



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TESTOVÁNÍ ŘEZIVOSTI VYBRANÝCH HSS VRTÁKŮ

ON THE CUTTING PERFORMANCE OF SELECTED HSS DRILLS

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Slavomír Med

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2022

Zadání bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Slavomír Med**
Studijní program: Strojírenství
Studijní obor: Základy strojírenského inženýrství
Vedoucí práce: **prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.**
Akademický rok: 2021/22

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:

Testování řezivosti vybraných HSS vrtáků

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza metod testování řezivosti nástrojů, metody testování šroubových vrtáků. Návrh metodiky zkoušek, jejich realizace. Vyhodnocení získaných výsledků, doporučení pro praxi.

Cíle bakalářské práce:

Literární rešerše soudobých metod testování řezivosti nástrojů.
Analýza vybraných šroubových vrtáků (geometrie, materiálová struktura).
Návrh a realizace experimentálních zkoušek.
Rozbor dosažených výsledků, doporučení pro praxi.

Seznam doporučené literatury:

PÍŠKA, M. Quantitative Assessment of PVD Coatings and Cooling Fluids on the Drilling Performance and Wear of HSS Drills when Machining of Hardened Steel. In: Intertribo 2002. Stará Lesná-Tatranská Lomnica, 14.-17.11.2002, Slovensko, ISBN 80-233-0476-3, pp. 59-64.

HUMÁR, A. Trendy vývoje materiálů pro řezné nástroje. In Sborník odborné konference Frézování III. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie ve spolupráci s PRAMET TOOLS, s.r.o. Šumperk a ZPS - Frézovací nástroje, a.s., Zlín. Brno, 2003, ISBN 80-214-2436-2, s. 5-14.

PÍŠKA, M., KOOLHAAS, T. Testing of cooling fluids when drilling with HSS. In Sborník odborné konference Frézování III. FSI VUT v Brně, Brno, 2003, ISBN 80-214-2436-2, s. 125-136.

FREMUNT, P., KREJČÍK, J., PODRÁBSKÝ, T. Nástrojové oceli (odborná kniha). Dům techniky Brno, 1. vyd. 1994, 230 s.

PÍŠKA, M., BUČKOVÁ, K. Řezné materiály současnosti. Strojírenská technologie, 2018, roč. 22, č. 5, s. 50-53. ISSN: 1211-4162.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Tato bakalářská práce je zaměřena na spirálový vrták. V teoretické části charakterizuje jednotlivé části vrtáku a předkládá popis jeho výroby od výroby nástrojového materiálu až po povlakování. Tato část je zakončena představením soudobých metod měření řezivosti. Hlavním cílem této práce je návrh a realizace měření řezivosti vrtáků, na základě kterého bude možné porovnání vybraných vrtáků z rychlořezné oceli a jejich doporučení pro praxi. V praktické části jsou tyto zkoušky popsány a jejich výsledky vyhodnoceny.

Klíčová slova

řezivost, spirálový vrták, vrtání, rychlořezná ocel, řezné síly

ABSTRACT

The bachelor thesis aims on a twist drill. In the theoretical part characterizes the parts of drill bit and presents its fabrication from fabrication of cutting material to coating. This part finishes by description of contemporary methods of measuring of cutting performance. The main goal of this thesis is to propose and realize measuring of cutting performance of which results we can compare selected HSS drill bits and recommend them to practice. The tests are described in the practical part which contains the evaluation of results too.

Key words

cutting performance, twist drill, drilling, HSS, cutting forces

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

MED, Slavomír. *Testování řezivosti vybraných HSS vrtáků*. Brno, 2022. Dostupné také z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/140117>. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Miroslav Píška.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Testování řezivosti vybraných HSS vrtáků vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

místo, datum

Slavomír Med

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto panu prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc. za cenné připomínky a rady, které mi poskytl při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ÚVOD	8
1 PRINCIP VRTÁNÍ.....	9
1.1 Řezné síly	10
2 NÁSTROJ.....	11
2.1 Řezné materiály	12
2.1.1 Rychlořezné oceli	12
2.1.2 Slinuté karbidy.....	15
2.2 Výroba	16
2.3 Povlaky	17
2.3.1 CVD.....	18
2.3.2 PVD	18
3 MĚŘENÍ ŘEZIVOSTI	21
4 POROVNÁNÍ VYBRANÝCH HSS VRTÁKŮ	23
4.1 0. měření	24
4.2 Vrtáky A a B.....	26
4.2.1 1. měření	26
4.2.2 2. měření	27
4.2.3 3. měření	27
4.3 Vrták C	28
4.4 Vrták D	29
4.5 Opotřebení	30
4.6 Porovnání materiálů vrtáků	31
4.7 Zhodnocení výsledků	33
ZÁVĚR.....	34
SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY	35
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	37

ÚVOD

Vrtání je jednou z nejstarších technologií obrábění. Již tisíce let před naším letopočtem tehdejší lidé zhotovovali kruhové otvory do dřeva, kostí a nerostů primitivní lukovou vrtačkou, kdy nástrojem byla dřevěná hůlka. Někdy do místa vrtání přisypávali písek, v tom případě se spíš jednalo o vybrušování než o vrtání. Později byl vyroben první kopinatý vrták a s vynálezem šroubu krátce před naším letopočtem přišly první spirálové vrtáky. Tento typ vrtáku se stal s drobnou evolucí jeho tvaru nejběžnějším nástrojem vrtání na dalších 2000 let, tedy až do současnosti.

Postupem času bylo vytvořeno velké množství typů vrtáků podle účelu (např. dlouhé hlavňové vrtáky, korunkové vrtáky...) a i materiálů, ze kterých je nástroj vyroben. Tyto vrtáky prošly významnou proměnou. Původní oceli bez přesného složení byly nahrazeny nástrojovými oceli, rychlořeznými oceli a poslední dobou také ostatními řeznými materiály, jako jsou například slinuté karbidy, často je vrták dokonce vyroben ze dvou různých materiálů.

Právě velká rozmanitost řezných materiálů, jejichž výroba bývá složitý proces a které mají dané přesné chemické složení a strukturu, spolu s velkým množstvím typů obráběných materiálů přináší problém jejich vhodné kombinace a vhodných řezných podmínek. Navíc i stejný materiál od dvou různých výrobců se může lišit jak v chemickém složení, tak i strukturou, což může výrazně ovlivnit například životnost nástroje nebo kvalitu vytvářeného otvoru.

První část práce je věnována popisu procesu vrtání a samotnému nástroji. Spolu s popisem částí vrtáku je zde také nastíněna výroba některých řezných materiálů, samotného vrtáku a možnosti vylepšení jeho vlastností povlakováním. Na konci teoretické části jsou představeny metody měření řezivosti vrtáku. Praktická část práce se zabývá měřením řezivosti čtyř různých vrtáků za účelem jejich vzájemného porovnání s využitím zmíněných metod.

1 PRINCIP VRTÁNÍ

Vrtáním je označován princip vytváření vnitřních rotačních otvorů, případně rozšíření již předvrtaných či jinak vytvořených děr (předlisované, předlité atd.), o průměru stejném, jako je jmenovitý průměr daného nástroje – vrtáku. Vlastnosti povrchu záleží na geometrii nástroje, materiálu nástroje a také řezných podmínkách. Hlavní pohyb u této metody obrábění je rotační pohyb nástroje, méně často rotační pohyb obrobku při vrtání na soustruhu. Vedlejší pohyb vykonává nástroj ve směru své osy, která je ve většině případů kolmá k povrchu, do kterého vrtáme. [1]

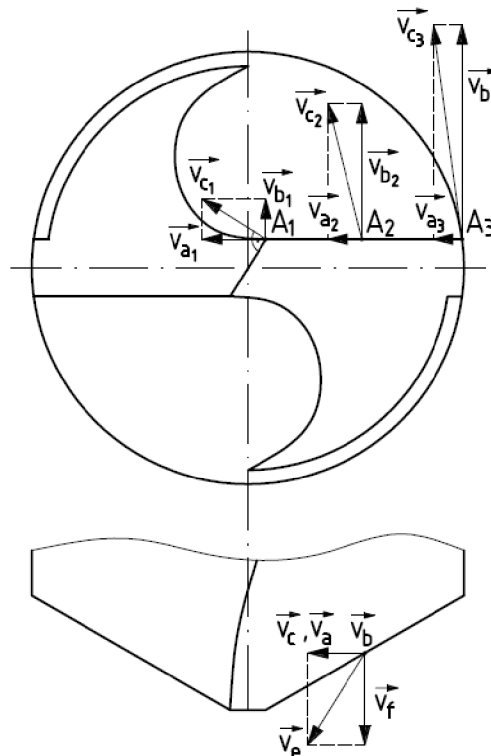
Charakteristickou vlastností principu vrtání je směrem do středu snižující se řezná rychlost podél hlavního ostří (ve středu tato rychlost klesne až na nulovou hodnotu, jelikož vzdálenost od osy otáčení je rovna nule), jak je znázorněno na obr. 1. Jako řezná rychlost v_c se pro výpočty bere řezná rychlost na jmenovitém (největším) průměru nástroje. Velikosti rychlostí (řezná rychlost v_c , posuvová rychlost v_f a rychlost řezného pohybu v_e) se vypočítají pomocí následujících vztahů:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} \text{ [m. min}^{-1}\text{]}, \quad (1.1)$$

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

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = n \cdot 10^{-3} \cdot \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + f^2} \text{ [m. min}^{-1}\text{]}, \quad (1.3)$$

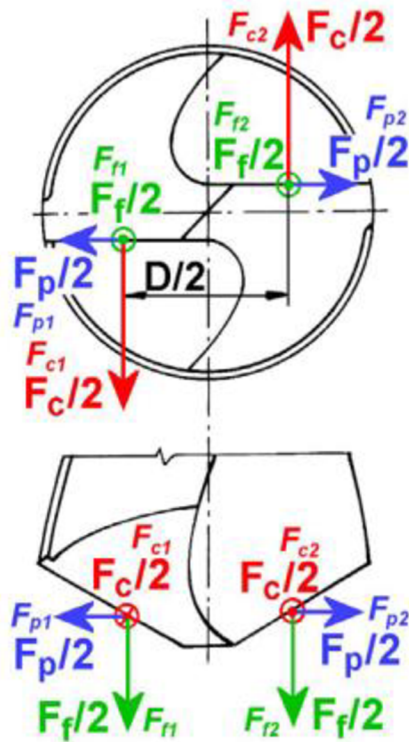
kde: D [mm] jmenovitý průměr vrtáku,
 n [min^{-1}] otáčky nástroje,
 f [mm] posuv nástroje na jednu otáčku,
 f_z [mm] posuv na zub,
 z [-] počet zubů.



Obr. 1 Řezná rychlost, posuvová rychlost a rychlost řezného pohybu. [2]

1.1 Řezné síly

Při procesu vrtání (tj. vrtání standardním šroubovitým vrtákem, případně kopinatým vrtákem) dochází k oddělování materiálu oběma břity zároveň. Jelikož jsou břity symetrické podle osy vrtáku, jsou i síly působící na břity symetrické (viz obr. 2). Výsledné síly působící na vrták jsou pak získány vektorovým součtem sil na jednotlivé břity, tj. součtem či rozdílem sil působících na břity.



Obr. 2 Řezné síly při vrtání. [1]

Z obrázku nahoře lze vyvodit následující vztahy:

$$F_f = F_{f1} + F_{f2} \text{ [N]}, \quad (1.4)$$

$$F_p = F_{p1} - F_{p2} \text{ [N]}, \quad (1.5)$$

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} \text{ [N]}, \quad (1.6)$$

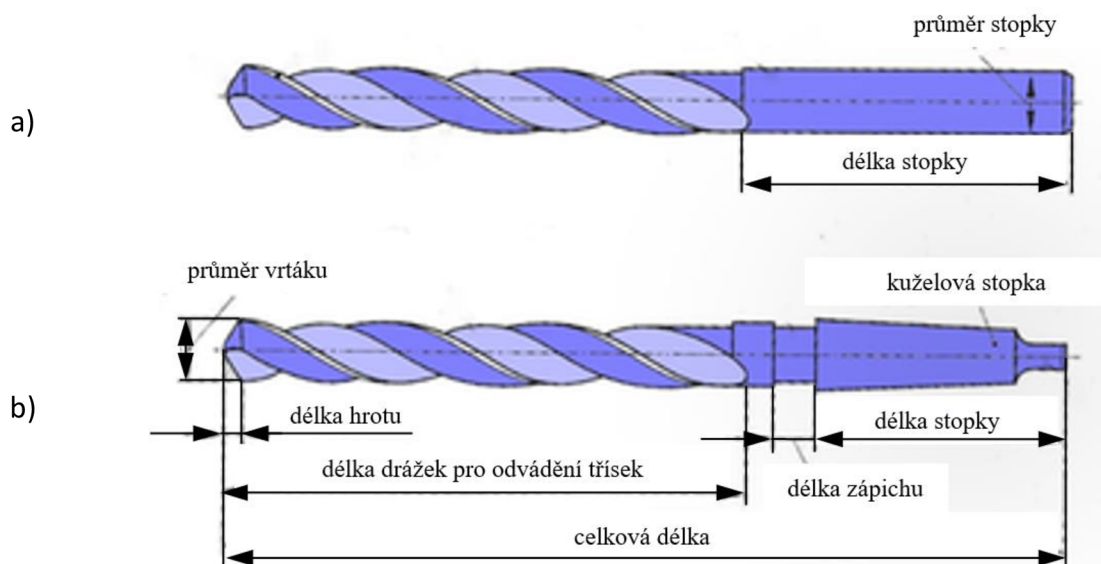
$$M_c = F_f \times \frac{D}{4 \times 1000} \text{ [Nm]} \quad (1.7)$$

kde: F_f je posuvová síla,
 F_p pasivní síla,
 F_c řezná síla,
 M_c řezný moment.

