

**ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE**

**FAKULTA STROJNÍ**

**ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE**



**BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**TECHNOLOGIE VÝROBY ZÁVITŮ V RŮZNÝCH TYPECH VÝROB**

**THREAD MANUFACTURING TECHNOLOGY IN DIFFERENT  
TYPES OF PRODUCTION**

**PRAHA 2018**

**TOMÁŠ OPIČKA**



# ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

## I. OSOBNÍ A STUDIJNÍ ÚDAJE

Příjmení: **Opička** Jméno: **Tomáš** Osobní číslo: **457549**  
Fakulta/ústav: **Fakulta strojní**  
Zadávající katedra/ústav: **Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie**  
Studijní program: **Teoretický základ strojínského inženýrství**  
Studijní obor: **bez oboru**

## II. ÚDAJE K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Název bakalářské práce:

**Technologie výroby závitů v různých typech výrob**

Název bakalářské práce anglicky:

**Thread manufacturing technology in different types of production**

Pokyny pro vypracování:

1. Rozbor zadané problematiky
2. Technologické možnosti a oblasti využití metod výroby závitů
3. Produktivita a dosahované kvalitativní parametry pro vybrané metody výroby závitů

Seznam doporučené literatury:

Jméno a pracoviště vedoucí(ho) bakalářské práce:

**Ing. Vítězslav Rázek, CSc., ústav technologie obrábění, projektování a metrologie FS**


Jméno a pracoviště druhé(ho) vedoucí(ho) nebo konzultanta(ky) bakalářské práce:


Datum zadání bakalářské práce: **09.04.2018**

Termín odevzdání bakalářské práce: **31.07.2018**

Platnost zadání bakalářské práce: \_\_\_\_\_

  
Ing. Vítězslav Rázek, CSc.  
podpis vedoucí(ho) práce


  
Ing. Libor Beránek, Ph.D.  
podpis vedoucí(ho) ústavu/katedry

  
prof. Ing. Michael Valášek, DrSc.  
podpis děkana(ky)

## III. PŘEVZETÍ ZADÁNÍ

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací.  
Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

24. 4. 2018  
Datum převzetí zadání

  
Podpis studenta

## **Čestné prohlášení**

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně s využitím odborné literatury a pramenů uvedených v seznamu použité literatury.

V Praze dne .....

.....

Tomáš Opička

## **Poděkování**

Rád bych poděkoval Ing. Vítězslavu Rázkovi, CSc. za vedení mé bakalářské práce, cenné rady, odborný dohled při vypracování a za čas, který mi byl ochoten věnovat při konzultacích. Dále bych chtěl poděkovat všem, kteří mě při psaní bakalářské práce a během studia podporovali.

## **Abstrakt**

Tato bakalářská práce se zabývá problematikou výroby závitů v různých typech výrob. První část této práce vysvětluje základní pojmy spojené se závitovými prvky a zmiňuje jejich rozdělení. Druhá část se zaměřuje na tradiční výrobní technologie, jejich kinematiku, produktivitu, oblasti použití a na dosahované kvalitativní parametry závitů. Třetí část se věnuje současným metodám zhotovování závitů, které se využívají především na CNC obráběcích strojích. Jsou zde podrobněji popsány nejmodernější technologie a nové typy nástrojů, včetně nástrojových materiálů a povrchových úprav.

## **Klíčová slova**

závitování, závit, řezací závitník, tvářecí závitník, strojní závitník, řezání závitů, moderní metody

## **Abstract**

This bachelor thesis deals with thread manufacturing in different types of production. The first part of this thesis explains the basic concepts associated with threads and their distribution. The second part focuses on traditional production technologies, their kinematics, productivity, application areas and achieved qualitative parameters of the threads. The third part deals with current thread making methods, which are utilized mainly on CNC machines. In this part are described more advanced technologies and new types of tools, including tooling materials and surface finishes.

## **Key words**

threading, thread, cutting tap, forming tap, machine tap, thread cutting, modern methods

# Obsah

1	Úvod .....	8
2	Závity .....	9
2.1	Základní popis závitu .....	9
2.2	Druhy závitů .....	10
3	Přehled metod výroby závitů .....	12
3.1	Řezání závitů .....	12
3.1.1	Řezání vnitřních závitů .....	12
3.1.2	Řezání vnějších závitů .....	13
3.2	Soustružení závitů .....	15
3.2.1	Radiální nože .....	15
3.2.2	Tangenciální nože .....	15
3.2.3	Kotoučové nože .....	16
3.3	Frézování závitů .....	16
3.3.1	Kotoučové frézy .....	16
3.3.2	Hřebenové frézy .....	17
3.3.3	Nožové okružovací hlavy .....	17
3.4	Broušení závitů .....	18
3.4.1	Broušení jednodílným kotoučem .....	18
3.4.2	Broušení víceprofilovým kotoučem .....	18
3.5	Lapování závitů .....	19
3.6	Elektroerozivní obrábění závitů .....	19
3.7	Tváření závitů .....	20
3.7.1	Válcování plochými čelistmi .....	20
3.7.2	Radiální válcování .....	21
3.7.3	Axiální válcování .....	21
3.8	Zvláštní metody výroby závitů .....	22
3.8.1	Termální závitování .....	22
3.8.2	Samovrtné šrouby .....	22
4	Trendy ve výrobě závitů na CNC obráběcích strojích .....	23
4.1	Moderní závitníky .....	23
4.1.1	Řezací závitníky .....	23
4.1.2	Modulární závitníky XChange .....	26

4.1.3	Tvářecí závitníky .....	27
4.1.4	Speciální tvářecí závitníky PunchTap .....	29
4.1.5	Upínání závitníků .....	31
4.2	Soustružnické závitové nože .....	32
4.2.1	Monolitní závitové nože .....	33
4.2.2	Břitové destičky pro soustružení závitů .....	33
4.2.3	Břitové destičky FourCut .....	35
4.3	Závitové frézy .....	36
4.3.1	Vrtací závitové frézy .....	37
4.3.2	Církulární vrtací závitové frézy .....	37
4.3.3	Církulární závitové frézy .....	38
4.4	Nástroje kombinující řezný a tvářecí proces výroby .....	39
4.4.1	Technologie Cut&Form .....	39
4.4.2	Technologie Mill&Form .....	39
4.5	Materiály a povlaky nástrojů .....	40
4.5.1	Nástrojové materiály .....	40
4.5.2	Povrchové úpravy nástrojů .....	41
4.6	Procesní kapaliny .....	42
5	Závěr .....	43
	Seznam použité literatury .....	44
	Seznam obrázků .....	47
	Seznam tabulek .....	49
	Seznam použitých zkratk .....	50

# 1 Úvod

Závit lze považovat za základní stavební kámen současné technické praxe. Je využíván jako spojovací nebo pohybový prvek v širokém rozsahu aplikací. Jeho výroba je ve většině případů řazena mezi finální operace obrábění na dané součásti. Z tohoto důvodu je zapotřebí dokonalé a bezproblémové zvládnutí této technologie. Jedná se o jeden z nejnáročnějších procesů obrábění, a proto vyžaduje vysokou pečlivost.

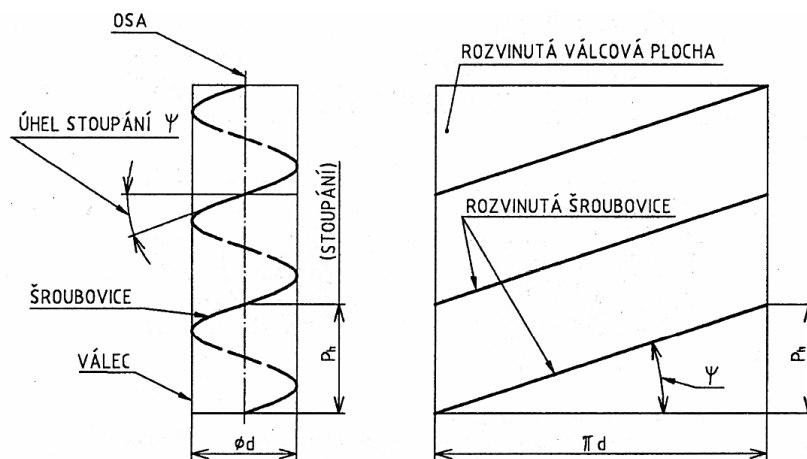
Tato bakalářská práce má za cíl shrnout jednotlivé tradiční metody výroby závitů do stručného přehledu, který dostatečně vystihuje jejich podstatu a využití. Hlavním cílem je pak shrnutí nejmodernějších řešení výroby, která lze uplatnit na CNC obráběcích strojích, a následně tyto metody porovnat mezi sebou z hlediska produktivity, pevnosti, přesnosti a jakosti povrchu závitu.



## 2 Závity

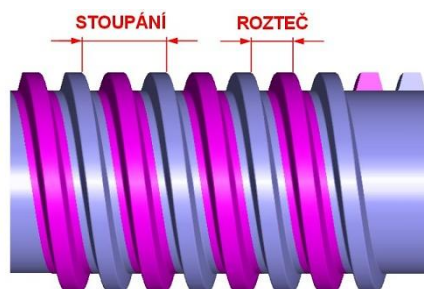
### 2.1 Základní popis závitu

Závít je základním prvkem pro realizaci šroubového spojení šroubu a matice. Geometricky je určen závítovou plochou, která vznikne pohybem profilu závitu po šroubovici. Šroubovice je prostorová křivka vytvořená bodem, který rovnoměrně rotuje kolem pevné osy a zároveň se rovnoměrně posouvá ve směru této osy. Dle směru otáčení je rozlišována šroubovice pravá (pravotočivá) a levá (levotočivá). Po rozvinutí pláště válcové plochy šroubovice do roviny se tato šroubovice zobrazí jako přímka, která svírá s rovinou kolmou na osu válce úhel stoupání  $\psi$ . Ten závisí na průměru válce  $d$  a na stoupání závitu  $P_h$ . Tvar základního tělesa může být nejen válcový, ale také kuželový. [1]



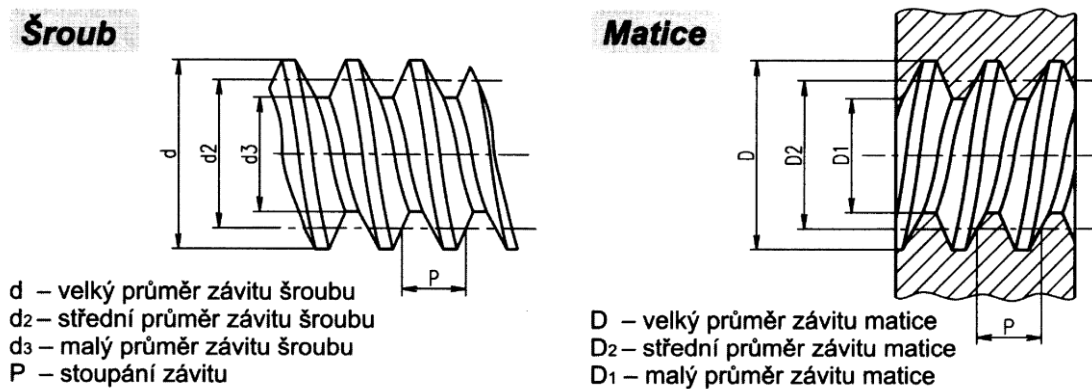
Obr. 1 – Vznik pravotočivé šroubovice [1]

Stoupání závitu vyjadřuje vzdálenost, kterou urazí bod ve směru osy za jednu otáčku válce. Dle počtu profilů závitu rozdělujeme závity na jednochodé a několikachodé. Vzdálenost mezi sousedními profily závitu se nazývá rozteč  $P$ . U jednochodých se tato rozteč rovná stoupání závitu, u několikachodých je stoupání násobkem rozteče a počtu chodů. [1; 2]



Obr. 2 – Dvouchodý závit [3]

Dle polohy profilu závitů vůči základnímu tělesu jsou rozlišovány závity vnější (šrouby) a závity vnitřní (matice). Aby bylo zaručeno správné spojení obou součástí, musí mít oba závity stejný vrcholový úhel a splňovat základní rozměry viz obr. 3. [1]



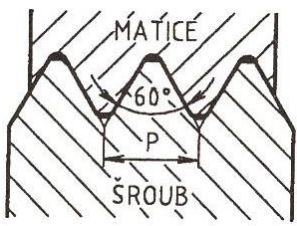
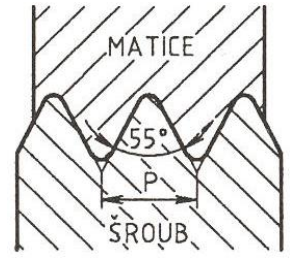
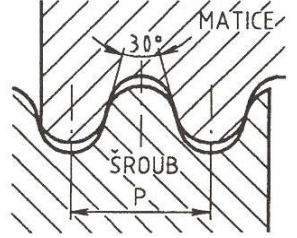
Obr. 3 – Základní rozměry šroubu a matice [4]

## 2.2 Druhy závitů

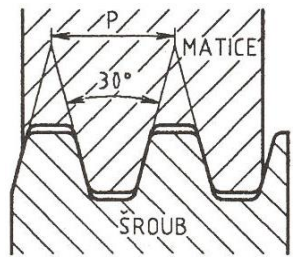
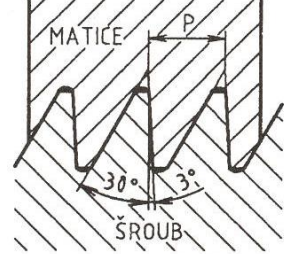
Primárně se závity rozdělují na spojovací a pohybové. Spojovací závity se používají k vytváření rozebíratelných spojení. K tomuto účelu slouží převážně závitové profily ve tvaru trojúhelníku, které mají různou geometrii dle druhu závitů. Pohybové závity slouží k transformaci rotačního pohybu na pohyb posuvný nebo naopak. Závitovým profilem je v tomto případě různě modifikovaný čtverec, a proto mají pohybové šrouby vyšší úhel stoupání a často i větší počet chodů, což může ovlivnit jejich samosvornost. [1]

V následujících tabulkách (tab. 1, tab. 2) jsou uvedeny vybrané druhy normalizovaných závitů, které jsou rozlišovány dle normy ČSN 01 4004. Tato norma uvádí přehled závitů, jejich označování a odkazuje na normy, které jednotlivé druhy popisují. [5]

*Tab. 1 – Přehled vybraných spojovacích závitů [1; 5]*

Závit	Označení	Norma	Tvar profilu [1]
Metrický - s hrubou roztečí - s jemnou roztečí	M d M d x P	ČSN 01 4008 ČSN 01 4013	
Whitworthův	W d	ČSN 01 4030	
Trubkový - válcový - kuželový vnější - kuželový vnitřní	G d R d Rc d	ČSN ISO 228-1 ČSN ISO 7-1	
Oblý	Rd d	ČSN 01 4037	

*Tab. 2 – Přehled vybraných pohybových závitů [1]*

Lichoběžníkový rovnoramenný - jednochodý - vícechodý	Tr d x P Tr x Ph (P)	ČSN 01 4050 ČSN 01 4051	
Lichoběžníkový nerovnoramenný jednochodý	S d x P	ČSN 01 4052	

V současné době se lze setkat se závity, které jsou modifikací výše uvedených. Například v USA je hojně rozšířen unifikovaný závit UN, který je kombinací metrického a Whitworthova, má tedy vrcholový úhel  $60^\circ$  a rozměry v palcových mírách. Za zmínku dále stojí zvláštní normalizované závity jako Edisonův závit E, Pancéřový závit P a závit šroubů do plechu. [2; 5]

## 3 Přehled metod výroby závitů

V následujících podkapitolách budou shrnuty a popsány běžné metody výroby závitů využívající tradičních principů na daných pracovištích a strojích.

