



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ŘEZNÉ NÁSTROJE PŘI VÝROBĚ ZBRAŇOVÝCH SOUČÁSTEK

CUTTING TOOLS FOR PRODUCTION OF WEAPON PARTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. VLADIMÍR HANUS

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAREL OSIČKA Ph.D.

BRNO 2010

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2009/10

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

student(ka): Bc. Vladimír Hanus

který/která studuje v **magisterském studijním programu**

obor: **Výrobní technologie a průmyslový management (2303T010)**

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 diplomové práce:

Řezné nástroje při výrobě zbraňových součástek

v anglickém jazyce:

Cutting Tools for Production of Weapon Parts

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Rozbor a posouzení jednotlivých dodavatelů řezného nářadí pro stěžejní součástky střelných zbraní.

Cíle diplomové práce:

Rozbor stávající technologie výroby stěžejních součástek.

Rozbor stávajících dodavatelů řezných nástrojů.

Experimentální vyhodnocení stěžejních operací z hlediska nástrojů.

Statistické vyhodnocení trvanlivosti vybraných nástrojů.

Technicko - ekonomické posouzení vybraných dodavatelů

Seznam odborné literatury:

1. AB SANDVIK COROMANT - SANDVIK CZ s.r.o. Příručka obrábění - Kniha pro praktiky. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, 1997. Přel. z: Modern Metal Cutting - A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1.vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
3. KOČMAN, K. Speciální technologie – Obrábění. 2. vyd. Brno: PC- DIR Real, 1998. CERM, 2001. 151 s. ISBN 80-214-1997-0.
4. HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1.vyd. Praha: MMPublishing, 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Osička, Ph.D.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2009/10.

V Brně, dne 22.2.2010




prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Ředitel ústavu


doc. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na problematiku řezných nástrojů, jejich opotřebení, trvanlivost, řezné podmínky. Je zde proveden základní rozbor technologie dvou vybraných dílů. Dále je zde uveden rozbor dodavatelů řezných nástrojů. Jsou zde stručně charakterizovány základní druhy opotřebení a jejich vznik. V experimentální části je provedeno statistické vyhodnocení vybraných nástrojů, výpočtem stanoveny optimální řezné podmínky a optimální trvanlivost a vyhodnoceno opotřebení vybraných nástrojů. V technicko – ekonomickém hodnocení jsou porovnány teoreticky stanovené řezné podmínky se skutečnými řeznými podmínkami.

Klíčová slova

Vyměnitelná břitová destička, opotřebení, trvanlivost, řezná rychlost, soustružení, frézování.

ABSTRACT

This Diploma thesis concentrates on problems related to cutting tools, their wear, durability, and cutting conditions. The work provides basic analysis of technology applied to two selected parts. Further, there is also analysis of cutting tools suppliers. The work gives brief characteristics of the basic types of wear and their origins. In the experimental section is a statistical evaluation of selected tools, calculation of optimal cutting conditions and durability, and finally selected tools wear evaluated. The technical and economical evaluation compares cutting conditions provided in theory with the real cutting conditions.

Key words

Changeable cutting tip, wear, durability, cutting rate, turning, milling.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

HANUS, Vladimír. *Řezné nástroje při výrobě zbraňových součástí*, Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2010. 83 s., 2 přílohy. Vedoucí práce Ing. Karel Osička Ph.D

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Řezné nástroje při výrobě zbraňových součástí vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum: 10. 10. 2010

.....
Bc. Vladimír Hanus

Poděkování

Děkuji tímto Ing. Karlovi Osičkovi Ph.D. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

OBSAH

Abstrakt	3
Prohlášení	4
Poděkování	5
Obsah	6
Úvod	8
1 Rozbor stávající technologie	9
1.1 Úderník	9
1.2 Závěr	12
1.3. Parametry stroje INDEX G200	15
2 Rozbor stávajících dodavatelů rezných nástrojů	17
2.1 Iscar Ltd.	17
2.2 Taegu Tec Ltd.	19
2.3 Mitsubishi	21
2.4 NTK cutting tools	23
3 Experimentální vyhodnocení stěžejních operací z hlediska nástrojů	25
3.1 Teoretická část	25
3.1.1 Vznik opotřebení nástroje	25
3.1.2 Formy opotřebení bříty	25
3.1.3 Kritéria opotřebení	26
3.1.4 Druhy opotřebení	27
3.1.5 Další druhy opotřebení	31
3.2 Experimentální vyhodnocení – praktická část	32
3.2.1 Mitsubishi DCMT 11T308 UC 6010	33
3.2.2 Mitsubishi DCMT 11T 304 MV VP 15TF	36
3.2.3 NTK DCMT11T304E NBAM3-N-40	37
3.2.4 Frézovací plátek ISCAR APKT 1003DR – HM	38
3.2.5 ISCAR GRIP 5005Y IC 354	40
3.2.6 TaeguTek TDT 5,00E – 0,40 TT 7220	43
4 Statistické vyhodnocení	45
4.1 Základní pojmy ze statistiky	45
4.2 Statistické vyhodnocení VBD	46
4.2.1 Mitsubishi DCMT 11T308 UC 6010	46
4.2.2 Mitsubishi DCMT 11T 304 MV VP 15TF	47
4.2.3 NTK DCMT11T304E NBAM3-N-40	48
4.2.4 Frézovací plátek ISCAR APKT 1003DR – HM	49
4.2.5 ISCAR GRIP 5005Y IC 354	50
4.2.6 TaeguTek TDT 5,00E – 0,40 TT 7220	51
4.3 Trvanlivost a životnost nástroje	52
4.4 Praktické výpočty	58
4.4.1 Mitsubishi DCMT 11T308 UC 6010	59
4.4.2 Mitsubishi DCMT 11T 304 MV VP 15TF	61
4.4.3 NTK DCMT 11T 304 E NBAm3 – N – 40	63
4.4.4 ISCAR APKT 1003DR – HM	65
4.4.5 ISCAR GRIP 5005Y IC 354	67
4.4.6 TagueTec TDT 5,00E – 0,40 TT 7220	69
5 Technicko – ekonomické vyhodnocení	71

5.1 Vyhodnocení VBD.....	71
5.1.1 Mitsubishi DCMT 11T308 UC 6010.....	71
5.1.2 Mitsubishi DCMT 11T 304 MV VP 15TF	72
5.1.3 NTK DCMT 11T 304 E NBAm3-N-40	73
5.1.4 ISCAR APKT 1003DR-HM	74
5.1.5 ISCAR GRIP 5005Y IC 354.....	75
5.1.6 TagueTec TDT 5,00E-0,40 TT 7220	76
Závěr	78
Seznam použitých zdrojů	79
Seznam použitých zkratk a symbolů.....	81
Seznam příloh	83

ÚVOD

Obrábění je dynamickou technologií a zahrnuje proto více vědních oborů. Nejprve to byly jen kovářské práce, ale od začátku 19. století se k obrábění začínají používat první obráběcí stroje. Proces výroby železa a oceli se v tomto století také vyvíjí a to vede ke vzniku nástrojové oceli. Ve 20. století zásluhou Fredericka Taylora, který obrábění začal posuzovat jako vědu začíná výroba specializovaných obráběcích nástrojů. Současná výroba loveckých a sportovních zbraní je na velmi vysoké technické úrovni. U této výroby je kladem velký důraz na přesnost rozměrů a tvaru, drsnost povrchu a přesnost vzájemných poloh ploch. K obrábění jednotlivých dílů se proto používají moderní číslicově řízené obráběcí centra. Klasické stroje jsou využívány velmi zřídka, jen když použití vyspělejší techniky je z hlediska ekonomického nevýhodné a nebo speciální úpravy nelze jiným způsobem provést. Pomocí obráběcích center se proto provádí všechny obráběcí operace jako je hrubování, poločistě obrábění, čisté obrábění a také dokončovací práce. Tyto všechny operace pomocí těchto strojů však nelze provádět bez kvalitních obráběcích nástrojů.

V současné době je proto na obráběcí nástroj kladen požadavek jak co se týká kvality nástroje, tak také ekonomické výhodnosti. U obráběcích center se nejčastěji používají k obrábění nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutého karbidu včetně povlakovaných. Tato práce je zaměřena na obrábění polotovarů na CNC obráběcím centru a proto se zabývá vyhodnocením trvanlivosti, kvality a ekonomické výhodnosti VBD.

1 ROZBOR STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE

Tato kapitola se zabývá rozbořem technologie dvou vybraných součástí, zbraně malorážka CZ 452 Standard. Je zde popsána velmi stručně funkce dílu ve zbraní a způsob výroby celého dílu. Dále je zde uvede seznam operací pro uvedené díly a je rozebrána stěžejní operace „obrábět na OC“ po jednotlivých krocích.

Řezné nástroje, které se řeší v této diplomové práci jsou jen z operace „obrábět na OC“, u obou dvou dílů, úderníku i závěru, takže se budeme věnovat jen těmto operacím.

Při této operaci se kombinuje soustružení, frézování a vrtání a používá stroj INDEX G 200, parametry stroje jsou uvedeny v kapitole 1.3.

1.1 Úderník

Jeden z vybraných dílů je úderník, který zabezpečuje odpálení náboje. Při natažení zbraně (závěr se natáhne do zadní polohy) dojde k natažení úderníku. Pro zabránění nechtěného odpálení je úderník blokován pojistkou. Před střelbou se pojistka odjistí a po stisknutí spouště je úderník tlačén pružinou do přední polohy, ve které jeho špička narazí do dna nábojnice a tím dojde k odpálení střely.

Úderník obr. 1.1 je rotační díl, který se vyrábí z oceli 13 180. Jako polotovár je použita 3 m tyč. Tento díl se z velké části vyrábí na CNC obráběcím stroji a doobrábí se soustružením, kováním, stříháním a frézováním.

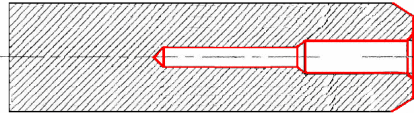
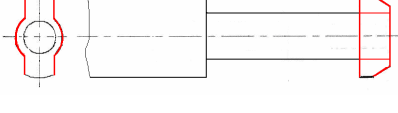
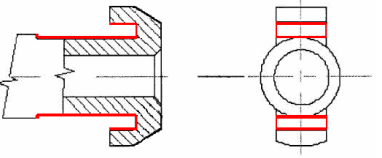
Seznam operací pro díl úderník :

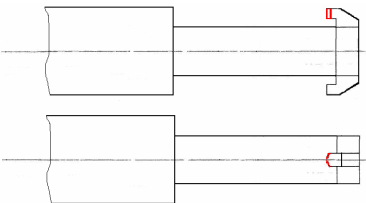
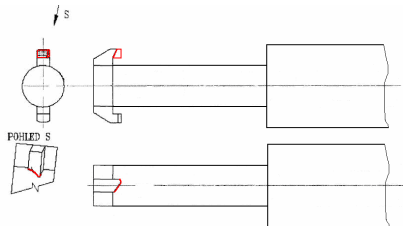
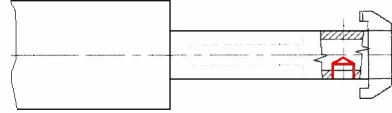
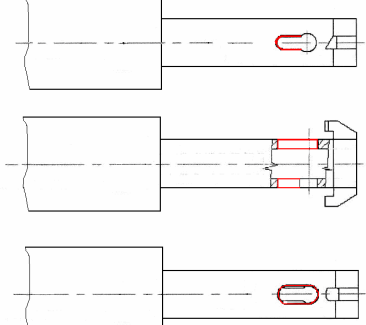
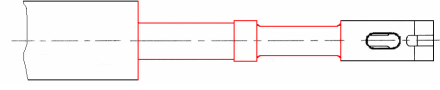
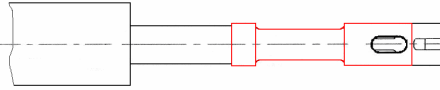
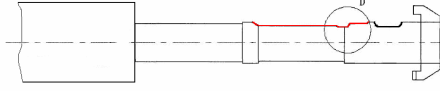
- obrábět na OC,
- soustružit,
- soustružit,
- rotačně kovát,
- stříhat,
- srazit hranu,
- frézovat,
- srazit hrany, odjehlit,
- leštit,
- rovnat,
- kalit,
- kontrola tvrdosti,
- mořit,
- omílat,
- konzervovat,

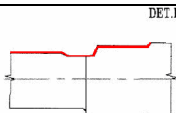
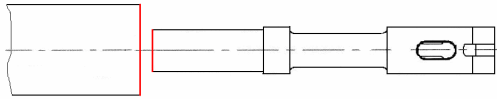
- rovnat,
- upravit do měřidel,
- vyprat v petroleji,
- konzervovat.

V tabulce 1.1 jsou uvedeny úkony z operace „obrábět na OC“ s popisem daného úkonu a náčrtem dílu se zvýrazněnými obráběnými plochami.

Tab. 1.1 Rozbor operace „obrábět na OC“ u dílu úderník

Popis operace	Náčrtek (červeně jsou označeny obráběné plochy)
Obráběná tyč se vysune pomocí podávacího zařízení (samecy) na doraz, který zajišťuje správnou délku povytažení tyče. Poté hydraulické sklíčidlo pomocí kleštiny upne tyč. Nejdříve pravý nůž zarovná čelo a obrobí sražení na čele kusu. Poté se vyvrtají vnitřní díry rovnoběžné s osou dílu.	
Podpěrný hrot (kuželový) podepře díl (do vyvrtané díry) a pravý hrubovací nůž nahrubuje levou stranu a levý hrubovací nůž nahrubuje pravou stranu obráběné plochy.	
Podpěrný hrot (válcový) podepře díl a frézovací hlavička „ISCAR“ nahrubuje tvar pro rádius.	
Speciální tvarová frézovací hlavička „ph HORN ph“ obrobí tvar, rádius a začistí plošky po frézování na hrubo.	
Korunková fréza „ph HORN ph“ (trojzubá) obrobí drážku.	

Fréza $\varnothing 10$ obrobí rádius.	
Fréza $\varnothing 10$ obrobí šroubovici.	
Tvarová (má dva zuby, na každém rádius R1) fréza obrobí vybrání.	
Vrták $\varnothing 5$ vyvrtá díru.	
Fréza $\varnothing 3,5$ obrobí dvě drážky.	
Protivřeteno povysune obráběný díl, podpěrný hrot (kuželový) podepře díl a pravý hrubovací nůž nahrubuje celkový tvar dílu.	
Levý stranový nůž obrobí na čisto celou funkční část dílu. Neobrobená část se bude ještě dál obrábět.	
Protivřeteno upne díl za přední část, a tři frézy (válcová fréza $\varnothing 12$ obrobí rovnou plochu, rádiusová fréza $\varnothing 10$ obrobí rádius, úhlová fréza obrobí plochy viz, det. „D“).	

	
Protivřeteno upne díl uprostřed (za menší průměr), a upichovací nůž upíchne díl.	



Obr.1.1 Úderník

1.2 Závěr

Jako druhý díl byl vybrán závěr, který zabezpečuje zasunutí a následné uzamčení náboje v nábojové komoře. Po výstřelu zabezpečuje pomocí vytahovače vytažení prázdné nábojnice z nábojové komory.

Závěr obr. 1.2 je rotační díl, který se vyrábí z oceli 14 220.3. Jako polotovar je použita 3 m tyč. Tento díl se z velké části vyrábí na CNC obráběcím stroji a doobrábí se vrtáním, broušením.

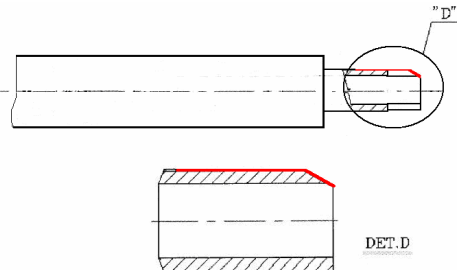
Seznam operací pro díl závěr:

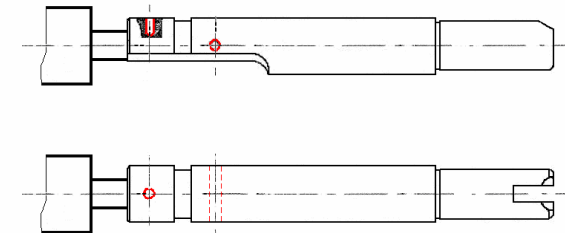
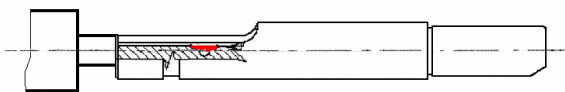
- obrábět na OC,
- frézovat ,
- přestružit,
- srazit hrany, odstranit ostřiny,
- vrtat,
- vrtat,
- vrtat, vystružit,
- cementovat, kalit, popustit,
- kontrola tvrdosti,
- jemně pískovat,
- rovnat dle potřeby,
- úprava do rozměrů,

- brousit,
- brousit,
- brousit,
- kartáčovat povrch,
- umývat,
- konzervovat.

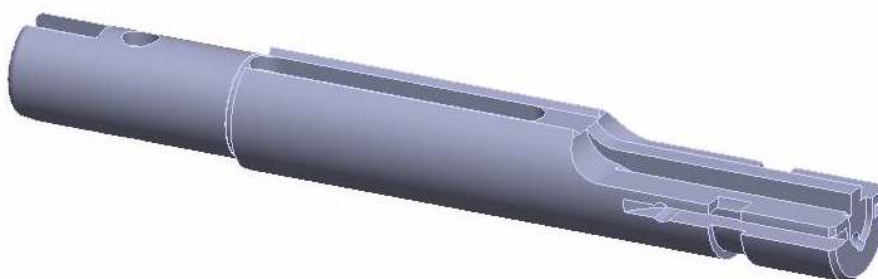
V tabulce 1.2 jsou uvedeny úkony z operace „obrábět na OC“ s popisem daného úkonu a náčrtem dílu se zvýrazněnými obráběnými plochami.

Tab. 1.2 Rozbor operace „obrábět na OC“ u dílu závěr

Popis operace	Náčrtek (červeně jsou označeny obráběné plochy)
Obráběná tyč se vysune pomocí podávacího zařízení (samecy) na doraz, který zajišťuje správnou délku povytažení tyče. Poté hydraulické sklíčidlo pomocí kleštiny upne tyč. Nejdříve levý hrubovací nůž zarovná čelo a nahrubuje obráběný průměr. Poté nůž načisto obrobí na čele rádius a průměr na konečný rozměr. Ejektorový vrták průměr 11 předvrtá díru do hloubky 30 mm, a celou díru pak vyvrtá dělový/hlavňový vrták.	
Drážkovací fréza $\varnothing 4$ nejdříve obrobí jednu drážku a pak obrobí druhou drážku. "	
Fréza $\varnothing 12$ obrobí plošku, pak se obráběný díl pootočí o 90° a obrobí se sražení.	
Protivřeteno povytáhne obráběný díl a podpěrný hrot (kuželový) podepře kus, levý hrubovací nůž nahrubuje průměr.	

Nůž načisto obrobí zápich, obrobí průměr na konečný rozměr a nahrubuje druhý zápich.	
Zapichovací nůž „ph HORN ph“ obrobí zápich.	
Tvarová fréza (korunková) obrobí vybrání a fréza $\varnothing 8$ obrobí drážku.	
Podpěrný hrot uvolní obráběný díl a přejeđe do bezpečné polohy a díl upne protivřeteno, které přijede do požadované polohy. Upichovací nůž nahrubuje zápich – nutný prostor pro další obrábění.	
Hrubovací fréza $\varnothing 12$ nahrubuje plochy a frézovací hlavička (jednobřítá) „ISCAR“ obrobí plochy na požadovaný rozměr. Korunková fréza „ph HORN ph“ obrobí drážku.	
Navrtávák $\varnothing 8$ navrtá důlku pro vrtání děr. Vrták $\varnothing 2,8$ vyvrtá slepou díru pak se díl pootočí o 90° a vrták $\varnothing 3$ vyvrtá pr ůchozí díru.	
Korunková fréza „ph HORN ph“ obrobí drážku.	
Korunková fréza „ph HORN ph“ obrobí dvě drážky.	
Protivřeteno přijede blíž ke konci dílu a upichovací nůž upíchne díl.	
Díl je upnutý v protivřetenu, to je ve své zadní poloze, korunková fréza obrobí jeden	

záhlub a druhá korunková fréza obrobí druhý záhlub.	
Fréza obrobí „sedlo“ pro nábojnici.	



