VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

NÁVRH SDRUŽENÉHO NÁSTROJE PRO OBRÁBĚNÍ DĚR UNIVERZÁLNÍHO SKLÍČIDLA
DESIGN OF A COMBINED TOOL FOR HOLES MACHINING OF THE UNIVERSAL CHUCK

DIPLOMOVÁ PRÁCE
MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE Bc. Matouš Kovář
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2022

VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

Zadání diplomové práce

Ústav:	Ústav strojírenské technologie
Student:	**Bc. Matouš Kovář**
Studijní program:	Strojírenská technologie
Studijní obor:	Strojírenská technologie
Vedoucí práce:	**Ing. Aleš Jaroš, Ph.D.**
Akademický rok:	2021/22

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:

Návrh sdruženého nástroje pro obrábění děr univerzálního sklíčidla

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Diplomová práce je zaměřena na navržení nové technologie pro obrábění děr pro univerzální sklíčidlo. Práce je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části je proveden rozbor řešené součásti, charakterizovány použité výrobní technologie a je popsán stávající technologický postup. Nosnou částí práce je navržení nového technologického postupu pro řešenou součást a navržení sdruženého nástroje pro obrábění děr. Součásti práce je technicko–ekonomické zhodnocení.

Cíle diplomové práce:

1. Rozbor řešené součásti.
2. Charakteristika použitých výrobních technologií.
3. Stávající technologický postup pro obrábění děr.
4. Navržení nového technologického postupu.
5. Navržení nového sdruženého nástroje.
6. Technicko–ekonomické zhodnocení.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, M., PÍŠKA, M. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. 255 s. ISBN 80-214-2374-9.

PTÁČEK, L. Nauka o materiálu I. 2., opr. a rozš. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, c2003. ISBN 80-7204-283-1.

PÍŠKA, M. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2009. 247 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2021/22

V Brně, dne

L. S.

Ing. Jan Zouhar, Ph.D. ředitel ústavu	doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D. děkan fakulty

ABSTRAKT

Diplomová práce je zaměřena na návrh sdruženého nástroje pro obrábění děr univerzálního sklíčidla. V práci je proveden rozbor součásti a použité technologie pro výrobu přesných děr pro pastorky v tělese sklíčidla. Dále je popsána stávající výroba přesných děr, včetně použitého stroje, nástrojů, řezných podmínek a technologického postupu se strojními časy. Další část práce se zabývá zefektivněním výroby přesných děr, a to v podobě návrhu sdruženého nástroje. Návrh zahrnuje konstrukční zpracování, použité břitové destičky a vrták, způsob upnutí, použitý materiál, tepelné zpracování, stanovení řezných podmínek a vypracování nového technologického postupu. Práce je zakončena technicko-ekonomickým zhodnocením, kde je porovnána stávající a nově navržená technologie výroby přesných děr pro pastorky v tělese sklíčidla.

Klíčová slova

obrábění, vrtání, sklíčidlo, sdružený nástroj, zefektivnění

ABSTRACT

This master**'s** thesis focuses on the design of a combined tool for machining holes of a universal chuck. The thesis analyses the component and technologies used for the production of precision holes for pinions in the chuck body. Furthermore, the current production of precision holes is described, including the used machine, tools, cutting conditions and technological process with machine times. In the next part of the thesis, a proposal of more efficient production of precision holes is made accompanied by a design of a combined tool. The design includes its structural treatment, used cutting tool inserts and drill, the method of clamping, used material, the heat treatment, the determination of the cutting conditions and the development of a new technological procedure. The thesis concludes with a technological and economic evaluation, where the existing and the newly proposed technologies for the production of precision holes for pinions in the chuck body are compared.

Key words

machining, drilling, chuck, combined tool, more efficient

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KOVÁŘ, Matouš. *Návrh sdruženého nástroje pro obrábění děr univerzálního sklíčidla* [online]. Brno, 2022. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/139624. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Aleš Jaroš.

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma **Návrh sdruženého nástroje pro obrábění děr univerzálního sklíčidla** vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího práce.

místo, datum

Bc. Matouš Kovář

PODĚKOVÁNÍ

Děkuji tímto Ing. Aleši Jarošovi, Ph.D. za jeho cenné připomínky, rady a čas, který mi věnoval při vypracování diplomové práce. Velké poděkování patří také firmě TOS Svitavy, a.s. za umožnění spolupráce na projektu, a především Ing. Miroslavu Houdkovi a Radovanu Kalíkovi z technologického oddělení firmy za poskytnuté informace, odborné konzultace a cenné rady při vypracování mé práce. V neposlední řadě bych rád poděkoval mé rodině, která mě po celou dobu studia podporovala.

OBSAH

ÚVOD 9
1 ROZBOR ŘEŠENÉ SOUČÁSTI 10
1.1 O společnosti TOS Svitavy, a.s. 10
1.2 Samostředicí univerzální sklíčidlo 11
1.3 Těleso sklíčidla 12
1.3.1 Polotovar a materiál 12
1.3.2 Postup výroby tělesa sklíčidla 13
2 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH TECHNOLOGIÍ 16
2.1 Technologie vrtání 16
2.1.1 Kinematika a řezné podmínky 17
2.1.2 Průřez třísky 19
2.1.3 Řezné síly 20
2.1.4 Nástroje 22
2.1.5 Vyhrubování a vystružování 27
2.2 Technologie frézování 28
2.2.1 Rozdělení frézování 28
2.2.2 Přehled frézovacích operací 30
2.2.3 Kinematika a řezné podmínky 31
2.2.4 Průřez třísky 32
2.2.5 Řezné síly 33
2.2.6 Nástroje 34
3 STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE VÝROBY PŘESNÝCH DĚR 37
3.1 Obráběcí stroj 37
3.2 Upnutí obrobku 38
3.3 Obráběcí operace 39
3.3.1 Popis jednotlivých operací 40
4 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY PŘESNÝCH DĚR 44
4.1 Návrh sdruženého nástroje 44
4.1.1 Konstrukční úprava 46
4.1.2 Způsob upnutí 49
4.1.3 Materiál nástroje 49
4.1.4 Tepelné zpracování a povrchová úprava 50
4.2 Řezné podmínky a nový technologický postup 50
5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ 53
5.1 Zhodnocení z hlediska strojního času 53
5.2 Zhodnocení z hlediska nákladů na nástroje 54
ZÁVĚR 57
SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ 58
SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK 61
SEZNAM PŘÍLOH 63

ÚVOD

Technologie vrtání a frézování jsou řazeny mezi základní obráběcí metody. Zatímco vrtáním lze zhotovovat rotační otvory, frézování je technologie určená především pro výrobu rovinných a tvarových ploch. Uvedené metody, ale i další, například soustružení, broušení nebo i nekonvenční metody obrábění, jsou stále rozvíjející se technologie, ve kterých probíhá neustálý vývoj v oblasti řezných nástrojů, obráběcích strategií a výrobních strojů. Jsou na ně kladeny stále vyšší požadavky a jedním z hlavních důvodů je zvyšování produktivity a efektivity výroby.

Neustálé zvyšování produktivity a efektivity výroby samozřejmě souvisí se snižováním výrobních nákladů při zachování nebo i zvýšení kvality výsledného výrobku. Příkladem je využití sdruženého nástroje, který umožnuje sloučit několik nástrojů do jednoho. Zavedením takového nástroje do výroby dochází k úspoře především výrobního času, ale také nákladů na nástroje. Dnešní možnosti umožňují vyrábět sdružené nástroje různých tvarů a průměrů z široké škály moderních materiálů, včetně speciálních povrchových úprav. Nedílnou součástí obrábění sdruženým nástrojem je správné nastavení optimálních řezných podmínek při dodržení požadované přesnosti a kvality obrobeného povrchu.

Aktuálním tématem v každé firmě, nejen v oblasti strojírenství, je zvyšování produktivity a efektivity výroby, při současném snižování výrobních nákladů. Stejná problematika je řešena také ve známé české strojírenské firmě TOS Svitavy, a.s. Jejich vlajkovým výrobním programem je produkce mechanických upínacích sklíčidel. Dlouhodobým cílem společnosti je postupné zlepšování technologie výroby, spojené se zvyšováním produktivity a efektivity práce, mimo jiné i díky vývoji a investicím do modernějšího strojního a nástrojového vybavení.

Právě návrh nového progresivního nástrojového vybavení je předmětem řešení této diplomové práce. Je analyzována problematika vrtání přesných děr pro pastorky v tělese univerzálního samostředicího sklíčidla. Přezkoumáním a rozborem stávající výroby přesných děr bylo zjištěno, že současný výrobní postup je poměrně neefektivní a vyžaduje úpravu a inovaci návrhem sdruženého nástroje.

1 ROZBOR ŘEŠENÉ SOUČÁSTI

V této kapitole je představena společnost TOS Svitavy, a.s. a její výrobní program. Je popsáno samostředicí univerzální sklíčidlo a jeho jednotlivé části se zaměřením na řešenou součást, kterou je samotné těleso sklíčidla.

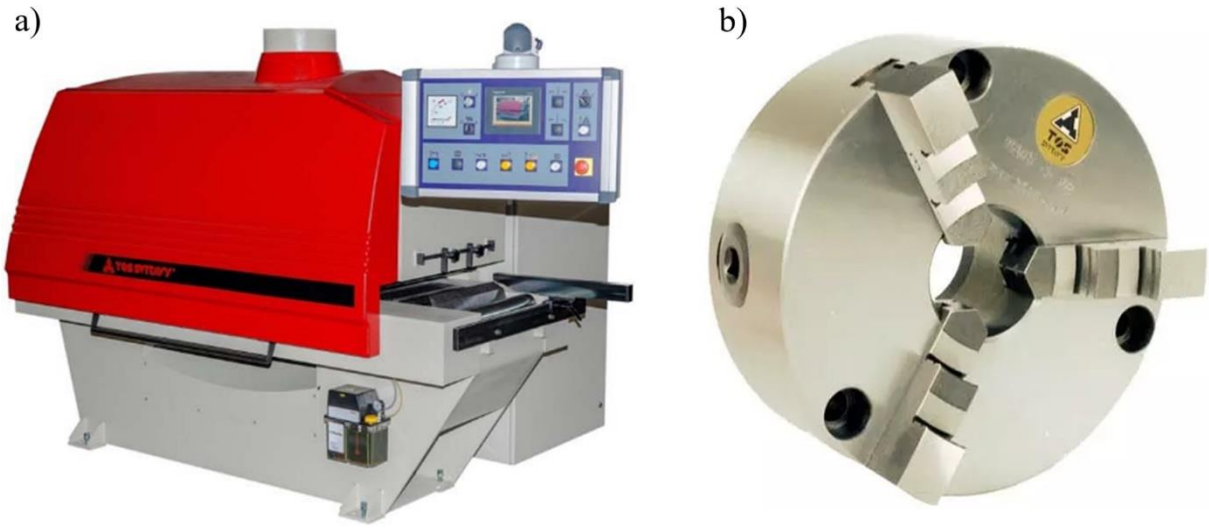
1.1 O společnosti TOS Svitavy, a.s.

Společnost TOS Svitavy, a.s. je tradiční česká firma s bohatou, více jak sedmdesátiletou historií a zkušenostmi v oblasti strojírenství. Již od roku 1951 se ve svitavském závodu vyrábí sklíčidla, nedílná součást každého soustruhu. V té době to byl monopolní výrobce sklíčidel v bývalém Československu. Později došlo k rozšíření výrobního sortimentu a podnik se začal specializovat také na dřevoobráběcí stroje. Dnes tedy firmu TOS Svitavy, a.s. reprezentují jak v tuzemsku, tak v zahraničí dvě oblasti produkce, a to dřevoobráběcí stroje (obr. 1a) a mechanická sklíčidla (obr. 1b). V malé míře je produkce doplněna o efektivní zakázkovou výrobu ocelových a svařovaných konstrukcí a o kooperační výrobu nerezového materiálu. Firma je navíc držitelem certifikátu kvality dle ČSN EN ISO 9001:2015. [1]

Po kvalitním zpracování dřeva je dlouhodobě rostoucí poptávka. Z toho důvodu byla produkce rozmítacích pil rozšířena o automatizované manipulační uzly, které ušetří zejména fyzickou náročnost práce a zlepší efektivitu a obsluhu při zpracování dřeva. Díky tomu se firma TOS Svitavy, a.s. zařadila mezi přední výrobce v oboru dřevoobráběcích strojů nejen v České republice, ale i v Evropě. [1]

Výroba mechanických sklíčidel tvoří převážnou část produkce a představuje stabilní výrobní segment společnosti TOS Svitavy, a.s. Sklíčidla se vyrábí ve dvou, tří, čtyř a šesti čelistním provedení, ve dvou třídách přesnosti a široké škále typů a velikostí o průměrech od 80 do 630 mm. Dlouholeté zkušenosti v tomto oboru zaručují kvalitu a přesnost vyrobených sklíčidel. [1]

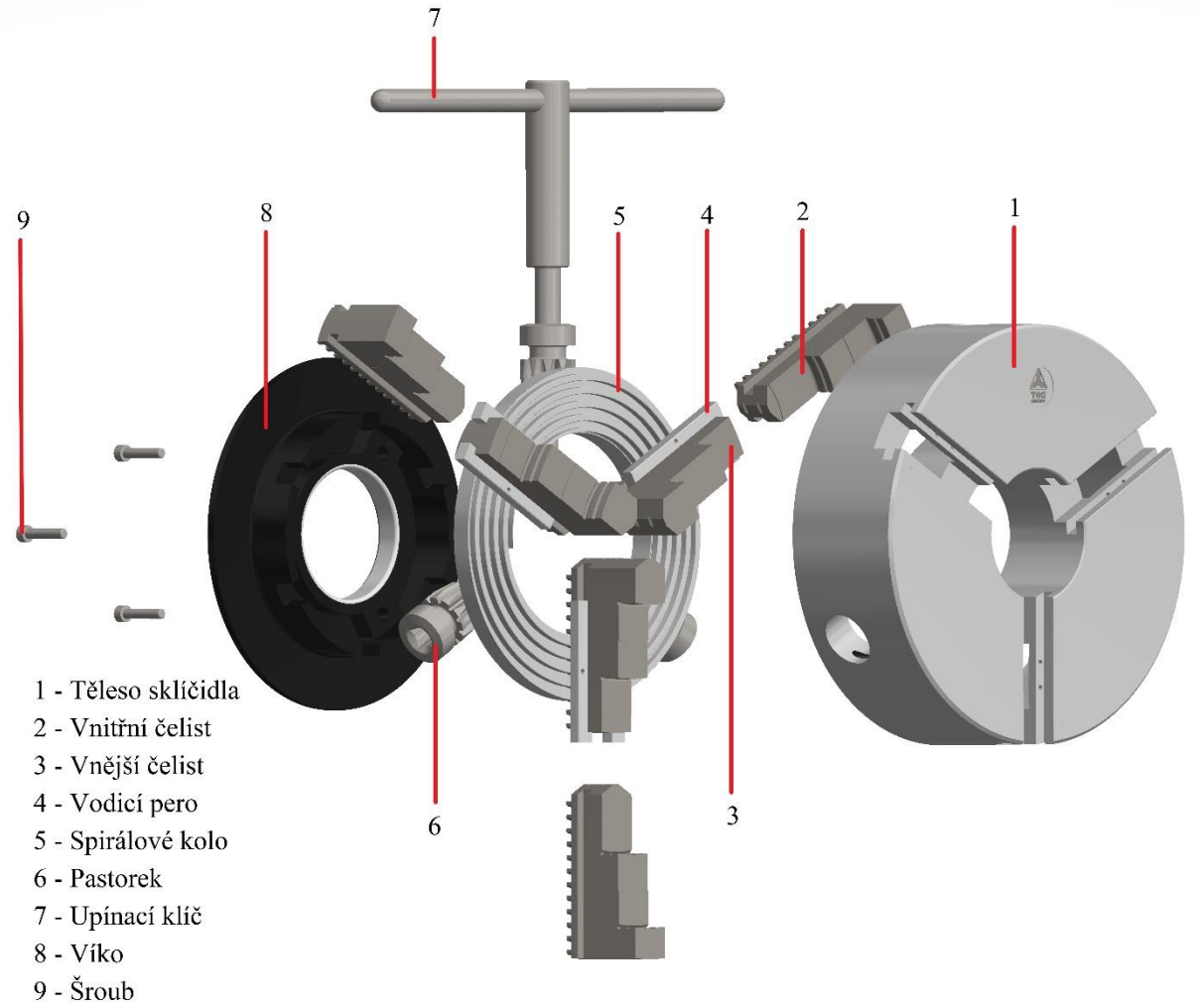
Podle posledních údajů pracuje ve firmě TOS Svitavy, a.s. 134 zaměstnanců. Převážnou část produkce tvoří export výrobků do více než 50 zemí celého světa. V oblasti sklíčidel je to 59 % a v oblasti dřevoobráběcích strojů je to 61 %. Největšími odběrateli jsou Velká Británie, Spojené státy americké, Polsko a Slovensko. Během více než sedmdesátileté historie firmy byly vyrobeny desítky tisíc dřevoobráběcích strojů a miliony mechanických sklíčidel. [1]



Obr. 1 Hlavní produkty firmy TOS Svitavy, a.s.: a) rozmítací pila, b) univerzální sklíčidlo [1].

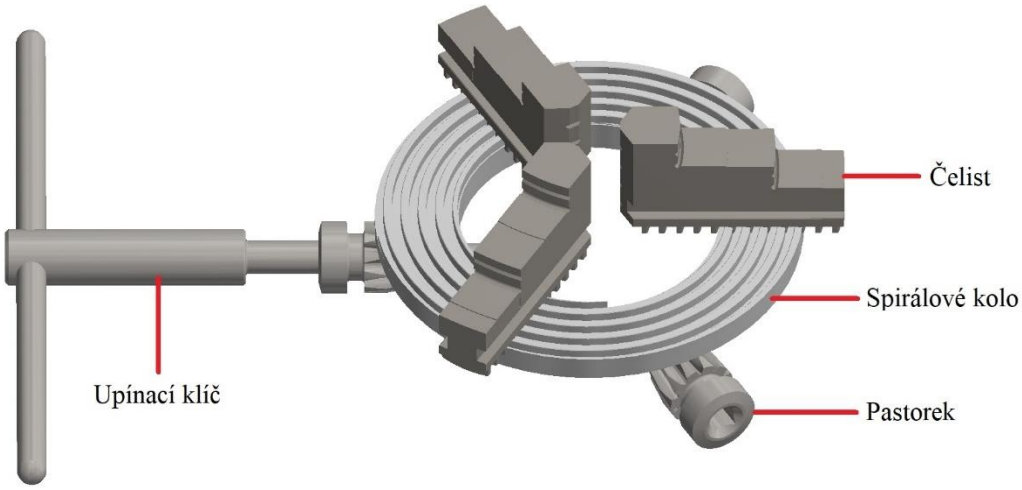
1.2 Samostředicí univerzální sklíčidlo

Samostředicí univerzální sklíčidlo je nejpoužívanější upínací zařízení využívané při práci na soustruzích. Zde zajišťuje stabilní a bezpečný přenos sil působících na obrobek do vřetena stroje. Působící síly nesmí zapříčinit změnu polohy obrobku nebo jeho uvolnění. Sklíčidlo je využíváno pro letmé upínaní kratších, především rotačních, obrobků. Do sklíčidla lze samozřejmě upnout i delší obrobky, kdy je při upínání využit hrot koníka, opěra nebo luneta pro podepření volného konce obrobku. Protože univerzální sklíčidlo obrobek nejen upíná, ale i středí, je nazýváno samostředicí. Přesnost upnutí a středění závisí na přesnosti výroby jednotlivých dílů sklíčidla a jejich materiálů. Základem samostředicího univerzálního sklíčidla je těleso sklíčidla, ve kterém se pohybují čelisti upínající samotný obrobek. Čelistí může být různý počet. Nejčastějším používaným typem jsou sklíčidla tříčelisťová, která mají čelisti rozmístěny v tělese po 120 ° a upínají obrobek na třech místech. Dalšími možnými konfiguracemi z hlediska počtu čelistí jsou dvoučelisťová, čtyřčelisťová nebo i šestičelisťová sklíčidla. Z konstrukčního hlediska je možné rozdělit čelisti na vnitřní a vnější. Dále je sklíčidlo složeno z vodicích per, spirálového kola, pastorků, upínacího klíče, víka a šroubů. Všechny části samostředicího univerzální sklíčidla jsou zobrazeny na obr. 2. [2; 3]



Obr. 2 Rozpad tříčelisťového sklíčidla s popisem jednotlivých součástí.

