

Porovnání metod výroby závitů

Bc. Jiří Surovec

Diplomová práce
2015



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří Surovec**
Osobní číslo: **T13644**
Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**
Studijní obor: **Řízení jakosti**
Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Porovnání metod výroby závitů**

Zásady pro vypracování:

1. Zpracujte literární rešerši na dané téma
2. Metodami tepelného dělení připravte vzorky a v řezné ploše změřte tvrdost
3. Porovnejte metody výroby závitů řezáním a tvářením
4. Proveďte ekonomické vyhodnocení

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Dle zadání vedoucího práce

Vedoucí diplomové práce: **Ing. Ondřej Bílek, Ph.D.**
Ústav výrobního inženýrství

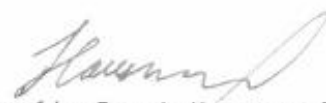
Datum zadání diplomové práce: **30. ledna 2015**

Termín odevzdání diplomové práce: **13. května 2015**

Ve Zlíně dne 30. ledna 2015


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně 14.4.2015

.....

¹⁾ zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

Vysoká škola nevýdělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.

Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.

Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.

²⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:

Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacího zařízení (školní dílo).

³⁾ zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:

Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.

Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.

Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.

ABSTRAKT

Cílem diplomové práce je návrh na optimalizaci a zproduktivnění technologie závitování ve vybrané strojírenské firmě, světového výrobce generátorů, elektromotorů a hydromotorů. V teoretické části práce je zpracována literární rešerše teoretických a praktických poznatků z technologie vrtání, závitování a dělení materiálů.

V praktické části práce je vykonána analýza stávající stavu technologie závitování a zmapovány problémy s danou problematikou. Na základě této analýzy a několika měření je zde navržena a prezentována technologie nová, vedoucí ke zvýšení produktivity a stabilizaci procesu technologie závitování. Samozřejmostí je dodržení požadované kvality vyráběných kusů dle požadavků zákazníka.

Klíčová slova: závitník, tváření závitů, tvrdost, řezání

ABSTRACT

The aim of this thesis is a suggestion of optimization and threading technology enhancement in the particular engineering company, the world manufacturer of generators, electric and hydro motors. In the theoretical part there is an elaborate literary research of theoretical and practical knowledge of drilling and threading technology and materials division.

The analysis of contemporary state of threading technology is realized in the practical part together with problems regarding that issue. Based on this analysis and several measuring, the new technology is suggested and presented contributing to improvement of productivity and stabilization of threading technology. Matter of course is keeping of required quality of manufactures pieces according to customer's requirements.

Keywords: screw tap, thread forming, hardness, cutting

Tímto chci poděkovat vedoucímu práce Ing. Ondřeji Bílkovi, PhD, za cenné rady a konzultace spojené s touto prací.

Prohlašuji, že jsem na diplomové práci pracoval samostatně a použitou literaturu jsem citoval. V případě publikace výsledků, je-li to uvedeno na základě licenční smlouvy, budu uveden jako spoluautor.

Ve Zlíně

.....

Podpis studenta

OBSAH

ÚVOD.....	10
I TEORETICKÁ ČÁST.....	11
1 OBRÁBĚNÍ.....	12
1.1 ZÁKLADNÍ POJMY TEORIE OBRÁBĚNÍ.....	12
1.1.1 Konvenční (mechanické) obrábění	12
1.1.2 Nekonvenční (fyzikálně chemické způsoby) obrábění	13
1.2 ZÁKLADNÍ POJMY TEORIE ŘEZÁNÍ	14
1.2.1 Model tvorby třísky	14
1.2.2 Typy třísek	15
1.2.3 Tvary třísek	15
1.3 TVORBA NÁRŮSTKŮ	17
1.4 OPOTŘEBENÍ A TRVANLIVOST BŘITU	18
2 VRTÁNÍ.....	20
2.1 KINEMATIKA VRTACÍHO PROCESU	20
2.2 HLAVNÍ VELIČINY PRO VRTÁNÍ.....	21
2.2.1 Průřez třísky při vrtání do plna.....	22
2.2.2 Řezná síla při vrtání	23
2.2.3 Kroutící moment	24
2.2.4 Výpočet času obrábění	24
3 ZÁVITOVÁNÍ.....	25
3.1 HLAVNÍ PARAMETRY ZÁVITŮ	25
3.2 PROFILY ZÁVITŮ.....	26
3.3 DĚLENÍ ZÁVITŮ	29
3.4 TECHNOLOGIE ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ	30
3.5 OPOTŘEBENÍ A MOŽNÉ VADY PŘI ŘEZÁNÍ ZÁVITŮ	33
3.6 TECHNOLOGIE TVÁŘENÍ ZÁVITŮ.....	34
3.7 TECHNOLOGIE SOUSTRUŽENÍ ZÁVITŮ	39
3.8 TECHNOLOGIE FRÉZOVÁNÍ ZÁVITŮ.....	39
3.9 MĚŘENÍ ZÁVITŮ	41
3.9.1 Kontrola a měření vnějších závitů.....	42
3.9.2 Kontrola a měření vnitřních závitů	46
4 ZKOUŠENÍ MATERIÁLŮ	47
4.1 ZKOUŠKY TVRDOSTI.....	47
4.1.1 Zkouška tvrdosti podle Brinella	48
4.1.2 Zkouška tvrdosti podle Vickerse.....	49
4.1.3 Zkouška tvrdosti podle Rockwella.....	49
5 DĚLENÍ MATERIÁLŮ	51
5.1 LASEROVÉ DĚLENÍ (ŘEZÁNÍ) MATERIÁLU	51
5.1.1 Metody laserového dělení materiálu	52

5.2	DĚLENÍ MATERIÁLU PLAZMOU	52
5.3	DĚLENÍ MATERIÁLU VODNÍM PAPSKEM	53
5.4	DĚLENÍ MATERIÁLU KYSLÍKEM	54
II	PRAKTICKÁ ČÁST	55
6	STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE	56
7	PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI TES VSETÍN	57
7.1	HISTORIE SPOLEČNOSTI TES VSETÍN, S. R. O.....	57
7.2	SOUČASNOST A VÝROBNÍ PROGRAM SPOLEČNOSTI TES VSETÍN, S. R. O.....	58
8	CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU	60
8.1	PŘEDMĚT STUDIE.....	60
8.2	SOUČASNÁ TECHNOLOGIE	61
8.3	POUŽITÝ MATERIÁL PRO VÝROBU ŠTÍTŮ	62
9	TVRDOTA PLOCH PO TEPELNÉM DĚLENÍ	64
9.1	STRUČNÝ POPIS CELÉHO VÝZKUMU	64
9.2	PŘÍPRAVA VZORKŮ Z MATERIÁLU 11523.....	64
9.3	MĚŘENÍ TVRDOTY VZORKŮ.....	66
9.3.1	Popis a parametry měření tvrdosti HV10.....	66
9.3.2	Průběh zkoušky tvrdosti HV10 a její vyhodnocení.....	66
9.3.3	Shrnutí výsledků zkoušek tvrdosti HV10	72
10	VÝROBA ZÁVITŮ V PLOCHÁCH TEPELNÉHO DĚLENÍ.....	73
10.1	CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH ZÁVITOVÝCH NÁSTROJŮ	73
10.1.1	Použité řezací závitníky M8.....	73
10.1.2	Použité tvářecí závitníky M8	73
10.2	PŘEDSTAVENÍ PRACOVNÍHO MÍSTA WHQ 13 CNC	74
10.3	PRŮBĚH EXPERIMENTU	76
10.3.1	Opatření řezacích závitníků dle vizuální kontroly	78
10.3.2	Opatření tvářecích závitníků dle vizuální kontroly.....	79
10.3.3	Produktivita řezacích a tvářecích závitníků	81
10.3.4	Porovnání cen řezacích a tvářecích závitníků	81
10.4	MĚŘENÍ OPOTŘEBENÍ BŘITU POD MIKROSKOPEM.....	82
10.4.1	Shrnutí řezacích a tvářecích závitníků	85
10.5	MĚŘENÍ TVARU ŘEZANÉHO A TVÁŘENÉHO ZÁVITU POD MIKROSKOPEM	86
10.6	MĚŘENÍ TVRDOTY ŘEZANÉHO A TVÁŘENÉHO ZÁVITU	87
10.6.1	Měřicí přístroj Micro-Combi-Tester	87
10.6.2	Průběh a podmínky měření	88
	ZÁVĚR	91
	SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK.....	95
	SEZNAM TABULEK.....	98
	SEZNAM GRAFŮ	99
	SEZNAM VZORCŮ	100
	SEZNAM PŘÍLOH.....	101

ÚVOD

K nejčastěji používaným obráběcím technologiím pro rozebíratelné spojování dílů a součástí patří vrtání a závitování. Tyto výrobní technologie se velmi rychle rozvíjí a modernizují. Přispívají k tomu nové metody výroby, nové moderní stroje a v neposlední řadě stále se zdokonalující nástroje.

Cílem každého výrobce je mít co nejefektivnější proces výroby. S tím souvisí i snaha o co nejmenší náklady na výrobu za předpokladu udržení požadované kvality. S výší celkových nákladů souvisí také náklady spojené s výrobou nástrojů a jejich životností.

Má diplomová práce navrhuje nové produktivnější řešení v oblasti výroby závitů ve firmě TES, především do tvrdých povrchů materiálů po tepelném dělení. Tento návrh předpokládá zvýšení produktivity při závitování a nemalou úsporu financí vynaložených na nákup závitových nástrojů. Především snižování výrobních nákladů při dodržení požadované kvality vede ke konkurenceschopnosti firmy a spokojenosti našich zákazníků.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 OBRÁBĚNÍ

1.1 Základní pojmy teorie obrábění

Obrábění je jednou z nejstarších výrobních metod. Vývoj technologie obrábění je založen na vědeckých poznatcích získávaných experimentálním výzkumem všech forem úběru materiálu a je také podmíněn vývojem řezných materiálů a rozvojem automatizace pracovních cyklů obráběcích strojů.

Obrábění je možno definovat jako technologický proces, při němž požadovaný tvar a rozměry součásti vzniká postupným odebíráním materiálu z výchozího polotovaru. [1]

Požadovaného konečného tvaru, rozměrů a geometrické přesnosti vyráběné součásti se dosáhne odebíráním materiálu ve tvaru třísek.

Dle způsobu odstraňování třísek dělíme na:

-**konvenční** (mechanické) -oddělováním částic materiálu břitem řezného nástroje ve tvaru třísky, tento pochod nazýváme řezáním

-**nekonvenční** (fyzikálně chemické způsoby) –k úběru materiálu využívají tepelných, elektrických, chemických, ultrazvukových, abrazivních a jiných fyzikálních jevů nebo jejich vzájemných kombinací

1.1.1 Konvenční (mechanické) obrábění

Technologie soustružení – jedna z nejpoužívanějších výrobních metod, která slouží především pro výrobu rotačních ploch. Hlavním pohybem je pohyb rotační a vykonává jej obrobek, pohyb posuvový vykonává nástroj. Vyrábí se rotační, válcové, kuželové, tvarové i šroubové plochy. Soustružení vnitřních i vnějších závitů.

Technologie frézování – druhá nejrozšířenější obráběcí metoda především pro výrobu rovinných a tvarových ploch, drážek, závitů, ozubení apod. Hlavní pohyb rotační vykonává vícebřítý nástroj, ostatní pohyby obrobek. Frézovat lze obvodem (válcové) nebo čelem nástroje popřípadě kombinací obou způsobů. [8]

Technologie vrtání – tato technologie slouží k výrobě otvorů jak do plného materiálu, tak i ke zvětšování již před hotovených děr. (např. předlité, před pálené, předkované apod.) Hlavním pohybem je pohyb rotační a nejčastěji jej vykonává dvoubřítý nástroj –šroubový vrták. Nástroje určené pro vrtání však mohou mít pouze jeden nebo i více břitů. Pohyb vedlejší (posuvový) může vykonávat nástroj, ale i obrobek.

Technologie hoblování a obrážení– jsou metody obrábění rovinných a tvarových ploch jednobřítými nástroji – hoblovacími a obrážecími noži, s hlavním pohybem přímočarým a vedlejšími pohyby kolnými na směr hlavního pohybu. U hoblování koná hlavní pohyb obrobek, u obrážení nástroj. [1]

Technologie broušení– je metoda strojního obrábění rovinných, rotačních i tvarových ploch u které mnohobřítý brusný nástroj koná hlavní pohyb rotační a odřezává třísky proměnného průřezu vysokou řeznou rychlostí. Vedlejší pohyby přímočaré nebo i rotační vykonává obrobek, případně nástroj. [1]

1.1.2 Nekonvenční (fyzikálně chemické způsoby) obrábění

Elektrické metody– elektrické metody obrábění využívají k úběru materiálu přímého působení elektrického proudu bez přeměny na energii mechanickou. [6] Patří zde především elektroerozivní a elektrochemické obrábění.

Paprskem laseru– laser je vlastně generátorem elektromagnetického záření v optické oblasti vlnových délek při využití stimulovaného záření. [6] Mezi nejrozšířenější technologické operace s použitím laseru patří dělení technických materiálů, či obrábění pomocí laserového paprsku.

Elektronovým paprskem– používá se zejména v leteckém a kosmickém průmyslu a v oblasti technologie výroby polovodičů a mikroelektronických prvků. Podstatou této technologie je elektronové dělo, které slouží ke generaci, urychlení a zaostření svazku elektronů.

Iontovým paprskem– je založeno na účinku kinetické energie iontů působících ve vakuu na opracovaný materiál. Velikost úběru materiálu je závislá na hustotě proudu iontů. [6]

Paprskem plazmy– Plasmové obrábění je založeno na tavení řezaného materiálu teplotou vyšší než 1000 °C. V elektrickém oblouku, který hoří mezi netavící se elektrodou (katoda) a řezaným materiálem (anoda) dochází k rozkladu molekul plynu s vysokým vývinem tepla. [6]

Obrábění ultrazvukem– Ultrazvuková energie působí na dané prostředí prostřednictvím ultrazvukových kmitů, které se v něm šíří a mohou vyvolat značné fyzikální, chemické a jiné

změny sledovaného prostředí. Ve strojírenství se ultrazvuk kromě obrábění používá pro čištění, svařování a pájení. [6]

Chemické obrábění– Podstatou této technologie je využití chemických reakcí mezi obrobkem a chemickou látkou pro obrábění. Jde o řízené odleptávání vrstev materiálu o tloušťce několika setin milimetru až několika milimetrů z povrchu obrobku. [6]

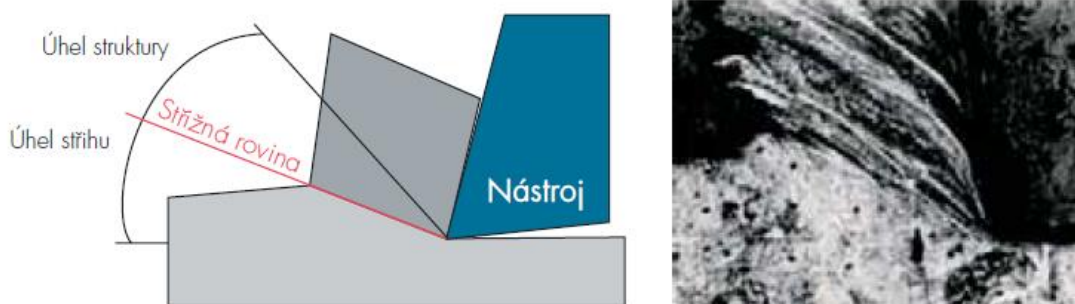
1.2 Základní pojmy teorie řezání

Pojmem řezání rozumíme všechny způsoby obrábění při nichž se oddělovaný materiál z obrobku břitem nástroje přetváří v třísku.

Tvoření třísky je proto velmi složitým fyzikálním procesem, který ovlivňuje spousta činitelů. Především jsou to fyzikální vlastnosti obráběného materiálu a jejich závislost na podmínkách plastické deformace. K těmto plastickým deformacím dochází vlivem působení teplot a tlaků. Díky těmto činitelům je vůbec možné třísku při obrábění vytvářet. Dochází také ke změně krystalické struktury povrchových vrstev a na povrchu obrobku vzniká zpevněná vrstva.

1.2.1 Model tvorby třísky

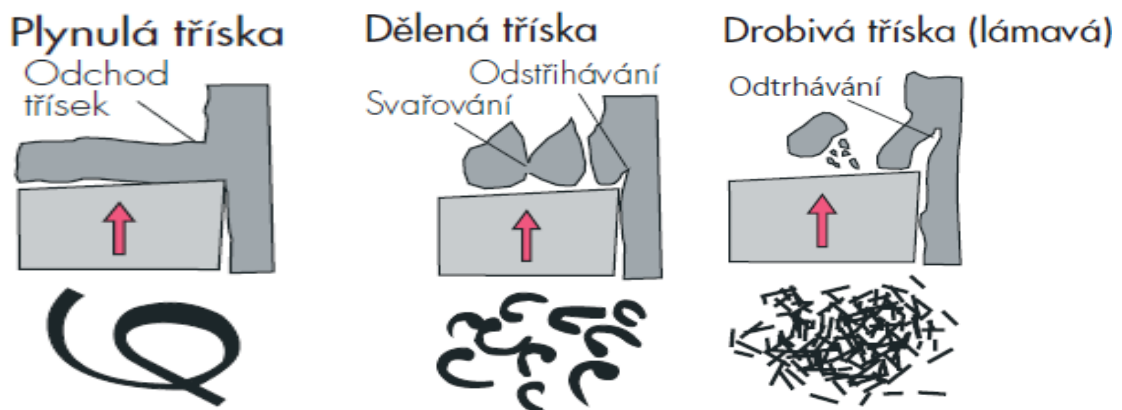
Při procesu tvorby třísky vniká řezný klín do materiálu obrobku, který se tím elasticky a plasticky deformuje. Při překročení meze kluzu a meze pevnosti začne v oblasti tvorby třísky vznikat tříska (smýkání resp. klouzání materiálu). Úhel mezi střížnou rovinnou a směrem řezu nástroje označuje úhel stříhu. Během vzniku třísky mění krystaly orientaci ve směru kluzu, což lze vidět ve formě strukturálních linií v mapách kořenů třísek. Tyto strukturální linie svírají se střížnou rovinnou strukturální úhel. [10]



Obr. 1. Schématické znázornění tvorby třísky [10]

1.2.2 Typy třísek

Při procesu tvorby třísek vznikají při obrábění tři typy třísek. Jednotlivé typy třísek závisí především na obráběném materiálu a podmínkách obrábění.



Obr. 2. Tři typy třísek [10]

Plynulá tříska: -souvislá

- rozdílný povrch
- spodní strana vždy hladká
- plynulé odcházení materiálu
- elementy třísky se neoddělují v oblasti stříhu, ale plynule deformují

Dělená tříska -jsou vidět jednotlivé nesouvislé elementy

- povrch třísky je silně vroubkovaný

Drobová tříska -jednotlivé nesouvislé elementy třísky








- drsňý povrch způsobený strukturou lomu (trhlina postupující vpřed)

1.2.3 Tvary třísek

Tvar třísky, která vzniká při obrábění je ovlivňován všemi faktory, které se podílejí na procesu obrábění, především však vlivem řezných podmínek. V průmyslové praxi jsou žádány třísky s krátkým lomem. Dlouhé páskové třísky mohou představovat riziko úrazu, možnost

poškození nástroje či výrobku. U krátkých třísek je díky jejich nízké potřebě prostoru zaručen lepší odvod z místa řezu. Pro výhodnější utváření třísek při obrábění, se na čelech řezných nástrojů vytváří takzvané utvařeče (lamače) třísek. Ty zaručují lepší tvarování a lámání třísek při řezu.

Tab. 1. Základní tvary třísek

Třída	Tvar třísky	Objemový součinitel	Obrázek	Hodnocení
1	Pásková	$R > 100$		Nepříznivé
2	Smotaná	$R > 100$		Nepříznivé
3	Šroubová	$R \sim 60$		Uspokojivé
4	Šroubová-lámavá	$R \sim 25$		Příznivé
5	Spirálová	$R \sim 10$		Příznivé
6	Spirálová-drobená	$R \sim 5$		Příznivé
7	Drobivá nebo kousky lámavé	$R \sim 3$		Příznivé

Pro klasifikaci utváření třísek podle požadavku na prostor, byl zaveden objemový součinitel třísek.

$$R = \frac{Q_{sp}}{Q_w} \quad (1)$$

Robjemový součinitel třísek

Q_{sp}objem neuspořádaného množství třísek [mm^3/min]

Q_w objem odděleného materiálu [mm^3/min]

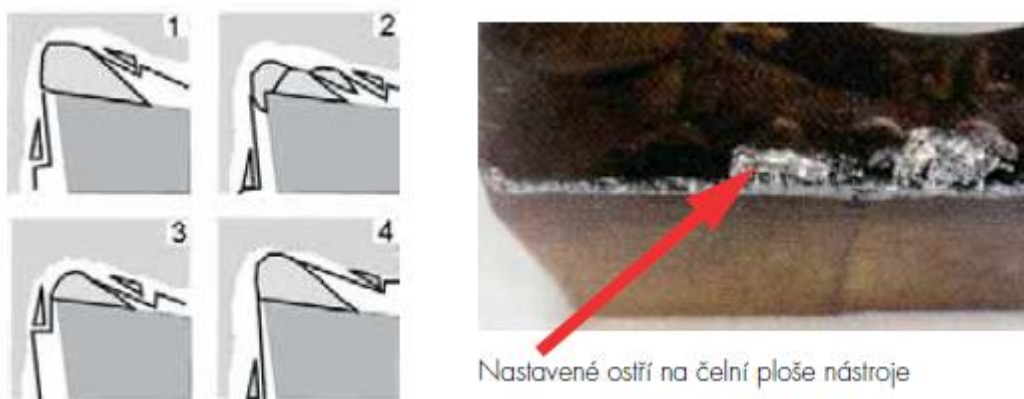
1.3 Tvorba nárůstků

Při tvorbě třísek se silně plasticky deformují vrstvy materiálu obrobku. Tyto vrstvy po oddělení tvoří mezní vrstvu mezi spodní stranou a čelní plochou třísky. Proto při třískovém obrábění za předpokladu nepříznivých podmínek dojde ke svařování tlakem. Zvláště při nízkých řezných rychlostech hrozí nebezpečí intenzivní tvorby nárůstků. Tyto nárůstky vznikají ze silně deformovaného a zpevněného materiálu obrobku, který jako slepenec přebírá úlohu řezné hrany nástroje. V závislosti na podmínkách obrábění odchází na spodní straně třísky z nárůstků částí materiálu. Toto má velmi negativní vliv na řeznou hranu nástroje a na obrobek s ohledem na jakost povrchu a dodržení požadovaných tolerancí.

Jednou z možností jak zabránit tření na styčných plochách a tedy i výraznému zvyšování tepla je použití optimální geometrie ostří, přizpůsobeného dané obráběcí technologii a nastavení optimálních řezných parametrů.

Možnosti jak předejít tvorbě nárůstků:

- zvýšení řezné rychlosti
- zvětšení úhlu čela
- použití povlaků u nástrojů
- použití účinného chlazení



Obr. 3. Tvorba nárůstků při obrábění [10]

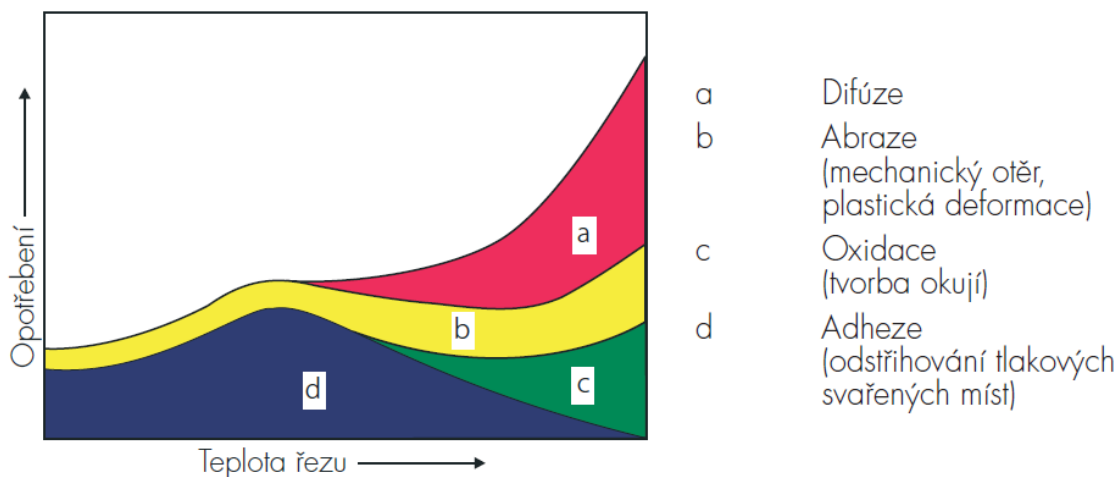
1.4 Opotřebení a trvanlivost břítu

Při obrábění se břit obráběcího nástroje opotřebovává. Když opotřebení dosáhne určité velikosti – kritéria opotřebení, je nástroj vyměněn za nový. Při obrábění na čisto je optimální velikost opotřebení dána velikostí opotřebení při které již břit není schopen zajistit požadované kvalitativní požadavky na obrobenou plochu.

