



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

TECHNOLOGICKÁ A EKONOMICKÁ ANALÝZA VÝROBY SOUČÁSTÍ PRO AUTOMOBILOVÝ PRŮMYSL

TECHNOLOGICAL AND ECONOMIC ANALYSIS OF THE PRODUCTION FOR THE AUTOMOTIVE INDUSTRY

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Eva Sedláková

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.

BRNO 2019

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Studentka:	Bc. Eva Sedláková
Studijní program:	Strojní inženýrství
Studijní obor:	Strojírenská technologie a průmyslový management
Vedoucí práce:	prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
Akademický rok:	2018/19

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

Technologická a ekonomická analýza výroby součástí pro automobilový průmysl

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Technologická a ekonomická analýza výroby součástí pro automobilový průmysl, rozbor technologie, měření vybraných veličin, dosahovaných ekonomických parametrů, návrhy opatření, vyhodnocení přínosů.

Cíle diplomové práce:

- Teoretický rozbor problému.
- Rozbor stávající výrobní technologie a metod kontroly.
- Návrh metod měření sledovaných veličin.
- Experimentální ověření.
- Technicko-ekonomické vyhodnocení, diskuze výsledků.

Seznam doporučené literatury:

JECH, J. Tepelné zpracování ocelí: Metalografická příručka. 4. přeprac. dopl. vyd. Praha. SNTL, 1983.

PTÁČEK, L. Nauka o materiálu I. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno. 2001.

PTÁČEK, L. Nauka o materiálu II. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno. 2001.

ŠUŠTARŠIČ et al. Fatigue strength and microstructural features of spring steel. In: New trends in fatigue and fracture. Metz, 2010. [cit. 25. 10 2012]. Dostupné na WorldWideWeb:

<<http://divk.inovacionicentar.rs/ivk/ivk11/027-034-IVK1-2011-BS-PB-WE-GG-AJ-BS.pdf>>

Heat treatment of spring steels. [cit. 25. 10 2012]. Dostupné na World WideWeb
<<http://ebookbrowse.com/he/heat-treatment-steel?page=4>>

HTUN, M. S. et al. Effect of Heat Treatment on Microstructures and Mechanical Properties of Spring Steel. Journal of Metals, Materials and Minerals, Vol. 18, No. 2, p. 191-197. 2008.

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástrojů. VŠ učebnice. Brno: CERM. 1. vyd. s. 230. 2006. ISBN 80-214-2374-9.

JUROVÁ, M. Řízení výroby I., část 1. Brno: Akademické nakladatelství Cerm, s.r.o., 2005. ISBN 80-214-3066-4.

SYNEK, M. Výroba. In: SYNEK, M., eds. Manažerská ekonomika. Praha: Grada, 2011. s. 251-276. ISBN 978-80-247-3494-1.

TOMEK, G. a V. VÁVROVÁ. Řízení výroby. Praha: Grada, 1999. ISBN 80-80-7169-578-5.

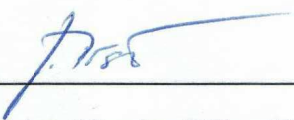
TOMEK, G. a V. VÁVROVÁ. Řízení výroby a nákupu. Praha: Grada, 2007. ISBN 978-80-247-1479-0.

VYTLAČIL, M., I. MAŠÍN a M. STANĚK. Podnik světové třídy. Liberec: Institut průmyslového inženýrství, 1997. s. 17. ISBN 80-902235-1-6.

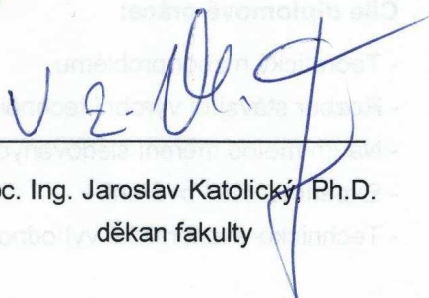
Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2018/19.

V Brně, dne 26. 10. 2018





prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu



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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá rozбором stávající technologie tváření závitů v automobilovém průmyslu. Charakterizuje metrické závity, jejich výrobu a kontrolu, tváření závitů, procesní kapaliny a další procesní parametry. V praktické části jsou popsány experimentální zkoušky na konvenčních a CNC vrtacích strojích a statisticky zhodnocen vliv různých procesních kapalin na povrch a kvalitu závitu. V rámci technicko-ekonomického zhodnocení byl porovnán vliv kapalin na technologii a výše jejich nákladů pořízení. Výsledky experimentů poukazují na příznivou úlohu mýdla a polymerů jako vhodných tribologických prostředků při tváření závitů.

Klíčová slova

závit, procesní kapalina, procesní prášek, tváření závitů

ABSTRACT

The thesis deals with an analysis of an existing technology of thread forming under various technological parameters used in car industry. Furthermore, it characterizes metric threads, their production and quality control, forming taps, process fluids and other process parameters. In the experimental part the experimental tests with a conventional and CNC drilling machines were carried out. The influence of various process fluids on surface and thread quality have been assessed statistically. The technical-economic evaluation of the process fluids and their effect on the technology has been made. The work supports a beneficial role of soap and polymers as convenient tribological means at thread forming.

Key words

thread, process fluid, process powder, thread forming

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

SEDLÁKOVÁ, Eva. Technologická a ekonomická analýza výroby součástí pro automobilový průmysl [online]. Brno, 2019 [cit. 2019-05-23]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/117280>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Miroslav Píška.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Technologická a ekonomická analýza výroby součástí pro automobilový průmysl** vypracovala samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

.....
Datum

.....
Bc. Eva Sedláková

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala panu prof. Ing. Miroslavu Píškovi, CSc., za vedení diplomové práce a cenné rady. Panu Ing. Martinu Petrencovi, Ph.D. a panu Ing. Aleši Muroňovi, Ph.D. za ochotu a cenné připomínky při vypracování práce. Díky také patří kolektivu ÚST VUT v Brně za pomoc při řešení experimentální části práce. Mému muži, rodině a kamarádům za podporu při psaní této práce.

OBSAH

ABSTRAKT	3
PROHLÁŠENÍ.....	5
PODĚKOVÁNÍ	6
OBSAH.....	7
ÚVOD.....	9
1 ZÁVITY.....	10
1.1 Druhy závitů	10
2 VÝROBA ZÁVITŮ.....	13
2.1 Výroba závitů obráběním.....	13
2.1.1 Řezání závitů.....	13
2.1.2 Soustružení závitů.....	14
2.1.3 Frézování závitů.....	15
2.1.4 Broušení závitů	16
2.2. Výroba závitů tvářením	17
3 KONTROLA ZÁVITŮ.....	20
3.1 Kontrola vnějších závitů – šroubu	20
3.2 Kontrola vnitřních závitů – matice	22
4 ZÁVITNÍKY	24
4.1 Materiál závitníků	24
4.2 Povlaky závitníku	25
4.3 Kritéria pro výběr správného závitníku	26
5 PROCESNÍ KAPALINY A PEVNÉ LÁTKY (PRÁŠKY).....	29
5.1 Rozdělení procesních kapalin	29
5.2 Nároky na zdravotní a ekologickou nezávadnost řezných kapalin.....	30
5.3 Polymerní kapaliny	31
6 NÁVRH EXPERIMENTŮ	34
6.1 Tvářený materiál	34
6.2 Volba nástroje	35
6.3 Stroje.....	36
6.4 Tvářecí podmínky	36
6.5 Procesní média.....	37
6.6 Měřicí technika	38
6.7 Měření povrchového profilu závitů	38
7 REALIZACE A VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ	39

7.1 Realizace zkoušek na vrtačce a statistické vyhodnocení výsledků.....	40
7.1.1 Tváření závitů	41
7.1.2 Měření povrchového profilu závitů	44
7.2 Realizace zkoušek na CNC stroji a statistické vyhodnocení výsledků.....	50
7.2.1 Tváření závitů	50
7.2.2. Měření povrchového profilu závitu	54
7.3 Diskuze výsledků experimentů.....	59
8 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ	61
ZÁVĚR	63
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ	64
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK	68
SEZNAM PŘÍLOH.....	70

ÚVOD

Snižování nákladů a výroba s co nejnižším možným dopadem na životní prostředí jsou tématem dnešní doby. Důraz je kladen na každý aspekt výroby - nástroje, materiály, procesní média, na jejich kvalitu, trvanlivost, celkový vliv technologie na pracovní a životní prostředí.

Firma Alfa (smluvní označení), která působí na trhu automobilového průmyslu, hledá alternativní řešení procesního média, které bude pro firmu výhodnější z hlediska nákladů a následné likvidace, za udržení stejné kvality a jakosti výroby. Důležitým faktorem pro firmu Alfa je i zdravotně nezávadné prostředí pro její zaměstnance a co nejmenší dopad výroby na životní prostředí.

Proto tato firma hledá alternativu, která by nahradila stávající používané procesní médium. Výrobní proces, ve kterém firma Alfa procesní médium používá, je svou charakteristikou podobný tváření závitů a proto se při výběru nového procesního média zaměřila na jejich testování pomocí tváření závitů.

Mezi procesními médii, které byly pro tyto zkoušky vybrány, jsou polymerní kapaliny. Jsou novinkou na trhu procesních médií posledních pár let.

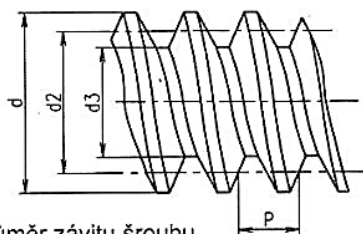
S praktickým testováním procesních medií souvisí mnoho dalších faktorů, které výsledky experimentů mohou ovlivnit, jako je tvářený materiál, nástroj – závitník a technologické podmínky experimentu. Důležitým sledovaným kritériem je i kvalita vyráběných povrchů pomocí těchto procesních kapalin.

1 ZÁVITY

„Základem závitu je šroubovice navinutá na základní válec. Pohybem tvořící plochy daného tvaru po této šroubovici vznikne těleso zvané šroubový závit. Tvořící plocha je osovým řezem šroubového závitu; je buď jednodřívová, nebo víceřívová. Je-li jednodřívová, vytvořív pohybem po šroubovici za současněho otáčení kolem osy základního válce jednodřívý závit. Je-li tvořící plocha víceřívová, vytvořív víceřívový závit.“ [1]

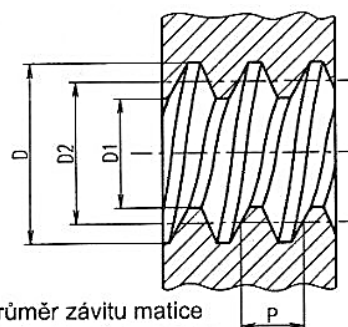
Závity jsou používány k vzájemnému spojení částí nebo součástí. Toto spojení je pohyblivé nebo nepohyblivé – spojovací. Spojení je rozpojitelné. Pro správnou funkci závitu je důležitá jeho přesnost a kvalita. Závity dělíme na levé, pravé, dále vnitřní (matice) a vnější (šroub) (viz obr. 1) [2,3].

ŠROUB



d – velký průměr závitu šroubu
 d₂ – střední průměr závitu šroubu
 d₃ – malý průměr závitu šroubu
 P – stoupání závitu

MATICE



D – velký průměr závitu matice
 D₂ – střední průměr závitu matice
 D₁ – malý průměr závitu matice

Obr. 1 Šroub a matice [3].

1.1 Druhy závitů

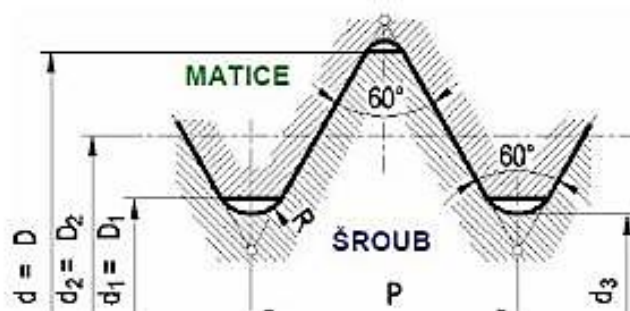
Závity můžeme třídít podle jejich teoretického profilu na ostré a tupé. Ostré závity, používaná většina, vychází z teoretického profilu trojúhelníku, jehož zkrácením vznikají jednotlivé závity – metrický, Whitworthův, oblý a další (viz tab. 1.1). Tupý závit vychází z čtvercového profilu, pro jeho obtížnou výrobu a z pevnostních důvodů se dnes téměř nepoužívá. Soustavy závitů jsou normalizovány dle ČSN [2].

Tab. 1 Přehled druhů závitů [1, 5].

Druh závitu	Označení		Norma
	obecně	příklad	
Metrický základní řady	M d	M 16	ČSN ISO 724
Metrický s jemným stoupáním	M d x s	M 16 x 1,5	
Whitworthův závit	W d"	W 1/8"	ČSN 01 4030
Trubkový válcový	G Js"	G 3/4"	ČSN EN ISO 228-1
Trubkový kuželový	KG Js"	KG 1/2"	ČSN ISO 7-1
Oblý závit	Rd d	Rd 26	ČSN 01 4037
Edisonův	E d	E 33	ČSN 01 4038
Js" - jmenovitá světlost trubky v palcích			

Metrický závit

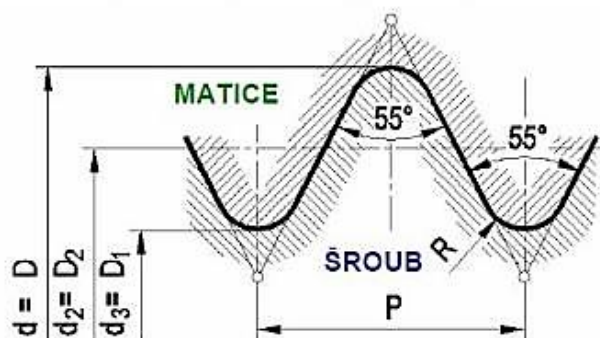
Je jedním z nejrozšířenějších typů závitů. Metrické závity (obr. 2) dělíme na metrické závity základní řady a metrické závity s jemným stoupáním podle normy ČSN ISO 724. Závity mají trojúhelníkový tvar profilu s vrcholovým úhlem 60° . Vrcholová vůle, která vzniká mezi závitem šroubu a závitem matice je nutná pro dosednutí a přenášení zatížení z boku závitu šroubu na bok závitu matice [2, 4, 5].



Obr. 2 Metrický závit [1].

Whitworthův závit

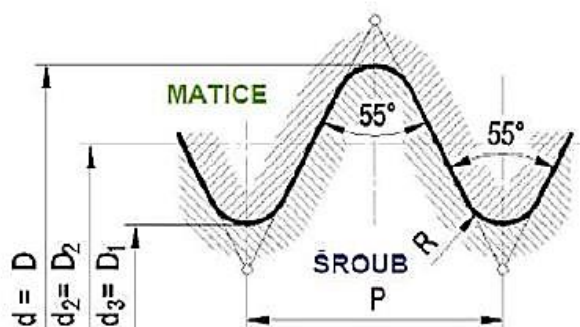
Whitworthův závit (obr. 3) dle normy ČSN 01 4030 udává stoupání v počtu závitů na jeden palec stejně jako průměr závitu. Vrcholový úhel je 55° . Tento závit se v evropských zemích používá výjimečně [2, 4, 5].



Obr. 3 Whitworthův závit [1].

Trubkový závit

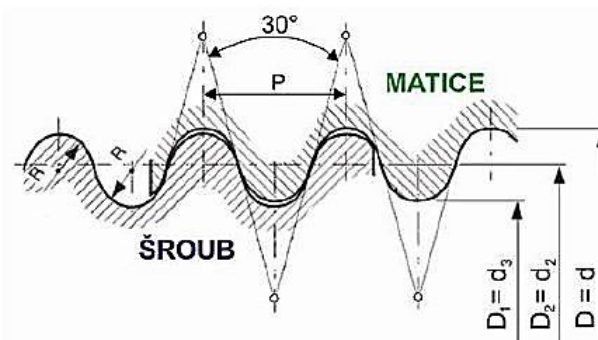
Trubkové závity (obr. 4) se dělí na válcové a kuželové (kuželovitost 1:16), vycházející z profilu Whitworthova závitu, se stejnou velikostí vrcholového úhlu 55° , jen jemnější. Tyto závity se označují podle světlosti (vnitřní průměr) trubek, udávané v palcích [2, 4].



Obr. 4 Trubkový závit [1].

Oblý závit

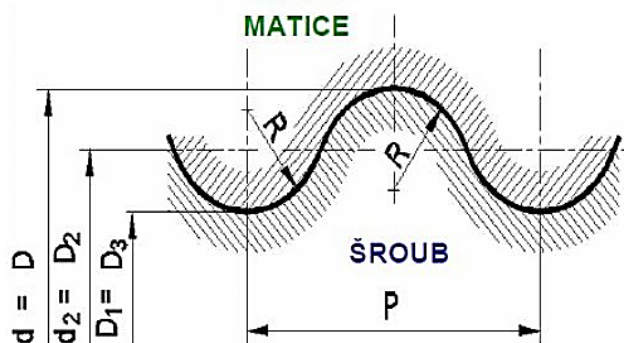
Oblé závity (obr. 5) se vyznačují odolností proti rázům a nečistotám. Velký průměr závitu se udává v milimetrech, stoupání pak počtem závitů na jeden palec. Tyto závity se tlačí i z plechu [2].



Obr. 5 Oblý závit [1].

Edisonův závit

Je speciální oblý závit, používaný v elektrotechnice (např. objímka žárovky). Profil Edisonova závitu (obr. 6) je bez ostrých hran, standardizovaný podle ČSN 01 4038, se značením E a průměrem v milimetrech [2, 5].



Obr. 6 Edisonův závit [1].

2 VÝROBA ZÁVITŮ

Závity jsou ve strojírenském průmyslu používány jako důležité spojovací nebo pohybové elementy výrobků. Přesnost a kvalita má vliv na správnou funkci a spolehlivost. Vnitřní i vnější závit lze vyrobit následujícími způsoby [6]:

- litím a lisování v plastickém tvaru, což je proces uplatňovaný při lisování termoplastů a termosetů,
- obrábění (řezání, soustružení, frézování, broušení),
- tváření.

2.1 Výroba závitů obráběním

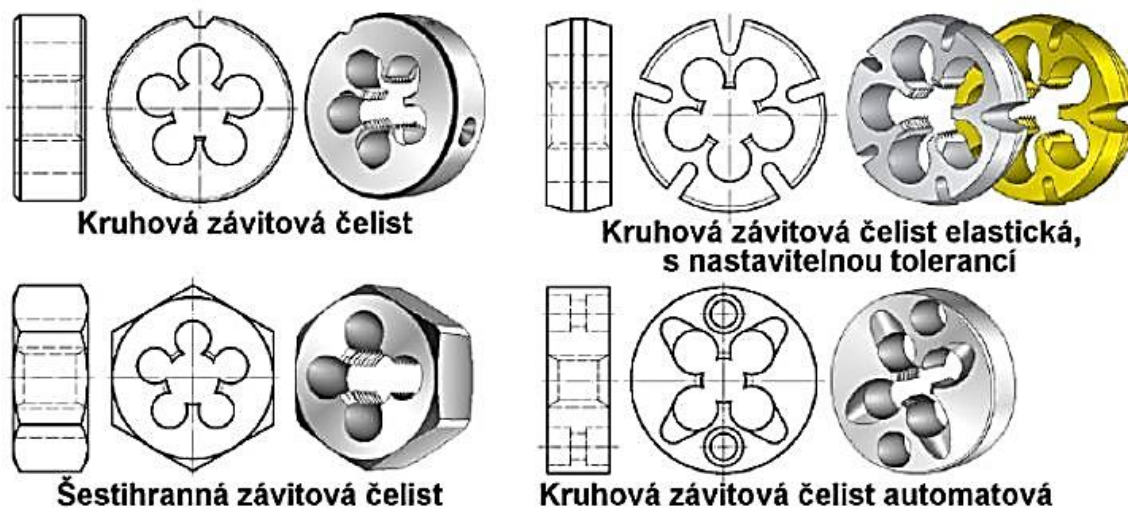
Závity vnitřní – maticové, závity vnější – šroubové se vyrábějí obráběním, řezáním, soustružením, frézováním a broušením. Při těchto metodách výroby závitů se dosahuje různých stupňů přesnosti a drsnosti povrchu (viz tab. 2) [2, 7].

Tab. 2 Informativní hodnoty dosahované při daných metodách obrábění závitů [7].

Metoda obrábění	Stupeň přesnosti	Drsnost povrchu Ra [μm]
Řezání		
závitníky - nebroušené	6 až 8	3,2
závitníky - broušené	4 až 6	1,6 až 3,2
závitovými čelistmi	6 až 8	3,2
závitovými hlavami	7 až 8	1,6 až 3,2
Soustružení		
závitovými noži	6 až 7	1,6 až 3,2
kotoučovými noži	6 až 7	0,8 až 3,2
Frézování		
kotoučovou frézou	6 až 7	3,2
hřebenovou frézou	6 až 8	3,2
okružovací frézovací hlavou	6 až 7	1,6 až 3,2
Broušení	4 až 5	0,2 až 0,8

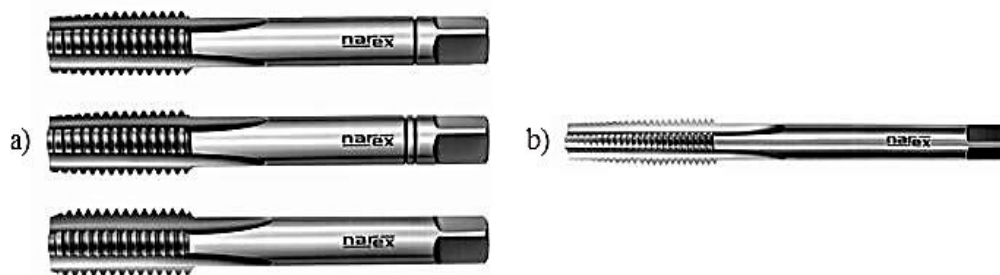
2.1.1 Řezání závitů

Pro řezání (ruční, strojní) vnějších závitů se používají různé druhy závitových čelistí (obr. 7). Hlavním pohybem čelistí je otáčení kolem osy a vedlejším pohybem je stoupání řezaného závitu ve směru osy. Závitová čelist může být kruhová nebo jako matice s vnitřním profilem závitu, vyvrtané díry po obvodu závitu vytvářejí řezný klín a odvádějí třísky. Předepsaný profil a rozměr závitu se vytváří postupným odebráním třísky. Kruhové závitové čelisti se vyrábějí pro levý i pravý závit, lze jimi řezat závity metrické, Whitworthovy a další typy závitů. Vyrábějí se z nástrojové nebo rychlořezné oceli, s tvrdostí řezné části 680 HV až 830 HV [3, 7].



Obr. 7 Druhy závitových čelistí [6].

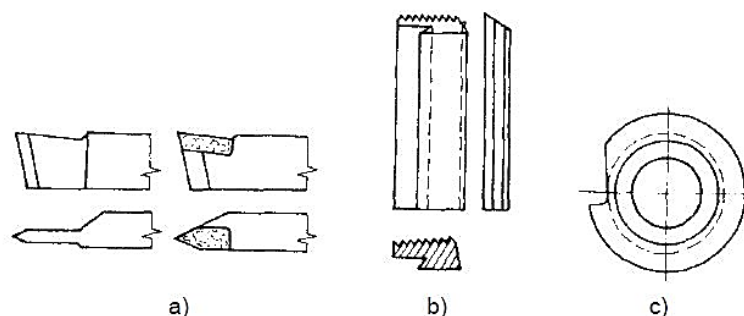
Pro řezání (ruční, strojní) vnitřních závitů se používají závitníky. Pro ručně řezané závity se používají sadové závitníky. První závitník závit předřeže - úběr 60% materiálu, druhý řeže - úběr 30% materiálu a třetí je dořezávací, kalibrovací - úběr 10% materiálu, (viz obr. 8 a). Závitník vychází z tvaru šroubu, na kterém jsou vytvořeny břity jednou až osmi přímými nebo šroubovitými drážkami. Závitníky jsou ze slinutých karbidů nebo z rychlořezné oceli, povlakané nebo nepovlakané, s tvrdostí řezné části 727 HV až 828 HV. Upínají se do vratidel. Maticové závitníky (obr. 8 b), pro výrobu matic mají dlouhý řezný kužel, krátkou závitovou část a průchozí stopku. Závitník se nemusí často uvolňovat, právě z důvodu dlouhé stopky, která pojme určitý počet hotových matic [3, 7].



Obr. 8 Závitníky [8]: a) sadové závitníky, b) maticový závitník.

2.1.2 Soustružení závitů

Soustružením lze vyrobit vnitřní, vnější, levé i pravé závity na univerzálních, revolverových, polo poloautomatických a automatických soustruzích. Stoupání soustruženého závitu udává posuv nástroje na otáčku. Pro tento typ výroby závitů se používají závitové nože, jejichž profil je odvozen od profilu daného závitu (obr. 9).



Obr. 9 Závítové nože [9]: a) ploché, b) prizmatický, c) kotoučový

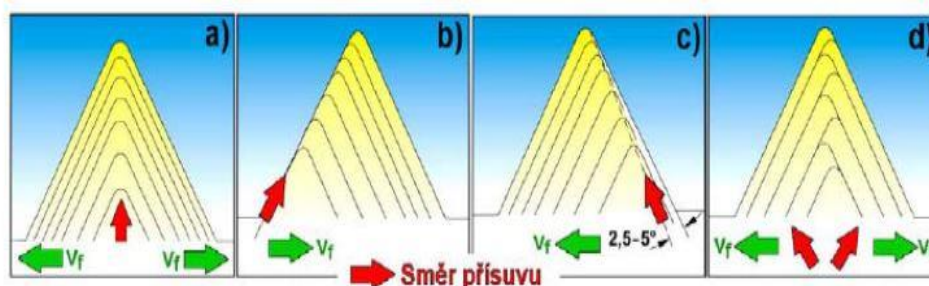
Jednoprofilové nože řezou závit na několik záběrů, hřebenové (víceprofilové) nože, u kterých jsou první profily zkoseny, řezou závit na jeden záběr. Závity lze řezat následujícími způsoby [6, 7].

