



# VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

## FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

## ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA ZÁVITŮ ZÁVITNÍKY

PRODUCTION OF THREADS WITH TAPS

### BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

### AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Martin Juránek

### VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2021

# Zadaní bakalářské práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie  
Student: **Martin Juránek**  
Studijní program: Strojírenství  
Studijní obor: Strojírenská technologie  
Vedoucí práce: **prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.**  
Akademický rok: 2020/21

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

## **Výroba závitů závitníky**

### **Stručná charakteristika problematiky úkolu:**

Práce se zabývá výrobou pomocí řezných závitníků, obsahuje analýzu geometrie a mikrogeometrie řezného nástroje, měření řezných momentů, analýzu účinků povlaků a procesních kapalin.

### **Cíle bakalářské práce:**

Po teoretickém rozboru technologie výroby závitů a experimentálních pracích budou vyhodnoceny dosažené technologické a ekonomické parametry, s rozбором dosažené kvality a další optimalizace výroby.

### **Seznam doporučené literatury:**

FROMENTIN, G., POULACHON, A. MOISAN, B. JULIEN, J. GIESSLERAGAPIOU, J. S. Precision and surface integrity of threads obtained by form tapping. CIRP Annals - Manufacturing Technology, Volume 54, Issue 1, 2005. 519-522.

AGAPIOU, J. S. Evaluation of the effect of high speed machining on tapping, Journal of Manufacturing Science & Engineering Technology, ASME, 1994. 116:457-462.

IVANOV, V., KIROV, V. Rolling of internal threads: Part 1, Journal of Materials Processing Technology, 72, 1996. 214-220.

CHOWDHARY, S., KAPOOR, S. G., DEVOR, R. E. Modeling forces including elastic recovery for internal thread forming, Journal of Manufacturing Science & Engineering, ASME, 125, 2003. pp. 681-688.

CHANDRA, R., DAS, S. C. Forming taps and their influence on production, Journal of India Engineering, 55, 1975. 244-249.

FROMENTIN, G., POULACHON, G., MOISAN, A. Thread forming tapping of alloyed steel, ICME Proceedings, Naples, Italy, 2002. 115-118.

FROMENTIN, G., POULACON, G., MOISAN, A. Metalurgical aspects in cold forming tapping, NCMR Proceedings, Leeds, UK, 2002. 373-377.

HENDERER, W. E., von TURKOVICH, B. F. Theory of the cold forming tap, Annals of the CIRP, 23, 1974. 51-52.

DVOŘÁK, M., PROKOP, J. Technologické aspekty válcování závitů. In. FORM. 2006 Brno. Proceedings of the 8th Intern. Conference Forming Technology, Tools and Machines. 1st ed. Brno, Brno University of Technology Department of Metal Forming and Trade Fairs Brno, September 19-20, 2006. Vol. 1. p 2/1-2/6. ISBN 80-214-3231-4.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2020/21

V Brně, dne

L. S.

---

doc. Ing. Petr Blecha, Ph.D.  
ředitel ústavu

---

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



## **ABSTRAKT**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou výroby závitů závitníky. V úvodu práce jsou stručně popsány využití závitů ve strojírenství, geometrie závitu a základní typy závitů. Dále práce pokračuje popisem používaných metod výroby závitů a kontrolou funkčnosti závitů. Práce se rovněž zabývá popisem druhů závitníků, nástrojových materiálů a popisem tří nejpoužívanějších druhů povlaků u závitníků. V experimentální části se řeší otázka, zda silnější vrstva povlaku TiN vede k prodloužení životnosti nástroje. V experimentu byly použity dva typy závitníků. Jeden typ závitníků měl tloušťku povlaku 3-4  $\mu\text{m}$  a druhý měl tloušťku povlaku 5-6  $\mu\text{m}$ . V experimentu byl měřen řezný moment v závislosti na čase. Naměřená data byla zpracována a následně bylo vyhodnoceno, zda silnější vrstva povlaku vedla ke snížení opotřebení břitu nástroje a ke zvýšení životnosti nástroje.

### **Klíčová slova**

závit, závitník, výroba závitů, povlak

## **ABSTRACT**

This Bachelor thesis deals with the issue of production threads with taps. The introduction of the work briefly describes the use of thread in machine-building, thread geometry and basic types of threads. The work goes on to describe the methods tapping and thread control function. The work also deals with the description of types of taps, tool materials and the description of the three most used types of coating in taps. The experimental part addresses the question of whether the thicker layer of the TiN coat leads to an extension of the tool life. Two types of taps were used in the experiment. One type of taps had a coating thickness of 3-4  $\mu\text{m}$  and the other had coating thickness of 5-6  $\mu\text{m}$ . The experiment included measuring of time-dependent torque. The measured data were processed and subsequently evaluated whether the thicker coating layer resulted in reduced tool wear and increased tool life.

### **Key words**

thread, tap, production of threads, coat

**BIBLIOGRAFICKÁ CITACE**

JURÁNEK, Martin. *Výroba závitů závitníky* [online]. Brno, 2021 [cit. 2021-05-18].  
Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/129538>. Bakalářská práce.  
Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské  
technologie. Vedoucí práce Miroslav Píška.

**PROHLÁŠENÍ**

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma Výroba závitů závitníky vypracoval/la samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....  
Datum.....  
Martin Juránek

**PODĚKOVÁNÍ**

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



**OBSAH**

ABSTRAKT .....	3
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ .....	6
OBSAH.....	7
ÚVOD .....	8
1 Geometrie závitů.....	9
1.1 Druhy závitů .....	9
1.2 Přesnost závitů .....	13
2 Výroba závitů.....	14
2.1 Řezání závitů.....	14
2.3 Výroba vnitřních závitů .....	15
2.4 Výroba závitů soustružením .....	16
2.5 Výroba závitů frézováním .....	17
2.5 Výroba závitů broušením.....	17
2.6 Tváření vnitřních závitů.....	18
3 Měření a kontrola závitů .....	18
3.1 Kontrola stoupání závitů .....	19
3.2 Kontrola vnitřních závitů .....	20
4 Typy závitníků .....	21
4.1 Typy řezného kužele závitníku .....	24
4.2 Materiály závitníků .....	25
4.3 Povlakování .....	26
5 Opatření břitů nástroje .....	27
6 Praktická část .....	27
ZÁVĚR .....	31
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ .....	32
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK .....	34
SEZNAM PŘÍLOH.....	35

## ÚVOD

Závity mají nezastupitelnou roli ve všech oblastech strojírenství. Závity nejčastěji nacházejí uplatnění jako rozebíratelný spoj se silovým stykem, čehož se dosahuje utažením šroubu, nebo jako pohybový závit umožňující pohyb jedné součásti vůči druhé. Šroubové spoje se rovněž používají k nastavení a k zajištění vzájemné polohy a v neposlední řadě k měření (mikrometrický šroub). Největší výhodou šroubového spoje je jeho rozebíratelnost umožňující snadnou montáž a demontáž, aniž by došlo k trvalému poškození spoje a spojovaných součástí. Šroubový spoj se skládá nejčastěji z matice, šroubu a popřípadě i z podložky. Matice může ve spoji nahradit jedna ze spojovaných součástí. K dispozici existuje nepřeberné množství normalizovaných druhů závitů, což umožňuje snadnou nahraditelnost [1; 2].

Závity se dělí na vnější a vnitřní podle toho, zda je závit vytvořen na šroubu nebo na matici. V opravárenství se závity řežou hlavně ručně. Většinou se však obrábějí soustružením, frézováním. Přesné závit se brousí nebo lapují. Jak vnitřní, tak i vnější závity se rovněž vyrábějí tvářením. U tvářených závitů se dosahuje vysoké kvality i dobrých mechanických vlastností. Přesné závity se ovšem musejí obrábět. Správná volba technologie výroby závitů výrazně ovlivňuje přesnost, jakost i funkčnost závitu [1; 2].

Závit vzniká navinutím závitového profilu šroubovitě na válcový dřík nebo tvářením. Vzhledem ke smyslu stoupání šroubovice dělíme závity na levochodé a pravochoché, popřípadě podle počtu chodů na jednochodé a vícechodé [1; 2].

## 1 GEOMETRIE ZÁVITU

Závit vzniká navinutím závitového profilu šroubovitě na válcový dřík nebo tvářením. Závit je v podstatě trojúhelník, přičemž vodorovná odvěsna má délku rovnou obvodu středního průměru závitů. Svislá odvěsna je rovna stoupání šroubovice. Vzhledem ke smyslu stoupání šroubovice dělíme závitů na levochodé a pravochoché, popřípadě podle počtu chodů na jednochodé a vícechodé. Levochodé závitů se označují písmeny LH za označením rozměru závitů. U jednochodého závitů je rozteč rovna stoupání závitů. Vícechodý závit je vytvořen navinutím většího množství závitových profilů. Díky velké účinnosti se vícechodé závitů používají u pohybových a hnacích šroubů pro přenášení velkých sil. Vícechodé závitů mají oproti jednochodým závitům větší stoupání, čímž se snižují účinky pasivních odporů [1; 2].



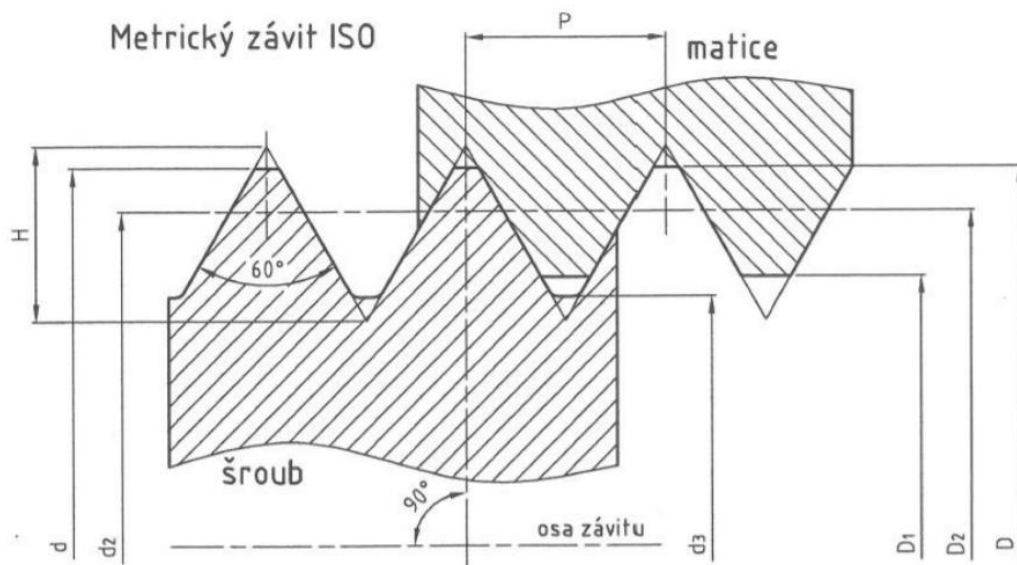
Obr. 1 Jednochodé a vícechodé závitů [2].

