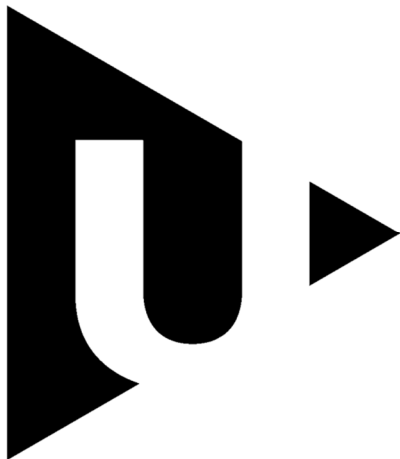


# ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

## FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2301 Strojní inženýrství  
Studijní zaměření: 2301R016 Strojírenská technologie – technologie obrábění



**ZÁPADOČESKÁ  
UNIVERZITA  
V PLZNI**

## **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

Moderní trendy ve výrobě závitů

Autor: **Jiří ČERNOHORSKÝ**

Vedoucí práce: **Ing. Lukáš SKOPEČEK**

Akademický rok 2011/2012

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI

Fakulta strojní

Akademický rok: 2011/2012

## ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Jiří ČERNOHORSKÝ**  
Osobní číslo: **S08B0076P**  
Studijní program: **B2301 Strojní inženýrství**  
Studijní obor: **Strojírenská technologie-technologie obrábění**  
Název tématu: **Moderní trendy ve výrobě závitů**  
Zadávací katedra: **Katedra technologie obrábění**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :


1. Úvod
2. Analýza současného stavu řešené problematiky
3. Rozbor a zhodnocení současného stavu řešené problematiky
4. Technicko ekonomické zhodnocení
5. Závěr

Rozsah grafických prací: **dle potřeby**  
Rozsah pracovní zprávy: **30 - 40 stran**  
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná**  
Seznam odborné literatury:


**STANĚK, J.; NĚMEJC, J.: Metodika zpracování a úprava diplomových prací. Plzeň: ZČU, 2005**  
**SOVA, F.: Technologie obrábění a montáže. Plzeň:ZČU, 2001**  
**Interní firemní materiály**

Vedoucí bakalářské práce: **Ing. Lukáš Skopeček**  
Katedra technologie obrábění  
Konzultant bakalářské práce: **Ing. Lukáš Skopeček**  
Katedra technologie obrábění

Datum zadání bakalářské práce: **18. října 2011**  
Termín odevzdání bakalářské práce: **29. června 2012**

  
Doc. Ing. Jiří Staněk, CSc.  
děkan



  
Ing. Jan Řehoř, Ph.D.  
vedoucí katedry

V Plzni dne 18. prosince 2011

## **Prohlášení o autorství**

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne: .....

.....

podpis autora

## **Poděkování za pomoc při zpracování bakalářské práce**

Rád bych touto cestou poděkoval panu Ing. Janu Viktorinovi, jednatelem a zástupcem společnosti Emuge-Franken pro českou republiku, že byl po celou dobu zpracovávání této práce mým konzultantem a poskytovatelem velice cenných informací.

Dále bych moc rád poděkoval mému vedoucímu bakalářské práce Ing. Lukáši Skopečkovi, za nasměrování mé práce na správný směr a cenné rady při zpracování.

# ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

<b>AUTOR</b>	<b>Příjmení</b> Černohorský	<b>Jméno</b> Jiří	
<b>STUDIJNÍ OBOR</b>	2301R016 „Strojírenská technologie – technologie obrábění“		
<b>VEDOUcí PRÁCE</b>	<b>Příjmení (včetně titulů)</b> Ing. Skopeček	<b>Jméno</b> Lukáš	
<b>PRACOVIŠTĚ</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>DRUH PRÁCE</b>	<b>DIPLOMOVÁ</b>	<b>BAKALÁŘSKÁ</b>	
<b>NÁZEV PRÁCE</b>	Moderní trendy ve výrobě závitů		

<b>FAKULTA</b>	strojní	<b>KATEDRA</b>	KTO	<b>ROK ODEVZD.</b>	2012
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

## POČET STRAN (A4 a ekvivalentů A4)

<b>CELKEM</b>	78	<b>TEXTOVÁ ČÁST</b>	58	<b>GRAFICKÁ ČÁST</b>	20
---------------	----	---------------------	----	----------------------	----

<b>STRUČNÝ POPIS (MAX 10 ŘÁDEK)</b>  <b>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</b>	Hlavním cílem této bakalářské práce je shromáždění informací o nových trendech při výrobě závitů. Práce popisuje jednotlivé metody výroby závitů a jejich inovace. Šíře práce zahrnuje oblasti od materiálů a povlaků nástrojů, přes optimalizování geometrie až po moderní systémy upínání a provozní podmínky nástrojů. Hlavním přínosem této práce je seznámení čtenáře s nejnovějšími poznatky a stavem technologie výroby závitů.
<b>KLÍČOVÁ SLOVA</b>	Závitování, závit, závitník, fréza, obrábění, tváření, frézování, upínače

## SUMMARY OF BACHELOR SHEET

<b>AUTHOR</b>	<b>Surname</b> Černohorský	<b>Name</b> Jiří	
<b>FIELD OF STUDY</b>	2301R016 „Manufacturing Processes – Technology of Metal Cutting“		
<b>SUPERVISOR</b>	<b>Surname (Inclusive of Degrees)</b> Ing. Skopeček	<b>Name</b> Lukáš	
<b>INSTITUTION</b>	ZČU - FST - KTO		
<b>TYPE OF WORK</b>	<b>DIPLOMA</b>	<b>BACHELOR</b>	
<b>TITLE OF THE WORK</b>	Modern Trends in Manufacturing Thread		

<b>FACULTY</b>	Mechanical Engineering	<b>DEPARTMENT</b>	Machining Technology	<b>SUBMITTED IN</b>	2012
----------------	------------------------	-------------------	----------------------	---------------------	------

### NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

<b>TOTALLY</b>	78	<b>TEXT PART</b>	58	<b>GRAPHICAL PART</b>	20
----------------	----	------------------	----	-----------------------	----

<b>BRIEF DESCRIPTION</b>  <b>TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS</b>	The main objective of this work is to gather information on new trends in the production of threads. This work describes the various methods of producing threads and innovation. Breadth of work includes the materials and coatings from tools, through optimizing the geometry to modern systems, clamping tools and operating conditions. The main contribution of this work is to acquaint readers with the latest technology and state of threads.
<b>KEY WORDS</b>	Threading, thread, tap, milling cutter, machining, forming, milling, holders

## Obsah

Seznam použitých zkratk	5
Seznam použitých symbolů a značek	6
<b>1 Úvod</b>	<b>7</b>
<b>2 Všeobecné informace</b>	<b>8</b>
2.1 Historické etapy vývoje závitu	8
2.2 Rozdělení závitů	10
2.2.1 Dělení závitů dle jednotlivých kritérií	10
2.2.2 Dělení dle výrobních technologií	10
<b>3 Přehled výrobních technologií</b>	<b>11</b>
3.1 Řezání závitů	11
3.1.1 Řezací závitníky	11
3.1.2 Sadové závitníky	12
3.1.3 Maticové závitníky	12
3.1.4 Strojní závitníky	13
3.1.5 Závitové čelisti	13
3.2 Závitové hlavy	14
3.3 Soustružení závitů	14
3.3.1 Radiální nože	15
3.3.2 Tangenciální nože	15
3.3.3 Kotoučové nože	15
3.4 Frézování závitů	16
3.4.1 Kotoučové frézy	16
3.4.2 Hřebenové frézy	16
3.4.3 Okružovací hlavy	17
3.4.4 Broušení závitů	17
3.5 Tváření závitů	18

3.5.1	Tvářecí závitníky.....	18
3.5.2	Válcovací závitové hlavy .....	19
3.5.3	Válcovací kladky.....	19
3.5.4	Ploché válcovací desky .....	19
3.6	Odlévání a vstřikování .....	19
<b>4</b>	<b>Moderní trendy ve výrobě závitů.....</b>	<b>20</b>
4.1	Moderní řezné materiály .....	20
4.1.1	Rychlořezná ocel (HSS) .....	20
4.1.2	Slinuté karbidy (SK, TK, HM) .....	20
4.1.3	Cermety .....	20
4.1.4	Řezná keramika.....	21
4.1.5	Polykrystalický kubický nitrid boru (KBN, CBN) .....	21
4.1.6	Polykrystalický diamant (PKD).....	21
4.2	Moderní metody chlazení a mazání nástrojů.....	22
4.2.1	Emulze.....	22
4.2.2	Závitořezný olej .....	22
4.2.3	Závitořezná pasta .....	22
4.2.4	Minimální množství chlazení – mlha (MMS) .....	22
4.2.5	Tlakový vzduch.....	23
4.3	Povrchové úpravy nástrojů.....	24
4.3.1	Mikropískování .....	25
4.3.2	Oxidace.....	26
4.3.3	Nitridace .....	26
4.3.4	Nitridace + oxidace .....	26
4.3.5	Nitrid titanu (TIN).....	26
4.3.6	Carbonitrid titanu (TICN).....	27
4.3.7	Tvrký chrom .....	27
4.3.8	Kombinace tvrdé a antiadhezní vrstvy .....	27
4.3.9	Amorfní uhlík - diamant.....	27
4.3.10	Nitrid chromu.....	27



4.4	Řezací závitníky .....	28
4.4.1	Vliv obráběného materiálu na konstrukci závitníku .....	29
4.4.2	Speciální geometrie pro dělení třísek .....	31
4.4.3	Závitníky s vynechanými zuby .....	31
4.4.4	Závitníky se zabroušenými kalibračními zuby .....	32
4.4.5	Závitníky s extrémně dlouhou stopkou .....	32
4.4.6	Zvonové závitníky.....	33
4.4.7	Kombinované závitníky .....	33
4.4.8	Vícestupňové závitníky .....	34
4.4.9	Vysokorychlostní řezání závitů .....	34
4.5	Tvářecí závitníky .....	35
4.5.1	Moderní konstrukce tvářecích závitníků .....	36
4.5.2	Vliv tvářeného materiálu na konstrukci tvářecího závitníku.....	37
4.6	Kombinace řezacího a tvářecího procesu při výrobě závitů .....	39
4.6.1	Technologie Cut & Form.....	39
4.6.2	Technologie Mill & Form .....	40
4.7	Frézování závitů .....	41
4.7.1	Vrtací závitové frézy .....	42
4.7.2	Kruhově interpolační závitové frézy .....	43
4.7.3	Cirkulární závitové frézy.....	44
4.8	Moderní systémy upínání nástrojů .....	45
4.8.1	Upínače s minimálním délkovým vyrovnáním.....	46
4.8.2	Reverzační aparáty pro CNC stroje.....	47
4.8.3	Zrychlovací pouzdra.....	48
4.8.4	Speciální technologie pro závitová pouzdra .....	49
4.9	Zajímavosti z oblasti výroby závitů.....	51
4.9.1	Speciální odvrtávací nástroj na zlomené závitníky .....	51
4.9.2	Termální závitování do tenkostěnných profilů .....	52
4.9.3	Závitové vložky .....	53
<b>5</b>	<b>Závěr a technicko-ekonomické zhodnocení.....</b>	<b>55</b>

<b>6</b>	<b>Použitá literatura.....</b>	<b>57</b>
----------	--------------------------------	-----------

### **Seznam příloh:**

Příloha P-1 - Přehled používaných profilů závitů.....	II
Příloha P-2 - Přehled speciálních závitů .....	VIII
Příloha P-3 - Přehled řezných materiálů .....	IX
Příloha P-4 - Znárodnění průběhu krouticího momentu při řezání a tváření závitu .....	X
Příloha P-5 - Toleranční pole závitníků .....	XII
Příloha P-6 - Technologie Cut & Form a Mill & Form .....	XIII
Příloha P-7 – Chyby při synchronním řezání závitů .....	XV

**Seznam použitých zkratek**

<b>Zkratka</b>	<b>Popis</b>
<b>KTO</b>	Katedra technologie obrábění
<b>ČSN</b>	Česká státní norma
<b>USS</b>	United States Standard
<b>UNS</b>	Unified National Series
<b>ISO</b>	International Organization for Standardization
<b>BSF</b>	British Standard Fine
<b>BSPP</b>	British Standard Parallel Pipe
<b>BSTP</b>	British Standard Tapered Pipe
<b>ČSNS</b>	Československá normalizační společnost
<b>HSS</b>	Rychlořezná ocel
<b>HSS-E</b>	Kobaltová rychlořezná ocel
<b>HSS-PM</b>	Rychlořezná ocel vyráběná práškovou metalurgií
<b>SK, TK, HM</b>	Slinuté karbidy
<b>PKD</b>	Polykrystalický diamant
<b>PVD</b>	Povlakovací proces
<b>WC</b>	Karbid wolframu
<b>TiC</b>	Karbid titanu
<b>TiN</b>	Nitrid titanu
<b>TaC</b>	Karbid tantalu
<b>TiCN</b>	Karbonitrid titanu
<b>KBN, CBN</b>	Polykrystalický kubický nitrid boru
<b>HV</b>	Tvrдость podle Vickerse
<b>HRC</b>	Tvrдость podle Rockwella
<b>CNC</b>	Computer numeric control

## Seznam použitých symbolů a značek

<b>Symboly a značky</b>	<b>Jednotka</b>	<b>Popis</b>
<b>D, d</b>	[mm]	Průměr nástroje
<b>t</b>	[°C]	Teplota
<b>s</b>	[mm]	Stoupání
<b>p</b>	[MPa]	Tlak

# 1 Úvod

Závit je možné definovat jako drážku, která je navinuta na válec podél šroubovice v daném stoupání. Je to základní technický stavební prvek, který slouží jako spojovací nebo pohybový element.

Výroba závitů v technické praxi má zcela jedinečné a osobité místo, jelikož se jedná o velice náročnou operaci, která většinou přichází jako poslední ve výrobním procesu vyráběné součásti. Proto vyžaduje velice vysokou úroveň technologie obrábění a velkou pečlivost. Zvládnutí této technologie obrábění přišlo až jako poslední oproti ostatním základním operacím (soustružení, frézování, broušení, ...), protože je z nich nejnáročnější a kombinuje jednotlivé principy. V dnešní době je tato technologie plně zvládnutá a srovnatelná s jinými.

Cílem této práce je shrnutí nejmodernějších technologií ve výrobě závitů. To zahrnuje představení úplně nových principů, které vznikly v poslední době a technické inovace běžných nástrojů. Nedílnou součástí je také představení upínacích zařízení, moderních strojů a podpůrných prostředků.

## 2 Všeobecné informace

### 2.1 Historické etapy vývoje závitů

(Zpracováno s pomocí [3], [4])

První zmínky o závitě jsou datovány až do 5. st. př. n. l., kde se jím zabýval Pythagorovec Archytás z Trarenta. O dvě staletí později jej využil řecký matematik Archimédes ze Syrakús, nicméně odlišným způsobem než jsme zvyklí dnes. Tehdy použil závit ve formě šroubu k čerpání vody, tudíž šroub nesloužil jako spojovací prvek, ale jako čerpadlo (Obr. 2-1). V 1. st. př. n. l. se začíná šroub uplatňovat ve šroubovém lise na olivový olej. Šroub byl celý dřevěný. Toto je také zajímavý milník, jelikož to byl první pohybový šroub.

Kovové šrouby se objevili až o mnoho staletí později. Tento pokrok se datuje až v 15. st. Tyto první šrouby měly v hlavě průběžné drážky, šestihřanné hlavy se objevily až v 2. polovině 16. st. Veškeré závity se vyráběly ručně, a to výhradně pilníky.

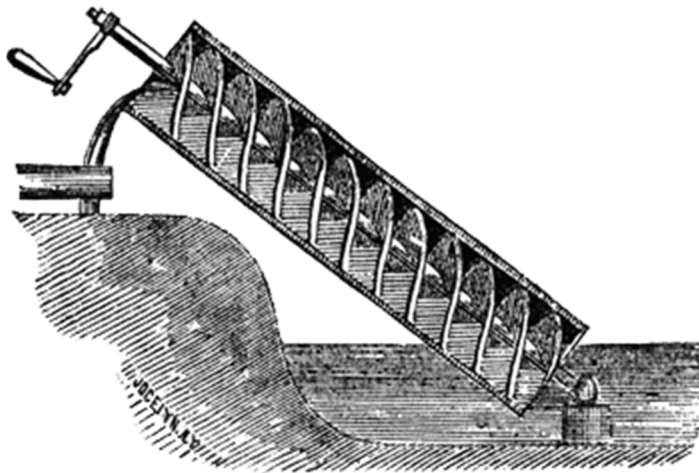
Základ moderního závitě je položen počátkem 17. století v Anglii. V té době žil jistý Henry Maudslay, který se proslavil velkým zdokonalením soustruhu. Henry Maudslay si plně uvědomoval potřebu strojní přesné výroby závitů, protože ruční výroba byla velice neproduktivní a jednotlivé závity nebyly zaměnitelné. Proto do svého soustruhu přidal vodící šroub, který přesně posunoval suport soustruhu v závislosti na pootočení vřetene. Tím udělal veliký krok kupředu, nicméně jeho vynález nebyl patřičně oceněn, narazil na odpor výrobců šroubů. O několik let později přišel do Maudslayovy továrny řemeslník Joseph Whitworth. Tento ambiciózní muž byl už od mládí uchvácen stroji. Říká se o něm, že to byl veliký perfekcionista, který jen obtížně snesl nedokonalost. Whitworth zde odstartoval velice úspěšnou kariéru a od Henryho Maudslaye převzal za vlastní myšlenky vysoké přesnosti, nutnosti standardizace a zaměnitelnosti jednotlivých součástí. Tyto myšlenky byly bezpodmínečně nutné pro zahájení sériové a hromadné výroby. Poté Whitworth přesídlil do firmy dalšího velkého strojírenství, a to Josepha Clementa. Zde nějakou dobu působil a poté si založil vlastní firmu na výrobu nástrojů. V jeho dílnách se zrodilo velké množství patentů, mezi nimiž vyčnívá ten, který ho proslavil nejvíce, a to závitové normy. Whitworth shromáždil poznatky od Henryho Maudslaye a jeho vodícího šroubu a Josepha Clementa, který se neúspěšně pokoušel o standardizaci závitů. Výsledkem toho bylo, že v roce 1841 předložil řadu univerzálně použitých závitů. Whitworthův závit s vrcholovým úhlem  $55^\circ$  a velkým průměrem začínal na  $1/8''$  a dále byl odstupňován. Pro jednotlivé průměry byly stanoveny počty závitů na anglický palec, poloměry zaoblení a nosná hloubka závitě. Tyto závity začal používat ve své firmě, nicméně definitivní vítězství přišlo, až když tento závit akceptovaly britské železnice.

Přibližně ve stejné době v USA přišel s rozměrovou řadou William Sellers, nicméně tento závit měl vrcholový úhel  $60^\circ$ . Tento závit se později stal USS (United States Standard) a v roce 1948 vznikla soustava závitů UNS (Unified National Series).

V Evropě začali vznikat koncem 19. století vlastní metrické závity charakteristické pro různé země (Německo, Švýcarsko, Francie). Systém závitů British Standard Whitworth vládl především britským výrobkům až do přelomu 60. – 70. let 20. století, kdy British Standard Institution doporučila přechod na metrický závit ISO s vrcholovým úhlem  $60^\circ$  (přijatý hned po založení ISO – International Organization for Standardization v roce 1947). Od Whitworthova profilu byly dále odvozeny soustavy závitů British Standard Fine (BSF), British Standard Parallel Pipe (BSPP) a British Standard Tapered Pipe (BSTP). Standardizace závitů se stala základním kamenem k přechodu na hromadnou a sériovou výrobu, podpořila vyměnitelnost součástí a výrobu zlevnila a zrychlila.

„Pod stručným názvem Závity byla v roce 1924 vydána Československou normalizační společností první československá norma ČSN 1001-1924. Touto normou byl nastartován přístup k tvorbě a vydávání technických norem v Československé republice. Tato norma obsahovala údaje o závitech Whitworthových, metrických, jemných metrických, trubkových válcových i kuželových a lichoběžníkových. Byla zpracována odbornou komisí ČSN č.15 Závity, která byla ustavena při ČSNS v říjnu 1923. V komisi bylo zastoupeno Ministerstvo národní obrany, Ministerstvo pošt a telegrafů, Ministerstvo veřejných prací, Ministerstvo železnic, ČVUT v Praze a další tehdejší významné strojírenské podniky.

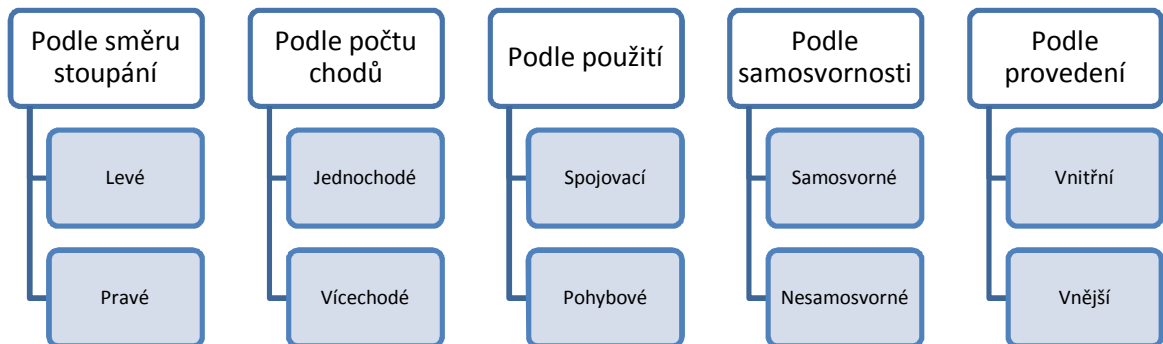
Po uplynutí dvouměsíční lhůty, stanovené pro kritiku veřejností, byl návrh normy podle došlých připomínek znovu projednán v komisi, a pak prohlášen jednatelským sborem ČSN za československou normu v prosinci 1924. Úpravu normy provedla redakční komise ČSN spolu se Slovníkovou komisí při České Matici technické v Praze.“ [4] V současné době jsou platné normy závitů označovány jako ČSN ISO.



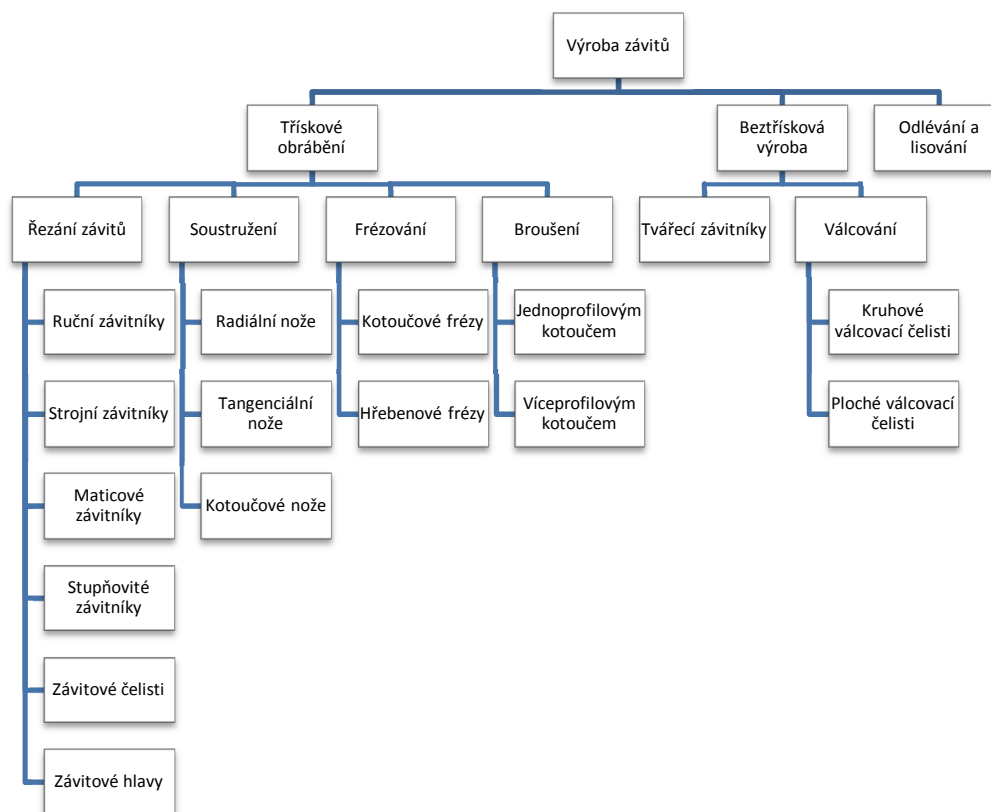
Obr. 2-1 Archimedův šroub [5]

## 2.2 Rozdělení závitů

### 2.2.1 Dělení závitů dle jednotlivých kritérií



### 2.2.2 Dělení dle výrobních technologií



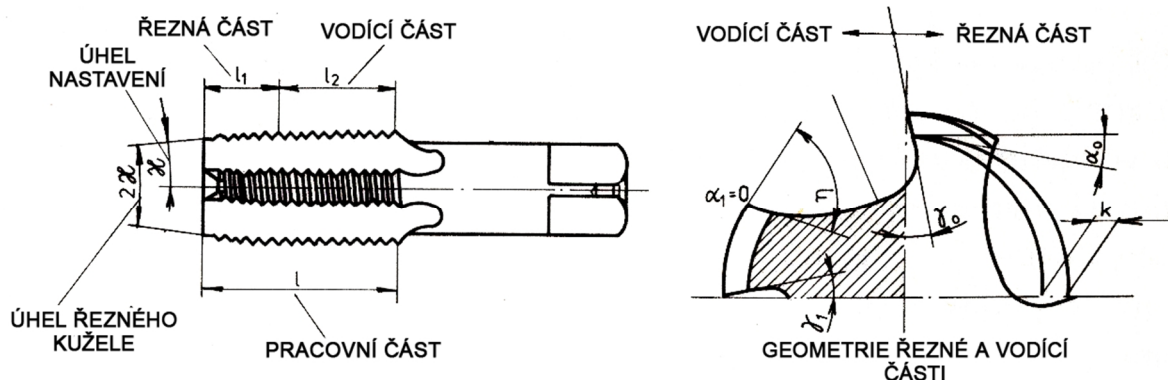


### 3 Přehled výrobních technologií

#### 3.1 Řezání závitů

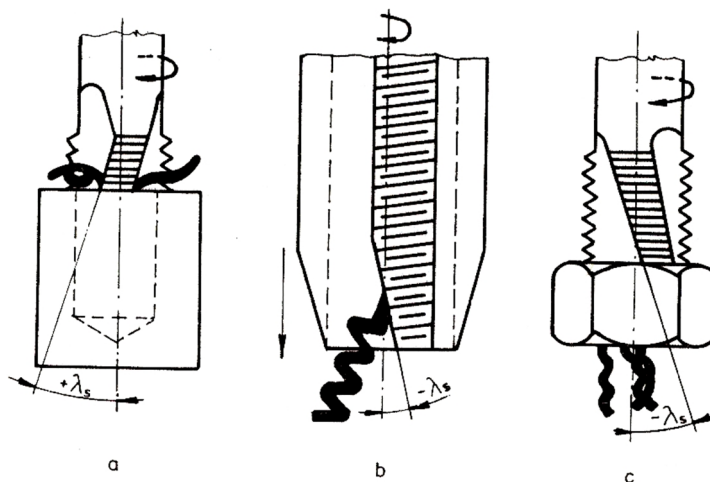
##### 3.1.1 Řezací závitníky

Nejnámější a nejrozšířenější metodou výroby vnitřních závitů je jejich řezání pomocí řezacích závitníků. Závitníků se vyrábí mnoho druhů, které se dělí do různých skupin dle technologie výroby závitu. Závitník se většinou skládá z řezné části, která se dělí na zaváděcí, řeznou a kalibrovací, poté následuje stopka a závitník je ukončen upínací částí (Obr. 3-1). Proces řezání závitu musí být vždy za přísunu mazací a chladicí kapaliny.