Opotřebení je způsobeno současným mechanickým a tepelným zatížením řezného klínu. Při nízkých řezných rychlostech a u lehce obrobitelných materiálů dochází především k mechanickému (brusnému) opotřebení, při vyšších řezných rychlostech a u obtížněji obrobitelných materiálů hrají hlavní roli tepelně podmíněné příčiny opotřebení, oxidace a difúze. [8, 10]

Mezi nejdůležitější příčiny opotřebení patří:

- mechanický otěr (abraze)
- odstřihávání tlakových svařených míst (adheze)
- oxidační procesy
- difúze



Obr. 4 Příčiny opotřebení při obrábění [10]

Trvanlivost břítu nástroje je charakterizována jako doba po kterou je schopen nástroj pracovat po naostření až do otupení. Na délku trvanlivosti břítu mají vliv všechny řezné podmínky, které souhrnně vytváří proces obrábění. Nejvíce ovlivňuje trvanlivost břítu řezná rychlost, velikost posuvu, geometrie břítu, druh materiálu řezné části nástroje a druh řezného prostředí. Důležitým faktorem jsou také fyzikální vlastnosti materiálu obrobku a jeho mikrostruktura. [2]

Pro optimalizaci obráběcího procesu je nutné znát závislost mezi trvanlivostí břitu obráběcího nástroje a řeznou rychlostí, resp. trvanlivostí břitu, řeznou rychlostí, posuvem a hloubkou řezu.

Závislost trvanlivosti na řezné rychlosti je popsán jednoduchým Taylorovým vztahem.

$$\begin{aligned} T &= C_T \cdot v^{-m} & (2) \\ \text{příp. } v_c &= C_v \cdot T^{-1/m} \end{aligned}$$

C_T konstanta

m exponent

C_v konstanta

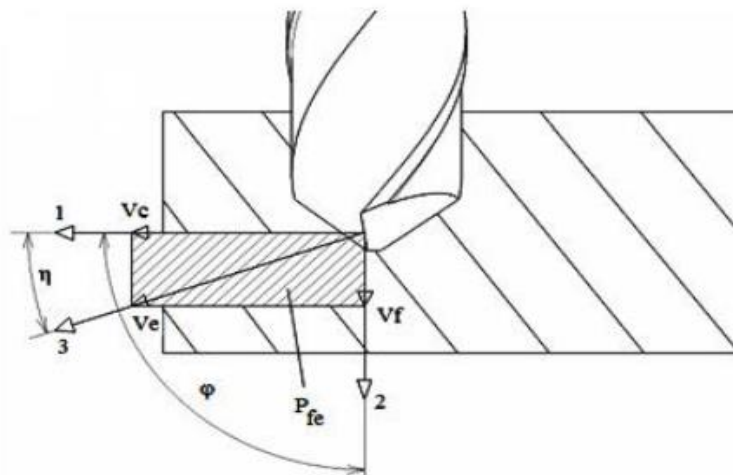
v_c řezná rychlost . [m•min⁻¹]

2 VRTÁNÍ

Vrtání je výrobní metoda, kterou se zhotovují nebo zvětšují již předvrtané díry. [12]

Technologie vrtání tedy slouží k výrobě otvorů, ale pokrývá různé metody obrábění válcových děr v obrobku pomocí kovoobráběcích nástrojů a souvisí s přidruženými obráběcími operacemi, jako je vrtání na jádro, vyvrtávání, zahlubování a vystružování. Tato výrobní metoda se tedy používá k výrobě otvorů menších průměrů, pro zpřesnění otvorů, k vytvoření kuželových otvorů, apod. Společným prvkem všech těchto operací je hlavní rotační pohyb v kombinaci s pohybem lineárním (posuvem). Osa nástroje (vrtáku) je obvyklá kolmá k ploše, ve které obvykle nástroj vstupuje do obráběného materiálu.

2.1 Kinematika vrtacího procesu



Obr. 5. Vrtání šroubovým vrtákem-kinematika procesu [10]

1-směr hlavního pohybu

2-směr posunového pohybu

3-směr řezného pohybu

v_c - řezná rychlost

v_f - posunová rychlost

v_e - rychlost řezného pohybu

P_{fe} - pracovní boční rovina

φ - úhel posunového pohybu

η -úhel řezného pohybu

2.2 Hlavní veličiny pro vrtání

Řezná rychlost v_c - jedná se o vektorový součet všech rychlostí, ale pro jednoduchost bereme rychlost hlavního řezného pohybu udávaného v metrech za minutu. Zjednodušeně se počítá jako obvodová rychlost bodů na obvodu nástroje nebo bodů na obvodu obrobku. Toto platí pro obráběcí technologie soustružení, frézování, vrtání.

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad [\text{m/min}] \quad (3)$$

Posuv na otáčku f_n - udává nám posunutí nástroje ve směru osy během jedné otáčky a slouží především k výpočtu rychlosti pronikání a k vyjádření schopnosti vrtáku posouvat se dále do řezu.

$$f_n = f_z \cdot z \quad [\text{mm}] \quad (4)$$

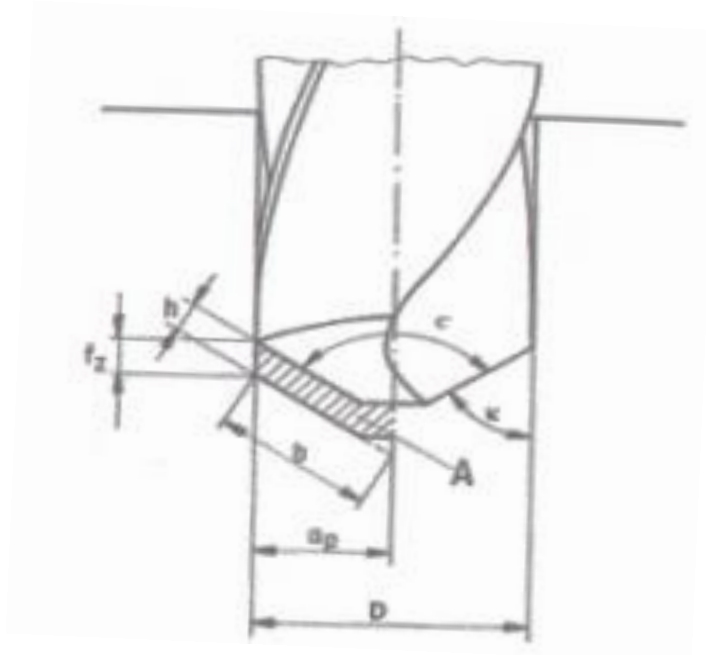
Rychlost posuvu V_f je hodnota rychlosti posuvu nástroje vůči obrobku, případně naopak (posuv obrobku vůči nástroji) udáván v délkových jednotkách za jednotku času.

$$v_f = f_n \cdot n \quad [\text{mm/min}] \quad (5)$$

Posuv na zub f_z - vyjadřuje posunutí nástroje ve směru obrábění v přepočtu na jeden zub řezného nástroje

$$f_z = \frac{f}{z} \quad [\text{mm}] \quad (6)$$

2.2.1 Průřez třísky při vrtání do plna



Obr. 6. Průřez odřezávané vrstvy pro vrtání do plna spirálovitým vrtákem [10]

Pro spirálovitý vrták se 2 břity ($z=2$) platí:

$$a_p = \frac{d}{2} \quad (7)$$

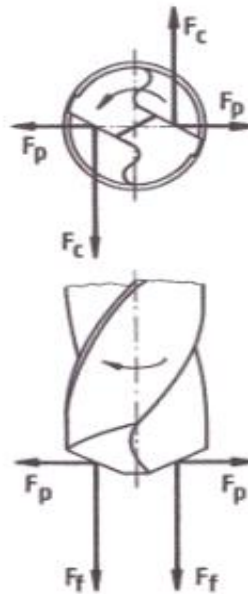
$$f_z = \frac{f}{2} \quad (8)$$

Průřez odřezávané vrstvy A:

$$A = \frac{d \cdot f}{4} \quad (9)$$

2.2.2 Řezná síla při vrtání

Síla obrábění F je celková síla působící na obrobek. Dá se rozložit na různé složky, přičemž zvláštní význam mají složky vztažené k pracovní rovině a ke směru řezu a posuvu. [3]



Obr. 7. Řezné síly při vrtání [10]

F_c - řezná síla

F_f - posunová síla

F_p - pasivní síla

P_{fe} - pracovní boční rovina

Výpočet řezné síly pro vrtání:

$$F_{cz} = \frac{D}{2} \cdot f_z \cdot k_c \cdot f_B \quad [\text{N}] \quad (10)$$

F_{cz} - řezná síla na břit

D - vnější průměr otvoru

d - vnitřní průměr otvoru

f_z - posuv na zub

k_c - specifická řezná síla (závislá na materiálu)

f_b - faktor metody vrtání (pro vrtání =1; pro vyvrtávání =0,95)

2.2.3 Kroutící moment

Kroutící moment vyjadřuje působení síly na bod vzdálený na bod vzdálený od osy otáčení. Fyzikálně jde o moment síly.

$$\text{Výpočet kroutícího momentu: } M_d = \frac{F_{cz} \cdot Z \cdot \frac{D}{4}}{1000} \quad (11)$$

F_{cz} - řezná síla na břit

D - vnější průměr otvoru

Z - počet břitů nástroje

2.2.4 Výpočet času obrábění

Strojní čas pro obrábění (vrtání) lze spočítat jako poměr celkové dráhy nástroje a posuvu nástroje.

$$t_h = \frac{L}{f \cdot n} \quad [\text{min}] \quad (12)$$

t_h - hlavní čas vrtání [min]

L - celková dráha vrtání [mm]

f - posuv [ot/min]

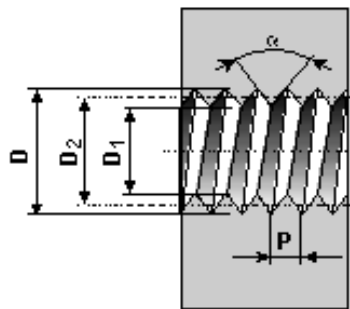
n - počet otáček [min^{-1}]

3 ZÁVITOVÁNÍ

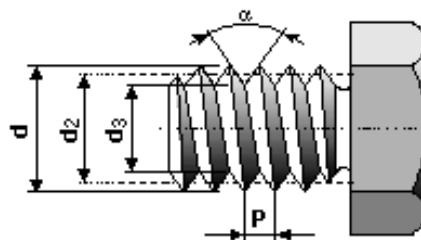
Závit můžeme definovat jako technický prvek strojní součásti, který je dán závitovou plochou. Tato tvarová plocha je ve formě šroubovice navinuta na válec v daném stoupání.

Závity slouží především jako spojovací nebo pohybové činitele v celé řadě strojních součástí a dílů. Závity tvoří většinu rozebiratelných spojů. Závitování tak představuje značnou část obrábění, přestože samo o sobě je jednou z nejpomalejších a nejméně bezpečných operací. Závity se dají vyrábět různými technologiemi, nejčastější jsou soustružení, řezání a frézování závitů. Z pohledu technologie lze výrobu závitů rozdělit na vnitřní a vnější.

3.1 Hlavní parametry závitů



Obr. 8. Maticový závit



Obr. 9. Šroubový závit

$$\begin{aligned}
 D &= \text{vnější průměr (jmenovitý průměr)} = d \\
 D_2 &= \text{střední průměr} = d_2 \\
 D_1 &= \text{malý průměr} = d_1 \\
 P &= \text{stoupání} = P \\
 \alpha &= \text{vrcholový úhel} = \alpha
 \end{aligned}$$

3.2 Profily závitů

Vzrůstající potřeba šroubů při rozvoji strojírenství a dopravy vyvolala potřebu jakéhosi závitového systému, který by umožnil orientaci ve výrobcích dodávaných velmi četnými nově vznikajícími závody a zaručil zejména velkým spotřebitelům alespoň našroubovatelnost jakékoliv matice stejné velikosti na příslušný šroub. Při postupné specializaci závodů bylo výhodnější nakupovat hotové šrouby a matice, jakož i závitorezné nářadí u specializovaných výrobců.

První závitovou soustavu, která byla přijata jako průmyslový standard, vytvořil výrobce nástrojů Whitworth, který stanovil řadu průměrů závitů s příslušným stoupáním a určil též jednotný profil závitu. Na základě jeho práce došlo později k vytvoření dalších závitových soustav. Whitworth použil profilu podle o vrcholovém úhlu 55° . Tento úhel volil především proto, aby si zajistil dodávku nástrojů na řezání závitů, neboť v té době jedině on znal způsob, jak přesně vytvořit tento úhel. Při volbě zaoblení jádra závitu měl velmi šťastnou ruku, neboť jak bylo pozdějšími pokusy zjištěno, vykazují šrouby s Whitworthovým profilem dobré mechanické vlastnosti. Později byl vytvořen profil s vrcholovou vůlí, který usnadňuje výrobu závitových spojů. Whitworthova závitová soustava se velmi rozšířila, zejména na evropském kontinentě, a to zejména proto, že anglický strojírenský průmysl měl dlouhou dobu monopolní postavení. Whitworthova profilu bylo mimo to použito pro trubkový závit, závit pro armatury atd.

V USA byla zavedena Sellersova závitová soustava, která se od Whitworthovy liší závitovým profilem o vrcholovém úhlu 60° , který bylo možno snadněji vytvořit než úhel 55° . Proti tomuto profilu je namítáno, že závity méně vzdorují střídavému namáhání než závity s profilem Whitworthovým. Sellersova závitová soustava se stala základem americké normy U. S. Standard.

Další vývoj závitových soustav pro strojírenské výrobky a výrobky jemné mechaniky, optiky a podobných oborů se stále více vzdaloval myšlenky jednotného závitu a vyměnitelnosti dílců zhotovených v různých závodech. Velmi mnoho úsilí bylo vynaloženo na vytváření firemních závitových soustav, které měly jediný účel, a to udržovat závislost spotřebitelů na výrobci a zaručovat stálou dodávku náhradních součástí, a to i takových, které by při důsledném používání jednotného závitu bylo možno nahradit komerčními výrobky nebo levně zhotovit normálními nástroji na řezání závitů.

Některé speciální závitové soustavy byly ovšem vytvořeny z důvodů vojenských proto, aby nepříteli bylo ztíženo použít železnice, dopravních prostředků, lodí, munice, zbraní a podobné kořisti.

Po zavedení metrického systému se projevila zejména ve Francii snaha oprostít se od závislosti na Whitworthově palcovém závitě a v roce 1890 byla vytvořena nová závitová soustava s průměry a stoupáním v milimetrech a s profilem o vrcholovém úhlu 60° . Tato soustava SI s profilem 60° zpracovaná v roce 1898 kongresem v Curychu, se stala základem dnešní soustavy metrických závitů.

Pro speciální účely byly vytvořeny další druhy závitů, a to s různými profily, které lépe vyhovují požadavkům funkce závitového spojení nebo výroby dílců se závity než normální metrický nebo Whitworthův závit. [15]

Označování závitů:

M.....metrický závit

W.....Whitworthův závit

G.....trubkový závit

Trlichoběžníkový závit symetrický

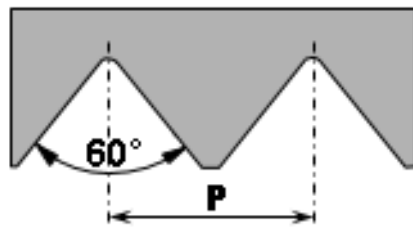
S..... lichoběžníkový závit nesymetrický (pilový)

Rd.....oblý závit

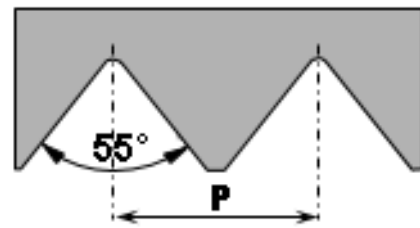
E..... Edisonův závit

P.....pancéřový závit

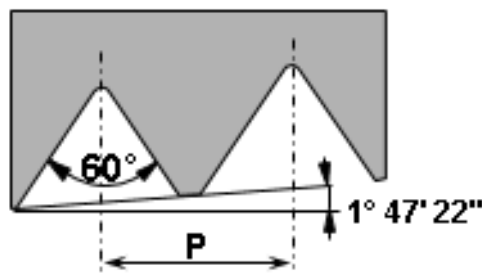
NPT.....americký kuželový závit



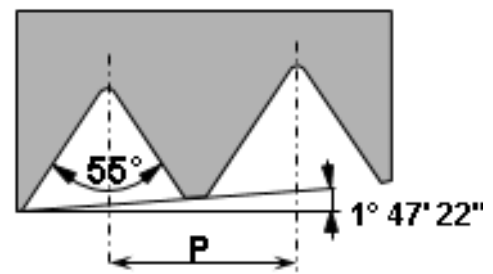
**M, MF,
UNC, UNF, UNEF, UN..**



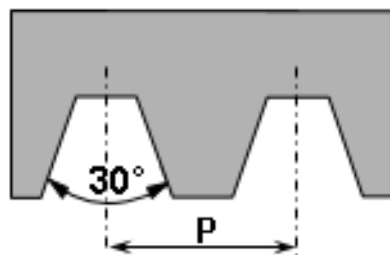
W (BSW), BSF,G (BSP), Rp



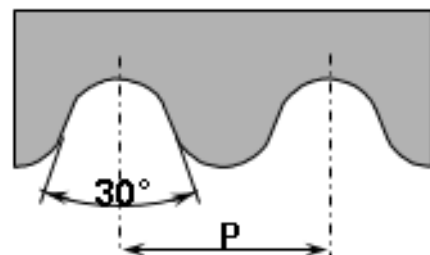
**NPT / NPTF
(Americký trubkový závit)**



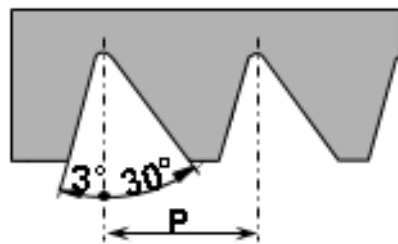
**Rc, (BSPT)
(Whitworthův trubkový závit)**



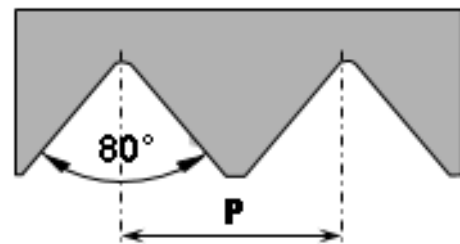
TR (Lichoběžníkový závit)



Rd (oblý závit podle DIN 405)



S (Pilovitý závit)



PG (Elektro-závit)

Obr. 10. Druhy a značení dnešních normovaných závitů

3.3 Dělení závitů

Závity můžeme dělit z různých hledisek, které jsou pro tyto hlediska specifické a jsou důležité pro jejich funkci.

Dle polohy profilu: -vnější (šrouby)
-vnitřní (matice)

Dle smyslu vnutí: -pravé (bez označení na výkrese)
-levé (označují se LH left hand)

Dle hloubky: -průchozí
-neprůchozí

Dle počtu chodů: -jednochodé
-vícechodé

Dle profilu: -metrický
-trubkový
-Whitworthův
-pancéřový
-lichoběžníkový
-oblý

3.4 Technologie řezání závitů

Technologie řezání závitů řezacími závitníky je nejpoužívanější metodou výroby vnitřních závitů vůbec. Toto se dá provádět buď ručním řezáním (za pomoci ruční vrtačky či vratidla) nebo strojně, na různých vrtacích a obráběcích strojích.

K dobrému výsledku závitování přispívá kvalitně připravená díra. Výrobu závitů je tedy nutné řešit jako komplexní technologii vrtání a závitování.

Úspěch celé operace řezání vnitřních závitů nám ovlivňuje několik důležitých faktorů, přičemž všechny přispívají ať už větší či menší měrou k výsledné kvalitě hotového výrobku. Asi nejdůležitější v tomto ohledu je volba vhodného nástroje, tedy závitníku. Výběr vhodného typu závitníku se provádí především dle materiálu obráběné součásti a také typu díry (zda jde o průchozí nebo slepý otvor). Dle těchto parametrů můžeme vybrat vhodný tvar řezacího závitníku. Tvar nástroje musí být přizpůsoben především typu třísek (krátké nebo dlouhé) a směru jejich odvádění z místa řezu (dopředu-před nástrojem; dozadu za nástroj).

Nejméně technických problémů je s řezání průchozího závitu. Tato operace dovoluje používat nástroje s dlouhým náběhem a relativně malou tloušťkou odřezávané vrstvy. Třísky jsou odváděny ve směru vrtání před závitníkem. Závity do slepých otvoru mohou přinést problémy s odvodem třísky, protože nemohou odcházet ven ve směru vrtání, ale musí být odváděny zpět v drážce, která má tvar šroubovice. Přitom může bránit průtoku chladicí kapaliny. Nejdůležitější dělení závitníků je proto na řezací závitníky do slepých nebo průchozích otvorů.



Obr. 11. Tvary šroubovic řezných závitníků [10]

- A- Rovné drážky pro průchozí otvory
- B- Rovné drážky pro průchozí otvory s větším náběhem
- C- Levá šroubovice pro průchozí otvory v mat. tvořících dlouhé třísky
- D- Rovně drážkovaný závitník pro řezání v tvrdých materiálech
- E- Točený závitník pro řezání ve slepých otvorech

Jedním z dalších důležitých faktorů je kvalitní a spolehlivé upnutí obrobku, čímž eliminujeme nechtěný boční pohyb, který může způsobit poškození závitníku nebo daného řezaného závitu. Případné zalomení závitníku v obráběné díře může být velkým problémem, především pak u součástí, které již mají větší přidanou hodnotu. V těchto případech často zbývá jediná možnost a to odstranění zalomeného nástroje pomocí elektrojiskrového obrábění. S tímto pak samozřejmě souvisí nemalé vícenáklady ve výrobě nebo dokonce zpoždění celé výroby.

Dalším zásadním faktorem pro kvalitní závit je výběr správného průměru vrtáku a kvalitně vyvrtané díry. Nesprávně vyvrtaný průměr otvoru může mít za následek špatnou kvalitu závitu, nižší životnost nástrojů nebo dokonce zalomení závitníku.

Mezi velmi důležitá hlediska, která hrají důležitou roli se řadí volba vhodné řezné rychlosti, použití patřičné řezné kapaliny, druh povlaku nástroje a zajištění plynulého vstupu závitníku do díry, protože v důsledku nerovnoměrného posuvu může docházet k poškození okrajů díry (deformaci). Jako u každé aplikace obráběcích nástrojů je často sestava pro jejich upínání stejně důležitá jako samotný nástroj. U závitování je to z toho důvodu, že proces řezání závitů představuje vyvážené spojení rotačního a axiálního pohybu nástroje. Jelikož i velmi malé rozdíly mezi vypočtenou rychlostí posuvu a stoupáním závitníku mohou mít za následek extrémně vysoké tlakové síly na bocích závitů, může být někdy nezbytné omezení těchto pohybů. V opačném případě by docházelo ke zvýšení řezného tlaku a ke značnému snížení kvality závitu, jakož i ke zkrácení životnosti nástroje.