### 3.1 Řezání závitů

#### 3.1.1 Řezání vnitřních závitů

Vnitřní závity jsou řezány závitníky, které se řadí mezi nejrozšířenější nástroje určené pro ruční i strojní řezání vnitřních závitů v průchozích i slepých otvorech. Tvarem se podobají šroubu s obrobenými drážkami po obvodu, které vytvářejí břity nástroje. Řezání probíhá zpravidla tak, že se závitník otáčí kolem své osy, posouvá ve směru této osy do předvrtaného otvoru a postupným odebráním třísek vyřízne v otvoru předepsaný závit. Průměr předvrtaného otvoru by měl být volen dle norem nebo katalogů, v praxi se často volí  $0,8xD$ . [6]

Závitníky menších rozměrů se vyrábějí jako stopkové, pro větší průměry jako nástrčné. Rozdělujeme je na závitníky sadové, strojní a maticové. [6]

**Sadové závitníky** jsou primárně určeny pro ruční řezání závitů v průchozích i slepých otvorech. Jak již název napovídá, jsou dodávány v sadě, které ve většině případů obsahuje tři resp. dva závitníky s odlišnou geometrií, které je nutné použít v předepsaném pořadí. Na obr. 4 jsou sestupně seřazeny tak, jak jsou použity ve výrobě. První předřezávací závitník (s jedním proužkem) odebírá cca. 60 % materiálu, druhý řezací závitník (se dvěma proužky) odebírá přibližně 30 %. Dokončovací závitník (neoznačený) vyráběný závit dořezává a kalibruje již při malém úběru materiálu (10 %). Tento proces je velice neproduktivní a v průmyslu se s ním běžně nesetkáme. [6; 7]



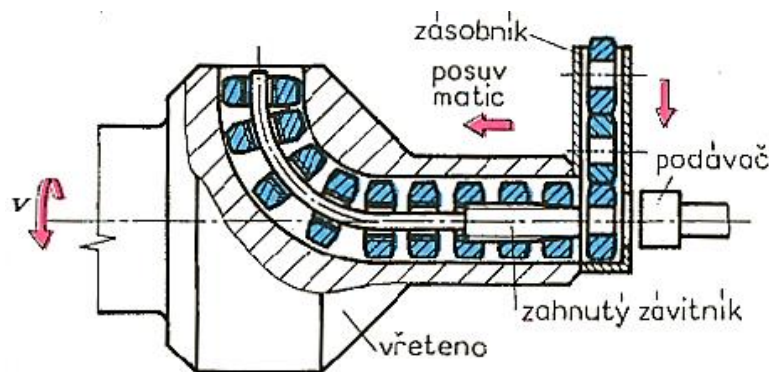
Obr. 4 – Sadové závitníky [8]

**Strojní závitníky** patří mezi nejběžnější nástroje pro řezání vnitřních závitů. Tato metoda má svůj základ v jednoduchosti a efektivitě – nástroj je schopen vyrobit závit na jeden záběr. Řezání touto metodou lze například využít na soustruzích, vrtačkách či závitorezech. Přední řezná část tzv. náběhový kužel slouží k postupnému vyříznutí a následná vodící část ke kalibraci závitu. Problematikou strojních závitníků se podrobněji zabývá podkapitola 4.1.1. [6; 9]



Obr. 5 – Strojní závitník [10]

**Maticové závitníky** se svým tvarem podobají prvnímu sadovému závitníku. Mají velmi táhlý náběhový kužel, krátkou kalibrační část a průchozí stopku. Vzhledem ke své délce kužele mohou být použity pouze pro průchozí otvory. Jak již název napovídá, jsou používány převážně pro výrobu matic a závitů do krátkých výrobků (do hloubky  $1,5xD$  [8]). Jsou vhodné pro průběžné závitování, tj. proces, při kterém závitník není třeba šroubovat zpět a obrobky (matice) se do určitého počtu shromažďují na dlouhé stopce. Tohoto principu se využívá při hromadné výrobě matic na závitorezech (obr. 6). Závit je řezán strojním maticovým závitníkem s dlouhou zahnutou stopkou, po které se hotové matice mohou volně posouvat a odcházet pryč ze stroje. [6]

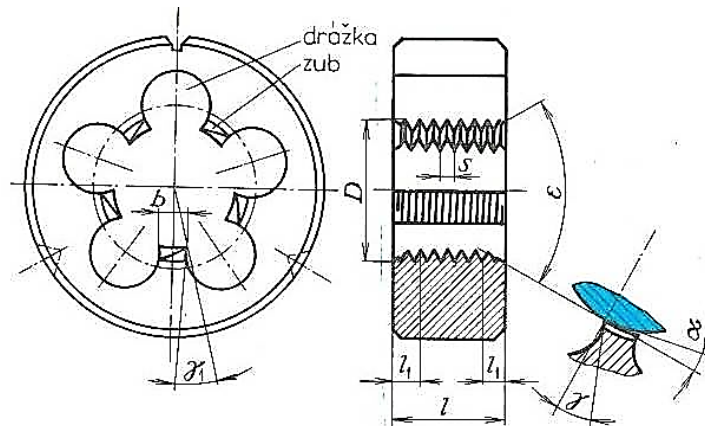


Obr. 6 – Hromadná výroba matic maticovým závitníkem [11]

### 3.1.2 Řezání vnějších závitů

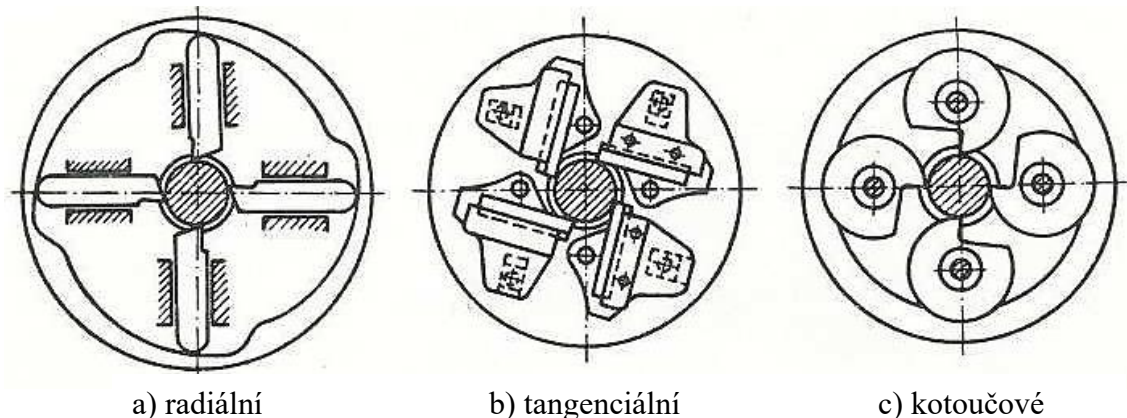
Vnější závitů jsou řezány závitovými čelistmi, které jsou nejrozšířenějším nástrojem pro ruční i strojní řezání. Při procesu řezání se zpravidla otáčí kolem své osy, posouvají ve směru této osy k obrobku o průměru velkého průměru závitu  $d$  a postupným odebráním třísek vyříznou na jeho povrchu předepsaný závit. Pro zvýšení produktivity se na automatických soustruzích používají závitové hlavy. [6]

**Závitové čelisti** jsou nejčastěji kruhové nebo hexagonální, podobající se matici, která má obvykle 3 až 6 přímých drážek tvořící břity. Vniknutí do materiálu je zajištěno náběhovým kuželem. Většina čelistí bývá oboustranná, tudíž po otupení jedné strany lze čelist obrátit a využít druhou, neotupenou stranu. Tyto čelisti nelze běžně seřizovat, a proto se vyrábějí čelisti rozříznuté nebo naříznuté, které lze v případě potřeby rozříznout. Díky rozříznutí je možné v malých odchylkách korigovat průměr a získat tak odlišnou toleranci závitů [8]. [6]



Obr. 7 – Kruhová závitová čelist [11]

**Závitové hlavy** se převážně používají na revolverových a automatických soustružích pro řezání vnějších závitů, velice výjimečně také vnitřních závitů. Pro nastavení přesného rozměru závitů lze čelisti rozevírat a při zpětném pohybu jsou automaticky odsunuty ze záběru, aby nedošlo ke znehodnocení závitů. Hlavy se vyrábějí v několika velikostech a na každé lze řezat závity v určitém rozsahu rozměrů. Každý průměr, stoupání a smysl závitů vyžaduje použití odpovídajících závitových čelistí, které musí být v hlavě axiálně přesazeny o podíl stoupání závitů dle jejich počtu. Jednotlivé čelisti jsou očíslovány, aby nedošlo k jejich záměně při vkládání do hlavy. Jako čelisti se



Obr. 8 – Závitové hlavy [12]

používají hřebínkové varianty nožů, které jsou zmíněné v podkapitole 3.2. Dle nich rozlišujeme závitové hlavy (obr. 8) s radiálními čelistmi, s tangenciálními čelistmi a s kotoučovými čelistmi. [6]

## **3.2 Soustružení závitů**

Soustružení závitů lze provádět na konvenčních soustruzích, automatech a CNC strojích a je vhodné pro výrobu vnitřních i vnějších závitů v širokém rozsahu velikostí. Závitů jsou řezány soustružnickými noži různých typů a proces probíhá na jeden nebo několik záběrů nástroje, na jejichž počtu je závislá produktivita. U konvenčních strojů je mechanickým převodem provázáno vřetenem s vodicím šroubem stolu, čímž je zajištěn konstantní posuv závislejší na otáčkách stroje. Jednotlivými převody je nutno nastavit posuv tak, aby se rovnal stoupání vyráběného závitu. U moderních CNC strojů jsou pro posuv os využívány např. krokové motory, jejichž otáčky, a tím i posuv supportu, jsou ovládány řídicím systémem stroje. Trendy v oblasti soustružení závitů jsou popsány v podkapitole 4.2. [2]

### **3.2.1 Radiální nože**

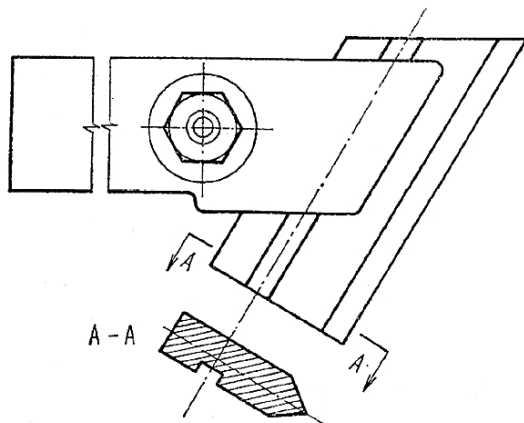
Radiální nože patří mezi nejběžnější nástroje pro soustružení závitů. Břit nože je přesně vybroušen do tvaru závitové mezery. Soustružení závitu probíhá na několik záběrů, takže použití jednodílnového nože není produktivní. Pro snížení počtu záběrů se používají hřebínkové nože, které jsou však méně přesné. Radiální nože se přeastřívají pouze na čele, čímž je počet ostření velmi omezen. Původní nože z HSS jsou dnes nahrazeny noži s vyměnitelnými břitovými destičkami ze slinutých karbidů. [6]

### **3.2.2 Tangenciální nože**

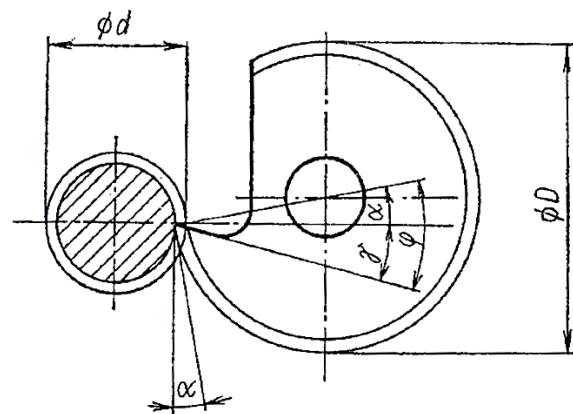
Tangenciální nože neboli prizmatické nože svou konstrukcí zaručují maximální využití nástroje. Jedná se o dlouhý hranol, který má na hřbetní ploše přesný profil závitu [11]. Ostření se provádí na čele a počet přeastření je vysoký, úměrný délce hranolu. Upínají se do zvláštních držáků a k obrobku jsou nastaveny tečně. Nejčastěji se vyrábějí z RO v hřebínkovém provedení a používají se zejména na revolverových a automatických soustruzích pro výrobu vnějších závitů. [6]

### 3.2.3 Kotoučové nože

Kotoučové nože jsou jednoduché na výrobu a vynikají největším počtem ostření, která se provádí na čele. Mají tedy nejvyšší životnost, a proto se používají zejména v automatické výrobě. Převážně se vyrábějí z RO a to ve variantě jednodřívové nebo hřebínkové, a na svém obvodu mají závitový profil, buďto ve šroubovici nebo bez stoupání. [6]



Obr. 9 – Tangenciální nůž [6]



Obr. 10 – Kotoučový nůž [6]

## 3.3 Frézování závitů

Frézování jako takové je velmi produktivní metoda obrábění. Touto technologií je možné vyrábět vnitřní i vnější závity v širokém rozsahu velikostí. Během frézování se obrobek i fréza otáčejí a posuvný pohyb, přesně provázaný s otáčkami, koná vřeteno nebo obrobek dle typu stroje. V následujících podkapitolách jsou popsány tradiční způsoby frézování závitů. Moderní metody, určené výhradně pro CNC obráběcí stroje, popisuje kapitola 4.3. [6]