Radiálním přísuvem (obr. 10 a), který je nejčastěji používaný způsob při postupném řezání závitů, vhodný pro závity s menším stoupáním. Při radiálním přísuvu, který je prováděn kolmo na osu rotace, dochází k rovnoměrnému úběru materiálu na obou bocích profilu závitů a rovnoměrnému opotřebení závitorezného nástroje. Nevýhodou je u závitů s větším stoupáním náchylnost ke vzniku kmitání [6, 9].

Bočním přísuvem (obr. 10. b) se řezou závity s větším stoupáním a trapézové závity. Nevýhodou je nepravidelné opotřebení břitu nástroje, z důvodu tření pravého břitu nástroje o pravý boj obráběného profilu a tím způsobená zhoršená jakost povrchu na pravém boku vytvářeného závitů [6, 9].

Boční přísu s odkladem (obr. 10 c) se využívá při řezání závitů s větším stoupáním (nad 3 mm) a lichoběžníkových závitů. Díky odklonu 3° až 5° se eliminuje tření na boku profilu, které vzniká při soustružení závitů s bočním přísuvem [6, 9].

Střídavým přísuvem (obr. 10 d) se doporučuje řezat závity s velkým stoupáním a materiálech, špatně utvářejících třísku. Úběr materiálu je rovnoměrně rozdělen mezi levý a pravý břit, stejně jako následné opotřebení [6, 7, 9].



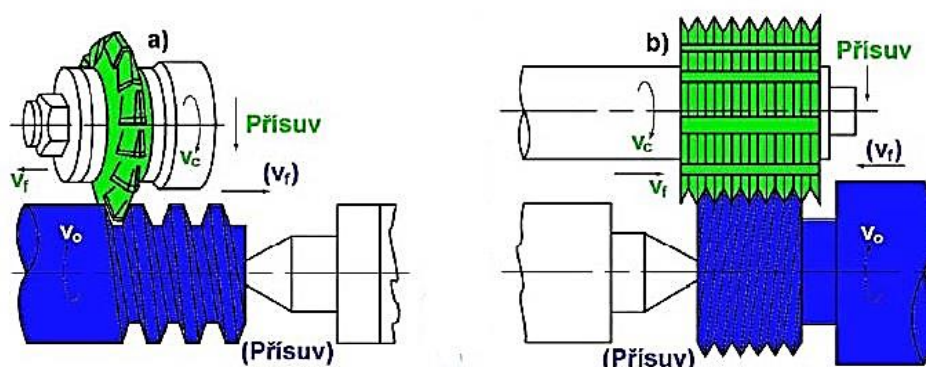
Obr. 10 Způsoby postupného soustružení závitů [7]: a) radiální přísu, b) boční přísu, c) boční přísu s odklonem, d) střídavý přísu.

2.1.3 Frézování závitů

Pro frézování závitů se používají kotoučové závitové frézy, hřebenové závitové frézy, stopkové závitové frézy. Metody frézování vnějších závitů korespondují s kinematikou obráběcího procesu a použitým nástrojem [6, 7, 9].

Závitové kotoučové frézy (obr. 11 a) se používají pro frézování dlouhých závitů (např. pohybové šrouby). Jednoprofilové nástroje jsou vyrobené obvykle z rychlořezných ocelí. Fréza má profil závitové mezery a je vykloněna pod úhlem stoupání závitu. Obrobek nebo fréza se posune o délku stoupání závitu za jednu otáčku [6, 7, 9].

Hřebenové závitové frézy se používají pro výrobu kratších závitů, do 75 mm délky a průměru 10 mm až 150 mm závitu. Jsou nástrčné nebo s kuželovou stopkou (obr. 11 b). K vyřiznutí závitu stačí 1,25 až 1,5 otáčky obrobku, kvůli závitovému profilu frézy, který je až o 3 závity širší než délka závitu. Fréza i obrobek konají rotační pohyb kolem své osy a posouvají se proti sobě ve směru osy závitu tak, že na jedna otáčka obrobku je jedno stoupání frézovaného závitu [6, 7, 9].

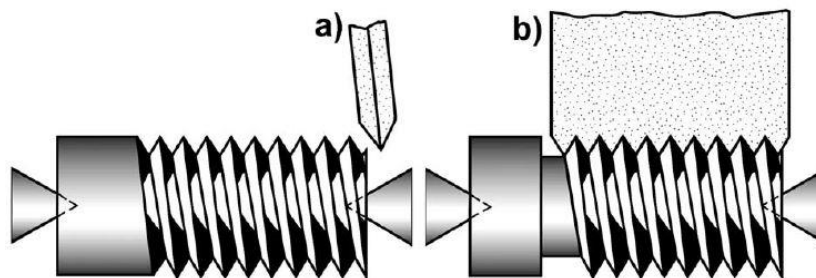


Obr. 11 Metody frézování závitů [9]: a) kotoučová fréza, b) hřebenová válcová nástrčná fréza.

Okružovací frézovací hlavy jsou vhodné pro velmi produktivní frézování dlouhých, vnitřních a vnějších, tak pravých a levých závitů. Tento typ frézování závitu se provádí na hrotových soustružích s přídatnými zařízeními nebo na speciálních strojích. Frézovací hlava se skládá z 1 až 4 nožů, které mají profil závitu. Otáčí se vysokou řeznou rychlostí (10 až 300 m/min) a posouvá se vzhledem k obrobku o jedno stoupání závitu za otočku [6, 7].

2.1.4 Broušení závitů

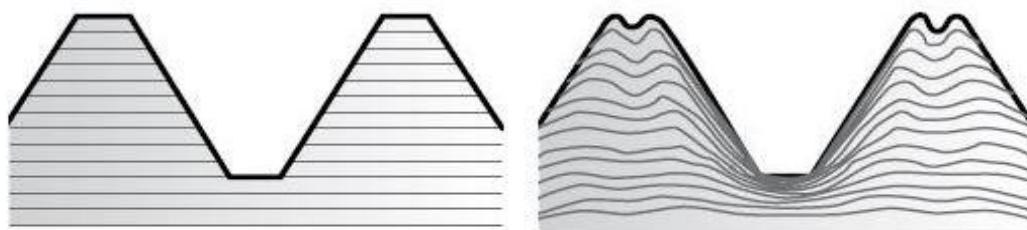
K dosažení požadované přesnosti závitů, kdy je klade důraz na drsnost, stoupání a profil závitu se používají speciální brusky (obr. 12) s jednoprofilovým nebo hřebenovým kotoučem. Závity nejvyšší přesnosti se brousí s jednoprofilovým brousícím kotoučem, který je nastaven na plnou hloubku závitu. Obrobek se při otáčení posouvá v axiálním směru o délku stoupání závitu na jednu otočku. Hřebenový kotouč pro broušení závitů je specifický několika negativními profily závitu. Kotouč je nastaven rovnoběžně s osou obrobku a axiálně se posouvá k obrobku, dokud nedosáhne plné hloubky závitu. Obrobek se zároveň posouvá a otáčí. Závity, které mají rozteč menší než 1 mm, se mohou brousit bez předchozího obrábění [6, 7, 9].



Obr. 12 Broušení vnějších závitů [9]:
a) jednoprofilový kotouč, b) hřebenový kotouč.

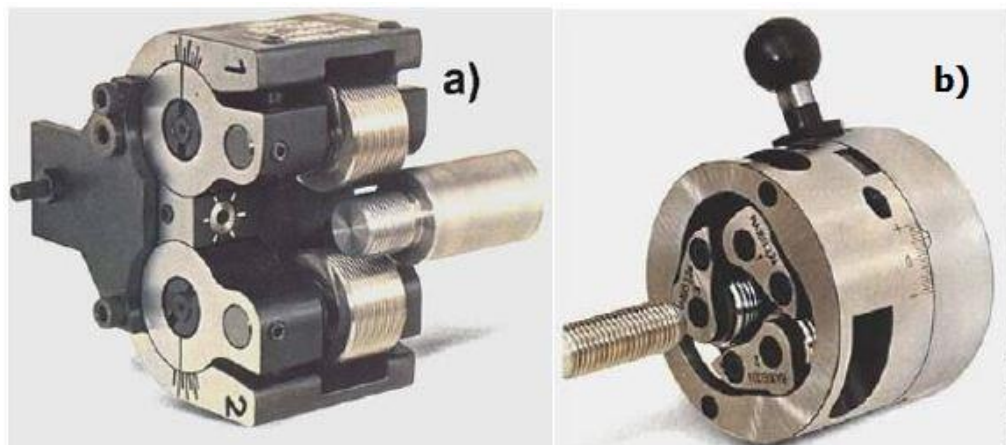
2.2. Výroba závitů tvářením

Tato metoda výroby závitů patří mezi velmi produktivní. Při tváření prochází materiál obrobku plastickou deformací, zpevňuje se. Nedochozí k úběru materiálu ve formě třísky jako u obrábění (obr. 13). To umožňuje tvářeným závitům přenášet větší silová zatížení. Nevýhodou je tvarová nepřesnost, v prohlubních a vrcholcích závitů. Při tomto způsobu výroby závitů dochází k zvětšení jeho výchozího průměru polotovaru. Jeho hodnota nebo výchozí průměr díry, do kterého se závit tváří, musí být menší než je jmenovitý průměr tvářeného závitů. Velikost tolerance předvrtaného otvoru musí být přesnější než při výrobě vnitřních závitů obráběním. Tento faktor velmi ovlivňuje výslednou kvalitu tvářeného závitů a trvanlivost použitého nástroje [6, 9, 10].



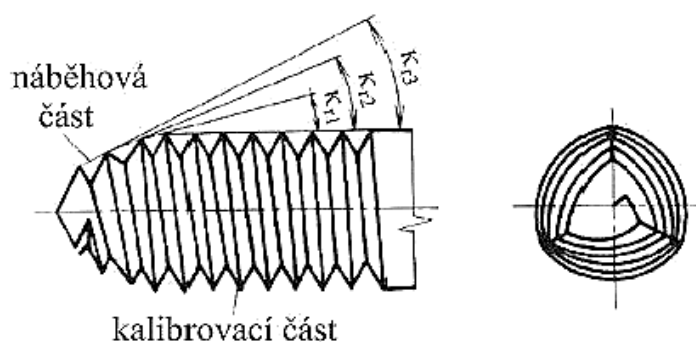
Obr. 13 Řezaný a tvářený závit [11].

Vnější tvářené závitů se vyrábějí válcováním s plochými nebo kotoučovými čelistmi, které mají tvar profilu požadovaného závitů. **Válcování s plochými čelistmi** se využívá pro výrobu šroubů. Tyto čelisti mají na povrchu drážky s negativním profilem závitů a zkosenou náběžnou hranu, pro snadnější vniknutí válcovaného dřívku. **Válcování s kotoučovými čelistmi** se používá častěji a to radiální nebo axiální. Radiální způsob (obr. 14 a) se využívá pro tváření kratších závitů – délka závitů je omezena šířkou kotoučů s jeho negativním profilem. Oba poháněné kotouče se otáčejí ve stejném smyslu a přibližují se k polotovaru, závit je pak vyroben během několika jeho otáček. Axiální způsob (obr. 14 b) využívá pro tváření závitů tři volně otočné kotouče. Tyto kotouče s negativním uzavřeným profilem závitů po svém obvodu mají své osy souběžné s osou polotovaru nebo mimoběžné tak, že svírají s polotovarem právě úhel stoupání závitů. Jejich poloha je při válcování na revolverových nebo automatických soustruzích nemění [6, 9].



Obr. 14 Válcovací kotoučové čelisti [9]: a) radiální, b) axiální.

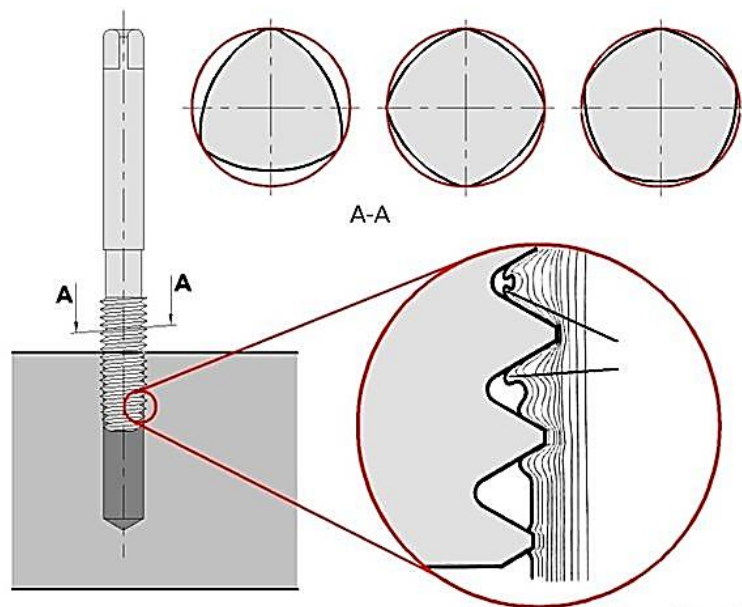
Vnitřní závity se běžně tváří v materiálech s nižší pevností, jakou jsou slitiny mědi, hliníku a oceli nižších pevností. Velký vliv na kvalitu výsledného závitu má převrtaná díra. Tvářecí závitník (obr. 15, 16) má na náběhové části závitníku 3 až 5 zoubků, které se postupně vtlačují do polotovaru. S držkami nebo bez drážek. Teplem, které při tomto procesu vzniká, materiál měkne a zatéká mezi zoubky závitníku (obr. 17). Výsledný profil tvářeného závitu má pak neúplně utvářené vrcholy. Jakou přesnost a funkci závitové spojení má, záleží na jeho nosné hloubce a bocích závitového profilu, které mají mnohem nižší drsnost než závity řezané. Při tváření závitů je potřeba přibližně o 30% vyšší krouticí moment než při řezání závitů [6, 9, 10].



Obr. 15 Tvářecí závitník bez drážek [13].



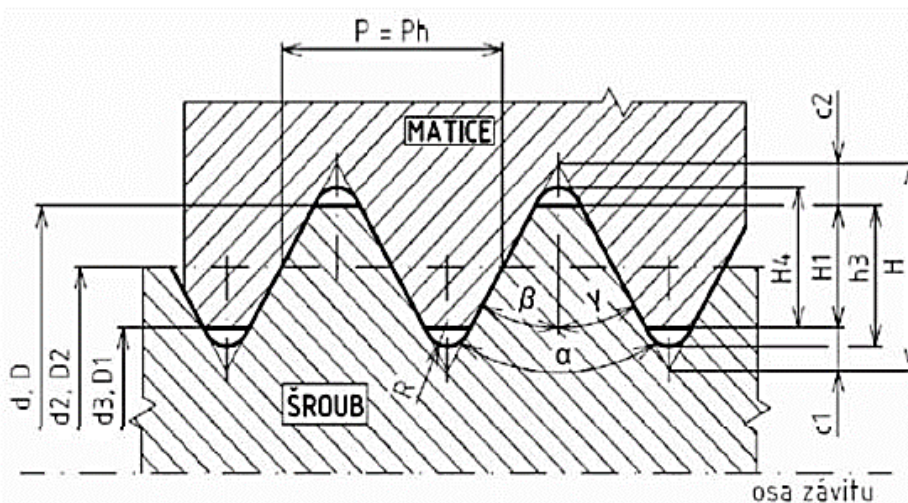
Obr. 16 Typy tvářecích závitníků [14].



Obr. 17 Typické znaky tvářeného závitu a možné příčné profily tvářecího závitníku (typ polygonu) [15].

3 KONTROLA ZÁVITŮ

Hlavním požadavkem na všechny druhy závitů je jejich přesnost. Jmenovitý profil je teoretický profil (obr. 17), který je shodný pro vnější i vnitřní závit. Minimální vůle a s ní spojená pohyblivost šroubového spojení závisí na tom, jak je definováno uložení a tolerance základních průměrů. Lícování závitů udává vzájemný vztah mezi závitem šroubu a matice, který je charakterizovaný velikostí vůle nebo přesahu. Pro závity jsou dle norem ČSN tolerovány tyto jmenovité rozměry: velký průměr závitu šroubu d , střední průměr závitu šroubu d_2 a matice D_2 , malý průměr závitu matice D_1 [1, 16, 5].



R - poloměr zaoblení,
 H - teoretická výška závitu,
 H_1 - nosná výška závitu,
 h_3 - výška závitu šroubu,
 H_4 - výška závitu matice,
 c_1 - seříznutí závitu matice,
 c_2 - seříznutí závitu šroubu,
 β, γ - úhly boků závitu.

d - velký průměr závitu šroubu,
 d_2 - střední průměr závitu šroubu,
 d_3 - malý průměr závitu šroubu,
 D - velký průměr závitu matice,
 D_1 - malý průměr závitu matice,
 D_2 - střední průměr závitu matice,
 P - rozteč závitu,
 P_h - stoupání závitu,
 α - úhel profilu závitu.

Obr. 17 Základní profil závitu [16].

Metody kontroly závitů dělíme do dvou skupin a to na kontroly komplexní (souhrnné), které se provádí pomocí závitových kalibrů a kontroly parametrické. Pomocí kontroly závitovými kalibry rozdělíme závity na dobré nebo zmetkové. Pomocí parametrické neboli dílčí kontroly závitů jejich rozměry zjistíme přesně [16, 17].

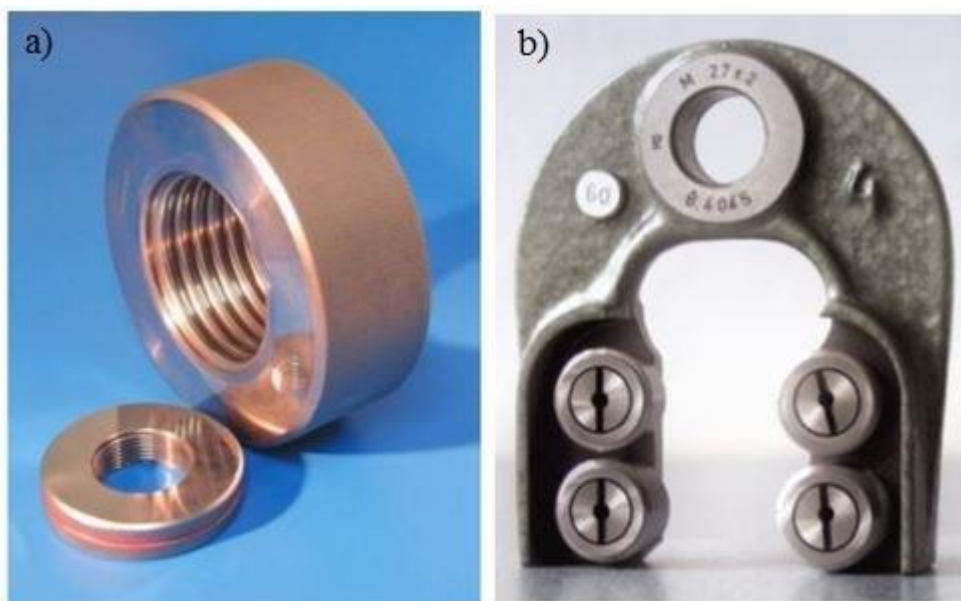
3.1 Kontrola vnějších závitů – šroubu

Vnější závity se kontrolují závitovými kroužky či třmenové závitové kalibry. Střední průměr závitu d_2 se kontroluje mikrometrem, nastavitelnými komparátory nebo třídrátkovou metodou. Malé průměry se kontrolují pomocí mikroskopů a profil projektorů [16, 17].

Závitové kroužky (obr. 18 a) je nutné mít pro kontrolu v páru – dobrý a zmetkový kroužek, označený červeným proužkem po obvodu. Dobrý závitový kroužek by se měl dát

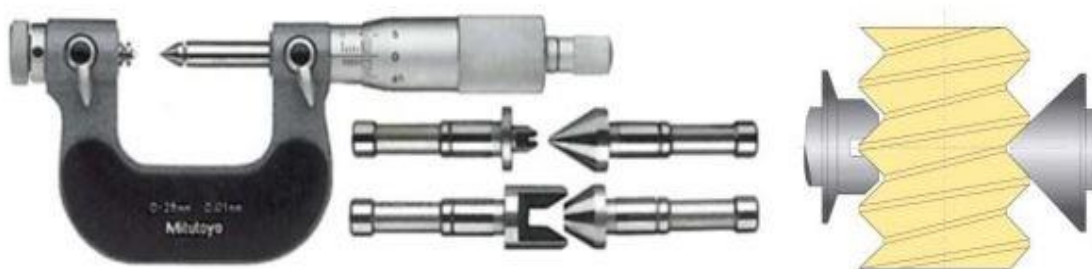
lehce našroubovat po celé délce závitu. Zmetkový kroužek se pak nesmí dát našroubovat na více jak dvou otáček obrobku a vůbec, pokud má šroub tří a méně stoupání [17, 19].

Třmenové závitové kalibry (obr. 18 b) se používají u dlouhých závitů a u šroubů, kde by byla kontrola závitovými kroužky dlouhá. Jejich výhodou je univerzálnost použití, pro pravý i levý závit a dle nastavení na různé stupně lícování – na požadované tolerance jmenovitého rozměru [16, 17, 19].



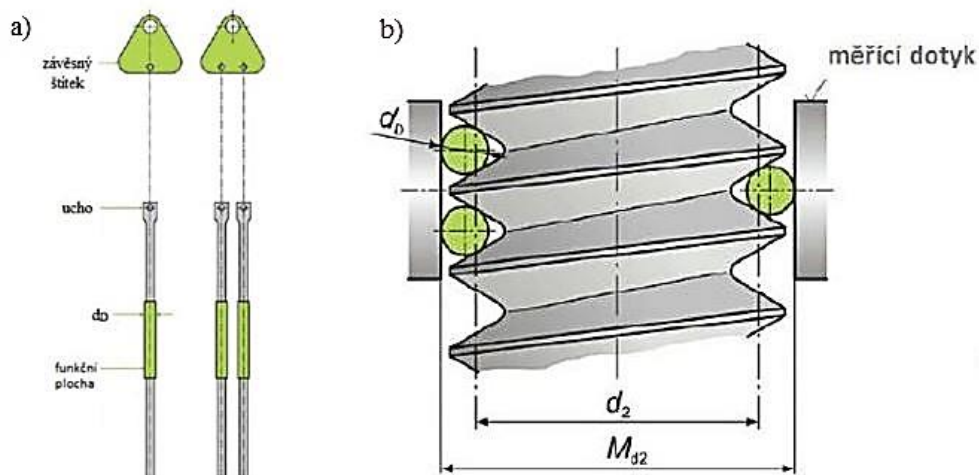
Obr. 18 Kontrola vnějších závitů [16]: Závitové kroužky, Třmenový závitový kalibr.

Závitovým mikrometrem (obr. 19), s vyměnitelnými dotyky (hrot a hřeben), které jsou dané podle druhu a stoupání závitu, se měří střední průměr závitu d_2 . Nevýhodou je vliv úchytky vrcholového úhlu na výsledek měření [16, 17, 19].



Obr. 19 Závitový mikrometr [18].

Třídrátková metoda je nepřímé měření středního průměru závitu pomocí tří průměrově stejných a přesných drátků (normovaných dle ČSN), které se vkládají do závitového profilu. Drátky, které používáme k měření (obr. 20 a) volíme podle profilu závitu a rozteče o průměru d_d (vztah 1). Vloží se do rozteče závitu proti sobě a následně změří délkovým měřidlem (mikrometrem nebo univerzálním délkometrem). Princip je zobrazen na obr. 20 b. Naměřená hodnota Md_2 se dá určit i teoreticky [16, 17, 19, 20].



Obr. 20 Schéma měření d_2 třídrátkovou metodou [18]: a) drátky, b) princip měření.

Vztah pro výpočet průměru drátků, které se vkládají do rozteče závitu [20]:

$$d_d = \frac{P}{2 \cos \frac{\alpha}{2}} \quad [mm] \quad (1)$$

Kde: d_d [mm] průměr měřícího drátku
 P [mm] rozteč závitu
 α [°] vrcholový úhel závitového profilu

Dle výsledné hodnoty se vybere z tabulek a sady drátků příslušný rozměr, se kterým se pak měří.

Teoretický rozměr M_{d_2} přes drátky se pak určí ze vztahu [20]:

$$M_{d_2} = d_2 + d_d \left(1 + \frac{1}{\sin \frac{\alpha}{2}} \right) - \frac{P}{2} * \cotg \frac{\alpha}{2} + k_1 - k_2 \quad [mm] \quad (2)$$

Kde: M_{d_2} [mm] -teoretická míra středního průměru závitu přes drátky
 d_2 [mm] střední průměr závitu šroubu (určený z tabulek)
 d_d [mm] průměr měřícího drátku
 α [°] vrcholový úhel závitového profilu
 P [mm] rozteč závitu
 K_1 – korekce zohledňující úhel stoupání šroubovice ($k_1 = 1=2 \mu m$)
 K_2 – korekce zohledňující měřící tlak (hodnoty jsou tabulkové)

3.2 Kontrola vnitřních závitů – matice

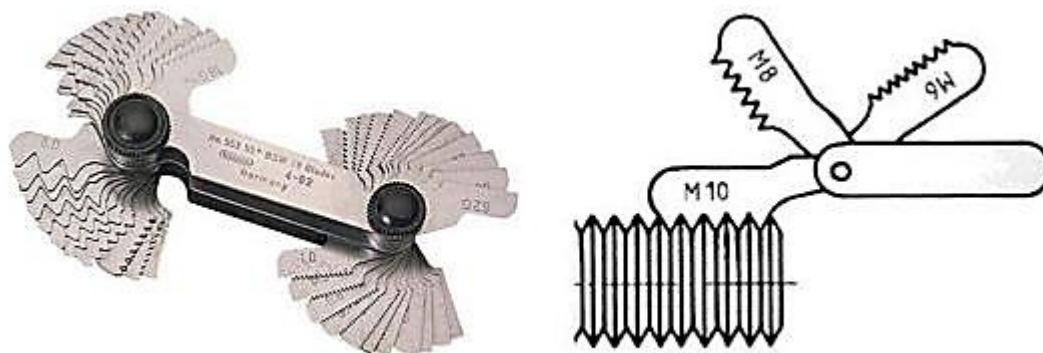
Použití závitových kalibrů. **Závitový kalibr** (obr. 21) má na jedné straně delší závit, který pokud je závit dobrý, půjde zašroubovat. Na druhé straně označené kroužkem

je zmetkový šroub, který nesmí jít zašroubovat. Pro kontrolu středního průměru závitu D_2 komparační měřidlo a horizontální délkoměr [16, 17].