### 1.1 Druhy závitů

Závitů patří mezi normalizované prvky. Závitů se liší tvarem závitového profilu vytvořeným v matici nebo na šroubu [1].

#### Metrický závit

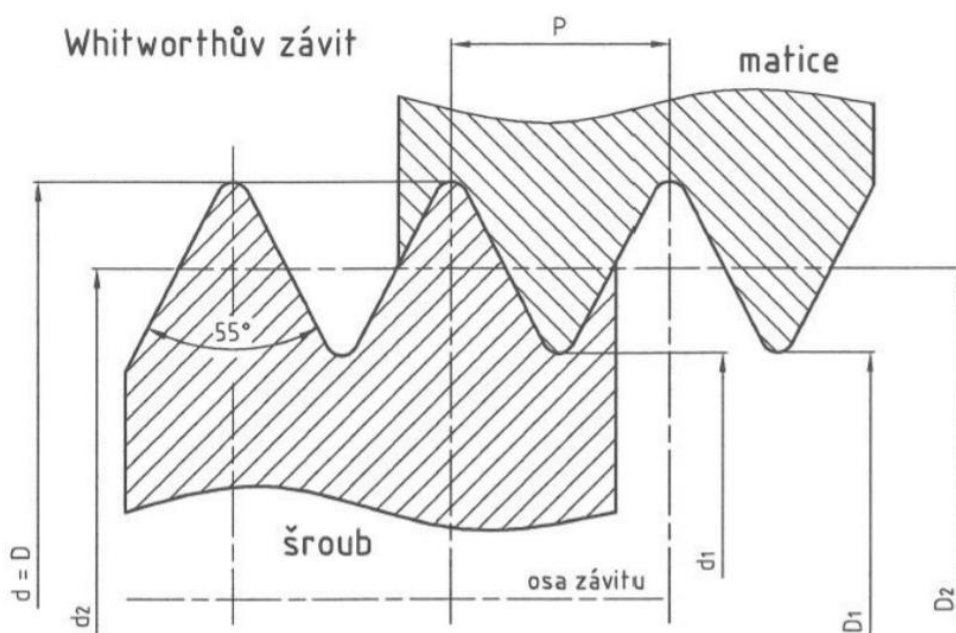
Jedná se o závitů s vrcholovým úhlem  $60^\circ$ . Metrické závitů jsou obvykle s hrubou roztečí, s jemnou roztečí nebo metrické závitů pro jemnou mechaniku. Závitů s hrubou roztečí se používají pro běžná spojení mezi šroubem a maticí. Obvykle se značí velkým písmenem M a velkým průměrem závitů hned za písmenem. Závitů s jemnou roztečí se využívají pro spojení s požadovanou větší samosvorností a u závitů ve slitinách lehkých kovů. Značí se velkým průměrem závitů a roztečí např. M20x1. Metrické závitů pro jemnou mechaniku a optiku se používají v případě, že běžné metrické závitů nemohou vyhovět funkčním a konstrukčním požadavkům. Stejně jako závitů s jemnou roztečí se značí velkým průměrem závitů a roztečí např. M25x0,5 [3, 2].



Obr. 2 Schéma metrického závitu [2]

### Whitworthův závit

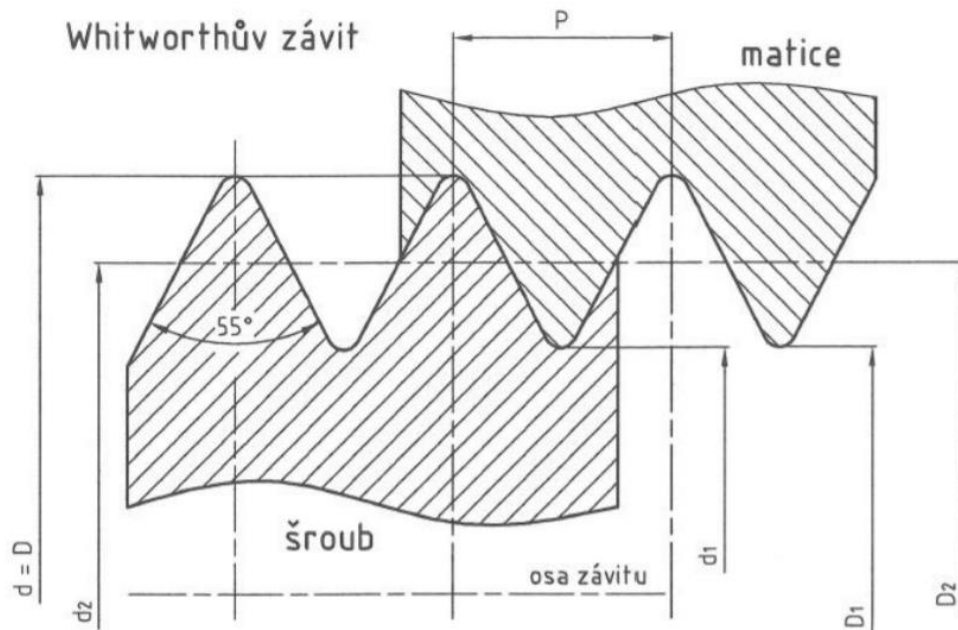
Profil whitworthova závitu má stejně jako metrický závit tvar rovnoramenného trojúhelníku, ovšem s tím rozdílem, že vrcholový úhle je  $55^\circ$ . Vrcholy trojúhelníku jsou otupené, a proto jsou udávány v palcích ( $1''=25,4$  mm). Na výkresech je označován podle průměru např.  $W 1/2''$ . U nových konstrukcí se whitworthův závit nepoužívá. Uplatňuje se při opravách starých strojů a zařízení [4].



Obr. 3 Schéma whitworthova závitu [2]

### Trubkový závit

Trubkový závit je jemný whitworthův závit. Na rozdíl od jiných závitů se neoznačuje podle velkého průměru závitu, ale podle světlosti trubek, která se udává v palcích. Kuželový závit má kuželovitost 1:16. Používá se ke spojování trubek, aby se tenká stěna trubky v místě závitu příliš neztenčila [5, 4].

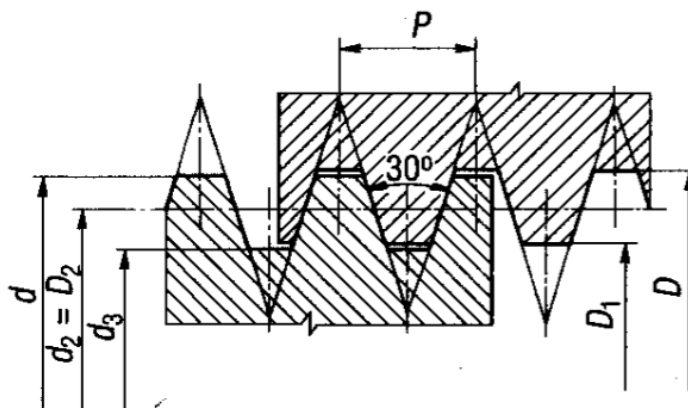


Obr. 4 Schéma trubkového závitu [2]

### Lichoběžníkový závit rovnoramenný

Používá se většinou pro pohybové šrouby jednochodé i vícechodé, jednochodé se používají také u spojovacích šroubů velkých průměrů a při šroubovém spojení tyčí. Značí se velkým průměrem závitu a roztečí např. Tr 20x4 [6].

## Lichoběžníkový rovnoramenný

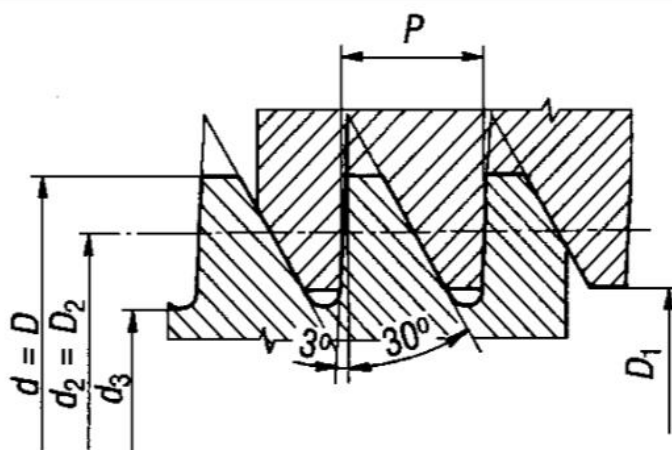


Obr. 5 Schéma lichoběžníkového rovnoramenného závitu [7].

### **Lichoběžníkový závit nerovnoramenný**

Lichoběžníkový závit nerovnoramenný je vhodný pro velmi namáhané pohybové šrouby, u kterých osová síla působí v jednom směru. Jelikož opěrná plocha závitu je téměř kolmá k ose závitu, má menší ztráty třením. V důsledku většího poloměru zaoblení dna závitu má i větší pevnost než závit rovnoramenný. Vrcholový úhel je  $33^\circ$ , tj. úhel boku  $\alpha_1=3^\circ$  a druhý úhel boku je  $\alpha_2=30^\circ$ . Značí se rovněž velkým průměrem závitu a roztečí např. S 20x4 [6].