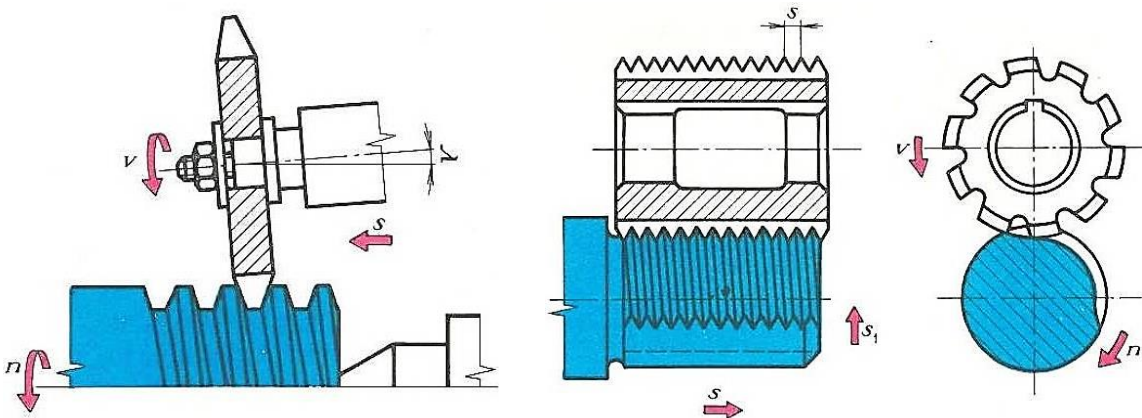
### 3.3.1 Kotoučové frézy

Jednodřívové kotoučové frézy se používají převážně pro výrobu dlouhých závitů lichoběžníkového tvaru. Fréza je nastavena na plnou hloubku závitu, její osa je vykloněna o úhel stoupání šroubovice závitu a její profil odpovídá normálnímu řezu profilu závitové mezery. Konkrétní frézou lze vyrábět závity různých průměrů se stejným stoupáním. Takto frézované závity nejsou příliš přesné, protože vykloněním dochází k částečné deformaci profilu závitu. [6]



### 3.3.2 Hřebenové frézy

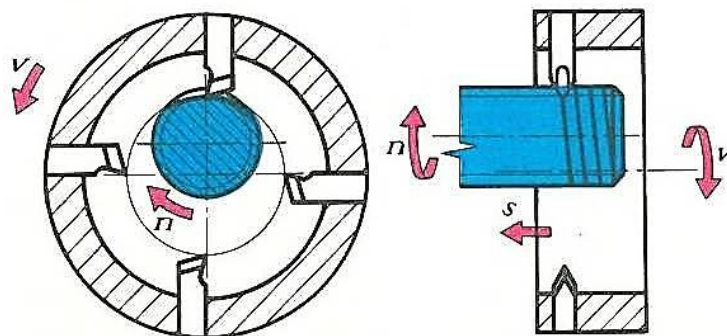
Válcové hřebenové frézy se používají pro frézování krátkých vnějších i vnitřních závitů. Závitové profily po obvodu nejsou ve šroubovici, ale tvoří prstence. Osa frézy se nastavuje rovnoběžně s osou obrobku. Během obrábění fréza nejprve najede na plnou hloubku závitů a následně celý závit vyrobí na jednu otáčku obrobku. Šířka frézy tedy musí být větší, než délka frézovaného závitů. Jedná se o velice produktivní metodu. [6]



Obr. 11 – Frézování závitů kotoučovou frézou [11]      Obr. 12 – Frézování závitů hřebenovou frézou [11]

### 3.3.3 Nožové okružovací hlavy

Okružní frézování závitů je nejproduktivnější metoda vhodná pro výrobu dlouhých závitů velkých stoupání. Okružovací hlava ve tvaru prstence je nasunutá na obrobku, otáčí se s vysokou řeznou rychlostí a relativně posouvá vůči obrobku. Po jejím vnitřním obvodu jsou uloženy nože, které jsou osazené VBD ze slinutých karbidů. Nože jsou nastaveny na plnou hloubku závitů a odebíraná tříška má proměnlivou tloušťku. Na tuhých strojích lze takto obrábět přesné pohybové šrouby na čisto [9]. Jinou variantou je vnější okružování, které pracuje na principu frézování kotoučovou frézou. [6]



Obr. 13 – Okružní frézování závitů [11]

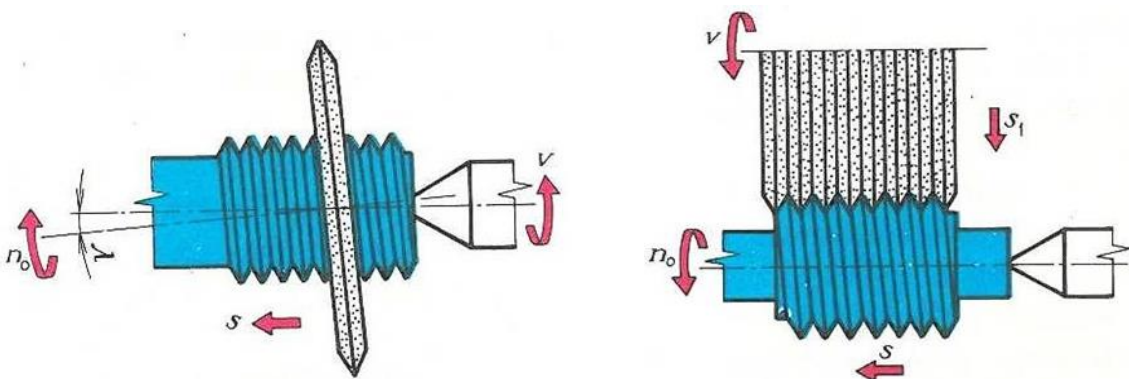
## 3.4 Broušení závitů

Broušení závitů je využíváno tehdy, je-li požadována vyšší přesnost profilu závitu, středního průměru závitu, stoupání závitu a vysoká jakost povrchu. Základ jednotlivých metod broušení se shoduje s technologiemi frézování. Ve většině případů je broušení závitů zařazeno jako dokončovací operace po předchozím obrábění závitu. Nicméně může být využito ke zhotovení závitu bez předchozího obrobení, například při výrobě závitů v tvrdých, kalených materiálech a závitů velmi malých rozměrů. Broušením lze běžně dosáhnout stupně přesnosti IT4 – IT5 a drsnosti povrchu Ra 0,4  $\mu\text{m}$ . [11]

Mezi typické příklady broušených závitů lze zařadit závitořezné nástroje, válcovací čelisti pro válcování závitů, přesné pohybové a mikrometrické šrouby a závitové kalibry. [11]

### 3.4.1 Broušení jednodušším kotoučem

Při tomto podélném broušení závitu (obr. 14) je využíván jednoduchý tvarový brusný kotouč, který má na obvodu velmi přesný negativní profil vyráběného závitu. Toho je docíleno jednoduchým a rychlým orovnáváním diamantovým orovnávačem. Během broušení se kotouč otáčí kolem své osy, která je vykloněna o úhel stoupání šroubovice, a obvykle je nastaven na plnou hloubku závitu. Obrobek je většinou upnutý v hrotech, pomalu se otáčí a zároveň se s každou otáčkou axiálně posouvá o jedno stoupání. Tento způsob je vhodný pro výrobu závitů s nejvyššími požadavky na přesnost (závitové nástroje a měřidla). Nevýhodou je však nízká produktivita. [9; 11]



Obr. 14 – Broušení závitu jednoduchým kotoučem [11] Obr. 15 – Broušení závitu hřebenovým kotoučem [11]

### 3.4.2 Broušení víceprofilovým kotoučem

Víceprofilové brusné kotouče se vyrábí ve dvou provedeních. První variantou je hřebenový kotouč s úkosem, který zvyšuje produktivitu při podélném broušení. Pro

broušení závitů zapichovacím způsobem (obr. 15) se naopak používá hřebenový kotouč bez úkosu, který má tvar shodný s válcovou hřebenovou frézou. Brusný kotouč větší šířky, než je délka broušeného závitu, se radiálně přisouvá k obrobku. Obrobek se přitom pomalu otáčí a zároveň se s každou otáčkou axiálně posouvá o jedno stoupání. Jedná se o nejvýhodnější způsob broušení závitů kratších délek. [11]

### **3.5 Lapování závitů**

Lapování je dokončovací metoda obrábění, se kterou lze dosáhnout největší přesnosti profilu závitu a nejvyšší jakosti povrchu. Během lapování dochází k jemnému odebírání materiálu volným brusivem, které se přivádí mezi vzájemně se pohybující obrobek a lapovací nástroj. Ten má tvar profilu závitu a je vyroben z měkčího materiálu než dokončovaný závit. Lapování rozdělujeme na hrubovací, jemné a velmi jemné. Při hrubovacím dochází k odřezávání nerovností na povrchu obráběného závitu, při velmi jemném k plastické deformaci lapované plochy. Tento způsob dokončování závitů se využívá u měřidel, například u závitových kalibrů a umožňuje dosáhnout stupně přesnosti IT4 až IT5 a drsnosti povrchu Ra 0,2  $\mu\text{m}$  [11]. [13]

### **3.6 Elektroerozivní obrábění závitů**

Výroba závitů elektroerozivním obráběním se primárně využívá při obrábění velice tvrdých materiálů, které je obtížné a nevýhodné obrábět běžnými technologiemi. Jedná se o velmi nákladnou a časově náročnou metodu, a proto se s ní setkáme pouze výjimečně. Celý proces probíhá pod hladinou dielektrika a k úběru materiálu dochází elektrickým výbojem. Nástrojem je měděná či grafitová elektroda o zrcadleném tvaru závitu. Při výrobě vnitřního závitu může elektroda do předvrtaného otvoru vnikat po šroubovici, nebo je do něj vsunuta, nastavena na plnou délku závitu a závit je zhotoven pulzním kmitáním. [13]

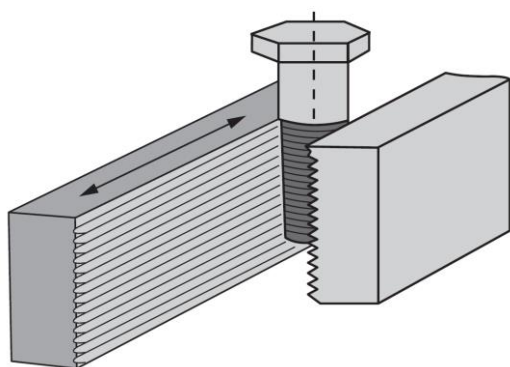
## 3.7 Tváření závitů

Strojní tváření závitů (válcování) lze považovat za nejproduktivnější technologii výroby závitů vůbec. Jedná se o beztržkovou výrobu, při které dochází k deformaci tvářeného materiálu do tvaru profilu závitu. Při této deformaci dochází ke zpevňování materiálu bez narušení vláken vnitřní struktury, čímž se závit stává pevnější než závit obráběný. Další velkou výhodou jsou nízké výrobní časy, odolnost vůči opotřebení a korozi a hladký povrch, který dosahuje drsnosti Ra 0,8. Z těchto důvodů je tato metoda nejvíce nasazována v hromadné a sériové výrobě. [11]

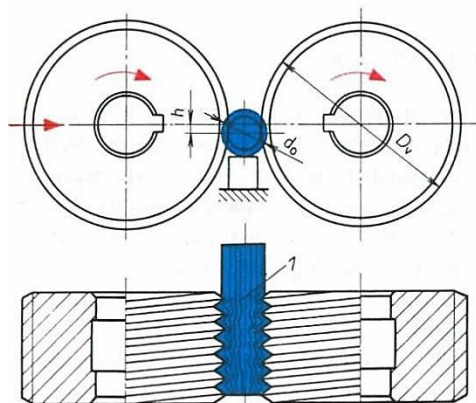
Vnitřní závity jsou tvářeny pomocí tvářecích závitníků (viz podkapitola 4.1.3). Tváření vnějších závitů se provádí na válcovacích strojích nebo na soustruzích, u kterých lze použít válcovací hlavy. Válcuje se buďto plochými, nebo kotoučovými válcovacími čelistmi. Ty jsou využívány častěji a dle pohybu válcovacího nástroje vůči polotovaru se rozlišuje radiální a axiální způsob válcování. Průměr polotovaru musí být vyroben s vysokou přesností a jeho velikost je třeba volit pečlivě, obvykle dle norem či pokusu. Obecně se však jeho velikost blíží střednímu průměru závitu. [6; 11]

### 3.7.1 Válcování plochými čelistmi

Při válcování plochými čelistmi (obr. 16) je polotovar podáván mezi dvě ploché čelisti. Jedna čelist je vždy pevná a druhá posuvná. Čelisti lze považovat za ploché desky s drážkami ve tvaru profilu závitu, které jsou skloněny pod úhlem dle požadovaného stoupání závitu. Pro každé stoupání je zapotřebí použít speciální pár čelistí. Tato metoda je využívána pro výrobu běžných, méně přesných spojovacích šroubů. [15]



Obr. 16 – Válcování šroubu plochými čelistmi [14]



Obr. 17 – Radiální válcování závitu [11]

### 3.7.2 Radiální válcování

Jedná se o zapichovací způsob válcování, kdy je polotovar stlačován mezi dvěma radiálními kotouči (obr. 17). Kotouče mají po svém obvodu negativní profil tvářeného závitu a úhel stoupání šroubovice kotoučů musí být shodný s úhlem stoupání vyráběného závitu. Kotouče se otáčejí stejným směrem a jeden z kotoučů se radiálně přibližuje k obrobku, do kterého je tlakem vmáčknut profil závitu. Délka válcovaného závitu je omezena šířkou kotoučů. Tento způsob je vhodný pro sériovou výrobu krátkých závitů. [15]

### 3.7.3 Axiální válcování

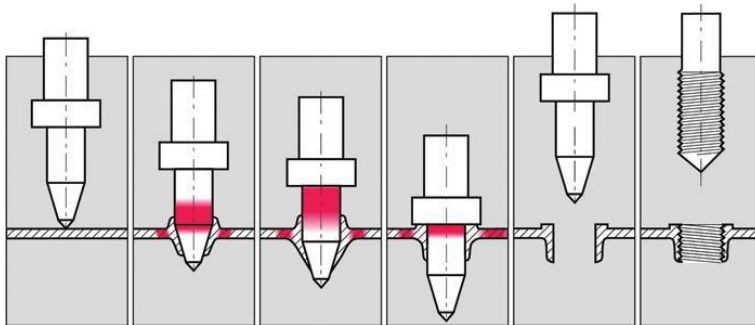
Při axiálním válcování je závit tvářen pomocí tří volně otočných kotoučů, přesazených o třetinu stoupání závitu. Jejich osy jsou dle typu kotoučů s osou polotovaru rovnoběžné nebo mimoběžné, tedy k ose polotovaru skloněné o úhel stoupání válcovaného závitu. Po svém obvodu mají negativní profil tvářeného závitu, který může být v uzavřených kruzích, nebo pod určitým úhlem stoupání. Kotouče jsou umístěny ve válcovacích závitových hlavách a jejich vzájemná poloha se během válcování nemění. Při tomto procesu je hlava natlačována na otáčející se obrobek, který je postupně vtahován mezi kotouče. Po vyválcování závitu do potřebné délky jsou kotouče odklopeny a hlava může vyjet ven z řezu. Válcovací hlavy lze využívat na konvenčních i CNC soustruzích, automatech i vrtačkách. Jsou vyráběny v různých modifikacích, z nichž většina umožňuje seřízení pro určitý rozsah velikostí závitu. [6; 15]