Nutnost správného upnutí závitníku úzce souvisí se snahou o zrychlení operace závitování. Potřebné dynamiky lze nejnázve dosáhnout použitím tzv. synchronního závitování. Axiální posuv stroje v poměru k otáčkám vřetena však vykazuje odchylky mezi vypočtenou hodnotou a skutečným měřeným pohybem. I když jsou tyto rozdíly minimální, způsobují nadměrné namáhání těla nástroje i jeho řezných částí, čímž dochází ke snížení jeho životnosti či přímo

k zalomení v díře. Proto se pro upínání závitníku často používají tzv. upínací hlavy s možností drobné kompenzace a to jak radiálním tak i axiálním směru.

Pevné upnutí závitníku „Rigid Tapping“

Při pevném upnutí závitníku musí být stroj vybaven tzv. funkcí pro synchronizaci vřetene a os. Toto splňují především stroje s novějším datem výroby.



Obr. 12. Technologie Rigid tapping- závitování „na tvrdo“

- stroj se synchronizací vřetene a os
- vysoká kvalita závitů
- přesná hloubka závitů
- vhodné pro široké spektrum materiálů
- není potřeba speciální nástrojový držák

Upnutí závitníku v pouzdru s délkovým vyrovnáním

I při dobré synchronizaci mezi otáčkami a posuvem dochází k významnému krouticímu momentu na závitníku při změně otáček. Tyto upínače problém řeší tím, že absorbují tento nežádoucí krouticí moment, který má zásadní vliv na životnost závitníku. Některé starší stroje navíc mohou mít problémy se synchronizací, proto se používají tyto vyrovnávací upínače.

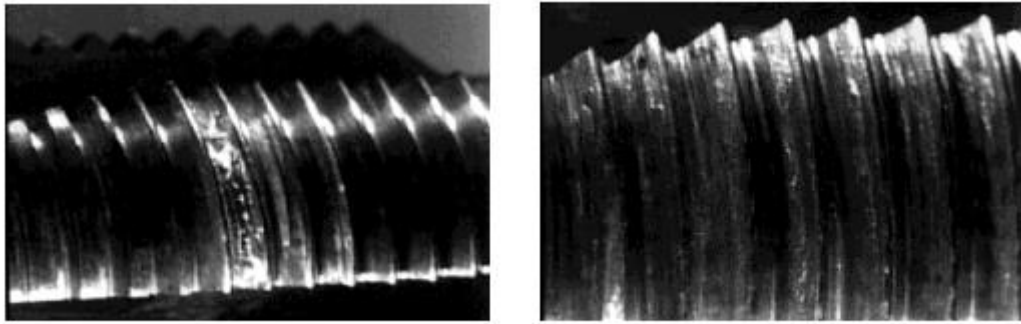


Obr. 13. Technologie závitování s vyrovnáním kroutícího momentu

- použitelné na starších strojích
- nutné speciální pouzdro
- nestabilní hloubka závitu
- výměnná přesná vložka s možností nastavení velikosti kroutícího momentu
- vysoká tuhost
- možná chyba stoupání závitu

3.5 Opatření a možné vady při řezání závitů

Při řezání závitů bývá častým problémem vylamování řezných hran v nástroji. Může k němu docházet v náběhové nebo vodící části a to při chodu vpřed i vzad. K prasknutí nástroje při řezání ve směru vpřed dochází nejčastěji z důvodů nahromadění jemných třísek mezi zuby závitníku. Vylamováním zubů při chodu vzad je nejčastěji způsobeno odstřiháváním kořenů třísek při změně směru otáček a tlakovým svařováním na hřbetních plochách nástroje. Tyto tzv. studené svary vznikají, když se materiál vlivem tlaku a tepla usazuje na závitníku. Často se jedná o oceli $\leq 850 \text{ N/mm}^2$ a nerezavějící oceli. Možnými následky bývají potrhání závitů, krátká životnost případně lom nástroje. Těmto studeným svarům často výrobci nástrojů čelí vhodným typem povlaku na závitnících.



Obr. 14. Vzniklé studené svary na zubech řezacích závitníků [10]

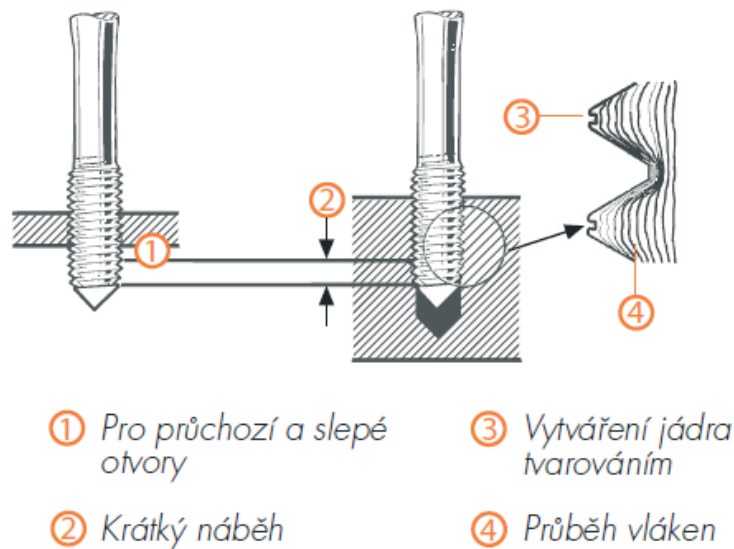
3.6 Technologie tváření závitů

Ve strojírenství se převážná většina vnitřních závitů zhotovuje klasickým způsobem tj. třískovým obráběním (řezáním). Při tomto způsobu se používají řezací závitníky, které postupným odřezáváním třísek vytvoří požadované profily a rozměry závitů.

V poslední době nabývá stále většího významu beztřísková metoda výroby vnitřních závitů, tzv. tváření závitů. Tváření vnitřních závitů je jednou z nejprogresivnějších metod výroby závitů. Tato technologie se používá především v hromadných a sériových výrobcích. Metoda beztřískového obrábění byla původně vyvinuta pro výrobu velkých počtů krátkých závitů do plechů. Díky různým povlakům a dalším inovacím je však dnešní rozsah použití tvářecích závitníků podstatně větší.

Závity jsou vytvářeny v předvrtaných otvorech bez oddělování třísek. To má velký význam především v neprůchozích otvorech a všude tam, kde nejsou optimální podmínky pro dobrý odchod třísek. Odpadá tak nebezpečí ucpávání nástroje třískami a z toho vyplývající možnost poškození nástroje i závitu. Tím se značně zvětšuje spolehlivost obrábění.

Hlavní předností vytvářeného závitu je jeho lepší jakost a větší pevnost, neboť při tváření závitu dochází ke zpevnění povrchu závitu zhuštěním materiálu a nejsou přerušena vlákna materiálu v profilu závitu jako u řezaných závitů. Je rovněž dosahováno rovnoměrnější kalibrace závitu.



Obr. 15. Technologie tváření závitů [16]

Proces tváření vyžaduje vyšší řezné rychlosti, což pochopitelně vede ke zvýšení produktivity dosahované v tomto procesu.

Základním předpokladem pro použití metody tváření vnitřních závitů jsou mechanické vlastnosti obráběného materiálu, a to zejména jeho dobrá tvárnost za studena a tažnost nejméně 10 %. Tyto vlastnosti má více než polovina průmyslově používaných materiálů. Nejvhodnějšími materiály pro tváření závitů jsou zejména slitiny hliníku, měkké mosazi a oceli s pevností do 500 MPa. Některé materiály vyznačující se velkou tažností, např. měď nebo hliník, k použití této metody přímo vybízejí. Zde je nutné podotknout, že klasické třískové obrábění má u těchto materiálů svoje specifika a nezřídka je velmi obtížné.

Tvářecí závitníky nejsou vhodné pro závitování v křehkých druzích nezelezných materiálů, v litině a v chromniklových a martenzitických ocelích s pevností přes 1000 MPa. Rovněž se nedoporučuje tváření pro průměry větší než 30 mm a stoupání závitu nad 3 mm.

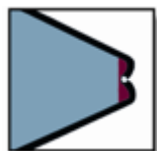
Při tváření závitu se zoubky na náběhu tvářecího závitníku postupně vtlačují do obráběného materiálu, který vznikajícím teplem při tváření měkne a zatéká mezi zoubky profilu tvářecího závitníku. Výsledkem procesu tváření je závitový profil, jehož boky mají podstatně lepší kvalitu, tj. nižší drsnost povrchu než u závitu vzniklého řezáním. Neúplně utvářené vrcholy závitového profilu jsou typickým znakem tvářeného závitu, ale nemají žádný vliv na pevnost závitu, neboť pevnost, funkce a přesnost závitového spojení jsou založeny na bocích závitového profilu a jeho nosné hloubce.

Velikost průměru předvrtaného otvoru má velký význam pro úspěšné použití metody tváření závitu. Všeobecně platí, že předvrtaný otvor pro tváření je větší a velikost jeho tolerance musí být podstatně přesnější než pro klasický způsob výroby závitu, tj. pro řezání. Přesnost vyvrtaného otvoru se pohybuje od 0,05 mm do M8 a 0,1 mm nad M8.

Jak již bylo uvedeno, vnitřní závit je vytvářen přemístováním materiálu dovnitř otvoru. Zde musí dosáhnout předepsaných hodnot malého průměru matice. Při nedodržení výše uvedené poměrně přesné tolerance předvrtaného otvoru dochází ke dvěma jevům. Při příliš velkém otvoru bude výsledný závit tzv. nedotvářený, tj. nebude dosaženo předepsané výšky profilu závitu. Při příliš malém otvoru dojde s největší pravděpodobností k poškození tvářecího závitníku nebo se závit nepodaří vytvořit vůbec. Z uvedeného vyplývá, že velikost předvrtaného otvoru a stabilita jeho přesnosti je základní podmínkou při zavádění technologie tváření vnitřních závitů.



Správný profil při správném průměru předvrtané díry



Příliš velký profil v důsledku malého průměru předvrtaného otvoru



Nedostatečný profil v důsledku velkého průměru předvrtaného otvoru

Obr. 16. Profily tvářených závitů

Pro dosažení úspěšného průběhu tváření vnitřních závitů je také nutné vytvořit určité pracovní podmínky. Prvním důležitým krokem je výběr a příprava výrobního zařízení. Zde

může být použito běžné závitovací zařízení vybavené upínači, do kterých lze tvářecí závitníky bezpečně upnout. Bude-li tváření prováděno do neprůchozích otvorů, je vhodné použití momentové závitorezné hlavy.

Dalším významným bodem je příprava otvoru. Část materiálu se během tváření axiálně vytlačí, a to v náběhové části před otvor a při výběhu závitníku za otvor. Zde je nutné pamatovat na sražení obou hran otvoru a zařadit tuto operaci před operaci tváření závitů, aby nevystal problém s vytlačeným materiálem na čelech otvoru.

Při tváření vznikají několikanásobně větší odpory a krouticí momenty než při řezání závitu a současně vzniká velké tření mezi nástrojem a obrobkem. Proto je nutné použití vhodného řezného oleje aplikovaného během procesu. Převládá spíše potřeba mazání, tj. snížení tření, než potřeba chlazení. U hliníkových slitin lze k uvedenému účelu použít i řezné emulze, ovšem o vyšší koncentraci. Bezproblémové použití tvářecích závitníků je ve značné míře závislé na vlastnostech mazacího prostředku.

Významným činitelem ovlivňujícím proces tváření je závitovací rychlost nástroje. Obecně platí, že rychlost závitování by neměla klesnout ve vztahu k obráběnému materiálu pod 10 - 15 m.min⁻¹. Tento údaj platí pro tváření ocelí. U nezelezných kovů s nižší tažností by pak řezná rychlost neměla klesnout pod 20 m.min⁻¹. Zvyšováním řezné rychlosti v procesu tváření klesá krouticí moment namáhající nástroj.

Tváření vnitřních závitů má ve vztahu k obráběným materiálům svá výrazná specifika a při úvaze o zavádění této technologie do výrobního procesu je vhodné ověřit uvedené aspekty. Doporučujeme vždy specifikovat jednotlivé případy tváření závitů z hlediska obráběného materiálu, předvrtaného otvoru, řezné rychlosti a mazacího média.

V porovnání s řezacím závitníkem má tvářecí závitník s ohledem na způsob práce odlišnou konstrukci. Zcela chybí podélné drážky, které u řezacího závitníku tvoří čela břitů. Přední část tvářecího závitníku je tvořena náběhovým tvářecím kuželem, za kterým následuje kalibrační část. Náběhový tvářecí kužel je pracovní částí nástroje, neboť tato část přemísťuje materiál. Kalibrační část nástroje kalibruje vytvářený závit. Délka náběhového kužele je obvykle konstruována v délce tří stoupání závitu a nedá se na rozdíl od řezacích závitníků v průběhu použití obnovovat nebo upravovat. U neprůchozích otvorů je proto nutné s délkou náběhového kužele počítat při stanovení hloubky předvrtaného otvoru vůči činné délce závitu. Průřez tvářecího závitníku má tvar mnohoúhelníku, nejčastěji se třemi, čtyřmi nebo pěti zaoblenými vrcholy. Tento tvar umožňuje pronikání řezného oleje k pracovní části závitníku. Některé závitníky jsou opatřeny úzkými a mělkými drážkami pro dokonalejší přívod řezného oleje. Tyto drážky rovněž umožňují únik vzduchu a oleje z tvářeného otvoru, aby bylo možné

se vyhnout pístovému efektu ve dně neprůchozího otvoru. Správná konstrukce tvaru příčného profilu tvářecího závitníku ovlivňuje velikost tvářecí síly a tím i velikost potřebného krouticího momentu.



Obr. 17. Tvar tvářecího závitníku [16]

Tvářecí závitníky se většinou vyrábějí z vysoce výkonné rychlořezné oceli. Pro obtížnější pracovní podmínky je jejich pracovní část opatřena povlakem TiN nebo TiCN, a to pro snížení tření a zvýšení trvanlivosti nástrojů.

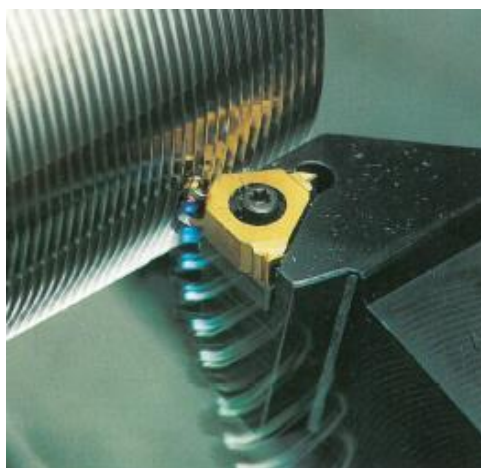
Za určitých podmínek je tato metoda jednodušší a ekonomičtější než řezání závitů. Má rozhodující význam při požadavcích na jakost povrchu, zpevnění a kvalitu závitu. Další výhodou je podstatně vyšší trvanlivost nástroje. Je až 10krát vyšší oproti třískovému obrábění. U standardních tvářecích závitníků je oproti klasickým závitníkům řeznou rychlost možné zvýšit až o 100 %. Výsledkem jsou kratší pracovní časy.

Další skutečností je, že tvářecí závitníky nelze obnovovat, tzn. že se nepřeostřují, a tím odpadají náklady na údržbu používaných nástrojů. Není nutno se tedy zabývat problematikou přeostřování, jako je tomu u klasických závitníků, kde přeostřování nástrojů je v poslední době v řadě podniků velkým problémem. [17]

3.7 Technologie soustružení závitů

Pro soustružení závitů se nejčastěji používají nástroje se závitovými břitovými destičkami. Profil řezné destičky musí odpovídat tvaru a profilu vyráběného závitů. Velmi důležitý je posuv obráběcího stroje, protože při soustružení závitů musí odpovídat stoupání vyráběného závitů. Soustružení profilu závitů většinou probíhá více průchody nástroje podél části obrobku, na níž má vzniknout závit.

Pro výrobu závitů soustružením se dnes nejčastěji používají CNC soustruhy, které jsou řízeny pomocí přesných programů, ale závity dají soustružit i na univerzálních, revolverových, nebo poloautomatických strojích.



Obr. 18. Soustružení závitů [11]

3.8 Technologie frézování závitů

Frézování závitů je moderní a velmi univerzální metoda výroby vnitřních i vnějších závitů. Vzhledem ke stále zvyšující se CNC technologii řízení obráběcích strojů, je možné pomocí tzv. kruhové interpolace vyrábět velmi jednoduše a produktivně frézování jak vnitřních, tak i vnějších závitů. To vše s velmi vysokou bezpečností celého procesu. Dají se takto vyrábět závity všech světových norem, jelikož existuje široká nabídka frézovacích nástrojů, a také libovolně velkých průměrů.

Frézování závitů je díky širokým možnostem použití velice vhodnou alternativou výroby závitů vůči řezání nebo tváření.

Výhody frézování závitů:

- krátké výrobní časy
- vysoká bezpečnost procesu
- velmi dobrá kvalita povrchu závitu
- možnost kombinace jednotlivých operací do jednoho nástroje
- výroba slepého i průchozího závitu jedním nástrojem
- žádné problémy s třískou, neboť vzniká vždy jen krátká tříska
- možnost výroby závitů až do dna otvoru
- univerzální použití pro všechny obrobitelné materiály, až do 60 HRC
- nízké řezné síly
- vhodné také pro tenkostěnné obrobky



Obr. 19. Nástroje pro frézování závitů [17]

Při frézování závitů na CNC strojích je třeba si uvědomit, že na většině strojů platí naprogramovaná rychlost posuvu pro střed nástroje. Při lineárním pohybu jsou rychlosti posuvu ve středu a na řezné hraně stejné. V případě kruhového pohybu však vzniká značný rozdíl rychlostí posuvu.


```

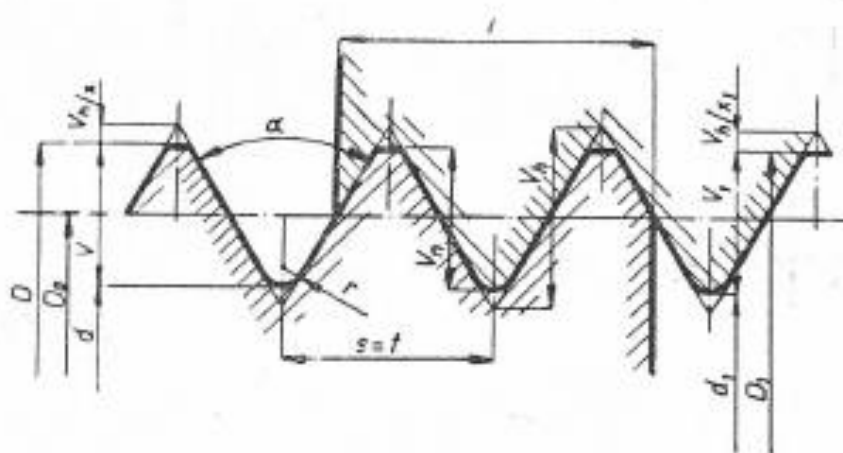
1  TOOL CALL    1  Z      S 1187
2  L    X ...    Y ...    Z 2    R0    F MAX    M3
3  L    IZ- 87,000  R0      F MAX
4  L    IY 2,500  F 712  (contour)  M 110
5  L    IX 21,500  RL
6  CC   IX- 21,500  IY 0
7  CP   IPA 90     IZ 1,25  DR+    [F58] 3 (1/2 centre point)
8  CC   IX 0      IY- 24
9  LBL 1
10 CP   IPA 360   IZ 5,00  DR+    F 712  [F114] 3 (centre point)
11 CALL LBL 1    REP 16/16
12 L    X ...    Y ...    R0      M 111
13 L    Z 2      F MAX

```

Obr. 20. Příklad programu pro frézování vnitřního závitu M48x5 cirkulární frézou pro systém HEIDENHAIN iTNC 530.

3.9 Měření závitů

Při výrobě závitů je důležitým požadavkem přesnost ať vnitřních či vnějších závitů. Ke správné funkci matice se šroubem platí, že musí být vyrobeny dostatečně přesně, tedy pokud možno bez radiální vůle. (závit šroubu se musí celou plochou dotýkat vnitřního závitu matice). Tím zamezíme strhnutí závitu při montáži. Šrouby a matice na které jsou kladeny zvláštní požadavky na přesnost rozměrů a jejich vzájemný vztah má být zaručen vůlí či přesahem se musí lícovat.



Obr. 21. Profil závitu pro šroub i matici [18]

3.9.1 Kontrola a měření vnějších závitů

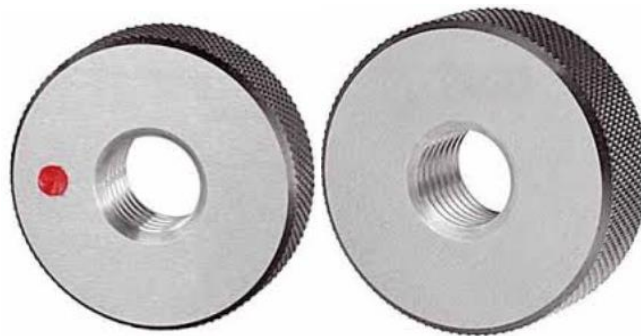
Při hromadné a sériové výrobě se zjišťuje, především zda je vyrobený závit dobrý či zmetkový.

Nejčastěji měříme:

Velký průměr závitu (posuvným měřítkem, mikrometrem nebo mezním závitovým kalibrem)

Střední průměr závitu (závitovým mikrometrem s vyměnitelnými měřicími dotyky, které odpovídají danému stoupání a profilu závitu, tří drátkovou metodou)

Závitový profil šroubu (mezním závitovým třmenovým kalibrem nebo mezním závitovým kroužkem)



Obr. 22. Mezní závitové kroužky [16]

Dobrý závitový kroužek se musí lehce přešroubovat po celé délce šroubu. Zmetkový závitový kroužek (bývá vždy označen červenou barvou) smí být našroubován bez násilí nejvýše 1,5 otáčky závitu.

Třmenové závitové kalibry mají na výstředníkových vložkách válečky s profilem měřeného závitu a s odpovídajícím stoupáním závitu. Tyto válečky nejsou zhotoveny ve šroubovici. Natáčením výstředníkových vložek se třmenové mezní kalibry seřizují a to za pomoci porovnávacích kalibrů. Takto se vymezuje vůle vznikající opotřebením. Oproti závitovým kroužkům mají třmenové kalibry tyto výhody:

- úsporu času při měření – zvláště u dlouhých závitů
- součásti se dají měřit i mezi hroty (u obráběcích strojů)
- jedním měřidlem lze měřit levé i pravé závity
- mají dobrou i zmetkovou stranu

- snadno se seřizují a mají i menší opotřebení
- jsou přestavitelné podle potřebné tolerance



Obr.23. Třmenový závitový kalibr

Střední průměr závitu se měří závitovým mikrometrem s vyměnitelnými měřicími dotyky, které odpovídají danému stoupání a profilu závitu. Protože jsou měřicí dotyky ve styku s velkou částí boku profilu závitu, má na přesnost měření vliv úchylka vrcholového úhlu α . Střední průměr závitu se odečítá přímo na bubínku mikrometru.



Obr. 24. Mikrometr s vyměnitelnými dotyky pro měření vnějších závitů [16]

Střední průměr lze přesněji určit pomocí tzv. tří drátkové metody. Jsou to válcové měřicí tyčinky přesného průměru, z nichž jedna má samostatný štítek a dvě jsou upevněny na společném štítku. Souprava drátků se skládá ze sady 21 drátků různých průměrů a držáku se dvěma raménky. Měřicí drátky se vkládají do závitového profilu proti sobě a mikrometrem změříme rozměr přes drátky. Na základě této hodnoty naměřené přes drátky se vypočítá střední průměr závitu nebo se vyhledá v tabulce. Průměr drátku se volí podle tabulek tak, aby drátky dosedly na boky ve středním průměru závitu, nebo v jeho těsné blízkosti. Při

měření tří drátkovou metodou nedostaneme přímo velikost středního průměru závitu, ale rozměr přes drátky podle ČSN 25 4108, kde jsou uvedené doporučené průměry drátků.