Obr. 3-1 Popis závitníku [6]

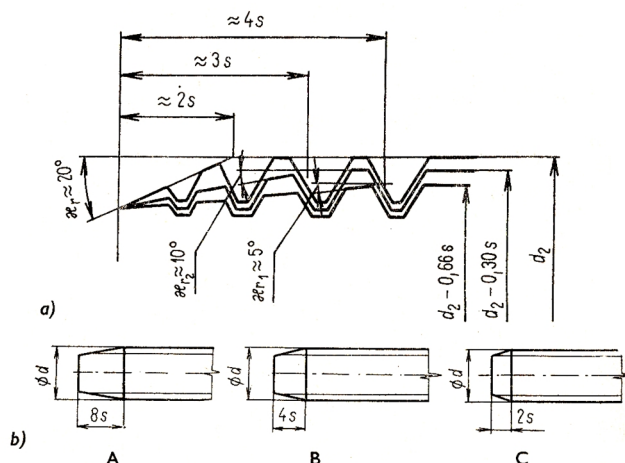
Řezná část je charakteristická soustavou drážek, jejichž počet se odvíjí od průměru závitníku a druhu obráběného materiálu. Nejčastěji se však jedná o tři drážky. Úhel stoupání těchto spirálových drážek určuje směr odchodu třísek z místa řezu. Pokud je úhel stoupání drážek neutrální, tj.  $0^\circ$ , tak dochází ke hromadění třísek v drážce. Dále pro pravé závity platí, že pravotočivá spirálová drážka tlačí třísky před závitníkem ve směru řezu a levotočivá spirálová drážka vytlačuje třísky proti pohybu závitníku ven z otvoru (Obr. 3-2).



Obr. 3-2 Vliv úhlu sklonu drážek na odchod třísky [6]

### 3.1.2 Sadové závitníky

Sadové závitníky se používají většinou pro ruční výrobu závitů. Název je odvozen od jejich uspořádání, závitníky tvoří vždy ucelenou skupinu - sadu. Sada je tvořena dvěma až třemi jednotlivými závitníky. Tyto jednotlivé závitníky tvoří stupně, pomocí kterých je postupně do materiálu vyříznut závit. První stupeň slouží k předříznutí závitů, přičemž odebere přibližně 60% z celkového obráběného materiálu. Tento stupeň se vyznačuje nejdelším zaváděcím kuzelem pro pohodlné a přesné zařiznutí závitníku. Druhý stupeň se zavede do předříznuté drážky, tento závitník už má kratší zaváděcí kužel a odebírá přibližně 30% materiálu. Poslední třetí stupeň má již funkci dokončovací. Profil tohoto závitníku již plně odpovídá profilu vyráběného závitů. V tomto stupni se závit dořízne, odebere se posledních 10% materiálu a následně je posledními zuby kalibrován (Obr. 3-3). Těmito závitníky se dají řezat závity jak do průchozích, tak do neprůchozích děr. Standardně je možné vyrobit závit délky až 3xD.



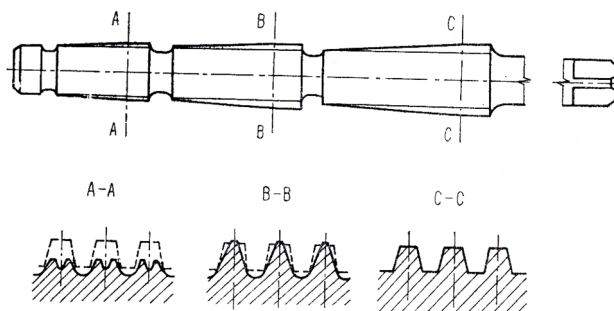
Obr. 3-3 Sadový závitník [7]

### 3.1.3 Maticové závitníky

Maticové závitníky jsou podobné sadovým závitníkům, a to především prvnímu stupni. Celý závitník je znatelně delší s velice táhlým náběhovým kuzelem, krátkou kalibrační částí a průchozí stopkou (Obr. 3-4). Tento typ závitníků se používá pro krátké průchozí závity (zpravidla do 1,5xD). Jak název napovídá, tak se používají pro výrobu matic a jiných krátkých výrobků. Závitník je možné používat jak v ruční tak ve strojní výrobě.



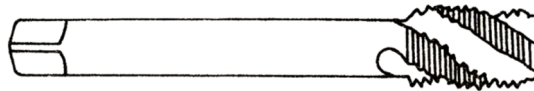
Obr. 3-4 Maticový závitník [7]



Obr. 3-5 Maticový trapézový závitník stupňovitý [7]

### 3.1.4 Strojní závitníky

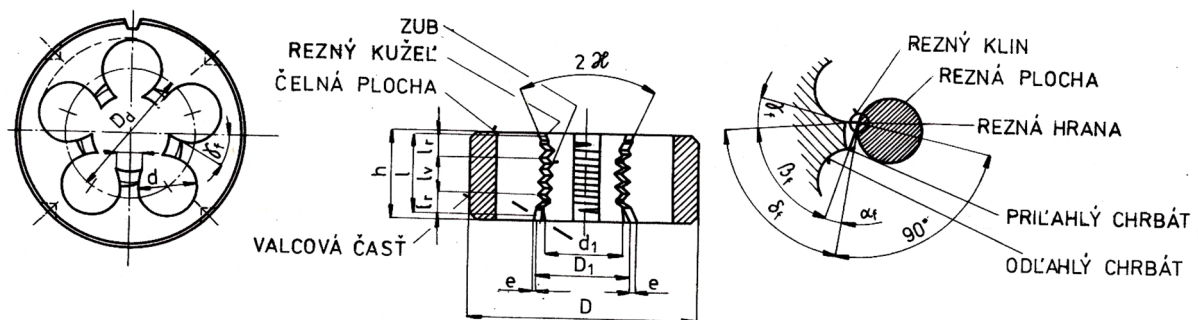
Strojní závitníky jsou vzhledově podobné jako třetí stupeň u sadových závitníků. Zde již pro zhotovení závitu stačí pouze jeden závitník, protože při strojním řezání je dostatek krouticího momentu k odebrání veškerého materiálu. Závitníky mají krátký náběhový kužel, který je dlouhý pouze 3 až 4 stoupání, zbytek řezné části už je přímo profil závitu. Tyto závitníky se vyrábějí v mnoha podobách, liší se hlavně stoupáním drážky a konstrukčním provedením (Obr. 3-6).



Obr. 3-6 Strojní závitník [8]

### 3.1.5 Závitové čelisti

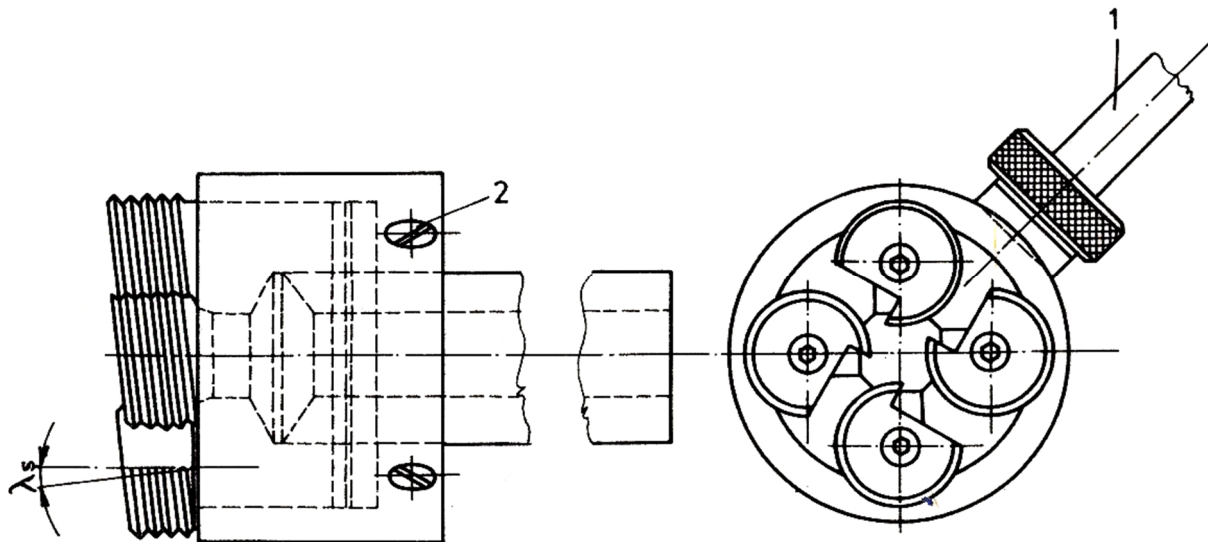
Závitové čelisti jsou nejběžnějším nástrojem pro výrobu vnějších závitů. Čelist je kruhová, připomínající matici, která má 3 až 5 drážek pro odvod třísek a náběhový kužel pro snadnější vnikání do materiálu. Kruhové čelisti bývají oboustranné, tudíž po otupení jedné strany je možné čelist otočit a využít druhou řeznou hranu (Obr. 3-7). Tyto čelisti se nedají nijak seřizovat, proto se vyrábějí dělené čelisti, kde je možné v malých odchylkách nastavit průměr a tím se přizpůsobit obráběnému materiálu a získat vyšší přesnost závitu.



Obr. 3-7 Závitové očko [6]

### 3.2 Závité hlavy

Závité hlavy slouží výhradně pro strojní řezání závitů. Používají se hlavně na revolverových a automatických soustruzích. Čelisti se dají rozevírat, tím se nastaví přesný rozměr závitu. Hlavy mají dvě páky, první je na předříznutí a druhá je na doříznutí závitu. Vyrábějí se v několika velikostech se vkládanými čelistmi, které přesně odpovídají řezanému závitu. Do hlavy se vkládají tyto čelisti postupně, proto jsou očíslovány podobně jako čelisti u sklíčidla. Jednotlivé druhy hlav se rozdělují do skupin podle uložení a tvaru řezných nožů. První a nejběžnější skupinou jsou hlavy s radiálně uspořádanými čelistmi, druhou skupinu tvoří hlavy s tangenciálními noži a poslední je varianta s kotoučovými noži (Obr. 3-8).



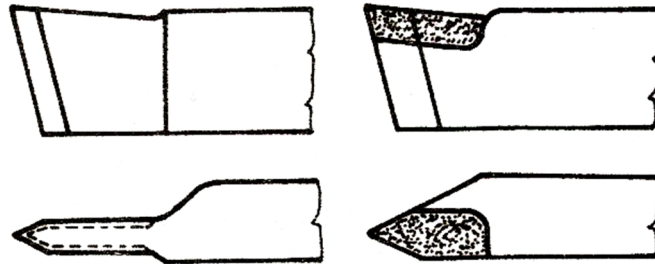
Obr. 3-8 Závitořezná hlava s kotoučovými noži [6]

### 3.3 Soustružení závitů

Soustružení je běžný způsob výroby jak vnějších, tak i vnitřních závitů rozličných průměrů i stoupání. Tímto způsobem se dají vyrábět závity relativně snadno na běžných soustruzích s vodícím šroubem. Závity se řezou pomocí soustružnických nožů, kterých je několik druhů. Nevýhodou je, že se závit musí zhotovovat na několik průchodů, což snižuje produktivitu obrábění.

### 3.3.1 Radiální nože

Radiální nože jsou nejběžnější nástroje pro řezání závitů. Mají vybroušený řezný klín, který přesně odpovídá drážce závitů (Obr. 3-9). Tyto nože se dají brousit pouze z čela, jinak by došlo k narušení geometrie profilu závitů (vrcholového úhlu). Počet ostření je proto značně omezen.



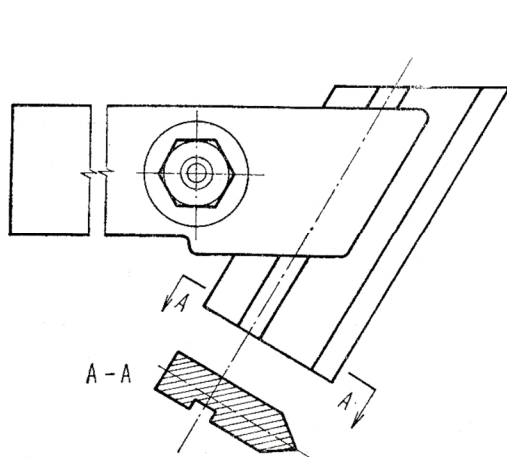
Obr. 3-9 Radiální soustružnický nůž [9]

### 3.3.2 Tangenciální nože

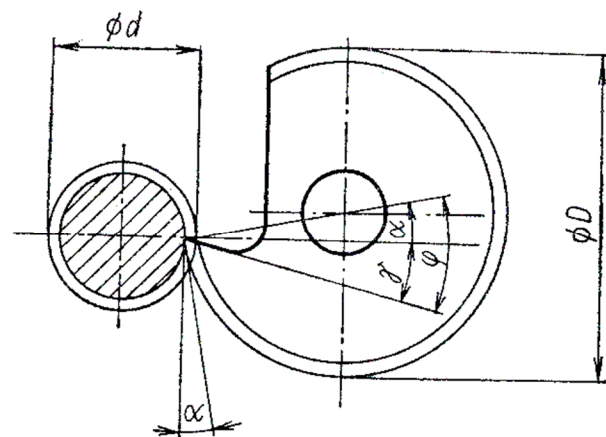
Další skupinu tvoří tangenciální nože, někdy též nazývané prizmatické nebo nástrčné (Obr. 3-10). Používají se zejména na revolverových a automatických soustruzích. Nůž je upnutý v držáku a k obrobku je nastavený tečně. Výhodou těchto nožů je možnost velkého počtu přestření, neboť se jedná o dlouhý tyčový profil.

### 3.3.3 Kotoučové nože

Poslední skupinou jsou kotoučové závitové nože (Obr. 4-11), jedná se takřka o radiální nůž, který je navinutý na válec (kotouč). Na tomto kotouči je vybroušen pravoúhlý zářez a úhel čela. Tyto nože jsou opět více využívány v automatické výrobě. Počet přestření je vysoký, protože závitový profil je po celém obvodu kotouče.



Obr. 3-10 Tangenciální nůž [7]



Obr. 3-11 Kotoučový nůž [7]

### 3.4 Frézování závitů

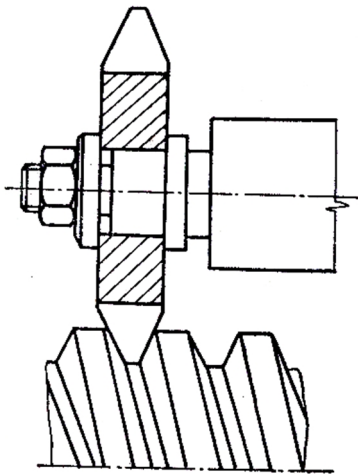
Frézování jako takové je velice produktivní metoda obrábění. Tímto způsobem se je možné vyrábět jak vnitřní, tak vnější závitů hlavně větších velikostí. Existuje několik způsobů výroby závitů frézováním.

#### 3.4.1 Kotoučové frézy

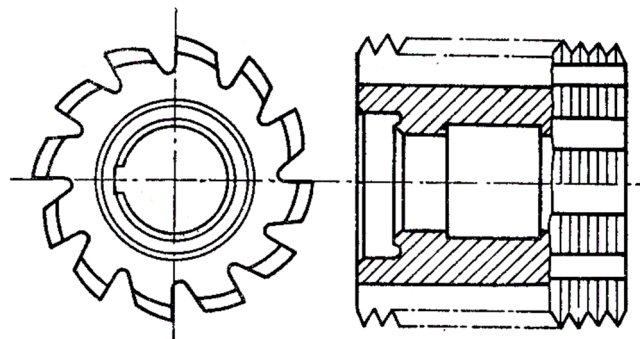
Prvním z nich je výroba pomocí jednoprofilové kotoučové frézy (Obr. 3-12). Tyto frézy se většinou používají pro výrobu dlouhých pohybových závitů. Při práci je fréza vykloněna o úhel stoupání šroubovice a tečně na obvodu válce vytváří drážku. Stejnou frézou lze vytvářet závitů různých průměrů. Při vlastní výrobě koná hlavní řezný pohyb fréza, a to rotační, vedlejší rotační pohyb koná obrobek a posuv záleží na konkrétním výrobním stroji.

#### 3.4.2 Hřebenové frézy

Dalším způsobem je výroba pomocí hřebenové válcové frézy, a to buď nástrčné (Obr. 4-13), nebo stopkové. Tato metoda je vhodná pro kratší spojovací závitů, kde je možné za jednu otáčku obrobku vytvořit celý profil závitů, přičemž se posune o jedno stoupání. Při obrábění je osa hřebenové frézy rovnoběžná s osou závitů.



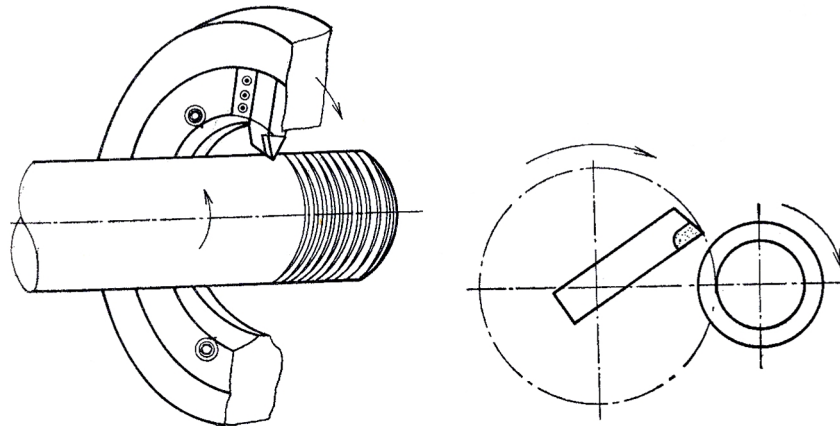
Obr. 3-12 Jednoprofilová kotoučová fréza [7]



Obr. 3-13 Hřebenová válcová nástrčná fréza [7]

### 3.4.3 Okružovací hlavy

Jedním ze způsobů je také obrábění pomocí okružovacích hlav (Obr. 3-14). Jedná se o rotující prstenec, ve kterém je na vnitřním obvodu několik řezných nožů podobných nožům soustružnickým. Skrz tento prstenec prochází obrobek (tyč), která se pozvolna otáčí a kolem ní rychle rotuje zmíněný prstenec. Tento způsob je vhodný hlavně pro obrábění dlouhých vodících šroubů a je velice produktivní. Jinou variantou tohoto způsobu je vnější okružovací hlava.



Obr. 3-14 Vnitřní a vnější okružovací hlava [7]

### 3.4.4 Broušení závitů

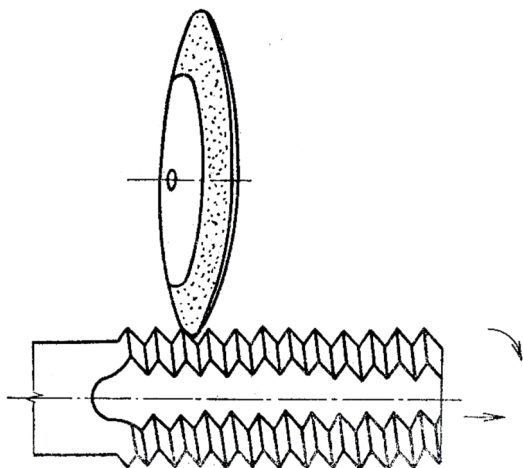
Broušení je technologicky velice podobné frézování. Broušením se mohou vytvářet kompletní závity, nicméně ve většině případů se tato operace zařazuje až jako dokončovací po předchozím obrábění. Broušením závit získá patřičnou přesnost a jakost obrobených ploch.

#### Jednoprofilové kotouče:

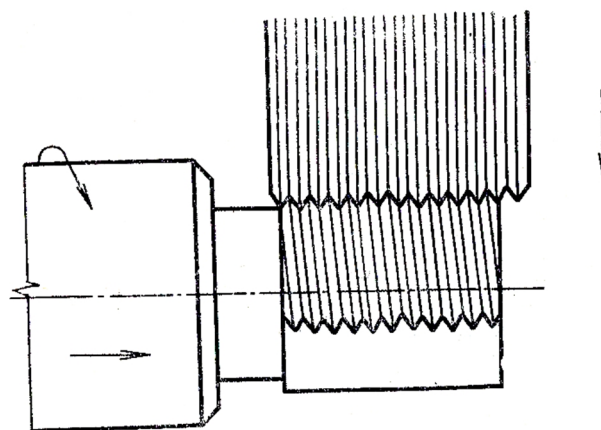
Prvním způsobem je broušení závitů jednoprofilovým kotoučem (Obr. 3-15). Brusný kotouč má na sobě přesně vytvořený tvar, který se na něm vytvoří pomocí diamantových orovnávačů. Zde hlavní pohyb vykonává brusný kotouč, vedlejší pohyby vykonává obrobek, tj. rotaci a posuv. Tímto způsobem se vytvářejí nejpřesnější závity.

#### Víceprofilové kotouče:

Druhý způsob je pomocí víceprofilového kotouče (Obr. 4-16). Touto metodou dochází k broušení několika závitů najednou, kdy kotouč musí být vždy delší, než je broušený závit.



Obr. 3-15 Jednoprofilový brusný kotouč [7]



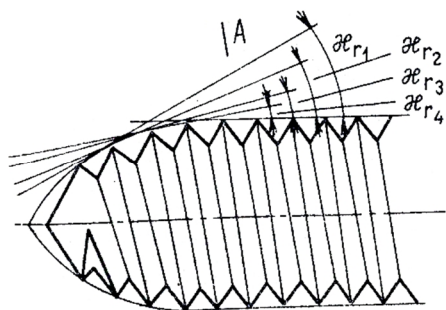
Obr. 3-16 Víceprofilový brusný kotouč [7]

### 3.5 Tváření závitů

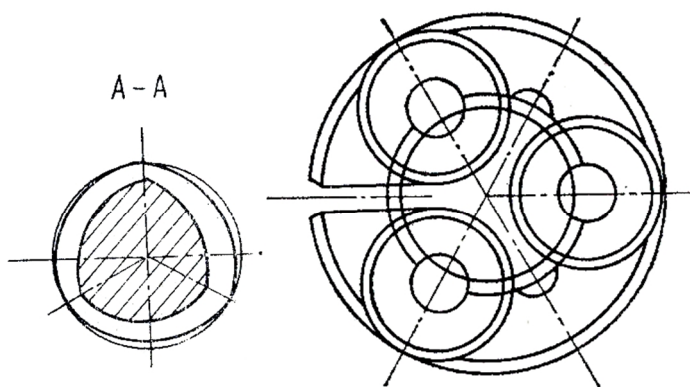
Tváření je jednou z nejjednodušších technologií výroby závitů. Tato metoda je nejvíce nasazovaná ve velkosériové a hromadné výrobě, kde jsou nejvíce zúročené její výhody. Při válcování nevznikají žádné třísky, proces výroby je velice rychlý a produktivní a výsledný závit má lepší mechanické vlastnosti než závit řezaný, protože dochází tváření materiálu.

#### 3.5.1 Tvářecí závitníky

Nejproduktivnější výroba vnitřních závitů je pomocí tvářecích závitníků (Obr. 3-17). Tento závitník vypadá podobně jako běžný závitník pro řezání. Rozdíl je v pracovní části, kde tvářecí závitník nemá drážky pro odvod třísek a jeho průřez není válcový, ale má tvar trojbokého polygonu, v technické praxi známý jako K profil. Takovýto závitník je axiálně zatlačován šroubovým pohybem do obrobku. Tím dochází k přemístování materiálu a v obrobku vznikne závit. Pro větší průměr závitů se používají speciální válcovací hlavy pro vnitřní závit, které se skládají ze tří kruhových válcovacích tělísek.