## 3.8 Zvláštní metody výroby závitů

### 3.8.1 Termální závitování

Výroba kvalitních závitů do tenkých plechů a profilů je velmi komplikovaná. Z důvodu jejich malé tloušťky má výsledný závit omezený počet nosných závitů. Jeho únosnost je velmi nízká a často se stává nepoužitelným. Je tedy nutné zvětšit závitovou plochu. Jedním z moderních řešení tohoto problému je termální závitování, které kvalitně nahrazuje běžné metody, jako jsou přivaření matice nebo použití nýtovací matice. [16]

Termální závitování (obr. 18) vzniklo spojením dvou odlišných procesů. Prvním je termální vrtání otvoru a druhým závitování tvářecím závitníkem. Termální vrtání se provádí nástrojem se speciálním hrotem, na který navazuje kužel ve tvaru polygonu. Hrot se otáčí vysokou rychlostí, je přitlačován k profilu a vlivem tření vzniká teplo. Tím se materiál ohřívá, stává se tvárným a začne téct kolem nástroje. Po vychladnutí vznikne pouzdro, které nabízí až trojnásobnou délku závitů oproti původní tloušťce materiálu. V takto vzniklém otvoru se následně vyrobí závit pomocí tvářecího závitníku. Lze takto tvářet závity v rozsahu M3 až M20 v tloušťkách stěn 1 až 10 mm. [16]



Obr. 18 – Termální závitování [17]



Obr. 19 – Samovrtný šroub [18]

### 3.8.2 Samovrtné šrouby

Samovrtné TEX šrouby (obr. 19) se obvykle používají pro rychlé a snadné upevňování profilových plechů na ocelové a hliníkové konstrukce, případně do dřeva. Tyto konstrukce jsou často vyrobeny z tenkostěnných profilů, do kterých tyto šrouby snadno vyříznou závit. Na konci šroubu se nachází malý „vrtáček“, na který navazuje samořezný závit. Šroub si během šroubování nejdříve předvrtá otvor a následně do něj vyřízne závit, který okamžitě slouží k vytvoření spoje. Minimální potřebnou velikost samovrtného šroubu určuje tloušťka profilu, která u oceli nesmí přesáhnout 12 mm. [18]

## 4 Trendy ve výrobě závitů na CNC obráběcích strojích

Ačkoli dnes můžeme obrábět závitů na jakémkoliv CNC stroji nespočet způsoby, vývoj se stále posouvá dopředu a na trhu se objevují stále nová inovativní řešení pro zvýšení produktivity a docílení vyšší kvality a přesnosti závitu. Ve většině případů se jedná pouze o zdokonalování nástrojů, kde princip výrobní metody zůstává neměnný. Výjimečně se ale setkáme s úplně novými technologiemi výroby závitů, které přinášejí značné výhody pro určitou oblast použití. Tyto nejmodernější nástroje a metody budou v této kapitole shrnuty a porovnány mezi sebou.

### 4.1 Moderní závitníky

Výrobu závitů pomocí závitníků lze považovat za nejjednodušší a nejrozšířenější výrobní metodu i přesto, že jiné metody mohou vyrábět závitů produktivněji a kvalitněji. Jedná se o výrobní technologii, která je prověřena svou historií a stále může nabídnout mnoho zdokonalení, díky kterým lze výrobní proces výrazně zkvalitnit a zrychlit. Pro úspěšný výsledek je však nutno zajistit celou řadu parametrů, které proces ovlivňují, a to od výběru nástroje až po dokonalé upnutí obrobků. Primárně se využívá v oblasti menších rozměrů závitů, v případě metrických se nejčastěji setkáme se závitníky od velikosti M3 do M20. [8]

#### 4.1.1 Řezací závitníky

Vzhledem k tomu, že výroba závitů patří často mezi finální operace obrábění, je třeba minimalizovat možná poškození obrobku. Tato poškození v praxi často vznikají právě při použití strojních závitníků, které patří mezi velice namáhané nástroje. V kombinaci s jejich malým průřezem dochází při nedokonalých řezných podmínkách k ukroucení nástroje v předvrtaném otvoru. Jedná se o nejzávažnější problém, který může při obrábění otvoru vzniknout. Zlomená řezná část závitníku zůstane „zaseknutá“ v otvoru a obvykle ji nelze dostat ven bez poškození obrobku. Ten se pak vyřadí jako zmetek nebo je opraven nákladnou metodou. [19; 20]

Další komplikací jsou zde třísky, které během řezání mohou vniknout mezi břit a obrobek, a tím znehodnotit výsledný povrch nebo poškodit celý závit. Aby k namotávání a hromadění třísek nedocházelo, je potřeba vybrat nejvhodnější nástroj. [19]

Hlavním faktorem pro výběr vhodného závitníku je obráběný materiál a průchodnost díry. Každý materiál utváří třísky odlišně, a proto je důležité použít závitník s vhodnou geometrií pro daný obráběný materiál. Z těchto důvodů jsou materiály rozděleny do šesti skupin obrobitelnosti dle standardů ISO (P, M, K,...), ke kterým jsou jednotlivé závitníky přiřazeny a příslušně označeny barevným proužkem. Někteří výrobci však mohou používat jiný způsob rozdělování a je třeba se řídit jejich katalogy. [8; 19]

Pro správný odvod třísek a přívod procesní kapaliny je nutné zvolit závitník s vhodným typem drážky. Její tvar určuje geometrii nástroje, a proto jsou rozlišovány drážky:

**Přímé** – pro průchozí i slepé otvory

– pro materiály tvořící krátké třísky, resp. dlouhé, při použití utvařeče třísek

**Šroubovité** (popis je platný pro řezání pravých závitů)

*a) pravotočivé* (úhel stoupání šroubovice  $15^\circ$  až  $50^\circ$  - vyšší pro hlubší otvory)

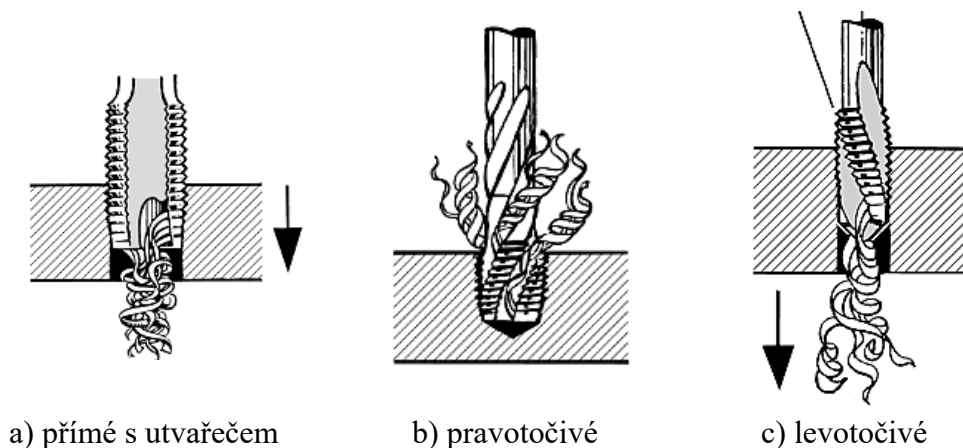
– odvádějí třísky proti směru řezání; nejvhodnější varianta pro slepé otvory

*b) levotočivé* (úhel stoupání šroubovice  $10^\circ$  až  $15^\circ$ )

– odvádějí třísky ve směru řezání; pro průchozí otvory

**Mazací přímé** – neslouží k odvodu třísek, ale pouze k přívodu procesní kapaliny

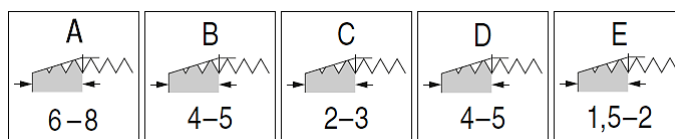
Počet drážek po obvodu závisí na průměru závitníku, obvykle se pohybuje od 3 do 5 drážek. Vyšší počet drážek snižuje namáhání břitů a zároveň jejich opotřebení otěrem. [8]



Obr. 20 – Typy drážek závitníku [8]



Dle náběhového kužele závitníku rozlišujeme tvary (tučně nepoužívanější):



Obr. 21 – Tvary náběhového kužele závitníku [23]

**Tvar A** – velmi dlouhý náběh, vhodný pro krátké průchozí otvory

**Tvar B** – dlouhý náběh s lamačem třísek

– pro průchozí otvory, třísky jsou odváděny ve směru řezání

– dosahuje nejlepší jakosti povrchu a vyšší trvanlivosti nástroje

**Tvar C** – střední náběh, pro průchozí i slepé otvory

– v kombinaci se šroubovitou drážkou tvoří nepoužívanější typ závitníku

**Tvar D** – dlouhý náběh, pro hluboké závity ve slepých otvorech

**Tvar E** – krátký náběh, pro slepé otvory

– vysoký tlak na řezný kužel a velká tloušťka třísky

Skutečná délka jednotlivých náběhových kuželů je rovna násobku stoupání závitu a číselného údaje spadající do rozsahu uvedeného na obr. 21. Tyto rozsahy se mohou mírně lišit dle výrobce. [10; 21]

Při výrobě slepých závitů je nutné určit dostatečnou hloubku předvrtaného otvoru, aby byla zajištěna požadovaná funkční délka závitu a závitník nedosedl na dno. Vrtaný otvor tedy musí být hlubší minimálně o délku náběhového kužele. Pro zefektivnění výroby je proto velmi výhodné využívat závitníky tvaru E. Díky jejich velice krátkému náběhu nemusí být předvrtaná díra nadměrně hluboká, čímž se snižuje strojní čas a roste produktivita. Primárně se však tento tvar používá všude tam, kde hrozí riziko nechtěného provrtání obrobku skrz a ke zvětšení délky závitu v krátkých otvorech. [19]

Přesnost vyrobeného závitu souvisí převážně s přesností nástroje. Každý závitník je vyroben s přesnou toleranční třídou, která se nachází v určité oblasti normalizovaného tolerančního pole. To zaručuje, že řezaný závit bude mít za optimálních podmínek požadovanou toleranci. Obvykle se u metrických závitů využívá tolerancí pro velké vůle (7G, 7H) až pro vůle minimální (5G, 4H). Nejběžnější tolerancí je 6H. [10]

Závitníky se rozdělují do skupin podle maximální hloubky závitu, kterou jsou schopny obrobit. Pro různá použití se vyrábějí závitníky s rozdílnou délkou stopky a za zmínku také stojí následující upravené typy závitníků. [8]

## Závitníky s vynechanými zuby

Pro snížení namáhání se využívají závitníky s vynechanými zuby v jejich vodící části (každý druhý je vynechán). Díky tomu dochází k lepšímu rozvodu maziva a snižuje se tření mezi profily obrobku a závitníku. Tím klesá potřebný krouticí moment potřebný k překonání tohoto tření a nástroj je méně namáhán. Tento typ je vhodné použít u pružných materiálů a tenkostěnných obrobků. [8]



Obr. 22 – Strojní závitník s vynechanými zuby [8]

## Kombinované závitníky

Kromě jednoúčelových závitníků se lze setkat se závitníky kombinovanými, které slučují předvrtání otvoru a vyříznutí závitů. Tato metoda významně zvyšuje produktivitu, je však vhodná pouze pro průchozí otvory malých hloubek. [10]



Obr. 23 – Kombinovaný závitník [10]

### 4.1.2 Modulární závitníky XChange

Modulární nástroje patří v oblasti obrábění již mezi standartní vybavení. Mezi závitníky však nejsou tyto nástroje novějšího typu hojně používány, přestože nabízí mnoho výhod. Modulární řezací závitník XChange byl vytvořen firmou LMT Tools a kombinuje výhody závitníků z rychlořezné oceli a ze slinutého karbidu. Jejich aplikací lze výrazně zvýšit produktivitu a snížit náklady spojené se závitováním. [22]



Obr. 24 – Modulární závitník XChange [22]

Nástroj je snadno rozebíratelný a skládá se ze dvou částí – z ocelové stopky a výměnné, mechanicky připevněné řezací hlavy. Ta je vyrobena ze slinutého karbidu, který skvěle odolává opotřebení a nabízí možnost obrábění vyššími rychlostmi. Houževnatá ocelová stopka dodává nástroji výbornou tuhost a odolnost proti ukroucení. Díky této kombinaci lze vyrábět závity až s dvakrát vyšší řeznou rychlostí (až 60 m/min) a s výrazně vyšší

trvanlivostí břitů ve srovnání se závitníky z HSS. Při použití těchto nástrojů v sériové výrobě mohou náklady na závit klesnout až o polovinu. [22]

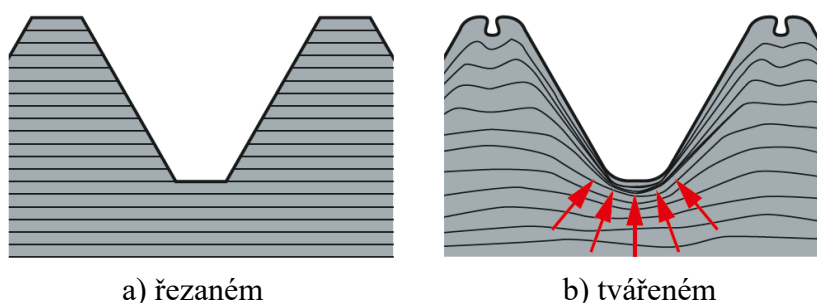
### 4.1.3 Tvářecí závitníky

S rostoucími požadavky na únosnost šroubových spojů se čím dál více uplatňuje používání tvářecích závitníků, které jsou vynikající alternativou k závitníkům řezacím. Přestože se jedná o beztrískovou metodu, je čím dál více uplatňována na obráběcích centrech. Princip metody je obdobný jako s válcováním závitů za studena, dochází tedy k přemísťování materiálu směrem do otvoru. [20]



