VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

Analýza řezivosti povlakovaných závitníků

On the cutting performance of coated taps

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

Kateřina BRILLOVÁ

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc.

BRNO 2015

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Mgr. Kateřina Brillová, Ph.D.

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

obor: **Strojírenská technologie (2303R002)**

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

Analýza řezivosti povlakovaných závitníků

v anglickém jazyce:

On the cutting performance of coated taps

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Analýza moderních trendů v konstrukci závitníků a materiálů pro jejich výrobu, řezných vlastností.

Cíle bakalářské práce:

Úvod.
Teoretický rozbor problému.
Analýza vybraných řezných zkoušek.
Diskuze.
Závěry.

Seznam odborné literatury:

HUMÁR, Anton. Materiály pro řezné nástroje. Praha. MM publishing s. r.o. 2008. ISBN 978-80-254-2250-2.
Schrader, G.F.,Elshennawy A.K., Doyle, L.E. Manufacturing processes and materials. [cit. 20. listopadu 2011]. Dostupné na World WideWeb: <http://books.google.cz/books?id=Nz2wXvmkAF0C&pg=PT214&dq=metal+casting+materials+isbn&hl=cs&ei=bnLJTsD1MIr1sgbtoejqBg&sa=X&oi=book_result&ct=result&
BARÁNEK, I., ŠANDORA, J.: Výroba vybraných súčiastok špeciálnej techniky. TnUAD, Trenčín, 2004 s. 212, ISBN 80-8075-013-0.
DLOUHY, M. Technologie obráběni vnějších závitů: Bakalářská práce.Brno: Vysoké učeni technické v Brně, Fakulta strojniho inženyrstvi, 2008.32 s. Vedouci bakalařské práce doc. Ing. Jaroslav Prokop, CSc.
Dornfeld David, Lee Dae-Eun. Precision Manufacturing. Berkeley, California, 2008.
ISBN 978-0-387-32467-8. [cit. 20. listopadu 2011]. Dostupné na World WideWeb: <http://www.scribd.com/doc/47415310/Precision-Manufacturing-2008-Edition>
DeGarmo, P.E., Black, J.T., Kohser, R.A. Materials and Processes in Manufacturing. John Wiley and Sons. 2012. 11th edition. 1184 s. ISBN-13 978-0-470-92467-9.
TLUSTY, J. Manufacturing Process and Equipment. 1st edition. Prentice Hall, 1999. 928 s. ISBN 10-0201498650.
FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno. Akademické nakladatel-ství CERM s.r.o., 2006. ISBN 80-214-2374-9.
LEEP H.R. and ELDRIDGET.W. Effects of Cutting Conditions on Drilling of Aluminum 380. JMEPEG (1992) ASM International, pp.797-800
PÍŠKA, M, a kol. Speciální technologie obrábění. Učební text pro FSI, ISBN 978-80-214-4025-8, CERM, Brno, 2009, s. 248
Machininig Aluminium [online]. Dostupné na: http://www.sapagroup.com/pages/522511/Answer%20Book/05_Machining.pdf [cit. 18.11.2012]

Vedoucí bakalářské práce: prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2014/2015.

V Brně, dne 9.7.2014

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc. Ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. Děkan fakulty

ABSTRAKT

V této práci se zabývám charakteristikou nástrojů, geometrií závitníků, povlakováním závitníků a jejich řeznými vlastnostmi. Zaměřím se na nejnovější trendy u komerčně vyráběných závitníků a hodnocení parametrů řezivosti

Klíčová slova

závitník, řezivost, povlakování, PVD, analýza

ABSTRACT

This work deals with the characteristics of taps, taps geometry, taps coating and tapping properties. The focus is on the latest trends in commercially produced taps and evaluation of cutting parameters.

Key words

taps, cutting, coating, PVD, analysis

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BRILLOVÁ, Kateřina. *Analýza řezivosti povlakovaných závitníků.* Brno 2015. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. 60 s. 8 příloh. Vedoucí bakalářské práce prof. Ing. Miroslav PÍŠKA, CSc..

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma **Analýza řezivosti povlakovaných závitníků** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum

Kateřina Brillová

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto prof. Ing. Miroslavovi PÍŠKOVI, CSc. za cenné připomínky, rady a trpělivost při vypracování bakalářské práce.

OBSAH

ABSTRAKT 4
PROHLÁŠENÍ 5
PODĚKOVÁNÍ 6
OBSAH 7
ÚVOD 9
1 Závitníky 10
1.1 Typy závitníků 10
1.2 Konstrukce normovaných závitníků 11
1.2.1 Materiály normovaných závitníků 18
1.3 Výroba rychlořezné oceli 19
1.3.1 Tepelné opracovaní závitníků 21
1.4 Povlakování 22
1.4.1 Volba povlaku 24
1.4.2 Řezivost nástroje 26
1.5 Opotřebení nástroje 29
1.6 Parametry opotřebení nástroje 31
1.7 Metody měření opotřebení nástroje 34
1.7.1 Přímé metody: 34
1.7.2 Nepřímé metody (kontinuální): 35
2 Analýza povlakovaných závitníků 36
2.1 Hodnocení závitníku povlakovaného TiCN/TiN 37
2.2 Hodnocení závitníku povlakovaného TiN 41
3 Materiály pro závitníky a jejich povlaky od jednotlivých výrobců 44
3.1 Závitníky firmy Guhring 44
3.2 Závitníky firmy Walter 45
3.3 Závitníky firmy Fraisa 46
3.4 Závitníky firmy Narex 47
3.5 Závitníky firmy Bučovice tools 47
3.6 Závitníky na našem trhu 48
4 Nové trendy v závitování 50
4.1 Walter - Prototex Eco HT a Paradur Eco Plus 50
4.2 Fraisa - s-tap 50
4.3 Fraisa - na míru 51
4.4 Lmt - měnitelné Xchange 51

4.5 Emuge – speciální závitníky 53
4.6 Guhring - Series #3954 (UNC TiN) 53
4.7 Fette - IQ Plus 53
4.8 Bučovice tools – kombinovaný závitník 54
5 Závěr 55
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 56
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 58
SEZNAM PŘÍLOH 60

ÚVOD

Závit je významným konstrukčně - technologickým prvkem ve strojírenské praxi. Jeho funkce je nejen spojovací, ale i pohybová.

Při jeho výrobě je potřeba dodržet přesné toleranční rozměry. Proto musí být kladen i velký důraz na kvalitní nástroje, které požadované parametry zabezpečí.

Při výrobě závitů musí být zohledněna přesnost a efektivita výroby. To vede k stálé inovaci matriálů, povlaků a geometrií závitníků.

Tato práce se zabývá charakteristikou nástrojů, geometrií závitníků a řeznými vlastnostmi. Je zaměřena na hodnocení parametrů řezivosti a na nejnovější trendy v komerčně vyráběných závitnících.

1 ZÁVITNÍKY

Závitníky jsou mnohabřité nástroje, které se při práci otáčejí kolem své osy a ve směru osy se posouvají. Postupným odebíráním třísek vyřezávají závity předepsaného profilu a rozměrů [6].

1.1 Typy závitníků

Závitníky lze roztřídit podle použití na závitníky:

- strojní,
- ruční,
- maticové.

Podle způsobu výroby závitové části:

- nebroušené,
- broušené.

Podle způsobu upínání rozšiřujeme:

- závitníky s válcovou stopkou,
- závitníky nástrčné.

Podle průběhu drážek dělíme závitníky na:

- závitníky s průběžnými drážkami přímými,
- závitníky s průběžnými drážkami šroubovými,
- závitníky s neprůběžnými drážkami.

Podle smyslu stoupání závitu jsou závitníky pro závit

- pravý,
- levý.

Podle způsobu řezání závitu dělíme závitníky na:

- sadové
- jednočlenné.

Podle délky řezného kužele dále rozlišujeme jednočlenné závitníky:

- s dlouhým
- se střední délkou
- s krátkým řezným kuželem.

Podle provedení řezného kužele a vodící části jsou závitníky:

- s řezným kuželem vytvořeným zbroušením závitové části v délce řezného kužele,

A dále jen na zvláštní objednávku mohou být

- závitníky s úplným profilem na řezném kuželu,
- jednočlenné s upraveným řezným kuželem,
- jednočlenné s periodicky vynechanými zuby na vodící části.[6]

Všechny tyto závitníky mohou mít navíc buď:

- lamač třísky, nebo
- drážku pro mazání.

Dále závitníky mohou mít jeden ze středících prvků:

- vnitřní středící důlek,
- vnější středící hrot,
- vnější vystředění s osazeným hrotem.

Za samostatnou skupinu závitníků můžeme považovat závitníky:

- s vynechanými zuby,
- stupňovitý závitník,
- závitník s válcovou vodící částí.[7]

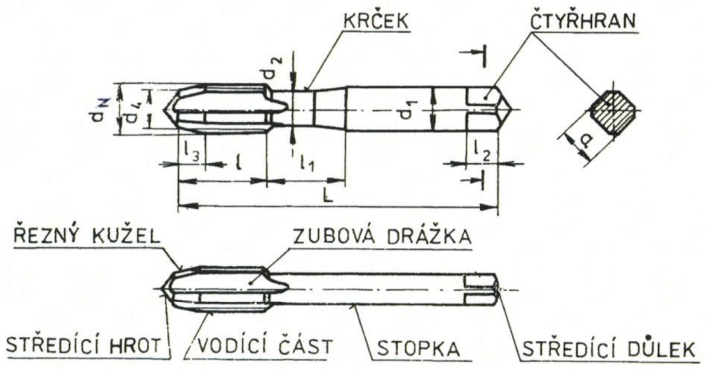
Závitníky mohou být vybaveny chlazením viz. Obr.1:

- vnějšími kanálky,
- vnitřními trubicemi.

Obr. 1. Geometrie chlazení kanálkového vnějšího a trubicového vnitřního [8].

1.2 Konstrukce normovaných závitníků

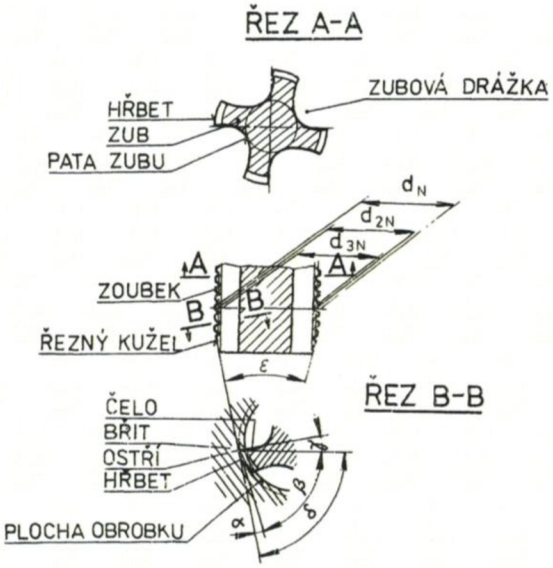
Závitník se skládá ze stopky s čtyřhranem, krčku a funkční části se zubovou mezerou. Funkční část obvykle začíná středícím hrotem, pokračuje řezným kuželem a končí vodící částí viz obr. 2[6].



Obr. 2 Konstrukce závitníku [6].

Zub, který odebírá třísku a tvoří tak vlastní proces řezání, je složen z hřbetu a paty zubu (obr. 3).

Jednotlivé úhly geometrie nástroje přesně nejsou stanoveny normou[6].



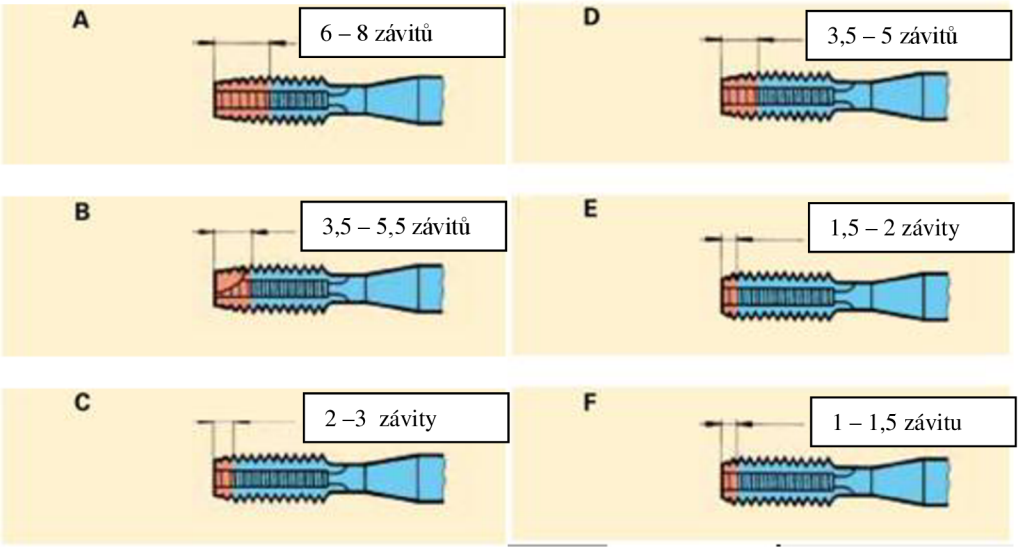
Obr. 3 Geometrie závitníku: úhel hřbetu α, úhel břitu β, úhel čela γ, úhel řezu δ, úhel řezného kužele ε, [6].

Avšak dle normy ČSN 22 3001 musí celková geometrie břitu a provedení závitníků zaručovat plynulost při řezání závitu.

Přesto, nebo právě proto, například závitníky s neprůběžnými drážkami mají určenu doporučenou délku řezného kužele *V* (4 stoupání u základní řady a 6 stoupání u závitníků s jemným stoupáním). Závitníky se šroubovými drážkami do velikosti závitu M12 mají doporučenou délku 2 až 3 stoupání. Přes M12 a pro závity s jemným stoupáním je doporučena délka kužele 3 až 4 stoupání viz Tabulka1 a Obr. 4 [6].

Tab. 1 Počty stoupání dle délky řezného kužele [8].

délka řezného kužele	**počet stoupání ČSN 22 3001**	**počet stoupání DIN 2197**
A	8	6-8
B	4	3,5-5,5
C	2	2-3
D	-	3,5-5
E	-	1,5-2
F	-	1-1,5



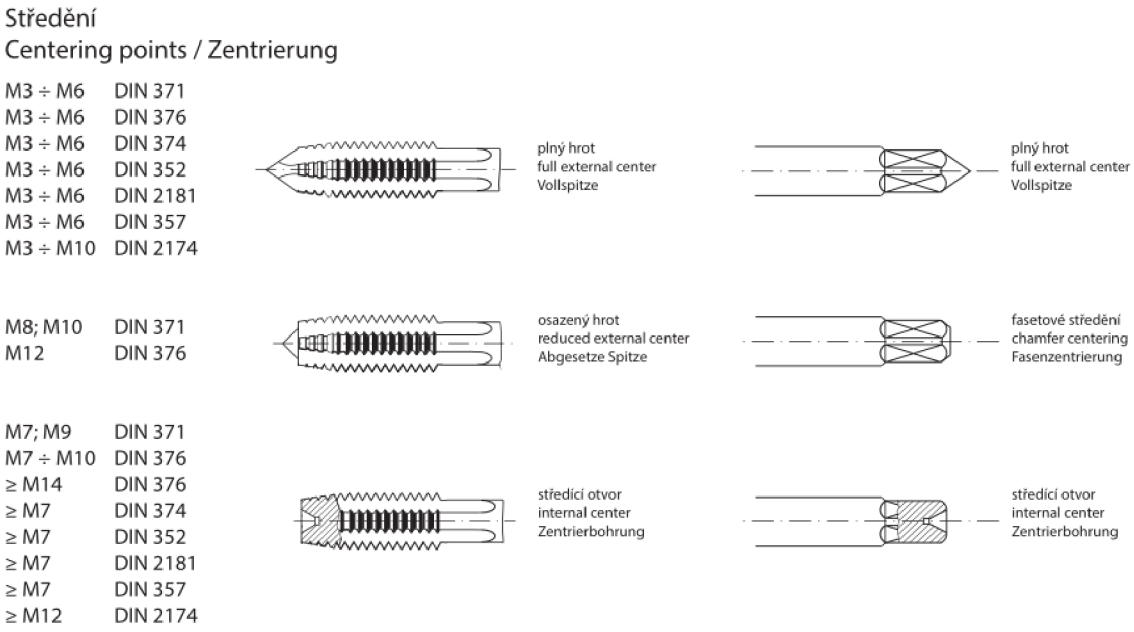
Obr. 4 Délky řezných kuželů a jejich značení [8].

Řezné kužely mají tedy určenu délku, a podle té lze strojní závitníky rozdělit.

Vhodnost jednotlivých délek řezného kužele je dána požadavky výroby.

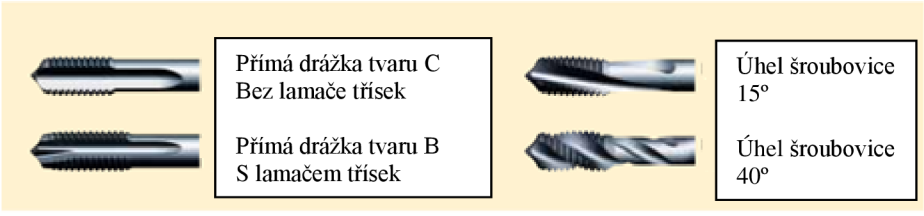
- Typ A - dlouhý, je vhodný pro krátké průchozí otvory.
- Typ B – střední, s lamačem třísky je vhodný pro všechny typy otvorů v matriálech s dlouhou třískou a střední třískou.
- Typ C – krátký, je vhodný pro slepé otvory a to především pro materiály hliníkové, mosazné a pro šedé litiny.
- Typ D – střední, je vhodný pro krátké průchozí i slepé otvory.
- Typ E – velmi krátký, je vhodný pro slepé otvory s krátkým výběhem, jeho použití se nedoporučuje.
- Typ F – velmi krátký, je vhodný pro slepé otvory s krátkým výběhem, jeho použití se taktéž nedoporučuje[8].

Dalšími prvky doporučenými normou jsou středicí důlky nebo hroty, a nebo středící otvory. Doporučené užití je pro malé závitníky do velikosti M10. Hroty závitníků mají vrcholový úhel 90º a nebo do velikosti velkého závitu d_N=6 mm, vrcholový úhel 60º (při zachování celkové délky závitníku)[6]. Přehled středících závitníků je i s příslušnými normami uveden na Obr. 5.



Obr. 5 Středění závitníků [9].

Charakteristickým znakem určující užití závitníku je drážka, kterou je odváděna tříska. Základní typy jsou zobrazeny na Obr. 6 a v Tabulce 2.



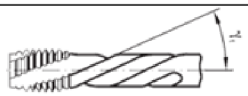
Obr. 6 Tvary drážek závitníků [8].

Závitníky s drážkou v šroubovici se používají pro materiály, které tvoří dlouhou třísku. Směr šroubovice určuje odvod třísky. Pravotočivá šroubovice odvádí třísku ke stopce, levotočivá dopravuje třísku dopředu ve směru posuvu. Čím houževnatější nebo čím delší třísku tvoří obráběný materiál, tím větší je požadovaný úhel šroubovice. Čím větří je úhel

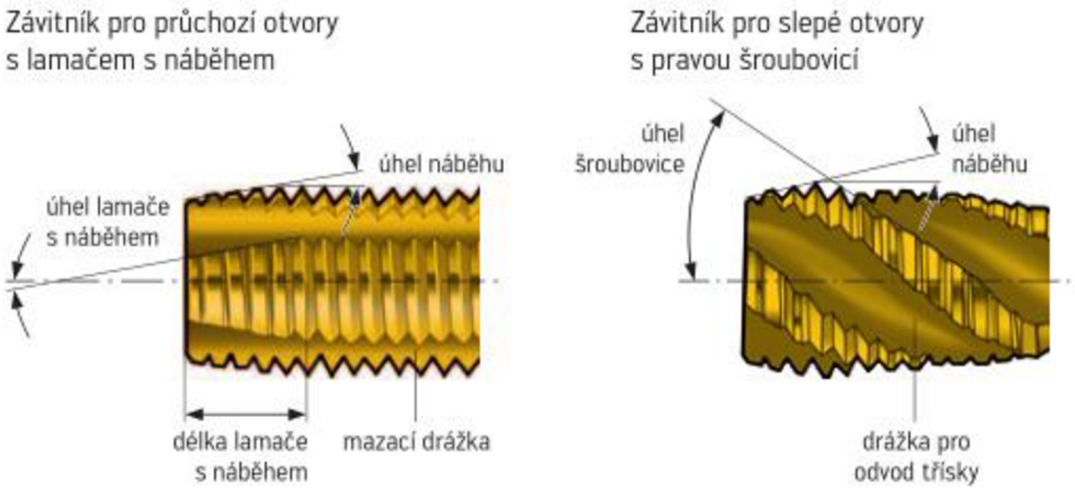
šroubovice, tím je nižší stabilita nástroje (břitů), maximální řezný moment a zkracuje se životnost nástroje.

Závitníky s přímou drážkou neodvádějí třísku z místa řezu, a proto jsou vhodné pro krátké závity, nebo pro materiály tvořící krátkou třísku. Mají vyšší životnost než závitníky s drážkou ve šroubovici. [10]

Tab. 2 Tvary drážek závitníků a tvary řezného kužele [9].

