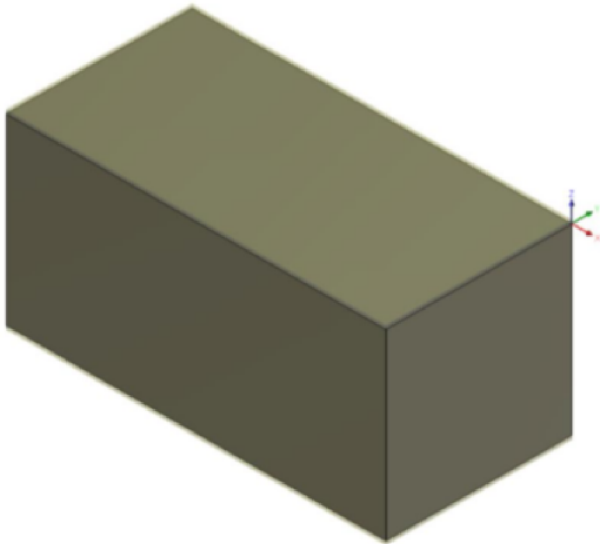

Program 6021	Seřizovací list 6021	KAVALE spol. s r. o. Kameničky 220 539 41 Kameničky 420 463 813 770	Datum April 9, 2020 14:53
Komentář			Díl Vrták 6 v2



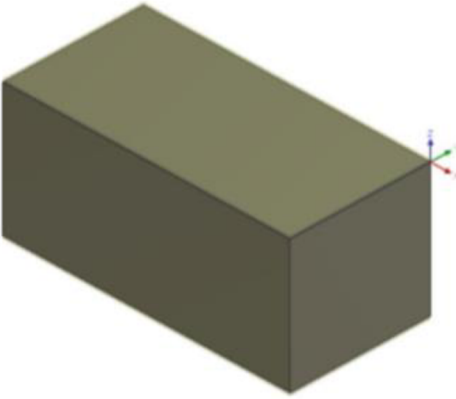

Reference	Nastavení	frezování Master steel 6021	Díl	DX [mm]	160,00
	Programátor	KasparM		DY [mm]	100,00
	Souradny system	0		DZ [mm]	14,00
	Pocet operaci	1		DX [mm]	160,00
	Pocet nástrojů	1		DY [mm]	100,00
	Čas	0:03:16		DZ [mm]	14,00
	Posuv [mm]	5198,99		X min [mm]	-160,00
Rychloposuv [mm]	7066,99	Y min [mm]	-100,00		
Dráha nástroje				Z min [mm]	-14,00
				X max [mm]	0,00
				Y max [mm]	0,00
				Z max [mm]	0,00
				Polotovár	

ID nástroje	Ø	R na rohu	Úhel kužele	Nástroj	Popis	Z min	Otáčky vřetene	Max. posuv	Čas
T1	6,00	R0	118,00	Vrták 6mm master steel	Vrták 6mm	-17,80	9019	2255	0:03:01
ID operace	Nástr.	Souř. Systém	Chlazení	Strategie	Popis	Krok dolů	Krok do strany	Z min	Čas
1	1	0	Through tool	Drill1 (3)	Vrták 6mm			-17,80	0:03:01

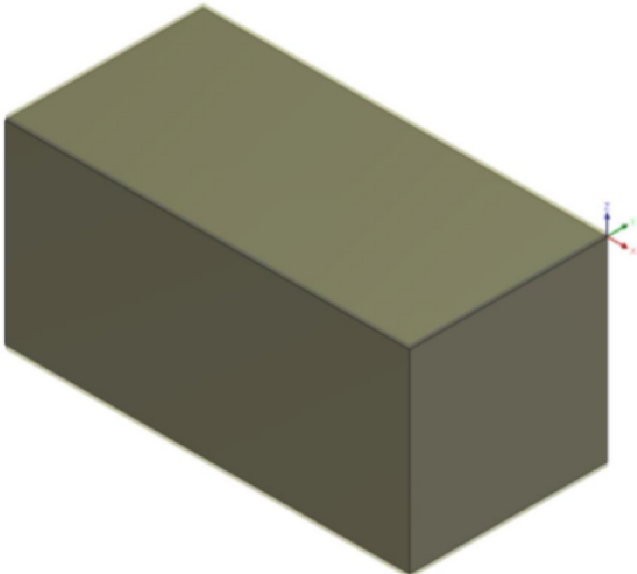

Příloha 8
Seřizovací listy pro frézování (1/3)