Obr. 25 – Tvářecí závitník [10]

Zásadní výhodou takto vyráběných závitů je jejich pevnost a nižší drsnost povrchu. Vlákna obrobku nejsou přerušena jako u závitů řezaných a dochází k pěchování materiálu a zpevnění v oblasti kořene závitů, což zvyšuje odolnost proti dynamickému namáhání. Pro vznik potřebných sil se využívají až třikrát vyšší řezné rychlosti, než při řezání závitníkem, což zároveň zvyšuje produktivitu výroby. Další podstatnou výhodou je absence třísek, které svou přítomností mohou narušit výrobní proces (ucpáním nástroje, namotáním). Odpadá tedy problematika výběru nástroje dle vhodné řezné geometrie a stejným nástrojem lze vyrábět průchozí i neprůchozí závity a to i v odlišných materiálech. Vzhledem k absenci řezných břitů nedochází ke značnému opotřebení nástroje, čímž je zajištěna až desetkrát vyšší trvanlivost. [7; 20]



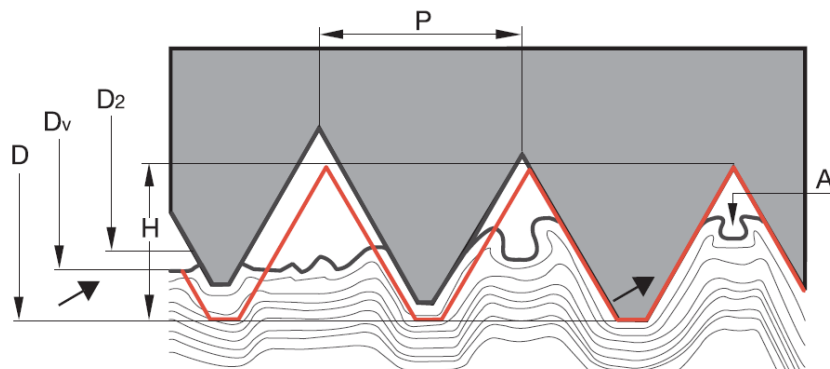
a) řezaném

b) tvářeném

Obr. 26 – Průběh vláken v závitě [10]

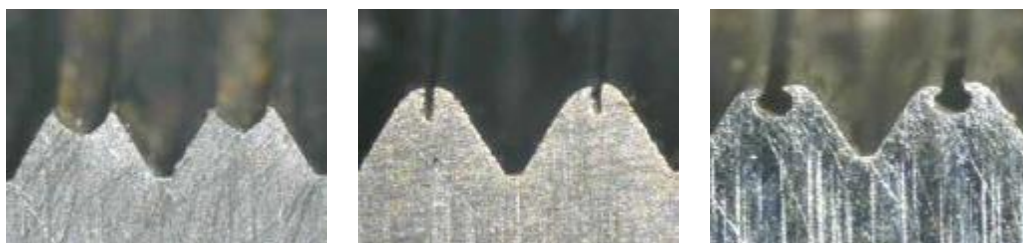
Konstrukce tvářecího závitníku je oproti řezacímu značně odlišná. Z technologického hlediska u něj odpadá nutnost drážek pro odvod třísek, a proto je většina tvářecích závitníků bez jakýchkoli drážek. Pro zlepšení přívodu procesní kapaliny se však využívají mělké, přímé, mazací žlábků po obvodu. Průřez tvářecího závitníku je

ve tvaru mnohoúhelníku se třemi až šesti zaoblenými vrcholy podporující tvářecí proces a mazání. Pro vniknutí do předvrtaného otvoru je využíván náběhový kužel, nejčastěji tvaru C nebo tvaru E (viz obr. 21) s ostrými profily. Ten slouží jako pracovní část nástroje a přemísťuje materiál do podoby tvaru závitu. Takto vytvarovaný závit vodící část zkalibruje a vytvoří velmi hladký povrch boků profilu. [19; 20]



Obr. 27 – Proces formování závitu tvářecím závitníkem [7]

Základem pro úspěšnou výrobu závitu tvářecím závitníkem je správná velikost předvrtaného otvoru a dostatečné sražení vstupní popř. i výstupní hrany otvoru. Na rozdíl od třískové metody musí být otvor přesnější a velikostí přibližně odpovídat střednímu průměru závitu. Při tváření do příliš velkého otvoru vznikne tzv. nedotvářený závit s nedostatečnou výškou profilu. Naopak v malém otvoru nemá závitník dostatečný prostor k vytlačení materiálu a může dojít k jeho poškození. Z výše uvedených důvodů je tedy nutné volit průměr vrtáku dle doporučení výrobce nástrojů. S průměrem vrtáku je také důležité dodržet jeho velmi úzkou toleranci, která by například neměla přesáhnout 0,05 mm do velikosti závitu M8 a 0,1 mm nad M8. Typickým znakem takto tvářených závitů jsou neúplné vrcholy profilu, které však nemají vliv na pevnost. [20]



Obr. 28 – Tvářený závit (nedotvářený – přetvářený – ideální) [23]

Zásadní omezení této metody spočívá v tvárnosti obráběného materiálu. Nelze tedy tvářet závit do křehkých, tvrdých materiálů (max. do pevnosti v tahu  $1200 \text{ Nmm}^{-2}$ ), které mají velmi nízkou tvárnost (pod 10%). Naopak se tváření přímo vybízí pro neželezné materiály, jako jsou slitiny hliníku a slitiny mědi, u kterých je naopak často

problematické třískové obrábění. Zároveň je velice vhodné pro oceli s pevností do 500 Nmm<sup>-2</sup>. Technologie tváření se však nedoporučuje pro průměry větší než 30 mm. [20]

#### 4.1.4 Speciální tvářecí závitníky PunchTap

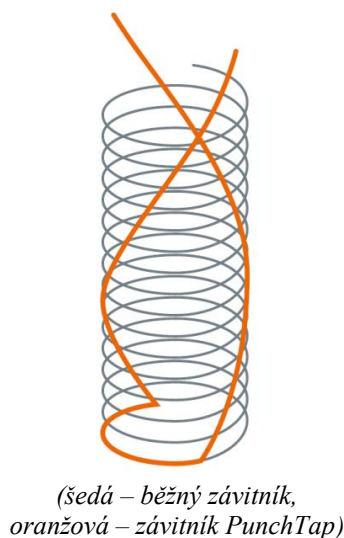
S rostoucími požadavky na kvalitu a produktivitu výroby je snahou vymýšlet stále nové technologie výroby. Mezi takové technologie se řadí proces tváření vnitřních závitů označovaný Punch Tap, který dokáže výrazně zrychlit produkci. Tato unikátní patentovaná metoda byla vyvinuta výrobcem nástrojů Emuge-Franken ve spolupráci s firmou Audi AG a byla představena v roce 2014. Dne 1. ledna 2018 skončila platnost výhradního použití v automobilovém průmyslu firmy Audi AG a metoda se tak stala dostupnou pro všechna odvětví strojírenského průmyslu. [24; 25]



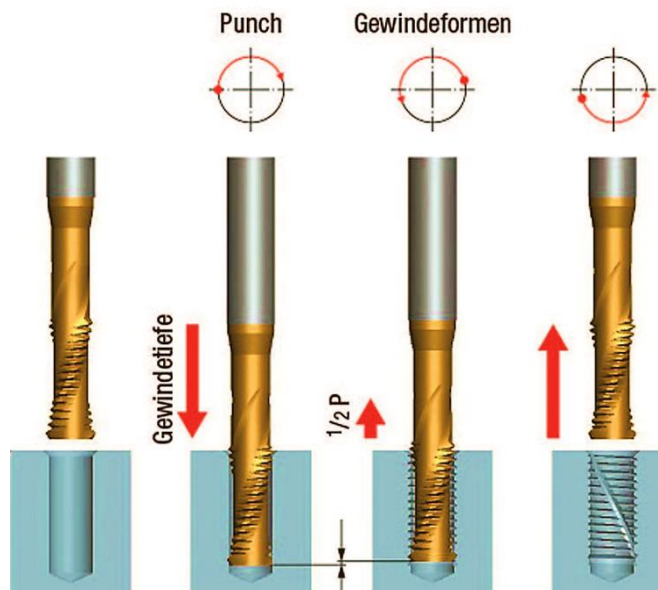
*Obr. 29 – Závitník PunchTap [25]*

Nástroj PunchTap má výrazně odlišnou konstrukci oproti řezným i tvářecím závitníkům, které mají plynulý profil závitů po obvodu. Funkční část nového nástroje má dvě řady zubů ve šroubovici umístěné na obvodu po 180° s čelními zuby pro vyrobění drážek. Při tváření závitů jsou všechny zuby v záběru současně, čímž vzniká vysoký krouticí moment. Z tohoto důvodu mají tyto nástroje charakteristickou robustní stopku. Pro zajištění optimálního mazání jsou všechny nástroje opatřeny vnitřním přívodem rezné kapaliny. [25; 26]

Celý postup výroby závitů se člení na tři základní kroky – najetí, tváření závitů a vyjetí. Nástroj je naveden do osy předvrtaného otvoru (průměr dle doporučení výrobce) a v prvním kroku dochází k pomalému najíždění nástroje po strmé spirální dráze až na celou hloubku závitů. Čelní zuby obou řad zubů tímto pohybem ve stěně vyrobí dvě šroubovitě drážky. Ve druhém kroku se nástroj otáčí a zároveň axiálně posouvá. Dojde k otočení o 180° a vystoupání o polovinu stoupání závitů. Tím dojde k vyrobění celého vnitřního závitů tváření. Ve třetím kroku nástroj vyjíždí volně ven z otvoru po stejné spirální dráze, jako při najíždění, tzn. již ve vyrobených drážkách. Výsledkem je závit se dvěma drážkami, které snižují závitovou plochu. [25; 26]



Obr. 30 – Porovnání drah závitníků při závitování [25]



Obr. 31 – Výroba závitu nástrojem PunchTap [25]

Takto vyráběné závity byly podrobeny spoustě zkouškám a dle studie Institutu pro obrábění ISF Technické univerzity v Dortmundu mají prokazatelně srovnatelné vlastnosti s plnými tvářenými závity. Vyrovnají se jim nejen z hlediska pevnosti, ale také odolností proti vytrhávání. Naopak tento výrobní proces značně vyčnívá svým velice krátkým strojním časem, který je ve srovnání s běžnými závitníky až o 75 % kratší díky zkrácené dráze nástroje (obr. 30). [26]

Nástroje PunchTap jsou v současné době použitelné pro výrobu metrických závitů rozměrů M4, M5, M6, M7 a M8 v toleranci 6H do hloubky  $3xD$ , a to pouze ve slitinách hliníku s obsahem křemíku 7 - 12 %. Do této skupiny spadají právě materiály používané pro výrobu hlav válců automobilových motorů (AlSi7Mg, AlSi10Mg). V takovéto velkosériové výrobě může každá ušetřená vteřina ve výsledku znamenat obrovskou úsporu času a vynaložené energie. Proto je pravděpodobné, že se tato metoda rozšíří v automobilovém průmyslu po celém světě a zároveň se stane velice perspektivní pro budoucí použití v sériové výrobě. [24; 26]

Zavedení nové metody do výrobního procesu však není úplně jednoduché. Řídicí systém CNC obráběcího stroje potřebuje mít ve své databázi nahrán nový programový cyklus PunchTap, který zároveň musí být optimálně nastaven pro daný stroj. K upnutí nástroje je nutné pořídit speciální držák PT-Synchro (dostupný ve dvou velikostech), který zajišťuje přesnou polohu upnutí a vysokou stabilitu během obrábění. [24]

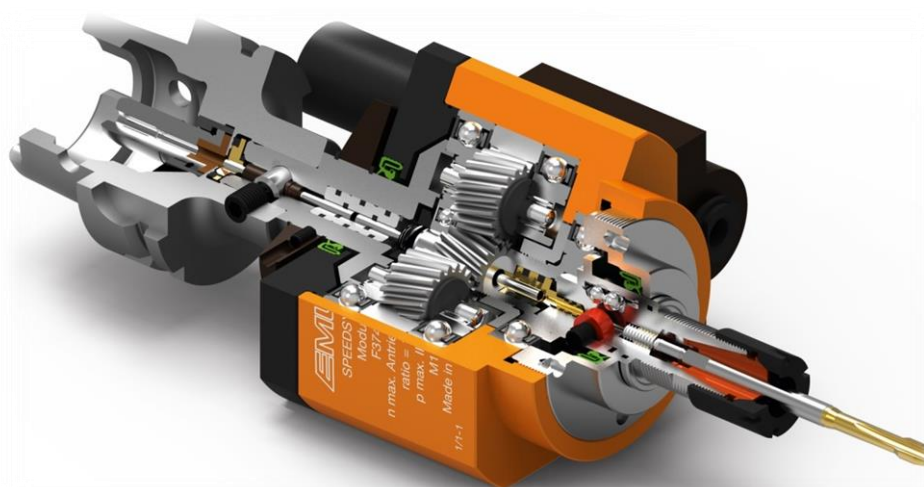
## 4.1.5 Upínání závitníků

Pro úspěšnou výrobu závitu je nutné závitníky upnout stabilně s co nejmenším házením. K tomu slouží závitorezné hlavy, které zaručují přesné a pevné upnutí a zamezují pootočení nástroje během obrábění. U CNC obráběcích center se využívají hlavy určené pro synchronní vřetena. [8]

Řezné závitníky jsou velmi silně namáhány krouticím momentem a při jeho velkém nárůstu (např. z důvodu nahromadění třísek) může dojít k jeho ukroucení. Aby se tomuto jevu předešlo, využívají se tzv. bezpečnostní závitorezné hlavy s nastavitelnou kluznou spojkou, která při nárůstu momentu přeruší přenos otáček z vřetena na závitník. [8]

Zároveň tyto hlavy disponují systémem vyrovnávání axiálního posuvu. Posuv a otáčky vřetena nejsou vždy dokonale přesné a během závitování tak dochází k odchylce mezi posuvem stroje a stoupáním závitu. To má za následek vzrůst tření na bocích profilů, které může vést ke snížení trvanlivosti nástroje, jeho ukroucení nebo ke znehodnocení závitu. Právě tomuto jevu se snaží předcházet pružné uložení v závitorezné hlavě, které tyto drobné nepřesnosti kompenzuje. [8; 10]

U moderních závitorezných hlav se lze setkat s dalšími doplňkovými systémy zkvalitňující výrobní proces. Za zmínku stojí mechanismus tlakového bodu, který zajišťuje bezpečný start řezání závitu, plovoucí uložení kompenzující chyby v sousostí nebo zrychlovací pouzdro (obr. 32), při jehož použití se vřeteno může otáčet pomalejšími, přesnějšími otáčkami. Často se také používají rychlovýměnné vložky pro snadnou a přesnou výměnu nástroje. [10]