Zkratka	Úhel šroubovice Min	Max	Směr šroubové drážky	Obrázek	Tvar řezného kužele
L15	-10º	-20º	Levá šroubová drážka		**D**
-	-	-	Přímá Drážka		**A, C, D, E**
			Přímá drážka s lamačem		**B**
R15	-10º	-20º	Pravá šroubová drážka		**C, E**
R25	-20º	-20º			
R35	-20º	-20º			
R45	-20º	-20º			

Závitníky s přímou drážkou mohou vybaveny s lamačem a náběhem, ty odvádějí třísku ve směru posuvu jako závitníky s levotočivou šroubovicí. Úhel lamače s náběhem je omezený délkou náběhu a počtem drážek. Čím větší je úhel lamače s náběhem, tím menší je šířka řezacího zubu v prvním závitu řezného kužele a tím horší je stabilita břitu. Vyšší úhel lamače však umožňuje lepší odvod třísky. [10]



Obr. 7 Ukázka jednotlivých geometrií závitníků [10].

Při konstrukci a volbě závitníku je potřeba brát v úvahu zda budeme řezat závit v průchozím či neprůchozím otvoru. Závitníky pro průchozí otvory mají řezné kužel až třikrát delší než závitníky pro slepé otvory. Dlouhý řezný kužel zvyšuje životnost nástroje, snižuje průřez třísky, umožňuje vyšší krouticí moment, a nezatěžuje náběhové zuby. Krátké řezný úhel naopak snižuje životnost nástroje, zvyšuje průřez třísky, zatěžuje náběhové zuby, avšak optimalizuje odvod třísky. [10]

Velikost podbroušení řezného kužele je závislá od obráběného materiálu, a musí být s ním sladěna. Ovlivněna je stálost rozměrů řezaného závitu. Materiály s vyšší pevností a materiály se sklonem ke svírání přímo vyžadují podbroušení řezného kužele.

Všeobecně platí pro úhel hřbetu řezného kužele rozsah $\alpha_p = 1°$ až $5°$.

Úhel hřbetu řezného kužele je měřený na poloviční délce řezného kužele. [9]

Materiály s vyšší pevností dále vyžadují malý úhel čela. Ten zvyšuje stabilitu řezných hran, avšak vytváří horší povrch na obrobku. Dále pak zvyšuje sklon ke stlačování materiálu a vytváří tak mírně užší závity.

Vliv jednotlivých geometrických úprav na řezný proces je pro vybrané druhy shrnut v Tabulce 3.

Tab. 3: Vliv jednotlivých úprav na řezný proces [8].

Modifikace

	Negativní fazetka (Secur Fase)	Zkrácený náběh	Redukovaná šroubovice v náběhu	Závit zkosený	Čelo bez povlaku
Tvorba třísky	tříska se kroutí v menším průměru, kratší tříska	tříska se kroutí v menším průměru, méně třísky	tříska se kroutí v menším průměru, kratší tříska	beze změny	třísky se kroutí v menším průměru, kratší tříska
Životnost	↗	↘	nepovlakované: ↘ povlakované: ↗	↗	↘
Kvalita závitu	↘	↘	nepovlakované: ↓ povlakované: →	→	↘
Tloušťka třísky	→	↗	→	→	→
Krouticí moment	↗	↘	↘	↘	→
Příklad použití	vyhnutí se namotávání třísky v konstrukčních ocelích jako St52, C45 atd.	závit téměř až ke dnu otvoru, zlepšené lámání třísky	optimalizace tvorby třísky v ocelích a hliníku	problémy s vylamováním nebo navařováním ve vodicí části	optimalizace tvorby třísky v ocelích, obrábění klikových hřídelí
Standardní nástroje s odpovídající modifikací	Paradur® Secur Paradur® HSC Prototex® HSC	všechny nástroje s tvarem náběhu E/F	Paradur® Ni 10 Paradur® HSC	Paradur® Eco Plus Paradur® X-pert M Paradur® Synchrospeed	všechny nepovlakované nástroje a Paradur® Synchrospeed (TiN-vap)

↗ roste → zůstává bez změny ↘ klesá ↓ klesá výrazně

Doporučená volba geometrie podle materiálu obrobku dle Emuge (firemní značení) [11]

STEEL – pro ocele. Geometrie vhodná pro řezání závitů na všech strojích. S povrchovou úpravou povlakováním dosahuje zvýšené životnosti a řezivosti.

VA – pro ocele a nerezové ocele. Pro obrábění materiálů tvořící dlouhou třísku, která musí být transportována v axiálním směru, abychom se vyhnuli pěchování třísky. Zvětšený úhel podbroušení boků redukuje tření a tím minimalizuje možnost svařování za studena.

GG – pro litiny. Protože litina působí na nástroj jako brusivo, je vždy závitník povlakován. Navíc je upraven malým úhlem čela, a přímými drážkami na odvod drobivých třísek.

GJV – pro litinu s červíčkovým grafitem. Přizpůsobená geometrie a navýšený počet drážek zvyšuje u těchto brusných materiálů (červíčkový grafit nebo běžná litina) životnost.

AL – pro hliníkové slitiny tepelně upravené. Velký úhel čela a menším množstvím drážek zajišťují dostatečný prostor pro odvod dlouhé třísky v axiálním směru.

GAL – pro lité hliníkové slitiny. Všechny závitníky musí být povlakovány, aby nedošlo k odbroušení materiálu nástroje. Navíc je zde nutnost přívodu chladicí kapaliny.

MS – pro mosaz. Ta tvoří krátkou třísku, a proto jsou tyto závitníky s malým úhlem čela, a přímou drážkou.

MG – pro slitiny hořčíku. Speciální geometrie a povlaková vrstva bránící tření umožňuje použití nástroje pro suché i chlazené obrábění.

FK – pro umělé hmoty s krátkou třískou. Velký úhel hřbetu v kombinaci s karbidovým materiálem dosahuje zvýšené životnosti u abrazivních materiálů, jako jsou např. duroplasty a vyztužené výkonové kompozity.

PVC – pro plasty tvořící dlouhou třísku. Pro dosažení bezpečného řezání kořenů závitů je optimalizován řezný kužel. V těchto pružných materiálech je potřeba zvýšené odolnosti závitníku a také tvrdých ochranných povlaků

TI – pro titan. Odolné slitiny s dlouhou třískou, pro které je nezbytný malý úhel čela a velké stoupání závitu. Často je nutné přizpůsobit nástroj konkrétnímu materiálu a podmínkám obrábění.

TILEG – pro slitiny titanu. Závitníky mají velký úhel stoupání, aby se předešlo svařování za studena a korekci stoupání pro dělení třísky na kratší elementy.

NI – slitiny niklu. Niklové slitiny jsou velmi houževnatě materiály, mají vysokou pevnost v tahu. Je nezbytné dodržet negativní úhel čela, velmi velké stoupání a povlakování tvrdým materiálem. Při řezání je nutné chladit.

H – pro materiály s vysoko pevností v tahu. Aby závitník měl co nevětší životnost musí mít velké stoupání v kombinaci s povrchovou úpravou.

HCUT – pro kalené ocele. Geometrie se speciálně upravenými drážkami, úhly čela a hřbetu umožňují řezání závitů v nerezové oceli.

Z – pro CNC obrábění. Geometrie velmi ostrého řezu velkým úhlem čela a hřbetu jsou vhodné pro obráběné materiály s dlouhou třískou.

MULTI – pro většinu materiálů.

SPEED – pro vysokorychlostní řezání závitů. Speciální geometrie v kombinaci s povlakováním umožňuje maximální rychlosti obrábění.[11]

1.2.1 Materiály normovaných závitníků

Rozdělení nástrojových ocelí:

- nástrojové oceli uhlíkové,
- nástrojové oceli nízkolegované - slitinové,
- nástrojové oceli vysokolegované – rychlořezné oceli.

Dle Normy ČSN 22 3001 jsou závitníky vyráběny z nástrojové oceli slitinové nebo výkonné a vysoce výkonné rychlořezné oceli.

Rozdělení rychlořezných ocelí podle výkonu:

- oceli s vysokým výkonem – 19 850, 19 851, 19 852, 19 856, 19 861 – jsou vhodné pro obrábění vysokými rychlostmi, nebo materiálů s vysokou pevností
- oceli výkonné – 19 802, 19 810, 19 829, 19 830 – jsou vhodné pro obrábění běžnými rychlostmi a obrábění ocelí s pevností okolo 900MPa
- oceli běžného použití – 19 800, 19 813, 19 820, 19 824 – jsou vhodné pro materiály s pevností max. 850MPa.

Charakteristické vlastnosti rychlořezných ocelí:

- velká odolnost proti popouštění,
- velká tvrdost za tepla i za studena,
- velká odolnost proti opotřebení,

přiměřená houževnatost. [12]

Z nástrojové oceli slitinové se vyrábějí závitníky nebroušené. Z výkonné nebo vysoce zákonné rychlořezné oceli se vyrábějí závitníky broušené.

Pracovní části nástroje vyráběné z nástrojové oceli slitinové musí mít tvrdost HRC 59 až 62, z rychlořezné oceli do průměru 6 mm minimálně HRC 60 a přes 6 mm minimálně HRC 62.

Nejčastěji užívané nástrojové oceli jsou rychlořezné oceli, které obsahují legury prvků W, Mo, V, Cr, Co. Podle obsahu legur se dělí jednotlivé oceli do skupin dle ČSN 41 9861.

Metalurgické účinek jednotlivých legur:

Wolfram, Molybden – zvyšují tvrdost a pevnost martenzitické matrice za tepla, tvoří s wolframem speciální karbidy vysoké tvrdosti,

Chrom – zvyšuje hloubku prokalení, tvoří relativně rychle rozpustné karbidy,

Vanad – zvyšuje odolnost proti otěru za vysokých teplot, zvyšuje tvrdost a pevnost za tepla

Kobalt – zvyšuje tvrdost a pevnost martenzitické matrice za tepla,

Uhlík – tvoří karbidy, zvyšuje odolnost proti otěru, určuje tvrdost matrice.

Tab. 4 Přehled hlavních skupin rychlořezných ocelí (tvrdost je uvedena po tepelném zpracování) [13]:

	Obsah C	Cr	W	Mo	V	Co	tvrdost
Standardní HSS	0,7-1,0 %	4,0 %	1,5-18 %	0-8,87%	1-2%	–	62-65 HRc
% Co: HSS-Co5	0,9-1,5 %	4,1 %	6,4-12 %	0-5,0 %	2-5 %	5 %	63-67 HRc
% Co: HSS-Co8	1,0-1,1%	4,0 %	1,5 %	9,5%	1,2 %	8 %	63-68 HRc
Prášk.met. HSS-PM	1,5-2,3 %	4,2 %	6,4-6,5	5-7,0 %	3-6,5 %	8-10 %	64-67 HRc

1.3 Výroba rychlořezné oceli

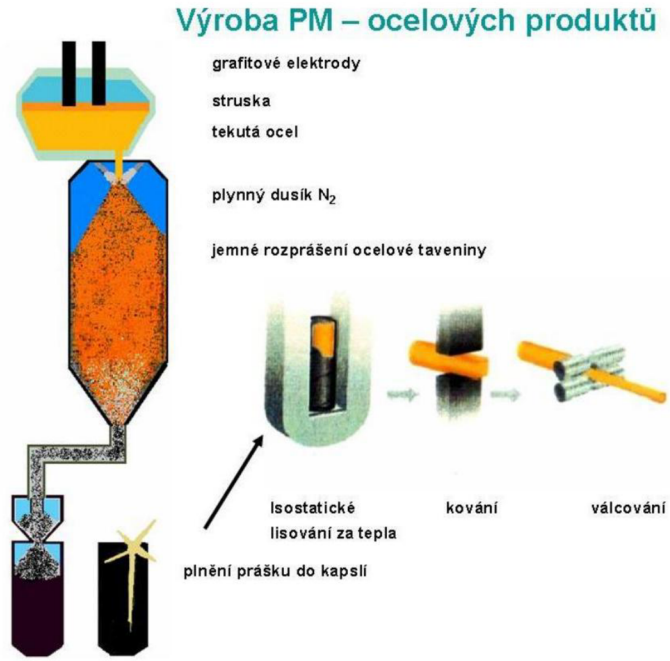
Rychlořezná ocel (HSS – High Speed Steel) jako materiál pro nástroje je používán ve stavu litém, nebo tvářené, anebo lisovaném z prášku.[5]

Výroba rychlořezných ocelí se dělí na:

- výrobu v elektrických obloukových nebo indukčních pecích,
- výrobu v elektrických obloukových nebo indukčních pecích a následné elektrostruzkové přetahování,
- výroba metodou práškové metalurgie.[12]

Splnění vysokých nároků na jakost rychlořezných nástrojů, požadavků spolehlivosti a trvanlivosti nástrojů je možné právě díky práškové metalurgii (PM). V práškové metalurgii se tvarování kovů nedosahuje tavením, ztuhnutím a následovným mechanickým opracováním, nýbrž kovové prášky se mísí, následně lisují, čímž jsou převáděny do požadovaných tvarů a nakonec se sintrují. Sintrování - ohřívání pod bod tání - lze chápat jako děj řízený difůzí, při kterém se styčné plochy částeček prášku vyvinou v hranice zrn.

Největší přednost práškové metalurgie je v tom, že se volbou prášku a vhodným zpracováním lze dosáhnout struktury, která odpovídá specifickým fyzikálním požadavkům na konkrétní závitník. Lze dosáhnout vysoce jemné struktury až isotropie, která usnadňuje zpracování kovu při vyšších teplotách. [14]



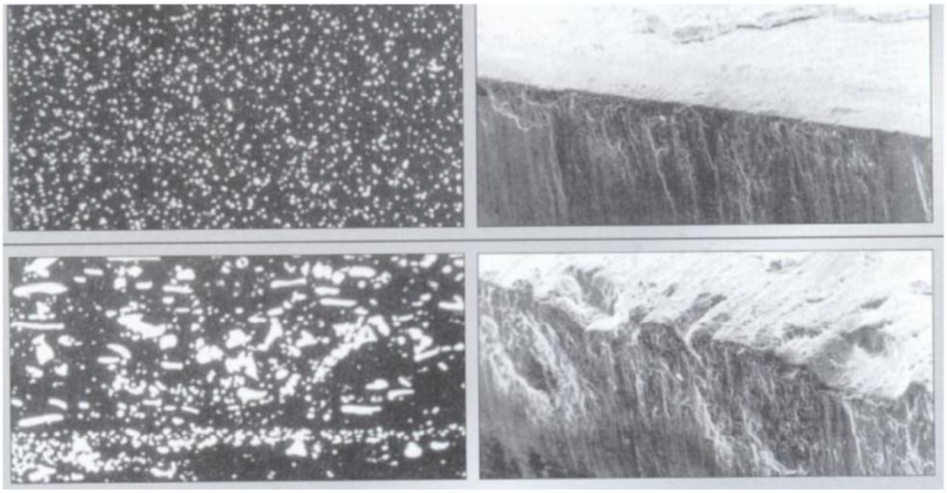
Obr. 8 Výroba ocelových produktů práškovou metalurgií [12].

Při výrobě nástrojů práškovou metalurgií je vysoce čistá tekutá ocel rozprašována dusíkem na velmi jemné částečky, které jsou prudce ochlazovány, čímž dojde k redukci velikosti karbidů a jejich růstu.

Vzniklý prášek padá dolů a je ochlazován, prosíván a plněn do kapslí. Při izostatickém lisování za tepla (při tlaku 1000 bar a teplotě 11200ºC), vznikají nová spojení a z vysoce čistého kovového prášku vzniká produkt s homogenní strukturou a zcela isotropními vlastnosti. Následné kování a válcování zajistí, že výsledný produkt je bez pórů a má velmi jemnou karbidickou strukturu. Navíc tvářením za tepla se zvýší i houževnatost oceli. Postup výroby je zobrazen na Obr. 8.

Homogenní struktura práškových kovů bez makroskopických defektů jako jsou lunkry, struskové vměstky a karbidické řádkovitosti zaručují oproti svým konvenčním protějškům optimální vlastnosti pro třískové obrábění s vysokým úběrem.

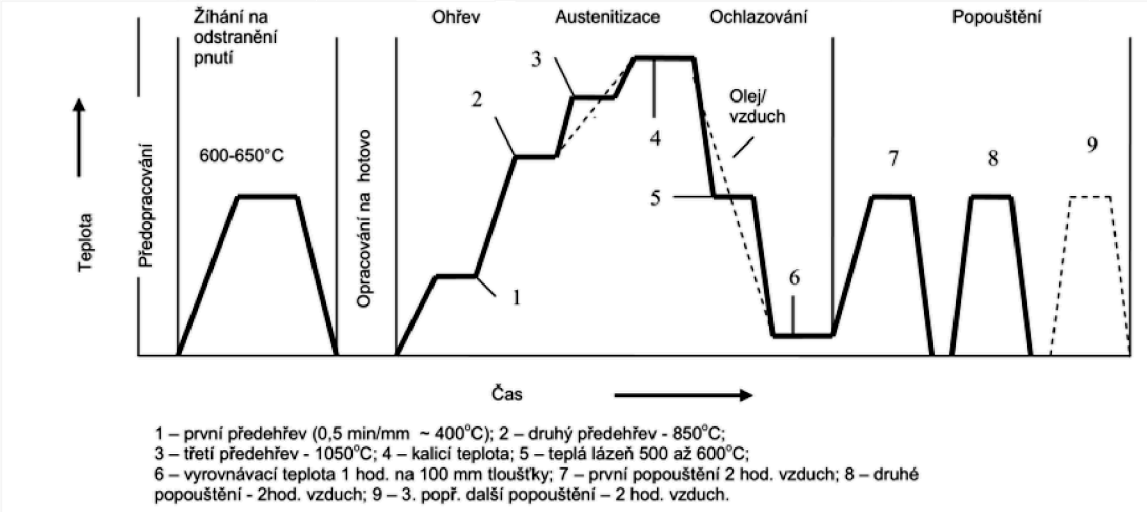
Porovnání struktury, a zároveň ukázka trvanlivosti ostří nástroje, vyrobené práškovou metalurgií a konvenčně vyrobené nástrojové oceli je na Obr. 9 [14]



Obr. 9 Vliv struktury na trvanlivost ostří. Nahoře ocel vyrobena PM, dole ocel vyrobena konvenční technologií. Vlevo struktura příslušné ocele, vpravo vydrolení v místech shluků karbidů u konvenční oceli. [14].

1.3.1 Tepelné opracovaní závitníků

Chemické složení nezaručuje samo o sobě vysoký řezný výkon nástroje. Důležitou součástí výroby Rychlořezných nástrojů je hutní a následné tepelné zpracování. Druh a trvání tepelného zpracování ovlivňuje trvanlivost nástroje. Příklady postupů základního tepelného zpracování nástrojových ocelí je znázorněna na obr. 10 [17]



Obr. 10 Průběh tepelného zpracování v závislosti teplota-čas, nástrojů y rychlořezných ocelí [14].

Za účelem snížení pnutí je ještě před vlastním dohotovením nástroj žíhán (při teplotě 600-650ºC).

Konečné vlastnosti nástroj získává kalením (ohřev na teplotu austenitizace) a následným popouštěním. Ochlazení v doporučeném prostředí musí proběhnout rychlostí, při které se co nejvíce austenitu přemění na martenzit.

Nástroje určené ke kalení se doporučuje ohřívat pozvolna a rovnoměrně. Nerovnoměrný ohřev vede k tvarovým deformacím a k trhlinám. Je proto vhodné ohřívat v několika teplotních stupních.

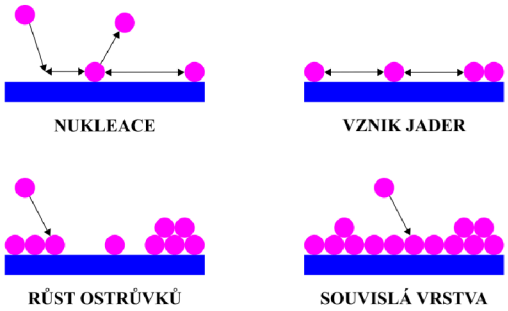
Rychlořezné oceli se v prvním stupni ohřívají při teplotě 500 až 550ºC a ve druhém stupni při 850ºC. U nástrojů složitějších tvarů se doporučuje ještě třetí stupeň předehřevu a to při teplotě 1050ºC. Doby na vyrovnání teplot se volí přibližně 0,5 min. na 1 mm tloušťky ohřívaného nástroje pro předehřev do 650ºC a asi 1 minutu na 1 mm tloušťky při předehřevu na 850 až 900ºC. Po dosažení kalicí teploty v celém průřezu musí ještě následovat prodleva na této teplotě, nezávislá na velikosti průřezu. U rychlořezných ocelí jsou prodlevy s ohledem na vysoké kalicí teploty výrazně kratší než u ocelí vysoce legovaných. Doba ohřevu potřebná k dosažení kalicí teploty v celém průřezu nástroje závisí na průřezu, na výši předehřívací a kalicí teplotě a použitém zařízení pro ohřev. Určení optimálních dob ohřevu pro konkrétní nástroj, druh oceli a typ zařízení, je však dáno hlavně zkušeností.