Radiální pohyb čelistí konaný při upínaní obrobku je zajištěn buď ručně nebo pomocí pneumatických, hydraulických a elektrických systémů. Tyto systémy jsou využity především u automatizovaných a CNC soustruhů. Při ručním upínání je systém univerzálního sklíčidla založen na principu čelního spirálového závitu (obr. 3). Pomocí upínacího klíče je otáčeno pastorkem umístěným v přesných tolerovaných otvorech v tělese sklíčidla. Pastorek pootáčí spirálovým kolem s kuželovým ozubením na jedné straně a spirálovou drážkou na straně druhé, ve které se pohybují zuby upínacích čelistí. Otáčením spirálového kola v jednom nebo druhém směru se čelisti ke středu sklíčidla radiálně přibližují nebo oddalují, a to vždy o stejnou vzdálenost. Tím je zaručeno přesné upnutí a vycentrování obrobku.



Obr. 3 Mechanismus upínání čelním spirálovým závitem.

1.3 Těleso sklíčidla

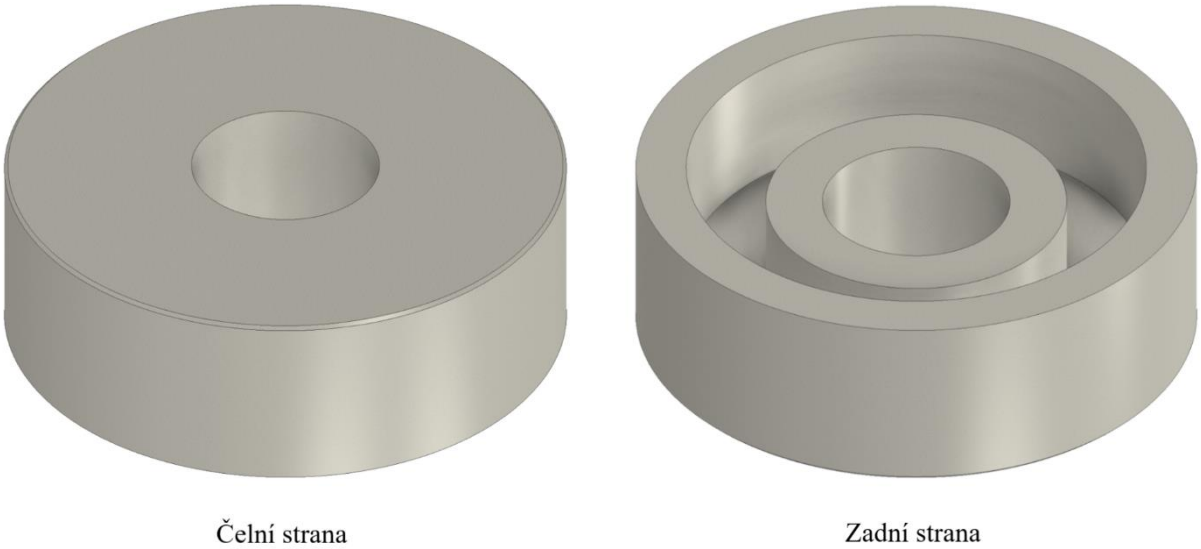
Těleso sklíčidla představuje základní část samostředicího univerzálního sklíčidla, do kterého jsou montovány všechny jeho součásti tvořící celý upínací mechanismus znázorněný na obr. 3. Sklíčidla vyráběné firmou TOS Svitavy, a.s. jsou dostupná v různých velikostech průměrů, a to od 80 do 630 mm. V této diplomové práci bude řešen návrh sdruženého nástroje pro tříčelisťové univerzální sklíčidlo o velikosti 315 mm. Toto sklíčidlo má interní označení IUS315/3-1-M1.

1.3.1 Polotovar a materiál

Firma TOS Svitavy, a.s. používá pro výrobu tělesa sklíčidla dvě varianty materiálů a polotovarů, a to litinový odlitek nebo ocelový výkovek. Prioritní variantou je litinový odlitek, který tvoří přibližně 70 % z celkového množství vyrobených těles sklíčidel. Odlitek je vyráběn na zakázku externí firmou a dodáván již v ohrubovaném stavu s přídavky na obrábění (obr. 4). Výkres dodávaného polotovaru je v příloze – výkres 1. Materiál použitý pro odlitek je feritická tvárná litina s kuličkovým grafitem 42 2304 dle ČSN (EN-GJS 400-15 dle DIN). Litina je vhodná pro odlitky s tloušťkou stěn od 5 do 100 mm i více. Její pevnost je na vysoké úrovni i při vysokém namáhání. Má velmi dobrou slévatelnost a obrobitelnost třískovým obráběním. Používá se na součásti vozidel a zemědělských strojů, na převodové a ložiskové skříně, na tělesa armatur a jiné dynamicky namáhané odlitky. [4]

Druhou, méně používanou variantou, je ocelový výkovek (tvoří přibližně 30 % z celkového množství vyrobených těles sklíčidel). Výkovek je rovněž vyráběn na zakázku externí firmou a dodáván již v ohrubovaném stavu s přídavky na obrábění. Materiál použitý pro výkovek je nelegovaná zušlechtěná ocel třídy 12, konkrétně ocel 12 050 dle ČSN 41 2050 (C45 dle DIN). Její pevnost a tažnost je na vysoké úrovni. Kování probíhá při teplotách mezi 1 150 a 800 ° C.

Obrobitelnost třískovým obráběním může být obtížná díky zvýšené pevnosti materiálu. Pro obrábění je výhodnější použít ocel ve stavu žíhaném na měkko. Hlavní uplatnění tohoto materiálu je u hřídelů těžních strojů a karuselů, ozubených kol, frézovacích trnů, ojnic, vřeten soustruhů, upínacích částí nástrojů atd. [5]

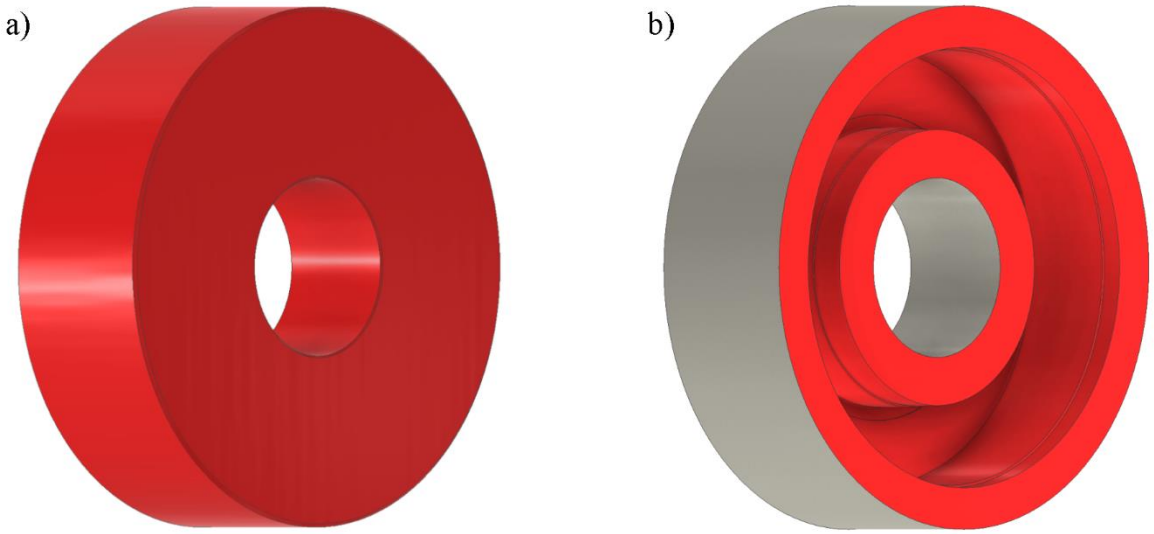


Obr. 4 Dodávaný polotovar pro výrobu tělesa sklíčidla.

1.3.2 Postup výroby tělesa sklíčidla

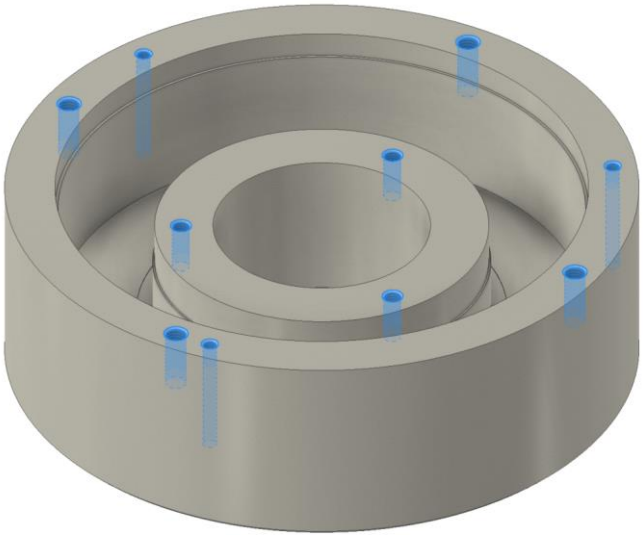
Při výrobě sklíčidla jsou na odlitém litinovém a předhrubovaném polotovaru obráběny následující prvky dle výkresu, který se nachází v příloze – výkres 2. Obrábění probíhá na třech obráběcích strojích, a proto je možné výrobu tělesa sklíčidla rozdělit na tři operace.

První operací je soustružení, které probíhá na dvě upnutí. V první pozici je na přední straně soustružena čelní plocha, středový otvor a obvodový průměr na rozměry dle výkresu (obr. 5a, soustružené plochy jsou znázorněny červeně). Následně je obrobek otočen a probíhá soustružení ve druhé pozici. Je soustruženo zadní čelo a vnitřní mezikruží na rozměry dle výkresu pro umístění spirálového kola (obr. 5b, soustružené plochy jsou znázorněny červeně).



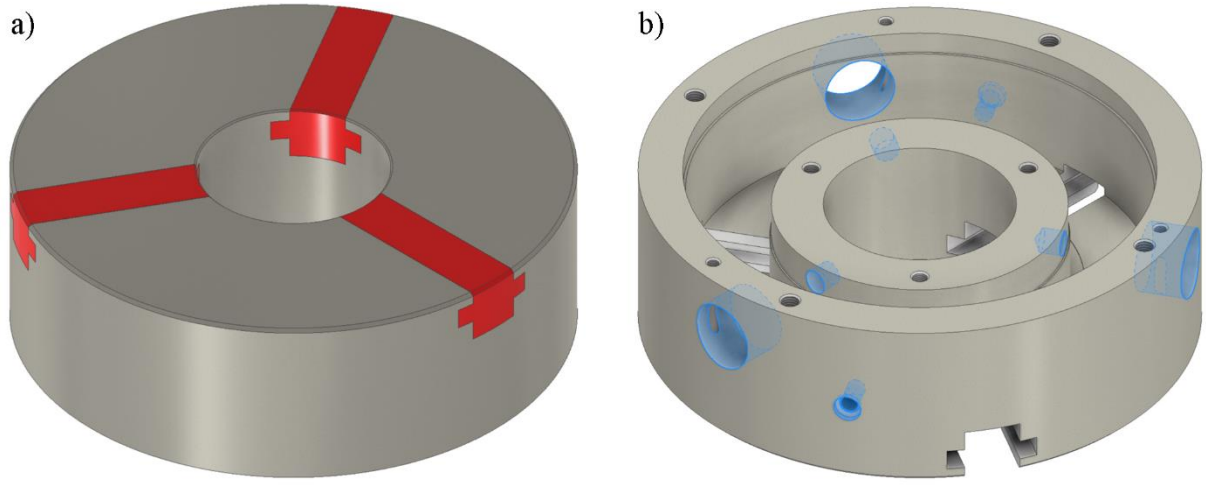
Obr. 5 První operace – soustružení: a) první pozice, b) druhá pozice.

Druhou operací je vrtání na tříosém frézovacím stroji. Jsou vrtány neprůchozí díry se závity. Ve vnitřním prstenci jsou vrtány tři neprůchozí díry, ve kterých jsou následně vyrobeny závity pro šrouby M10 určené k montáži víka sklíčidla. Na vnějším prstenci jsou vrtány čtyři neprůchozí díry, ve kterých jsou následně vyrobeny závity pro šrouby M12 určené k montáži sklíčidla na vřeteno soustruhu. Dále jsou vrtány neprůchozí díry pro kolíky k zajištění pastorků, ve kterých jsou následně vyrobeny závity M8. Vrtané díry jsou znázorněny na obr. 6 modře.



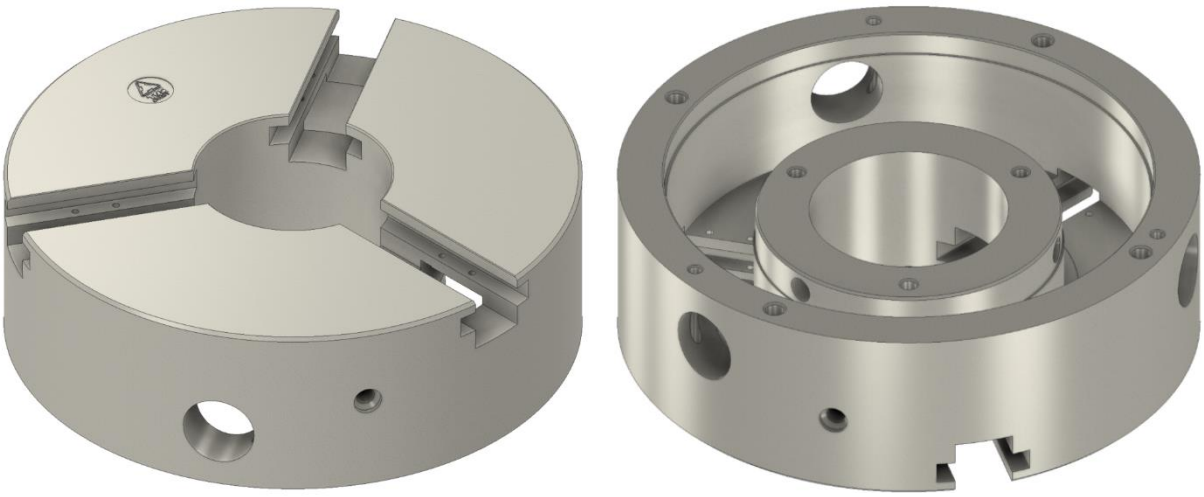
Obr. 6 Druhá operace – vrtání děr.

Třetí operací je frézování a vrtání. Je použit pětiosý frézovací stroj s otočným stolem a celé obrábění probíhá na jedno upnutí. V první pozici jsou na čelní straně tělesa sklíčidla frézovány tři drážky umístěné po 120 ° pro vodicí pera a čelisti. Na obr. 7a jsou znázorněny červeně. Následně je stůl natočen o 90 ° do vertikální polohy, ve které jsou obráběny otvory na obvodu tělesa. Jsou vrtány dva protilehlé otvory, ve kterých je následně vyroben závit M12 pro umístění zvedacích šroubů s okem, sloužících pro manipulaci se sklíčidlem. Složitější operací je obrábění přesných děr pro pastorky, které jsou rozmístěny po 120 ° na vnějším obvodu tělesa. Tyto díry jsou vrtány, frézovány a následně vystruženy na tolerovaný rozměr dle výkresu. Vrtané díry jsou znázorněny na obr. 7b modře.



Obr. 7 Třetí operace: a) frézování drážek, b) vrtání a frézování děr.

Na závěr je provedeno vzhledové broušení čelní plochy, obvodového průměru a zadního čela a je provedeno sražení hran tělesa sklíčidla. Hotové těleso sklíčidla je znázorněno na obr. 8.



Obr. 8 Hotové těleso sklíčidla.

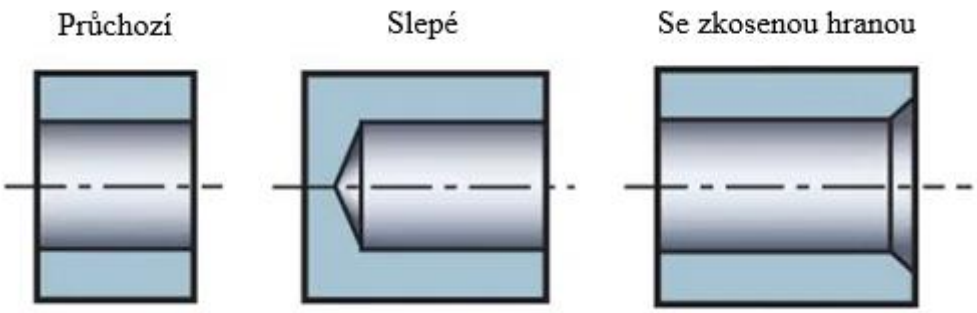
Stávající výroba děr pro pastorky zahrnuje řadu operací, které jsou detailněji rozebrány v kapitole 3. Ty je třeba zredukovat využitím sdruženého nástroje, jehož návrh je jedním z cílů práce.

2 CHARAKTERISTIKA POUŽITÝCH TECHNOLOGIÍ

Při stávající výrobě přesných děr v tělese sklíčidla, které jsou určeny pro umístění pastorků, je využita řada výrobních technologií z oblasti třískového obrábění. Výrobní proces zahrnuje především technologie vrtání, ale také je použita technologie frézování. Charakteristiky jednotlivých metod třískového obrábění, použitých při výrobě děr pro pastorek, jsou popsány v následujících kapitolách.

2.1 Technologie vrtání

Vrtání je základní metoda třískového obrábění využívaná k výrobě válcových děr, zpravidla dvoubřitým nástrojem – vrtákem. Tyto díry lze zhotovovat do plného materiálu, což je nazýváno vrtání nebo je možno zvětšovat již předpřipravené díry. Tato operace je nazývána vyvrtávání. Dále je mezi technologii vrtání zařazeno i vyhrubování a vystružování, které je používáno k dosažení lepší přesnosti a jakosti povrchu vrtaného otvoru. Další operací, náležící do oblasti vrtání, je zahlubování, používané k úpravě čela vyvrtané díry. Je zhotovováno tvarové zahloubení pro zapuštění hlavy šroubu. Společným prvkem všech těchto procesů je rotační hlavní pohyb kombinovaný s lineárním posuvem. Nejdůležitějšími parametry vrtané díry jsou průměr, hloubka a kvalita díry. Základní typy děr zhotovované technologií vrtání jsou průchozí díry, slepé díry nebo díry se zkosenou hranou (obr. 9). [6; 7; 8; 9]



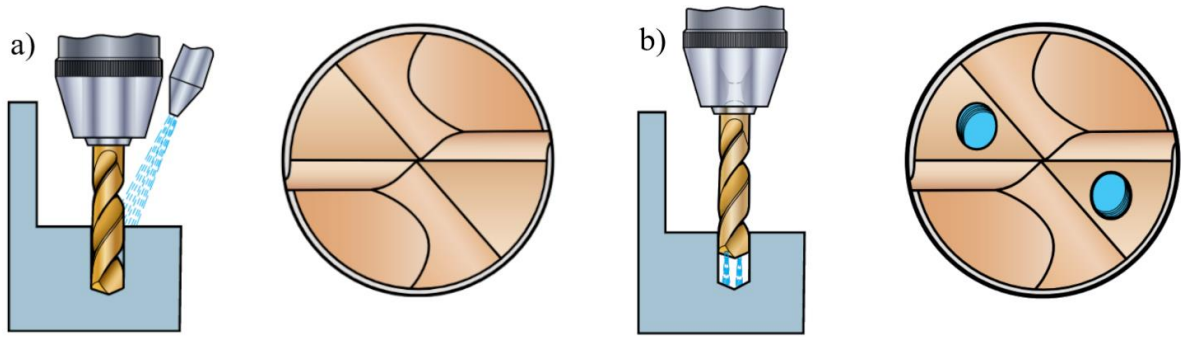
Obr. 9 Základní typy děr [10].