Obr. 21 Závitový kalibr [18].

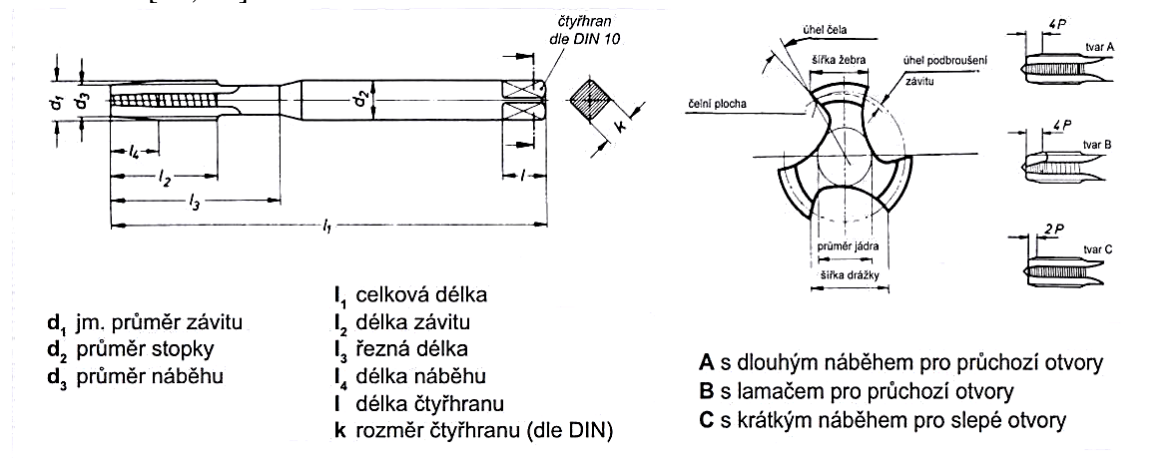
Stoupání závitu se běžně měří pomocí závitových šablon, posuvného měřidla nebo rovnoběžných koncových měrek. Pro přesné měření se používají mikroskopy. Závitové šablony přikládáme k závitu (obr. 22). U správně přiřazeného stoupání nesmí být mezi měrkou a závitem viditelný průsvit, profil šablony se shoduje s profilem závitu [16, 17].



Obr. 22 Závitová šablona, příklad použití [18].

4 ZÁVITNÍKY

Závítník je štíhlý nástroj, upínaný za stopku, jejíž konec má tvar čtyřhranu. Špičku závítníku tvoří náběhový kužel a na ní navazující dokončovací část, případně drážky pro přívod procesní kapaliny či odvod třísky. Teoretická geometrie závítníku je zobrazena na obr. 23 [16, 17].



Obr. 23 Teoretická geometrie závítníku [22].

Rozdělení závítníků [6, 9, 22]:

- sadové závítníky, pro ruční řezání,
- tvářecí závítníky,
- strojní závítníky,
- maticové závítníky,
- kalibrovací závítníky,
- speciální závítníky,
- levé, pravé.

4.1 Materiál závítníků

Výběr materiálu, ze kterého je závítník vyroben, se odvíjí od několika faktorů. Technologie výroby, obráběného/tvářecího materiálu, pracovního stroje, ekonomické stránce. Průběh a výstupy řezného/tvářecího procesu závisí na vlastnostech nástroje, které jsou fyzikální (měrná hmotnost, součinitel tření), chemické (inertnost, stálost), tepelné (pracovní teplota, délková roztažnost, teplota tavení) a mechanické (tvrdost, pevnost v tlaku a ohybu, lomová houževnatost, modul pružnosti). Nástrojové materiály vybíráme z nástrojových a rychlořezných ocelí, slinutých karbidů, cermetů, řezné keramiky či supertvrdých materiálů [7, 22, 24].

Základní požadavky, které by měl nástrojový materiál splňovat, jsou [7]:

- tvrdost,
- odolnost proti opotřebení,
- tepelná vodivost,
- pevnost v ohybu,

- plastické vlastnosti a houževnatost.

Rychlořezná ocel – HSS (*High Speed Steel*)

Rychlořezné oceli známe jako samostatnou skupinu vysoce legovaných nástrojových ocelí. Navržení této slitiny v roce 1900 znamenalo velký technický posun. Nástroje z HSS umožnili zvýšení řezné rychlosti a rozvoji nových pohonů strojů [7, 26].

Obsahují karbidotvorné prvky W, Mo, Cr, V, Co. Obsah uhlíku je zpravidla menší než 1%. Metalurgické účinky jednotlivých legujících prvků jsou následující. Wolfram, molybden – základní legující prvek, zvyšuje tvrdost a pevnost. Chrom zvyšuje prokalitelnost. Vanad zvyšuje tvrdost a pevnost za tepla a odolnost proti otěru, tvoří karbidy nejvyšší tvrdosti. Kobalt zvyšuje tvrdost a pevnost, zlepšuje odolnost proti popouštění. Uhlík s legujícími prvky tvoří karbidy, jeho obsah určuje tvrdost matice, zvyšuje odolnost proti otěru [26, 27].

HSS se vyrábějí v elektrických indukčních nebo obloukových pecích o menší hmotnosti tavby. U legovaných ocelí se volí vsázka s nízkým obsahem fosforu z důvodu jeho téměř nemožného odstranění. Nástroje se odlévají přímo do forem (lité nástroje) nebo do ingotů, které se následně tváří (tvářené nástroje) a konečný tvar získávají obráběním. Vlastnosti nástrojových ocelí se také dají zlepšit elektrostruskovým přetavením nebo přetavením ve vakuu. HSS se také vyrábí práškovou metalurgií, např. metodou ASP (Anti-Segregation-Process). Výrobky mají jemnou strukturu, rovnoměrně rozložené karbidy i vměstky, lepší houževnatost [25, 26, 27].

Slinuté karbidy - SK

Slinuté karbidy (SK) patří mezi nejpevnější nástrojové materiály vyráběné práškovou metalurgií. Základním prvkem pro výrobu slinutých karbidů je karbid wolframu (WC) a pojícím prvkem kobalt (Co), který má vysokou smáčivost nebo nikl. Dalšími důležitými prvky je karbid titanu (TiC), karbid tantalů (TaC), karbid niobu (NbC) a karbid chromu (Cr_3C_2). Slinováním se dosahuje vysoké hustoty materiálu, prakticky bez porezity. SK není možné tepelně zpracovávat, rozměrově a tvarově se kvůli své tvrdosti upravují pouze broušením, elektroerozivním obráběním a lapováním. SK se používají pro obrábění s vysokými posuvovými rychlostmi či přerušované řezy. Jejich nevýhodou je nízká termochemická stabilita. V technologické praxi se aplikují slinuté karbidy nepovlakované a povlakované, rozdělené dle normy ČSN ISO 513 na skupiny **P**, **M**, **K** a dále pak na **S**, **H**, **N**. Nástroje skupiny **P** se používají při obrábění materiálů, které tvoří dlouhou třísku, označované modrou barvou. Nástroje skupiny **M** se používá při obrábění materiálů, které tvoří dlouhou a střední třísku a neželezných kovů, označované žlutou barvou. Nástroje skupiny **K** se používají pro obrábění železných kovů s krátkou třískou, označované červenou barvou [7, 23, 24, 26].

4.2 Povlaky závitníku

Povlaky – velmi tenká vrstva materiálu s vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebení. Povlakový materiál neobsahuje žádné pojivo, má jemnější zrnitost, méně strukturních defektů (póry, dutiny) a tvoří bariéru proti difuznímu mechanismu opotřebení nástroje. Druh povlaku a tloušťka, jeho fyzikální a chemické vlastnosti, drsnost a koeficient tření, ovlivňují pak řezný výkon nástroje [23, 24].


Metody povlakování [23, 24]:

- metoda PVD (*Physical Vapour Deposition*),
- napařování,
- naprašování,
- iontovou implementací,
- metodou CVD (*Chemical Vapour Deposition*).

Druhy povlaků

Povlak Al_2O_3 má vynikající termochemickou stabilitu, použití při vysokých řezných rychlostech, při nižších řezných rychlostech převládá abrazivní opotřebení. Povlak TiN má nejrozšířenější použití, známý svou zlatavou barvou. Jednovrstvý povlak, který má nízký koeficient tření. Je vhodný pro vrtáky, frézy, závitníky. Povlak TiC se používá při nižších řezných rychlostech, při vyšších řezných rychlostech převládá tepelné opotřebení. Povlak TiCN je povlak vhodný pro tvářecí a řezné nástroje z HSS. Vyznačuje se vyšší odolností při mechanickém namáhání břítu. Je vhodný pro obrábění korozivzdorné oceli, šedé litiny. Povlak TiAlN – má nízkou tepelnou vodivost, odolnost proti oxidaci, používá se při vysokých řezných rychlostech, lze jen použít i bez chlazení. Používá se u ocelových materiálů a u litiny. Porovnání jejich základních vlastností je uvedeno v následující tab. 3 [7, 24, 26].

Tab. 3 Základní vlastnosti vybraných povlaků [23].

	Chemická stabilita	Odolnost proti oxidaci	Tvrдость	Tvrдость za tepla
Nejllepší	Al_2O_3	Al_2O_3	TiC	Al_2O_3
	TiAlN	TiAlN	TiCN	TiAlN
	TiN	TiN	Al_2O_3	TiN
	TiCN	TiCN	TiAlN	TiCN
	Špatné	TiC	TiC	TiN

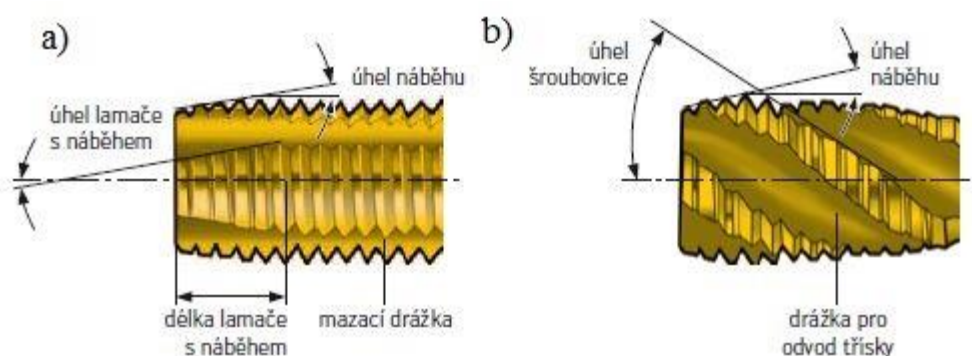
4.3 Kritéria pro výběr správného závitníku

Volba správného závitníku pro výrobu vnitřních závitů není zrovna jednoduchá, vzhledem k nabídce, která na trhu je. Je nutné znát velikost, požadovaný tvar závitu, typ stopky a třídu přesnosti, délku závitu, která se pohybuje v rozmezí 1,5 až 3,5krát průměr závitu, přičemž volba závisí na tom, jaká je délka závitu v díle a na geometrii závitníku. Při výběru závitníku musíme brát v úvahu několik následujících faktorů [28, 29]:

- typ předvrtané díry,
- typ řezného kužele,
- konstrukce podélné drážky,
- obráběný materiál,

- objem výroby,
- volba upnutí závitníku,
- řezné kapaliny.

Předvrtaná díra pro výrobu závitu může být slepá nebo průchozí. U závitníků, které závity tváří, nejsou problémy s třískami a jeden stejný závitník se může použít pro tváření do slepé i průchozí díry. U řezacích závitníků musíme brát v potaz obráběný materiál, jakou tvoří třísku. Dle toho zvolit správný typ drážky a řezného kužele závitu. V závislosti na tom, zda se jedná o řezání závitu ve slepé, nebo v průchozí díře, musí být závitníky opatřeny buď přímými drážkami (obr. 24 a), nebo šroubovitými podbroušenými drážkami (obr. 24 b) na špičce nástroje (lamačem třísek) [28, 29].



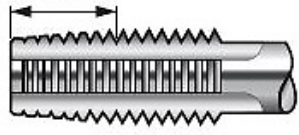
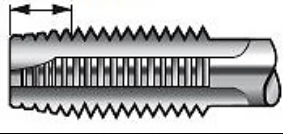
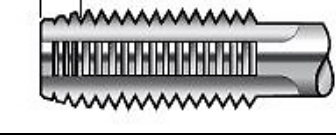
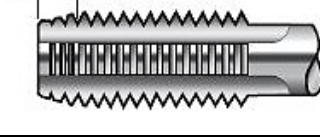
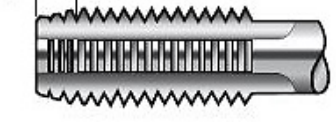
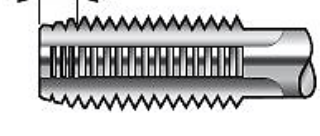
Obr. 24 Závitník [28]: a) pro průchozí otvory s lamačem s náběhem. b) pro slepé otvory s pravou šroubovicí.

Typ řezného kužele a drážky je dalším důležitým faktorem při volbě nástroje. Rozeznáváme několik typů řezného kužele (tab. 4), kterým je závitník opatřen na svém konci, jímž vstupuje do záběru: dlouhý (typ B, s délkou 3,5 až 5 závitů), střední (typ C, 2 až 3,5 závitů) a krátký (typ E, 1,5 až 2 závitů). Dlouhé řezné kužele jsou lepší pro průchozí díry, střední pak pro slepé a krátké v případě, že u dna slepé díry zůstává pouze malá vůle. Od velikosti řezného kužele se odvíjí tlak, který na závitník působí. Drážky mají vliv na funkci závitníku, jeho bezpečnost a spolehlivost při výrobním procesu. Závitníky se šroubovitým podbroušením drážky na špičce nástroje se používají pro výrobu závitu v průchozích dírách, tříska je pak vytlačována dopředu a ven z díry. Šroubovitě drážky po celé činné části nástroje se používají po obrábění slepých děr, navrženy tak, aby bylo dosaženo co nejlepší rovnováhy mezi odváděním třísek, přívodem řezné kapaliny [28, 29].

Obráběný materiál dělíme v souladu s jejich tříděním podle ISO do skupin P – oceli, M – korozivzdorné oceli, K – litiny, N – neželezné kovy a H – tvrzené oceli. Dalším faktorem je **objem výroby**, počet vyrobených závitů. Pro malý až střední počet děr se většinou volí univerzální závitníky, které nabízejí všestrannost pro možné obráběné materiály a aplikace. Pro střední až velký počet děr se pak volí speciálně přizpůsobený závitník z důvodu optimalizace funkce a výkonnosti a zvýšení efektivity při obrábění velkých sérií ze stejného typu materiálu. Správné **upnutí závitníku** má vliv na celý proces výroby závitů. Závitová sklíčidla – upínače jsou spojovacím členem mezi vřetenem a nástrojem. Přenáší krouticí moment, tlumí kmitání (u frézování), axiálně či radiálně vyrovnávají rozdíly mezi polohou vřeten a požadovanou polohou nástroje. **Řezné kapaliny** jsou podrobněji popsány

v následující kapitole. Důležitý je i přívod procesní kapaliny do místa řez (tváření) a to vnější a vnitřní [28, 29].

Tab. 4 Tvary náběhů závitníku [28].

Tvar	Počet chodů v náběhu	Typ drážky	Použití pro
A	6-8 chodů 	Přímé drážky.	Materiály s krátkou třískou a krátké průchozí závity materiálech se střední a dlouhou třískou.
B	3,5-5,5 chodů 	Přímé drážky s lamačem s náběhem.	Průchozí závity v materiálech se střední a dlouhou třískou.
C	2-3 chody 	S přímou nebo šroubovitou drážkou.	Průchozí otvory v materiálech tvořících dlouhou a střední tříska a průchozí otvory v materiálech tvořících krátkou tříska.
D	3,5-5 chodů 	S přímou nebo šroubovitou drážkou.	Slepé otvory s dlouhým výběhem závitu a průchozí otvory.
E	1,5-2 chody 	S přímou nebo šroubovitou drážkou.	Slepé otvory s velmi krátkých výběhem závitu.
F	1-1,5 chodu 	S přímou nebo šroubovitou drážkou.	Slepé otvory s velmi krátkým výběhem závitu.

5 PROCESNÍ KAPALINY A PEVNÉ LÁTKY (PRÁŠKY)

Procesní – řezné kapaliny jsou důležitým prvkem v řezném, tvářecím prostředí. Procesní kapalinou lze ovlivnit trvanlivost a životnost nástrojů, kvalitu obrobené plochy a odběr materiálu. Hlavními požadavky na procesní kapaliny je chladicí, čistící a mazací účinek, dále pak provozní stálost, ochranný účinek a zdravotní nezávadnost, provozní stálost, přiměřené provozní náklady. Správným výběrem a aplikací procesní kapaliny lze zvýšit řeznou rychlost, posuv či větší hloubku řezu. Účinnost procesních kapalin se projeví například jako pokles celkové spotřebované elektrické energie, snížení fyzického opotřebení obráběcích strojů, spotřebě řezných nástrojů nebo snížení hlučnosti obrábění [7, 23, 26].

Procesní médium vybíráme na základě materiálu řezného nástroje a jeho geometrie, materiálu obrobku, řezných podmínkách a požadovaném finálním povrchu výrobku. K správné funkčnosti procesních kapalin je nutné zajistit jejich přívod do místa obrábění a to buď standartním způsobem, tlakovým chlazením, vnitřním chlazením nebo chlazením řeznou mlhou. Důraz je kladen i na životnost procesní kapaliny, která závisí na kvalitě vody, složení koncentrátu maziva a péče o médium [7, 23, 26].

5.1 Rozdělení procesních kapalin

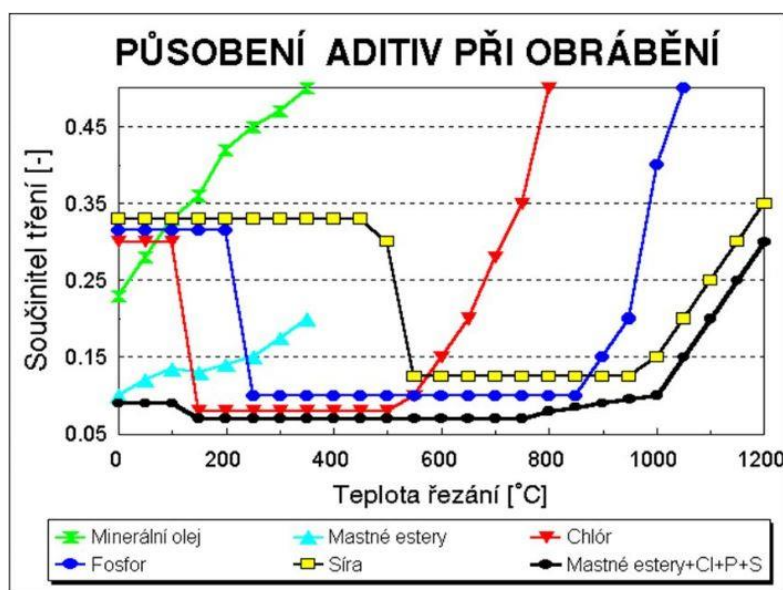
Procesní kapaliny můžeme dělit na kapaliny s převažujícím chladicím účinkem a kapaliny s převažujícím mazacím účinkem. V dnešní době jsou ale na trhu dostupné komplexnější procesní kapaliny, které chladí i mažou. Řezné kapaliny se také rozdělují na [7]:

- vodní roztoky,
- emulzní kapaliny,
- mastné oleje,
- zušlechtěné řezné oleje,
- rostlinné oleje – ekologicky nezávadné,
- polosyntetické a syntetické kapaliny.

Chladicí účinek procesních kapalin v řezném prostředí odvádí teplo z místa řezu, pokud existuje tepelný spád mezi povrchem obrobku a prostředím. Procesní kapalina přejímá část vzniklého tepla z povrchové vrstvy nástroje, obrobku a volné části třísky. Chladicí účinek procesních kapalin závisí na součiniteli tepelné vodivosti λ [$\text{W m}^{-1} \text{K}^{-1}$] a teplotní vodivosti a [$\text{m}^2 \text{s}^{-1}$], součinitelem přestupu tepla mezi obrobkem a nástrojem, respektive kapalinou α [$\text{J m}^{-2} \text{s}^{-1} \text{K}^{-1}$], rychlosti hmotnostního toku proudění kapaliny a smáčivosti procesní kapaliny σ [$\text{mm}^2 \text{s}^{-1}$]. Fyzikální a chemické vlastnosti řezné kapaliny můžou být ovlivněny zdrojem vody. Tvrdost vody, která je určena obsahem vápníku, hořčíku a jiných těžkých prvků má vliv na její kvalitu. Voda, která je tvrdá může způsobit vytváření usazenin, destabilizovat emulzi nebo mít korozní vliv. Kyselost vody, měřená v pH , by neměla být nižší než 8,5. Ovlivňuje korozní vlastnosti procesní kapaliny a mikrobiální růst [7, 23, 26].

Mazací účinek zmenšuje tření tím, že na povrchu obrobku a nástroje vytvoří vrstvu – mazací film, který brání přímému styku kovových povrchů. Mezi styčnými plochami mohou

působit vysoké tlaky a vysoké teploty, při kterých nedochází ke kapalnému tření. Proto se do procesních kapalin přidávají povrchově a chemicky aktivní přísady, které zlepšují pevnost mazacího filmu (obr. 25). Povrchově aktivní látky mohou ulpívat v mikroskopických nerovnostech a napomáhat k vzniku mezní vrstvy a bránit tak ulpívání částic na nástroji a tvorbě studených svarů a mikrotrhlin. Mazací účinek závisí také na viskozitě mezní vrstvy. Se zvyšující se viskozitou se zhoršuje pronikání řezného média mezi třecí plochy, proudění média a odvod tepla. Pokud je médium viskóznější, ulpívá více na třískách, čím dochází k ztrátám [7, 23, 26].



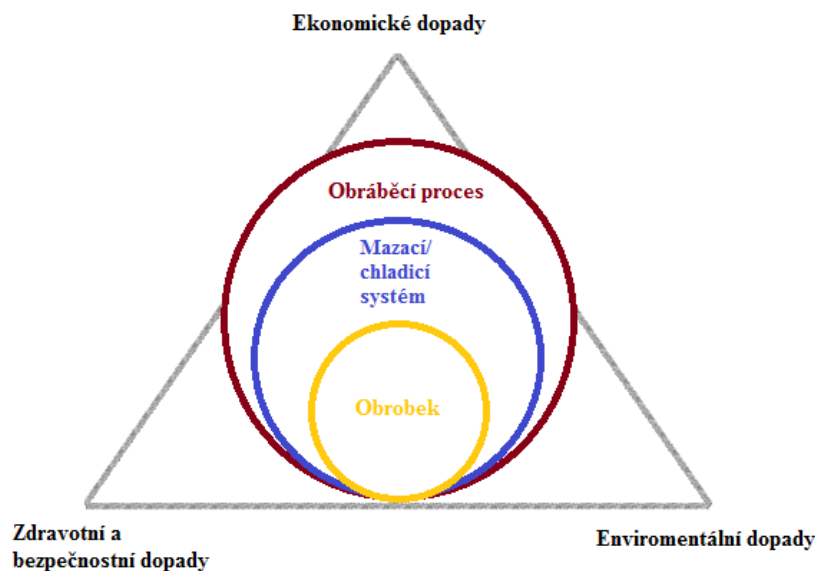
Obr. 25 Působení aditiv při obrábění [26].

5.2 Nároky na zdravotní a ekologickou nezávadnost řezných kapalin

Jsou dnes opodstatněně vyšší než dříve. Složení procesních kapalin je různé, z hodně složek. Každá složka v kapalině má svůj význam. Různé oleje a mazivostní přísady, podporují mazivost. Korozní inhibitory bránící vzniku koroze mají alkalický charakter, který může způsobovat podráždění kůže. U emulzí jsou důležité tenzidy, které udávají odolnost kapaliny vůči stárnutí a zlepšují oplachové schopnosti, ale jejich nadměrné množství může vést k pěnovitosti kapaliny a kožní dráždivosti. Biocidní přísady chrání kapalinu před rozmnožováním bakterií nebo plísní, podporují její životnost. Jsou ale charakterizovány jako nebezpečné složky, s vlivem na ekotoxicitu procesní kapaliny a jejich používání může vést ke vzniku alergických reakcí osob, které jsou kapalině vystaveny. Kožní nemoci a alergie či dýchací obtíže z inhalace par a aerosolů se velmi špatně léčí i z důvodu jejich recidivity. Procesní kapaliny, které se používají, by měly být zdravotně nezávadné [7, 30, 31].

Trh s trvale udržitelnými procesními kapalinami se dnes rozšiřuje a probíhá řada výzkumů. Například využití biologicky rozložitelných rostlinných nebo syntetických olejů jako náhradu ropných produktů a minerálních olejů, jejichž zdroje jsou neobnovitelné. Dále je tu tendence eliminovat a omezovat používání nebezpečných látek v procesních kapalinách (obr. 26). Například odstranění dusitanu sodného a aromatických sloučenin, použití více biologicky rozložitelné přísady a účinné využívání biocidů ve vodních kapalinách. Existuje široká škála základních kapalin, které lze použít jako alternativu k minerálním olejům

na bázi polyalkylenglykolů, rostlinných olejů, poly-alfaolefinů, esterů kyseliny dibasové a kapaliny na bázi polymerů [32].



