

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

Školní rok: 1992/1993

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

pro Petra CHVÁTALA
obor (23 - 07 - 89) strojírenská technologie

Vedoucí katedry Vám ve smyslu zákona č. 172/1990 Sb. o vysokých školách určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: Obrábění nerez ocelí v a. s. Elton
Nové Město n. Metují

Zásady pro vypracování:

- 1) Hospodářský význam zadání
- 2) Studium obrábění těžkoobrobitelných materiálů
- 3) Výběr vhodných druhů ocelí podle požadavků podniku
- 4) Podrobné zpracování problematiky obrábění vybraných nerez ocelí se zaměřením na vystružování a řezání vnitřních závitů.
- 5) Zhodnocení a závěry.

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8
PSČ 461 17

V 68 1935

KOM/OM

Rozsah grafických prací: dle potřeby
Rozsah průvodní zprávy: 40 až 60 stran
Seznam odborné literatury:

VIGNAR, M.- PŘIKRYL, Z. a kol.: Obrábění. Praha,
SNTL 1984

MIKOVEC, M.: Obrábění materiálů s velkou pevností
a tvrdostí. Praha, SNTL 1982

Obrábění těžkoobrobitelných materiálů. Sborník
přednášek. Bratislava. Dům techniky ČSVTS 1990.
Časopisy, prospekty, katalogy nástrojů.

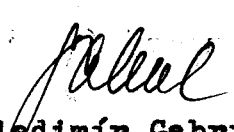
Vedoucí diplomové práce: Ing. Karel Bukač

Konzultant: Ing. Karel Nývlt - a. s. Elton N. Měst n. Metují

Zadání diplomové práce: 30. 10. 1992

Termín odevzdání diplomové práce: 28. 5. 1993




Doc. Ing. Vladimír Gabriel, CSc.
Vedoucí katedry


Prof. Ing. Jaroslav Exner, CSc.
Děkan

V Liberci

dne 30. 10. 1992

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Fakulta strojní

DIPLOMOVÁ PRÁCE

1993

Petr C h v á t a l

Vysoká škola strojní a textilní v Liberci

Fakulta strojní

Katedra obrábění a montáže

obor strojírenská technologie
zaměření o b r á b ě n í a m o n t á ž

Obrábění nerez oceli v a. s. Elton

Nové Město nad Metují

KOM - OM - 794

UNIVERZITNÍ KNIHOVNA
TECHNICKÉ UNIVERZITY V LIBERCI



Petr C h v á t a l

Vedoucí práce: Ing. Karel Bukač

Konzultant: Ing. Karel Nývlt - a. s. Elton Nové Město
nad Metují

Počet stran: 79

Počet tabulek: 18

Počet obrázků: 12

Počet modelů

nebo jiných příloh: 0

Datum: 25. května 1993

ANOTACE

Označení DP: 794

Řešitel: *Petr Chvátal*

OBRÁBĚNÍ NEREZ OCELI

Diplomová práce zpracovává problematiku řezání závitů a vystružování v nerez ocelích.

Byly zde vytipovány korozivzdorné oceli s dobrou obrobiteľností.

Při zkouškách závitníků byla sledována velikost opotřebení na hřbetě VC v závislosti na počtu vyřezaných závitových otvorů. Dále byly porovnány velikosti krouticího momentu při použití ostrého a otupeného závitníku a dále při použití různých řezných kapalin.

Při zkouškách výstružníků byl sledován vliv různých řezných rychlostí, posuvů a řezných kapalin na přesnost a drsnost vystružených děr. Dále byla sledována velikost opotřebení na hřbetě VB výstružníků v závislosti na počtu vystružených děr.

Deset. třídění:

Klíčová slova: ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ, VYSTRUŽOVÁNÍ, ZÁVITNÍKY,
VÝSTRUŽNÍKY

Zpracovatel: VŠST Liberec - KOM

Dokončeno: 1993

Archivní označ. zprávy:

Počet stran:	79
Počet příloh:	0
Počet obrázků:	12
Počet tabulek:	18
Počet diagramů:	16

Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury pod
vedením vedoucího a konzultanta.

V Liberci 25. května 1993

Petr Chváta

PROHLÁŠENÍ

Souhlasím, aby moje diplomová práce byla podle směrnice, uveřejněné v Pokynech a inf. VŠST 1/1975, zapůjčena nebo odprodána za účelem využití jejího obsahu.

Jsem si vědom toho, že práce je majetkem školy a že s ní nemohu sám disponovat.

Souhlasím, aby po pěti letech byla diplomová práce vrácena na níže uvedenou adresu, nebo v případě nedoručitelnosti skartována.

Petr Chvátal
.....

podpis

Jméno a příjmení:

Petr Chvátal

Adresa stálého bydliště:

B. Němcové 669

Nové Město nad Metují

549 01

OBSAH:

1	ÚVOD A HOSPODÁŘSKÝ VÝZNAM ZADÁNÍ	7
2	STUDIUM OBRÁBĚNÍ TĚŽKO OBRÖBITELNÝCH MATERIÁLŮ	8
2.1	Úvod	8
2.2	Základní technologické podmínky pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů	8
2.2.1	Obrobitelnost těžkoobrobitelných materiálů ...	9
2.2.2	Všeobecné technologické podmínky pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů ..	18
2.2.3	Nástrojové materiály a nástroje	19
2.2.4	Nástroje a jejich geometrie	25
2.2.5	Povrchové úpravy nástrojů	26
2.2.6	Chlazení a řezné kapaliny	28
3	VÝBĚR VHODNÝCH DRUHŮ OCELÍ PODLE POŽADAVKŮ PODNIKU ...	29
3.1	Rozdělení a vlastnosti korozivzdorných ocelí	29
3.2	Obrobitelnost nerezavějících ocelí	32
3.3	Výběr ocelí	33
4	ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ ZÁVITNÍKY	34
4.1	Volba závitníku s ohledem na technologické podmínky obrábění	34
4.2	Ostření závitníků	43
4.3	Výroba závitů v těžkoobrobitelných materiálech ..	45
5	VYSTRUŽOVÁNÍ OTVORŮ	49
5.1	Řezné podmínky pro vystružování	50

6	TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY	52
6.1	Použité stroje	52
6.2	Obráběný materiál	52
6.3	Zkoušky závitníků	53
6.4	Zkoušky výstružníků	68
7	ZÁVĚR	76
	PODĚKOVÁNÍ	77
8	SMĚRNICE PRO ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ A VYSTRUŽOVÁNÍ V AUSTENITICKÝCH NEREZ OCELÍCH	78
	LITERATURA	79

1 ÚVOD A HOSPODÁŘSKÝ VÝZNAM ZADÁNÍ

Elton, hodinářská a. s. Nové Město nad Metují se zabývá výrobou, montáží a prodejem časoměrných přístrojů, lékařské techniky, speciálních strojů a velmi přesných strojírenských součástí.

Podnik se též zabývá kooperační výrobou dílů přesné mechaniky, především pro partnery ve SRN a dalších zemích západní Evropy. Značný objem kooperační výroby je orientován na výrobky z nerez ocelí (až 1/3 zakázek), kde se často vyskytují potíže, zejména při řezání závitů a vystružování. Jedná se většinou o menší série rotačních součástí (rozsah průměrů 5 až 20 mm), které se obrábějí na CNC revolverových soustruzích a dlouhotočných automatech.

Obrobitelnost především tuzemských nerez ocelí je značně problematická (nekvalitní složení materiálu, široké tolerance tyčových polotovarů, křivost tyčí, nekvalitní povrch po obrábění, nevhodná skladba dosud dostupných chladicích kapalin atd.).

Dosud není k dispozici dostatek utříděných poznatků z výroby součástí z nerez ocelí. Z velké části je to způsobeno nemožností volby a nákupu patřičných prostředků pro obráběcí proces.

Tato diplomová práce by měla výrobcí umožnit zvolit vhodnou dobře obrobitelnou nerez ocel podle jeho požadavků a to jak z tuzemského tak i z německého sortimentu. Především by však měla výrobcí pomoci při návrhu vhodných nástrojů, řezných kapalin a řezných podmínek pro řezání závitů a vystružování.

2 STUDIUM OBRÁBĚNÍ TĚŽKO OBRÁBITELNÝCH MATERIÁLŮ

2.1 ÚVOD [1]

Technologické zpracování těžkoobrobitelných materiálů přináší řadu obtíží, zvláště při obrábění. I když současný vývoj technologie přechází na beztržiskové způsoby zpracování jako tváření, přesné lití a jiné výrobní metody, převažuje i nadále obrábění, zejména v kusové výrobě. Při hodnocení vlastností těžkoobrobitelných materiálů z hlediska obrábění lze konstatovat, že pro všechny tyto materiály lze stanovit zakládání společné technologické podmínky. Některé charakteristické vlastnosti obráběných materiálů - struktura materiálů a jeho fyzikálně chemické vlastnosti - dovolují volit optimální řezné materiály a nástroje. Rozdělení materiálů do tzv. skupin obrobitelnosti umožňuje použít již zpracované řezné podmínky i pro těžkoobrobitelné materiály.

2.2 ZÁKLADNÍ TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY PRO OBRÁBĚNÍ TĚŽKO OBRÁBITELNÝCH MATERIÁLŮ [1]

Konstrukční materiály se špičkovými užitnými vlastnostmi, tj. materiály s vysokými pevnostními parametry a s optimálními fyzikálně chemickými a jinými vlastnostmi představují velmi široký sortiment. Z kovových materiálů mezi ně patří konstrukční oceli zušlechtěné na vysokou pevnost a tvrdost, otěruvzdorné austenitické oceli manganové, nemagnetické oceli manganniklové a mangan - chromové, korozivzdorné vysokolegované chromové oceli, austenitické oceli chromniklové korozivzdorné, žárovzdorné a žáropevné, vytvrditelné oceli chromniklové, niklové a kobaltové slitiny, vysokotavitelné kovy a jejich slitiny, litiny s vyššími mechanickými vlastnostmi, tvrzené a vysokolegované litiny, dále některé materiály vyráběné metodou práškové metalurgie.

2.2.1 OBROBITELNOST TĚŽKO OBROBITELNÝCH MATERIÁLŮ [1]

Volba hospodárných řezných podmínek při obrábění, tj. volba takové řezné rychlosti, hloubky řezu a posuvu nástroje, aby náklady na obrábění byly při vysoké produktivitě co nejmenší, je omezena řadou činitelů. Jsou to především:

- a) konstrukce a výkon obráběcího stroje,
- b) vlastnosti nástroje, a to zejména jakost (řezivost) nástrojového materiálu, tvar nástroje, geometrie břitu aj.
- c) vlastnosti obrobku, tj. tvar obrobku, tuhost obrobku a tuhost jeho upnutí, požadovaná přesnost rozměrů obrobku a jakost povrchu, polotovar obrobku a vlastnosti materiálu obrobku.

Vlastnosti materiálu obrobku mají zvlášť významný vliv na volbu řezných podmínek. Proto byl pro ty vlastnosti kovů a ostatních obráběných materiálů, které určují vhodnost nebo způsobilost těchto materiálů k obrábění obráběcími nástroji a které ovlivňují náklady na obrábění, přijat pojem obrobitelnost. Obrobitelnost materiálu vyjadřuje souhrnný vliv fyzikálních vlastností a chemického složení obráběného materiálu na průběh procesu řezání a na ekonomické, popř. i kvalitativní výsledky procesu řezání.

Obrobitelnost materiálů lze posuzovat obecně z mnoha hledisek. V praxi mají největší význam tato hlediska:

1. Vliv materiálu obrobku na intenzitu (rychlost) opotřebení břitu nástroje a na teplotu při obrábění. Tento vliv určuje velikost řezné rychlosti a zahrnuje se tedy do pojmu obrobitelnost podle řezné rychlosti.

2. Vliv materiálu obrobku na proces tvoření třísky, jednak z hlediska sil řezání, jednak z hlediska utváření oddělovaných třísek; označuje se jako obrobitelnost podle řezného odporu nebo podle utváření třísky.

3. Vliv materiálu obrobku na vytváření nových povrchů na obrobku a na jejich jakost; zahrnuje se do pojmu obrobiteľnosť podľa drsnosti povrchu.

Kromě toho je možno posuzovať obrobiteľnosť i z jiných hľadísk, napr. z hľadiska vzniku nárustkov pri obrábení, otrěpů aj.

Vliv vlastností obrobku na obrobiteľnosť z různých hľadísk není stejný, v mnoha prípadoch je i protichůdný. Například materiály, ktoré majú veľmi dobrú obrobiteľnosť podľa rezných rýchlostí môžu mať špatnú obrobiteľnosť z hľadiska utvárania trisky alebo z hľadiska drsnosti povrchu.

V praxi se obecně vlastnosti obráběného materiálu posuzují z hľadiska obrobiteľnosti podľa rezných rýchlostí. Obrobiteľnosť podľa rezných rýchlostí určuje veľikost hospodárnej rezných rýchlostí, a preto těsně souvisí s produktivitou obrábění a nejvíce ovlivňuje náklady na obrábění. Vyjadruje se buď přímo reznou rýchlostí v_T , odpovídající určité zvolené trvanlivosti T (napr. v_{45} , odpovídající trvanlivosti $T = 45$ min.) při určitých ostatních podmínkách obrábění, nebo častěji tzv. součinitelem (nebo indexem) obrobiteľnosti, který je dán poměrem rezných rýchlostí v_T (v_{45}) pro daný materiál a v_{TE} (v_{45E}) pro základní (etalonový) materiál při jinak stejných ostatních podmínkách obrábění (způsob obrábění, nástroj, posuv, hloubka řezu aj).

$$k_v = \frac{v_T}{v_{TE}} (=i), \quad k_v = \frac{v_{45}}{v_{45E}} (=i)$$

Výsledek obrábění určitého materiálu závisí nejen na vlastnostech tohoto materiálu, ale také na fyzikálních chemických vlastnostech břitu rezného nástroje, geometrii nástroje, způsobu obrábění, na rezném prostředí a také na použitých rezných podmínkách. Proto se z hľadiska obrábění těžkoobrobiteľných materiálů ve vzorci uvažuje rezná

rychlost v_T nebo v_{45} , odpovídající trvanlivosti T nebo 45 min při obrábění optimálním rezným materiálem (z výběru rychlořezných ocelí nebo slinutých karbidů), nástrojem s optimální geometrií a v optimálním rezném prostředí (při chlazení nejvhodnější reznou kapalinou), popř. při respektování největšího přípustného opotřebení nástroje pro daný obráběný materiál.

Protože obrobitelnost závisí rovněž na způsobu obrábění, rozlišují se součinitele (indexy) obrobitelnosti i podle základních operací: soustružení, frézování, vrtání a broušení. Předpokládá se, že pro hoblování a obrážení a pro operace s konstantním průřezem třísky (vyjma osově nástroje) platí stejné zařazení jako pro soustružení, pro vystružování, vyhrubování a řezání závitů, stejně jako při vrtání apod.

FAKTORY OVLIVŇUJÍCÍ OBROBITELNOST [1]

Obrobitelnost jako komplexní charakteristiku obráběného materiálu v procesu obrábění ovlivňuje řada činitelů. Z nich jsou nejdůležitější:

- fyzikální (mechanické) vlastnosti
- chemické složení
- způsob výroby
- mikrostruktura materiálu

Tyto činitele, které mohou být vzájemně vázány, působí hlavně na intenzitu otupování břitu rezného nástroje a na teplotu při obrábění, dále na utváření třísky a velikost rezných sil i na drsnost obrobeného povrchu.

K fyzikálním vlastnostem patří zejména tvrdost, pevnost a houževnatost, dále tepelná vodivost a adhezní schopnosti. Vysoká tvrdost zvětšuje intenzitu abrazivního opotřebení a vysoká pevnost zvětšuje reznou sílu. Velký rozdíl mezi pevností v tahu a mezi kluzu způsobuje intenzivní zpevňování

materiálu v oblasti primární plastické deformace (tj. v oblasti tvoření třísky) a vznik nárůstků. Nárůstky na břit nástroje mohou vést ke zvýšení adhezního opotřebení břitu, ke zvýšení teploty řezání a řezné síly, jakož i ke zhoršení jakosti obrobené plochy. Proto je obvykle možné (u některých těžkoobrobitelných materiálů i nutné) snížit velikost zpevnění v oblasti tvoření třísky zvýšením posuvu a snížením řezné rychlosti. U jiných těžkoobrobitelných materiálů je výhodné tepelným zpracováním zvýšit jejich tvrdost, zejména tehdy, požaduje-li se lepší jakost obrobené plochy.

Vliv nárůstku na opotřebení břitu nástroje není jednoznačný; za určitých podmínek, jestliže se vytvoří konstantní nárůstek, který se v průběhu obrábění neodděluje, může nárůstek převzít funkci břitu a chránit břit před opotřebením, a tím zvýšit jeho trvanlivost při současném zmenšení řezných sil a teploty řezání. Vznik nárůstku je možno v některých případech řídit vhodnou řeznou kapalinou s přísadami tzv. vysokotlakých látek.

Nízká tepelná vodivost a malá měrná tepelná kapacita obráběného materiálu způsobuje koncentraci tepla na břitu a zvyšuje nebezpečí plastické deformace břitu a jeho okamžité porušení.

VLIV CHEMICKÉHO SLOŽENÍ NA OBROBITELNOST [1]

Z chemického složení vyplývají všechny vlastnosti obráběného materiálu. Ovlivňuje mikrostrukturu a chemickou aktivitu materiálu obrobku k materiálu břitu nástroje, která se projevuje vzájemnou adhezí, difúzí slitinových prvků obráběného materiálu do materiálu břitu nástroje, a naopak difúzí slitinových prvků řezného materiálu do obráběného materiálu a schopností vytvářet při vyšších teplotách chemické sloučeniny.

Nejvýraznější vliv na obrobitelnost slitin železa má uhlík. Uhlík tvoří se železem karbid železa - cementit a s řadou dalších slitinových prvků různé typy karbidů. Oceli s malým obsahem uhlíku mají převážně feritickou strukturu, jsou velmi tažné a houževnaté; při obábění působí na břit nástroje molekulární adhezí, přitom nárůstek vznikající na břitu zhoršuje jakost obrobeného povrchu. Se stoupajícím obsahem uhlíku do 0,2 až 0,3% se obrobitelnost zlepšuje. Při obsahu nad 0,2 až 0,3% C převažuje vliv tvrdých karbidů železa a jiných slitinových prvků a obrobitelnost se zhoršuje. Vliv uhlíku na obrobitelnost se více projevuje u ocelí legovaných karbidotvornými prvky, manganem, chromem, molybdenem, wolframem, vanadem a dalšími.