Proces vrtání lze rozdělit na několik druhů. Tím hlavním rozdělením je vrtání krátkých děr a vrtání hlubokých děr. Při vrtání krátkých děr je požadavek dodržet poměr průměru vrtané díry a délky vrtané díry v rozmezí 1/5 až 1/10. Pro tuto operaci jsou použity vrtáky šroubovité, kopinaté, s vyměnitelnými špičkami a s VBD. V případě vrtání hlubokých děr je poměr průměru vrtané díry a délky vrtané díry větší jak 1/10 a jsou použity vrtáky dělové, hlavňové, ejektorové, BTA a STS. S postupným vývojem nástrojů pro vrtání krátkých děr se ve velké míře změnila příprava díry a následné obrábění. Moderní nástroje umožňují vrtat díru v jedné operaci bez předchozí přípravy. Kvalita vrtané díry je dobrá a často již není nutné následné obrábění pro zlepšení struktury povrchu a přesnosti rozměru. [6, 9]

Nejběžnější je vrtání do plna, kdy je díra vrtána do plného materiálu v jediné operaci do určité hloubky. Vrtání na jádro je využito hlavně u děr větších průměrů. Jako nástroj je použit trepanační vrták, který nevrtá celý průřez, nýbrž pouze mezikruží po obvodu a uprostřed zůstane plné jádro. Proto je tato metoda vhodná pro průchozí díry. [9]

Důležitým aspektem při procesu vrtání je odvod třísky z místa řezu. Množství a tlak přiváděné řezné kapaliny je důležitým faktorem při technologii vrtání. Při vrtání je vytvářeno velké množství třísek, které je nutno rychle odstraňovat z díry. Případné uvíznutí třísky v otvoru během obrábění může zapříčinit poškození nástroje i obrobeného povrchu. Správný odvod třísky je podpořen přívodem řezné kapaliny, která navíc zvyšuje kvalitu obrobené díry a životnost nástroje. Řezná kapalina je do místa řezu přivedena buď vnější cestou nebo přímo

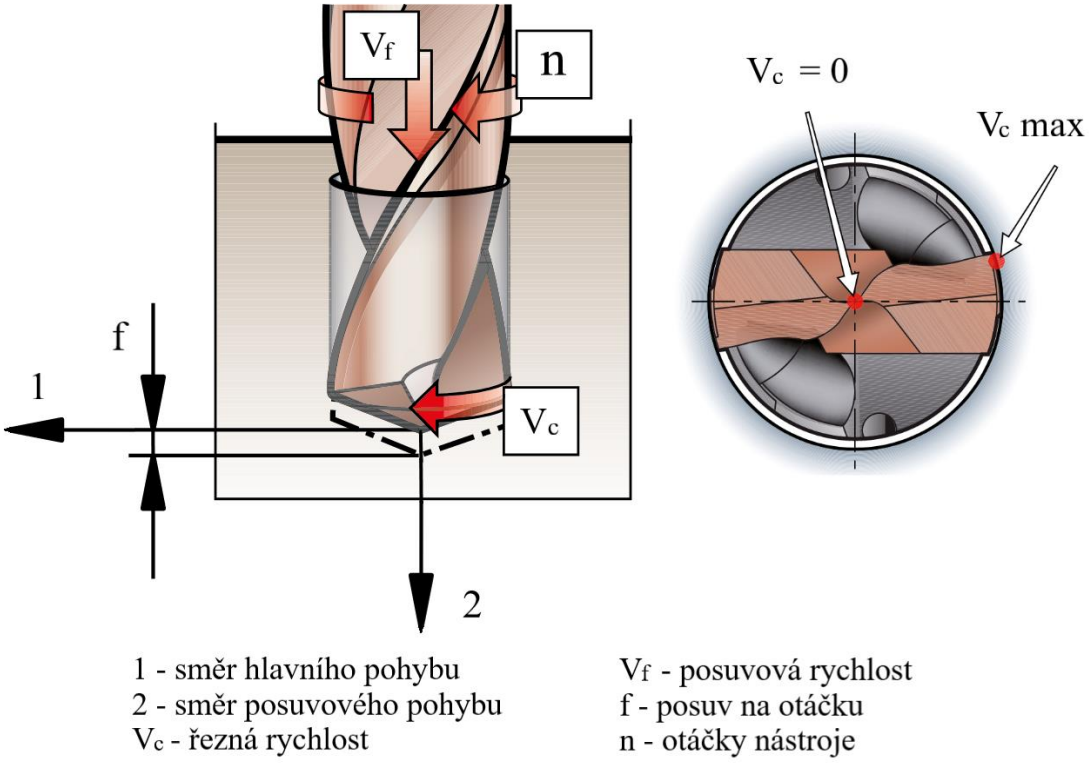
pomocí kanálků uvnitř nástroje (obr. 10). Vnitřní přívod řezné kapaliny je použit převážně při vrtání hlubokých děr, z důvodu většího rizika uvíznutí třísky v obráběné díře. Vnější přívod kapaliny je zpravidla použit při vrtání krátkých děr. [11; 12]



Obr. 10 Přívod řezné kapaliny do řezu: a) vnější přívod, b) vnitřní přívod [13].

2.1.1 Kinematika a řezné podmínky

Z hlediska kinematiky je vrtání kombinací dvou pohybů. Hlavní řezný pohyb je rotační a koná ho zpravidla nástroj otáčející se kolem své podélné osy. To neplatí při vrtání na soustruhu, kde hlavní řezný pohyb vykonává obrobek. Vedlejší pohyb je posuvový a koná ho obvykle také nástroj. Posuvový pohyb je prováděn ve směru osy vrtáku a plocha obráběného materiálu, do kterého je díra zhotovována, je většinou kolmá na osu vrtáku, ale není to pravidlem. Typickou vlastností nástrojů využívaných pro výrobu děr je různá řezná rychlost každého bodu ostří. Řezná rychlost je na obvodu nástroje nejvyšší a směrem k ose nástroje se zmenšuje až dosáhne nulové hodnoty (obr. 11). Z tohoto důvodu je za řeznou rychlost považována obvodová rychlost, která se nachází na jmenovitém průměru nástroje. Kinematika vrtacího procesu šroubovitým vrtákem je znázorněna na (obr. 11). [6; 11]



Obr. 11 Kinematika vrtání [11].

Řezná rychlost je při vrtání závislá na průměru a otáčkách vrtáku. Je to nejdůležitější faktor určující životnost nástroje. Příliš vysoká řezná rychlost generuje větší teplo a zvyšuje opotřebení nástroje. [6; 11]

Řezná rychlost je vyjádřena podle vztahu [6]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3}\,, \tag{2.1}$$

kde: v_c – řezná rychlost [m·min^{-1}],
D – průměr nástroje [mm],
n – otáčky nástroje (případně obrobku) [min^{-1}].

Posuvová rychlost je rychlost nástroje vůči obrobku, případně rychlost obrobku vůči nástroji. Vyjadřuje se délkou uražené dráhy za jednotku času. Při výpočtu je třeba znát posuv na otáčku a otáčky nástroje. Posuv na otáčku má mimo jiné vliv na tvorbu třísky a výslednou kvalitu povrchu díry. Velikost posuvu je volena na základě materiálu obrobku, materiálu nástroje, průměru a hloubky obráběné díry a druhu vrtání. Druhem vrtání je myšleno, zda je díra zhotovována do plného materiálu nebo je již předvrtána. [6; 9; 11; 15]

Posuvová rychlost je vyjádřena podle vztahu [6]:

$$v_f = f \cdot n\,, \tag{2.2}$$

kde: v_f – posuvová rychlost [mm·min^{-1}],
f – posuv nástroje na otáčku [mm],
n – otáčky nástroje (případně obrobku) [min^{-1}].

Rychlost řezného pohybu lze vyjádřit vztahem [6]:

$$v_e = \sqrt{v_c^2 + v_f^2} = 10^{-3} \cdot n \cdot \sqrt{(\pi \cdot D)^2 + f^2}\,, \tag{2.3}$$

kde: v_e – rychlost řezného pohybu [mm·min^{-1}],
v_c – řezná rychlost [m·min^{-1}],
v_f – posuvová rychlost [mm·min^{-1}],
n – otáčky nástroje (případně obrobku) [min^{-1}],
D – průměr nástroje [mm],
f – posuv nástroje na otáčku [mm].

Protože jsou nástroje na vrtání většinou vícebřité, lze u nich definovat i hodnotu posuvu na zub, která je vyjádřena vztahem [6]:

$$f_z = \frac{f}{z}\,, \tag{2.4}$$

kde: f_z – posuv na zub [mm],
f – posuv nástroje na jednu otáčku [mm],
z – počet zubů nástroje [-].

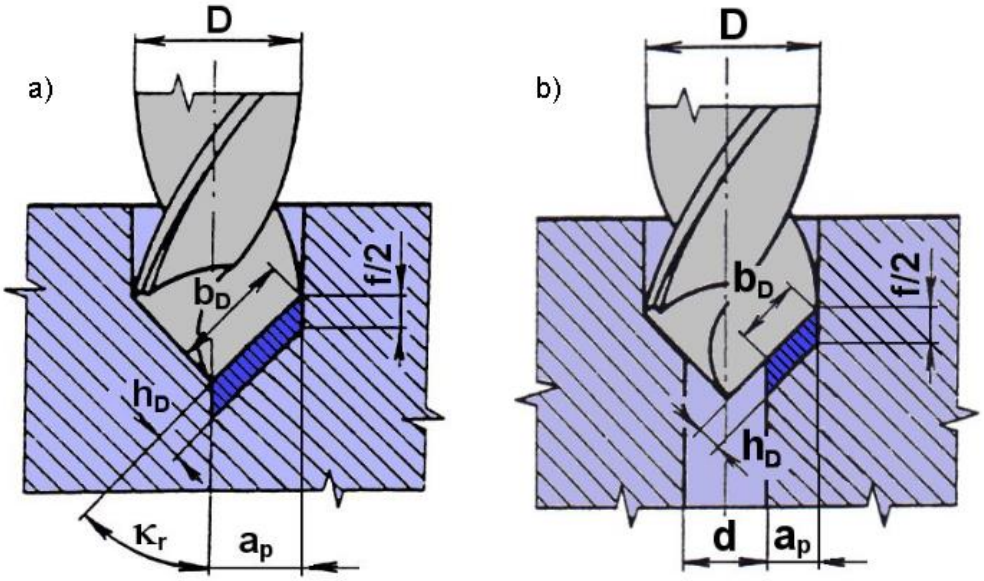
2.1.2 Průřez třísky

Průřez třísky je vrstva obráběného materiálu, která je odebrána působením ostří nástroje. Na obr. 12 jsou uvedeny parametry pro vrtání do plného materiálu a do předvrtané díry. [6]

Jmenovitý průřez třísky, odebíraný jedním břitem vrtáku, je vyjádřen vztahem [6]:

$$A_D = b_D \cdot h_D = a_p \cdot \frac{f}{2}, \tag{2.5}$$

kde: A_D – jmenovitý průřez třísky [mm^2],
b_D – jmenovitá šířka třísky [mm],
h_D – jmenovitá tloušťka třísky [mm],
a_p – šířka záběru ostří [mm],
f – posuv nástroje na jednu otáčku [mm].



Obr. 12 Průřez třísky při vrtání: a) do plného materiálu, b) do předpracované díry [6].

Z obr. 12a je zřejmé, že při vrtání do plného materiálu je šířka záběru ostří $a_p = D/2$. Po dosazení uvedeného tvrzení do rovnice (2.5) je vyjádřena rovnice (2.6) pro výpočet průřezu třísky odebírané jedním břitem nástroje při vrtání do plného materiálu. [6]

$$A_D = \frac{D \cdot f}{4}, \tag{2.6}$$

kde: D – průměr nástroje [mm],
f – posuv nástroje na jednu otáčku [mm].

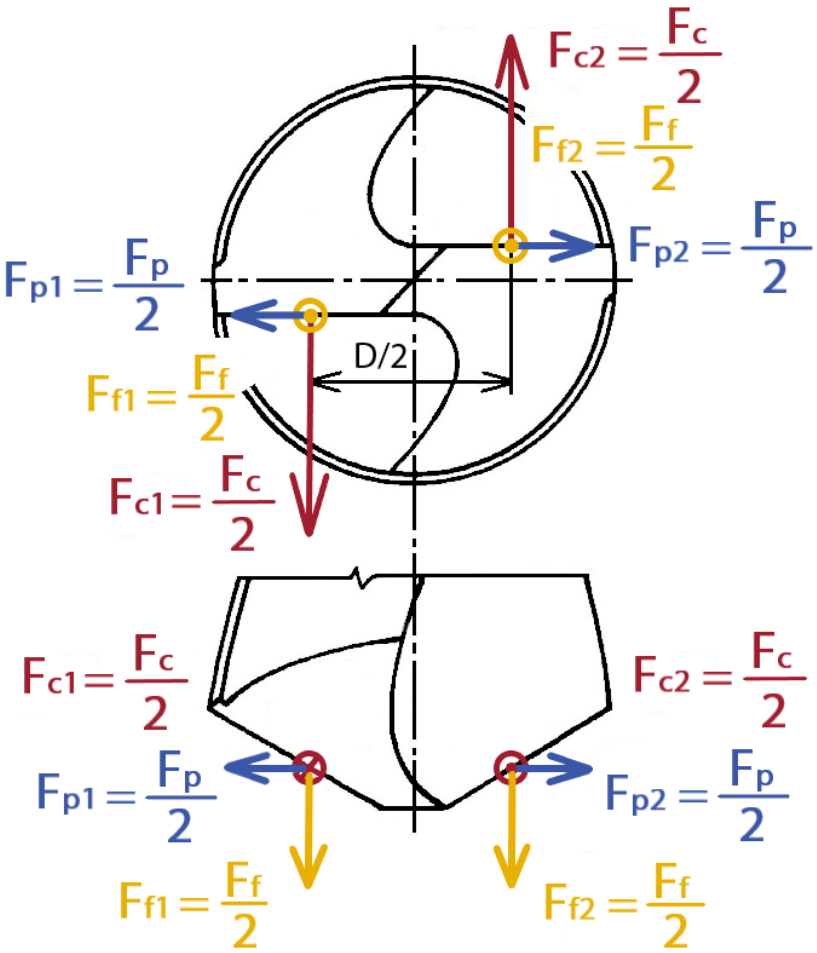
Analogicky je z obr. 12b zřejmé, že při vrtání do předpracované díry je šířka záběru $a_p = (D-d)/2$. Po dosazení této šířky záběru ostří do rovnice (2.5) je vyjádřena rovnice (2.7) pro výpočet průřezu třísky odebírané jedním břitem nástroje při vrtání do předpracované díry. [6]

$$A_D = \frac{(D-d) \cdot f}{4}, \tag{2.7}$$

kde: d – průměr předpracované díry [mm].

2.1.3 Řezné síly

Při vrtání standardním šroubovitým vrtákem je obráběný materiál oddělován dvěma břity současně. Břity nástroje jsou symetricky umístěny vůči jeho ose, a proto jsou výsledné síly tvořeny součtem či rozdílem hodnot na obou břitech nástroje. Rozložení řezných sil, působících při vrtání, je znázorněno na obr. 13. [6; 15]



Obr. 13 Analýza silového působení při vrtání [6].

Jednotlivé celkové síly jsou vyjádřeny následovně [6; 15]:

- posuvová síla:

$$F_f = F_{f1} + F_{f2} \ \ [N], \tag{2.8}$$

- pasivní síla:

$$F_p = F_{p1} - F_{p2} \ \ [N], \tag{2.9}$$

- řezná síla:

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} = k_c \cdot A_D \ \ [N], \tag{2.10}$$

kde: k_c – měrná řezná síla [MPa].

Při správném a přesném naostření vrtáku jsou síly na obou břitech shodné. Výsledná pasivní síla má nulovou hodnotu a z tohoto tvrzení plyne [6]:

$$F_{f1} = F_{f2} = \frac{F_f}{2} \ \ [N], \tag{2.11}$$

$$F_{p1} = F_{p2} = \frac{F_p}{2} \ \ [N], \tag{2.12}$$

$$F_{c1} = F_{c2} = \frac{F_c}{2} \ \ [N]. \tag{2.13}$$

Při technologii vrtání lze pro celý nástroj stanovit jednotlivé síly (odpory) pomocí následujících empirických vztahů [6; 15]:

$$F_f = C_{F_f} \cdot D^{x_{F_f}} \cdot f^{y_{F_f}} \ \ [N], \tag{2.14}$$

$$F_c = C_{F_c} \cdot D^{x_{F_c}} \cdot f^{y_{F_c}} \ \ [N], \tag{2.15}$$

kde: C_{Ff},,C_{Fc} – konstanty vyjadřující zejména vliv obráběného materiálu [-],
x_{Ff}, x_{Fc} – exponenty vyjadřující vliv průměru vrtáku [-],
y_{Ff}, y_{Fc} – exponenty vyjadřující vliv posuvu na otáčku [-],
D – průměr vrtáku [mm],
f – posuv na otáčku [mm].

Výpočet kroutícího momentu k ose vrtáku lze určit ze vztahu [6]:

$$M_k = 2 \cdot \frac{F_c}{2} \cdot \frac{D}{4} = C_M \cdot D^{x_M} \cdot f^{y_{F_c}} \ \ [N \cdot mm], \tag{2.16}$$

kde: $C_M = \frac{C_{F_c}}{4}$,

$x_M = x_{F_c} + 1.$

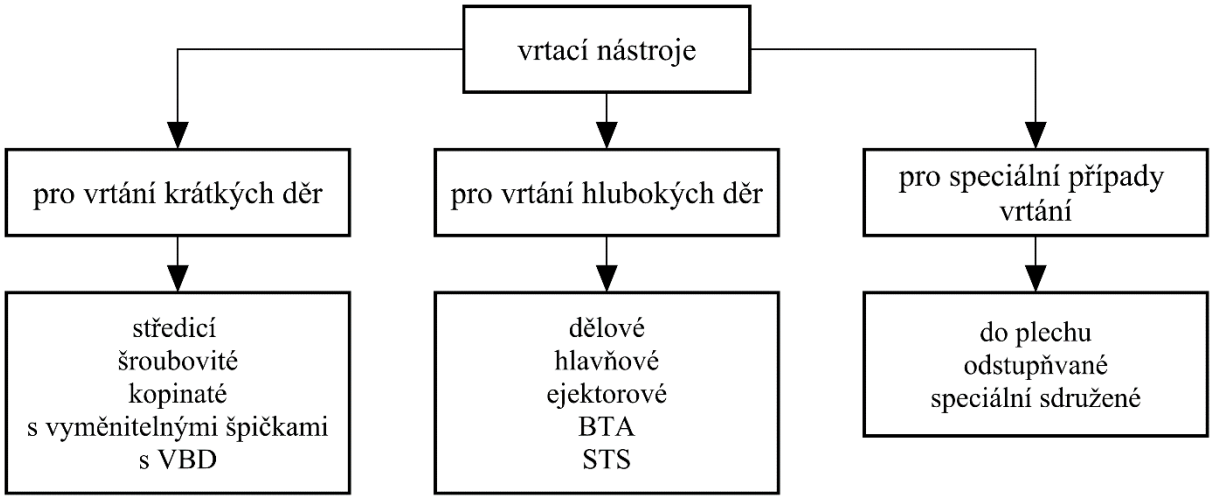
Řezný výkon při vrtání je určen dle vztahu [6]:

$$P_c = \frac{F_c \cdot v_c}{2 \cdot 60 \cdot 10^3} \ \ [kW], \tag{2.17}$$

kde: F_c – řezná síla [N],
v_c – řezná rychlost, určená dle vztahu (2.1) [m·mim^{-1}].