Po dosažení teploty v celém průřezu nástroje, následuje ochlazení v prostředí, jehož volba závisí na druhu oceli, velikosti a tvaru nástroje. Legované oceli, které mají vyšší prokalitelnost, stačí většinou ochlazovat v oleji nebo na vzduchu. Teplota oleje se pohybuje v rozmezí 30 až 80ºC. Tvarově složitější nástroje je vhodné kalit do oleje ještě o vyšší teplotě. Nástroje z vysoce legovaných ocelí s velkou prokalitelností lze též kalit do roztavených solných lázní. Menší, ale přesto dostatečná ochlazovací rychlost v tomto prostředí nevyvolává větší pnutí, to je důležité zejména u nástrojů tvarově složitých. Nástroje po kalení jsou křehké a náchylné k praskání. Proto musí bezprostředně po kalení následovat popouštění. Nástroje z legovaných ocelí pro práci za studena a z ocelí pro práci za tepla se popouštějí obvykle alespoň 2krát. Rychlořezné oceli minimálně 3krát, rychlořezné oceli legované kobaltem i více jak 3krát. Při vícenásobném popouštění je prodleva na teplotě asi 2 hodiny. Teplota druhého a dalších popuštění je asi o 10˚C nižší než předchozí. Násobným popuštěním se dociluje dokonalejšího rozpadu zbytkového austenitu a zároveň popuštění martenzitu, který se rozpadem zbytkového austenitu tvoří. [14]

1.4 Povlakování

Nejběžnější metodou povlakování závitníků je metoda PVD. Jedná se o metodu, kdy jsou povlaky vytvářeny kondenzací částic za sníženého tlaku (0,1 ÷1,0 Pa). Uvolněné částice jsou ionizovány, reagují s atmosférou komory, kterou tvoří inertní a reaktivní plyn a záporným předpětím jsou urychlovány k povrchu substrátu, kde se usazují ve formě tenké vrstvy homogenního povlaku silné cca 1 ÷5 μm.

Atomy jsou na povrchu zachycovány nejprve pomocí sorpce, pohybují se po povrchu a pak jsou buď zachyceny trvalou vazbou, nebo zpět uvolněny. Další dopadající atomy jsou postupně zachytávány již přilnutými atomy a vytváří izolované zárodky. Nárůstem počtu atomů na jednotlivých zárodcích se jednotlivé zárodky spojí v souvislou vrstvu, která dále narůstá viz. Obr. 11. [3]



Obr. 11 Schéma vzniku PVD povlaků a modely růstu povlaku [3].

Metody PVD lze rozdělit podle způsobů depozice:

- naprašování,
- napařování,
- iontové povlakování,
- iontová implantace.

Podrobnosti o jednotlivých metodách jsou shrnuty v Tab. 5.

Tab. 5: Metody PVD [15]

	NAPAŘOVÁNÍ	**NAPRAŠOVÁNÍ**	**IONTOVÉ POVLAKOVÁNÍ**	**IONTOVÁ IMPLANTACE**
způsob získávání deponovaných částic	odpařování terče: odpor. ohřev, elektr. svazek, oblouk. výboj,	rozprašování terče: dc výboj, rf. výboj,	napařování nebo naprašování se silnou ionizací částic	vysokoenergetické ionty získáváme z výboje plazmatu
použitá atmosféra	vakuum popř. (reaktivní plyn)	argon, xenon popř. (reaktivní plyn)	argon popř. (reaktivní plyn)	vakuum
pracovní tlak	10^{-3}Pa	0,1 až 10 Pa	0,1 až 10 Pa	10^{-3} až 10^{-4}Pa
transport částic	přímá cesta na substrát s minimem srážek	rozptyl částic vlivem srážkového procesu	silný srážkový proces čistění substrátu	přímá bezesrážková cesta na substrát
energie částic	0,2 až 1,0 eV	0,1 až 100 eV	2 až 5 keV	10 až 100 keV
předpětí na substrátu	0	0	- 200 až - 3000 V	10 až 100 ke V
depoz. rychlost [µm/min]	10 až 4000	$5.10^{-3(-4)}$	0,1 až 25	0,01
adheze	dobrá (závislá na teplotě substrátu)	velmi dobrá	výborná (závislá na předpětí substrátu)	ionty vytvrzují povrchovou vrstvu

Nevýhodami těchto metod jsou: relativně složitý vakuový systém a požadavek pohybovat povlakovanými předměty pro rovnoměrné ukládání povlaku. Velkou výhodou je však možnost povlakovat ostré hrany, v našem případě ostří nástroje, a nízká pracovní teplota (pod 500ºC).

1.4.1 Volba povlaku

Na volbu povlaku mají podstatný vliv jevy provázející proces tvorby třísky, které ji limitují, jsou to:

a. třecí síly,
b. deformace v místě styku nástroje s obráběným materiálem, způsobený vysokými tlaky a teplotami,
c. difúzní pochody mezi třískou a nástrojem,
d. oxidace nástroje při vysokých teplotách.

Limity přecházejí v požadavky:

a. dokonalosti přilnutí povlaku i při vysokých teplotách,
b. odolnosti proti termickému šoku,
c. vysoké pevnosti a tvrdosti v tlaku,
d. vytvoření difúzní bariéry mezi třískou a nástrojem,
e. odolnosti proti oxidaci za vyšších teplot.

Přínosem povlakování by mělo být:

a. zvýšení trvanlivosti ostří břitu a životnost nástroje,
b. zvýšení otěruvzdornosti vlivem vysoké tvrdosti povlaku,
c. teplená bariéra – menší teplená vodivost povlaku,
d. mechanické a fyzikální vlastnosti HSS nástroje zachovány, protože teplota povlakování je nižší než 550ºC,
e. zlepšení drsnosti obrobené plochy,
f. rozměrová stálost nástroje,
g. zvýšení produktivity, snížení nákladů na výměnu nástroje.[16]

Tyto přínosy jsou jen důsledkem toho, že povlakovaný materiál na rozdíl od substrátu neobsahuje žádné pojivo, má o jeden a víc řádů jemnější zrnitost a méně strukturních defektů. Navíc tvoří bariéru proti difuznímu opotřebení.

Jednotlivé typy povlaků:

TiN – povlak nitridu titanu – mikrotvrdost 2300 HV. Jedná se o optimální povlak HSS. Použitím na střižných i řezných nástrojích dochází u nich až k trojnásobnému prodlužení trvanlivosti. Pro závitníky je nejvýznamnější zvýšení odolnost proti opotřebení s nízkým

koeficientem tření, a odolnost povrchu nástroje proti abrazivnímu a adheznímu opotřebení. Lze použít do teplot 600ºC.

(Ti, Al)N – při vyšší řezné rychlosti se tvoří na povrchu nástroje tenká vrstva Al_2O_3, ta chrání břit před oxidací a snižuje tření na břitu. Lépe odolává vysokým teplotám. Tvrdost je přibližně stejná jako u povlaků TiN.

Ti(C,N) – mikrotvrdost 3000 HV. Povlak vhodný pro řezné nástroje. Zvyšuje odolnost proti mechanickému namáhání břitu. Nízký součinitel tření chrání před vznikem studených svárů. Lze použít do teplot 400ºC.

Ti_2N – vrstva vhodná pro dokončovací operace, určená pro obrábění korozivzdorných ocelí. [5,9]

CrN nitrid chromu – relativně nízká tvrdost, ale odolává ulpívání materiálu. Vhodný pro obrábění mědi a hliníku.

FNT – Banalit Fatura Nano Top - mikrotvrdost 3300 HV. Optimální tvrdost a vnitřní pnutí vrstvy zvyšuje stabilitu řezných hran nástrojů. Vynikající tepelná a chemická odolnost, výborné kluzné vlastnosti. Lze jej použít do teplot 900ºC.

HL – Balit Hardlube - mikrotvrdost 3300 HV. Vícevrstvý laminární povlak s vysokou tvrdostí, tepelnou odolností. TiAiN chrání před opotřebením,WC/C zajišťuje hladký odvod třísek Lze jej použít do teplot 800ºC.

ALS – AluSpeed – mikrotvrdost 4000HV. Samolubrikační schopnost s vysokou odolností proti studeným svárům, velmi nízké tření. Používán pro obrábění hliníku, mědi a titanu.

OX – oxidace – vrstva oxidu železa. Zvyšuje otěruvzdornost ostří, odolnost proti korozi, zlepšuje mazání nástroje. [9]

Tab. 6: Vybrané druhy povlaků dle chemického složení a jejich určení

Povlak	Barva	Tvrdost Gpa	Tloušťka µm	Max. tepl. použití °C	Hlavní použití pro:
TiN	zlatá	24	1 – 7	600	univerzální jakost
TiAlN	černofialová	35	1 – 4	800	univ. jakost, pro stabilní řezy
TiCN (MP)	bronzově hnědá	32	1 – 4	400	frézov., závitov., přeruš.řezy
AlTiN	černá	38	1 – 4	900	výkonná jakost, pro tvrdé obr.
AlTiCrN	modrošedá	34	1 – 4	850	pro náročné aplikace
TiCN	šedomodrá	37	1 – 4	400	pro frézování a závitování
TiAlCN (G)	červenofialová	33	1 – 4	500	vysoká houževnatost a tvrdost
CrN	kovově stříbrná	18	1 – 7	700	obrábění lehkých kovů a Al slitin
ZrN	bílo-zlatá	20	1 – 4	550	obrábění Mg a Ti
cVlc (NG)	šedá	37	1 – 5	450	obrábění Al slitin, ↓ nárůstek
TiAlN+CBC (NG)	šedá	28	1 - 5	400	obrábění superslitin, Ti, Ni
nACRo (NK)	modrošedá	40	1 – 7	1100	náročné aplik., mikronástroje
nACo (NK)	modrofialová	45	1 – 4	1200	tvrdé obrábění, obr. zasucha

Značení a struktura povlaků:

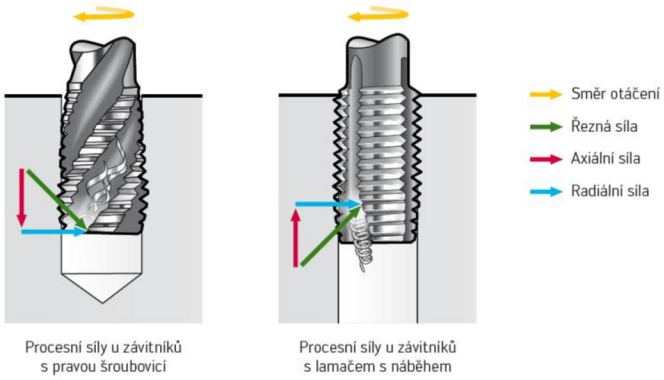
- MP – víceúčelový povlak,
- CBC – dia povlak,
- G – gradientní struktura povlaku,
- NG – nanogradientní struktura,
- NK – nanokompozitní struktura [17]

Tab. 7: Povlaky a jejich charakteristiky od firmy Guhring[8]

Povlakování	Barva	Proces	Teplota	Struktura	Tloušťka [µm]	Mikrotvrdost (HV 0,05)	Teplotní stabilita
TiN	Zlatá	PVD	500ºC	Jednovrstvá	1,5-4,0	2400	595 ºC
TiCN	Šedofialová	PVD	500ºC	Gradientní	1.5-5.0	3000	450 ºC
TiAlN	Černofialová	PVD	500ºC	Jednovrstvá	1.5-4.0	3300	800 ºC
FIREX	Červenofialová	PVD	500ºC	Mnohovrstvá	1.5-5.0	3000-3300	800 ºC
Nano-FIREX	Červenofialová	PVD	500ºC	Mnohovrstvá	1.5-4.0	3000-3300	800 ºC
Super – A	Tmavošedá	PVD	500ºC	Jednovrstvá	1.5-4.0	3800	900 ºC
Nano – A	Tmavošedá	PVD	500ºC	Jednovrstvá	1.5-4.0	3800	900 ºC
MolyGlide	Stříbrná	PVD	150ºC	Jednovrstvá	1.0	-	800 ºC

1.4.2 Řezivost nástroje

Při procesu řezání závitů je nástroj zatěžován axiálními silami. Působící síla je ve směru posuvu (při řezání pravotočivé šroubovice). Pokud použijeme náběh s lamačem třísky, síla působí v protisměru posuvu.



Obr. 12 Silové působení při procesu řezání závitu [10].

Síla potřebná k překonání soudržnosti matriálu při řezném procesu se nazývá měrná síla.

Tato veličina je definována jako:

$$k_c = \frac{F_C}{A_D} \tag{1.1}$$

a jedná se o sílu vztaženou na průřez třísky $1mm^2$.

Velikost měrné síly, nebo též řezného odporu (podle 3. Newtonova zákona), je dána:

- fyzikálními vlastnostmi materiálu obrobku,
- velikostmi průřezu třísky – zejména tloušťky třísky,
- geometrií nástroje,
- řeznými podmínkami.

Velikost řezné síly můžeme vyjádřit také pomocí vztahu

$$k_c = \frac{k_{c1}}{h^{mc}} = \frac{k_{c1}}{(f.\sin\kappa_r)^{mc}} \tag{1.2}$$

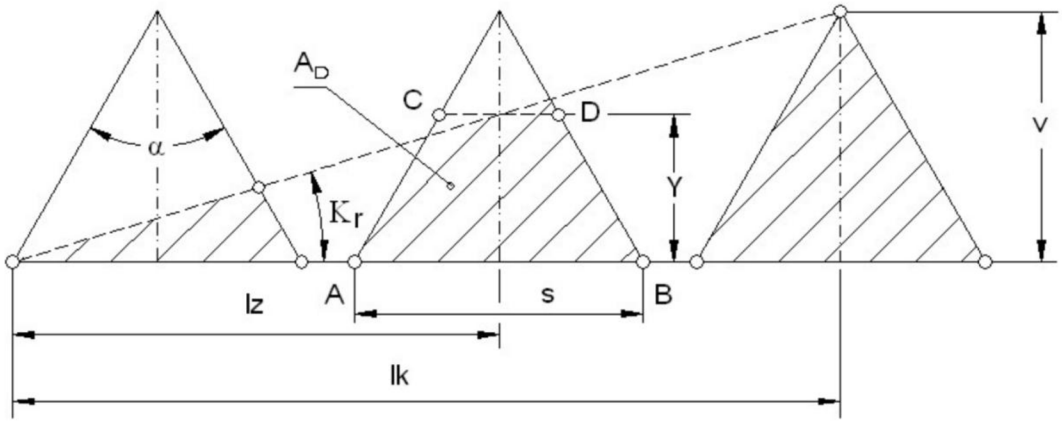
Kde ***h*** je tloušťka třísky a ***mc*** je veličina závislá na fyzikálních vlastnostech obrobku a řezných podmínkách.

Se zmenšující tloušťkou třísky se zvětšuje poměrná deformační práce. To je dáno tím, že se zvětšuje stupeň zpevnění materiálu i podíl pasivních prací na tvorbu třísky. Poměrně velmi malý vliv na měrnou sílu má šířka třísky. Naopak řezná rychlost má významný vliv a to tím, že:

- ovlivňuje velikost oblasti a intenzity primární deformace,
- má značný vliv na teplotu deformovaného materiálu,
- určuje rychlost zatěžování materiálu obrobku,
- ovlivňuje velikost součinitele tření na čele i na hřbetě a tím i vznik a velikost nárůstku.

Hodnoty měrné řezné síly a určité řezné podmínky se určují experimentálně. [5]

Na velikosti měrné řezné síly a na ploše třísky ve tvaru lichoběžníku je závislý průběh řezného momentu, viz Obr. 13 geometrického rozboru



Obr. 13 Průřez třísky při řezání závitu[19]

Při přibližně konstantní hodnotě měrné řezné síly $\boldsymbol{k_C}$ závisí časový průběh řezného momentu jen na průřezu třísky, který lze rozdělit do třech intervalů podle hloubky zařezání řezného kužele $\boldsymbol{l}$.

Pro jednotlivé fáze řezání závitu pak platí:

a. $l \in \langle 0, lk)$

$$A_{D1} = A_{Dmax}.(2.lz.\operatorname{tg}\frac{K_r}{v} - lz^2.\operatorname{tg}^2\frac{K_r}{v^2}) \tag{1.1}$$

b. $l \in \langle lk, L\rangle$, kde L znamená hloubku závitníku, od které dojde k vyjíždění závitníku z řezu

$$A_{D1} = A_{Dmax} = \frac{s.v}{2} \tag{1.1}$$

c. $l \in (L, L + lk\rangle$

$$A_{D3} = A_{Dmax}.\left(1 - (2.lz.\operatorname{tg}\frac{K_r}{v} - lz^2.\operatorname{tg}^2\frac{K_r}{v^2})\right) \tag{1.3}$$

Nejdůležitější okamžik, kdy je nástroj zatížen plným výkonem, je okamžik, kdy řezný kužel závitníku je plně zařezán do materiálu. U ostrého nástroje je hodnota zatížení po celou dobu řezání téměř konstantní. Hodnota se mění tím, jak je nástroj v důsledku nárůstu třecích sil opotřebováván.[5]

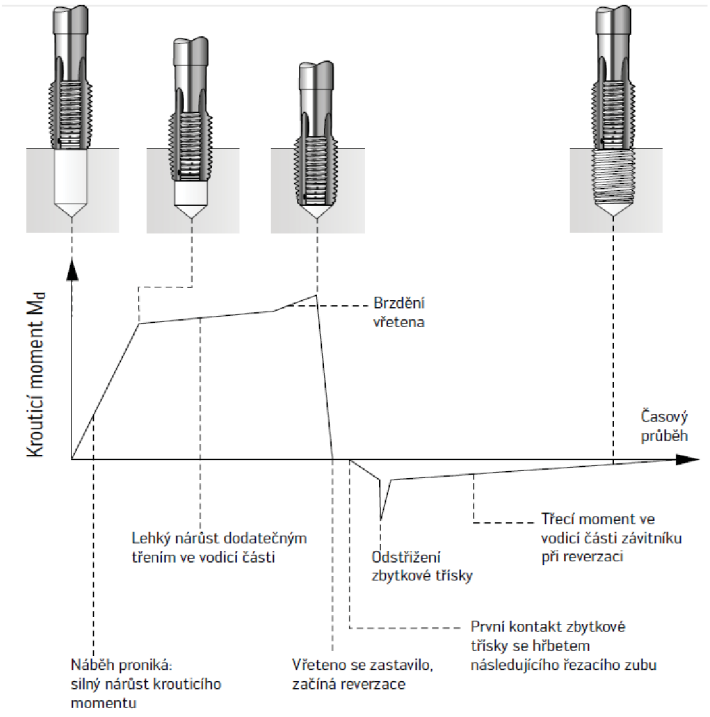
Řezná síla $\boldsymbol{F_C}$ [N], řezný moment $\boldsymbol{M_C}$ [Nm] a řezný výkon $\boldsymbol{P_C}$ [kW]jsou pak dány vztahy:

$$F_C = k_C.A_D \tag{1.4}$$

$$M_C = \frac{F_C . D_S}{2000} \tag{1.5}$$

$$P_C = \frac{M_C . n}{29{,}55} \tag{1.6}$$

Kde D_S [mm] je střední průměr závitu a n [min^{-1}] jsou otáčky.[5]



Obr. 14 Průběh řezného momentu při procesu řezání závitu do slepých otvorů[10]

1.5 Opotřebení nástroje

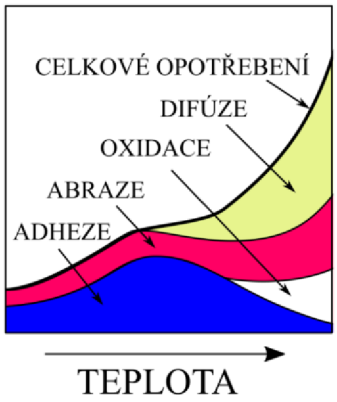
Opotřebení je důsledek funkce všech strojních součástí. Dochází k ní v důsledku kontaktu nástroje s obrobkem.

K základním mechanizmům opotřebení patří:

- abraze (brusný otěr),
- adheze (vznik a okamžité následné porušování mikrosvarových spojů na stýkajících se vrcholcích nerovností čela a třísky, v důsledku vysokých teplot a tlaků, chemické příbuznosti materiálů a kovově čistých styčných povrchů),
- difuze (migrace atomů z obráběného do nástrojového materiálu a naopak),
- oxidace (vznik chemických sloučenin na povrchu nástroje v důsledku přítomnosti kyslíku v okolním prostředí),
- plastická deformace,

- křehký lom (důsledek vysokého mechanického zatížení).[18]

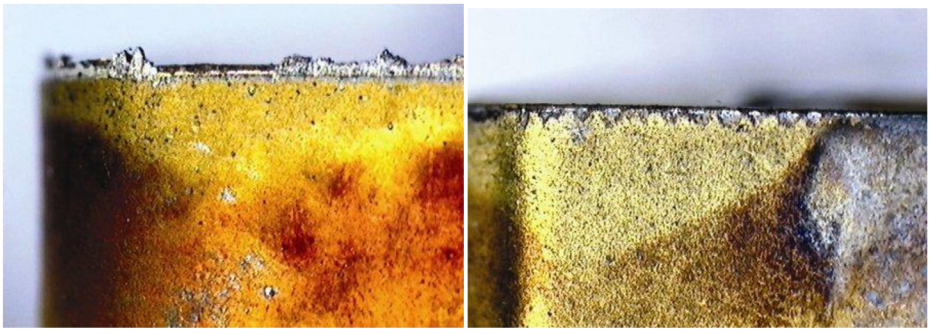
Celkové opotřebení nástroje je kombinací jednotlivých mechanizmů opotřebení. Vliv jednotlivých mechanizmů opotřebení v závislosti na teplotě řezání je znázorněno na Obr. 15.



Obr. 15 Podíl mechanizmů opotřebení řezného nástroje v závislosti na teplotě obrábění [5].

Opotřebení je při obrábění zcela přirozený jev, a nelze se jemu zabránit. Existují formy opotřebení, které jsou přípustné jako: výmol na čele, otěr na hřbetu, vrub na ostří a plastická deformace viz Obr. 16. Tyto formy opotřebení lze bezpečně předvídat a kontrolovat. Ostatním formám, které vedou k nepředvídatelnému chování nástroje, je třeba se vyhnout.