Mangan jako doprovodný prvek (do 0,8%) je převážně rozpuštěn ve feritu, mírně zvětšuje jeho pevnost a poněkud zlepšuje obrobitelnost. Při větším obsahu jako slitinový prvek tvoří s uhlíkem a železem komplexní karbidy a mírně zhoršuje obrobitelnost. Při obsahu manganu přes 8% (spolu s chromem, niklem a dusíkem) asi do 12% vzniká austenitická struktura, přičemž se obrobitelnost značně zhoršuje.

Křemík tvoří doprovodný prvek do 0,5%; ve formě oxidu SiO_2 má silný abrazivní účinek na břit nástroje a zhoršuje obrobitelnost. Při větším obsahu křemík zvyšuje pevnost feritu.

Síra tvoří se železem sirník železnatý FeS ; za přítomnosti manganu se váže přednostně na sirník manganatý MnS , který pomáhá utváření a oddělování třísky a zlepšuje tak podstatně obrobitelnost. Proto se přidává do snadno obrobitelných (automatových) ocelí i do některých vysokolegovaných ocelí, a to až do 0,2%.

Fosfor - podobně jako síra - pomáhá utváření a oddělování třísky, zlepšuje obrobitelnost a jakost obrobeného povrchu. U snadno obrobitelných ocelí se připouští obsah fosforu do 0,1%.

Olovo se v železe nerozpouští; podobně jako síra pomáhá utváření a oddělování třísky, a tak podstatně zlepšuje obrobitelnost, neovlivňuje však nepříznivě mechanické vlastnosti oceli. Používá se jako přísada (až do obsahu 0,2%) do snadno obrobitelných ocelí, a to i vysokolegovaných.

Chrom tvoří s uhlíkem v železe stálé karbidy. Chrom snižuje obrobitelnost úměrně s obsahem uhlíku: v ocelích s nízkým obsahem uhlíku je vliv chromu malý, naopak podstatně zhoršuje obrobitelnost ocelí s vysokým obsahem uhlíku. U ocelí s vysokým obsahem chromu vzniká tzv. intermetalická sloučenina $FeCr$, která rovněž zhoršuje obrobitelnost.

Nikl tvoří s železem tuhý roztok. Při větším obsahu (přes 8%) spolu s chromem nebo manganem tvoří austenitickou strukturu s výrazně zhoršenou obrobitelností.

Molybden tvoří s uhlíkem stálé karbidy a poněkud zhoršuje obrobitelnost; v austenitických ocelích pomáhá utváření třísky.

Wolfram a vanad rovněž tvoří s uhlíkem stálé karbidy; v konstrukčních i vysokolegovaných ocelích zhoršují nevýrazně obrobitelnost.

Kobalt ovlivňuje obrobitelnost jen nepatrně.

Hliník v žárovzdorných a precipitačně vytvrditelných ocelích leguje ferit, čímž mírně zhoršuje obrobitelnost; pomáhá však utváření krátkých třísek.

Titan jako přísada do ocelí v používaném množství (do 0,7% u austenitických a precipitačně vytvrditelných ocelí) prakticky obrobitelnost neovlivňuje; v některých případech pomáhá utváření třísky. Do austenitických ocelí se přidává jako stabilizační prvek, má větší afinitu k uhlíku a tvoří karbidy dříve než chrom. Tvrdé částice karbidů titanu jsou v oceli přítomny jako vměstky, které se při obrábění vytrhávají a tvoří na povrchu matné skvrny.

Měď jako přísada do ocelí téměř neovlivňuje obrobitelnost, v nízkouhlíkových ocelích poněkud pomáhá utváření třísek.

Vliv dalších přísadových prvků - niobu, zirkonia, boru, aj. - na obrobitelnost se projevuje tím, jak působí na výslednou mikrostrukturu oceli a na tvrdost a houževnatost i velikost strukturních složek.

VLIV ZPŮSOBU VÝROBY NA OBROBITELNOST [1]

Určitý vliv na obrobitelnost ocelí má způsob výroby. Neuklidněné oceli jsou lépe obrobitelné než oceli uklidněné, u kterých nepříznivě působí nekovové vměstky, zpravidla oxid hlinitý nebo křemičitany. Obrobitelnost ocelí silně zlepšuje desoxidace pomocí CaSi , který tvoří chemické sloučeniny omezující intenzitu otěru, zejména při obrábění slinutými karbidy. Oceli s nízkým obsahem uhlíku (asi do 0,3%) tažené za studena se lépe obrábějí než tytéž oceli válcované za tepla, naopak oceli s větším obsahem uhlíku (nad 0,4%) jsou lépe obrobitelné válcované za tepla. Při tažení za studena se zvyšuje tvrdost a houževnatost feritu, čímž se zlepšuje obrobitelnost; u ocelí válcovaných za tepla se zvětšuje velikost zrn struktury, což je výhodné u ocelí s větším obsahem uhlíku.

Základními strukturními složkami konstrukčních podeutektoidních ocelí jsou ferit a perlit.

Nelegovaný ferit je velmi měkký (asi 80 HV), tvárný a houževnatý. Snadno se deformuje, nepatrně odírá činné plochy nástroje, působí však molekulární adhezi. Za současného působení tlaku a teploty se nalepuje na činné plochy nástroje, čímž zvyšuje součinitel tření a teplotu řezání. Při periodickém oddělování tohoto nárůstku se v určité míře odnášejí i povrchové částice řezného materiálu. Tento jev působí také nepříznivě na jakost povrchu obrobku a na utváření třísky. Feriticko - perlitická struktura

s řádkovým perlitem po válcování za tepla působí vznik nárůstku a špatnou jakost povrchu. Legovaný ferit je tvrdší a méně tvárný a méně houževnatý; nepůsobí již adhezí, ale abrazívně.

Perlit je eutektoidní směsí feritu a cementitu. Na obrobiteľnost působí jednak molekulární adhezí feritu, jednak abrazívním účinkem cementitu.

Cementit je velmi křehká a tvrdá (až 1000 HV) strukturní složka. V perlitu se vyskytuje jako lamelární, kde působí na nástroj silně abrazívně. V nízkouhlíkových ocelích, kde podíl feritu převažuje nad podílem perlitu, omezuje vznik nárůstku a působí tak příznivě na obrobiteľnost jak z hlediska řezné rychlosti, tak i z hlediska drsnosti povrchu a utváření třísek. Žiháním na měkko vzniká tzv. perlit globulární, který působí méně abrazívně, u nízkouhlíkových ocelí však dovoluje vznikání nárůstku na břitu nástroje, zvětšuje síly tření a tím i teplotu řezání. Dává lepší obrobiteľnost u ocelí s vyšším obsahem uhlíku (asi nad 0,3%).

U ocelí nadeutektoidních (s obsahem nad 0,765% C) tvoří základní strukturu perlit a cementit. Jejich obrobiteľnost závisí na poměru těchto složek. Zlepšení obrobiteľnosti nadeutektoidních ocelí lze dosáhnout žiháním naměkko.

Struktura zušlechtěných konstrukčních ocelí se skládá ze sorbitu, který vzniká rozpadem martenzitu při popouštění. Sorbit je stejně jako perlit směsí feritu a cementitu, avšak v mnohem jemnější formě a v globulárním tvaru. Je tvrdší než perlit a to čím je jemnější, tím je tvrdší. Velikost zrn se řídí popouštěcí teplotou; při nižší popouštěcí teplotě je zrno menší. Velikost zrn je ovlivněna i dalšími přísadovými prvky. Sorbit velmi zhoršuje obrobiteľnost svým abrazívním účinkem, dává však poměrně dobrý povrch.

Martenzit a bainit, vznikající z austenitu při ochlazování nadkritickou rychlostí, se vyznačují vysokou tvrdostí a vysokým abrazivním účinkem. Čistě martenzitická nebo bainitická struktura je prakticky obrobitelná jen broušením. Bainitická struktura vzniká zejména u nerezavějících chromových ocelí se středním až vyšším obsahem uhlíku. U tzv. poloferitických chromových ocelí vzniká po zakalení a popuštění bainitická struktura s řádky feritu, který zlepšuje obrobitelnost.

Austenit je poměrně měkký (asi 150 HV), značně tvárný a houževnatý. Při teplotách obrábění má austenitická ocel až poloviční tepelnou vodivost v porovnání s perlitickou ocelí. Molekulární adheze austenitu se projevuje intenzivním vznikáním nárůstku, který se periodicky odděluje a unáší částice rezného materiálu z činných ploch nástroje. Špatný odvod tepla obrobkem a třískou způsobuje koncentraci tepla na břitu, a tím značné tepelné zatížení břitu. Působením tlaku břitu nástroje na austenit v obrobené ploše se austenit mění na martenzit, a tím dochází k značnému zpevnění povrchové vrstvy obrobku, která brání dalšímu vnikání břitu nástroje do materiálu obrobku. Množství martenzitu a tím i tvrdost zpevněné vrstvy závisí na množství uhlíku.

Kromě základních strukturních složek obsahují oceli také karbidy legujících prvků a vměstky. Karbidy jsou obvykle tvrdší než cementit (přes 1000 HV), působí na nástroj abrazivně a zhoršují tak obrobitelnost. Vliv vměstků je různý: vměstky tvořené měkkými nebo křehkými sloučeninami (např. MnS) nebo kovy v železe nerozpustnými (Pb) pomáhají k utváření krátkých lámavých třísek, omezují tvoření nárůstku a zlepšují obrobitelnost. Vměstky, které tvoří tvrdé nekovové sloučeniny (SiO_2 , Al_2O_3), působí na nástroj abrazivně a zhoršují obrobitelnost.

Znalost vlivu materiálových vlastností na obrobitelnost umožňuje volbu optimálního materiálu, chemických a

mechanických úprav a tepelného zpracování materiálu obrobku, aby bylo dosaženo optimálních vlastností z hlediska jeho obrábění.

2.2.2 VŠEOBECNÉ TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY PRO OBRÁBĚNÍ TĚŽKO OBRÁBĚLÝCH MATERIÁLŮ [1]

Pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů je obecně třeba volit tuhé obráběcí stroje v dobrém technickém stavu s vymezenými vůlemi posuvových mechanismů, saní, suportů a ložisek vřetena. Stroje musí být vybaveny strojními posuvy, je třeba se co nejvíce vyvarovat ručních posuvů. Pokud je to možné, doporučuje se volit stroje větších velikostí, než je obvyklé pro obrábění běžných konstrukčních ocelí. Výkon motoru obráběcího stroje musí odpovídat zvoleným řezným podmínkám, zejména při hrubování.

Upnutí nástrojů a obrobků musí zaručit dostatečnou tuhost celé soustavy stroj - nástroj - obrobek. Přípravky pro upínání obrobků musí být navrhovány se zřetelem na tento požadavek. Nedostatečná tuhost soustavy stroj - nástroj - obrobek je příčinou vzniku chvění a způsobuje nesprávný geometrický tvar obrobku (úchylný tvar a polohy obráběných ploch), dále urychlené opotřebení nebo i poškození břitu nástroje, při obrábění materiálů, které mají schopnost zpevňování (např. austenitických ocelí a slitin) vůbec znemožňuje další obrábění. Nástroje s vyměnitelnými břitovými destičkami mohou být použity pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů tehdy, je-li zajištěna dostatečná tuhost nástroje a naprosto tuhé upnutí břitových destiček.

Břity nástrojů musí být odborně a pečlivě ostřeny. Břity rychlořezných nástrojů nesmí být při ostření popuštěny; doporučuje se dokončování břitů brousícími kotouči z kubického nitridu boru. Břity destiček ze slinutého karbidu musí být lapovány diamantovými brousícími

kotouči. Přípustné opotřebení břitů se volí zpravidla poloviční než při obrábění běžných konstrukčních ocelí, větší opotřebení se dovoluje jen při obrábění vysokolegovaných chromových ocelí s feritickou nebo perlitickou strukturou.

Součásti z ocelí pro zušlechťování a ocelí a slitin pro vytvrzování je třeba obrábět v co největší míře v žíhaném stavu, v kaleném a zušlechtěném nebo vytvrzeném stavu provádět jen dokončovací operace. U vytvrditelných ocelí a slitin je nutno počítat s rozměrovými změnami během vytvrzování. Naopak při obrábění austenitických ocelí a slitin, u nichž dochází ke zpevňování obrobeného povrchu, nemá být přídavek na obrábění (mimo broušení) menší než asi 0,1mm, rovněž posuv na břit nástroje musí být nejméně 0,1mm.

Při obrábění nástroji z rychlořezné oceli je zapotřebí vydatně chladit vhodnou řeznou kapalinou; chlazení se doporučuje i při obrábění slinutými karbidy, jestliže je zaručen plynulý proud řezné kapaliny k břitu nástroje.

2.2.3 NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY A NÁSTROJE [1]

Při obrábění těžkoobrobitelných materiálů dochází k vysokému mechanickému a tepelnému namáhání nástroje a břitů. Břit nástroje je navíc na stykových plochách s materiálem obrobku vystaven více či méně intenzivnímu otěru, dále dochází k porušování břitu plastickou deformací a periodickým oddělováním nárůstku při obrábění. V mezních podmínkách obrábění dochází ke křehkému lomu břitu v důsledku mechanických a teplotních rázů. Otěr břitu, porušení břitu plastickou deformací, působením nárůstků a křehkým lomem způsobují ztrátu schopnosti řezání, tj. otupení břitu. Proto nástroje na obrábění těžkoobrobitelných materiálů musí splňovat vysoké požadavky na pevnost, tuhost a schopnost odvádět zvýšené množství tepla, břit nástroje musí vykazovat dále vysokou otěruvzdornost za vysokých tlaků

a teplot v oblasti řezání, houževnatost a tvrdost za vysokých teplot a vysokou odolnost proti mechanickým a teplotním rázům. Požadavky na břit nástroje, tedy na řezný materiál, jsou přitom většinou protichůdné: velmi otěruvzdorné a tvrdé řezné materiály jsou zpravidla málo houževnaté, velmi houževnaté řezné materiály naopak nedosahují žádoucí otěruvzdornosti a tvrdosti. V konkrétních podmínkách obrábění musí tedy řezný materiál, geometrie břitu i vlastní konstrukce nástroje optimálně vyhovovat rozhodujícím požadavkům daným obráběným materiálem a způsobem obrábění, popř. druhem nástroje, tedy např. při hrubování požadavkům na pevnost a houževnatost na úkor otěruvzdornosti, při dokončování požadavkům na vysokou otěruvzdornost na úkor houževnatosti atd.

NÁSTROJOVÉ OCELI [1]

- a) Nástrojové oceli uhlíkové - tvrdost 62 až 64 HRC až do teplot 250 až 300°C

Pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů jsou naprosto nevhodné.

- b) Nástrojové oceli slitinové - lze je použít jen výjimečně pro některé nástroje, které pracují při malých řezných rychlostech (např. pro protahovací trny), a pro měkké a houževnaté materiály (např. chromové oceli feritické a feriticko martenzitické v žíhaném stavu).

Z ekonomického hlediska je však jejich použití nevhodné.

- c) Nástrojové oceli slitinové rychlořezné - tvrdost 62 až 67 HRC až do teploty 600°C i více.

Pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů se používají jen rychlořezné oceli výkonné a vysokovýkonné, a to především tam, kde druh nástroje a povaha operace nedovolí

uplatnit nástroje se slinutým karbidem, a tam, kde je třeba z jakýchkoliv důvodů obrábět nižší řeznou rychlostí (např. při obrábění na méně výkonných a málo tuhých strojích). Rychlořezné oceli běžné jakosti (19 800 a 19 824) mají menší výkon a postačí jen pro měkčí a houževnaté materiály a pro nenáročné nástroje.

SLINUTÉ KARBIDY [1]

Základní vlastností slinutých karbidů je jejich vysoká tvrdost (až 91 HRA) a velká odolnost proti otěru i při teplotách okolo 700 až 1000°C, takže mohou obrábět velmi tvrdé materiály, které nelze ekonomicky obrábět rychlořeznou ocelí.

Slinuté karbidy se dělí na tři hlavní skupiny:

- skupina P: pro obrábění materiálů dávajících dlouhou třísku. Slinuté karbidy této skupiny jsou určeny pro obrábění, kdy převažuje difúzní a chemický otěr, tedy v oblasti vysokých teplot řezání při obrábění ocelí.

- skupina K: pro obrábění materiálů dávajících krátkou třísku. Slinuté karbidy této skupiny jsou určeny pro případy obrábění, kdy převažuje abrazivní otěr, např. pro obrábění litin a ocelí při menších řezných rychlostech, dále pro obrábění ocelí zušlechtěných na vysokou pevnost a ocelí kalených, tvrzených litin aj.

- skupina M: pro obrábění materiálů dávajících dlouhou i krátkou třísku. Jsou vhodné pro obrábění materiálů, které způsobují adhezní otěr, jsou však i dostatečně odolné proti abrazi a proto se hodí pro obrábění většiny těžkoobrobitelných materiálů (ocelí zušlechtěných na vysokou pevnost, austenitických ocelí, žáruvzdorných a žárupevných ocelí a slitin, legovaných litin atd.).

Další členění uvnitř skupin na podskupiny je definováno pracovními podmínkami. Podskupiny jsou označeny

dvoucifernými čísly, jejichž pořadí určuje houževnatost, popř. otěruvzdornost. Ve všech skupinách jsou slinuté karbidy s vyšším číselným označením houževnatější, ale méně odolné proti otěru.

ŘEZNÁ KERAMIKA [1]

Vyznačuje se vysokou tvrdostí (asi 85 až 93 HRA) a velkou odolností proti otěru při vysokých teplotách asi do 1200°C, které umožňují podstatné zvýšení řezných rychlostí v porovnání s ostatními řeznými materiály.

Všeobecně se řezná keramika nedoporučuje pro obrábění slitinových ocelí a litin s vysokým obsahem niklu, nerezavějících, kyselinovzdorných a žáruvzdorných ocelí, titanu a titanových slitin.

KUBICKÝ NITRID BORU [1]

Má velkou mikrotvrdost, blíží se téměř tvrdosti přírodního diamantu, přitom má podstatně větší schopnost odolávat vysokým teplotám řezání, až do 1500°C, je chemicky netečný k obráběným materiálům, zejména k železu a jeho slitinám a má velkou pevnost v tlaku.

Používají se tyto modifikace kubického nitridu boru:

- a) brusné nástroje
- b) řezné nástroje z polykrystalů KNB

Polykrystaly KNB se používají pro dokončování obrábění (soustružení, vyvrtávání a frézování) kalených ocelí tvrdosti 55 až 67 HRC. Používají se do jednobřitých i několikabřitých nástrojů.

Se zřetelem na jeho vlastnosti se polykrystalický KNB nedoporučuje pro obrábění ocelí tvrdosti pod 45 HRC.

DIAMANT [1]

Přírodní a syntetické diamanty jsou nejtvrdší ze všech dosud známých látek. Oblast jejich použití není omezena jejich tvrdostí, ale jejich křehkostí. Za normálních teplot je chemicky netečný, při vyšších teplotách chemicky reaguje s kyslíkem, železem aj.