2.1.4 Nástroje

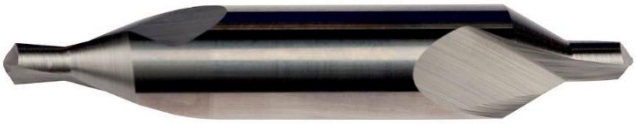
Nástroj, který je používán při technologii vrtání se nazývá vrták. Používá se k obrábění průchozích či neprůchozích děr, válcových i kuželových, a to jak do plného materiálu, tak i do předpracovaných děr. Volba vhodného vrtáku závisí na mnoha faktorech. Je to zejména průměr a délka vrtané díry, požadovaná kvalita povrchu díry a tolerance, použitý stroj a obráběný materiál. Na základě obráběného materiálu se následně volí řezné podmínky vrtání. Vrtáky je možno rozřadit do několika skupin podle různých hledisek, avšak nejběžnější rozdělení je dle obr. 14. [6; 7; 17]



Obr. 14 Rozdělení vrtacích nástrojů [16].

Středicí vrtáky

Jedná se o speciální případ vrtáků, které lze označit za stupňovité tvarové vrtáky se zvláštní geometrií břitu. Tento typ vrtáku je použit pro navrtání středicích důlků při upnutí obrobku mezi hroty nebo pro navrtání středicích důlků pro přesné určení osy vrtání. Příklad středicího vrtáku je na obr. 15. [17; 18]



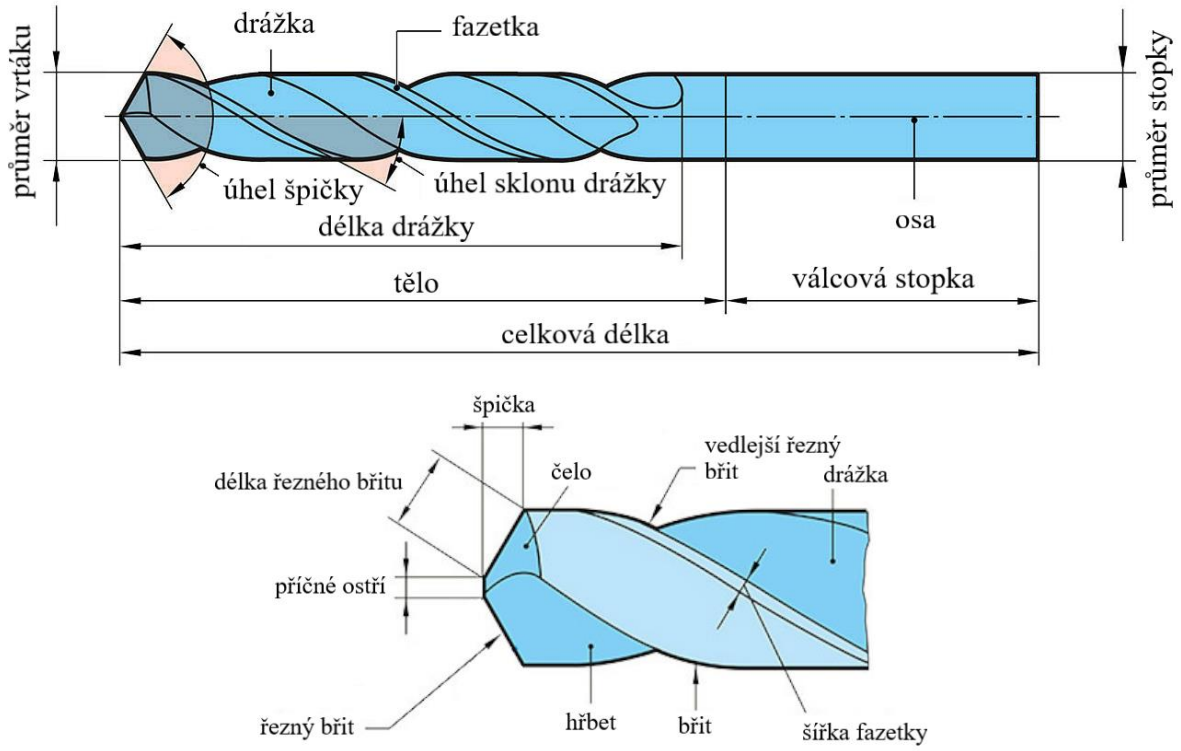
Obr. 15 Středicí vrták [19].

Šroubovité vrtáky

Šroubovité vrtáky patří mezi nejčastěji používané nástroje pro obrábění krátkých děr. Tento typ vrtáku má většinou dva břity a na jeho válcovitém těle se nacházejí dvě protilehlé šroubovité drážky, sloužící k odvodu třísek z místa řezu a pro přívod řezné kapaliny. Úhel stoupání šroubovice těchto drážek je v rozmezí 8 až 45 ° v závislosti na obráběném materiálu. Řezná část vrtáku je tedy tvořena ze dvou hlavních ostří, symetrických vzhledem k ose vrtáku, které jsou na špičce spojeny příčným ostřím. Toto ostří výrazně zvyšuje krouticí moment a posuvovou sílu v daném místě, což způsobuje, že se materiál neodřezává, nýbrž pouze vytlačuje do stran směrem k hlavním ostřím, které materiál odřezávají. Z tohoto důvodu je snaha co nejvíce zmenšit příčné ostří pomocí podbroušení hřbetních ploch nebo jinou konstrukční modifikací. Úhel špičky vrtáku je v rozmezí od 90 do 140 ° v závislosti na

obráběném materiálu, stejně jako u úhlu stoupání šroubovice. Správné vedení vrtáku v obráběné díře zajišťuje fazetka, nacházející se na vedlejším ostří. Aby se zmenšilo tření mezi vrtákem a obrobkem v místě řezu, šroubovitý vrták se směrem ke stopce mírně kuželovitě zužuje. Stopka, která může být válcová či kuželová, slouží jako upínací část vrtáku. Popis jednotlivých částí šroubovitého vrtáku je na obr. 16. Šroubovitý vrták je používán jak pro vrtání do plného materiálu, tak pro předvrtání děr pro další operace. [6; 17; 18; 20]

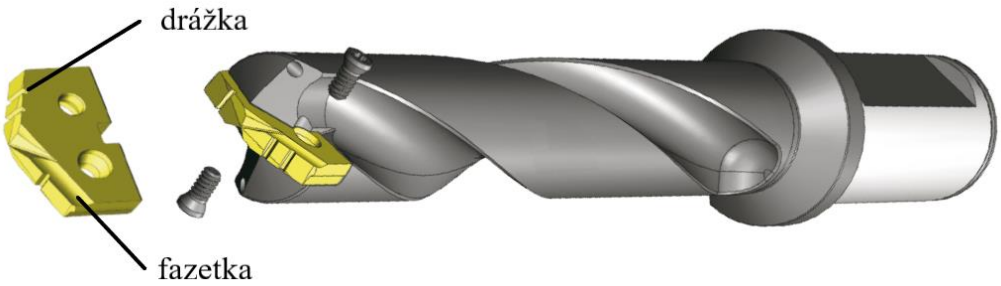
Šroubovité vrtáky jsou vyráběny z řady materiálů, a to především z vysoce výkonných rychlořezných ocelí a slinutých karbidů. Pro zvýšení životnosti a řezivosti lze vrtáky povlakovat. Vrtáky jsou vyráběny i ve variantě se šroubovitými otvory uvnitř těla vrtáku pro vnitřní přívod řezné kapaliny. [6]



Obr. 16 Popis částí šroubovitého vrtáku [21].

Kopinaté vrtáky

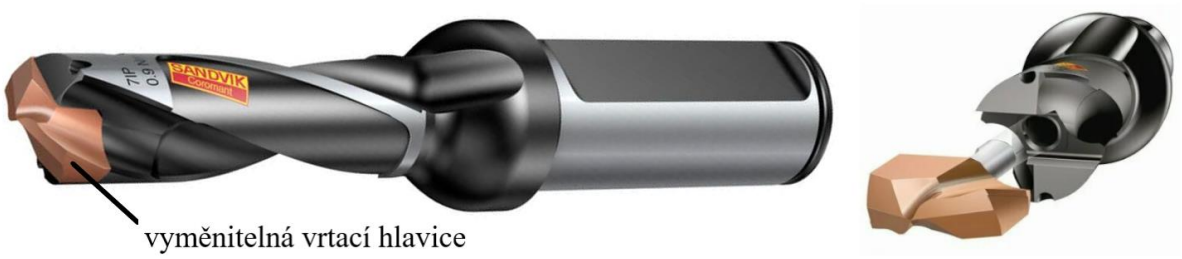
Jedná se o nejstarší typ vrtáku s velmi jednoduchou konstrukcí vyznačující se vysokou tuhostí a umožňující vrtat díry bez předchozího předvrtání. Řezná část nástroje je tvořena dvěma hlavními břity o stejné délce svírající úhel 90 až 130 ° v závislosti na obráběném materiálu. Původně byl kopinatý vrták monolitní nástroj, ale dnešní moderní kopinaté vrtáky (obr. 17) jsou složeny z těla vrtáku a vyměnitelné řezné části se speciálně tvarovanými destičkami, které jsou připájeny nebo mechanicky upnuty. Ty jsou vyrobeny převážně z rychlořezné oceli nebo slinutých karbidů. Dělení třísky je zajištěno vybroušenými dělicími drážkami na hlavních hřbetech destiček. Zde se nachází i fazetka, která slouží ke snížení tření v obráběné díře (obr. 17). Moderní kopinaté vrtáky mají na těle šroubovité drážky, které odvádí třísky z místa řezu a většina z nich má kanálek pro vnitřní přívod řezné kapaliny. V současné době se kopinaté vrtáky používají pro vrtání krátkých děr na CNC strojích. Nevýhodou tohoto typu vrtáku je horší odvod třísek z místa řezu. To je však možno řešit větším přísunem řezné kapaliny. Přesnost a kvalita obrobené díry je horší při porovnání se šroubovitým vrtákem. [6; 17; 18]



Obr. 17 Kopinatý vrták s VBD [22].

Vrtáky s vyměnitelnou špičkou

Tento typ vrtáku (obr. 18) je vyráběn ve dvou základních konstrukčních provedeních, a to se špičkou ve formě břitové destičky nebo s vyměnitelnou hlavicí. Tyto špičky i hlavice jsou vyráběny ze slinutých karbidů, které jsou většinou povlakovány pro zvýšení životnosti. Tělo vrtáku je tvořeno dvěma šroubovitými drážkami, které slouží pro správný odvod třísek z místa řezu. Odvod třísek může být zároveň podpořen vnitřním přívodem řezné kapaliny prostřednictvím kanálků uvnitř těla vrtáku. Vyměnitelné špičky a hlavice mají různou geometrii, která je měněna v závislosti na operaci a obráběném materiálu. Jedná se o vynikající konstrukční řešení z pohledu průměru díry, její tolerance, hloubky a kvality. Vrtací hlavice je velmi přesně usazena jediným možným způsobem v těle vrtáku a je zajištěna šroubem. Výměna hlavice je rychlá, jednoduchá a lze ji provést přímo na stroji. Výhodou je jejich univerzálnost pro všechny případy vrtání. [6; 23]



Obr. 18 Vrták s vyměnitelnou vrtací hlavicí [23; 24].

Vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami

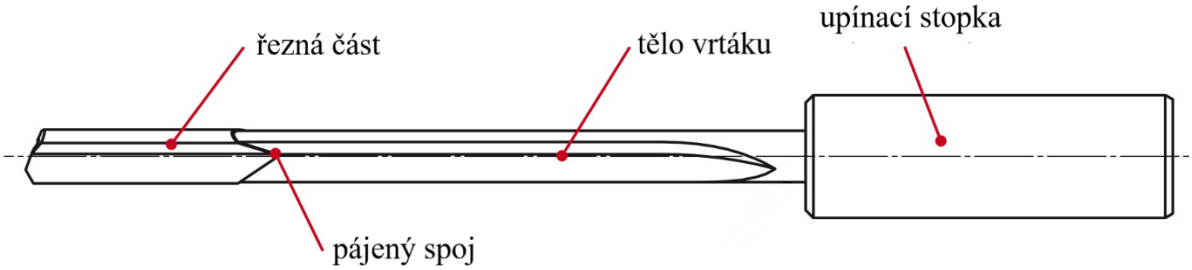
Vrtáky s VBD (obr. 19) patří mezi moderní, vysoce výkonné vrtací nástroje, které umožňují 5 až 10krát vyšší úběr materiálu než klasický šroubovitý vrták. Základem tohoto nástroje je tělo vrtáku, na které je upnuto dvě a více břitových destiček ze slinutých karbidů pomocí šroubů se zapuštěnou hlavou. Aby docházelo ke správnému odvodu třísek z místa řezu, nacházejí se na těle vrtáku šroubovité nebo přímé drážky a v těle vrtáku kanálky pro vnitřní přívod řezné kapaliny. Jak bylo zmíněno v kapitole 2.1.1, řezná rychlost není podél hlavního ostří konstantní. Proto je někdy tento typ vrtáků osazen dvěma typy překrývajících se břitových destiček. Obvodové destičky, pracující při vyšší řezné rychlosti, jsou vyrobeny z materiálu s vyšší odolností proti opotřebení. Většinou se jedná o povlakované slinuté karbidy. Druhým typem jsou středové destičky obrábějící s nižší řeznou rychlostí, a proto nemusejí být povlakované. Výsledkem použití dvou typů břitových destiček je jejich přibližně stejná trvanlivost, a díky tomu mohou být vyměňovány současně. Existuje mnoho tvarů břitových destiček, které jsou konstruovány tak, aby vyhověly nepříznivým pracovním podmínkám, vyskytujících se

u technologie vrtání (problémy s dělením třísky, odvod třísek z místa řezu, mechanické zatížení vrtáku). Vrták s vyměnitelnými destičkami je schopen vytvářet ploché dno, na rozdíl od zahroceného šroubovitého vrtáku. Je velmi univerzální s ohledem na prováděné operace, materiály a podmínky. [6; 16]

Obr. 19 Vrták s vyměnitelnými břitovými destičkami [25].

Dělové a hlavňové vrtáky

Jedná se o vrtáky využívající se pro vrtání hlubokých děr. Dělový vrták je zpravidla jednobřitý nástroj používaný pro menší hloubky, protože nedisponuje vnitřním přívodem řezné kapaliny pro efektivní odvod třísek z místa řezu. Z tohoto důvodu je nutno vrták po vyvrtání určité hloubky vytáhnout, aby se z obrobené díry odstranily třísky. Řezná část nástroje je tvořena hrotem vyrobeného z rychlořezné oceli či slinutých karbidů. Tato část je připájena na tělo vrtáku, zakončeného upínací stopkou (obr. 20). Vzhledem k tomu, že se jedná o jednobřitý nástroj, který není rotačně symetrický, nedokáže se sám zavrtat do materiálu. Je potřeba nedříve vyvrtat pilotní díru, která zajistí v počáteční fázi vrtání správné vedení. Dělové vrtáky nenabízejí takovou přesnost vrtání jako vrtáky hlavňové. [6; 26]

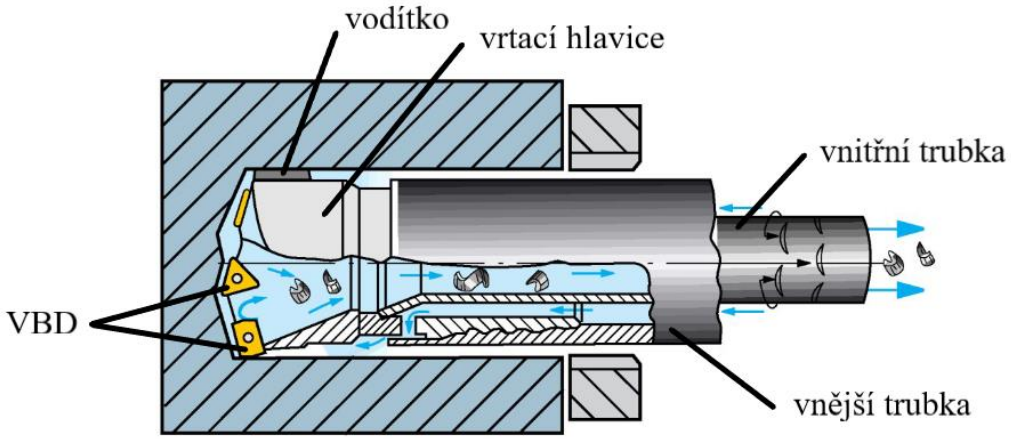


Obr. 20 Schéma dělového vrtáku [27].

Hlavňové vrtáky jsou používány pro vrtání přesnějších děr. Jsou velmi podobné dělovým vrtákům, avšak řezná kapalina je zde již přiváděna pod tlakem tělem vrtáku, kde způsobuje efektivní výplach třísek z místa řezu. Nástroj je tvořen vrtací částí, která je připájena na trubku nebo tyč. Řezná část je vyrobena z rychlořezné oceli nebo z konstrukční oceli, na které jsou připájeny břitové destičky ze slinutých karbidů. Typickým znakem hlavňových vrtáků je přítomnost vodících lišt, které jsou rovněž připájeny k tělu vrtáku, a zajišťují správné vedení v obráběné díře. Při vrtání hlubokých děr pomocí dělových a hlavňových vrtáků jsou používány speciálně upravené soustruhy. [6; 16]

Ejektorový vrták

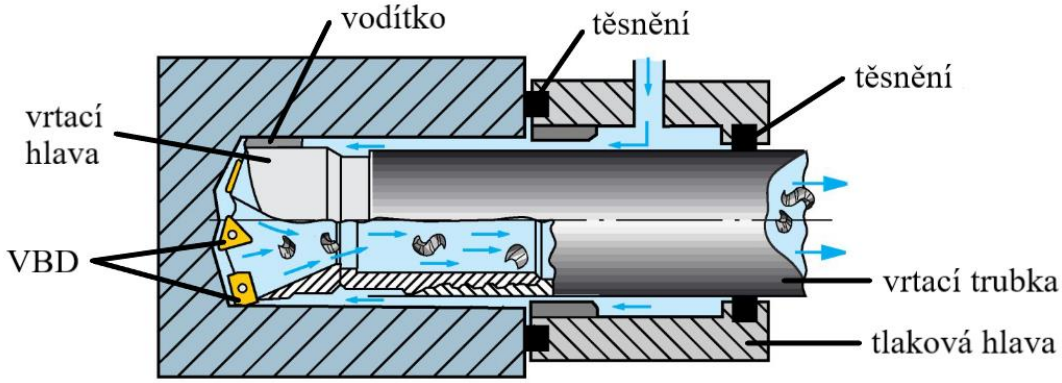
Tento typ vrtáků je složen z vrtací hlavice a vnitřní a vnější vrtací trubky. Vrtací hlavice, na které jsou upnuty břitové destičky a vodítka, je našroubovaná do vnější vrtací trubky. Pro efektivní odvod třísek z místa řezu je u tohoto systému využit ejektorový efekt. Řezná kapalina je přiváděna do místa řezu pod tlakem mezikružím mezi vnitřní a vnější trubkou. Malá část kapaliny odchází vniřní trubkou. Tím vzniká ve vnitřní trubce podtlak, který strhává třísky a odsává kapalinu z místa řezu. Jednotlivé části nástroje a princip ejektorového vrtání je znázorněn na obr. 21. Ejektorové vrtáky jsou využity při vrtání do plného materiálu bez předchozího předrvtání o průměru 20 až 60 mm a hloubky až 100krát průměru vrtané díry. Vrtání může probíhat na konvenčních obráběcích strojích, CNC soustruzích a obráběcích centrech. [6; 18]



Obr. 21 Princip ejektorového vrtání [6].