Při obrábění se může naopak vytvářet nárůstek. Hlavním důvodem je adheze materiálu při vysokém tlaku, zvýšené chemické afinitě a dostatečné teplotě v zóně řezu. Následkem je odlomení nárůstku, který s sebou unáší i částice materiálu břitové destičky, a nakonec dojde k vylamování ostří a tím k rychlejšímu opotřebení hřbetu. Eliminace je možná použitím jakéhokoli povlaku, zvýšením řezné rychlosti a/nebo posuvu [19].

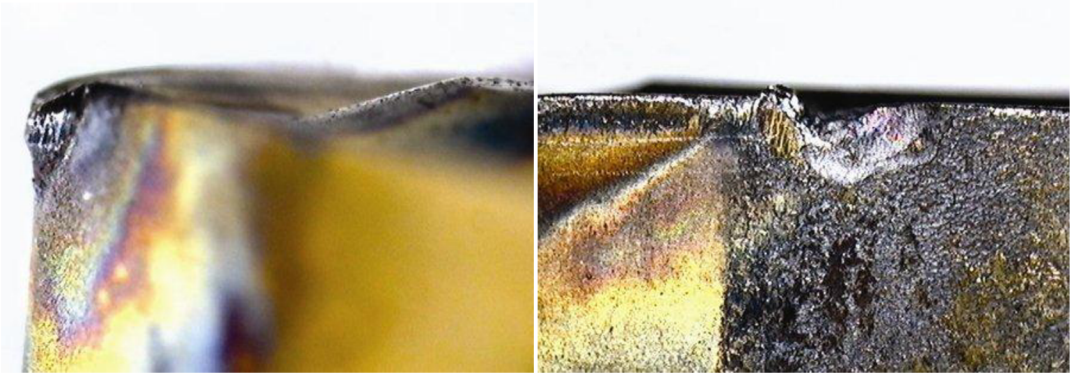


Obr. 16 Nárůstek, vylamování břitu [19].

Častým jevem je vylamování břitu. Je způsoben mechanickou nestabilitou, a to především vibrací obrobku, nástroje nebo vřetene stroje. Tvrdé vměstky na povrchu obráběného materiálu a přerušovaný řez mají za následek lokální koncentraci napětí způsobující vylamování břitu. Vylamování břitu se projevuje jako částečky materiálu vylomeného z řezné hrany břitové destičky. Protiopatřením je mít co nejvyšší tuhost soustavy stroj-

nástroj-obrobek, zvolit houževnatější řezný materiál, snížit posuv, nebo zvýšit řeznou rychlost[19].

Plastická deformace, jako další typ opotřebení, je v podstatě tepelné přetížení. V kombinaci s tlakem na destičku je deformováno ostří a špička nástroje. Dochází k odlomení špičky, nebo opotřebení hřbetu. Plastická deformace se projevuje deformací ostří. Je dobré použít tvrdší a otěruvzdornější třídu řezného matriálu[19].

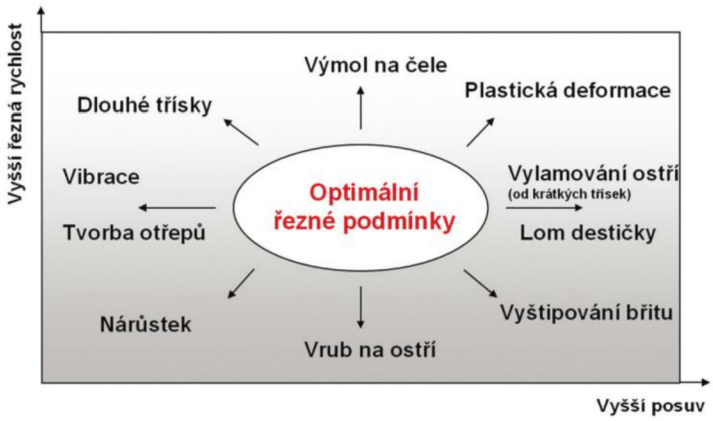


Obr. 17 Plastická deformace, vrub na ostří [19].

Další formou opotřebení je vrub na ostří. Vzniká tehdy, je-li povrch obrobku tvrdší či abrazivnější než jeho jádro, nebo při lokální koncentraci zatížení. Možné opatření je snížení posuvu a změna hloubky řezu, nebo použít houževnatější řezný matriál[19].

Ne příliš časté je vylamování ostří. Je způsobeno třískou, která se kroutí tak, že zasáhne nevyužívanou část ostří. Projevuje se právě vylomením části ostří. Vyskytuje se především při vysokých posuvech a velkých hloubkách řezu [19].

Pokud se nějaký problém vyskytuje častěji, je dobré jej řešit úpravou řezných podmínek. Jako návod může sloužit Obr. 18.

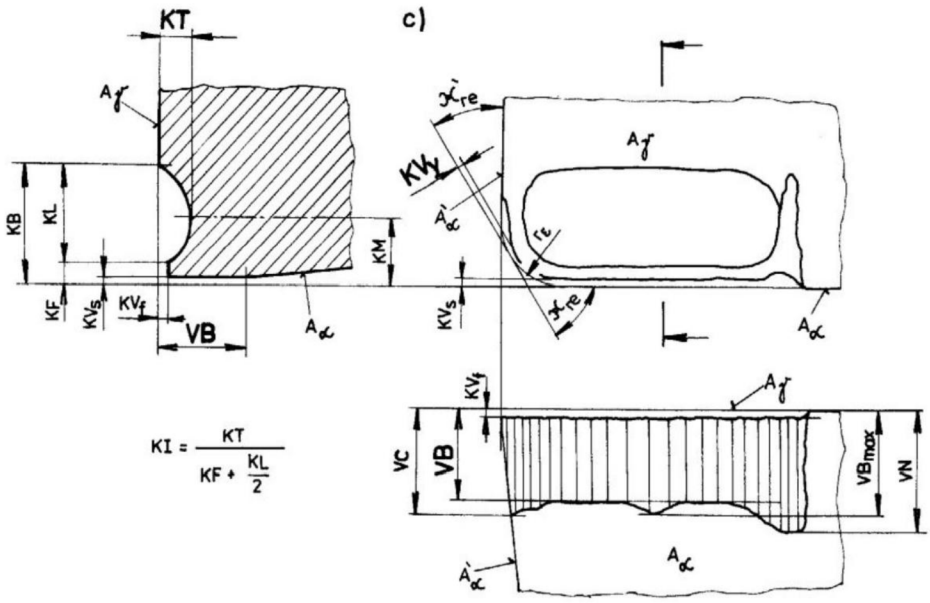


Obr. 18 Řešení problému opotřebení [19].

1.6 Parametry opotřebení nástroje

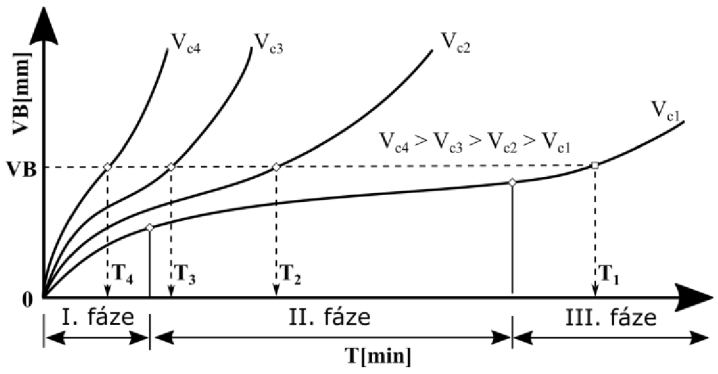
Opotřebení bývá kvantifikováno pomocí kritérií opotřebení. Mezi nejvýznamnější patří

- ***VB*** - šířka fazetky opotřebení na hřbetě,
- ***VB$_{max}$*** – opotřebení hřbetu maximální
- ***KT*** - hloubka výmolu na čele,
- ***KV $_y$*** - radiální opotřebení špičky (způsobuje změnu obrobené plochy),



Obr. 19 Kritéria opotřebení řezného nástroje [4].

Nejjednodušší analýzou je grafický rozbor. Rozbor křivek opotřebení (viz Obr. 20) pomocí kterých určujeme pásmo záběru (zrychlené záběhové opotřebení), pásmo normálního opotřebení (lineární opotřebení s konstantní intenzitou) a pásmo zrychleného opotřebení. Dle těchto křivek stanovujeme dílčí účinky kvality břitu, řezné podmínky, řezného prostředí, a jiných na trvanlivosti břitu. [4, 5]

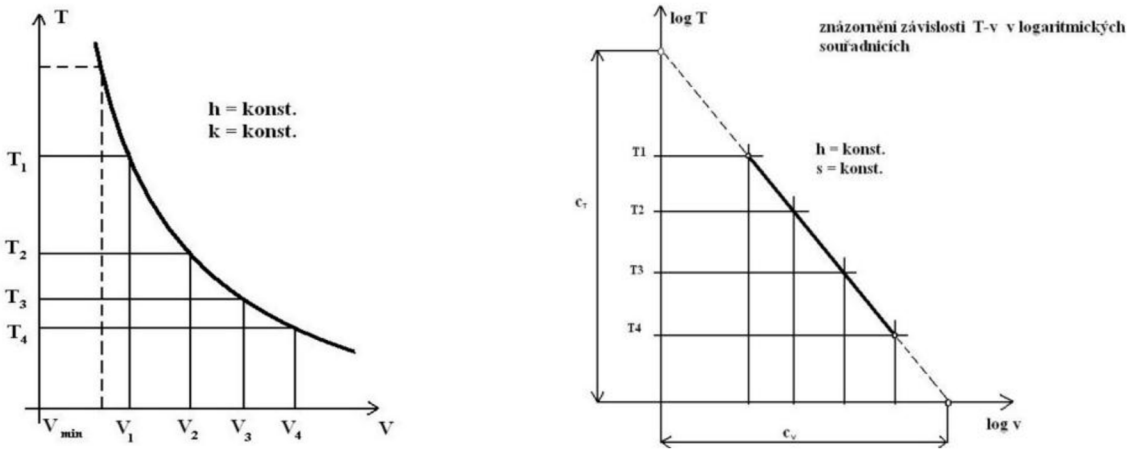


Obr. 20 Názvy jednotlivých částí závitníku [4].

Trvanlivost řezného nástroje T lze definovat jako součet všech čistých časů řezání, od začátku obrábění, až po opotřebení břitu nástroje na předem stanovenou hodnotu vybraného kritéria. Trvanlivost nástroje, jako i opotřebení nástroje, závisí zejména na metodě obrábění a řezných podmínkách.

Životnost nástroje ***Z (min)*** je definována jako součet všech trvanlivostí, nebo jako celková doba funkce nástroje od prvního uvedení do činnosti až do jeho vyřazení, přičemž můžeme nástroj n-krát přebrušovat.

Trvanlivost nástroje je nejvíce ovlivněna řeznou rychlostí. Závislost odvozená z tohoto poznatku je využívána při analýze trvanlivosti nástroje. Prvním krokem je stanovení hodnoty vybraného kritéria, odečtením hodnot trvanlivosti T_1, T_2, T_3, T_4 které odpovídají zvoleným řezným rychlostem.v_{c1}, v_{c2}, v_{c3}, v_{c4}. viz Obr. 21[5] Body o souřadnicích v_{c1}-T_1, v_{c2}-T_2, v_{c3}-T_3, v_{c4}-T_4 jsou pak vyneseny do diagramu s logaritmickými souřadnicemi



Obr. 21 Ideální závislost T-v v kartézských a logaritmických souřadnicích [5].

Matematicky lze závislost vyjádřit tzv. Tailorovým vztahem, ***T-v$_c$*** závislost:

$$v_c . T^m = C_V, \quad v_c = \frac{C_V}{T^{1/m}}, T = \frac{C_T}{v^m} \tag{1.7}$$

Která se často využívá při přepočtu trvanlivostí ve tvaru:

$$T_1 . v_1^m = T_2 . v_2^m = C_T \tag{1.8}$$

Platnost těchto vztahů je podmíněna konstantní šířkou záběru a_p, posuvem na otáčku f, opotřebením ***VB***, chlazením mazáním, stavem polotovaru, stroje a jiných.

Hodnotu konstanty C_T pro daný materiál obrábění a řezné podmínky f a a_p lze odečíst na ose T pro řeznou rychlost v_c=1m.mm-1, hodnotu C_v na ose v_c pro trvanlivost T=1 min, exponent m vyjadřuje směrnici vytvořené přímky, $m=tg\ \alpha$.

Významná je hodnota exponentu m, která se nemění s vlastnostmi materiálu břitu nástroje Obr. 21. Znalost hodnoty exponentu m udává citlivost nástrojového materiálu na změnu řezné rychlosti, resp. teploty řezání.

Rozšířený Tailorův vztah bere v úvahu ještě i posuv f a šířku záběru a_p pro určitou stanovenou trvanlivost nástroje T a má tvar:

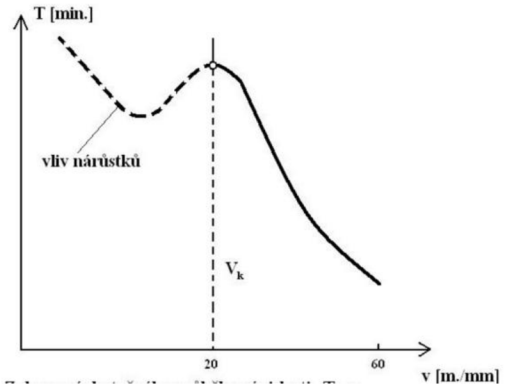
$$v_c = \frac{C_{vT}}{a_p^{x_v} . f^{y_v}}, \tag{1.9}$$

kde

$$v_c = \frac{C_{vT} . VB^n}{T^{1/m} . a_p^{x_v} . f^{y_v}} \prod_1^n K_{vci} \tag{1.10}$$

$$\prod_1^n K_{vci} = k_{vc1} . k_{vc2} . k_{vc3} \ldots k_{vcn} . \tag{1.11}$$

Dílčí koeficienty představují vliv třídy obrobitelnosti, stavu polotovaru, druh řezu, fyzický stav stroje, vliv geometrie nástroje, vliv řezného prostředí, atd.



Obr. 22 Závislost T-v pro skutečný nástroj z rychlořezné oceli [5].

1.7 Metody měření opotřebení nástroje

Metod pro stanovení opotřebení řezného nástroje dělíme na:

- přímé metody,
- nepřímé metody.

1.7.1 Přímé metody:

- měření vybraného kritéria opotřebení (VB - pomocí dílenského mikroskopu, KT – pomocí profiloměru, KV y - délkovým měřidlem);
- diskontinuální metoda - po přerušení nebo skončení činnosti nástroje,
- vážení břitové destičky,
- optické sledování funkční plochy,
- elektrické metody:
  - odporové

- indukční,
- sledování vzájemné polohy nástroje a obrobku.

- ultrazvukové,
- pneumatické,
- radioaktivní:
  - ozářený nástroj,
  - mikroizotopový snímač,
- měření rozměrů obrobku.

1.7.2 Nepřímé metody (kontinuální):

- měření a vyhodnocování jednotlivých složek řezné síly,
- měření a vyhodnocování elektrického příkonu obráběcího stroje,
- měření kmitání,
- měření teploty řezání,
- měření struktury povrchu obrobené plochy,
- sledování druhotných projevů opotřebení (subjektivní metody):
  - lesklé proužky na obrobené ploše,
  - charakteristický zvuk,
  - změna tvaru a barvy třísky.[18]

2 ANALÝZA POVLAKOVANÝCH ZÁVITNÍKŮ

Analýza povlakovaných závitníků byla pro tuto práci hodnocena nepřímou metodou, a to měřením složky řezného momentu.

Byly vybrány dva nástroje, které se liší v povrchové vrstvě upravené povlakováním. Hodnocené nástroje jsou dva. První je opatřen povlakem TiCN/TiN a druhý povlakem TiN.

Cílem zkoušky byla analýza řezivosti povlakovaných závitníků M8 různých provedení ze znalosti časového průběhu řezného momentu.

Zkouška probíhala tak, že byly zaznamenány průběhy krouticích momentů v časové řadě. Pro měření a záznam řezného momentu byl použit křemíkový dynamometr KISTLER 9257B vybavený nábojovými zesilovači KISTLER 9011A řízený počítačem. Vzorkovací frekvence byla přibližně 50 Hz, na zesilovačích byla nastavena dlouhá časová vybíjecí konstanta a dolnopropustný filtr na hladině 50 Hz.

Řezné nástroje byly upnuty do standardních upínacích hlavic s výjimkou závitníků, které byly upínány do bezpečnostního aparátu EMUGE KSN-Softsynchro s kompenzací tah-tlak.

Obráběcím strojem bylo CNC obráběcí centrum MCV 1210 s řídicím systémem Sinumerik 840D. Pro upínání obrobků byl použit strojní svěrák, upnutý pomocí speciální příruby, upínek a šroubů k čelní ploše snímače dynamometru KISTLER 9272.

Obr. 23 Obráběcí centrum MCV 1210 [20] a dynamometr KISTLER 9272 [21]

Řezání závitů obsahovalo tyto operace a řezné nástroje:

1 navrtání – středicí vrták NC 90°, DIN 6535, Fraisa, HM MG10 Order No.: B92020.1000

2 vrtání – šroubovitý vrták z SK ø6,8mm, úhel špičky 140°, úhel šroubovice30° - 35°, kód 960000055, Dormer

3 sražení hrany 1x45° - záhlubník kuželový 90°, ø8,5 mm, DIN 334 ISO 4204, 5 zubů, kód 075000002, Dormer

4 strojní závitník M8-6H: e-tap materiál: HSS/PM/F+ (velmi jemné zrno), zesílená stopka, Order No.: E10102.160.

Řezné podmínky u obou závitníků jsou totožné a byly předem určeny zadavatelem. Hodnoty jsou uvedeny v tabulce 8.

Tab. 8 Řezné podmínky při řezání závitů M8

Řezná rychlost	[m/min]	10
Otáčky	[1/min]	400/800
Posuv na otáčku	[min]	1,25
Chlazení/mazání vnější 10% Cimperial HD 801-03	[l/min]	60

Analýza byla prováděna na obrobcích z chróm-niklové austenitické nestabilizované oceli, která byla tvářena za studena ČSN 10088-1 1.4301 (X5CrNi 18-10). Chemické složení obráběného materiálu viz tabulka 1 v příloze 1.

Z naměřených hodnot byla sestavena tabulka a následně převedena do grafu (viz obrázky jednotlivých časových průběhů).

Z něj je patrný průběh řezného momentu při dopředném chodu (tvorbě závitu) i při zpětném chodu.

Z rozsáhlé tabulky jsem vybrala maximální hodnoty řezného momentu v rozsahu 1,6s časové řady určené k analýze viz tabulky v příloze 2, které odpovídají plně zařezanému závitníku do materiálu.

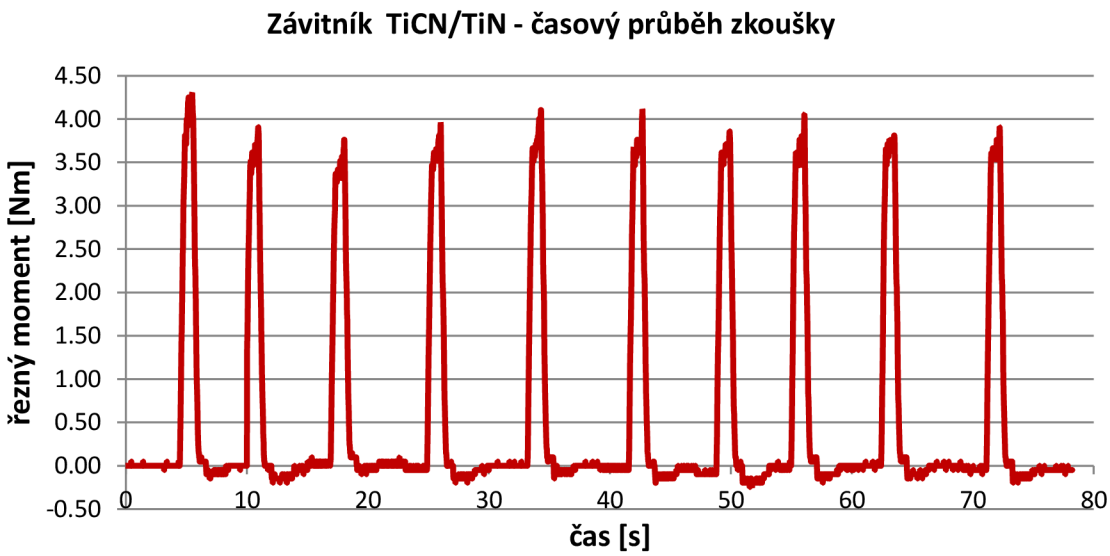
Z nich jsem vypočetla, pro jednotlivé chody závitníku, aritmetický průměr s příslušnou směrodatnou odchylku a modus. Pro posouzení chování závitníku jsem takto získané hodnoty proložila trendovou čarou.