Obr. 3-17 Tvářecí závitník [7]



Obr. 3-18 Válcovací závitová hlava [7]



### 3.5.2 Válcovací závitové hlavy

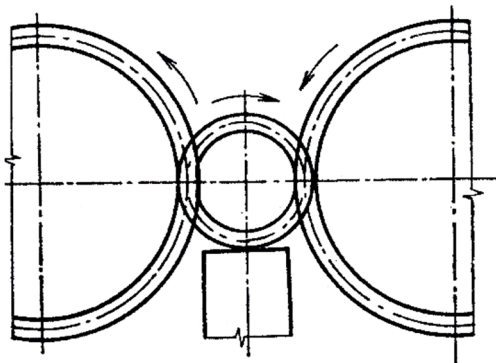
Nejběžnějším způsobem výroby vnějších tvářených závitů je použití válcovacích závitových hlav, které jsou opatřeny většinou třemi kotouči pro axiální válcování (Obr. 4-18). Tato hlava je natlačena na polotovar, do kterého se zašroubuje a po dokončení operace se kotoučky odklopí a hlava vyjede ven z řezu. Takovéto hlavy se vyrábějí v řadě modifikací, jako jsou například hlavy s nastavitelným rozměrem závitů. Takovéto hlavy je možné používat na soustruzích, revolverech, soustružnických automatech nebo vrtačkách.

### 3.5.3 Válcovací kladky

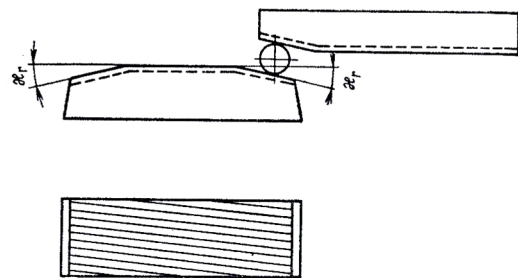
Jiným principem jsou radiální válcovací kladky (Obr. 3-19). Zde obrobek do hlavy nevstupuje axiálně, ale je radiálně stlačován mezi dvěma kladkami. Na kladkách jsou vroubky odpovídající profilu závitů a otáčením těchto kladek se tento profil vmáčkne do polotovaru. Tento způsob je vhodný pro sériovou výrobu.

### 3.5.4 Ploché válcovací desky

Podobným principem je válcování mezi plochými deskami (Obr. 4-20). Plochá deska je vlastně válec o nekonečně velkém průměru. Jedna deska je vždy pevná a druhá je pohyblivá. Odvalováním po válci vznikne žádaný profil závitů. Existuje opět několik variant založených na různorodosti polohy desek nebo směru vkládání polotovaru.



Obr. 3-19 Radiální válcovací kladky [7]



Obr. 3-20 Válcovací desky [7]

## 3.6 Odlévání a vstřikování

Technologií odlévání se vytvářejí převážně velké závitové, u kterých se vyplatí předlití, aby odpadlo velké množství obrábění. Na to, aby bylo možné závit odlít, je nutné používat některou z pokročilejších technologií odlévání, jako je například lití do kovových forem, tlakové lití, vytavitelné modely nebo skořepinové formy. Každopádně je v drtivé většině případů nutné po odlití závit obrobit.

Jinou kategorií je vstřikování plastů, kde se závitové běžně zhotovují již během vstřikování. Plastické hmoty dovolují většinou vytvořit už tak kvalitní závit, že již není nutné pro běžné aplikace závit dodatečně obrábět.

## **4 Moderní trendy ve výrobě závitů**

### **4.1 Moderní řezné materiály**

(Zpracováno s pomocí [2] , [10])

Řezný materiál hraje zcela zásadní roli ve vlastnostech celého nástroje. Svými vlastnosti určuje použití, výkonnost, trvanlivost, řezné podmínky a ostatní parametry nástroje. Proto je výběr vhodného řezného materiálu jednou z nejdůležitějších fází vývoje nástroje. Existuje celá řada běžných nástrojových materiálů, k nimž se v posledních letech přiřazují méně tradiční materiály.

#### **4.1.1 Rychlořezná ocel (HSS)**

Rychlořezná ocel je stále jeden z nejpoužívanějších materiálů na výrobu závitových nástrojů. V mnoha oblastech obrábění byla již překonána dokonalejšími materiály, nicméně jsou oblasti, kde je téměř nenahraditelná. Jednou z takových oblastí je řezání a tváření vnitřních závitů pomocí závitníků. V kombinaci s tvrdými povlaky je tento materiál velice výkonný. Dnes se na výrobu závitových nástrojů téměř výhradně používá kobaltová rychlořezná ocel s označením HSS-E s obsahem kobaltu 5-10%, popřípadě prášková rychlořezná ocel HSS-PM.

#### **4.1.2 Slinuté karbidy (SK, TK, HM)**

Slinuté karbidy jsou produktem práškové metalurgie, kde se kombinují různé druhy práškových karbidů spojených pomocí kovového pojiva. Jako karbid je běžně používaný karbid wolframu (WC), karbid titanu (TiC), karbid tantalu (TaC) a další jiné vysokotavitelné karbidy kovů. Pojivo je téměř vždy kobalt, výjimečně jiný kov. Slinuté karbidy se používají pro vyměnitelné soustružnické a frézovací závitové destičky, monolitní závitové frézy popřípadě řezací závitníky v hromadné výrobě a většinou jen pro obrábění slitin hliníku. Veškeré karbidové vyměnitelné destičky nebo nástroje jsou téměř zásadně opatřeny vhodným povlakem.

#### **4.1.3 Cermety**

Cermety jsou principiálně podobné slinutým karbidům, jsou kombinací tvrdých keramických částic na bázi titanu (TiC, TiCN) a kovového pojiva. Tento materiál je velice tvrdý, křehký, tepelně odolný a chemicky stálý. V současnosti se cermety nacházejí svými vlastnostmi mezi slinutými karbidy a řeznou keramikou. Pro závitové nástroje není tento materiál příliš vhodný díky přerušovanému řezu, který křehký materiál špatně snáší. Jedinou oblastí použitelnosti je soustružení nejjakostnějších závitů, kde nedochází k rázům.

#### **4.1.4 Řezná keramika**

Keramika jako řezný materiál je mimořádně vhodná pro obrábění tvrdých, kalených, tvrzených a jiných těžkoobrobitelných materiálů. Je velice tvrdá, křehká, tepelně odolná až do 1200°C. Z těchto vlastností je patrné, že i tento extrémně tvrdý materiál nesnáší přerušovaný řez a proměnnou hloubku řezu. V rámci obrábění závitů je možné použití jen při soustružení s pomocí vyměnitelných destiček. Rozsah použití i na přerušovaný řez, by mohl přinést příchod speciálního druhu vyztužené řezné keramiky pomocí monokrystalických tenkých vláken – whiskerů. Takto vznikne kompozit, který kombinuje vlastnosti keramiky jako tvrdost, tepelnou odolnost s houževnatostí a odolností proti lomům. V budoucnosti by tento materiál mohl hrát významnou roli ve výrobě závitů.

#### **4.1.5 Polykrystalický kubický nitrid boru (KBN, CBN)**

Tento materiál je extrémně tvrdý (až 5000HV), vysoce tepelně odolný (až 2000°C), odolný vůči otěru. Přesné vlastnosti se dají ovlivnit velikostí krystalů, typem a množstvím pojiva. Dnes se používá ve formě masivních destiček, povlaků na slinutém karbidu nebo jako nalepené řezné těleso na podkladu ze slinutého karbidu. Hodí se pro obrábění na čisto a to tvrdých ocelových a litinových materiálů. Při obrábění měkkých materiálů (pod 45HRC) se projevuje zajímavá vlastnost tohoto řezného materiálu a to, že se opotřebovává daleko rychleji než při obrábění tvrdých materiálů. Pro obrábění závitů není tento materiál z hlediska jeho vlastností příliš vhodný, možné je použít pouze u soustružení.

#### **4.1.6 Polykrystalický diamant (PKD)**

Polykrystalický diamant je nejtvrďší řezný materiál, proto je velice odolný proti opotřeбенí. Životnost při obrábění je v některých situacích až 100x vyšší než u slinutého karbidu. Nicméně pro tento materiál existují jistá omezení. Prvním z nich je teplota použitelnosti, která je nanejvýš 600°C. Při překročení této teploty dojde k degradaci diamantu na grafit. Druhým omezením je afinita uhlíku, proto není možné tento materiál používat na veškeré slitina na bázi železa. Třetím je nevhodnost pro houževnaté, vysoce pevné materiály. Z těchto omezení vyplývá použitelnost na neželezné a nekovové materiály a to s vysokou přesností a jakostí povrchu. Pro obrábění závitů se tento materiál používá ve formě povlaků na závitníky z rychlořezné oceli.

Grafické porovnání používaných řezných materiálů se nachází příloze P-3.

## **4.2 Moderní metody chlazení a mazání nástrojů**

(Zpracováno s pomocí [1], [10])

### **4.2.1 Emulze**

Nejčastěji se na chlazení a mazání na obráběcích centrech používá právě emulze. Poměrové složení emulze vždy závisí na druhu obráběcí operace, ale pro řezání závitů je nutná koncentrace alespoň 7-8%. Použití emulze však není nejideálnější způsob chlazení, protože jí je potřeba velké množství, po nějakém čase dochází k její degradaci a na celkových nákladech na výrobek se podílí až 15%.

### **4.2.2 Závitořezný olej**

Olej je jednou z nejlepších metod pro zhotovování závitů, pomocí níz se vyrábějí závity s vysokou jakostí povrchu a s prodlouženou trvanlivostí nástrojů. Nicméně strojů s centrálním rozvodem oleje je velice málo. Většinou se jedná o velice speciální stroje.

### **4.2.3 Závitořezná pasta**

Závitořezné pasty jsou výsledkem požadavků na výrobu nejkvalitnějších závitů. Na trhu jsou relativně krátkou dobu a jsou vhodné hlavně na horizontální výrobu řezaných závitů a výrobu tvářených závitů velkých průměrů a hloubek v těžkoobrobitelných materiálech. Pasta je konzistencí podobná vazelině a je možné ji nanášet na nástroj nebo do díry pouze štětečkem. Nevýhodou pasty je její ulpívání v hotovém závitě a tím složitě čištění obrobku. V některých případech není možné pastu ze závitě odstranit.

### **4.2.4 Minimální množství chlazení – mlha (MMS)**

Nejnovější obráběcí stroje ve stále větší míře podporují přívod malého množství chlazení do místa obrábění, tzv. mlhy. Mlha se přivádí skrze vřeteno. Velkou výhodou tohoto systému je vysoká ekologičnost a nižší provozní náklady při zachování stejných pracovních podmínek. Tento typ chlazení má vysokou perspektivu do budoucnosti, jelikož odbourává nevýhody emulzního chlazení a na ceně výrobku se podílí pouze 2-3%. Pro tento systém je nutné uzpůsobení vřetena a upínače. Existuje jednokanálový a dvoukanálový systém. Jednokanálový systém přivádí směs oleje a vzduchu jedním kanálem až do místa řezu. Výhodnější dvoukanálový systém přivádí zvlášť vzduch a zvlášť olej, přičemž ke smíšení dochází až na konci upínače.

Další možností je závitování za sucha, tj. bez použití jakékoli procesní kapaliny. Tento systém je však použitelný pouze u šedé litiny.

#### 4.2.5 Tlakový vzduch

Chlazení tlakovým vzduchem, popř. chlazeným tlakovým vzduchem, je velice ekonomickou alternativou ke chladicí kapalině. Snižuje se namáhání nástroje tepelnými šoky a zároveň dochází k odfukování třísek i z velmi hlubokých forem a zápustek. Ochlazování vzduchu se provádí pomocí vírové trubice (Obr. 4-1).

„Tlakový vzduch vnikne do tangenciálně navrtného nepohyblivého generátoru, který tlačí vzduch podél vnitřní stěny trubice ve směru regulačního ventilu horkého vzduchu, přičemž je dosaženo rychlosti zvuku. Část vzduchu unikne jehlovým ventilem u vývodu horkého vzduchu. Vzduch, který neunikl, je nuceně veden zpět středem vzduchového proudu, majícího rychlost zvuku, přičemž způsobí jednoduchou tepelnou výměnu. Vnitřní vzduchová spirála, mající pomalejší pohyb, odevzdá teplo vnější rychlejší spirále. Když vnitřní spirála vyjde ven středem nepohyblivého generátoru ve směru odvodu studeného vzduchu (tedy směrem před trubicí), má extrémně nízkou teplotu. Rychlost toku vnějšího proudu (horkého vzduchu) je stále vyšší než rychlost vnitřního proudu (studeného vzduchu), neboť část vnějšího proudu je odvedena ventilem horkého vzduchu ve směru zadní části trubice.“ [1]



Obr. 4-1 Vírová trubice [1]

### 4.3 Povrchové úpravy nástrojů

(Zpracováno s pomocí [1], [10])

Povrchová úprava je zcela rozhodující pro výsledné vlastnosti celého nástroje. Tyto úpravy povrchu se v posledních letech velice rozšířily. Dříve býval povlakovaný nástroj velkou vzácností, ale dnes je skoro problém najít nástroj bez povlaku nebo jiné povrchové úpravy. V minulosti bývali téměř všechny nástroje z rychlořezné oceli, nicméně po zvládnutí práškové metalurgie byl rychlořezné oceli předpovídaný brzký úpadek. Po příchodu povlaků se však situace změnila, výkonnost rychlořezné oceli v kombinaci s povlakem se posunula o několik řádů výše. V dnešní době se povlakují i velice tvrdé karbidové nástroje. Povlaky již neslouží jen k prodloužení životnosti ostří, ale svými vlastnostmi se podílí na celém procesu obrábění.



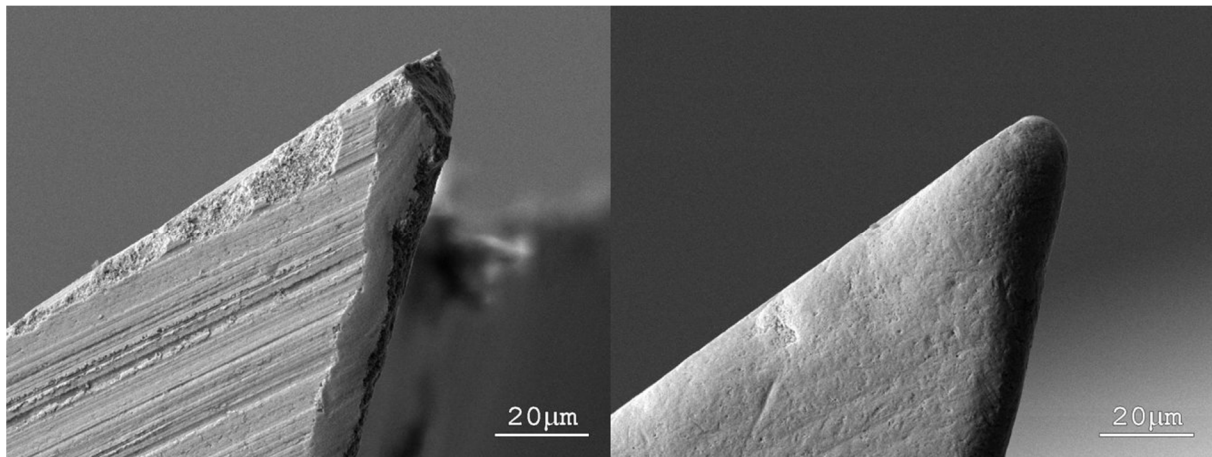
Obr. 4-2 Povrchové úpravy nástrojů [11]

### 4.3.1 Mikropískování

Při výrobě je na nástroji vybroušená přesná geometrie a naostřeny veškeré řezné hrany. Takto se dostane do obráběcího procesu téměř ideálně ostrý nástroj, nicméně v prvních chvílích kontaktu s obráběným materiálem je toto velice jemné ostří odlomeno a tím vznikne na ostřím nedefinované zaoblení. Toto odlomení špičky je v řádech tisícín milimetru, nicméně se negativně podepíše na trvanlivosti nástroje. V případě, že je nástroj povlakovaný, se odlomí špička povlaku, tím se odhalí podkladový materiál a řezné vlastnosti nástroje se rapidně změni a tím se sníží životnost celého nástroje.

Z tohoto důvodu byla vyvinuta technologie mikropískování, která spočívá v definovaném otupení veškerých ostrých hran na nástroji. Tím se docílí, že hrana není ideálně ostrá, ale má přesně definované zaoblení, které si při kontaktu s obráběným materiálem zachovává stále stejnou geometrii. Toto zaoblení má také výhodu při nanášení povlaku, při kterém povlak přilne na větší měrnou plochu a tím je odolnější proti vylomení. Celý proces mikropískování se provádí ve speciálních komorách, kde je na nástroj foukán proud vzduchu o určitém tlaku, ve kterém jsou unášeny mikroskopické částice abraziva o určité velikosti a ty zaoblí hrany. Společně se zaoblením jsou odstraněny veškeré mikroskopické otřepy vzniklé při broušení.

Tato technologie pronikla do oblasti závitování kolem roku 2000, kde se poprvé uplatnila na závitových frézách. Přibližně v roce 2005 se začaly mikropískovat i řezné závitníky. S touto technologií u svých závitníků poprvé přišla firma Emuge a dodnes je mikropískování doménou pouze kvalitních výrobců závitových nástrojů.



Obr. 4-3 Princip mikropískování [12]

#### 4.3.2 Oxidace

Oxidace se provádí v prostředí horké páry, kde na povrchu nástroje vznikne černá oxidační vrstva. Tato úprava se používá pro závitníky do měkké oceli s nižším obsahem uhlíku, kde chrání nástroj před tvorbou návarů a zajišťuje dobrý přívod chladicího média. (Obr. 4-4)

#### 4.3.3 Nitridace

V atmosféře bohaté na dusík se provede chemicko-tepelné zpracování, při kterém je povrchová vrstva sycena dusíkem. Nasycení povrchu dusíkem je do hloubky přibližně 0,03-0,05 mm. Vrstva má tvrdost 1000-1200 HV. Tato úprava se hodí pro abrazivní materiály a to litiny, slitiny hliníku a duroplasty. (Obr. 4-4)

#### 4.3.4 Nitridace + oxidace

Nástroj je nejprve nitridován a poté je jeho povrch oxidován. Tímto způsobem se skloubí výhody obou postupů. Získá se tvrdý povrch s dobrou přilnavostí chladicí kapaliny k nástroji. (Obr. 4-4)



Obr. 4-4 Povrchové úpravy (Oxidace – Nitridace – Nitridace+Oxidace) [1]

#### 4.3.5 Nitrid titanu (TiN)

Velice hojně používaný povlak, který má charakteristickou zlatavou barvu. Vytváří se PVD procesem při 500°C při tloušťce 1-4 $\mu$ m. Povlak má tvrdost až 2300 HV, je velice hladký s nízkým součinitelem tření. Tím zajišťuje velice dlouhou životnost nástroje. Tepelná odolnost dosahuje až 600°C. (Obr. 4-5)



#### 4.3.6 Carbonitrid titanu (TiCN)

Opět se pro zhotovení povlaku využívá PVD procesu při 500°C. Tloušťka vrstvy přibližně 2-4μm s tvrdostí až 3000HV. Tento povlak je modrošedé barvy a má vynikající tepelnou odolnost až do 400°C. (Obr. 4-5)

#### 4.3.7 Tvrdý chrom

Tvrdý chrom dosahuje tvrdosti až 1400 HVa má vynikající antiadhezní vlastnosti. Je vhodný zvláště pro tvářecí závitníky do neželezných kovů a plastů. Není doporučený pro ocelové materiály, protože má poměrně nízkou tepelnou odolnost a to cca 250°C. (Obr. 4-5)



Obr. 4-5 Povrchové úpravy (TiN – TiCN – Tvrdý chrom) [1]

#### 4.3.8 Kombinace tvrdé a antiadhezní vrstvy

Na nástroj je nejprve PVD procesem nanesen tvrdý povlak o tloušťce 2-4μm a tvrdostí 3000HV. Poté je nanesena horní antiadhezní vrstva, která minimalizuje tření mezi nástrojem a obrobkem. Povlak má tmavošedou barvu.

#### 4.3.9 Amorfni uhlík - diamant

Amorfni uhlík je syntetický diamant černošedé barvy. Procesem PVD je vytvořena vrstvička přibližně 2-4μm a tvrdostí 2500HV. Tento povlak není vhodný pro obrábění železných slitin kvůli vysoké afinitě uhlíku k železu. O to je ale více vhodný pro neželezné kovy s obsahem křemíku do 9%.

#### 4.3.10 Nitrid chromu

Nanesený chromnitrid o tloušťce až 6 μm má tvrdost 1750HV. Povlak je stříbrnošedé barvy a má vynikající kluzné vlastnosti. Je vhodný pro neželezné slitiny a plasty.



Obr. 4-6 Povrchové úpravy (Tvrdá+antiadhezní vrstva – Diamant – Chromnitrid) [1]

## 4.4 Řezací závitníky

(Zpracováno s pomocí [1], [10])

Použití řezacích závitníků je stále nejrozšířenější metodou výroby vnitřních závitů. Je tomu tak i přesto, že existují jiné metody, které vytváří závity produktivněji, rychleji a kvalitněji. Nicméně závitníky jsou použitelné na různorodých strojích a výroba závitu pomocí nich je poměrně jednoduchá. Inovace v řezných závitnících směřují od univerzálních ke speciálním nástrojům, které jsou určeny pro úzkou skupinu obráběných materiálů. Právě obráběným materiálům je přizpůsobená konstrukce a materiál závitníku, řezná geometrie, povrchová úprava, systém upínání a chlazení. Koncepce závitníku je přitom stále stejná. Vždy se skládá z řezné části, stopky a upínací části. U řezné části se rozlišují tři oblasti, a to zaváděcí, řezná a kalibrovací. Jako u všech jiných typů obráběcích nástrojů se i u závitníků ve velké míře prosazuje vnitřní chlazení.



Obr. 4-7 Řezací závitníky [1]

#### **4.4.1 Vliv obráběného materiálu na konstrukci závitníku**

Vliv obráběného materiálu hraje zcela zásadní roli v celkové koncepci závitníku. Existuje celá řada materiálů, které vyžadují naprosto odlišné vlastnosti nástroje.

##### **Ocel**

Běžný materiál, který většinou vytváří dlouhou táhlou třísku, kterou je nutné odvést z místa řezu. Nutná je geometrie s velmi dobrými vodícími vlastnostmi. Běžné závitníky.

##### **Nerezové a těžkoobrobitelné materiály**

Nerezové a těžkoobrobitelné materiály jsou křehké, tvoří dlouhou táhlou třísku, kterou je nutné odvést z místa řezu. Proto se tříska odvádí zásadně v axiálním směru. Dále je snížený úhel hřbetu pro minimalizování tření mezi nástrojem a obrobkem, tím se také omezí vytváření návarů materiálu na nástroj.

##### **Litina**

Litina je všeobecně velice abrazivní materiál, který vytváří krátkou drobivou třísku. Proto závitníky mají přímé drážky, menší úhel čela a jsou povrchově upravovány pro zvýšení otěruvzdornosti. Většinou je doporučeno obrábění za sucha.

##### **Slitiny hliníku**

Hliníkové slitiny tvoří dlouhou táhlou třísku, a proto je nutné ji odvádět zásadně v axiálním směru. Nástroje mají snížený počet drážek, aby bylo více místa pro třísky a zvětšený úhel čela. Lité hliníkové slitiny jsou více abrazivní, proto se na závitníky nanáší tvrdé povlaky a je žádoucí vnitřní chlazení.

### **Mosazi**

Pro mosaz se používá malý úhel čela. Pokud má drobnou třísku, jsou vhodné přímé drážky.

### **Slitiny hořčíku**

Tyto materiály jsou stále více používány v leteckém a automobilovém průmyslu. Závitníky mají většinou přímé drážky a hladkou povrchovou úpravu.

### **Duroplasty a plasty s vnitřními vlákny**

Tyto materiály jsou velice abrazivní a tvoří krátkou člákovitou třísku. Proto se závitníky většinou konstruuji jako celokarbidové s velkým úhlem hřbetu.

### **Termoplasty**

Termoplasty tvoří táhlou třísku, která musí být odváděna v axiálním směru. Závitníky mají speciální náběhy pro odstranění zbytkové třísky.

### **Slitiny titanu**

Tento typ materiálů se vyznačuje vysokou pevností, tvorbou dlouhé třísky a navíc se při obrábění svírá. Pro tyto materiály je nutné použití velmi malých úhlů čela a velmi vysokých úhlů hřbetu. Ovšem tyto specifikace neplatí vždy, proto se pro každý materiál musí nástroj přizpůsobit.

### **Slitiny niklu**

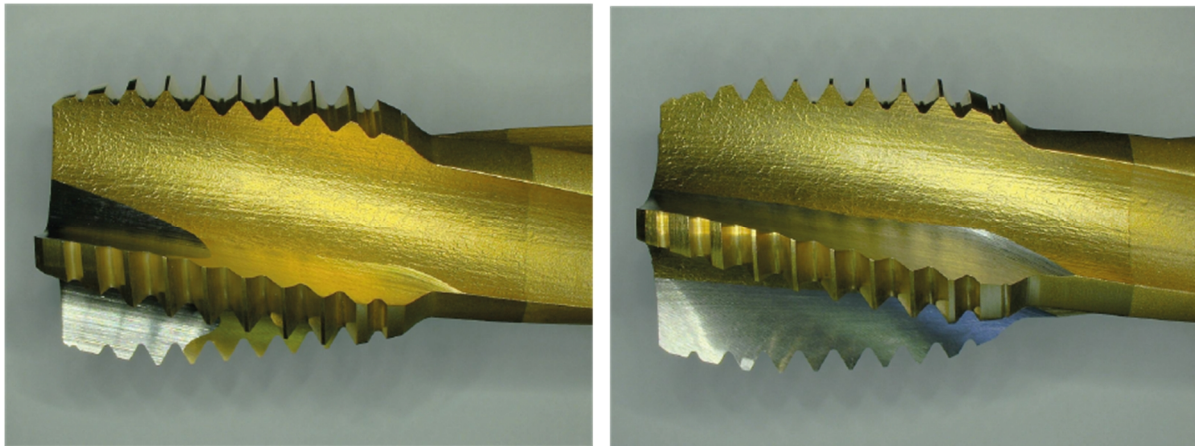
Tyto slitiny jsou velice pevné, křehké a při obrábění se svírají. Typickým představitelem této skupiny je Inconel 718. Pro tyto materiály musí mít závitníky negativní úhel čela a velký úhel hřbetu. To vše musí být doplněno o velice tvrdý a hladký povlak.