Pokud je vrták správně (symetricky) naostřen, pasivní síly od jednotlivých břitů se vykompenzují a celková pasivní síla je tak nulová.

2 NÁSTROJ

Předmětem porovnání v této práci je spirálový vrták, proto se tato práce ostatními typy vrtáků nezabývá. Spirálový vrták je komplexní řezný nástroj pro technologii vrtání, tj. k vytváření (či rozšíření již existujících) vnitřních rotačních otvorů o jmenovitém průměru nástroje. Vrták se skládá ze tří hlavních částí: hrotu, drážek pro odvod třísek a stopky (viz obr. 3). Na hrotu se nalézají dva břity, které produkují třísku srovnatelnou s třískou vznikající při soustružení. Jelikož je ve středu hrotu řezná rychlost nulová, tato část neřeže, ale vytlačuje materiál, který nebyl odebrán břity. Ostří těchto břitů operují s proměnnými úhly (úhel čela, úhel hřbetu, úhel sklonu hlavního ostří). [3] Druhou částí jsou spirálovité drážky, které zajišťují evakuaci třísek od hrotu, na což má velký vliv úhel šroubovice. Tělo vrtáku má v této části kuželovitý tvar – směrem od hrotu se průměr snižuje s poměrem 0,02 až 0,08 mm v průměru na délce 100 mm – za účelem snížení tření na fazetce. Naproti tomu se průměr jádra směrem ke stopce vrtáku zvětšuje s kuželovitostí 1:70, aby se dosáhlo vyšší tuhosti nástroje. Poslední částí je stopka, která slouží k upnutí vrtáku do pracovního vřetena vrtačky. [4] Rozdělení spirálových vrtáků je zaznamenáno v tab. 1.



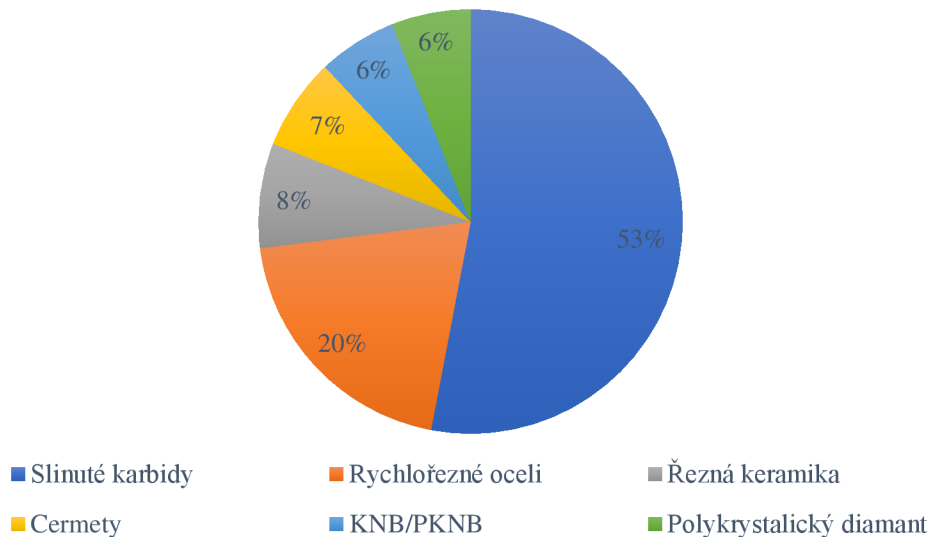
Obr. 3 Popis vrták – a) s válcovou stopkou, b) s kuželovou stopkou. [5]

Tab. 1 Rozdělení spirálových vrtáků. [6]

Parametr	Vrtáky
Tvar stopky	S válcovou stopkou S kuželovou stopkou – Morse kužel s plochým unašečem
Směr otáčení	Pravořezné Levořezné
Úhel stoupání šroubovice	S velkým úhlem – typ W Se středním úhlem – typ N S malým úhlem – typ H

2.1 Řezné materiály

Spirálové vrtáky jsou standardně vyráběny z ocelí, jejichž vlastnosti poskytují vrtáku houževnatost, dobrou odolnost vůči abrazi a teple produkovanému při procesu vrtání. V dnešní době jsou tyto vrtáky nejčastěji vyráběny z rychlořezných ocelí, případně s pájenými destičkami ze slinutých karbidů nebo přímo z monolitních slinutých karbidů. Tyto dva řezné materiály reprezentují přibližně $\frac{3}{4}$ světové produkce řezných materiálů (obr. 4).



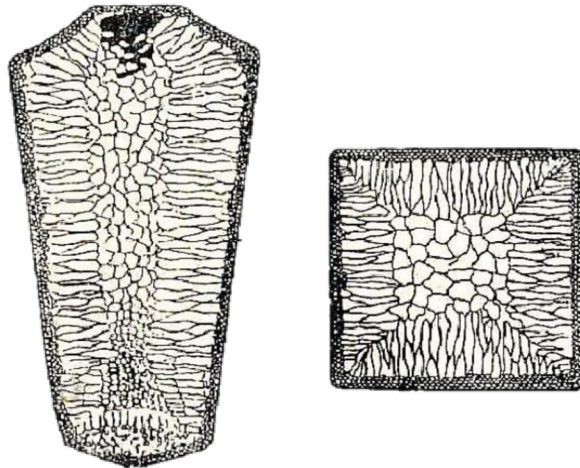
Obr. 4 Produkce řezných materiálů (2018). [7]

2.1.1 Rychlořezné oceli

Rychlořezné oceli (mající zkratku RO, ČSN 19 8xx, v zahraničí HSS či ARS) jsou silně legované oceli, které obsahují 0,7–1,35 % uhlíku a přísady tvořící karbidy, které dohromady tvoří přes 30 % směsi. Některé z přísadových prvků mohou tvořit až desítky procent dané oceli. Všechny rychlořezné oceli obsahují přibližně 4 % chromu. Dalšími běžně přítomnými přísadovými prvky jsou wolfram, molybden, vanad a kobalt v různém zastoupení. Je to právě poslední citovaný, který zvyšuje tvrdost za tepla. Ta může po zakalení dosáhnout až 68 HRC, a je zachována až do teplot kolem 600 °C. Rychlořezné oceli se vyznačují velmi dobrou odolností proti mechanickým šokům a jsou vhodné na dokončovací operace. Velmi dobrých výsledků lze dosáhnout při obrábění lehkých slitin, litin, nerezoucích ocelí či titanu. Méně vhodné, nicméně přípustné, jsou pro obrábění tvrdých materiálů. Obecně jsou rychlořezné oceli doporučeny pro obrábění materiálů, které vyžadují dobrou ostrot řezné hrany, a vyznačují se vysokou posuvovou rychlostí. [8]

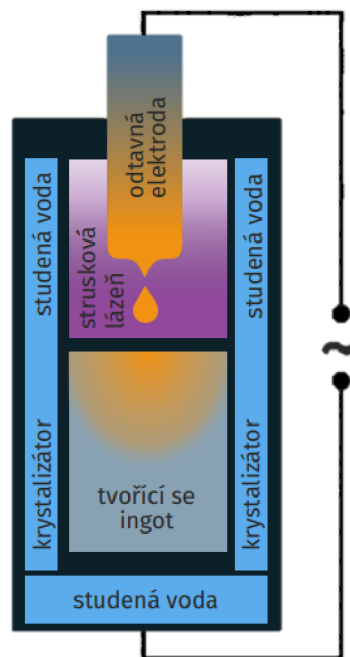
Rychlořezné oceli lze vyrábět třemi postupy: tradičním odléváním, elektrostruskovým přetavováním, nebo práškovou metalurgií. Prvním způsobem je **tradiční odlévání**. Označuje nejstarší technologii výroby kovů, kdy se roztavený kov odlévá z odpichové pánve do kokil, kde kov následně tuhne. Během pomalého tuhnutí velkého množství materiálu se postupně vytvářejí krystaly. Výsledkem tohoto procesu je ingot, který je nutno následně válcovat nebo kovat, aby se rozbily velké karbidy a materiál se stal více homogenním, což se chemického složení týče. Nevýhodou této metody je, že dostáváme materiál s anizotropními vlastnostmi a kvůli dendritickému růstu zrn během tuhnutí tvoří materiál s požadovanou strukturou, tedy i vlastnostmi, pouze 24–36 % odlitého ingotu (obr. 5). Kromě toho je zde přítomné vysoké stresové napětí a křehkost. Tradiční odlévání do kokil však poskytuje výhodu jednoduchého a levného procesu. V dnešní době je ale majoritní technologií odlévání ocelí plynulé odlévání

(přibližně 90 % výroby ocelí), které poskytuje oproti odlévání do kokil hlavně vyšší výtěžnost kovu a úsporu energie (odpadá zde také operace po samotném odlití). [9], [10]



Obr. 5 Struktura odlitého ingotu. [11]

Druhým způsobem výroby rychlořezných ocelí je **elektrostruskové přetavování**. Jedná se o simultánní proces, během kterého probíhá zároveň tavení elektrody, rafinování a tuhnutí materiálu. Podstatou této metody je elektrický proud procházející skrz elektrodu, tvořenou odlitým ingotem, přes roztavenou strusku a nově vytvořený ingot. Tavení elektrody není způsobeno procházejícím proudem, ale roztavenou struskou, která se taví díky vysokému elektrickému odporu. Čelo elektrody je ponořeno ve struskové lázni, ponoření je počítačově řízené. Kapky roztavené oceli prochází struskou, během čehož dochází k rafinaci oceli (deoxidace, odsíření, snížení obsahu nekovových vměstků). Následně se kapky oceli ochlazují a tuhnou do nového ingotu ve vodou chlazené měděné formě, která umožňuje rychlé a homogenní tuhnutí nového ingotu (viz obr. 6). V tab. 2, kde je znázorněn vliv elektrostruskového přetavování na jednotlivé vlastnosti ingotu, lze vidět, že tímto procesem dostaneme v naprosté většině ocel se stejnými, spíše lepšími vlastnostmi oproti tradičním metodám odlévání. [12]

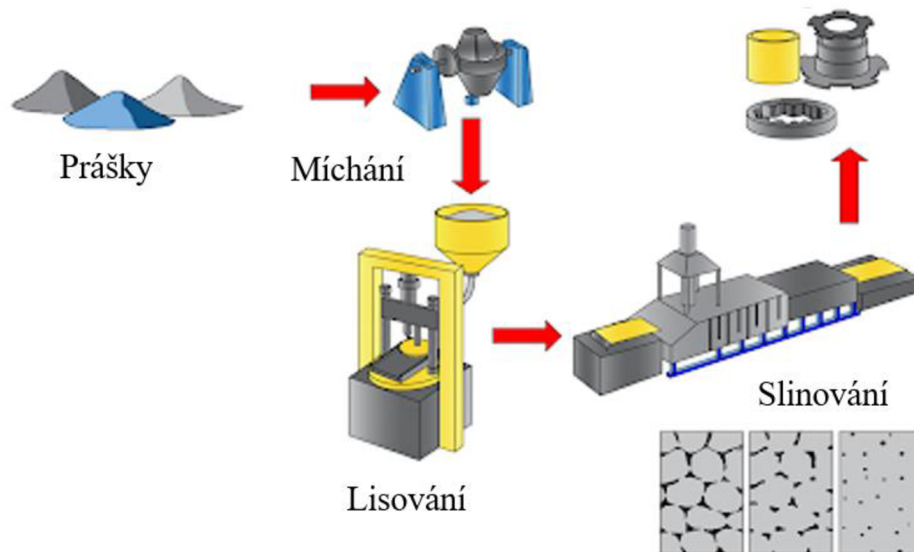


Obr. 6 Schéma elektrostruskového přetavování. [9]

Tab. 2 Vliv ESR na vlastnosti přetavené oceli. [12]

	Horší	Stejný	Lepší	O mnoho lepší
Kvalita ingotu				
Povrch			↔	
Pórovitost			↔	
Hustota			↔	
Chemické složení				
Základní prvky		↔		
Vodík		↔		
Kyslík			↔	
Síra			↔	
Stopové prvky		↔		
Stupeň čistoty				
Mikroskopická			↔	
Makroskopická				↔
Struktura ingotu				
Mikrosegregace			↔	
Makrosegregace		↔		
Mechanické vlastnosti				
Tvrдость		↔		
Pevnost v tahu		↔		
Houževnatost			↔	
Isotropie			↔	