Obr.1.2 Závěr

1.3 Parametry stroje INDEX G200

Jedná se o soustružnické obráběcí centrum umožňující obrábění rotačních dílů z tyčového polotovaru soustružením, vrtáním, frézováním ze všech stran. Možnost hlubokého vrtání. Přesnost výroby cca 0,01 mm se souvislým řízením ve čtyřech osách.

Maximální rozměr obrobku 8 – 40 mm, délka max. 250 mm

Technologie:	CNC obrábění
Druh:	soustružení, frézování, vrtání, vystružování, zahlufování, řezání závitů

Typ stroje:	CNC soustružnické centrum 2 revolverové hlavy pro 28 poháněných nástrojů.
Základní parametry:	6 000 ot./min., hlavní vřeteno a protivřeteno 6 000 ot./min., chlazení olejem
Řídicí systém:	SINUMERIK 840 C
Různé:	podávací zařízení tyčového materiálu, hluboké vrtání obráběním obou vřeten současně

Soustružnické obráběcí centrum INDEX G200 obr.1.3



Obr. 1.3 INDEX G200 [8]

2 ROZBOR STÁVAJÍCÍCH DODAVATELŮ ŘEZNÝCH NÁSTROJŮ

V současné době je na trhu několik celosvětově významných firem vyrábějících veškeré druhy nástrojů včetně VBD. K obrábění polotovarů na výrobu úderníku a závěru pomocí CNC obráběcího centra jsou v našem případě použity VBD firmy Iscar LTD., TaeguTec Ltd., Mitsubishi a NTK cutting tools. Všechny firmy mají své zastoupení v české republice. Proto v této části o každé z nich jsou podány bližší informace jak o jejich vzniku, historii, ale hlavně sortimentu výroby.

2.1 Iscar Ltd.

Tato společnost byla založena v roce 1952 v dřevěné garáži za domem pana Stefa Werthelmera (jejího zakladatele). V současné době má sídlo v izraelském Tefenu. V květnu 2006 společnost Berkshire Hathaway odkoupila 80% akcií společnosti IMC group, jejíž největším členem je právě Iscar. Nyní je zaměřena na vývoj a výrobu řezných nástrojů hlavně na bázi spékaných karbidů pro všechny aplikace třískového obrábění. Svou produkcí a díky modernímu vývoji se řadí mezi světovou špičku výrobců řezných nástrojů. Nástroje zde vyrobené nacházejí uplatnění ve všech průmyslových odvětvích ve více než 50 zemích celého světa. Tato firma svou strategii zaměřuje na vysokou kvalitu a výkonnost všech vyráběných nástrojů a řezných materiálů a hlavně na jejich použitelnost pro sériovou výrobu a kusovou výrobu ale také pro univerzální výrobu a rovněž pro výrobu se speciálními požadavky na nástroj. Tato firma pružně reaguje na požadavky zákazníka.

V roce 1992 firma Iscar Ltd. pro českou republiku v Plzni založila výhradního zastupitele a to Iscar ČR s.r.o. V době založení této společnosti působila firma ještě v rámci celého Československa. V současné době na území Slovenska pracuje samostatná sesterská pobočka.

Tato společnost zajišťuje okamžitou dodávku potřebného nářadí ze skladů nebo přímo z mateřského podniku a zprostředkovává kontakt od speciálních požadavků na nástroj až po technologické ověření a zavedení do provozu v jednotlivých výrobních provozovnách zákazníka. Pracovníci firmy zajišťují bezprostřední technickou pomoc v podobě řešení technologické problematiky, provozní aplikace nejmodernějších výkonných nástrojů a stanovení optimálních řezných parametrů v konkrétních podmínkách zákazníka. Svou pozornost soustřeďuje také na pořádání odborných seminářů, kde seznamuje širokou veřejnost s nejmodernějšími trendy vývoje technologie výroby moderních řezných nástrojů ve společnosti Iscar.

Jelikož společnost Iscar Ltd. dodává své výrobky do všech kontinentů světa, proto pro zachování své vedoucí pozice na trhu pružně a okamžitě reaguje na všechny opodstatněné požadavky zákazníků. Tato firma se specializuje na nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami, které mají své opodstatněné výhody. Ve své nabídce má:

Nástroje pro soustružení obr.2.1:

- vnější,
- vnitřní,
- upichovací,
- řezání závitů.



Obr. 2.1 Nástroje pro soustružení [10]

Nástroje pro frézování obr.2.2:

- stopkové frézy,
- válcové frézy,
- čelní nástrčné frézy,
- frézy pro závit.



Obr. 2.2 Nástroje pro frézování [10]

Nástroje pro vrtání a vyvrtávání obr. 2.3:

- mini-nože pro vrtání a soustružení,
- mini-nože pro vrtání, soustružení a závitování,
- monolitní karbidové vrtáky bez chlazení,

- monolitní karbidové vrtáky s chlazením,
- monolitní karbidové vrtací výstružníky,
- monolitní karbidové polotovary
- vrtáky CHAMDRILL,
- vrtáky CHAMDRILLJET
- vrtáky UNICHAMDRILL
- vrtáky CHAMDRILL, pro předvrtání otvorů pro závit.



Obr. 2.3 Nástroje pro vrtání a vyvrtávání [10]

Upínací systémy:

- upínací pouzdra,
- upínací držáky nástrojů.

2.2 TaeguTec Ltd.

Vznik této společnosti byl v roce 1916, kdy ve městě Gangwon Do v Jižní Koreji bylo objeveno ložisko wolframové rudy a také založen důl. V roce 1952 se zakládá společnost Korea Tungsten CO. Ltd, která začíná na trh dodávat nástroje pro třískové obrábění. Od samého počátku se řadí mezi nejvýznamnější dodavatele těchto nástrojů do všech oblastí průmyslu a už v roce 1962 buduje nové vývojové a výzkumné centrum.

V roce 1974 otevírá firma závod na výrobu prášků karbidu wolframu. V roce 1978 uvádí do provozu závod na povlakování (CVD-TiN) a následně v roce 1979 buduje závod na výrobu nástrojových těles. V roce 1985 uvádí na trh nový řezný materiál – CERMET. V létě roku 1998 (srpen) tuto společnost kupuje finanční skupina IMC Group a firma dostává nový název a to TaeguTec Ltd., který má do dnešního dne. V květnu roku 2006 odkoupila firma Berkshire

Hathaway 80 % akcií společnosti IMC Group Od roku 2001 do současné doby buduje celosvětovou distributorskou síť.

Společnost TaeguTec ČR s.r.o byla založena v druhé polovině roku 2009 (v červenci) a má sídlo v Plzni.. Pokrývá celé území jak České republiky tak i Slovenska. Je součástí mezinárodní skupiny výrobců nástrojů na obrábění IMC Group. Společnost TaeguTec ČR s.r.o dodává hlavně řezné nástroje a destičky značky TaeguTec a to nástroje pro:

- soustružení
- závitování
- zapichování a upichování
- vrtání
- frézování s vyměnitelnými břitovými destičkami
- monolitní nástroje pro frézování
- nástrojový systém – osové upínače.

Tato společnost dodává na trh, ale i další osvědčené produkty známých výrobců jako je Innotoo, Wohlhaupt, KFH, Wexo a Mimatic Na obr. 2.4 je ukázka aplikací VBD pro soustružení od firmy TaeguTec



Obr. 2.4 VBD od firmy TaeguTec [12]

2.3 Mitsubishi

Historie Mitsubishi sahá do roku 1870, kdy Yataro Iwasaki založil stejnojmennou loďařskou společnost. V roce 1873 byla společnost přejmenována na Mitsubishi Shokai. Ještě před koncem 19. století přidal do portfolia svých podnikatelských aktivit i těžební firmu, a položil tak základ největšího japonského průmyslného konglomerátu, který dnes tvoří 29 hlavních společností (včetně jednoho z nejsilnějších světových „bankovních domů“: The Bank of Tokyo – Mitsubishi UFJ).

Všechny samostatné podniky v této skupině mají společnou ochrannou známku. Název Mitsubishi se skládá ze dvou částí a to „Mitsu“ znamená „tři“ a „bishi“ což lze přeložit jako „diamant“ a to se odráží v logu jako „tři diamanty“.

Tradiční společnost Mitsubishi klade důraz na technologický vývoj svých podniků a to v oblastech vývoje vesmíru, letectví, námořnictví, datové komunikace, počítačů a polovodičů. Obchoduje s celým světem v mnoha průmyslových odvětvích, včetně energií, kovů, strojního zařízení, chemikáliemi, a také s potravinami a ostatním zbožím.

Mitsubishi materials se váže k důlní činnosti Tsukumo Shokai v Japonsku a připojila se k společnosti Mitsubishi a tím přispěla k vytvoření komfortní globální komunity 21. století. Mitsubishi materials corporation se zabývá širokou škálou technologií. Její rezné nástroje pro svou spolehlivost a výkonnost se nejvíce využívají při výrobě dílů v automobilovém a leteckém průmyslu. Tato společnost patří mezi nejlepší výrobce rezných nástrojů na světových trzích.

V české republice je výhradním distributorem rezným nástrojů společnosti Mitsubishi materials firma MCN CZ s.r.o., která byla založena v roce 2001. Tato firma se zabývá prodejem nástrojů na obrábění kovů také od dalších výrobců. V současné době má tato firma 8 spolupracovníků a snaží se především o spolupráci s obchodními partnery s cílem zvýšení produktivity obrábění, dále o přijatelné ceny dodávaných výrobků, zkracování dodacích lhůt dodávaných nástrojů a zvýšení úrovně obchodního a technického servisu. Tato firma se snaží také průběžně zlepšovat služby zákazníkům a rovněž urychleně řešit případné problémy.

Pro soustružení dodává obr. 2.5:

- břitové destičky (cerment, CBN, MCD),
- držáky břitových destiček (vnější i vnitřní),
- nože na závity,
- upichovací a zapichovací nože (systém TRIFORCE).



Obr. 2.5 Soustružnické nože firmy [14]

Pro frézování dodává obr. 2.6:

- stopkové frézy s VBD,
- frézovací hlavy,
- monolitní frézy ze slinutých karbidů – nejširší sortiment na trhu – 1600 typů.



Obr. 2.6 Frézy [14]

Pro vrtání dodává obr. 2.7:

- monolitní vrtáky s chlazením i bez, pro hloubky vrtání $2 \times D$ až $40 \times D$,
- vrtáky s VBD pro hloubky $2 \times D$ až $4 \times D$,
- vrtáky s výměnnou špičkou $3 \times D$ až $8 \times D$,
- HSS vrtáky povlakované.



Obr. 2.7 Vrtáky [14]

2.4 NTK cutting tools

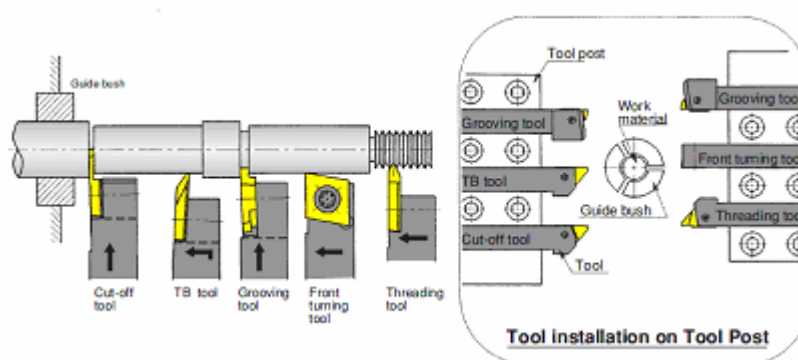
NTK Cutting tools je divize NTK Technical Ceramics, které jsou součástí skupiny NGK Spark Plugs Corporation of Japan se sídlem v Hemel Hempstead, Herts. Tato společnost byla založena v roce 1939 v Japonsku. Má dlouhou a progresivní historii technického vývoje výrobku s dobrými výsledky a proto je uznávána celosvětově v oblasti navrhování a výroby moderních řezných nástrojů. Keramika byla vždy podstatou podnikání této společnosti a proto vede pečlivý výzkum a tím přispívá k vývoji nových typů řezných nástrojů pro obrábění.

Firma NTK důsledně usiluje o snižování znečištění životního prostředí z výrobních procesů a klade velký důraz na recyklaci a to je jedna z největších priorit této společnosti.

Společnost F.I.S.M. - produktivní nástroje s.r.o. se sídlem v Liberci byla založena v roce 2004 a zaměřuje se na dodávky nástrojů pro obrábění, především pro CNC výrobu a vytváření kompletních výrobních technologií zákazníkům na základě jimi dodané dokumentace. Kromě toho zajišťuje výrobu speciálních nástrojů a také speciální nástroje s výměnnými břitovými destičkami. Jejimi zákazníky jsou jak velké nadnárodní společnosti, tak i střední firmy po celé ČR a na Slovensku. Během působení na trhu proto tato firma získala oficiální zastoupení a obchodní spolupráci mnoha významných světových výrobců nástrojů a upínacích prvků, mezi které se řadí i NTK Cutting Tools. Další velice významnou činností, kterou se F.I.S.M. již dlouho zabývá je optimalizace výroby, a částečný i kompletní „Tool management“. Ukázka produkce společnosti NTK cutting tools, obr.2.8 a 2.9.



Obr. 2.8 VBD firmy NTK [16]



Obr. 2.9 Příklad použití VBD firmy NTK [16]

3 EXPERIMENTÁLNÍ VYHODNOCENÍ STĚŽEJNÍCH OPERACÍ Z HLEDISKA NÁSTROJŮ

3.1 Teoretická část

V této kapitole jsou uvedeny teoretické poznatky vzniku opotřebení, druhů opotřebení, formy opotřebení, jsou zde uvedeny obrázky těchto opotřebení.

3.1.1 Vznik opotřebení nástroje

Při obrábění vzniká velké množství tepla, které se vyvíjí na ploše čela a hřbetu nástroje. Tepelná zatížení značně namáhají materiál břitu nástroje a v některých případech jako například při frézování, mohou vytvářet dynamický faktor v okamžiku, kdy jeden břit z materiálu vystupuje a opět do něj vniká.

Procesem utváření třísky se kontinuálně vytváří při vysokém tlaku a teplotách čistý kovový povrch, který má sklony k chemickým reakcím, případně k difúzním procesům.

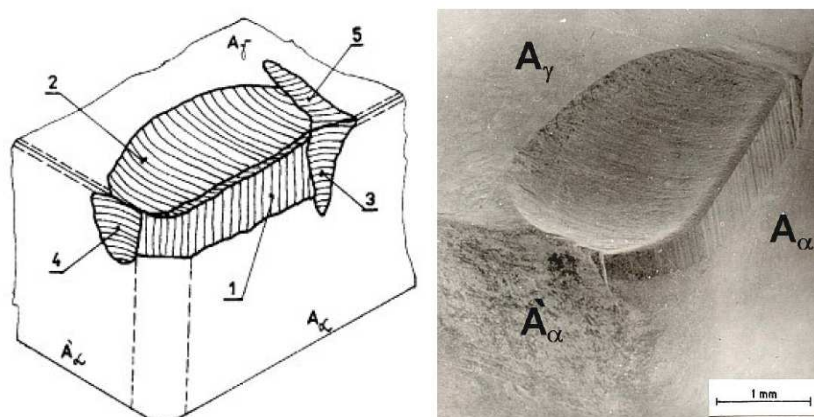
Obráběný materiál obsahuje tvrdé částice různého druhu, které mají stejnou tvrdost jako částice v materiálu břitu nástroje. Tyto částice vyvolávají u nástroje brousicí, případně abrazivní efekt.

Kombinací mechanických, tepelných, chemických a abrazivních faktorů dochází ke složitému zatěžování břitu nástroje, které se projevuje jeho opotřebením [2].

3.1.2 Formy opotřebení břitu

Hlavní formy opotřebení jsou na obrázku 3.1 [5]

- 1 – fazetka opotřebení na hřbetě,
- 2 – výmol na čele,
- 3 – primární hřbetní rýha,
- 4 – sekundární (oxidační) hřbetní rýha,
- 5 – rýha na čele.

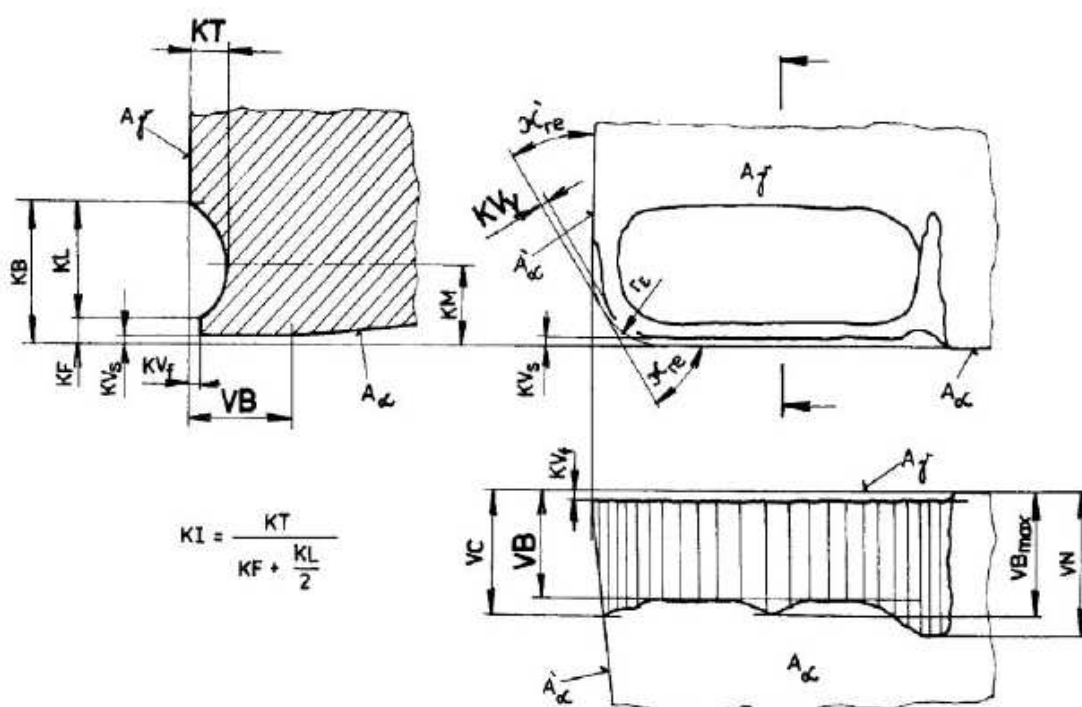


Obr. 3.1 Formy opotřebení [5]

3.1.3 Kritéria opotřebení

Opotřebení je kvalifikováno nejčastěji obr.3.2 [5]:

- VB šířka fazetky opotřebení na hřbetě
- KT hloubka výmolu na čele
- KV_y radiální opotřebení špičky, je významné u dokončovacích operací, způsobuje změnu rozměru u obráběné plochy



Obr. 3.2 Kritéria opotřebení [5]

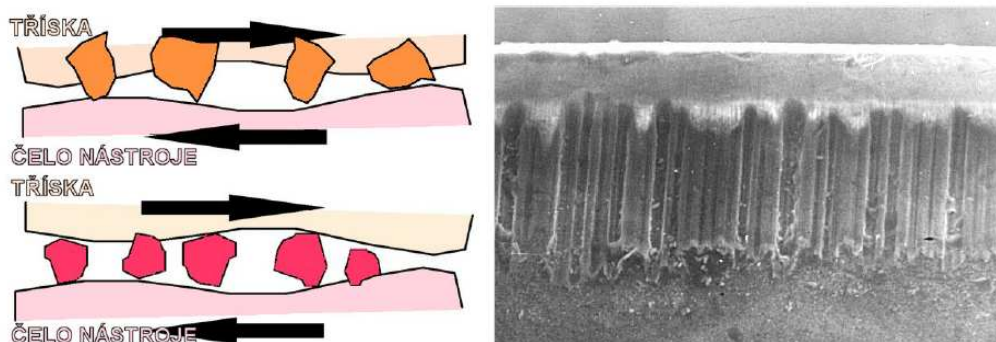
3.1.4 Druhy opotřebení

Abrazivní otěr

Abrazivní otěr obr. 3.3 je rozšířený mechanismus opotřebení, který vzniká působením tvrdých částic v materiálu obrobku. Je to stejný princip jako broušení, při němž se tvrdé částice dostávají mezi povrch obrobku a povrch nástroje.