Nejširší použití ve strojírenství nacházejí diamanty při výrobě brousících nástrojů a lapovacích past pro obrábění (ostření) slinutých karbidů, dále pro honování, orovnávání brousících kotoučů, lapování atd.

Jako nástroje s definovaným břitem se diamanty používají jen pro jemné obrábění - soustružení a frézování. Nejsou vhodné pro obrábění železných materiálů.

**DOPORUČENÉ NÁSTROJOVÉ MATERIÁLY PRO OBRÁBĚNÍ
TĚŽKO OBRÁBĚLÝCH OCELÍ [1]**

Tab. 1:

Oceli vysoké pevnosti a tvrdosti				Chromové kalitelné, poloferitické a feritické oceli**)	Austenitické a feriticko austenitické oceli		
do 1200 MPa do 380 HV	1200+ 1400 MPa 380+ 440 HV	1400+ 1800 MPa 440+ 550 HV	přes 1800 MPa přes 550 HV		C 1,2 Mn 12+14	Cr 18,Ni 9 + Ti,Mo Cr 21+27 Ni 4+6	Cr25,Ni12+ 37+Ti,Mo,W precipitačně vytvrditelné
Slinuté karbidy pro soustružnické nože a frézovací hlavy							
M 10 P 10 P 20 K 05 K 10 S 20 CN ⁺)	M 10 K 05 K 10 S 20 CN ⁺)	K 01 K 05 K 10 (M 10)	K 01 K 05 K 10	P 10 P 20 P 30 S 20 CN ⁺) K 10	M 10 M 20 M 30 M 30 K 10	M 10 M 20 M 30 P 40 K 10	K 05 K 10 M 20 M 30 (M 10)
Slinuté karbidy pro vrtáky, výhrubníky a výstružníky							
P 20 M 10 K 10	K 10 M 10	K 10		P 20 M 10 K 10	M 10 K 10	M 10 K 10	K 10
Rychlořezné oceli pro tvarové nože, frézy, vrtáky, výhrubníky, výstružníky a závitořezné nástroje							
19 850 19 852 19 856 (19 855)	19 850 19 851 19 858 19 861 (19 856)	(19 851) (19 858) (19 861)	--	19 802 19 810 19 830 19 835	--	19 850 19 852 19 856 19 857 (19 855)	19 850 19 851 19 852 19 856 19 857
Ostatní řezné materiály							
Směsná keramika nebo KNB				--	--	--	--

- *) povlakované břitové destičky
 **) pro chromové oceli kalitelné a poloferitické zušlechtnuté na vysokou pevnost nebo tvrdost se použijí řezné materiály, doporučené pro oceli vysoké pevnosti nebo tvrdosti.
 V závorkách jsou řezné materiály méně vhodné, určené např. pro málo namáhané nástroje nebo pro občasné obrábění v kusové výrobě.

2.2.4 NÁSTROJE A JEJICH GEOMETRIE [1]

Velké řezné síly a vysoké teploty řezání při obrábění těžkoobrobitelných materiálů kladou také zvýšené požadavky na konstrukci nástrojů. Nástroje musí být dostatečně pevné a tuhé, aby se zajistila jejich odolnost proti chvění, průřez nástrojů má být co největší, aby odvod tepla, které vzniká při obrábění, byl dostatečný.

Vysokou tuhost musí zajistit i upnutí nástrojů; u osových nástrojů je vhodnější upínání kuželovou stopkou.

Jako základní geometrické parametry nástroje lze považovat:

a) Úhel čela: správná volba úhlu čela je pro optimální podmínky obrábění nejdůležitější. Se zvětšováním úhlu čela se zmenšují řezné síly, přičemž se současně zmenšuje práce řezání, a tím i množství tepla, které vzniká při řezání. Se zvětšováním úhlu čela se však zmenšuje úhel řezného klínu a snižuje se jeho pevnost a zhoršuje se odvod tepla řezným klínem. U nástrojů ze slinutého karbidu i z řezné keramiky se na čele ostří negativní fasetka, která zvětšuje pevnost řezného klínu.

b) Úhel hřbetu : zvětšováním úhlu hřbetu se zmenšuje dotyková třecí plocha s obrobkem. Současně se však zmenšuje úhel řezného klínu a snižuje se pevnost břitu. Úhel hřbetu rovněž ovlivňuje přesnost obrábění; čím je úhel hřbetu větší, tím je přesnost horší.

c) Úhel nastavení hlavního ostří : při menším úhlu nastavení se zvětšuje trvanlivost nástroje a pevnost nástroje, zvětšují se však i řezné síly, zejména jejich radiální složka, což způsobuje u málo tuhých obrobků chvění.

d) Úhel nastavení vedlejšího ostří : má být co nejmenší, avšak takový, aby mezi nástrojem a obrobkem nevzniklo velké tření. Se zvětšováním úhlu se zmenšuje pevnost nástroje, snižuje trvanlivost a zhoršuje odvod tepla.

e) Úhel sklonu ostří : určuje postupnost styku jednotlivých bodů břitu s obráběným materiálem při počátečním vřezávání nástroje a ovlivňuje směr odchodu třísky.

2.2.5 POVRCHOVÉ ÚPRAVY NÁSTROJŮ [1], [10]

Řezivost a trvanlivost nástrojů lze zvýšit povrchovými úpravami. Tyto povrchové úpravy mají:

1. zvýšit povrchovou tvrdost
2. zvýšit odolnost proti abrazivnímu otěru
3. zvýšit odolnost proti adheznímu otěru
4. zlepšit kluzné vlastnosti břitu
5. zlepšit podmínky pro vytváření kluzného filmu řezných kapalin

Nitridování: všeobecně se osvědčuje u kotoučových a drážkovacích fréz, kotoučových pil na kovy, protahovacích trnů a výstružníků. U jemnobřitých nástrojů a zvláště u tvarově dlouhých nástrojů - vrtáků, strojních závitníků, výstružníků malých průměrů - dochází při nitridaci ke zkřehnutí nástrojů.

Elektrochemicky vytvářené vrstvy: podle použitého elektrolytu je možno získat vrstvy kompaktního nebo porézního charakteru, které mají vysokou otěruvzdornost. Porézní vrstvy zlepšují podmínky pro vytváření kluzného filmu řezných kapalin, a tím omezují nebezpečí zadírávání nástroje. Základní složkou elektrochemicky vytvářených vrstev je chrom, dalšími přísadami mohou být wolfram, křemík, molybden, kobalt, aj. Tato povrchová úprava se osvědčila právě u těch typů nástrojů, které nejsou vhodné k nitridování, tj. zejména u vrtáků a strojních závitníků.

Sulfonitridace: zlepšuje kluzné vlastnosti a zvyšuje odolnost proti abrazivnímu otěru. Je vhodná zejména pro jemnobřité nástroje.

Oxidace vodní párou: na povrchu nástroje se vytvoří tenká vrstva Fe_3O_4 , která zvětšuje odolnost proti adheznímu otěru, nezvětšuje však odolnost proti abrazivnímu otěru. Užívá se např. pro vrtáky, závitníky apod.

Významných výsledků se dosahuje povlakováním nitridem titanu. Obecné poznatky lze shrnout do následujících bodů:

- a) vysoká tvrdost vrstvy (více než 2000 HV)
- b) optimální struktura vrstvy (jemnozrnnost, čistota)
- c) vysoká přilnavost vrstvy k materiálu nástroje
- d) malá tepelná vodivost vrstvy (chrání základní hmotu nástroje proti přehřátí)
- e) vrstva TiN ovlivňuje odolnost nástroje proti otěru a základní hmota nástroje ovlivňuje odolnost břitu proti praskání a vyštípování
- f) původní tvar řezné části nástroje zůstane po nanesení povlaku v podstatě nezměněn (nenastává zakulacení na hranách)
- g) rozměry nástroje se zvětší o tloušťku nanesené vrstvy (tj. o 2 až 8 μm)
- h) povlak TiN má malou chemickou afinitu k železným materiálům a působí jako bariéra proti difúznímu opotřebení a zvyšuje odolnost břitu proti oxidaci
- i) vrstva TiN brání vytváření nárůstků
- j) nástroje s povlakem TiN pracují s menšími řeznými silami
- k) vrstva TiN zlepšuje odvod třísek (snižuje součinitel tření mezi třískou a čelem nástroje)
- l) vrstva TiN má vyšší odolnost proti korozi než základní materiál
- m) při použití nástrojů s povlakem TiN musíme vycházet z hospodárnosti jejich nasazení, a to s ohledem na jejich vyšší cenu

2.2.6 CHLAZENÍ A ŘEZNÉ KAPALINY [1]

Při obrábění všech těžkoobrobitelných materiálů dochází v důsledku velkých řezných sil k vysokým teplotám řezání, a tím k velkému tepelnému namáhání nástrojů. Kromě toho většina těžkoobrobitelných materiálů se vyznačuje malou tepelnou vodivostí, což způsobuje koncentraci tepla v oblasti břitu. Některé těžkoobrobitelné materiály mají navíc sklon k adhezi k řeznému materiálu. Proto se pro úspěšné obrábění těžkoobrobitelných materiálů vyžaduje chlazení vhodnou řeznou kapalinou.

Pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů jsou vhodné především chladicí emulze a řezné oleje s tzv. vysokotlakými přísadami.

Tab. 2: Řezné kapaliny doporučené literaturou [1]
a firemními prospekty pro obrábění nerez ocelí:

vystružování	řezání závitů
KATOL PP + B2 (2:1 až 9:1) KALOREX 100	KATOL PP + B2 (9:1) KALOREX 100 P 4 DS MS řepkový olej
Výrobky firmy Triga, spol. s r. o.:	
KALOREX 650 S ABRASOL VS ALFEX 18 a 21	KALOREX 650 S ABRASOL VS ALFEX 18 a 21
Výrobky firmy Cimcool Industrial Products B.V.:	
CIMSTAR MB603 (5 až 7%) CIMPERIAL 22 (6%) CIMPERIAL 802NF (8%) CIMSTAR MB203 (6%)	CIMTAP (pasta; možno přidávat k ostatním řezným kapalinám) CIMPERIAL 22 (8%) CIMSTAR MB603 (5 až 7%) CIMSTAR MB203 (6%) CIMPERIAL 802NF (10%)

3 VÝBĚR VHODNÝCH DRUHŮ OCELÍ PODLE POŽADAVKŮ PODNIKU

Požadavky podniku: Navrhnout alespoň tři nejvhodnější druhy tuzemských a tři nejvhodnější druhy německých nerez ocelí , odpovídající třem skupinám požadavků:

- a) ocel pro tváření
- b) ocel s chemickou odolností
- c) ocel pro potravinářské účely,

které by měly dobrou obrobitelnost a umožňovaly tak výrobu kvalitních povrchů jak po stránce geometrie, tak i drsnosti.

3.1 ROZDĚLENÍ A VLASTNOSTI KOROZIVZDORNÝCH OCELÍ [3]

Korozivzdorné oceli je možno rozdělit dle struktury na:

- 1) feritické oceli
- 2) martenzitické oceli
- 3) feriticko - austenitické oceli
- 4) austenitické oceli

Řada nejpoužívanějších ocelí však není čistě jednofázová, může podle složení či tepelného zpracování obsahovat i určitý podíl další fáze.

FERITICKÉ OCELI

Mají obsah chromu v mezích 15 ÷ 30% při obsahu uhlíku méně než 0,15%. Ke zlepšení korozivzdornosti mohou obsahovat ještě *Mo*, *Ti* či *Nb*. Jejich struktura je v podstatě feritická a jejich tvrdost nelze zvýšit tepelným zpracováním. Používají se ve stavu žíhaném.

Používají se pro méně náročná korozní prostředí vody, páry, slabých organických kyselin a jiných prostředí, kde pracují v pasivním stavu - v potravinářském průmyslu a na spotřební zboží . Ve srovnání s austenitickými ocelmi mají lepší obrobitelnost.

MARTENZITICKÉ OCELI

U martenzitických ocelí s obsahem $12 \div 18\%$ Cr při obsahu uhlíku $0,1 \div 1,2\%$ příp. s obsahem Ni až do 6% či Mo do $1,2\%$ je možno zvýšit jejich pevnost a zvláště tvrdost zušlechtěním a kalením.

Používají se obdobně jako feritické oceli pro velmi mírná korozní prostředí, tam kde se vyžaduje vyšší pevnost a tvrdost - např. na součásti parních a vodních turbín.

Jejich obrobitelnost záleží především na obsahu uhlíku a tepelném zpracování.

FERITICKO - AUSTENITICKÉ OCELI

Jejich chemické složení se pohybuje v mezích $24 \div 28\%$ Cr, $4 \div 6\%$ Ni a 2% Mo při obsahu uhlíku do $0,10\%$. Někdy obsahují až $1,5\%$ Cu nebo bývají stabilizovány, nečastěji titanem.

Vyznačují se dobrou korozivzdorností při vyšších mechanických vlastnostech.

Vlivem dvoufázové struktury mají zlepšenou obrobitelnost.

AUSTENITICKÉ OCELI

Zvýšením obsahu chromu nad 17% u feritických ocelí došlo i k výraznému zlepšení jejich korozní odolnosti, takže další zvyšování jeho obsahu již nemá význam. Naopak přísadou niklu v množství zhruba 8% se dosáhne austenitické struktury, což představuje kvalitativní změnu ve vlastnostech oceli.

Nejdůležitější skupinu korozivzdorných ocelí vůbec představují chromniklové a chromniklmolybdenové austenitické oceli.

OBRÁBĚNÍ AUSTENITICKÝCH OCELÍ [3]

Vlivem zpevňování tvářením za studena při obrábění je odpor proti vnikání nástroje podstatně větší než odpovídá pevnosti oceli. Austenitické oceli mají také větší náchylnost k zadírání a k tvorbě nárůstků.

Ke zhoršení obrobitelnosti dochází při uplatnění vlivů, které působí zpevnění - obrábění tupým nástrojem, nevhodná geometrie nástroje, chvění nástroje a nedostatečná tuhost stroje.

Malá tepelná vodivost (25 ÷ 50% tepelné vodivosti uhlíkových ocelí) spolu s vysokým odporem materiálu proti vnikání nástroje vede ke značnému vzrůstu teploty v oblasti řezu. Z tohoto hlediska se vyžaduje účinné chlazení.

3.2 OBROBITELNOST NEREZAVĚJÍCÍCH OCELÍ [5], [4]

Tab. 3:

označení ČSN, PN	označení WNR	struktura oceli	třída obrobitelnosti	
			soustružení hoblování	frézování vrtání
17 020	1.4000	poloferitická	12b	12b
17 021	1.4024	martenzitická	12b	12b
17 022	1.4021	martenzitická	12b	12b
17 023	1.4028	martenzitická	11b	11b
17 024	1.4034	martenzitická	11b	11b
17 027	-	martenzitická	12b	12b
17 029	-	martenzitická	10b	10b
17 030	-	martenzitická	10b	10b
17 031	-	martenzitická	9b	9b
17 040	1.4016	feritická	12b	12b
17 041	1.4016	poloferitická	11b	11b
17 042	-	martenzitická	9b	9b
17 061	-	feritická	11b	11b
PN17 136	1.2082	martenzitická	9b	9b
PN17 145	1.4057	martenzitická	10b	10b
PN17 158	-	feritická	11b	11b
17 240	1.4301	austenitická	9b	9b
17 241	-	austenitická	9b	9b
17 242	-	austenitická	9b	9b
PN17 243	1.4305	austenitická	8b	8b
17 246	-	austenitická	8b	8b
17 247	1.4541	austenitická	8b	8b
17 248	1.4541	austenitická	8b	8b
17 249	1.4306	austenitická	9b	9b
17 252	-	austenitická	7b	7b
17 254	-	austenitická	8b	8b
PN17 342	-	austenitická	7b	7b
17 346	1.4401	austenitická	9b	9b
17 347	-	austenitická	8b	8b
17 348	1.4571	austenitická	8b	8b
17 349	1.4404	austenitická	9b	9b
17 350	1.4435	austenitická	9b	9b
17 351	-	austenitická	9b	9b
17 352	1.4436	austenitická	9b	9b
17 353	-	austenitická	8b	8b
17 356	-	austenitická	8b	8b
17 460	1.4371	austenitická	6b	6b
17 471	-	austenitická	6b	6b
17 471	-	austenitická	4b	4b
17 481	-	austenitická	5b	5b
17 482	-	austenitická	5b	5b
17 483	-	austenitická	5b	5b

3.3 VÝBĚR OCELÍ

Feritické, martenzitické a poloferitické oceli jsou všobecně lépe obrobitelné než austenitické, mají však většinou horší korozní odolnost. I ostatní vlastnosti ocelí jsou často protichůdné, proto nelze nejvhodnější ocel určit zcela jednoznačně.

Ocel pro konkrétní korozní prostředí je možno vybrat např. podle literatury [5], kde jsou uvedeny korozní rychlosti [$\text{g.m}^{-2}.\text{h}^{-1}$] vybraných nerezavějících ocelí POLDI v různých korozních prostředích.

Tab. 4: Vybrané dobře obrobitelné oceli podle požadavků podniku [4], [5]

požadavek podniku	označení ČSN	označení WNR	třída obrobitelnosti
ocel pro tváření	17 020	1.4000	12b
	17 021	1.4024	12b
	17 022	1.4021	12b
	17 041	1.4016	11b
	17 158	-	11b
ocel s chemickou odolností	17 041	1.4016	11b
	17 158	-	11b
	17 145	1.4057	10b
	17 240	1.4301	9b
	17 349	1.4404	9b
	17 350	1.4435	9b
	17 352	1.4436	9b
ocel pro potravinářské účely	17 041	1.4016	11b
	17 158	-	11b
	17 029	-	10b
	17 136	-	9b
	17 241	1.4401	9b
	17 346	1.2082	9b

4 ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ ZÁVITNÍKY

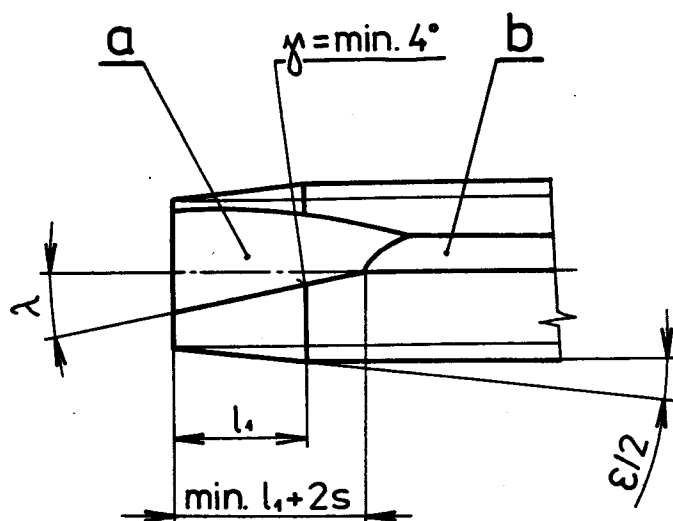
4.1 VOLBA ZÁVITNÍKU S OHLEDEM NA TECHNOLOGICKÉ PODMÍNKY OBRÁBĚNÍ [11], [12]

Při strojním obrábění se závitové díry malých a středních průměrů dokončují téměř výhradně jednořeznými strojními závitníky. Pro každou závitořeznou operaci je třeba volit závitník vhodného konstrukčního provedení, protože větší produktivity a menších nákladů na nástroje lze dosáhnout volbou nejvhodnějšího nástroje. Pro volbu a konstrukci vhodného závitníku jsou rozhodující technologické podmínky dané operace, a to zejména druh a poloha závitové díry a mechanické i fyzikální vlastnosti obráběného materiálu.