S narůstajícími nároky na rychlořeznou ocel (tvrdší, houževnatější, odolnější proti otěru...) a se zvyšující se komplexitou nástrojů bylo nutno přejít k jinému procesu, který by umožnil dosáhnout zmíněných požadavků. Tímto procesem se stala **prášková metalurgie**, která se skládá ze dvou hlavních kroků: příprava prášku a zhutňování (lisování, slinování – obr. 7). Nejproduktivnější, nejlevnější, a tedy nejpoužívanější metoda přípravy prášku probíhá tak, že je tekutá ocel rozprašována proudem plynu (dusík, argon, hélium) na velmi jemný prášek. Přítomnost daného plynu zamezí přístupu atmosféry, a tedy oxidaci prášku. Následně je prášek pročišťován, tříděn dle velikosti zrn, případně je do něj přimícháván druhý prášek o určitém chemickém složení. Jakmile je prášek připraven, nastupuje druhá fáze výroby – lisování (zhutňování). Prášek je lisován do formy požadovaného tvaru. Rozeznáváme dva typy lisování – lisování s použitím tlaku (izostatické za tepla/studena, explozí, válcování...), či bez použití tlaku (volné slinování, vibrační slinování, keramické lití). Jelikož pevnost takto vyrobených polotovarů nebývá za studena vyhovující, nechává se polotovar projít procesem slinování (jednou, či vícekrát), který zvyšuje soudržnost výlisku. Výsledkem práškové metalurgie je polotovar, který vyžaduje minimální dokončovací operace, může obsahovat např. i chladicí kanálky. [13]



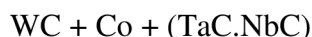
Obr. 7 Prášková metalurgie. [14]

2.1.2 Slinuté karbidy

Na začátku dvacátého století se došlo k závěru, že vynikající vlastnosti rychlořezným ocelím poskytují velmi tvrdé karbidické částice rozložené v kovové matici. Výrobci nástrojových materiálů se proto snažili najít materiál, který by měl ještě vyšší podíl tvrdých částic než běžné rychlořezné oceli, u kterých tvoří karbidy přibližně 30 %. Výrobu takového materiálu umožnila až prášková metalurgie. Tímto novým materiálem jsou slinuté karbidy (SK). Jedná se o materiál tvořený houževnatým pojivem, nejčastěji kobaltem, a tvrdými částicemi – karbidy wolframu (WC), tantalu (TaC), titanu (TiC), niobu (NbC)...

Slinuté karbidy (nepovlakované) se rozdělují podle jejich použití do tří skupin (karbidy uvedené v závorce tvoří samostatnou strukturní složku):

- Skupina K – červené označení



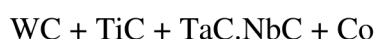
SK vhodné pro obrábění materiálů, které tvoří krátkou drobivou třísku (litiny, nezelezné slitiny a nekovové materiály). Při obrábění materiálů tvořících dlouhou třísku je čelo nástroje tepelně mnohem více zatíženo a při vyšších teplotách karbid wolframu rychle ztrácí tvrdost.

- Skupina P – modré označení



Karbid titanu ztrácí svou tvrdost za zvýšených teplot pomaleji než karbid wolframu, rovněž dodává SK vysokou odolnost proti difúzi za vysokých teplot, která spolu s dalšími faktory zapříčiňuje tvorbu výmolu na čele. Proto jsou nástroje vyrobené z těchto SK vhodné pro obrábění materiálů tvořících dlouhou třísku např. uhlíkové oceli, slitinové oceli a feritické korozivzdorné oceli. Nevýhodou karbidů titanu a tuhých roztoků na bázi tohoto karbidu je vyšší křehkost a nižší odolnost vůči otěru v porovnání s WC.

- Skupina M – žluté označení



SK skupiny M mají univerzální použití, jsou určeny pro obrábění materiálů tvořících dlouhou a střední třísku, např. lité oceli, austenitické korozivzdorné oceli a tvárné litiny. Díky vysoké houževnatosti jsou vhodné pro hrubovací, či přerušované řezy.

Bližší specifikaci SK a upřesnění jeho použití udává číslo za písmenem skupiny (P10, K20...). Slinuté karbidy s vyšším číslem mají vyšší obsah pojícího kovu, tedy vyšší houževnatost, pevnost v ohybu, ale nižší tvrdost a otěruvzdornost. Slinuté karbidy s vyšším číslem jsou určeny pro obrábění nižšími reznými a vyššími posuvovými rychlostmi. Tyto druhy jsou obvykle využívány pro střední a těžké obrábění, či hrubování nebo pro frézování a vrtání. SK s nižším číslem jsou vhodné pro nepřerušované řezy díky vyšší řezivosti a odolnosti proti plastické deformaci. [15]

2.2 Výroba

Spirálové vrtáky se dnes vyrábějí čtyřmi základními způsoby – tvářením za tepla, vybrušováním, frézováním a pomocí práškové metalurgie. První tři jmenované začínají nařezáním tyčového materiálu na požadovanou délku pomocí pásové pily (Při použití pásové pily dochází k nejmenším ztrátám materiálu prořezem v porovnání s ostatními prostředky jako jsou např. kotoučové či rámové pily.) a následným opískováním válečků, čímž je zajištěna čistota jejich povrchu. Dalším krokem, který nastává pouze v případě, že je tělo z jiného materiálu než stopka, je spojení dvou materiálů svařováním natupo. Jeden materiál je upnut v otáčejícím se sklíčidle a druhý je k němu přitlačen. Teplo vznikající třením dvou čel tato čela nataví a po zastavení rotačního pohybu jsou obě části pevně spojeny. Následně jsou soustružením vytvořeny kuželové plochy stopky a rezné části. Zde se i tyto tři způsoby odlišují. V případě **frézovaných vrtáků** je polotovar obráběn speciálním strojem na výrobu drážek a hřbetu. Stroj obsahuje několik tvarových fréz, které musí být nastaveny pod přesným úhlem. Tyto frézy vytvoří na těle vrtáku drážky i odlehčení. V případě **tvářených vrtáků** je rezná část vrtáku nahřata indukčním ohřevem na potřebnou teplotu a vrták je vsunut mezi otáčející se segmenty, které vyválcují naráz drážky i odlehčení. Tento proces se nazývá válcování zatepla. Ať už se jedná o frézovaný či tvářený vrták, je vrták následně kalen, čímž získá ušlechtilé vlastnosti, jako jsou tvrdost a pevnost. Kalit se může celé tělo vrtáku, běžně se však kalí pouze rezná část. Vrtáky z rychlořezné oceli se kalí v solné lázni o teplotě 1260 °C. Po operaci kalení lze nástroj již jen brousit. Brousí se rezná část na požadovaný průměr a stopka – lze dosáhnout až přesnosti 0,001 mm. Oproti oběma prve zmíněným způsobům při výrobě **vybrušovaných vrtáků** kalení předchází tvorbě typického tvaru, tj. drážek a odlehčení. Drážky, a v druhém kroku následně odlehčení, jsou vybrušovány do zakaleného materiálu na jednocelovém automatu. Poté, platí pro všechny tři způsoby, jsou vrtáky pasivovány v přehřáté páře a poté ostřeny. Většina vrtáků se ostří pomocí stroje, čímž je zajištěna přesná geometrie břitu. Vrtáky malého průměru, tzv. mikrovrtáky, je však třeba ostřit ručně. [16]

Porovnáním vybraných geometrických přesností a drsnosti povrchu vrtáků v tab. 3 lze vidět, že nejhorší hodnoty se udávají pro tvářené vrtáky. Je to způsobeno procesem tváření, který je založen na plastické deformaci materiálu. Na druhou stranu jsou během tváření vlákna materiálu usměrňována a zhutňována, čímž získává vrták velmi dobrou tuhost a stabilitu při vrtání. Proto jsou tvářené vrtáky používány při náročnějších podmínkách vrtání, jako je například ruční vrtání bez vodícího pouzdra, či pro vrtání otvorů, na které nejsou kladeny vysoké požadavky. Jejich velkou výhodou je menší spotřeba materiálu, jelikož se při vytváření drážek materiál neodebírání, což spolu s rychlými a jednoduchými stroji, má za následek i nižší cenu za kus. Aby se produkce vyplatila a cena byla nízká, je třeba vyrábět velké dávky, už kvůli zdlouhavému seřizování strojů. [17]

Nejpřesnější vrtáky z těchto tří jsou vrtáky broušené. Tímto způsobem výroby lze dosáhnout vysokých přesností, protože jsou drážky vybrušovány do již tepelně zpracovaného materiálu. Jejich další výhodou oproti tvářeným vrtákům je možnost vyrábět vrtáky s různými sklony šroubovice. Používají se především pro precizní vrtání a je potřeba dostatečně tuhé a přesné vedení vřeteníku a použití strojního posuvu. [17]

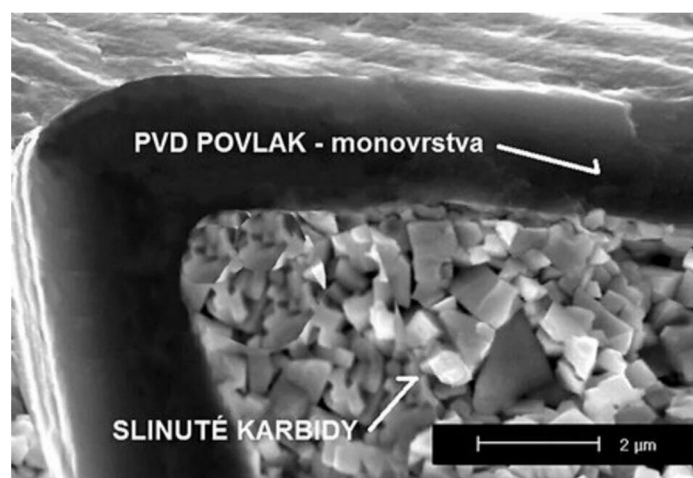
Tab. 3 Porovnání způsobů výroby vrtáků. [18]

		Frézovaný	Tvářený	Broušený
Drsnost (μm)	Fazetka	4,6	6,5	2,5
	Drážka	8,6	12,5	3,2
Symetrie ostří (mm)		0,105	0,301	0,01
Radiální házení (mm)		0,05	0,18	0,01

Čtvrtý způsob se odlišuje už v polotovaru, ze kterého je vrták vyráběn a který je výsledkem **práškové metalurgie**. Kovový prášek o daném složení je izostaticky lisován za tepla do kontejneru, který má přibližný tvar vrtáku. Takovýto polotovar vyžaduje minimum dalších operací – vrtáky projdou procesem kalení, následuje broušení řezné části na požadovaný průměr a stopky a ostření. Tento proces je ekonomicky náročný, nicméně umožňuje vytvořit speciální nástroje, například s chladicími kanálky procházející skrz jádro vrtáku a minimalizovat odpad vytvářený při obrábění.

2.3 Povlaky

Vlastnosti nástroje vyrobeného z daného materiálu lze dále vylepšit nanesením jedné či více různých vrstev na povrch nástroje (obr. 8). Tato operace se nazývá povlakování. Slouží zejména ke zvýšení odolnosti proti vysokým teplotám během obrábění a zvýšení tvrdosti řezné hrany, což vede ke zlepšení řezných podmínek, a tedy k prodloužení životnosti břitu. Tyto vlastnosti jsou způsobeny nepřítomností pojiva v povlakovém materiálu, jemnější zrnitostí (o jeden i více řádů) a nižším množstvím strukturních defektů (póry, dutiny). Povlaky taktéž slouží jako bariéra proti difúznímu mechanismu, čímž se rovněž zpomaluje opotřebování nástroje. Povlakovací metody se podle principu dělí do dvou skupin: CVD a PVD.