## Lichoběžníkový nerovnoramenný

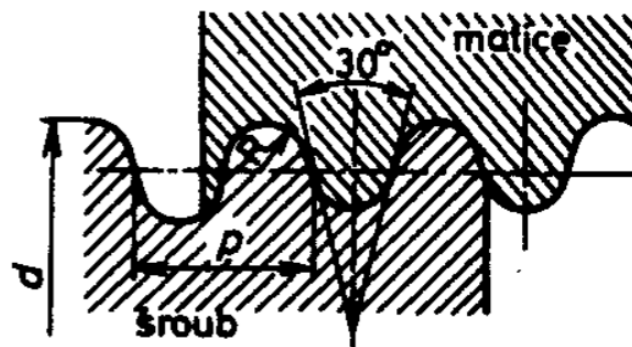


Obr. 6 Schéma lichoběžníkového nerovnoramenného závitu [7].

### **Oblý závit**

Je necitlivý vůči rázům a nečistotě. Používá se zejména pro šrouby ze šedé litiny, z oceli tehdy, jde-li o rázové zatížení (spráhla pro spojování železničních vozů). Stoupání se udává počtem závitů na 1“, velký průměr závitu se uvádí v mm např. R<sub>d</sub> 40 [6].

## Oblý závit



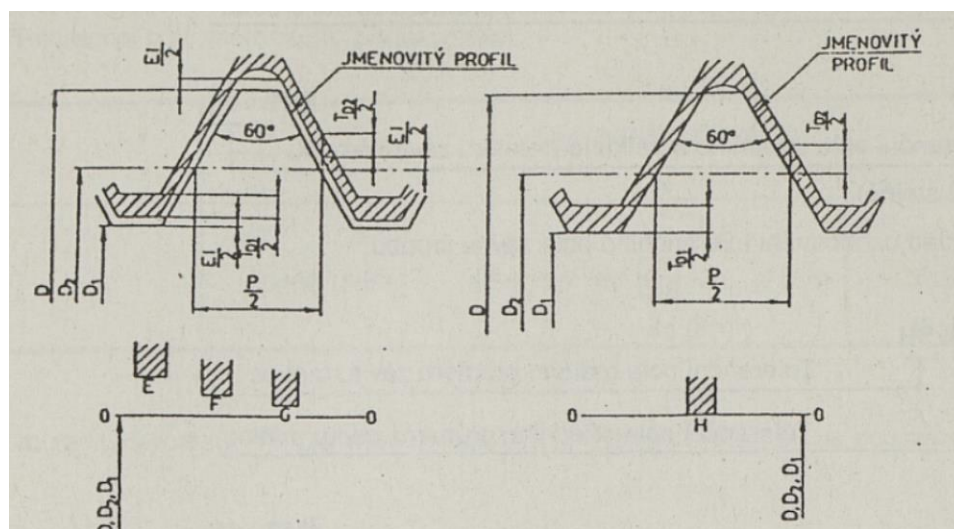
Obr. 6 Schéma oblého závitu [7].

### 1.2 Přesnost závitů

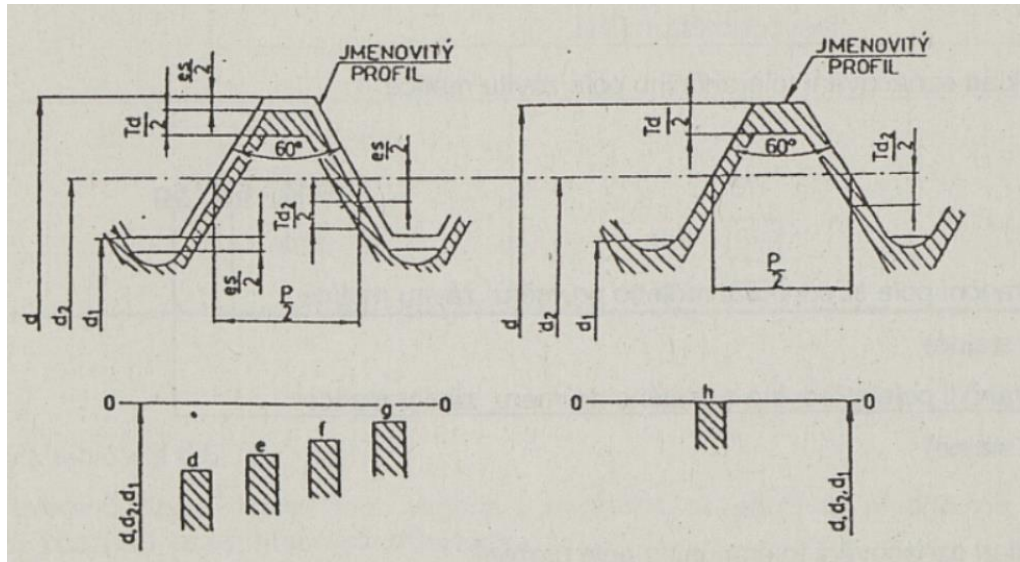
Pokud se kladou zvláštní požadavky na přesnost rozměrů závitů u šroubů a matic, pak se musí jejich závity lícovat. U lícovaného závitu se toleruje jeho střední, velký a malý průměr závitu, k nimž se vztahuje mezní úchylky [6].

Poloha tolerančního pole profilu metrického závitu je dána polohou základní úchylky vzhledem k jmenovitému profilu [3]:

- u šroubu –  $d$ , velký průměr závitu šroubu ( $d$ ,  $e$ ,  $f$ ,  $g$ ,  $h$ )  
 $d_2$ , střední průměr závitu šroubu ( $d$ ,  $e$ ,  $f$ ,  $g$ ,  $h$ )
- u matic –  $D_2$ , střední průměr závitu matice ( $E$ ,  $F$ ,  $G$ ,  $H$ )  
 $D_1$ , malého průměru závitu matice ( $E$ ,  $F$ ,  $G$ ,  $H$ )



Obr. 7 Poloha tolerančních polí matice [3].



Obr. 8 Polohy tolerančních polí šroubu [3].

## 2 VÝROBA ZÁVITŮ

Závity představují významné konstrukčně – technologické prvky strojírenských součástí. Závity se řezou závitníky, závitovými čelistmi a závitovými hlavami. Obrábějí se soustružením nebo frézováním, přesné závity se brousí, případně lapují. Závity se rovněž zhotovují tvářením. Závitovými čelistmi lze řezat závity metrické (standardní, jemné, trapézové), unifikované hrubé i jemné závity, whitworthovy závity, kuželové a válcové závity i další typy závitů [8].

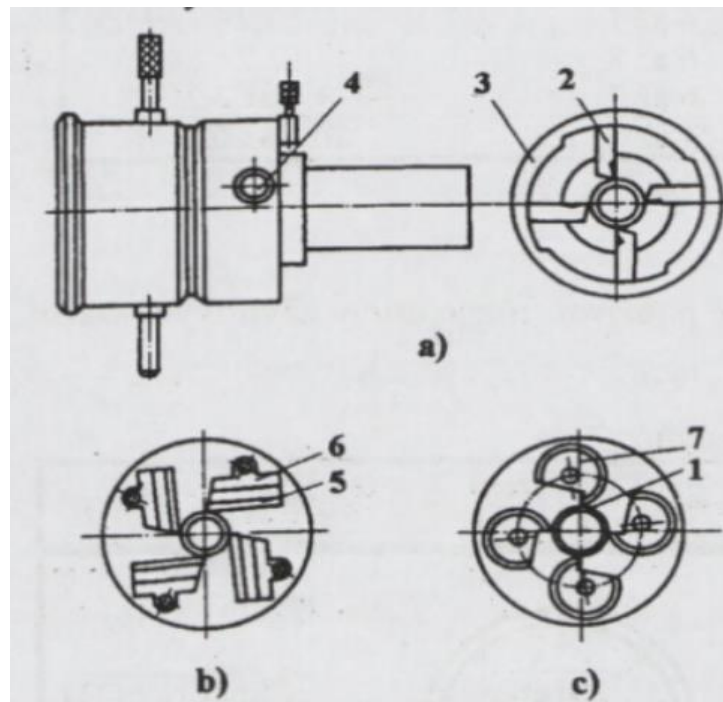
### 2.1 Řezání závitů

Pro strojní i ruční výrobu se používají různé druhy závitových čelistí. Při řezání závitů se závitové čelisti otáčejí kolem osy (hlavní pohyb) a v souladu se stoupáním řezaného závitu (vedlejší pohyb) automaticky posouvají ve směru osy. Postupným odebráním třísky je pak vytvořen závit předepsaného profilu a rozměru [8].

Kruhové závitové čelisti se vyrábějí pro pravý i levý závit, mají řezný kužel na obou čelních plochách a jsou vhodné i pro řezání závitů na soustruzích. Používají se s výhodou pro ruční řezání menších průměrů závitů, od průměru závitu 30 mm je vhodné závit předřezat na soustruhu a čelisti použít na dořezání [8].

Pro strojní řezání závitů na soustruzích se využívá strojních automatových závitových čelistí s řezným kuželem na jedné straně. Čelisti se vyrábějí z nástrojové legované rychlořezné oceli (19 802, 19 830) x tvrdostí řezné části 680 až 828 HV. Vysoce produktivním způsobem se závity řezou na soustruzích pomocí automatických závitových hlav s radiálními čelistmi, nebo tangenciálními, případně kotoučovými noži [9].





Obr. 9 Automatické závitové hlavy [9]. a) s radiálními čelistmi, b) s tangenciálními noži, c) s kotoučovými noži.

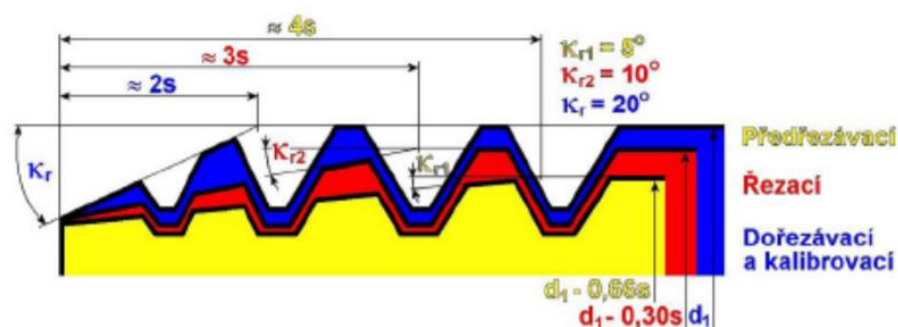
U automatických závitových hlav se radiální čelisti ustavují na požadovaný průměr stavěcími šrouby a natáčecí objímkou podle kalibru nebo vzorového šroubu [9].