ZÁVITOVÁNÍ PRŮCHOZÍCH DĚR

V průchozích závitových dírách je řezání závitů nejsnadnější, neboť břity závitníku postupně projdou celou dírou a na konci díry plynule vycházejí z řezu. Nemůže zde dojít tak snadno k hromadění a přechování třísek, jak se to někdy stává u neprůchozích děr. Průchozí díry nekladou proto zvláštní požadavky na konstrukci závitníku, pokud se nejedná o abnormálně dlouhé díry. Při řezání závitu v dlouhých dírách ($L > D$) je vhodné volit závitníky s nuceným odváděním třísek, nebo alespoň závitníky se zvětšeným prostorem drážek s ohledem na větší množství třísek.

Pro závitování dlouhých průchozích děr všeobecně, zvláště v materiálech velké pevnosti a houževnatosti, jsou nejvhodnější závitníky s neprůběžnými drážkami podle *obr. 1.*



Obr. 1: Řezná část závitníku s neprůběžnými drážkami:
a - neprůběžná drážka, b - mazací drážka

Neprůběžné drážky musí mít délku nejméně o dvě stoupání závitu delší, než je délka řezného kužele. Do neprůchozích drážek vyústují mělké a úzké mazací drážky pro přívod řezné kapaliny k břitům.

Závitníky s neprůběžnými drážkami mají podstatně větší průřez jádra, takže se zvětší jejich pevnost i tuhost a mohou být zatíženy větším řezným odporem. Šikmý sklon neprůběžných drážek způsobuje odvíjení třísek před závitník a jejich dobrý odchod z řezané závitové díry.

Při závitování dlouhých průchozích děr ve vodorovné poloze, zvláště v materiálech menší pevnosti, se dobře osvědčují také závitníky s drážkami ve šroubovici. K dokonalému odvádění třísek postačuje volit úhel sklonu šroubovice drážek 10 až 15°. Tyto závitníky s delším řezným kuzelem jsou vhodné i pro řezání krátkých závitových děr ve vodorovné poloze.

ZÁVITOVÁNÍ NEPRŮCHOZÍCH DĚR

Při řezání závitů v neprůchozích dírách se požadavky na volbu a konstrukční řešení závitníků zvětšují úměrně s délkou a požadovanou přesností díry. Při závitování neprůchozích děr musí být vždy pamatováno na dostatečný prostor pro třísky v díře i v drážkách závitníku a při delších závitových dírách také na odvádění třísek z řezané závitové díry.

Při poměru délky závitu k průměru $L \leq D$ v neprůchozí díře se mohou používat normalizované závitníky s přímými drážkami. Pokud vzniknou potíže s hromaděním třísek, mohou se prohloubit drážky vybroušením, nebo rozšířit drážky odbroušením zubů na menší šířku.

Pro neprůchozí závitové díry $L > D$ jsou nejvýhodnější závitníky s pravou šroubovicí drážek, které odvádějí odřezávané třísky z díry směrem ke stopce. K zajištění dokonalého odvádění třísek je třeba volit úhel sklonu šroubovitých drážek 35 až 45°.

Pro řezání závitu ve zvlášť hlubokých dírách, nebo když délka závitu je značně delší, než je závitová část závitníku, jsou vhodné závitníky, u kterých šroubovitě drážky pokračují ještě na stopce závitníku téměř do poloviny její délky. Umožní se tím dobrý odchod třísek ze závitových děr, zejména při řezání dlouhého závitu ve svislé poloze.

Úhel sklonu břitů, určený šroubovitými drážkami, má příznivý vliv na řezivost a trvanlivost nástrojů. Postupným vřezáváním jednotlivých zoubků do obráběného materiálu se dosáhne plynulého řezu a výhodnějšího rozložení rezných odporů působících na závitník. Při stejném namáhání jsou závitníky se šroubovitými drážkami rovnoměrněji zatíženy složkami rezného odporu než závitníky s přímými drážkami, snesou proto větší namáhání a prodlouží se také jejich trvanlivost.

VLIV OBRÁBĚNÉHO MATERIÁLU NA VOLBU ZÁVITNÍKU

Obráběný materiál a jeho vlastnosti jsou rozhodující nejen pro volbu geometrie závitníku, ale také pro určení rozměrů, tvaru a počtu drážek i pro volbu nástrojového materiálu a řezné rychlosti. Na vlastní řezání závitu má pak největší vliv pevnost a tažnost obráběného materiálu.

Při řezání závitu v materiálech velké pevnosti dochází v důsledku většího řezného odporu k nadměrnému namáhání, a tím i k rychlému otupování nástroje. V takových případech se zpravidla musí používat speciální závitníky z vysoce výkonných rychlořezných ocelí.

Při řezání závitu v materiálech s velkou tažností nabývá v důsledku příčného pýchování materiálu odříznutá tříska značně na své tloušťce a je i u krátkých závitových děr příčinou pýchování třísek v drážkách závitníku. Dochází též k deformacím materiálu tím způsobem, že se zmenšuje průměr předvrtané díry, takže závitník odebírá třísky i na malém průměru závitu nástroje, a tím se rychle zhoršuje řezná schopnost závitníku. V takových případech je pak nutné volit větší průměr vrtáku pro předvrtávání děr pro řezání závitu.

VOLBA ÚHLU ČELA ZÁVITNÍKU

Doporučené velikosti úhlu čela závitníku pro řezání závitů v různých druzích obráběného materiálu obsahují tabulky prospektů a katalogů, které vydávají všichni výrobci závitníků.

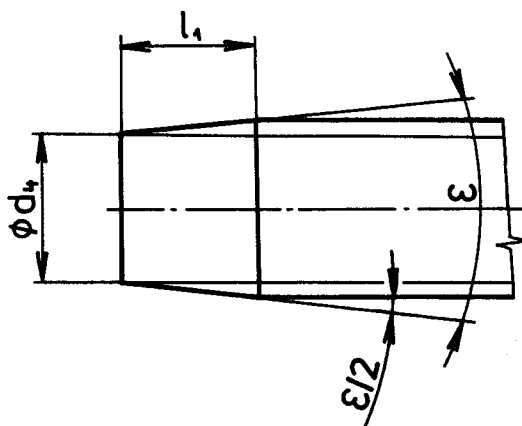
U normalizovaných závitníků je úhel čela přizpůsoben určitým druhům nejčastěji obráběných materiálů a jsou to zpravidla oceli střední pevnosti a obrobitelnosti. Závitníky mají úhel čela 8 až 10° a to je třeba brát v úvahu při používání normalizovaných závitníků. Při obrábění různých druhů materiálů se musí závitníky upravit přeostrěním na

čelech zubů, aby velikost úhlu čela odpovídala druhu a vlastnostem obráběného materiálu i pracovním podmínkám dané operace.

Je samozřejmé, že stanovená velikost úhlu čela se musí dodržovat i při každém přeostržení otupeného závitníku. Velikost úhlu čela ovlivňuje tvoření i tvar třísky a vhodnou velikostí úhlu čela získá závitník dobré řezné vlastnosti a dlouhou trvanlivost. Úhel čela má také vliv na přesnost a jakost obráběných závitových děr.

VOLBA TVARU ŘEZNÉHO KUŽELE

Řeznou práci závitníku vykonávají pouze zoubky řezného kužele odebíráním jemných třísek, až postupně obrobí celý závitový profil. Odřezávání třísek při řezání závitu je tedy přímo závislé na tvaru a rozměrech řezného kužele závitníku, zejména na jeho průměru d_4 a na délce l_1 (obr. 2).



Obr. 2: Základní tvar a rozměry řezného kužele závitníku

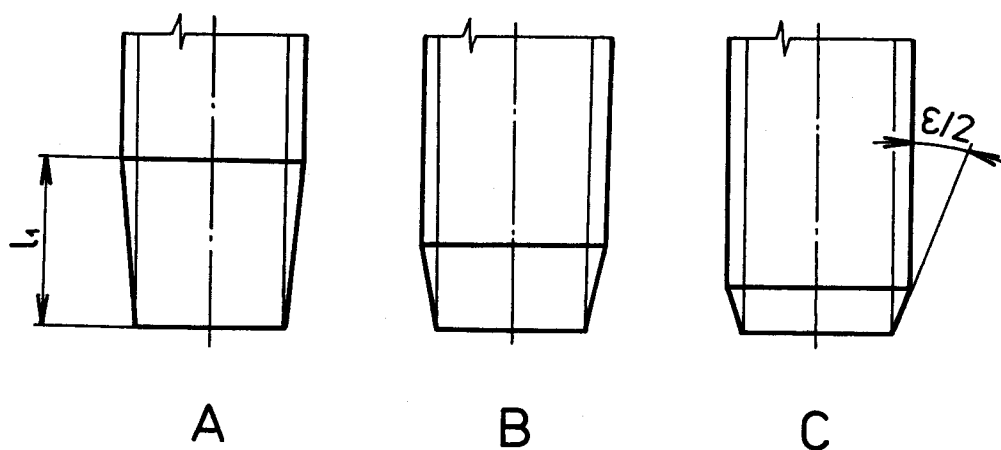
Průřez řezného kužele d_4 musí být pokud možno co největší, aby řezaly všechny zoubky řezného kužele. Současně se tím zlepší vedení závitníku při začátku řezání závitové díry.

Délka řezného kužele l_1 je přímo závislá také na délce řezané závitové díry. Dlouhý řezný kužel je nevýhodný pro dlouhé závitové díry, kdežto krátký řezný kužel je na délce díry takřka nezávislý, pokud délka díry je větší než její průměr.

Při dlouhém řezném kuželi je řezná práce rozdělena na větší počet zoubků, které odebírají slabé třísky, avšak při větší velikosti krouticího momentu. Při krátkém řezném kuželi musí řeznou práci vykonat podstatně menší počet zoubků odebráním tlustších třísek, takže závitník se rychleji otupí.

Volbu délky řezného kužele je třeba přizpůsobit charakteru řezané závitové díry. Je nutno rozlišovat, zda se bude řezat krátká nebo dlouhá závitová díra a zda bude průchozí nebo neprůchozí.

Podle norem jednořezných závitníků ČSN 22 3020 a ČSN 22 3042 jsou v naší republice závitníky vyráběny s různým tvarem řezného kužele v provedení A, B, C (obr. 3).



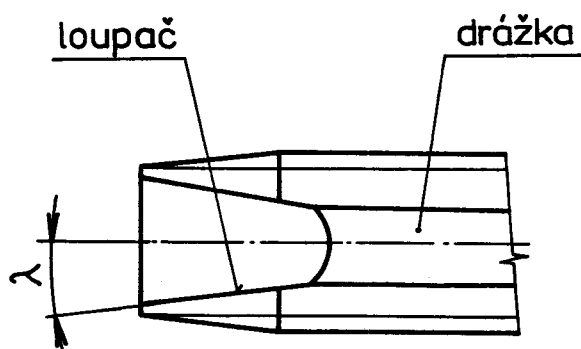
Obr. 3: Normalizované tvary řezných kuželů závitníku podle ČSN

Tvar A: $l_1 = 8 \cdot s$; je vhodný pro krátké průchozí díry v běžných i houževnatých materiálech a v některých případech lze jím nahradit maticové závitníky.

Tvar B: $l_1 = 4.s$; umožňuje značně universální použití pro průchozí díry větších délek v materiálech s běžnou obrobiteľností a je použitelný i pro řezání závitu v krátkých neprůchozích dírách s dostatečným výběhem závitu.

Tvar C: $l_1 = 2.s$; použije se výhradně pro řezání neprůchozích závitových děr, při řezání v materiálech s drobivou třískou a pro čištění nebo kalibrování závitů, které byly technologickým procesem znečištěny nebo pozměněny (např. po tepelném zpracování, po svařování apod.)

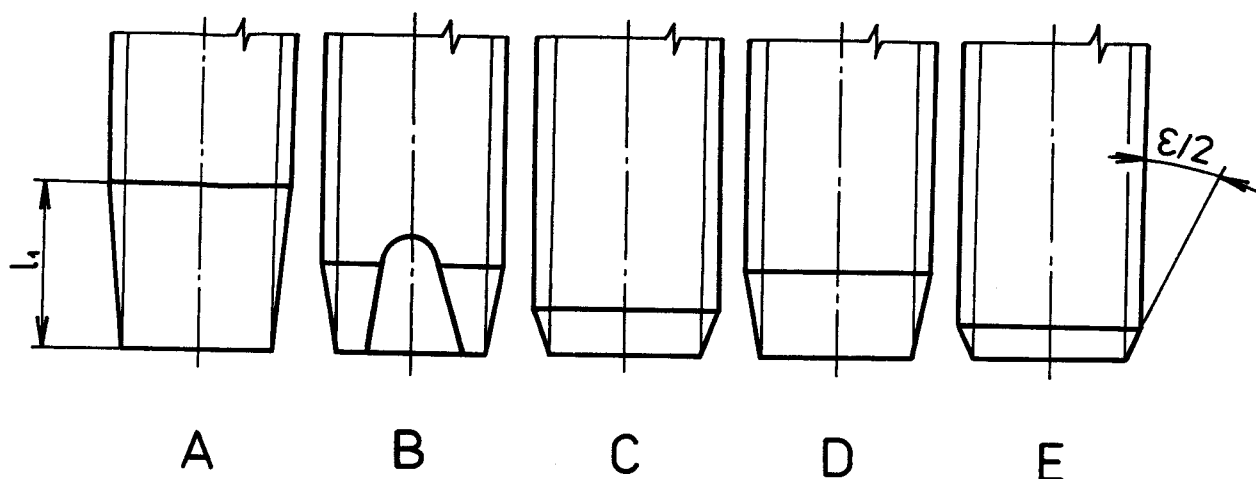
Pro řezání dlouhých průchozích děr a pro řezání závitových děr v pevných nebo houževnatých materiálech se doporučuje vybrousit v oblasti řezného kužele loupáče podle obr. 4.



Obr. 4: Úprava drážek závitníku vybroušením loupáčů třísek

Velikost úhlu sklonu břitů může být až 20° , avšak s ohledem na dostatečnou pevnost zubů se v praxi využívá rozsah 5 až 15° .

Záporný úhel sklonu břitu zlepšuje řezné vlastnosti a odchod třísek, které jsou usměrňovány před závitník. Tím se odstraňuje nebezpečí ucpávání závitníku třískami. Na tuto skutečnost je pamatováno v německé normě DIN 2197, kde je normalizováno pět provedení řezného kužele A, B, C, D a E podle obr. 5.



Obr. 5: Normalizované tvary řezných kuželů závitníků podle DIN

Tvar A: $l_1 = (6 \div 8) \cdot s$; je vhodný jen pro krátké průchozí díry, jejichž délka není větší než průměr, neboť při řezání závitu v hlubších dírách by bylo v záběru mnoho zoubků, značně by se zvětšil krouticí moment a hrozilo by nebezpečí zlomení závitníku.

Tvar B: $l_1 = (3,5 \div 5) \cdot s$ (je opatřen loupací třískou); je určen pro všechny průchozí díry a zvláště pro dlouhé závitové díry v pevných nebo houževnatých materiálech. Výhody loupaců lze využít i při řezání neprůchozích závitových děr menší délky se zvětšenou hloubkou předvrtané díry.

Tvar C: $l_1 = (2 \div 3) \cdot s$; doporučuje se pro krátké neprůchozí díry s krátkým výběhem závitu a všeobecně k řezání závitových děr ve slitinách hliníku, v šedé litině a v mosazi, a to průchozích i neprůchozích.

Tvar D: $l_1 = (3 \div 5) \cdot s$; pro průchozí a neprůchozí díry do hloubky $1,5 \cdot D$ s dostatečným výběhem závitu. Neprůchozí díry s hloubkou přes $1,5 \cdot D$ je výhodnější řezat závitníkem se šroubovitými drážkami.

Tvar E: $l_1 = (1,5 \div 2) \cdot s$; použije se jen ve výjimečných případech pro neprůchozí díry s velmi krátkým výběhem závitů. Malý počet zoubků řezného kužele je přetěžován odebráním tlustých třísek a závitníky se rychle otupují.

PODBROUŠENÍ ZÁVITNÍKŮ

Aby řezný kužel závitníku mohl správně plnit svoji funkci, musí mít vhodný a na všech zubech stejný úhel hřbetu. Potřebný úhel hřbetu vznikne podbrušováním zubů na řezném kuželi. Úhel hřbetu α jednořezných strojních závitníků se volí:

- pro řezání průchozích děr $\alpha = 4^\circ$ až $4^\circ 30'$
- pro řezání neprůchozích děr $\alpha = 2^\circ 30'$ až 3° .

Řezný kužel přechází ve válcovou závitovou část, která vede závitník v řezané závitové díře. Za účelem zmenšení tření mezi závitníkem a obrobkem se podbrušuje profil závitů, tj. boky závitového profilu válcové části. Velikost podbroušení se volí 0,01 až 0,05 mm na šířku zubu v závislosti na velikosti nástroje a jeho přesnosti.

Při kombinovaném podbrušování závitového profilu se podbrušují nejen boky jednotlivých zoubků, ale i jejich vrcholy v rozsahu povolené tolerance velkého průměru závitů závitníku. Kombinované podbrušování závitového profilu je vhodné hlavně pro závitníky s neprůchozími drážkami a všeobecně pro závitníky s velkou šířkou zubů, kdy značně velká plocha povrchu závitníku je ve styku s obrobkem. Podbroušením vrcholů zoubků se dosáhne dalšího zmenšení tření mezi závitníkem a obrobkem, zmenší se velikost krouticího momentu a prodlouží se životnost závitníků.

ZÁVĚR

Strojní řezání závitových děr jednořeznými závitníky je značně náročnou operací, která se obvykle uskutečňuje na značně rozpracovaných obrocích, nebo je to operace na již

zcela obrobených obrobcih. Proto mohou závady, které se vyskytnou při řezání závitů, vyráběnou součást velmi poškodit nebo zcela znehodnotit. Závitníky jsou při práci značně zatěžovány a namáhány, přičemž musí umožňovat řezání závitů dobré jakosti a přesnosti při dostatečně dlouhé trvanlivosti břitů.