BTA a STS vrtáky

Jedná se o nejproduktivnější metody pro vrtání hlubokých děr. Systém je velmi podobný jako u ejektorových vrtáků. Je složen z vrtací hlavice, vrtací trubky a tlakové hlavy. Vrtací hlavice, na které jsou upnuty břitové destičky a vodítka, je našroubována na vrtací trubku. Přívod řezné kapaliny je u tohoto systému řešen tlakovou hlavou. Ta přivádí pod tlakem řeznou kapalinu do místa řezu mezi stěnou vrtané díry a vrtací trubkou. Kapalina znečištěná třískami obráběného materiálu je plynule odváděna z místa řezu vnitřní dutinou nástroje. Tlaková hlava musí být dobře utěsněna, a to jak mezi obrobkem, tak mezi vrtací trubkou. Jednotlivé části nástroje a princip BTA a STS vrtání je znázorněn na obr. 22. Tento vrtací systém umožňuje vrtat do plného materiálu, na jádro nebo zvětšovat předvrtanou díru, a lze ho použít pro větší vrtané průměry než u ejektorových vrtáků. [6; 16; 18]



Obr. 22 Princip BTA a STS vrtáku [6].

2.1.5 Vyhrubování a vystružování

Vzhledem ke skutečnosti, že vyvrtaná díra nemusí vždy splňovat geometrické a kvalitativní požadavky, spadá pod technologii vrtání také vyhrubování a vystružování. Díky těmto operacím lze zvýšit požadovanou geometrickou přesnost vyvrtané díry a zároveň i kvalitu povrchu. Co se týče kinematiky, využívají se analogické pohyby jako u vrtání. [6; 18]

Vyhrubování je určeno pro obrobení méně přesné díry na hotovo nebo k přípravě díry před vystružováním. Strategie, při které se nejdříve vyhrubuje a poté se vystružuje, je používána u děr s průměrem větším než 10 mm. Vyhrubováním je zlepšována přesnost vyvrtaných otvorů, jejich geometrické parametry nebo je vytvářen rovnoměrný přídavek na vystružování. Přídavek na vystružování je volen v závislosti na obráběném materiálu a požadované kvalitě obráběné díry. [6; 18]

Nástroj určený pro vyhrubování je nazýván výhrubník (obr. 23). Jedná se o vícebřitý nástroj, obvykle se třemi až čtyřmi břity, v závislosti na průměru nástroje. Výhrubníky nemají příčný břit jako vrtáky. Pracovní část výhrubníku se skládá z řezného kužele a z válcové kalibrující části. Zuby, tvořící řeznou část, jsou frézovány a stočeny do šroubovice. Konstrukčně jsou výhrubníky řešeny buď jako stopkové nebo jako nástrčné. Řezná část stopkových výhrubníků je vyrobena z rychlořezné oceli a přivařena ke stopce z oceli konstrukční. Stopka může být jak válcová, tak kuželová. Nástrčné výhrubníky jsou vyrobeny z vysoce výkonné rychlořezné oceli. Další variantou řezné části je využití slinutých karbidů, které jsou přivařeny na těleso výhrubníku vyrobeného z konstrukční oceli. [6; 18]

Vystružování je dokončovací operace předcházející vyhrubování nebo vrtání. Umožňuje výrobu velmi přesných děr s požadovanými geometrickými parametry a vysoce kvalitním povrchem. Velmi důležitým parametrem při vystružování je přídavek. Ten musí být volen takový, aby nástroj obráběný materiál odřezával. Při volbě nevhodného přídavku by docházelo k vytlačování materiálu a vyráběná díra by neměla požadovaný kruhový tvar ani kvalitu povrchu. [6; 18]

Nástroj určený pro vystružování je nazýván výstružník (obr. 23). Jedná se o rozměrový vícebřitý nástroj mající více břitů než výhrubník, zpravidla 4 až 18, v závislosti na průměru nástroje. Břity jsou uspořádány buď ve šroubovici nebo jsou přímé. Protože výstružník odebírá pouze velmi malé množství materiálu, je nutno aby byl nástroj velmi přesný a naostřený. Výstružníky jsou rovněž děleny na stopkové a nástrčné, a dále na strojní a ruční. Upínací část stopkového výstružníku může být válcová nebo kuželová. [6; 18]

Obr. 23 Výhrubník a výstružník [28].

2.2 Technologie frézování

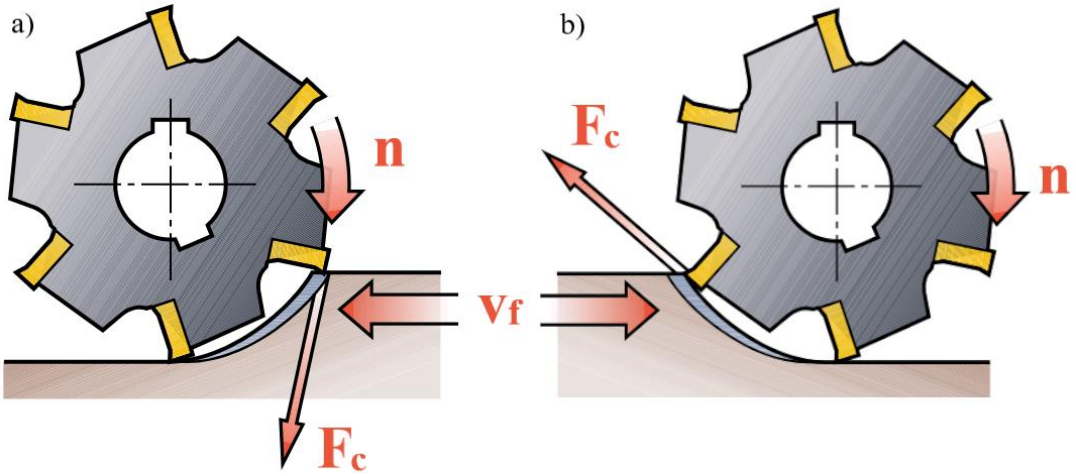
Frézování je základní a nejkomplexnější metoda třískového obrábění, využívaná především pro výrobu různých rovinných ploch. S rozvojem frézovacích strojů však možnosti aplikace rostou a je možno vyrábět i tvarově složitější plochy, včetně frézování děr a výroby závitů. Frézování je v principu obrábění kovů prováděné rotujícím vícebřitým nástrojem – frézou. Ta zabírá do posouvajícího se obrobku, pevně upnutého na stole obráběcího stroje nebo se nástroj posouvá po naprogramované dráze kolem obrobku v téměř libovolném směru. Frézování probíhá ve velké míře na obráběcích centrech, avšak stále existuje mnoho druhů konvenčních frézek. S postupným vývojem frézovacích strojů a jejich řídicích systémů se počet řízených os zvýšil a posuv obrobku je možno plynule měnit a realizovat v několika osách současně. To umožňuje vyrábět složitě tvarované plochy. V průběhu řezného procesu dochází k přerušovanému řezu, kdy jednotlivé břity nástroje postupně zabírají a vycházejí z obráběného materiálu a odebírají třísku proměnného průřezu. Břit nástroje je v záběru jen krátký časový úsek. Poměrně delší dobu není břit v záběru a může se chladit, což prodlužuje jeho trvanlivost a umožňuje používat vyšší řezné rychlosti. Aby chvění celé obráběcí soustavy bylo co nejmenší, je vhodné, aby bylo v záběru co nejvíce břitů současně. Oproti technologii vrtání odpadá problém s utvářením a odvodem třísek z místa řezu. [11; 29; 30; 31]

2.2.1 Rozdělení frézování

V závislosti na použitém nástroji je možné z technologického hlediska rozlišit frézování na válcové a čelní. Těmito dvěma způsoby je tvořen základ frézování a od nich jsou odvozovány i další způsoby, jako je frézování okružní a planetové. [29]

Charakteristickým znakem válcového frézování je obrábění obvodem nástroje. K tomu jsou nejčastěji použity válcové a tvarové frézy, mající zuby pouze na obvodu nástroje. Osa nástroje je rovnoběžná s obrobenou plochou. Podle smyslu otáčení frézy vůči směru posuvu obrobku je možné rozlišit sousledné a nesousledné frézování viz obr. 24. [29]

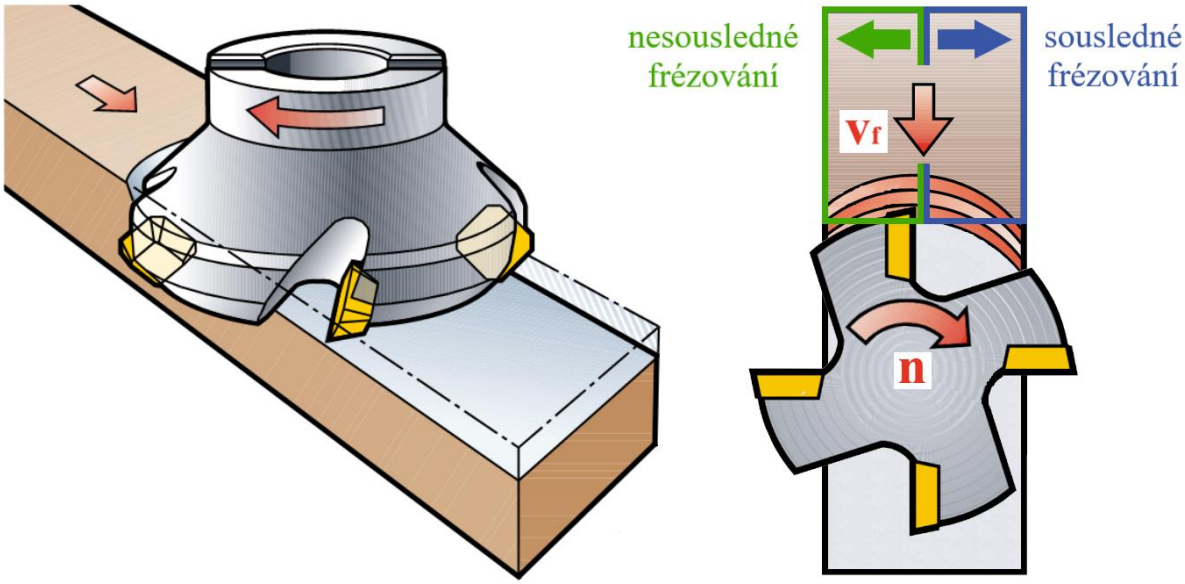
Sousledné frézování je způsob, u kterého je směr rotace nástroje totožný jako směr posuvu obrobku. Obrobená plocha je vytvořena výběhem nástroje z obrobku. Tloušťka třísky je v tomto případě v momentu záběru zubu maximální a zmenšuje se do nulové hodnoty při výběhu zubu z obráběného materiálu. Tento způsob frézování má mnoho výhod oproti frézování nesouslednému. Působící řezné síly při sousledném frézování směřují směrem dolů do upínacího stolu stroje, což umožňuje použití jednodušších upínacích přípravků. Další výhodou je menší opotřebení břitu a možnost použití vyšší řezné rychlosti a posuvu. Pokud to dovoluje obráběcí stroj, upínací přípravek a obrobek, je vhodné preferovat sousledné frézování. [29; 31]



Obr. 24 Válcové frézování: a) sousledné, b) nesousledné [11].

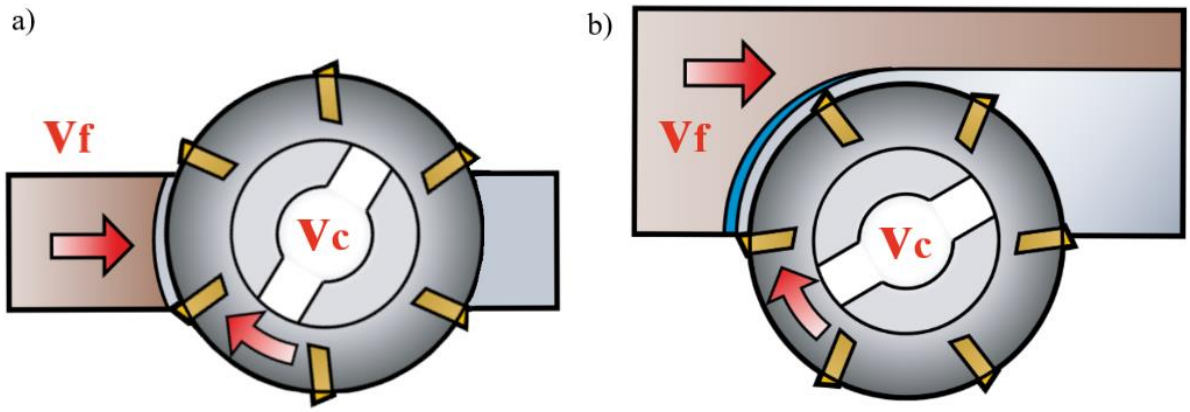
Při nesousledném frézování je směr rotace nástroje opačný ke směru posuvu obrobku. Obrobená plocha je vytvořena vniknutím nástroje do obrobku. Břit každého zubu frézy začíná v tomto případě odebírat materiál od minimální tloušťky, která se s postupujícím řezem zvětšuje. U tohoto způsobu frézování mají řezné síly tendenci tlačit frézu a obrobek směrem od sebe a působící radiální síly mají tendenci zvedat obrobek z upínacího stolu. Při nesousledném frézování dochází k většímu opotřebení nástroje v porovnání s frézováním sousledným. [3; 29]

Čelní frézování je pravděpodobně nejběžnější metodou frézování, u kterého se obrobek přímočaře posouvá směrem k nástroji rotujícímu okolo své osy kolmé ke směru posuvu. Při čelním frézování je použita čelní fréza mající břity jak na obvodu, tak na čele nástroje. Osa nástroje je kolmá na obráběnou plochu. Při tomto způsobu obrábění, na rozdíl od válcového frézování, pracuje fréza současně sousledně i nesousledně viz obr. 25. [29; 33]



Obr. 25 Čelní frézování [11; 29].

Vzhledem k ose obráběné plochy je možné čelní frézování rozdělit na symetrické a nesymetrické. Při symetrickém frézování prochází osa nástroje středem frézované plochy. Při nesymetrickém frézování je osa nástroje mimo střed frézované plochy (obr. 26). [29]



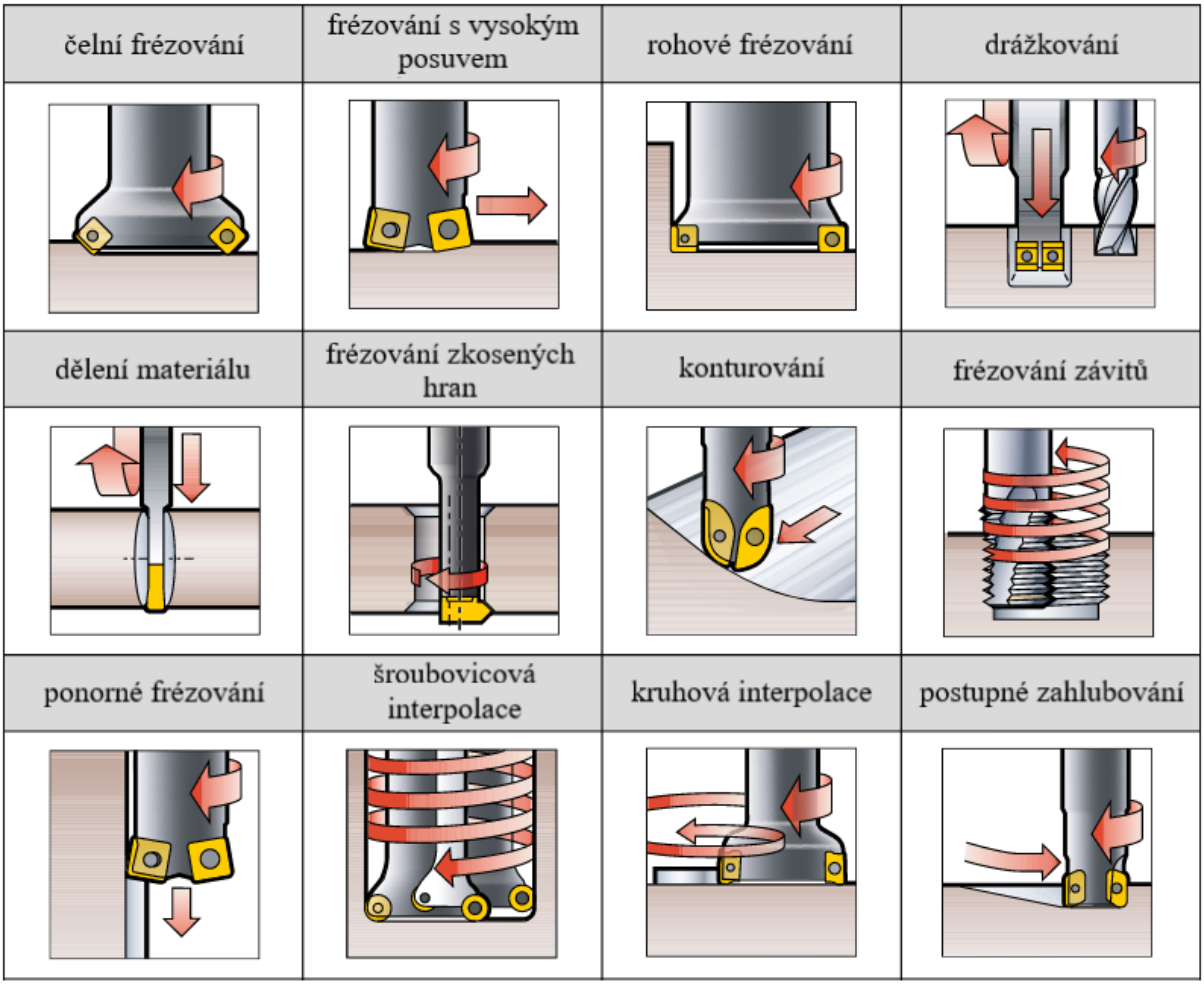
Obr. 26 Čelní frézování: a) symetrické, b) nesymetrické [11; 29].

Planetové frézování je využito u CNC frézek a obráběcích center vybavených kruhovou nebo šroubovicovou interpolací. Obrobek zpravidla stojí a nástroj vykonává hlavní řezný pohyb a planetový posuvový pohyb po kruhové dráze. Tento způsob je využit pro výrobu děr, vnitřních i vnějších rotačních ploch, vnitřních zápichů a kruhových zaoblení. [3; 16]

2.2.2 Přehled frézovacích operací

Moderní frézování je velmi univerzální obráběcí metoda. V posledních několika letech, ruku v ruce s vývojem obráběcích nástrojů, se frézování vyvinulo v obráběcí metodu, která nabízí širokou škálu operací. Možnosti operací u víceosých strojů činí z frézování velmi komplexní technologii pro výrobu otvorů, dutin, závitů a povrchů, které se dříve soustružily. K novým možnostem frézování přispěl i vývoj nástrojů, s využitím vyměnitelných břitových destiček ze slinutých karbidů. Tyto faktory přispěly ke zvýšení produktivity, spolehlivosti a konzistence kvality. [11]

Frézky mohou být ručně ovládané, mechanicky automatizované nebo počítačem řízené (CNC). U běžných tříosých strojů frézování nejčastěji zahrnuje výrobu rovinných ploch, rohů, drážek a různých zkosení. Se vzrůstajícími požadavky na složitější operace a tvary povrchů, přibývá poptávka po víceosých obráběcích centrech a víceúčelových strojích. Přehled možných frézovacích operací je přehledně zobrazen na obr. 27. [11]



Obr. 27 Přehled frézovacích operací [11].