U automatických závitových hlav s tangenciálními noži se dosahuje větší přestavitelnosti nožů, které jsou uloženy ve výkyvném držáku. Používají se do velikosti závitu M64 [9].

### 2.3 Výroba vnitřních závitů

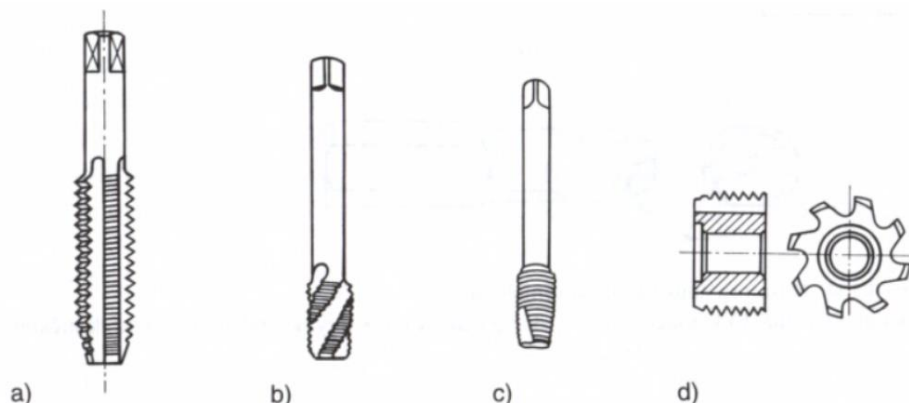
Vnitřní závity lze zhotovit řezáním závitníky, soustružením, frézováním, broušením nebo tvářením [10].

Závitník vznikne, když jsou na šroubu vytvořeny břity několika drážkami a řezný kužel. Drážky mohou být buď přímé, nebo ve šroubovici. Drážky umožňují lepší odvod třísek z místa řezu. Geometrie závitníků je dána tvarem drážek a tvarem řezného kuželu. Závitníky se nejčastěji ostří talířovými broušícími kotouči [10].



Obr. 10 Profil ručních sadových závitníků [8].

Při ruční výrobě závitů se nejčastěji používá sada tří závitníků. První, popř. druhý konkrétní závit předřeže, poslední jej kalibruje. Pro strojní výrobu se obvykle používá jeden závitník s kratším řezným kuželem a přímými nebo šroubovitými drážkami. Vyšší krouticí moment není na závalu a produktivita výroby je značně vysoká. Závitníky s přímou drážkou se používají nejčastěji. U delších závitů je nutné zajistit dobrý odvod třísek a je vhodnější použít závitník se šroubovitou drážkou [10].



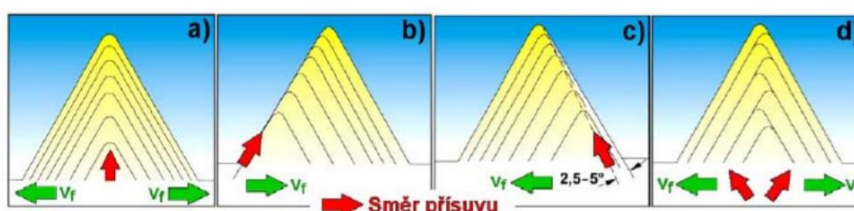
Obr. 11 Strojní závitníky [10]. a) s přímou drážkou, b) se šroubovitou drážkou, c) neprůběžné

## 2.4 Výroba závitů soustružením

Závity se řezou na univerzálních, revolverových, poloautomatických, automatických a různých speciálních soustružnických strojích. Při řezání závitu na soustruhu se nůž musí posunout přesně o stoupání závitu na jednu otáčku [9].

Pro soustružení vnějších závitů se používají speciální závitové nože, jejichž profil je odvozen od profilu daného závitu. Nůž bývá celistvý, s pájeným břitem nebo s vyměnitelnou břitovou destičkou. Starší typy nožů mohou být jednodřívové nebo hřebínkové [8].

Při řezání se nejčastěji využívá radiální přísuv, kdy dochází k rovnoměrnému úběru obráběného materiálu na obou bocích profilu závitu. Tento způsob je vhodný pro výrobu závitů s menším stoupáním. Přísuv je prováděn kolmo k ose rotace. Boční přísuv snižuje tepelné zatížení špičky a tím i opotřebení nástroje. Tento způsob řezání závitů se používá pro řezání závitů s větším stoupáním, a hlavně u trapézových závitů. Boční přísuv pomáhá snižovat tření na boku profilu. Použitím střídavého přísuvu se rozloží úběr materiálu a opotřebení. Používá se u velkých stoupání a u materiálů se špatnou tvorbou třísky [8].



Obr. 12 Způsoby postupného soustružení závitu [8].

## 2.5 Výroba závitů frézováním

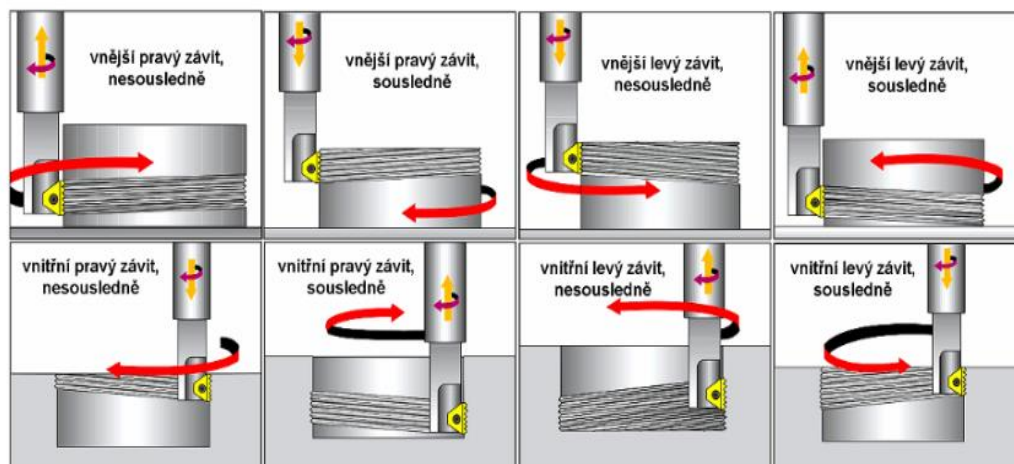
Pro frézování závitů se používají tyto druhy frézovacích nástrojů [8]:

- kotoučové závitové frézy,
- hřebenové válcové závitové frézy,
- stopkové závitové frézy.

Závitové kotoučové frézy jsou jednodílné nástroje, které se používají pro frézování dlouhých vnějších závitů. Fréza je vyrobena ve tvaru závitové mezery a je skloněna pod úhlem stoupání závitu. Fréza se za jednu otáčku posune o stoupání závitu [8; 9].

Hřebenové válcové závitové frézy jsou vyráběny jako nástrčné nebo stopkové. Jejich válcová plocha je tvořena závitovým profilem, přerušeným přínými nebo šroubovitými drážkami. Vyřezání závitu je provedeno na 1,25 až 1,5 otáčky obrobku, nástroje o malém průměru lze využít i pro výrobu vnitřních závitů [8, 9].

Stopkové závitové frézy s vyměnitelnými břitovými destičkami umožňují velmi produktivním způsobem frézovat pravotočivé i levotočivé závit. Nástroj koná planetový rotační pohyb a současně se relativně posouvá vzhledem k ose obrobku [8].



Obr. 13 Možné technologie výroby závitů z VBD [8].

## 2.5 Výroba závitů broušením

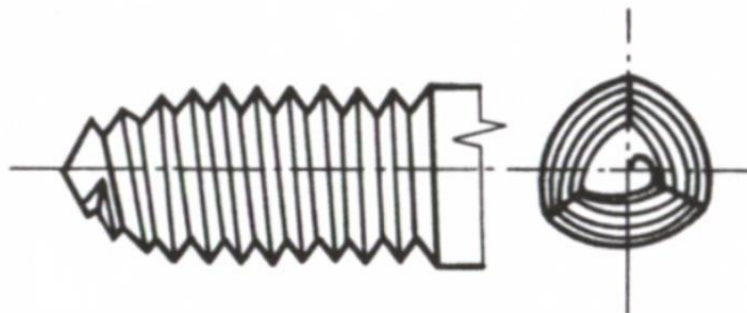
Broušení závitů se využívá při výrobě přesných šroubů, u kterých je kladen důraz na drsnost, profil a stoupání závitu. Závit se brousí na speciálních závitových bruskách jednodílným nebo hřebenovým kotoučem [8, 9, 10].

Jednodílný brousicí kotouč je při broušení vykloněn o úhel stoupání závitu, nastaven na plnou hloubku závitu a otáčí se řeznou rychlostí. Obrobek se otáčí a posouvá v axiálním směru o délku stoupání závitu na jednu otáčku obrobku. Tímto způsobem se brousí závit nejvyšší přesností, ale je dosaženo malé produktivity [8, 9, 10].

Hřebenový kotouč má na svém obvodu několik negativních profilů závitu. Kotouč se otáčí řeznou rychlostí a je nastaven rovnoběžně s osou obrobku. Při zapichovacím broušení je kotouč o 2 až 3 rozteče širší, než je délka závitu, postupně se přisouvá radiálně k obrobku na plnou hloubku profilu závitu. Obrobek se při tom otáčí a posouvá v axiálním směru o jednu rozteč závitu na jednu otáčku. Jemné závity s roztečí menší než 1 mm lze brousit hřebenovými kotouči zcela, bez předchozího obrábění [8].

### 2.6 Tváření vnitřních závitů

Tváření vnitřních závitů se provádí speciálními tvářecími závitníky běžné v materiálech s menší pevností do 500 MPa, zejména v hliníkových slitinách, slitinách mědi a ocelích nižší pevnosti. Předvrtaná díra musí být větší než střední průměr závitu. Závity vzniklé tvářením mají lepší mechanické vlastnosti i jakost povrchu než obráběné závity [10].