Obr. 8 Detail povlakovaného břitu frézy. [19]

2.3.1 CVD

Podstatou metody CVD (Chemical Vapour Deposition, chemické napařování z plynné fáze) je reakce plynných chemických sloučenin v těsné blízkosti povrchu povlakovaného nástroje a následné ulpění produktů reakce na povrchu nástroje. Podmínkou tohoto procesu je, aby ve výchozích plynech byla obsažena sloučenina stabilní, ale prchavá, která se po přivedení energie (plazmový oblouk, laser) rozloží. Rozložené produkty se usadí na povrchu povlakovaného nástroje, kde zastávají funkci katalyzátoru. K reakci, potřebné k vytvoření vrstvy povlaku, je třeba i nekovový reaktivní plyn, nejčastěji N₂, NH₃ či CH₄, jak znázorňuje rovnice 2.1. Poměrně velké procento zastupuje v přiváděných plynech nosný plyn, jehož funkcí je dopravení směsi k povlakovanému nástroji a díky řízení obsaženého nosného plynu lze výrazně ovlivňovat rychlost růstu povlaku. [15]

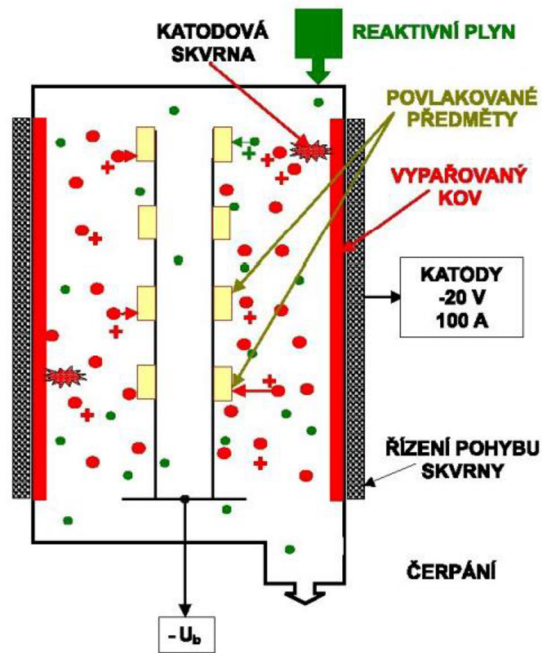


Tato metoda poskytuje výhody velmi dobré adheze mezi povlakem a podkladem, možnost povlakovat složité tvary a variabilita typů povlaků. Proto je používána především pro nástroje pro soustružení a frézování, kde je pravděpodobnost přerušovaného řezu. Nevýhodou je nemožnost napovlakovat ostré hrany, tahová napětí v povlaku a ovlivnění podkladového materiálu, jelikož proces povlakování probíhá za teplot 900–1200 °C. Vysoká teplota je hlavní důvod, proč se metodou CVD nepovlakuji nástroje z rychlořezných ocelí. [15] [20]

2.3.2 PVD

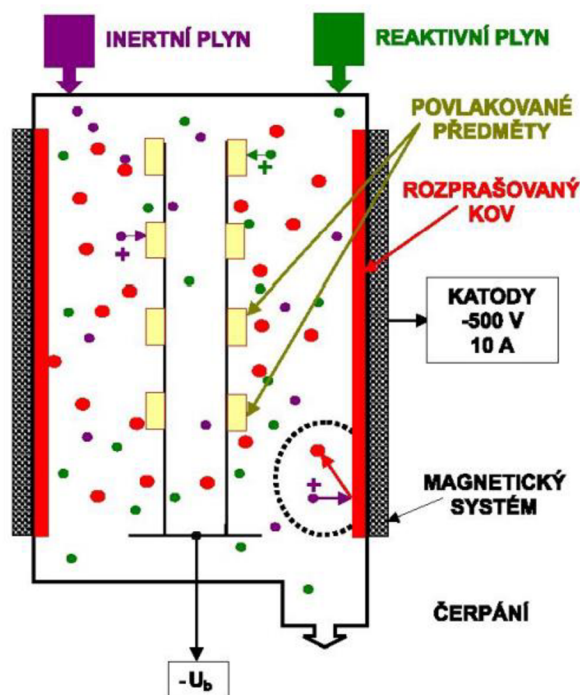
Z důvodu vysokých teplot při CVD povlakování, které ovlivňují materiál nástroje, bylo třeba najít metodu, při které by teplota dosahovala nižších hodnot. Touto metodou se stala metoda PVD (Physical Vapour Deposition, fyzikální napařování), která probíhá za teplot pod 600 °C, některé zdroje uvádějí dokonce teploty pod 350 °C. Proces probíhá ve vysokém vakuu a jeho podstatou je odpařování povlakového kovu. Pro PVD povlakování se používají tři metody: napařování, naprašování a iontová implantace. [15]

U **napařování** (obr. 9) je odpařování čistého povlakovacího kovu (nejčastěji titan) prováděno elektrickým obloukem, klasickým odporovým ohřevem, či svazkem elektronů. Vyzářené atomární částice reagují s reaktivním a inertním plynem (např. N₂ a Ar) tvořícím atmosféru povlakovací komory. Následně se částice usazují na povrchu povlakovaného materiálu (kam dopadají s tepelnou energií 0,1-0,5 eV) a vytváří tenké homogenní vrstvy povlaku, které jsou pevně adhezně spojeny s podkladem. [15]



Obr. 9 Napařování. [15]

U **napařování** (obr. 10) je emitace atomárních části povlakovacího kovu zajištěna bombardováním čistého kovu – katody kationty vznikly elektrickým výbojem v plynné atmosféře komory. Díky vysoké kinetické energii iontů jsou z čistého kovu emitovány částice potřebného chemického složení. Toto chemické složení je dáno použitým kovem i složením plynné atmosféry v komoře. Uvolněné částice se stejně jako u napařování následně usazují na povrchu nástroje, čímž vzniká žádaný povlak. V tomto případě však nedochází k reakci mezi emitovanou částicí a plynem v komoře. [15]



Obr. 10 Napařování. [15]

Spojení obou předchozích metod dalo vznik metodě, která se nazývá **iontová implantace**. Díky silnému elektrickému poli mezi substrátem – katodou a odpařovačem dochází k elektrickému výboji stejně jako u naprašování, který ionizuje jak odpařované částice čistého kovu, tak i částice plynu. Ionty spolu následně reagují a následně dopadají na povrch substrátu, kde vytváří povlak. [15]

PVD povlakování poskytuje výhody možnosti povlakovat i ostré hrany, zbytkových tlakových napětí v povlaku a neovlivněním podkladového materiálu. Z těchto důvodů je PVD povlakování používáno pro aplikace, kde by kvůli vydrolování a přítomnosti vysokých řezných sil měl nástroj nízkou trvanlivost, a pro nástroje s velmi pozitivní geometrií ostří (např. celokarbidové vrtáky) Oproti CVD povlakování, však vyžaduje náročnější přípravu povrchů před povlakováním (odmašťování, čištění), poměrně složitý vakuový systém a má směrový účinek. Proto je třeba s vzorky neustále pohybovat, aby byl povlak nanesen rovnoměrně ze všech stran (obr. 11). [15] [20]



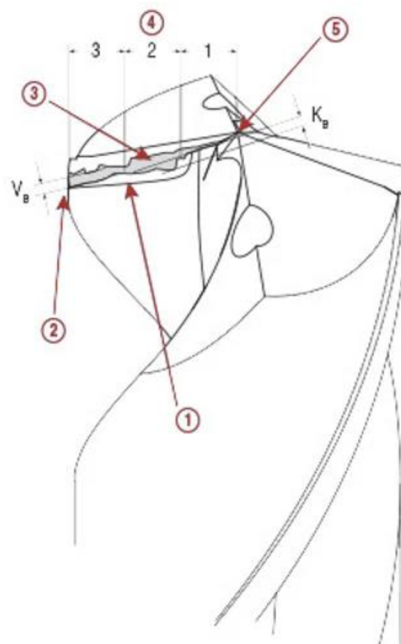
Obr. 11 Nástroje připravené k povlakování upevněné v karuselu zajišťující jejich pohyb. [21]

3 MĚŘENÍ ŘEZIVOSTI

Řezivostí rozumíme vlastnost nástroje efektivně odebrat třísku z obrobku. Podobnou vlastnost můžeme hodnotit i pro obráběný materiál, v tomto případě se vlastnost nazývá obrobitelnost. Řezivost, respektive obrobitelnost jsou vlastnostmi relativními, jelikož se vztahují k obrábění jednoho obráběného materiálu jedním nástrojem za určitých řezných podmínek. Jestliže se jeden z těchto faktorů změní, změní se i řezivost. Řezivost je charakterizována bezrozměrnými čísly udávajícími poměr určité veličiny daného nástroje k veličině nástroje etalonového za stejných řezných podmínek při obrábění stejného materiálu stejnou technologií. Porovnávanou veličinou může být trvanlivost nástroje, opotřebení nástroje, nebo například řezné síly. Rozborem jednotlivých metod se zabývají následující odstavce. Porovnávat můžeme nástroje mezi sebou, ale také nástroj za různých řezných podmínek (řezná rychlost, chladicí kapalina...). [15]

Nejstarším přístupem k porovnávání řezivosti je porovnání **životnosti nástroje**, tedy, kdy se nástroj, v mém případě vrták, zlomí. Tato metoda je velice jednoduchá, nedává ale žádné informace o průběhu, nemůžeme tedy posoudit, jaký trend sleduje nárůst opotřebení a případně predikovat konec životnosti.

Z tohoto důvodu se přešlo na **vizuální měření opotřebení**. Měří se opotřebení ostří nástroje, čela nástroje, hřbetu a také vodící fazetky (viz obr. 12). V průběhu testu, tj vrtání série děr do obráběného materiálu, se průběžně měří opotřebení nástroje. Test lze ukončit při dosažení stanoveného maximálního opotřebení, nebo lze pokračovat až do zničení nástroje. Naměřená data umožní vytvořit křivku opotřebení nástroje. Nevýhodou této metody je nutnost vyjmutí nástroje ze stroje, abychom mohli měřit opotřebení pod mikroskopem. Vizuelní měření opotřebení vrtáku oproti řezné destičce obnáší ještě další problém. Jelikož se jedná o komplexní nástroj, může být obtížné určit, kde přesně začínají jednotlivá opotřebení. Vývoj řezných materiálů a nástrojových povlaků přinesl ještě další obtížnosti pro tuto metodu. Opotřebení se stávají stále menší a menší, je tedy těžší je měřit. Měření také komplikují světelné odlesky a skvrny na povlaku, které mohou zcela znehodnotit měření.



Obr. 12 Opotřebení vrtáku: 1 – čelo nástroje, 2 – vodící fazetka, 3 – hřbet, 4 – oblast opotřebení, 5 – střed vrtáku, V_B – opotřebení hřbetu, K_B – opotřebení čela. [22]

V dnešní době je tedy jednou z nejčastěji využívaných metod **měření dílčích složek zatížení** v pravouhlé soustavě. Tu je možné následně přetransformovat do požadovaných fyzikálních či technologických směrů. Měřicím přístrojem je dynamometr, jehož výstupní signál je následně zesílen zesilovačem a zpracován výstupním zařízením (kreslicí jednotka v případě analogického signálu, počítač pro digitální signál). Výsledkem měření touto metodou je velké množství podkladů pro řadu analýz. Při měření sil u povlakovaných nástrojů však může dojít ke ztrátě informací při porušení povlaku, neboť se jedná o diskrétní děj. Taková hodnota nemusí být vůbec zaregistrována kvůli nízké frekvenci vzorkování nebo může být při následném zpracovávání dat vyhodnocena jako odlehlá hodnota. Během testů je očekávané, že se hodnota zatížení bude zvyšovat společně s rostoucím opotřebením, nicméně může se objevit i pokles hodnot (opotřebení frézy zmenšuje její záběr), či dokonce nulové zatížení v případě, že je nástroj zlomen. Případné oscilace hodnot by naznačovaly přítomnost nárůstu.

Doplňkovou metodou, kterou lze hlídat opotřebení nástroje, je **měření příkonů pohonných jednotek**. Při opotřebení nástroje se zvyšuje potřebný výkon pro řezný proces, a tedy i příkon pohonné jednotky. Měření může být prováděno pomocí ručních přístrojů na napájecích drátech pohonné jednotky, nebo automaticky řídicím systémem, který může navýšení příkonu detekovat a následně ohlásit blížící se konec životnosti nástroje, či dokonce vyměnit nástroj u samoobslužných strojů.

V dnešní době se pro detekci opotřebení nástroje u moderních CNC strojů využívají i další nepřímé metody. Některé řídicí jednotky například vyhodnocují teplotu vinutí motorů pohonných jednotek, či průběh kroutícího momentu. [23]

4 POROVNÁNÍ VYBRANÝCH HSS VRTÁKŮ

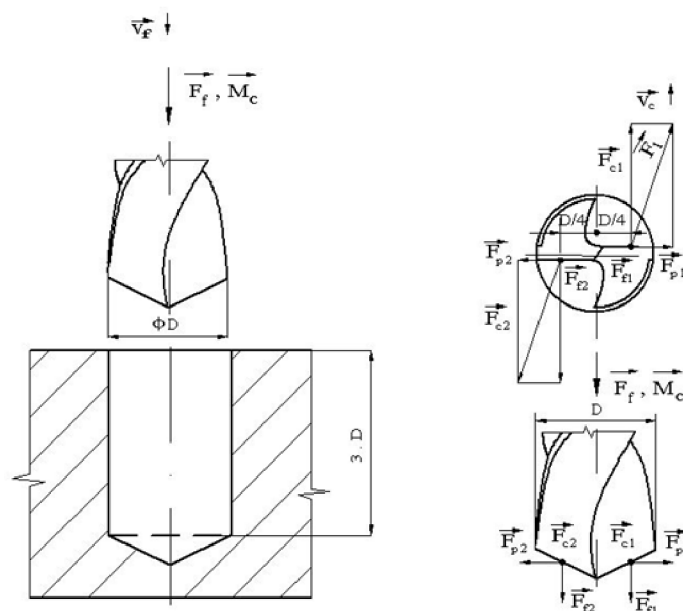
Praktická část se zabývá porovnáním celkem čtyř spirálových vrtáků z nepovlakované rychlořezné oceli od dvou různých výrobců. Pro porovnání byl do testu zahrnut vrták A od výrobce X, zbylé tři vrtáky B, C a D byly od výrobce Y (tab. 4). Tyto tři vrtáky se lišily dodavatelem rychlořezné oceli.

Tab. 4 Označení vrtáků.