### **Kalené oceli**

Kalené oceli mají velice vysokou pevnost, proto jsou závitníky opatřeny až negativním úhlem čela a velkým úhlem hřbetu.

#### 4.4.2 Speciální geometrie pro dělení třísek

Naprostou novinkou, kterou na trh uvedla v minulém roce firma Emuge je speciální podbroušení závitníku, které zaručuje ve všech materiálech dělenou třísku. Odvod dlouhé třísky, kterou vytváří většina ocelových materiálů, je vždy největší problém a limitující kritérium pro veškeré řezací závitníky. Pomocí tohoto speciálního podbroušení vznikne i v těchto materiálech krátká lupínková tříska. To přináší zásadní zlepšení výroby závitů především na CNC strojích, kde nezůstává na nástrojích namotaná tříska.



Obr. 4-8 Detail speciálního podbroušení závitníku pro dělení třísek [1]

#### 4.4.3 Závitníky s vynechanými zuby

Jeden z nových trendů je výroba závitníků s vynechanými zuby. Toto opatření se provádí hned z několika důvodů. Nejdůležitějším důvodem je vznikající tření mezi závitníkem a obráběným materiálem při řezání závitu v pevných nebo svíraných materiálech. Tření na břitech musí být překonáno vyšším krouticím momentem, který ale musí přenést tělo závitníku a tím je více namáháno. Proto se jednotlivé zuby závitníku střídavě vynechávají, tím se sníží celkové namáhání závitníku. Druhým důvodem je zlepšení přísunu kapaliny do místa řezu, která může mezi závitníkem a obrobkem volně protékat. (Obr. 4-9)



Obr. 4-9 Závitník s vynechanými zuby [1]

#### 4.4.4 Závítníky se zabroušenými kalibračními zuby

U některých obráběných materiálů, jako jsou nerezové nebo žáruvzdorné materiály, které tvoří dlouhou a velice pevnou třísku, může docházet k hromadění třísek v zadní části drážek závítníku. Třísky nejsou ideálně odváděny z otvoru a negativně působí na jakost závitu, kterou vytvářejí kalibrační zuby. Tříska se vmačkává pod kalibrační zuby, tím jsou nadměrně namáhány a dochází k jejich vylomení. Vylamování se proto předhází kuželovým ubrušováním kalibračních zubů pod úhlem 15°. (Obr. 4-10).



Obr. 4-10 Závítník s kuželově zabroušenými zuby [1]

#### 4.4.5 Závítníky s extrémně dlouhou stopkou

Moderní materiály a speciální tepelné zpracování umožňují výrobu závítníků s extrémně dlouhou stopkou. Tyto nástroje jsou velice choulostivé na přesnost obvodového házení. Takové závítníky jsou vhodné pro řezání závitů v těžko dostupných místech. Délka nástrojů dosahuje 15-30xD. Jen pro porovnání, běžné strojní závítníky jsou dlouhé přibližně 10xD. (Obr. 4-11)



Obr. 4-11 Závítník s extrémně dlouhou stopkou [1]

#### 4.4.6 Zvonové závitníky

Velice zajímavým nástrojem jsou tzv. zvonové závitníky. Jejich koncepce je známá již řadu let. Přestože mají své velké výhody, v praxi jsou velice málo používané. Název je odvozen od čelního zvonu, který je dutý a poskytuje tím prostor pro třísky. Tento typ závitníku má vynikající vlastnosti, a to hlavně přesné vedení a najíždění, přesné závity s hladkým povrchem a výhodu v čelním prostoru pro třísky. Veškeré odebrání materiálu se provádí v přední části závitníku, kde se nacházejí rezné zuby. Zbytek nástroje již žádné zuby nemá. Dá se říci, že to je jen jakýsi šroub, který slouží jen pro přesné vedení nástroje. Právě tato část nástroje zajišťuje, že závit nemůže být nikdy přeřezán. Tento nástroj vyžaduje kvalitní mazání, nejlépe závitovou pastou. (Obr. 4-12)



Obr. 4-12 Zvonový závitník [1]

#### 4.4.7 Kombinované závitníky

Další zajímavý nástroj je kombinovaný závitník. Koncepce byla vyvinuta z důvodu odbourání časů při výměně vrtáku a závitníku. Tento jediný nástroj je schopný otvor pro závit předvrtat a následně vyříznout závit. Tento závitník lze však použít pouze na průchozí otvory a na strojích umožňujících změnu otáček pro vrtání a pro řezání závitů. V poslední době se od tohoto nástroje upouští, jelikož odcházející třísky při vrtání často vylamují závitníkové zuby a také s rozmachem velice rychlých CNC strojů není problém nástroje vyměnit za velice krátkou dobu. (Obr. 4-13)



Obr. 4-13 Kombinovaný závitník [1]

#### 4.4.8 Vícestupňové závitníky

Závitníky se nevyrábějí pouze pro spojovací závity, ale je možné řezat i pohybové závity. Nástroje se v zásadě liší pouze v tvaru zubů, který odpovídá vyráběnému závitu. Výroba např. trapézového závitu je však v porovnání s metrickým závitem náročnější z důvodu většího množství odebíraného materiálu. Proto jsou závitníky pro trapézové závity delší a v některých případech je na jednom těle závitníku integrována vícestupňová pracovní část. První část závit hrubuje a tím odebere značnou část materiálu a následující část závit dořizne na čisto a zkalibruje (Obr. 4-14).



Obr. 4-14 Vícestupňový závitník [1]

#### 4.4.9 Vysokorychlostní řezání závitů

Závity je možné řezat pomocí závitníku vysokorychlostně. Nástroj má odlehčený hřbet pro minimalizaci tření a je napovlakován tvrdým povlakem s nízkým součinitelem tření a vysokou tepelnou odolností. S těmito nástroji je poté možné řezat závity rychlostí až 100m/min, což u závitu M6 znamená 5300ot/min. Pro vysokorychlostní řezání je ale nutná reverzační hlava, protože CNC stroj by nebyl schopný v tak vysokých otáčkách reverzovat pohyb a proto by skutečné otáčky vřetena byly hluboko pod požadovanými. Reverzační hlava umožní závitování v maximálních otáčkách bez změny směru otáčení vřetena stroje. Více v kapitole 4.8. Dále tento způsob obrábění vyžaduje vnitřní chlazení.

Kromě standardních katalogových závitníků je možné si nechat vyrobit závitník na zakázku dle výkresu. Tímto způsobem vznikají nástroje s netradičními průměry a stoupáními, ale také zcela konstrukčně ojedinělé nástroje. (Obr. 4-15)



Obr. 4-15 Speciální závitníky [1]



## 4.5 Tvářecí závitníky

(Zpracováno s pomocí [1], [10])

Tváření závitů za studena není příliš rozšířená metoda, přestože je velice výhodná, spolehlivá a bezpečná. Odpadá starost s odvodem třísek z místa řezu, jelikož se jedná o beztržiskovou metodu. Tím není limitována maximální hloubka závitu. Tvářený závit má řadu výhod. Tvářením nedochází k přerušování struktury materiálu, jako je tomu u řezacích závitníků, ale materiál se pouze přemísťuje. Tím se zvyšují jeho mechanické vlastnosti. Tvářené závity mají oproti řezaným až o 30% vyšší statickou pevnost a až o 100% dynamickou únosnost. Další nespornou výhodou je, že nemůže docházet k přerušování závitů, jako je tomu u řezných závitníků. Přerušování dochází ke změně vrcholového úhlu a ke snížení přesnosti a únosnosti závitu. Nelze opomenout ani vyšší stabilitu nástroje při tváření.



Obr. 4-16 Tvářecí závitníky [1]

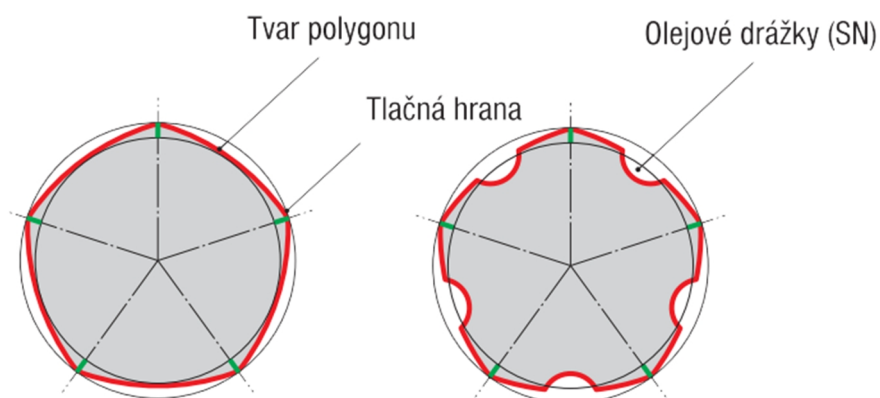
#### 4.5.1 Moderní konstrukce tvářecích závitníků

V posledních letech došlo k největšímu inovativnímu skoku v oblasti konstrukce celého závitníku. Klasická konstrukce se skládá z náběhové kuželové části, která plynule zvětšuje svůj průměr až po vyráběný rozměr závitu a poté následuje stopka a upínací část. Průřez závitníku není válcový, ale má tvar polygonu, který je důležitý pro snížení namáhání od tvářeného povrchu. Standardně se od dob prvních tvářecích závitníků používal trojboký polygon, který byl univerzální pro všechny materiály vhodné k tváření. Ve všech sférách konstrukce nástrojů se však v dnešní době přistupuje ke speciálním nástrojům pro jednotlivé materiály, popřípadě skupinám materiálů a upouští se od univerzálních.



Obr. 4-17 Nové tvary polygonů [1]

V roce 2005 si nechala firma Emuge patentovat řadu závitníků InnoForm, které se od sebe liší hlavně tvarem polygonu, jejich geometrií a povrchovou úpravou. Tyto tvářecí závitníky existují v několika variantách, kde každá z nich je vhodná pro jinou skupinu tvářených materiálů. Spolu s touto specializací se naprosto zásadně zvýšila výkonnost tváření a to u některých materiálů až o stovky procent. Výrazně se také posunula hranice materiálů, které mohou být tvářeny. Pro běžné závitníky jsou hranicí použitelnosti materiály s minimální tažností 7 % a pevností maximálně 1000 MPa. Nová generace nástrojů je schopná tvářet závity s pouze 5% tažností, pevností do 1400 MPa a průměrem až M48. Použitelnost nástrojů u některých materiálů je až do stoupání 5 mm. Tyto nástroje se mohou vyskytovat bez nebo s drážkami, tyto drážky neslouží k odvodu materiálu, jak by se na první pohled mohlo zdát, ale slouží k přivádění maziva do místa tváření. Geometrie je na tak vysoké úrovni optimalizace, že potřebný krouticí moment pro tváření je téměř stejný jak pro mazání olejem tak pro mazání emulzí.



Obr. 4-18 Geometrie tvářecích závitníků [1]

#### **4.5.2 Vliv tvářeného materiálu na konstrukci tvářecího závitníku**

Celá konstrukce tvářecího závitníku je závislá na obráběném materiálu, velikosti tvářeného závitu a na délce náběhu. Tyto tři parametry určují, jaký bude mít výsledný závitník geometrii pro konkrétní použití, tj. tvar polygonu. Přesné informace, jak má závitník pro danou aplikaci vypadat není možné zjistit, jelikož se jedná o výrobní tajemství. Závitníky se vyrábějí s nebo bez vnitřního chlazení. V následujících odstavcích bude vždy uveden charakteristický zástupce s konkrétním přibližným popisem.

##### **Ocel**

Tyto základní materiály mají vysokou tažnost a poměrně nízkou pevnost, proto je proces tváření bezproblémový. Závitník M10 s náběhem 3,5-5,5 závitů má 6 tlakových hran, optimalizovaný polygon a TiN povlak.

##### **Korozivzdorné a těžkoobrobitelné materiály (VA)**

Korozivzdorné materiály mají vysokou pevnost a také velký sklon k tvorbě návarů na nástroji - adhezi. Během tvářecího procesu také dochází k dalšímu zpevňování materiálu. Proto je výroba závitů do těchto materiálů velice náročná. Pro bezproblémový stabilní tvářecí proces je nutná uzpůsobená geometrie a použití kombinace tvrdého a otěruvzdorného povlaku. Závitník M10 má 7 tlakových hran, optimalizovaný polygon pro korozivzdorné oceli a kombinovaný povlak tvrdé a antiadhezní vrstvy.

##### **Tvárné slitiny hliníku a neželezné kovy (AL)**

Tyto materiály jsou známé svým velkým sklonem k nalepování na břity nástroje. Proto je nutné zajistit velice kvalitní mazání a použití speciálních povlaků na snížení tření. Závitník M10 s náběhem 2-3,5 závitů má 5 tlakových hran, optimalizovaný polygon pro tváření mědi, mosazi s dlouhou třískou a tvářeného hliníku a diamantový povlak.

##### **Lité slitiny hliníku (GAL)**

Tento druh materiálů se vyznačuje velkým množstvím křemíku, který působí na nástroj velice abrazivně. Navíc jsou tyto materiály velice křehké, proto výsledný povrch závitů není vždy ideální. Naprostou nutností pro nástroje je přítomnost tvrdého a otěruvzdorného povlaku a uzpůsobené geometrie. Závitník M10 s náběhem 1,5-2 závity má 8 tlakových hran, optimalizovaný polygon pro litý hliník a TiCN povlak.

### Vysoce-pevné oceli (Z)

Tváření závitů do těchto ocelí je velmi náročné jak pro nástroje tak stroje. Při tváření těchto vysoce-pevných materiálů dochází z velkým tepelnému a mechanickému namáhání nástrojů, proto je nutné použití speciální geometrie a tvrdého povlaku. Závitník M10 s náběhem 2-3 závitů má 5 tlakových hran, optimalizovaný polygon pro vysoce pevné materiály a vícevrstvý TiN povlak.

### Litiny (H)

Litiny mají nízkou tažnost, proto je nástroj uzpůsobený jak tvarem, tak povlakem. Závitník M10 má 7 tlakových hran, optimalizovaný polygon pro litiny a TiCN povlak.

### Měkké oceli (W)

Tyto oceli jsou snadno tvářeny, proto jsou vhodné pro velice kvalitní a rychlou výrobu závitů. Závitník je uzpůsoben ostřejší geometrií a tvrdým povlakem. Závitník M10 s náběhem 2-3,5 závitů má 5 tlakových hran, optimalizovaný polygon pro měkké materiály a TiN povlak.



Obrázek 4-1 Nová řada tvářecích závitníků InnoForm [1]

## 4.6 Kombinace řezacího a tvářecího procesu při výrobě závitů

(Zpracováno s pomocí [1], [10])

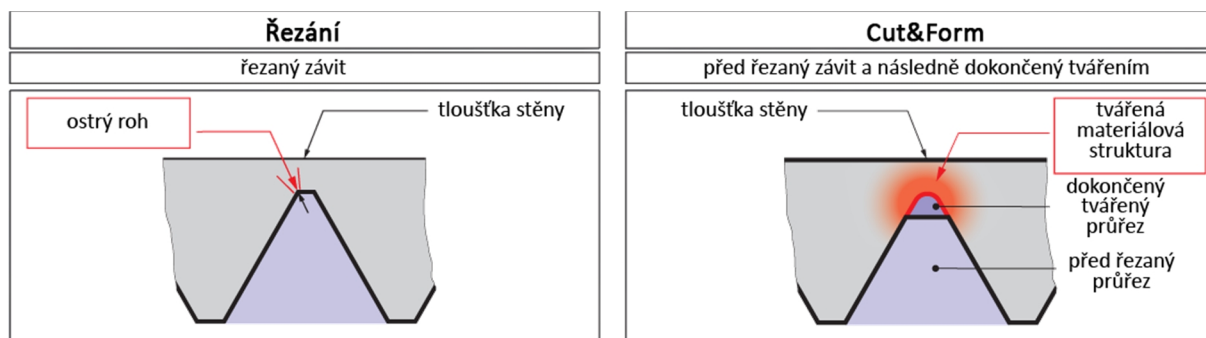
Řezání a tváření závitů jsou dva naprosto rozdílné principy výroby závitů, přičemž každá z těchto technologií má své nesporné výhody ale, také nevýhody.

Proces řezání je zastoupený řezacími závitníky a závitovými frézami. Pomocí těchto nástrojů není problém vytvořit téměř jakýkoli závit, od miniaturních až po závity se stoupáním desítek milimetrů. Hlavní nevýhody jsou např. méně výhodná materiálová struktura, nebezpečí axiálního přezáčení profilu nebo horší kvalita povrchu.

Proces tváření je prováděn pomocí tvářecích závitníků nebo válcovacích hlav. Hlavní limitující aspekt pro tuto technologii je pevnost materiálu a jeho omezená schopnost tváření. Další nevýhodou jsou velké řezné síly při tváření větších závitů. Oproti tomu má tvářený závit daleko lepší mechanické vlastnosti a kvalitu povrchu.

### 4.6.1 Technologie Cut & Form

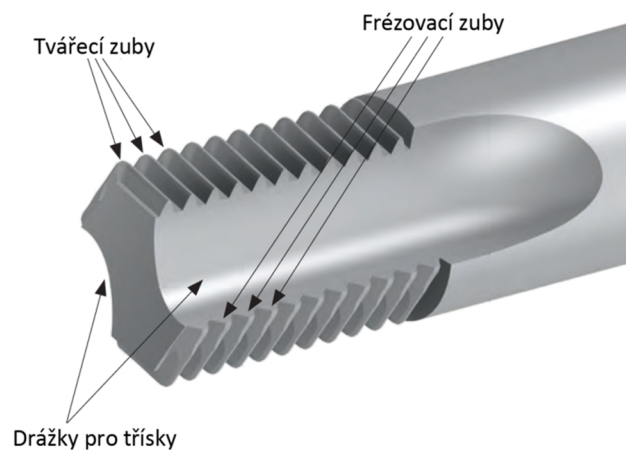
Proto v roce 2010 přišla na trh firma Emuge s patentovanou technologií Cut & Form, která kombinuje oba zmíněné principy pro výrobu vnitřních závitů. V základu jde o velice jednoduchou myšlenku. Závit je nejprve hrubován řezacím závitníkem, kde se vytvoří 70% profilu a následně je závit dotvářen tvářecím závitníkem (Obr. 4-19). Tímto postupem se docílí protvářené paty závitu. Tak se odstraní ostrá hrana, která vzniká u paty závitu při řezání klasickým závitníkem, která působí jako iniciátor lomu. Tím se zvýší únosnost závitu o 30-50%. Navíc se odstraní nevýhody tvářených závitů a to snížené přesnosti malého průměru, zdeformované špičky závitu a nemožnost výroby závitu do tvrdých a těžkoobrobitelných materiálů. Tato technologie se používá pro dynamicky namáhané součásti. K řezání závitů mohou být využity i závitové frézy místo řezacích závitníků. Materiálová struktura a jiné ukázky jsou vidět v příloze P-6.



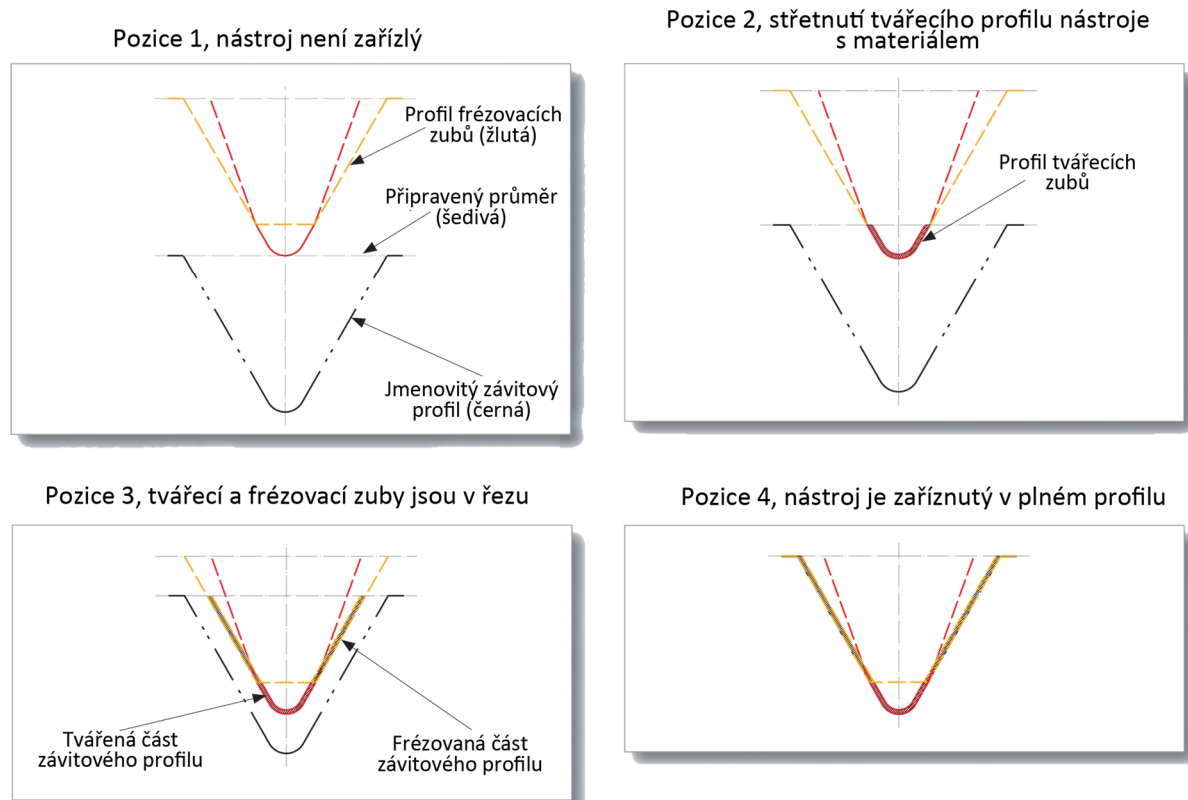
Obr. 4-19 Technologie Cut & Form [1]

#### 4.6.2 Technologie Mill & Form

Tato technologie firmy Emuge je principiálně shodná s předchozí. Rozdíl je, že tyto závity se frézují závitovými frézami a zároveň se tím samym nástrojem dotvářejí. Nástroj má jednu polovinu profilu řezací a druhou polovinou je profil tvářecí. Jedná se o velmi komplikovaný nástroj a to jak tvarem, tak výrobou. Veškeré ostatní parametry jsou shodné s technologií Cut & Form. V dnešní době jsou na trhu dostupné závitové frézy s tímto profilem pouze běžné stopkové a vrtací závitové frézy. Kruhově interpolační a cirkulární (s VBD) závitové frézy jsou ve stádiu testování.



Obr. 4-20 Fréza Mill & Form [1]



Obr. 4-21 Postup výroby závitového profilu pomocí technologie Mill & Form [1]

## 4.7 Frézování závitů

(Zpracováno s pomocí [1], [10])

Frézování je velice oblíbenou metodou obrábění materiálu. Je to díky své vysoké výkonnosti, široké univerzálnosti a dělené třísce, která je pro obrábění velice výhodná. Veškeré tyto vlastnosti se uplatňují i u frézování závitů. Touto metodou se zhotovují jak vnitřní, tak i vnější závity a častokrát tyto obě úlohy zastane jeden a ten samý nástroj. Obrovskou výhodou pro frézování závitů je oproti řezání nebo tváření pomocí závitníků minimalizace rizika znehodnocení téměř hotového výrobku při zlomení nástroje v řezu. Další výhodou je možnost zhotovení závitu na jeden záběr během jednoho stoupání, kde samozřejmě oproti závitníkům odpadá nutnost reverzace pohybu a vyšroubování nástroje z obrobku. Frézování závitů jako takové, je metoda známá již desítky let, nicméně vždy byla používána jen pro velké závity a to většinou pohybové vyráběné na klasických strojích. Po nástupu moderní CNC techniky tato metoda zažila svojí renezanci a v posledních letech zažívá progresivní růst.

V oblasti konstrukce nástrojů běžných stopkových závitových fréz je téměř vyčerpaný inovativní vývoj. U těchto nástrojů se již zlepšuje pouze materiál nástroje, který je v drtivé většině slinutý karbid, kde se vylepšuje složení nebo se používají submikronové karbidy. Jako povlak se nejvíce osvědčuje TiCN. Cesta, jak zvýšit výkon těchto nástrojů je zvýšení počtu břitů. Proto se ustupuje směrem od nižšího počtu drážek a velkých zubových mezer směrem k většímu počtu drážek a menší velikosti zubové mezery. Tím se docílí zkrácení výrobního času závitu a navíc nástroj s více bříty má klidnější chod.



Obr. 4-22 Závitové frézy [1]

#### 4.7.1 Vrtací závitové frézy

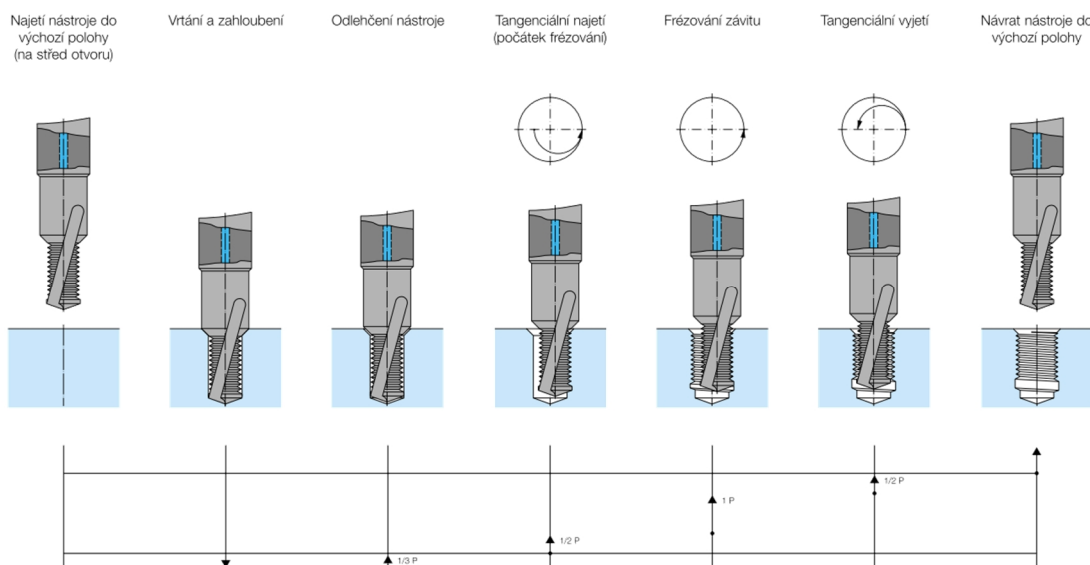
Cesta, jak zvýšit produktivitu a výkon při zhotovování závitů je použití tzv. kombinovaných nástrojů. Takovýto nástroj si dokáže vyvrtat otvor do plného materiálu, provede zahloubení a poté za dvě objety obvodu otvoru vyfrézuje závit. Tímto postupem se rapidně snižují vedlejší časy na výměnu nástrojů a sníží se počet nástrojů v zásobníku stroje.