Obr. 26 Ekonomické, environmentální a zdravotní a bezpečnostní dopady na udržitelnou výrobu – podle [32].

Ekonomika výroby hraje při výběru procesní kapaliny velkou roli. Zákazník posuzuje náročnost na údržbu, životnost a následně likvidaci média. Největší podíl na trhu mají proto vodou mísitelné řezné kapaliny s obsahem minerálního oleje, které ale způsobují ekologické škody. Předpokládá se, že zvyšující se ceny ropy ceny minerálních olejů zvýší. Jako náhrady minerálních olejů jsou dnes dostupné polymery mísitelné s vodou. Biopolymery jsou přírodní zdroje s vysokým průmyslovým potenciálem. Na obrázku v příloze 1, jsou znázorněny procesní média, které jsou porovnány z pohledu tržních cen. Tržní ceny namísto nákladů na životní cyklus mají rozhodující vliv na volbu spotřebitelů [33, 34].

5.3 Polymerní kapaliny

„Polymer je makromolekula sestávající z molekul jednoho nebo více druhů atomů nebo skupin spojených navzájem v tak velkém počtu, že řada fyzikálních a chemických vlastností této látky se nezmění přidáním nebo odebráním jedné nebo několika konstitučních jednotek. To, co odlišuje polymery od jiných materiálů, je řetězcová struktura jejich molekul, tj. dlouhá lineární řada vzájemně spojených atomů nebo skupin atomů převažující strukturní motiv, který může (ale nemusí) být občas přerušen místy větvení (např. u větvených nebo roubovaných polymerů, případně u polymerních sítí). Polymery typicky vznikají polymerizací nebo polykondenzací. Typickým příkladem jednoduchého polymeru může být polyethylen, známý pod zkratkou PE, příkladem uhlovodíkového polymeru může být polybutadien (nejstarší umělý kaučuk), a dalším příkladem složitějšího polymeru je např. polyvinylchlorid.“[34]

Ač složité na výrobu, nové tekuté polymery a polyolové aditivační přísady jsou vhodné pro aplikace pro zpracování kovů. Polymerní polyolové estery vykazují slučitelnost a rozpustnost s uhlovodíkovými oleji i s vodními nosnými kapalinami, v závislosti

na molekulární struktuře a molekulové hmotnosti. Jsou biologicky odbouratelné. Pokud tekuté polymery neobsahují jiné heteroatomy, představují malé riziko bioakumulace. Roztok čistě polymerových kapalin je čirý a průhledný. Postupem času však při obrábění mění svoji barvu a vzhled. Přesné složení polymerových kapalin nelze jednoznačně určit, protože nevíme, jaký druh tekutého polymeru ve své kapalině jednotliví výrobci používají. Během procesu obrábění dochází v rámci chlazení nástrojů k velkému úbytku obsažené vody a následnému zahušťování roztoku. Z tohoto důvodu je udržování správné koncentrace a kontroly polymerové lázně nebo roztoku ve výrobě náročné. Také je nutné udržování čistoty stroje, neboť občas dochází k zalepování pracovního prostoru. S rostoucí teplotou polymeru roste i její viskozita a zvyšuje několikanásobně tak svoji mazivost. Zpětným ochlazením se vrátí do původního stavu. Proto je výnos polymeru z obráběcí soustavy minimální. Mají vysokou mikrobiologickou stabilitu. Spotřeba koncentráту je u polymerových kapalin až o 80% nižší než u kapalin s minerálním olejem. K optimálního účinku polymerů potřebují vzniklou teplotu a tlaky, vznikající pro procesu obrábění. V následující tabulce jsou popsány výhody nevýhody polymerů [34].

Tab. 5 Výhody a nevýhody polymerů [34].

Výhody čistě polymerních obráběcích kapalin:	Nevýhody čistě polymerních obráběcích kapalin:
<ul style="list-style-type: none"> ● maximální mazací a chladičí kombinace bez obsahu minerálního oleje, ● nepění v závislosti na tvrdosti vody, ● lze je použít i pro velmi tvrdou vodu až do 100°dH, ● vyšší výkon ve srovnání se syntetickými a polosyntetickými kapalinami, ● nižší náklady vzniklé opotřebením nástrojů, ● odvádí dobře teplo, ● vysoká smáčivost, ale minimální výnos na třískách, ● nižší náklady na energii a údržbu stroje, ● čisté pracovní prostory stroje bez ropných zbytků, ● neabsorbují do sebe oleje ze systému mazání stroje, ● nízká spotřeba koncentráту, ● nejsou náchylné na přípravu roztoku z koncentráту, ● velice šetrné k pokožce, ● snadno se likvidují. 	<ul style="list-style-type: none"> ● vyšší koncentrace roztoku okolo 10 %, ● vysoká cena koncentráту, ● nelze je použít pro obrábění měkkých materiálů, ● občasné zalepování a tvorba lepivých úsad v pracovním prostoru a na stroji, které lze umýt vodou.

Výsledky experimentů

Jsou dostupné výsledky experimentů, kdy se porovnávaly procesní kapaliny na bázi olejů a polymerů v oblasti ekonomické, environmentální a technologické. Při experimentu, kdy byl materiál kalitelná karbonová ocel (DIN100Cr6) broušen kotouči z oxidu hlinitého (Al_2O_3 , relativní stupeň měkké tvrdosti) a z nitridem bóru (CBN, má relativně vysokou tvrdost). Oba nástroje byly vitrifikovány. Tyto dva typy byly vybrány k určení vlivu procesních kapalin na opotřebení brusného kotouče a výsledné drsnost povrchu. Emulze na bázi minerálního oleje měla nízkou mazací schopnost a vysokou schopnost chlazení. Polymerní kapalina, naředěná vodou měla střední mazací schopnost a vysokou schopnost chlazení. Tato kombinace ve srovnání s emulze na bázi minerálního oleje vede k pomalejší radiální opotřebení brusného kotouče díky vyššímu mazací schopnost a drsnost povrchu obrobku je srovnatelná nebo lepší. Pokud jde o ekologické aspekty, polymerní kapalina je lepší než procesní kapaliny na bázi olejů. Z hlediska ekonomického lze považovat polymerní kapaliny za srovnatelné nebo levnější, než konvenční procesní kapaliny na bázi olejů [35].

6 NÁVRH EXPERIMENTŮ

Cílem experimentů bylo zjistit, která procesní kapalina je nejvhodnější pro výrobu závitů M6 do oceli 54SiCr6 a jaký vliv má na kvalitu závitu. Kritériem pro hodnocení nejlepšího výsledku byly střední hodnoty krouticích momentů M_f , které mají přímou souvislost s energetickou složkou při výrobě závitů a silovým zatížením závitníku. Hodnocena byla i výsledná topografie povrchu s minimem poškození.

6.1 Tvářený materiál

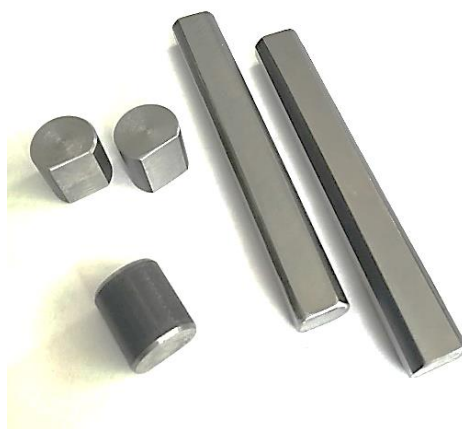
Pro všechny tvářené závity během experimentů bude zkušebním materiálem nízkolegovaná ušlechtilá křemíko-chromová ocel 54SiCr6 ve stavu válcovaném za tepla. Její chemické složení dle ČSN 41 4260 a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 6 [36].

Tab. 6 Chemické a mechanické vlastnosti oceli 54SiCr6 [36].

Chemické složení v hm. [%] (rozbor tavby)						
C	Si	Mn	P	S	Cr	Fe
0,51 - 0,59	1,20 - 1,60	0,50 - 0,80	max. 0,025	max. 0,025	0,50 - 0,80	zbytek
Mechanické vlastnosti						
Mez pevnosti Rm [MPa]	A ₅ min. [%]	Z min. [%]				
900 – 1150	≥ 14	≥ 32				

Zkušební polotovary měli tvar válečku, do kterých se před jednotlivými experimenty vyvrtaly průchozí díry. Všechny předvrtané díry byly zhotoveny vrtáky o doporučených průměrech dle katalogu výrobce závitníků, kdy se v první řadě navrtá do každého polotovaru pomocí středícího vrtáku středící důlek, poté se vrtá díra vrtákem, sražení hran otvoru záhlubníkem a následně karbidovým vrtákem pro požadovanou přesnost otvoru.

Pro první zkoušky na stolní vrtače byly použity polotovary válečku se frézovanou podélnou ploškou, s průměrem 17 mm a délkou 20 mm. Pro druhé zkoušky na CNC byly použity polotovary ve tvaru válečku, se rovnoběžně frézovanými ploškami pro lepší upnutí, o průmětu 15 mm a délce 100 mm. Polotovary jsou zobrazeny na obr. 27.

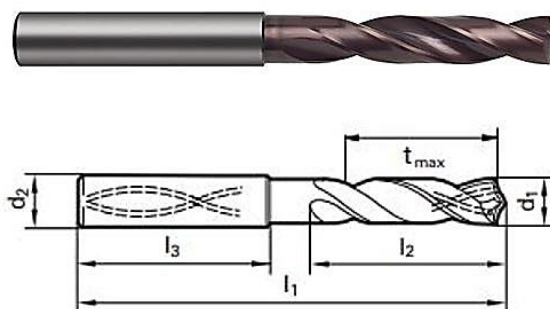


Obr. 27 Vzorové polotovary.

6.2 Volba nástroje

Kritéria pro výběr nástrojů zohledňovala materiál polotovaru, velikost a typ závitu, pro průchozí díry. Pro všechny experimenty byly zvoleny následující nástroje.

Pro vrtání díry pro závit byl pro požadovanou přesnost rozměrů použit vrták značky Gühring, typ VHM RATIOBOHRER SIGNUM DIN 6537K R RT100 HF 3XD (obr. 28) a jeho rozměry uvádí tabulka 7 [37].

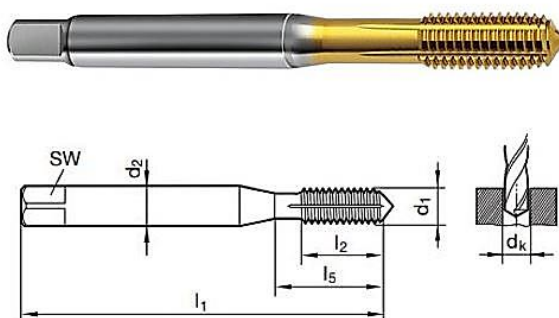


Obr. 28 Geometrie vrtáku [37].

Tab. 7 Rozměry vrtáku [37].

Rozměry vrtáku	d_1	d_2	l_1	l_2
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	5,6	6	66	28

Pro tváření závitů byl zvolen závitník značky závitník Gühring, typ HSS-E S-MASCH.-GFO DIN 371RN FORM C 6HX M 6 (obr. 29), z rychlořezné oceli s povlakem TiN. Jeho rozměry jsou uvedeny v tabulce 8.



Obr. 29 Geometrie závitníku [38].

Tab. 8 Rozměry závitníku [38].

Rozměry závitníku	d_1	d_2	d_k	SW	l_1	l_2	l_5
	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]
	M6 x0,75	6,00	5,65	4,90	80,00	13,00	30,00

6.3 Stroje

První zkoušky proběhly na stolní vrtače VS20, značky MAS. Nástroje byly upnuty v závitořezné hlavě typu NAREX Zhb 2. Před spuštěním experimentů byla hlava seřízena na minimální házivost, která byla změřena číselníkovým úchylkoměrem.

Druhé zkoušky proběhly na portálovém obráběcím centru MCV 1210, s řídicím systémem Sinumerik 840D (viz. Obr. 30). Závitníky byly upnuty v závitořezné hlavě značky EMUGE, typu F315 1C04.1 [39].



Obr. 30 Portálové obráběcí centrum MCV 1210 [39].

6.4 Tvářecí podmínky

Testování bylo naplánováno pro nízké a vysoké tvářecí rychlosti. Tvářecí podmínky byly zvoleny z doporučených hodnot v katalogu výrobce závitníků.

První experimenty proběhly na vrtače za následujících podmínek:

Pro první kolo experimentů byly zvoleny otáčky $n = 180 \text{ [min}^{-1}\text{]}$. Po dosazení do vztahu 3 se vypočítala tvářecí rychlost [26], jejíž výsledky jsou uvedeny v tab. 9:

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (3)$$

Kde: v_c [m.min⁻¹] – řezná rychlost

D [mm] – průměr nástroje

n [min⁻¹] – otáčky nástroje

Tab. 9 Tvářecí podmínky prvního experimentu.

Řezná rychlost v_c [m/min]	3,3
Posuv f [mm]	0,08
Otáčky n [1/min]	180
Procesní médium	A, B, C, D, E, F
Průměr předvrtané díry [mm]	5,6

Pro druhé kolo experimentů byly zvoleny otáčky $n = 3000$ [min⁻¹]. Po dosažení do vztahu 2 se vypočítala tvářecí rychlost a výsledky jsou v tabulce 10.

Tab. 10 Tvářecí podmínky druhého experimentu.

Řezná rychlost v_c [m/min]	56,54
Posuv f [mm]	1
Otáčky n [1/min]	3000
Procesní médium	A, B, C, D, E
Průměr předvrtané díry [mm]	5,6

6.5 Procesní média

Polymerové kapaliny byly dodány v koncentrátech (100 %).

Kapalina A je ve vodě rozpustná polymerní kapalina pro obrábění kovů. Koncentrát neobsahuje minerální oleje, bór a látky uvolňující formaldehyd. Roztok se připravuje ředěním koncentráту vodou, s refraktometrický faktor kapaliny je 1,5 %/° Brix.

Kapalina B je ve vodě rozpustná chladicí kapalina s širokou použitelností. Plně průhledná polymerová kapalina, bez obsahu minerálního oleje, kyseliny borité a formaldehydu. Kapalina neemulguje cizí oleje, má excelentní chladicí, detergentní a řezné vlastnosti a výbornou antikorozi ochranu. Roztok se připravuje ředěním koncentráту vodou, s refraktometrický faktor kapaliny je 1,25 %/° Brix. Dle bezpečnostního listu kapalina způsobuje vážné je škodlivá pro vodní organismy, s dlouhodobými účinky.

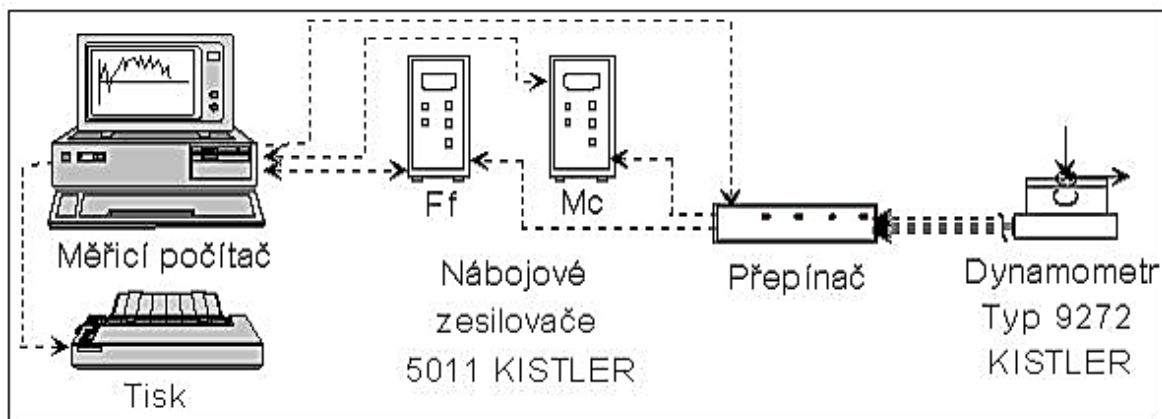
Kapalina C je ve vodě rozpustná chladicí polymerová kapalina pro nejnáročnější obrábění s vázanou sírou. Plně průhledná polymerová kapalina, bez obsahu minerálního oleje, kyseliny borité a formaldehydu. Kapalina neemulguje cizí oleje, má excelentní chladicí, detergentní a řezné vlastnosti a výbornou antikorozi ochranu. Roztok se připravuje ředěním koncentráту vodou, s refraktometrický faktor kapaliny je 1,4 %/° Brix. Dle bezpečnostního listu kapalina způsobuje vážné je škodlivá pro vodní organismy, s dlouhodobými účinky.

Procesní médium D má pevnou formu, prášku nažloutlé barvy. Mazivo je založeno na směsi vápenatého a sodného mýdla. Vytváří silnou a stabilní vrstvu maziva (filmu). Jeho nevýhodou je vznikající prašnost na pracovišti, kde se používá.

Tažná pasta E je vhodná pro tváření. Je to sloučenina s vysokou viskozitou, která je určena k použití v zásobnících při tváření. Neobsahuje chlór, má hnědou barvu, nízký vliv na životní prostředí. Je formulována jako přírodní náhražka prášků ze sodíku a vápníku, grafitu a prášků na bázi disulfidu molybdenu pro tváření.

6.6 Měřicí technika

Krouticí moment a posuvová síla se u jednotlivých měření bude zaznamenávat pomocí piezoelektrický křemíkový dynamometr KISLER 8257B s nábojovými zesilovači KISLER 9011A, které jsou řízené počítačem (obr. 31) [40].



Obr. 31 Schéma měření s piezoelektrickou soustavou KISLER [40].

6.7 Měření povrchového profilu závitů

Po zkouškách na vrtačce a CNC byly jednotlivé závity frézovány do poloviny svého průměru a několikanásobně vyčištěny v ultrazvukové čističce. Závity byly nafotografovány na bezkontaktní měřicí technice Alicona a následně na elektronovém mikroskopu SEM s detektorem sekundárních elektronů při urychlovacím napětí 20 kV při různých zvětšeních.

7 REALIZACE A VÝSLEDKY EXPERIMENTŮ

Experimenty proběhly v dílně, v prostorech ÚST FSI v Brně. Průběh a podmínky všech zkoušek na vrtačce byly stejné, stejně tak na portálovém obráběcím centru, měnily se jen procesní média. Vyrobené závity pak byly frézovány do poloviny svého průměru a pod mikroskopy nafotografovány. Byla posouzena kvalita povrchu závitů. Díky velkému množství vzorků, budou v této kapitole rozebrány výsledky zkoušek pro **kapalinu A**. Shrnuté výsledky ostatních procesních kapalin a prášku budou uvedeny v příloze č. 2 až 4.

Příprava procesních kapalin

Polymerové kapaliny byly dodány v koncentrátech (100%). Během experimentů byly použity následující koncentrace (tab. 12). Polymerní kapaliny byly ředěny objemově vodou, jejíž rozbor je uveden v tab. 11.

Tab. 11 Rozbor vody.

Rozbor vody	
Vodivost [mikroS/cm]	457,00
pH	7,72
TDS – solnost [mg/l]	237,00
tvrdost vody [mmol/l]	1,90
p-hodnota [mmol/l]	0
železo [mg/l]	pod 0,10

Požadované koncentrace byly měřeny pomocí refraktometru a hodnota odečtená na refraktometru přepočítána podle příslušného refraktometrického faktoru kapaliny. Konečné hodnoty koncentrace, kterých se ředěním dosáhlo, jsou v uvedeny v tab. 12.

Tab. 12 Označení a koncentrace kapalin.

Označení měření	Požadovaná koncentrace [%]	Skutečná koncentrace [%]
A12	12,00	11,25
A20	20,00	21,00
A30	30,00	30,00
B10	10,00	10,63
B30	30,00	30,00
B50	50,00	46,50
C10	10,00	11,90
C30	30,00	28,00
C50	50,00	46,90

7.1 Realizace zkoušek na vrtačce a statistické vyhodnocení výsledků

Nástroje – středící vrták, vrták z HSS, výstružník, celokarbidový vrták a závitník byly upnuty do závitořezné hlavy NAREX Zhb2. Obvodová házivost, změřená číselníkovým úchylkometrem, byla 0,01 mm. Měřicí zařízení Kistler bylo nastaveno na snímání časového úseku 10s, s 1000 naměřených hodnot. Polotovár byl upnutý do svěřacího přípravku na vrtačce, při tváření závitu byl zplavován příslušnou procesní kapalinou (obr. 32 a). Polotovár měl tvar válečku s průměrem 17 mm, s frézovanou podélnou ploškou, pro označení (obr. 32 b).



Obr. 32 a) proces tváření závitu, b) hotové označené závity.

Pro každou koncentraci zkoušené procesní kapaliny byly vytvářeny 3 závity, označené dle principu uvedeného v tabulce 13. Stejným způsobem byla označena i zbývající měření pro další procesní média.

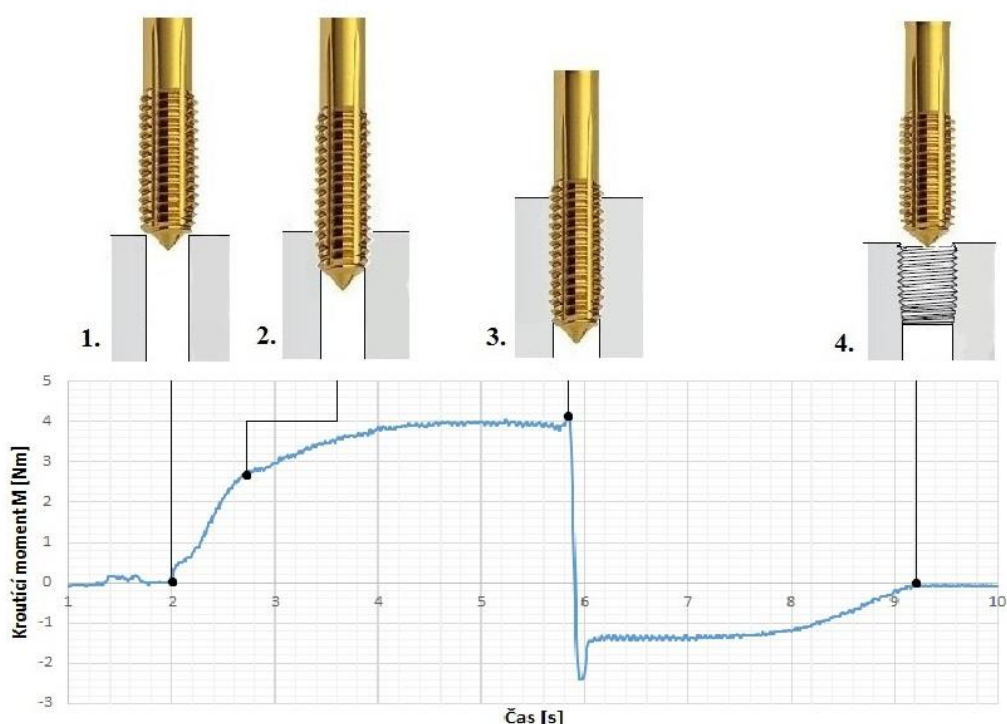
Tab. 13 Označení vzorků zkoušky

Typ kapaliny	Koncentrace	Označení vzorku
A	12%	A12a
		A12b
		A12c
	20%	A20a
		A20b
		A20c
	30%	A30a
		A30b
		A30c

7.1.1 Tvářenání závitů

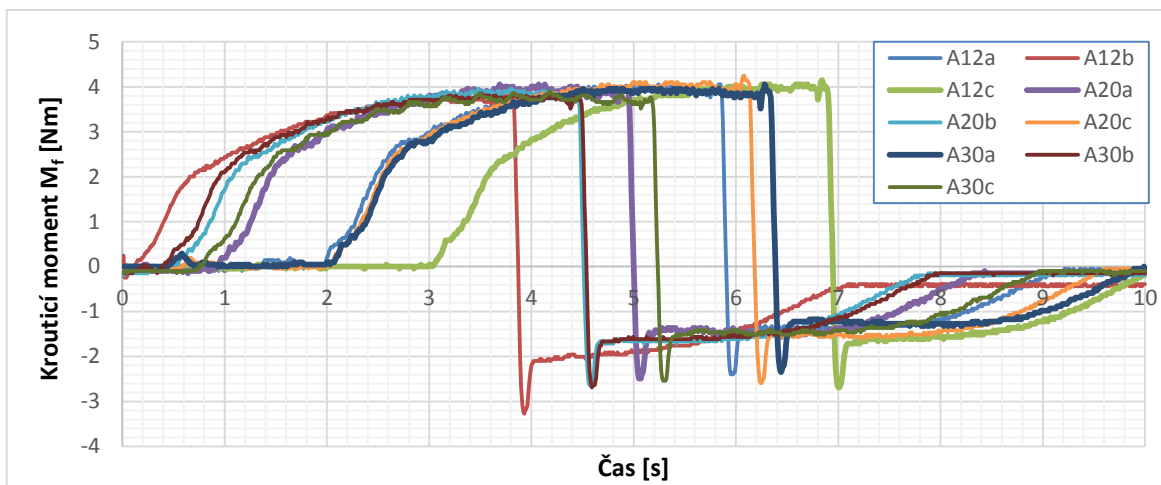
Průběh tvářenání závitu v závislosti na čase

Celý průběh tvářenání závitu a polohy (1., 2., 3. a 4.) závitníku v závislosti na křivky krouticího momentu M_f na čase je zobrazen na obrázku 33. V první části náběh závitníku vniká do polotovaru a krouticí moment postupně vzrůstá. V druhé části procesu narůstá krouticí moment dodatečným třením ve vodící části závitníku a nejvyšších hodnot dosahuje po brždění vřetena, těsně před třetí pozicí závitníku. Těsně za třetí pozicí se vřeteno zastaví a začíná reverze. Mezi třetí a čtvrtou pozicí závitníku, třecí moment ve vodící části závitníku opět mírně stoupá, dokud závitník nevyjede z polotovaru. Tvářenání závitů (části 1. až 3. poloha závitníku na obr. 33) na stolní vrtače trvalo přibližně kolem 4 sekund.