2.1 Hodnocení závitníku povlakovaného TiCN/TiN

Prvním hodnoceným nástrojem byl závitník povlakovaný vrstvou TiCN/TiN

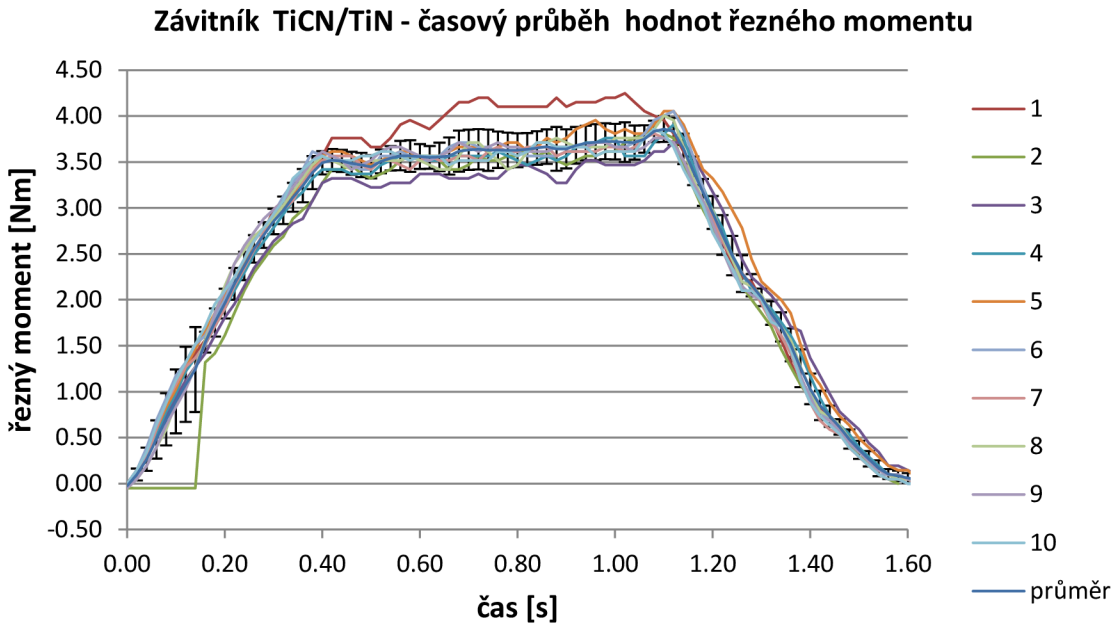
Konkrétní hodnoty, které byly vybrány z rozsáhlého souboru jsou uvedeny v příloze 2.

Hodnocení je prováděno na stejně širokém časovém intervalu – 1,6s odpovídající maximálním hodnotám řezného momentu.

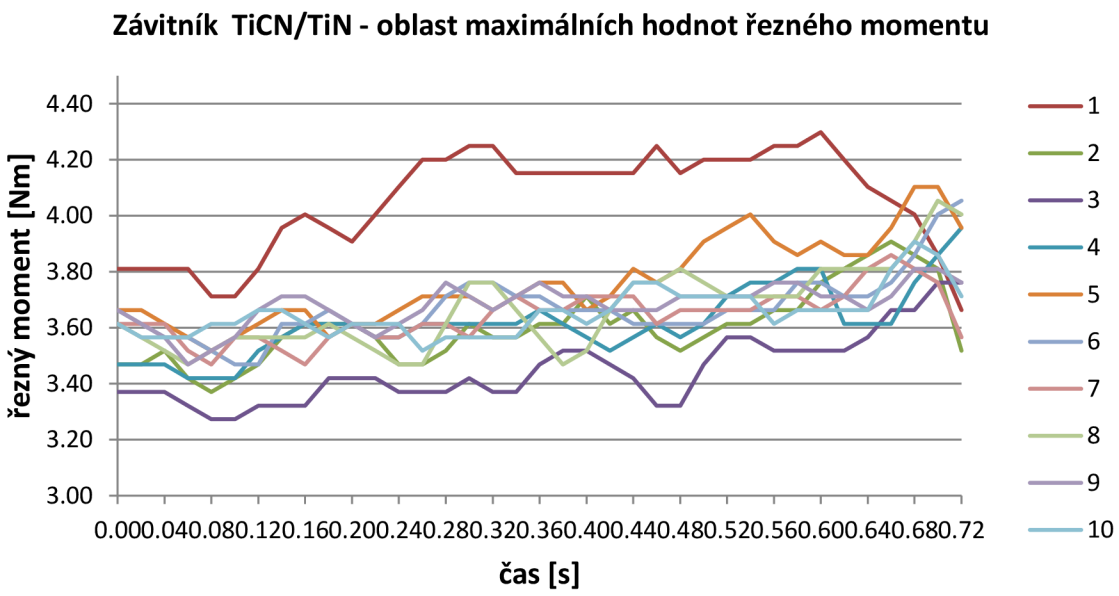


Obr. 24 Časový průběh zkoušky závitníku TiCN/TiN

Již na Obr. 24 lze sledovat, jak se první řezný moment vymyká ze statistiky- je výrazně vyšší. Blíže na Obr. 25 a Obr. 26 je znázorněn červenou čarou.

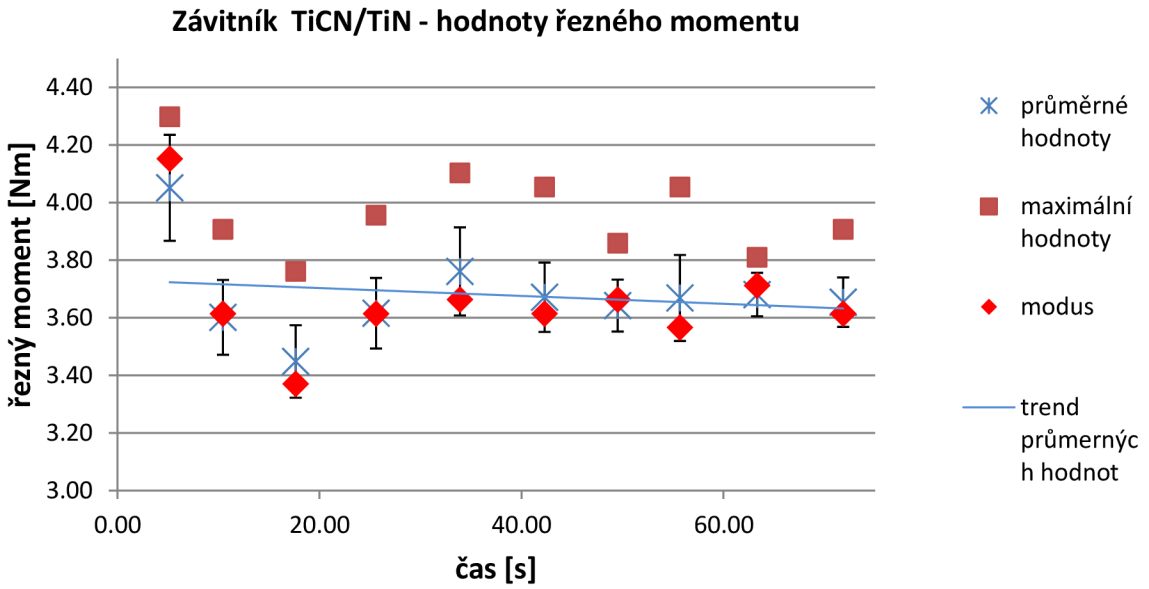


Obr. 25 Časový průběh hodnot řezného momentu závitníku TiCN/TiN



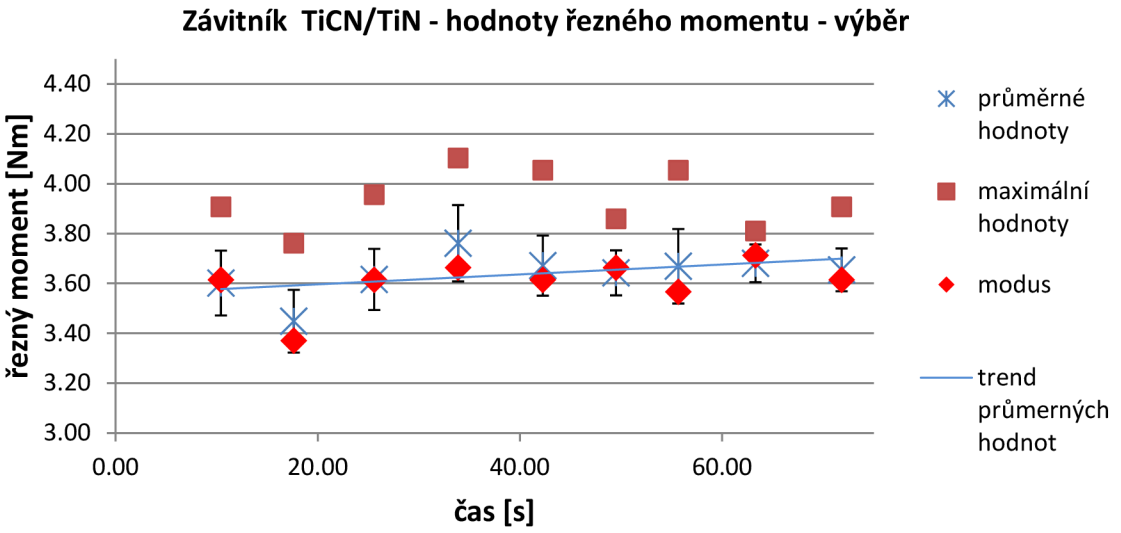
Obr. 26 Oblast maximálních hodnot řezného momentu závitníku TiCN/TiN

Proto při vyhodnocení řezného momentu byl tento první dopředný chod vynechán. Důvod je takový, že první chod pozměňuje celé hodnocení trendu řezných momentů, a to tak že řezný moment klesá viz. Obr. 27. To je v rozporu s očekáváním a také s vývojem dalších hodnot.



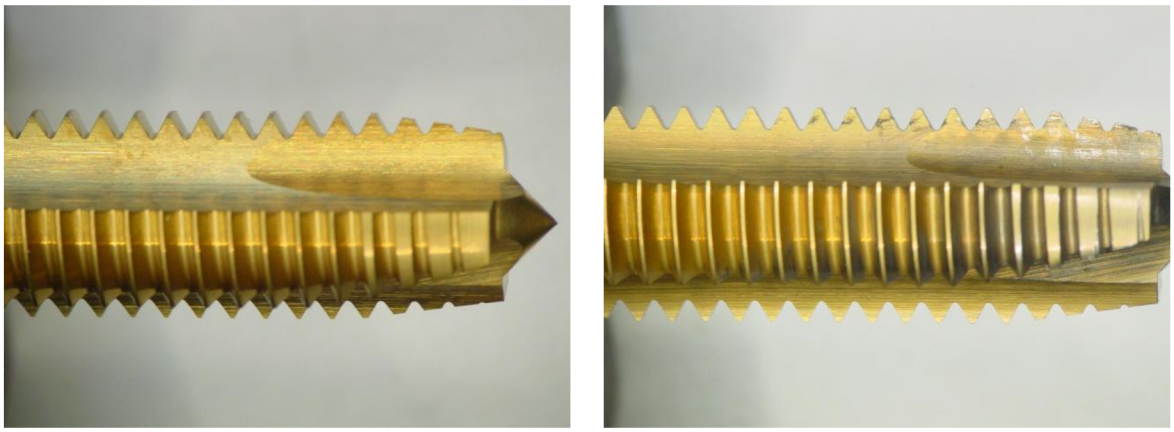
Obr. 27 Hodnoty řezného momentu závitníku TiCN/TiN

Pro hodnocení je tedy použito jen zbylých devět hodnot. Pak, jak je vidět na Obr. 28, řezný moment vzkazuje trend mírného nárůstu. To je dle našich očekávání v pořádku a tak lze konstatovat, že zkouška řezivost proběhla úspěšně.



Obr. 28 Hodnoty řezného momentu závitníku TiCN/TiN – výběr

Výsledkem analýzy je že řezivost se v závislosti na čase jen mírně zhorší, vzhledem k narůstajícímu řeznému momentu.



Obr. 29 Závitníku TiCN/TiN nový a po 400 řezech

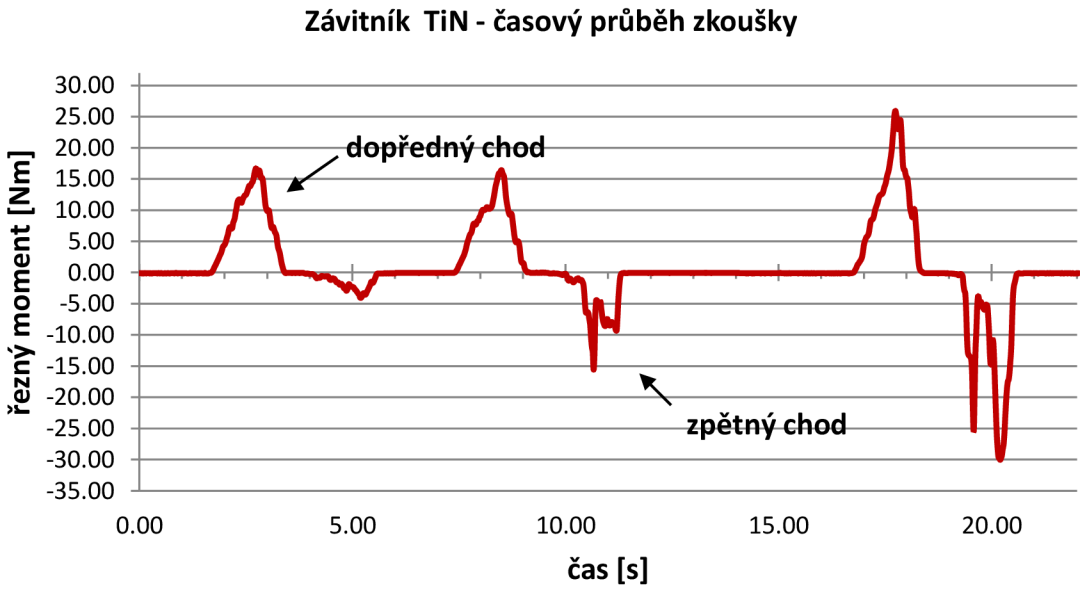
Vysvětleni prvního řezného momentu, který se vymyká statistice, může být dvojí. Buď se jedná o statisticky náhodný jev, nebo prvním řezem došlo k úpravě závitníku, kdy následné řezy byly již neovlivněny. Mohlo se jednat o drobnost na povrchu nástroje (otřep, lokální zdrsnění).

Lze tedy navrhnou zadavateli provedení série zkoušek pro vyloučení nahodilé vady při výrobě.

2.2 Hodnocení závitníku povlakovaného TiN

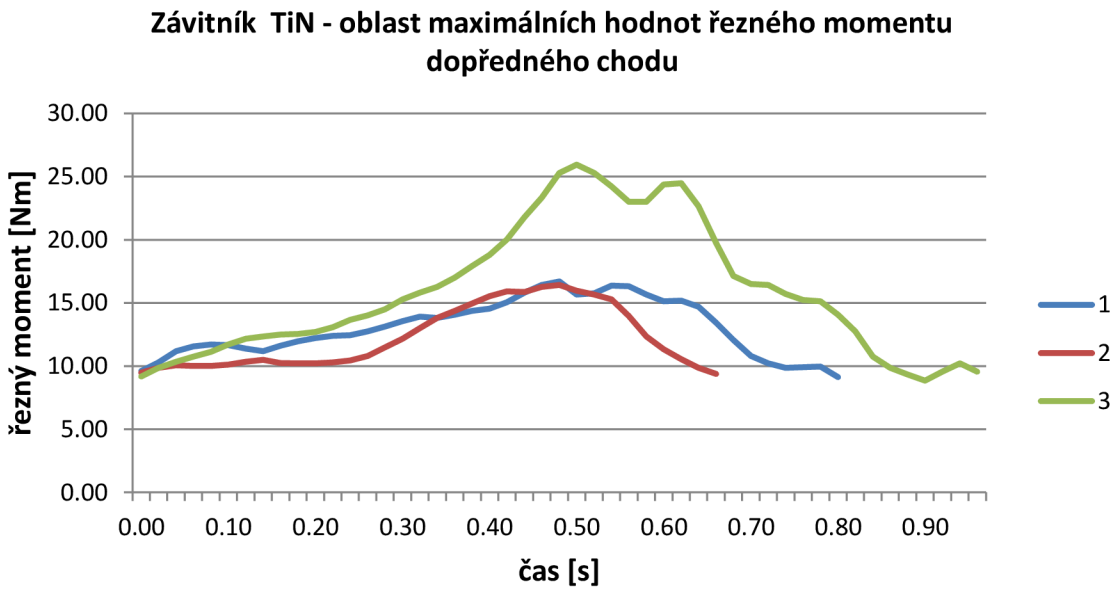
Druhým hodnoceným nástrojem je závitník povlakovaný vrstvou TiN.

Konkrétní hodnoty, ze kterých byly sestaveny grafy jsou uvedeny v příloze 3.



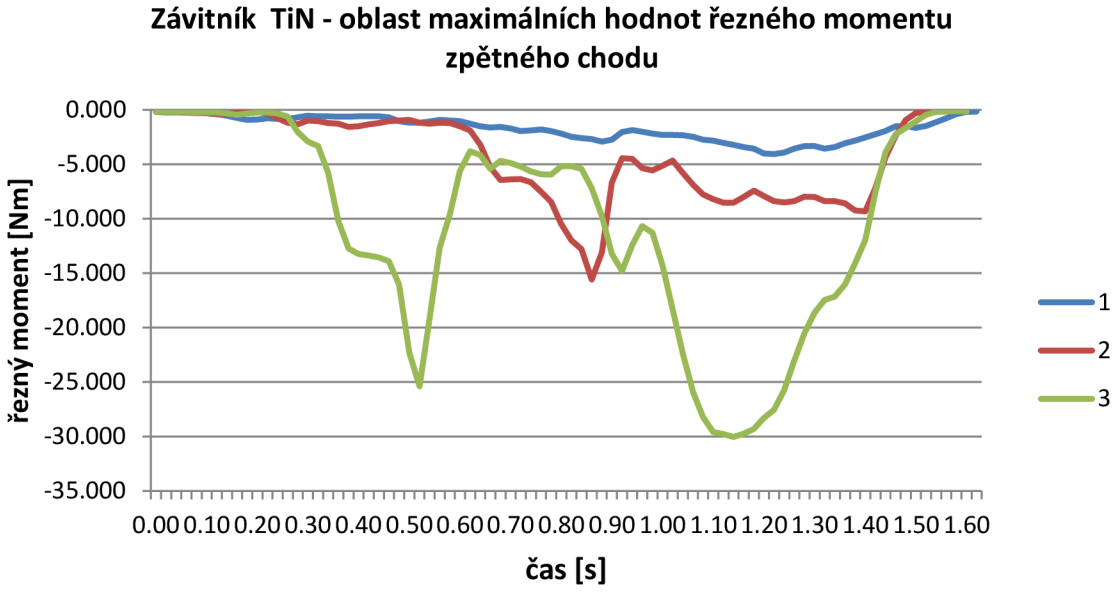
Obr. 30 Časový průběh zkoušky závitníku TiN

Hodnocení nelze provádět na stejně širokém časovém intervalu. Jak je patrné již z Obr. 29, dochází k výraznému opotřebení závitníku, a tím i k rozdílným časovým úsekům maximálních hodnot řezného momentu. Proto jsem zvolila hodnocení velikosti řezného momentu v intervalu zatížení nad 9,5 Nm.

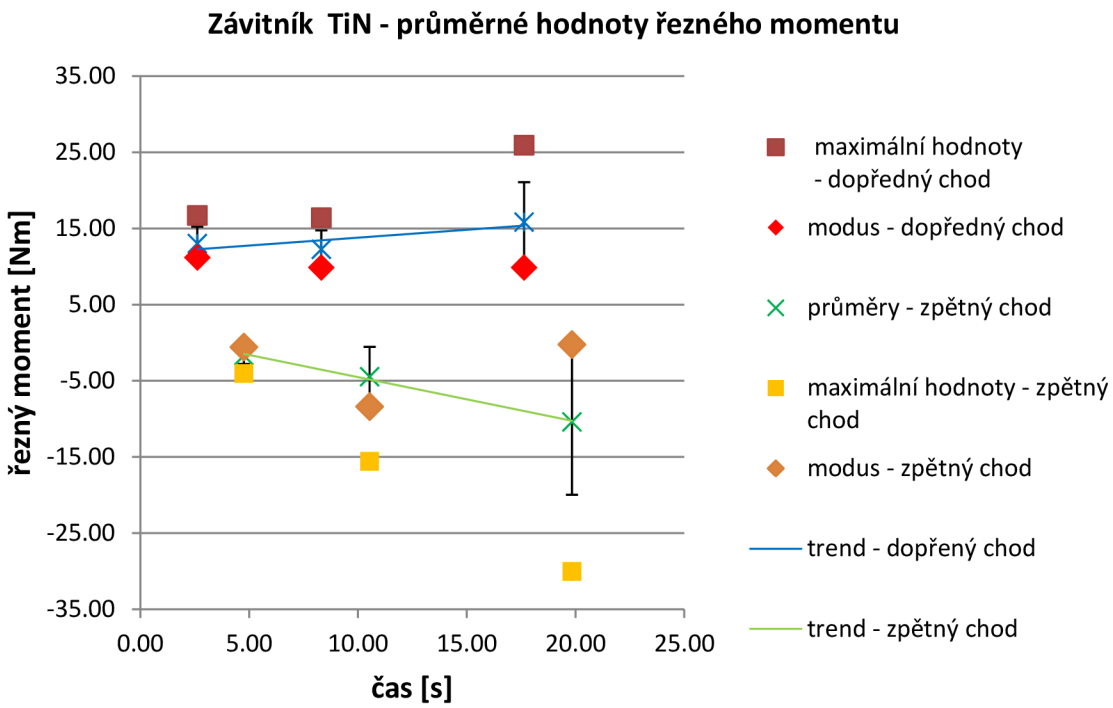


Obr. 31 Oblast maximálních hodnot řezného momentu závitníku TiN – dopředný chod

Hodnocení zpětného chodu je stanovováno na stejně velkém intervalu omezeném hodnotou 9,5 Nm, vzhledem k průběhu naměřených hodnot.