Vrtací závitové frézy (Obr. 4-23) jsou určeny pro jeden průměr závitu, jedno stoupání a jednu hloubku závitu. U dna závitu je od vrtacího čela vytvořený výběh závitu ve formě zápichu. Pro tento typ nástrojů je velice důležitý a nutný vnitřní přívod chladicí kapaliny, jak z důvodu chlazení nástroje, tak hlavně pro odplavování třísek z místa řezu. Jako nástrojový materiál je zásadně používán slinutý karbid a frézy se vyrábí do velikosti M16 a délky maximálně  $2,5xD$ . Při větších hloubkách by již docházelo k vysokému odtlačení nástroje a závit by byl kuželový.



Obr. 4-23 Vrtací závitová fréza [1]

Použitelnost tohoto nástroje není univerzální do veškerých materiálů. Je vhodný především do velkosériové výroby a především na obrábění litiny a hliníkových slitin s obsahem křemíku 5-10%. Tento fakt je dán hlavně problémem odvodu dlouhých táhlých třísek ve fázi předvrtávání otvoru, kde při předvrtání ocelových materiálů by odcházející tříška vylámala frézovací zuby z obvodu nástroje. Proto je možné se vrtacími frézami setkat v automobilovém průmyslu při obrábění bloků motorů nebo převodovek. Postup výroby závitu je zřejmý z Obr. 4-24.



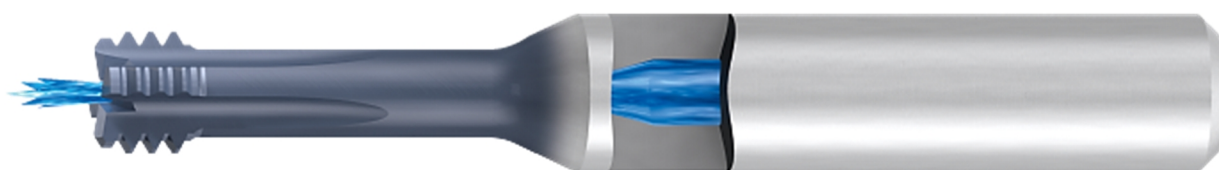
Obr. 4-24 Postup výroby závitu vrtací frézou [1]



#### 4.7.2 Kruhově interpolační závitové frézy

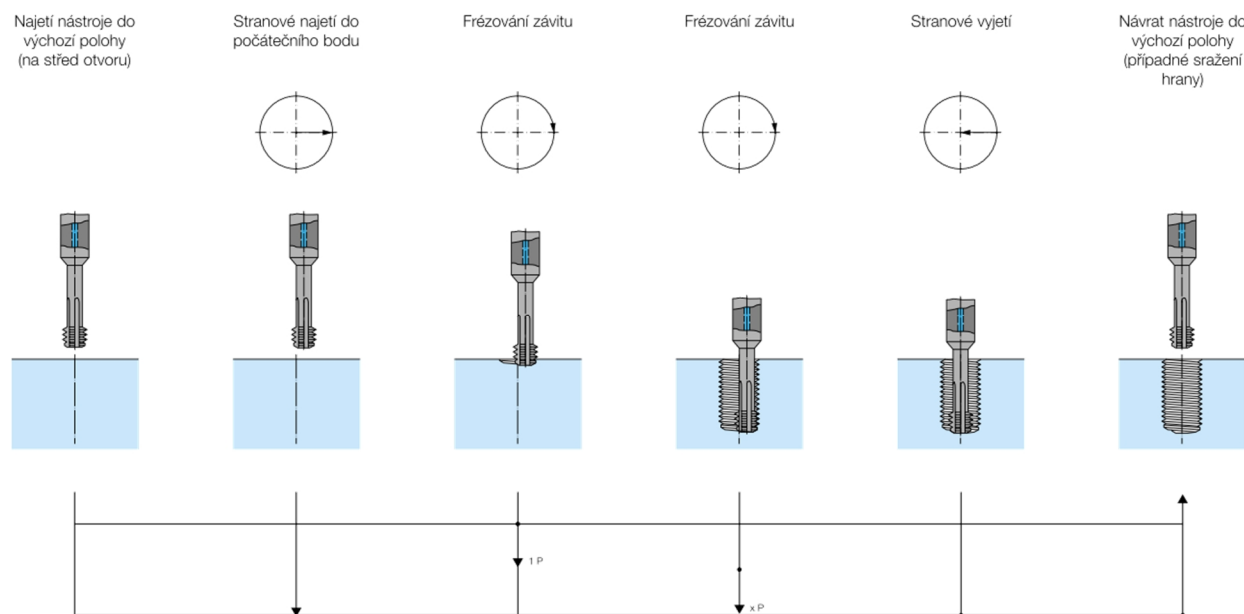
Novinkou ve frézování závitů je také kruhově interpolační fréza. Jedná se opět o kombinovaný nástroj, který je schopný vyhotovit vnitřní závit do plného materiálu. Nepracuje na principu vrtáku jako vrtací frézy, nicméně funguje jako zavrtávací stopková fréza.

Kruhově interpolační závitová fréza je určena pro různé průměry závitů, různé hloubky ale pro jedno stoupání. Zvláštnost této frézy je, že její pracovní otáčky jsou levotočivé, aby byl proces frézování sousledný. Je to z důvodu, že vlastní závit se frézuje směrem do materiálu. U ostatních závitových fréz se vždy závit frézuje směrem ode dna otvoru ven z materiálu a v takových případech jsou pracovní otáčky pravotočivé. Nutné je vnitřní chlazení.



Obr. 4-25 Kruhově interpolační fréza [1]

Tato fréza je téměř univerzální nástroj pro jakýkoli obráběný materiál, protože zde nejsou problémy s táhlou třískou, která je z podstaty frézování vždy dělená. Nicméně tento typ frézy se používá hlavně pro závit v tvrdých a kalených materiálech. Samozřejmě tento nástroj umí frézovat závit do měkkých materiálů, ale z ekonomického hlediska je tato výroba nevýhodná. Postup výroby závitů je zřejmý z obrázku (Obr. 4-26).



Obr. 4-26 Postup výroby závitů kruhově interpolační frézou [1]

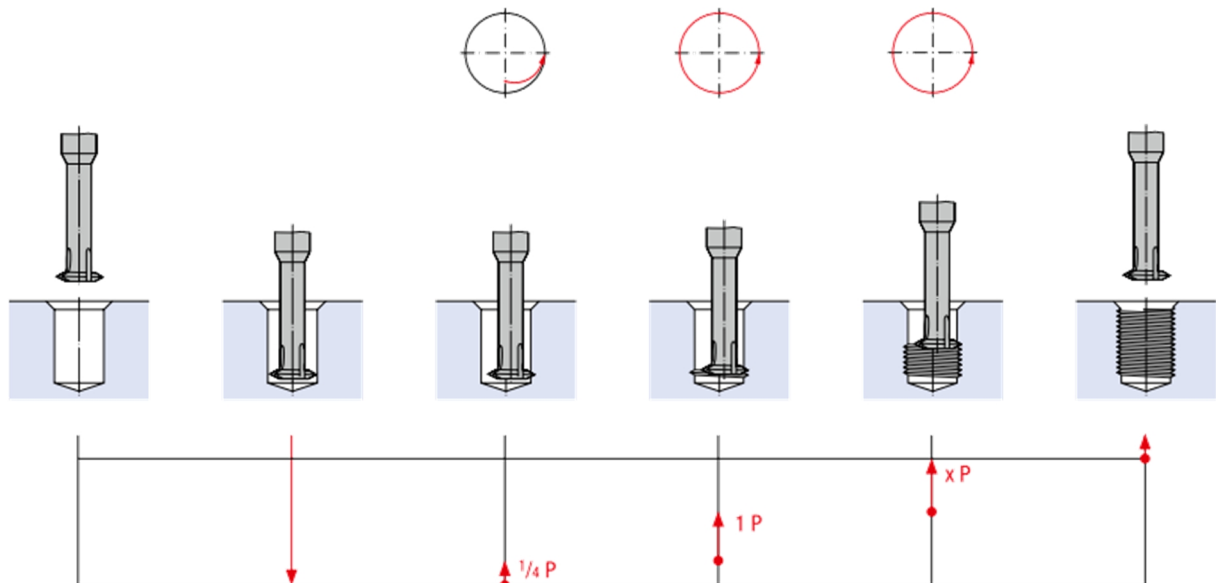
### 4.7.3 Církulární závitové frézy

Velice zajímavý nástroj, pomocí kterého je možné frézovat závit o různých průměrech, hloubkách ale i stoupání. Jedná se o velice univerzální nástroj, který ale vyžaduje předvrtaný otvor a vytvořené zahloubení. Závit se vytváří postupnou kruhovou interpolací, kde je každý závit vytvořen zvlášť za jedno objetí obvodu otvoru.



Obr. 4-27 Církulární závitová fréza [1]

Tento nástroj je celokarbidový a je možné s ním vytvářet závity od M1 do M16. Obrábění závitu M1 se dá považovat za mikroobrábění, velikost frézovacího disku je přibližně 0,8mm a má pouze jeden řezný břit. Od M1,4 je nástroj již vícebřitý. Obrábění tak malých závitů vyžaduje velice přesné stroje uzpůsobené pro plynulé souvislé řízení v řádech tisícín milimetru. Postup výroby závitu je zřejmý z obrázku (Obr. 4-28)



Obr. 4-28 Postup výroby závitu církulární frézou [1]

## 4.8 Moderní systémy upínání nástrojů

(Zpracováno s pomocí [1], [10])

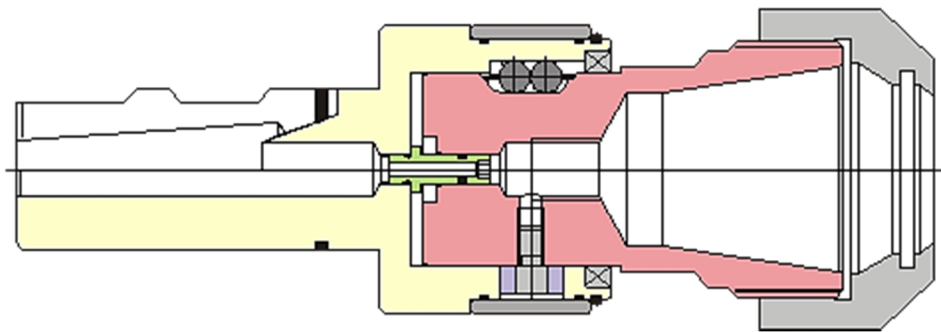
Systém upnutí závitového nástroje je jedním z nejdůležitějších faktorů promítajícího se na kvalitu výsledného závitu a trvanlivosti nástroje. Další důležitou funkcí je ochrana nástroje a obrobku při závitování. Existuje velké množství systémů upínání nástrojů, ale jen některé jsou vhodné pro závitování.



Obr. 4-29 Příklady upínacích pouzder [1]

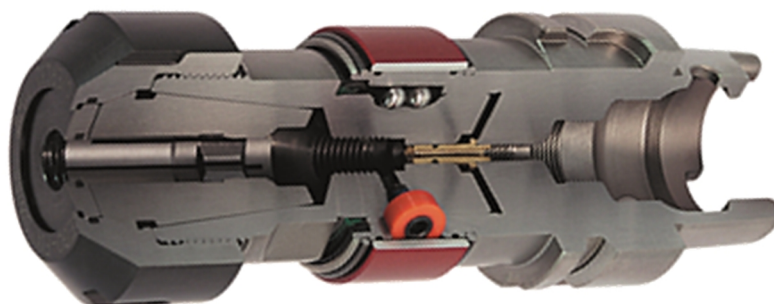
#### 4.8.1 Upínače s minimálním délkovým vyrovnáním

Upínače s minimálním délkovým vyrovnáním byly vyvinuty speciálně pro CNC obráběcí stroje. Minimální délková dilatace znamená, že je nástroji umožněn axiální pohyb a to v řádech desetin milimetru, u velkých pouzder je to maximálně 2 mm. Tato dilatace je nutná kvůli nedokonalosti strojů, protože i CNC stroje řídí své pohyby s určitou chybou a tím dochází k rozdílu mezi neprogramovanou a skutečnou polohou nástroje. To znamená, že s určitou přesností je schopný najet pomocí posuvů na danou polohu a vřeteno je schopné se určitou přesností natočit. Proces závitování je o to složitější, že tyto pohyby musí být plně synchronizovány, to znamená, že v každém okamžiku musí natočení vřetene odpovídat určitému posuvu (tato problematika je velice podrobně vysvětlena v příloze P-7). Díky těmto odchylkám byli firmou Emuge vyvinuta závitová pouzdra typu SoftSynchro, která umožňují nástroji mikroskopickou dilataci, díky níž eliminuje odchylky v řízení stroje. Pokud se nástroj upne do vřetena stroje „na tvrdo“, tak je vystavený zvýšenému namáhání, které se projeví větší axiální silou přenášenou přes hřbety břitů nástroje. To se projeví na snížené trvanlivosti nástroje a zvýšeném riziku zlomení nástroje v obrobku.



Obr. 4-30 Schéma upínače SoftSynchro [1]

Upínače SoftSynchro používají velice přesné kleštiny s kuželovitostí 1:100 a unášecím čtyřhranem, nebo systém hydraulického upínání. Dále je možný vnitřní přívod chlazení a to až do tlaku 50 barů nebo přívod mlhy (MMS). Mikroskopickou dilataci umožňují pružné elementy.

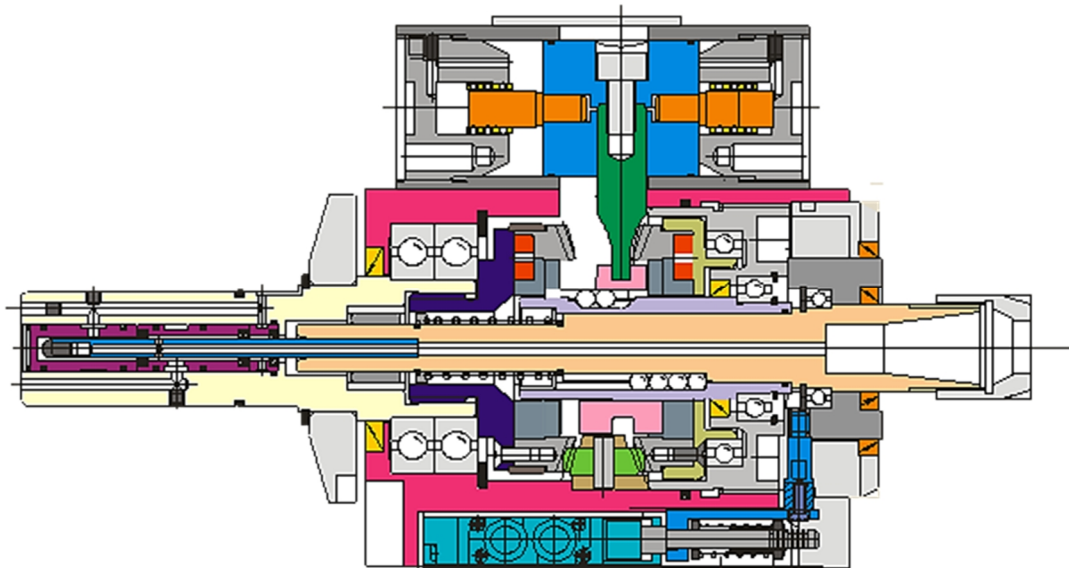


Obr. 4-31 Upínač SoftSynchro [1]

#### 4.8.2 Reverzační aparáty pro CNC stroje

Tyto reverzační aparáty se používají pro CNC obráběcí stroje a to z důvodu dodržení konstantní řezné rychlosti v celé délce pracovního cyklu výroby závitu.

Problém u CNC stroje je, že nikdy nemůže dodržet navolené pracovní otáčky, jelikož u dna závitu musí zastavit a změnit smysl otáčení pro zpětný pohyb. U menších závitů dochází k situaci, že CNC stroje ani nezačínají vyrábět závit navolenou řeznou rychlostí a navíc čím se nástroj více blíží ke dnu závitu, tím otáčky klesají až do reverzace otáček. Tímto postupem se ztrácí optimální pracovní podmínky a hlavně se rapidně prodlužují výrobní časy.



Obr. 4-32 Schéma reverzačního aparátu SwitchMaster [1]

Reverzační aparát typu SwitchMaster zajistí téměř konstantní řeznou rychlost v celé délce závitu. Vřeteno stroje se otáčí konstantními otáčkami v jednom směru a reverzační aparát zajistí reverzaci otáček u dna závitu. Tato reverzace trvá cca 35 ms a je prováděna pomocí pneumatického pístu. Pomocí tohoto aparátu se zvýší trvanlivost nástroje a zrychlí se výroba.



Obr. 4-33 Reverzační aparát SwitchMaster [1]

### 4.8.3 Zrychlovací pouzdra

Naprostá novinka, která se teprve přichází na trh, je kleštinový upínač se zrychlovací převodovkou pro synchronní řezání malých závitů (M1 - M8) na CNC strojích.

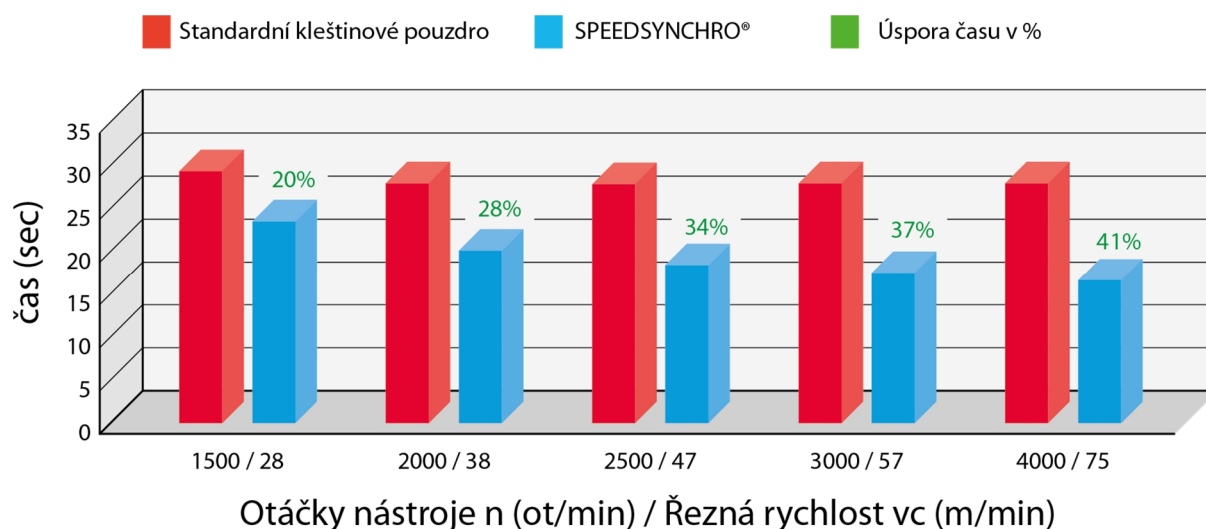
Toto zrychlovací pouzdro řeší podobně jako reverzační aparát problém se synchronizací stroje ve vysokých otáčkách a trvalému zpomalování při řezání závitu z důvodu bezpečného zastavení a reverzování otáček.

Proto firma Emuge vyvinula zrychlovací pouzdro SpeedSynchro, které má převod 1:4,412. Pomocí tohoto upínače je například možné řezat závit 3000 ot/min, ale vřeteno se otáčí pouze 680 ot/min. Takto nízké otáčky umožňují bezproblémové a přesné zastavení u téměř jakéhokoli CNC stroje. Součástí aparátu je také systém minimálního délkového vyrovnání SoftSynchro. Pomocí tohoto pouzdra je možné uspořit až 40% času (Obr. 4-35). Tato technologie je vhodná pro vysokorychlostní obrábění.



Obr. 4-34 Zrychlovací pouzdro SpeedSynchro

Porovnávací časový graf standardního kleštinového pouzdra a pouzdra SpeedSynchro v různých pracovních otáčkách je na Obr. 4-35.



Obr. 4-35 Časové porovnání SpeedSynchro [10]

Maximální vstupní otáčky jsou 2000 ot/min a vnitřní přívod chlazení až do 50 barů.

#### 4.8.4 Speciální technologie pro závitová pouzdra

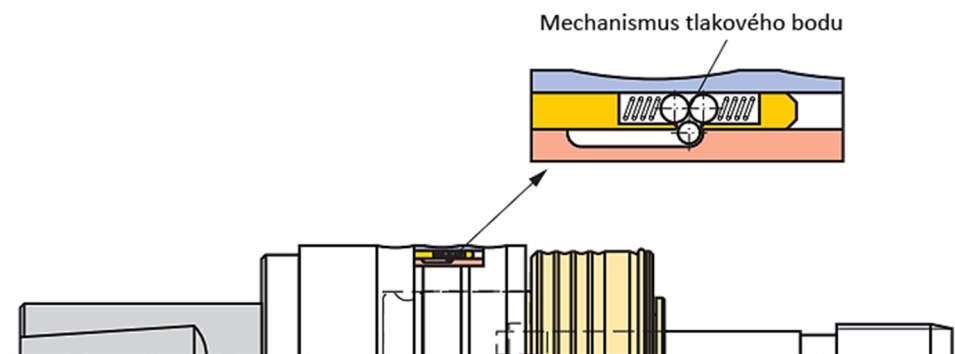
Jedná se o konstrukční systémy, ze kterých se skládají závitová pouzdra. Tyto systémy zaručují určité vlastnosti celého upínače a jsou patentovány a vyráběny firmou Emuge.

##### Minimální vyrovnání délky

Minimálním délkovým vyrovnáním v tahu a tlaku se kompenzují rozdíly mezi synchronním vřetenem a nástrojem. Tímto vyrovnáním se snižují axiální síly, které by působily na nástroj při upnutí „na tvrdo“ do vřeten. Tyto axiální síly by způsobily přerušování závitu a snížila by se životnost nástroje.

##### Mechanismus tlakového bodu

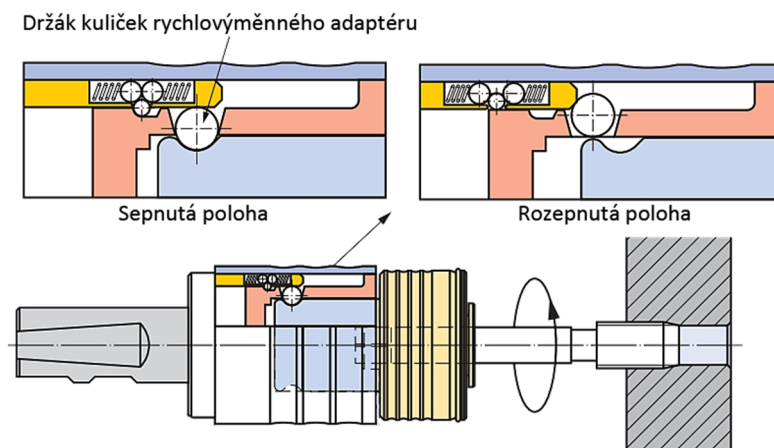
Kuličkový mechanismus na Obr. 4-36, který se skládá ze dvou odpružených kuliček a jedné, která je mezi nimi sevřená, slouží pro bezpečný start závitování. Proces řezání začne, až když axiální síla překoná sílu pružin, tím se mechanismus rozeptne a začne fungovat délkové vyrovnání. Tímto opatřením se dosáhne opakované rovnoměrné hloubky závitu.



Obr. 4-36 Mechanismus tlakového bodu [1]

##### Čelní pojistka proti vytržení

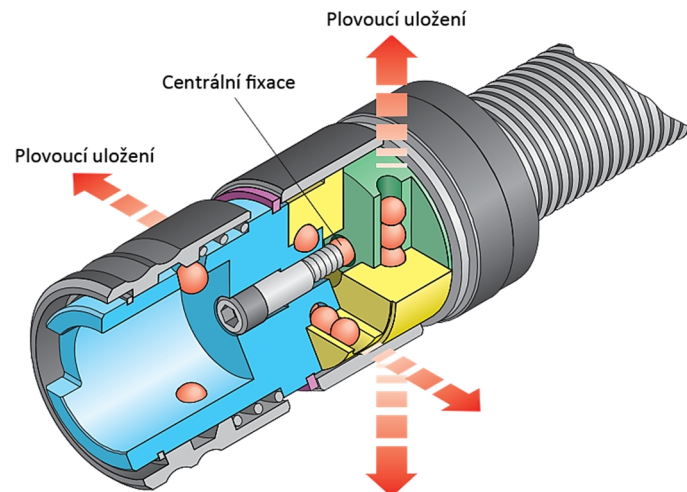
Tento mechanismus chrání rychloupínač proti vytržení a tím ochrání celé pouzdro, nástroj i obrobek před destrukcí. Pokud obsluha stroje udělá chybu a odjede rychloposuvem od obrobku ve chvíli, kdy je závitník ještě v řezu, tak zafunguje pojistka a pouzdro se rozpojí.



Obr. 4-37 Princip čelní pojistky proti vytržení [1]

### Pouzdro s plovoucím uložením

Velice speciální pouzdro, které pomocí kuličkového plovoucího uložení zajistí vyrovnání malé nesouososti nástroje a otvoru. Navíc dokáže vykompenzovat házení vřeten. Celé pouzdro se skládá z dvou přesně vybroušených lineárních tvarových vedení, které jsou na sebe kolmé. Toto uložení je velice vhodné pro postupové linky, kde dochází k častému a opakovanému upínání dílců. Není technicky možné vždy zajistit naprosto přesné uložení a toleranci pozice obráběného dílu tak, aby závitový nástroj a obrobek byli v jedné ose.