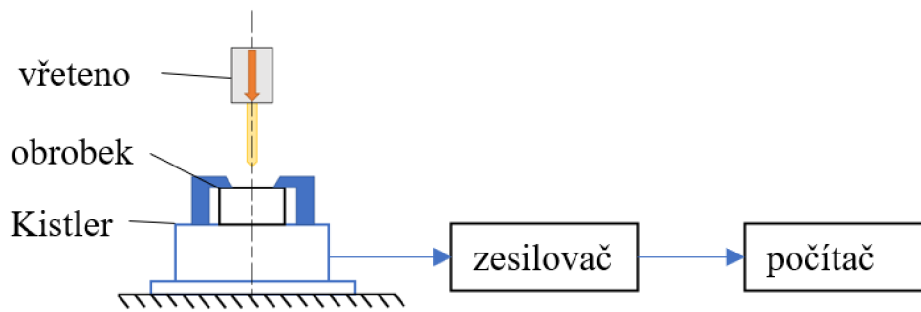
Označení vrtáku	Výrobce
A	X
B	Y
C	
D	

Vrtáky byly porovnávány na základě řezivosti. Pro porovnání řezivosti bylo zvoleno kritérium životnosti nástroje. Měření posuvové síly a řezného momentu slouží především ke sledování trendu opotřebení. Měření probíhalo na CNC obráběcí stroji MCV 1210 řízeným systémem Sinumerik 840D. Posuvová síla a krouticí moment byl měřen dynamometrem Kistler. Signál z dynamometru byl zesílen zesilovačem a poté zaznamenán počítačem (obr. 14). Tato data byla dále zpracovávána a vyhodnocována.

Vrtány byly díry o hloubce rovné trojnásobku jmenovitého průměru vrtáku (viz obr. 13). Pro snížení objemu dat se nevrtyly všechny díry do kvádrů upevněných na dynamometru, ale vždy se série dvou měření prokládala sérií neměřených děr vrtaných do kvádrů upevněných ve svěráku na stole stroje vedle dynamometru. Během testování se použily kvádry vyrobené z nástrojové oceli 1.2312 a pružinové oceli 15 260.7, jejichž vlastnosti jsou uvedeny v tab. 5.



Obr. 13 Schéma testů a měřených veličin.



Obr. 14 Principiální schéma měření.

Tab. 5 Vrtané materiály

Název	Označení	Tvrдость [HRC]	Mez pevnosti v tahu [MPa]
Nástrojová ocel	1.2312	25,2-30,2	855-965
Pružinová ocel	15 260.7	26,4-28,1	880-918

Řezné podmínky (tab. 6) byly určeny na základě doporučené řezné rychlosti a posuvu pro rychlořezné oceli a průměru vrtáku. Testy probíhaly bez chladicí kapaliny a testovací kvádry byly čelně ofrézovány, aby byla odstraněna povrchová vrstva, která se může lišit vlastnostmi od jádra materiálu. Vzorkování dynamometru bylo odvozeno od požadovaného intervalu pootočení vrtáku mezi jednotlivými měřeními, který byl stanoven na 10°, z čehož byla vypočítána frekvence měření 750 Hz (tab. 7).

Tab. 6 Řezné podmínky.

Průměr vrtáku [mm]	6
Řezná rychlost [m/min]	23
Počet otáček za minutu [1/min]	1250
Posuvová rychlost na otáčku [mm]	0,1
Hloubka vrtání [mm]	18

Tab. 7 Frekvence měření.

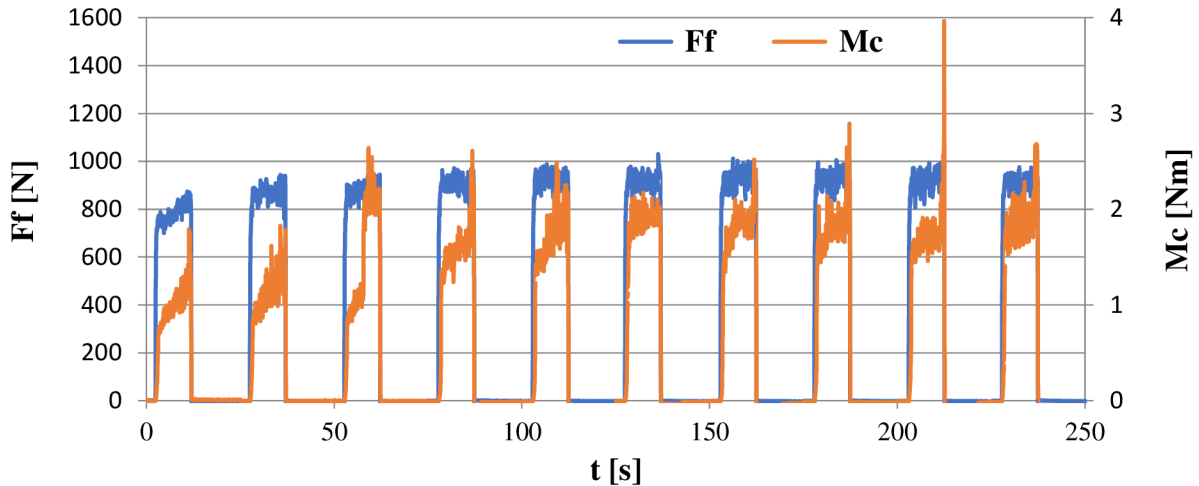
Počet otáček za sekundu [1/s]	20,83
Rozestup měření [°]	10
Počet měření za otáčku [-]	36
Frekvence měření [Hz]	750

4.1 0. měření

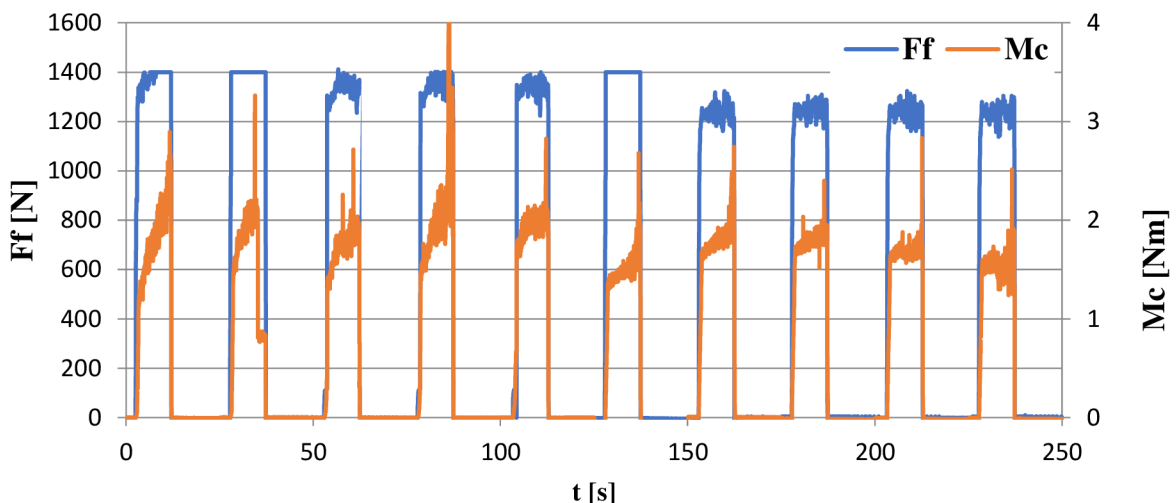
Cílem tohoto testu bylo prvotní porovnání vrtáků A a B a ověření údaje výrobce, že měřené hodnoty dynamometrem nejsou závislé na poloze díry vzhledem k ose dynamometru. V ideálním případě by měl být vrtaný otvor v ose dynamometru, což by ovšem znamenalo

obrobek před každým dalším měřením uvolnit, posunout a opět upevnit na dynamometr, tak aby bylo vrtáno stále v ose dynamometru, jak je znázorněno na obr. 14.

Při tomto testu bylo měření provedeno u všech 10 děr (vrtalo se pouze do kvádrů upevněných na dynamometru), obráběným materiálem byla nástrojová ocel 1.2312. Desátá díra byla vrtána do rohu kvádrů, aby byla ověřena nezávislost měřeného řezného momentu na pozici vzhledem k ose dynamometru.



Obr. 15 Graf – vrták A, 0. měření, 10 děr.



Obr. 16 Graf – vrták B, 0. měření, 10 děr.

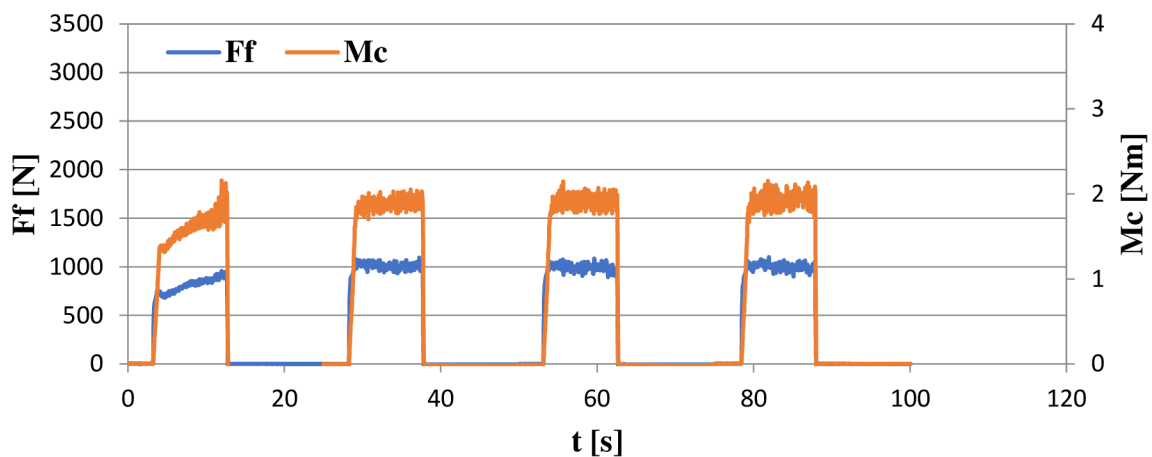
V grafech obr. 15 a obr. 16 jsou znázorněny naměřené hodnoty (F_f – posuvová síla, M_c – řezný moment) vždy jednoho ze dvou vrtáků. V grafu vrtáku B jsou vidět ve znázornění síly při vrtání horizontální čáry na úrovni 1400 N, které znamenají, že bylo překročeno maximální měřitelná síla dynamometru, zatímco maximální posuvová síla u vrtáku A se pohybuje kolem 1000 N. U průměrného řezného momentu je vidět u vrtáku A počáteční nárůst a následná stagnace kolem hodnoty 2 Nm, u vrtáku B lze vidět postupné snižování průměrného řezného momentu až k hodnotě 1,5 Nm. Při každém vrtání jednoho otvoru řezný moment postupně narůstá, což je zřejmě zapříčiněno zvětšujícím se množstvím třísek odváděných drážkami v jeden okamžik. Je třeba si také všimnout, že tento nárůst je markantní zejména v několika prvních měřeních, kdy je nástroj naostřen z výroby a dochází zde k prvotnímu opotřebení. Následuje pik, který je výrazný zvláště u vrtáku B. Z porovnání grafu hodnot desáté díry s předchozími nejsou vidět výrazné odlišnosti, řezný moment pokračuje v tendenci minimálně tří předchozích děr.

Díky tomuto testu bylo potvrzeno tvrzení výrobce dynamometru o nezávislosti měření na poloze díry vzhledem k ose dynamometru, není tedy potřeba dbát na to, aby měl vrtaný otvor společnou osu s dynamometrem. Z tohoto měření vyšel lépe vrták A, jelikož řezné momenty jsou srovnatelné, ale jeho posuvová síla je o polovinu menší než posuvová síla u vrtáku B. Pro příští testy byla na dynamometru nastavena širší škála měření, aby zaznamenal i hodnoty na 1400 N a jako obráběný materiál byla zvolena pružinová ocel 15 260.7 (má nižší obsah karbidů, které jsou také měkčí než karbidy chromu v nástrojové oceli, je tedy méně abrazivní).

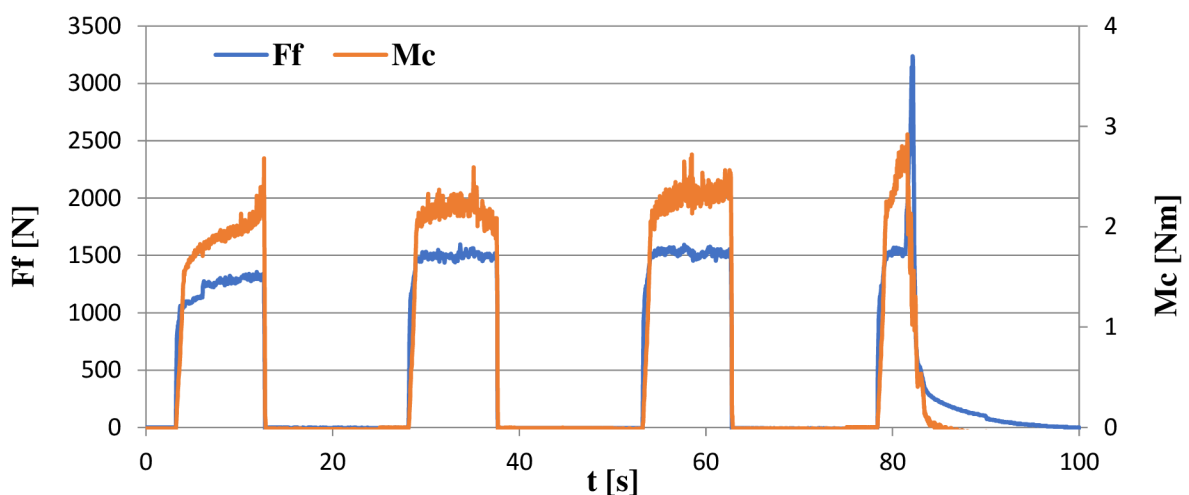
4.2 Vrtáky A a B

4.2.1 1. měření

Cílem tohoto prvního testu již bylo porovnání nepoužitých vrtáků A a B. Měření probíhalo do zničení jednoho z vrtáků. Řezné podmínky byly stejné jako u předchozího testu (tab. 6), změnil se pouze obráběný materiál na pružinovou ocel 15 260.7. Tentokrát se již měřená vrtání prokládala sérií neměřených, měřilo se vrtání 6., 12., 18. a 25. díry.