Obr. 32 Oblast maximálních hodnot řezného momentu závitníku TiN – zpětný chod



Obr. 33 Hodnoty řezného momentu závitníku TiN

Jak je patrné z grafu závitník vykazuje značné opotřebení viz. Obr 32 již po druhém pracovním zdvihu. Jednoznačně na to poukazuje maximální hodnota i modus druhého řezného zdvihu při zpětném chodu, která je významně větší. Výrazný narůst velikost řezného momentu a tedy i zhoršená řezivost tohoto nástroje vede k závěru nedoporučení nástroje k dalšímu použití.

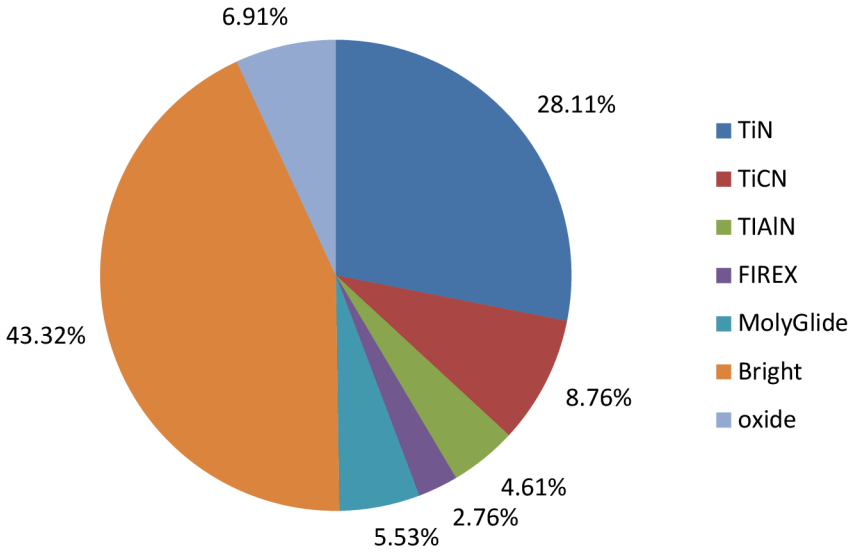
Obr. 34 Závitník TiN opotřebený

3 MATERIÁLY PRO ZÁVITNÍKY A JEJICH POVLAKY OD JEDNOTLIVÝCH VÝROBCŮ

Výrobci pokračují ve zdokonalování řezných vlastností závitníků a tak vyvíjejí nové kombinace substrátů a povlaků.

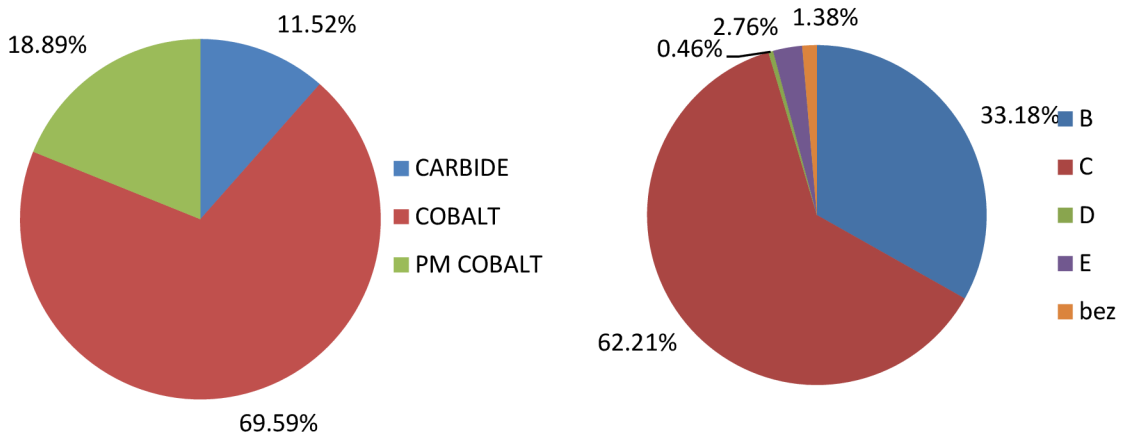
Na dnešním trhu se závitníky je velká konkurence a tak je i velký výběr v nabídce závitníků. Jednotlivý výrobci závitníků nabízejí závitníky v nejrůznější kombinaci materiálů a povlaků. Rozhodla jsem se vytvořit přehled nabízených závitníků vybraných firem na českém trhu. V této práci se zaměřím na závitníky strojní.

3.1 Závitníky firmy Guhring



Obr. 35 Guhring-povlaky celkem

Nejčastěji používaným povlakem nástroje od této firmy je povlak Bright. Z běžně známých povlaků je to pak povlak TiN.



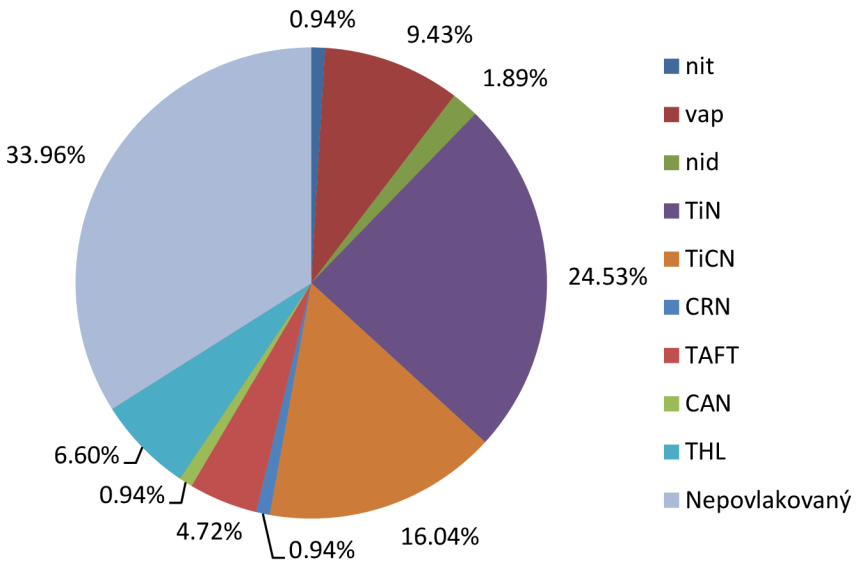
Obr. 36 Guhring-substrát a řezný kužel celkem

Základním materiálem substrátu je pro tuto firmu jednoznačně kobalt

Řezný kužel, který nejčastěji používá firma Guhring pro své závitníky je v rozsahu dvou až tří stoupání, tedy typu C.

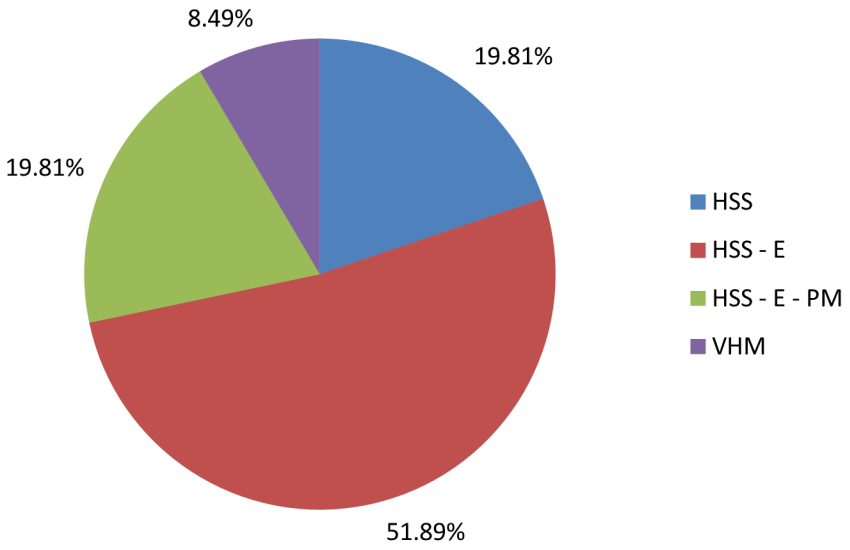
Konkrétní hodnoty viz Příloha 4

3.2 Závitníky firmy Walter



Obr. 37 Walter -povlaky celkem

Největší objem produkce tvoří závitníky nepovlakované a pak následuje TiN a TiCN

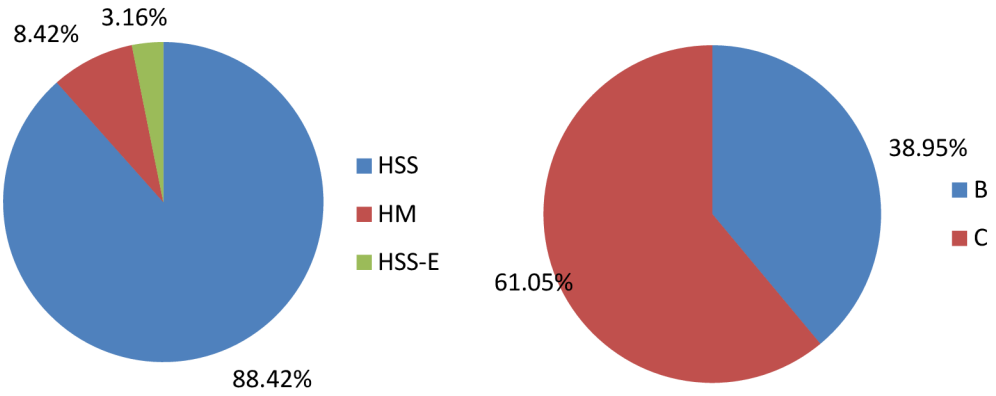


Obr. 38 Walter -substrát závitníků celkem

Z celkového pohledu je nejvíce využívaným materiálem substrátu strojního závitníku od této firmy rychlořezná ocel –HSS - E.

Konkrétní hodnoty viz Příloha 5

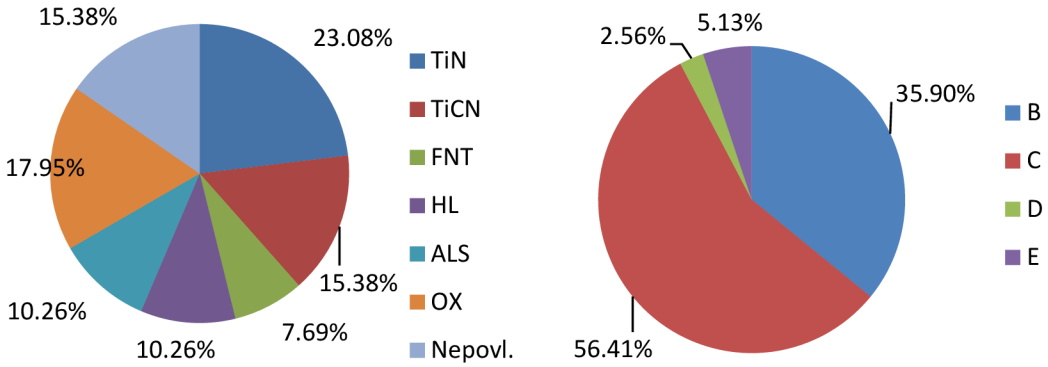
3.3 Závitníky firmy Fraisa



Obr. 39 Fraisa -substrát závitníků a řezný kužel celkem

Firma Fraisa jednoznačně nejčastěji dodává závitníky vyráběné z rychlořezné oceli HSS. Řezný kužel je nejběžnější typu C.

3.4 Závitníky firmy Narex



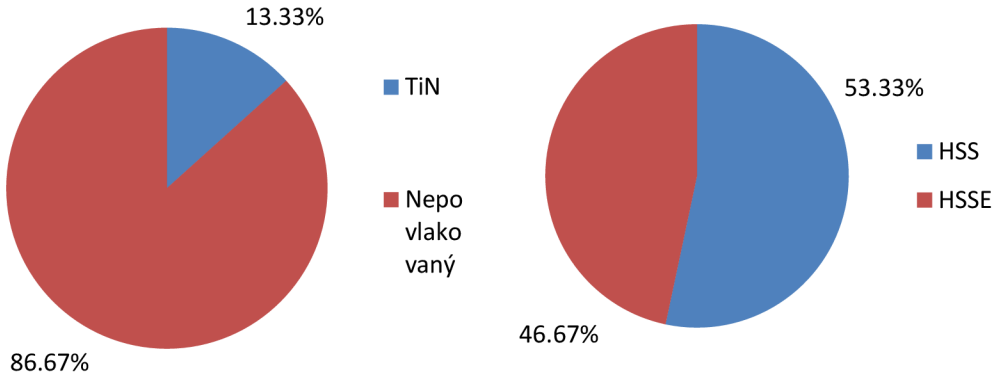
Obr. 40 Narex – povlaky a řezný kužel celkem

Nejběžnějším povlakem na závitnících je TiN a povrch s vrstvou oxidu železa. Pak již tradičně následuje povlak TiCN. Velmi často firma Narex dodává také nepovlakované závitníky.

Řezný kužel, který pomáhá při počáteční fázi řezání závitů, je nejčastěji volen typ C, tj. se dvěma stoupání.

Konkrétní hodnoty viz Příloha 6

3.5 Závitníky firmy Bučovice tools



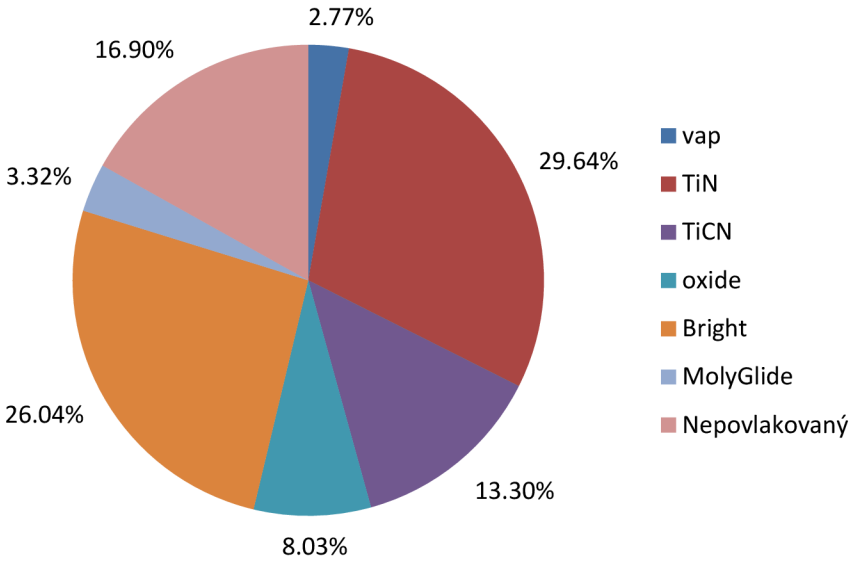
Obr. 41 Bučovice tools-povlaky celkem

Firma Bučovice tools a.s. dodává zejména závitníky nepovlakované vyrobené z rychlořezné oceli – HSS a HSSE.

Konkrétní hodnoty viz Příloha 7.

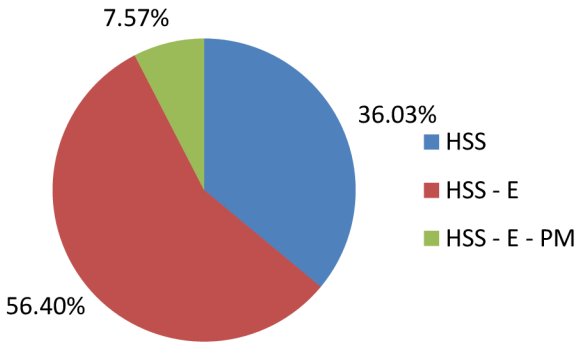
3.6 Závitníky na našem trhu

Pro celkové shrnutí jsem všechny spočtené závitníky shrnula do jednoho společného grafu, a to tak že jsem do statistiky zahrnula jen závitníky nejvýznamněji zastoupené na našem trhu.



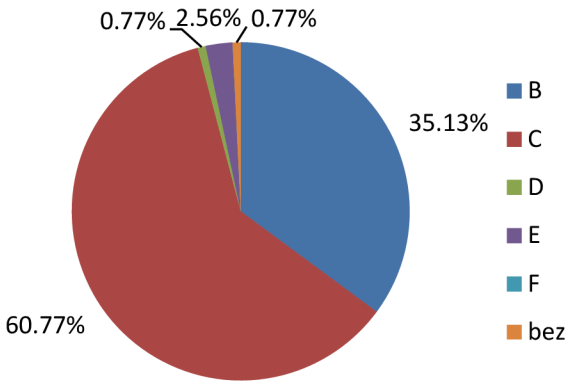
Obr. 42 Zvolení výrobci celkem – povlaky závitníků

Největší objem produkce tvoří závitníky povlakované vrstvou TiN, Pak velmi často jsou závitníky nepovlakované. Dalším významnějším zástupcem povlaků je povlak TiCN. Velké zastoupení povrchů značeného Bright je dáno tím, že jej nejčastěji používá firma Guhring avšak nikdo jiný.



Obr. 43 Zvolení výrobci celkem – substrát závitníků

Ze substrátů je dle očekávání nejčastější HSS- E.



Obr. 44 Zvolení výrobci celkem – řezný kužel závitníků

Řezné kužele jsou velmi často zastoupeny typem C. To je dáno tím, že jsou voleny jako nejvhodnější pro řezání neprůchozích závitů, a tím pádem jsou velmi často užívány i pro nástroje vhodné do průchozích i neprůchozích závitů (univerzálních).

Lze tedy shrnout, že typickým zástupcem závitníků na trhu je závitník vyrobený z HSS – E povlakovaný vrstvou TiN a opatřen řezným kuželem typu C.

Konkrétní hodnoty viz Příloha 8.

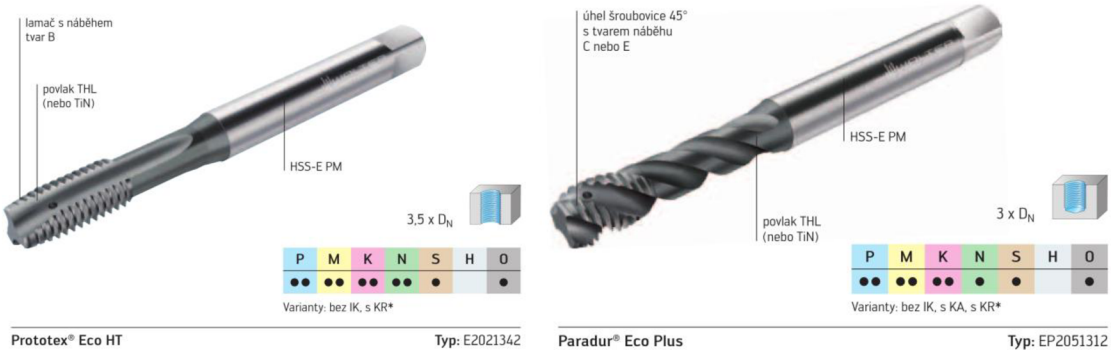
4 NOVÉ TRENDY V ZÁVITOVÁNÍ

Jednotlivé firmy přicházejí na trh taktéž s novinkami v oblasti konstrukce nástrojů. Jako ukázku jsem vybrala nabídku „novinek“z již zvolených firem na našem trhu.

4.1 Walter - Prototex Eco HT a Paradur Eco Plus

Univerzální vysoce výkonné závitníky s povlakem THL (viz Obr. 45). Prodloužená životnost je dána povlakem, který brání v tvorbě nárůstků. Prototex je opatřen speciálním lamačem s náběhem tvaru B. Paradur má skosenou vodící část která snižuje náchylnost k vylamování. Pokud je patřen náběhem tvaru E je možné řezat závit až téměř ke dnu otvoru.

Oba typy umožňují široký rozsah použití. Mají velmi dlouhou životnost a to i za zvýšených řezných podmínek, což vede k vyšší produktivitě.

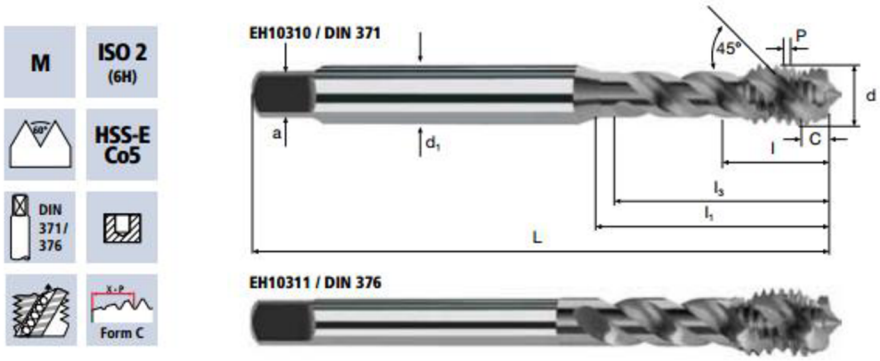


Obr. 45 Moderní univerzální nástroje firmy Walter [10].

4.2 Fraisa - s-tap

Univerzální závitník s-tap FRAISA (viz Obr. 46) je nově navržený závitník s nejmodernější geometrií ostří. Tento nástroje vyroben z HSS oceli povlakovaný TiCN.

Díky novému konceptu zaoblení ostří řezné hrany dosahuje lepších výsledku při dodržení bezpečnosti, kvality a snížení nákladu. Tento univerzální závitník je určen pro řezání nejrůznějších materiálu. Je to výsledek aplikace nejmodernějších technologií a praxí ověřených poznatků. Nový materiál substrátu, nový způsob odstraňování otřepu a nově upravení řezná geometrie ostří. Ideální a přesný design zabraňuje předepsanému opotřebení nástroje. Závitník, dle výrobce navyšuje životnost nástroje o 40% oproti výrobcem posuzovanému nástroji. Výhody: vysoká bezpečnost díky opakovatelnému přesnému řezu ostří, univerzálnost nástroje a minimalizace nákladu na nástroj.