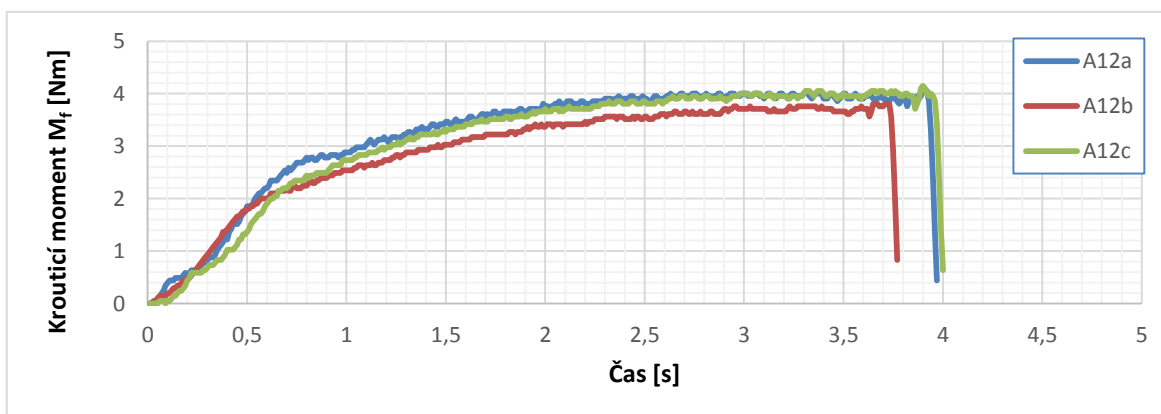


Obr. 33 Křivka krouticího momentu v závislosti na čase; časové fáze zatížení nástroje.

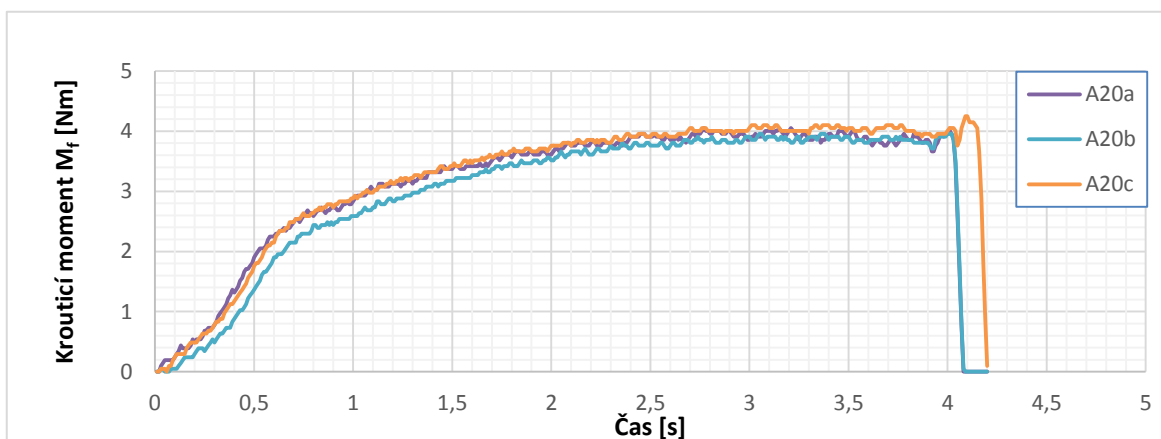
Naměřené hodnoty byly zpracovány v programu MS Excel, kde byly vykresleny křivky krouticích momentů M_f v závislosti na čase do grafu (obr. 34). Pro lepší znázornění porovnání velikostí krouticích momentů byly křivky jednotlivých zkoušek dle koncentrace rozděleny a posunuty v grafech do stejných časových počátků (obr. 35 až 37).



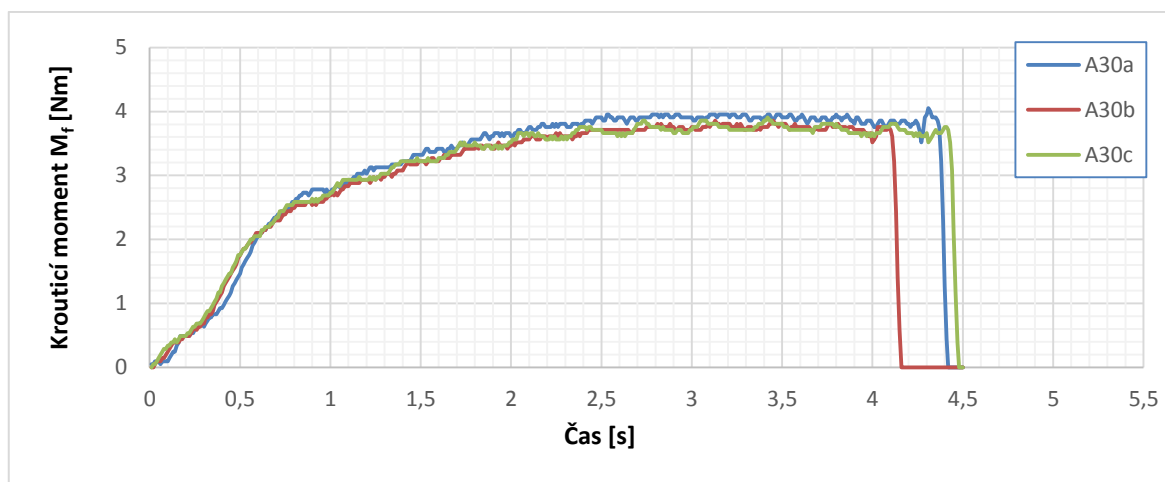
Obr. 34 Průběh všech křivek kroučících momentů z 1. zkoušky, experimenty s kapalinou A.



Obr. 35 Srovnání průběhů křivek kroučících momentů s použitím kapaliny A (o koncentraci 12%).

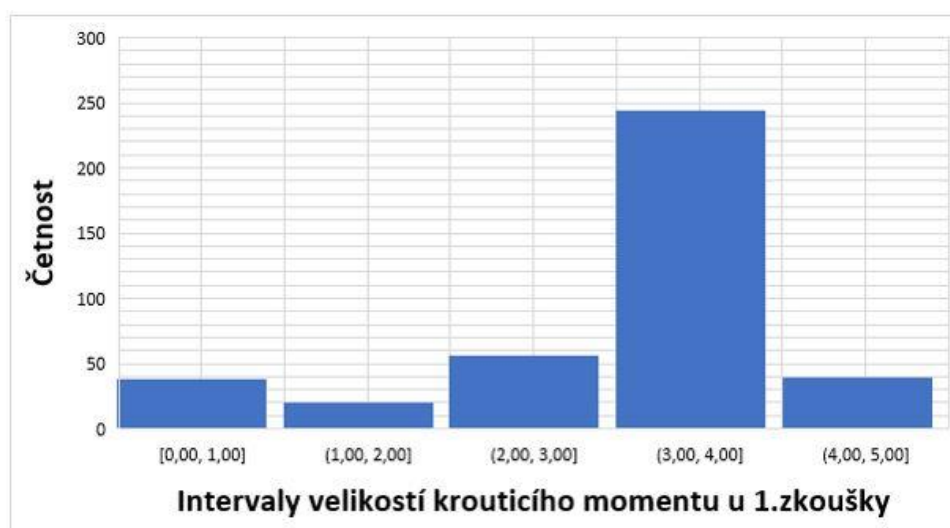


Obr. 36 Srovnání průběhů křivek kroučících momentů s použitím kapaliny A (o koncentraci 20%).



Obr. 37 Srovnání průběhů tváření na vrtačce s použitím kapaliny A (o koncentraci 30%).

Na níže uvedeném histogramu (obr. 38) jsou uvedeny absolutní četnosti velikostí krouticích momentů, rozdělené do intervalů dle velikosti. Na základě podobnosti tvaru křivek krouticích momentů a tohoto histogramu, byla pro popisnou statistiku vybrána data – 200 hodnot těsně před vyjetím závitníku z každého pokusu, tj. přibližně 600 hodnot pro kapalinu o dané koncentraci. Na obr. 33 je to část křivky před třetí pozicí závitníku.

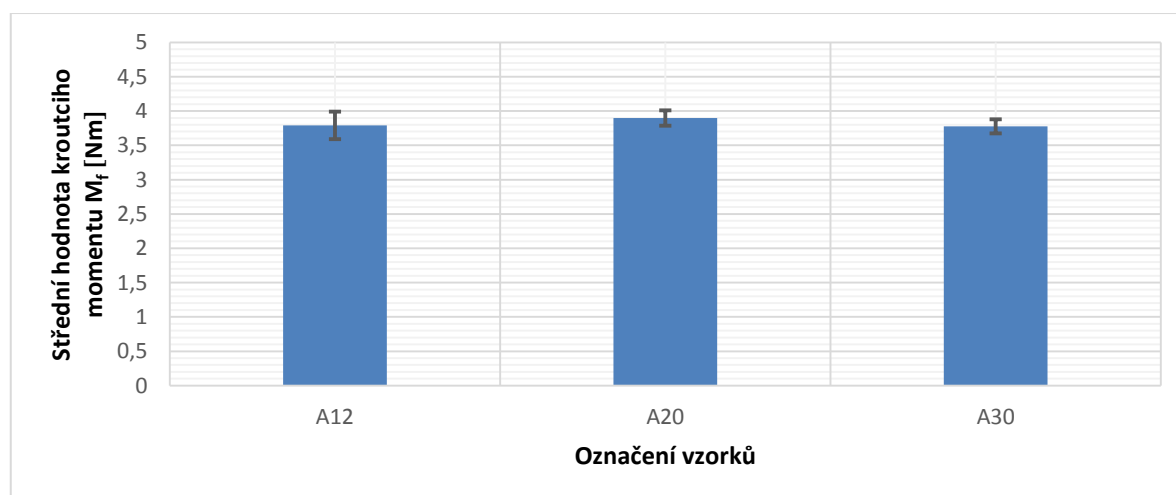


Obr. 38 Histogram – rozdělení dle velikostí krouticého momentu.

Popisnou statistikou byly stanoveny střední hodnoty krouticích momentů jednotlivých experimentů (tab. 14) a graficky znázorněny na obr. 39.

Tab. 14 Popisná statistika dat kroučicího momentu z 1. zkoušky.

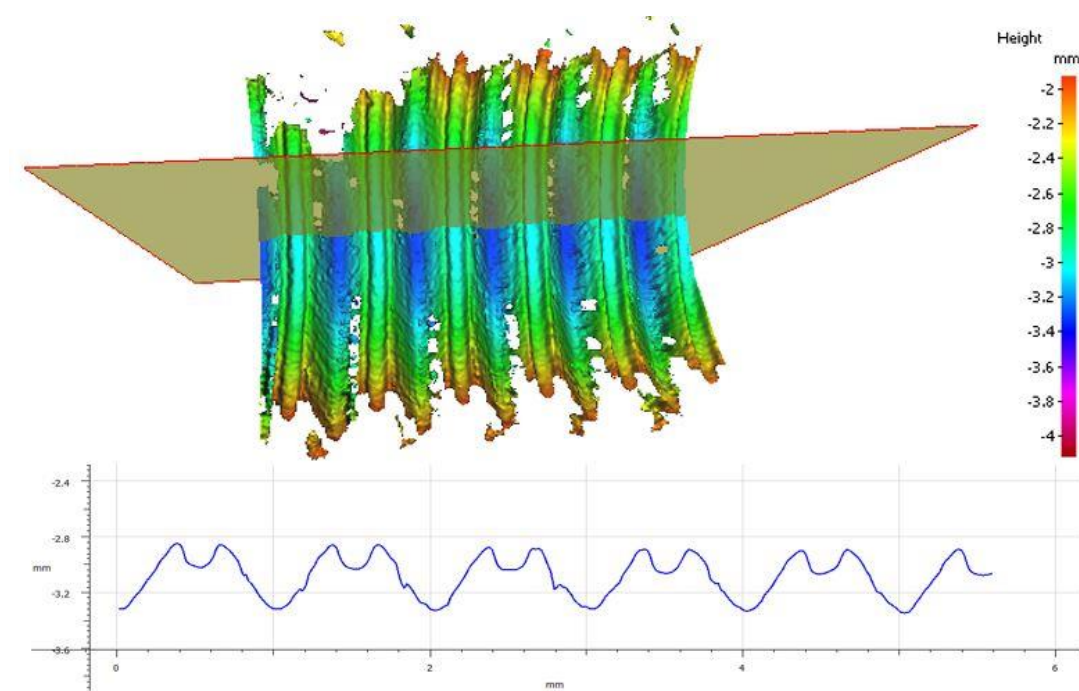
	A12	A20	A30
Stř. hodnota	3,790327	3,896512	3,77664
Chyba stř. hodnoty	0,008163	0,004579	0,004092
Medián	3,857	3,906	3,76
Modus	3,955	3,906	3,711
Směr. Odchylka	0,199941	0,111971	0,100392
Rozptyl výběru	0,039976	0,012538	0,010079
Špičatost	0,314568	0,052181	-0,64606
Šikmost	-0,96053	-0,15742	0,072886
Variační rozpětí	0,927	0,684	0,537
Minimum	3,223	3,564	3,516
Maximum	4,15	4,248	4,053
Součet	2274,196	2330,114	2273,537
Počet hodnot	600	598	602



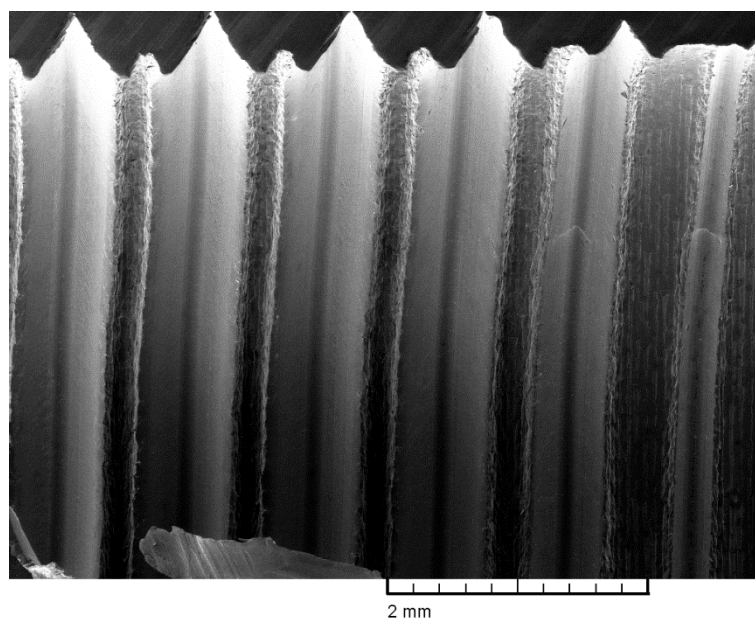
Obr. 39 Srovnání velikostí středních hodnot kroučících momentů 1. zkoušky s směr. odchylkou.

7.1.2 Měření povrchového profilu závitů

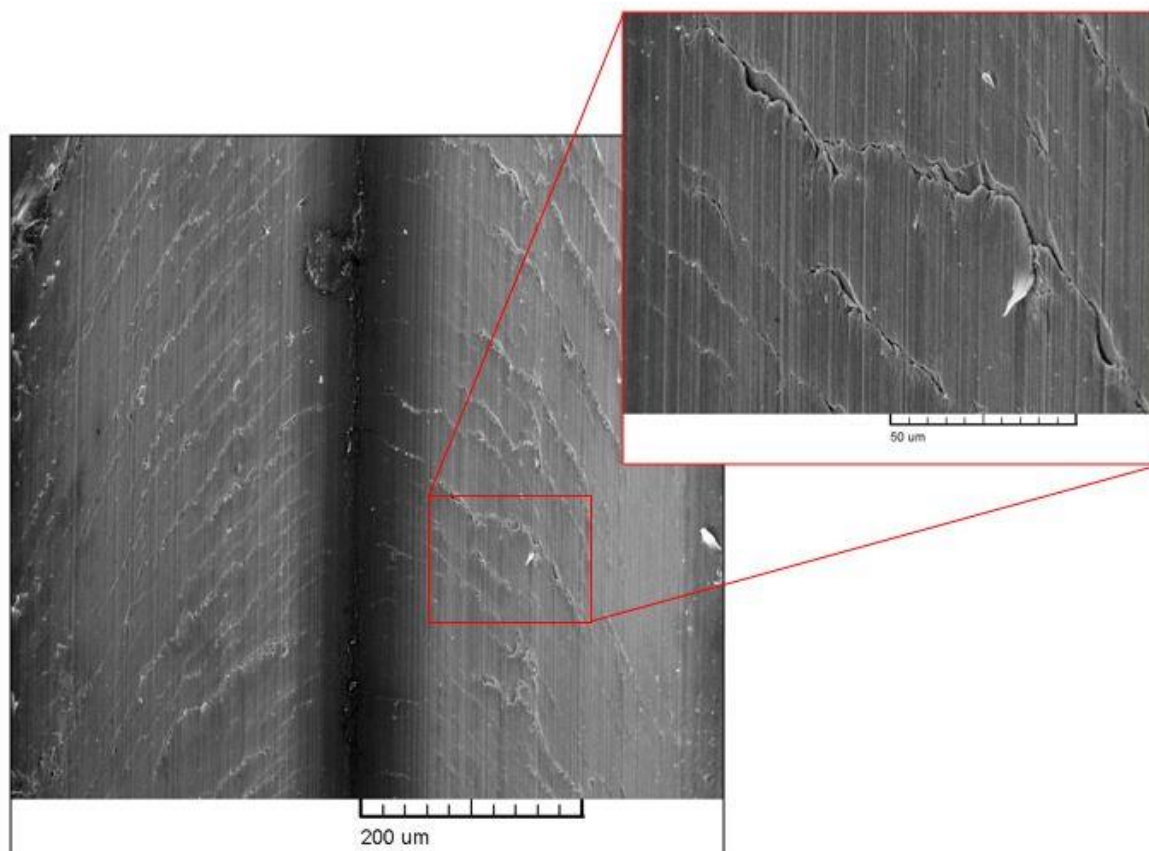
Dle postupů uvedených kap. 6.7 byly závity vyčištěny a nafotografovány. Na následujících obrázcích jsou povrchy a profily jednotlivých vzorků závitů A12a (obr. 40 až 42), A20a (obr. 43 až 45) a A30a (obr. 46 až 48), podle působení jednotlivých koncentrací procesní kapaliny.

Závit A12a

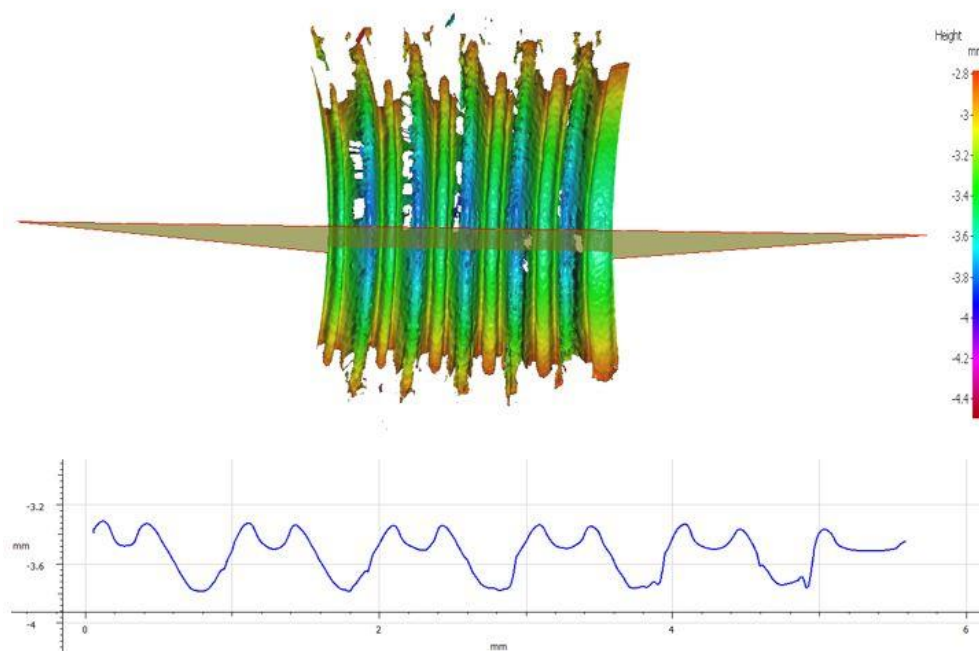
Obr. 40 Řez a profil závitu A12a.



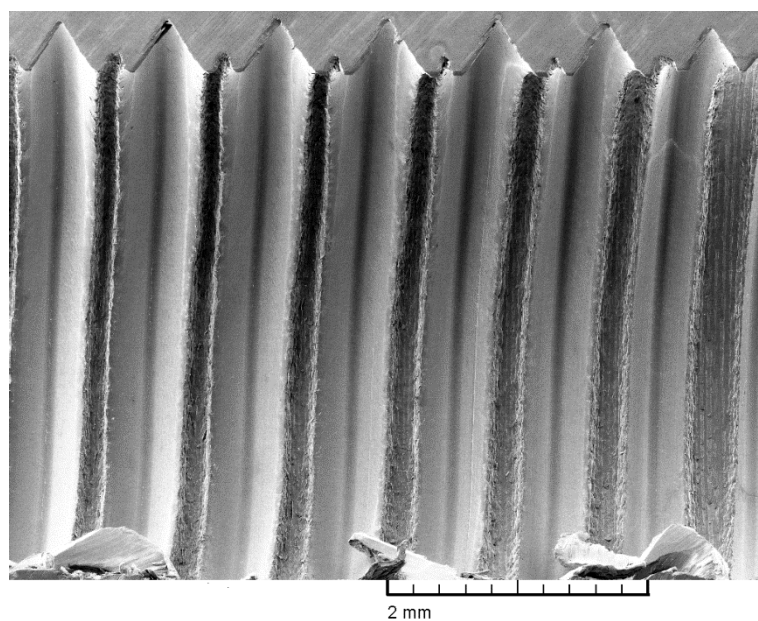
Obr. 41 Detail závitu A12a.



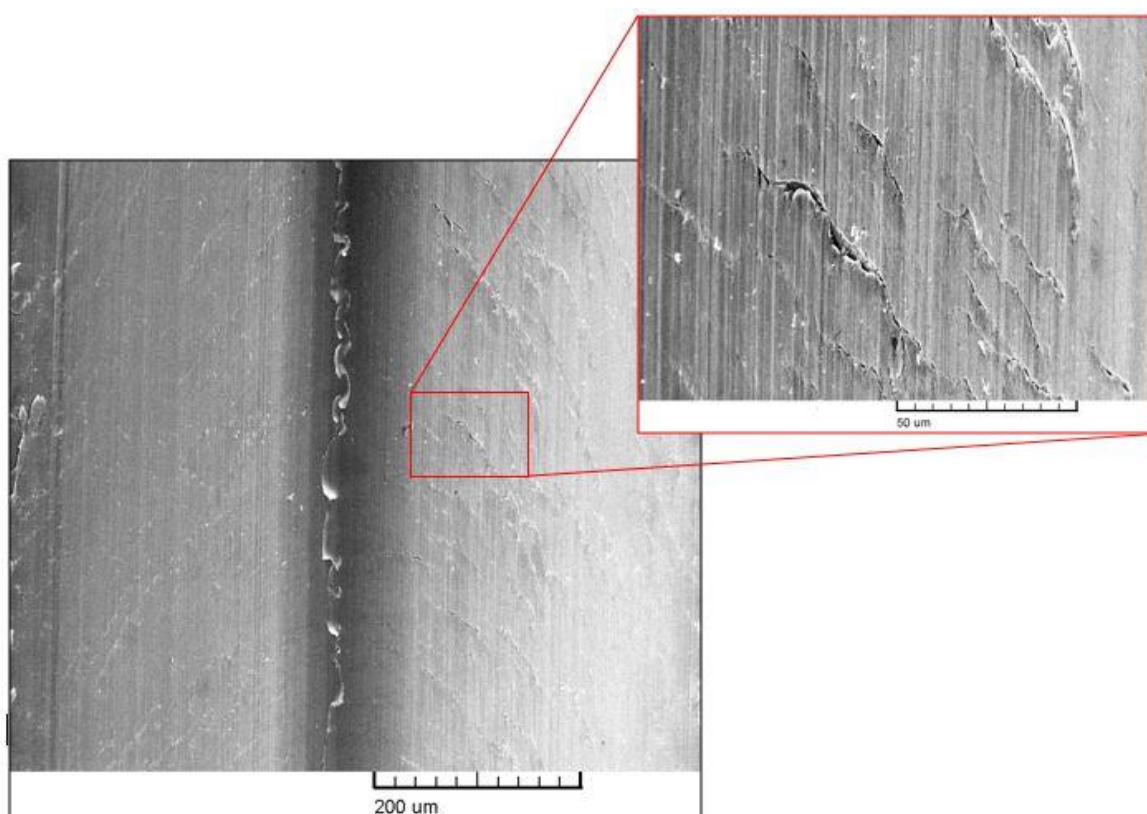
Obr. 42 Detail stěny závitu u vzorku A12a.