Obr. 17 Graf – vrták A, pružinová ocel, 1. měření, 26 děr.



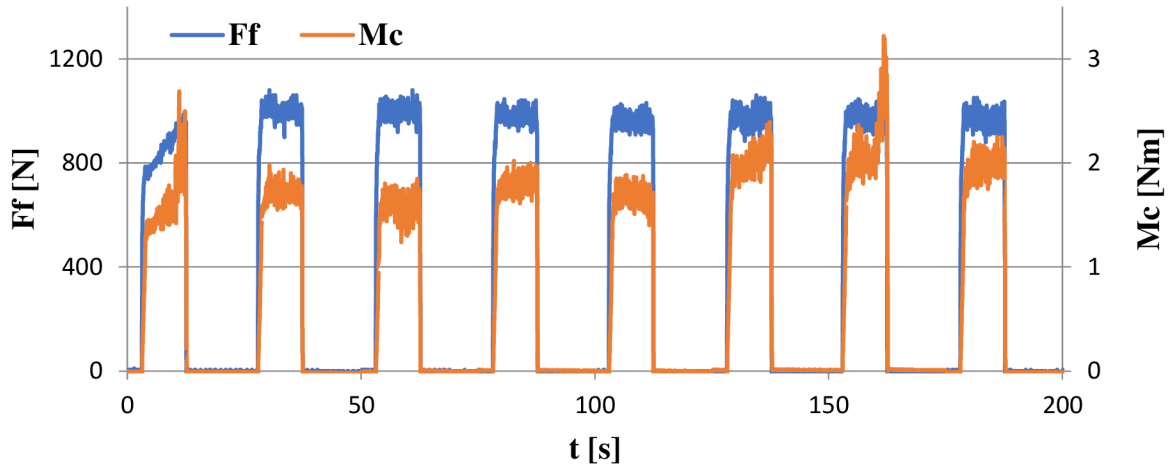
Obr. 18 Graf – vrták B, pružinová ocel, 1. měření 26 děr.

V obou předchozích grafech je vidět u prvního měření zmiňovaný nárůst řezného momentu během prvotního opotřebení a následně je řezný moment přibližně stálý během vrtání. Při měření 25. díry vrtáku B nastal před koncem vrtání výrazný nárůst posuvové síly (přes

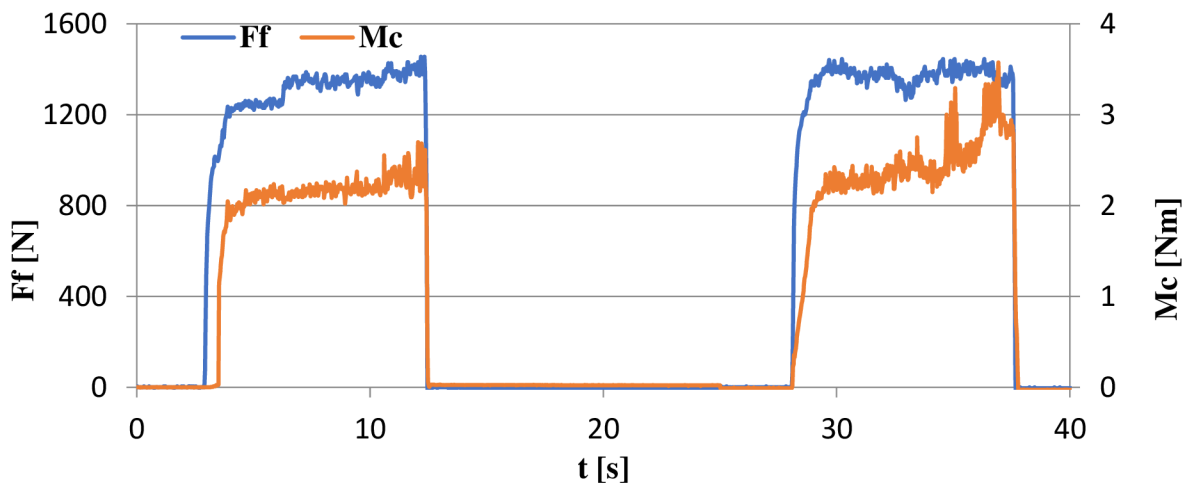
3000 N), který značil blížící se konec životnosti vrtáku. Při vrtání 26. díry se vrták B zlomil, zatímco u vrtáku A se neprojevily žádné změny ani v posuvové síle, ani v řezném momentu.

4.2.2 2. měření

Pro potvrzení dosažených výsledků se test opakovl s novými vrtáky A a B. Test probíhal za stejných řezných podmínek. Měřeno bylo vrtání číslo 1, 8, 16, 24, 32, 40, 48 a 56. Oproti předchozímu testu měření pokračovalo až do destrukce vrtáku.



Obr. 19 Graf – vrták A, pružinová ocel, 2. měření, 61 děr.



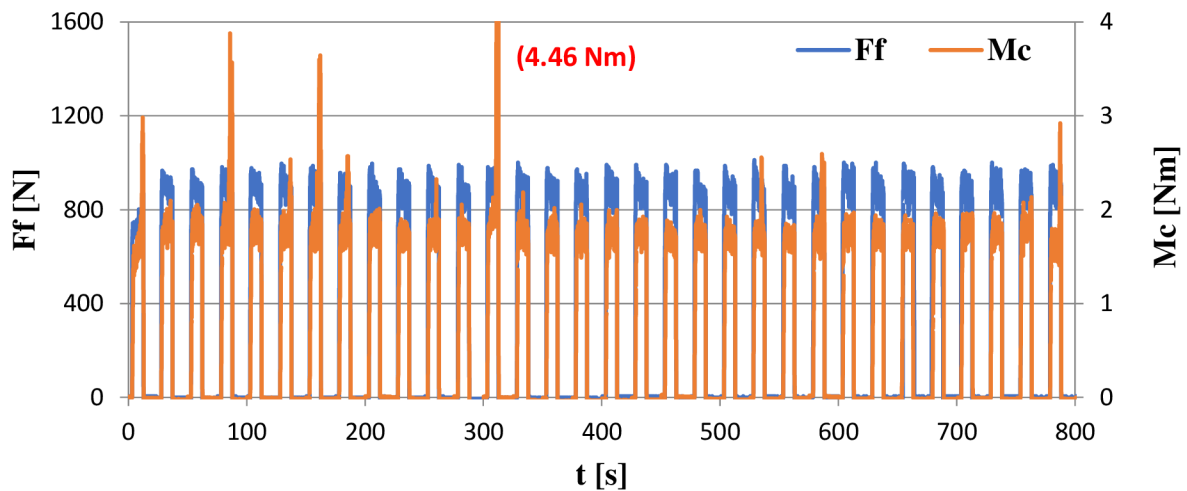
Obr. 20 Graf – vrták B, pružinová ocel, 2. měření, 13 děr.

V grafu vrtáku A (obr. 19) lze opět vidět u prvního měření výrazný nárůst řezného momentu během vrtání a následné ustálení u dalších měření. Nárůst u 48. díry (7. měřené díry) lze dávat za příčinu vzniku nárůstku na nástroji. Ten během dalšího vrtání odpadne, a proto již tento nárůst není u dalšího měření vidět. I přestože tomu nic nenasvědčovalo, vrták se při vrtání 61. díry zlomil. Vrták B se zlomil již během vrtání 13. díry, vyvrtal tedy ještě o polovinu méně děr než v předchozím testu.

4.2.3 3. měření

Ve třetím měření se jednalo pouze o potvrzení výsledku pro vrták A. Vrtalo se tentokrát do nástrojové oceli, měřilo se vrtání 1, 8, 16 atd. Test se ukončil po konzultaci po 280. díře. V získaném grafu (níže) je vidět, že se měřené veličiny stále pohybují kolem stejných hodnot, z toho vyplývá, že opotřebení vrtáku během testu téměř nenarůstá. Jelikož se ani při konci

měření výrazně neodchyluje od těchto hodnot, lze usuzovat, že ještě stále není na konci životnosti. U některých měření je vidět na konci vrtání strmý nárůst řezného momentu, který se však při dalším vrtání opět vrací k obvyklým hodnotám. Jeho přítomnost již byla vysvětlena v předchozím měření, zde je však fenomén mnohem výraznější.

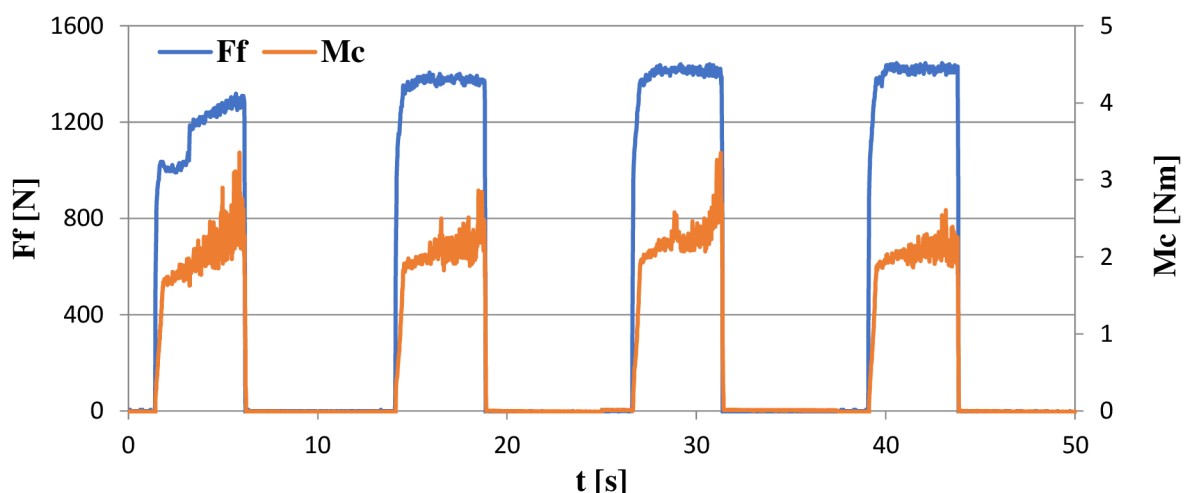


Obr. 21 Graf – vrták A, nástrojová ocel, 3. měření, 280 děr.

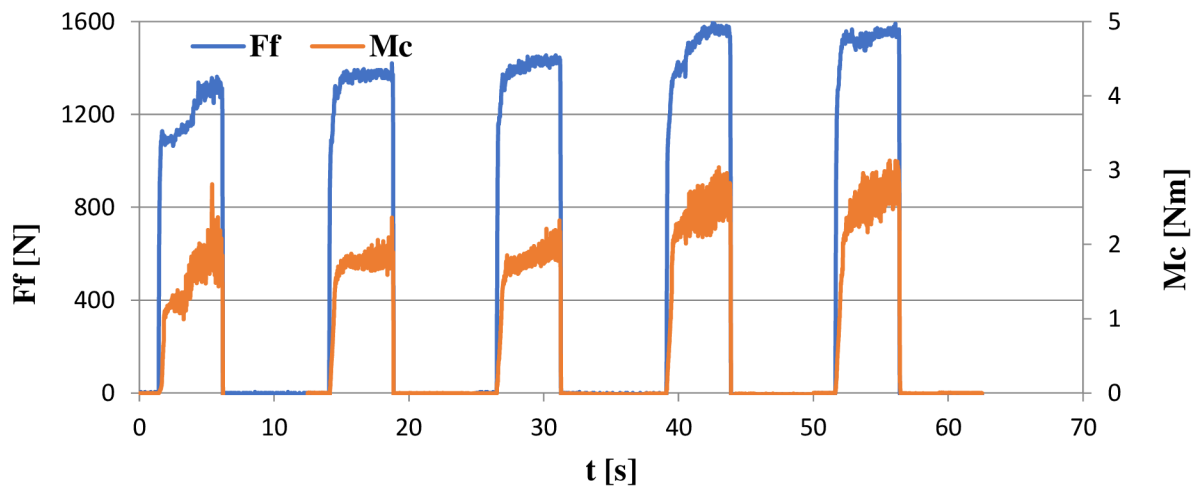
4.3 Vrták C

Měření vrtáku C probíhalo při vrtání do pružinové oceli stále za řezných podmínek uvedených v tab. 6. Byla provedena dvě měření pro potvrzení obdržených výsledků. Měřena byla vrtání 1, 8, 16, 24 a 32.