Obr. 4-38 Schéma pouzdra s plovoucím uložením [1]

### Spojka proti přetížení

Tato speciální spojka slouží k ochraně nástroje před překročením dovoleného krouticího momentu. Jedná se o dvě tvarové příruby, které jsou proti sobě přitlačovány pružinou. Styková plocha je vlnová a celé pouzdro je vyplněné tukem. Nastavení přenášeného maximálního krouticího momentu se nastavuje v přední části, kde se pomocí matice nastaví stlačení vnitřní pružiny.



Obr. 4-39 Pojistka proti přetížení [1]



## 4.9 Zajímavosti z oblasti výroby závitů

### 4.9.1 Speciální odvrtávací nástroj na zlomené závitníky

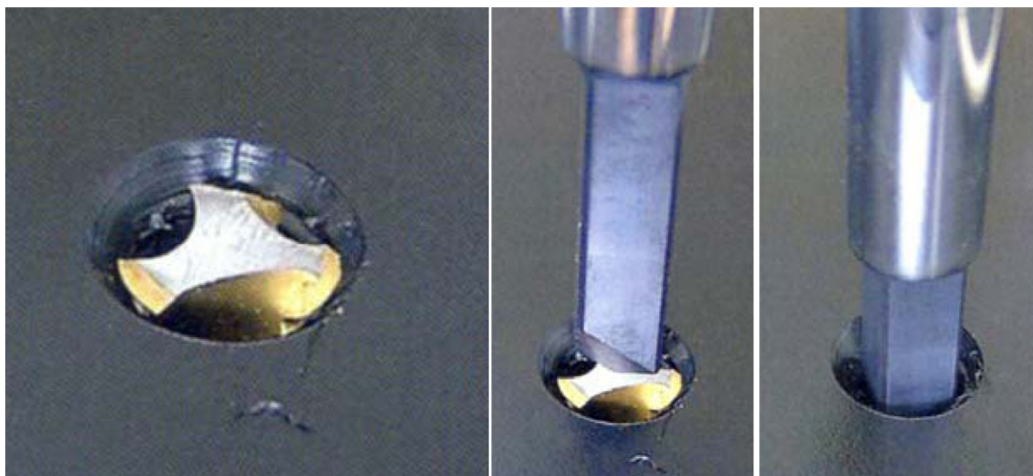
(Zpracováno s pomocí [13])

Zlomení závitníku při závitování vnitřního závitu je velice nepříjemné, protože proces závitování většinou přichází na řadu až jako jedna z posledních operací na obrobku. Obrobek má v této fázi většinou již takovou hodnotu, že je ekonomicky výhodné obrobek opravit, tj. vyndat zlomenou část závitníku. Osvědčenou a funkční technologií, která tuto úlohu zvládá, je vyjiskřování, nicméně ne vždy je tato metoda použitelná. Například pro velké obrobky, které se nevejdou do van elektrojiskrových hloubiček byl vyvinutý speciální odvrtávací nástroj.



Obr. 4-40 Speciální odvrtávací nástroj [13]

Tento nástroj má pracovní část šestihrannou a upínací válcovou. Proto není problém jej upnout do jakékoli kleštiny. Několikanásobným najížděním do zlomeného závitníku se nástroj vystředí a poté již probíhá vrtání za sucha. Nástroj má speciální geometrii a je vyrobený z tvrdokovu se speciálním povlakem. Použitelnost nástroje je pro veškeré HSS závitníky. Rychlost otáčení se pohybuje mezi 1500 – 3000 ot/min. Takto se kompletně odvrtá jádro závitníku a zbytek břitů se ručně odstraní.



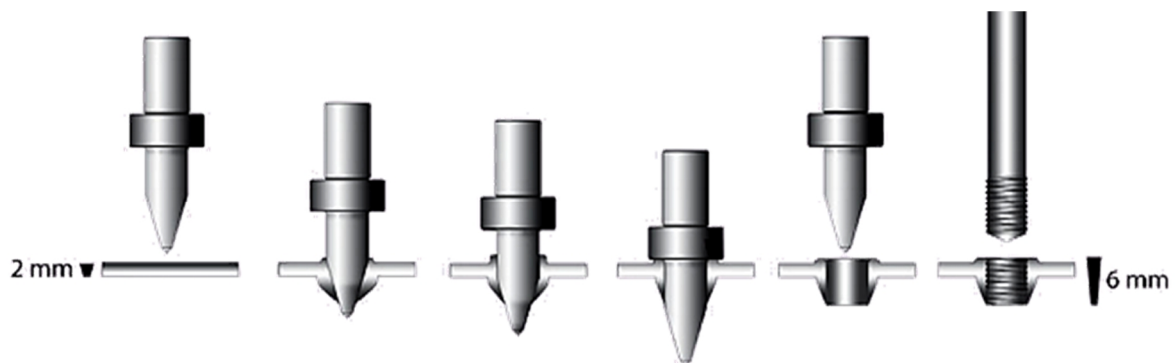
Obr. 4-41 Postup odvrtávání zlomeného závitníku [13]

#### 4.9.2 Termální závitování do tenkostěnných profilů

(Zpracováno s pomocí [14])

Závitování do tenkých plechů nebo profilů je velký problém, jelikož výsledný závit má velice málo, nebo téměř žádné aktivní závity. Tím se závit stává nepoužitelný nebo je jeho únosnost velice malá. Řešení tohoto problému je více. Závitová plocha se dá zvýšit navařením nebo nanýtováním matice, nicméně vždy se jedná o komplikovanější metody, které vyžadují speciální zařízení a více technologických kroků. Velice moderní a výhodná metoda je termální závitování.

Termální závitování se skládá ze dvou procesů, první z nich je termální vyvrtání otvoru a druhým je závitování pomocí tvářecího závitníku. Termální vrtání se provádí pomocí speciálního hrotu, který má polygonální tvar. Hrot se otáčí minimálně 2200 ot/min a je přitlačen k tenkému profilu. Vlivem tření se uvolňuje frikční teplo, které nahřívá materiál. Materiál začne téct podél hrotu a vytvoří pouzdro, které slouží jako prodloužená plocha, ve které je následně vytvářen závit. Celý aparát se skládá z tvářecího hrotu, který je vyrobený z karbidu wolframu, kleštiny a kleštinového upínače. Tento upínač je žebrovaný kvůli odvodu tepla. Běžně se vyrábějí velikosti aparátů M3-M20 pro tloušťky stěn 1-10 mm.



Obr. 4-42 Princip termálního závitování [14]

Výhodami této technologie je možnost vytvoření kvalitních závitů do tenkých profilů, vysoká produktivita, úspora materiálu, úspora přídatných dílů a zvýšená pevnost závitu. Nevýhodou jsou vyšší pořizovací náklady a nemožnost tváření otvorů do zinku a cínu.



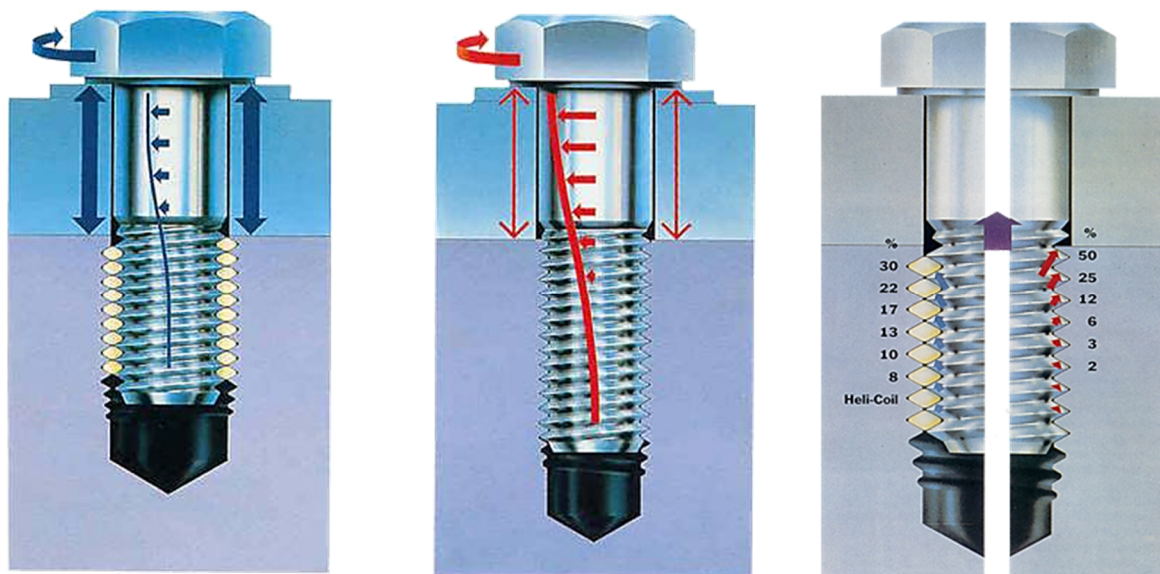
Obr. 4-43 Nástroje pro termální závitování [14]

### 4.9.3 Závité vložky

(Zpracováno s pomocí [15])

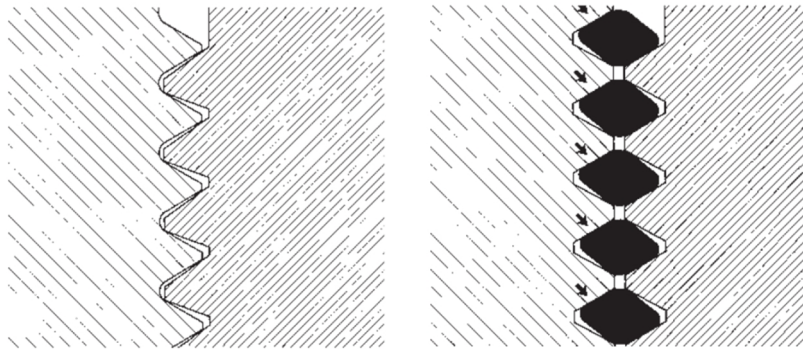
Závité vložky se používají již mnoho let. Jejich tradiční aplikace je v opravách poškozených závitů, kdy při stržení závitu je poškozený závit odvrtán a místo něj je zhotoven závit nový, který je o rozměr větší. Tím se docílí nového, nepoškozeného závitu. Nicméně aby bylo možné použít pro spojení původní šroub, tak je nutné závit vyvločkovat a to pomocí drátových závitových vložek.

V posledních letech se ale přistupuje k aplikaci vložek i v nových, nepoškozených spojích a to z důvodu rovnoměrnějšího zatížení jednotlivých závitů šroubového spojení. Běžný závitový spoj nemá rovnoměrné zatížení v jednotlivých závitech. Toto je způsobeno vůlí v závitech a elastickou deformací materiálu, kdy při předepnutí šroubu se vůle vymezí v prvních závitech a ty poté nesou většinu zatížení. Oproti tomu závitové vložky zajistí rovnoměrnější zatížení do více závitů. Porovnání obou metod je zřejmé z Obr. 4-44.



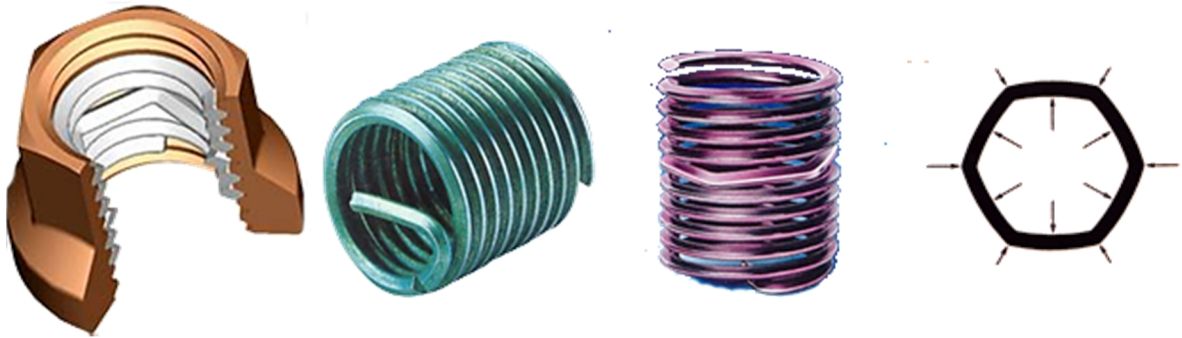
Obr. 4-44 Porovnání šroubových spojů s použitím závitových vložek [15]

Porovnání styku boků závitů bez a se závitovou vložkou na Obr. 4-45 je zřejmá příznivější styčná plocha s použitím závitové vložky.



Obr. 4-45 Porovnání styku boků závitů u závitové vložky [15]

Závitové vložky nejsou z kruhového drátu, ale mají lichoběžníkový nebo polygonální průřez. Přehled aplikací závitových vložek je na Obr. 4-46.



Obr. 4-46 Přehled závitových vložek HELICOIL®plus [15]

## 5 Závěr a technicko-ekonomické zhodnocení

(Zpracováno s pomocí [10], [1], [16], [17], [18])

Technologie výroby závitů je poměrně náročnou disciplínou v technické praxi. V dnešní době se stále zvyšují nároky na kvalitu, produktivitu a cenu výroby závitů. Ovšem cesta, jak tyto požadavky splnit je velice komplikovaná.

Proces výroby závitů již není jen o výběru vhodné technologie a nástroje, ale je nutné zahrnovat mnoho prvků, které mají na vlastní výrobu vliv. Do těchto vlivů je zahrnutý obráběný materiál, materiál nástroje, jeho povrchová úprava a optimalizovaná geometrie, systém mazání a chlazení, systém upínání nástroje a také vlastní stroj. Pro správně nastavenou výrobu závitů je nutné všechny tyto vlivy do detailu vyřešit. Trendem současnosti je přechod od univerzálních řešení ke specializaci na daleko užší skupinu obráběných materiálů.

Řezné materiály v posledních letech prodělaly řadu inovací a také se dostaly na trh materiály nové. Klasické řezné materiály jako rychlořezná ocel a slinuté karbidy jsou neustále vylepšovány dle možností současného poznání. Tyto materiály jsou téměř vždy povlakovány speciálními tenkými vrstvami, které se liší dle použití nástroje. Dále se na trhu stále více prosazují méně tradiční materiály jako cermety, řezná keramika, KBN a PKD se svými výjimečnými vlastnostmi, použitím a cenou. Dalším parametrem nástrojů je řezná geometrie, která je optimalizována pro dané použití. Největším příkladem jsou tvářecí závitníky firmy Emuge, kde se přešlo od univerzálního trojbokého polygonu k vícebokým s optimalizovanou geometrií, materiálem a povlakem pro různé obráběné materiály. Výsledkem je zvýšení produktivity nástrojů leckdy i o stovky procent. Stejným trendem se samozřejmě ubírají i řezací závitníky. Navíc u řezacích závitníků firma Emuge začíná nasazovat speciální podbroušení, které funguje jako lamač třísek. Frézování závitů je technologie, která zažívá v současné době veliký růst a oblibu. Výhody jsou jasné, univerzálnost, dělená tříska, vysoká produktivita, minimalizace rizika znehodnocení téměř dokončeného výrobku. Poměrně novým a zajímavým nástrojem je například vrtací závitová fréza, která je schopna současně předvrtat otvor a obvodovým objetím vyfrézovat závit a zahloubení. Samozřejmě je tento nástroj vhodný zejména pro sériovou výrobu a to především hliníkových slitin a litiny. Kruhově interpolační fréza naopak funguje jako zavrtávací fréza, proto opět jediným nástrojem je vytvořen otvor i závit. Vhodná především na tvrdé a kalené materiály. Dále existuje cirkulární fréza, která je zajímavá svou vysokou univerzálností. Dokáže frézovat závity různých velikostí a stoupání. Nejmenší varianty frézují závit od M1. U závitových fréz je v poslední době trend zvyšování počtu zubů, což má za následek rychlejší úběr materiálu. Pro frézy a řezací závitníky je společná velice moderní technologie a to mikropískování. Touto technologií je upravováno ostří po broušení, což má za následek zaoblení hran. To má za následek zvýšení trvanlivosti povlaku nástroje a tím celého nástroje. Tato technologie je doménou jen kvalitních výrobců nástrojů. Naprostou novinkou a špičkovou technologií je technologie Cut & Form a Mill & Form firmy Emuge. V obou případech se jedná o sdružené

nástroje, které kombinují řezací a tvářecí proces. Jedná se o to, že část nástroje řezacím procesem odebere větší část materiálu a tvářecí část nástroje zbývající materiál protváří. Výhodou je, že je možné vytvořit tvářený závit i do materiálů, které to standardní cestou neumožňují.

Upínací systém nástroje je jedním z nejdůležitějších aspektů, které se velkou měrou podílí na výrobě závitů. Pomocí špičkového nástroje, kvalitního stroje a špatného upnutí nástroje nelze vyrobit kvalitní závit. Dnešní moderní pouzdra jsou vybavená mnoha dílčími systémy pro ochranu nástroje, obrobku a zkvalitnění celého výrobního procesu. Takovými systémy jsou například upínače s minimálním délkovým vyrovnáním, které řeší chyby v řízení CNC strojů. Dalším řešením jsou například mechanismy pro rozpojení při přetížení, nebo naprosto unikátní upínače s plovoucím uložením, které dokáží vyrovnat nesouosost mezi vřetenem a otvorem v materiálu. Tento upínač je zvláště vhodný pro postupové linky. Naopak existují úplně nové upínače, které se svou unikátní konstrukcí aktivně podílejí na procesu výroby závitů. Takovým zařízením je reverzační aparát pro CNC stroje, který řeší problém s dodržení konstantní řezné rychlosti v průběhu výroby celého závitu. Je schopný reverzovat otáčky u dna závitu za cca. 35ms. Díky tomuto zařízení je možné závity vyrábět vysokými rychlostmi a to až 100m/min. Naprostou novinkou ve světě upínačů je zrychlovací pouzdro od firmy Emuge. Toto pouzdro opět řeší problém s konstantní řeznou rychlostí. V principu jde o zrychlovací převodovku, která má převod 1:4,4. Díky tomuto převodu je možné obrábět závit 3000ot/min, ale vřeteno stroje se otáčí pouze 680ot/min. Z takto nízkých otáček stroj daleko snáze, rychleji a přesněji dokáže zastavit u dna závitu a reverzovat pohyb.

Technologie výroby závitů klade velice vysoké nároky jak na stroje, nástroje, upínače a ostatní zařízení, tak ale i na vysokou odbornost a kvalifikovanost lidí, kteří se touto problematikou zabývají. Pokud chtějí firmy zvýšit svoji produktivitu a samozřejmě i kvalitu v oblasti závitování, je potřeba tuto situaci řešit. Ať už navázáním úzké spolupráce s výrobcí špičkových nástrojů za účelem doporučení nejvhodnějšího nástroje (technologie) nebo vývoje nástroje zcela nového, tak i pouhým proškolením obsluhy těchto strojů, čímž dojde k růstu jejich kvalifikovanosti a odbornosti. Přestože existují i jiné možnosti spojování součástí s mnoha výhodami, domnívám se, že závitování jako technologie bude mít ve výrobě neustále svoje místo na prvních stupních v žebříčku využití.

## 6 Použitá literatura

- [1] **Emuge.** *EMUGE katalog 140, interní materiály firmy Emuge.* Lauf: Emuge, 2010. 140.
- [2] **Garant.** Příručka obrábění. *hoffmann-group.* [Online] <http://www.hoffmann-group.com/download/cz/zerspanungshandbuch/cz-zerspanungshandbuch.pdf>.
- [3] **Nezmámý.** Screw thread. *Wikipedia.* [Online] [Citace: 15. prosinec 2011.] [http://en.wikipedia.org/wiki/Screw\\_thread](http://en.wikipedia.org/wiki/Screw_thread).
- [4] **Skopal, Jaroslav a Krchňáková, Věra.** Technické normy závitů. *MM Průmyslové spektrum.* 2004, MM 2004 / 10.
- [5] **Ianmacm.** Archimédův šroub. *Wikipedie.* [Online] 27. červenec 2010. [Citace: 7. březen 2012.] [http://cs.wikipedia.org/wiki/Archimédův\\_šroub](http://cs.wikipedia.org/wiki/Archimédův_šroub).
- [6] **Lipták a kol., Doc. Ing. Ondrej.** *Technológia výroby - obrábanie.* Bratislava, Praha: ALFA, SNTL, 1979. MDT 621.9 (075.8).
- [7] **Vigner, Prof. Ing. Miroslav a Příkryl, Prof. dr. Ing. Zdeněk.** *Obrábění.* Praha: SNTL, 1984.
- [8] **Ždánice, NAREX.** Výrobní program. *NAREX Ždánice.* [Online] [Citace: 7. březen 2012.] [http://www.narexzd.cz/index.php?option=com\\_content&task=view&id=18&Itemid=48](http://www.narexzd.cz/index.php?option=com_content&task=view&id=18&Itemid=48).
- [9] **Sova CSc, Doc. ing. František.** *Technologie obrábění a montáže.* Plzeň: ZČU v Plzni, 1989. ISBN 80-7082-006-3.
- [10] **Viktorin, Ing. Jan.** *Moderní trendy výroby závitů.* Brno, 29. březen 2011.
- [11] **SHM.** SHM.cz. *SHM.cz.* [Online] [Citace: 5. duben 2012.] <http://www.shm-cz.cz/>.
- [12] **spektrum, MM Průmyslové.** Mechanická úprava monolitních nástrojů před PVD povlaky. *MM Průmyslové spektrum.* [Online] [Citace: 4. březen 2012.] <http://www.mmspektrum.com/clanek/mechanicka-uprava-monolitnich-nastroju-pred-pvd-povlaky.070438>.
- [13] **Mepac.cz.** Mepac.cz. [Online] [Citace: 8. duben 2012.] [www.mepac.cz/image/pictures/web/odvrtavak.pdf](http://www.mepac.cz/image/pictures/web/odvrtavak.pdf).
- [14] **Thermdrill.** Thermdrill.cz. [Online] [Citace: 8. duben 2012.] <http://thermdrill.cz/>.
- [15] **Boellhoff.** Boellhoff.com. [Online] [Citace: 9. duben 2012.] [http://www2.boellhoff.com/web/centres.nsf/Files/HELICOIL\\_CZ\\_0100/\\$FILE/HELICOIL\\_CZ\\_0100.pdf](http://www2.boellhoff.com/web/centres.nsf/Files/HELICOIL_CZ_0100/$FILE/HELICOIL_CZ_0100.pdf).

- [16] **Píhrt CSc., Mr. Ing. Jaroslav.** *Moderní trendy ve výrobě závitů.* Plzeň, 15. listopad 2011.
- [17] **Ševčík, Ing. Petr.** *Moderní trendy ve válcování závitů.* Libčice nad Vltavou, 18. březen 2012.
- [18] **Šustr, Karel.** *Moderní trendy ve výrobě závitů.* Plzeň, 7. leden 2012.
- [19] **metrics, Maryland.** Screw thread, overview. *Maryland metrics.* [Online] [Citace: 7. březen 2012.] <http://mdmetric.com/fastindx/t44u.pdf>.
- [20] **Viktorin, Ing. Jan.** *Frézování závitů.* Brno : Emuge-Franken, 1995.
- [21] **Staněk, Jiří a Němejc, Jiří.** *Metodika zpracování a úprava diplomových (bakalářských) prací.* Plzeň : ZČU v Plzni, 2005.
- [22] **Černohch, Svatopluk.** *Strojně technická příručka.* Praha : SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1968. L13-E1-IV-51/22 127/IX.
- [23] **Leinveber, Jan a Vávra, Pavel.** *Strojnické tabulky.* Úvaly : ALBRA, 2008. ISBN 978-80-7361-051-7.
- [24] **Coromant, Sandvik.** *Příručka obrábění.* Praha : Scientia, 1997. ISBN 91-97 22 99-4-6.