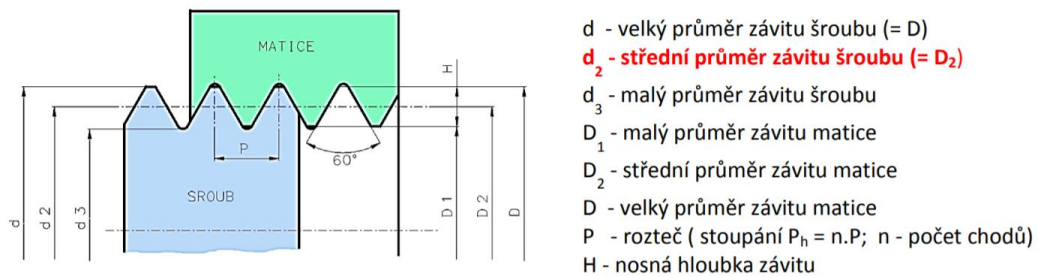


Obr. 14 Tvářecí závitník [10].

## 3 MĚŘENÍ A KONTROLA ZÁVITŮ

Nejběžnějším typem závitu v konstrukci a technologii je metrický závit, jehož tvar má tvar trojúhelníku. Veškeré rozměry profilu závisí na rozteči  $P$ . Výšku základního trojúhelníku je možno zjistit ze vztahu (1) [11]:

$$H = \frac{\sqrt{3}}{2} P \text{ [mm]} \quad (1)$$



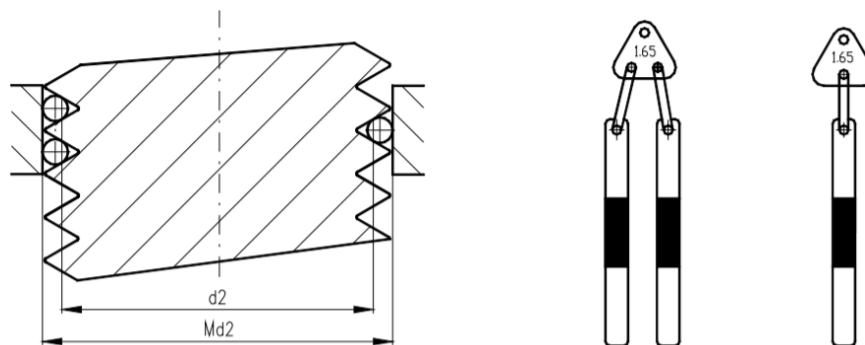
Obr. 15 Profil metrického závitu [12].

Při měření závitů metodou přes drátky jsou do závitové mezery vloženy měřicí válečky zvané měřicí drátky. Průměr drátku musí být takový, aby se závitu dotýkal na středním průměru. Samotný rozměr přes drátky je změřen klasickým mikrometrem. Z naměřených hodnoty je vypočten střední průměr závitu, který je následně porovnán s hodnotou v tabulkách. Vztah pro výpočet průměru měřicího drátku je následující (2) [13]:

$$d_d = \frac{P}{2 \cdot \sin \frac{\alpha}{2}} \text{ [mm]} \quad (2)$$

Rozměr přes drátky se následně vypočítá podle vztahu (3) [13]:

$$M_{d2} = d_2 + d_d \cdot \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}}\right) - \frac{P}{2} \cdot \cot \frac{\alpha}{2} \text{ [mm]} \quad (3)$$



Obr. 16 Schéma měření závitu přes drátky [12].

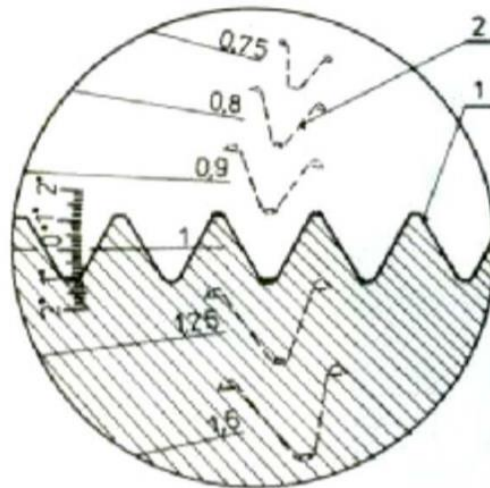
### 3.1 Kontrola stoupání závitu

Kontrola stoupání závitu se obvykle provádí závitovými šablonami. Šablona se přiloží k závitové mezeře a podle průsvitu mezery se kontroluje stoupání závitu. Pro přesnější měření se používají mikroskopy [14].



Obr. 17 Závitové měrky [14].

Pokud je potřeba získat přesnější výsledky měření, je nutno použít například mikroskop. Mikroskopem se měří tvar profilu závitů, stoupání, střední průměr a úhel profilu závitů. Existují dva způsoby měření. Prvním z nich je odečítání naměřených rozměrů závitů na univerzálním mikroskopu. Druhou variantou je měření promítnutého obrazu skutečného profilu. Profil závitů je kontrolován revolverovým okulárem. Na skleněné destičce okuláru je vytvořen ideální profil, který je při kontrole porovnáván se skutečným profilem [11].



Obr. 18 Měření závitů pod mikroskopem [11].

### 3.2 Kontrola vnitřních závitů

Oproti vnějšímu závitů jsou pro závit vnitřní možnosti kontroly omezené. Nelze použít mikroskop, ani třídrátkovou metodu. Jedinou možností je často závitový kalibr [15].

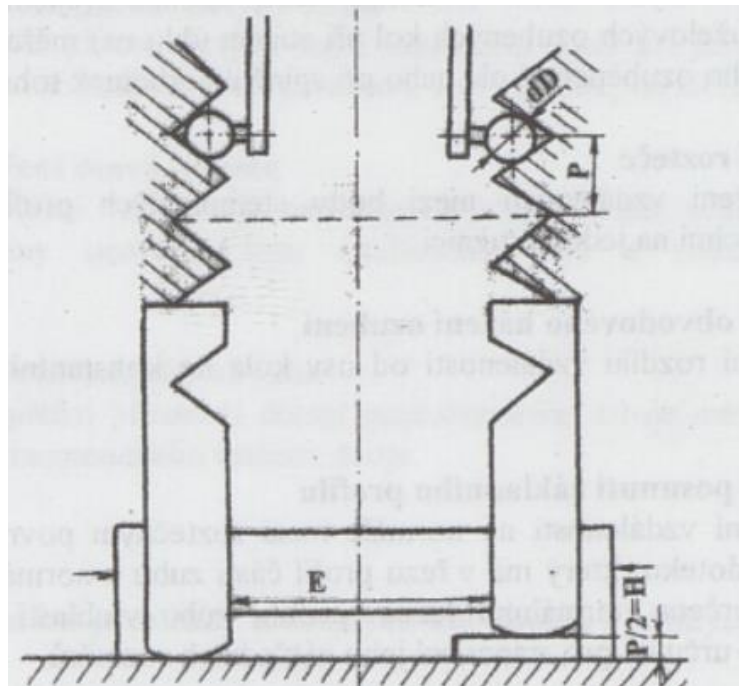




Obr. 19 Kalibr pro vnitřní závity [14].

Kontrola středního průměru závitu  $D_2$  komparačním měřidlem, stavitelným podle etalonu. Princip je stejný jako u podobných měřidel pro kontrolu vnějších závity [15].

Kontrola středního průměru závitu  $D_2$  na horizontálním délkoměru. Pro nastavení středního průměru závitu  $D_2$  slouží šablony s tvarem kontrolovaného profilu. Podle tabulek se nastaví vzdálenost  $E$  koncových měrek [15].



Obr. 20 Seřízení doteků a měření úchylek středního průměru  $D_2$  [15].

#### 4 TYPY ZÁVITNÍKŮ

Závítníky se dělí na čtyři základní druhy: závítníky s přímou drážkou, závítníky se šroubovitým podbroušením drážky na špičce nástroje, závítníky se šroubovitou drážkou a tvářecí závítníky. Volba vhodného závítníku závisí na typu díry, ve které má být konkrétní závit zhotoven [16].

Řezací závítníky s přímou drážkou se používají pro materiály, které tvoří krátké třísky. V axiálním směru k odvodu třísky prakticky nedochází. Tento typ závítníku není vhodný pro

hluboké neprůchozí díry a pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku. U šedé litiny možno použít pro průchozí i slepé otvory až do hloubky odpovídající třem průměrům otvoru [17; 18].



Obr. 21 Závítník s přímými drážkami [19].

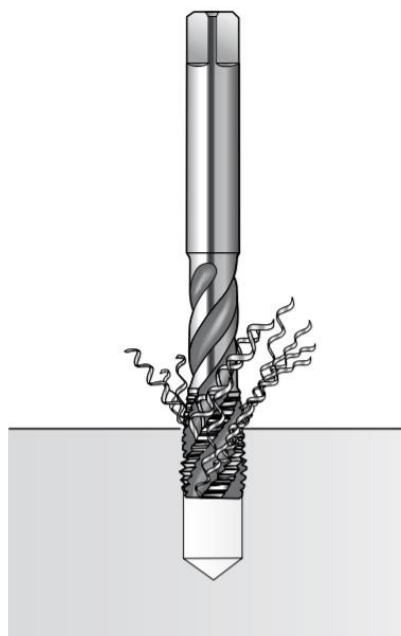
Závítníky se šroubovitým podbroušením drážky na špičce nástroje je vhodný pro průchozí otvory. Podbroušený náběh tlačí třísky dopředu a tím zabraňuje ucpání odvodových drážek. Chladicí kapalina může volně proudit do místa řezu. Při zpětném chodu závítník nesmí odebírat materiál [20].





Obr. 22 Závítník se šroubovitým podbroušením na špičce nástroje [16].

Závítníky se šroubovitou drážkou je vhodný pro neprůchozí otvory a pro materiály tvořící dlouhou třísku. Spirálové drážky umožňují snadný odvod třísek z místa řezu. Je možné závitovat otvory až do hloubky třinásobku průměru otvoru. Čím hlubší je závit, tím musí být úhel šroubovice větší [17].



Obr. 23 Závítník se šroubovitou drážkou [17].

Tváření vnitřních závitů je obvykle rychlejší než používané řezání závitů. Tvářecí závítníky často dosahují delší životnosti. Stejný typ nástroje lze použít pro výrobu závitů v různých materiálech, a to jak v průchozích, tak i v neprůchozích dírách. Tvářecí

závitníky se vyznačují stabilní konstrukcí, která snižuje riziko jejich lomu. Závitů mají až o 100 % vyšší pevnost závitů a lepší jakost povrchu. Tvářecí závitníky ovšem nelze použít pro libovolný typ materiálu, protože ten musí mít požadovanou tažnost. Maximální hodnota meze pevnosti v tahu smí být maximálně 1200 MPa. Je nutné dodržet přesně průměr předvrtané díry. Dobré mazání je naprosto nezbytné [16].