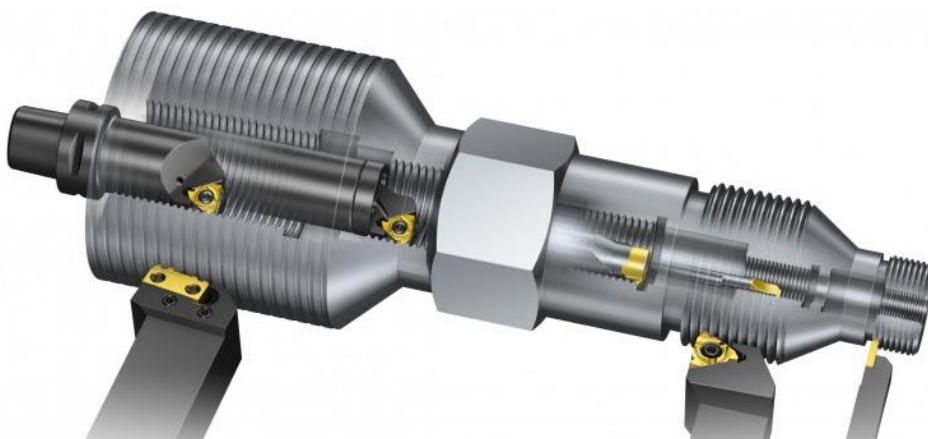


Obr. 32 – Zrychlovací pouzdro SpeedSynchro [10]

U strojů s jednosměrným otáčením se využívají reverzační závitořezná zařízení, která po dosažení požadované hloubky automaticky přepnou na zrychlený zpětný chod [8]. Tento princip se začíná využívat i u CNC strojů, protože reverzace otáček vřetena stroje není optimální. Reverzační aparát umožňuje udržovat nastavené otáčky až do dna závitu, kde následně velmi rychle obrátí jejich chod. Celý proces se tak stává značně rychlejší. [10]

## 4.2 Soustružnické závitové nože

Soustružení závitů je stále považováno za nejproduktivnější metodu obrábění závitů. Jedná se o tradiční zavedenou metodu, která umožňuje výrobu drtivé většiny profilů závitů a to jak vnějších, tak vnitřních. Soustružené závity dosahují velmi dobré jakosti povrchu a s rozvojem řezných materiálů a nástrojů lze obrábět velmi vysokými řeznými rychlostmi. [2]



*Obr. 33 – Soustružení závitů [27]*

Soustružení závitu probíhá vždy na několik průchodů, během kterých je břit postupně přisouván do záběru až do plné hloubky závitu. Typ použitého přísuvu výrazně ovlivňuje utváření třísek, opotřebení břitu a kvalitu závitu, a proto je nutné pečlivě zvážit jeho výběr. Rozlišujeme tři druhy přísuvů (obr. 34):

**Radiální** – nejběžnější přísuv; břit je přisouván kolmo k ose obrobku

- vhodný pro menší stoupání závitu
- souměrné opotřebení břitu, ale nevýhodně utvářená tříska ve tvaru V

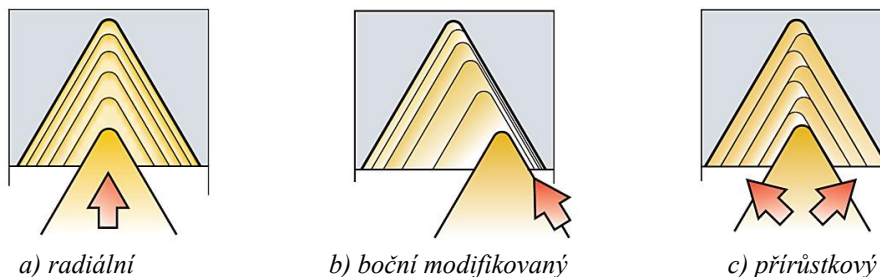
**Boční** – nejvýhodnější metoda přísuvu

- tříska vzniká jen na jedné straně břitu, a je tak lépe odváděna
- jeho modifikovaná verze, s úhlovou úpravou, dosahuje vyšší jakosti povrchu



**Přírůstkový** – pravý a levý bok jsou obráběny střídavě s každým průchodem

– vhodný pro velká stoupání závitu; dobrá trvanlivost břitu



Obr. 34 - Typy přísuvů při soustružení závitů [27]

Současné CNC stroje umožňují řízení procesu speciálními závity. V nich se nastavují nejen parametry závitu, ale také počet průchodů a typ přísuvu, který lze různě modifikovat. Nejčastěji se reguluje hloubka řezu na průchod, která s každým průchodem klesá a udržuje tak konstantní velikost průřezu třísky. Díky CNC řízení je možné pomocí korekcí docílit odlišných tolerancí závitů s vysokou přesností. [2; 7; 27]

#### 4.2.1 Monolitní závitové nože

V současné době se monolitní nástroje pro soustružení závitů používají velmi zřídka, jen je-li to nejvhodnější řešení. Například se stále můžeme setkat s kotoučovými noži z rychlořezné oceli pro vnitřní i vnější závity. Nejčastěji používanými monolitními noži jsou závitové nože z tvrdokovu určené pro soustružení vnitřních závitů velmi malých rozměrů. [8]

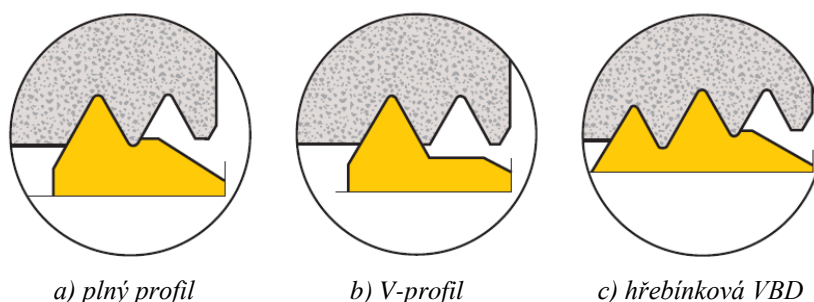
#### 4.2.2 Břítové destičky pro soustružení závitů

Dříve pájené destičky ze SK jsou dnes nahrazeny vyměnitelnými břítovými destičkami s mechanickým upevněním, které výrazně zjednodušuje a zrychluje jejich výměnu. Tyto destičky obvykle disponují třemi břity a nabízejí tak vysokou využitelnost. Po otupení jednoho břitu se destička otočí a pokračuje se v obrábění druhým, neopotřebovaným břitem a následně i třetím. Až poté se destička vymění za novou. [2]

VBD se vyrábějí se třemi základními typy geometrií. Geometrie A je nejběžnější a zaručuje stabilní proces s dobrou trvanlivostí břitu. Geometrie F má velmi ostrý břit, který snižuje velikost řezných sil a zlepšuje jakost povrchu. Geometrie C nabízí vylepšené utváření třísek a nejvyšší spolehlivost obrábění. Volba vhodné geometrie závisí převážně na obráběném materiálu. Běžné VBD se vyrábějí ve třech provedeních, z nichž se každé hodí pro jiný typ výroby. [27]

### VBD s plným profilem

Jedná se o nejčastěji používaný typ břitových destiček, který vytváří kompletní tvar závitů, včetně jeho vrcholu. Tím se docílí velké přesnosti, kvality a závit se stává odolnějším. Tento tvar je však použitelný pouze pro jedno konkrétní stoupání, pro odlišný závit je nutné využít jinou VBD. Pro zajištění správného obrobení vrcholu závitů musí být obráběný průměr upraven o zvláštní přídavek. [27]



Obr. 35 – Typy destiček pro soustružení závitů [27]

### VBD s V-profilem

Tento typ VBD má tvar pouze jednoho profilu a neseřezává vrchol závitů. Obrobek tedy musí být před řezáním závitů obroben na požadovaný průměr. Destička je použitelná pro několik stoupání určitého závitů. Tím je zajištěna velká flexibilita a minimální počet skladovaných druhů destiček. [27]

### Hřebíkové VBD

Hřebíkové břitové destičky jsou vysoce produktivní a hospodárnou volbou pro řezání závitů v hromadné výrobě. Tvarem se podobají destičkám s plným profilem, ale mají více než jeden břit. Každý břit řeže hlouběji než předchozí, což snižuje počet průchodů nástroje. To umožňuje prodloužení životnosti nástroje, snížení nákladů na nástroj a značné zvýšení produktivity. S více hroty v záběru však roste řezná síla, a proto je nutno zajistit stabilní podmínky obrábění. [27]

Pro dosažení vysoké přesnosti a jakosti povrchu závitů je důležité nastavit správný náklon břitové destičky. Jeho velikost by měla odpovídat velikosti úhlu stoupání závitů. K tomuto účelu se používají podložky, které se vkládají do nástrojového držáku pod závitovou břitovou destičku. Pro správný výběr podložky lze například využít diagram od výrobce. Drtivou většinu běžných závitů však lze obrábět za použití podložky s úhlem sklonu 1°. [7; 27]

Při vnitřním soustružení vznikají větší síly, a proto byly vyvinuty dlouhé tlumené vyvrtávací tyče, které potlačují vibrace a umožňují obrábět i s delším vyložení nástroje. Oblast soustružnických nástrojů je velice pestrá a stále v ní dochází k inovacím. Spousta firem vyvíjí vlastní držáky se speciálně navrženými destičkami. Názorným příkladem takové závitové VBD je destička FourCut zmíněná v podkapitole 4.2.3. [27]

### 4.2.3 Břitové destičky FourCut

Unikátní VBD FourCut od firmy SmiCut se výrazně liší od běžných závitových destiček. Oproti klasickým destičkám se třemi břity tato disponuje čtyřmi břity a nabízí tak vyšší trvanlivost a snížení nákladů na nástroj. Destička FourCut (obr. 36) je vertikálně upnuta ve speciálně navrženém držáku pomocí šroubu. Díky této poloze a jejímu jednoduchému tvaru je veškerá síla spolehlivě přenášena do nástrojového držáku opřením a není tedy nutné destičku dodatečně přidržovat. Tím je zajištěna vysoká stabilita obrábění. Díky malé šířce destiček je možné soustružit vnější závit i v místech, kde není dostatek prostoru pro běžný nástrojový držák s VBD. Destičky FourCut se vyrábí jak v jednobřité, tak ve dvoubřité (hřebínkové) variantě. [28]



*Obr. 36 – Vyměnitelná břitová destička FourCut [28]*

### 4.3 Závítové frézy

Frézování závitů je velmi univerzální metoda výroby vnějších i vnitřních závitů. Moderní CNC stroje umožňují provádět 3D interpolaci, tedy současně vykonávat pohyb ve třech osách, velmi jednoduše a s vysokou přesností. To vedlo k významnému rozvoji frézování závitů, které tohoto principu využívá. V současnosti již existuje velice pestrá nabídka nástrojů a postupně se tato technologie stává více a více používanou. Díky svým výhodám se stává dobrou alternativou k soustružení i k řezání závitů pomocí závitníků. Lze takto vyrábět široké množství druhů závitů na rotačních i nerotačních součástech. [10; 27]

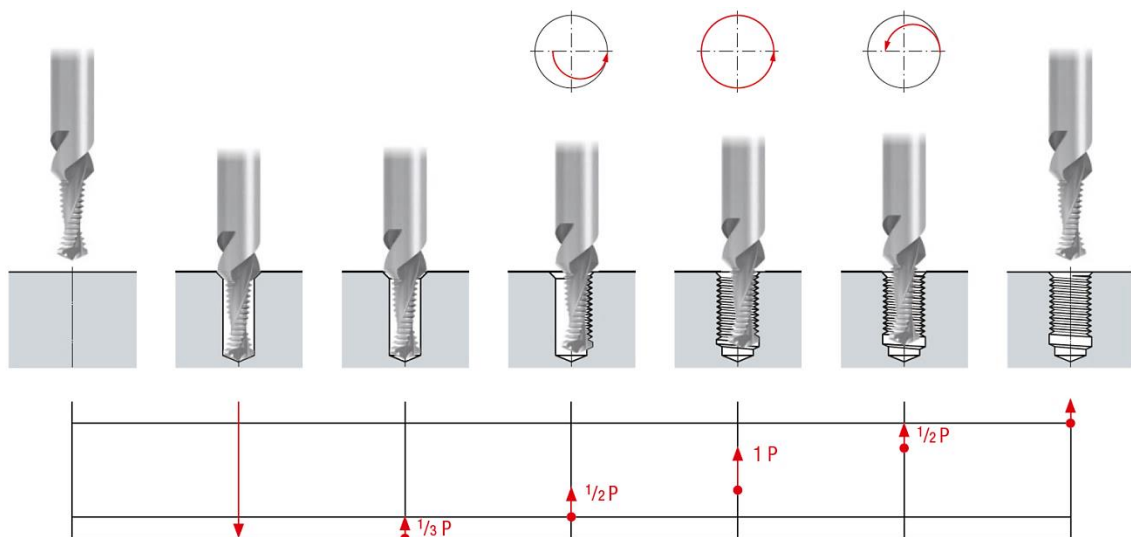
Oproti soustružení se závit frézuje na jeden záběr, což může výrazně zkrátit strojní časy. Vyšší množství břitů zajišťuje přerušovaný řez a nedochází tak k tvorbě dlouhých třísek a ke vzniku velkých sil. Ve srovnání se závitníky tyto frézy zaručují bezpečnější výrobní proces, protože v případě jejich zlomení lze obvykle vyráběný závit lehce opravit, čímž se snižuje riziko vzniku zmetku. Při frézování ve slepých otvorech dochází k nežádoucímu hromadění třísek. Ty je zapotřebí odplavovat pryč z otvoru, a proto většina monolitních fréz disponuje vnitřními kanálky pro přívod procesní kapaliny do místa řezu. [10; 27]

Nejrozšířenějšími nástroji v této oblasti jsou monolitní stopkové závitové frézy ze SK, které mají vysoký počet břitů uspořádaných v uzavřených kruzích s určitou roztečí. Většina modifikací těchto fréz umožňuje výrobu pouze vnitřních závitů. Závítové frézy se do předvrtaného otvoru nastavují na plnou hloubku závitů a kruhovou interpolací, řízenou závitovými cykly, zhotoví závit. Velmi často se tyto frézy vyrábějí v kombinované variantě s břity zajišťující zhloubení otvoru. Frézy větších rozměrů se osazují VBD [10; 27].