Závit A20a

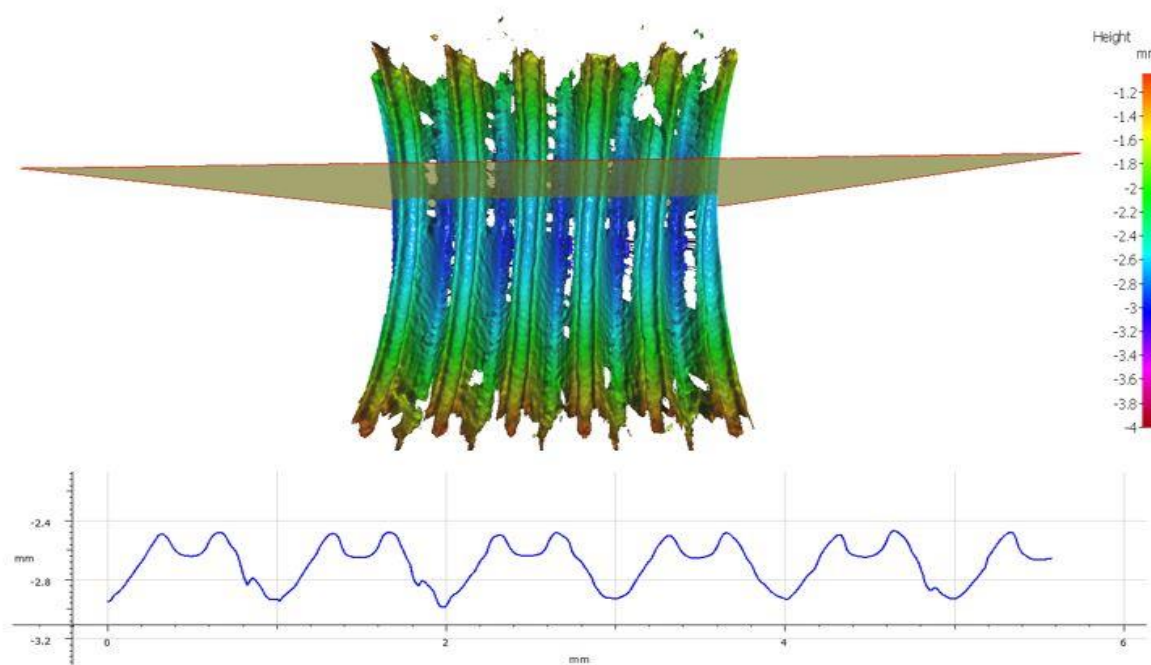
Obr. 43 Řez a profil závitu A20a.



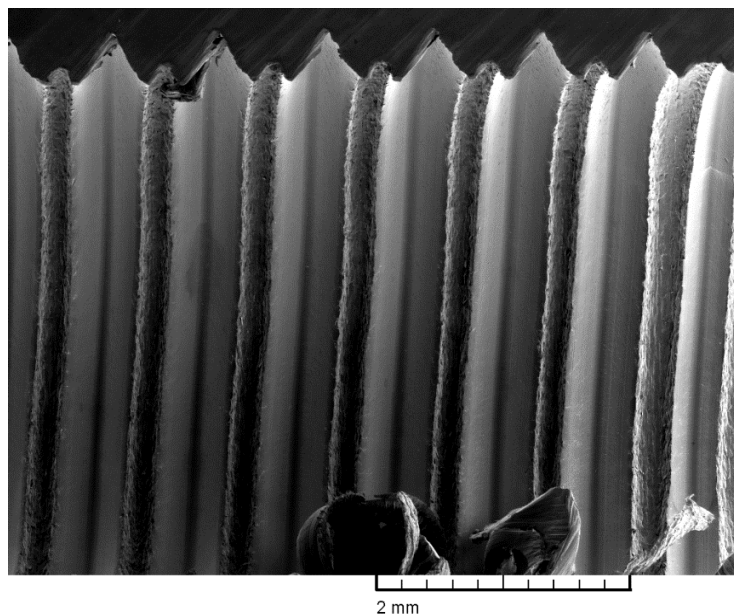
Obr. 44 Detail závitů A20a.



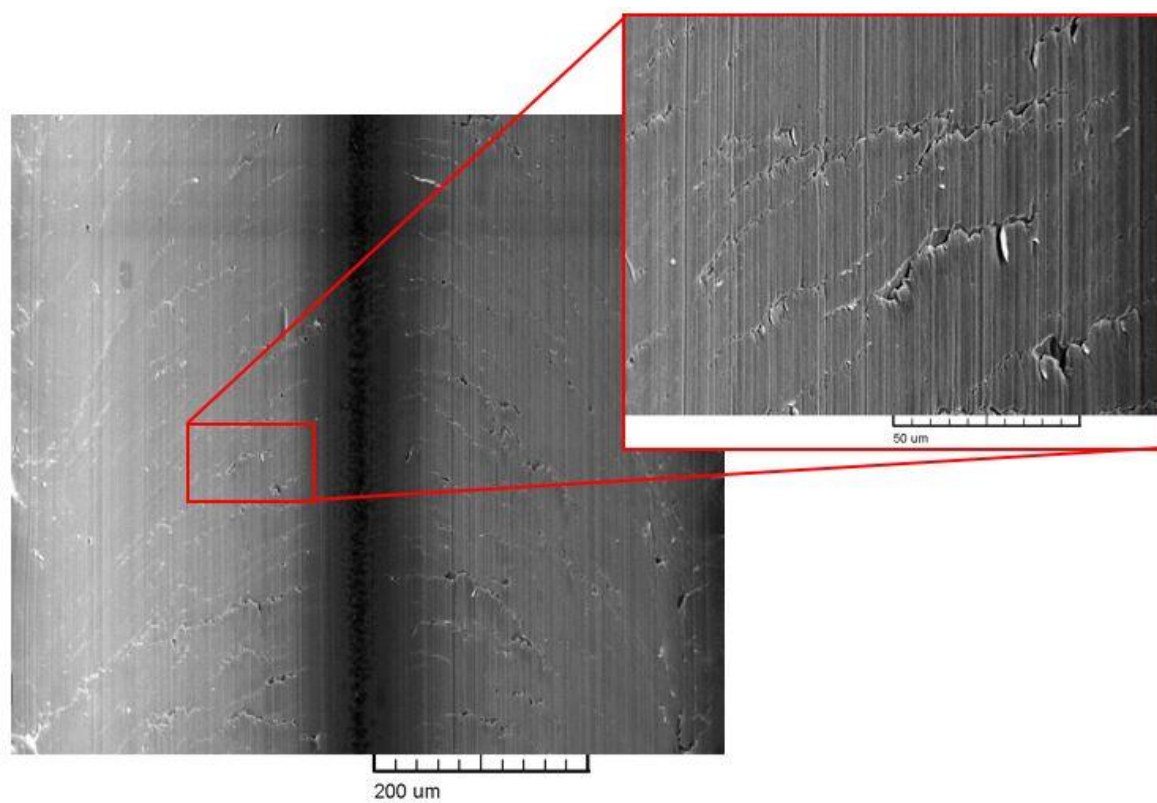
Obr. 45 Detail stěny závitů u vzorku A20a.

Závit A30a

Obr. 46 Řez a profil závitů A30a.



Obr. 47 Detail závitů A30a.

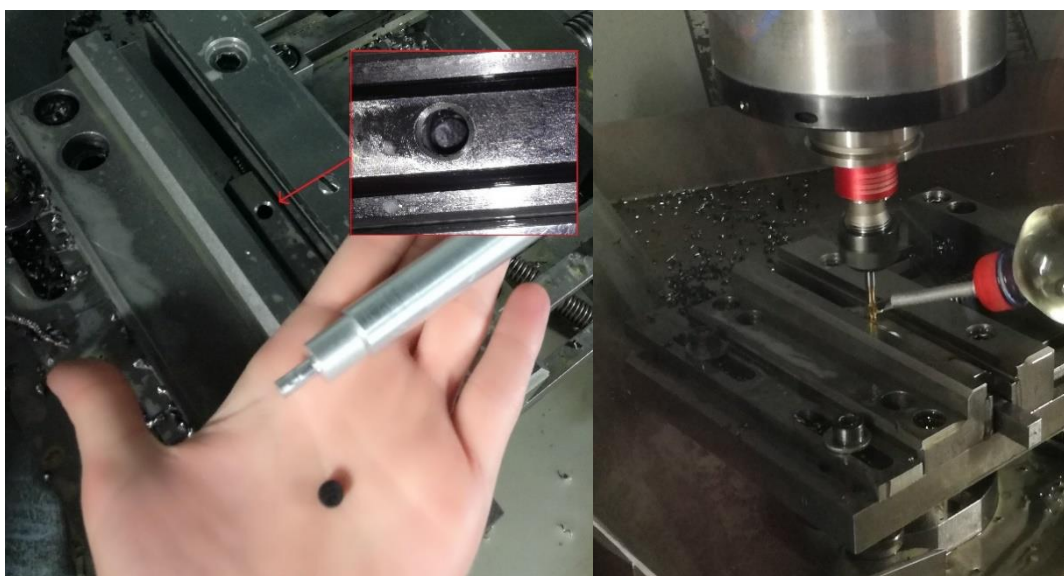


Obr. 48 Detail stěny závitu u vzorku A30a.

7.2 Realizace zkoušek na CNC stroji a statistické vyhodnocení výsledků

Závitníky byly upnuty do závitorezné hlavy EMUGE. Měřicí zařízení Kistler bylo nastaveno na snímání časového úseku 10 s, s 5000 naměřených hodnot. Polotovaru měl tvar válečku s průměrem 15 mm, se se rovnoběžně frézovanými ploškami pro lepší upnutí a označení.

Při druhém kole zkoušek na portálovém obráběcím centru byly z důvodu vysoké tvářecí rychlosti, kdy se závit dle naměřených dat tvářel během 1 sekundy, díry v polotovaru upcány gumovou zátkou a poté zaplaveny procesním médiem, aby bylo zaručeno zaplavení tvářeného prostoru. Procesní médium bylo doléváno i během procesu výroby závitu (obr. 49 a, b).

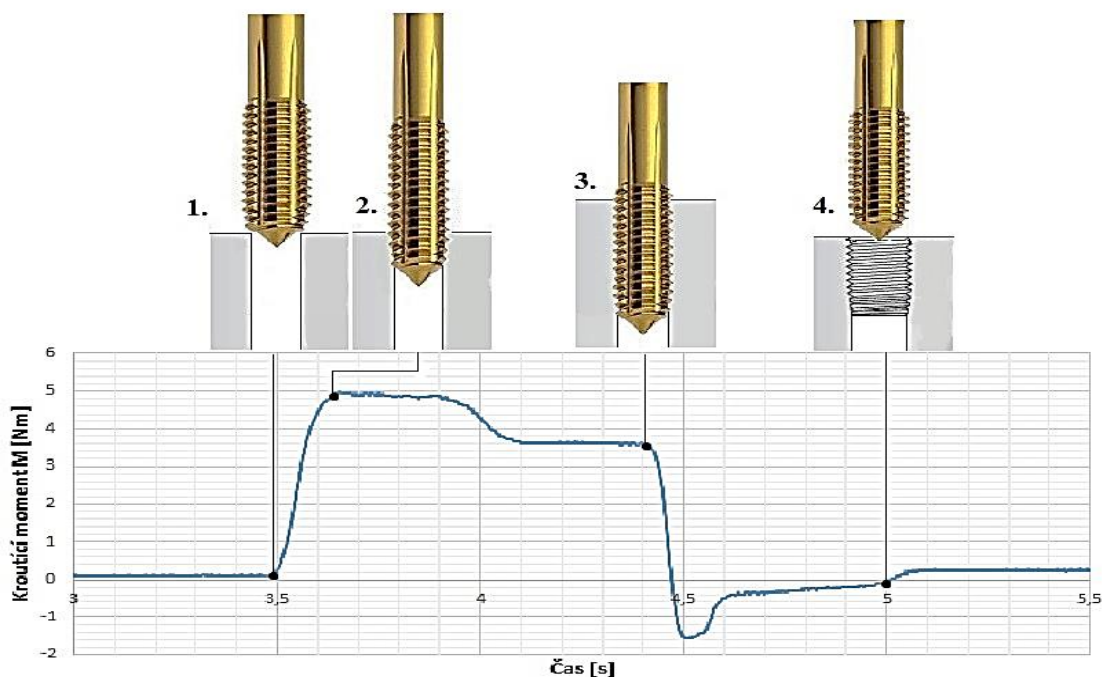


Obr. 49 a) Princip upcání díry v polotovaru, b) proces tváření závitu.

7.2.1 Tváření závitů

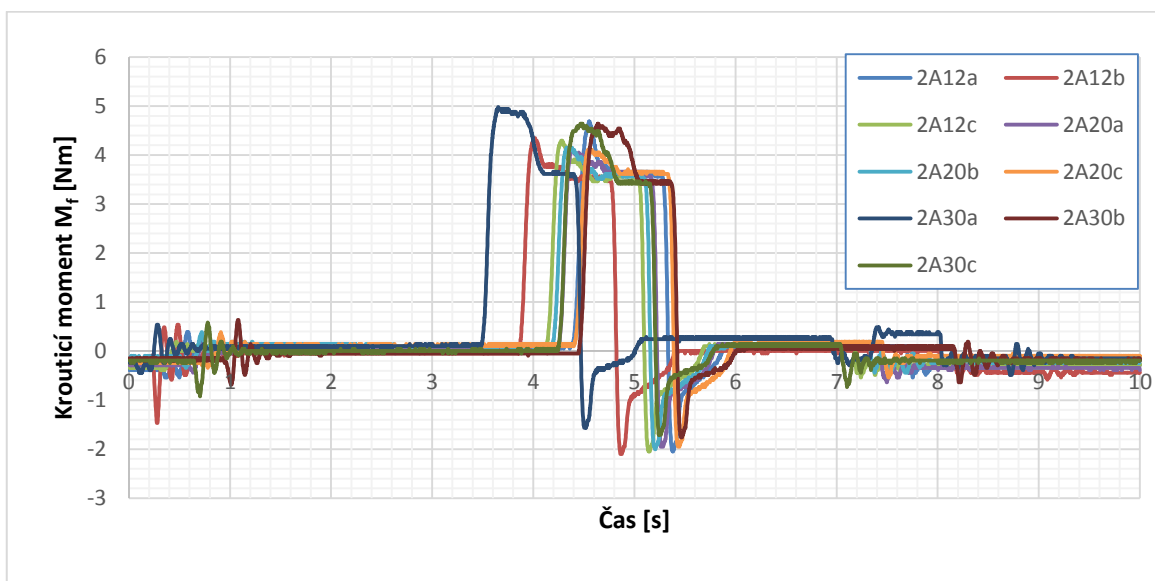
Průběh tváření závitu v závislosti na čase

Celý průběh tváření závitu a polohy (1., 2., 3. a 4.) závitníku v závislosti na křivky krouticího momentu M_f na čase je zobrazen na obr. 50. V první části náběh závitníku vniká do polotovaru a krouticí moment postupně vzrůstá. V druhé části procesu dochází k poklesu krouticího momentu M_f , nejvyšších hodnot dosahuje v první půlce tváření závitu, za druhou pozicí závitníku. Těsně za třetí pozicí se vřeteno zastaví a začíná reverze. Mezi třetí a čtvrtou pozicí třecí moment ve vodící části závitníku opět mírně stoupá, dokud závitník nevyjede z polotovaru. U tváření závitů na CNC byl proces velmi rychlý. Závit se utvářel během 1 sekundy.

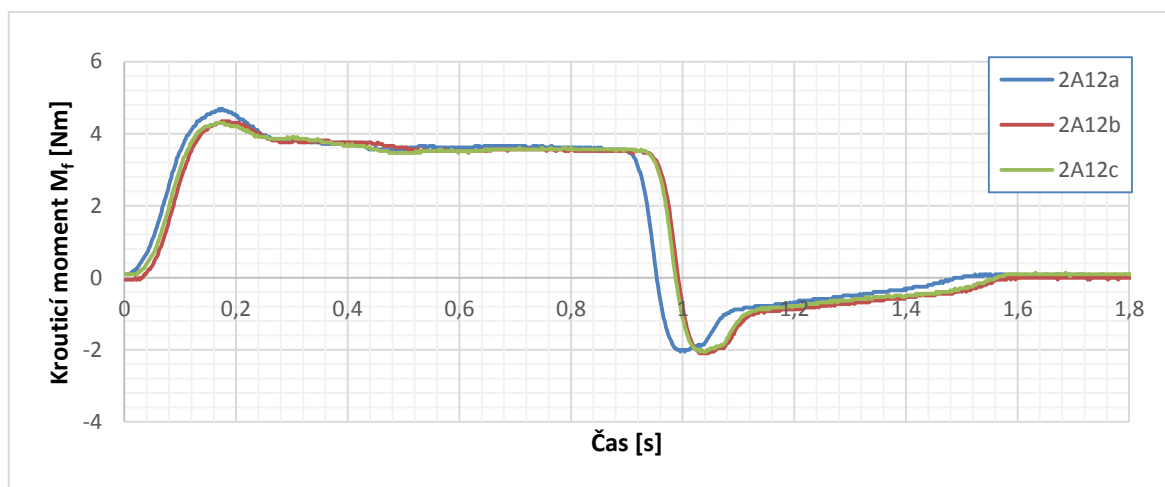


Obr. 50 Křivka krouticího momentu v závislosti na poloze závitníku, časové fáze zatížení nástroje.

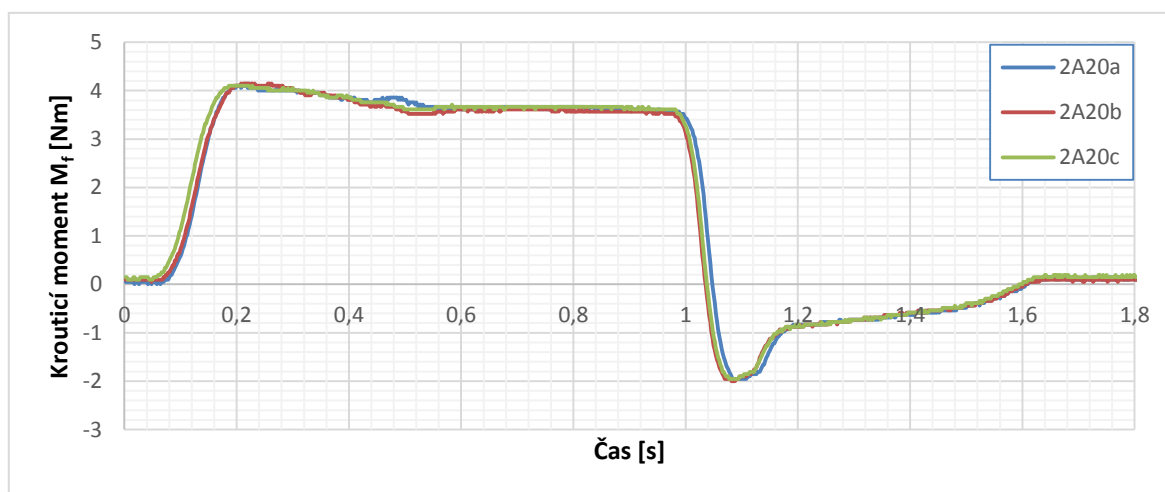
Naměřené hodnoty byly zpracovány v programu MS Excel, kde byly vykresleny křivky krouticích momentů M v závislosti na čase do grafu (obr. 51). Pro lepší znázornění porovnání velikostí krouticích momentů byly křivky jednotlivých zkoušek dle koncentrace rozděleny a posunuty do stejných časových počátků (obr. 52 až 54).



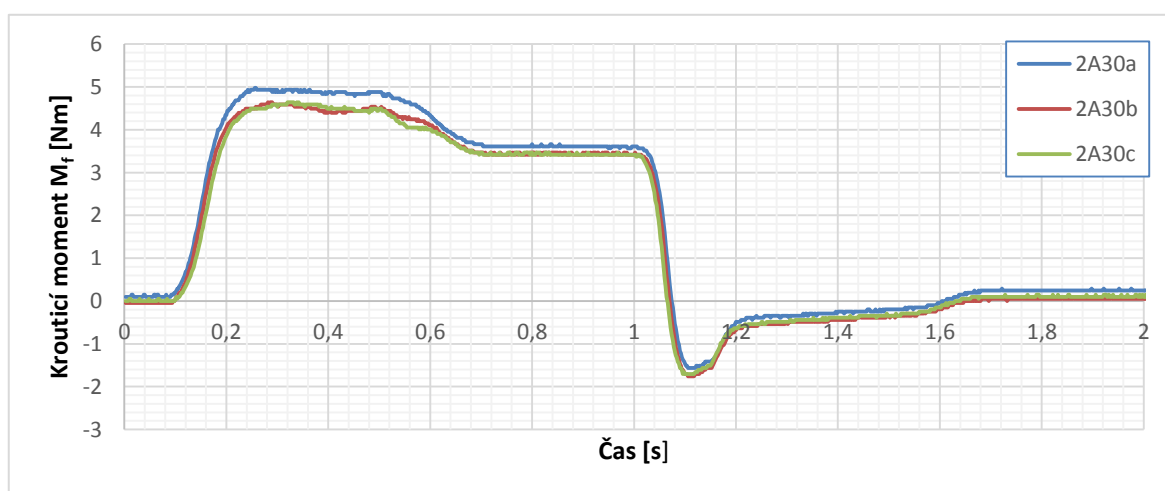
Obr. 51 Průběh všech krouticích momentů z 2. zkoušky, experimenty s kapalinou A.



Obr. 52 Srovnání průběhů tváření na CNC s použitím kapaliny A (o koncentraci 12%).



Obr. 53 Srovnání průběhů tváření na CNC s použitím kapaliny A (o koncentraci 20%).



Obr. 54 Srovnání průběhů tváření na CNC s použitím kapaliny A o (koncentraci 30%).

Na níže uvedeném histogramu (obr. 55) jsou uvedeny absolutní četnosti velikostí kroučících momentů, rozdělené do intervalů dle velikosti. Na základě podobnosti tvaru křivek kroučících momentů a tohoto histogramu, byla pro popisnou statistiku vybrána data – 226 až 243 hodnot těsně za druhou pozicí závitníku, tj. 700 hodnot pro kapalinu o dané koncentraci. Na obr. 50 je to část křivky za druhou pozicí závitníku.

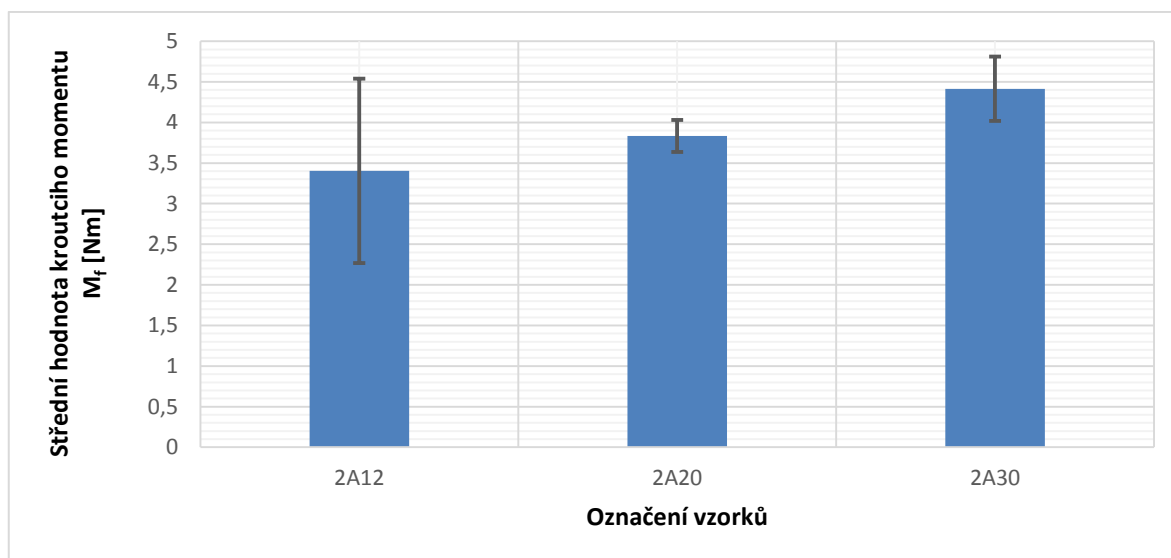


Obr. 55 Histogram – rozdělení velikostí kroučícího momentu.

Popisnou statistikou byly stanoveny střední hodnoty kroučících momentů jednotlivých experimentů (tab. 15) a graficky znázorněny na obr. 56. Pro tuto statistiku byly vybrány data.

Tab. 15 Popisná statistika dat kroučícího momentu.