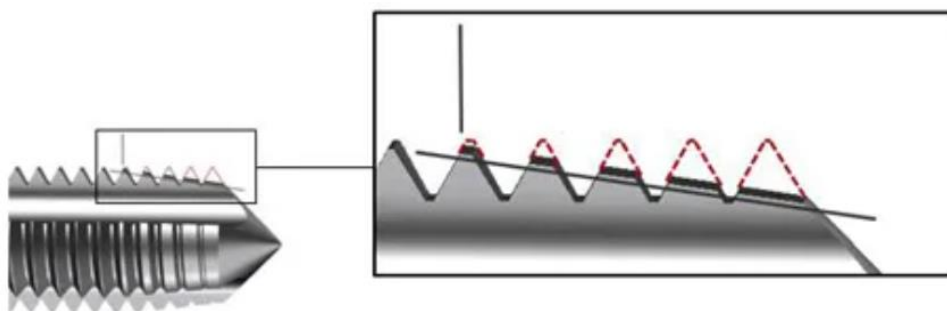


Obr. 24 Tvářecí závitník [16].

#### 4.1 Typy řezného kužele závitníku

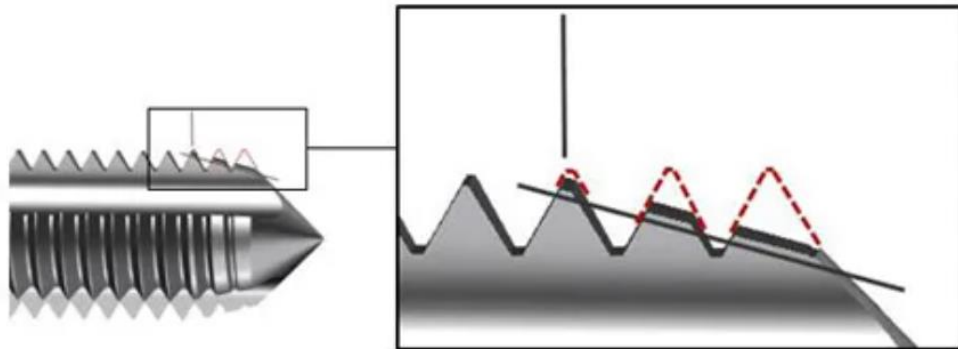
Řezný kužel je zkosení vrcholů profilu závitů na nástroji, které umožňuje rozložení záběru na několik zubů. O tom, který typ řezného kužele je pro danou aplikaci nejvhodnější, rozhoduje většinou typ díry pro řezání závitů. Existují tři nejběžnější typy řezných kuželů [16].

Řezný kužel typu B je dlouhý 3,5-5 závitů. Delší náběh snižuje zatížení řezného kužele, což získává na významu s narůstající pevností materiálu. Delší náběh zvyšuje požadovaný krouticí moment. Kvůli delší dráze vyžadují delší náběhy delší dobu taktu. Závitů s tímto typem řezného kužele dosahují nejvyšší jakosti obrobenej plochy [16].



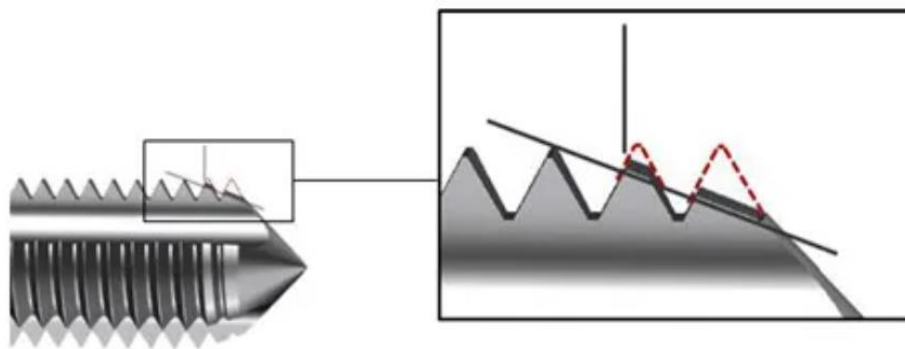
Obr. 25 Řezný kužel typu B [16].

Řezný kužel typu C je dlouhý 2-3,5 závitů. Tyto závitníky vyžadují nižší krouticí moment než v předešlém případě. Dále se používají u neprůchozích děr. Nejrozšířenější konstrukční provedení u závitníků se šroubovitou drážkou [16].



Obr. 26 Řezný kužel typu C [16].

Řezný kužel typu E je dlouhý 1,5-2 závity. Závitník s tímto typem řezného kužele vytváří tlustou třísku, což vede ke kratší životnosti nástroje. Toto konstrukční provedení se používá zřídka. Používá se v případech, že vůle na dně díry není příliš velká [16].



Obr. 27 Řezný kužel typu E [16].

#### 4.2 Materiály závitníků

Nejčastějšími materiály závitníků jsou rychlořezné oceli a slinuté karbidy. Rychlořezné oceli se vyznačují odolností proti poklesu tvrdosti až do teplot okolo 550 °C. Jedná se o ledeburitické oceli vysoce legované s obsahem uhlíku nad 0,70 %. Základním legujícím prvkem v rychlořezných ocelích je wolfram, který bývá částečně nahrazen polovičním množstvím molybdenu. Typické složení rychlořezné oceli: 0,75 % C, 4,0 % Cr, 18,0 % W a 1 % V. V případě úsporné varianty se snižuje obsah W na 10 % a zvyšuje obsah V na 2 až 4 %. Rychlořezné oceli pro nejvyšší výkony se legují asi do 12 % V. Rychlořezné oceli se kalí za teplot 1 200 až 1 280 °C. Popouští se na sekundární tvrdost při teplotě okolo 560 °C. Při teplotách nad 150 °C dochází k mírnému poklesu tvrdosti částečným vylučováním karbidů martenzitu. Tím klesá tvrdost martenzitu. Pro dosažení tvrdosti 60 až 66 HRC se popouštění opakuje obvykle 3x [21].

Slinuté karbidy umožňují několikanásobné zvýšení řezného výkonu. I přes jeho vysokou cenu je masově rozšířen tak, že se používá u převažující části všech nástrojů. Mezi základní vlastnosti slinutých karbidů patří [22]:

- Vysoká (88 až 95 HRA) tvrdost a malá pevnost v ohybu,
- velká odolnost proti opotřebení při vysokých teplotách (stálá tvrdost do teplot 700 až 1000°C),
- dobré mechanické a fyzikální vlastnosti (pevnost v tlaku, odolnost proti korozi, malý součinitel tepelné roztažnosti, vysoká měrná hmotnost),
- špatná tepelná a elektrická vodivost.

Slinuté karbidy v současné době jsou základem výkonného a rychlostního obrábění kovů. Struktura je dána tuhým roztokem karbidů wolframu, titanu, tantalu a pojiva kobaltu [22].

Karbid wolframu (WC) je základním prvkem převážné většiny druhů slinutých karbidů. Ovlivňuje tvrdost, odolnost proti opotřebení a chemickou stálost [22].

Karbid titanu (TiC) je velmi tvrdý a stálý karbid, který s rostoucím obsahem zvyšuje tvrdost a stálost za vysokých teplot, a to výrazněji než karbid wolframu. S rostoucí tvrdostí se zvyšuje i křehkost a snižuje ohybová pevnost [22].

Karbid tantalu (TaC) působí obdobně jako karbid titanu. Na změnu tvrdosti a pevnosti výrazně nepůsobí, zjemňuje strukturu a tím i odolnost vůči oxidaci a otěru [22].

Kobalt (Co) tvoří vlastní pojivo slinutých karbidů. Při slinování vytvoří houževnaté pojivové sítě mezi krystaly karbidů. S rostoucím obsahem kobaltu klesá tvrdost, zvyšuje se pevnost a houževnatost [22].

### 4.3 Povlakování

V současné době se aplikují jak jednovrstvé, tak i vícevrstvé povlaky, podle různých způsobů a podmínek obrábění. Různé materiály povlaků mají různé fyzikální i mechanické vlastnosti, které významně ovlivňují jejich odolnost proti opotřebení při aplikacích pro řezné nástroje. U závitníků se používají nejčastěji tyto typy povlaků [23, 24]:

- TiN (titan nitride) je měkčí, a proto méně otěruvzdorný, ale je termodynamicky stabilní a odolný proti tvorbě výmolu na čele nástroje,
- TiCN (titan carbon nitride) je keramický povlak nanášený metodou PVD, TiCN je tvrdší než TiN a má nižší koeficient tření, tento povlak se používá hlavně u frézovacích nástrojů,
- TiAlN (titan aluminium nitrid) je keramický multipovlak nanášený rovněž metodou PVD, má vysokou pevnost a stabilitou v oxidačním prostředí, s výhodou se užívá pro obrábění za vysokých rychlostí a posuvů, tento druh povlaku je vhodný zejména pro vrtání a závitování,

## 5 OPOTŘEBENÍ BŘITU NÁSTROJE

Při obrábění dochází ke vzniku velkého množství tepla, které se vyvíjí na ploše čela a hřbetu nástroje. Kombinací mechanických, tepelných, chemických a abrazivních vlivů dochází ke složitému zatěžování břitu nástroje, které se projevuje opotřebením. Podle druhu technologie dochází k různým formám opotřebenění [9]:

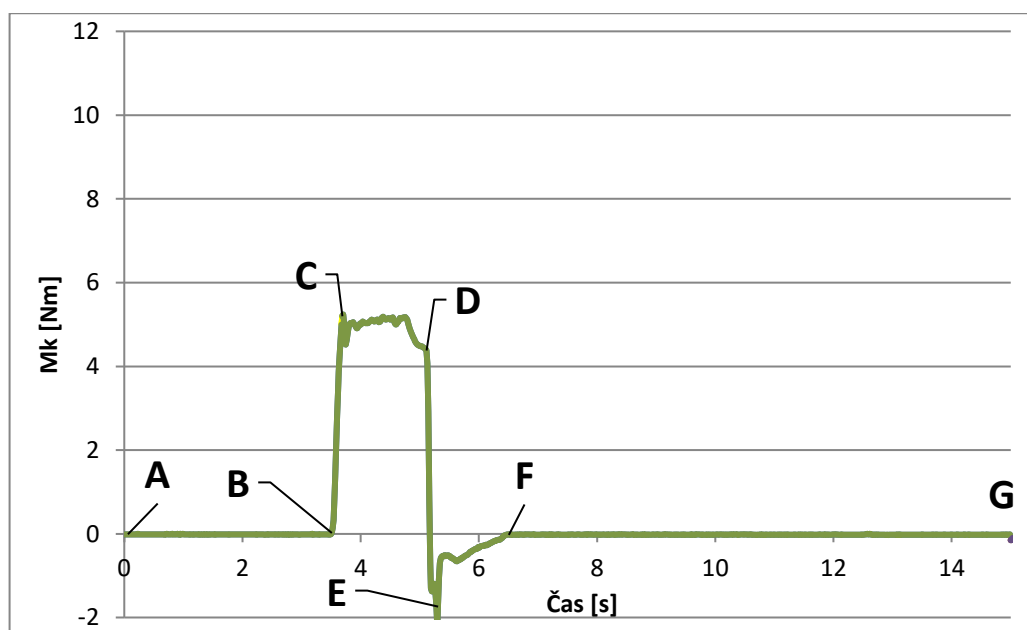
- Opotřebenění na hřbetu se řadí mezi abrazivní formu opotřebenění. Plocha hřbetu u hlavního a vedlejšího ostří jsou v průběhu odebrání materiálu vystaveny tření mezi materiálem a obrobkem. Velké opotřebenění má za následek zhoršení jakosti obrobeného povrchu, nepřesnost rozměrů a narůstající tření, které vzniká změnou geometrie břitu.
- Opotřebenění na čele ve tvaru žlábků vzniká difuzním opotřebením a abrazí. Úběr materiálu nástroje způsobují tvrdé částice vyskytující se v materiálu obráběné součásti. Hlavní příčinou tohoto opotřebenění je difuze v místě, kde je břit obráběcího nástroje v kontaktu s materiálem obrobku. Předchází se tomu změnou geometrie břitu a tím i tvar a utváření třísky, čímž se změní i směr působení třísky.
- Únavový lom nastává při náhlé změně velikosti rezných sil, které může být způsobeno nekonstantním průřezem odebrané třísky. Lomové plochy probíhají obvykle paralelně s ostřím.
- Vydrolování ostří je formou opotřebenění způsobené špičkami zatížení a vede k tomu, že drobné částičky obráběcího materiálu se začnou oddělovat z povrchu břitu. Nejčastější příčinou je přerušovaný řez.
- Lom břitu je náhlá porucha a okamžité ukončení životnosti nástroje. Úplné zničení nástroje je velmi nebezpečné a mělo by se mu za všech okolností zabránit. Lom břitu může být způsobený předchozím značným opotřebením břitu a tím způsobené přetížení nástroje.

## 6 PRAKTICKÁ ČÁST

Pro provedení praktické části byl zvolen MCV 1210/Sinumerik 840D. Pro upínání obrobků byl použit strojní svěrák upnutý speciální přírubby, upínek a šroubů k čelní ploše snímače dynamometru KISTLER 9272. Pro měření síly pohybové a rezného momentu byl použit piezoelektrický křemíkový dynamometr KISTLER 9272 vybavený nábojovými zesilovači KISTLER 9011A plně řízenými počítačem. Vzorkovací frekvence byla přibližně 50 Hz a na časovači byla nastavena dlouhá vybíjecí konstanta a dolnopropustný filtr na hladině 50 Hz. Fotodokumentace byla provedena pomocí stereo-mikroskopu STEMI 2000 Zeiss. Záznamy měřených rezných momentů a fotografické dokumentace opotřebenění byly prováděny v intervalech 1-182-363-544-725-906 vyrobených závitů. Materiál obrobku byla uhlíková ocel C45E-1.1191 (12 050) (pevnost materiálu 600 MPa). Rozměry přířezu desky byly 350x200x25 mm. Průměr vrtáku byl 8,52 mm. Díry byly předvrtány přes celou tloušťku materiálu, hloubka závitu tedy byla 25 mm. Osová vzdálenost děr byla 13 mm a pozice děr byla v osově mřížce. Chladicí kapalinou byl CIMSTAR 597, koncentrace byla 10-11 %. Rychlost proudění kapaliny byla 10 l/min. Počet otáček byl 6371/min, posuvová rychlost 20 m/min a posuv na otáčku byl 1,5 mm.

V praktické části byly testovány dva typy závitníky s různými tloušťkami povlaku TiN nanesené metodou PVD. První závitník měl tloušťku povlaku 3-4  $\mu\text{m}$  a druhý 5-6  $\mu\text{m}$ .

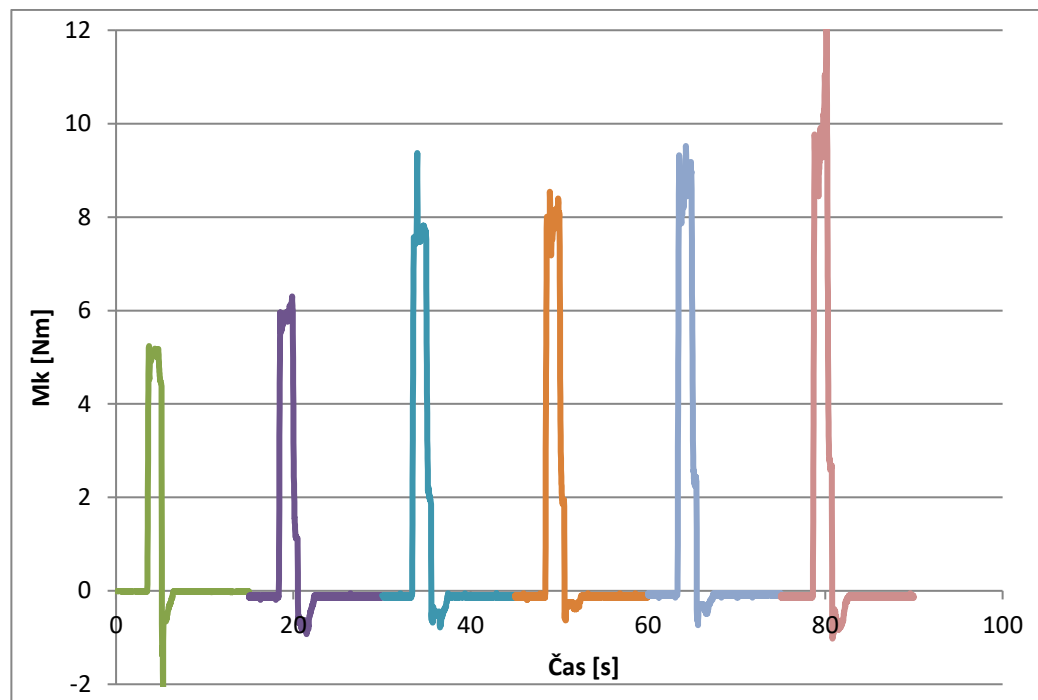
Celkem bylo vyzkoušeno 8 závitníků. Každý z nich byl označen písmeny A, E, G, J, L, M, N, VVA. S každým závitníkem bylo vyřezáno 906 závitů, přičemž u prvního a následně pravidelně po 180 závitů byl měřen řezný moment, který byl následně zaznamenán do grafu. U každého závitníku byl tedy změřen řezný moment přesně šestkrát. V programu Microsoft Excel byly následně vytvořeny grafy, ve kterých byly zaznamenány naměřené hodnoty řezného momentu v závislosti na čase, celkem pro každý závitník bylo zaznamenáno šest průběhů řezného momentu v závislosti na čase v jednom grafu, aby bylo možné je následně porovnat a zhodnotit.



Obr. 27 Průběh řezného momentu v závislosti na čase

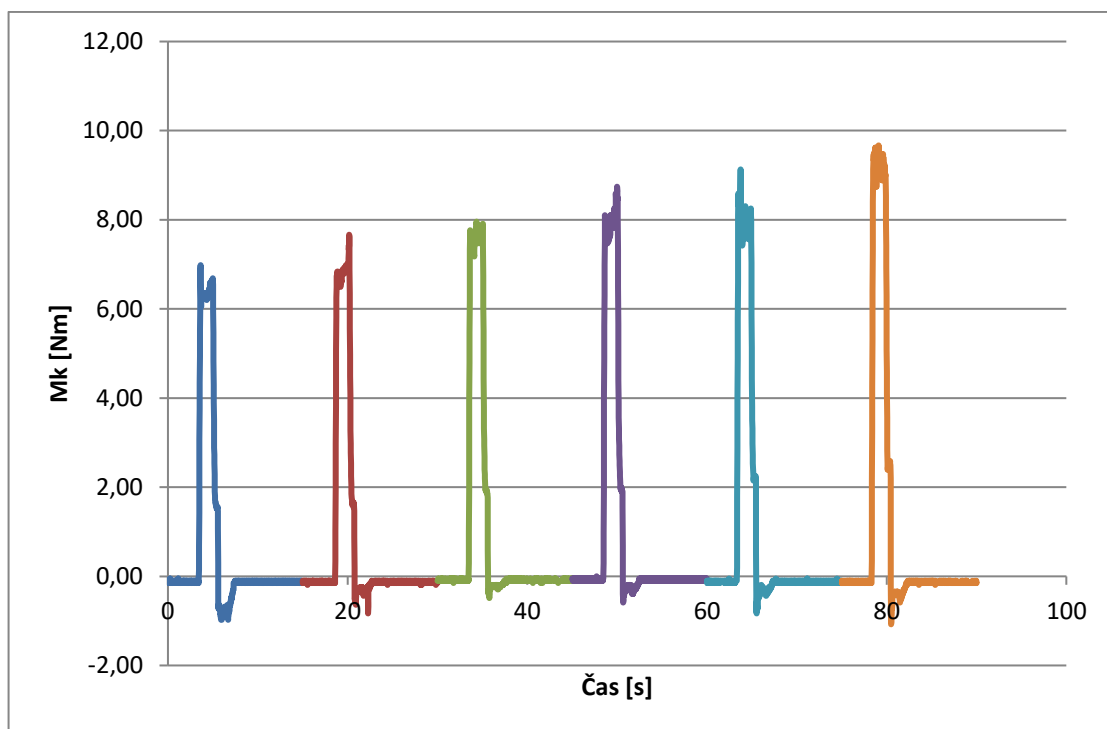
V grafu jsou vyznačené jednotlivé průběhy fází. V úseku A až B závitník přijíždí k obrobku. V oblasti C až D probíhá samotná výroba závitů, kdy závitník postupně zajíždí do obrobku. V části E až F vyjíždí závitník zpět z obrobku (reversace). V poslední oblasti F až G se závitník vrací do nulové polohy.