Pro závity M, W, Tr se nejvhodnější průměr drátku určí ze vztahu:

$$d_p = \frac{P}{2 \cdot \cos \frac{\alpha}{2}} \quad (13)$$

P -rozteč závitu

α -stoupání závitu

Pro závity M, W, Tr platí vztah pro výpočet teoretické míry přes drátky:

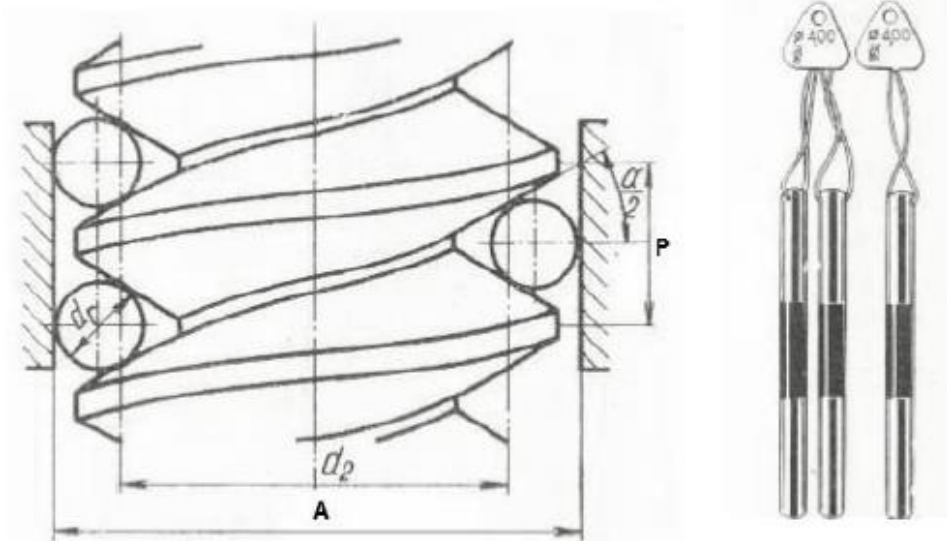
$$d_2 = Md_2 - d_D \cdot \left[\frac{1}{\sin \left(\frac{\alpha}{2} \right)} + 1 \right] + \frac{P}{2} \cdot \cot \left(\frac{\alpha}{2} \right) \quad (14)$$

Md_2 -naměřený rozměr přes drátky

d_D -průměr drátku

P -rozteč závitu

α -stoupání závitu



Obr. 25. Způsob měření středního průměru závitu přes drátky [11]

Stoupání závitů lze měřit několika různými způsoby podle požadované přesnosti. Pro běžnou kontrolu se používá závitových šablon, posuvného měřidla nebo rovnoběžných koncových měrek. Pro přesné měření se používá mikroskopů. Mikroskopem se závitů kontroluje správnost profilů závitů, střední průměr závitů, stoupání závitu a úhel závitového profilu. Při měření se uplatňuje průmětová metoda nebo metoda osového řezu.



Obr. 26. Způsob měření závitů mikroskopem [11]

3.9.2 Kontrola a měření vnitřních závitů

Měření vnitřních závitů je náročné a provádí se zřídka. Používáme především dva způsoby a to závitové válečkové kalibry nebo porovnávací měřicí přístroje. Závitový válečkový kalibr má dobrou a zmetkovou stranu. Zmetková strana (označené červenou barvou) má zkrácený profil, takže měří jen malou část boku závitů. Dobrá strana musí jít volně zašroubovat do kontrolovaného závitů, zmetková nesmí jít zašroubována více jak 2,5 otáčky kalibru.



Obr. 27. Mezní závitové trn [16]

4 ZKOUŠENÍ MATERIÁLŮ

Zkoušením materiálů ověřujeme jejich vlastnosti pro různé účely použití. Zkoušení materiálů poskytuje informace pro konstruktéra i technologa o vlastnostech konstrukčních materiálů, o životnosti a provozní spolehlivosti technologických zařízení. Pro správné posouzení vhodnosti materiálu pro určitou oblast použití, musíme co nejdokonaleji znát vlastnosti konstrukčních materiálů, jejich charakteristiky a zkušební postupy, kterými se potřebné vlastnosti zjišťují a základní vlivy, které tyto vlastnosti zlepšují. [3,1]

Zkoušení materiálů je velmi rozsáhlá oblast technické činnosti, kterou lze podle povahy údajů o materiálech rozdělit na:

- Chemické zkoušky
- Fyzikální zkoušky
- Fyzikálně-chemické zkoušky
- Mechanické zkoušky
- Technologické zkoušky
- Defektoskopické zkoušky
- Zkoušky odolnosti proti opotřebení

4.1 Zkoušky tvrdosti

Tvrdotí rozumíme odpor materiálu proti vnikání cizího tělesa a posuzujeme ji z velikosti trvalé deformace, kterou cizí těleso vtlačované do povrchu zkoušeného materiálu vyvolá. Zjištěná hodnota tvrdosti není fyzikální veličinou, neboť výsledky jsou značně ovlivněny způsobem provedení zkoušky. Hodnoty tvrdosti získané různými metodami lze navzájem srovnávat pouze na základě empirických vztahů.

Zkoušky tvrdosti patří mezi nejpoužívanější druhy zkoušek konstrukčních materiálů. Jejich předností spočívají především ve snadném a rychlém provedení a možnosti zkoušení i hotevých součástí bez jejich poškození. [1]

Podle rychlosti zatěžování:

- Statické (zatěžující síla je stálá nebo pozvolna se zvyšující)
- Dynamické (tělísko je vtlačováno rázem)

Podle principu:

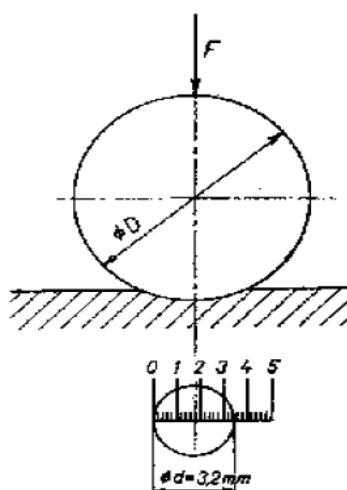
- Vtiskové (tvrdost se určuje z plochy povrchu nebo z hloubky vtisku)
- Vrypové (tvrdým hrotem se při malém zatížení na broušeném povrchu vytvoří rýha, jejíž šířka je měřítkem tvrdosti)
- Odrazové (tvrdost se měří velikostí odrazu závaží)

Podle účelu měření:

- Zkoušky mikrotvrdosti
- Zkoušky makrotvrdosti

4.1.1 Zkouška tvrdosti podle Brinella

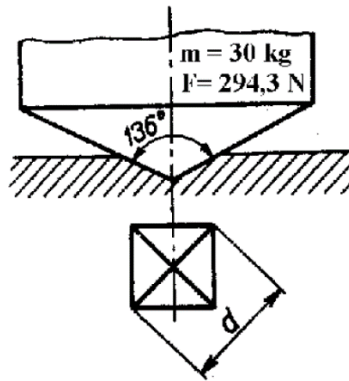
Zkouška podle Brinella se provádí dle normy ČSN 42 0371. Do povrchu zkoušeného materiálu se zatlačuje určitou silou F ocelová kalená kulička o průměru D . Po odlehčení zatížení se měří průměr vtisku d . Tvrdost podle Brinella HB je vyjádřena poměrem zatížení a plochy povrchu vtisku. Tvrdost je vyjádřena prostým číslem v jednotkách tvrdosti podle Brinella. Na výsledek zkoušky má vliv hlavně velikost zatížení pro daný průměr kuličky, doba zatížení a velikost vtisku se zřetelem na rozměry zkoušeného předmětu. Podmínky zkoušky jsou proto předepsány normou. Průměr vtisku se měří vhodným měřicím přístrojem (mikroskop) ve dvou navzájem kolmých směrech. Zkoušený povrch musí být dostatečně rovný a hladký. Brinellova zkouška se používá obvykle pro měření tvrdosti materiálů a nižší a střední tvrdostí. [1,3]



Obr. 28. Princip zkoušky podle Brinella

4.1.2 Zkouška tvrdosti podle Vickerse

Zkouška tvrdosti podle Vickerse se provádí dle ČSN 42 0374. Kdy čtyřboký diamantový jehlan se čtvercovou základnou o vrcholovém úhlu 136° se zatlačuje silou F do povrchu zkoušeného materiálu. Doba působení zatížení musí být 10-15 sekund. Po odlehčení se měří délka úhlopříček vtisku a určí se aritmetický průměr jejich délek. Tvrdost podle Vickerse HV je dána poměrem zatěžující síly a povrchu vtisku. Tloušťka zkoušeného materiálu musí být nejméně 1,5x průměr materiálu. Vickersova zkouška je poměrně velmi přesná, vyžaduje však hladký povrch (broušený) a přesné měření délky úhlopříčky (mikroskopem). Je vhodná především pro velmi tvrdé materiály (např. kalené součásti) a měření tvrdosti tenkých vrstev. [1,3]



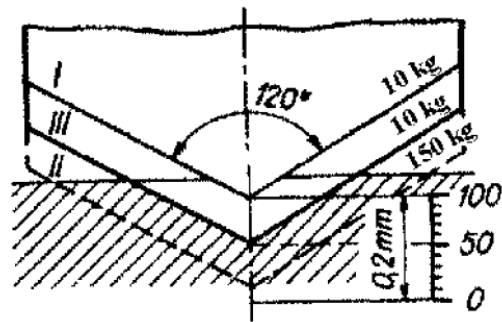
Obr. 29. Princip zkoušky podle Vickerse

4.1.3 Zkouška tvrdosti podle Rockwella

Zkouška podle Rockwella se provádí dle normy ČSN 42 0373. Na rozdíl od Brinellovy a Vickersovy metody se neměří průměr vtisku, ale jeho hloubka. Do zkoušeného předmětu se zatlačuje vnikací těleso, kterým je buď diamantový kužel o vrcholovém úhlu 120° se zaobleným hrotem (tvrdost se označuje HRC) nebo ocelová kulička o průměru 1,5875mm (tvrdost se označuje HRB).

Jednotkou čísla tvrdosti je hloubka vtisku 0,002mm. Při vlastní zkoušce se předběžným zatížením $F_0=98\text{N}$ provede malý vtisk, který je výchozím stavem pro další měření. Stupnice hloubkoměru se nastaví do počáteční polohy a zatížení se zvolna zvětšuje na hodnotu předepsanou normou. Po odlehčení na základní zatížení F_0 se na hloubkoměru odečte přímo tvrdost HRC nebo HRB. Při měření tvrdosti tenkých povrchových vrstev lze použít

diamantového kužele a celkového zatížení pouze 588N, tvrdost se v tomto případě označuje HRA. Tato metoda je vhodná pro velmi široké rozmezí tvrdosti. U materiálů s vysokou tvrdostí se určuje tvrdost HRC, u materiálů měkkých tvrdost HRB. Výhodou této metody je přímé odečítání tvrdosti, jednoduchost i rychlost provedení zkoušky. [1,3]



Obr. 30. Princip zkoušky podle Rockwella

5 DĚLENÍ MATERIÁLŮ

Tyčový válcovaný i tažený materiál se musí před vlastním obráběním rozřezávat na potřebné délky, podle požadovaných rozměrů konečného obrobku. Dělit obráběné materiály nebo součásti je však třeba i v případě litých nebo tvářených polotovarů, a to např. při odstraňování otřepů, švů, výronků, nálitků nebo ztracených hlav, někdy i při oddělování několika součástí vyrobených těmito metodami najednou. Dělení je třeba použít i při výrobě součástí z desek, pásů nebo jiných rozměrnějších polotovarů. K nejpoužívanějším metodám dělení materiálu patří:

- dělení rozřezáváním (pilový list, pilový kotouč, pilový pás),
- dělení rozbrušovací kotoučem,
- dělení třecím (frikčním) kotoučem,
- dělení rotačních součástí upichovacím nožem na soustruhu,
- dělení stříháním a lámáním,
- tepelné dělení (plamen, elektrický oblouk, plazma, laser, elektronový paprsek)
- dělení nekonvenčními metodami obrábění (elektrojiskrové řezání, vodní paprsek [7])

5.1 Laserové dělení (řezání) materiálu

Podstatou tohoto způsobu je soustředění energie, elektromagnetického záření viditelného světla, na malou plošku obrobku. Přeměnou energie tohoto záření na energii tepelnou se místo dopadu zahřeje na teplotu značně přesahující teplotu tavení obráběného materiálu. Materiál se v místě dopadu taví a vypařuje. Generátorem svazku paprsků světla o velmi vysoké intenzitě je takzvaný laser (Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation). Princip laserů je založen na uvolňování potenciální energie elektronů atomů prvku, obsaženého v malém množství v základní hmotě laseru, který jsou vlastními nositeli zesílení světelných paprsků.

Velkou předností laseru je široká oblast použití. Laser lze využít na odpaření materiálu, na rytí, drážkování, popisování, na děrování a vrtání, na svařování, na povrchové natavování a pod. [1]

5.1.1 Metody laserového dělení materiálu

Technicky je možno řezat oceli do tloušťky 25mm. Nejčastěji používané lasery CO₂ jsou nejhospodárnější pro řezání oceli okolo síly 6-7mm.

Výhody použití laseru pro řezání:

- stroje jsou CNC řízeny, což umožňuje řezat libovolné tvary a minimalizuje odpady
- dosahuje se velkých řezných rychlostí
- plochy řezu mají velmi dobrou jakost povrchu a obvykle nevyžadují další úpravy
- okrajová oblast oceli tepelně ovlivněna laserem je velmi úzká
- dosahuje se relativně vysokých přesností v řádech desetin milimetru

Základní metody laserového řezání:

- laserové protavování (dochází k ohřevu materiálu nad teplotu tavení)
- laserové sublimační řezání (dochází k ohřevu materiálu na teplotu odpaření)
- laserové pálení (dochází k ohřevu na zápalnou teplotu) [6]

5.2 Dělení materiálu plazmou

Obrábění paprskem plazmy je založeno na principu postupného odtavování materiálu za teploty vyšší než 10 000 °C. Plazma, kterou zasahujeme obrobek v místě, kde chceme materiál oddělit, odtavuje a částečně vypařuje zasažené částice materiálu. V elektrickém oblouku, který hoří mezi netavicí se elektrodou (katoda) a řezaným materiálem (anoda) dochází k rozkladu molekul plynu s vysokým vývinem tepla. Z hořáků vychází vysokou rychlostí úzký paprsek plazmy, který je zionizován a v důsledku toho dobře vodivý pro elektrický proud. Materiál se taví a je kinetickou energií proudu vytlačován z místa řezu. [1,6]

V průmyslové praxi se používá několik typů hořáků, u kterých použité plyny nebo směsi plynů zajišťují následující funkce:

- plazmové plyny**, které jsou přiváděny přímo do oblouku, kde jsou ionizovány: Ar, Ar+H₂, He, N₂
- fokusační plyny**, které zužují paprsek plazmy po opuštění tryska hořáku: Ar, Ar+H₂,
- ochranné plyny** obklopující a chránící paprsek plazmy a natavený kov před atmosférou

Obrábění plazmou se často uplatňuje zejména u těžkoobrobitelných kovů, protože jeho výkon nezávisí na pevnosti a tvrdosti materiálu.

Druhy děleného materiálu:

- konstrukční ocel (nejčastěji dělený materiál)
- žáruvzdorné oceli, legované oceli
- hliník
- keramika (velmi zřídka)

5.3 Dělení materiálu vodním paprskem

Vysokorychlostní koherentní maloprůměrový vodní proud s tlakem technologické kapaliny nad 100 Mpa nazýváme vodním paprskem. Tato technologie je založena na využití abrazivních účinků vysokoenergetického kapalinového (vodního) paprsku pro dělení materiálu.

Technologie dělení materiálů vysokoenergetickým vodním paprskem je dvojího druhu:

-dělení materiálu čistým kapalinovým paprskem

Je možno řezat materiály menších tlouštěk (5 - 15 mm) i s vysokou pevností, např. kevlarů, laminátů, uhlíkových kompozitů, sklotextitů apod.

-dělení materiálu kapalinovým paprskem s příměsí abrazivního materiálu

Při této variantě se zvyšuje účinnost paprsku příměsí abrazivních zrn do proudu vody. Používají se jak syntetické tak i přírodní abrazivní materiály jako křemičitý písek, korundová zrna apod. tryska musí odolávat vysokým abrazivním tlakům, proto bývá vyrobena z karbidu wolframu, keramických materiálů nebo z kubického nitridu bóru. Je možno řezat prakticky všechny materiály.

5.4 Dělení materiálu kyslíkem

Nejstarší metodou tepelného dělení materiálu je dělení nelegovaných a podmíněně i nízko-
legovaných ocelí kyslíkem. Ačkoliv jí dnes úspěšně konkurují metody modernější, má v
praxi řezání materiálu kyslíkem stále své místo.

Řezání kyslíkem je omezeno na dělení nelegovaných a podmíněně i nízko-
legovaných ocelí. Toto omezení plyne z vlastního principu metody, který spočívá ve spalování řezaného ma-
teriálu kyslíkem. Vhodným hořlavým plynem ve směsi s kyslíkem se zahřeje povrch řeza-
ného materiálu na zápalnou teplotu a po vpuštění řezného kyslíku (čistoty alespoň 2.5, tj.
99,5 %) dojde ke spalování materiálu - exotermické reakci. Produkty hoření (oxidy) jsou
vyfukovány ve formě strusky proudem kyslíku a vzniká řezná spára. Pro kvalitní řez musí
být splněny následující podmínky:

- zápalná teplota řezaného materiálu musí být nižší než jeho teplota tavení;
- tavicí teplota oxidů musí být nižší než tavicí teplota řezaného kovu;
- zplodiny hoření (oxidy) musí být dostatečně tekuté;
- při hoření kovu se musí uvolnit dostatečné množství tepla pro udržení řezného pro-
cesu.

Těmto podmínkám vyhovují právě nelegované oceli, které se mohou dělit kyslíkem do
tloušťky i více než 1 000 mm. Dobré kvality řezu se dosahuje do tloušťky cca 300 mm. Za
optimálních podmínek můžeme docílit rychlosti řezu až $800 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$, což je v porovnání
s laserem a plazmou rychlost velmi nízká.

Důležitou roli zde hraje také hořlavý plyn, který je nutný pro zahřátí materiálu na zápalnou
teplotu. Při volbě vhodného plynu bere v potaz především kvalitativní a ekonomické
aspekty. Vysoká kvalita řezu při dosažení co největší rychlosti řezání, v případě krátkých
řezů a častých propalů pak také rychlost zahřátí materiálu na zápalnou teplotu a možnost
propálení co největší tloušťky materiálu bez nutnosti předvrtání tzv. startovacího otvoru.
Nejpoužívanějším a z výše uvedených hledisek nejvýhodnějším hořlavým plynem je acety-
lén.

Technologie řezání kyslíkem se uplatňuje především tam, kde rozsah použití ostatních me-
tod nedosahuje. Jedná se především o dělení nelegovaných ocelí velkých tlouštěk.

II. PRAKTICKÁ ČÁST

6 STANOVENÍ CÍLŮ DIPLOMOVÉ PRÁCE

Dnešní moderní a uspěchanou dobu si můžeme jen těžko představit bez nových, progresivních a ekonomičtějších technologií. Situace na trhu se neustále mění, konkurence roste a zákazníci stále vyvíjí větší tlak na své dodavatele. Je kladen velký důraz především na kvalitu, cenu a včasnost dodávek. Proto cílem každého výrobce či dodavatele je snižování výrobních nákladů za předpokladu udržení požadované kvality. K tomu velmi často dopomáhají modernější a progresivnější výrobní technologie.

Tato diplomová práce se zabývá řešením problémů s výrobou závitů do povrchů ploch ovlivněných tepelným dělením. Závity jsou tedy řezány do tvrdých, neopracovaných ploch materiálu, vzniklých tepelným dělením plasmou, laserem nebo plamenem. Toto vede ke změně místní tvrdosti materiálů a tím i k velmi ztíženým podmínkám obrábění. Cílem diplomové práce je celou technologii výroby závitů stabilizovat, zajistit bezpečnost a plynulost procesu závitování a v neposlední řadě také zajistit její zproduktivnění.

7 PŘEDSTAVENÍ SPOLEČNOSTI TES VSETÍN

Pro firmu Tes Vsetín s. r. o. realizuji tento experiment a věřím, že z něj bude dále profitovat ve svých výrobních procesech.

7.1 Historie společnosti TES VSETÍN, s. r. o.

Historie dnešní firmy Tes Vsetín sahá do roku 1919, kdy Josef Sousedík založil svou elektrotechnickou továrnu. Výrobní program byl tehdy tvořen především asynchronními motory, na jejichž vývoji se aktivně podílel Josef Sousedík. Tento velmi aktivní muž byl nejen dobrým podnikatelem, ale také významným vynálezcem a badatelem v oblasti elektrotechniky. Své nápady konstruoval převážně pro elektrické přístroje a motory, což mu vyneslo dodnes používanou přezdívku „moravský/valašský Edison“. Myšlením předběhl svou dobu, protože se zaměřoval na úspornější elektrické motory. Své znalosti předával studentům od roku 1923 na Odborné pokračovací škole ve Vsetíně a na různých přednáškách na vysokých školách i mimo ně po celém Československu.

První přihlášku na patentní úřad přinesl roku 1920, poslední pak roku 1940. Během války své patenty nepřihlašoval, aby nemohly být zneužity nacisty, a chtěl je podat až po válce. Za celý svůj život podal 129 patentových přihlášek a 45 z nich (často i v zahraničí) bylo uznáno. Za zmínku jistě stojí elektromobil s hybridním pohonem zkonstruovaný na podvozku Tatra 57 v roce 1927 a patentovaný ve 23 zemích světa. Koncem roku 1931 dokonce plánoval s tímto vozem uskutečnit propagační cestu Vsetín – Praha – Anglie, která chtěla dokázat spolehlivost vozu, který měl být cenově dostupný i obyčejným občanům Československu. Sousedík byl také velký vlastenec, což se mu stalo osudným a za jeho činnost v odbojové organizaci za 2. světové války byl při výslechu na gestapu v lednu roku 1945 zastřelen.

Po válce a znárodnění podniku komunisty dochází k dalšímu rozvoji firmy. Pod názvem MEZ Vsetín je podnik orientován především na trhy RVHP a řadí se k nejvýznamnějším exportérům v Československu. Výrobní možnosti byly rozšířeny o zkušební stanoviště, sloužící pro měření otáček a výkonu, komutátorové motory a kompletní pohony se stejnosměrnými motory.

Po roce 1989 dochází k rozšíření výrobních možností. Kdy k tradičnímu výrobnímu sortimentu stejnosměrných motorů, přibývá výroba synchronních a asynchronních generátorů.

Po privatizaci firmy MEZ Vsetín v r. 1995 společností TES VSETÍN je dále firma rozvíjena a rozšiřována. Díky konkurenci schopnosti a vlastnímu vývoji v oblasti konstrukce i technologii si TES drží nemalý podíl na světovém trhu generátorů pro malé vodní elektrárny. Nejčastějšími zákazníky jsou zákazníci v Turecku, Kanadě, Itálii, Finsku, Norsku, Švédsku a Německu.

7.2 Současnost a výrobní program společnosti TES VSETÍN, s. r. o.

TES VSETÍN s. r. o. (dále jen Tes) je v současné době rozdělen do tří produktových divizí.

TED

Elektrické pohony se používají u jednomotorových a vícemotorových pracovních strojů, technologických linkách a dalších zařízeních. Řešení zahrnuje zpracování projektu, tvorbu software, dodávku elektrických zařízení, nedílnou součástí projektu jsou kabely a jejich instalace, snímače, čidla, sensory a ostatní prvky dle přání zákazníka. Elektrická zařízení jsou dodávána pro nová i starší, po mechanické stránce rekonstruovaná a modernizovaná zařízení. Vhodnou variantou realizace dodávky je modernizace původních elektrických pohonů a regulace, jejich napáječů a dalšího nezbytného příslušenství pro zachování či vylepšení stávající funkce.