2.2.3 Kinematika a řezné podmínky

Z hlediska kinematiky je frézování kombinací dvou pohybů. Hlavní řezný pohyb u všech druhů frézování je rotační a koná ho nástroj. Vedlejší pohyb je většinou posuvový a koná ho obrobek nebo nástroj. Existuje však výjimka u okružního a planetového frézování, kde vedlejší pohyb může být rotační a konat ho může obrobek nebo nástroj. Vzájemným pohybem obrobku a nástroje vzniká výsledný relativní pohyb mající tvar cykloidy. [3; 29]

Volba řezných podmínek je velmi důležitou součástí každého obrábění a závisí především na obráběném materiálu, použitém stroji a nástroji, způsobu upnutí obrobku, druhu operace, přesnosti výroby a požadované kvalitě povrchu. Pro hrubovací a dokončovací operace jsou použity různé řezné podmínky. Mezi základní řezné podmínky patří řezná a posuvová rychlost, šířka záběru ostří, posuv na zub a případně otáčky (obr. 28). [16]

Řezná rychlost je vyjádřena jako okamžitá rychlost hlavního pohybu uvažovaného bodu ostří nebo také jako obvodová rychlost frézy na jejím průměru. [29]

Řezná rychlost je vyjádřena vztahem [29]:

$$v_c = \pi \cdot D \cdot n \cdot 10^{-3}\,, \tag{2.18}$$

kde: v_c – řezná rychlost [m·min^{-1}],
D – průměr nástroje [mm],
n – otáčky nástroje [min^{-1}].

Posuvová rychlost je vyjádřena jako okamžitá rychlost vedlejšího posuvového pohybu. Pro výpočet posuvové rychlosti je definován posuv na zub. Jedná se o délku dráhy, kterou urazí obrobek po dobu záběru zubu. [29]

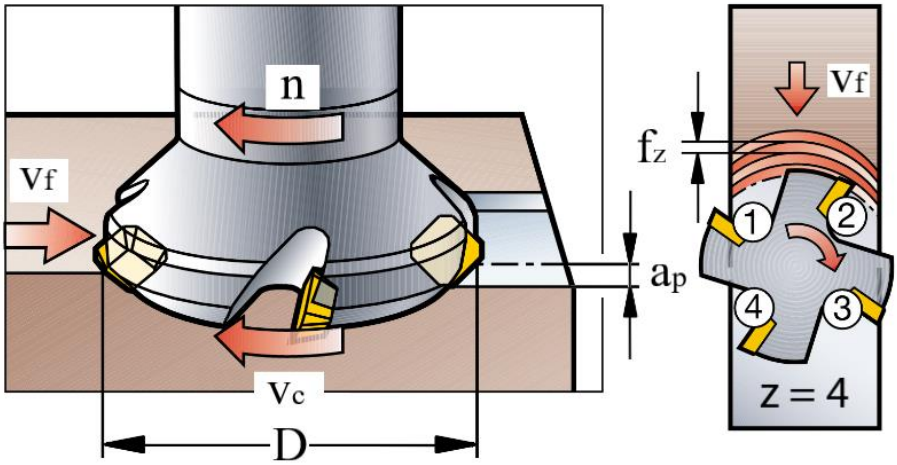
Posuvová rychlost je vyjádřena vztahem [29]:

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n\,, \tag{2.19}$$

kde: v_f – posuvová rychlost [mm·min^{-1}],
f_z – posuv na zub [mm],
z – počet zubů nástroje [-].

Z posuvu na zub je možné vypočítat posuv na otáčku f_n, což je délka dráhy v milimetrech, kterou urazí obrobek za dobu jedné otáčky nástroje. Posuv na otáčku je vyjádřen vztahem [29]:

$$f_n = f_z \cdot z \tag{2.20}$$



Obr. 28 Kinematické veličiny frézování [11].

2.2.4 Průřez třísky

U výpočtu průřezu třísky při frézování je třeba zohlednit důležité vlastnosti této technologie. Především je to právě průřez třísky, který není konstantní, ale periodicky se mění v závislosti na průměru frézy, počtu zubů, otáčkách vřetene, posuvové rychlosti a hloubce a šířce řezu. Tato periodická změna průřezu třísky způsobí proměnlivé silové zatížení v průběhu obrábění. Při frézování je ve většině případů v záběru více břitů frézy a tyto záběry jsou periodicky přerušovány, čímž vzniká vždy dělená tříska. Zásadním faktorem ovlivňující tloušťku a směr odchodu vznikajících třísek je úhel nastavení hlavního ostří nástroje κ_r. Jedná se o úhel mezi hlavním čelním břitem a povrchem obrobku, který mimo jiné ovlivňuje i řezné síly a životnost nástroje. [31; 34]

Pro výpočet velikosti průřezu třísky je třeba uvažovat dvě hodnoty. Jednou z nich je šířka záběru ostří a_p, která při válcovém frézování představuje šířku odebíraného materiálu a při čelním frézování axiální řeznou hloubku, a tedy hodnotu, o kterou je fréza zapuštěná pod neopracovanou plochou obrobku (obr. 29). Druhou hodnotou je tloušťka odřezávané třísky h_i, stanovená dle vztahu (2.21). Jak je uvedeno v podkapitole 2.2.1, tloušťka třísky se mění v závislosti na způsobu frézování. Graficky je průřez třísky pro válcové a čelní frézování znázorněn na obr. 29. [29; 33]

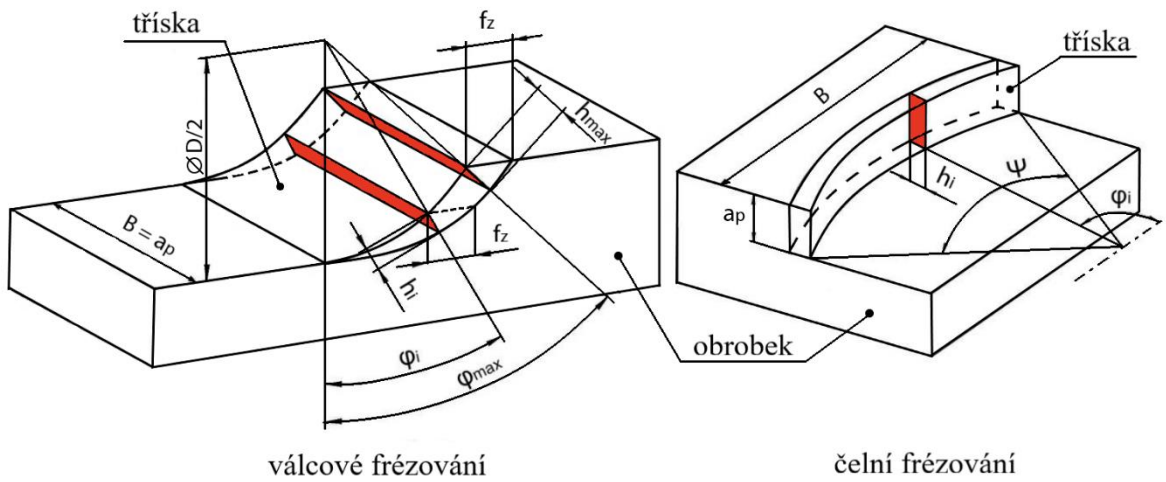
$$h_i = f_z \cdot \sin \varphi_i \,, \tag{2.21}$$

kde: h_i – jmenovitá tloušťka třísky [mm],
f_z – posuv na zub [mm],
φ_i – úhel posuvového pohybu [°].

Pomocí šířky záběru ostří a_p a tloušťky odřezávané třísky h_i lze vypočítat jmenovitý průřez třísky pro i-tou polohu frézy A_{Di}. Ten je vyjádřen vztahem (2.22). Dále je možné vyjádřit maximální velikost jmenovitého průřezu třísky dle vztahu (2.23), která nastane při maximální tloušťce třísky v případě, že je úhel posuvového pohybu φ_i roven φ_{max}. [29]

$$A_{Di} = a_p \cdot h_i = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \;\; [mm^2]. \tag{2.22}$$

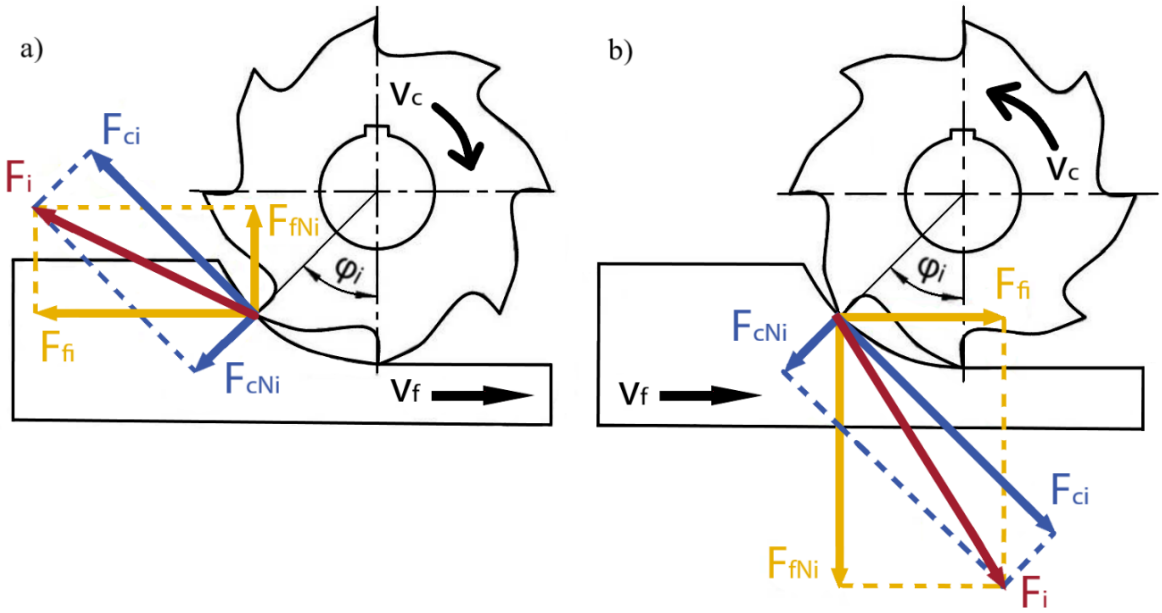
$$A_{Dmax} = a_p \cdot h_{max} = a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_{max} \;\; [mm^2]. \tag{2.23}$$



Obr. 29 Průřez třísky při válcovém a čelním frézování [29].

2.2.5 Řezné síly

Znalost řezných sil při technologii frézování je důležitým faktorem pro kvalitní průběh a následné zhodnocení obráběcího procesu. Během obrábění působí řezné síly jak na obrobek, tak na řezný nástroj, což může vést k případným nepřesnostem a nedodržení předepsaných tolerancí a kvalit povrchu. Řezné síly působící na obráběcí nástroj je možné také chápat jako odpor obráběného materiálu proti vnikajícímu břitu nástroje. V důsledku proměnlivého průřezu třísky odebíraného jednotlivými zuby je i řezná síla na jednotlivých zubech proměnlivá. Výsledná řezná síla pak závisí nejen na počtu zubů v záběru, ale také na okamžité poloze zubů frézy vůči obrobku. Při specifikaci řezných sil jsou analyzovány silové poměry na jednom břitu, který je určen svojí polohou danou úhlem φ_i. Při válcovém frézování, kde je uspořádání zubů na fréze přímé, je celková řezná síla F_i, působící na jednom břitu, rozložena na složky. Jedná se o řeznou sílu F_{ci} a na ni kolmou řeznou sílu F_{cNi}. Dále zde působí posuvová síla F_{fi} a na ni kolmá posuvová síla F_{fNi}. Rozložení těchto sil je znázorněno na obr. 30. [3; 29]



Obr. 30 Řezné síly na zubu válcové frézy: a) nesousledné frézování, b) sousledné frézování [29].

Velikost složek řezných sil a jejich směr působení je závislé na mnoha faktorech. Je to především způsobem frézování (sousledné, nesousledné), druhem frézy spolu s geometrií a opotřebením břitů, materiálem obrobku, tloušťkou odebírané třísky a dalšími řeznými podmínkami [29; 34]

Řezná síla F_{ci} je vyjádřena měrnou řeznou sílou k_{ci} a jmenovitým průřezem třísky A_{Di} [29]:

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = \left(\frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin\varphi_i)^{1-x}}\right) \cdot (a_p \cdot f_z \cdot \sin\varphi_i) = C_{Fc} \cdot a_p \cdot {f_z}^x \cdot \sin^x \varphi_i \ [N], \qquad (2.24)$$

kde: k_{ci} – měrná řezná síla [MPa],
C_{Fc} – konstanta vyjadřující vliv obráběného materiálu [-],
x – exponent vlivu tloušťky třísky [-].

Při frézování je většinou využíván vícebřitý nástroj, a tudíž je v záběru více zubů současně. Výsledná velikost řezné síly proto závisí na počtu zubů v záběru a na okamžité poloze jednotlivého zubu frézy vzhledem k obrobku. [29]

Nejprve je potřeba si definovat počet zubů v záběru podle vztahu [29]:

$$n_z = \frac{\varphi_{max}}{360} \cdot z\,, \tag{2.25}$$

kde: n_z – počet zubů frézy v záběru [-],
φ_{max} – maximální úhel posuvového pohybu [°],
z – počet zubů frézy [-].

Celková řezná síla F_c je pro válcové frézování vyjádřena vztahem [29]:

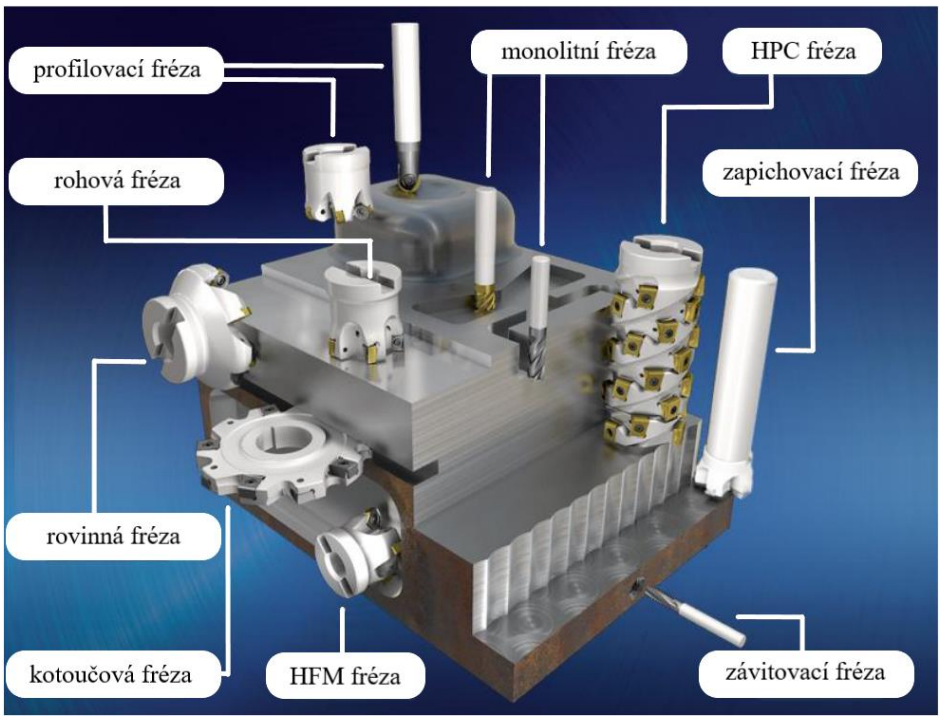
$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot {f_z}^x \cdot \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \;\; [N]. \tag{2.26}$$

Celková řezná síla F_c je pro čelní frézování vyjádřena vztahem [29]:

$$F_c = \sum_{i=1}^{n_z} F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot {f_z}^x \cdot \sin^{(x-1)} \kappa_r \sum_{i=1}^{n_z} \sin^x \varphi_i \;\; [N]. \tag{2.27}$$

2.2.6 Nástroje

Nástroj, který je používán při technologii frézování se nazývá fréza. Jedná se o rotační vícebřitý nástroj, někdy i tvarově složitý, pro obrábění především rovinných, ale i tvarově složitějších ploch. Frézy jsou vyrobeny různými technologiemi z různých materiálů. Nejčastěji jsou vyrobeny z rychlořezných ocelí a v dnešní době především ze slinutých karbidů, buď jako monolitní nástroj nebo ve formě vyměnitelných břitových destiček, připájených nebo mechanicky upnutých v tělese frézy. V souvislosti s velkým rozšířením frézování ve strojírenské výrobě existuje rovněž velmi mnoho druhů a velikostí fréz. Právě díky velké univerzálnosti technologie frézování je možné frézy rozdělit do několika kategorií podle různých hledisek viz tab. 1. Praktičtější rozdělení, podle kterého se řídí i výrobci fréz, je frézovací operace. Příklad rozdělení fréz podle operace je znázorněn na obr. 31. [3; 18; 29]



Obr. 31 Rozdělení frézovacích nástrojů dle frézovací operace [35].

Tab. 1 Rozdělení frézovacích nástrojů [16; 18; 29].

Rozdělení frézovacích nástrojů dle:	
Umístění zubů na tělese nástroje	válcové čelní válcové čelní
Konstrukčního uspořádání zubů	celistvé (stejný materiál tělesa i zubů) s vloženými noži s vyměnitelnými břitovými destičkami
Nástrojového materiálu zubů	rychlořezná ocel slinuté karbidy cermety řezná keramika supertvrdé řezné materiály – KNB a PKD
Způsobu upnutí frézy	nástrčné stopkové – kuželové, válcové
Smyslu otáčení frézy	pravořezné levořezné
Směru zubů	s přímými zuby s šikmými zuby se zuby ve šroubovici – pravá, levá
Počtu zubů	jemnozubé polohrubozubé hrubozubé
Tvaru zubů	frézované zuby podsoustružené zuby
Geometrického tvaru funkční části	válcové kotoučové úhlové drážkovací kopírovací rádiusové na výrobu ozubení

Volba vhodné frézy závisí na mnoha faktorech. Především na tvaru frézované součásti a následného druhu frézovací operace, na obráběném materiálu, požadované kvalitě výsledného povrchu a v neposlední řadě také na použitém obráběcím stroji. Na základě rozboru frézované součásti, frézovaných tvarů, skupině materiálu obráběného dílce a výběru vhodného obráběcího stroje, je stanovena vhodná fréza k provedení požadované operace. Podle volby frézovacího nástroje a obráběného materiálu jsou následně voleny řezné podmínky frézování. [31; 33; 36]

Vývoj nástrojů přispěl k novým možnostem zvýšení produktivity, spolehlivosti a konzistence kvality. To je umožněno především technologiemi využívající vyměnitelné břitové destičky a nástroje z monolitních karbidů. Samotné břity frézy jsou zpravidla uspořádány na válcové, čelní, kuželové nebo jiné tvarové ploše. Pro zvýšení výkonu, přesnosti, hospodárnosti a životnosti je možné na nástroje, a především břity, nanášet různé povlaky s potřebnými vlastnostmi. [16; 37]

Důležitou součástí v oblasti frézovacích nástrojů je jejich spolehlivé upnutí do obráběcího stroje. Nástrčné frézy jsou upínány do frézovacích trnů. Stopkové frézy jsou upínány přímo do dutiny vřetena, do redukčních pouzder nebo pomocí upínacích pouzder a kleštin. Existuje řada dalších držáků pro upnutí nástroje. Jsou to především tepelné, hydraulické nebo silově-deformační upínače. [38]

3 STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGIE VÝROBY PŘESNÝCH DĚR

Tato část práce je zaměřena na podrobný popis **stávající technologie výroby přesných děr pro pastorky v tělese sklíčidla.** Právě na tuto část je zaměřen návrh nového technologického postupu, ve kterém bude aplikován nově navržený sdružený nástroj.