Při prvním měření se vrták zlomil při 26. díře a druhé měření bylo přerušeno po 38 díře pro velmi špatný zvuk. Při pohledu na graf prvního měření není vidět žádný náznak konce životnosti při 24. díře, pouze možná přítomnost nárůstku při třetím měření. Ve druhém grafu je pozorovatelný nárůst řezného momentu i posuvové síly u posledních třech měření. U posledních dvou je také vidět rozkmitání hodnot řezného momentu, což může být následkem přítomnosti nárůstku.



Obr. 22 Graf – vrták C, pružinová ocel, 26 děr.

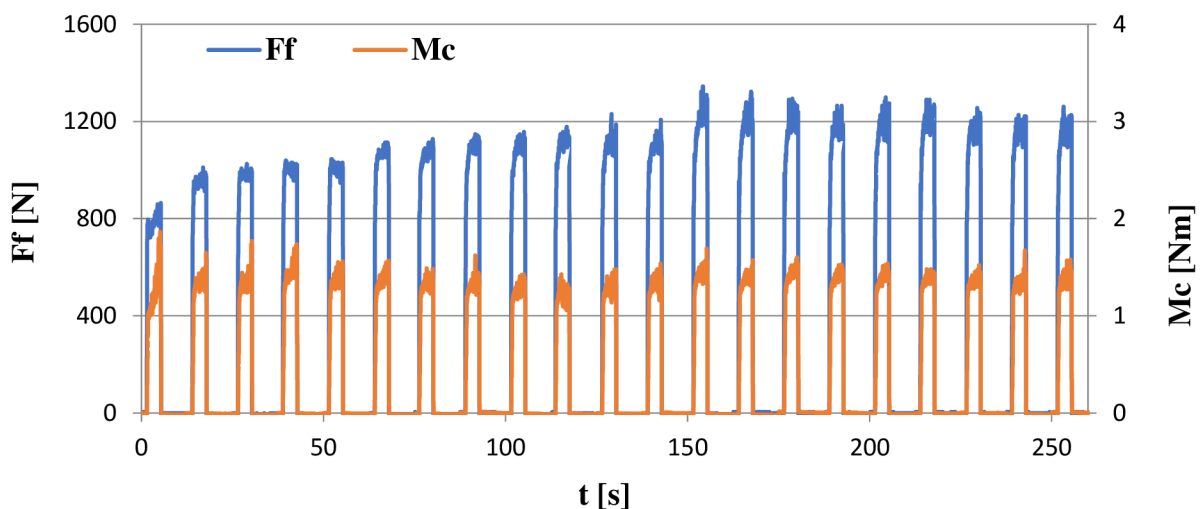


Obr. 23 Graf – vrták C, pružinová ocel, 38 děr.

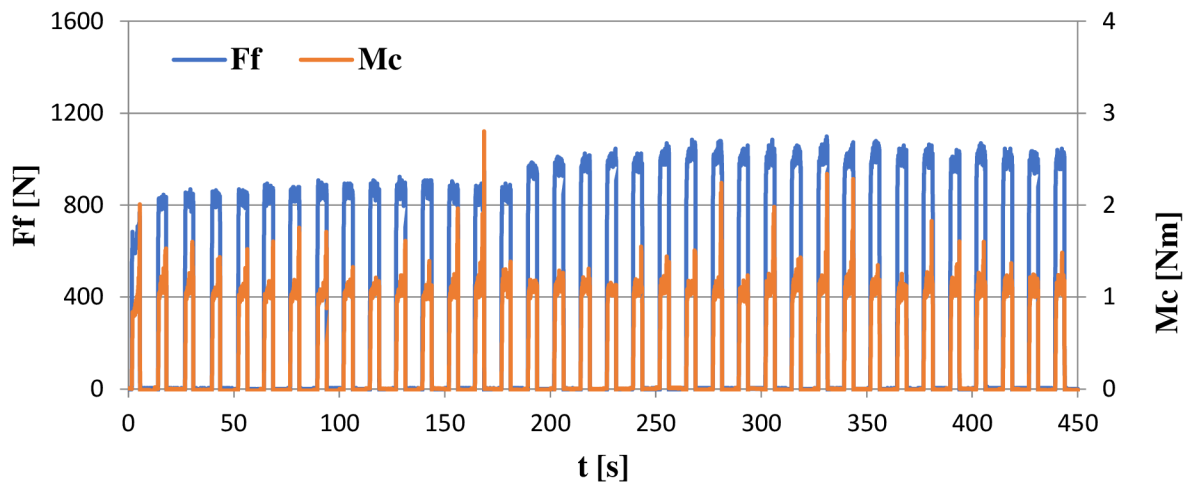
4.4 Vrták D

Jako poslední se testoval vrták od třetího dodavatele rychlořezné oceli s označením D. Řezné podmínky byly opět zachovány pro možnost porovnání. Byla provedena měření se dvěma vrtáky, kdy byla měřená vrtání prokládána sérií 7 neměřených (první série tvořilo pouze 6 neměřených vrtání, bylo tedy měřeno 1., 8, 16, 24. atd.). První test vrtáku D, byl vrtán do pružinové oceli, druhý pak do abrazivnější nástrojové oceli.

První test vrtáku D byl po konzultaci s vedoucím práce ukončen na 160. díře, opakovaná zkouška byla zastavena po 280. díře. Vrtáky D ani při ukončení zkoušek nejevily známky blízkého konce životnosti, řezný moment i posuvová síla dosahuje konstantních hodnot, jak lze vidět v následujících grafech. V grafu zkoušky s nástrojovou ocelí jsou viditelné časté píky na konci měřených děr, největší u 104. díry, tj. na konci 14. měření. Příčinou těchto velkých nárůstů, jak již bylo řečeno při prvních testech, je pravděpodobně nárůstek společně s velkým objemem třísek odváděných drážkami.



Obr. 24 Graf – vrták D, pružinová ocel, 180 děr.

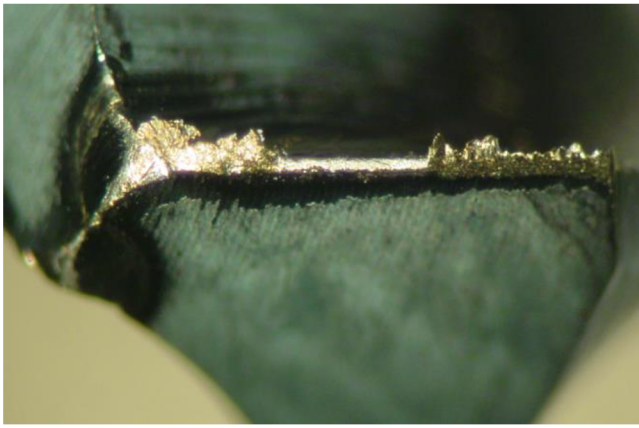
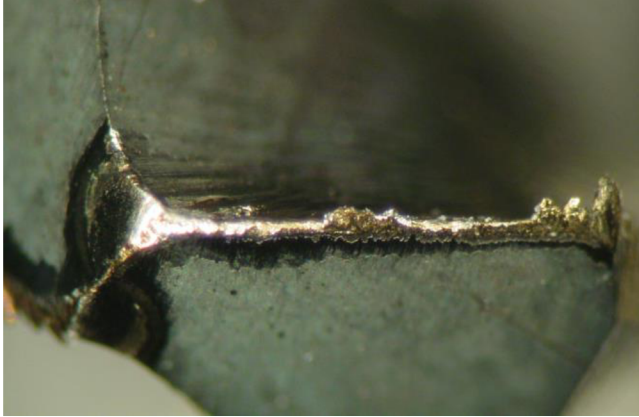
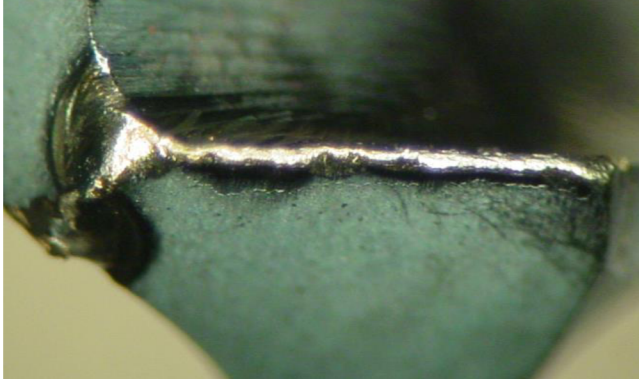


Obr. 25 Graf – vrták D, nástrojová ocel, 280 děr.

4.5 Opotřebení

V tab. 8 jsou obrázky hrotu vrtáku D po vyvrtání 24, 80 a 160 děr. Na prvním obrázku je přítomný podstatný nárůstek na břitu ve středu vrtáku a menší na krajní třetině, již je zde také vidět opotřebení hřbetu vb. Na druhém obrázku, po 60 vrtáních, lze opět vidět nárůstek, tentokrát se však nachází pouze na vnější části ostří. Opotřebení hřbetu se téměř nemění, je zde však patrné rozšíření vrcholového úhlu. Na posledním obrázku se zdá opotřebení hřbetu stále stejné, ale nárůstek zde není přítomný. To však nemusí nic znamenat, jelikož, jak bylo řečeno u předchozích grafů, nárůstek se tvoří, když dosáhne kritické velikosti, uvolní se, je odnášen a na břitu se začíná tvořit znovu. Na této fotce je tedy pravděpodobně zachycen moment po odpadnutí nárůstku.

Tab. 8 Vývoj opotřebení, vrták D.

24 děr	
80 děr	
160 děr	

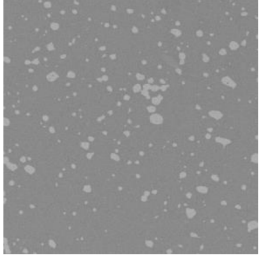
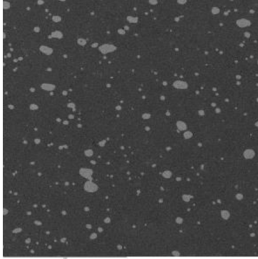
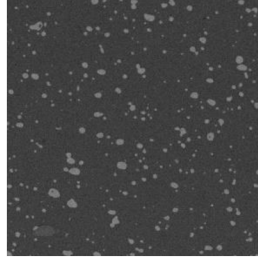
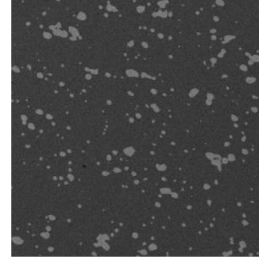
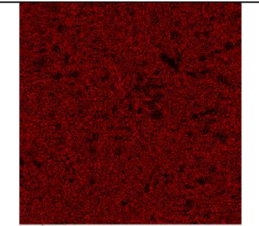
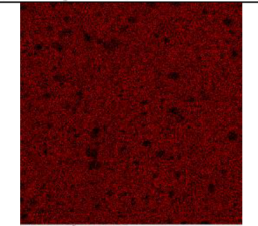
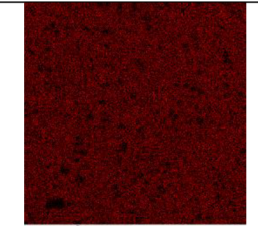
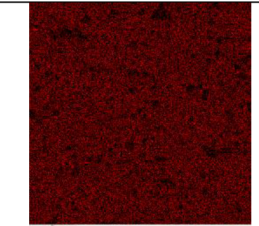
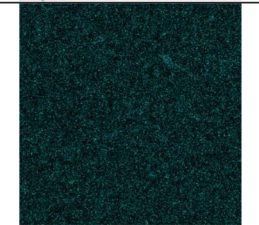
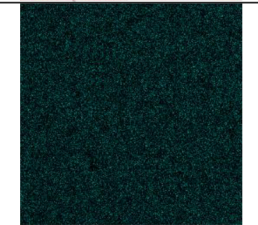
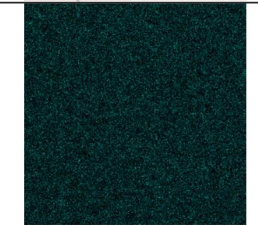
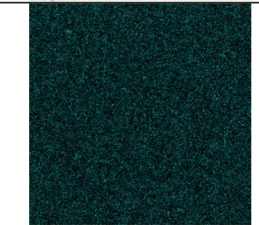
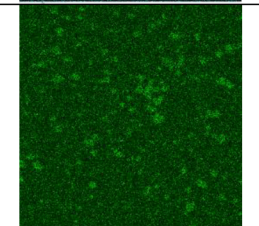
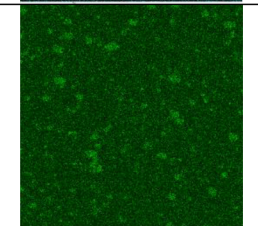
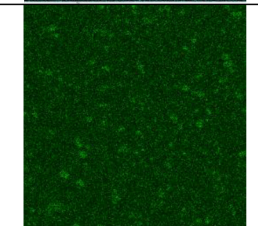
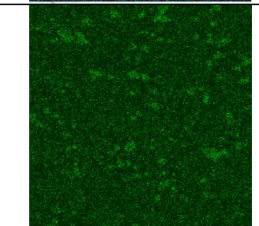
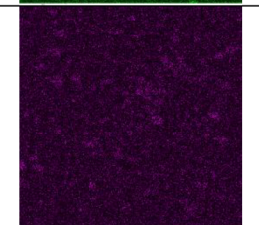
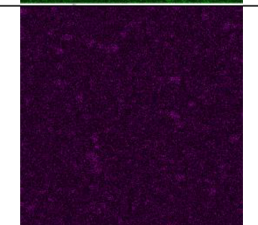
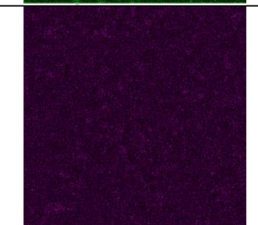
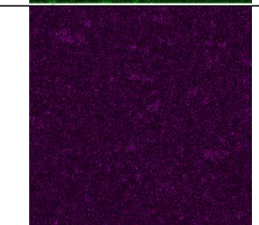
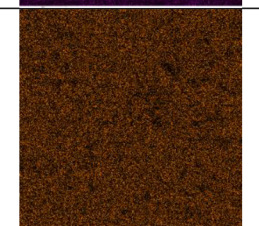
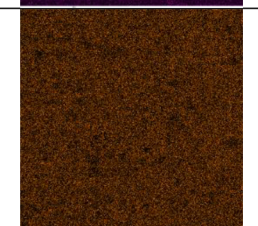
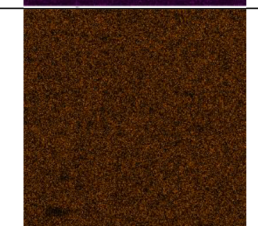
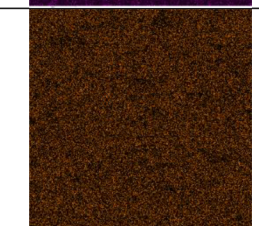
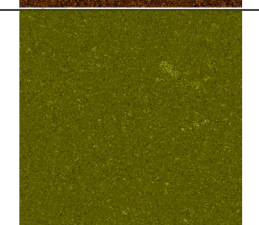