4.2 OSTŘENÍ ZÁVITNÍKŮ [10]

Způsob ostření je dán jednak charakterem otupování, možnostmi ostřírny (vybavením stroji a přípravky), normativy a doporučeními pro ostření závitníků. Pro kritériální hodnoty opotřebení pro ostření VC_K je rozhodující hodnota opotřebení VC , která se ostřením musí zcela odstranit.

Pro zabezpečení vysoké životnosti závitníků je nutné zabránit jejich nadměrnému opotřebení (dodržení VC_K), aby pak nebylo nutné volit velké přídavky na ostření, čímž by se snížila využitelnost závitníků.

ZPŮSOBY OSTŘENÍ [2], [10]

Správné a ekonomické ostření závitníků vyžaduje speciální ostříčky, ostříčky se speciálními přídavnými zařízeními nebo přípravky. Dalším předpokladem je použití vhodných brousících nástrojů a parametrů broušení. Jedině tak dosáhneme požadovanou přesnost, předepsanou geometrii a kvalitu povrchu.

Volba způsobu ostření závisí na charakteru opotřebení závitníků. Závitníky lze ostřit třemi způsoby:

- ostřením na čele zubů
- ostřením na hřbetě
- kombinovaně na čele i na hřbetě

Pro malá opotřebení se připouští ostření prvními dvěma způsoby. Pro větší opotřebení je ekonomické ostření kombinované.

Ostření na čele

- výhody:
 - broušením se neprodlužuje řezný kužel
 - ostřit lze na každé universální ostříčce
 - může se změnit úhel čela podle potřeby
- nevýhody:
 - musí se odebrat velký objem materiálu
 - tvoření ostrin
 - obtížně se ostří nástroje s drážkami ve šroubovici

Ostření na hřbetě

- výhody:
 - odebírá se minimální množství nástrojového materiálu
 - vysoká přesnost
 - zůstává zachována původní geometrie čela
 - nevzniká otřep
- nevýhody:
 - vyžaduje speciální podbrušovací zařízení
 - prodlužování řezného kužele

Kombinované ostření na čele i na hřbetě

Je to nejsprávnější a nejehospodárnější způsob ostření, protože při něm mohou být úběry na čele i na hřbetě velmi malé. Tím se dosáhne největší životnosti závitníků.

Životnost závitníku je teoreticky dána způsobem ostření a délkou válcové (kalibrující) části závitníku, kterou lze využít k přeastřování a současně minimální tloušťkou žebra.

4.3 VÝROBA ZÁVITŮ V TĚŽKO OBRÁBĚTELNÝCH MATERIÁLECH [1]

Výroba závitů v těžkoobrobitelných materiálech patří mezi nejobtížnější operace. U měkkých a houževnatých materiálů vznikají zpravidla nárůstky, které velmi zhoršují jakost závitů; u materiálů, u nichž převažuje abrasivní otěr dochází k rychlému opotřebení břitů nástroje a ke snížení přesnosti závitů. Proto se při výrobě závitů vyžadují vhodné řezné kapaliny s vysokým protinárůstkovým účinkem a s mimořádnými chladicími vlastnostmi.

ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ

Pro řezání závitů se kromě vnitřních závitových nožů a kotoučových závitových nožů používají závitníky z vysokovýkonných rychlořezných ocelí podle tabulky v kapitole 2.2.3.6.

Tab. 5: Doporučená geometrie závitníků [1]

Skupina	Obráběný materiál	Úhel čela
I.	Vysokolegované oceli chromové feritické a poloferitické ; austenitické oceli chrom-niklové, chrommanganové apod. tvářené	10÷15°
II.	Austenitické oceli chromniklové a chrom-manganové apod. na odlitky	8÷10°
III.	Vysokolegované oceli chromové kalitelné s vyšším obsahem uhlíku	0÷5°

Tab. 6: Geometrie závitníků doporučená firmou Emuge pro nerez oceli:

úhel čela	7 ÷ 9°	
úhel hřbetu α_p	průchozí díry	3 ÷ 5°
	neprůchozí díry	1 ÷ 3°

Ze strojních závitníků, normalizovaných v ČSN se pro obrábění nerez ocelí uplatňují:

1. závitníky krátké s přímými drážkami ČSN 22 3042 pro materiály skupin I a II, a to:

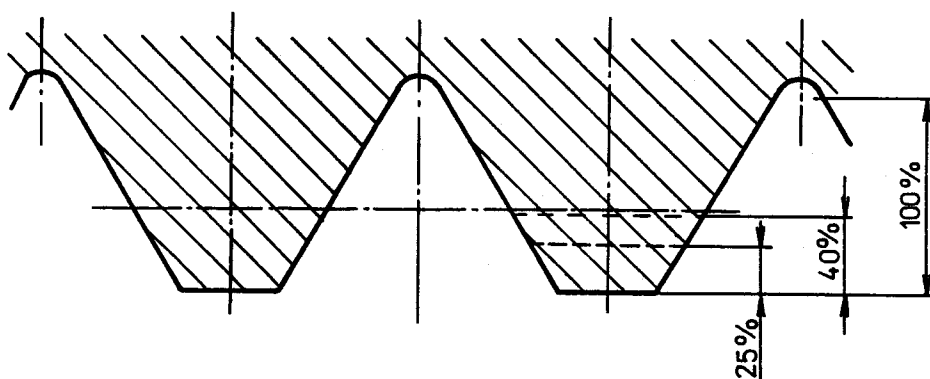
- provedení A (s dlouhým řezným kuželem - obr. 3 str.40) pro průchozí závity v ocelích pevnosti až $\sigma_{Pt} = 900$ MPa - provedení B (se středně dlouhým kuželem) pro závity průchozí v ocelích do pevnosti $\sigma_{Pt} = 600$ MPa

- provedení C (s krátkým řezným kuželem) pro neprůchozí závity a pro všechny tažné a houževnaté oceli (vysokolegované oceli chromové feritické a poloferitické, austenitické oceli chromniklové apod.)

2. závitníky s neprůběžnými drážkami ČSN 22 3043 pro průchozí závity v materiálech skupin I a II

3. závitníky se šroubovými drážkami ČSN 22 3044 pro neprůchozí závity pro materiály všech tří skupin, především pro tažné a houževnaté oceli.

Pro řezání vnitřních závitů v těžkoobrobitelných materiálech se doporučuje, jestliže to nevadí funkci závitu (nejde-li například o závit těsnící apod.), předvrtávat díry pro závity vrtákem většího průměru tak, že se nosná hloubka profilu zmenšuje o 25 až 40% (obr. 6). Pro řezání závitů v tažných a houževnatých materiálech se také doporučuje odbroušení závitových profilů na nástroji vystřídaně, vždy každý druhý břit u třídrážkových závitníků nebo každý třetí břit u čtyřdrážkových závitníků. Rovněž se osvědčily povrchové úpravy závitníků, které zvyšují odolnost proti adheznímu otěru a zlepšují podmínky pro vytváření kluzného filmu řezných kapalin.



Obr. 6: Snížení nosného profilu závitu o 25 až 40%

Doporučené řezné podmínky pro řezání vnitřních metrických závitů závitníky :

obrobitelnost 14b: $v = 9 \text{ m.min}^{-1}$

Tab. 7: Opravné součinitele

Obrobitelnost	5b	6b	7b	8b	9b	10b	11b	12b	13b
k_v	0,125	0,16	0,2	0,25	0,32	0,4	0,5	0,63	0,8

TVÁŘENÍ VNITŘNÍCH ZÁVITŮ

Tváření vnitřních závitů je možné v materiálech malé pevnosti (do 450, výjimečně do 600 MPa) a tažnosti nejméně 12%. Pro těžkoobrobitelné materiály, které vyhovují těmto požadavkům je třeba tento způsob ověřit. Výhodou tváření je hladký povrch závitu, větší obvodové rychlosti tvářecích závitníků a skutečnost, že nevznikají třísky, které působí potíže zejména u závitů ve slepých dírách. Tváření závitů je vhodné především v sériové výrobě.

Pro tváření vnitřních závitů se používají tvářecí závitníky krátké PN 22 3052 (od M1 do M6) a tvářecí závitníky PN 22 3053.

Obvodové rychlosti tvářecích závitníků se volí přibližně okolo $v = 12 \text{ m.min}^{-1}$; přitom se musí uvažovat

nebezpečí zadírání závitníků. Tvářecí závitníky je třeba upínat závitovými pojistnými hlavami. Jako řezná kapalina se používá řepkový olej, Katol PP nebo Kalorex 100.

PROBLEMATIKA ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ ZÁVITNÍKY V AUSTENITICKÝCH OCELÍCH [7]

Řezání závitů závitníky v austenitických materiálech patří mezi nejobtížnější operace vůbec. Provádí se většinou jako dokončovací operace na nákladných součástech s velkou pracností. Z toho vyplývají velká rizika v případě nedodržení předepsané kvality závitů, protože dodatečná možnost opravy není možná. Řezání závitů je o to obtížnější, že se již v průběhu vlastního řezání nedá ovlivnit.

Dle zkoušek prováděných v o. p. ŠKODA Plzeň byly stanoveny teoretické požadavky na nástroj :

- a) Odvést třísky mimo nástroj a obrobek tak, aby nedocházelo k hromadění třísek v zubové drážce.
- b) Materiál nástroje, popř. jeho povrchovou úpravu volit tak, aby nedocházelo k nalepování materiálu a tvoření nárůstků na nástroji (profil i čelo).
- c) Snížit tření mezi obrobkem a nástrojem.
- d) S ohledem na zpevňování povrchové vrstvy materiálu konstruovat nástroj jako jednořezný.

Z těchto závěrů vyplývá požadavek na rozdílnou konstrukci závitníků pro řezání závitů do dna (odvod třísky proti směru posuvu) a pro řezání průchozích závitů (odvod třísky před nástroj).

5 VYSTRUŽOVÁNÍ OTVORŮ [1]

Vyvrtané otvory, u nichž se požaduje přesnější geometrický tvar, rozměrová přesnost a lepší jakost povrchu se dále obrábějí výhrubníky (do tolerance IT 11 až IT 12) a výstružníky (do tolerance IT 7 až IT 8). Vyhrubování těžkoobrobitelných materiálů nečiní zpravidla větší obtíže, naopak vystružování patří mezi nejobtížnější operace.

Tab. 8: Doporučená geometrie výstružníků pro vystružování nerez ocelí [1]

Skupina	Obráběný materiál	Výstružníky					
		RO			SK		
		α_r	α_o	γ_o	α_r	α_o	γ_o
I.	Vysokolegované oceli chromové feritické a poloferitické tvářené; Austenitické oceli chromniklové, chrom-manganové tvářené	30°	8° až 10°	5° až 8°	-	-	-
II.	Vysokolegované oceli chromové kalitelné s menším obsahem uhlíku; Austenitické oceli manganové tvářené; Austenitické oceli chromniklové aj. s přísadami Mo, W apod. tvářené i na odlitky; Austenitické oceli chromniklové a chrom-manganové na odlitky	25°	8°	5°	20° až 25°	5° až 7°	0° až 6°
III.	Vysokolegované oceli chromové kalitelné s vyšším obsahem uhlíku	10° až 15°	6°	5°	10° až 15°	5° až 7°	0°

Výstružníky musí být vyrobeny z výkonných a vysokonných rychlořezných ocelí, doporučených v tab. 1 (str. 24).

Pro vystružování měkkých a houževnatých ocelí se doporučuje vyleštit drážky výstružníku nebo použít povlakovaný výstružník. Doporučuje se zúžení válcové fasetky nástroje na šířku 0,1 až 0,15 mm.

Doporučuje se břitý výstružník po přeostrění přelapovat litinovým kroužkem s lapovací pastou.

5.1 ŘEZNÉ PODMÍNKY PRO VYSTRUŽOVÁNÍ

Pro rychlořezné výstružníky se použijí řezné podmínky podle platných normativů s přihlédnutím ke skupině obrobitelnosti daného materiálu.

Tab. 9: Řezné podmínky pro vystružování nerez ocelí [1]

Průměr díry D [mm]	Obrobitelnost 14b	
	Posuv S [mm.ot ⁻¹]	Řezná rychlost V [m.min ⁻¹]
5	0,20	8,7
6	0,23	8,5
8	0,30	8,3
10	0,36	8

Tab. 10: Opravné součinitele

Obrobitelnost	8b	9b	10b	11b	12b	13b	14b
k_v	0,35	0,42	0,5	0,59	0,7	0,84	1
k_s	0,69	0,73	0,78	0,83	0,89	0,94	1

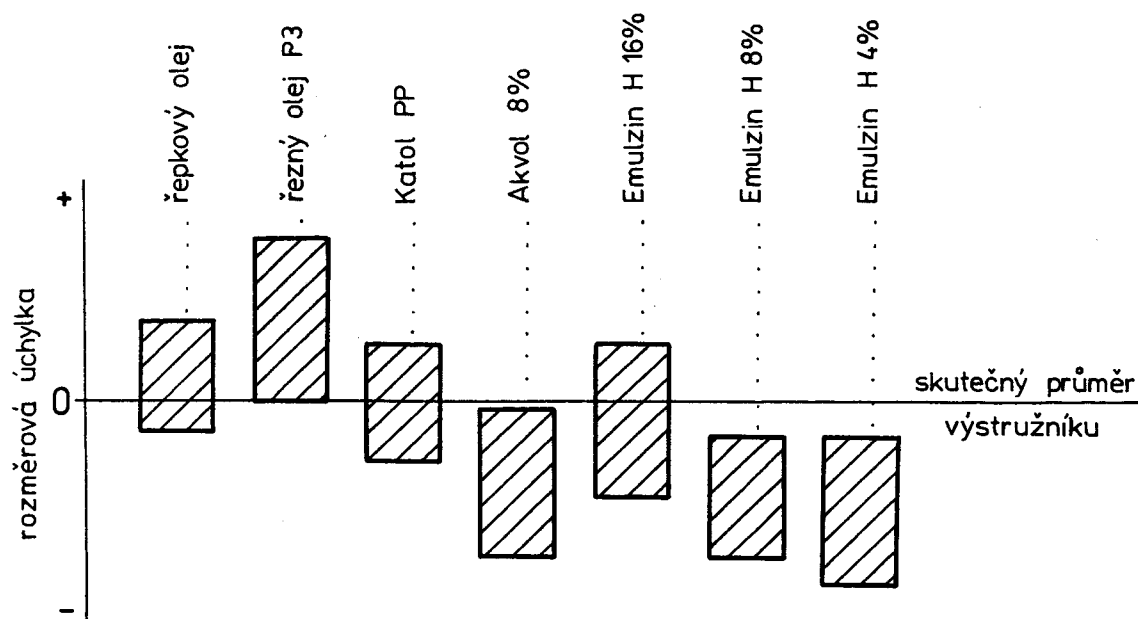
Průměrná základní trvanlivost výstružníků do $\phi 10$ mm je $T = 30$ min. a otupení $VB = 0,1$ mm.

Součinitele zahrnují vliv optimálního řezného materiálu a vliv optimální řezné kapaliny. Při vystružování

houževnatých materiálů je třeba nejvhodnější posuv ověřit se zřetelem na požadovanou jakost díry.

Pro výstružníky se slinutým karbidem se doporučují asi trojnásobné řezné rychlosti než pro nástroje rychlořezné, posuv se naopak snižuje asi o 20%.

Při vystružování je třeba vždy vydatně chladit vhodnou řeznou kapalinou, uvedenou v tabulce v kapitole 2.2.6. Řezná kapalina při vystružování ovlivňuje konečný průměr vystružené díry ; tento vliv je schematicky znázorněn na obr. 7.



Obr. 7: Vliv řezných kapalin na rozměrovou úchylku vystružovaných děr

V podstatě platí:

- při použití emulzních kapalin při běžné koncentraci je průměr vystružené díry menší, než je skutečný průměr výstružníku
- při použití řezných olejů je průměr vystružené díry stejný nebo větší než skutečný průměr výstružníku.

6 TECHNOLOGICKÉ ZKOUŠKY

6.1 POUŽITÉ STROJE

Předvrtání otvorů, řezání závitů a vystružování se provádělo na radiální vrtačce VR 4 v laboratořích VŠST - katedry obrábění a montáže.

6.2 OBRÁBĚNÝ MATERIÁL [5]

Zkoušky závitníků a výstružníků byly prováděny na čtyřhranné tyči 40x40mm ČSN 42 5519 z oceli 17 248, která má obrobiteľnosť 8b. Táto oceli odpovídá německá ocel WNR 1.4541.

Tab. 11: Chemické složení oceli 17 248:

Chemické složení [%]							
C	Mn	Si	P _{max}	S _{max}	Cr	Ni	Ti
max. 0,10	max. 2,00	max. 1,00	0,045	0,030	17,0÷ 20,0	9,0÷ 12,0	min. 5 x C

Tato ocel je stabilizována titanem. Obsah niklu je zde přizpůsoben požadavku, aby struktura byla austenitická. Ta způsobuje zvýšení korozní odolnosti, ale podstatně zhoršuje obrobiteľnosť.

Tab. 12: Mechanické vlastnosti oceli 17 248:

Střední hodnoty mechanických vlastností			
mez kluzu [MPa]	pevnost v tahu [MPa]	tažnost [%]	kontrakce [%]
290	580	55	66

Ocel 17 248 má široké spektrum uplatnění a patří mezi nejpoužívanější typy chromniklových austenitických ocelí. Za přiměřených podmínek může být využívána i při teplotách nad 400 °C. Z anorganických kyselin odolává kyselině dusičné a částečně i kyselině sírové. Dobře odolává organickým kyselinám, tukům, ovocným šťávám, roztokům mýdla a dalším organickým látkám.

Přednostně se proto uplatňuje v potravinářském, farmaceutickém a textilním průmyslu.

6.3 ZKOUŠKY ZÁVITNÍKŮ

METODIKA ZKOUŠEK [9], [10]

Otvory pro zkoušky závitníků budou předvrtány do hloubky 20 mm. Hrana otvoru bude sražena vrtákem ϕ 12 mm do hloubky zhruba $0,5 \div 1$ mm, aby se usnadnilo vřezávání závitníku do obrobku. Závity M6 budou řezány do hloubky $1,5.d$, tj. do hloubky 9 mm.

a) Určení vhodného průměru předvrtané díry

Nejvhodnější průměr předvrtané díry je takový, který umožní vyříznutí závitu o dostatečné výšce profilu při dostatečné trvanlivosti závitníku. Literatura [1] doporučuje pro řezání vnitřních závitů v těžkoobrobitelných materiálech (pokud to nevede k funkci závitu) předvrtávat díry pro závity vrtákem tak, že se nosná hloubka profilu zmenší o $25 \div 40\%$. Tomu odpovídá při řezání závitu M6 průměr předvrtané díry v rozmezí $5,19 \div 5,35$ mm.