Aby bylo možné navrhnout sdružený nástroj, který zefektivní výrobu přesných děr pro pastorky v tělese sklíčidla, je nutno provést rozbor stávající technologie výroby. Na základě rozboru je možné provést racionalizaci výroby a vytvořit nový technologický postup, spolu s návrhem sdruženého nástroje, který výrobu přesných děr zjednoduší a zefektivní.

3.1 Obráběcí stroj

Všechny současné operace potřebné k výrobě přesných děr jsou realizovány na frézovacím a vrtacím centru MAS-Kovosvit MCU 700V-5X (obr. 32). Jedná se o pětiosý multifunkční obráběcí stroj s otočně sklopným stolem (kolébkou) a vertikálně umístěným vřetenem. Stroj je řízený řídicím systémem Heidenhain 640. Má velmi široké technologické využití. Na stroji je možné provádět pětiosé frézování, vrtání, vyvrtávání, vystružování a řezání závitů. Součástí stroje je zásobník s nástroji pro rychlou automatickou výměnu. Odvod třísek je zajištěn pomocí integrovaného dopravníku. [39]

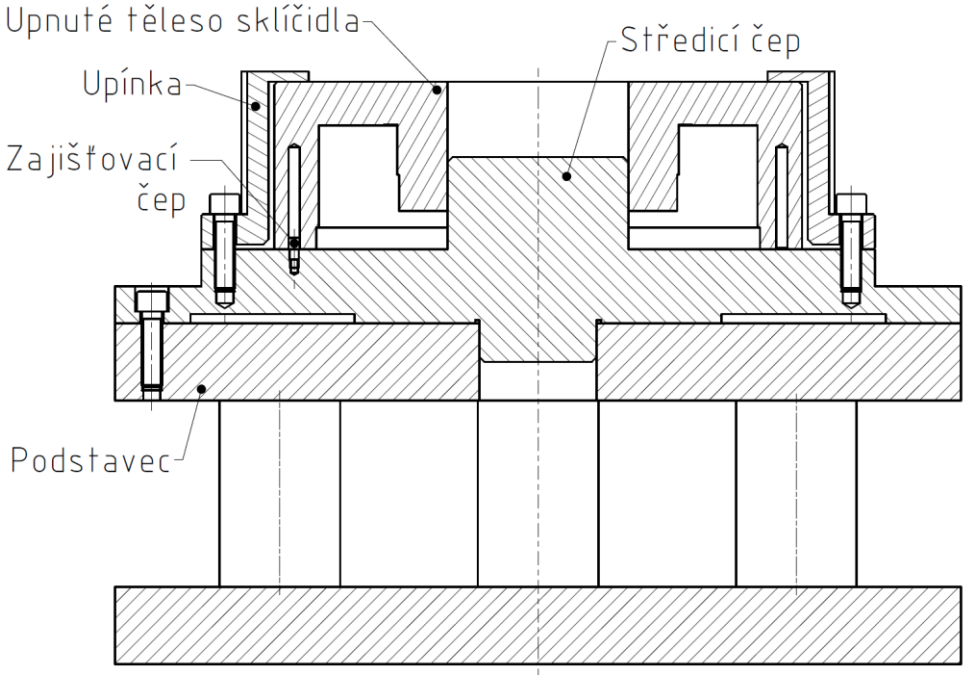
Pojezd v ose X/Y/Z	700/820/550 mm	Výkon pohonu vřetene	20/26 kW
Upínací plocha stolu	Ø 630 mm	Max. počet nástrojů v zásobníku	24
Maximální zatížení stolu	1 300 kg	Max. průměr nástroje v zásobníku	130 mm
Otočná osa C	360 °	Max. délka nástroje v zásobníku	265 mm
Sklopná osa A	± 120	Rozměry půdorysu stroje	4 200 x 2 500 mm
Max. otáčky stolu - osa A/osa C	80/100 min^{-1}	Výška stroje	3 600 mm
Rozsah otáček vřetene	20 - 10 000 min^{-1}	Hmotnost stroje	18 450 kg
Kužel vřetene	ISO 50	Celkový příkon stroje	55 kVA

Obr. 32 Obráběcí CNC centrum MCU 700V-5X s technickými parametry [39].

3.2 Upnutí obrobku

Upnutí tělesa sklíčidla v obráběcím stroji je zajištěno pomocí speciálního přípravku s označením HK315, zhotoveného firmou TOS Svitavy, a.s. (obr. 33). Součástí upínacího přípravku je podstavec upnutý ke stolu stroje, který zároveň slouží ke zvýšení polohy obrobku vůči stolu z důvodu dostupnosti vřetena do místa řezu při obrábění děr. Těleso sklíčidla je nasazeno na středicí čep upínacího přípravku pro zajištění radiální polohy. Tangenciální poloha je zabezpečena čepem, na který je nasazen otvor pro zajišťovací kolík pastorku. Axiální poloha je zajištěna pomocí tří upínek rozmístěných po 120 °. Části upínacího přípravku jsou znázorněny na obr. 34. Obrábění děr pro pastorky probíhá po natočení stolu stroje o 90 ° horizontálně.

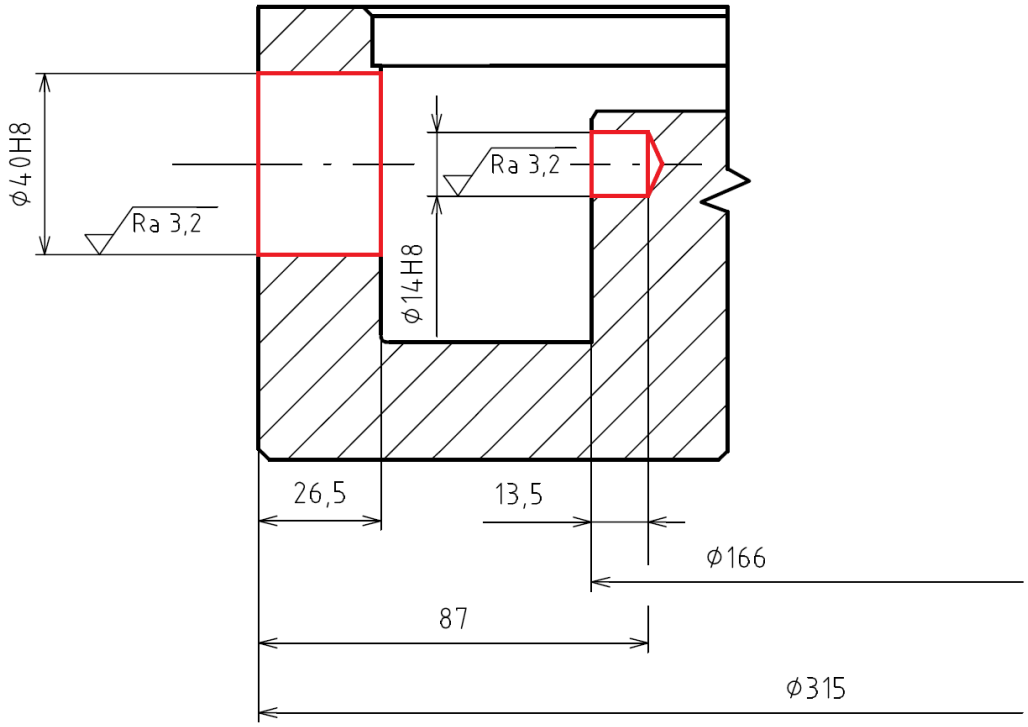
Obr. 33 Upínací přípravek.



Obr. 34 Části upínacího přípravku.

3.3 Obráběcí operace

Ve stávající technologii výroby je prováděno mnoho operací určených k výrobě přesných děr pro pastorky v tělese sklíčidla. To má za následek nárůst výrobního času a snížení produktivity výroby. Zároveň je v každé z těchto operací nutné použít samostatný obráběcí nástroj, což zvyšuje náklady na výrobu z důvodu spotřeby nástrojů. Na obr. 35 jsou červeně znázorněny obráběné díry a jejich požadované rozměry v řezu tělesa sklíčidla. Vzhledem k tomu, že pro jeden pastorek jsou obráběny dvě díry, je pro lepší přehlednost uváděn výraz „jedna sada děr pro pastorek“. Obráběné díry na obr. 35 představují jednu sadu děr pro pastorek.



Obr. 35 Rozměry obráběných děr.

Při obrábění jedné sady přesných děr pro pastorek v tělese sklíčidla jsou prováděny následující operace:

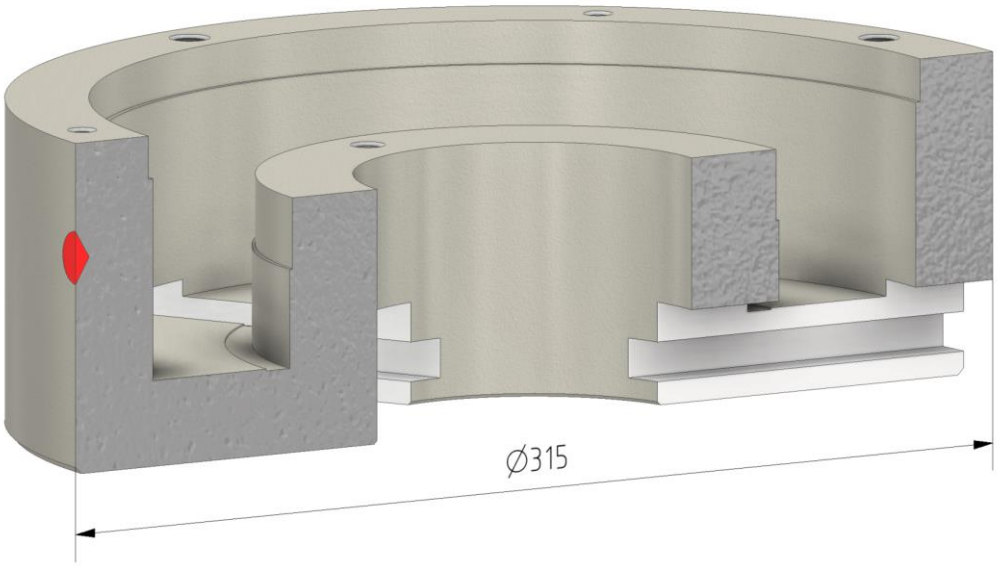
1) navrtat středicí důlek,
2) vrtat Ø 30 mm,
3) frézovat díru kruhovou interpolací na Ø 39,7 mm,
4) navrtat středicí důlek,
5) vrtat Ø 13,8 mm,
6) vystružit Ø 14 H8,
7) vystružit Ø 40 H8.

Vzhledem ke skutečnosti, že tříčelisťové sklíčidlo má tři pastorky, probíhá obrábění ve třech polohách a v každé jsou provedeny výše uvedené operace.

3.3.1 Popis jednotlivých operací

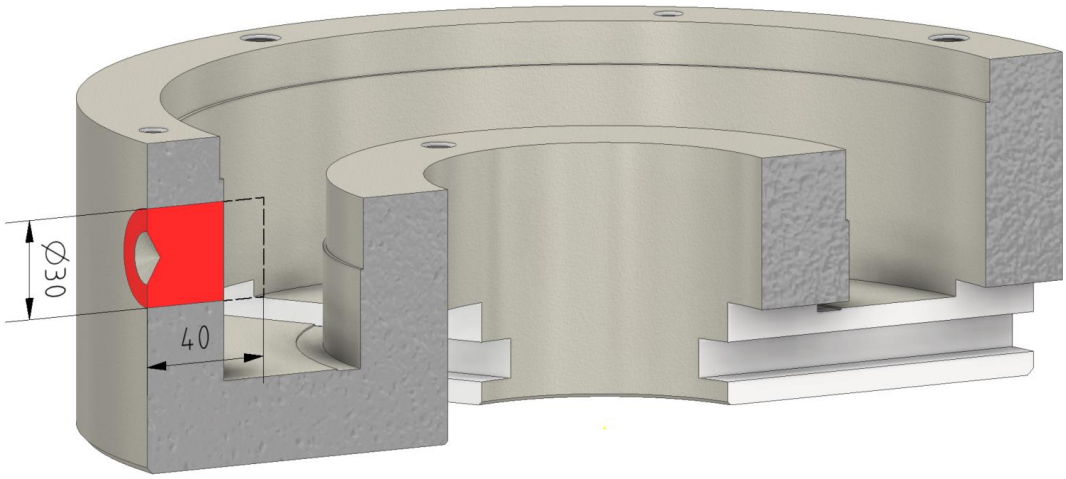
První operací je přesné navrtání středicího důlku na povrchu tělesa na Ø 315 mm pro lepší vystředění a vedení vrtáku, který bude v následné operaci vrtat díru o Ø 30 mm (obr. 36). Použitým nástrojem je NC navrtávák o Ø 16 mm s úhlem špičky 120 ° určený pro navrtávání na CNC strojích (příloha 1, nástroj T1). Má krátkou šroubovitou drážku a nemá odlehčení, čímž je zajištěna maximální možná tuhost. Materiál nástroje je slinutý karbid povlakovaný vrstvou TiAlN pro zvýšení odolnosti a tvrdosti za vyšších teplot. [40]

Poznámka: obrázky jednotlivých operací jsou zobrazeny v řezu a ubíraný materiál je znázorněn červeně.



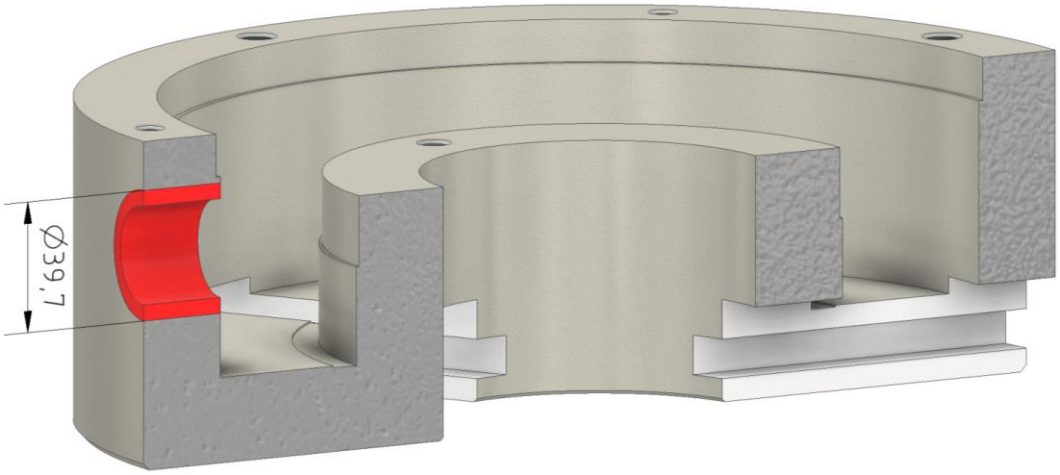
Obr. 36 První operace – navrtat středicí důlek.

Druhou operací je vrtání navrtané díry na Ø 30 mm do hloubky 40 mm (obr. 37). Použitým nástrojem je korunkový vrták o Ø 30 mm (příloha 1, nástroj T2). Tělo vrtáku je z tvrzené oceli odolné proti opotřebení a korozi a výměnná vrtací hlava je z mikrozrnného karbidu povlakovaná vrstvou TiAlN pro vyšší životnost a produktivitu nástroje. Tělo vrtáku je opatřeno vnitřním otvorem pro přívod chladicí kapaliny ke zvýšení účinnosti a produktivity a zlepšení odvodu třísek. [41]



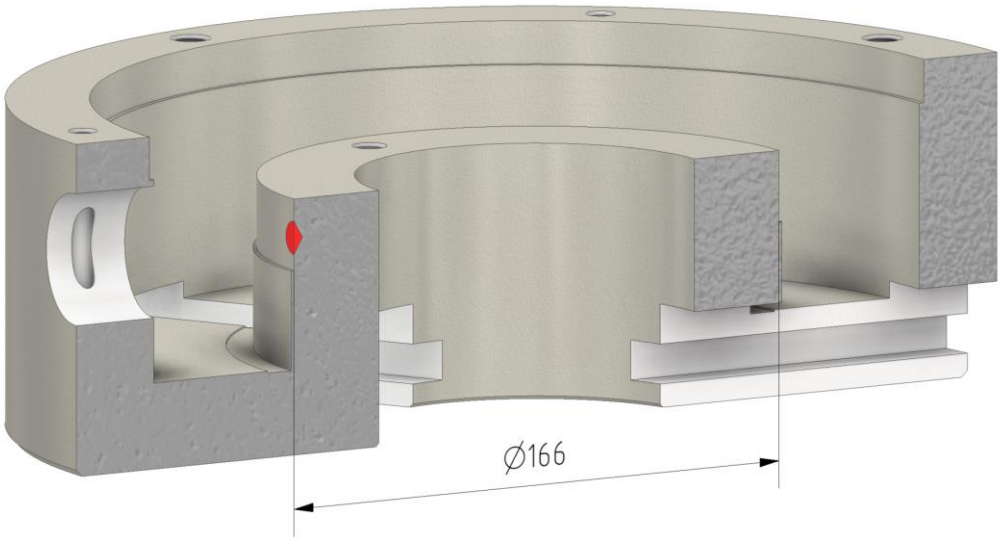
Obr. 37 Druhá operace – vrtat Ø 30 mm.

Třetí operací je frézování otvoru kruhovou interpolací na Ø 39,7 mm (obr. 38). Na tento průměr je otvor frézován z důvodu přídavku na následné vystružení na přesný finální rozměr. Použitým nástrojem je dlouhá stopková fréza se 4 břity o Ø 20 mm a délkou řezné hrany 57 mm (příloha 1, nástroj T3). Materiál nástroje je slinutý karbid povlakovaný vrstvou AlCrN pro zvýšení trvanlivosti a odolnosti. [42]



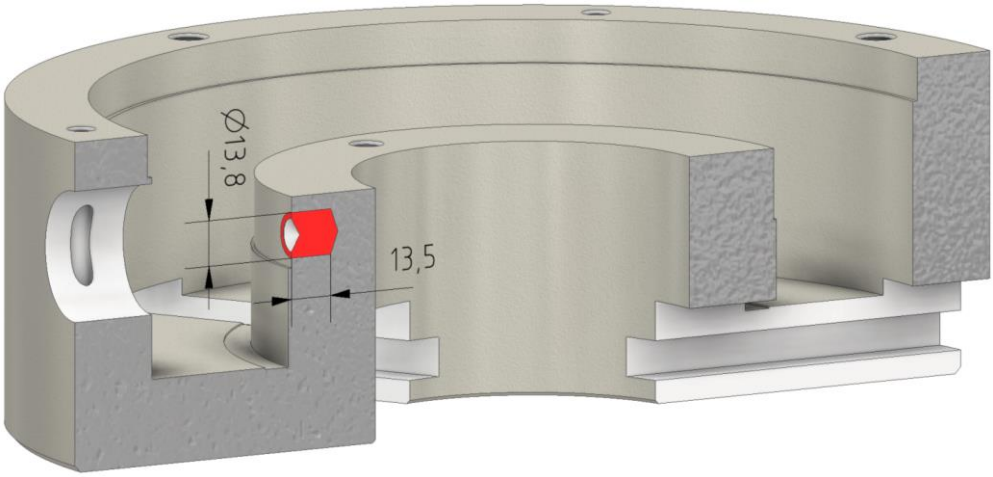
Obr. 38 Třetí operace – frézovat díru kruhovou interpolací na Ø 39,7 mm.