Schopnost bříty odolávat abrazivnímu otěru je závislá na jeho tvrdosti. Řezný materiál, který obsahuje hustou strukturu tvrdých částic, bude abrazivnímu otěru odolávat dobře, avšak nemusí stejně dobře odolávat také jiným mechanismům opotřebení.

Abrazivní otěr je významný především při nízkých řezných rychlostech, kdy se oba materiály stýkají na vrcholcích mikronerovností. Brusný otěr je tedy významný především při obrábění nástroji z nástrojových a rychlořezných ocelí. [2]:



Obr. 3.3 Abrazivní otěr [5]

Adhezní otěr

Adhezní otěr 3.4 se vyskytuje hlavně při nízkých teplotách obrábění na čele bříty nástroje. Může vzniknout jak u ocelí tvořících dlouhou třísku, tak u materiálů s krátkou třískou. Adhezní otěr je způsoben vytrháváním částic bříty v důsledku adhezních spojení mezi nástrojem a obrobkem. Je významný při nižších řezných rychlostech, kdy vzniká bodový styk mezi třískou a nástrojem a kdy je umožněno adhezní spojení obou materiálů. Adhezní otěr vzniká zejména při obrábění nástroji z nástrojových a rychlořezných ocelí. Tento jev často vede k vytváření nárůstu mezi třískou a břitkem. Jedná se přitom o dynamický průběh s narůstajícím počtem vrstev, které jsou z třísky navařovány a vytvrzovány a stávají se tak součástí bříty. Takto nárůstkem vytvořený břit může tvořit základ pro nové nárůstky na břitu, nebo může poškodit původní břit vydrolováním nebo výlomem [2]:



Obr.3.4 Adhezní otěr [5].

Difúzní otěr

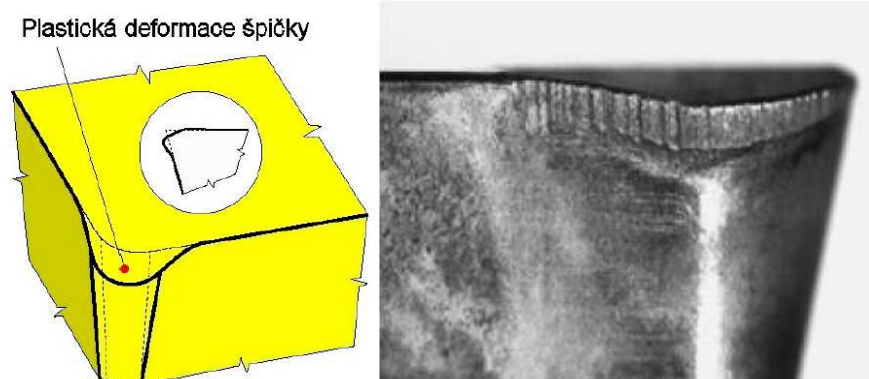
Difúzní otěr vzniká působením chemických vlivů při procesu obrábění. Chemické vlastnosti řezného materiálu a jeho afinita vůči materiálu obrobku jsou rozhodujícími činiteli pro vznik a průběh difúzního opotřebení. Na tomto procesu má tvrdost materiálu jen relativně malý podíl. O podílu difúzního opotřebení na celkovém opotřebení rozhoduje chemické složení řezného nástrojového materiálu a materiálu obrobku.

Některé řezné materiály nereagují s materiálem obrobku vůbec, zatímco jiné mají ve vztahu k materiálu obrobku vysoký stupeň afinity.

Například afinita mezi slinutým karbidem a ocelí vede ke vzniku difúzního opotřebení. Důsledkem je vytvoření žlábků na čele bříty břitové destičky. Protože toto opotřebení souvisí s teplotou, vytvoří se při vysokých řezných rychlostech největší žlábek. K výměně atomů dochází ve dvou různých směrech. Jeden transfer probíhá z feritu oceli do nástroje a při druhém transferu putují atomy uhlíku, který inklinuje k difúzi do železa, do třísky [2].

Plastická deformace

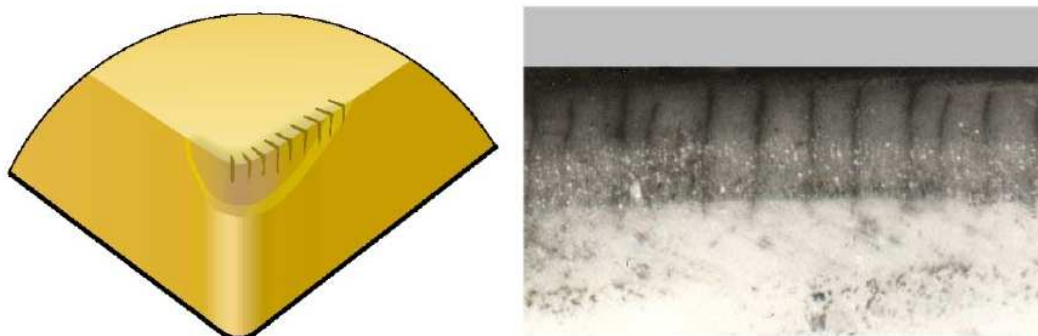
Plastická deformace bříty obr.3.5 vzniká působením kombinace vysokých teplot a řezných tlaků na bříty. Vysoké řezné rychlosti a posuvy, jakož i tvrdé materiály obrobků vyvolávají vznik vysokých teplot a tlaků. Plastická deformace bříty ještě více zvyšuje teploty a má za následek změnu geometrie bříty a změny v odchodu třísek. Plastická deformace bříty se vyskytuje při obrábění všemi nástrojovými materiály po dosažení určité teploty v některém místě stykových ploch mezi nástrojem a obrobkem. Při dosažení této teploty (limitní teplota) dochází k prudkému poklesu tvrdosti řezného materiálu v důsledku strukturních změn. Plastickou deformaci bříty lze zmenšit použitím správného zaoblení ostří a volbou vhodné geometrie bříty [1].



Obr. 3.5. Plastická deformace [5]

Hřebenovité trhliny

Hřebenovité trhliny na ostří obr.3.6 jsou formou únavového opotřebení, které vzniká tepelnými šoky. Zvláště změna teplot při frézování často vede k tomuto druhu opotřebení. Trhliny se tvoří kolmo na ostří; přitom se mohou částice rezného nástrojového materiálu mezi jednotlivými trhlinami vylamovat a vyvolat tak náhlý lom břitu. Změnou tloušťky třísky se při obrábění mění rovněž teploty. Při použití rezných kapalin se zvyšují teplotní rozdíly při záběru břitu do materiálu obrobku a při výstupu z něj [1].



Obr. 3.6 Hřebenovité trhliny [5]

Křehký lom

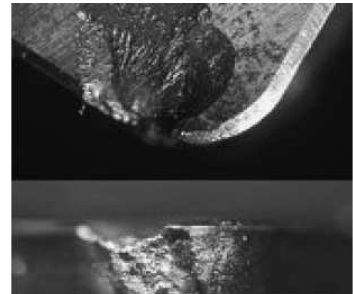
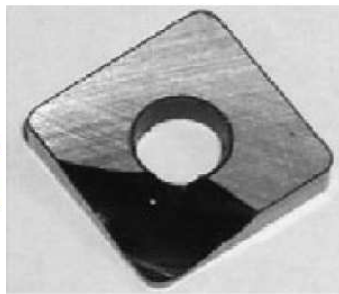
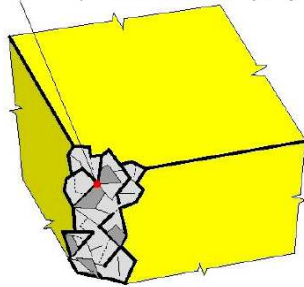
Lom má často termomechanické příčiny. Kolísání teploty a zatížení reznými silami mohou vést k vydrolování a lomu rezného nástroje. Řezné nástrojové materiály reagují na tato zatížení různě. Čistá mechanická únava může být vyvolána, s ohledem na mechanickou pevnost břitu, příliš vysokými reznými silami. Příčiny mohou být na jedné straně v příliš velké tvrdosti nebo

pevnosti materiálu obrobku a ve vysokých posuvech, nebo na druhé straně v příliš tvrdém řezném nástrojovém materiálu. Ale také v případě příliš měkkého řezného nástrojového materiálu může dojít k lomu, dojde-li vlivem vysokých teplot k plastické deformaci břitu a tím ke změně jeho geometrie. Důsledek: zvýšené řezné síly a následný lom [2].

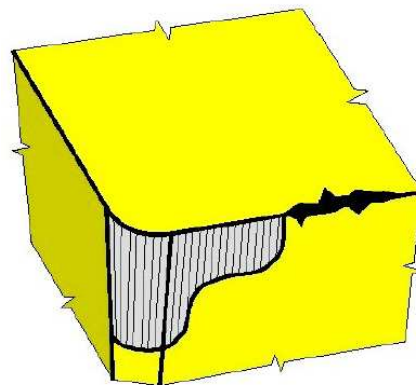
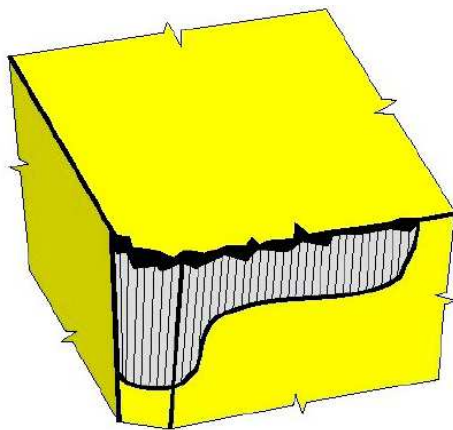
Ukázka lomu VBD :

- křehký lom obr. 3.7,
- vylomení v místě záběru obr.3.8,
- vylomení mimo záběr obr.3.9.

Křehké porušení v oblasti špičky



Obr. 3.7 Křehký lom [5]



Obr. 3.8. Vylomení v místě záběru [5] Obr. 3.9 Vylomení mimo záběr [5]

3.1.5 Další druhy opotřebení

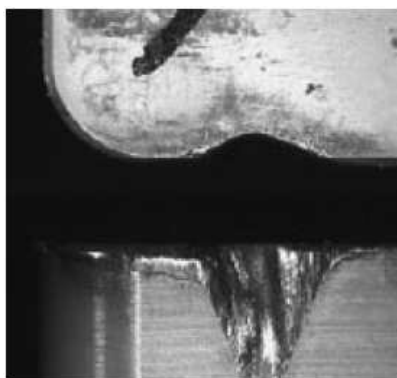
Na obrázcích 3.10 až 3.16 jsou zobrazeny další druhy opotřebení, obrázky jsou čerpány z katalogů firem vyrábějících nástroje.



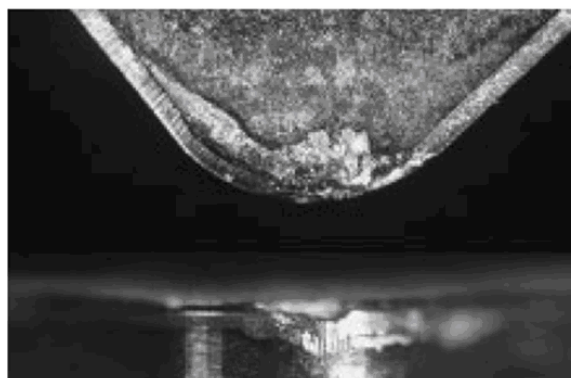
Obr. 3.10 Opotřebení špičky [16]



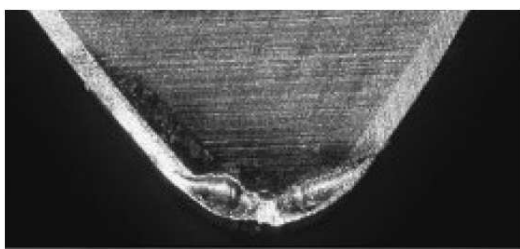
Obr. 3.11 Abrazivní opotřebení [16]



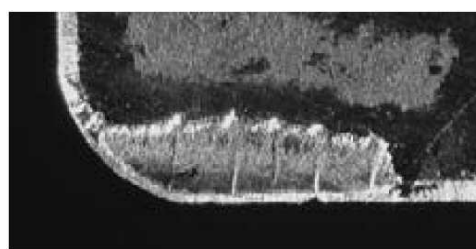
Obr. 3.12 Primární hřbetní rýha [16]



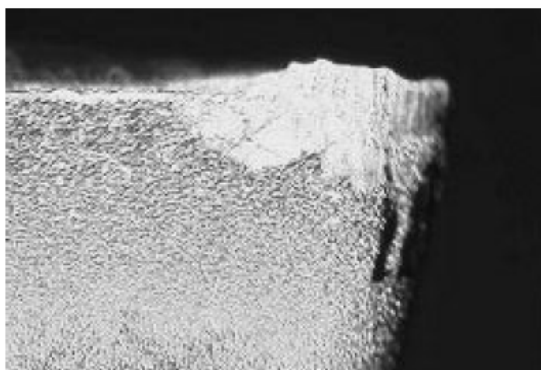
Obr. 3.13 Lom špičky [16]



Obr. 3.14 Lom špičky [16]



Obr. 3.15 Tepelný šokový lom [16]



Obr. 3.16 Natavený břit [16]

3.2 Experimentální vyhodnocení – praktická část

Zkouška životnosti nástroje probíhala v rámci sériové výroby, z tohoto důvodu se opotřebení neměřilo průběžně, ale až po výměně břitové destičky. V sériové výrobě není možné provádět experimentální zkoušky. Proto se velikost opotřebení vyhodnocovala nepřímou metodou měřením rozměru obrobku, sledováním řezných sil při obrábění (INDEX G 200 umožňuje zobrazovat velikost řezné síly při obrábění), kvalitou obráběné plochy. Po výměně břitové destičky se nevyhodnocovala velikost opotřebení, ale jen druh opotřebení. Opotřebované VBD byly foceny pod světelným stereomikroskopem Olympus SZ6045 TR obr. 3.17. Dále byly výpočtem stanoveny náklady na danou operaci pro jednotlivé vyměnitelné břitové destičky. V rámci statistického vyhodnocení byla vypočítána optimální trvanlivost z hlediska minimálních nákladů a z hlediska maximální výrobnosti. Z výpočtem určené trvanlivosti byla stanovena optimální řezná rychlost pro minimální náklady a maximální výrobnost. Tyto vypočítané řezné rychlosti se porovnávaly se skutečnou řeznou rychlostí.



Obr. 3.17 Světelný stereomikroskop Olympus SZ6045 TR

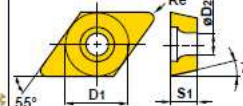
V této diplomové práci byly zkoušeny a hodnoceny vyměnitelné břitové destičky různých výrobců a různého použití. Zkoušené VBD jsou uvedeny v tab. 3.1.

Tab. 3.1 Vyměnitelné břitové destičky

Označení VBD	Použití VBD
Mitsubishi DCMT 11T308 UC 6010	Soustružnická hrubovací VBD
Mitsubishi DCMT 11T 304 MV VP 15TF	Soustružnická na čisto VBD
NTK DCMT11T304ENBAM3-N-40	Soustružnická na čisto VBD
ISCAR APKT 1003DR-HM	Frézovací VBD
ISCAR GRIP 50054 IC 354	Upichovací VBD
TaeguTec TDT 5,00E-0.40 TT 7220	Upichovací VBD

3.2.1 Mitsubishi DCMT 11T308 UC 6010

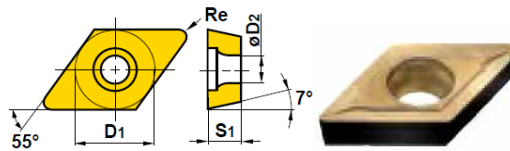
Tato vyměnitelná břitová destička obr. 3.19 je určena pro hrubovací operace má špičku břitu R 0,8. Má použitelné dvě strany. VBD je k tělu nože upnuta systémem „S“, to znamená, že je destička upevněna šroubkem, který prochází středovým otvorem destičky a je zašroubován do pouzdra. Pouzdro je upevněno v tělese nože. Parametry této VBD jsou viz. obr. 3.18.

Cutting Conditions (Guide) : ● : Stable Cutting ● : General Cutting ✖ : Unstable Cutting																																					
Work Material	P	Steel	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●						
	M	Stainless Steel	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●		●●●●●●●●●●				
	K	Cast Iron	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●		●●●●●●●●●●				
	N	Non-ferrous Metal	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●		●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●			
	S	Heat-resistant Alloy, Titanium Alloy	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●		●●●●●●●●●●	●●●●●●●●●●			
Shape	Order Number	Coated																Cemet				Coated Cemet		Carbide				Dimensions (mm)				Applicable Holder Page					
		UE6005	UE6110	UE6020	UE6035	UH6400	UC6010	US7020	US735	US905	UC5105	UC5115	VP05RT	VP10RT	VP15TF	UP20M	NX2525	NX3035	NX55	NX99	AP25N	VP25N	VP45N	UP35N	UT120T	HT105T	HT110	RT9005	RT9010	TF15	D1		S1	Re	D2		
	Standard Breaker	DCMT070202	●●●●●	●●●●●	▲	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	6.35	2.38	0.2	2.8	A185 A207 A222 A237 A238 A255 A257
	070204	●●●●●	●●●●●	▲	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	6.35	2.38	0.4	2.8	
	070208	□	●●●●●	▲	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	6.35	2.38	0.8	2.8		
	11T302	●●●●●	●●●●●	▲	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	9.525	3.97	0.2	4.4		
	11T304	●●●●●	●●●●●	▲	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	9.525	3.97	0.4	4.4		
	11T308	●●●●●	●●●●●	▲	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	9.525	3.97	0.8	4.4		
	11T312	★	●●●●●	▲	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	9.525	3.97	1.2	4.4		
	150404	●●●●●	●●●●●	▲	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	12.7	4.76	0.4	5.5		
Medium Cutting	150408	●●●●●	●●●●●	▲	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	12.7	4.76	0.8	5.5			
	150412	●●□	●●●●●	▲	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	●●●●●	12.7	4.76	1.2	5.5				

● : Inventory maintained. ★ : Inventory maintained in Japan.

□ : Non stock, produced to order only. ▲ : Inventory maintained. To be replaced by new products.

Obr. 3.18 Parametry VBD Mitsubishi DCMT 11T308 UC 6010 [14]



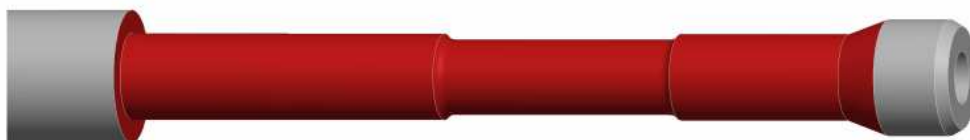
Obr. 3.19 VBD Mitsubishi DCMT 11T308 UC 6010 [14]

Popis operace

Při této operaci je snaha nahrubovat celkový tvar (odebrat co nejvíc materiálu v co nejkratším čase) a připravit díl pro dokončení konečného tvaru (soustružením načisto). Na obr. 3.20 je zobrazen díl před obráběním a na obr. 3.21 je díl po obrábění. Obráběcí nástroj je upnut v revolverové hlavě v nástrojovém držáku. Při této operaci je použit pravý nůž. Nůž hrubuje díl z průměru 20 mm na průměr 13 mm v délce 120 mm obr. 3.21. Otáčky obrobku jsou 4500 ot.min^{-1} a posunová rychlost je $0,15 \text{ mm.ot}^{-1}$. Hloubka řezu je 3,5 mm. Skutečná řezná rychlost vychází 184 mm.min^{-1} . Jako řezná kapalina byl použit řezný olej Ferokat.