Program 6003		Seřizovací list 6003		KAVALE spol. s r. o. Kameničky 220 539 41 Kameničky 420 463 813 770		Datum April 9, 2020 13:33			
Komentář						Díl Freza 6 v5			
									
Reference		Nastavení		frezování HSS 6003		Díl			
Dráha nástroje		Programátor		KasparM		DX [mm]		196,00	
		Souradny system		0		DY [mm]		96,00	
		Počet operací		2		DZ [mm]		96,00	
		Počet nástrojů		2		DX [mm]		196,00	
		Cas		25:44:44		DY [mm]		96,00	
		Posuv [mm]		58776,30		DZ [mm]		100,00	
Rychloposuv [mm]		57104,91		X min [mm]		-196,00			
						Y min [mm]		-96,00	
						Z min [mm]		-98,00	
						X max [mm]		0,00	
						Y max [mm]		0,00	
						Z max [mm]		2,00	
									
ID nástroje	Ø	R na rohu	Úhel kužele	Nástroj	Popis	Z min	Otáčky vřetene	Max. posuv	Čas
T1	10,00	R0	0,00	ProSteel		-31,00	7639	2063	0:01:25
T2	6,00	R1	0,00	ProSteel		-30,00	1326	37	25:42:50
ID operace	Nástr.	Souř. Systém	Chlazení	Strategie	Popis	Krok dolů	Krok do strany	Z min	Čas
1	1	0	Flood	2D Contour2 (4)		10		-31,00	0:01:25
2	2	0	Flood	2D Contour3 (6)		6		-30,00	1:42:50

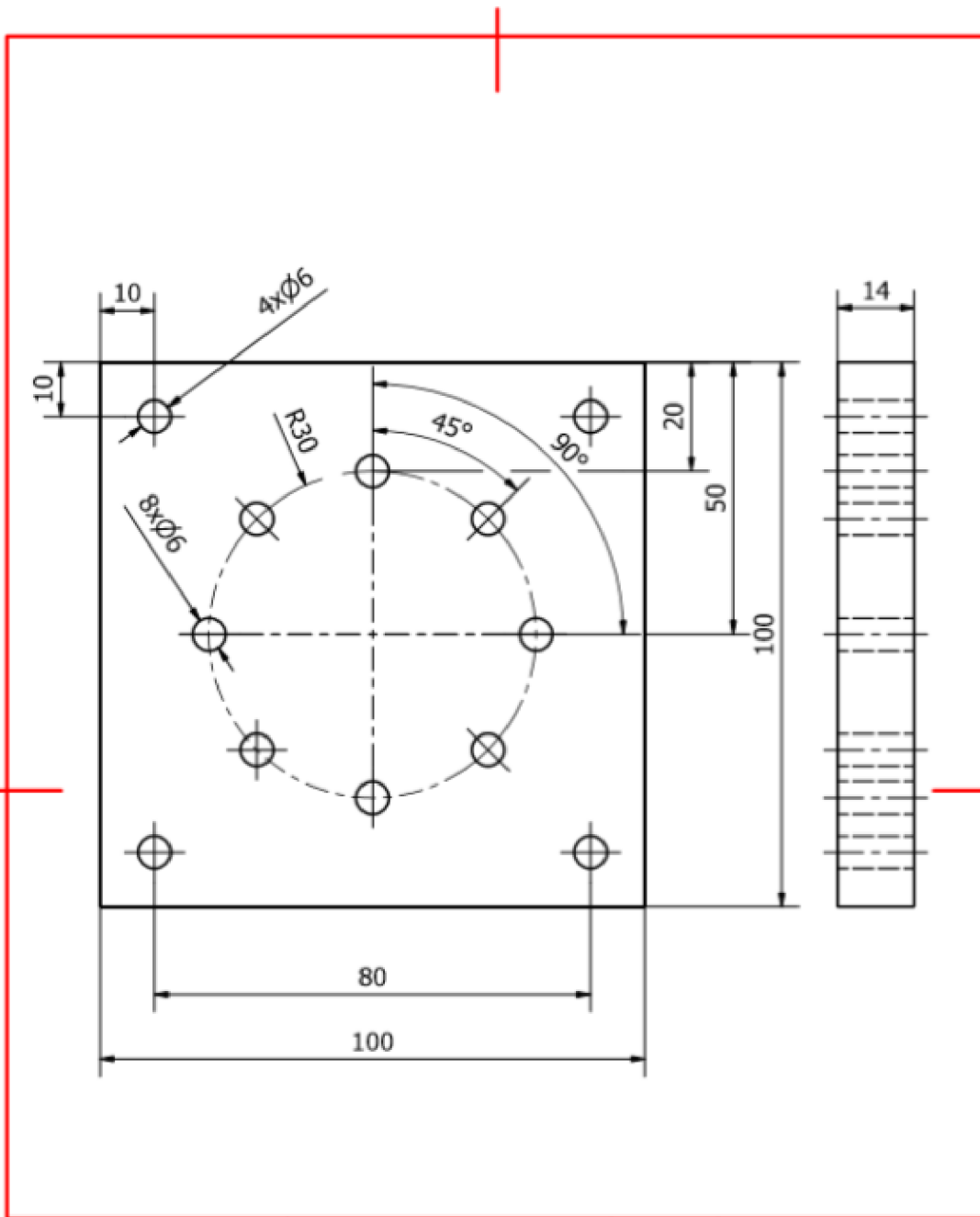
Příloha 8
Seřizovací listy pro frézování (2/3)