### 4.3.1 Vrtací závitové frézy

Vrtací závitové frézy se řadí mezi kombinované nástroje, které výrazně zvyšují produktivitu a snižují počet nástrojů potřebných k výrobě vnitřního závitu. Tyto frézy jsou schopné vrtat do plného materiálu, provést zahloubení otvoru a následně vyfrézovat závit. Každým nástrojem lze zhotovit pouze jeden konkrétní závit, tedy jeden průměr, stoupání a také hloubku. Postup frézování znázorňuje obr. 37. [10]

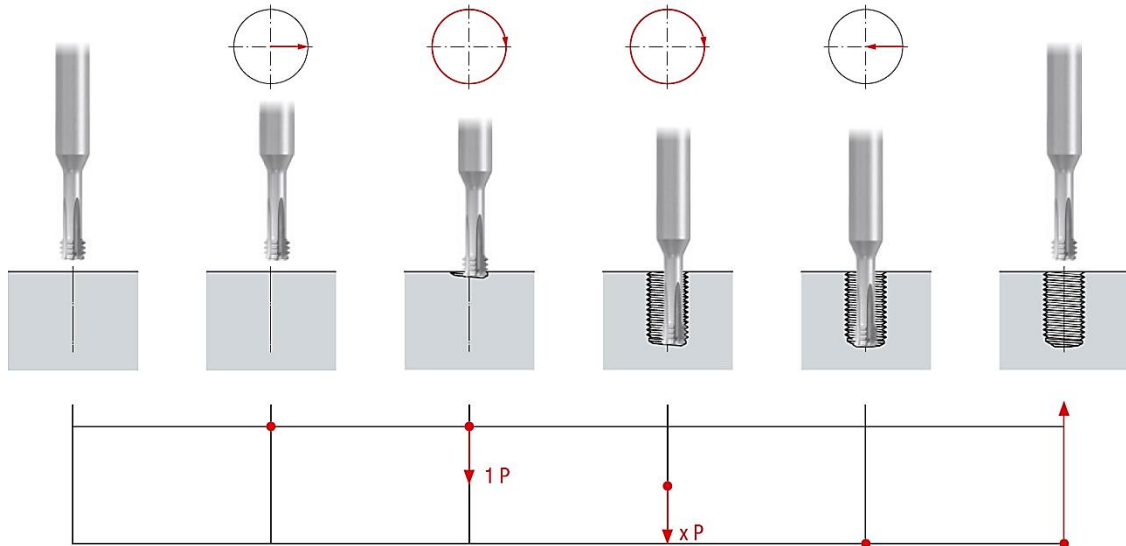
Použitelnost tohoto typu frézování je značně omezena materiálem obrobku. Nedoporučuje se obrábět jiné materiály než určité druhy litin a vybrané neželezné kovy. Z výše zmíněných výhod a omezení vyplývá, že se tato metoda hodí pro velkosériovou výrobu závitů ve slitinách hliníku. [10]



Obr. 37 – Frézování závitu vrtací závitovou frézou [10]

### 4.3.2 Cirkulární vrtací závitové frézy

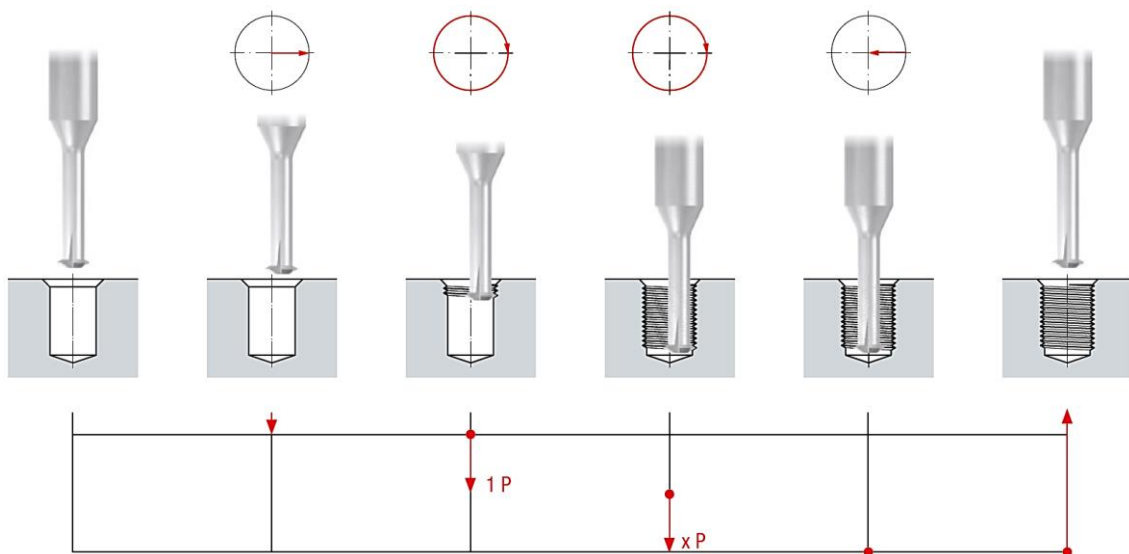
Cirkulární vrtací frézy patří také mezi kombinované nástroje umožňující výrobu vnitřního závitu do plného materiálu. Na rozdíl od vrtacích fréz, tento výrobní proces nezačíná vrtáním otvoru, ale rovnou postupným frézováním závitu na principu zavrtávací frézy. Konkrétní nástroj umožňuje zhotovení závitů různých průměrů a hloubek, ale s identickým stoupáním. Pro tuto metodu neplatí prakticky žádná omezení z hlediska obráběného materiálu. Vyrábějí se ve více variantách, což při správné volbě nástroje umožňuje frézování závitů do téměř všech materiálů. Postup tohoto typu frézování je znázorněn na obr. 38. [10]



Obr. 38 – Frézování závitu cirkulární vrtací závětovou frézou [10]

### 4.3.3 Cirkulární závětové frézy

Cirkulární závětové frézy umožňují frézování závětů různých průměrů, hloubek i stoupání. Tyto univerzální nástroje však před samotným frézováním vyžadují předvrtání otvoru i jeho zahloubení. Závět vzniká za pomoci kruhové interpolace, která s každým objetím otvoru prodlouží závět o jedno stoupání. S těmito frézami je možné frézovat závětory již od průměru 1 mm (závět M1). Cirkulární frézy se vyrábějí jak monolitní ze SK, tak s vyměnitelnými břitovými destičkami. Frézy s hřebenovou břitovou destičkou umožňují frézování vnitřních i vnějších závětů. VBD zvyšuje trvanlivost nástroje a zkracuje strojní časy. Postup frézování znázorňuje obr. 39 [10]



Obr. 39 – Frézování závitu cirkulární závětovou frézou [10]

## 4.4 Nástroje kombinující řezný a tvářecí proces výroby

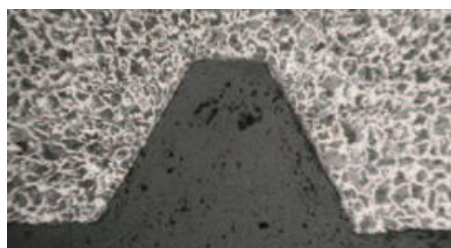
Řezání a tváření jsou dvě velice odlišné technologie využívané pro výrobu závitů. Každá z nich disponuje určitými výhodami, ale také nevýhodami, které rozhodují o výběru vhodnější metody. Za účelem získání výhod z obou metod byly vyvinuty technologie kombinující řezný a tvářecí proces. [29]

### 4.4.1 Technologie Cut&Form

Patentovaná technologie Cut&Form od firmy Emuge kombinuje výše zmíněné principy výroby vnitřních závitů a umožňuje tváření závitu i v materiálech se sníženou tvářitelností. V prvním kroku je závit hrubován řzacím závitníkem resp. závitovou frézou, který vytvoří nekompletní profil závitu. Poté je závit dotvářen tvářecím závitníkem, čímž se docílí zpevnění paty závitu (oranžové zbarvení na obr. 40). Dojde tedy k odstranění ostrých hran, které působí jako koncentrátoři napětí. Výsledný závit má vyšší dynamickou únosnost, velmi hladký povrch a oproti běžně tvářeným závitům je jeho vrchol kompletní, bez drážky. [29]

### 4.4.2 Technologie Mill&Form

Technologie Mill&Form je modernější variantou výše zmíněné metody, při které se využívá pouze jediný nástroj. Tím je závitová fréza se speciálně upravenými břity, které jí umožňují závit řezat a zároveň tvářet. Výsledný závit má obdobné vlastnosti, jako při použití technologie Cut&Form. [30]

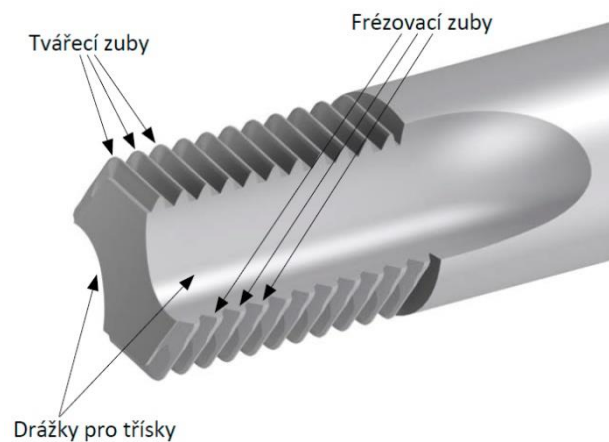


předříznutý závit



výsledný, částečně tvářený závit

Obr. 40 – Struktura závitu Cut&Form [29]



Obr. 41 – Fréza Mill&Form [30]

## 4.5 Materiály a povlaky nástrojů

### 4.5.1 Nástrojové materiály

Nástrojové materiály za posledních padesát let prošly neuvěřitelnými změnami. Jejich intenzivní vývoj dovedl obrábění do nynější podoby, ve které si můžeme vybírat nástroje z široké nabídky rezných materiálů. Aby došlo ke zvolení toho nejvhodnějšího, musí se při jejich výběru zohlednit spousta faktorů. Pro nástroje určené k výrobě závitu se využívají převážně následující materiály. [2]

#### Rychlořezná ocel (HSS)

Rychlořezná ocel se řadí mezi nejstarší rezné materiály. Přestože nenabízí možnost obrábění velkými reznými rychlostmi jako moderní materiály, jsou nástroje z HSS stále používány v určitých oblastech obrábění, kde se díky své vysoké houževnatosti stávají obtížně nahraditelné. Běžně se z ní vybrušují konvenční závitníky, závitové frézy, kotoučové a prizmatické nože a válcovací kotouče. Moderní variantou je rychlořezná ocel z práškového kovu s přísadou kobaltu (HSS-E-PM). Z této oceli je vyrábějí moderní závitníky a nabízí vyšší pevnost a zvýšenou odolnost proti otěru [2; 19]

#### Slinutý karbid (SK)

Slinuté karbidy jsou materiály, vyráběné práškovou metalurgií, obsahující velmi tvrdé částice karbidu a kovové pojivo - obvykle kobalt. Mezi nejrozšířenější karbidy patří karbid wolframu, titanu a tantalu. Jejich prášky se mezi sebou mohou mísit a v závislosti na jejich poměru, a na procentním zastoupení kobaltu, je možné vytvořit SK s velmi rozdílnými vlastnostmi. Obecně jsou SK velmi tvrdé s vysokou odolností proti opotřebení a uspokojivou houževnatostí, a proto jsou to nejpoužívanější rezné materiály, které dnes slouží i k povlakování. Vyrábějí se z nich VBD pro soustružení a frézování závitu nebo monolitní závitové frézy, závitníky a menší soustružnické nože. [2]

#### Kubický nitrid bóru (CBN)

Kubický nitrid bóru je druhým nejtvrdějším rezným materiálem s vysokou odolností proti opotřebení a dobrou chemickou stabilitou. Jedná se o relativně křehký materiál, a proto se rezný břit z CBN často pájí na destičku ze slinutého karbidu, která zvýší celkovou houževnatost. CBN je vhodný pro obrábění tvrdých materiálů, např. kalené oceli, protože s vyšší tvrdostí klesá opotřebení břitu. S těmito břity je možné dosáhnout



výborné jakosti povrchu, která tak ze soustružení dělá zajímavou alternativu k dokončování závitů broušením. [2; 27]

### **Polykrystalický diamant (PKD)**

Nejtvrdším přírodním materiálem je monokrystalický diamant, k jehož tvrdosti se blíží také syntetický polykrystalický diamant (PKD). Ten má vysokou odolnost proti opotřebení a břit tak dosahuje vysoké trvanlivosti. Pro svou chemickou afinitu není použitelný pro obrábění železných materiálů. Malé břity z PKD se připevňují na VBD ze SK, které zaručují vyšší pevnost. Lze z nich vyrábět břítové destičky běžných i speciálních tvarů. Diamantové frézy nabízí nejvyšší produktivitu při frézování závitů, ale zároveň jsou nejdražší. Proto se používají výhradně ve velkosériové a hromadné výrobě závitů ve slitinách hliníku a jiných neželezných kovech. [2; 31]

### **4.5.2 Povrchové úpravy nástrojů**

Povrchové úpravy se dnes využívají na většině nástrojů. Jejich použití může výrazně zkvalitnit celý výrobní proces. Pomáhají zvýšit výkonnost a přesnost obrábění, kvalitu povrchu a prodloužit trvanlivost nástroje. Nejčastější povrchovou úpravou je povlakování tvrdými slinutými karbidy, které se využívají i na již velice tvrdé karbidové nástroje. Tloušťka vrstev se obvykle pohybuje v rozsahu 2 až 15  $\mu\text{m}$ . Pro další zlepšení vlastností se povlakuje více vrstvami. [2; 21]

**Povrch vaporizovaný** – u závitníků; snížený sklon k zadírání; dobrý nositel maziva

– oxidová vrstva chrání povrch a brání vzniku studených svarů

**Povrch nitridovaný** – velmi tvrdý; vysoká ořezodolnost; dobré kluzné vlastnosti

– vhodný pro abrasivní materiály jako je např. litina

#### **Povlak nitridu titanu (TiN)**

Jedná se o nejuniverzálnější povlak nástrojů s výraznou zlatožlutou barvou. Nabízí vysokou tvrdost (2300 HV) a nízkou drsnost povrchu. To umožňuje dosažení vysoké odolnosti proti opotřebení a skvělých kluzných vlastností, které prodlužují životnost nástroje. Jeho použití je možné do teploty 450 °C.

#### **Karbonitrid titanu (TiCN)**

Oproti TiN povlaku nabízí extrémně vysokou tvrdost (3000 HV), lepší ořezvzdornost a zároveň vyšší houževnatost. Je použitelný do teploty 350 °C.

### **Titan-aluminium nitrid (TiAlN)**

Jedná se povlak s extrémně vysokou tvrdostí (3000 HV), který zároveň výrazně snižuje tření. Teplotní stabilita povlaku dosahuje až do 800 °C.