Obr. 3.20 Díl před obráběním

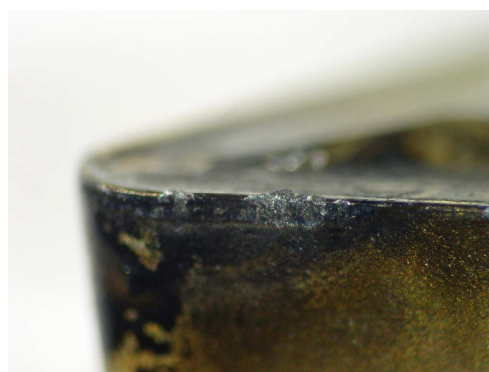


Obr. 3.21 Díl po obrábění

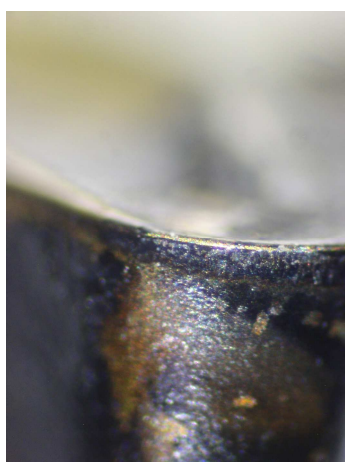
Vyhodnocení otupení

Hlavní opotřebení destičky spočívá v opotřebení fazetky na hřbetě, což je způsobeno abrazivním otěrem. Při tomto způsobu opotřebení tvrdé částice z materiálu poškozují nástroj viz. obr. 3.22.

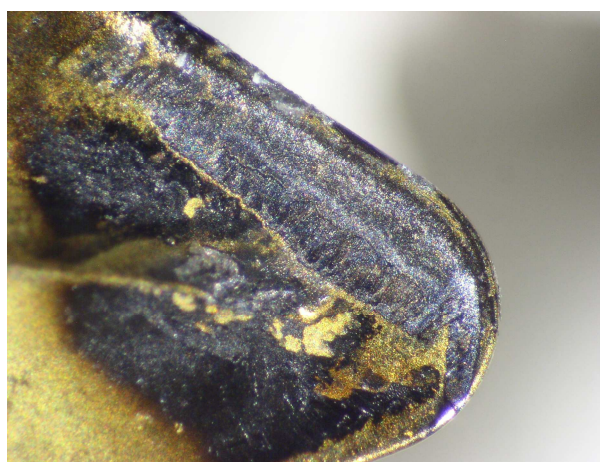
Dále je destička opotřebena na čele, kde vznikl výmol na čele obr. 3.24. Tento druh opotřebení je typický pro difuzní opotřebení a abrazi. Otupení špičky destičky obr.3.23 je zanedbatelné. Nástroj neobrábí v přerušovaném řezu, proto není namáhán tepelným rázem. Detail opotřebené fazetky je na obr. 3.25.



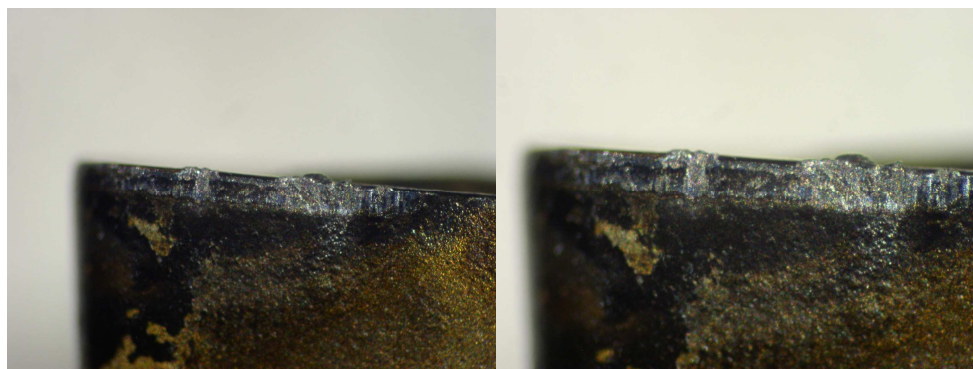
Obr. 3.22 Opotřebovaný nástroj



Obr. 3.23 Otupená špička



Obr. 3.24 Výmol na čele



Obr. 3.25 Fazetka opotřebení na hřbetě

3.2.2 Mitsubishi DCMT 11T 304 MV VP 15TF

Tato vyměnitelná břitová destička je určena pro dokončovací operace, má špičku břitu R 0,4. Má použitelné dvě strany. VBD je k tělu nože upnuta systémem „S“, to znamená, že je upevněna šroubkem, který prochází středovým otvorem destičky a je zašroubován do pouzdra. Pouzdro je upevněno v tělese nože. Obr. 3.26 VBD pro soustružení na čisto

 MV Breaker Medium Cutting	DCMT070202-MV	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	6.35	2.38	0.2	2.8	A185
	070204-MV	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	6.35	2.38	0.4	2.8	A207
	070208-MV	●●	●★	●●	●●	●●	●●	●●	●●	6.35	2.38	0.8	2.8	A222
	11T302-MV	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	9.525	3.97	0.2	4.4	A237
	11T304-MV	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	9.525	3.97	0.4	4.4	A238
	11T308-MV	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	●●	9.525	3.97	0.8	4.4	A255

Obr. 3.26 VBD pro soustružení na čisto [14]

Popis operace

Při této operaci se obrábí soustružením celkový tvar dílu. Na obr. 3.27 je zobrazen díl před obráběním a na obr. 3.28 je díl po obrábění. Obráběcí nástroj je upnut v revolverové hlavě v nástrojovém držáku. Při této operaci je použit levý nůž. Nůž soustruží přerušovaným řezem, protože na dílu jsou už obrobena frézovací operace. Otáčky obrobku jsou $4500 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ a posunová rychlost je $0,06 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$. Hloubka řezu je 0,5 mm. Skutečná řezná rychlost vychází $170 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$. Jako řezná kapalina byl použit řezný olej Ferokat.



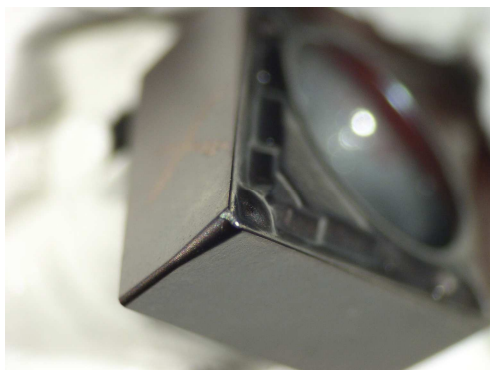
Obr. 3.27 Díl před obráběním



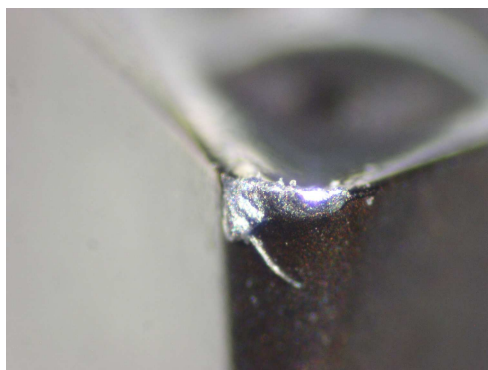
Obr. 3.28 Díl po obrábění

Vyhodnocení otupení

U této VBD dochází k vydrolování ostří, toto je způsobeno špičkami v zatížení, což vede k tomu, že se částčky materiálu začnou oddělovat z povrchu bříty. Tento typ opotřebení je typický pro přerušovaný řez. Opotřebovaná špička nástroje je na obr. 3.29 a 3.30. Při tomto druhu opotřebení dochází při obrábění ke změně řezných podmínek a změně obráběného rozměru a zhoršení povrchu.



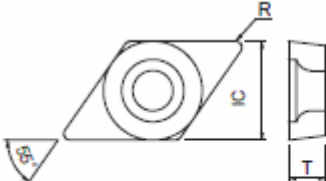
Obr. 3.29 Otupeň nástroj



Obr. 3.30 Otupeň špička

3.2.3 NTK DCMT11T304E NBAM3-N-40

Tato vyměnitelná břitová destička je určena pro dokončovací operace, má špičku bříty R 0,4. Má použitelné dvě strany obr. 3.31. VBD je k tělu nože upnuta systémem „S“, to znamená, že je destička upevněna šroubkem, který prochází středovým otvorem destičky a je zašroubován do pouzdra. Pouzdro je upevněno v tělese nože.

		Cermet					PVD Cermet	Dimensions (mm)			
		T3N	T15	N20	N40	C7X	Z15/Q15				C7Z
Shape	Item								IC	T	R
	DCMT 11T304AM3				●				9.525	3.97	0.40
	11T308AM3				●						0.8

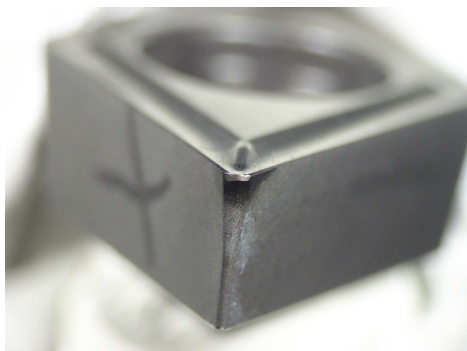
Obr. 3.31 VBD pro soustružení na čisto [16]

Popis operace

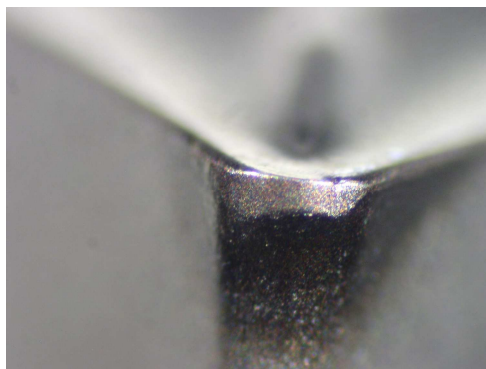
Při této operaci se obrábí celkový tvar dílu. Tato operace je stejná s operací, která je popsána u předchozí VBD. Parametry obrábění jsou popsány v předchozí kapitole. Díl před obráběním je zobrazen na obr. 3.27, díl po obrábění je zobrazen na obr. 3.28.

Vyhodnocení otupení

Nástroj obrábí v přerušovaném řezu, ale u této VBD se neprojevilo vydrolování ostří, které je způsobeno špičkami v zatížení. Hlavní opotřebení destičky spočívá v otupení špičky obr. 3.32 a 3.33. Vydrolování ostří by se projevilo až při delším používání VBD.



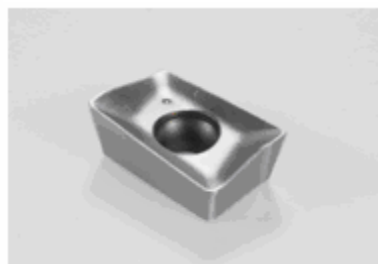
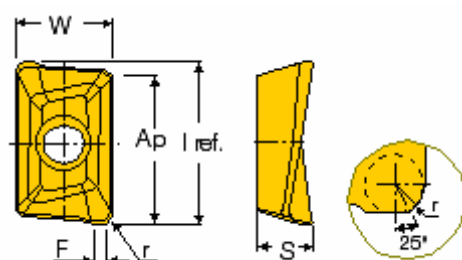
Obr. 3.32 Otupený nástroj



Obr. 3.33 Otupená špička

3.2.4 Frézovací plátek ISCAR APKT 1003DR – HM

Tato frézovací vyměnitelné břitová destička obr. 3.34 a 3.35 je v těle frézovací hlavičky upnuta systémem „S“, to znamená, že je k tělu frézovací hlavičky upnuta šroubkem, který prochází středovým otvorem destičky a je zašroubován do těla hlavičky. Ve frézovací hlavičce jsou upnuty tři vyměnitelné břitové destičky. VBD má dvě použitelné strany.



Obr. 3.34 Frézovací VBD [10]

W	I	S	Ap	r	F	Fz(min)	Fz(max)
6,70	10,95	3,55	10,05	0,50	1,20	0,08	0,15

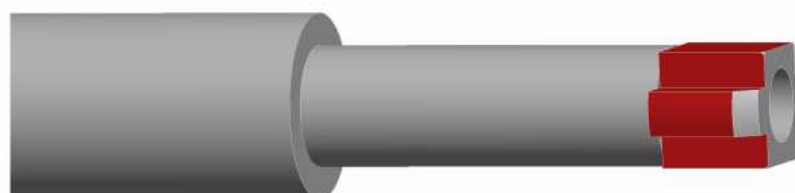
Obr. 3.35 Parametry VBD [11]

Popis operace

Frézovací hlavička je upnuta v poháněném nástrojovém držáku v horní revolverové hlavě. Na obr. 3.36 je zobrazen díl před obráběním a na obr. 3.37 je díl po obrábění. Otáčky nástroje jsou 2200 ot.min^{-1} a posunová rychlost je $0,25 \text{ mm.ot}^{-1}$. Hloubka řezu je proměnlivá max. 4 mm. Skutečná řezná rychlost vychází 110 mm.min^{-1} . Jako řezná kapalina byl použit řezný olej Ferokat.



Obr. 3.36 Díl před obráběním



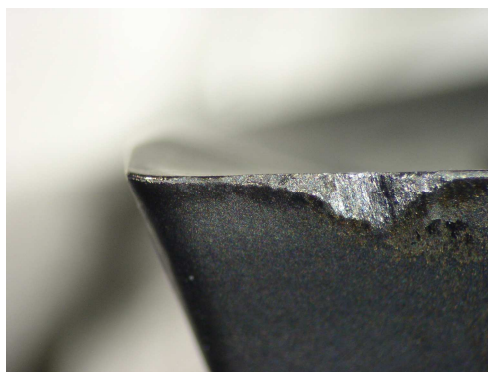
Obr. 3.37 Díl po obrábění

Vyhodnocení otupení

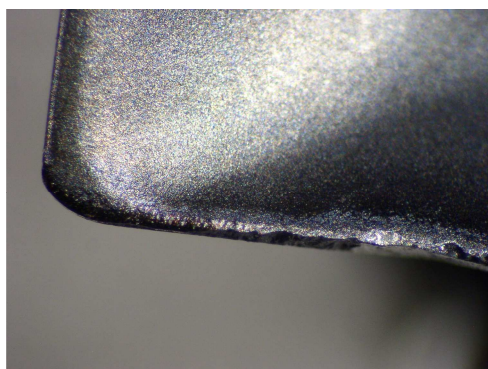
U této VBD vzniká opotřebení ve tvaru vrubu na hlavním hřbetě bříty obr. 2.38 a 3.39. Toto opotřebení je způsobeno adhezním nebo oxidačním opotřebením. Vrub vzniká v místě kontaktu bříty s bokem třísky. Čelo nástroje obr. 3.40 není zásadně opotřebeno. Hlavní opotřebení je na hřbetě VBD.



Obr. 3.38 Otupený nástroj



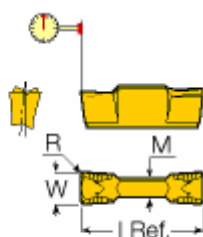
Obr. 3.39 Opotřebení na hřbetě



Obr. 3.40 Čelo nástroje

3.2.5 ISCAR GRIP 5005Y IC 354

Tato upichovací vyměnitelná břitová destička obr. 3.41 je v těle nože upnuta systémem „G“, to znamená, že je sevřena v těle nože, sevření je dosaženo pomocí šroubku. Vyměnitelná břitová destička má dvě funkční strany.

Opakovatelnost $\pm 0,1$ 

Bez omezení hloubky zápichu

$W \pm 0.05$	R	R $\pm$ toler	I	M	Ap(min)	Ap(max)	ft(min)	ft(max)	fg(min)	fg(max)	ffg(min)	ffg(max)	fft(min)	fft(max)
5.00	0.50	0.050	19.00	3.3	0.60	3.00	0.20	0.30	0.11	0.20	0.12	0.24	0.15	0.35

Obr. 3.41 Upichovací VBD ISCAR [10]

Popis operace

Upichovací nůž je upnutý v nástrojovém držáku ve spodní revolverové hlavě. Díl před obráběním je znázorněn na obr. 3.42. Nejdříve nůž nahrubuje zápich, aby odstranil materiál, z důvodu dalšího obrábění viz. obr. 3.43. Otáčky obrobku při zapichování jsou $1960 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$ a posunová rychlost nástroje je $0,15 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$. Pak následuje doobrobení dílu (ostatními nástroji). Po doobrobení dílu odepne protivřeteno díl a přijde co nejbližší k místu upichnutí. Potom protivřeteno upne obráběný díl a upichovací nůž upíchne díl viz. obr. 3.44. Otáčky obrobku při upichování jsou $1960 \text{ ot} \cdot \text{min}^{-1}$ a posunová rychlost je $0,15 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$. Zapichování i upichování se provádí na více záběrů, protože šířka zápichu je větší než šířka upichovacího nože. Jako řezná kapalina byl použit řezný olej Ferokat.



Obr. 3.42 Díl před obráběním



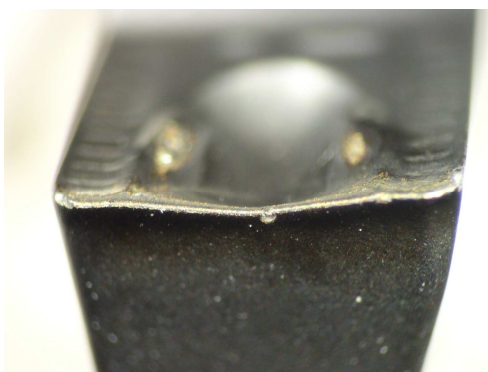
Obr. 3.43 Díl v průběhu obrábění



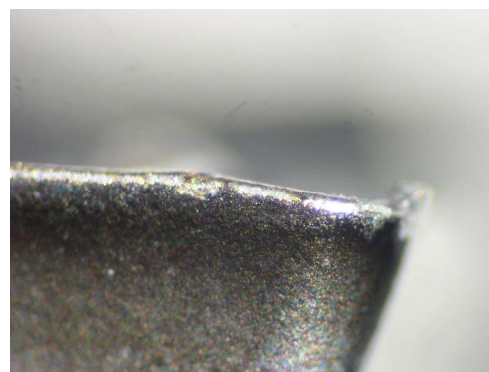
Obr. 3.44 Díl po upichnutí

Vyhodnocení otupení

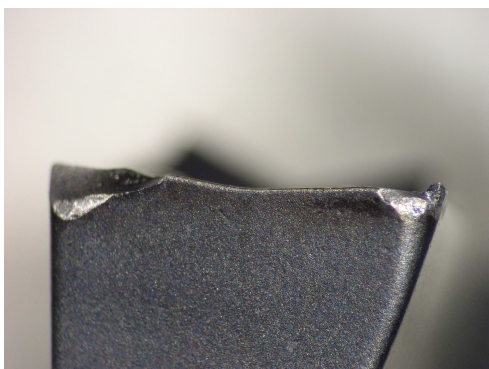
Hlavní opotřebování vyměnitelné břitové destičky spočívá v odlomení špičky obr. 3.47. Na obrázcích 3.45, 3.46 a 3.49 je vidět počátek odlomení špičky u VBD. Jak je vidět na detailu VBD obr. 3.48 a 3.50, odlomení je způsobeno opakovaným vznikem nárůstku.