TEM

Synchronní generátory patří mezi nejprodávanější produkty divize TEM. Jsou vhodné pro všechny typy turbín s výkony do 20 000 kVA. Přes společné rysy výrobků se jedná o zakázkovou výrobu dle požadovaných parametrů každé konkrétní aplikace. Konstrukce strojů je řešena zkušeným týmem konstruktérů. Důsledná kontrola kvality probíhá při výrobě každého kusu, stroje jsou osazovány nejkvalitnějšími ložisky. Permanentní péče týmu vývoje elektrických točivých strojů umožňuje nabídku synchronních generátorů vysoké kvality s dlouhou životností.

Malé vodní elektrárny – GSH, GSV, GSP

Generátory pro vodní elektrárny se vyznačují robustní konstrukcí s vynikajícími parametry a vysokou účinností. Přitažlivé jsou především kombinací vysoké spolehlivosti s inovacemi

nabízejícími ekonomicky výhodné řešení. Díky nové konstrukci rotoru s vyniklými póly dosahují vysokého výkonu až do 20 000 kVA. Dlouhodobá zkušenost s výrobou generátorů umožňuje výrobu ekologicky čisté energie již ve více než pěti stech vodních elektrárnách.

Vítr – GSV, GSP

Synchronní generátory prošly optimalizací pro výkony do 20 000 kVA, mají vysokou účinnost a dokonalou regulaci otáček. Novinkou je generátor s permanentními magnety s výkonem až 4 000 kVA. Díky pokročilé konstrukci je stroj o 30 % lehčí než stroje s vinutým rotorem. Prostřednictvím skvělé účinnosti, snadné instalace a delších servisních intervalů umožňuje maximalizaci výnosů. Stroje jsou optimálně kompatibilní se sítí, napájení zajišťují frekvenční měniče.

Lodě – GSH, GSV, GSP

Generátory pro lodní dopravu jsou vhodné pro tankery, zásobovací lodě, víceúčelové nákladní lodě a trajekty. Používají se pro napájení sítě, do řídicích systémů, u nouzového napájení speciálních agregátů či v pomocných pohonech lodí. Stroje jsou určeny pro paralelní chod nebo ostrovní provoz.

TEC

Zakázková výroba dle výkresové dokumentace zákazníka, předmětem produkce jsou díly motorů a generátorů a další mechanické součásti. Svařování a opracování strojních součástí z konstrukční oceli, obrábění odlitků. Díly větší než dole uvedené zajišťujeme v kooperaci. Vysokou kvalitu produkce zaručuje důraz na přesnost výroby a systém řízení jakosti, používání kombinovaných měřicích metod a měřicích přístrojů s přesností až 0,001 mm.

Předmětem produkce lisovny tenkých plechů jsou malé i velké série elektroplechů. Plechy jsou kruhové i segmentové, kvality M270 – M800, oboustranně lakované. Součástí nabídky je i odbřítování plechů. Produkce je podrobena kontrole a měření elektromagnetických vlastností s rozlišením 0,001 W/kg, kontrole měrných ztrát, frekvence a dalších veličin. Spolehlivé technologie a kvalita materiálů umožňují použití elektroplechů ve strojích pracujících v nejnáročnějších průmyslových aplikacích.

8 CHARAKTERISTIKA SOUČASNÉHO STAVU

Pro svůj experiment jsem vybral jednu z mnoha součástí, vyráběnou firmou Tes z odvětví energetického průmyslu.

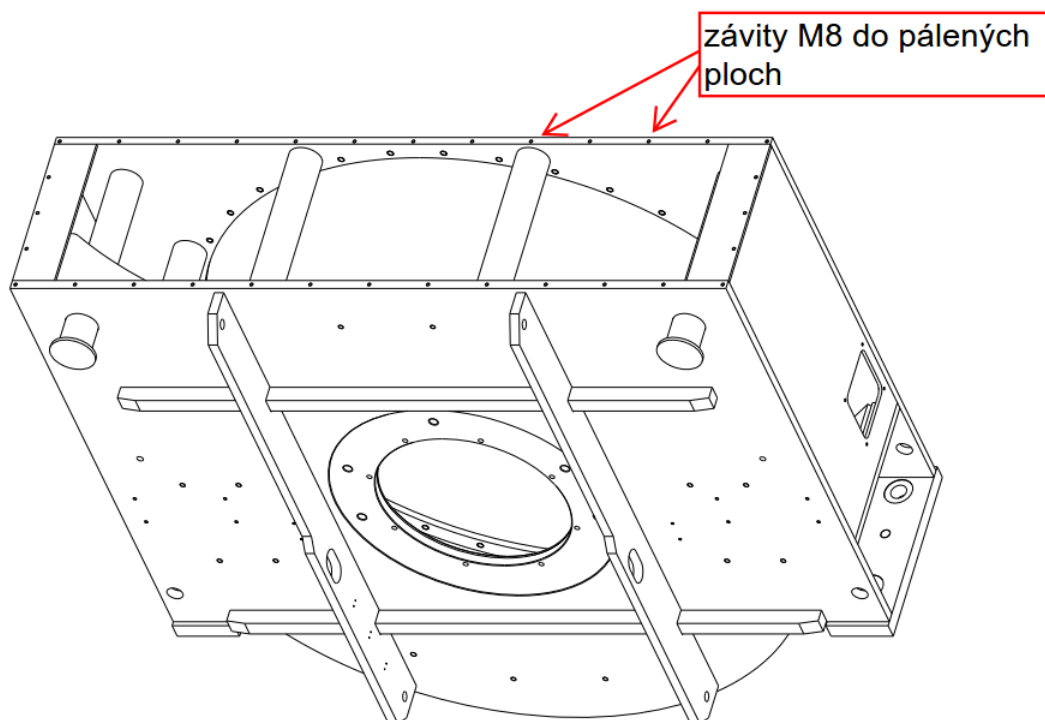
8.1 Předmět studie

Předmětem mé diplomové práce je výrobek nazývaný „Štít“, vyráběný firmou TES pro jednoho ze svých klíčových odběratelů z Německa.

Jde o svařovaný díl o velikosti až 2000mm x 1800mm, vážící okolo 2000 kg viz. obr. 31. Je sestaven z několika kusů komponent. Tyto komponenty jsou většinou dodávány jako vypálené polotovary a to buď plamenem, plasmou nebo laserem z materiálu 11523. Druh tepelného dělení je závislý na síle, požadované přesnosti a celkové složitosti výpalku. Po sestehování a následném svaření těchto polotovarů vznikne svařovací sestava štítu, který se dále obrábí.

Štíty se nejprve obrábí na karuselových obráběcích centrech. Tam se soustruží kruhové průměry a jejich čelní plochy, některé až v přesnostech IT7. Po těchto operacích následuje další obrábění a to na horizontálních vyvrtávacích strojích. Kusy se ustavují na již obrobene kruhové plochy z karuselu. Na speciálním upínacím přípravku, který je uchycen přímo na obráběcím otočném stole stroje WHQ 13 se pak obrábí jeho obvod. Problémy při vrtání obvodu vznikají v místech, kde jsou poměrně malé závity M8 řezány do neopracovaných ploch štítu vzniklé tepelným dělením. Tyto hrany a plochy, vzniklé tepelným dělením, bývají často příliš tvrdé a závity vyrobené do těchto ploch ne vždy vyhovují kvalitě a požadavkům zákazníka. Velmi často pak dochází k vylamování, zadírání nebo rychlému otupení závitových nástrojů. V nejhorších případech může dojít i k jejich zalomení přímo v řezu v otvoru. To vše má za následky nestabilní proces obrábění a tím i rostoucí náklady na nástroje, jejich ostření nebo opravy neshodných výrobků.

Vím, že firma TES občas mívá s těmito výrobky problémy a proto jsem si zvolil a zpracoval toto téma jako mou diplomovou práci. Cílem diplomové práce je tedy celou technologii výroby závitů do těchto tvrdých ploch a povrchů, zmapovat, posoudit jejich tvrdost vzhledem k tvrdosti tepelně neovlivněného materiálu 11523, stabilizovat, zajistit bezpečnost a plynulost procesu závitování a případně i její zproduktivnění.



Obr. 31. Nákres vyráběného štitu

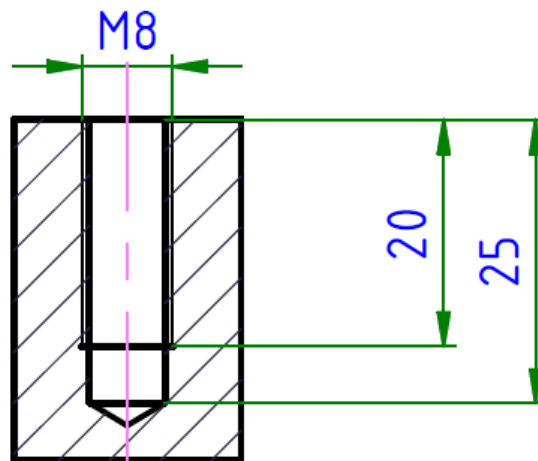
8.2 Současná technologie

Stávající technologie aplikovaná v TES pro výrobu závitů menších průměrů je zaměřena výhradně na jejich řezání. Tato technologie je nejrozšířenější technologií výroby závitů, a je brána za technologii velmi spolehlivou, ale nemusí být vždy technologií plně vyhovující. Problémy se mohou vyskytovat při řezání závitů větších průměrů, při výrobě dlouhých slepých závitů, nebo při řezání závitů do oceli třídy 11. Tyto oceli jsou velmi měkké a tvárné a i při dodržení všech doporučených technologických parametrů může dojít k výrobě zmetkových (volných) závitů. Dalším problémem může být řezání závitů do tvrdých neopracovaných ploch vzniklých především tepelným dělením materiálu. Tepelné dělení, stříhání a děrování vedou ke změně místní tvrdosti. Proto v těchto místech materiálu může docházet ke zhoršení podmínek obrábění. Částečně lze tuto tvrdost odstranit žiháním, ale ne vždy si tuto operaci z ekonomických či technických důvodů můžeme dovolit. Zvláště u výrobků větších rozměrů se cena za žihání může vyšplhat až na několik tisíc korun.

Správná technologie řezání slepých závitů spočívá především ve správně vyrobeném otvoru (jeho průměru) a dostatečné hloubce. Průměr vrtaného otvoru je zpravidla dán jako průměr

vyráběného závitu, minus stoupání závitu. Je také udáván v dílenských tabulkách nebo v katalogích závitových nástrojů. S hloubkou předvrtané díry už je to složitější. Každý závitník má tzv. náběh, kdy zpravidla první 2-3 zuby nástroje jsou podbroušeny. Tento tvar dopomáhá lepšímu zavedení nástroje do otvoru. Proto je třeba při vrtání otvoru pro závit připočítat minimálně tento „náběh“.

Závity do štítů vyráběných firmou TES jsou M8. Hloubka závitu je 20 mm a hloubka předvrtaného otvoru 25 mm. Průměr otvoru pod závit je $\varnothing 6,8$ mm. Tyto rozměry jsou pevně dány zákazníkem a musí být dodrženy.



Obr. 32. Schéma vyráběného závitu

Postup výroby závitů M8

1. Navrtání otvorů: každý otvor je navrtán navrtávkem $\varnothing 16$ mm.
2. Vrtání otvorů: vrtaný otvor pod závit M8 je vyroben HSS vrtákem $\varnothing 6,8$ mm.
3. Závitování otvorů: závit je vyřezán HSS závitníkem M8 do slepých otvorů.

8.3 Použitý materiál pro výrobu štítů

Použitý materiál pro výrobu svařovaných štítů je výhradně ocel 11523. Jde o univerzální nelegovanou konstrukční jemnozrnou ocel s vysokou vrubovou houževnatostí a zaručenou svařitelností při vyšší mezi kluzu oceli. Tato ocel značena též jako 1.0570 (St 52-3, S355J2G3, 11523) je vhodná pro dělení plamenem a plazmou. Pevnost 490 - 630 MPa. Mez kluzu min. 355 MPa. Oceli třídy 11 podle ČSN mají předepsanou čistotu a zaručují se u nich

mechanické vlastnosti ve stavu normalizačně žíhaném a nikoliv ve stavu přírodním. Vedle pevnosti a tažnosti jsou u této třídy zaručovány i hodnoty meze kluzu a maximální hodnoty obsahu prvků C, P, S, N, Mn. Pevnost je zaručována úměrným obsahem C.

Základní konstrukční ocel 1.0570 (St 52-3, S355J2G3, 11523) je určena pro svařované konstrukce a strojní součásti s vyšší mezí kluzu. Garantovaná tuhost do 0°C. Je vhodná pro použití pro statické, ale i dynamicky namáhané konstrukce. Vhodná pro základové desky lisovacích nástrojů a pro méně namáhané okrajové desky vstřikovacích forem, součásti strojů, automobilů a jízdních kol. součásti tepelných energetických zařízení a tlakových nádob.

Tab. 2. Značení mat. 11523 v zahraničních normách

Srovnání se zahraničními normami					
ČSN	DIN	EN 10027-1	EN 10027-1	EN 10025:90	GOST
11523	St52-3	S35530	1.0553	Fe510C1	17GS

Tab. 3. Chemické složení mat. 11523

Chemické složení (rozběr tavby) v %					
C	Mn	Si	P	S	Al
max. 0,2	max. 1,6	max. 0,55	max. 0,05	max. 0,045	max. 0,015

Tepelné zpracování oceli 11523

Žíhání normalizační	870-900 °C
Žíhání na měkko	680-710 °C
Žíhání ke snížení pnutí	600-650 °C

9 TVRDOST PLOCH PO TEPELNÉM DĚLENÍ

Tato diplomová práce se zabývá především tvrdostí povrchů a ploch po tepelném dělení. Za tímto účelem byly také zhotoveny pomocné vzorky z materiálu 11523. Tyto vzorky byly naděleny různými technologiemi tepelného dělení, aby mohlo dojít ke srovnání tvrdostí povrchů ovlivněných tepelným procesem dělení.

9.1 Stručný popis celého výzkumu

1. Příprava vzorků z mat. 11523 lišící se pouze tepelným dělením (laser, plamen, plazma)
2. Měření tvrdosti jednotlivých vzorků na pálených plochách a jeho vyhodnocení.
3. Řezání závitů do pálených ploch a sledování opotřebení nástroje
4. Tváření závitů do pálených ploch a sledování opotřebení nástroje
5. Vyhodnocení řezání závitů versus tváření závitů
6. Porovnání řezaného a tvářeného závitu + jeho měření na mikroskopu
7. Změření tvrdosti řezaného a tvářeného profilu závitu
8. Ekonomické zhodnocení

9.2 Příprava vzorků z materiálu 11523

Pro tento experiment byly u shodných dodavatelů stejně jako komponenty samotného štítu, objednány pomocné vzorky. Vše ze stejného materiálu 11523 jako materiál na vyráběných štítech. Tento materiál byl doložen i patřičným materiálovým atestem viz. příloha č.1.

Vzorek č.1 –tepelné dělení plamenem v TES

Vzorek č.2 – tepelné dělení plamenem externím dodavatelem

Vzorek č.3 – tepelné dělení plazmou externím dodavatelem

Vzorek č.4 – tepelné dělení laserem externím dodavatelem

Vzorek č.5 –materiál 11523 bez ovlivnění tepelným dělením

Pro samotné měření tvrdosti bylo nutno tyto vzorky nechat nadělit na vzorky menších rozměrů a nižší hmotnosti. Dělení proběhlo na pásové pile BEHRINGER HBP 313 A. Jde o horizontální pásovou pilu o řezném průměru 310 mm.



Obr. 33. Dělení vzorků na pásové pile

Druhým krokem v přípravě vzorků před samotným měřením tvrdosti bylo leštění povrchu. Jelikož chceme měřit tvrdost na povrchu řezaných ploch, které nejsou příliš rovné a hladké, je pro správný průběh měření nutné, tento povrch na vzorcích předpřipravit. To bylo provedeno velmi jemným leštěním s minimálním úběrem materiálu z povrchu vzorků. Důležité bylo abychom nenarušili či úplně neodstranili tvrdou povrchovou vrstvu vzorku vzniklou tepelným dělením. Leštění probíhalo na leštícím zařízení viz. obr. 34 přímo v laboratoři. Některé vzorky bylo dále nutno doleštit ručně smirkovým papírem či velmi jemnými pilníky.



Obr. 34. Leštění vzorků před měřením tvrdosti

9.3 Měření tvrdosti vzorků

Pro měření tvrdosti povrchů volných hran jsem zvolil Vickersovu zkoušku. Této zkoušky též využívá norma EN1090-2, jež udává povolenou tvrdost těchto povrchů a hran.

9.3.1 Popis a parametry měření tvrdosti HV10

Při této zkoušce je čtyřboký diamantový jehlan se čtvercovou základnou o vrcholovém úhlu 136° zatlačován silou F do povrchu zkoušeného materiálu. Doba působení zatížení musí být 10-15 sekund. Po odlehčení se měří délka úhlopříček vtisku a určí se aritmetický průměr jejich délek. Tvrdost podle Vickerse HV je dána poměrem zatěžující síly a povrchu vtisku.

$$HV = 0,189 \frac{F}{u^2} \quad (15)$$

F zatěžující síla [N]

u^2 průměrná hodnota úhlopříčky [mm]

V mém případě šlo o zkoušku HV10 dle EN ISO 6507. Zatěžující síla působící na indentor ve tvaru jehlanu byla 10 kp (98 N) a doba působícího zatížení 10 sekund.

Dle normy ČSN EN 1090-2 pro konstrukční oceli tvářené za tepla nebo za studena pro pevnostní třídu S235 (11373) až S460, musí být hodnota tvrdosti dělených povrchů HV10 max. 380.

9.3.2 Průběh zkoušky tvrdosti HV10 a její vyhodnocení

Měření tvrdosti bylo provedeno na plně automatickém tvrdoměru od firmy Qness s typovým označením Q250 MS, ve firmě M&V, spol. s r.o., divize PROSTIMZET PLUS. Tato firma je předním českým výrobcem řezných nástrojů a je pro tyto zkoušky velmi dobře vybavena a certifikována.



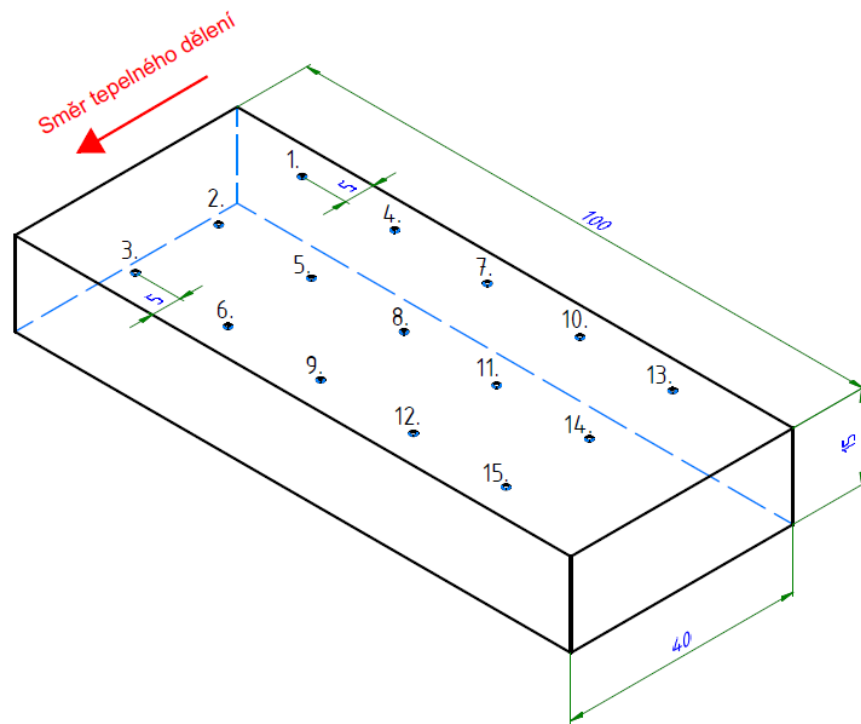
Obr. 35. Příklad přístroje Q250 v kontrolním středisku

Tab. 4. Parametry tvrdoměru Q250 MS

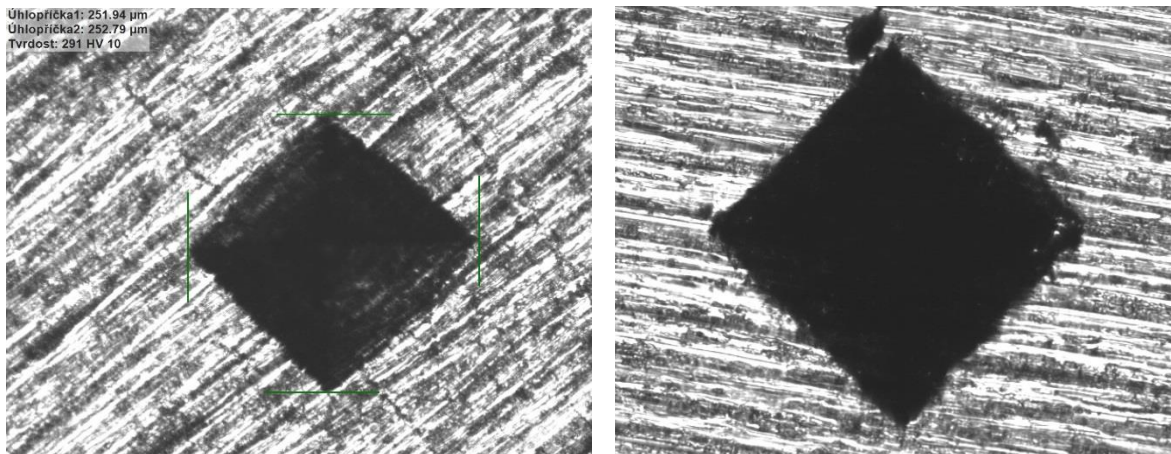
Specifikace	Tvrdoměr Q250 MS
Zkušební rozsah	1-250 mm
Posun	Ručně
Zkušební výška	230 mm
Váha vzorku	300 kg
Váha přístroje	170 kg
Rozhraní	2xUSB, 1xRS232, 1xRJ45
Napájení	230-1/N/PE, 110-1/N/PE
Příkon	360W

Na každém kusu vzorku proběhlo 15 nezávislých měření v místech vždy v horní, střední a dolní části vzorku, bráno ve směru tepelného dělení. Jednotlivé body měření jsou označeny v obrázku 36. V každém bodu označeným číslem byla provedena zkouška tvrdosti HV10. Přístroj Q250 MS je plně automatický a změřenou hodnotu dokáže sám velmi přesně vyhodnotit. Operátorovi stačí jen odečíst naměřenou hodnotu z displeje.

Sledoval jsem, jak se mění tvrdost povrchu materiálu vzhledem k tloušťce materiálu ve vzdálenosti od zdroje tepla a porovnával tvrdost jednotlivých druhů vzorků.