4.6 Porovnání materiálů vrtáků

V tab. 9 jsou vloženy záznamy rozložení chemických prvků v jednotlivých rychlořezných ocelích z elektronového mikroskopu (hrana obrázku představuje 51,9 μm). Přesné obsahy jednotlivých chemických prvků jsou vypsány v následující tab. 10.

V prvním řádku tab. 9 je třeba porovnávat velikost a množství světlých skvrnek, označující karbidy. Pro dobré vlastnosti materiálu je třeba, aby byly karbidy drobné a hustě, ale rovnoměrně rozmístěné v celé mikrostruktuře. Pak ocel získává tvrdost karbidů, ale zároveň si zachovává část své houževnatosti (vlastnost zajišťovaná matricí). V dalších řádcích je pak barevně zvýrazněn vždy určitý prvek, z čehož lze vyčíst, o jaké karbidy na obrázcích prvního řádku se jedná a rovnoměrnost koncentrace v matrici. Ze snímků je patrné, že oceli si jsou strukturou a obsahem velmi blízké nicméně drobné rozdíly mezi nimi jsou. Největší karbidy

oceli vrtáku C jsou menší než u ostatních vrtáků a jsou také ve struktuře rovnoměrněji rozmístěny. Tyto karbidy ale mají menší obsah wolframu než karbidy ostatních ocelí. U této oceli je také viditelný nižší obsah molybdenu v karbidech. Ocel vrtáku D taktéž obsahuje v karbidech menší množství wolframu než oceli vrtáků A a B.

Tab. 9 Plošná distribuce prvků v ocelích vrtáků

	A	B	C	D
				
Fe				
C				
W				
Mo				
Cr				
V				

V tab. 10 je třeba si všimnout, že ocel vrtáku B obsahuje o více než 3 hm% více železa než ostatní a o mnoho méně hmotnostních procent uhlíku (o 1,2 – 2,2 hm%). Podstatné rozdíly jsou také v obsazích wolframu a molybdenu, kde je však největší rozdíl mezi ocelmi do 1,2 hm%, u molybdenu dokonce pouze 1 hm%.

Tab. 10 Obsahy prvků v ocelích vrtáků.

	A	B	C	D
Fe [hm%]	78,2	81,7	78,7	77,0
W [hm%]	6,4	5,5	5,6	6,7
C [hm%]	4,9	3,7	5,9	5,3
Mo [hm%]	4,7	4,0	3,9	4,9
Cr [hm%]	4,0	3,8	4,0	4,2
V [hm%]	1,8	1,4	1,8	1,9

4.7 Zhodnocení výsledků

Po ukončení všech měření byly výsledky uspořádány do tab. 11. U měření, která byla ukončena, aniž by skončila životnost vrtáku, je za číslem dopsáno – *ukončeno*, měření, která byla vrtána do nástrojové oceli, jsou podtržena. Dosažené výsledky mají velký rozptyl hodnot, proto by pro přesnější určení životnosti vrtáku bylo vhodné provést další testy za stejných rezných podmínek. Porovnáním vrtáku lze nicméně dojít k následujícím závěrům:

- Nejhorším vrtákem pro obrábění této pružinové oceli je vrták B (od výrobce Y, dodavatele oceli B) – vyvrtal maximálně 26 děr.
- Vrták C dosáhl sice lepších výsledků než původní vrták B, nicméně jeho životnost oproti vrtákům A a D je stále velmi malá – vyvrtal maximálně 38, což je o polovinu více, než vrták B.
- Nejlepším vrtákem je vrták D, který vyvrtal 180 a 280 děr, aniž by nastal konec jeho životnosti, a je tak srovnatelný s vrtákem A od konkurenčního výrobce vrtáků X.

Tab. 11 Souhrn výsledků.

Vrták	Vrtané díry při testu		
A	26 – ukončeno	61	<u>280 – ukončeno</u>
B	26	13	-
C	26	38	-
D	180 – ukončeno	<u>280 – ukončeno</u>	-

ZÁVĚR

Teoretická část práce popisuje výrobu vrtáků od výroby materiálu, přes rozdílné metody výroby vrtáků, až po způsoby povlakování. Tato část je zakončena představením metod měření řezivosti vrtáků, které jsou následně použity v praktické části.

Praktická část obsahuje návrh a realizace měření řezivosti a životnosti čtyř vrtáků od dvou různých výrobců (všechny se lišily dodavatelem rychlořezné oceli) a vyhodnocení výsledků. Z dosažených výsledků vyplývá, že:

- výchozí vrták od výrobce Y, vrták B, je zcela nevhodný pro obrábění pružinové oceli,
- vrták D od výrobce Y (RO od jiného dodavatele), je vhodný pro obrábění pružinové i nástrojové oceli (přibližně 6násobné navýšení životnosti oproti vrtáku B) a je srovnatelný s vrtákem A od konkurenčního výrobce X.

Naměřené výsledky životnosti jednotlivých vrtáků mají široký rozptyl, což při porovnání mezi nimi nečiní velký problém, jelikož jednotlivé intervaly vrtáků se téměř nepřekrývají. Pokud by ale cílem měření měla být životnost vrtáků, bylo by třeba provést ještě další měření, která by umožnila určit průměrnou životnost vrtáku, či alespoň zúžit interval častých životností.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] HUMÁR, A. *Technologie I: Technologie obrábění - 2. část* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2003 [cit. 2022-02-15]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-2cast.pdf
- [2] FOREJT, M. a M. PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
- [3] SHAW, M. *Metal cutting principles*. 2nd ed. New York: Oxford University Press, 2005. ISBN 01-951-4206-3.
- [4] SOVA, F. *Technologie obrábění a montáže*. 3. vyd. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2001, 273 s. ISBN 80-7082-823-4.
- [5] Vrtání. In: *Výukový portál COPTel* [online]. Kroměříž: Střední škola - Centrum odborné přípravy technické Kroměříž, 2008 [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://coptel.cz/pluginfile.php/16636/mod_resource/content/1/VRT%C3%81N%C3%8D%20-%20na%20port%C3%A1.pdf
- [6] Jak geometrie vrtáku ovlivňuje jeho životnost a toleranci vrtaného otvoru. In: *CERATIZIT Group* [online]. [cit. 2022-05-19]. Dostupné z: https://cuttingtools.ceratizit.com/cz/cs/nastroje/vrtani/p_iru_ka/geometrie-vrt_aacutek.html
- [7] PÍŠKA, M. a K. BUČKOVÁ. Řezné materiály současnosti. In: *MM spectrum* [online]. Brno, 2018 [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/rezne-materialy-soucasnosti>
- [8] BARLIER, C. Les matériaux pour outils de coupe en usinage. In: *Equip'Prod* [online]. 2015 [cit. 2021-11-05]. Dostupné z: <https://www.equip-prod.com/actualites/les-materiaux-pour-outils-de-coupe-en-usinage/>
- [9] *Rychlořezné nástrojové oceli* [online]. Kladno: Bohdan Bolzano, s.r.o., 2020 [cit. 2022-03-22]. Dostupné z: https://bolzano.cz/wp-content/uploads/2020/01/bolzano_web_listy_nastrojove_oceli_rychlorezne_nastrojove_oceli.pdf
- [10] MICHALEK, K., L. SOCHA, Z. ADOLF a J. BAŽAN. *Rafinace a odlévání oceli*. Ostrava, 2013, 89 s. První vydání. Studijní opory. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava.
- [11] CHVORINOV, N. *Krystalizace a nestejnorodost oceli*. Praha: Československé akademie věd, 1954.
- [12] ARH, B., B. PODGORNÍK aj. BURJA. Electroslag remelting: A process overview. *Materiali in tehnologije*. 2016, 50(6), 971-979. ISSN 15802949. Dostupné z: doi:10.17222/mit.2016.108
- [13] *Prášková metalurgie* [online]. Plzeň: Západočeská univerzita v Plzni, 2005 [cit. 2022-04-02]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/praskova_metalurgie.pdf. Podklady k přednáškám.
- [14] Powder Metallurgy. In: *IQS Directory* [online]. [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.iqsdirectory.com/articles/powder-metal-parts/powder-metallurgy.html>
- [15] HUMÁR, A. *Technologie I: Technologie obrábění - 1. část* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2003 [cit. 2021-11-05]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf
- [16] Výroba nástrojů STIMZET. In: *StimZet* [online]. Vsetín, 2013 [cit. 2022-04-20]. Dostupné z: https://www.stimzet.cz/data/media_cz.html
- [17] Tvářené a vybrušované vrtáky – rozdíl v určení a použití. In: *StimZet* [online]. Vsetín, 2013 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: https://www.stimzet.cz/data/tech_vrtaky_rozdil_cz.html
- [18] How Is a Twist Drill Made?--HSS Twist Drill Manufacturing. In: *HEYGO* [online]. 2020 [cit. 2022-04-22]. Dostupné z: <https://heygotools.com/hss-twist-drill-manufacturing-processes/>

- [19] PÍŠKA, M. Povlaky, povlaky... bez nich to už prostě nepůjde!. In: *MM spectrum* [online]. 2015 [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/povlaky-povlaky-bez-nich-to-uz-proste-nepujde>
- [20] Trendy v povlakování slinutých karbidů. In: *MM spectrum* [online]. 2001 [cit. 2022-05-01]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/trendy-v-povlakovani-slinutych-karbidu>
- [21] BUZKOVÁ, E. Nahlédli jsme pod pokličku technologie povlakování. In: *MM spectrum* [online]. Rožnov pod Radhoštěm, 2014 [cit. 2022-04-30]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/nahledli-jsme-pod-poklicku-technologie-povlakovani>
- [22] Normální opotřebenění vrtáku. In: *CERATIZIT Group* [online]. [cit. 2022-03-01]. Dostupné z: https://cuttingtools.ceratizit.com/cz/cs/p_ehled-servisnich-slueb/ostreni-namisto-noveho-nastroje1/normalni-opot-ebeni-vrtaku.html
- [23] PÍŠKA, M. Testování povlakovaných řezných nástrojů. In: *MM spectrum* [online]. Brno, 2014 [cit. 2021-11-06]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/testovani-povlakovanych-reznych-nastroju>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
D	jmenovitý průměr vrtáku	[mm]
F _c	řezná síla	[N]
F _f	posuvová síla	[N]
F _p	pasivní síla	[N]
M _c	řezný moment	[Nm]
f	posuv nástroje na otáčku	[mm]
f _z	posuv nástroje na zub	[mm]
n	počet otáček	[1/min]
t	čas	[s]
v _c	řezná rychlost	[m/min]
v _e	rychlost řezného pohybu	[m/min]
v _f	posuvová rychlost	[mm/min]
z	počet zubů nástroje	[-]

Zkratky

Označení	Legenda
Ar	argon
ARS	acier rapide supérieure (rychlořezná ocel)
C	uhlík
CH ₄	metan
Cr	chrom
CVD	chemical vapour deposition (chemické napařování z plynné fáze)
ČSN	české technické normy
ESR	elktrostruskové přetavování
Fe	železo
HSS	high speed steel (rychlořezná ocel)
HCl	chlorovodík
HRC	tvrdost dle Rockwella
KNB	kubický nitrid bóru
Mo	molybden
N ₂	dusík
NbC	karbid niobu
NH ₃	amoniak
PKNB	polykrystalický kubický nitrid bóru
PVD	physical vapour deposition (fyzikální napařování)
RO	rychlořezná ocel
SK	slinutý karbid
TaC	karbid tantalu
TiC	karbid titanu
TiCl ₄	dusičnan titaničitý
V	vanad
W	wolfram
WC	karbid wolframu