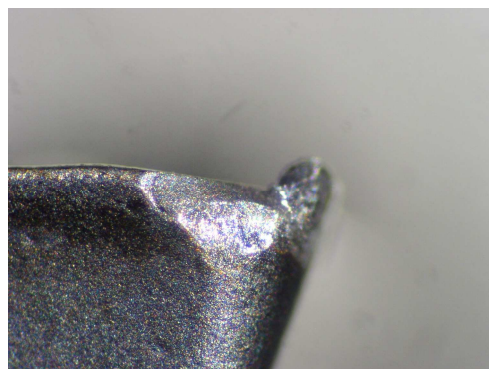
Obr. 3.45 Opotřebovaná VBD



Obr. 3.46 Detail opotřebované VBD



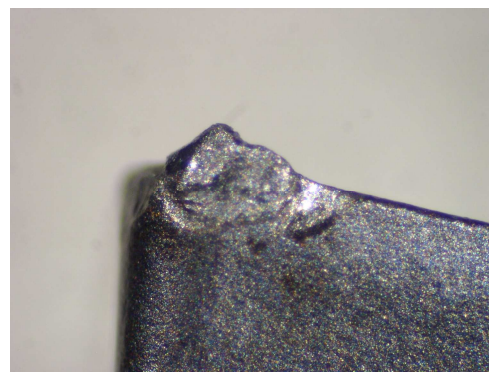
Obr. 3.47 Odlomená špička



Obr. 3.48 Detail špičky pravé strany



Obr. 3.49 Levá strana VBD



Obr. 3.50 Detail špičky levé strany

3.2.6 TaeguTec TDT 5,00E – 0,40 TT 7220

Tato upichovací vyměnitelná břitová destička obr. 3.51 je v těle nože upnuta systémem „G“, to znamená, že je sevřena v těle nože, sevření je dosaženo pomocí šroubku. Vyměnitelná břitová destička má dvě funkční strany. Ukázka nástrojového držáku je na obr. 3.52.

Designation	Insert Seat Size	W ± 0.02	R ± 0.05	B	L	H	Grade				
							TT5100	TT7220	TT9030	K10	TT6030
TDT 2.65E-0.15	3	2.65	0.15		20.0	4.7	○	○	○	○	
TDT 3.00E-0.20	3	3.00	0.20		20.0	4.7	○	○	○	○	
TDT 3.00E-0.40	3	3.00	0.40		20.0	4.7	○	○	○	○	
TDT 3.15E-0.15	3	3.15	0.15		20.0	4.7	○	○	○	○	
TDT 4.00E-0.40	4	4.00	0.40		20.0	4.7	○	○	○	○	
TDT 4.00E-0.80	4	4.00	0.80		20.0	4.7	○	○	○	○	
TDT 4.15E-0.15	4	4.15	0.15		20.0	4.7	○	○	○	○	
TDT 4.78E-0.55	5	4.78	0.55		25.0	5.2	○	○	○	○	
TDT 5.00E-0.40	5	5.00	0.40		25.0	5.2	○	○	○	○	○
TDT 5.15E-0.15	5	5.15	0.15		25.0	5.2	○	○	○	○	
TDT 6.00E-0.80	6	6.00	0.80		25.0	5.2	○	○	○	○	
TDT 6.00E-1.20	6	6.00	1.20		25.0	5.2	○	○	○	○	
TDT 8.00E-0.80	8	8.00	0.80		30.0	6.4	○	○	○	○	
TDT 8.00E-1.20	8	8.00	1.20		30.0	6.4	○	○	○	○	

● For "T" chipbreaker, see page D79

○ Stock

Obr. 3.51 Upichovací VBD TaeguTec [12]



Use Insert

TDC/TSC⁽¹⁾ : page D7,D9
TDJ/TSJ⁽¹⁾ : page D6,D8
TDXU : page D10
TDT : page D11-D14/D16
TDFT : page D15

⁽¹⁾Insert for Grooving Only

Right hand shown

Designation	Insert Seat Size	H	B	L	F	E	Tmax	Screw	Wrench	Torque (N.m)
TGFR/L 1616-4	2, 3, 4	16	16	110	14.6	33	4.8	SH M6×1×16	L-W5	8.0
2020-4		20	20	125	18.6			SH M6×1×20		
2525-4		25	25	150	23.6			SH M6×1×25		
TGFR/L 2020-6	5, 6	20	20	125	17.6	37	4.8	SH M6×1×20		
2525-6		25	25	150	22.6			SH M6×1×25		

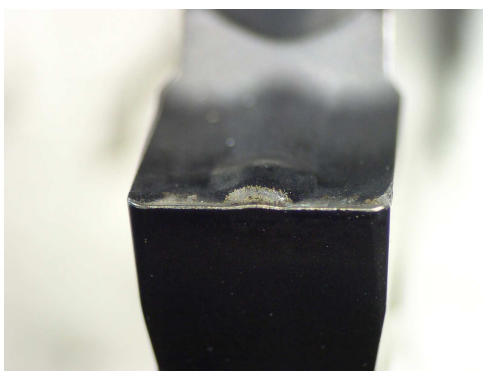
Obr. 3.52 Nástrojový držák TaeguTec [12]

Popis operace

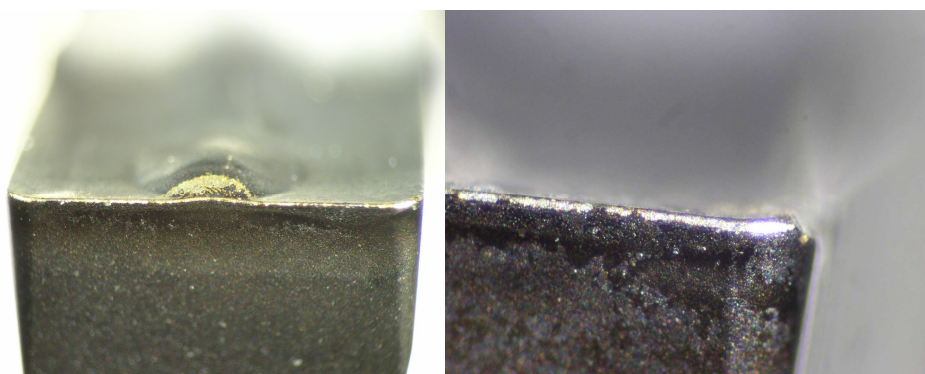
Tato operace je stejná s operací, která je popsána u předchozí VBD. Parametry obrábění jsou popsány v předchozí kapitole. Díl před obráběním je zobrazen na obr. 3.42, cvdíl v průběhu obrábění je zobrazen na obr. 3.43 a díl po obrábění je zobrazen na obr. 3.44.

Vyhodnocení otupení

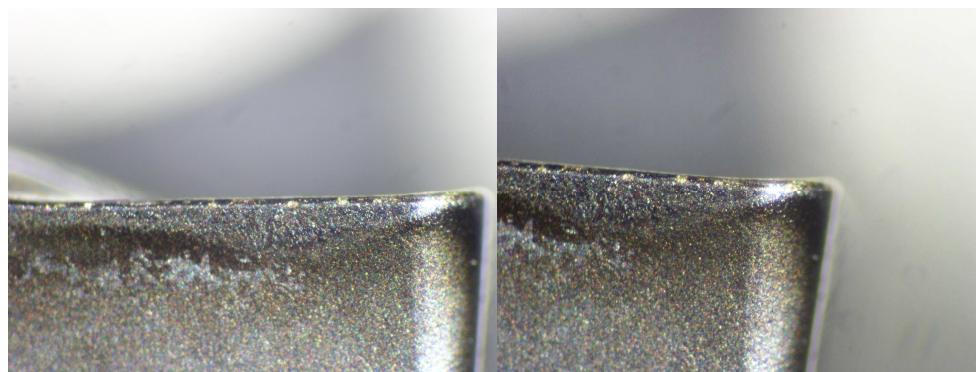
U této VBD nevzniklo zásadní opotřebení, není zde patrné abrazivní ani difuzní opotřebení, špička není odlomena. Opotřebení ostří spočívá v zaoblení řezné hrany VBD. Ukázka je na obr. 3.53 až 3.55.



Obr. 3.53 Otupená VBD



Obr. 3.54 Detail otupené špičky



Obr. 3.55 Detail otupěného ostří

4 STATISTICKÉ VYHODNOCENÍ

Tato část seznamuje se základními pojmy ze statistiky a dále vyhodnocuje opotřebení jednotlivých VBD statistickými metodami.

4.1 Základní pojmy ze statistiky

Při statistickém zkoumání se zabýváme jevy a procesy, které mají hromadný charakter a vyskytují se u rozsáhlého souboru individuálních objektů. Podstatou statistických metod je, že informace o základním souboru nezjišťujeme u všech jeho jednotek, ale u některých, které získáváme tzv. výběrem. Počet vybraných jednotek je rozsah výběru. Hodnoty znaku, pozorované či zjištěné na statistických jednotkách z výběru o rozsahu n , tvoří statistický soubor s rozsahem n . Významné vlastnosti statistického souboru vyjadřují v koncentrované formě jeho následující číselné charakteristiky. Jde zejména o charakteristiky polohy, proměnlivosti a souměrnosti. [7]

Základní charakteristiky polohy statistického souboru:

Aritmetický průměr

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (4.1)$$

Základní charakteristiky proměnlivosti (variability) statistického souboru

Rozptyl (disperze, variace)

$$s^2 = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2 \quad (4.2)$$

Směrodatná odchylka

$$s = \sqrt{s^2} \quad (4.3)$$

Větší proměnlivosti znaku X odpovídá větší směrodatná odchylka a naopak.

Variační koeficient

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (4.4)$$

Jde o relativní míru variability znaku X a uvádí se také v %. Má smysl pouze pro znak X, který nabývá pouze kladných anebo záporných hodnot. Není proto např. vhodný pro znak X vyjadřující odchylky od nějaké nominální hodnoty.

4.2 Statistické vyhodnocení VBD

V této kapitole jsou statisticky vyhodnoceny posuzované vyměnitelné břitové destičky. Pro statistické vyhodnocení bylo vždy sledováno 5 ks VBD, každá měla dvě funkční strany, takže bylo získáno 10 údajů od každé VBD. U každé byl sledován počet ks, který obrobila od výměny do otupení. Stav otupení byl hodnocen nepřímou metodou, měřením rozměru obrobku, sledováním řezných sil při obrábění (INDEX G 200 umožňuje zobrazovat velikost řezné síly při obrábění), kvalitou obráběné plochy.

4.2.1 Mitsubishi DCMT 11T308 UC 6010

V tabulce 4.1 jsou uvedeny počty ks, které jednotlivé VBD Mitsubishi obrobily od výměny do otupení.

Tab. 4.1 Počet obrobených ks

VBD	Počet kusů
1.VBD	257
	254
2.VBD	260
	252
3.VBD	249
	258
4.VBD	244
	245
5.VBD	251
	253

Rozsah výběru :

$$n=10$$

Součet pozorovaných hodnot :

$$\sum x = 2523$$

Aritmetický průměr :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x \quad (4.1)$$

$$\bar{x} = 252,3 \cong 252$$

Rozptyl :

$$s^2 = \left(\frac{1}{n} \sum x_i^2 \right) - \bar{x}^2 \quad (4.2)$$

$$s^2 = 25,21$$

Směrodatná odchylka :

$$s = \sqrt{s^2} \quad (4.3)$$

$$s = 5,02$$

Variační koeficient :

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (4.4)$$

$$v = 0,0199$$

4.2.2 Mitsubishi DCMT 11T 304 MV VP 15TF

V tabulce 4.2 jsou uvedeny počty ks, které VBD Mitsubishi obrobily od výměny do otupení.

Tab. 4.2 Počet obrobených ks

VBD	Počet kusů
1.VBD	542
	547
2.VBD	557
	546
3.VBD	547
	550
4.VBD	548
	549
5.VBD	545
	552

Rozsah výběru :

$$n=10$$

Součet pozorovaných hodnot :

$$\sum x = 5483$$

Aritmetický průměr :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x \quad (4.1)$$

$$\bar{x} = 548,3 \cong 548$$

Rozptyl :

$$s^2 = \left(\frac{1}{n} \sum x_i^2 \right) - \bar{x}^2 \quad (4.2)$$

$$s^2 = 15,2$$

Směrodatná odchylka :

$$s = \sqrt{s^2} \quad (4.3)$$

$$s = 3,899$$

Variační koeficient :

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (4.4)$$

$$v = 0,0071$$

4.2.3 NTK DCMT11T304E NBAM3-N-40

V tabulce 4.3 jsou uvedeny počty ks, které VBD NTK obrobily od výměny do otupení.

Tab. 4.3 Počet obrobených ks

VBD	Počet kusů
1.VBD	144
	148
2.VBD	145
	150
3.VBD	152
	141
4.VBD	147
	154
5.VBD	149
	153

Rozsah výběru :

$$n=10$$

Součet pozorovaných hodnot :

$$\sum x = 1483$$

Aritmetický průměr :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x \quad (4.1)$$

$$\bar{x} = 148,3 \cong 148$$

Rozptyl :

$$s^2 = \left(\frac{1}{n} \sum x_i^2 \right) - \bar{x}^2 \quad (4.2)$$

$$s^2 = 15,61$$

Směrodatná odchylka :

$$s = \sqrt{s^2} \quad (4.3)$$

$$s = 3,95$$

Variační koeficient :

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (4.4)$$

$$v = 0,0266$$

4.2.4 Frézovací plátek ISCAR APKT 1003DR – HM

V tabulce 4.4 jsou uvedeny počty ks, které VBD Iscar obrobily od výměny do otupení.

Tab. 4.4 Počet obrobených ks

VBD	Počet kusů
1.VBD	552
	556
2.VBD	557
	551
3.VBD	549
	536
4.VBD	548
	549
5.VBD	560
	554

Rozsah výběru :

$$n=10$$

Součet pozorovaných hodnot :

$$\sum x = 5512$$

Aritmetický průměr :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x \quad (4.1)$$

$$\bar{x} = 551,2 \cong 551$$

Rozptyl :

$$s^2 = \left(\frac{1}{n} \sum x_i^2 \right) - \bar{x}^2 \quad (4.2)$$

$$s^2 = 39,4$$

Směrodatná odchylka :

$$s = \sqrt{s^2} \quad (4.3)$$

$$s = 6,277$$

Variační koeficient :

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (4.4)$$

$$v = 0,0114$$

4.2.5 ISCAR GRIP 5005Y IC 354

V tabulce 4.5 jsou uvedeny počty ks, které VBD Iscar obrobily od výměny do otupení.

Tab. 4.5 Počet obrobených ks

VBD	Počet kusů
1.VBD	165
	161
2.VBD	163
	155
3.VBD	167
	158
4.VBD	163
	156
5.VBD	164
	169

Rozsah výběru :

$$n=10$$

Součet pozorovaných hodnot :

$$\sum x = 1621$$

Aritmetický průměr :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x \quad (4.1)$$

$$\bar{x} = 162,1 \cong 162$$

Rozptyl :

$$s^2 = \left(\frac{1}{n} \sum x_i^2 \right) - \bar{x}^2 \quad (4.2)$$

$$s^2 = 19,09$$

Směrodatná odchylka :

$$s = \sqrt{s^2} \quad (4.3)$$

$$s = 4,369$$

Variační koeficient :

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (4.4)$$

$$v = 0,0269$$

4.2.6 TaeguTec TDT 5,00E – 0,40 TT 7220

V tabulce 4.6 jsou uvedeny počty ks, které VBD TageuTec obrobily od výměny do otupení.

Tab. 4.6 Počet obrobených ks

VBD	Počet kusů
1.VBD	299
	304
2.VBD	296
	303
3.VBD	301
	295
4.VBD	298
	295
5.VBD	297
	296

Rozsah výběru :

$$n=10$$

Součet pozorovaných hodnot :

$$\sum x = 2984$$

Aritmetický průměr :

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum x \quad (4.1)$$

$$\bar{x} = 298,4 \cong 298$$

Rozptyl :

$$s^2 = \left(\frac{1}{n} \sum x_i^2 \right) - \bar{x}^2 \quad (4.2)$$

$$s^2 = 9,64$$

Směrodatná odchylka :

$$s = \sqrt{s^2} \quad (4.3)$$

$$s = 3,10$$

Variační koeficient :

$$v = \frac{s}{\bar{x}} \quad (4.4)$$

$$v = 0,0104$$

4.3 Trvanlivost a životnost nástroje

Trvanlivost řezného nástroje je možno definovat jako součet všech čistých časů řezání, od začátku obrábění, až po opotřebení břitu nástroje na předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria (kritérium opotřebení a jeho hodnota musí být stanoveny tak, aby vyráběný obrobek měl požadovaný tvar, rozměry a kvalitu povrchu a to po celou dobu trvanlivosti nástroje).

Životnost nástroje je pak definována jako součet všech jeho trvanlivostí, nebo též jako celková doba funkce nástroje od prvního uvedení do činnosti až do jeho vyřazení (nástroje, které lze ostřit jsou vyřazeny v případě, že byla odbroušena celá jejich funkční část, vyměnitelné břitové destičky v případě, že byly použity všechny jejich břity). Z tohoto hlediska lze tedy životnost přebroušovaného nástroje vyjádřit vztahem [5]:

$$Z = \sum_{i=1}^{x+1} T_i = (x+1) \cdot T \quad [\text{min}] \quad (4.1.)$$

kde:

T_i [min] jednotlivé trvanlivosti
 T [min] aritmetický průměr hodnot T_i
 x [-] počet možných ostří nástroje

Pro nástroj s mechanicky upínanými vyměnitelnými břitovými destičkami se životnost stanoví podle vztahu [5]:

$$Z = \sum_{i=1}^q T_i = q \cdot T \quad [\text{min}] \quad (4.2.)$$

kde:

q [-] počet použitelných ostří destičky

Trvanlivost nástroje, podobně jako opotřebení nástroje, závisí zejména na metodě (soustružení, frézování, vrtání, atd.), vlastnostech obráběného a nástrojového materiálu a řezných podmínkách (řezná a posunová rychlost, šířka záběru ostří, řezné prostředí). Již počátkem 20. století zjistil Frederick Winslow Taylor, že z řezných podmínek má na trvanlivost nástroje největší vliv právě řezná rychlost a odvodil základní vztah pro vzájemnou závislost těchto dvou veličin, na němž jsou založeny dnešní normy ČSN ISO 3685, i ČSN ISO 8688-4 a ČSN ISO 8688-2 a který je u nás znám pod názvem „T- v_c závislost“ (někdy též „Taylorův vztah“) a užívá se ve tvaru [5]:

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

kde:

C_T [-] konstanta
 v_c [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] řezná rychlost
 m [-] exponent,

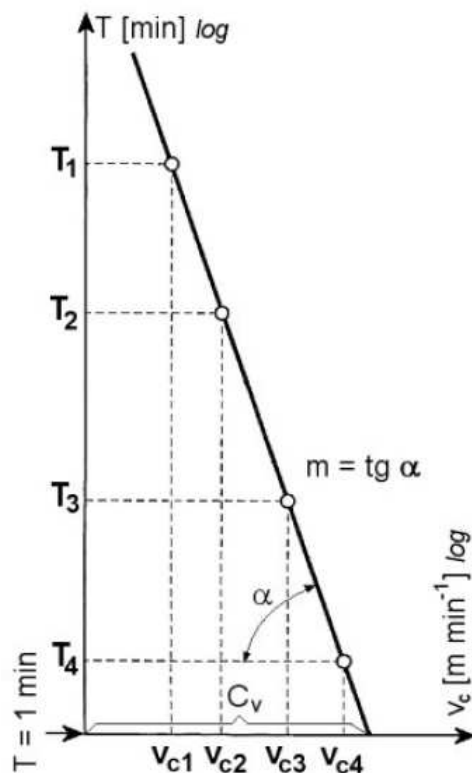
nebo vzhledem k velmi vysoké a nepraktické hodnotě konstanty C_T (řádově $10^9 \div 10^{13}$) častěji ve tvaru [5]:

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

kde:

C_v [-] konstanta (protože $C_v = C_T^{1/m}$, je řádová velikost konstanty C_v pouze $10^2 \div 10^3$).