Bude porovnávána trvanlivost závitníků v závislosti na průměru předvrtané díry. Podle doporučení literatury [1] budou pro zkoušky předvrtány otvory ϕ 5,2 ; dále budou předvrtány otvory ϕ 5,1 a ϕ 5,0.

Řezání závitů se bude provádět závitníky Narex M6 ISO1 ČSN 22 3044.

Po vyřezání každého závitu bude závitník očištěn a namazán štětcem řeznou kapalinou tohoto složení:

10% Cimtap

7% Cimstar MB 603

zbytek voda

b) Určení vhodné řezné kapaliny

Vhodnost řezné kapaliny bude posuzována podle velikosti naměřeného krouticího momentu. S každou řeznou kapalinou se provedou měření se dvěma ostrými závitníky. Z naměřených hodnot krouticího momentu bude stanovena průměrná hodnota a z ní bude vyhodnocena vhodná řezná kapalina.

Otvory pro zkoušky budou předvrtány vhodným průměrem vrtáku, zjištěným ze zkoušek podle bodu a).

Řezání závitů se bude provádět závitníky Narex M6 ISO1 ČSN 22 3044.

Budou použity tyto řezné kapaliny:

- Kalorex 100
- 10% Cimtap + 7% Cimstar MB603 (výrobce Cimcool Industrial Products B.V.), zbytek voda

c) Porovnání trvanlivosti závitníků

Při určování trvanlivosti závitníků je třeba stanovit kritérium opotřebení, tedy stav, kdy závitník již neplní svoji funkci.

Opotřebení závitníků je možno sledovat:

- přímou metodou - měřením opotřebení
- nepřímou metodou - měřením krouticího momentu
- sledováním jakosti vyříznutého závitu

Měření opotřebení - měří se buď šířka opotřebení na hřbetě VB, nebo lépe maximální opotřebení na hraně zubu VC, které určuje, kolik materiálu je třeba ze zubu závitníku odbrousit při ostření.

Měření krouticího momentu - nejjednodušším způsobem je měření momentu dynamometrem, ve kterém je upnut obrobek..

S rostoucím opotřebením závitníku roste velikost momentu. Kromě opotřebení závisí moment na třecích poměrech mezi závitníkem a obrobkem, na délce závitu, na způsobu odvodu třísek apod. Výsledky nemusí být proto vždy jednoznačné.

Sledování jakosti vyřiznutého závitu - lze sledovat přesnost závitu kalibrem, popř. drsnost závitu. Tyto hodnoty jsou však závislé nejen na opotřebení, ale i na jiných změnách na břitech, např. na nárůstku.

Pro určování trvanlivosti je proto obvykle nejvýhodnější sledovat opotřebení závitníku na hřbetě, zejména hodnotu VC.

Řezivost závitníků bude zjišťována na základě měření největšího opotřebení měřeného na hřbetě VC řezného kužele závitníku. Bude sledována závislost opotřebení na počtu vyřezaných závitových otvorů a hodnoty zaznamenány do tabulky (Tab. 16 str.61). Počet otvorů bude přepočten na délku vyřezaného závitu, která je ekvivalentní době obrábění.

Na základě získaných hodnot vyřezané délky závitu (trvanlivosti) bude sestaven VC - l diagram. Z diagramu bude provedeno vyhodnocení řezivosti závitníků. Graf je uveden na straně 63.

Řezání se bude provádět do doby, kdy závitník dosáhne hodnoty kritériálního opotřebení. Hodnota kritériálního opotřebení pro závit M6 byla stanovena podle literatury [1], [2] $VB_{KRIT.} = 0,1\text{mm}$.

Opotřebení se bude měřit na dílenském mikroskopu Zeiss-Jena při třicetinasobném zvětšení, kde bude závitník uložen v prizmatu.

Otvory pro zkoušky budou předvrtány vhodným průměrem vrtáku, zjištěným ze zkoušek podle bodu a).

Po vyřezání každého závitu bude závitník očištěn a namazán štětcem vhodnou řeznou kapalinou, zjištěnou ze zkoušek podle bodu b).

d) Porovnání krouticího momentu u ostrých a otupených závitníků

Měření krouticího momentu se bude provádět vždy s jedním otupeným závitníkem, který vyřezal právě 30 závitových otvorů (odpovídající délka závitu 270 mm) a s jedním ostrým závitníkem stejného typu.

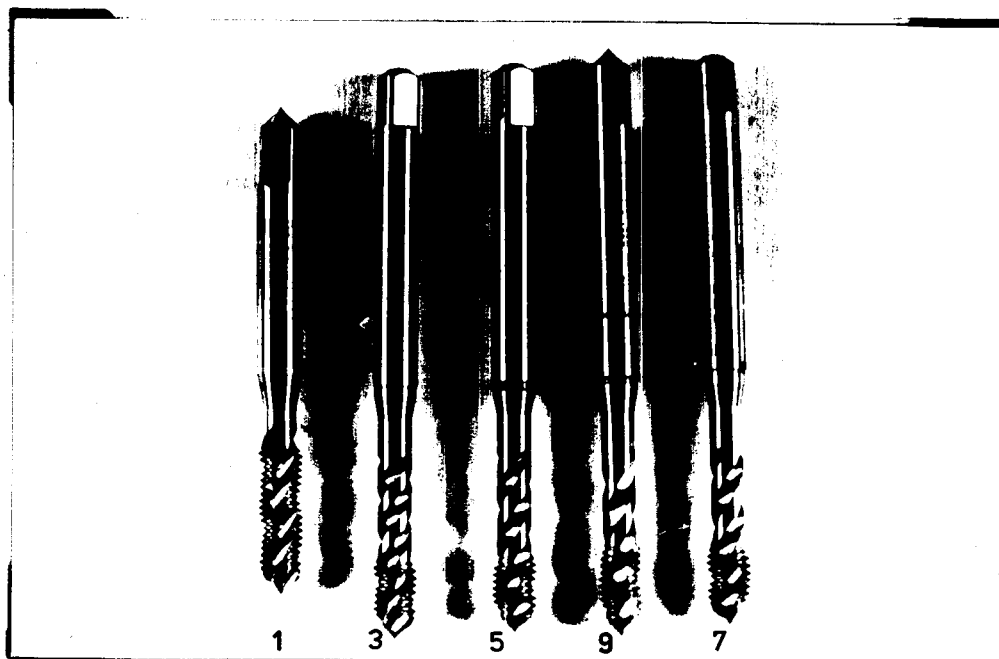
Otvor pro měření krouticího momentu bude z druhé strany, než se bude řezat závit, předvrtán vrtákem ϕ 8 tak, aby délka předvrtané díry byla 13 mm. Závitník tedy po vyříznutí závitu délky 13 mm postupně vyjde z řezu. Stejnou délkou řezaného závitu u všech otvorů se zajistí vzájemná porovnatelnost hodnot krouticího momentu.

POUŽITÉ NÁSTROJE A ZAŘÍZENÍ

- a) předvrtání děr pro závitování: šroubovitě vrtáky ϕ 5, ϕ 5,1 a ϕ 5,2
- b) závitníky pro řezání závitů M6: (tab. 13, obr. 8)

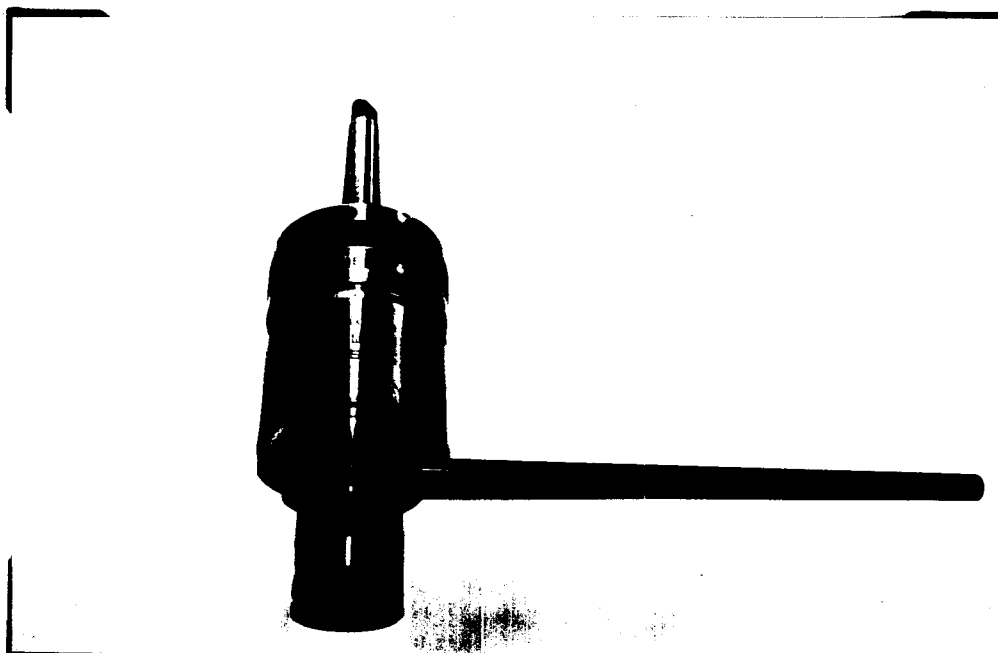
Tab. 13:

číslo závitníku	označení	ČSN - DIN	tolerance	materiál	úhel sklonu šroubovice	tvar náběhu
1,2	Narex	ČSN 22 3044	ISO 1/4H	HSSE ($\approx$ 19 855)	35°(R 35)	C
3,4	Emuge 1Enorm - Z	DIN 371	ISO 2/6H	HSSE ($\approx$ 19 855)	46°19 (R45)	C
5,6	Emuge 1Enorm - VA	DIN 371	ISO 2/6H	HSSE ($\approx$ 19 855)	40°5 (R 35)	C
7,8	Emuge 1Enorm - TiN	DIN 371	ISO 2/6H	HSSE ($\approx$ 19 855)	40°5 (R 35)	C
9	Gühring 059 UYGV	DIN 371	ISO 2/6H	HSSE ($\approx$ 19 855)	35°(R 35)	C



Obr. 8: Použité závitníky

c) upnutí závitníku: upínací hlava GSA 2 (obr. 9); je určena pro závitníky M5 + M16; umožňuje reverzaci otáček a zároveň omezuje krouticí moment podle použitého závitníku



Obr. 9: Upínací hlava GSA 2

- d) kontrola přesnosti závitu: závitový kalibr M6 - 5H
- e) měření opotřebení závitníků: dílenský mikroskop Zeiss - Jena s třicetinásobným zvětšením
- f) měření a záznam krouticího momentu : tenzometrický dynamometr DV - 20 a zapisovač

ŘEZNÉ PODMÍNKY

Řezná rychlost

Doporučené hodnoty řezné rychlosti pro řezání závitů v nerez ocelích jsou v literatuře uváděny různě:

$$3 \div 5 \text{ m.min}^{-1} \quad [2]$$

$$4 \div 5 \text{ m.min}^{-1} \quad [6]$$

$$1 \div 4 \text{ m.min}^{-1} \quad [8]$$

Podle těchto doporučených hodnot jsem zvolil otáčky vřetena $n = 180 \text{ min}^{-1}$. Skutečná řezná rychlost potom je $v_{\text{SKUT}} = 3,39 \text{ m.min}^{-1}$.

VÝSLEDKY ZKOUŠEK

a) Určení vhodného průměru předvrtané díry

Při řezání závitu do předvrtané díry $\phi 5,0$ došlo ke zlomení závitníku jednou na prvním a dvakrát na druhém vyříznutém závitu, a to pokaždé při zpětném chodu závitníku.

Při následujících zkouškách byla řezná rychlost snížena z $3,39 \text{ m.min}^{-1}$ na $1,19 \text{ m.min}^{-1}$ ($n = 63 \text{ min}^{-1}$), aby se usnadnila práce závitníku.

Při řezání závitu do předvrtané díry $\phi 5,1$ došlo ke zlomení závitníku jednou na pátém, jednou na sedmém a jednou na osmém vyříznutém závitu.

Při řezání závitů do předvrtané díry $\phi 5,2$ došlo ke zlomení závitníku jednou na jedenáctém, jednou na devatenáctém a jednou na dvacátém devátém otvoru.

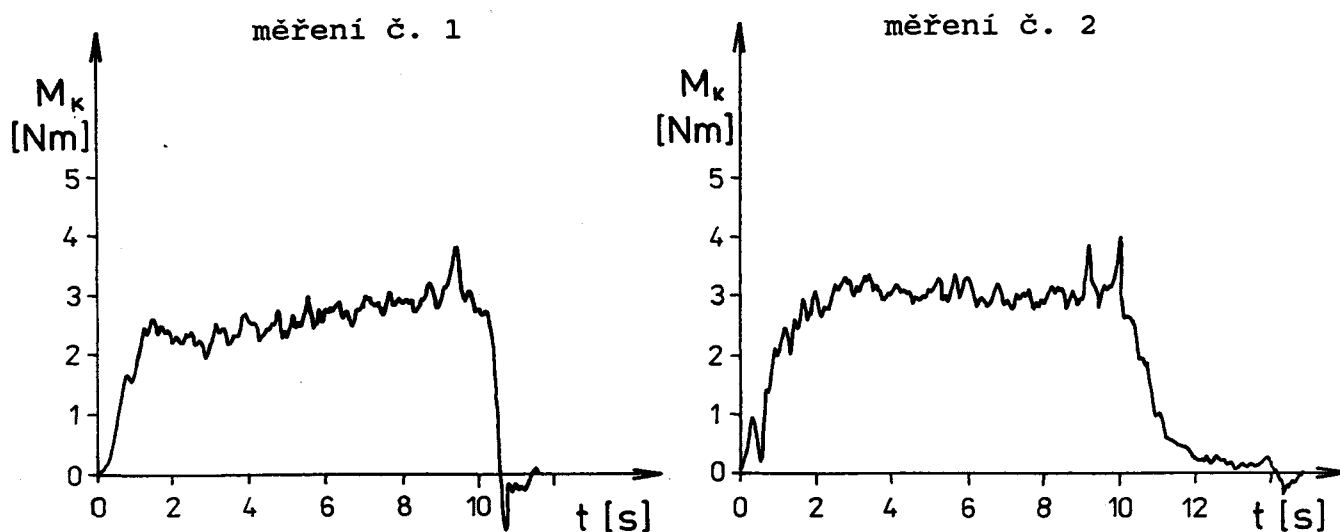
b) Určení vhodné řezné kapaliny

Závislosti M_K - t pro jednotlivé řezné kapaliny:

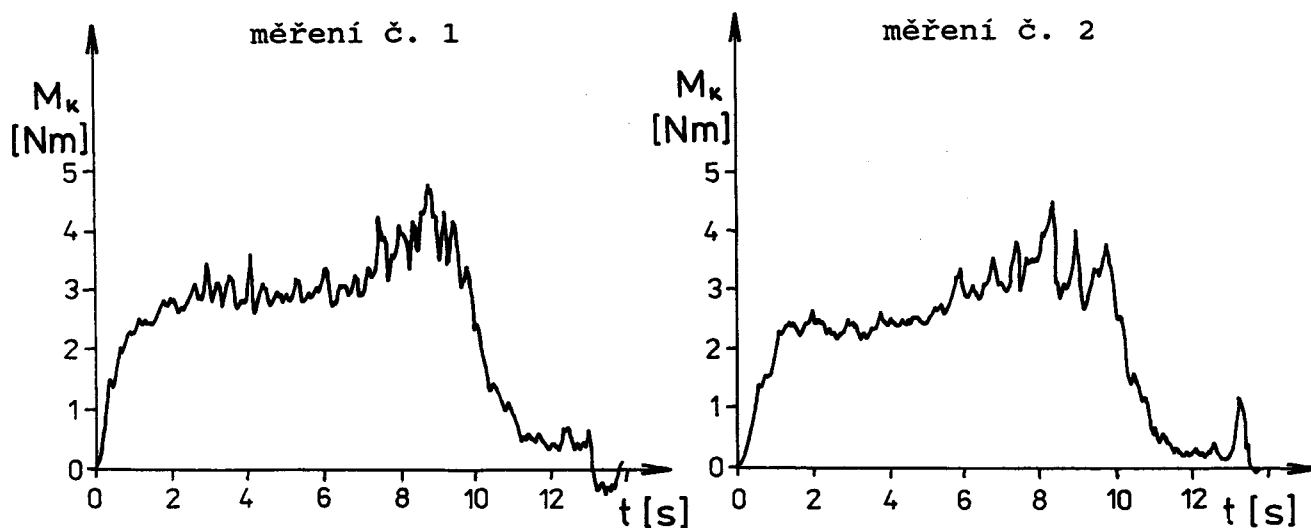
nástroj: Narex ČSN 22 3044

$v = 1,19 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$

emulze 7% Cimstar MB603 + 10% Cimtap



řezný olej Kalorex 100



Tab. 14:

Maximální hodnoty krouticího momentu [N.m]		
číslo měření	použitá řezná kapalina	
	Kalorex 100	10 % Cimtap + 7% Cimstar MB603
1	4,7	3,7
2	4,4	3,9
průměrná hodnota M_K	4,55	3,8

Z naměřených hodnot vyplývá, že krouticí moment při použití řezné kapaliny Kalorex 100 je asi o 19% větší než při použití emulze Cimstar + Cimtap.

c) Porovnání trvanlivosti závitníků

Literatura [1] doporučuje pro obrábění těžkoobrobitelných materiálů volit hodnotu kriterálního opotřebení poloviční, než je obvyklé (tomu odpovídá $VC_K = 0,1$ mm). Řezání závitů jsem však prováděl až do dosažení hodnoty opotřebení $VC = 0,2$ mm, protože hodnota opotřebení $VC = 0,1$ mm byla dosažena velmi brzy a poté se opotřebení u většiny závitníků zvyšovalo jen velmi pomalu.