# PŘÍLOHY K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Moderní trendy ve výrobě závitů

Autor: **Jiří Černoorský**

## SEZNAM PŘÍLOH:

Příloha P-1 - Přehled používaných profilů závitů.....	II
Příloha P-2 - Přehled speciálních závitů .....	VIII
Příloha P-3 - Přehled řezných materiálů .....	IX
Příloha P-4 - Znáornění průběhu kroučícího momentu při řezání a tváření závitu .....	X
Příloha P-5 - Toleranční pole závitníků .....	XII
Příloha P-6 - Technologie Cut & Form a Mill & Form .....	XIII
Příloha P-7 – Chyby při synchronním řezání závitů .....	XV

**Příloha P-1 - Přehled používaných profilů závitů**

Zpracováno s pomocí [19]

<b>Jméno</b>	<b>Příklad označení</b>	<b>Jmenovitý průměr</b>	<b>Norma</b>	<b>Příklad použití</b>
M ISO-metrický závit (60° vrcholový úhel)	M0,8	0,3-0,9 mm	DIN 14, část 1-4	Hodinářství
	M30	1-68 mm	DIN 13, část 1 ISO 68 261/262;724/965	Všeobecné strojírenství
	M20x1 M30x2-LH	1-1000 mm	DIN 13, část2-11	Všeobecné strojírenství
	DIN 6630- M64x4	64 a 76 mm	DIN 6630	Balení, vnější závit pro sudy
	LN 9163 M30x2- 4H5H	1,4-355 mm	LN 9163	Letectví a kosmonautika
M ISO-Metrický závit s přesahem (60° vrcholový úhel)	M10 Sn4 M10 Sk6	3-150 mm	DIN 13, část 51	Konce šroubení
	M10 Sn4 úzký	3-150 mm		
M Metrický závit s velkým podbroušením (60° vrcholový úhel)	DIN 2510- M36	12-180 mm	DIN 2510, část 2	Šroubová spojení se zkrácenou stopkou
EG M ISO metrický závit, vnitřní závit pro závitové drátové vložky (60° vrcholový úhel)	DIN 8140- EG M 20	2-52mm	DIN 8140, část2	Vnitřní závity pro vložení drátových závitových vložek
M Metrický vnější kuželový závit (60° vrcholový úhel)	DIN 158- M30x2 keg	6-60 mm	DIN 158	Zásuvky a maznice
	DIN 158- M30x2			

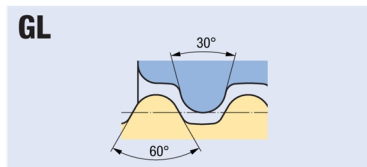
(Kuželovitost 1:16)	krátký			
S Samořezný kužel Vnější závit (105° vrcholový úhel) (Kuželovitost 7°30')	S8x1	6-10 mm	DIN 71 412	Maznice (Podobné jako DIN 158 ale se 105° vrcholovým úhlem)
MJ MJ-závit (60° vrcholový úhel)	MJ 6x1- MJ 6x1-4H5H	1,6-39 mm	DIN ISO 5855, část 1 a 2	Letectví a kosmonautika
LN ISO-metrický závit pro letectví	LN 9163 H30x2	1,4-355 mm	LN 9163 BN 2158	Letectví a kosmonautika
G Válcový trubkový závit, netěsnící na závitech (55° vrcholový úhel) Whitworth	G1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> A G1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> B	1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> -6	DIN ISO 228, část 1	Vnější trubkové závity
	G1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>			Vnitřní trubkové závity
	DIN 6630-G1 <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	3 <sup>3</sup> / <sub>4</sub> , 1,2	DIN 6630	Balení, vnější závit pro sudy
Válcový trubkový závit, netěsnící na závitech (55° vrcholový úhel)	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	5 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	DIN 6602	Vnější závit pro cisterny
R Whitworthův válcový trubkový závit, netěsnící na závitech (55° vrcholový úhel)	R <sup>3</sup> / <sub>4</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> -6	DIN 259, část 1-3	Potrubi, nepoužívají se v novém provedení
Rp Whitworthův válcový trubkový závit, těsnící na závitech	DIN 2999-Rp <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>16</sub> -6	DIN 2999, část 1	Vnitřní závity pro trubky a fitinky
	DIN 3858-Rp <sup>1</sup> / <sub>8</sub>	1 <sup>1</sup> / <sub>8</sub> -1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	DIN 3858	Vnitřní závity pro šroubení

(55° vrcholový úhel)				
R Whitworthův kuželový trubkový závit, těsnící na závitech (55° vrcholový úhel), (Kuželovitost 1:16)	DIN 2999- R <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	<sup>1</sup> / <sub>16</sub> -6	DIN 2999, část 1	Vnější závity pro trubky a fitinky
	DIN 3858- R <sup>1</sup> / <sub>8</sub> -1	<sup>1</sup> / <sub>8</sub> -1 <sup>1</sup> / <sub>2</sub>	DIN 3858	Vnější závity pro šroubení
Tr ISO metrický trapézový závit jedno nebo vícechodý (30° vrcholový úhel)	Tr40x7 Tr 40x14 P7	8-300 mm	DIN 103, část 1- 8, ISO 2901-2904	Všeobecné
Tr Stub metrický trapézový závit jedno nebo vícechodý (30° vrcholový úhel)	DIN 380-Tr 48x8 DIN 380-Tr 48x14 P7		DIN 380, část 1 a 2	
Tr Acme metrický trapézový závit podbroušený, jedno nebo vícestředý (30° vrcholový úhel)	DIN 263- Tr48x12 DIN 263- Tr40x16 P8 DIN 6341- Tr32x1,5	48mm 40mm 10-56mm	DIN 263, část 1 a 2 DIN 6341, část 2	Pro železniční vozidla Pro kleštinové upínače
Tr Zaoblený trapézový závit (30° vrcholový úhel)	DIN 30 295- Tr40x5	26-8mm	DIN 30 295, část 1 a 2	Pro železniční vozidla
KT Trapézový závit (20° vrcholový úhel)	DIN 6063- KT22	10-50mm	DIN 6063, část 2	Přednostně pro obaly z plastů
S Pilový metrický závit, jedno nebo	S48x8 S40x14 P7	10-640mm	DIN 513, část 1- 3	Všeobecné

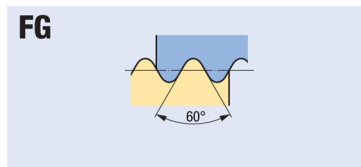
vícechodý (30°/3° vrcholový úhel)				
S Pilový jednochodý závit (45°/0° vrcholový úhel)	DIN 2781- S630x20	100-1250mm	DIN 2781	Pro strojní nářadí, hydraulické lisy
S Pilový závit (30°/0° vrcholový úhel)	DIN 20 401 S25x1,5	6-40mm	DIN 20 401, část 1 a 2	Hornický průmysl
KS Pilový závit (40°/10° vrcholový úhel)	DIN 6063- KS22	10-50mm	DIN 6063, část 1	Přednostně pro obaly z plastů
Rd Oblý válcový závit, jedno nebo vícechodý (30° vrcholový úhel)	Rd 40x $\frac{1}{6}$ Rd 40x $\frac{1}{3}$ P $\frac{1}{6}$	8-200mm	DIN 405, část 1 a 2	Všeobecné
Rd Oblý válcový závit (30° vrcholový úhel)	Rd 40x5	10-300mm	DIN 20 400	Hornický průmysl
	DIN 15 403- Rd80x10	50-320mm	DIN 14 403	Pro zvedací háky
	DIN 7273- Rd70	20-100mm	DIN 7273, část 1	Pro ocelové podložky a související spoje
Rd Oblý válcový závit s podbroušením (strmý bok: 15°56' vrcholový úhel)  (strmý bok: 30° vrcholový úhel)	DIN 262- Rd59x7	34-79mm	DIN 262, část 1 a 2	Pro kolejová vozidla
	DIN 262- Rd59x7 levý			
	DIN 264- Rd50x7	50mm	DIN 264, část 1 a 2	
	DIN 264- Rd50x7 levý			
Rd Oblý válcový závit	DIN 3182- Rd40x $\frac{1}{7}$	40,80 a 110mm	DIN 3182, část 1	Respirátory a plynové masky
GL Oblý válcový závit 30°/60° vrcholový	DIN 168- GL25x3	8-45mm	DIN 168, část 1	Pro skleněné kontejnery

úhel)				
Gf Oblý kuželový závit	Din 4930- Gf127	127mm	DIN 4930, část 2	Trubky pro tunelování
E Edisonův závit	DIN 40 400- E27	14,16,18,27,33mm	DIN 40 400	Pro pojistky (E14 a E27 pro objímky)
	DIN 49 612- E5	5mm	DIN 49 612	Pro objímky
	DIN 49 610- E510	10mm	DIN 49 610	
	DIN 49 625- E40	40mm	DIN 49 625	
Objímkový závit	DIN 49 689- 28x2	28 a 40mm	DIN 49 689	Vnější závit pro objímky, vnitřní závit pro úchyty stínidel
W Withworthův válcový závit (55° vrcholový úhel)	DIN 49 301- W <sup>3/16</sup>	<sup>3</sup> / <sub>16</sub>	DIN 49 301	Pro pojistky, šrouby pro měřidla
Glasg Glasg závit pro sklo (35°/50° vrcholový úhel)	DIN 40 450- Glasg 74,5	74,5;84,5;99; 123,5;158;188mm	DIN 40 450	Pro elektro průmysl, skleněné fitinky, ochranné brýle
Pg Pancéřový trubkový závit (80° vrcholový úhel)	DIN 40 430- Pg21	7-48mm	DIN 40 430	Pro elektrické instalace
ST Samořezný šroubový závit (60° vrcholový úhel)	DIN 7970- ST3,5	1,5-9,5mm	DIN 7970, ISO 1478	Pro samořezné šrouby
Závit do dřeva (60° vrcholový úhel)	DIN 7998-4	1,6-20mm	DIN 7998	Vrutky, šrouby do dřeva
FG Kolový šroubový závit (60° vrcholový úhel)	FG9,5	2-34,8mm	DIN 79 012	Pro kola a motorové skútry

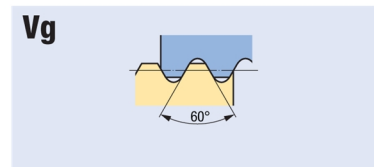
Vg Závit pro ventilký (60° vrcholový úhel)	DIN 7756- Vg12	5-12mm	DIN 7756	Ventilký pro pneumatiký
W Whitworthův kuželový závit (55° vrcholový úhel),(Kuželovitost 3:25)	DIN 477- W28,8x $\frac{1}{14}$ tap	19,8;28,8;31,3mm	DIN 477, část 1	Plynové lahve, závit pro hlavní tryský
W Whitworthův válcový závit (55° vrcholový úhel)	DIN 477- W21,80 $\frac{1}{14}$	21,8;24,32; 25,4mm		Plynové lahve, závit pro boční tryský
	W80x $\frac{1}{11}$	80mm	DIN 4668	Plynové lahve, závitý pro hrdla
A B C Stativový závit (60° vrcholový úhel)	DIN 4503 A $\frac{1}{4}$	$\frac{1}{4}$ - $\frac{3}{8}$	DIN 4503 ISO 1222	Spoje pro fotografickou technikú
RMS RMS-závit (60° vrcholový úhel)	DIN 58 888- RMS	20,32mm	DIN 58 888	Objektivý pro mikroskopý
Gg Kuželový závit (60° vrcholový úhel),(Kuželovitost 1:16)	DIN 4941- Gg51	44,5-88,9mm	DIN 4941	Pro vrtací tyče ve vodě, vrtání do betonu, hornictví
Gg Kuželový závit (30°/30° vrcholový úhel),(Kuželovitost 1:4)	DIN 20 314	3 $\frac{1}{2}$ ; 4 $\frac{1}{2}$ ; 5 $\frac{1}{2}$	DIN 20 314	
HA Šroubový závit do kostí	DIN 58 810- HA4,5	1,5; 2; 2,7; 3,5 a 4,5mm	DIN 58 810	Pro chirurgické implantáty, vnitřní a vnější závit
HB Šroubový závit do kostí	DIN 58 810- HB6,5	4-6,5mm		

**Příloha P-2 - Přehled speciálních závitů [1]**

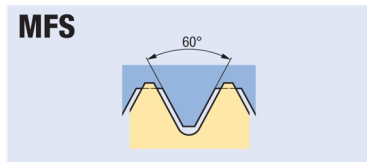
**GL**  
Válcový oblý závit dle DIN 168-1  
Cylindrical round thread  
acc. DIN 168-1



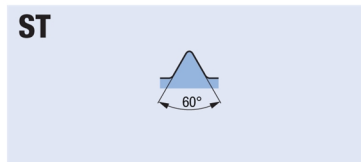
**FG**  
Cyklozávit dle DIN 79012  
Bicycle thread  
acc. DIN 79012



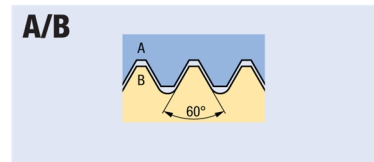
**Vg**  
Ventilový závit dle DIN 7756  
Valve thread  
acc. DIN 7756



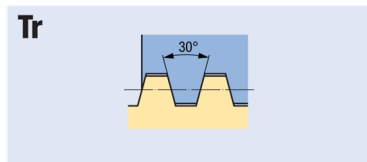
**MFS**  
Metrický ISO-závit pro pevná spojení  
dle DIN 8141-1  
ISO Metric thread for tight fit acc. DIN 8141-1



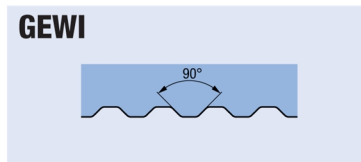
**ST**  
Závity pro spojení plechů  
dle DIN EN ISO 1478  
Sheet metal screw thread  
acc. DIN EN ISO 1478



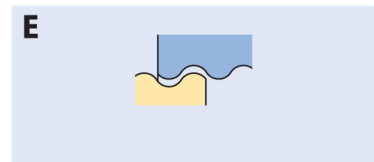
**A/B**  
Stativový-spojovací závit  
dle DIN 4503  
Tripod connection thread  
acc. DIN 4503



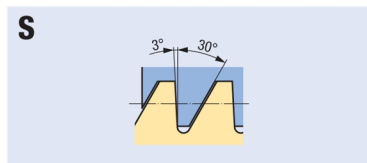
**Tr**  
Plochý metrický trapézový závit ISO-trapéz  
(jedno a vícechodý) dle DIN 380-1 a -2  
Flat ISO metric trapezoidal thread  
(one-start and multi-start) acc. DIN 380-1 and -2



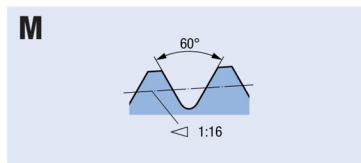
**GEWI**  
Speciální profil  
Special profile



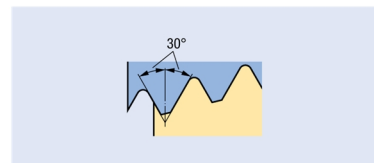
**E**  
Elektrozávit dle DIN 40400  
Electrical thread  
acc. DIN 40400



**S**  
Metrický pilový závit (jedno a vícechodý)  
dle DIN 513-1 až -3  
Metric buttress thread (one-start and multi-start)  
acc. DIN 513-1 to -3



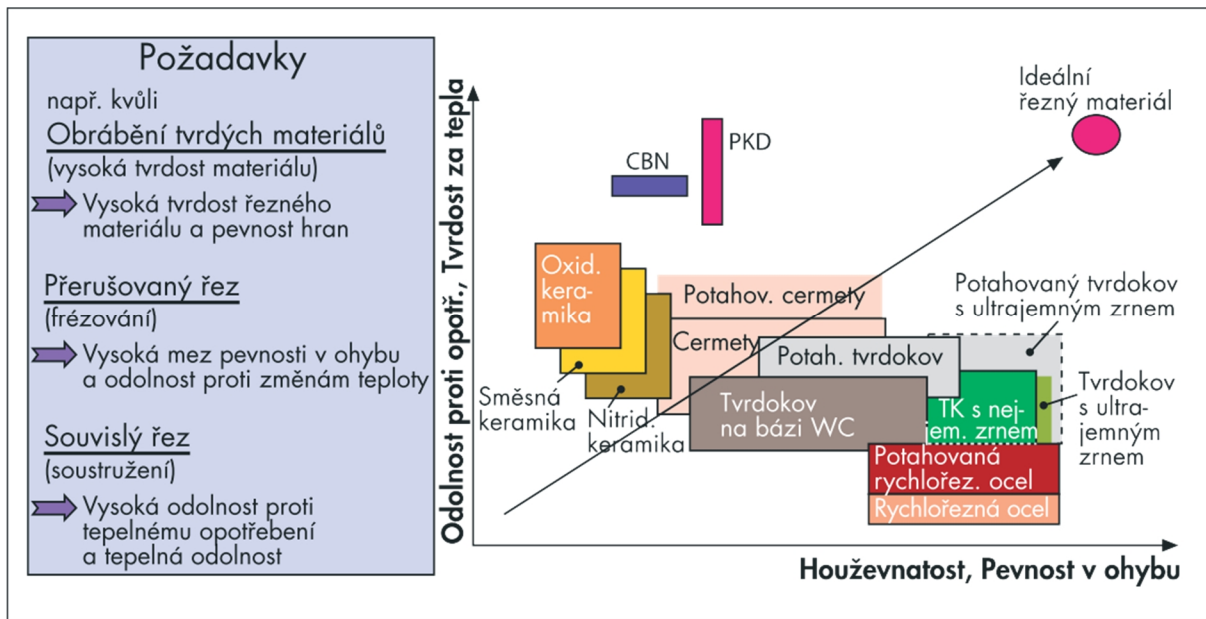
**M**  
Metrický kuželový závit vnější  
dle DIN 158-1  
Metric tapered external thread acc. DIN 158-1

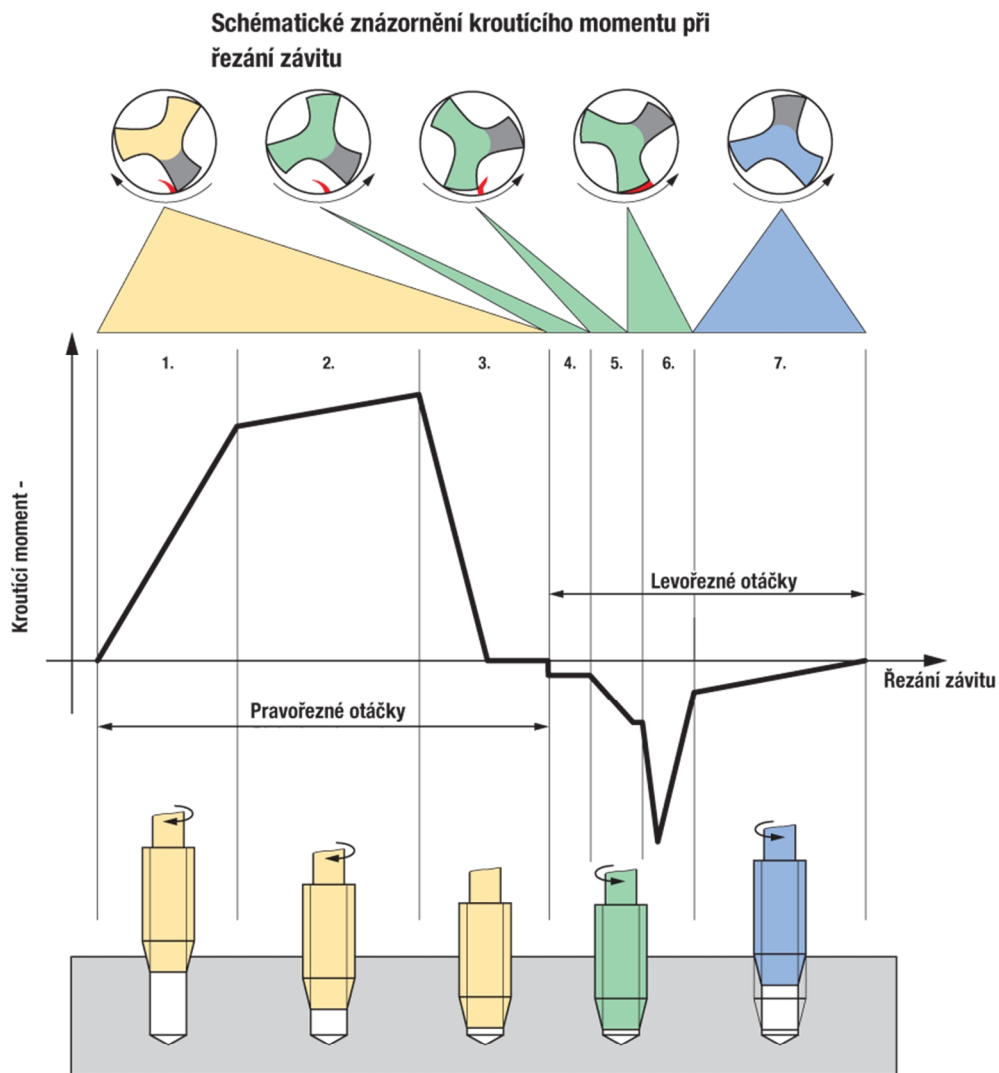


**Závit pro drátové vložky  
dle DIN 19004**  
Thread for wire release connection  
acc. DIN 19004



**Příloha P-3 - Přehled řezných materiálů [2]**

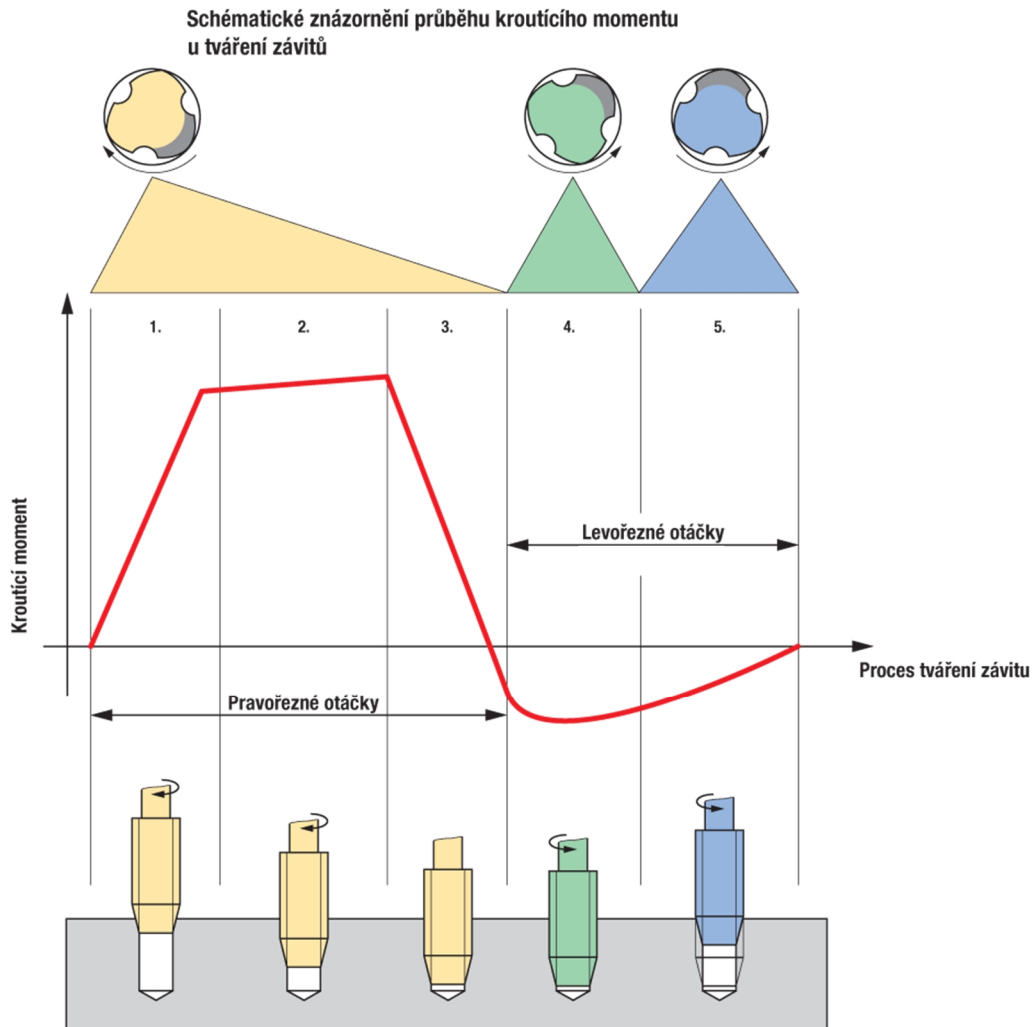


**Příloha P-4 - Znárodnění průběhu krouticího momentu při řezání a tváření závitu [1]**

1. Zařiznutí závitníku až k záběru všech náběhových zubů
2. Řezný moment závitníku, který nyní řeže všemi náběhovými zuby
3. Zbrždění vřetene stroje až do jeho zastavení

4. Začínající zpětný chod vřetena až do dotyku hřbetu zubu s třískou následujícího břitu v otvoru
5. Odstrížení třísky
6. Stlačení kořene třísky, který zůstal po jejím odstrížení (velikost závisí na úhlu hřbetu závitníku)

7. Kluzné tření mezi závitníkem a obrobkem



**1. Počátek tváření materiálu až do ponoření celé náběhové části závitníku do materiálu**

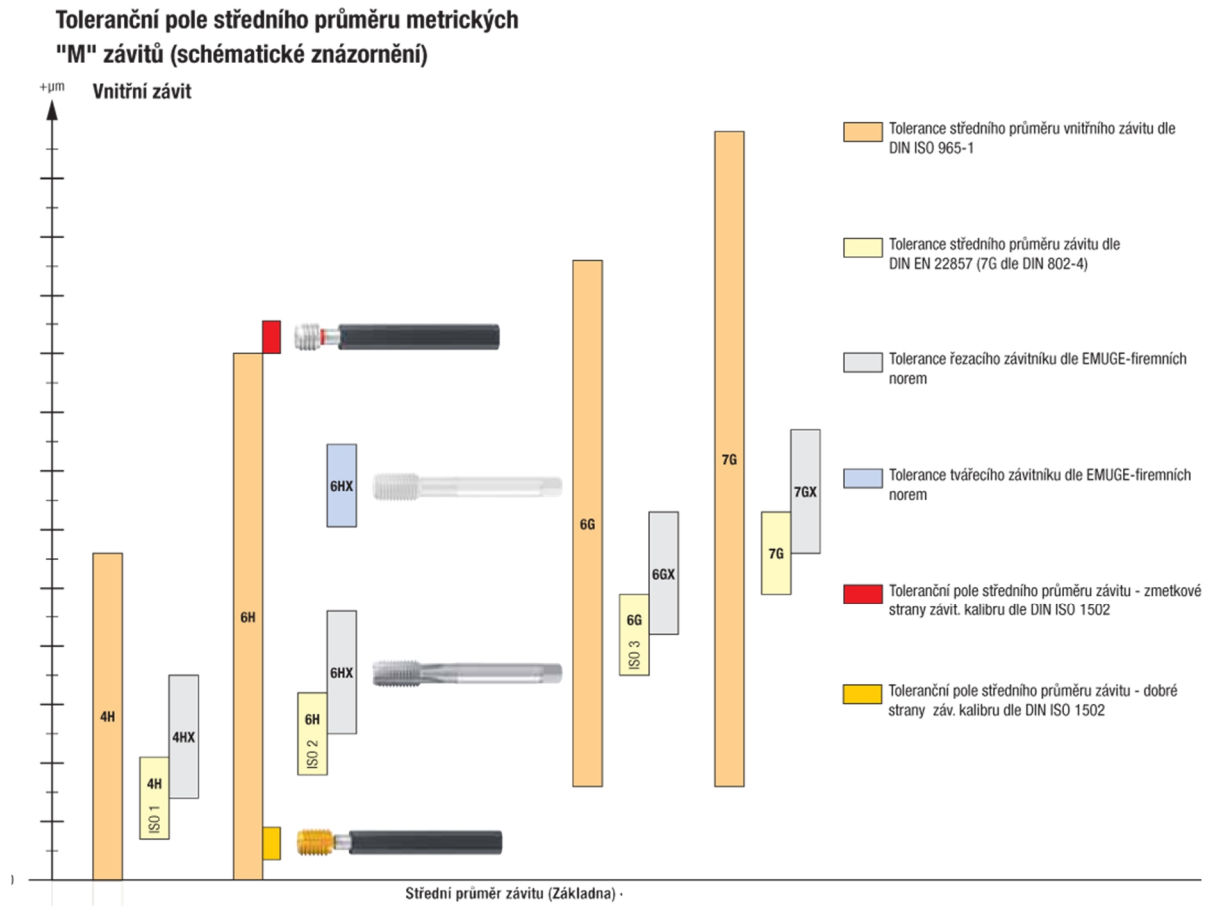
**2. Tváření závitu oblastí kalibrických zubů**