Postup při stanovování základní $T - v_c$ závislosti pro konkrétní kombinaci řezný nástroj – obráběný materiál vychází z definice trvanlivosti. Za ostatních konstantních řezných podmínek (např. pro soustružení: šířka záběru ostří a_p = konst. posuv na otáčku f = konst. způsob chlazení) je daný materiál obráběn daným nástrojem minimálně při čtyřech různých řezných rychlostech, přičemž se sleduje časový nárůst opotřebení nástroje (např. VB), který se vynáší do závislosti $VB = f(\text{čas})$ obr. 4.1. Při nejvyšší řezné rychlosti nemá trvanlivost klesnout pod hodnotu $T = 5$ minut (pro obrábění drahých materiálů se připouští nižší trvanlivost, ne však pod hodnotou $T = 2$ minuty) [5].

Obr. 4.1 T - v_c závislost [5]

Pro předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria (např. $VB = \text{kont} = 0,3$ mm) jsou z časových křivek VB odečteny hodnoty trvanlivosti T_1 , T_2 , T_3 a T_4 které odpovídají zvoleným řezným rychlostem v_{c1} , v_{c2} , v_{c3} a v_{c4} . 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 logaritmickými souřadnicemi T a v_c , kde vytvoří přímku, která odpovídá zvolené hodnotě VB obr. 4.1. Matematicky je získaná T - v_c závislost popsána základními vztahy 4.3 a 4.4, hodnotu konstanty C_T lze odečíst na ose T pro řeznou rychlost $v_c = 1 \text{ m min}^{-1}$, hodnotu konstanty C_v na ose v_c pro trvanlivost $T = 1 \text{ min}$, exponent m vyjadřuje směrnici vytvořené přímky, $m = \text{tg } \alpha$. Nevýhodou uvedených základních vztahů T - v_c závislosti je omezení následujícími podmínkami [5]:

a_p	konst.	šířka záběru ostří
f	konst.	posuv na otáčku
VB	konst.	opotřebení

V praxi jsou proto často používány rozšířené vztahy pro T - v_c závislost ve tvaru (např. pro soustružení) [5]:

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

kde

v_{cT}	$[m \cdot min^{-1}]$	řezná rychlost při konstantní trvanlivosti T, např. v_{c15} znamená řeznou rychlost při trvanlivosti T-15 minut
C_{vT}	$[-]$	konstanta
x_v	$[-]$	exponent, vyjadřující vliv hloubky řezu,
y_v	$[-]$	exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku

nebo ve tvaru:

$$v_c = \frac{C_{v1}}{T^{1/m} \cdot a_p^{x_v} \cdot f^{y_v}} \quad [m \cdot min^{-1}] \quad (4.6)$$

Výhodou vztahů 4.5 a 4.6 je menší počet omezujících podmínek ($T=kons$, $VB=kons$) resp ($VB=kons$), nevýhodou mnohem větší rozsah zkoušek, potřebných pro jejich konkrétní stanovení, ve srovnání se zkouškami nutnými pro určení vztahů 4.3 a 4.4 [5].

Trvanlivost břitu definujeme časem, během kterého nástroj pracuje od svého naostření až po dosažení kritéria otupení břitu. Stav otupení lze hodnotit z hlediska technologického nebo ekonomického.

Z technologického hlediska se břit považuje za otupený, není-li nástroj schopen obrábět dále danou plochu v požadované jakosti.

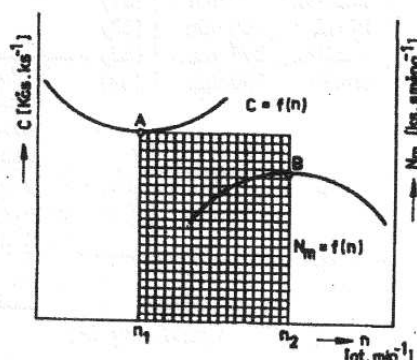
Z ekonomického hlediska se hodnotí optimální otupení břitu buď z hlediska maximální životnosti nebo je vztaženo na podíl nákladů na nástroj připadající na obrobení jednoho kusu.

Z průběhu nákladů a výrobnosti v závislosti na otáčkách plyne, že správně volené otáčky mají být v rozmezí od n_1 do n_2 . Klademe-li důraz na hospodárnost, volíme otáčky blíže k n_1 . Požadujeme-li vyšší výrobnost, volíme otáčky, které se budou blížit otáčkám n_2 .

n_1 otáčky vřetene stroje, které odpovídají min. nákladům na výrobu jedné součástky

n_2 otáčky vřetene stroje, při kterých je výrobnost stroje maximální [3].

Na obr.4.2 je znázorněn průběh nákladů a výrobnosti v závislosti na otáčkách vřetene[3].



Obr.4.2 Průběh nákladů a výrobnosti v závislosti na otáčkách vřetene[3]

Při odvozování vztahu pro optimální trvanlivost řezné hrany nástroje pro minimální náklady, tj. dosažení hospodárného úběru, vycházíme z přímých nákladů na obrobení jednoho dílce „A“:

$$A = t_{AS} \cdot \frac{E}{60} + \frac{B}{Q} \quad (4.7)$$

kde:

A	[Kč.kus ⁻¹]	jsou přímé náklady na obrobení 1 kusu
t _{AS}	[min]	čas automatický strojní
E	[Kč.hod ⁻¹]	náklady na 1 hodinu práce stroje
B	[Kč.břit ⁻¹]	náklady na použití jednoho břitu]
Q	[ks]	počet dílců obroběných mezi výměnami nástroje

Vztah upravíme tak, aby náklady „A“ byly funkcí trvanlivosti, tj. za t_{AS} a Q dosadíme :

$$t_{AS} = \frac{L \cdot p}{n \cdot f \cdot a_p} = \frac{L \cdot \pi \cdot D \cdot p}{10^3 \cdot v_c \cdot a_p \cdot f} = \frac{L \cdot \pi \cdot D \cdot p}{10^3 \cdot c_v \cdot a_p \cdot f} \cdot T^{\frac{1}{m}} = c_o \cdot T^{\frac{1}{m}} \quad (4.8)$$

$$Q = \frac{T}{\lambda \cdot t_{AS}} = \frac{1}{c_o \cdot \lambda \cdot T^{\left(\frac{1}{m}-1\right)}} \quad (4.9)$$

Pro podélné soustružení válcové plochy je :

$$L = l_n + l + l_p \quad (4.10)$$

l _n	[mm]	délka náběhu
l	[mm]	délka obráběné plochy
l _p	[mm]	délka přeběhu

kde :

$$\lambda = \frac{l}{L} \quad (4.11)$$

L [mm] celková délka, kdy je zapnut strojní posuv

Po dosazení :

$$A = c_o \cdot \frac{E}{60} \cdot T^{\frac{1}{m}} + B \cdot \lambda \cdot c_o \cdot T^{\left(\frac{1}{m}-1\right)} \quad (4.12)$$

Minimum funkce stanovíme z podmínky:

$$\frac{dA}{dT} = 0 \quad (4.13)$$

A po úpravě je vztah pro optimální trvanlivost z hlediska minimálních nákladů:

$$T_{opt_1} = (m-1) \frac{60 \cdot B}{E} \cdot \lambda \quad (4.14)$$

Hodnotu optimální trvanlivosti můžeme určit dále z hlediska maximálního úběru materiálu bez ohledu na hospodárnost, t.j. při dosažení maximální výrobnosti stroje za časovou jednotku.

Při tomto kritériu vycházíme z celkového času na obrobění jednoho kusu t_c :

$$t_c = t_{AS} + t_{A11} + \frac{t_{AX}}{Q} \quad (4.15)$$

kde:

t_{A11} [min] součet vedlejších časů

t_{AX} [min] čas na výměnu a seřízení nástroje

Po obdobné úpravě a postupu je optimální trvanlivost pro maximální výrobnost :

$$T_{opt_2} = (m-1) \cdot t_{AX} \cdot \lambda \quad (4.16)$$

U NC techniky čas t_{AX} obsahuje cyklový čas a čas na opravu korekcí nástroje. [3]

Jednotkový strojní čas t_{AS} je čas automatického chodu obráběcího stroje; při obrobení dané součásti je pro většinu obráběcích metod definován obecným vztahem:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \text{ [min]} \quad (4.17)$$

kde:

t_{AS} [min]	jednotkový strojní čas
L [mm]	dráha nástroje ve směru posuvu
v_f [mm.min ⁻¹]	posuvová rychlost

Hodnotu posuvové rychlosti lze vypočítat podle vztahu:

$$v_f = n \cdot f \text{ [mm.min}^{-1}\text{]} \quad (4.18)$$

kde :

n [min ⁻¹]	otáčky obrobku
f [mm]	posuv na otáčku

Protože řezná rychlost se při podélném soustružení vypočítá podle vztahu:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3} \quad (4.19)$$

kde:

D [mm]	průměr obrobku
----------	----------------

4.4 Praktické výpočty

K hodnocení opotřebení a ekonomické výhodnosti VBD je třeba také srovnání skutečnosti s možným použitím a to lze získat pouze praktickými výpočty. U posuzovaných šesti VBD, proto v následující části jsou provedeny výpočty:

- čas automatický strojní
- přímé náklady na obrobení jednoho dílce
- optimální trvanlivost z hlediska minimálních nákladů
- optimální trvanlivost z hlediska maximální výrobnosti
- řezná rychlost pro minimální náklady
- řezná rychlost pro maximální výrobnost
- skutečná řezná rychlost

4.4.1 Mitsubishi DCMT 11T308 UC 6010

V tabulce 4.1 jsou zadány hodnoty k výpočtům:

Tab 4.1. Zadány hodnoty :

Zkratka symbol	popis	jednotka	hodnota
B	náklady na použití jednoho břitu	[Kč.břit ⁻¹]	65,5
C _{v1}	<i>konstanta (pozn.: konstanty C_{v1}, C_{T1} a C_v mají rozdílné číselné hodnoty dokonce i pro stejnou kombinaci nástroj – obrobek</i>	[-]	141,5
E	náklady na 1 hodinu práce stroje	[Kč.hod ⁻¹]	1000
L	délka automatického posuvu	[mm]	260
Q	počet dílců obrob. mezi výměn. nást.	[ks]	252
a _p	konstanta - šířka záběru ostří	[mm]	3,5
d	průměr	[mm]	13
f	posuv nástroje	[mm.ot ⁻¹]	0,15
l	délka obráběné plochy	[mm]	240
m	exponent	[-]	5
n	otáčky vřetena	[ot.min ⁻¹]	4500
t _{AX}	čas automatický strojní	[min]	6% z t _{AS} údaj převzat
x _v	exponent, vyjadřující vliv hloubky řezu	[-]	0,18
y _v	exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku	[-]	0,35
π	konstanta	[-]	3,14

Čas automatický strojní

$$t_{AS} = \frac{260}{4500 \cdot 0,15} = \frac{260}{675} = 0,3852 \text{ [min]} \quad (4.17)$$

Přímé náklady na obrobení jednoho dílce

$$A = 0,3852 \cdot \frac{1000}{60} \cdot \frac{65,5}{252} = 1,669 \text{ [Kč]} \quad (4.7)$$

Optimální trvanlivost z hlediska minimálních nákladů

$$\lambda = \frac{240}{260} = 0,9231 \quad (4.11)$$

$$Topt_1 = (5 - 1) \cdot \frac{60 \cdot 65,5}{1000} \cdot 0,9231 = 14,51 \text{ [min]} \quad (4.14)$$

Optimální trvanlivost z hlediska maximální výrobnosti

$$t_{AX} = t_{AS} \cdot 6\% = 0,3852 \cdot 6\% = 0,4083 \text{ [min]}$$

$$Topt_2 = (5 - 1) \cdot 0,4083 \cdot 0,9231 = 1,51 \text{ [min]} \quad (4.16)$$

T-v_c závislost (někdy též „Taylorův vztah“)

Řezná rychlost pro minimální náklady

$$v_c = \frac{141,5}{14,5^{0,2} \cdot 3,5^{0,18} \cdot 0,15^{0,35}} = 136 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.6)$$

Řezná rychlost pro maximální výrobnost

$$v_c = \frac{141,5}{1,51^{0,2} \cdot 3,5^{0,18} \cdot 0,15^{0,35}} = 215 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.6)$$

Skutečná řezná rychlost

$$v_c = \frac{\pi \cdot 13 \cdot 4500}{1000} = 184 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.19)$$

4.4.2 Mitsubishi DCMT 11T 304 MV VP 15TF

V tabulce 4.2 jsou zadané hodnoty k výpočtům:

Tab 4.2. Zadané hodnoty

Zkratka symbol	popis	jednotka	hodnota
B	náklady na použití jednoho břitu	[Kč.břit ⁻¹]	65
C _{v1}	<i>konstanta (pozn.: konstanty C_{v1}, C_{T1} a C_v mají rozdílné číselné hodnoty dokonce i pro stejnou kombinaci nástroj – obrobek</i>	[-]	141,5
E	náklady na 1 hodinu práce stroje	[Kč.hod ⁻¹]	1000
L	délka automatického posuvu	[mm]	85
Q	počet dílců obrob. mezi výměn. nást.	[ks]	548
a _p	konstanta - šířka záběru ostří	[mm]	0,5
d	průměr	[mm]	12
f	posuv nástroje	[mm.ot ⁻¹]	0,06
l	délka obráběné plochy	[mm]	79
m	exponent	[-]	5
n	otáčky vřetena	[ot.min ⁻¹]	4500
t _{AX}	čas automatický strojní	[min]	6% z t _{AS} údaj převzat
x _v	exponent, vyjadřující vliv hloubky řezu	[-]	0,18
y _v	exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku	[-]	0,30
π	konstanta	[-]	3,14

Čas automatický strojní

$$t_{AS} = \frac{85}{4500 \cdot 0,06} = \frac{85}{270} = 0,314 \text{ [min]} \quad (4.17)$$

Přímé náklady na obrobení jednoho dílce

$$A = 0,314 \cdot \frac{1000}{60} \cdot \frac{65}{548} = 0,621 \text{ [Kč]} \quad (4.7)$$

Optimální trvanlivost z hlediska minimálních nákladů

$$\lambda = \frac{79}{85} = 0,9294 \quad (4.11)$$

$$T_{opt_1} = (5 - 1) \cdot \frac{60 \cdot 65}{1000} \cdot 0,9294 = 14,50 \text{ [min]} \quad (4.14)$$

Optimální trvanlivost z hlediska maximální výrobnosti

$$t_{AX} = t_{AS} \cdot 6\% = 0,314 \cdot 6\% = 0,3328 \text{ [min]}$$

$$T_{opt_2} = (5 - 1) \cdot 0,3328 \cdot 0,9294 = 1,24 \text{ [min]} \quad (4.16)$$

T- v_c závislost (někdy též „Taylorův vztah“)

Řezná rychlost pro minimální náklady

$$v_c = \frac{141,5}{14,5^{0,2} \cdot 0,5^{0,18} \cdot 0,06^{0,30}} = 251 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.6)$$

Řezná rychlost pro maximální výrobnost

$$v_c = \frac{141,5}{1,24^{0,2} \cdot 0,5^{0,18} \cdot 0,06^{0,30}} = 411 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.6)$$

Skutečná řezná rychlost

$$v_c = \frac{\pi \cdot 12 \cdot 4500}{1000} = 169,65 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.19)$$

4.4.3 NTK DCMT 11T 304 E NBAm3 – N – 40

V tabulce 4.3 jsou zadané hodnoty k výpočtům:

Tab 4.3. Zadané hodnoty

Zkratka symbol	popis	jednotka	hodnota
B	náklady na použití jednoho břitu	[Kč.břit ⁻¹]	81,5
C _{v1}	<i>konstanta (pozn.: konstanty C_{v1}, C_{T1} a C_v mají rozdílné číselné hodnoty dokonce i pro stejnou kombinaci nástroj – obrobek</i>	[-]	141,5
E	náklady na 1 hodinu práce stroje	[Kč.hod ⁻¹]	1000
L	délka automatického posuvu	[mm]	85
Q	počet dílců obrob. mezi výměn. nást.	[ks]	148
a _p	konstanta - šířka záběru ostří	[mm]	0,5
d	průměr	[mm]	12
f	posuv nástroje	[mm.ot ⁻¹]	0,06
l	délka obráběné plochy	[mm]	79
m	exponent	[-]	5
n	otáčky vřetena	[ot.min ⁻¹]	4500
t _{AX}	čas automatický strojní	[min]	6% z t _{AS} údaj převzat
x _v	exponent, vyjadřující vliv hloubky řezu	[-]	0,18
y _v	exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku	[-]	0,30
π	konstanta	[-]	3,14

Čas automatický strojní

$$t_{AS} = \frac{85}{4500 \cdot 0,06} = \frac{85}{270} = 0,314 \text{ [min]} \quad (4.17)$$

Přímé náklady na obrobení jednoho dílce

$$A = 0,314 \cdot \frac{1000}{60} \cdot \frac{81,5}{148} = 2,88 \text{ [Kč]} \quad (4.7)$$

Optimální trvanlivost z hlediska minimálních nákladů

$$\lambda = \frac{79}{85} = 0,9294 \quad (4.11)$$

$$T_{opt_1} = (5 - 1) \cdot \frac{60 \cdot 81,5}{1000} \cdot 0,9294 = 18,18 \text{ [min]} \quad (4.14)$$

Optimální trvanlivost z hlediska maximální výrobnosti

$$t_{AX} = t_{AS} \cdot 6\% = 0,314 \cdot 6\% = 0,3328 \text{ [min]}$$

$$T_{opt_2} = (5 - 1) \cdot 0,3328 \cdot 0,9294 = 1,24 \text{ [min]} \quad (4.16)$$

T- v_c závislost (někdy též „Taylorův vztah“)

Řezná rychlost pro minimální náklady

$$v_c = \frac{141,5}{18,18^{0,2} \cdot 0,5^{0,18} \cdot 0,06^{0,30}} = 240 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.6)$$

Řezná rychlost pro maximální výrobnost

$$v_c = \frac{141,5}{1,24^{0,2} \cdot 0,5^{0,18} \cdot 0,06^{0,30}} = 411 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.6)$$

Skutečná řezná rychlost

$$v_c = \frac{\pi \cdot 12 \cdot 4500}{1000} = 169,65 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.19)$$

4.4.4 ISCAR APKT 1003DR – HM

V tabulce 4.4 jsou zadané hodnoty k výpočtům:

Tab 4.4. Zadané hodnoty

Zkratka symbol	popis	jednotka	hodnota
B	náklady na použití jednoho břitu	[Kč.břit ⁻¹]	130
C _{v1}	<i>konstanta (pozn.: konstanty C_{v1}, C_{T1} a C_v mají rozdílné číselné hodnoty dokonce i pro stejnou kombinaci nástroj – obrobek</i>	[-]	145
E	náklady na 1 hodinu práce stroje	[Kč.hod ⁻¹]	1000
L	délka automatického posuvu	[mm]	101
Q	počet dílců obrob. mezi výměn. nást.	[ks]	551
a _p	konstanta - šířka záběru ostří	[mm]	2
d	průměr	[mm]	16
f	posuv nástroje	[mm.ot ⁻¹]	0,25
l	délka obráběné plochy	[mm]	84
m	exponent	[-]	2,7
n	otáčky nástroje	[ot.min ⁻¹]	2200
t _{AX}	čas automatický strojní	[min]	6% z t _{AS} údaj převzat
x _v	exponent, vyjadřující vliv hloubky řezu	[-]	0,1
y _v	exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku	[-]	0,26
π	konstanta	[-]	3,14