Obr. 46 Univerzální závitník s - tap FRAISA [22].

4.3 Fraisa - na míru

Nástroje na míru jsou nástroji vytvořenými dle požadavků zákazníka. Takto navrhnuté nástroje zaručují unikátní výkon nástroje. Je to jeden nástroj, který je kombinací několika standardizovaných nástrojů. Optimalizuje proces, zvyšuje výkon a produktivitu.

Obr. 47 Závitník XChange od firmy LMT Fette [23].

4.4 Lmt - měnitelné Xchange

V závitnících XChange od firmy LMT Fette, které jsou patentovány, je poprvé spojeny výhody karbidů a ocelí v modulární závitník. Přibližně 90% všech závitníků užívaných v současné době je vyráběno z rychlořezné oceli. Je to proto, že řezný materiál má požadovanou tuhost, která je nutná pro pohlcení krouticího momentu, a zároveň nezbytnou výdrž řezné hrany závitníku. HSS má také své nevýhody oproti karbidovým závitníkům:

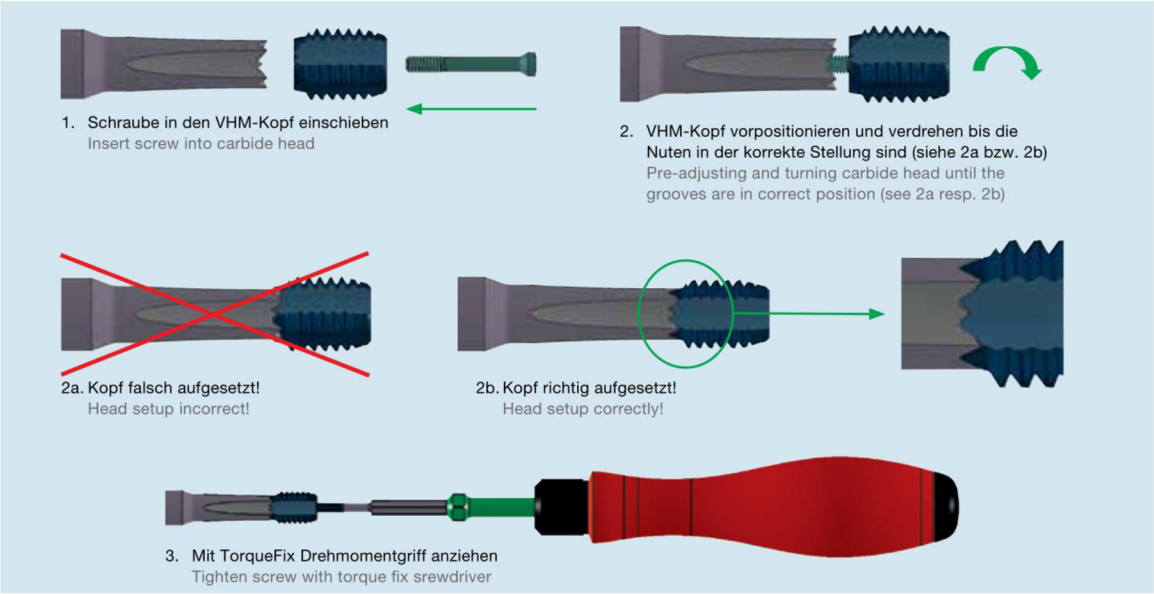
životnost nástroje a především řezná rychlost a také časy cyklů jsou výrazně nižší. Nástrojem XChange jsou tyto dvě vlastnosti kombinovány.

Kombinace karbidů a ultrakarbidického jemnozrnného a vysoce výkonného povlaku poskytuje: maximální životnost nástroje a vysoké řezné rychlosti. Pružná ocelová stopka nástroje garantuje stabilitu nástroje a poskytuje dostatečný výkon.

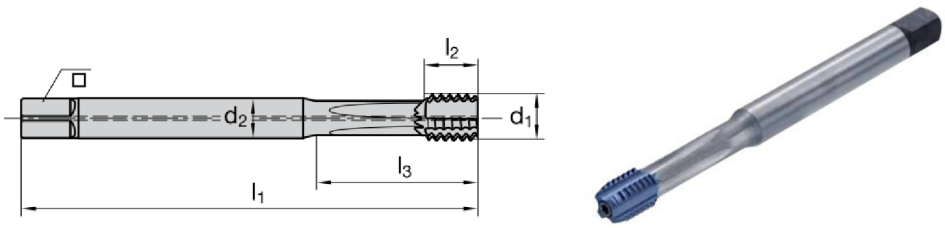
Výhodou jsou maximální produktivita díky vysoké řezné rychlosti. XChange se hodí také pro obrábění materiálů s krátkou třískou, jako jsou litiny, mosaz a hliníkové slitiny.

Řezná část nástroje je povlakována optimalizovaným materiálem Polaris v několika vrstvách, a dále pak leštěna pro minimalizaci tření.

XChange závitník má hlavně přesně definované rozhraní – samocentrovací zoubkování, které zaručuje dokonalou opakovatelnost výměny řezných hlav. [24]

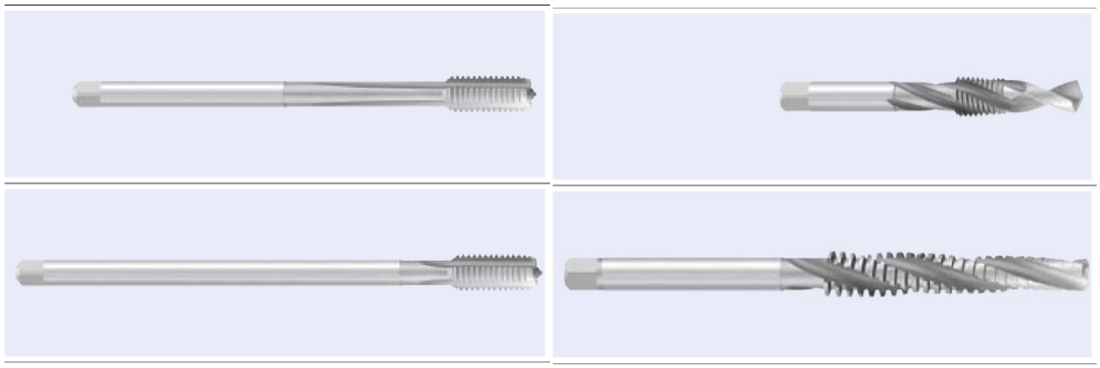


Obr. 48 Montáž závitník XChange od firmy LMT Fette



Obr. 49 Závitník XChange od firmy LMT Fette [24].

4.5 Emuge – speciální závitníky



Obr. 50 Závitníky speciální od firmy Emuge [11].

Příklady závitníků speciálních navržených výrobcem Emuge: Závitník s dlouhým žlábkem a dlouhou násadou, závitník s extra dlouhou násadou, strojní závitník kombi, dokončovací závitník trapézový

4.6 Guhring - Series #3954 (UNC TiN)

Kobaltový závitník s chlazením (viz Obr. 49) je ukázkou nového směru prodloužení životnosti a zkvalitnění řezného procesu. Chladící kanálek v ose nástroje napomáhá odvodu třísek, tím se zabraňuje poškrábání povrchu závitu. Závitník je povlakován vrstvou TiN, tvar náběhem C a šroubovici 40˚.

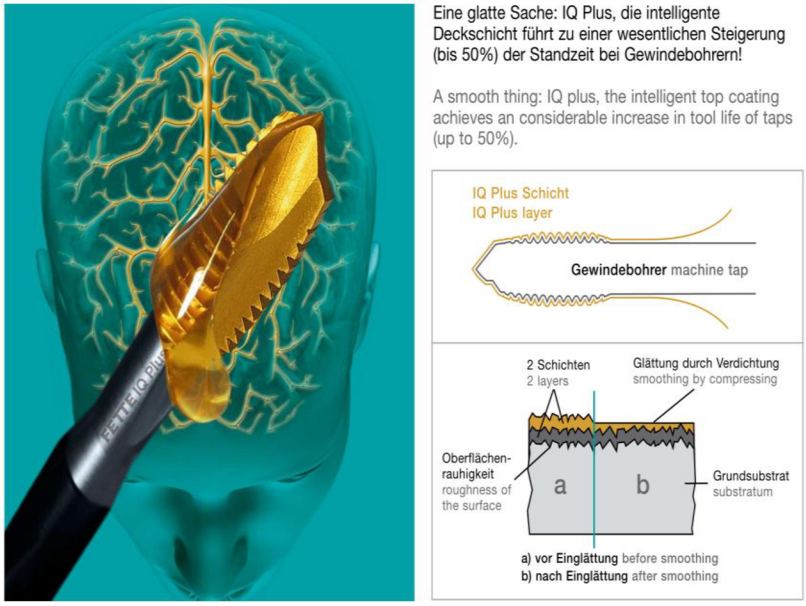
Obr. 51 Závitník s vnitřním chlazením od firmy Guhring [25].

4.7 Fette - IQ Plus

Nově vyvinutý IQ Pluspovrch nástrojů, který je navrhnut pro zátěž, je kombinací extrémní tvrdosti a stálosti proti opotřebení. Skládá se ze dvou vrstev. Spodní tvrdé vrstvy povlaku a „měkčí“tvrdé nanovrstvy IQ Plus.

Zdokonalený a dlouhodobě hladký povrch významně zvyšuje životnost nástroje a to až o 50%. Vylepšení spočívá ve spojení dvou vrstev povlaků a vyhlazení povrchu tlakem.

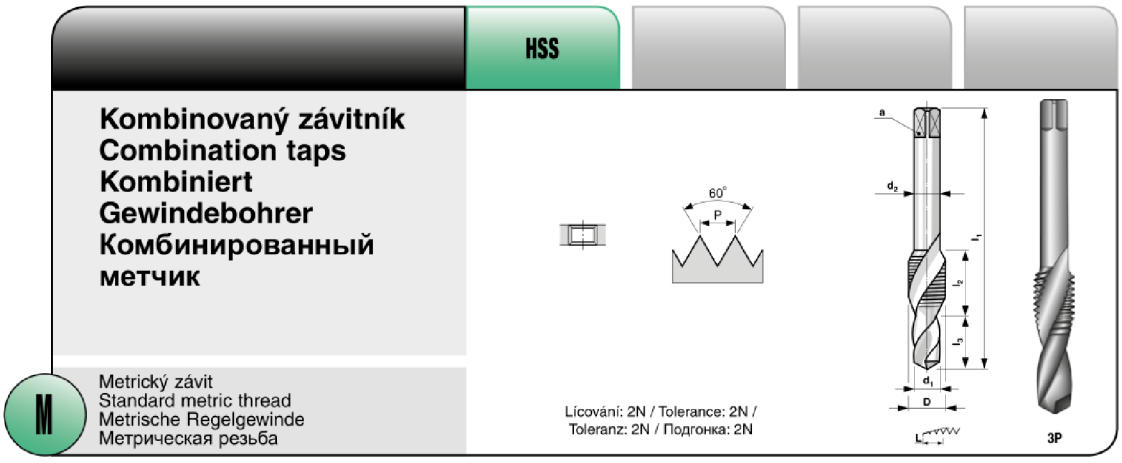
Závitníky jsou odolné oxidaci a jsou vysokoteplotně stálé.



Obr. 52 Závitník s povrchem IQ Plus od firmy Fette [26]

4.8 Bučovice tools – kombinovaný závitník

Za stručnou zmínku stojí i kombinovaný strojní závitník firmy Bučovice tools. I takto malé firmy se snaží vyrábět co nejvíce sofistikované nástroje v rámci jejich možností.



Obr. 53 Kombinovaný závitník od firmy Bučovice tools [27]

Trend je tedy takový, že všichni se snaží vyrábět nástroje co nejvíce účinné, tedy s vysokou řezivostí, vysokou trvanlivostí a s minimálními náklady. Minimalizací nákladů myslím úsporu především strojního a vedlejších časů.

5 ZÁVĚR

Ze zpracovaných dat měření a z dostupných literárních zdrojů vzplývají tato shrnutí a výsledky:

- byl proveden teoretický rozbor konstrukce závitníků,
- byla provedena analýza řezného momentu pro dva nástroje povlakované různými povlaky,
- povlak TiCN/TiN vykazoval stabilní chování v průběhu zkoušky, řezivost se vzhledem k mírně narůstajícímu řeznému momentu jen mírně zhoršila,
- povlak TiN vykazoval již při druhém zdvihu známky silného opotřebení,
- u obou závitníků výsledek analýzy trendu vykazoval nárůst řezného momentu,
- byl zmapován trh se závitníky, kdy jsem došla k závěru, že typickým zástupcem závitníků na trhu je závitník vyrobený z HSS - E povlakovaný vrstvou TiN a opatřen řezným kuželem typu C
- byly zjištěny nové trendy v závitování pro jednotlivé firmy, byly vybrány závitníky speciální, vyvinuté formami za účelem zefektivnění výroby závitníků.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

[1] TLUSTÝ, Jiří. *Manufacturing processes and equipment*. Upper Saddle River: Prentice Hall, 1999, xxviii, 928 s. ISBN 0201498650.

[2]PÍŠKA, Miroslav et al. *Speciální technologie obrábění*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009, 247 s. ISBN 9788021440258.

[3]HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*. Praha: MM publishing, 2008, 235 s. ISBN 9788025422502.

[4]KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 270 s. ISBN 8021430680.

[5]FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Vyd. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 8021423749.

[6] ČSN 22 3001. *Závitníky: Technické předpisy*. Český normalizační institut.

[7] ČSN EN 25967. *Závitníky.: Názvosloví a zatřídění základních typů*. Český normalizační institut.

[8] GUHRING, INC.,. *High Performance Taps* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.guhring.com/documents/catalog/taps/taps.pdf

[9] NAREX ŽDÁNICE,. *27 Katalog* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.narexzd.cz/en/files/catalogue27.pdf

[10] WALTER,. *€ €THREADING WITH WALTER PROTOTYP: Precise, reliable, efficient* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: https://www.walter-tools.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/manuals/en-gb/handbook-prototyp-threading-2012-en.pdf

[11] EMUGE-FRANKEN,. *Thread Cutting Technology · Clamping Technology: Tool Catalogue 140* [online]. [cit. 2015-05-13]. Dostupné z: http://www.emugefranken.cz/files/files/katalogy/EMUGE_zavitovani_140.zip

[12] BOHDAN BOLZANO S.R.O.,. *Rychlořezné nástrojové oceli* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/assets/files/NO/Nove_NO/Informace_k_rychloreznym_NO.pdf

[13] BOROVAN, Petr. Rychlořezná ocel (1). *Technology-support s.r.o* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.t-support.cz/?rubrika=1450

[14] BOHDAN BOLZANO, S.R.O.,. Zpracování nástrojových ocelí: Tváření a tepelné zpracování. *Bohdan Bolzano* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/nastrojove-oceli/zpracovani-nastrojovych-oceli

[15] *Kovové povlaky a vrstvy* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://tzs.kmm.zcu.cz/kovov.pdf

[16] ZEMČÍK, Oskar. 1988. *Řezivost rychlořezných nástrojů s funkčními vrstvami*. Brno: VUT FSI, 169

[17] BOROVAN, Petr. Moderní řezné materiály 2.: část (3). *Technology-support s.r.o.* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.t-support.cz/t-support/?rubrika=1452

[18] OREJT, Milan, Anton HUMÁR, Miroslav PÍŠKA a Libor JANÍČEK. *EXPERIMENTÁLNÍ METODY: SYLABUS* [online]. [cit. 2015-05-27]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/opory_soubory/experimentalni_metody__cviceni__forejt_piska_humar_janicek.pdf

[19] DE VOS, Patrick. PŘÍRUČKA PRO TECHNOLOGY: OPOTŘEBENÍ SE NEVYHNEME!. *Mmspekrum* [online]. [cit. 2015-05-14]. Dostupné z: http://www.secotools.com/CorpWeb/Slovakia/Aktuality/Patrick%20De%20Vos%20-%20cyklus/6/Seco_06.pdf

[20] PARTNERCIS.CZ,. *STROJIMPORT Machine tools, forming machines and investment units into the wide world.: Machine tools, forming machines and investment units into the wide world* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: http://www.strojimport.cz/obrabeci-centra/vertikalni/

[21] ALAT PERAGA,. *AlatPeraga.com* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: http://www.alatperaga.com/detail/36/515/cutting-force-dynamometer-9272-kistler

[22] FRAISA SA,. Thread cutting: s-tap. *Http://www.fraisa.com/en/* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: http://www.fraisa.com/en/assets/media/pdf/kataloge/en/Produktprospekt_s-tap_EN_web.pdf

[23] FRAISA SA,. Carbide drills Thread cutting tools. *Http://www.fraisa.com/* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: http://www.fraisa.com/en/assets/media/pdf/kataloge/en/GB_KAT_2012_Euro_Engl.pdf

[24] LMT TOOLS,. MODULAR TOOL SYSTEMS. *Http://www.lmt-tools.com* [online]. [cit. 2015-05-26]. Dostupné z: http://www.lmt-tools.com/modular-tool-systems-optimze-internal-thread-production-and-conserve-resources/?tags=361&bpid=451&cHash=bfa77aa6c3995b0a24e3d12fd8d73330

[25] GUHRING,. Cutting Tools for Steels [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://www.guhring.com/Documents/Catalog/Taps/Steels.pdf

[26] LMT-TOOLS,. *IQ Plus* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: http://citace.lib.vutbr.cz/

[27] BUČOVICE TOOLS A.S.,. KATALOG. *Http://www.tools-bu.cz/* [online]. [cit. 2014-09-01]. Dostupné z: http://www.tools-bu.cz/images/BU_katalog_11_pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

CBC	[-]	dia povlak
ČSN	[-]	česká technická norma
G	[-]	gradientní struktura povlaku
HRA	[-]	tvrdost dle Rockwella
HRC	[-]	tvrdost dle Rockwella
HRV	[-]	tvrdost dle podle Vickerse
HSS	[-]	High Speed Steel, rychlořezná ocel
MP	[-]	víceúčelový povlak
NG	[-]	nanogradientní struktura
NK	[-]	nanokompozitní struktura
PVD	[-]	Physical Vapour Deposition, fyzikální depozice z plynné fáze
SK	[-]	slinutý karbid

$\mathbf{A_D}$	[mm^2]	plocha průřezu třísky
DS	[mm]	střední průměr závitu
$\mathbf{F_C}$	[N]	řezná síla
KT	[mm]	hloubka výmolu na čele
$\mathbf{KV_y}$	[mm]	radiální opotřebení špičky
$\boldsymbol{L}$	[mm]	hloubka závitníku
$\boldsymbol{M_C}$	[Nm]	řezný moment
$\boldsymbol{P_C}$	[kW]	řezný výkon
$\boldsymbol{T}$	[min]	trvanlivost řezného nástroje
$\boldsymbol{V}$	[mm]	délku řezného kužele
VB	[mm]	šířka fazetky opotřebení na hřbetě
Z (min)	[min]	životnost nástroje
$\boldsymbol{a_p}$	[mm]	konstantní šířkou záběru
$\boldsymbol{d_N}$	[mm]	velký průměr závitů dořezávaného závitníku
$\boldsymbol{f}$	[mm]	posuv na otáčku

h	[mm]	tloušťka třísky
k_C	[MPa]	měrná řezná síla
l	[mm]	hloubka zařezání řezného kužele
m	[-]	citlivost nástrojového materiálu na změnu řezné rychlosti
mc	[-]	veličina závislá na fyzikálních vlastnostech obrobku a řezných podmínkách
n	[min^{-1}]	otáčky
v_c	[$m.min^{-1}$]	řezná rychlost
α	[°]	úhel hřbetu
β	[°]	úhel břitu
γ	[°]	úhel čela
δ	[°]	úhel řezu
ε	[°]	úhel řezného kužele
κ_r	[°]	úhel nastavení ostří
λ	[°]	úhel sklonu neprůběžné drážky
ξ	[°]	úhel sklonu ostří
ω	[°]	úhel

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1	Chemické složení obráběného materiálu, mechanické vlastnosti a typické aplikační použití
Příloha 2	Hodnocení závitníku povlakovaného TiCN/TiN
Příloha 3	Hodnocení závitníku povlakovaného TiN
Příloha 4	Materiály pro závitníky a jejich povlaky od firmy Guhring
Příloha 5	Materiály pro závitníky a jejich povlaky od firmy Walter
Příloha 6	Materiály pro závitníky a jejich povlaky od formy Fraisa
Příloha 7	Materiály pro závitníky a jejich povlaky od Narex
Příloha 8	Materiály pro závitníky a jejich povlaky celkem

PŘÍLOHA 1

Chemické složení obráběného materiálu, mechanické vlastnosti a typické aplikační použití - ČSN 10088-1 1.4301 (X5CrNi 18-10) ocel chróm-niklová austenitická nestabilizovaná.