Tab. 15:

číslo závitníku	typ závitníku
1,2	Narex
3,4	Emuge 1Enorm - Z
5,6	Emuge 1Enorm - VA
7,8	Emuge 1Enorm - TiN
9	Gühring 059 UYGV

Tab. 16:

počet otvorů	délka závitu [mm]	opotřebení VC jednotlivých závitníků [mm] závitník č.								
		1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	54	0,14	0,18	0,06	0,03	0,07	0,06	0,08	0,06	0,08
10	90	0,21	0,21	0,06	0,05	0,10	0,08	0,11	0,06	0,09
15	135	Z-11	0,21	0,07	0,09	0,11	0,11	0,13	0,09	0,10
20	180		0,22	0,10	0,11	0,13	0,12	0,13	0,10	0,10
30	270		Z-29	0,11	0,12	0,15	0,12	0,15	0,13	0,15
40	360			0,13	0,13	0,16	0,15	0,18	0,25	0,29
50	450			0,13	0,13	0,16	0,17	0,21		
60	540			0,14	0,18	0,19	0,20			
70	630			0,14	0,19	0,23				
80	720			0,17	0,21					
90	810			0,22						

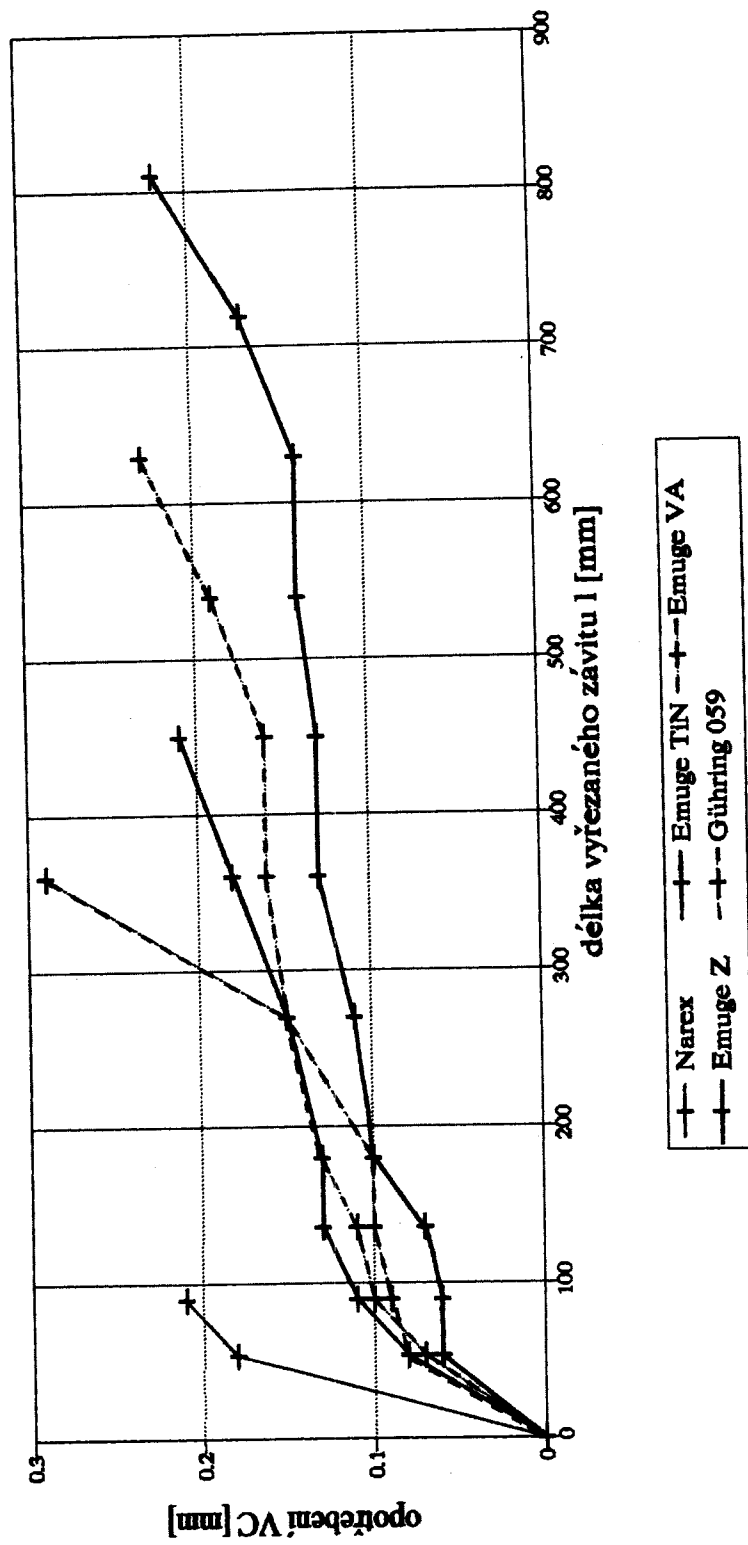
pozn.: Z ... závitník zlomen v řezu (číslo udává počet otvorů)

Opotřebení závitníků (na rozdíl od opotřebení při obrábění běžných ocelí, kde je největší hodnota VC většinou na posledním zoubku řezného kužele) bylo většinou největší na prvním nebo druhém zoubku řezného kužele, kde se projevovalo otěrem na hraně zoubku (obr. 10). U posledního zoubku řezného kužele docházelo často k vyštípnutí břitu (hodnota VB na tomto zoubku se pohybovala okolo 0,05 mm).



Obr. 10: Opotřebení závitníku

Graf závislosti VC - I
pro zavitníky



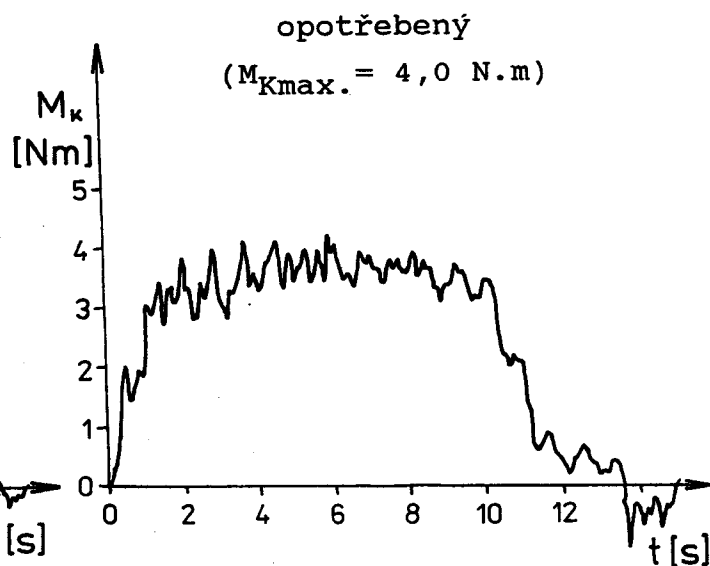
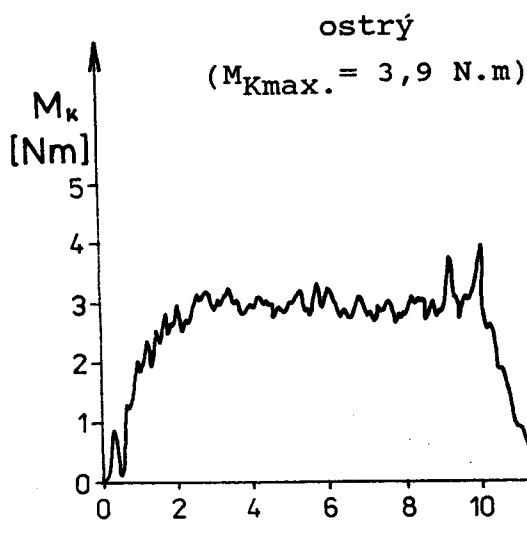
d) Porovnání krouticího momentu u ostrých a otupených závitníků

Závislosti M_K - t u jednotlivých závitníků:

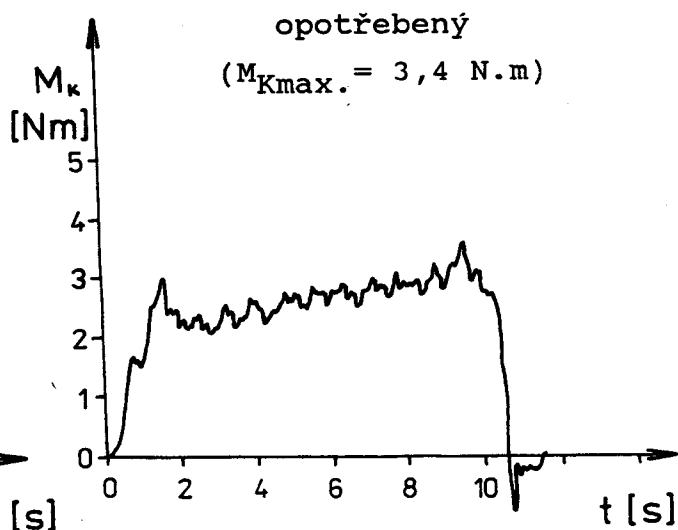
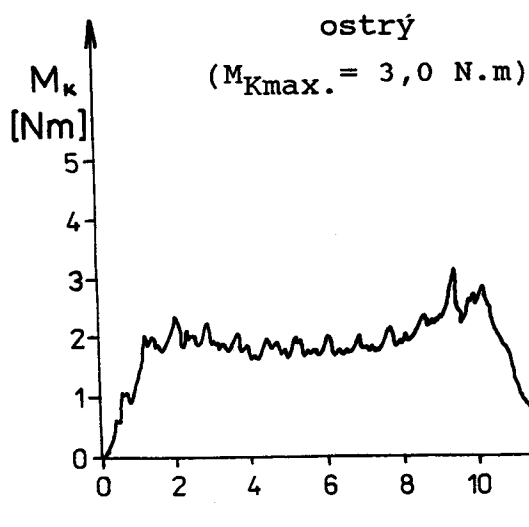
$$v = 1,19 \text{ m.min}^{-1}$$

chlazení: 7% Cimstar MB603 + 10% Cimap

Narex ČSN 22 3044

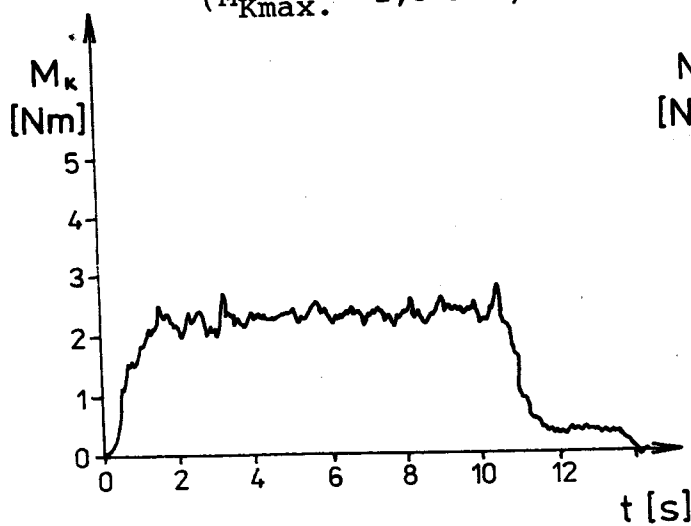


Emuge 1 Enorm - VA

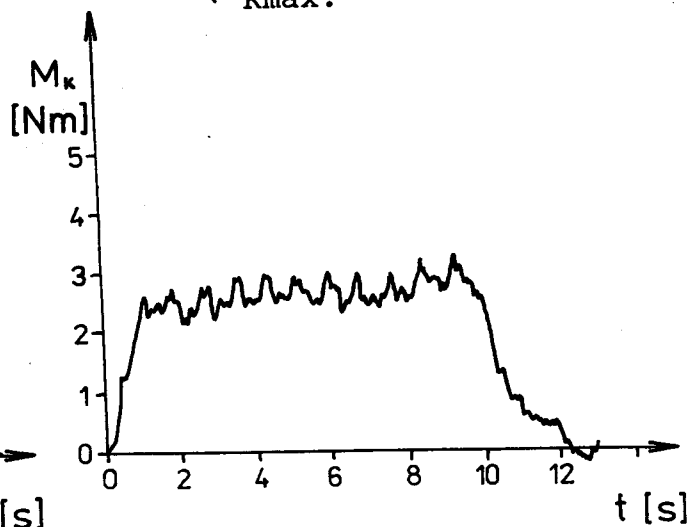


Emuge 1 Enorm - Z

ostrý
($M_{Kmax.} = 2,5 \text{ N.m}$)

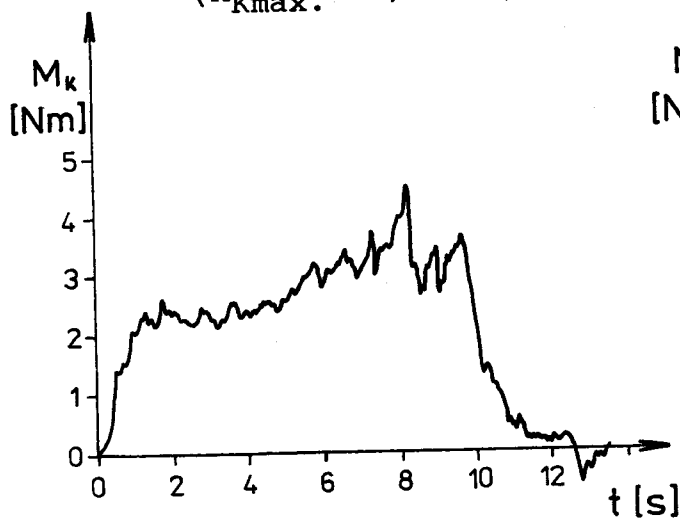


opotřebený
($M_{Kmax.} = 3,1 \text{ N.m}$)

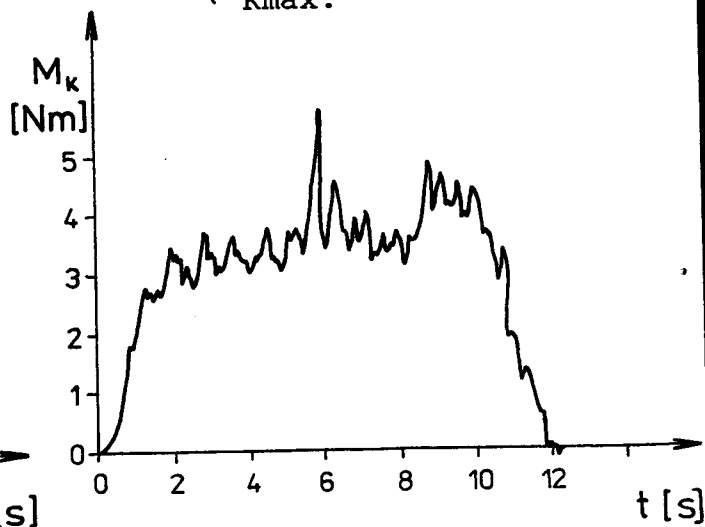


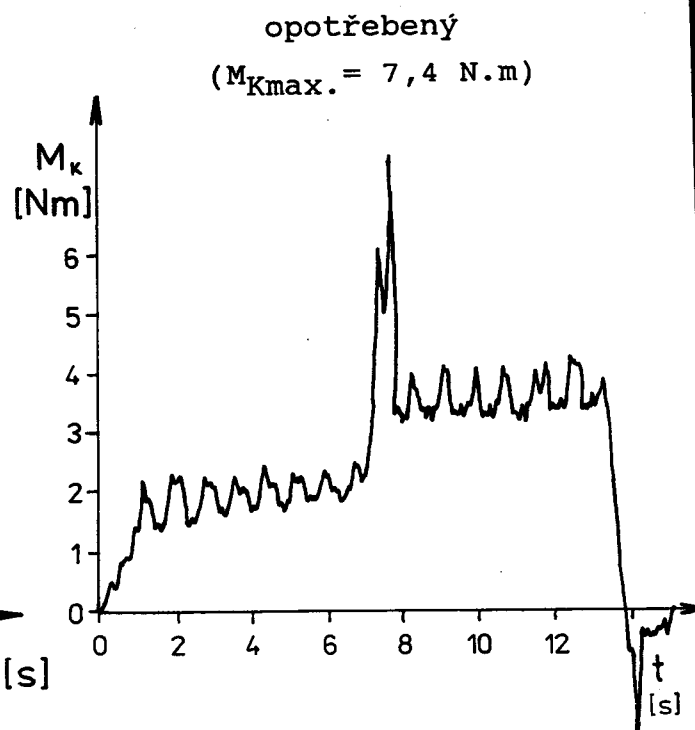
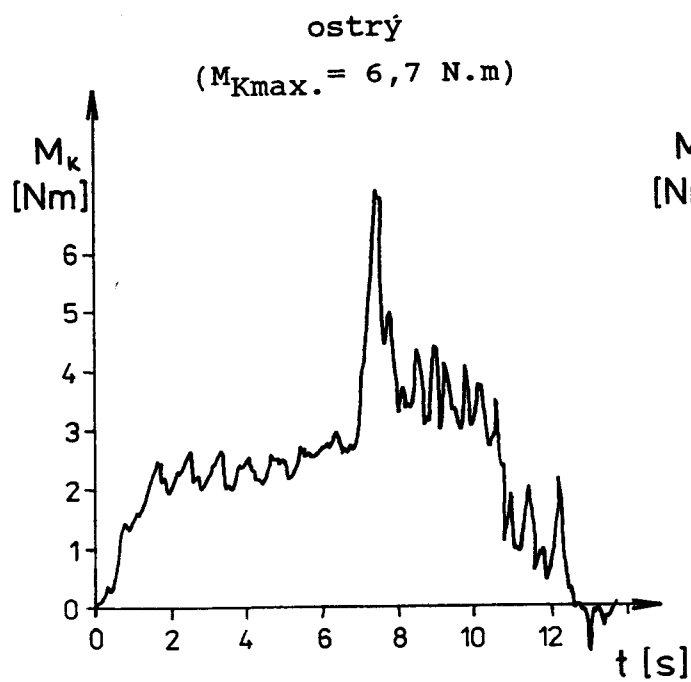
Emuge 1 Enorm - TiN

ostrý
($M_{Kmax.} = 4,4 \text{ N.m}$)



opotřebený
($M_{Kmax.} = 5,6 \text{ N.m}$)





VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK

Z provedených zkoušek vyplývá, že otvory pro řezání závitů v nerez ocelích je nutno předvrtávat na větší průměr, než doporučuje normativ (pro závit M6 předvrtat ϕ 5,2).

Z porovnávaných řezných kapalin Kalorex 100 a 7% Cimstar MB 603 + 10% Cimap je výhodnější řezná emulze Cimstar + Cimap. Při použití této emulze byl naměřen o 19% menší krouticí moment než při použití řezného oleje Kalorex 100.

Ze zkoušek závitníků vyplývá, že trvanlivost všech závitníků Emuge a Gühring je podstatně větší, než závitníků Narex. U závitníků Emuge Enorm - Z je to o 800%, u Emuge Enorm - VA o 650%, u Emuge Enorm - TiN o 450% a u závitníku Gühring 059 UYGV (TiN) o 400%. Je to zřejmě způsobeno především geometrií břitu závitníků, ale i uspořádáním vodící části a celkovým tvarem závitníků. Závitníky Narex jsou určeny k řezání závitů do nejčastěji obráběných materiálů, zatímco u většiny zahraničních výrobců je možno přesně zvolit typy závitníků, určené pro konkrétní obráběný materiál. U všech zkoušených závitníků Emuge a Gühring je k obrábění korozivzdorných ocelí uzpůsobena nejen geometrie břitu, ale i celková konstrukce závitníku (zmenšení počtu vodících závitů, velký úhel stoupání šroubovice, zmenšení průměru stopky závitníku za vodící části, šroubovitě drážky pokračují i za závitovou částí závitníku směrem ke stopce).