Jako první závitník byl testován závitník s povlakem o tloušťce 3-4  $\mu\text{m}$ . V grafu (obr. 32) jsou zaznamenány jednotlivé průběhy řezných momentů v závislosti na čase. S přibývajícím počtem vyrobených závitů vzrůstá řezný moment. Jak je dále patrné, ve třetím měření v průběhu řezání závitů bylo zaznamenáno náhlé zvýšení krouticího momentu, což naznačuje značné opotřebení povlaku nástroje. Následkem úbytku povlaku je zvýšené tření mezi nástrojem a obrobkem, a tedy zvýšení řezných sil. Rovněž i poslední měření ukázalo, že řezný moment v průběhu řezání vykazuje nekonstantní průběh a navíc ve srovnání s prvním měřením došlo k významnému nárůstu řezného momentu, což je způsobeno výrazným opotřebením břitu nástroje.



Obr. 28 Průběhy řezných momentů u závitníku s tenčí vrstvou povlaku.

V další fázi experimentu byly testovány rovněž závitníky s povlakem o tloušťce 5-6  $\mu\text{m}$ . V grafu (obr. 33) jsou zaznamenány průběhy řezných momentů po 180 vyrobených kusech. Na rozdíl od předchozího případu zde nedochází k tak prudkému nárůstu řezného momentu s přibývajícím počtem vyrobených závitů. Řezný moment je v průběhu řezání konstantní a nevykazuje žádné výkyvy v ani jednom ze šesti zaznamenaných průběhů řezných sil. Silnější vrstva povlaku výrazně ovlivnila opotřebení břitu nástroje. Rozdíl mezi největším a nejmenším naměřeným řezným momentem není tak výrazný jako v předchozím případě. Zvýšený řezný moment u prvního měřeného momentu ve srovnání s předchozím případem je způsoben silnější vrstvou povlaku. Silnější vrstva povlaku vede ke zvětšení rádiusu špičky nástroje a tím i ke zvýšení řezného momentu.



Obr. 29 Průběhy řezných momentů u závitníku se silnější vrstvou povlaku.

Tloušťka povlaku nástroje je významným faktorem ovlivňující trvanlivost nástroje. Není to ovšem jediný faktor, který lze zkoumat. Trvanlivost je možné posuzovat i podle řezného prostředí. Nejvýraznější vliv na trvanlivost nástroje mají řezná rychlost a posuvová rychlost. Optimální nastavení těchto parametrů nejvýrazněji ovlivňují jak životnost nástroje, tak i kvalitu vyrobeného závitu.



## ZÁVĚR

Bakalářská práce se zabývá problémem výroby závitů závitníky. Obsahuje teoretický rozbor základních metod výroby závitů i praktickou část zaměřenou na konkrétní řešení zadaného problému.

V teoretické části byly stručně popsány druhy nejčastěji vyráběných závitů. V úvodu je rovněž zmíněna geometrie závitů. Dále práce obsahuje hlavní metody výroby závitů, které vedou k výrobě jak vnitřních, tak i vnějších závitů. Následuje stručný popis metod kontroly vnitřních i vnějších závitů. Poslední část teoretického rozboru pojednává o dvou nejčastěji používaných nástrojových materiálech pro výrobu závitníků a jejich zpracování a o třech základních typech povlaků, které se u závitníků nejčastěji používají.

Experimentální část práce řeší, zda silnější vrstva povlaku TiN vede ke zvýšení trvanlivosti nástroje. Výsledky měření ukázaly, že závitníky se silnější vrstvou povlaku vykazují konstantní řezný moment v průběhu výroby závitu i po vyrobení 906 závitů. Nárůst řezného momentu s počtem vyrobených kusů není tak výrazný jako u závitníku s tenčí vrstvou povlaku. Silnější vrstva povlaku výrazným způsobem zpomaluje opotřebení břitu a tím chrání závitník před zatížením a možným zlomením. Náhlý výkyv průběhu řezného momentu u závitníku s tenčí vrstvou povlaku byla zapříčiněna rychlejším otěrem povlaku a následným rychlejším opotřebením břitu a ke zhoršení geometrie břitu. Otěrem povlaku dochází ke zvýšení tření mezi nástrojem a obrobkem a tím ke zvýšení řezného momentu a zatížení nástroje. Tloušťka povlaku ukázala, že má zásadní vliv na životnost nástroje. Ovšem silnější vrstva povlaku způsobila větší rádius špičky nástroje a při měření řezného momentu při řezání prvního závitu byl řezný moment vždy o něco vyšší než u závitu s tenčí vrstvou povlaku. Vztah mezi životností nástroje a tloušťkou povlaku závisí na metodě obrábění.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. BOLEK, Alfred a Kochman JOSEF. *Části strojů*. 1989. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1989, 775 s. ISBN 80-03-00046-7.
2. SVOBODOVÁ, Magdalena. *Spoje a spojovací součásti* [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: [https://www.sokolska.cz/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY\\_32\\_INOVACE\\_13-04.pdf](https://www.sokolska.cz/DUMy/SPS,%20MEC,%20CAD/VY_32_INOVACE_13-04.pdf)
3. JAVLÍK, Jiří a Tadeáš SZLACHTA. *Základy strojnictví I*. Ostrava: VŠB - Technická univerzita, 2003, 200 s. ISBN 80-248-0477-8.
4. PETŘÍČEK, Vsevolod. *Základy strojnictví*. 1983. Praha: Státní pedagogické nakladatelství, 1983, 237 s. ISBN 4-0873.122.
5. GREČENKO, Alexandr. *Strojní součásti I*. Ústí nad Labem: Univerzita J.E. Purkyně v Ústí nad Labem, 2007, 66 s. ISBN 978-80-7044-847-2.
6. DEJL, Zdeněk. *Konstrukce strojů a zařízení I*. Ostrava: Montanex, 2000, 225 s. ISBN 80-7225-018-3.
7. *Šroubové spoje* [online]. [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://readgur.com/doc/155011/1.-%C5%A1roubov%C3%A9-spoje>
8. HUMÁR, Anton. *Technologie I* [online]. VUT v Brně, 2004 [cit. 2021-05-16]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/10306340-Technologie-i-technologie-obrabeni-2-cast.html>
9. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001, 270 s. ISBN 80-214-1996-2.
10. ŘASA, Jaroslav. *Strojírenská technologie 3*. Praha: Scientia, 2005, 256 s. ISBN 80-7183-337-1.
11. *Měření závitů* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: [https://www.spszenegrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/KOM\\_3\\_12\\_SPU-mereni\\_zavitu.pdf](https://www.spszenegrova.cz/wp-content/uploads/2020/04/KOM_3_12_SPU-mereni_zavitu.pdf)
12. *Metody měření závitů* [online]. 2012 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <http://files.strojarna.webnode.cz/200000348-86619875be/St%C5%99edn%C3%AD%20pr%C5%AFm%C4%9Br%20z%C3%A1vitu.pdf>
13. *Měření vnějších závitů* [online]. 2012 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: [https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/\\_sablony/KOM\\_IV/VY\\_52\\_INOVACE\\_J-06-05.pdf](https://www.sspu-opava.cz/static/UserFiles/File/_sablony/KOM_IV/VY_52_INOVACE_J-06-05.pdf)
14. *Měření a kontrola závitů* [online]. 2013 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://adoc.pub/ovmt-meni-a-kontrola-zavit.html>
15. ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. *Strojírenská metrologie*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 176 s. ISBN 80-214-3070-2.

16. *Katalog Sandvik* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/threading/tapping/pages/how-to-choose-tap-type.aspx>
17. *Vrtání a závitování* [online]. 2009 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/manuals/cs-cz/handbook-drilling-threading-2009-cz.pdf>
18. *Příručka závitování* [online]. 2012 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/manuals/cs-cz/handbook-prototyp-threading-2012-cz.pdf>
19. *Závitování a upínací technika* [online]. 2013 [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/16197767-Zavitovani-upinaci-technika.html>
20. *Sandvik* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: [https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corotap\\_overview/pages/default.aspx](https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corotap_overview/pages/default.aspx)
21. PTÁČEK, Luděk. *Nauka o materiálu II*. Brno: CERM, 2002, 392 s. ISBN 80-7204-248-3.
22. ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 193 s. ISBN 80-214-2336-6.
23. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: <https://docplayer.cz/41193-Materialy-pro-rezne-nastroje.html>
24. *Technická příručka* [online]. [cit. 2021-05-17]. Dostupné z: [https://www.mav.cz/dormer/Technicka\\_prirucka\\_2013.pdf](https://www.mav.cz/dormer/Technicka_prirucka_2013.pdf)

**SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK**

<b>Zkratka</b>	<b>Popis</b>
<b>C</b>	uhlík
<b>Co</b>	kobalt
<b>Cr</b>	chrom
<b>LH</b>	levochodý
<b>HRA</b>	tvrdost dle Rockwella
<b>PVD</b>	Physical Vapour Deposition
<b>HRC</b>	tvrdost dle Rockwella
<b>HSS</b>	high speed steel
<b>TaC</b>	karbid tantalu
<b>TiN</b>	nitrid titanu
<b>TiCN</b>	karbonitrid titanu
<b>TiALN</b>	nitrid hliníku a titanu
<b>V</b>	vanad
<b>WC</b>	karbid wolframu

<b>Symbol</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
<b>d<sub>a</sub></b>	[mm]	průměr měřicího drátku
<b>d<sub>2</sub></b>	[mm]	střední průměr závitu šroubu
<b>P</b>	[mm]	rozteč
<b>Md<sub>2</sub></b>	[mm]	rozměr přes drátky
<b>H</b>	[mm]	výška trojúhelníku

**SEZNAM PŘÍLOH**