Typ	C max.	Cr	Ni	Mo	Si max.	Mn max.	P max.	S max.	Ti
(dříve AISI 304, ČSN 41 7240 nebo AKV 7)	Hmotnostní obsah prvků [%]								
1.4301	0,06	17-20	8,5-10,5	-	1,00	2,00	0,045	0,030	-
Mechanické vlastnosti	Pevnost v tahu Rm 520 - 720 MPa Mez průtažnosti (kluzu) Rp 0,2 min. 210 MPa Tažnost A_{80mm} - min. 45 %.								
Aplikace	Nemagnetická, nekalitelná ocel. Má sklon ke zpevňování za studena při tažení, nebo při třískovém obrábění nevhodnými řeznými podmínkami. Zpevnění vzniká přetvořením austenitu na deformační martenzit, který zvýší pevnost, sníží tažnost a způsobí magnetovatelnost (tažená tyčovina, za studena převálcované plechy od tl. 4 mm). U profilů s větší plochou průřezu (tyče od D80mm, plechy od tl.15mm) se může vyskytovat částečná magnetovatelnost v oblasti jádra profilu - je způsobena zbytkovým martenzitem z vysokých teplot při výrobě. Deformační i zbytkový martenzit lze odstranit žíháním. Žíhací teplota 1000-1100°C, chlazení vodou nebo intenzivním vzduchem. Tyto změny struktury nemají vliv na korozní odolnost materiálu a svařitelnost. Odolnost proti korozi v prostředí běžného typu (voda, slabé alkálie, slabé kyseliny, průmyslové a velkoměstské atmosféry). Náchylnost k mezikrystalické korozi v oblasti tepelného ovlivnění (např. u svarů - CrC vznikají již od teploty 450°C). Technologie zpracování Je svařitelná ale v oblasti svaru náchylná k mezikrystalické korozi. U průvarů nad 5mm tloušťky nutno žíhat svařenec. Zpracovává se stříháním, ohýbáním, tažením - lze použít obou způsobů tažení, ale je vhodnější pro nepravé tažení (přetahování). Třísková obrobitelnost je dobrá. Leštitelná. Užití Běžné produkty k obecnému použití (gastronomická zařízení, vnější konstrukce, externí architektura, vodárny, zařízení ČOV, ap.) mimo svařovaných konstrukcí s provařením přes 5 mm průvaru. U takových konstrukcí je po svaření nutné žíhání s následným tryskáním a mořením. Chemické složení vyhovuje normě pro použití výrobků pro potraviny a pitnou vodu. Maximální teplota aplikací - 450°C.								

PŘÍLOHA 2

Hodnocení závitníku povlakovaného TiCN/TiN

	řezný moment dopředný chod [Nm]									
čas [s]	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
0.00	3.810	3.468	3.370	3.468	3.663	3.663	3.614	3.614	3.663	3.614
0.02	3.810	3.468	3.370	3.468	3.663	3.614	3.614	3.566	3.614	3.566
0.04	3.810	3.517	3.370	3.468	3.614	3.566	3.614	3.517	3.566	3.566
0.06	3.810	3.419	3.321	3.419	3.566	3.566	3.517	3.468	3.468	3.566
0.08	3.712	3.370	3.273	3.419	3.517	3.517	3.468	3.517	3.517	3.614
0.10	3.712	3.419	3.273	3.419	3.566	3.468	3.566	3.566	3.566	3.614
0.12	3.810	3.468	3.321	3.517	3.614	3.468	3.566	3.566	3.663	3.663
0.14	3.956	3.566	3.321	3.566	3.663	3.614	3.517	3.566	3.712	3.663
0.16	4.005	3.614	3.321	3.614	3.663	3.614	3.468	3.566	3.712	3.614
0.18	3.956	3.614	3.419	3.614	3.566	3.663	3.566	3.614	3.663	3.566
0.20	3.907	3.614	3.419	3.614	3.614	3.614	3.614	3.566	3.614	3.614
0.22	4.005	3.566	3.419	3.566	3.614	3.566	3.566	3.517	3.566	3.614
0.24	4.103	3.468	3.370	3.566	3.663	3.566	3.566	3.468	3.614	3.614
0.26	4.200	3.468	3.370	3.614	3.712	3.614	3.614	3.468	3.663	3.517
0.28	4.200	3.517	3.370	3.614	3.712	3.712	3.614	3.614	3.761	3.566
0.30	4.249	3.614	3.419	3.614	3.712	3.761	3.566	3.761	3.712	3.566
0.32	4.249	3.566	3.370	3.614	3.663	3.761	3.663	3.761	3.663	3.566
0.34	4.152	3.566	3.370	3.614	3.712	3.712	3.712	3.663	3.712	3.566
0.36	4.152	3.614	3.468	3.663	3.761	3.712	3.663	3.566	3.761	3.663
0.38	4.152	3.614	3.517	3.614	3.761	3.663	3.663	3.468	3.712	3.663
0.40	4.152	3.712	3.517	3.566	3.663	3.663	3.712	3.517	3.712	3.614
0.42	4.152	3.614	3.468	3.517	3.712	3.663	3.712	3.663	3.663	3.663
0.44	4.152	3.663	3.419	3.566	3.810	3.614	3.712	3.761	3.663	3.761
0.46	4.249	3.566	3.321	3.614	3.761	3.614	3.614	3.761	3.663	3.761
0.48	4.152	3.517	3.321	3.566	3.810	3.614	3.663	3.810	3.712	3.712
0.50	4.200	3.566	3.468	3.614	3.907	3.614	3.663	3.761	3.712	3.712
0.52	4.200	3.614	3.566	3.712	3.956	3.663	3.663	3.712	3.712	3.712
0.54	4.200	3.614	3.566	3.761	4.005	3.663	3.663	3.712	3.712	3.712
0.56	4.249	3.663	3.517	3.761	3.907	3.663	3.712	3.712	3.761	3.614
0.58	4.249	3.663	3.517	3.810	3.859	3.761	3.712	3.712	3.761	3.663
0.60	4.298	3.761	3.517	3.810	3.907	3.761	3.663	3.810	3.712	3.663
0.62	4.200	3.810	3.517	3.614	3.859	3.712	3.712	3.810	3.712	3.663
0.64	4.103	3.859	3.566	3.614	3.859	3.712	3.810	3.810	3.663	3.663
0.66	4.054	3.907	3.663	3.614	3.956	3.761	3.859	3.810	3.712	3.810
0.68	4.005	3.859	3.663	3.761	4.103	3.859	3.810	3.907	3.810	3.907
0.70	3.859	3.810	3.761	3.859	4.103	4.005	3.761	4.054	3.810	3.859
0.72	3.663	3.517	3.761	3.956	3.956	4.054	3.566	4.005	3.761	3.712
čas [s]	5.18	10.44	17.64	25.60	33.90	42.28	49.52	55.68	63.32	71.84
průměr řezných momentů [Nm]	4.051	3.601	3.448	3.616	3.761	3.671	3.642	3.669	3.680	3.654
směrodatná odchylka [Nm]	0.184	0.130	0.126	0.123	0.153	0.120	0.090	0.149	0.076	0.086
maximální hodnota řezného momentu [Nm]	4.298	3.907	3.761	3.956	4.103	4.054	3.859	4.054	3.810	3.907
modus řezného momentu [Nm]	4.152	3.614	3.370	3.614	3.663	3.614	3.663	3.566	3.712	3.614

PŘÍLOHA 3

Hodnocení závitníku povlakovaného TiN

	řezný moment dopředný chod [Nm]			řezný moment zpětný chod[Nm]		
čas [s]	1	2	3	1	2	3
0.00	9.62	9.47	9.18	-0.195	-0.147	-0.147
0.02	10.30	9.86	9.86	-0.244	-0.195	-0.195
0.04	11.18	10.06	10.35	-0.244	-0.195	-0.195
0.06	11.57	10.01	10.74	-0.244	-0.244	-0.195
0.08	11.72	10.01	11.13	-0.244	-0.293	-0.244
0.10	11.67	10.11	11.72	-0.293	-0.293	-0.244
0.12	11.38	10.35	12.16	-0.391	-0.391	-0.244
0.14	11.18	10.50	12.35	-0.537	-0.391	-0.342
0.16	11.62	10.25	12.50	-0.732	-0.244	-0.440
0.18	11.96	10.21	12.55	-0.928	-0.244	-0.342
0.20	12.21	10.21	12.70	-0.879	-0.195	-0.244
0.22	12.40	10.30	13.09	-0.781	-0.342	-0.244
0.24	12.45	10.45	13.67	-0.830	-0.781	-0.342
0.26	12.74	10.79	14.01	-0.830	-1.172	-0.635
0.28	13.13	11.47	14.50	-0.684	-1.318	-2.051
0.30	13.57	12.16	15.28	-0.537	-0.977	-2.930
0.32	13.92	12.99	15.82	-0.586	-1.025	-3.320
0.34	13.82	13.82	16.26	-0.586	-1.221	-5.762
0.36	14.06	14.36	16.99	-0.635	-1.270	-10.210
0.38	14.36	14.94	17.92	-0.635	-1.563	-12.740
0.40	14.55	15.53	18.80	-0.586	-1.514	-13.230
0.42	15.04	15.92	20.02	-0.586	-1.318	-13.380
0.44	15.82	15.87	21.78	-0.586	-1.221	-13.570
0.46	16.41	16.26	23.34	-0.684	-1.025	-13.920
0.48	16.70	16.41	25.29	-1.025	-0.977	-16.060
0.50	15.67	15.97	25.93	-1.172	-0.928	-22.310
0.52	15.77	15.67	25.29	-1.172	-1.172	-25.390
0.54	16.36	15.28	24.22	-1.074	-1.270	-19.240
0.56	16.31	13.96	23.00	-0.928	-1.172	-12.650
0.58	15.67	12.35	23.00	-0.977	-1.221	-9.570
0.60	15.14	11.33	24.37	-1.025	-1.514	-5.615
0.62	15.19	10.55	24.46	-1.270	-1.904	-3.809
0.64	14.70	9.86	22.66	-1.514	-3.223	-4.150
0.66	13.43	9.38	19.73	-1.611	-5.273	-5.420
0.68	12.06		17.14	-1.563	-6.445	-4.688
0.70	10.79		16.50	-1.709	-6.396	-4.883
0.72	10.21		16.41	-1.953	-6.348	-5.225
0.74	9.86		15.72	-1.904	-6.641	-5.664
0.76	9.91		15.23	-1.807	-7.520	-5.908
0.78	9.96		15.14	-1.953	-8.447	-5.957
0.80	9.13		14.06	-2.197	-10.500	-5.176
0.82			12.74	-2.490	-12.010	-5.176
0.84			10.74	-2.588	-12.790	-5.420
0.86			9.86	-2.686	-15.580	-7.178
0.88			9.33	-2.930	-13.090	-9.766
0.90			8.84	-2.734	-6.689	-13.230

	řezný moment dopředný chod [Nm]			řezný moment zpětný chod[Nm]		
čas [s]	**1**	**2**	**3**	**1**	**2**	**3**
0.92			9.57	-2.051	-4.443	-14.790
0.94			10.21	-1.855	-4.492	-12.400
0.96			9.57	-2.002	-5.371	-10.690
0.98				-2.197	-5.566	-11.280
1.00				-2.295	-5.127	-14.360
1.02				-2.295	-4.639	-18.310
1.04				-2.344	-5.811	-22.410
1.06				-2.490	-6.885	-25.930
1.08				-2.734	-7.764	-28.220
1.10				-2.832	-8.203	-29.590
1.12				-3.027	-8.545	-29.790
1.14				-3.223	-8.545	-30.030
1.16				-3.418	-8.008	-29.740
1.18				-3.564	-7.422	-29.300
1.20				-4.004	-7.910	-28.320
1.22				-4.053	-8.398	-27.540
1.24				-3.906	-8.496	-25.730
1.26				-3.564	-8.398	-23.050
1.28				-3.320	-7.959	-20.510
1.30				-3.320	-8.008	-18.600
1.32				-3.564	-8.398	-17.480
1.34				-3.418	-8.398	-17.140
1.36				-3.076	-8.594	-16.020
1.38				-2.832	-9.229	-14.110
1.40				-2.539	-9.326	-11.960
1.42				-2.246	-7.178	-7.568
1.44				-1.953	-4.395	-3.906
1.46				-1.514	-2.393	-2.246
1.48				-1.465	-0.928	-1.660
1.50				-1.660	-0.293	-1.074
1.52				-1.465	-0.147	-0.440
1.54				-1.123	-0.098	-0.195
1.56				-0.781		-0.147
1.58				-0.391		-0.098
1.60				-0.195		-0.147
1.62				-0.147		
	dopředný chod			**zpětný chod**		
čas [s]	2.62	8.32	17.64	4.76	10.54	19.84
průměr řezných momentů [Nm]	13.013	12.255	15.831	-1.690	-4.462	-10.400
směrodatná odchylka [Nm]	2.215	2.476	5.236	1.104	3.912	9.569
maximální hodnota řezného momentu [Nm]	16.700	16.410	25.930	-4.053	-15.580	-30.030
modus řezného momentu [Nm]	11.180	9.863	9.863	-0.586	-8.398	-0.244

PŘÍLOHA 4

Materiály pro závitníky a jejich povlaky od firmy Guhring

Guhring-celek								
povlaky	počet	procenta	substrát	počet	procenta	řezný kužel	počet	procenta
TiN	61	28.11%	CARBIDE	25	11.52%	A	0	0.00%
TiCN	19	8.76%	COBALT	151	69.59%	B	72	33.18%
TIAlN	10	4.61%	PM COBALT	41	18.89%	C	135	62.21%
FIREX	6	2.76%				D	1	0.46%
MolyGlide	12	5.53%				E	6	2.76%
Bright	94	43.32%				F	0	0.00%
oxide	15	6.91%				bez	3	1.38%
Suma	217		Suma	217		Suma	217	

Guhring-neprůchozí								
povlaky	počet	procenta	substrát	počet	procenta	*řezný kužel*	počet	procenta
TiN	38	31.67%	CARBIDE	14	11.67%	A	0	0.00%
TiCN	13	10.83%	COBALT	82	68.33%	B	0	0.00%
TIAlN	7	5.83%	PM COBALT	24	20.00%	C	110	91.67%
FIREX	3	2.50%				D	1	0.83%
MolyGlide	6	5.00%				E	6	5.00%
Bright	49	40.83%				F		0.00%
oxide	4	3.33%				bez	3	2.50%
Suma	120		Suma	120		Suma	120	

Guhring-průchozí								
povlaky	počet	procenta	substrát	počet	procenta	*řezný kužel*	počet	procenta
TiN	23	23.71%	CARBIDE	11	11.34%	A	0	0.00%
TiCN	6	6.19%	COBALT	69	71.13%	B	72	218.18%
TIAlN	3	3.09%	PM COBALT	17	17.53%	C	25	75.76%
FIREX	3	3.09%				D	0	0.00%
MolyGlide	6	6.19%				E	0	0.00%
Bright	45	46.39%				F	0	0.00%
oxide	11	11.34%						
Suma	97		Suma	97		Suma	97	

PŘÍLOHA 5

Materiály pro závitníky a jejich povlaky od firmy Walter

WALTER-neprůchozí i průchozí						*WALTER-celek*					
povlaky	**počet**	**procenta**	**substrát**	**počet**	**procenta**	**povlaky**	**počet**	**procenta**	**substrát**	**počet**	**procenta**
nit	1	5.88%	**HSS**	0	0.00%	**nit**	1	0.94%	HSS	21	19.81%
vap		0.00%	**HSS - E**	7	41.18%	**vap**	10	9.43%	HSS - E	55	51.89%
nid	2	11.76%	**HSS - E - PM**	5	29.41%	**nid**	2	1.89%	HSS - E - PM	21	19.81%
TiN	1	5.88%	**VHM**	5	29.41%	**TiN**	26	24.53%	VHM	9	8.49%
TiN/vap		0.00%				**TiN/vap**	0	0.00%			
TiCN	4	23.53%				**TiCN**	17	16.04%			
CRN		0.00%				**CRN**	1	0.94%			
TAFT	2	11.76%				**TAFT**	5	4.72%			
CAN		0.00%				**CAN**	1	0.94%			
TAX		0.00%				**TAX**	0	0.00%			
THL		0.00%				**THL**	7	6.60%			
NHC		0.00%				**NHC**	0	0.00%			
Nepovlakovaný	7	41.18%				**Nepovlakovaný**	36	33.96%			
Suma	17		**Suma**	17		**Suma**	106		**Suma**	106	

WALTER-neprůchozí						*WALTER-průchozí*					
povlaky	**počet**	**procenta**	**substrát**	**počet**	**procenta**	**povlaky**	**počet**	**procenta**	**substrát**	**počet**	**procenta**
nit		0.00%	**HSS**	0	0.00%	**nit**		0.00%	**HSS**	21	67.74%
vap	8	13.79%	**HSS - E**	40	68.97%	**vap**	2	6.45%	**HSS - E**	8	25.81%
nid		0.00%	**HSS - E - PM**	15	25.86%	**nid**		0.00%	**HSS - E - PM**	1	3.23%
TiN	16	27.59%	**VHM**	3	5.17%	**TiN**	9	29.03%	**VHM**	1	3.23%
TiN/vap		0.00%				**TiN/vap**		0.00%			
TiCN	7	12.07%				**TiCN**	6	19.35%			
CRN	1	1.72%				**CRN**		0.00%			
TAFT	1	1.72%				**TAFT**	2	6.45%			
CAN	1	1.72%				**CAN**		0.00%			
TAX		0.00%				**TAX**		0.00%			
THL	5	8.62%				**THL**	2	6.45%			
NHC		0.00%				**NHC**		0.00%			
Nepovlakovaný	19	32.76%				**Nepovlakovaný**	10	32.26%			
Suma	58		**Suma**	58		**Suma**	31		**Suma**	31	

PŘÍLOHA 6

Materiály pro závitníky a jejich povlaky od formy Fraisa

Fraisa neprůchozí i průchozí						*Fraisa - celek*					
substrát	**počet**	**procenta**	***řezný kužel***	**počet**	**procenta**	**substrát**	**počet**	**procenta**	***řezný kužel***	**počet**	**procenta**
HSS	11	68.75%	**A**	0	0.00%	**HSS**	84	88.42%	**A**	0	0.00%
HM	2	18.75%	**B**	4	25.00%	**HM**	8	8.42%	**B**	37	38.95%
HSS-E	3		**C**	12	75.00%	**HSS-E**	3	3.16%	**C**	58	61.05%
			D		0.00%				**D**	0	0.00%
			E		0.00%				**E**	0	0.00%
			F		0.00%				**F**	0	0.00%
Suma	16		**Suma**	16		**Suma**	95		**Suma**	95	

Fraisa neprůchozí						*Fraisa průchozí*					
substrát	**počet**	**procenta**	***řezný kužel***	**počet**	**procenta**	**substrát**	**počet**	**procenta**	***řezný kužel***	**počet**	**procenta**
HSS	40	86.96%	**A**	0	0.00%	**HSS**	33	100.00%	**A**	0	0.00%
HM	6	13.04%	**B**	0	0.00%	**HM**	0	0.00%	**B**	33	100.00%
			C	46	100.00%				**C**	0	0.00%
			D	0	0.00%				**D**	0	0.00%
			E	0	0.00%				**E**	0	0.00%
			F	0	0.00%				**F**	0	0.00%
Suma	46		**Suma**	46		**Suma**	33		**Suma**	33	

PŘÍLOHA 7

Materiály pro závitníky a jejich povlaky od Narex

Narex - neprůchozí i průchozí						Narex - celek					
povlaky	počet	procenta	řezný kužel	počet	procenta	povlaky	počet	procenta	řezný kužel	počet	procenta
TiN	2	16.67%	A	0	0.00%	TiN	18	23.08%	A	0	0.00%
TiCN	8	66.67%	B	0	0.00%	TiCN	12	15.38%	B	28	35.90%
FNT		0.00%	C	8	50.00%	FNT	6	7.69%	C	44	56.41%
HL		0.00%	D	0	0.00%	HL	8	10.26%	D	2	2.56%
ALS		0.00%	E	4	25.00%	ALS	8	10.26%	E	4	5.13%
OX		0.00%	F	0	0.00%	OX	14	17.95%	F	0	0.00%
Nepovlakované	2	16.67%				Nepovlakované	12	15.38%			
Suma	12		Suma	12		Suma	78		Suma	78	

Narex - neprůchozí						Narex - průchozí					
povlaky	počet	procenta	řezný kužel	počet	procenta	povlaky	počet	procenta	řezný kužel	počet	procenta
TiN	10	26.32%	A	0	0.00%	TiN	6	21.43%	A	0	0.00%
TiCN	2	5.26%	B	0	0.00%	TiCN	2	7.14%	B	28	100.00%
FNT	4	10.53%	C	36	94.74%	FNT	2	7.14%	C	0	0.00%
HL	4	10.53%	D	2	5.26%	HL	4	14.29%	D	0	0.00%
ALS	4	10.53%	E	0	0.00%	ALS	4	14.29%	E	0	0.00%
OX	8	21.05%	F	0	0.00%	OX	6	21.43%	F	0	0.00%
Nepovlakované	6	15.79%				Nepovlakované	4	14.29%			0.00%
Suma	38		Suma	38		Suma	28		Suma	28	

PŘÍLOHA 8

Materiály pro závitníky a jejich povlaky celkem

Celek								
povlaky	**počet**	**procenta**	**substrát**	**počet**	**procenta**	***řezný kužel***	**počet**	**procenta**
vap	10	2.77%	**HSS**	138	36.03%	**A**	0	0.00%
TiN	107	29.64%	**HSS - E**	216	56.40%	**B**	137	35.13%
TiN/vap	0	0.00%	**HSS - E - PM**	29	7.57%	**C**	237	60.77%
TiCN	48	13.30%				**D**	3	0.77%
oxide	29	8.03%				**E**	10	2.56%
Bright	94	26.04%				**F**	0	0.00%
MolyGlide	12	3.32%				**bez**	3	0.77%
Nepovlakované	61	16.90%						
Suma	361		**Suma**	383		**Suma**	390	