Obr. 36. Nákres vzorku a body jednotlivých měření

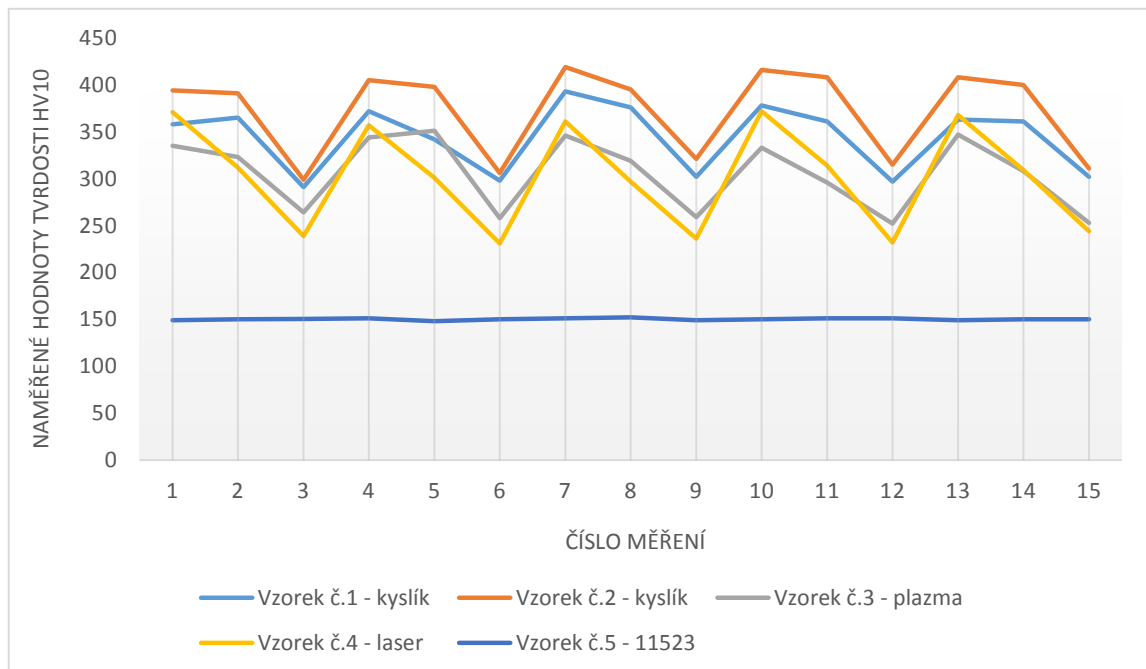
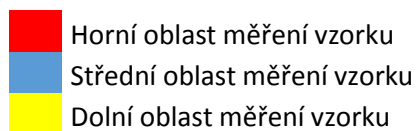


Obr. 37. Fotografie vtisku při měření tvrdosti na přístroji Q250

V tabulce č.5 jsou uvedeny naměřené hodnoty tvrdosti jednotlivých vzorků. Jednotlivými barvami je vždy označena oblast měření (horní; střední, dolní). Měření probíhalo vždy v kolmém směru ve směru tepelného dělení (od shora ve směru zdroje tepla).

Tab. 5. Výsledky měření tvrdosti HV10

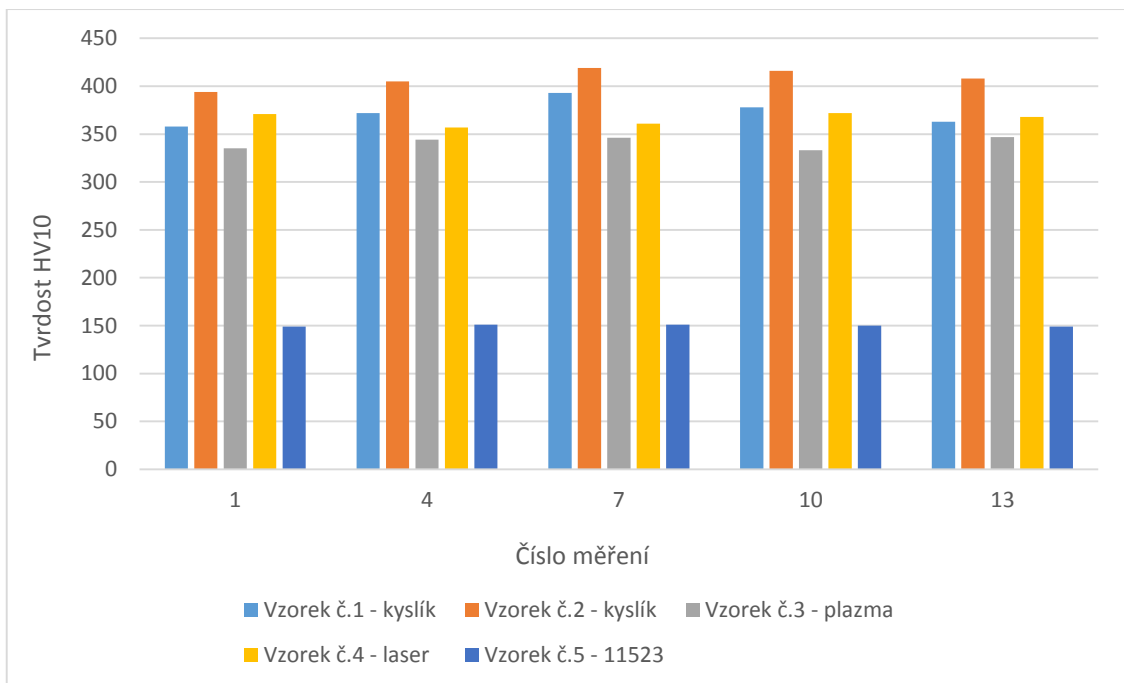
Druh vzorku	Číslo měření tvrdosti HV10														
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Vzorek č.1 - plamen	358	365	291	372	342	298	393	376	302	378	361	297	363	361	302
Vzorek č.2 - plamen	394	391	299	405	398	306	419	395	321	416	408	315	408	400	311
Vzorek č.3 - plazma	335	323	264	344	351	258	346	319	259	333	296	252	347	308	253
Vzorek č.4 - laser	371	312	239	357	301	231	361	297	236	372	314	232	368	309	244
Vzorek č.5 - 11523	149	150	151	151	148	150	151	152	149	150	151	151	149	150	150



Graf č. 1. Porovnání tvrdosti všech vzorků

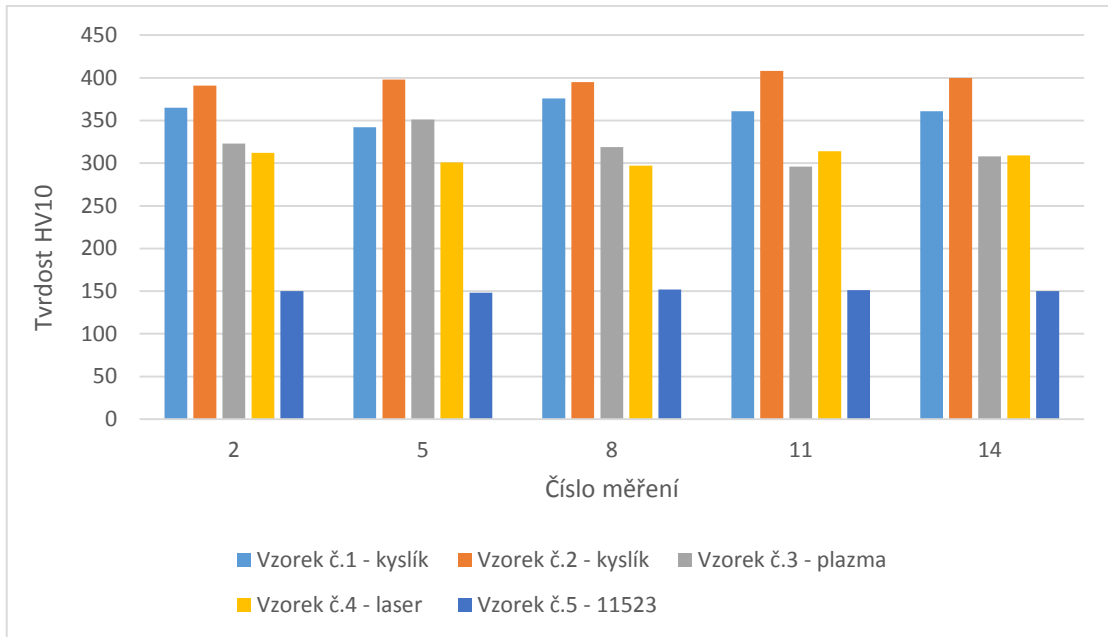
V grafu č.1 porovnáváme všechny naměřené hodnoty všech vzorků. Z porovnání je zřejmé, že nejtvrdšími vzorky jsou výpalky vyrobeny technologií řezání plamenem (kyslíkem). Rozdíl v hodnotách všech vzorků však není příliš velký a lze ho považovat za zanedbatelný.

Nejdůležitější je zjištění, že takto teplotně ovlivněný materiál je až 2x tvrdší než materiál tepelně neovlivněný. V některých případech dokonce naměřené hodnoty tvrdosti přesahují normou EN 1090-2 povolené tolerance tvrdosti HV10 a to 380. Jinak hodnoty tvrdosti u všech vzorků mají sestupnou tendenci vzhledem ke směru tepelného dělení. V horní části vzorku, tj. u zdroje tepla, jsou vždy vzorky tvrdší než v dolní části kusu. Hodně podobné hodnoty pak byly naměřeny u vzorků dělených plazmou a laserem. Samotný materiál 11523 neovlivněný tepelným dělením, je poměrně měkký a hodnoty tvrdosti se prakticky neliší v žádných oblastech vzorku. Dále je z grafu patrné, že naměřená tvrdost ve směru řezu klesá.



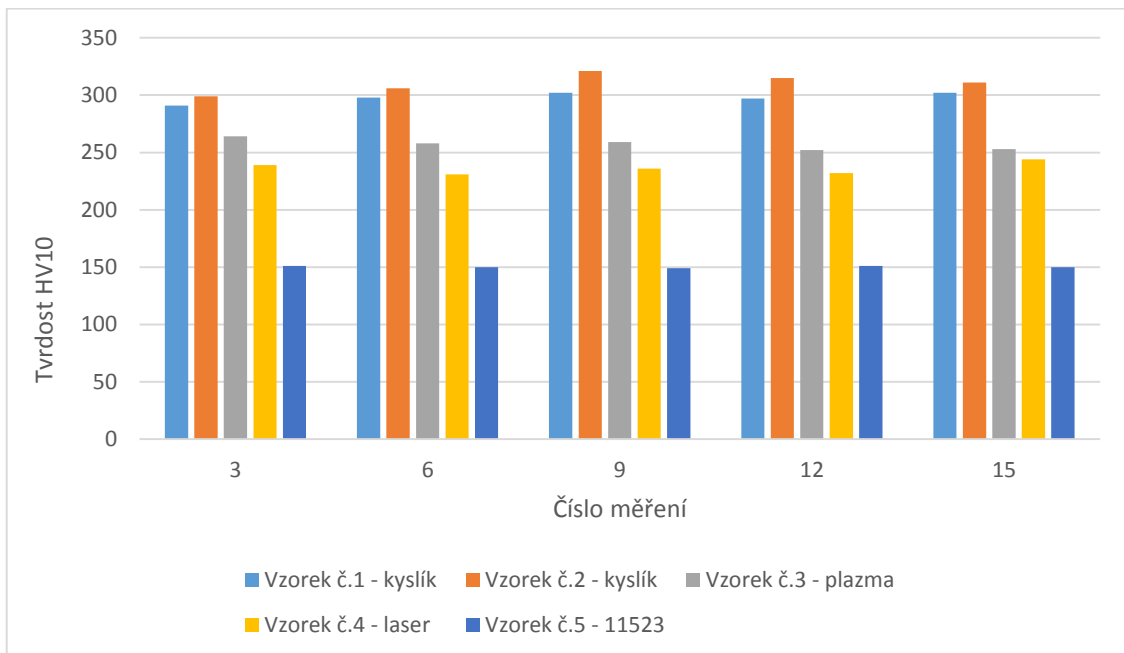
Graf č. 2. Porovnání tvrdosti v horní části vzorků

V grafu č.2 je naměřená tvrdost porovnána pouze v horní části měření vzorků. Je názorně vidět, že některé hodnoty, především u vzorku č.2 přesahují normou povolenou hodnotu tvrdosti. Dále je velmi zřetelně vidět výrazný rozdíl tvrdosti v horní oblasti měření tepelně ovlivněného materiálu oproti vzorku č.5, tedy materiálu tepelně neovlivněnému. Takový rozdíl tvrdosti již nelze zanedbat a lze očekávat určité problémy v obráběcím procesu.



Graf č. 3. Porovnání tvrdosti ve střední části vzorků

Z grafu č. 3 lze vypočítat, že hodnoty tvrdosti ve střední části jsou stále velmi vysoké. Tvrdość v porovnání s horní oblastí se zde většinou snížila, ale jen zanedbatelně. U vzorku č.1 byla dokonce naměřena vyšší hodnota než v horní oblasti.



Graf č. 4. Porovnání tvrdosti v dolní části vzorků

Graf č. 4 porovnává hodnoty tvrdosti v dolní oblasti měření vzorku. Je zde zřejmé, že oproti předchozím dvěma oblastem měření (horní a střední) je pokles tvrdosti o něco výraznější.

Lze tedy říci, že tvrdost tepelně ovlivněných povrchů má sestupnou tendenci vzhledem od zdroje přiváděného tepla.

9.3.3 Shrnutí výsledků zkoušek tvrdosti HV10

Obecně lze tedy říci, že vzorky jež jsou ovlivněny tepelným dělením, i když jde o běžný materiál 11523 (s nízkým obsahem uhlíku) mají na svém povrchu (dělené ploše) poměrně tvrdou vrstvu. Hodnoty tvrdosti v některých případech překračují normou EN1090-2 povolenou hodnotu 380. Tvrdost má sestupnou tendenci ve směru tepelného dělení, přičemž tvrdost ve větší vzdálenosti od zdroje tepla výrazněji klesá. Tato tvrdá vrstva může velmi negativně ovlivnit průběh a kvalitu obrábění, především v životnosti nástrojů a řezných destiček.

10 VÝROBA ZÁVITŮ V PLOCHÁCH TEPELNÉHO DĚLENÍ

Dalším pokračováním experimentu je prověření a srovnání technologie výroby vnitřních závitů řezáním a tvářením právě do tvrdých ploch viz. kapitola 9. Porovnání jednotlivých závitových nástrojů, jejich životnosti a schopnosti spolehlivě fungovat v této tvrdé vrstvě na dodaných vzorcích. Porovnání opotřebení břitů řezacího a tvářecího závitníku na mikroskopu.

10.1 Charakteristika použitých závitových nástrojů

Pro daný experiment jsem použil nástroje, které se běžně používají firmou TES pro výrobu vnitřních závitů M8 ve zmíněných štítech. Budeme simulovat operaci závitování do pomocných vzorků, u kterých máme přesně změřenou tvrdost na povrchu pálené plochy.

10.1.1 Použité řezací závitníky M8

Firma Tes, používá standartní, univerzální strojní závitníky pro konstrukční oceli od firmy TGS nebo Dormer.

Obecně lze o těchto nástrojích říct, že jde o strojní závitníky vyrobené z vysoce kvalitní vanadové práškové oceli převážně legované kobaltem. (HSS-XS1, HSCo, HSS-PM) určené pro maximální tuhost a pevnost břitu, zajišťující vysokou odolnost vůči opotřebení a delší životnost nástroje. Závitník pro slepé otvory je opatřen spirálovými drážkami s úhlem šroubovice 45°. Profil se třemi břity s konstantním úhlem čela v drážce má speciální design poskytující optimální výkon a odvádění třísky při řezání závitu. Jsou určeny pro řezání závitů do hloubky 2,5 x průměr závitu. Použitím vhodné povrchové úpravy (povlaku) se výrazně zvýší produktivita, životnost a spolehlivost nástroje.

10.1.2 Použité tvářecí závitníky M8

Tvářecí nebo válcovací závitníky jsou nástroje, které daný závit neřezou, ale profil závitu je vytlačen do materiálu. Tato technologie výroby závitů je vhodná především do materiálů dobře tvářitelných za studena s minimální tažností 10%. Mezi největší výhody tváření závitů je to, že nevznikají třísky a tedy odpadá nebezpečí jejich vzpříčení v závitovém otvoru. Není porušen průběh vláken materiálu a tím je i zvýšená pevnost šroubového spojení. Při tváření je možné použít vyšší řezné rychlosti, ale je třeba počítat s větším kroučícím momentem.

Nevýhodou může být nutnost vyvrtání přesnějšího otvoru až v toleranci 0,05mm. Vzniká také vysoké tření, proto je nezbytné použít kvalitního a dostatečného mazání.

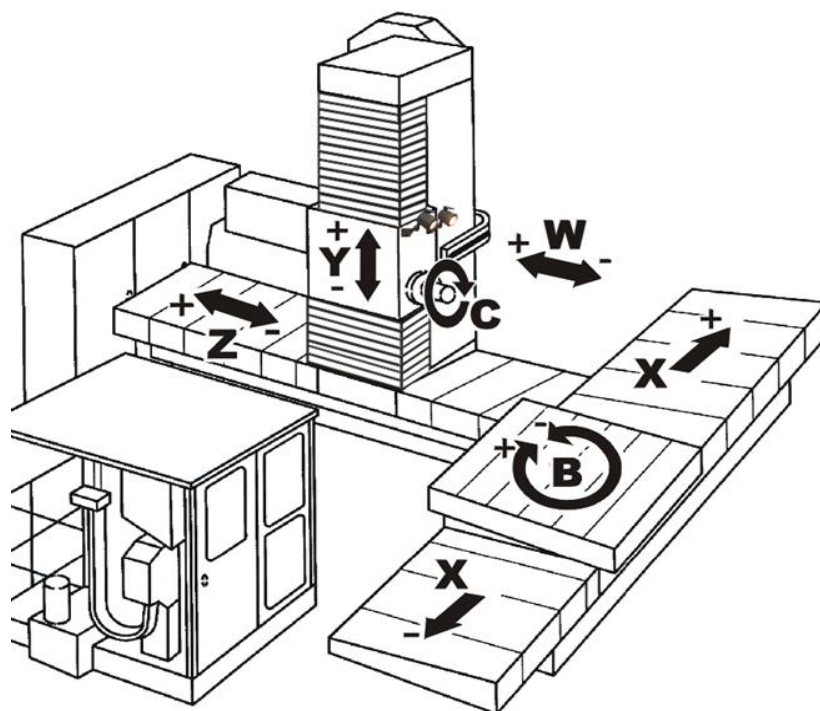
Tyto nástroje jsou stejně jako závitníky řezací nejčastěji vyrobeny z vysoce kvalitních nástrojových ocelí legovaných kobaltem, vanadem apod. (HSS-E, HSS-PM). Tvar závitníku má tvar mnohoúhelníku (polygonu). Někteří výrobci proto rozdělují tyto nástroje dle tvaru tohoto polygonu. (Standartní-Aktivní-Pasivní). Pro hlubší závity je lépe vybrat provedení s mazací podélnou drážkou, kvůli lepšímu přístupu maziva. Nejčastějším povlakem těchto nástrojů bývá povlak nitridem titanu TiN nebo TiCN. Tyto druhy povlaků mají dobré kluzné vlastnosti a účinně zvyšují odolnost nástroje proti abrazivnímu a adheznímu opotřebení.

10.2 Představení pracoviště WHQ 13 CNC

Stroj WHQ 13 CNC je univerzální horizontální stroj, určený pro přesné vrtání, vyvrtávání, řezání závitů a frézování, různých deskových, skříňovitých i tvarově složitějších výrobků a obrobků o rozměrech až 3500mm x 25000mm x 25000mm a hmotnosti až 13000 kg. Tento stroj je také možné doplnit celou škálou přídatných univerzálních technologických zařízení jako jsou výměnné paletové stoly, úhlové frézovací hlavy, zrychlovací hlavy, univerzální upínací pomůcky a další, které velmi výrazně rozšiřují technologické možnosti stroje. Stroj je vybaven nejnovějším řídicím systémem od firmy Heidenhain. Jde o řídicí systém s označením Heidenhain iTNC 530. Tento moderní řídicí systém umožňuje obsluhu stroje velmi zjednodušený a propracovaný systém programování pomocí obráběcích cyklů a Q-parametrů. Zaškolený operátor stroje je tak schopen si vytvářet jednodušší programy přímo na stroji a není tak odkázán na přítomnost programátora. Toto má své výhody především v kusové a malosériové výrobě.

Tab. 6. Základní technické parametry stroje WHQ 13 CNC

Základní parametry stroje WHQ 13	
Rozjezd v ose X	4000 mm
Rozjezd v ose Y	2500 mm
Rozjezd v ose Z	1500 mm
Vysunutí vřetena	700 mm
Rozměry stolu	2000mm x 2200mm
Nosnost stolu	13 tun
Maximální otáčky	1500 min ⁻¹
Vnitřní chlazení	NE
Automatická výměna	NE
Rychloposuv stroje	6000 mm.min ⁻¹



Obr. 38. Pracovní pohyby stroje WHQ 13 CNC

Pracovní pohyby stroje WHQ 13 CNC:

Pohyb v ose X -pojezd otočného stolu po příčném loži v ose

Pohyb v ose Y -pojezd vřeteníku po svislém stojanu osa

Pohyb v ose Z -pojezd stojanu po podélném loži osa

Pohyb v ose W -vysunutí vřetena

Pohyb v ose B -otáčení pracovního stolu o 360° a jeho přesné polohování

Pohyb v ose C -otáčky pracovního vřetena

10.3 Průběh experimentu

Pro zkoušení a porovnání obou metod závitování jsem zvolil následující postup.

Připravený vzorek (u něhož známe tvrdost povrchové plochy) byl upnut na pracovní stůl obráběcího stroje. Po vyvrtání otvorů, požadovaného průměru (u řezání Ø6,8 mm, u tváření Ø7,4 mm) do pálené plochy vzorku, byly otvory důkladně vyfoukány aby došlo k odstranění všech třísek a nečistot vzniklých při vrtání. Do takto připravených otvorů byly postupně řezány či tvářeny závity M8 do hl.20mm. Použity byly shodné řezné podmínky jako jsou nastaveny při výrobě štítů (u řezání $v_c=6$ m/min, u tváření $v_c=12$ m/min). Nástroje byly vždy upnuty do závitové hlavy s možností vyrovnání kroutícího momentu. Pro mazání závitů byl použit speciální řezný olej od firmy WURTH určený pro všechny způsoby obrábění zejména vhodný pro hluboké vrtání, řezání, tváření a honování. Zda jsou závity správně vyrobeny byly namátkově kontrolovány závitovým kalibrem a to jak dobrou tak i zmetkovou stranou. Vždy po určeném počtu vyrobených závitů byl pracovní cyklus řezání zastaven a závitový nástroj vizuálně zkontrolován. Za pomoci zvětšovacího skla bylo opticky posuzováno je-li daný nástroj poškozen a nakolik se toto poškození zvyšuje. Především u řezacích závitníků s rostoucím počtem otvorů bylo poškození viditelné již cca po 40-60 závitech. Pokud jsme dospěli k názoru, že závitník již není schopen dodržet bezpečnost a kvalitu výrobního procesu, byl výrobní proces zastaven. Pod mikroskopem pak bylo zjišťováno detailní poškození nástroje. Protože naměřená tvrdost jednotlivých kusů vzorků byla hodně podobná, rozhodl jsem se rozdíly zanedbat a dále nerozlišovat jednotlivé technologie tepelného dělení (plamen, laser, plazma). Proto při řezání závitů nebylo rozlišováno do kterého čísla

vzorku je daný závit vyroben. Důležité bylo zjištění, že všechny vzorky jsou mnohem tvrdší než tepelně neovlivněný materiál 11523.



Obr. 39. Řezání závitů do tepelně ovlivněného povrchu



Obr. 40. Tváření závitů do tepelně ovlivněného povrchu

Tab. 7. Srovnání a parametry testovaných závitníků

Specifikace	A. Řezací	B. Řezací	C. Tvářecí	D. Tvářecí
Norma	DIN 371	DIN 371	DIN 2174	DIN 2174
Druh závitu	Metrický	Metrický	Metrický	Metrický
Velikost závitu	M8	M8	M8	M8
Tvar	Šroubová drážka	Šroubová drážka	Mazací drážky	Mazací drážky
Strojní	Ano	Ano	Ano	Ano
Úhel šroubovice	45°	45°	Pasivní polygon	Pasivní polygon
Materiál nástroje	HSS-E-PM	HSSE	HSSE-PM	HSSE-PM
Tolerance	6H	6H	6H	6H
Pravořezný	Ano	Ano	Ano	Ano
Vybrušovaný	Ano	Ano	-	-
Povlak	Parní temperace	VS-ochrana	VS-ochrana	CrN
Výrobce	Dormer	TGS	TGS	TGS
Označení	EX016H	N362V-3	FPS381VS M8	FPS381CN-3 M8
Řezná rychlost	6 (m/min)	6 (m/min)	13 (m/min)	13 (m/min)
Otáčky	240 (min)	240 (min)	500 (min)	500 (min)
Posuv	300 (mm/min)	300 (mm/min)	625 (mm/min)	625 (mm/min)
Mazání	Würth (řezný olej)	Würth (řezný olej)	Würth (řezný olej)	Würth (řezný olej)
Cena nástroje	735,-	639,-	1425,-	1370,-

10.3.1 Opotřebení řezacích závitníků dle vizuální kontroly

U řezacích závitníků byla vždy po dvaceti zhotovených závitových otvorech provedena vizuální kontrola stavu nástroje.