Program 6002	Seřizovací list		KAVALE spol. s r. o.		Datum					
Komentář			6002		Kameničky 220 539 41 Kameničky 420 463 813 770		April 3, 2020 14:20			
										
Reference	Nastavení		frezování TK 6002		Díl	DX [mm]	196,00			
	Programátor		KasparM			DY [mm]	96,00			
Dráha nástroje	Souradny system		U		Polotovarov	DZ [mm]	96,00			
	Počet operaci		2			DX [mm]	196,00			
	Počet nástrojů		2			DY [mm]	96,00			
	Cas		1:22:37			DZ [mm]	100,00			
	Posuv [mm]		58776,30			X min [mm]	-196,00			
	Rychloposuv [mm]		57104,91			Y min [mm]	-96,00			
				Díl	Z min [mm]	-98,00				
					X max [mm]	0,00				
					Y max [mm]	0,00				
					Z max [mm]	2,00				
ID nástroje	Ø	R na rohu	Úhel kužele		Nástroj	Popis	Z min	Otáčky vřetene	Max. posuv	Čas
T1	10,00	R0	0,00		ProSteel		-31,00	7639	2063	0:01:25
T2	6,00	R1	0,00	ProSteel		-30,00	4240	748	1:20:43	
ID operace	Nástr.	Souř. System	Chlazení	Strategie	Popis	Krok dolů	Krok do strany	Z min	Čas	
1	1	0	Flood	2D Contour2 (3)		10		-31,00	0:01:25	
2	2	0	Flood	2D Contour3 (3)		6		-30,00	1:20:43	

Příloha 8
Seřizovací listy pro frézování (3/3)

Program 6001	Seřizovací list		KAVALE spol. s r. o. Kameničky 220 539 41 Kameničky 420 463 813 770		Datum April 8, 2020 13:19				
Komentář	6001				Díl Freza 6 (v4-recovered)				
									
Reference	Nastavení		frezovani ProSteel 6001		Díl				
	Programátor		KasparM		DX [mm]				
	Souřadný systém		0		DY [mm]				
	Počet operací		2		DZ [mm]				
	Počet nástrojů		2		DX [mm]				
	Čas		0:37:24		DY [mm]				
	Posuv [mm]		59019,30		DZ [mm]				
	Rychloposuv [mm]		56367,91		X min [mm]				
Dráha nástroje					Y min [mm]				
					Z min [mm]				
					X max [mm]				
					Y max [mm]				
					Z max [mm]				
					Polotovár				
					DX [mm]				
					DY [mm]				
					DZ [mm]				
					DX [mm]				
					DY [mm]				
					DZ [mm]				
					X min [mm]				
					Y min [mm]				
					Z min [mm]				
					X max [mm]				
					Y max [mm]				
					Z max [mm]				
ID nástroje	Ø	R na rohu	Úhel kužele	Nástroj	Popis	Z min	Otáčky vřetene	Max. posuv	Čas
T1	10,00	R0	0,00	ProSteel		-31,00	7639	2063	0:01:25
T2	6,00	R1	0,00	ProSteel		-30,00	11671	1887	0:35:29
ID operace	Nástr.	Souř. Systém	Chlazení	Strategie	Popis	Krok dolů	Krok do strany	Z min	Čas
1	1	0	Flood	2D Contour2 (2)		10		-31,00	0:01:25
2	2	0	Flood	2D Contour3 (2)		6		-30,00	0:35:29

Příloha 9
Výkres součásti pro nákladovou analýzu



Drsnost povrchu Ra 1,6		Hrany 		Měřítko 1:1	Přesnost ISO 2768-mH Promítání Sestava
Materiál S235JR	Polotovár	Hmotnost 0,14 kg	Chráněno podle ISO 16016		
	Druh dokumentu VÝKRES	Název DESKA			
	Kreslil KAŠPAR	Číslo dokumentu A4-3PSTG/1-01			
	Schválil	Datum vydání 23.06.2020			
	Datum vydání 23.06.2020	List 1/1			

Příloha 10
NC kód pro frézování (1/3)

%

O6001

(T1 D=10. CR=0. - ZMIN=-31. - FLAT END MILL)

(T2 D=6. CR=1. - ZMIN=-30. - BULLNOSE END MILL)

N10 G90 G94 G17 G49 G40 G80

N15 G21

N20 G28 G91 Z0.