Čas automatický strojní

$$t_{AS} = \frac{101}{2200 \cdot 0,25} = \frac{101}{550} = 0,1836 \text{ [min]} \quad (4.17)$$

Přímé náklady na obrobení jednoho dílce

$$A = 0,1836 \cdot \frac{1000}{60} \cdot \frac{130}{551} = 0,72 \text{ [Kč]} \quad (4.7)$$

Optimální trvanlivost z hlediska minimálních nákladů

$$\lambda = \frac{84}{101} = 0,8317 \quad (4.11)$$

$$Topt_1 = (2,7 - 1) \cdot \frac{60 \cdot 130}{1000} \cdot 0,8317 = 11,03 \text{ [min]} \quad (4.14)$$

Optimální trvanlivost z hlediska maximální výrobnosti

$$t_{AX} = t_{AS} \cdot 6\% = 0,1836 \cdot 6\% = 0,1946 \text{ [min]}$$

$$Topt_2 = (2,7 - 1) \cdot 0,1946 \cdot 0,8317 = 0,28 \text{ [min]} \quad (4.16)$$

T-v_c závislost (někdy též „Taylorův vztah“)

Řezná rychlost pro minimální náklady

$$v_c = \frac{145}{11,03^{0,37} \cdot 2^{0,1} \cdot 0,25^{0,26}} = 79,80 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.6)$$

Řezná rychlost pro maximální výrobnost

$$v_c = \frac{145}{0,28^{0,37} \cdot 2^{0,1} \cdot 0,25^{0,26}} = 310 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.6)$$

Skutečná řezná rychlost

$$v_c = \frac{\pi \cdot 16 \cdot 2200}{1000} = 110,58 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.19)$$

4.4.5 ISCAR GRIP 5005Y IC 354

V tabulce 4.5 jsou zadané hodnoty k výpočtům:

Tab 4.5. Zadané hodnoty

Zkratka symbol	popis	jednotka	hodnota
B	náklady na použití jednoho břitu	[Kč.břit ⁻¹]	207
C _{v1}	<i>konstanta (pozn.: konstanty C_{v1}, C_{T1} a C_v mají rozdílné číselné hodnoty dokonce i pro stejnou kombinaci nástroj – obrobek</i>	[-]	30,8
E	náklady na 1 hodinu práce stroje	[Kč.hod ⁻¹]	1000
L	délka automatického posuvu	[mm]	34,5
Q	počet dílců obrob. mezi výměn. nást.	[ks]	162
a _p	konstanta - šířka záběru ostří	[mm]	5
d	průměr	[mm]	7,5
f	posuv nástroje	[mm.ot ⁻¹]	0,15
l	délka obráběné plochy	[mm]	30
m	exponent	[-]	5
n	otáčky vřetena	[ot.min ⁻¹]	1960
t _{AX}	čas automatický strojní	[min]	6% z t _{AS} údaj převzat
x _v	exponent, vyjadřující vliv hloubky řezu	[-]	-
y _v	exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku	[-]	0,35
π	konstanta	[-]	3,14

Čas automatický strojní

$$t_{AS} = \frac{34,5}{1960 \cdot 0,15} = \frac{34,5}{294} = 0,1174 \text{ [min]} \quad (4.17)$$

Přímé náklady na obrobení jednoho dílce

$$A = 0,1174 \cdot \frac{1000}{60} \cdot \frac{207}{162} = 2,50 \text{ [Kč]} \quad (4.7)$$

Optimální trvanlivost z hlediska minimálních nákladů

$$\lambda = \frac{30}{34,5} = 0,8696 \quad (4.11)$$

$$T_{opt_1} = (5 - 1) \cdot \frac{60 \cdot 207}{1000} \cdot 0,8696 = 43,20 \text{ [min]} \quad (4.14)$$

Optimální trvanlivost z hlediska maximální výrobnosti

$$t_{AX} = t_{AS} \cdot 6\% = 0,1174 \cdot 6\% = 0,1244 \text{ [min]}$$

$$T_{opt_2} = (5 - 1) \cdot 0,1244 \cdot 0,8696 = 0,43 \text{ [min]} \quad (4.16)$$

T- v_c závislost (někdy též „Taylorův vztah“)

Řezná rychlost pro minimální náklady

$$v_c = \frac{30,8}{43,20^{0,2} \cdot 0,15^{0,35}} = 28,17 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.6)$$

Řezná rychlost pro maximální výrobnost

$$v_c = \frac{30,8}{0,43^{0,2} \cdot 0,15^{0,35}} = 70,8 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.6)$$

Skutečná řezná rychlost

$$v_c = \frac{\pi \cdot 7,5 \cdot 1960}{1000} = 46,18 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.19)$$

4.4.6 TagueTec TDT 5,00E – 0,40 TT 7220

V tabulce 4.6 jsou zadané hodnoty k výpočtům:

Tab 4.6. Zadané hodnoty

Zkratka symbol	popis	jednotka	hodnota
B	náklady na použití jednoho břitu	[Kč.břit ⁻¹]	278
C _{v1}	<i>konstanta (pozn.: konstanty C_{v1}, C_{T1} a C_v mají rozdílné číselné hodnoty dokonce i pro stejnou kombinaci nástroj – obrobek</i>	[-]	30,8
E	náklady na 1 hodinu práce stroje	[Kč.hod ⁻¹]	1000
L	délka automatického posuvu	[mm]	34,5
Q	počet dílců obrob. mezi výměn. nást.	[ks]	298
a _p	konstanta - šířka záběru ostří	[mm]	5
d	průměr	[mm]	7,5
f	posuv nástroje	[mm.ot ⁻¹]	0,15
l	délka obráběné plochy	[mm]	30
m	exponent	[-]	5
n	otáčky vřetena	[ot.min ⁻¹]	1960
t _{AX}	čas automatický strojní	[min]	6% z t _{AS} údaj převzat
x _v	exponent, vyjadřující vliv hloubky řezu	[-]	-
y _v	exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku	[-]	0,35
π	konstanta	[-]	3,14

Čas automatický strojní

$$t_{AS} = \frac{34,5}{1960 \cdot 0,15} = \frac{34,5}{294} = 0,1174 \text{ [min]} \quad (4.17)$$

Přímé náklady na obrobení jednoho dílce

$$A = 0,1174 \cdot \frac{1000}{60} \cdot \frac{278}{298} = 1,83 \text{ [Kč]} \quad (4.7)$$

Optimální trvanlivost z hlediska minimálních nákladů

$$\lambda = \frac{30}{34,5} = 0,8696 \quad (4.11)$$

$$T_{opt_1} = (5-1) \cdot \frac{60 \cdot 278}{1000} \cdot 0,8696 = 58,02 \text{ [min]} \quad (4.14)$$

Optimální trvanlivost z hlediska maximální výrobnosti

$$t_{AX} = t_{AS} \cdot 6\% = 0,1174 \cdot 6\% = 0,1244 \text{ [min]}$$

$$T_{opt_2} = (5-1) \cdot 0,1244 \cdot 0,1244 = 0,43 \text{ [min]} \quad (4.16)$$

T- v_c závislost (někdy též „Taylorův vztah“)

Řezná rychlost pro minimální náklady

$$v_c = \frac{30,8}{58,02^{0,2} \cdot 0,15^{0,35}} = 26,56 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.6)$$

Řezná rychlost pro maximální výrobnost

$$v_c = \frac{30,8}{0,43^{0,2} \cdot 0,15^{0,35}} = 70,8 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.6)$$

Skutečná řezná rychlost

$$v_c = \frac{\pi \cdot 7,5 \cdot 1960}{1000} = 46,18 \text{ [m.min}^{-1}\text{]} \quad (4.19)$$

5 TECHNICKO – EKONOMICKÉ VYHODNOCENÍ

V této kapitole jsou porovnány vypočítané řezné rychlosti z hlediska minimálních nákladů a řezné rychlosti z hlediska maximální výrobnosti se skutečnou řeznou rychlostí. Při výpočtu teoretických řezných rychlostí byly použity koeficienty jen přibližné, které bylo možno dohledat. Přesné koeficienty pro daný materiál nebylo možné zjistit, protože koeficienty se určují experimentálně a výrobci nástrojů je nikde neuvádí. V katalozích výrobců nástrojů jsou vždy uvedeny jen doporučené řezné rychlosti. Hodnoty koeficientů se ale moc neliší, takže vypočítané některé řezné rychlosti nejsou moc ovlivněny těmito přibližnými koeficienty.

5.1 Vyhodnocení VBD

U všech VBD byly stanoveny výpočtem optimální trvanlivost podle minimálních nákladů a podle maximální výrobnosti. Z důvodu, že nebylo možné dohledat přesné koeficienty a byly použité jen přibližné, byl tímto výsledek ovlivněn. Jak je patrné z výpočtem stanovených hodnot, tak při kritériu minimálních nákladů bylo ovlivnění jen minimální, protože vypočítaná hodnota se blíží realitě. U kritéria maximální výrobnosti bylo ovlivnění zásadnější, protože vypočítaná hodnota neodpovídá úplně realitě. Z těchto vypočítaných hodnot trvanlivosti byla dále vypočítána řezná rychlost.

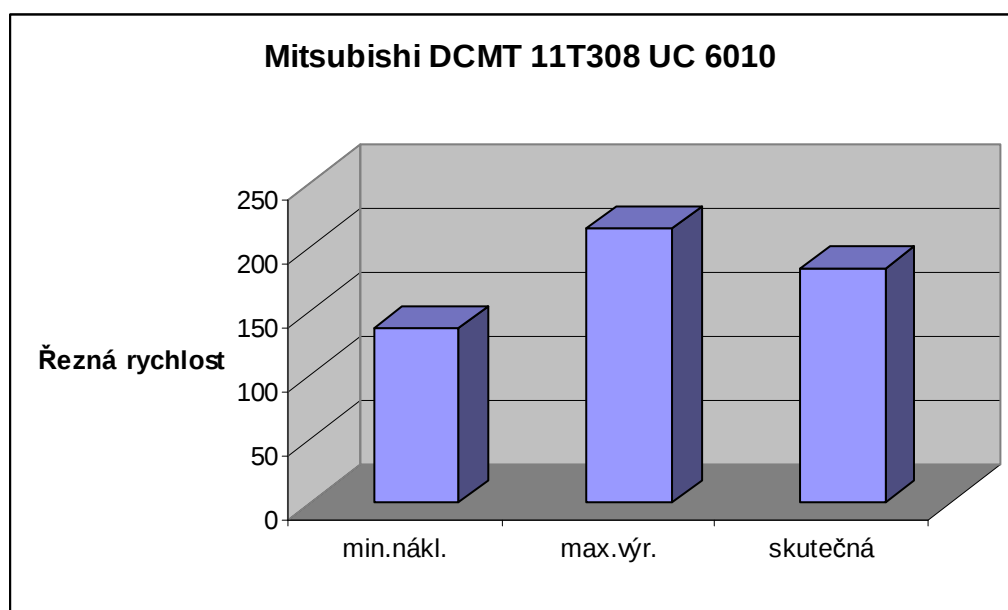
5.1.1 Mitsubishi DCMT 11T308 UC 6010

Při porovnání teoreticky vypočítaných řezných rychlostí v porovnání se skutečnou řeznou rychlostí u VBD Mitsubishi vyplývá, že skutečná řezná rychlost je kompromisem mezi teoreticky vypočítanými hodnotami. Přímé náklady na obrobek jednoho dílce vychází 1,67 Kč za kus. Z hlediska optimální výroby při dosažení optimální trvanlivosti s přihlédnutím k technickým možnostem stroje je skutečně používaná řezná rychlost zvolena optimálně.

V tabulce č. 5.1 jsou uvedeny vypočtené hodnoty, graf č. 5.1 porovnává řezné rychlosti, dle jednotlivých kritérií se skutečnou řeznou rychlostí.

Tab č. 5.1 Vypočtené hodnoty VBD

Čas automatický strojní [min]	Přímé nákl. na obrob. jed. dílce [Kč]	Optimální trvanlivost [min]		Řezná rychlost [m.min ⁻¹]		
		min. náklady	max. výrobnosti	min.nákl.	max.výr.	skutečná
0,385	1.67	14,51	1,51	136	215	184



Graf č. 5.1 Grafické vyhodnocení řezné rychlosti

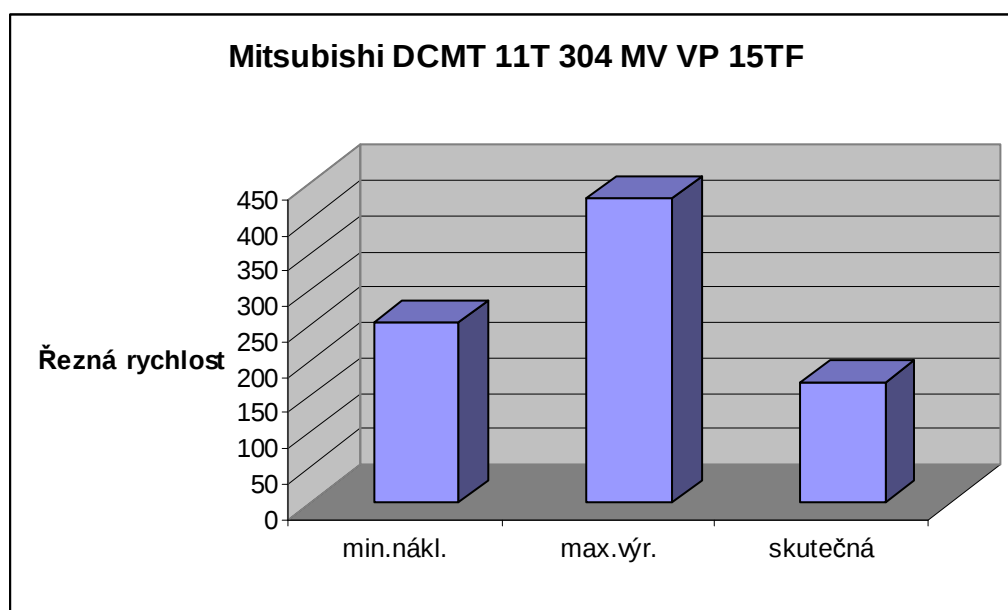
5.1.2 Mitsubishi DCMT 11T 304 MV VP 15TF

Při porovnání teoreticky vypočítaných řezných rychlostí v porovnání se skutečnou řeznou rychlostí vyplývá, že skutečná řezná rychlost je zvolena nižší než je vypočítaná řezná rychlost podle parametru minimálních nákladů. Hodnota skutečné řezné rychlosti neodpovídá teoretickým výpočtům, to je dáno technickými možnostmi obráběcího stroje. Pro optimální řeznou rychlost by musely být otáčky obrobku vyšší než jsou možnosti stroje. Přímé náklady na obrobení jednoho dílce vychází 0,62 Kč za kus.

V tabulce č. 5.2 jsou uvedeny vypočtené hodnoty, graf č. 5.2 porovnává řezné rychlosti, dle jednotlivých kritérií:

Tab č. 5.2 Vypočtené hodnoty VBD

Čas automatický strojní [min]	Přímé nákl. na obrob. jed. dílce [Kč]	Optimální trvanlivost [min]		Řezná rychlost [m.min ⁻¹]		
		min. náklady	max. výrobnosti	min.nákl.	max.výr.	skutečná
0,314	0,62	14,50	1,24	251	411	169,65



Graf č. 5.2 Grafické vyhodnocení řezné rychlosti

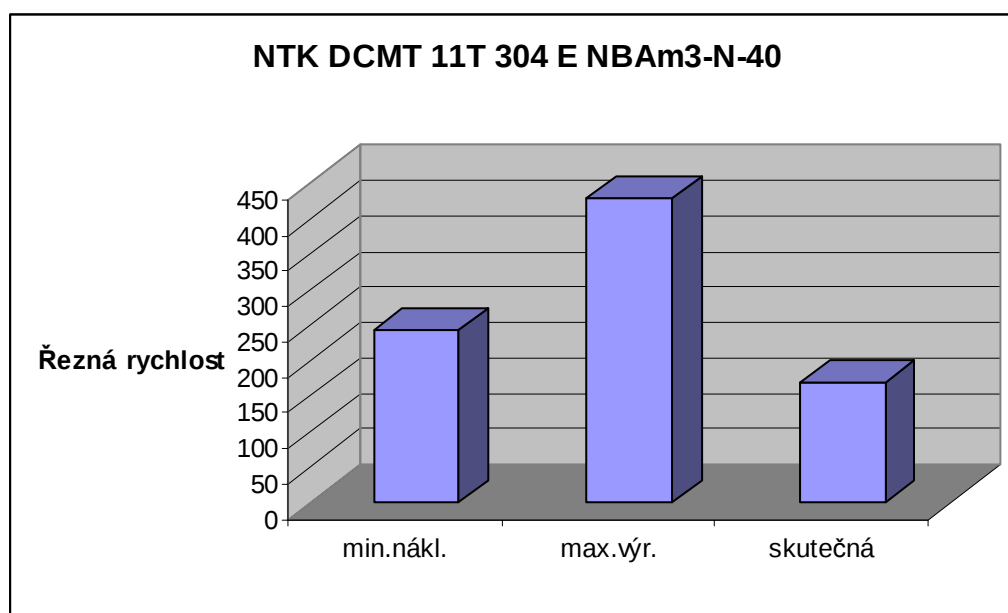
5.1.3 NTK DCMT 11T 304 E NBAm3-N-40

Při porovnání teoreticky vypočítaných řezných rychlostí v porovnání se skutečnou řeznou rychlostí vyplývá, že skutečná řezná rychlost je zvolena nižší než je vypočítaná řezná rychlost podle parametru minimálních nákladů. Hodnota skutečné řezné rychlosti neodpovídá teoretickým výpočtům, to je dáno technickými možnostmi obráběcího stroje. Pro optimální řeznou rychlost by musely být otáčky obrobku vyšší než jsou možnosti stroje. Přímé náklady na obrobení jednoho dílce vychází 2,88 Kč za kus.

V tabulce č. 5.3 jsou uvedeny vypočtené hodnoty, graf č. 5.3 porovnává řezné rychlosti, dle jednotlivých kritérií:

Tab č. 5.3 Vypočtené hodnoty VBD

Čas automatický strojní [min]	Přímé nákl. na obrob. jed. dílce [Kč]	Optimální trvanlivost [min]		Řezná rychlost [m.min ⁻¹]		
		min. náklady	max. výrobnosti	min.nákl.	max.výr.	skutečná
0,314	2,88	18,18	1,24	240	411	169,65



Graf č. 5.3 Grafické vyhodnocení řezné rychlosti

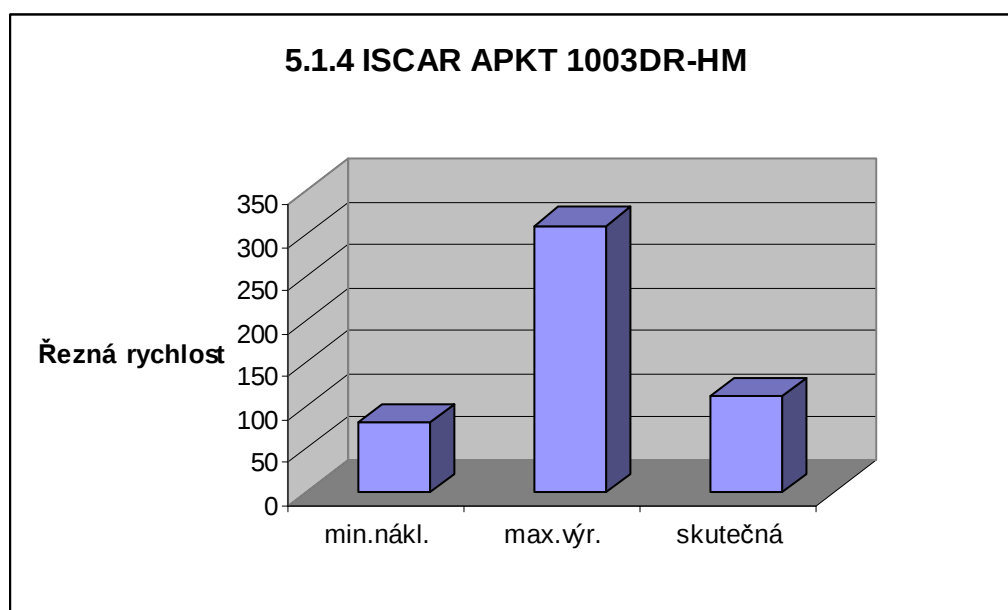
5.1.4 ISCAR APKT 1003DR-HM

Při porovnání teoreticky vypočítaných řezných rychlostí v porovnání se skutečnou řeznou rychlostí vyplývá, že skutečná řezná rychlost se blíží stanovené řezné rychlosti dle minimálních nákladů.. U této VBD zvolené přibližné koeficienty ovlivnily výpočet trvanlivosti a řezné rychlosti dle kritérií maximální výrobnosti zásadně, protože zjištěné hodnoty neodpovídají realitě. Přímé náklady na obrobek jednoho dílce vychází 0,72 Kč za kus.