Nástroj „A“ od firmy Dormer viz. tabulka č.6.

po 20 otvorech- bez známek opotřebení

po 40 otvorech- dochází k otěru povlaku, na břitech je patrné menší opotřebení

po 60 otvorech- narušen povlak, je patrné výraznější otupení břitů

po 80 otvorech- první zuby zcela bez povlaku, nalezen poškozený zub vylomením

po 85 otvorech- dochází k vylomení dalších zubů, závitník není způsobilý pro další práci

Nástroj „B“ od firmy TGS viz. tabulka č.6.

- po 20 otvorech- bez známek opotřebení
- po 40 otvorech- dochází k velmi mírnému otěru povlaku, bříty bez opotřebení
- po 60 otvorech- mírně narušen povlak, je patrné mírné otupení břitů
- po 80 otvorech- otupení břitů se o něco málo zvýšilo
- po 100 otvorech- vyšší otupení zejména prvních zubů
- po 120 otvorech- nalezen první poškozený zub vylomením
- po 140 otvorech- otupení břitů velmi výrazné, dva zuby vylomeny, nutno vyřadit

10.3.2 Opotřebení tvářecích závitníků dle vizuální kontroly

Vzhledem k předpokládané vyšší životnosti tvářecích závitníku byly zvoleny vizuální kontroly po dvojnásobném počtu vyrobených závitů než při řezání.

Nástroj „C“ od firmy TGS viz. tabulka č.6.

- po 40 otvorech- bez známek opotřebení
- po 80 otvorech- bez známek opotřebení
- po 120 otvorech- bez známek opotřebení
- po 160 otvorech- bez známek opotřebení
- po 200 otvorech- bez známek opotřebení
- po 240 otvorech- bez známek opotřebení
- po 280 otvorech - bez známek opotřebení
- po 320 otvorech- bez známek opotřebení
- po 360 otvorech- bez známek opotřebení
- po 400 otvorech- bez známek opotřebení
- po 440 otvorech- bez známek opotřebení

Nástroj „D“ od firmy TGS viz. tabulka č.6.

po 40 otvorech- bez známek opotřebení

po 80 otvorech- bez známek opotřebení

po 120 otvorech- bez známek opotřebení

po 160 otvorech- bez známek opotřebení

po 200 otvorech- bez známek opotřebení

po 240 otvorech- bez známek opotřebení

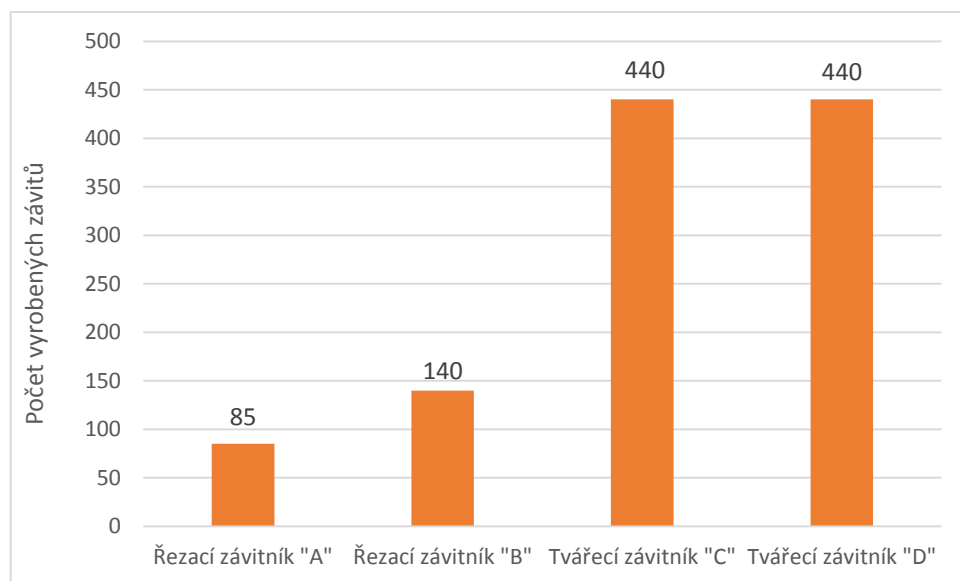
po 280 otvorech - bez známek opotřebení

po 320 otvorech- bez známek opotřebení

po 360 otvorech- bez známek opotřebení

po 400 otvorech- bez známek opotřebení

po 440 otvorech- bez známek opotřebení



Graf č. 5. Počty vyrobených otvorů

Z grafu č.5 je patrný velký rozdíl mezi počty zhotovených otvorů řezacími a tvářecími nástroji. U tvářecích nástrojů z ekonomických a kapacitních důvodů nebylo dosaženo maximálního možného počtu vyrobených závitů. Bylo vyrobeno „pouze“ 440 kusů závitů. Oba tvářecí nástroje přitom nenesou žádné viditelné známky opotřebení a je proto předpoklad, že jsou schopny vyrobit i přes 1000 kusů závitů.

10.3.3 Produktivita řezacích a tvářecích závitníků

Řezání závitů

Výpočet parametrů: otáčky $n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_c} = \frac{6 \cdot 1000}{\pi \cdot 8} = 238,7 \approx 240 \text{ min}^{-1}$ (16)

posuv za minutu $v_f = n \cdot P = 240 \cdot 1,25 = 300 \text{ mm/min}$

čas obrábění $t = l \div v_f \cdot 60 \cdot 2 = 35 \div 300 \cdot 60 \cdot 2 = 14 \text{ s}$

Pstoupání závitu

ldélka dráhy nástroje v mm

Při řezání závitů jsou nastaveny tyto řezné parametry. Čas pro vyřezání jednoho kusu závitu je 14 sekund.

Tváření závitů

Výpočet parametrů: otáčky $n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D_c} = \frac{13 \cdot 1000}{\pi \cdot 8} = 517,2 \approx 500 \text{ min}^{-1}$

posuv za minutu $v_f = n \cdot P = 500 \cdot 1,25 = 625 \text{ mm/min}$

čas obrábění $t = l \div v_f \cdot 60 \cdot 2 = 35 \div 625 \cdot 60 \cdot 2 = 6,72 \text{ s}$

Při tváření závitů jsou nastaveny tyto řezné parametry. Čas pro výrobu jednoho kusu závitu je 6,72 sekund.

Při tváření závitů jsme dosáhli více jak 50% produktivity a tedy i snížení výrobního času.

10.3.4 Porovnání cen řezacích a tvářecích závitníků

Nástroj „A“ -řezací od firmy Dormer viz. tabulka č.6. cena 735 Kč

$735 \text{ Kč} \div 85 \text{ závitů} = 8,64 \text{ Kč/závit}$

Nástroj „B“ -řezací od firmy TGS viz. tabulka č.6. cena 639 Kč

$639 \text{ Kč} \div 140 \text{ závitů} = 4,56 \text{ Kč/závit}$

Nástroj „C“ -tvářecí od firmy TGS viz. tabulka č.6. cena 1425 Kč

$1425 \text{ Kč} \div 440 \text{ závitů} = 3,23 \text{ Kč/závit}$

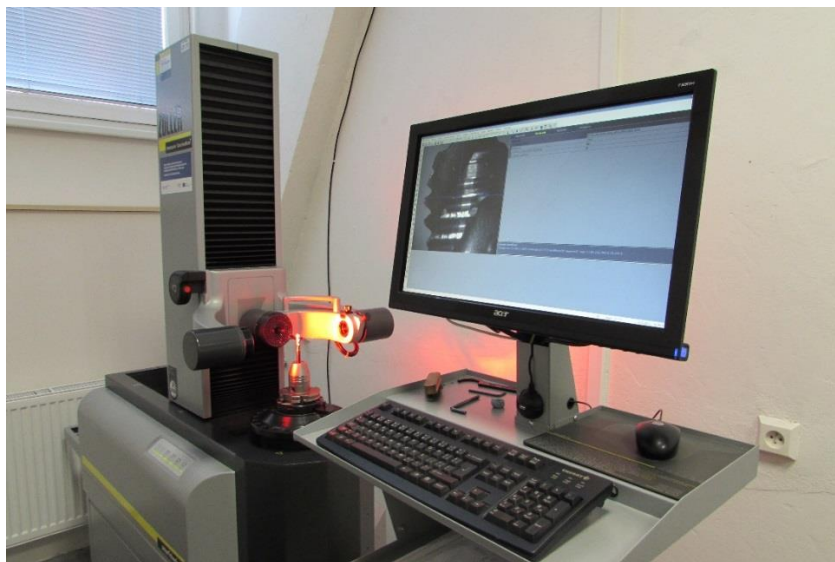
Nástroj „D“ –tvářecí od firmy TGS viz. tabulka č.6. cena 1370 Kč

$1370 \text{ Kč} \div 440 \text{ závitů} = 3,11 \text{ Kč/závit}$

Z hlediska pořizovací ceny jednotlivých nástrojů v porovnání s počtem vyrobených závitů zcela jasně dominuje technologie tváření závitů. Při této technologii vychází výroba jednoho kusu závitu maximálně na cca 3Kč. Vzhledem k zanedbatelnému opotřebení tvářecích nástrojů po 440 kusech otvorů lze předpokládat, že cena za výrobu jednoho závitu bude mnohem nižší až cca 1,3 Kč za závit.

10.4 Měření opotřebení břitu pod mikroskopem

Pro měření a kontrolu opotřebení břitu jsem zvolil měřicí a seřizovací přístroj Zoller venturion 650. Ten slouží k seřizování a měření nástrojů. Měřit lze jejich průměr, délku, tvar, obvodové házení apod. Nám posloužil jako mikroskop. Bylo použito 35 násobného zvětšení.



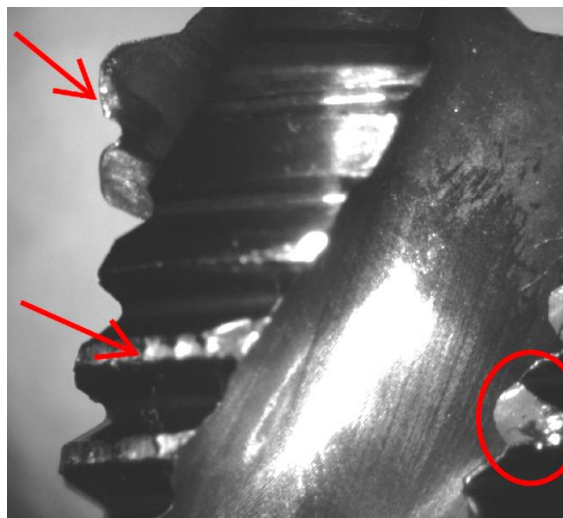
Obr. 41. Měření opotřebení závitníku

Tab. 8. Specifikace měřicího přístroje Zoller venturion 650

Specifikace	Zoller venturion 60060
Měřicí přístroj LxBxH	2500x1030x1920mm
Hmotnost přístroje	400 kg
Hmotnost ovl. pultu	50 kg
Váha vzorku	300 kg
Typ držáku nástrojů	ISO 50, ISO 40
Max. hmotnost nástroje	50 kg

Po zvětšení tímto přístrojem bylo jasně vidět poškození řezacích závitníků již po relativně malém množství závitů. Naopak u závitníků tvářecích nebylo patrné poškození žádné ani po mnohem více zhotovených otvorech.

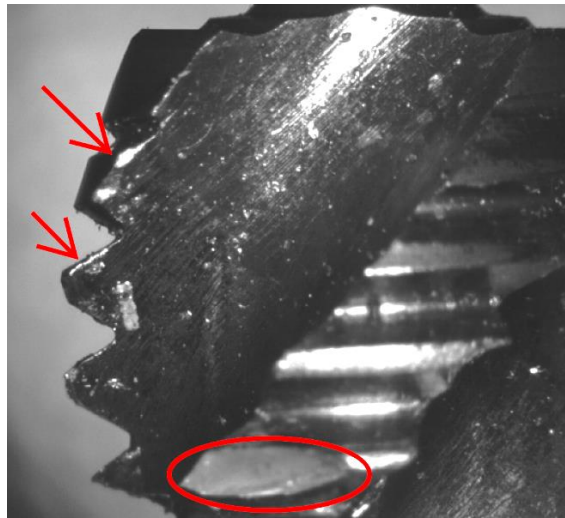
Nástroj „A“ od firmy Dormer viz. tabulka č.6.



Obr. 42. Opotřebení závitníku „A“

Nástroj „A“ a jeho poškození po 85 otvorech. Je zřejmé, že zuby jsou vylámany, bříty na-prosto otupeny. Tento nástroj již nemůže dál zůstat v řezu, operace musí být přerušena a nástroj vyměněn.

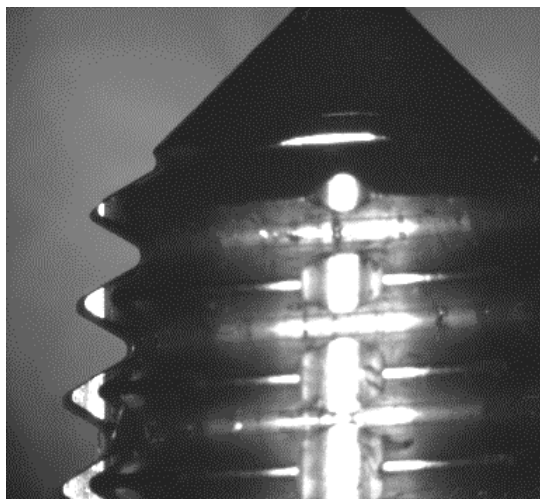
Nástroj „B“ od firmy TGS viz. tabulka č.6.



Obr. 43. Opotřebení závitníku „B“

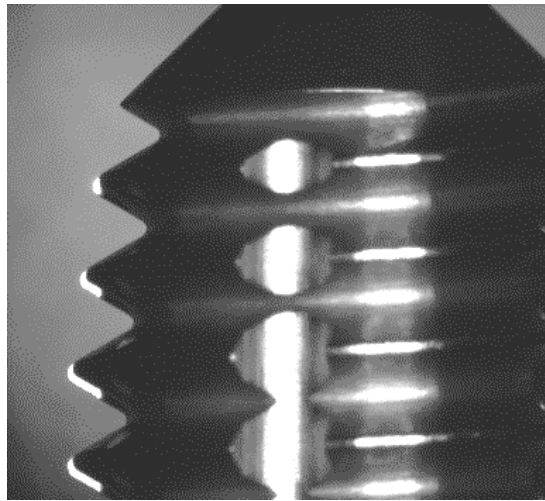
Pro nástroj označený jako „B“ je patrné podobné poškození jako u předchozího nástroje. Po 140 vyřezaných závitech musí být operace zastavena a nástroj vyměněn.

Nástroj „C“ od firmy TGS viz. tabulka č.6.



Obr. 44. Tvářecí závitník „C“ bez známek opotřebení

Nástroj „D“ od firmy TGS viz. tabulka č.6.



Obr. 45. Tvářecí závitník „D“ bez známek opotřebení

Na obou tvářecích závitnících nejsou ani po 440 zhotovených závitech žádné viditelné známky opotřebení. Jsou tedy schopny zůstat v řezu i nadále.

10.4.1 Shrnutí řezacích a tvářecích závitníků

Při sledované výrobě závitů a následném měření opotřebení použitých nástrojů bylo zjištěno, že tvrdost ploch ovlivněných tepelným dělením má vysoce negativní vliv na technologii řezání závitů. Již po poměrně malém množství vyrobených otvorů jsou řezací závitníky velmi rychle otupeny. Dochází i k vylamování řezných břitů a to má za následek nepříliš efektivní výrobu s vysokou spotřebou nástrojů. Celý proces pak nelze považovat za zcela bezpečný, ale za velmi rizikový.

Při výrobě závitů tvářením je celá operace zcela bezpečná a plynulá. Nástroje nejeví žádné známky opotřebení ani po několikanásobném počtu vyrobených otvorů. Tvářecí závitníky jsou schopny práce při vyšší řezné rychlosti a to až o 50% , a tím velmi výrazně zvyšují produktivitu a snižují náklady na výrobu.

10.5 Měření tvaru řezaného a tvářeného závitu pod mikroskopem

Pro ověření správnosti rozměrů vyrobených vnitřních závitů M8 byly vzorky se závity rozřezány. Pomocí měřicího přístroje Zoller byl změřen jmenovitý průměr závitu, malý průměr závitu a stoupání závitu.

Rozměry závitu M8 dle tabulek

Stoupání $P=1,25$ mm

Velký průměr závitu $D = 8$ mm

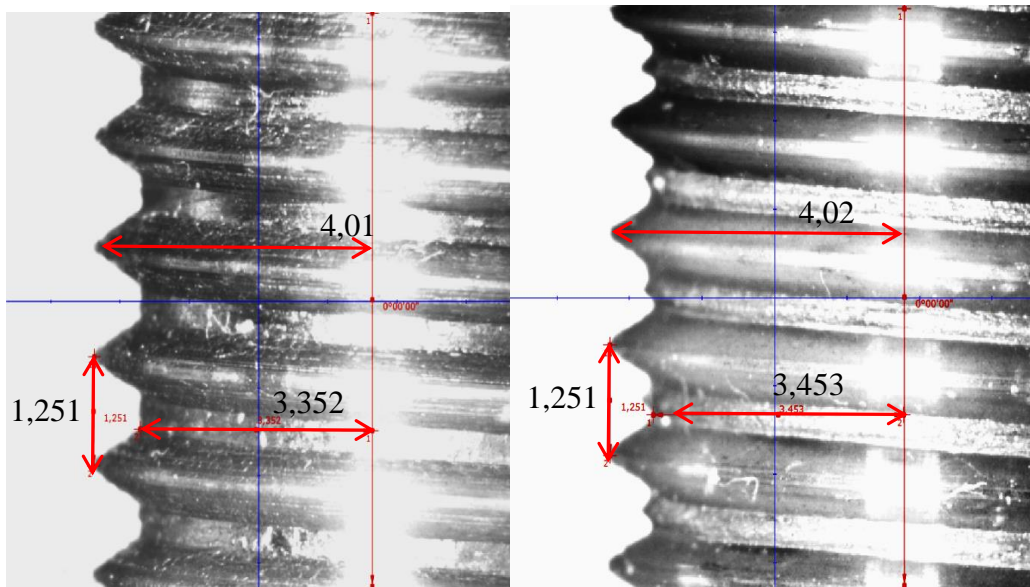
Malý průměr závitu $D_1 \text{ min} = 6,647$ mm

$D_1 \text{ max} = 6,912$ mm

Naměřené rozměry závitu M8

Řezaný závit: $D=8\text{mm}$, $P=1,251$ mm; $D_1=6,704$ mm

Tvářený závit: $D=8\text{mm}$, $P=1,251$ mm; $D_1=6,906$ mm



Obr. 46. Porovnání závitu vyrobeného řezáním a tvářením

Na obou obrázcích jsou červeně znázorněny a zakótovány naměřené hodnoty pro stoupání závitu, jmenovitý a malý průměr závitu. U obou typů závitů byly naměřeny shodné hodnoty pro stoupání $P=1,25$ mm a poloměr závitu 4,01mm. Rozměry malého průměru vnitřního závitu byly sice naměřeny s menší odchylkou, ale hodnoty obou měření se shodují s

předepsanou tolerancí závitu M8. Oba typy závitů byly také kontrolovány závitovým kalibrem.

Lze tedy prohlásit, že námi vyrobené závity jak tvářecí tak i řezací technologií, vyhovují předepsané normě, jsou plně funkční a v požadované kvalitě zákazníka.

Při detailním pohledu je patrný rozdíl mezi tvářeným a řezaným závitem v jeho tvaru. U řezaného vidíme krásně ostrý a pravidelný profil, kdežto u závitu tvářeného můžeme pozorovat lehce nepravidelný a ne zcela ostrý profil s výstupky mezi chody jednotlivých závitů, které jsou tolik typické pro technologii tváření.

10.6 Měření tvrdosti řezaného a tvářeného závitu

Pro zjištění a možnost porovnání tvrdosti přímo na profilu tvářeného a řezaného závitu byla použita zkouška mikrotvrdomi dle Vickerse.

10.6.1 Měřicí přístroj Micro-Combi-Tester

Pro měření mikrotvrdomi na vzorcích řezaného a tvářeného závitu byl použit měřicí přístroj Micro-Combi-Tester od firmy CSM Instruments. Tento speciální měřicí přístroj slouží k měření nanotvrdomi, mikrotvrdomi, elastických vtiskových modulů, creepu a deformační práce. Přístroj má široký rozsah měření, a to od minimální hodnoty 10mN až do svého maxima 30 N. Po dokončení měření je přístroj schopen vyhodnotit tyto hodnoty:

E_{IT} – vtiskový modul [Gpa]

J_{IT} – vtisková tvrdost [Mpa]

C_{IT} – creep

HV_{IT} – Vickersva tvrdost



Obr. 47. Měřicí přístroj Micro-Combi-Tester

10.6.2 Průběh a podmínky měření

Při měření tvrdosti závitů byla použita zkouška tvrdosti podle Vickerse za těchto podmínek:

zatížení 0,5 N

zatěžující rychlost 1 N/min

výdrž na zatížení 10 s

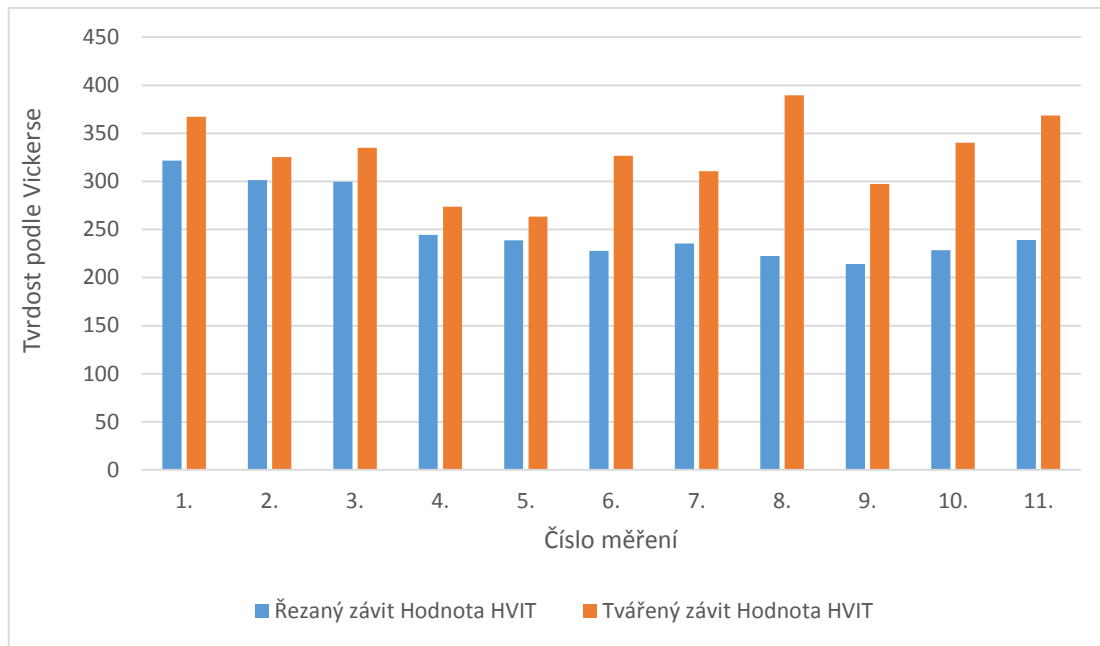
Na každém z obou rozřezaných vzorcích závitu bylo provedeno 11 měření tvrdosti. Měření probíhalo vždy od plochy tepelně ovlivněné směrem do hloubky materiálu. Měřilo se vždy na vnitřním profilu závitu vyrobeného buď technologií tváření nebo řezáním. Výsledky tvrdosti tvářeného a řezaného závitu byly navzájem porovnány.