N25 G90

(2D CONTOUR2 2)

N30 T1 M06

N35 T2

N40 S7639 M03

N45 G54

N50 M08

N60 G00 X-197. Y17.

N65 G43 Z17. H01

N70 G00 Z13.

N75 G01 Z-5.25 F688.

N80 G19 G02 Y16. Z-6.25 J-1. F2063.

N85 G01 Y6.

N90 G17 G03 X-196. Y5. I1.

N95 G01 X0.

N100 G02 X5. Y0. J-5.

N105 G01 Y-96.

N110 G02 X0. Y-101. I-5.

N115 G01 X-196.

N120 G02 X-201. Y-96. J5.

N125 G01 Y0.

N130 G02 X-196. Y5. I5.

N135 G03 X-195. Y6. J1.

N140 G01 Y16.

N145 G19 G03 Y17. Z-5.25 K1.

N150 G00 Z7.

N155 X-197.

N160 G01 Z4.75 F688.

N165 Z-13.5

N170 G02 Y16. Z-14.5 J-1. F2063.

N175 G01 Y6.

N180 G17 G03 X-196. Y5. I1.

N185 G01 X0.

N190 G02 X5. Y0. J-5.

N195 G01 Y-96.

N200 G02 X0. Y-101. I-5.

N205 G01 X-196.

N210 G02 X-201. Y-96. J5.

N215 G01 Y0.

Příloha 10
NC kód pro frézování (2/3)

N220 G02 X-196. Y5. I5.
N225 G03 X-195. Y6. J1.
N230 G01 Y16.
N235 G19 G03 Y17. Z-13.5 K1.
N240 G00 Z7.
N245 X-197.
N250 G01 Z-3.5 F688.
N255 Z-21.75
N260 G02 Y16. Z-22.75 J-1. F2063.
N265 G01 Y6.
N270 G17 G03 X-196. Y5. I1.
N275 G01 X0.
N280 G02 X5. Y0. J-5.
N285 G01 Y-96.
N290 G02 X0. Y-101. I-5.
N295 G01 X-196.
N300 G02 X-201. Y-96. J5.
N305 G01 Y0.
N310 G02 X-196. Y5. I5.
N315 G03 X-195. Y6. J1.
N320 G01 Y16.
N325 G19 G03 Y17. Z-21.75 K1.
N330 G00 Z7.
N335 X-197.
N340 G01 Z-11.75 F688.
N345 Z-30.
N350 G02 Y16. Z-31. J-1. F2063.
N355 G01 Y6.
N360 G17 G03 X-196. Y5. I1.
N365 G01 X0.
N370 G02 X5. Y0. J-5.
N375 G01 Y-96.
N380 G02 X0. Y-101. I-5.
N385 G01 X-196.
N390 G02 X-201. Y-96. J5.
N395 G01 Y0.
N400 G02 X-196. Y5. I5.
N405 G03 X-195. Y6. J1.
N410 G01 Y16.
N415 G19 G03 Y17. Z-30. K1.
N420 G00 Z17.
N425 G17
N430 M05
N435 G28 G91 Z0.
N440 G90

NC kód pro frézování (3/3)

(2D CONTOUR3 5)

N445 M09

N450 M01

N455 T2 M06

N460 T1

N465 S11671 M03

N470 M08

N480 G00 X5. Y-97.

N485 G43 Z17. H02

N490 G00 Z5.

N495 G01 Z1. F37/748/1887 (Program je pro každý nástroj stejný, liší se pouze v posuvu od tohoto kroku)

N500 Z-6.

N505 X-201.

N510 G00 Z7.

N515 X5. Y-95.

N520 Z5.

N525 G01 Z1. F1887.

N530 Z-6.

N535 X-201.

N540 G00 Z7.

N545 X5. Y-93. (posunutí v ose „y“ vždy o 2 mm (hodnota a_e))

.

.

.

.

.

.

.

.

N7805 X5. Y-1.

N7810 Z5.

N7815 G01 Z-22.38 F1887.