	2A12	2A20	2A30
Stř. hodnota	3,403862	3,831796	4,414052
Chyba stř. hodnoty	0,042029	0,007566	0,014686
Medián	3,76	3,857	4,492
Modus	3,76	4,004	4,492
Směr. Odchylka	1,134778	0,197005	0,396511
Rozptyl výběru	1,287722	0,038811	0,157221
Špičatost	2,426471	0,141797	3,07821
Šikmost	-1,88388	-0,5087	-1,3422
Variační rozpětí	4,73683	1,123	2,587
Minimum	-0,04883	3,027	2,393
Maximum	4,688	4,15	4,98
Součet	2481,415	2597,958	3217,844
Počet hodnot	729	678	729

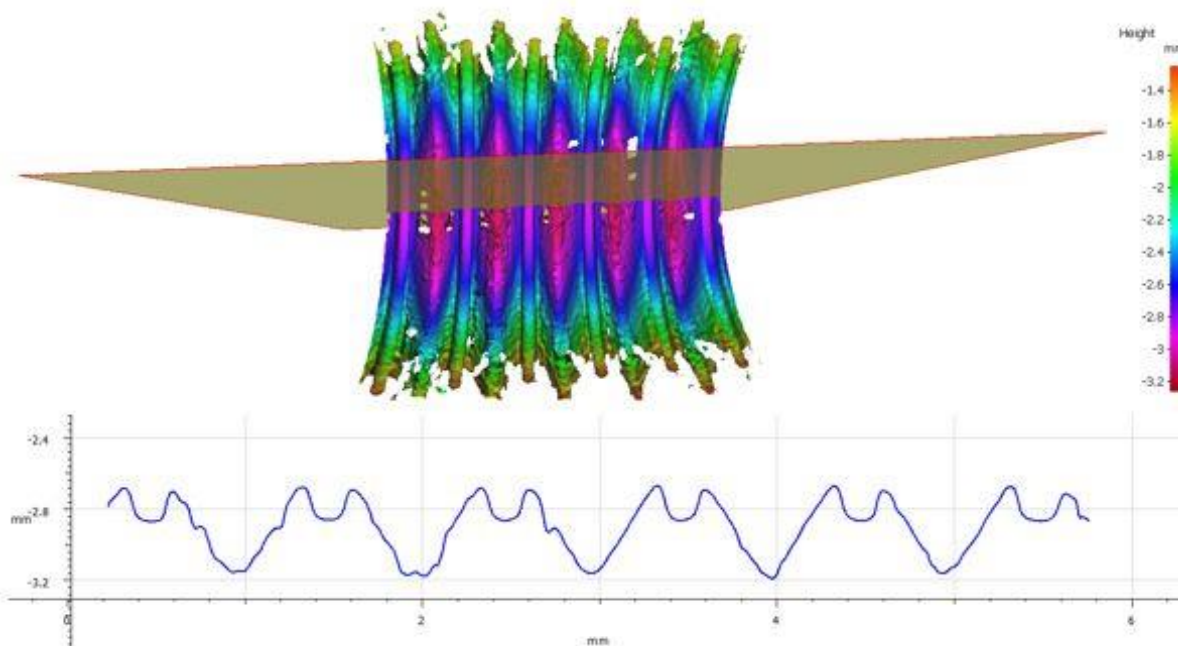


Obr. 56 Srovnání velikostí středních hodnot krouticích momentů 2. zkoušky s směr. odchylkou.

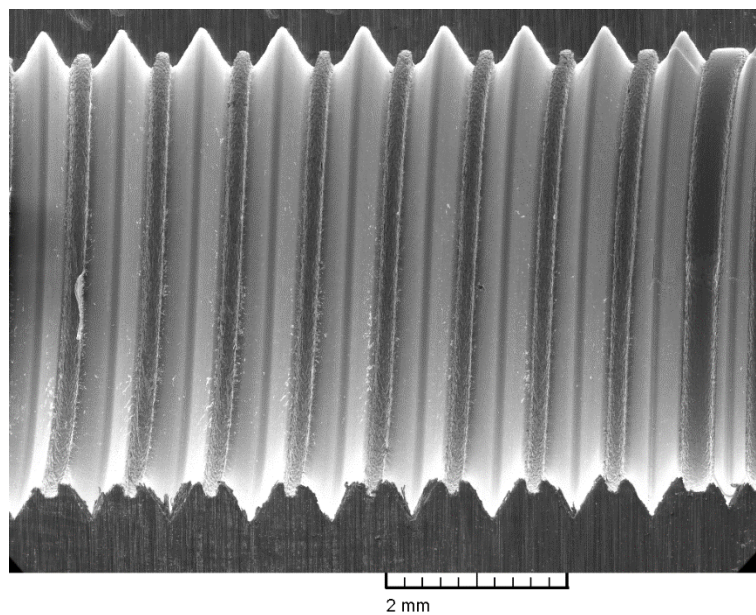
7.2.2. Měření povrchového profilu závitu

Dle postupů uvedených kap. 6.7 byly závity vyčištěny a nafotografovány. Na následujících obrázcích jsou povrchy a profily jednotlivých vzorků závitů 2A12a (obr. 57 až 59), 2A20a (obr. 60 až 63) a 2A30a (obr. 64 až 66), podle působení jednotlivých koncentrací procesní kapaliny.

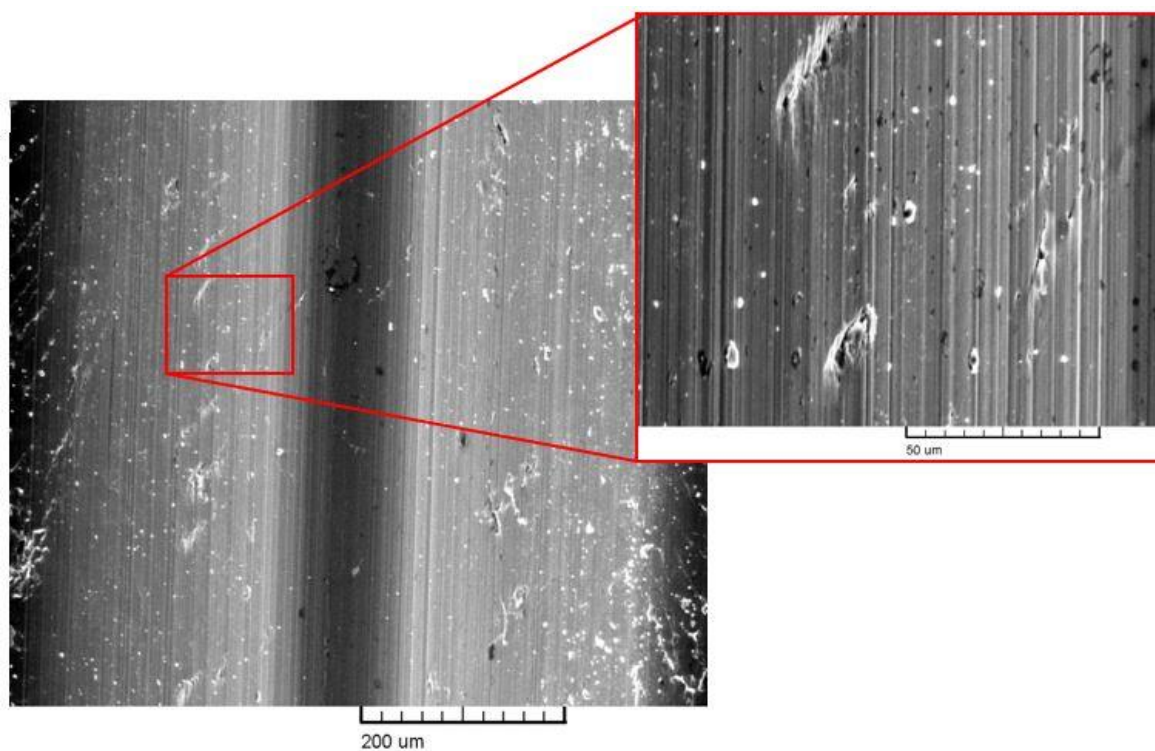
Závit 2A12a



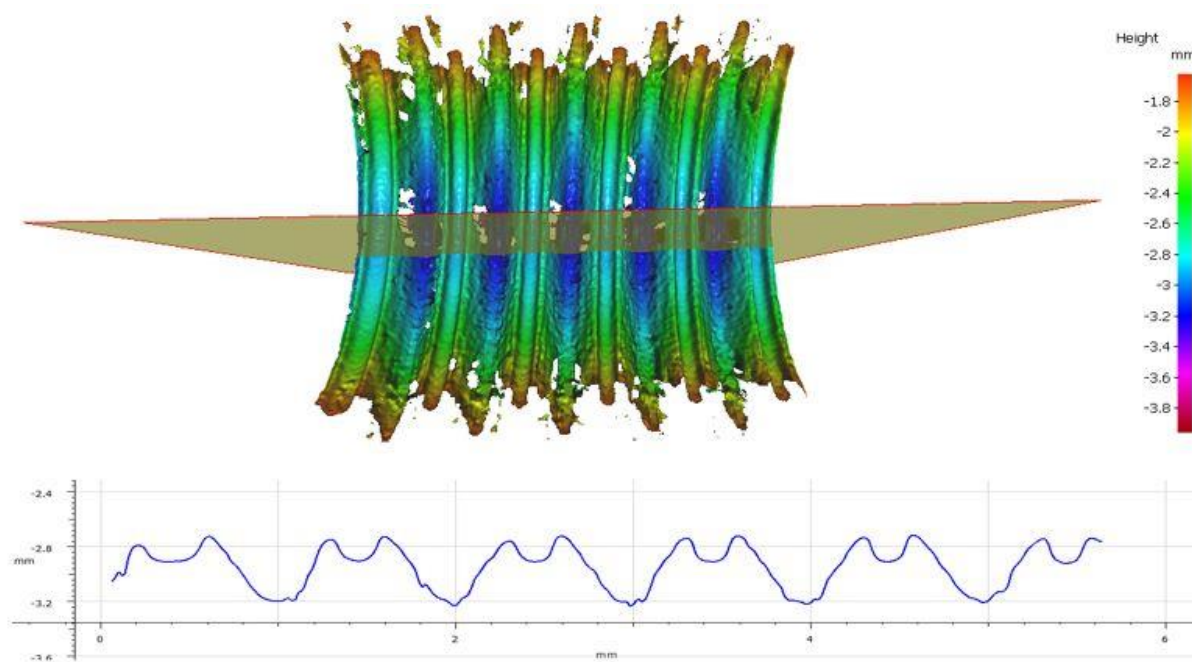
Obr. 57 Řez a profil závitu 2A12a.



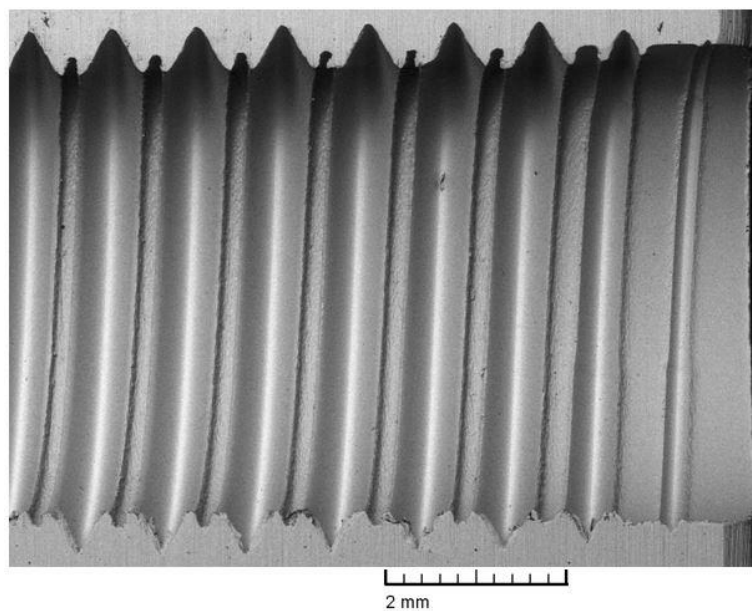
Obr. 58 Detail závitu 2A12a.



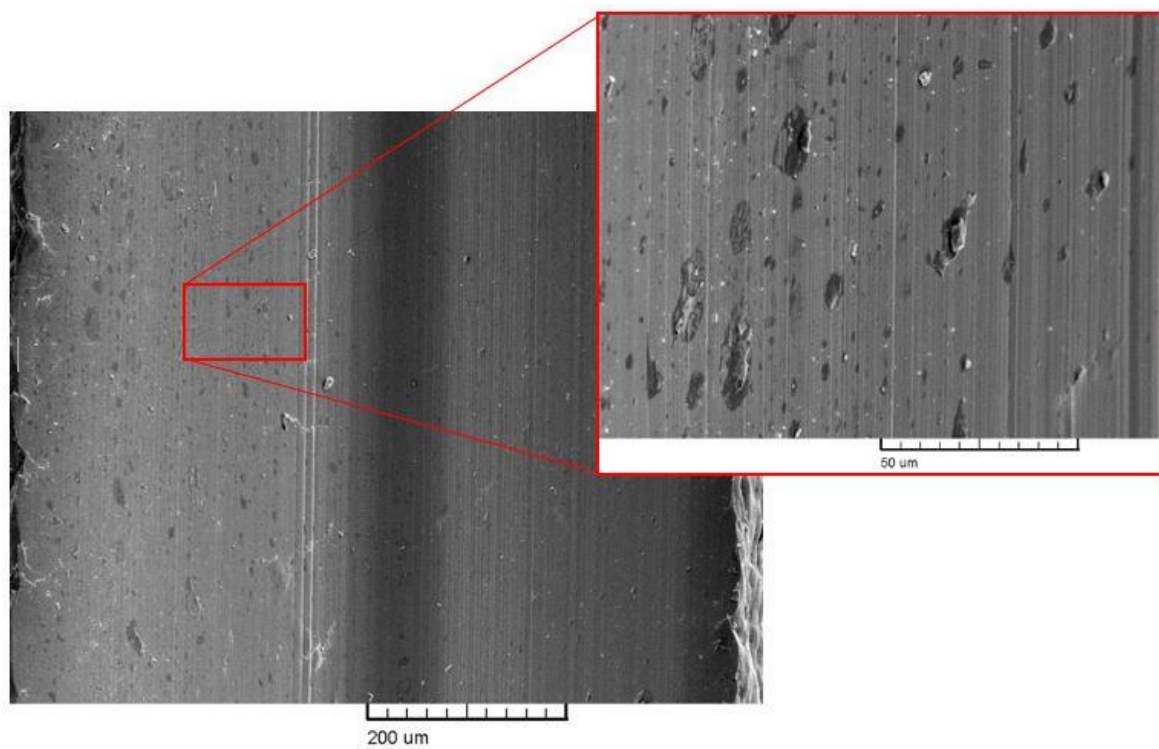
Obr. 59 Detail stěny závitu u vzorku 2A12a.

Závit 2A20a

Obr. 60 Řez a profil závitů 2A20a.

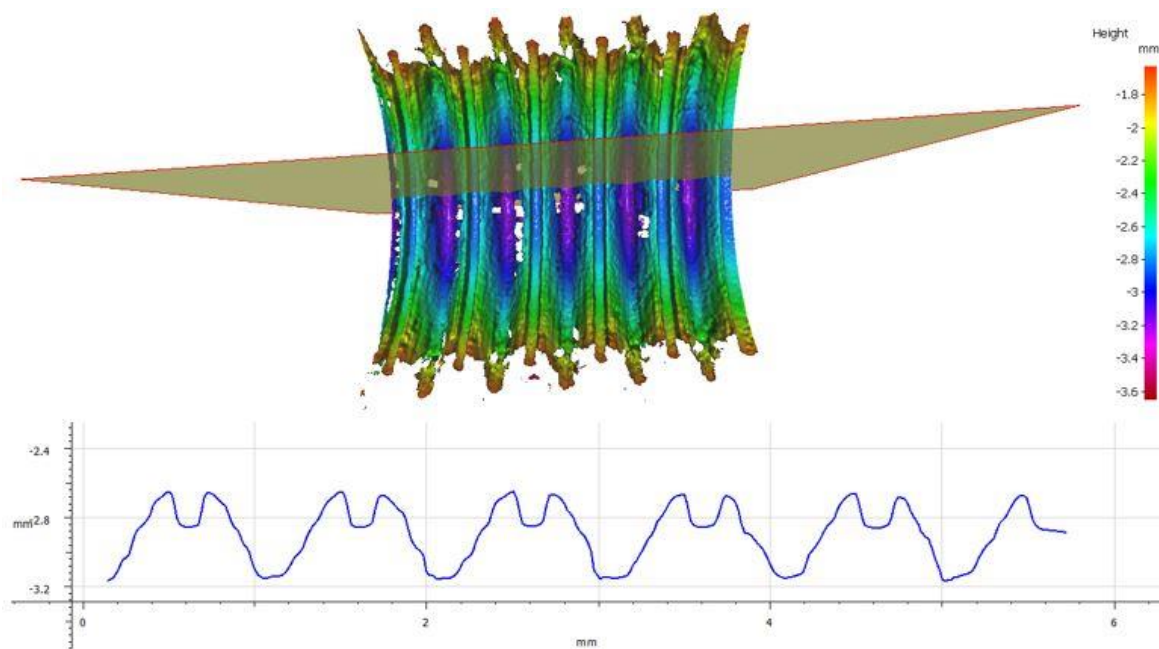


Obr. 61 Detail závitů A20a.

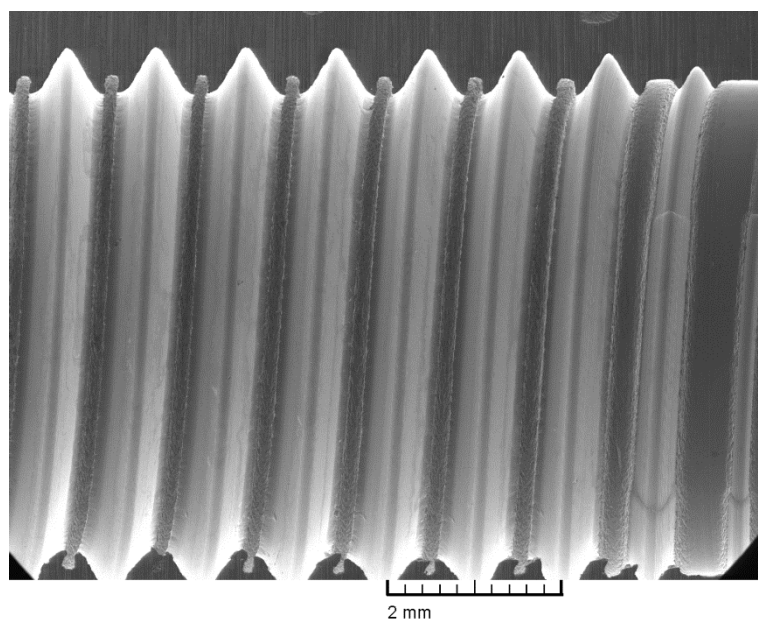


Obr. 62 Detail stěny závitu u vzorku 2A20a.

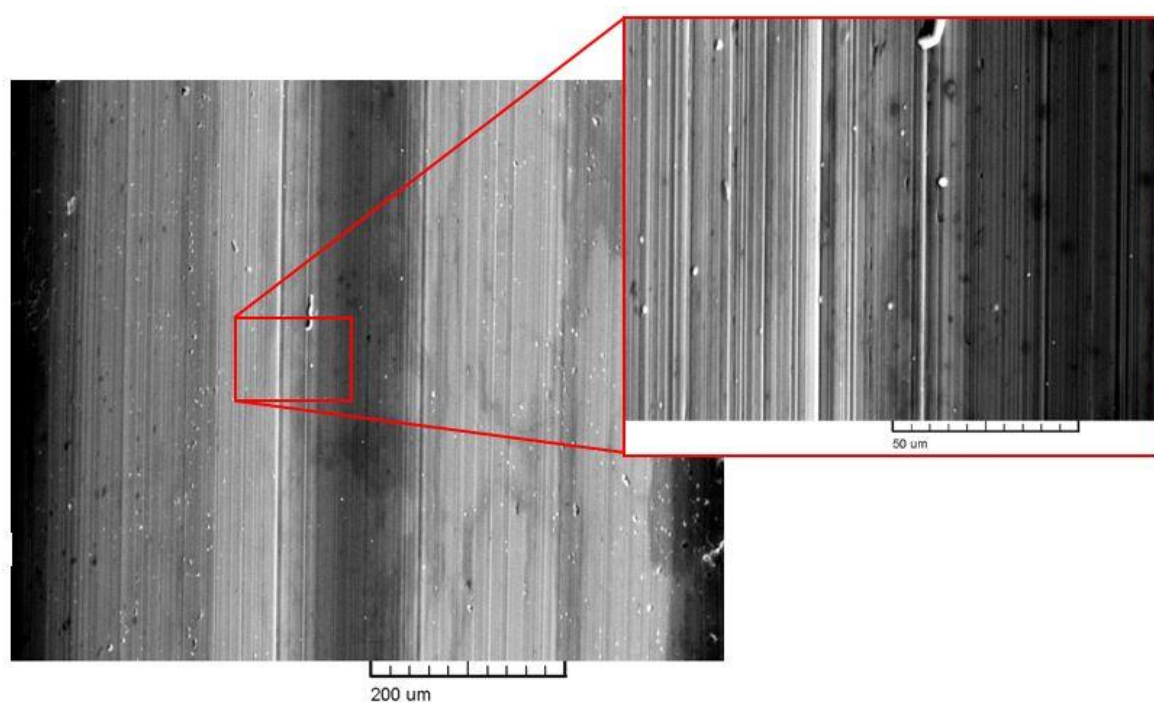
2A30a



Obr. 63 Řez a profil závitu 2A30a.



Obr. 64 Detail závitu 2A30a.

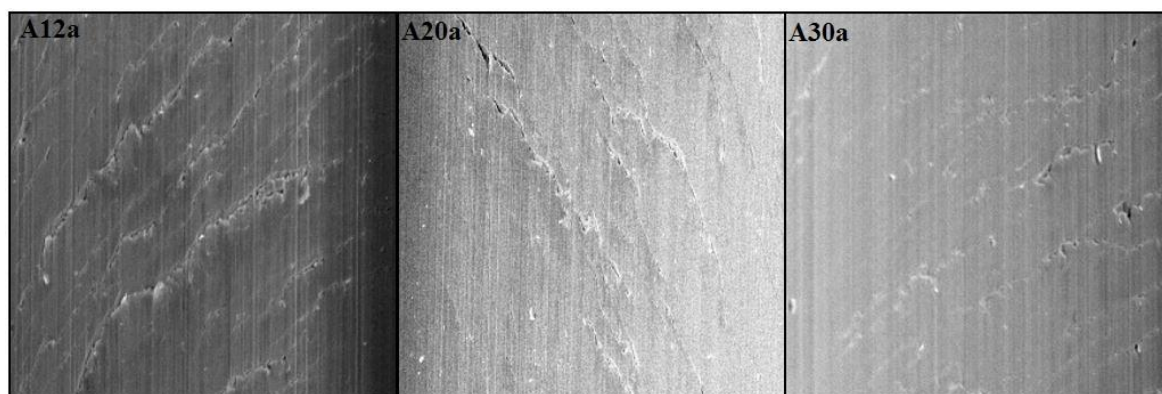


Obr. 65 Detail stěny závitu u vzorku 2A30a.

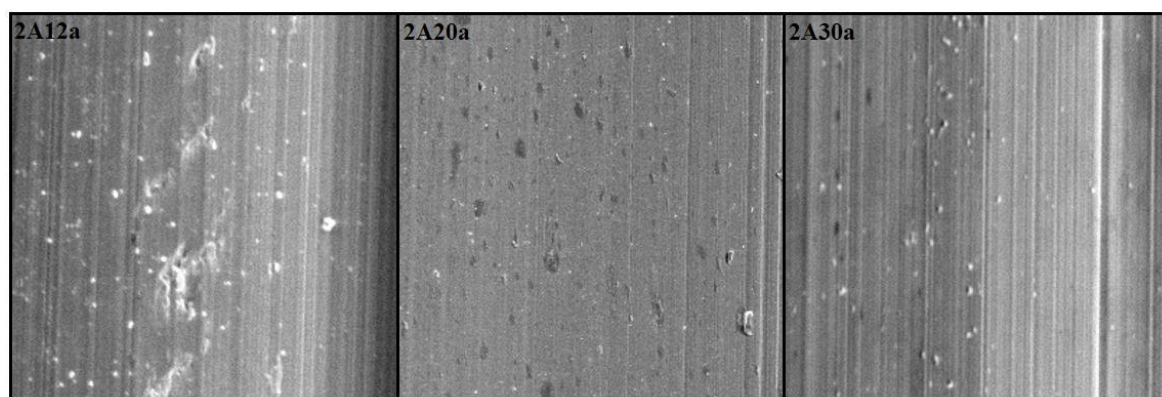
7.3 Diskuze výsledků experimentů

Rozsah středních hodnot krouticích momentů M_f byl od 3,40 Nm do 4,41 Nm. Dle výsledných velikostí krouticích momentů jako nejlepší hodnotím experimenty s nejmenším krouticím momentem M_f . Experimenty s kapalinou A o koncentraci 30% měly nejnižší výsledky na vrtačce (3,77 Nm) a s kapalinou A o koncentraci 12% na CNC (3,40 Nm).

Topografie povrchů závitů se s vzrůstající koncentrací procesní kapaliny A měnila. Trhliny a poškození povrchu bylo s rostoucí koncentrací procesní kapaliny menší a méně časté, avšak rozdíl nebyl tak výrazný. Zřetelněji jsou tyto rozdíly vidět na topografii povrchů závitů tvářených během prvních zkoušek na vrtačce (obr. 66). Na topografii povrchů závitů tvářených na portálovém obráběcím centru jsou rozdíly minimální (obr. 67). Celkové porovnání poškození – počet trhlin, bodových poškození a jejich délky, jsou uvedeny v tab. 17. Poškození byla přibližným odhadem spočítána na ploše závitu o rozměrech $200 \times 200 \mu\text{m}^2$. Na základě tohoto porovnání lze vyhodnotit jako kapalinu A o koncentraci 30% (A30a) s nejmenším množstvím poškození a jejich délkou jako nejlepší z experimentů na vrtačce a kapalinu A o koncentraci 12% (2A12a) na CNC. Všechny závity mají typické znaky tvářeného závitu, žádný se nevymyká svým tvarem.



Obr. 66 Topografie povrchů tvářených závitů na vrtačce – měřítko $200 \times 200 \mu\text{m}^2$.



Obr. 67 Topografie povrchů tvářených závitů na CNC - měřítko $200 \times 200 \mu\text{m}^2$.

Tab. 16 Srovnání poškození povrchů závitů.