Tab. 9. Naměřené hodnoty tvrdosti profilu obou typů závitů

Číslo měření	Řezaný závit	Tvářený závit
	Hodnota HVIT	Hodnota HVIT
1.	321,81	367,15
2.	301,47	325,43
3.	299,84	334,91
4.	244,42	273,63
5.	238,69	263,51
6.	227,78	326,62
7.	235,56	310,61
8.	222,46	389,49
9.	214,17	297,28
10.	228,28	340,18
11.	239,1	368,73
Průměrná tvrdost	252,14	327,04

Z tabulky č.9 je patrné, že u závitu M8 vyrobeného technologií řezání, je tvrdost na profilu závitu vyšší u tepelně ovlivněné plochy. Směrem do hloubky materiálu se pomalu tvrdost snižuje. Uprostřed a na konci závitu (měření 5-11) je již tvrdost poměrně v nízkém rozptylu a je také výrazně nižší.

U závitu vyrobeného technologií válcování (tváření) je patrná výrazně vyšší tvrdost než u závitu řezaného. Hodnoty naměřené tvrdosti jsou rozptýleny poměrně stejnoměrně v celé délce závitu.



Graf č. 6. Tvrdość řezaného a tvářeného závitu

V grafu č.6 je graficky vyjádřeno porovnání tvrdosti profilů obou typů závitů. Námí vyrobený závit technologií řezání má v průměru až o 23% menší tvrdost než závity vyrobené technologií tváření. Obecně je také známo, že při technologii tváření závitů nedochází k porušování vnitřních vláken, zatímco při řezání jsou tyto vlákna narušena, či zcela přerušena. Díky tomu pak tvářené závity mají vyšší pevnost, která je udávána až kolem 20%. To se potvrdilo z našeho měření na základě naměřené tvrdosti.

ZÁVĚR

Cílem této diplomové práce bylo nalézt vhodnější a úspornější řešení pro výrobu vnitřních závitů M8 do tvrdých ploch vzniklých tepelným dělením materiálu 11523. Toto řešení pak aplikovat pro hromadnou výrobu součásti pro energetický průmysl nazvanou Štít a případně pro celou výrobu závitů v Tes.

V první fázi experimentu byly z materiálu 11523 naděleny čtyři vzorky. Dva z nich byly naděleny plamenem a po jednom vždy laserem a plazmou. Po nutné úpravě povrchu byla na vzorcích provedena Vickersova zkouška tvrdosti a to na plochách ovlivněných tepelným dělením materiálu. Měření probíhalo na plochách vzorku ve směru řezu (od nejvyššího tepelného ovlivnění k nižšímu). Bylo zjištěno, že takto tepelně ovlivněný materiál 11523 má až dvojnásobně vyšší tvrdost na povrchu než stejný materiál 11523 bez tepelného ovlivnění. V další fázi mé diplomové práce byla řešena výroba závitů M8, právě do tepelně ovlivněných ploch vzorků. Dle původní technologie byly nejprve závity řezány pomocí řezacích závitníků. Po předem určeném množství vyrobených závitů byly nástroje vizuálně kontrolovány a byla posuzována míra jejich poškození. Po konci jejich životnosti byly spočteny vyrobené závity.

Nově navrženou technologií výroby vnitřních závitů je jejich tváření. Zkouška probíhala podobně jako u nástrojů řezacích, jen byl zvýšen počet vyrobených otvorů pro vizuální kontrolu nástrojů. Zatímco na řezacích nástrojích bylo patrné vysoké opotřebení, poté i nutnost jejich úplné výměny za nové již po relativně malém množství otvorů (85-140), u tvářecích nástrojů nebylo shledáno žádné viditelné opotřebení ani po 440 kusech vyrobených otvorů. To vše bylo také vyhodnoceno pod mikroskopem. Pod mikroskopem značky Zoller bylo také provedeno kontrolní měření vyrobených závitů řezáním a tvářením. Měřeny byly rozměry a tvar vyrobených závitů. Tvar i požadované rozměry vyhovují normě a požadované kvalitě.

V dalším kroku byla změřena tvrdost jednotlivých závitů na jejich vnitřním profilu. Zde se ukázalo, že závity vyrobené řezáním mají v průměru až o 23% nižší tvrdost HV10 na svém profilu než závity tvářené a tedy i nižší pevnost. Hranice pevnosti až 20% mezi závitem vyrobeným tvářením a řezáním je také udávána odbornou literaturou, což se nám také potvrdilo.

Lze tedy říct, že technologie řezání závitů není příliš vhodná pro povrchy a plochy vzniklé tepelným dělením, zatímco technologie tváření funguje velmi dobře a lze předpokládat až

několikanásobný počet vyrobených závitů. Bohužel z časových a kapacitních důvodů jsem se nedostal na konečné číslo životnosti tvářecích závitníků. Každým s obou nástrojů bylo vyrobeno „jen“ 440 otvorů, ale bez známek jakéhokoliv opotřebení a poškození nástrojů. Lze tedy předpokládat, že počet závitů vyrobených tvářením může být i přes 1000 kusů.

Cena výroby jednoho závitu **řezáním** z hlediska ceny nástroje - **8,64 Kč**

Cena výroby jednoho závitu **tvářením** z hlediska ceny nástroje - **3,11 Kč**

Protože tvářecí závitníky jsou schopné snést vyšší řeznou rychlost než závitníky řezací, dochází při nové technologii tvářením také ke zvýšení produktivity a to o více jak 50%.

Čas výroby jednoho závitu **řezáním** - **14 s**

Čas výroby jednoho závitu **tvářením** - **6,7 s**

Navrhované řešení pro výrobu závitů do pálených ploch a povrchů je změna technologie řezání závitů na technologii tvářením závitů. I když pořizovací cena tvářecích závitníků je vyšší, tak vzhledem k jejich několikanásobné životnosti, plynulosti a bezpečnosti celé operace se to vyplatí. Dojde také k výraznému nárůstu produktivity a to až o 50%.

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LUKOVICS, Imrich. *Konstrukční materiály a technologie*. Brno: VUT Brno, 1992. 273 s. ISBN 80-214-0399-3
- [2] PŘÍKRYL, Zdeněk, MUSILOVÁ Rosa. *Teorie obrábění*. 1. vyd.: Nakladatelství ČVUT Praha, 227 s. ISBN 401-872
- [3] KAŠTÁNEK, OTAKAR. *Strojírenské materiály a technologie*. Brno: VUT Brno, 308 s. ISBN 55-567-80
- [4] BUDA J, SOUČEK J, VASILKO K. *Teória obrábania*. SNTL Praha, 342s. ISBN 063-564-88
- [5] JURKO Josef, LUKOVICS Immrich. *Obrábatel'nosť materialov*. Vydavateľství UTB Zlín, 144 s. ISBN 978-80-718-736-1
- [6] MORÁVEK Rudolf. *Nekonvenční metody obrábění*. Vydavatelství Západočeská univerzita Plzeň, 102 s. ISBN 80-7082-518-9
- [7] MÁDL, J. aj. *Technologie obrábění 1*. 1. vyd. : Nakladatelství ČVUT , Praha, 80 s.
- [8] MÁDL, J. aj. *Technologie obrábění 3*. 1. vyd. : Nakladatelství ČVUT , Praha, 2005. 121 s. ISBN 81-968605-1-8
- [9] FISCHER Ulrich a kol. *Základy strojnictví*. Vydavatelství Praha 2004, 291 s. ISBN 80-86706-09-5
- [10] GARANT, *Příručka obrábění*. 2. vyd. : Praha 2011 844 s. ISBN 3-00-016882-6
- [11] SANDVIK C. *Technická příručka obrábění*. Vytiskla firma Elanders Švédsko, SE-811 81 Sandviken. 285 s.
- [12] KOČMAN Karel. *Technologické procesy obrábění*. Vydavatelství CERM Brno, ISBN 978-80-7204-722-2,
- [13] PRAMET. *Příručka obrábění*. 1. vydání 2004, 100 s.
- [14] HUMÁR Anton. *Technologie I – Technologie obrábění*.
- [15] Teorie závitů [online] [cit. 2014-11-12]. Dostupný z WWW: <http://www.tumlikovo.cz/teorie-zavitu/>
- [16] EMUGE- *Werkzeugkatalog*. 745s.

- [17] Výroba vnitřních závitů tvářením [online] [cit. 2014-10-12].
Dostupný z WWW:<http://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-vnitrnich-zavitu-tvarenim.html>
- [18] VYSLOUŽIL Z. ZELKO J. *Meranie v strojarstve*. 1. vyd. SVTL Bratislava 720 s. ISBN 63-103-62
- [19] Nástroje pro obrábění [online]. [cit. 2014-12-15]. Dostupné z WWW:
<http://www.sandvik.coromant.com/es-es/products>
- [20] JURKO Josef, LUKOVICS Imrich. *Vrtání- technol. metoda výroby dier*. 1. vyd. Bratislava: ISBN 978-80-7318-488-9
- [21] NĚMEC Dobroslav. *Základy výrobních technologií*. Vydání 3. Zlín 2004: UTB Zlín, 214 s. ISBN 978-80-7318-737-8
- [22] PTÁČEK, L. *Nauka o materiálu II*. 2. opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM Brno, 2002. 392 s. ISBN 80-7204-248-3
- [23] MACHEK, V. *Kovové materiály II*. 1. vyd. nakladatelství ČVUT Praha, 2014. 140 s.
- [24] MACHEK, V. *Kovové materiály III*. 1. vyd. nakladatelství ČVUT Praha, 2015. 134 s.
- [25] MACHEK, V. *Kovové materiály I*. 1. vyd. nakladatelství ČVUT Praha, 2013. 170 s.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

V_c	řezná rychlost [m/min]
V_f	posunová rychlost [m/min]
V_e	rychlost řezného pohybu [m/min]
P_{fe}	pracovní boční rovina
φ	úhel posunového pohybu [°]
η	úhel řezného pohybu [°]
F_c	řezná síla [N]
F_f	posuvová síla [N]
F_p	pasivní síla [N]
z	počet břitů nástroje
n	otáčky [min^{-1}]
d	průměr otvoru [mm]
D	průměr nástroje [mm]
a_p	průřez třísky [mm]
L	dráha [mm]
f	posuv [mm]
t_h	čas vrtání [min]
Md	kroucí moment
k_c	specifická řezná síla [N]
V_f	posunová rychlost [mm/min]
fz	posuv na zub [mm]
u^2	průměrná hodnota úhlopříčky [mm]
HV	tvrdost podle Vickerse
F	zatěžující síla [N]
P	rozteč závitu [mm]
α	stoupání závitu [mm]
R	objemový součinitel třísek
Q_{sp}	objem neuspoř. objemu třísek [mm^3/min]
Q_w	objem odděleného materiálu [mm^3/min]

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1. Schématické znázornění tvorby třísky	14
Obr. 2. Tři typy třísek	15
Obr. 3. Tvorba nárůstků při obrábění	17
Obr. 4 Příčiny opotřebení při obrábění	18
Obr. 5. Vrtání šroubovým vrtákem-kinematika procesu	20
Obr. 6. Průřez odřezávané vrstvy pro vrtání do plna spirálovitým vrtákem	22
Obr. 7. Řezné síly při vrtání	23
Obr. 8. Maticový závit	25
Obr. 9. Šroubový závit.....	25
Obr. 10. Druhy a značení dnešních normovaných závitů	28
Obr. 11. Tvary šroubovic řezných závitníků	30
Obr. 12. Technologie Rigid tapping- závitování „na tvrdo“	32
Obr. 13. Technologie závitování s vyrovnáním krouticího momentu	33
Obr. 14. Vzniklé studené svary na zubech řezacích závitníků	34
Obr. 15. Technologie tváření závitů	35
Obr. 16. Profily tvářených závitů.....	36
Obr. 17. Tvar tvářecího závitníku	38
Obr. 18. Soustružení závitů	39
Obr. 19. Nástroje pro frézování závitů	40
Obr. 20. Příklad programu pro frézování vnitřního závitů M48x5 cirkulární frézou pro systém HEIDENHAIN iTNC 530.....	41
Obr. 21. Profil závitů pro šroub i matici	41
Obr. 22. Mezní závitové kroužky	42
Obr.23. Třmenový závitový kalibr	43
Obr. 24. Mikrometr s vyměnitelnými dotyky pro měření vnějších závitů	43
Obr. 25. Způsob měření středního průměru závitů přes drátky	45
Obr. 26. Způsob měření závitů mikroskopem	45
Obr. 27. Mezní závitové trn	46
Obr. 28. Princip zkoušky podle Brinella.....	48
Obr. 29. Princip zkoušky podle Vickerse	49
Obr. 30. Princip zkoušky podle Rockwella	50
Obr. 31. Nákres vyráběného štítu	61

Obr. 32. Schéma vyráběného závitu	62
Obr. 33. Dělení vzorků na pásové pile.....	65
Obr. 34. Leštění vzorků před měřením tvrdosti.....	65
Obr. 35. Přístroj Q250 v kontrolním středisku	67
Obr. 36. Náčrty vzorku a body jednotlivých měření	68
Obr. 37. Fotografie vtisku při měření tvrdosti na přístroji Q250.....	68
Obr. 38. Pracovní pohyby stroje WHQ 13 CNC	75
Obr. 39. Řezání závitů do tepelně ovlivněného povrchu	77
Obr. 40. Tváření závitů do tepelně ovlivněného povrchu.....	77
Obr. 41. Měření opotřebení závitníku.....	82
Obr. 42. Opotřebení závitníku „A“	83
Obr. 43. Opotřebení závitníku „B“	84
Obr. 44. Tvářecí závitník „C“ bez známek opotřebení.....	84
Obr. 45. Tvářecí závitník „D“ bez známek opotřebení.....	85
Obr. 46. Porovnání závitu vyrobeného řezáním a tvářením	86
Obr. 47. Měřicí přístroj Micro-Combi-Tester.....	88

SEZNAM TABULEK

Tab. 1. Základní tvary třísek.....	16
Tab. 2. Značení mat. 11523 v zahraničních normách.....	63
Tab. 3. Chemické složení mat. 11523.....	63
Tab. 4. Parametry tvrdoměru Q250 MS	67
Tab. 5. Výsledky měření tvrdosti HV10.....	69
Tab. 6. Základní technické parametry stroje WHQ 13 CNC.....	75
Tab. 7. Srovnání a parametry testovaných závitníků.....	78
Tab. 8. Specifikace měřicího přístroje Zoller venturion 650.....	83
Tab. 9. Naměřené hodnoty tvrdosti profilu obou typů závitů.....	89

SEZNAM GRAFŮ

Graf č. 1. Porovnání tvrdosti všech vzorků	69
Graf č. 2. Porovnání tvrdosti v horní části vzorků.....	70
Graf č. 3. Porovnání tvrdosti ve střední části vzorků.....	71
Graf č. 4. Porovnání tvrdosti v dolní části vzorků	71
Graf č. 5. Počty vyrobených otvorů	80
Graf č. 6. Tvrdost řezaného a tvářeného závitu	90

SEZNAM VZORCŮ

(1) Objemový součinitel třísek.....	16
(2) Taylorův vztah.....	19
(3) Výpočet řezné rychlosti.....	21
(4) Posuv na otáčku.....	21
(5) Rychlost posuvu.....	21
(6) Posuv na zub.....	21
(7) Průřez třísky.....	22
(8) Posuv na zub.....	22
(9) Průřez odřezávané vrstvy.....	22
(10) Řežná síla pro vrtání.....	23
(11) Výpočet kroutícího momentu.....	24
(12) Výpočet času obrábění.....	24
(13) Výpočet průřezu drátku pro měření závitů.....	44
(14) Rozměr míry přes drátky.....	44
(15) Tvrdost dle Vickerse.....	66
(16) Výpočet otáček.....	81

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha PI – Atest dodaného materiálu 11523

Příloha PII – Část protokolu z měření tvrdosti na přístroji Micro-Combi-Tester

ПРІЛОГА P I: АТЕСТ ДОДАНОГО МАТЕРІАЛУ 11523

15/1967

УКРАИНА
UKRAINE



П А О "АЛЧЕВСКИЙ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЙ КОМБИНАТ"
PJSC "ALCHEVSK IRON & STEEL WORKS"

94202 г. Алчевск, ул. Шмидта, 4
тел.: (06442) 7-34-25 7-33-20 7-33-82
факс: (06442) 7-33-76

94202, Ukraine, Alchevsk, Schmidt str. 4,
Tel: (06442) 7-34-25 7-33-20 7-33-82
Fax: (06442) 7-33-76

ЗАВОДСКОЙ СЕРТИФИКАТ КАЧЕСТВА №
MILL'S QUALITY CERTIFICATE №

71152



TÜV Rheinland Group

Дата
Date 19.11.2014

8035
8035-CPD-A194

ISO 9001:2000
№75 100 85044

Свидетельство о приемных испытаниях
Inspection certificate

Лист из листов
Sheet 1 of 1 sheets

EN 10204/3.1

Контракт № Contract №	AMK/DUF-A	Заводской заказ № Manufacturer's production order №	4496
--------------------------	-----------	--	------

Applicant: STEELCOM CZ, a. s. Tynska 1053/21, 110 00 Praha, Czech Republic

Получатель: Стиилком ЦЗ, а.с. Тунска 1053/21, 110 00 Прага, Чешская Республика

Вагон №
RW-car № 66039702

LOT 1

Наименование товара: Description of goods:		Горячекатаный стальной лист с обрезными кромками Hot rolled steel plates with sheared edges		Стандарт: Standard:				
Марка стали Grade of steel		S355J2+N		EN 10025-2:2004 ADE000W1 EN 10029-2010, class A, N EN 10163-2004 part 2, class A, subclass 1				
Состояние поставки: Delivery condition:		нормализующая прокатка normalizing rolling						
№ позиц. Item	Номера плавки Cast №	Номера партий Test №	Размеры, мм Dimensions, mm			Количество товара, шт/мест Quantity/pcs	Теоретический вес, тн Theoretical weight, tn	
			Толщина Thickness	Ширина Width	Длина Length			
53	14K23676	58042	50	2000	6000	3	14.130	
50	14K23667	58040	40	2500	8000	1	6.280	
49	14K23666	58041	40	2000	10000	4	25.120	
31	14K14499	20916	16	2000	6000	1	1.507	
31	14K23597	21223	16	2000	6000	1	1.507	
32	14K23615	21226	16	2000	12000	1	3.014	
29	14K23615	21225	15	2000	12000	1	2.826	
Total quantity (pcs):			12			Total theoretical weight (tn)		54.364

Выплавка : конвертерный способ производства
 Steelmaking process : basic oxygen steel making

Заводской сертификат качества №
 Mill's quality certificate №

71152

Номер плавки Cast No	Химический состав, % Chemical composition, %								Al	N	V	Mo	Ti	As	Nb	CE
	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu								
	X 100		X 1000			X 100										
14K14499	18	138	39	4	25	3.4	1.3	2	30	4.2	21.1	2.5	2.7	2	11.5	42
14K23587	17	150	35	4	11	1.7	1.5	2.3	39	5.2	4.5	3	4.5	3	17.4	43
14K23615	17	138	38	9	11	2.1	0.8	1	35	7.5	21.9	2.2	2.2	2	12.3	41
14K23676	16	137	37	7	10	1	0.9	1.1	24	5.9	3.6	2.1	2	2	11.4	39
14K23686	17	136	40	8	12	1.6	0.8	1	28	7.4	5	2.2	2.2	2	10.9	40
14K23687	18	138	40	9	15	1.5	0.8	0.8	31	8.9	3.8	2	2.2	2	11.6	42

Плашки, прошедшие через вакууматор 14K23587; Плашки, обработанные Ca: 14K14499, 14K23587, 14K23615, 14K23676, 14K23686, 14K23687

РЕЗУЛЬТАТЫ ИСПЫТАНИЙ TEST RESULTS

№ партии test №	Испытание на растяжение и ударный изгиб Tensile and impact test										Изгиб Bend					
	Размеры образца Dim. of specimen		Отбор образца Specimen			Температура испытания Test	Предел теку- чности Yield point	Предел прочности Tensile strength	Относ. удли- нение Elonga- tion	Суже- ние Reduc- tion of area Z					1=(J)	Энергия удара KU Energy Absorption
	толщи- на thick- ness, mm	шири- на width, mm	Место, Loca- tion	Нап- равле- ние Direc- tion	Поло- жение Posi- tion	Tem- pera- ture C°	Reh MPa	Rm, MPa	Lo=5.65xFO %	Reduc- tion of area Z %	4=(J)	Значения Values		3	Значения Values	
	Ø											1	2	3	Zn	
58042	Ø 10	10		T		+20	439	589	29.0		4	76	82	78	79	
58040	Ø 10	10		T		+20	411	549	28.0		4	73	76	79	76	
58041	Ø 10	10		T		+20	422	558	30.0		4	64	66	63	65	
20916	16	25		T		+20	407	556	28.0		4	59	62	64	62	
21223	16	25		T		+20	426	567	25.5		4	72	77	72	74	
21226	16	25		T		+20	426	573	25.0		4	75	72	92	80	
21225	15	25		T		+20	432	576	25.5		4	77	60	82	80	

Маркировка: сделано в Украине, № заказа, марка стали, размеры, № плавки, № партии, Czechia, 78249, тип, знак комбинации, Заводской идентификационный номер (№ ID)

Marking: made in Ukraine, order №, grade of steel, dimensions, cast №, test №, Czechia, 78249, mark of the works, Plant identification number (№ ID)

Клеймо: № плавки, марка стали, тип, знак комбинации, К, клеймо, Заводской идентификационный номер (№ ID)

Hard stamp: cast №, grade of steel, mark of the works, K, stamp, Plant identification number (№ ID)

Цветная маркировка: одна серая полоса по торцам листа

Color marking: one grey stripe on transversal edges of the plate

Подпись
Signature



Штамп эксперта
Expert's stamp



PŘÍLOHA P II: ČÁST PROTOKOLU Z MĚŘENÍ TVRDOSTI NA PŘÍSTROJI MICRO-COMBI-TESTER

Indentation # 1

Indentation

+ Standard

+ Standard

Acquisition Rate : 10,0 [Hz]
Linear Loading
Max load : 500,00 mN
Loading rate : 1000,00 mN/min
Unloading rate : 1000,00 mN/min
Pause : 10,0 s

+ MHTX S/N: 01-04253 settings

Fn contact : 15 mN
Approach speed : 5000 nm/min
Retract speed : 5000 nm/min
Retract Time : 3 sec
Dz sensor in standard range
Load in fine range

X Position : 68,64 mm
Y Position : 29,34 mm

Date : 22.4.2015
Time : 11:29:59

Analysis n # 1

Method : Oliver & Pharr

+ Parameters

Unload Fit [40%,98%]

+ Main results

HIT= 2533,2 MPa
EIT= 235,9 GPa
Er= 211,43 GPa
E*= 259,24 GPa
CIT= 1,52 %
RIT= -0,16 %

+ Hypothesis

Poisson's ratio(ν)= 0,30

+ Additional results

HVIT= 239,1 Vickers
Fmax= 499,47 mN
hmax= 2898,07 nm
S= 3,3902 mN/nm
hc= 2790,96 nm
hr= 2750,74 nm
hp= 2577,95 nm
m= 2,17
Epsilon= 0,73
Ap= 197166544,25 nm²
Welast= 49178,70 pJ
Wplast= 480527,32 pJ
Wtotal= 529706,02 pJ
nIT= 9,28 %

Indentation # 4

Indentation parameters

+ Standard
Acquisition Rate : 10,0 [Hz]
Linear Loading
Max load : 500,00 mN
Loading rate : 1000,00 mN/min
Unloading rate : 1000,00 mN/min
Pause : 10,0 s

+ MHTX S/N: 01-04253 settings
Fn contact : 15 mN

Approach speed : 5000 nm/min
Retract speed : 5000 nm/min
Retract Time : 3 sec
Dz sensor in standard range
Load in fine range

X Position : 68,64 mm
Y Position : 33,09 mm

Date : 22.4.2015
Hour : 11:48:27

Indenters

Type : Vickers
Serial number : V-H 69 18012011
Material : Diamond

Curves