Trvanlivost závitníků s povlakem *TiN* (Emuge Enorm - TiN a Gühring 059 UYGV) byla o 31 ÷ 50 % nižší než u závitníků Emuge Enorm nepovlakovaných. To je pravděpodobně způsobeno nižší tepelnou vodivostí vrstvy *TiN*, která spolu s nízkou tepelnou vodivostí austenitické oceli způsobuje koncentraci tepla a tím nárůst teploty v oblasti řezání. Také hodnota krouticího momentu je u povlakovaných závitníků větší (u závitníku Emuge Enorm - TiN je to o 47 ÷ 81%, u závitníku Gühring 059 o 118 ÷ 168%).

6.4 ZKOUŠKY VÝSTRUŽNÍKŮ

METODIKA ZKOUŠEK

Průchozí otvory délky 38 mm pro zkoušky výstružníků budou předvrtány vrtákem ϕ 6,8 mm. Hrana otvoru bude sražena vrtákem ϕ 12 mm do hloubky zhruba $0,5 \div 1$ mm, aby se usnadnilo vřezávání výstružníku do obrobku.

Při každých zkoušených řezných podmínkách budou vystruženy dva otvory, u kterých bude sledována přesnost mezním kalibrem a drsnost.

a) Určení vhodné řezné kapaliny

Bude sledována přesnost a drsnost vystruženého otvoru v závislosti na použité řezné kapalině.

Vystružování se bude provádět při řezných podmínkách doporučených normativem. Chlazení bude prováděno ručně štětcem.

Budou porovnány tyto kapaliny:

- Kalorex 100
- 7% Cimstar MB 603

b) Určení vhodných otáček

Bude porovnána přesnost a drsnost vystruženého otvoru při použití otáček doporučených literaturou [1] a při použití otáček o jeden stupeň nižších a o jeden stupeň vyšších.

Bude použita vhodná řezná kapalina, zjištěná ze zkoušek podle bodu a).

c) Určení vhodného posuvu

Obdobně jako v bodě b) bude sledována přesnost a drsnost vystruženého otvoru při použití posuvu doporučeného literaturou [1] a při použití posuvu o jeden stupeň nižšího a o jeden stupeň vyššího.

Bude použita vhodná řezná kapalina, zjištěná ze zkoušek podle bodu a).

d) Sledování opotřebení výstružníků

Opotřebení výstružníků na hřbetě VB bude měřeno po vystružení každého otvoru na dílenském mikroskopu Zeiss - Jena při třicetinasobném zvětšení a zaznamenáno do tabulky (tab. 18, str. 72). Na základě naměřených hodnot opotřebení bude sestrojen graf závislosti VB - t. Graf je uveden na straně 74.

Vystružování se bude provádět do doby, kdy výstružník dosáhne hodnoty kritériálního opotřebení. Literatura [1] uvádí průměrnou základní trvanlivost pro výstružníky do ϕ 10mm z rychlořezné oceli $T = 30$ min. a otupení $VB = 0,1$ mm.

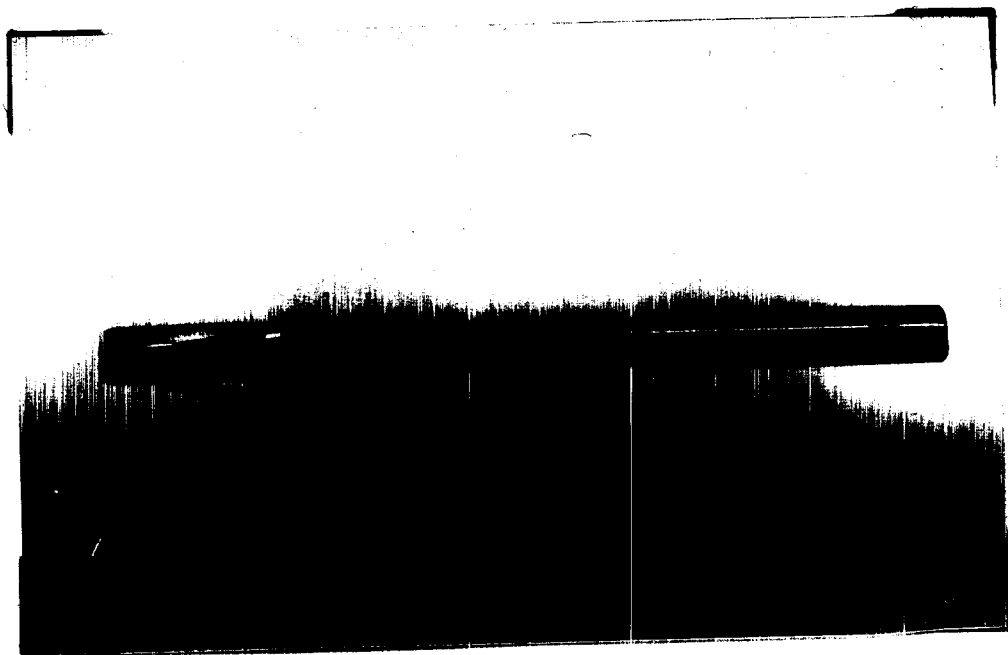
Vystružování se bude provádět při řezných podmínkách doporučených normativem a při použití vhodné řezné kapaliny, zjištěné ze zkoušek podle bodu a).

POUŽITÉ NÁSTROJE A ZAŘÍZENÍ

- a) předvrtání děr: šroubovitý vrták ϕ 6,8
- b) vystružování: výstružník ϕ 7 H7 ČSN 22 1430 (obr. 11 str. 70)

materiál:	HSS ($\approx$ 19 830)
úhel sklonu šroubovice:	$5^{\circ} 30'$

- c) kontrola přesnosti otvoru: mezní kalibr ϕ 7 H7
- d) měření drsnosti: zařízení Hommel tester s universálním snímačem TFE 100
- e) měření opotřebení výstružníků: dílenský mikroskop Zeiss - Jena s třicetinasobným zvětšením



Obr. 11: Použitý výstružník

ŘEZNÉ PODMÍNKY

Řezná rychlost a posuv

Podle literatury [1] byla stanovena vhodná řezná rychlost a posuv pro vystružování nástrojem $\phi 7$ z rychlořezné oceli:

$$v = 2,94 \text{ m.min}^{-1}$$

$$s = 0,183 \text{ m.min}^{-1}$$

Podle těchto doporučených hodnot jsem zvolil otáčky vřetena a posuv takto:

$$n = 125 \text{ min}^{-1} \quad (v_{\text{skut}} = 2,75 \text{ m.min}^{-1})$$

$$s = 0,16 \text{ mm.ot}^{-1}$$

Chlazení

Pro chlazení budou použity tyto kapaliny:

- 7% Cimstar MB 603
- Kalorex 100

VÝSLEDKY ZKOUŠEK

a) Určení vhodné řezné kapaliny

Při zkouškách bylo zjištěno, že při použití 7% emulze Cimstar MB603 byl vystružený průměr při všech rychlostech a posuvech větší, než skutečný rozměr výstružníku (zmetková strana mezního kalibru šla do otvoru zasunout). Proto byly dále zkoušky prováděny s použitím řezného oleje Kalorex 100.

b), c) Určení vhodných otáček a posuvu

Tab. 17:

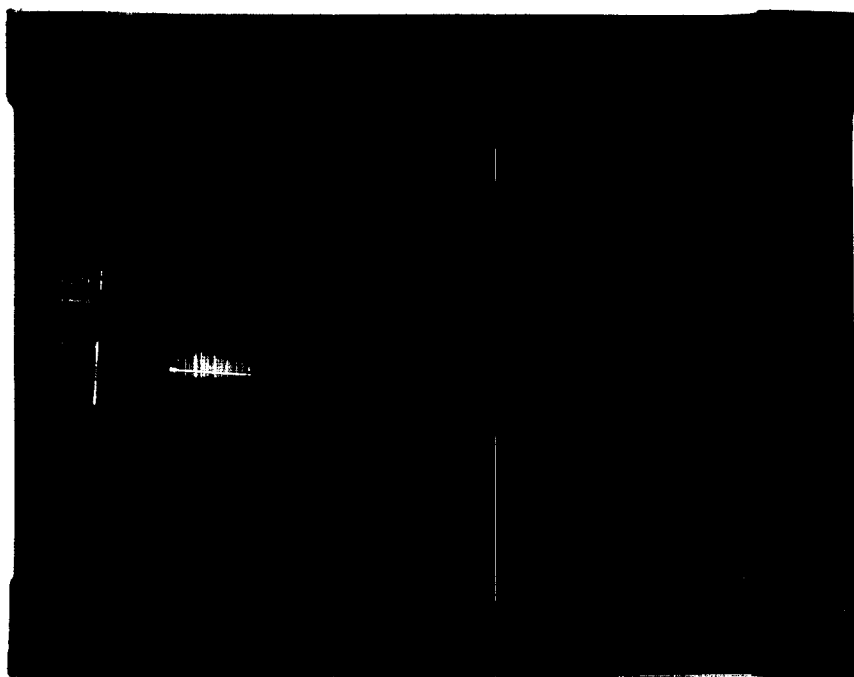
číslo měř.	řezná rychlost [m.min ⁻¹]	otáčky [min ⁻¹]	posuv [mm.ot ⁻¹]	R _a [μm]	R _{max} [μm]	tolerance H7
1	1,98	90	0,10	0,19	0,7	dodržena
2			0,16	0,23	1,7	dodržena
3			0,25	0,40	1,9	dodržena
4	2,75	125	0,10	0,59	1,9	dodržena
5			0,16	0,45	2,2	dodržena
6			0,25	0,62	3,9	nedodržena
7	3,96	180	0,10	0,85	7,0	nedodržena
8			0,16	1,35	6,9	nedodržena
9			0,25	1,60	7,0	nedodržena

d) Sledování opotřebení výstružníků

Tab. 18:

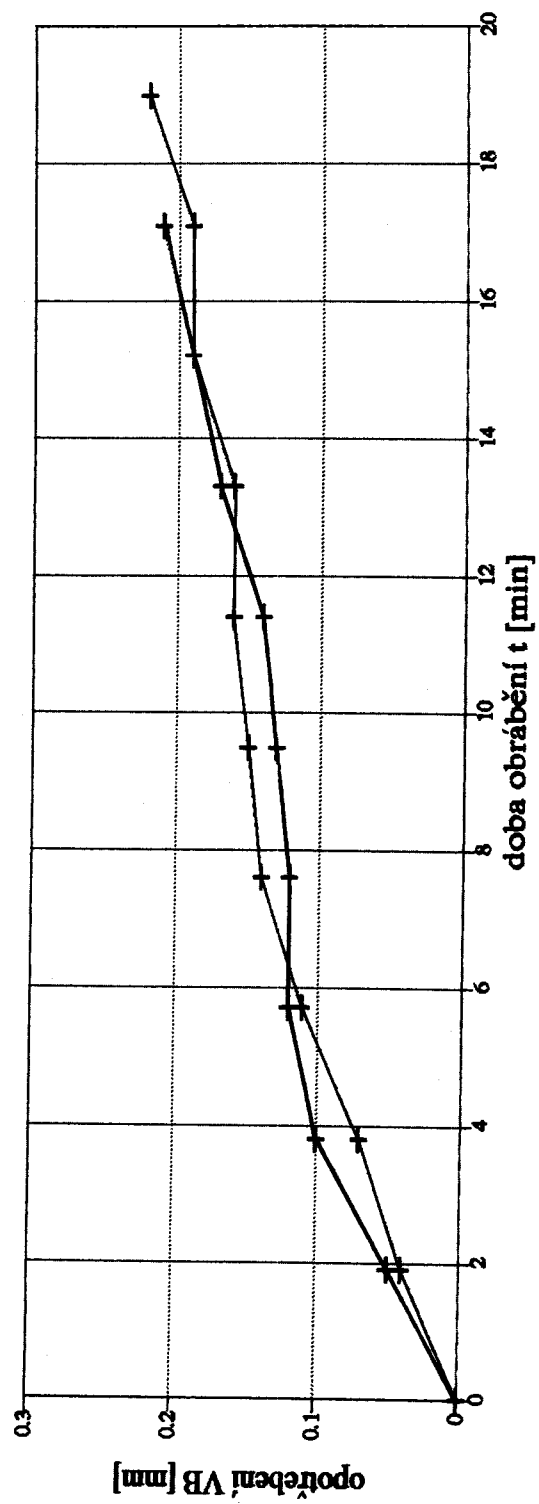
počet vystružených děr	doba obrábění [min]	velikost opotřebení VB [mm]	
		výstružník č.	
		1	2
1	1,9	0,05	0,04
2	3,8	0,10	0,07
3	5,7	0,12	0,11
4	7,6	0,12	0,14
5	9,5	0,13	0,15
6	11,4	0,14	0,16
7	13,3	0,17	0,16
8	15,2	0,19	0,19
9	17,1	0,21	0,19
10	19,0	--	0,22

Opotřebení výstružníků se projevovalo především rovnoměrným otěrem na hřbetech řezné části výstružníků (obr. 12).



Obr. 12: Opotřebení výstružníku

Graf závislosti VB - t
pro výstružníky



—+— výstružník č.1 -+ - výstružník č.2

VYHODNOCENÍ ZKOUŠEK

Z porovnání řezných kapalin Kalorex 100 a 7% Cimstar MB 603 při vystružování vyplývá, že řezná emulze Cimstar MB 603 není pro vystružování vhodná, protože u vystruženého otvoru není při použití této kapaliny dodržena tolerance H7.

Při použití řezného oleje Kalorex 100 je dodržena tolerance H7 u všech otvorů, vystružených při řezné rychlosti a posuvu doporučených normativem ($v = 2,75 \text{ m.min}^{-1}$, $s = 0,16 \text{ mm.ot}^{-1}$) a při posuvu o jeden stupeň nižším ($s = 0,1 \text{ mm.ot}^{-1}$). Při použití nižší řezné rychlosti o jeden stupeň ($v = 1,98 \text{ m.min}^{-1}$) je tolerance dodržena při všech posuvech.

Všechny vystružené otvory vyhovovaly běžným požadavkům kladeným na drsnost otvorů po vystružení (maximální naměřená drsnost byla $R_a = 1,60 \text{ } \mu\text{m}$).

Velikost opotřebení VB výstružníků rovnoměrně narůstala a kritériálního opotřebení doporučeného literaturou [1] $VB_K = 0,1 \text{ mm}$ bylo dosaženo v průměru již při době obrábění $t = 4,8 \text{ min}$. Zkoušky byly prováděny až do dosažení opotřebení $VB = 0,2 \text{ mm}$, kterému odpovídala doba obrábění v průměru $t = 18 \text{ min}$.

7 ZÁVĚR

Podle výsledků provedených zkoušek doporučuji pro obrábění austenitických nerez ocelí:

a) pro řezání závitů M6 použít závitník Emuge Enorm-Z při řezné rychlosti $v = 1,2 \text{ m.min}^{-1}$. Ke chlazení doporučuji použít emulzi 7% Cimstar MB 603 + 10% Cimtáp, kterou lze použít i pro ostatní obráběcí operace, tzn. že ji lze s výhodou použít do chladících systémů NC strojů a dlouhotočných automatů, na kterých se potom obrobí celá součást včetně řezání závitů.

b) pro vystružování otvorů $\phi 7 \text{ H7}$ použít výstružník $\phi 7 \text{ H7}$ ČSN 22 1430 Narex, řeznou rychlost $v = 2,7 \text{ m.min}^{-1}$ a posuv $s = 0,16 \text{ mm.ot}^{-1}$. Ke chlazení doporučuji použít řezný olej Kalorex 100.

Vážený pane, dovoluji mi závěrem poděkovat všem, kteří mi pomohli s potřebnou literaturou, radou, vyjádřili podporu nebo alespoň projevili zájem o mou diplomovou práci. Jmenovitě děkuji panu ing. Karlovi Bukačovi, ing. Aleši Průškovi, CSc., Doc. Ing. Vladimírovi Gabrielovi, CSc. a Ing. Janu Viktorinovi.

8 SMĚRNICE PRO ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ A VYSTRUŽOVÁNÍ
V AUSTENITICKÝCH NEREZ OCELÍCH

1. Řezání závitů M6

ZÁVINÍK	φ6 Emuge Enorm Z
ŘEZNÁ RYCHLOST	1,2 m.min ⁻¹
CHLAZENÍ	7% Cimstar MB 603 + + 10% Cimtáp

2. Vystružování φ7 H7

VÝSTRUŽNÍK	φ7 H7 ČSN 22 1430 Narex
ŘEZNÁ RYCHLOST	125 m.min ⁻¹
POSUV	0,16 mm.ot ⁻¹
CHLAZENÍ	Kalorex 100

LITERATURA

- [1] MIKOVEC, M.: Obrábění materiálů s velkou pevností a tvrdostí. 1.vyd. Praha, SNTL 1982.
- [2] WIGNER, M. - PŘIKRYL, Z.: Obrábění. 1. vyd. Praha, 1984.
- [3] ABUŠINOV, A.: Vlastnosti austenitických korozivzdorných ocelí. In: Obrábění austenitických ocelí. Sborník přednášek. Pardubice, Dům techniky ČSVTS Pardubice 1980. s.2
- [4] KULHÁNEK, F.: Konstrukční oceli československé a zahraniční. 1. vyd. Praha, 1970.
- [5] PŘIBYL, E.: Korozivzdorné a žáruvzdorné oceli Poldi a jejich použití. 1.vyd. Praha 1989. 2. sv.
- [6] ROČEK, V. - PROCHÁZKA, Z.: Strojní závitníky, jejich používání a údržba. 1. vyd. Praha, 1974.
- [7] MORÁVEK, J. - HRDLÍČKA J.: Praktické zkušenosti s obráběním austenitických ocelí. In: Obrábění austenitických ocelí. Sborník přednášek. Pardubice, Dům techniky ČSVTS Pardubice 1980. s. 67
- [8] EMUGE, Lauf a. d. Pegnitz bei Nürnberg. Preiskatalog 92. 1992.
- [9] KVAPIL, R. - BUKAČ, K.- GABRIEL, V.: Řezivost závitníků s povlakem TiN. [Výzkumná zpráva]. VŠST Liberec 1985.
- [10] KVAPIL, R. - GABRIEL, V. - PRŮŠEK, A.: Provozní spolehlivost řezných nástrojů. 2. část - závitníky. [Výzkumná zpráva]. VŠST Liberec 1989.
- [11] ROČEK, V.: Strojírenská výroba, 34, 1986, s. 380
- [12] ROČEK, V.: Strojírenská výroba, 38, 1990, s. 64