**Nitrid chromu (CrN)** – vysoká ořezuvzdornost; vhodný pro slitiny hliníku

**Tvrdé chromování (HCr)** – nízká drsnost povrchu, vhodný pro barevné kovy

Výše zmíněné povrchové úpravy se řadí mezi ty nejběžnější. V současnosti se povrchovým úpravám a povlakování, věnuje vysoká pozornost a můžeme se setkat se speciálně upravenými povrchy nástrojů. [2; 8; 10; 21]

## **4.6 Procesní kapaliny**

Použití procesní kapaliny má zásadní vliv na průběh výrobního procesu. Kromě chlazení nástroje a obrobku, pomáhají tyto kapaliny zvyšovat životnost nástroje, kvalitu závitů a zlepšovat odvod třísek. Zároveň musí při určitých procesech zajistit dostatečné mazání. Procesní kapaliny je tedy možné rozdělit na kapaliny s převažujícím mazacím účinkem a kapaliny s chladicím účinkem. [2; 9]

Kapaliny s mazacím efektem jsou nutné při výrobě závitů pomocí řezacích i tvářecích závitníků a při válcování závitů. Nejlepší mazací účinek nabízí řezný olej. Běžně se však na CNC obráběcích centrech používá emulze, která musí pro zajištění optimálních podmínek závitování obsahovat alespoň 8 % maziva [8]. Většina typů emulzí má zároveň velmi dobré chladicí účinky, a proto se hodí i pro soustružení a frézování závitů. Během celého procesu obrábění musí být zajištěn nepřerušovaný přívod procesní kapaliny v dostatečném množství. Do místa řezu může být přiváděna vnější tryskou nebo vnitřními kanálky v nástroji. Tento způsob výrazně napomáhá k odplavování třísek ze slepých otvorů. [2; 19]

Některé typy nástrojů a rezných materiálů není vhodné během obrábění chladit, protože by mohlo docházet k teplotním rázům, které poškodí nástroj. Obrábění na sucho je dnes velmi hojně využíváno, protože umožňuje znatelné snížení nákladů a dělá celý proces ekologičtější. Ze stejných důvodů se vyvíjejí speciální systémy pro přívod minimálního množství procesní kapaliny. Dalším výhodným způsobem je chlazení stlačeným vzduchem nebo jiným plynem. [2; 7]

## 5 Závěr

Výroba závitů je i v dnešní době jednou z nejkomplicovanějších technologií. Na závit se kladou čím dál vyšší nároky na přesnost, jakost povrchu, produktivitu i cenu výroby. Přestože existuje spousta metod, kterými lze závit vyrobit, je velmi těžké určit optimální technologii splňující všechny zmíněné požadavky. Ve většině případů totiž nezáleží jen na samotné technologii, ale také na mnoha dalších faktorech. Mezi ně patří sériovost výroby, obráběný materiál, povrchová úprava a materiál nástroje včetně jeho řezné geometrie, použití a přívod procesní kapaliny a technologické možnosti stroje a jeho vybavení.

V případě CNC obráběcích strojů máme na výběr nespočet tradičních i moderních metod výroby závitů. Pestrá je zejména výroba vnitřních závitů. Pokud to tvárnost obráběného materiálu dovoluje, jeví se jako nejvhodnější metoda použití tvářecích závitníků. Tvářené závity dosahují nejvyšší dynamické pevnosti a výborné jakosti povrchu. Bohužel u pevnějších materiálů s omezenou tvárností je nutné zvolit metodu obrábění. Tou může být tradiční řezání pomocí povlakovaných závitníků, frézování pomocí speciálně navržených fréz nebo u rotačních součástí soustružení. Použití závitových fréz se jeví jako nejvhodnější řešení. Nabízejí vysokou univerzálnost, bezpečnost procesu a velkou produktivitu, která značně roste v případě zavedení fréz kombinovaných.

Ve speciálních aplikacích sériové výroby, jako je například automobilový průmysl, je vhodné pro výrobu vnitřního závitu v hliníkové slitině využít nejmodernější tvářecí závitník PunchTap, který značně zvyšuje produktivitu. V takovémto typu výroby najdou své uplatnění také nástroje z polykrystalického diamantu. Drahé diamantové frézy se nabízejí jako nejproduktivnější řešení frézování závitů.

Pro výrobu velmi přesných závitů s výbornou jakostí povrchu se využívá lapování, které se jeví jako nejlepší dokončovací metoda. Vysoce kvalitních závitů se dá dosáhnout také broušením. Tyto technologie se využívají pro závitořezné nástroje, přesné pohybové a mikrometrické šrouby a závitové kalibry.

## Seznam použité literatury

- [1] JUŘÍČEK, Ludvík a Radoslav JEŽ. *Základy strojnictví a částí strojů I (2. část)*. Brno: Univerzita obrany, 2010. ISBN 978-80-7231-715-8.
- [2] *Příručka obrábění: Kniha pro praktiky*. 1. vyd. Praha: SANDVIK CZ, 1997. ISBN 91-972299-4-6.
- [3] Výroba závitů. In: *ELUC* [online]. b.r. [cit. 2018-07-31]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1432>
- [4] Kreslení strojních součástí a spojů. In: *Eduka.spaco.cz/* [online]. b.r. [cit. 2018-07-31]. Dostupné z: <http://eduka.spaco.cz/wp-content/5-kresleni-strojnich-soucasti-a-spoju.pdf>
- [5] LEINVEBER, Jan, Jaroslav ŘASA a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky*. 3. dopl. vyd. Praha: Scientia, 1999. ISBN 80-7183-164-6.
- [6] VIGNER, Miloslav a Zdeněk PŘIKRYL. *Obrábění*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1984.
- [7] HOFFMANN GROUP, . *Garant: Machining handbook* [online]. b.r. Dostupné také z: <http://www.cnc-trainer.com/downloads/garant-machining-handbook.pdf>
- [8] HOFFMANN GROUP, . *Hoffmann Group: Obrábění a upínací technika* [online]. 2017 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: [https://ecatalog.hoffmann-group.com/ces\\_CZ\\_CZE/catalogs/90000001/pdf/complete.pdf](https://ecatalog.hoffmann-group.com/ces_CZ_CZE/catalogs/90000001/pdf/complete.pdf)
- [9] ČERNOCH, Svatopluk. *Strojně technická příručka*. 13. upr. vyd. Praha: SNTL, 1977.
- [10] EMUGE, . *Catalogue 150: Thread Cutting Technology* [online]. 2016 [cit. 2018-05-13]. Dostupné z: [http://www.emuge-franken.de/download/content/Print/Kataloge/EMUGE-Katalog\\_150-PDF.pdf](http://www.emuge-franken.de/download/content/Print/Kataloge/EMUGE-Katalog_150-PDF.pdf)
- [11] NĚMEC, Dobroslav. *Strojírenská technologie 3: Strojní obrábění*. 2. oprav. vyd. Praha: SNTL, 1982.
- [12] KUBÍČEK, Miroslav. *Obrábění: Výroba závitů - shrnutí* [online]. In: . b.r. [cit.

- 2018-07-22].
- [13] JAGOŠOVÁ, Helena. *Ostatní metody výroby závitů* [online]. In: . 2013, s. 12 [cit. 2018-07-26].
- [14] WÜRTH INDUSTRIE SERVICE, . Manufacturing screws and nuts. In: *Wuerth-industrie.com* [online]. b.r. [cit. 2018-07-31]. Dostupné z: [https://www.wuerth-industrie.com/web/media/pictures/wif/download\\_centre/chapitre\\_4\\_EN.pdf](https://www.wuerth-industrie.com/web/media/pictures/wif/download_centre/chapitre_4_EN.pdf)
- [15] MÁDL, Jan. *Technologie obrábění*. 1. vyd. Praha: ČVUT, 2000. ISBN 80-01-02091-6.
- [16] Thermdrill - Tepelné tváření otvorů. *Thermdrill.cz* [online]. b.r. [cit. 2018-07-24]. Dostupné z: <http://thermdrill.cz>
- [17] Fdrill---Market Leader in Thermal Friction Drilling. In: *Fdrill.com* [online]. b.r. [cit. 2018-07-24]. Dostupné z: <http://www.fdrill.com/en/admin/online/UploadFile/201485165031229.jpg>
- [18] Samovrtné šrouby TEX s podložkou EPDM. *Srouby-tex.cz* [online]. b.r. [cit. 2018-07-25]. Dostupné z: <http://www.srouby-tex.cz/>
- [19] Výběr správného závitníku. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2014, (5), 46 [cit. 2018-04-19]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyber-spravneho-zavitniku.html>
- [20] Výroba vnitřních závitů tvářením. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2001, (4), 28 [cit. 2018-04-28]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-vnitrnich-zavitu-tvarenim.html>
- [21] SCHUMACHER, . *Technologie řezání vnitřních závitů: Katalog č. 123 G/HV* [online]. b.r. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: [http://www.gfix-tools.cz/wp-content/uploads/2018/04/High-Volume\\_TOP\\_Lines.pdf](http://www.gfix-tools.cz/wp-content/uploads/2018/04/High-Volume_TOP_Lines.pdf)
- [22] Modulární závitník snižuje náklady na nástroje. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2013, (11), 46 [cit. 2018-06-26]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/modularni-zavitnik-snizuje-naklady-na-nastroje.html>

- [23] WNT, . *WNT Katalog* [online]. 2016 [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.wnt.com/cz/download.html>
- [24] *Technický týdeník: Řezné nástroje na upínání*. Praha: Business Media CZ, 2018, 20 s. ISSN 2533-8021.
- [25] Punch Tap | der kurze Weg – the shortest way. *Punch Tap | der kurze Weg – the shortest way* [online]. 2018 [cit. 2018-05-08]. Dostupné z: <http://punchtap.com/>
- [26] Unikátní metoda výroby závitů tvářením. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2015, (1), 50 [cit. 2018-05-06]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/unikatni-metoda-vyroby-zavitu-tvarenim.html>
- [27] SANDVIK COROMANT, . *Výroba závitů: Uživatelské příručka* [online]. b.r. [cit. 2018-04-19]. Dostupné z: <https://www.sandvik.coromant.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/technical%20guides/cs-cz/C-2920-031.pdf>
- [28] FourCut, New Thread Turning Tools from SmiCut - SmiCut. *SmiCut AB* [online]. 2016 [cit. 2018-07-17]. Dostupné z: <http://smicut.com/en/uncategorized-en/fourcut-new-thread-turning-tools-from-smicut/>
- [29] EMUGE, . *Cut&Form* [online]. b.r. [cit. 2018-07-26]. Dostupné z: [https://www.emuge-franken.com/download/content/Print/Prospekte/ZP10029\\_GB\\_RevA.pdf](https://www.emuge-franken.com/download/content/Print/Prospekte/ZP10029_GB_RevA.pdf)
- [30] EMUGE, . *Thread Mill-and-Form* [online]. b.r. [cit. 2018-07-26]. Dostupné z: [https://www.emuge-franken.com/download/content/Print/Prospekte/ZP10037\\_GB\\_RevA.pdf](https://www.emuge-franken.com/download/content/Print/Prospekte/ZP10037_GB_RevA.pdf)
- [31] Frézování závitů v přehledu. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012, (9), 74 [cit. 2018-07-26]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/frezovani-zavitu-v-prehledu.html>

## Seznam obrázků

Obr. 1 – Vznik pravotočivé šroubovice [1] .....	9
Obr. 2 – Dvouchodý závit [3] .....	9
Obr. 3 – Základní rozměry šroubu a matice [4].....	10
Obr. 4 – Sadové závitníky [8].....	12
Obr. 5 – Strojní závitník [10].....	13
Obr. 6 – Hromadná výroba matic maticovým závitníkem [11] .....	13
Obr. 7 – Kruhová závitová čelist [11].....	14
Obr. 8 – Závitové hlavy [12] .....	14
Obr. 9 – Tangenciální nůž [6].....	16
Obr. 10 – Kotoučový nůž [6].....	16
Obr. 11 – Frézování závitu kotoučovou frézou [11].....	17
Obr. 12 – Frézování závitu hřebenovou frézou [11].....	17
Obr. 13 – Okružní frézování závitů [11].....	17
Obr. 14 – Broušení závitu jednoduchým kotoučem [11].....	18
Obr. 15 – Broušení závitu hřebenovým kotoučem [11].....	18
Obr. 16 – Válcování šroubu plochými čelistmi [14] .....	20
Obr. 17 – Radiální válcování závitu [11].....	20
Obr. 18 – Termální závitování [17] .....	22
Obr. 19 – Samovrtný šroub [18] .....	22
Obr. 20 – Typy drážek závitníku [8].....	24
Obr. 21 – Tvary náběhového kužele závitníku [23] .....	25
Obr. 22 – Strojní závitník s vynechanými zuby [8].....	26
Obr. 23 – Kombinovaný závitník [10].....	26
Obr. 24 – Modulární závitník XChange [22].....	26
Obr. 25 – Tvářecí závitník [10] .....	27
Obr. 26 – Průběh vláken v závitě [10].....	27
Obr. 27 – Proces formování závitu tvářecím závitníkem [7].....	28
Obr. 28 – Tvářený závit (nedotvářený – přetvářený – ideální) [23] .....	28
Obr. 29 – Závitník PunchTap [25].....	29
Obr. 30 – Porovnání drah závitníků při závitování [25] .....	30
Obr. 31 – Výroba závitu nástrojem PunchTap [25].....	30
Obr. 32 – Zrychlovací pouzdro SpeedSynchro [10] .....	31

Obr. 33 – Soustružení závitů [27] .....	32
Obr. 34 - Typy přísuvů při soustružení závitů [27] .....	33
Obr. 35 – Typy destiček pro soustružení závitů [27].....	34
Obr. 36 – Vyměnitelná břitová destička FourCut [28] .....	35
Obr. 37 – Frézování závitu vrtací závitovou frézou [10].....	37
Obr. 38 – Frézování závitu cirkulární vrtací závitovou frézou [10] .....	38
Obr. 39 – Frézování závitu cirkulární závitovou frézou [10] .....	38
Obr. 40 – Struktura závitu Cut&Form [29] .....	39
Obr. 41 – Fréza Mill&Form [30] .....	39



## Seznam tabulek

Tab. 1 – Přehled vybraných spojovacích závitů [1; 5] .....	11
Tab. 2 – Přehled vybraných pohybových závitů [1] .....	11

## Seznam použitých zkratk

CBN	Kubický nitrid bóru
HSS	Rychlořezná ocel
HV	Tvrдость podle Vickerse
PCD	Polykrystalický diamant
RO	Rychlořezná ocel
VBD	Vyměnitelná břitová destička