**3. Zbrždění vřetene stroje až do jeho zastavení**

**4. Začínající zpětný chod vřetena s kluzným třením**

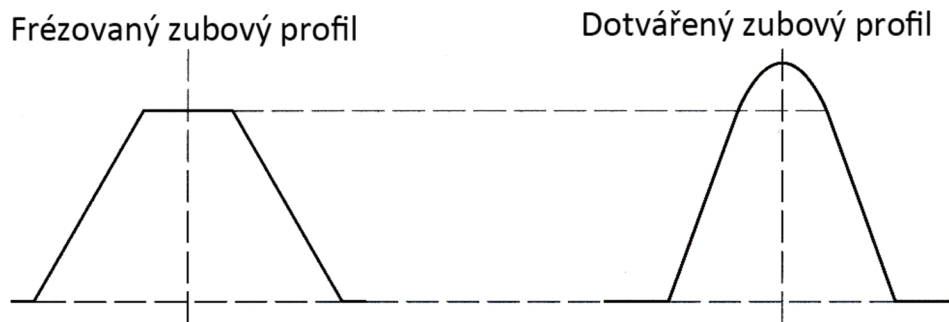
**5. Kluzné tření mezi tvářecím závitníkem a obrobkem**

**Příloha P-5 - Toleranční pole závitníků [1]**

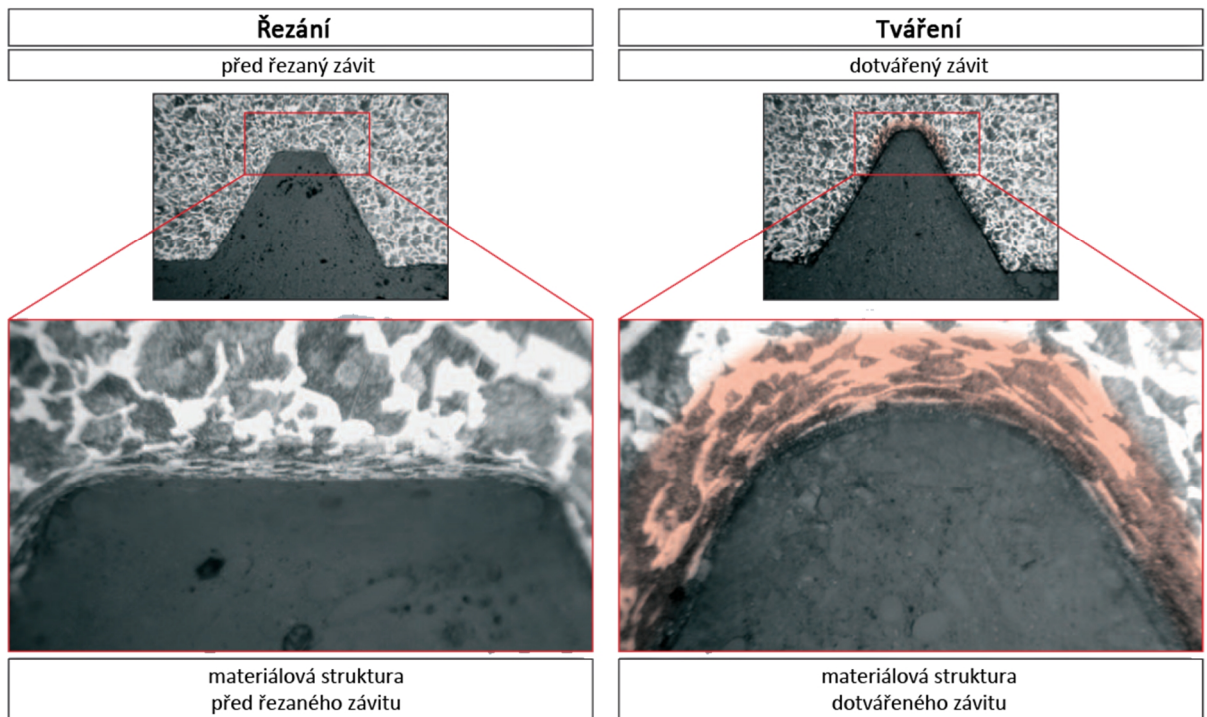


**Příloha P-6 - Technologie Cut & Form a Mill & Form [1]**

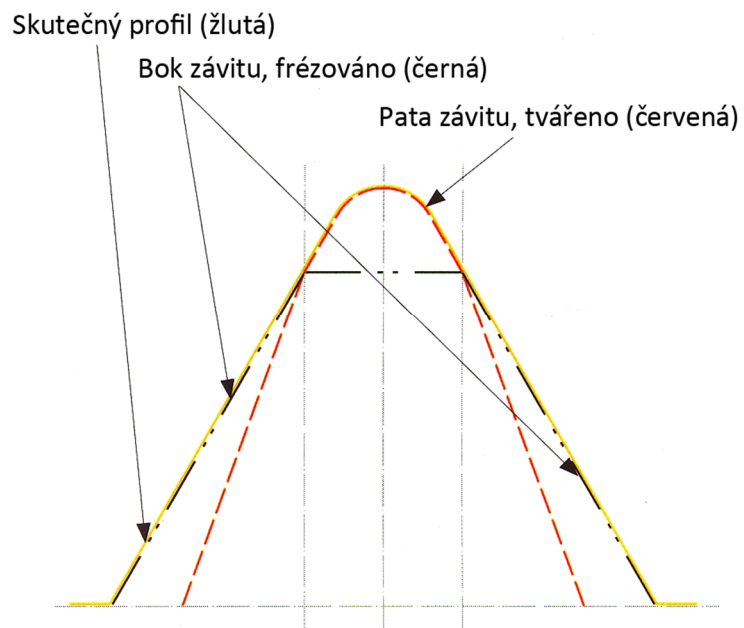
**Přehled profilů:**



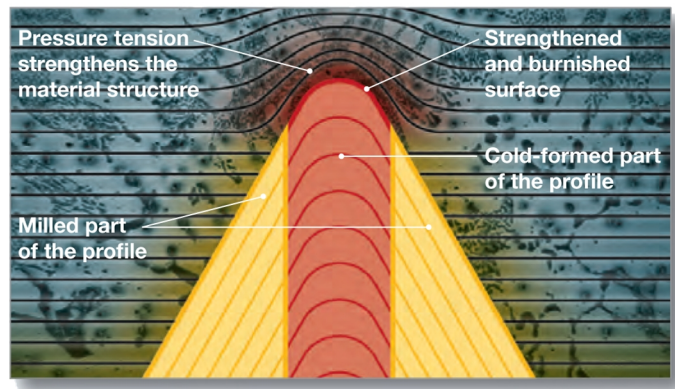
**Materiálová struktura Cut & Form**



### Struktura profilu závitu



### Znázornění aplikovaných technologií při výrobě závitu



## Příloha P-7 – Chyby při synchronním řezání závitů

(Převzato z [1])

Při výrobě závitu na CNC stroji s řezacím nebo tvářecím závitníkem (níže zobrazeno pro zjednodušení s řezacím závitníkem) musí být zahrnuta, započítána a synchronizována rychlost otáček strojního vřetena s rychlostí posuvu. Při započtení stoupání závitu a řezné rychlosti, ze které se vyvozuje posuvová rychlost, vznikají parametrové chyby, které při nastavení nemohly být zohledněny.

### Dva hlavní vlivy:

#### 1. Vliv CNC obráběcího centra

Rychlost výpočtů řídicí jednotky, rozlišení senzorů pohybu os (lineární osy, osa otáčení, C-osa), mechanické vlastnosti stroje.

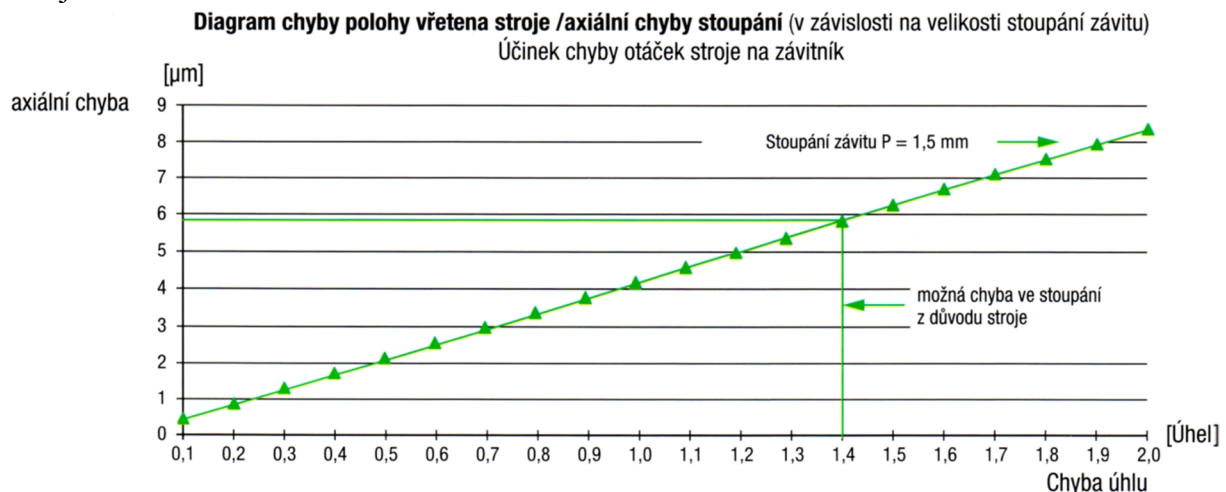
#### 2. Vliv obráběcího nástroje

- Tolerance stoupání závitu dle DIN EN 22857
- Změna rozměru stoupání a délky závitníku vlivem teploty kdy  $t_{\text{pracovní}} \neq t_{\text{měření}}$

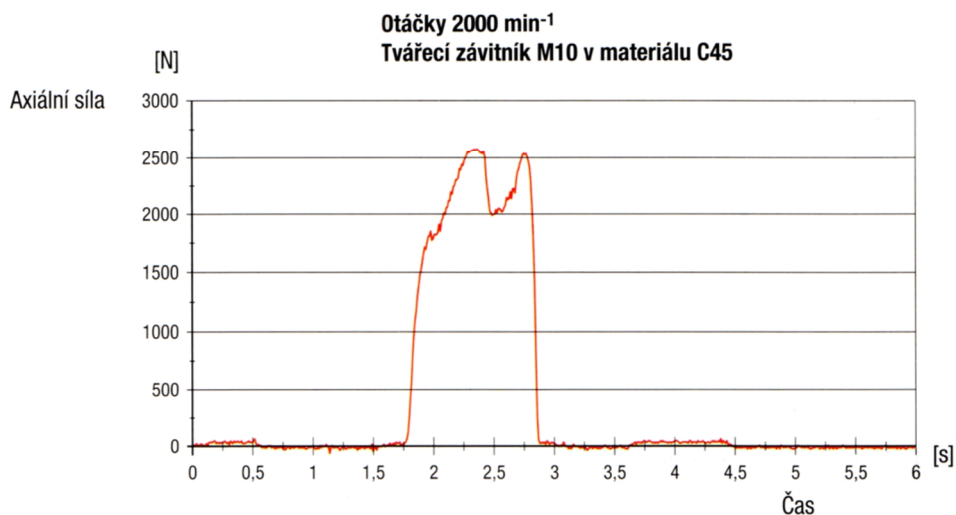
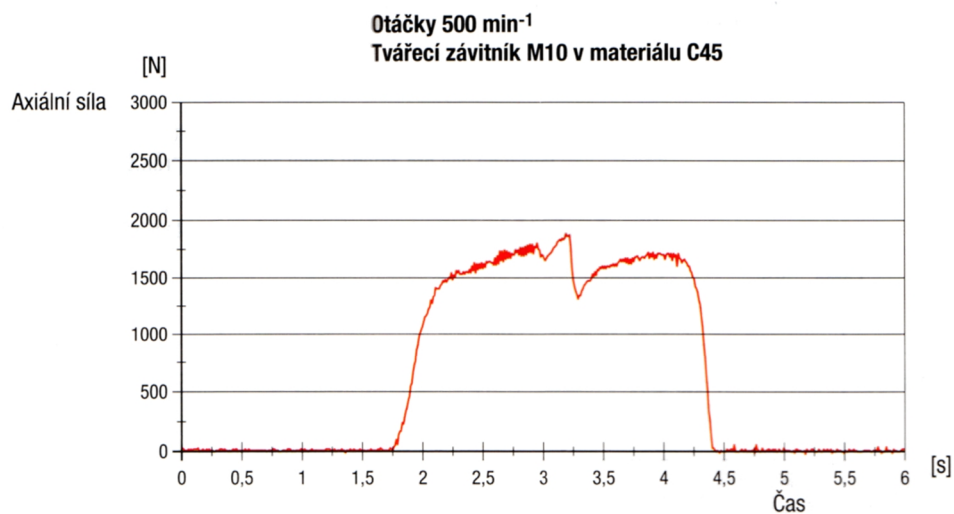
### 1. Vliv CNC obráběcího centra

Řezání a tváření závitů se synchronními vřeteny vyžaduje kvůli tvarovému styku mezi nástrojem a obrobkem neustálé sledování v mikrometrech a regulaci posuvu v ose v návaznosti na otáčivý pohyb vřetene nástroje. Tímto se odlišuje výroba závitu od jiných způsobů obrábění jako je vrtání, vystružování nebo frézování. U těchto obrábění je požadován řízením bohužel exaktní lineární pohyb k polohování, protože tyto nástroje nejsou spojeny s obrobkem tvarovým stykem. Díky tomu musí výrobce strojů pravidelně kontrolovat lineární osy. V praxi jsou používány pro regulaci rotace osy ukazatele s 256 impulsy pro otáčku ( $360^\circ$ ). Toto odpovídá úhlu a tím kontrolnímu otvoru  $1,4^\circ$  za impuls. Vznikají axiální síly při výrobě závitu kvůli regulačním chybám nebo regulačním nepřesnostem

Příklad: Závit M10, stoupání 1,5mm, možné nekontrolovatelné otáčky  $1,4^\circ \rightarrow$  možná axiální chyba polohy cca **5,8 $\mu\text{m}$**  mezi nastavenou polohou závitníku a skutečnou polohou strojního vřetene.



Navíc musíme přihlídnout k tomu, že rychlost počítače moderních CNC obráběcích strojů nestačí, aby mohl být zpracován vyšší počet rotačních impulsů v oblasti  $n=0$  až k maximálním otáčkám vřetene a regulovat synchronizované osy. Na příkladu CNC obráběcího centra s 256 impulsy pro otáčku vřetene je možné ukázat, že axiální síla, která působí na bok závitníku, narůstá se zvyšující se řeznou rychlostí. Následující diagramy ukazují, že axiální síla pro tváření závitu M10 u otáček 500/min (15,7 m/min) je cca 1900N a s navýšením otáček na 2000/min (62,8m/min) je již 2500N. Tím je možné zjistit, že vznikající axiální síla, která vzniká v důsledku synchronizační chyby, je závislá na otáčkách.

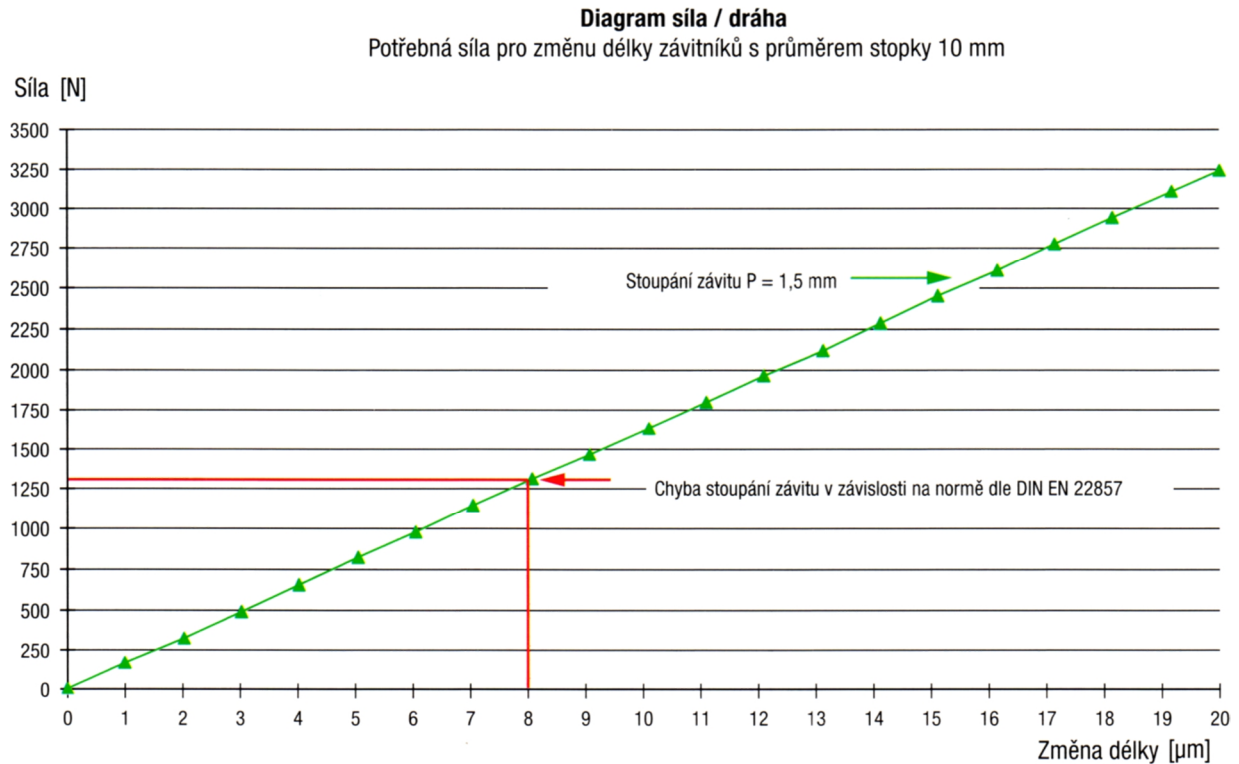




## 2a. Veličiny ovlivněné závitníkem – Tolerance stoupání závitníku

Pro závitové nástroje jsou v evropské normě DIN EN 22857 stanoveny rozměry a tolerance pro broušené závity. Z této normy je možné vyčíst, že nejmenší přípustná odchylka tolerance závitníku je  $\pm 8\mu\text{m}$  a je vztažená na definovaný počet chodů závitu.

Příklad: Závitník M10, stoupání 1,5mm, kontrolní délka 7 chodů  $\rightarrow$  přípustná tolerance stoupání  **$8\mu\text{m}$** .

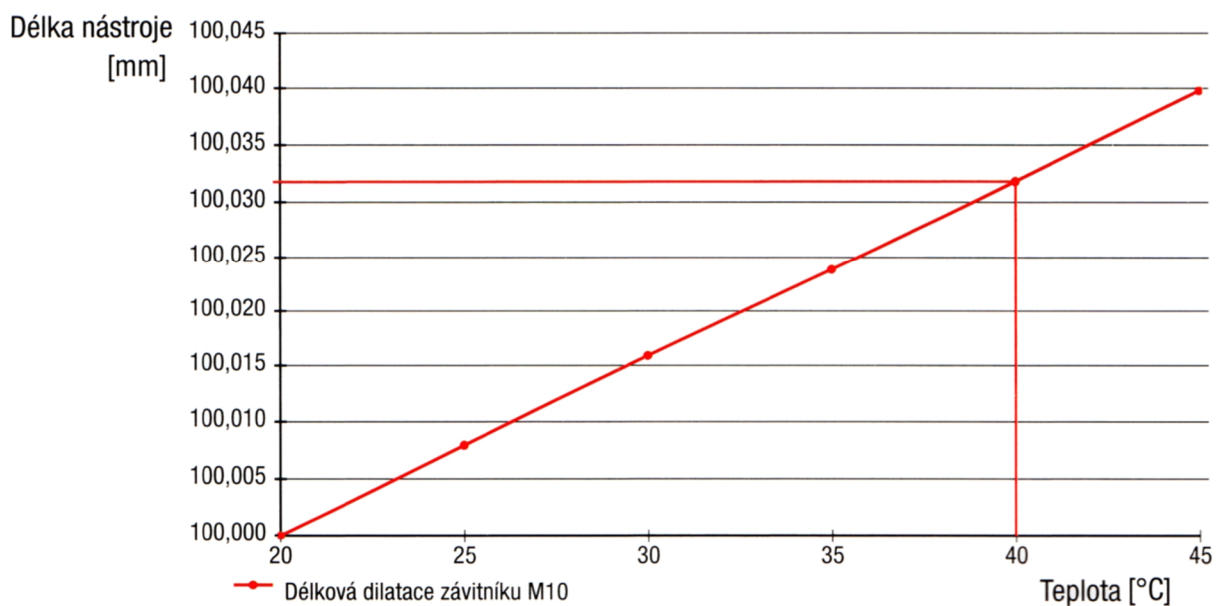


## 2b. Veličiny ovlivněné závitníkem – Teplotní charakteristika stoupání závitu, délkové roztažnosti závitníku $t_{práce} \neq t_{měření}$

Každá z naměřených teplot nástroje, která se odlišuje od měřené teploty 20°C vede ke změnám délky. U závitníku M10 s délkou 100mm při změně teploty z 20°C na 40°C dojde ke změně délky o 32 $\mu$ m. S ohledem na kontrolovatelnou délku 7 chodů dle normy DIN EN 22857 je možné ukázat následující příklad.

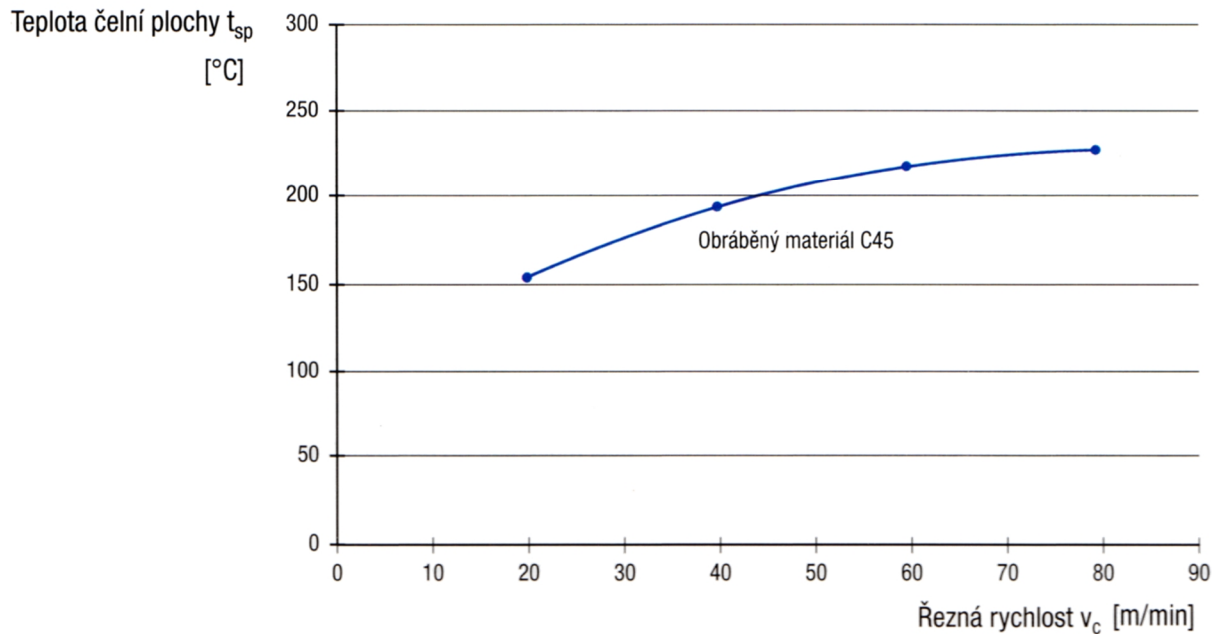
Příklad: Závitník M10, stoupání 1,5mm, délka závitníku 100mm, kontrolovaná délka 7 chodů (10,5mm) → axiální dilatace nástroje a stoupání závitu o **3,4 $\mu$ m**.

**Teplotní charakteristika závitníku M10**  
Délka 100 mm, změna teploty 20 °C, změna délky 32  $\mu$ m



Změnu teploty závitníku je možné prokázat měřením teploty během výroby na nejvíce zatížené ploše. Následující diagram ukazuje teplotu čelní plochy u závitníku M10 při různých řezných rychlostech. Jako obráběný materiál byla použita ocel C45 (12050), chladicím prostředkem je 5% emulze.

**Průběh teploty na břitu závitníku (M10), při mazání emulzí**



## Shrnutí

Abychom rozlišili celkový účinek jednotlivých ovlivňujících se veličin na axiální složky procesu výroby závitu, které zde byly zmíněny, je potřeba shrnout uvedené možné chyby v polohování, délkové dilatace popř. síly, které vedou ke změnám délky.

Následující diagram ukazuje:

- Při sčítání možných axiálních chyb vlivu stroje, tolerance stoupání a teplotním vlivům, může v nejhorším případě vzniknout chyba v polohování mezi nastavenou polohou závitníku a skutečnou polohou vřetene stroje **17 $\mu$ m**.
- Tato chyba v polohování vede k **axiální síle cca. 2800N** na níže ukázaném příkladu se závitníkem M10.
- Tutu sílu zachycují boční části stoupání závitníku, což poté způsobuje zvýšené boční tření a tím také zvýšení opotřebení nástroje.