N7820 Z-30.

N7825 X-201.

N7830 G00 Z17.

N7840 M09

N7845 G28 G91 Z0.

N7850 G28 Y0.

N7855 M30

%

Příloha 11
NC kód pro vrtání (1/4)

%

O6022

(T1 D=6. CR=0. TAPER=118DEG - ZMIN=-17.803 - DRILL)

(T15 D=16. CR=0. TAPER=45DEG - ZMIN=-3. - CHAMFER MILL)

N10 G90 G94 G17 G49 G40 G80

N15 G21

N20 G28 G91 Z0.

N25 G90

(DRILL3)

(navrtání pouze u nástroje V1)

N30 T15 M06

(NAVRTVK 16MM)

N35 T1

N40 S7958 M03

N45 G54

N50 M08

N60 G00 X-8. Y-94.

N65 G43 Z15. H15

N75 G00 Z5.

N80 G98 G81 X-8. Y-94. Z-3. R5. F239.

N85 X-16.

N90 X-24.

N95 X-32.

N100 X-40.

N105 X-48.

N110 X-56.

N115 X-64.

N120 X-72.

N125 X-80.

N130 X-88.

N135 X-96.

N140 X-104.

N145 X-112.

N150 X-120.

N155 X-128.

N160 X-136.

N165 X-144.

N170 X-152.

N175 Y-86.

N180 X-144.

N185 X-136.

N190 X-128.

N195 X-120.

N200 X-112.

N205 X-104.

N210 X-96.

N215 X-88.

Příloha 11
NC kód pro vrtání (2/4)

N220 X-80.
N225 X-72.
N230 X-64.
N235 X-56.
N240 X-48.
N245 X-40.
N250 X-32.
N255 X-24.
N260 X-16.
N265 X-8.
N270 Y-78. (posunutí v ose „y“ vždy o 10 mm)

.
. .
. .
. .

N1125 Y-38.
N1130 X-144.
N1135 X-136.
N1140 X-128.
N1145 X-120.
N1150 X-112.
N1155 X-104.
N1160 X-96.
N1165 X-88.
N1170 X-80.
N1175 X-72.
N1180 X-64.
N1185 X-56.
N1190 X-48.
N1195 X-40.
N1200 X-32.
N1205 X-24.
N1210 X-16.
N1215 X-8.
N1220 G80
N1225 Z15.
N1235 M05
N1240 G28 G91 Z0.
N1245 G90

(konec navrtávání)

(DRILL1 2)
N1250 M09
N1255 M01
N1260 T1 M06
(VRTK 6MM)
N1265 T15
N1270 S1857 M03

(začátek vrtání)

Příloha 11
NC kód pro vrtání (3/4)

N1275 M12
N1285 G00 X-8. Y-94.
N1290 G43 Z15. H01
N1300 G00 Z5.
N1305 G81 X-8. Y-94. Z-17.803 R5. F223/854/2255. (Program je pro každý nástroj
stejný, liší se jen v posuvu od tohoto kroku)
N1310 X-16.
N1315 X-24.
N1320 X-32.
N1325 X-40.
N1330 X-48.
N1335 X-56.
N1340 X-64.
N1345 X-72.
N1350 X-80.
N1355 X-88.
N1360 X-96.
N1365 X-104.
N1370 X-112.
N1375 X-120.
N1380 X-128.
N1385 X-136.
N1390 X-144.
N1395 X-152.
N1400 Y-86.
N1405 X-144.
N1410 X-136.
N1415 X-128.
N1420 X-120.
N1425 X-112.
N1430 X-104.
N1435 X-96.
N1440 X-88.
N1445 X-80.
N1450 X-72.
N1455 X-64.
N1460 X-56.
N1465 X-48.
N1470 X-40.
N1475 X-32.
N1480 X-24.
N1485 X-16.
N1490 X-8.
N1495 Y-78. (posunutí v ose „y“ vždy o 10 mm)

.
. .
. .
. .

Příloha 11
NC kód pro vrtání (4/4)

N2350 Y-38.
N2355 X-144.
N2360 X-136.
N2365 X-128.
N2370 X-120.
N2375 X-112.
N2380 X-104.
N2385 X-96.
N2390 X-88.
N2395 X-80.
N2400 X-72.
N2405 X-64.
N2410 X-56.
N2415 X-48.
N2420 X-40.
N2425 X-32.
N2430 X-24.
N2435 X-16.
N2440 X-8.
N2445 G80
N2450 Z15.

N2460 M09
N2465 G28 G91 Z0.
N2470 G28 Y0.
N2475 M30
%