V tabulce č. 5.4 jsou uvedeny vypočtené hodnoty, graf č. 5.4 porovnává řezné rychlosti, dle jednotlivých kritérií:

Tab č. 5.4 Vypočtené hodnoty VBD

Čas automatický strojní [min]	Přímé nákl. na obrob. jed. dílce [Kč]	Optimální trvanlivost [min]		Řezná rychlost [m.min ⁻¹]		
		min. náklady	max. výrobnosti	min. nákl.	max. výr.	skutečná
0,18	0,72	11,03	0,28	79,80	310	110,58



Graf č. 5.4 Grafické vyhodnocení řezné rychlosti

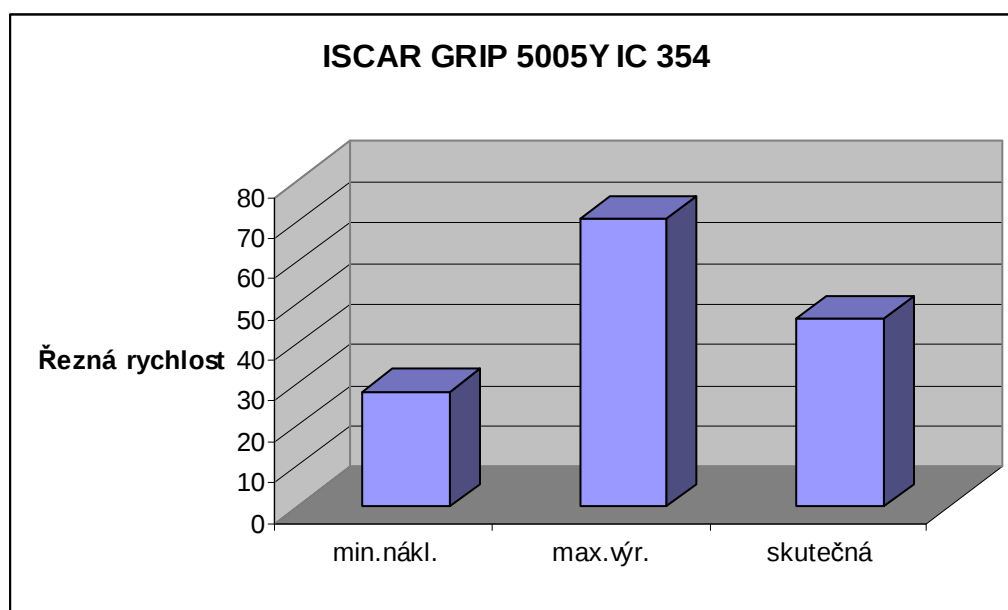
5.1.5 ISCAR GRIP 5005Y IC 354

Při porovnání teoreticky vypočítaných řezných rychlostí v porovnání se skutečnou řeznou rychlostí vyplývá, že skutečná řezná rychlost je kompromisem mezi teoreticky vypočítanými hodnotami. Přímé náklady na obrobení jednoho dílce vychází 2,50 Kč za kus. Z hlediska optimální výroby při dosažení optimální trvanlivosti s přihlédnutím k technickým možnostem stroje je skutečně používaná řezná rychlost zvolena optimálně.

V tabulce č. 5.5 jsou uvedeny vypočtené hodnoty, graf č. 5.5 porovnává řezné rychlosti, dle jednotlivých kritérií:

Tab č. 5.5 Vypočtené hodnoty VBD

Čas automatický strojní [min]	Přímé nákl. na obrob. jed. dílce [Kč]	Optimální trvanlivost [min]		Řezná rychlost [m.min ⁻¹]		
		min. náklady	max. výrobnosti	min.nákl.	max.výr.	skutečná
0,117	2,5	43,20	0,43	28,17	70,8	46,18



Graf č. 5.5 Grafické vyhodnocení řezné rychlosti

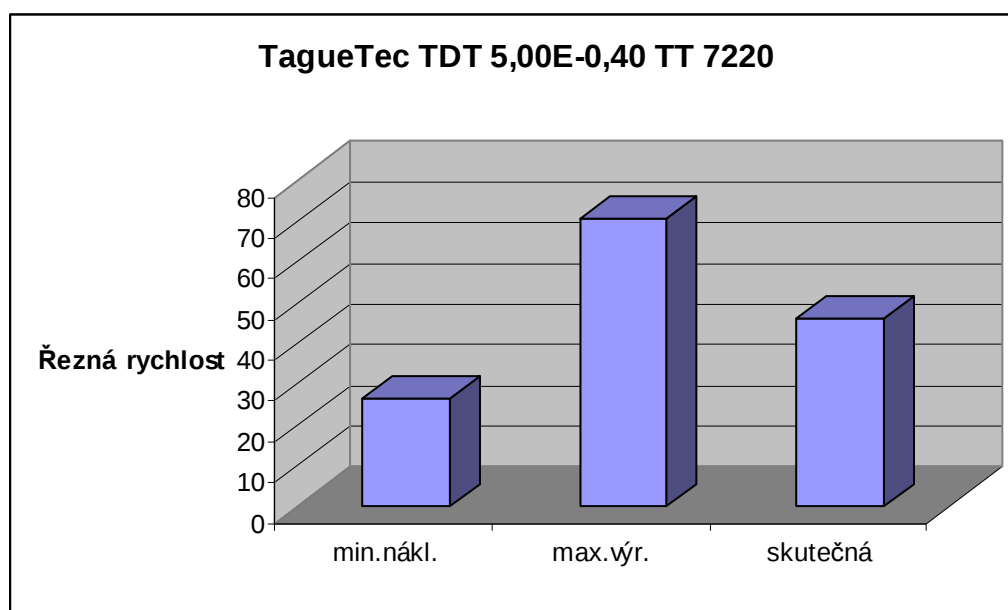
5.1.6 TagueTec TDT 5,00E-0,40 TT 7220

Při porovnání teoreticky vypočítaných řezných rychlostí v porovnání se skutečnou řeznou rychlostí vyplývá, že skutečná řezná rychlost je kompromisem mezi teoreticky vypočítanými hodnotami. Přímé náklady na obrobek jednoho dílce vychází 1,83 Kč za kus. Z hlediska optimální výroby při dosažení optimální trvanlivosti s přihlédnutím k technickým možnostem stroje je skutečně používaná řezná rychlost zvolena optimálně.

V tabulce č. 5.6 jsou uvedeny vypočtené hodnoty, graf č. 5.6 porovnává řezné rychlosti, dle jednotlivých kritérií:

Tab č. 5.6 Vypočtené hodnoty VBD

Čas automatický strojní [min]	Přímé nákl. na obrob. jed. dílce [Kč]	Optimální trvanlivost [.min]		Řezná rychlost [m.min ⁻¹]		
		min. náklady	max. výrobnosti	min.nákl.	max.výr.	skutečná
0,117	1,83	58,02	0,43	26,56	70,80	46,18



Graf č. 5.6 Grafické vyhodnocení řezné rychlosti

ZÁVĚR

V současné době existuje celá řada výrobců řezných nástrojů pokrývajících veškeré způsoby obrábění. Tito výrobci také nabízejí nástroje z různých materiálů (karbidy, cermenty atd.). Problematika opotřebení nástrojů je proto velmi obsáhlá a není možné zhodnotit všechny používané řezné nástroje v jedné diplomové práci. Tato práce na téma „Řezné nástroje při výrobě zbraňových součástí“ je zaměřena na obrábění polotovarů pomocí VBD a následně zhodnocení jejich opotřebení.

V první části jsou popsány způsoby obrobení polotovarů pro výrobu úderníku a závěru malorážkové zbraně na stroji CNC INDEX G 200. Pokračuje seznámení s vybranými výrobcí VBD, jejichž řezné nástroje jsou na výrobu dílů v našem případě použity. Dále je obecné seznámení s problematikou opotřebení VBD. Je zde popsán vznik opotřebení, formy opotřebení, druhy opotřebení. Stěžejní částí diplomové práce je provedení experimentu s VBD světových výrobců. Experiment byl zaměřen na zjištění a posouzení opotřebení při výrobě zbraňových součástí a řezných podmínek při obrábění. V praktické části experimentálního vyhodnocení jsou popsány parametry VBD, popis operace („co VBD obrábí“, řezné podmínky,..), dále je zde vyhodnoceno otupení včetně doložení druhu opotřebení fotkami. VBD byly foceny pod světelným stereomikroskopem Olympus SZ6045 TR. Aby bylo možné VBD vyhodnotit technicky tak i ekonomicky bylo provedeno statistické vyhodnocení. Jsou zde provedeny výpočty statistické k určení průměrného počtu dílců obrobených mezi jednotlivými výměnami. Dále jsou zde provedeny výpočty k určení přímých nákladů na obrobení jednoho dílce, určení optimální trvanlivosti hlediska minimálních nákladů a z hlediska maximální výrobnosti. Z takto určených trvanlivostí se dále určila optimální řezná rychlost. V poslední kapitole technicko – ekonomické vyhodnocení se porovnaly optimální řezné rychlosti stanovené výpočtem se skutečnou řeznou rychlostí. Při stanovování optimální řezné rychlosti byly použity koeficienty jen přibližné, protože nebylo možné dohledat přesné koeficienty z důvodů, že je výrobci neuvádí. Jak ukázaly výpočty, tak u trvanlivosti a řezné rychlosti určených podle minimálních nákladů, tyto přibližné koeficienty výpočet zásadně neovlivnily. U trvanlivosti a řezné rychlosti určené podle maximální výrobnosti, tyto přibližné koeficienty výpočet asi ovlivnily zásadně, protože vypočítané hodnoty neodpovídají úplně realitě. Při porovnání stanovených řezných rychlostí a skutečné řezné rychlosti, bylo zjištěno, že skutečná řezná rychlost je stanovena optimálně, jen i dvou VBD je skutečná řezná rychlost menší, z důvodů technických možností stroje.

Závěrem lze konstatovat, že všechny použité řezné nástroje vybrané k hodnocení jsou celkem na stejné úrovni jak z hlediska opotřebení tak z hlediska trvanlivosti.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ s.r.o. *Příručka obrábění – Kniha pro praktiky*. Přel. M. Kudela. 1. vyd. Praha: Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cuttig – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
2. KOČMAN,K. A PROKOP,J. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2001.207 s.ISBN 80-214-1996-2
3. KOČMAN,K. *Speciální technologie. Obrábění*. 2004 228 s 1 vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM ISBN 80-214-2565-8
4. FOREJT,M. PÍŠKA,M. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 2006 226 s 1. vyd. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o. Brno
5. HUMÁR,A. *Technologie I – Základní metody obrábění – 1. část. Interaktivní multimediální text pro magisterskou formu studia*. VUT-FSI v Brně, ÚST, Odbor technologie obrábění. 2004. [online]. Dostupné na World Wide Web:
6. CHLADIL,J. MOUKA,E *Teorie obrábění*. Učební texty vysokých škol, VUT Brno ,Fakulta strojní, Ediční středisko VUT Brno 193 s 80-214 1008-6.
7. KARPÍŠEK,Z. *MATEMATIKA IV, Statistika a pravděpodobnost*, vyd. VUT v Brně FSI, nakl. AKADEMICKÉ NAKLADATELSTVÍ CERM, s.r.o. Brno, prosinec 2003, 2.dopl.vydání, s 170, ISBN 80 214 2522 9
8. INDEX G200, manuál, 1995, INDEX-Werke GmbH & Co. KG Hahn & Tessky
9. ISCAR ČR, s.r.o., Domovské stránky, Headquarters., [online], [cit. 2010-07-15] Dostupné z www:
<<http://www.iscar.cz/Section.asp/CountyID/6/SectionID/784/SectionFatherID/143>>
- 10.ISCAR ČR, s.r.o., Elektronický katalog, [online], [cit. 2010-07-15] Dostupné z www:
<<http://www.iscar.com/ecat/open.asp/lang/EN/ECommerce/N/GFSTYP/M/Multlang/Y/>>
11. TagueTec ČR s.r.o. – TagueTec Ltd, [online], [cit. 2010-07-15] Dostupné z www: <<http://www.tageutec.cz/index.php?s=11>>
12. TagueTec ČR s.r.o. – TagueTec Ltd, katalog [online], [cit. 2010-07-15] Dostupné z www:
<http://www.tageutec.cz/katalogy/katalog_TageuTec_Top.pdf>

13. MCN CZ, s.r.o, [online], [cit. 2010-07-15], Dostupné z www:
<<http://www.mcncz.cz.jp/corporate/history.html>>
14. Mitsubishi materials corporation, Elektronický katalog, [online], [cit. 2010-07-15], Dostupné z www:
<http://www.mitsubishicarbide.com/EU/West/product/pdf/catalog_uk_dri-ting.p>
15. F.I.S.M. – produktivní nástroje s.r.o. Liberec, [online], [cit. 2010-07-15]
Dostupné z www: <<http://fism.cz/o-nas.html>>
16. NTK Cutting Tools, Katalog, [online], [cit. 2010-07-15] Dostupné z www:
<http://www.ntkcuttingtools.com/catalog/pdf/NTK-General_PVDcarbice.pdf>
17. NTK Cutting Tools, [online], [cit. 2010-07-15], Dostupné z www:
<<http://www.ngkntk.co.jp/englisch/index.html/company/develop.html>>

SEZNAM POUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

Zkratka/Symbol	Jednotka	Popis
A	[Kč.kus ⁻¹]	přímé náklady na obrobení 1 kusu
B	[Kč.hod ⁻¹]	náklady na použití jednoho břitu
C _T	[-]	konstanta
C _V	[-]	konstanta
C _{V1}	[-]	konstanta
C _{VT}	[-]	konstanta
E	[Kč.hod ⁻¹]	náklady na 1 hodinu práce
KT	[-]	hloubka výmolu na čele
KT _y	[-]	radiální opotřebení špičky
L	[mm]	dráha nástroje ve směru posuvu
Q	[ks]	Počet dílců obrobených mezi výměnami nástroje
T _i	[min]	jednotlivé trvanlivosti
T _{pot1}	[mm]	optimální trvanlivost z hlediska minimálních nákladů
T _{pot2}	[mm]	optimální trvanlivost pro maximální výrobnost
VB	[mm]	opotřebení, šířka fazetky opotřebení na hřbetě
a _p	[mm]	šířka záběru ostří
d	[mm]	průměr
f	[mm]	posuv na otáčku
l	[mm]	délka obráběné plochy
l _n	[mm]	délka náběhu
l _p	[mm]	délka přeběhu
m	[-]	exponent
n		rozsah statistického souboru
n	[min ⁻¹]	otáčky obrobku
n ₁	[min ⁻¹]	otáčky vřetene stroje (min.náklady./výr.kusu)
n ₂	[min ⁻¹]	otáčky stroje (max. výrobnost stroje)
q	[-]	počet použitelných ostří destičky
s	[-]	směrodatná odchylka
s ²	[-]	rozptyl
t	[min]	čas
t ₁₁	[min]	součet vedlejších časů
t _{AS}	[min]	čas automatický strojní
t _{AS}	[min]	jednotkový strojní čas
t _{AX}	[min]	čas na výměnu a seřízení stroje
v	[-]	variační koeficient
v _c	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
v _{cT}	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost při konstantní trvanlivosti

v_f	$m \cdot min^{-1}$	posuvová rychlost
x	$[-]$	počet možných ostří nástroje
$\bar{x}$	$[-]$	aritmetický průměr
x_i	$[-]$	pozorovaná hodnota znaku X u i -té statistické jednotky
x_v	$[-]$	exponent, vyjadřující vliv hloubky řezu
y_v	$[-]$	exponent, vyjadřující vliv posuvu na otáčku
λ	$[-]$	poměr délek

SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Tab. č.1 Číselné hodnoty konstant C_{VT} a exponentů x_v a y_v při soustružení [6]
- Příloha 2 Tab. č.2 Hodnoty konstant a exponentů pro výpočet řezné rychlosti při frézování frézami ze SK [3]

Příloha 1

Tab. č.1 Číselné hodnoty konstant C_{VT} a exponentů x_v a y_v při soustružení [6]

Materiál nástroje	Obráběný materiál	Způsob práce	C_{VT}	x_v	y_v
RQ 19 800	Uhlíková ocel = 750 MPa	Podélné soustr.s chlazením			
		Poločistě $s \leq 0,25$	49,5	0,25	0,33
		Hrubování $s > 0,25$	31,6	0,25	0,66
		Tvarové soustr. s chlazením	5,4	-	0,50
		Zápich.a upichování s chlaz.	5,77	-	0,06
	Kujná litina HB = 150	Podélné soustr. s chlazením			
		Poločistě $s \leq 0,25$	65,0	0,20	0,25
		Hrubování $s > 0,25$	46,0	0,20	0,50
		Zápich.a upichování s chlaz.	13,4	-	0,50
	Šedá litina HB = 190	Podélné soustr. s chlazením			
		Poločistě	24,7	0,15	0,40
		Hrubování	33,6	0,15	0,40
SK P10 (N.10)	Uhlíková ocel Ocelolitina =750 MPa HB = 215	Zápich.a upichování bez chl.	9,8	-	0,40
		Podélné soustr. bez chlaz.			
		Poločistě $s \leq 0,3$	170,0	0,18	0,30
		Hrubování $s > 0,3$	141,5	0,18	0,35
	Šedá litina HB = 190	Zapichování a upichování bez chlazení	18,0	-	0,40
SK K 30	Šedá litina HB = 190	Podél.soustr.bez chlazení			
		Poločistě $s \leq 0,4$	77,4	0,13	0,20
		Hrubování $s > 0,4$	63,5	0,20	0,40

Příloha 2

Tab. č.2 Hodnoty konstant a exponentů pro výpočet řezné rychlosti při frézování frézami ze SK [3]

Druh frézy	Obráběný materiál	f_z [mm]	C_{ve}	x_D	x_e	y_v	x_v	x_z	m^{-1}
Válcové	ocel pevnosti 750 MPa	< 0,15 > 0,15	570 500	0,17	0,19 0,38	0,28	0,05 0,08	0,1	0,33
	šedá litina	< 0,2 > 0,2	1050 670	0,37	0,13 0,4	0,19 0,47	0,23	0,14	0,42
Stopkové	uhlíková ocel		145	0,44	0,24	0,26	0,1	0,13	0,37
	Cr-Ni ocel		200	0,65	0,32	0,28	0,18	0,23	0,5
Čelní	ocel pevnosti 750 MPa		350	0,02	0,1	0,4	0,2	0	0,2
	šedá litina		530	0,2	0,15	0,35	0,2	0	0,32
	temperovaná litina	< 0,18 > 0,18	825 580	0,22	0,17	0,1 0,32	0,22	0	0,33
Kotoučové	ocel pevnosti 750 MPa	< 0,12 > 0,12	1340 740	0,2	0,3	0,12 0,4	0,1	0	0,35
	šedá litina	< 0,2 > 0,2	1180 750	0,37	0,4	0,19 0,47	0,23	0,14	0,42