Označení vzorku	A12a	A20a	A30a	2A12a	2A20a	2A30a
Přibližný počet poškození	17	14	13	12	11	17
Přibližná délka poškození [μm]	200	80 - 120	80 - 120	4 - 60	4 - 8	4

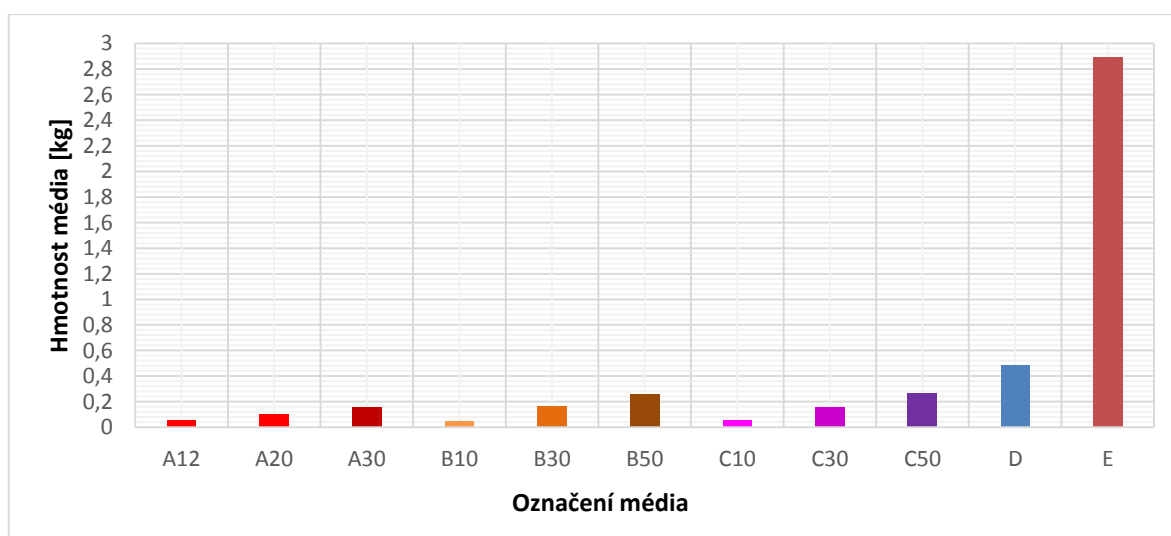
Profily závitů, které byly nafotografovány na Aliconě, hodnotím jako ne zcela přesné, z důvodu osvětlení a odlesků při snímání závitu, kdy výsledky nebyly vždy zcela plně nasnímané. Jemné rovnoběžné čáry, které jsou vidět na všech površích závitů, jsou důsledkem předchozího obrábění díry, do které se závit tvářel. Některé záběry z elektronového mikroskopu nejsou také zcela přesné a to z důvodu prachu a částic, které i přes pečlivé čištění na povrchu závitu zůstaly, jako například na obr. 59 – 2A12a.

8 TECHNICKO – EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Náklady na procesní média jsou neoddělitelnou součástí výrobního procesu. Odhadem a na základě proběhlých dalších zkoušek ve firmě Alfa se stanovily průměrné tloušťky vrstev procesních médií, které ulpívaly na površích tvářených výrobků. Dle hustoty procesních médií a obsahu tvářené plochy se vypočítaly minimální hmotnosti procesních médií, které jsou potřeba k tváření jedné tuny materiálu (tab. 17). Graficky je množství vynášeného média znázorněno na obr. 68.

Tab. 17 Přehled dat pro výpočet hmotnosti procesního média potřebného k tváření tuny materiálu.

Medium	Označení média	Tloušťka vrstvy média [μm]	Střední hodnota tloušťky vrstvy [μm]	Hustota [kg/cm ³]	Obsah tvářené plochy na tuny tvářeného materiálu [m ²]	Hmotnost procesního média [kg/t]
A	A12	1,20 - 1,50	1,35	1006,84	41,53	0,06
	A20	2,30 – 2,60	2,45	1011,40	41,53	0,10
	A30	3,40 – 3,80	3,60	1017,10	41,53	0,15
B	B10	1,10 - 1,30	1,20	1005,80	41,53	0,05
	B30	3,60 - 4,00	3,80	1017,40	41,53	0,16
	B50	5,80 – 6,20	6,00	1029,00	41,53	0,26
C	C10	1,10 – 1,50	1,30	1006,00	41,53	0,05
	C30	3,30 - 3,90	3,60	1018,00	41,53	0,15
	C50	6,00 – 6,50	6,25	1030,00	41,53	0,27
D	D	1,30 – 2,00	1,65	7000,00	41,53	0,48
E	E	7,00 – 8,00	7,50	9300,00	41,53	2,90

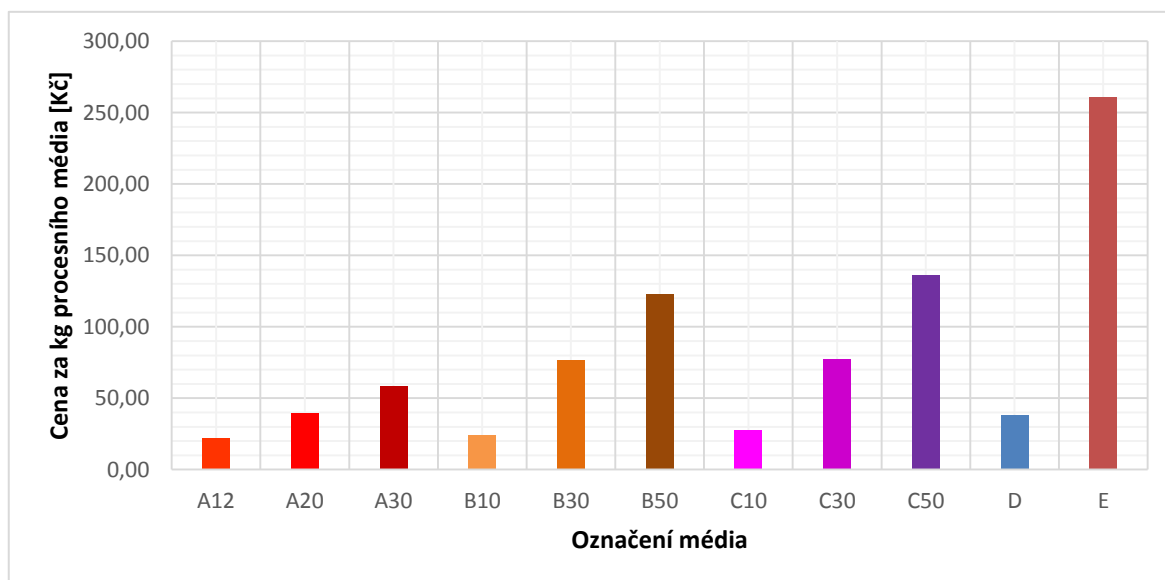


Obr. 68 Hmotnost procesního média potřebného na tváření tuny materiálu.

Náklady na pořízení médií, které jsou potřebné pro tváření jedné tuny materiálu, jsou vypočtené v tab. 18 a graficky znázorněny na obr. 69. Ceny za kilo média jsou uvedeny včetně DPH.

Tab. 18 Náklady na pořízení média.

Médium	Označení média	Hmotnost média na tunu materiálu [kg/t]	Cena média [Kč/kg]	Náklady na pořízení média [Kč/kg]
A	A12	0,06	387	21,84
	A20	0,10		39,82
	A30	0,15		58,85
B	B10	0,05	480	24,06
	B30	0,16		77,06
	B50	0,26		123,07
C	C10	0,05	510	27,70
	C30	0,15		77,62
	C50	0,27		136,34
D	D	0,48	79	37,89
E	E	2,90	90	260,69



Obr. 69 Náklady na pořízení média [Kč]

Dle výše uvedených výsledků a výši cen za médium potřebné k tváření jedné tuny materiálu je nejlépe hodnocena kapalina A o koncentraci 12% a to s cenou 21,84 Kč/kg.

ZÁVĚR

Hlavním cílem diplomové práce byl návrh a měření vlivu procesních médií na technologii výroby závitů tvářením a jejich výslednou kvalitu. Dle vyhodnocení pak bylo určeno, které procesní médium je nejlepší z hlediska velikosti krouticího momentu a kvality povrchu tvářeného závitu.

Praktická část se skládala ze dvou částí, ze zkoušek, které proběhly na stolní vrtačce a portálovém obráběcím centru v prostorech ÚST VUT v Brně. Z důvodu rozsáhlosti experimentů byla v diplomové práci vyhodnocena pouze kapalina A a celkové vyhodnocení všech procesních médií je uvedeno v příloze 2 až 4. Dílčí závěry experimentů s kapalinou A jsou shrnuty v následujících bodech:

- médium, při jehož použití byl u zkoušek na vrtačce naměřen nejmenší krouticí moment (3,77 Nm) a povrch s minimem poškození byla kapalina A o koncentraci 30% (A30a),
- médium, při jehož použití byl u zkoušek na CNC naměřen nejmenší krouticí moment (3,40 Nm) a povrch s minimem poškození byla kapalina A o koncentraci 30% (A30a).

Dle technicko-ekonomického zhodnocení jako nejlepší vyšla varianta kapaliny A o koncentraci 12%, s nejnižší cenou 21,84 Kč za kilogram média.

Firmě Alfa bych na základě výše uvedených dat doporučila procesní polymerní kapalinu A, její cena i výsledky vyšly podle daných kritérií jako nejvhodnější.

Použití polymerních kapalin jako procesních médií pro tvářením je tématem relativně novým a práce patří k prvním analýzám v České republice. Bude zajímavé provedení dalších dlouhodobých zkoušek těchto polymerních médií, jejich výkonnost a dopady na topografii povrchu tvářených materiálů, vliv použití na výrobní proces a pracovní prostředí.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. POSPÍŠIL, František. *Závity, šrouby, matice a příslušenství*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1975, 574 s.)
2. POSPÍŠIL, František. *Zavitová a šroubová spojení*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1968, 263 s.
3. KLETEČKA, Jaroslav a Petr FOŘT. *Technické kreslení*. Vyd. 1. Brno: CP Books, 2005, 252 s. ISBN 80-251-0498-0.
4. Strojní součásti, konstrukční prvky a spoje. *Šroubové spoje* [online]. 2009 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=9684>
5. *TECHNOR: Technické normy ČSN* [online]. 2018 [cit. 2019-04-12]. Dostupné z: <http://www.technicke-normy-csn.cz/technicke-normy/>
6. ČEP, Robert. *Skripta Technologie II* [online]. 2008 [cit. 2019-04-15]. Dostupné z: http://homel.vsb.cz/~cep77/PDF/skripta_Technologie_II_2dil.pdf
7. KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Vyd. 2. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2005, 270 s.: tabulky, grafy, schémata. ISBN 80-214-3068-0.
8. *Ruční závitníky sadové* [online]. 2017 [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.naradionline.cz/rucni-zavitniky-sadove-hss-m8x125.html>
9. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 2.část* [online]. VUT Brno, 2004 [cit. 2019-04-14]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-2cast.pdf
10. Výroba vnitřních závitů tvářením. *MM Průmyslové spektrum* [online]. Praha: Vogel Publishing, 2001, (4/2001): Strana 28 [cit. 2019-04-19]. ISSN 1212-2572. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/vyroba-vnitrnich-zavitu-tvarenim.html>
11. WALTER TOOLS. Produktová příručka: Vrtání a závitování [online]. 2012, 100 s. [cit. 2019-04-20]. Dostupné z: <http://www.walter-tools.com/SiteCollectionDocuments/downloads/global/manuals/cs-cz/handbook-drilling-threading-2009-cz.pdf>
12. *Tváření závitů* [online]. 2019 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://www.zavitovani.cz/vyroba-vnitrnich-zavitu/tvareni-zavitu>

13. NĚMEC, Dobroslav, Jan ODEHNAL a Jaroslav HNILICA. *Strojírenská technologie 2.*, opravené vyd. Praha: SNTL, 1982, 318 s.
14. FORMING TAP DORMER PRAMET. *Direct Industry* [online]. [cit. 2019-0-19]. Dostupné z: <http://www.directindustry.com/prod/dormer-pramet/product-14461-1593259.html>
15. *Závitování: Typické znaky tvářeného závitu* [online]. [cit. 2019-4-19]. Dostupné z: <http://www.zavitovani.cz/vyroba-vnitrnich-zavitu/tvareni-zavitu>
16. ČECH, Jaroslav, Jiří PERNIKÁŘ a Kamil PODANÝ. 2009. *Strojírenská metrologie I*. Vyd. 5., V Akademickém nakl. CERM vyd. 3. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 183 s. Učební texty vysokých škol (Vysoké učení technické v Brně). ISBN 978-80-214-4010-4.
17. BUCHTA, Jaroslav. *Ruční zpracování kovů* [online]. Střední škola technická Žďár nad Sázavou, 2014 [cit. 2019-04-23]. Dostupné z: <http://files.trojan2.webnode.cz/200000816-4a5614b3c1/rucni-zpracovani-kovu-1-rocnik.pdf>
18. *Kontrola závitů* [online]. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1108>
19. *Měření závitů* [online]. [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: https://www.spszengrova.cz/texty/texty/KOM/KOM_3_12_SPU-mereni_zavitu.pdf
20. *Metrologie a řízení kvality* [online]. Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: http://projekty.fs.vsb.cz/459/ucebniopory/Metrologie_a_rizeni_kvality.pdf
21. *Měření závitů* [online]. SŠ-COPT [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <https://coptkm.cz/portal/reposit.php?action=0&id=44276&revision=-1&instance=>
22. PRECITOOL INTERNATIONAL. *Závitování: s nástroji z práškové rychlořezné oceli* [online]. 2013, 16 s. [cit. 2015-05-1]. Dostupné z: http://www.precitool.cz/cz/wp-content/uploads/image/HQ_Gewinden_2012_web.pdf
23. HUMÁR, Anton. *Technologie I: Technologie obrábění - 1.část* [online]. VUT Brno, 2003 [cit. 2019-05-1]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
24. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje* [online]. VUT Brno, 2006 [cit. 2019-05-1]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/mat_pro_rez_nastroje/materialy_pro_rezne_nastroje_v2.pdf
25. PTÁČEK, L. *Nauka o materiálu II*. Akademické nakladatelství CERM, s.r.o., Brno. 2001.

26. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s.: ISBN 80-214-2374-9.
27. *Vliv jednotlivých prvků na vlastnosti ocelí* [online]. 2011 [cit. 2019-05-05]. Dostupné z: <http://www.tumlikovo.cz/vliv-jednotlivych-prvku-na-vlastnosti-oceli/>
28. *Přesné, bezpečné, hospodárné ZÁVITOVÁNÍ* [online]. 2012: WALTER, 2011 [cit. 2019 05 05]. Dostupné z: <https://www.walter-tools.com/sitecollectiondocuments/downloads/global/manuals/cs-cz/handbook-prototyp-threading-2012-cz.pdf>
29. *Výběr správného závitníku* [online]. 2014 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/vyber-spravneho-zavitniku.html>
30. *Šetrné procesní kapaliny pro obrábění kovů* [online]. 2013 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/setrne-procesni-kapaliny-pro-obrabeni-kovu.html>
31. *PRODLOUŽENÍ ŽIVOTNOSTI ŘEZNÝCH KAPALIN* [online]. 2002 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/prodlouzeni-zivotnosti-reznych-kapalin.html>
32. BENEDICTO, E., D. CAROU a E.m. RUBIO. Technical, Economic and Environmental Review of the Lubrication/Cooling Systems Used in Machining Processes. In: *Procedia Engineering* [online]. Elsevier, 2017, **184**, s. 99-116 [cit. 2019-05-12]. DOI: 10.1016/j.proeng.2017.04.075. ISSN 1877-7058.
33. HERRMANN, Christoph, Jürgen HESSELBACH, Ralf BOCK, André ZEIN, Gerlind ÖHLSCHLÄGER, Tina DETTMER a Robert KREUZIG. Ecologically Benign Lubricants – Evaluation From a Life Cycle Perspective. *CLEAN – Soil, Air, Water*[online]. Weinheim: WILEY-VCH Verlag, 2007, **35**(5), 427-432 [cit. 2019-05-12]. DOI: 10.1002/clen.200720025. ISSN 1863-0650.
34. *TRIBOTECHNICKÉ INFORMACE* [online]. TECHMAGAZÍN, 2018 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: http://www.techmagazin.cz/ke_stazeni/tribo/tribo_tm06_nahled51.pdf
35. WINTER, Marius, Ralf BOCK a Christoph HERRMANN. Investigation of a new polymer-water based cutting fluid to substitute mineral oil based fluids in grinding processes. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology* [online]. Elsevier, 2013, **6**(4), 254-262 [cit. 2019-05-12]. DOI: 10.1016/j.cirpj.2013.07.003. ISSN 1755-5817.
36. *Přehled vlastností oceli 54SiCr6* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.bolzano.cz/cz/technicka-podpora/technicka-prirucka/tycove-oceli-uhlikove-konstrukcni-a-legovane/pruzinove-oceli-pro-zuslechtovani-podle-csn-en-10089/prehled-vlastnosti-oceli-54sicr6>

37. *Ratio Bohrer* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://webshop.guehring.de/000009085200106000>

38. *Gewindeformer für metrische ISO-Gewinde* [online]. [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://webshop.guehring.de/919>

39. *Portálové obráběcí centrum MCV 1210* [online]. TAJMAC-ZPS [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: <https://www.tajmac-zps.cz/mcv-1210>

40. Prof.Ing.Milan Forejt, CSc. Doc.Ing.Anton HumáR, Prof.Ing.Miroslav Píška, CSc. a Dr.Ing.Libor Janíček. *EXPERIMENTÁLNÍ METODY* [online]. 2003 [cit. 2019-05-12]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/he1_experimentalni_metody_cviceni_2017_forejt_piska_humar_janicek.pdf

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Zkratka	Popis
Al₂O₃	oxid hlinitý
ASP	Anti-Segregation-Process
CBN	nitrid boru
CNC	Computer Numerical Control
Co	cobalt
Cr	chrom
Cr₃C₂	karbid chromu
CVD	Chemical Vapour Deposition
ČSN	Česká Státní Norma
HSS	High Speed Steel
HV	tvrdost
K1	Korekce zohledňující úhel stoupání šroubovice
K2	Korekce zohledňující měřicí tlak
Mo	molybden
NbC	karbid niobu
pH	Kyselost vody
PVD	Physical Vapour Deposition, nanášení povlaku fyzikální metodou
SK	Slinuté karbidy
Směr.	směrodatná
Stř.	střední
TaC	karbid tantalu
Ti(Al,N)	nitrid hliníku a titanu
Ti(C,N)	karbonitrid titanu
TiC	karbid titanu
TiN	nitrid titanu
V	vanad
W	wolfram
WC	karbid wolframu

Symbol	Jednotka	Popis
D	[mm]	průměr nástroje
D₁	[mm]	malý průměr závitu matice
D₂	[mm]	střední průměr závitu matice
Md₂	[mm]	teoretická míra středního průměru závitu přes drátky
M_f	[Nm]	krouticí tvářecí moment
P	[mm]	rozteč závitu
R_a	[μm]	průměrná aritmetická odchylka profilu drsnosti
R_q	[μm]	průměrná kvadratická odchylka profilu drsnosti
TDS	[mg/l]	solnost
a	[m ² s ⁻¹]	součinitel teplotní vodivosti
d	[mm]	průměr závitu
d₂	[mm]	střední průměr závitu šroubu
d_a	[mm]	průměr měřicího drátku
f	[mm]	posuv
n	[min ⁻¹]	otáčky
v_e	[m.min ⁻¹]	řezná rychlost
α	[°]	vrcholový úhel závitového profilu
α	[J m ⁻² s ⁻¹ K ⁻¹]	součinitelem přestupu tepla mezi obrobkem a nástrojem
λ	[W m ⁻¹ K ⁻¹]	součinitel tepelné vodivosti
σ	[mm ² s ⁻¹]	smáčivost procesní kapaliny

SEZNAM PŘÍLOH

- | | |
|-----------|---|
| Příloha 1 | Porovnání tržních cen procesních médií a jejich dopadu na životní prostředí |
| Příloha 2 | Přehled výsledných středních hodnot krouticích momentů všech zkoušek |
| Příloha 3 | Graficky porovnané výsledky středních hodnot krouticích momentů ze zkoušek na vrtačce |
| Příloha 4 | Graficky porovnané výsledky středních hodnot krouticích momentů ze zkoušek na CNC |

PŘÍLOHA 1

Porovnání tržních cen procesních médií a jejich dopadu na životní prostředí

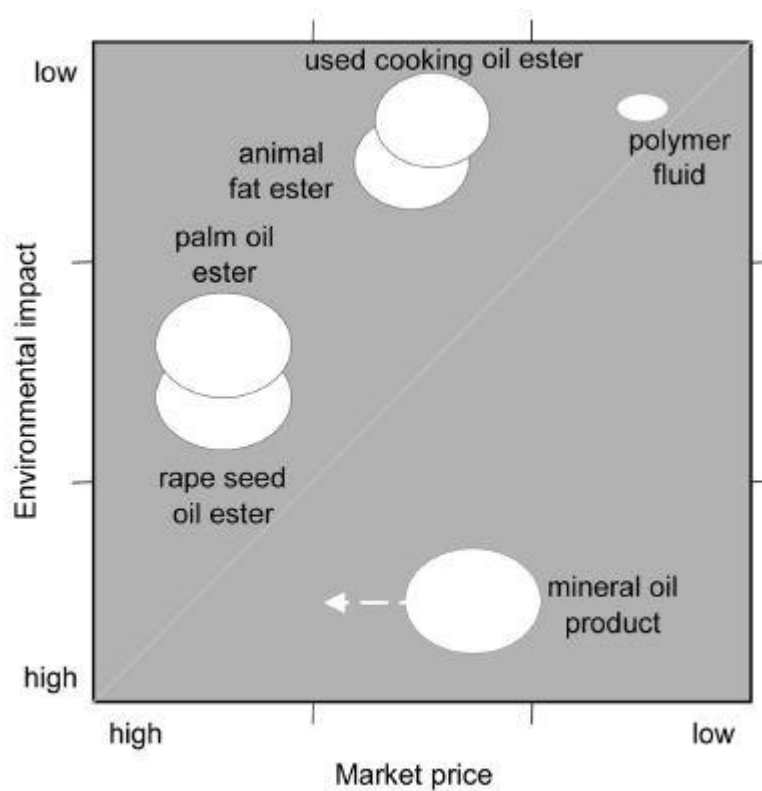


Figure 8. Market price/environmental impact portfolio.

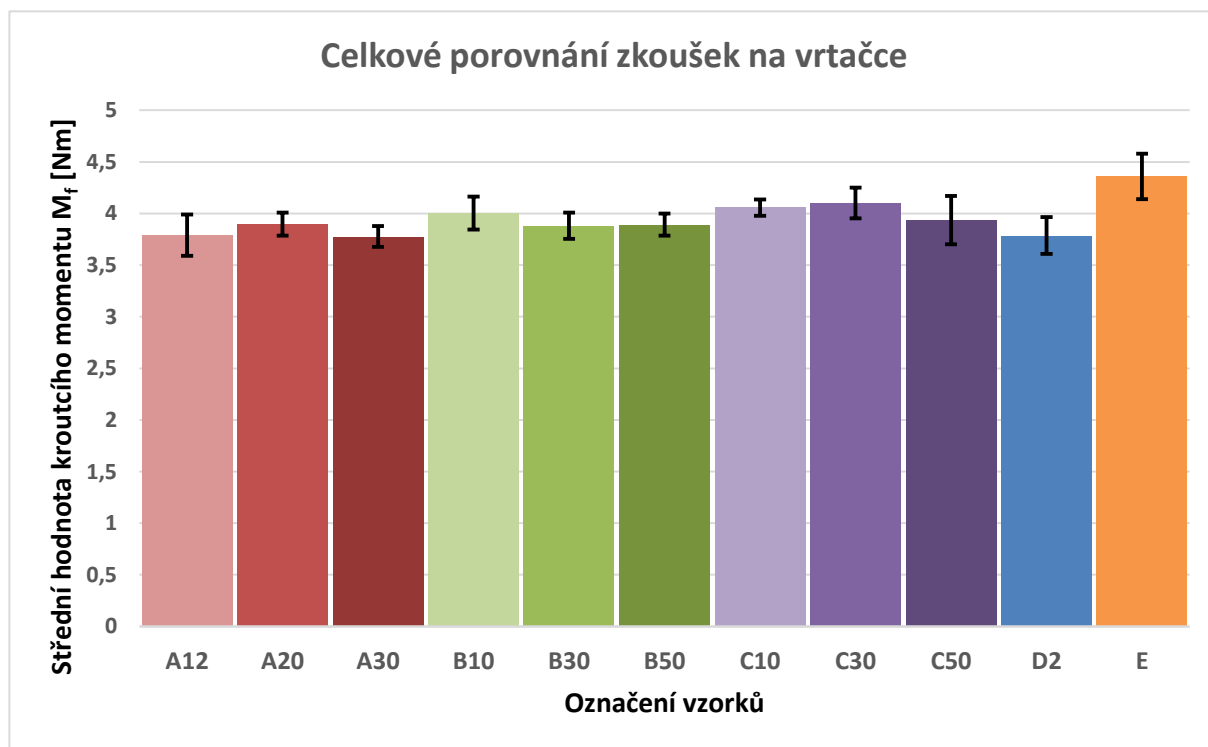
PŘÍLOHA 2

Přehled výsledných středních hodnot kroutcích momentů všech zkoušek

Stolní vrtačka			Portálové obráběcí centrum		
	Střední hodnota [Nm]	Směr. odchylka		Střední hodnota [Nm]	Směr. odchylka
A12	3,80	0,19	2A12	3,40	1,13
A20	3,89	0,11	2A20	3,83	0,19
A30	3,78	0,10	2A30	4,41	0,39
B10	4,00	0,16	2B10	3,79	0,24
B30	3,88	0,12	2B30	4,74	0,29
B50	3,89	0,10	2B50	4,56	0,29
C10	4,06	0,07	2C10	4,062	0,33
C30	4,10	0,14	2C30	4,26	0,39
C50	3,94	0,23	2C50	4,87	0,29
D	3,79	0,17	2D	4,04	1,03
E	4,36	0,21	2E	3,50	0,40

PŘÍLOHA 3

Graficky porovnané výsledky středních hodnot kroutcích momentů ze zkoušek na vrtačce.



PŘÍLOHA 4

Graficky porovnané výsledky středních hodnot kroutcích momentů ze zkoušek na CNC.