Čtvrtou operací je přesné navrtání středicího důlku na povrchu tělesa na Ø 166 mm z důvodu správného vedení a středění vrtáku při vrtání díry o Ø 13,8 mm v následné operaci (obr. 39). Použitým nástrojem je NC navrtávák o Ø 16 mm s úhlem špičky 120 ° určený pro navrtávání na CNC strojích (příloha 1, nástroj T1). Má krátkou šroubovitou drážku a nemá odlehčení, čímž je zajištěna maximální možná tuhost. Materiál nástroje je slinutý karbid povlakovaný vrstvou TiAlN pro zvýšení odolnosti a tvrdosti za vyšších teplot. [40]



Obr. 39 Čtvrtá operace – navrtat díru Ø 14 mm.

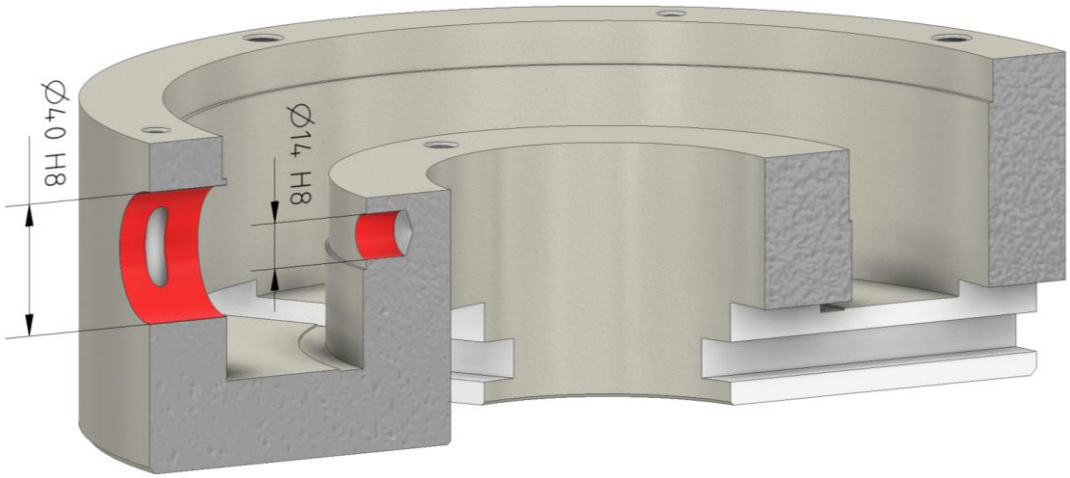
Pátou operací je vrtání navrtané díry na Ø 13,8 mm do hloubky 13,5 mm (obr. 40). Na tento průměr je otvor vrtán opět z důvodu přídavku na následné vystružení na přesný finální rozměr. Použitým nástrojem je šroubovitý vrták o Ø 13,8 mm ze slinutého karbidu povlakovaný vrstvou s označením nanoFire pro zvýšení životnosti a odolnosti (příloha 1, nástroj T4). Vrták je opatřen vnitřními kanálky pro přívod chladicí kapaliny. [43]



Obr. 40 Pátá operace – vrtat Ø 13,8 mm.

V šesté operaci je vystružován otvor vrtaný v páté operaci na přesný finální rozměr o Ø 14 mm s tolerancí H8 (obr. 41). Použitým nástrojem je strojní výstružník s přímými zuby z monolitního karbidu pro výrobu velmi kvalitních a přesných děr (příloha 1, nástroj T5). Pro zvýšení životnosti je řezná část nástroje povlakována vrstvou TiAlN. Výstružník je opatřen vnitřními kanálky pro přívod chladicí kapaliny. [44]

V sedmé operaci je vystružován otvor frézovaný ve třetí operaci na přesný finální rozměr o Ø 40 mm s tolerancí H8 (obr. 41). Použitým nástrojem je nastavitelná vyvrtávací dokončovací hlava s vyměnitelnou břitovou destičkou (příloha 1, nástroj T6). [45]



Obr. 41 Šestá operace – vystružit Ø 14 H8, sedmá operace – vystružit Ø 40 H8.

Kontrola přesnosti děr je provedena válečkovými kalibry Ø 40 H8 a Ø 14 H8. Technologický postup výroby přesných děr v tělese sklíčidla je uveden v tab. 2.

Tab. 2 Stávající technologický postup výroby jedné sady přesných děr pro pastorek v tělese sklíčidla.

STÁVAJÍCÍ TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY JEDNÉ SADY PŘESNÝCH DĚR PRO PASTOREK							
TOS Svitavy, a.s.		**Polotovar:** Těleso sklíčidla	**Materiál:** EN-GJS 400-15	**Název součásti:** Těleso sklíčidla 315/3			
Č. oper.	**Název operace**	**Popis operace**		**Stroj Tříd. č. prac.**	**Nástroje, přípravky**	**t_{as} [min]**	**t_{a11} [min]**
01/01	Vrtání	Upnout těleso sklíčidla do přípravku		Frézovací a vrtací centrum MCU 700V-5X 45232	Přípravek HK315		
		Výměna nástroje					0,17
		Navrtat středicí důlek			T1	0,032	
		Výměna nástroje					0,17
02/02	Vrtání	Vrtat Ø 30 do hloubky 40 mm			T2	0,36	
		Výměna nástroje					0,17
03/03	Frézování	Frézovat interpolačně na Ø 39,7 mm			T3	2,1	
		Výměna nástroje					0,17
04/04	Vrtání	Navrtat středicí důlek			T1	0,032	
		Výměna nástroje					0,17
05/05	Vrtání	Vrtat Ø 13,8 do hloubky 13,5 mm			T4	0,1	
		Výměna nástroje					0,17
06/06	Vrtání	Vystružit Ø 14 H8			T5	0,23	
		Výměna nástroje					0,17
07/07	Vrtání	Vystružit Ø 40 H8			T6	0,53	
					Součet složek časů:	3,39	1,19
Nástroje používané ve stávající technologii výroby jsou uvedeny v příloze 1.							

Uvedené časy v tab. 2 jsou vztažené k jedné poloze, při které je vyráběna jedna sada přesných děr pro umístění pastorku. Celkový strojní čas, který činí 3,39 minuty, je čas potřebný pro výrobu jedné sady přesných děr v tělese sklíčidla, a je to pouze čas, kdy jsou jednotlivé nástroje v záběru. Vedlejší čas potřebný pro výměnu všech potřebných nástrojů činí 1,19 minuty. Tříčelisťové sklíčidlo má tři pastorky, a proto obrábění probíhá ve třech polohách. Následné vyhodnocení strojního času stávající a nově navržené technologie bude porovnáváno při obrábění v jedné poloze. Ze strojních časů uvedených v tab. 2 je patrné, že nejproblematičtější operací, při které dochází k velkému nárůstu strojního času, je interpolační frézování, kdy je zvětšována díra z Ø 30 mm na Ø 39,7 mm. Právě tato část stávající technologie, tzn. navrtávání, vrtání Ø 30 mm a interpolační frézování na Ø 39,7 mm, bude prioritou řešení při návrhu nové technologie výroby.

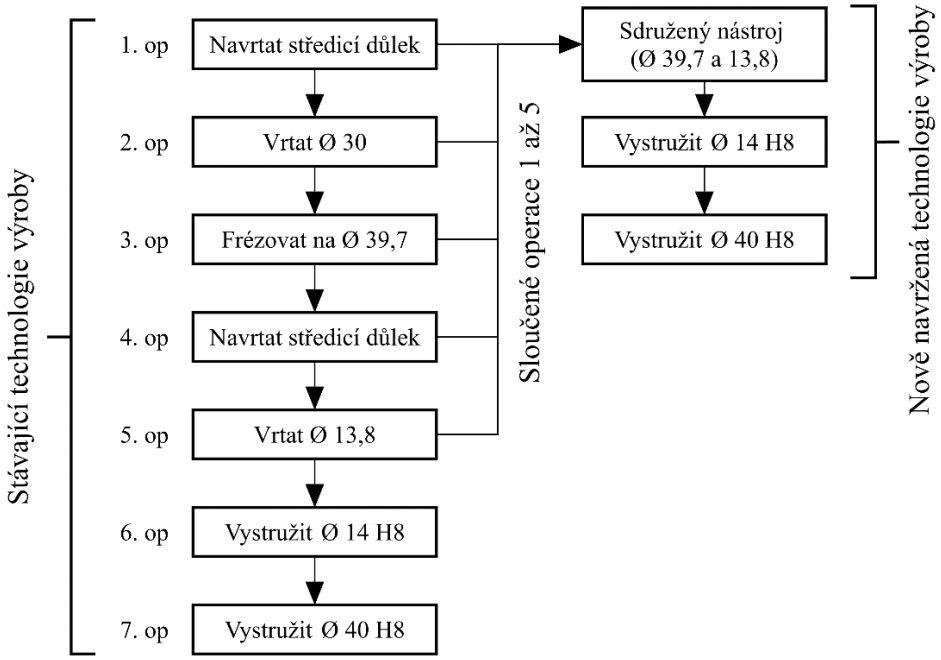
4 NÁVRH NOVÉ TECHNOLOGIE VÝROBY PŘESNÝCH DĚR

Stávající výroba přesných děr pro pastorky v tělese sklíčidla se skládá z řady operací, kdy na každou z nich je potřeba jiný nástroj. Zde dochází k nárůstu strojního času a nákladů na použité nástroje (viz kapitola 3.3). Korekcí stávající technologie výroby přesných děr v tělese sklíčidla je možné zdokonalit zavedený výrobní proces a výrobu zefektivnit. Zefektivnění výroby může být dosaženo zejména zkrácením výrobního času a snížením výrobních nákladů, a to především změnou uspořádání výroby nebo použitím modernějších a výkonnějších nástrojů. Mezi ně je možné zařadit i speciálně vyrobené nástroje, jako například sdružený nástroj kombinující více nástrojů do jednoho.

Jednou z variant zlepšení stávající technologie výroby je použití výkonnějších řezných nástrojů, které umožní obrábění při větších řezných rychlostech a v konečném důsledku k úspoře výrobního času. Tato varianta byla technologickému úseku firmy TOS Svitavy, a.s. navržena, avšak po konzultaci bylo konstatováno, že stávající technologie již zahrnuje použití moderních výkonných nástrojů a další jejich změna by měla minimální přínos pro zefektivnění výroby. Druhou a efektivnější variantou je využití speciálního jednoúčelového sdruženého nástroje, který by na jeden pracovní zdvih stroje vykonával co nejvíce operací potřebných k výrobě přesných děr, samozřejmě při zachování nebo i zvýšení kvality. Tato varianta by přinesla významnou úsporu výrobního času a také nákladů na nákup současně používaných nástrojů.

4.1 Návrh sdruženého nástroje

Využitím navrhovaného sdruženého nástroje bude většina stávajících operací sloučena v jednu. Při výrobě jedné sady přesných děr v tělese sklíčidla jsou vyráběny dva otvory s požadovanou přesností IT 8 a kvalitou obrobených povrchů Ra = 3,2 µm. Aby bylo možné těchto parametrů dosáhnout, je třeba použít dokončovací operace. Proto navržený sdružený nástroj sloučí operace 1 až 5 (viz kapitola 3.3.1) v jeden proces a následně bude provedeno dokončování vystružováním, operace 6 a 7 (viz kapitola 3.3.1). Tyto dvě operace jako jediné zůstanou zachovány ze stávající technologie. Redukce výrobních operací je znázorněna na obr. 42.

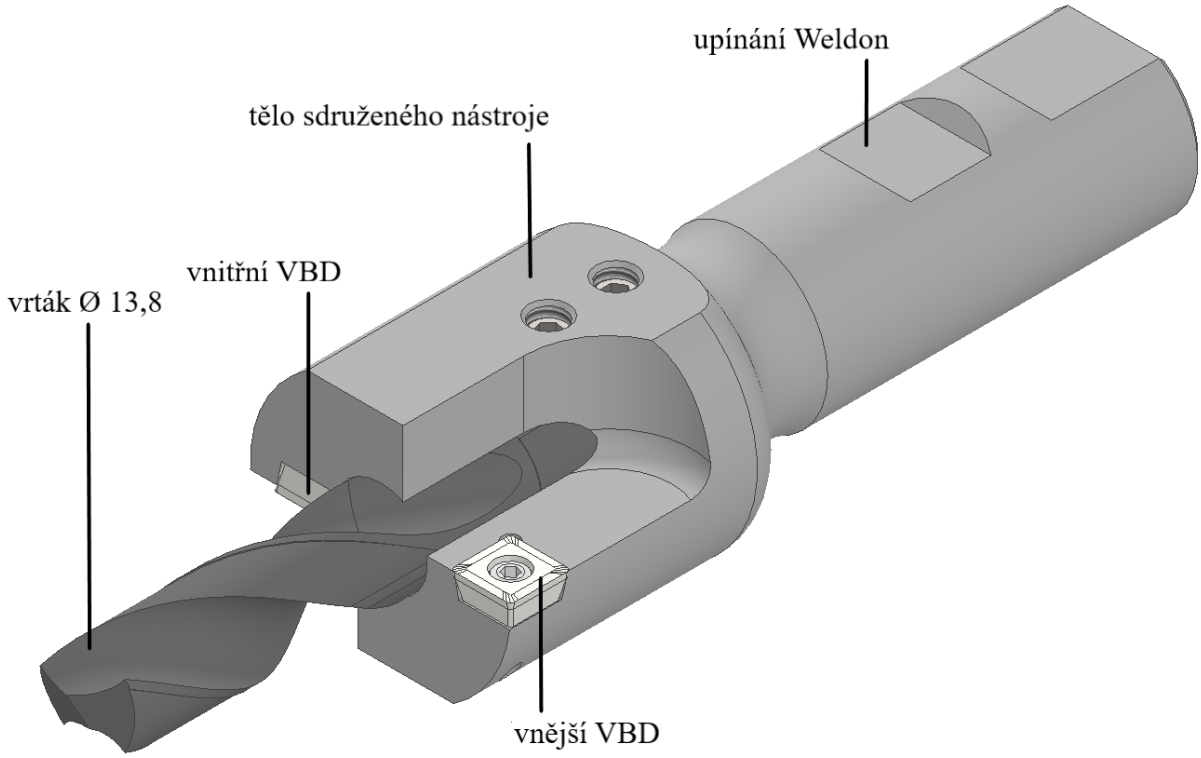


Obr. 42 Schéma stávající a nově navržené technologie výroby.

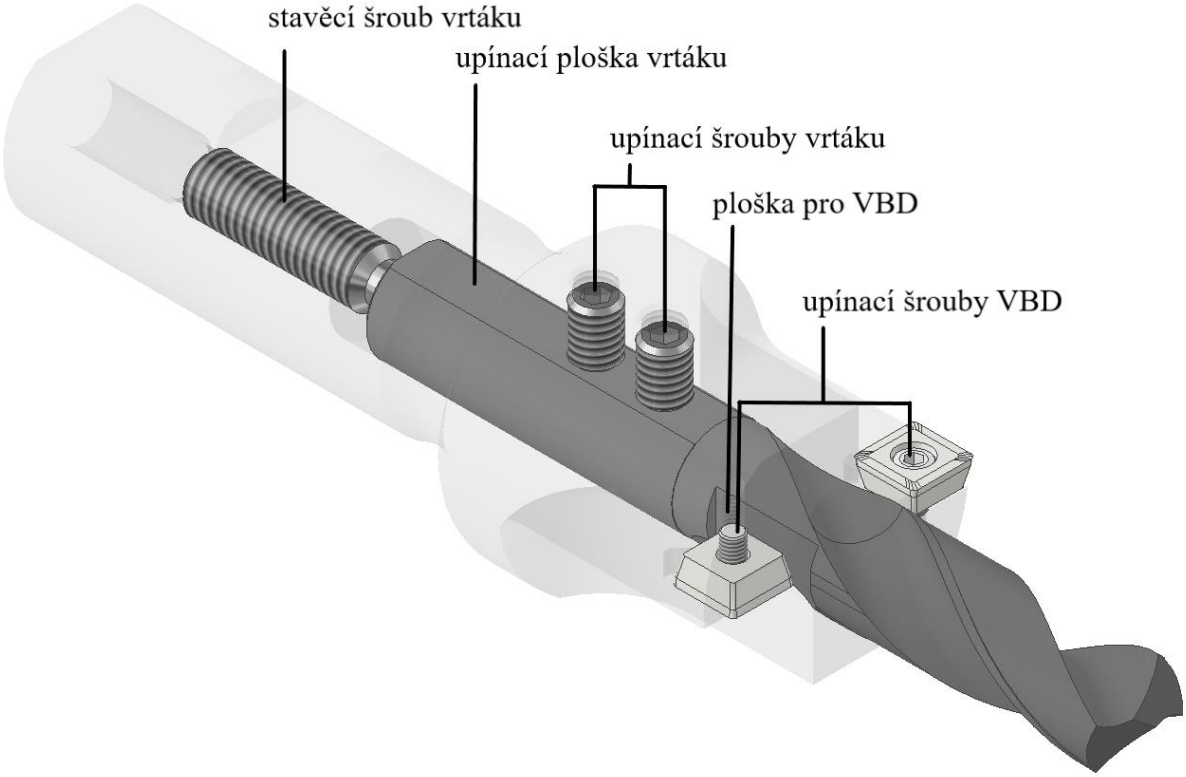
Sdružený nástroj bude svým tvarem vycházet z válcového záhlubníku, který bude doplněn o šroubovitý vrták umístěný v ose nástroje. Tělo sdruženého nástroje bude osazeno dvěma vzájemně přesazenými VBD čtvercového tvaru s úhlem nastavení hlavního ostří 90 ° obrábějící díru o Ø 39,7 mm. Šroubovitý vrták obrábějící díru o Ø 13,8 mm bude nutné speciálně upravit. Na válcové stopce vrtáku bude vyfrézována upínací ploška pro upnutí do těla sdruženého nástroje a ploška pro umístění vnitřní VBD pro její potřebné přesazení. Výkres konstrukční úpravy šroubovitého vrtáku je v příloze – výkres 3. Vrták bude v těle sdruženého nástroje upnut na principu Weldon, kdy na speciálně vyfrézovanou plošku na upínací stopce vrtáku dosedají dva šrouby osazené v těle sdruženého nástroje. Vzhledem k tomu, že není žádoucí, aby byl současně v záběru jak šroubovitý vrták, tak i VBD, musí být sdružený nástroj zkonstruován tak, aby vždy probíhalo obrábění pomocí vrtáku nebo pomocí VBD. Z tohoto důvodu bude možné délku vyložení vrtáku měnit podle potřeby pomocí stavěcího šroubu umístěného v ose těla sdruženého nástroje. Upnutí celého sdruženého nástroje je popsáno v kapitole 4.1.2. Jednotlivé části sdruženého nástroje jsou vyobrazeny na obr. 43 a obr. 44.

Sdružený nástroj bude osazen dvěma vyměnitelnými břitovými destičkami čtvercového tvaru od firmy ISCAR s označením SOMT 09T306-DT. Jedná se o VBD ze slinutého karbidu určeného pro vrtáky na všeobecné aplikace při středních a vyšších posuvech s utvařečem třísky DT a povlakem IC8080. [46]

Šroubovitý vrták je zvolen Ratio vrták VHM 6026 Ø 13,8 mm od firmy GÜHRING. Jedná se o vrták ze slinutého karbidu pro obrábění především litin a ocelí s povlakem nanoFIRE. Tento vrták je díky své geometrii schopný obrábět i bez předchozího navrtání. Technické údaje o nakupovaných nástrojích (VBD a vrták) jsou uvedeny v příloze 2. [47]



Obr. 43 Sdružený nástroj s popisem I.



Obr. 44 Sdružený nástroj s popisem II.

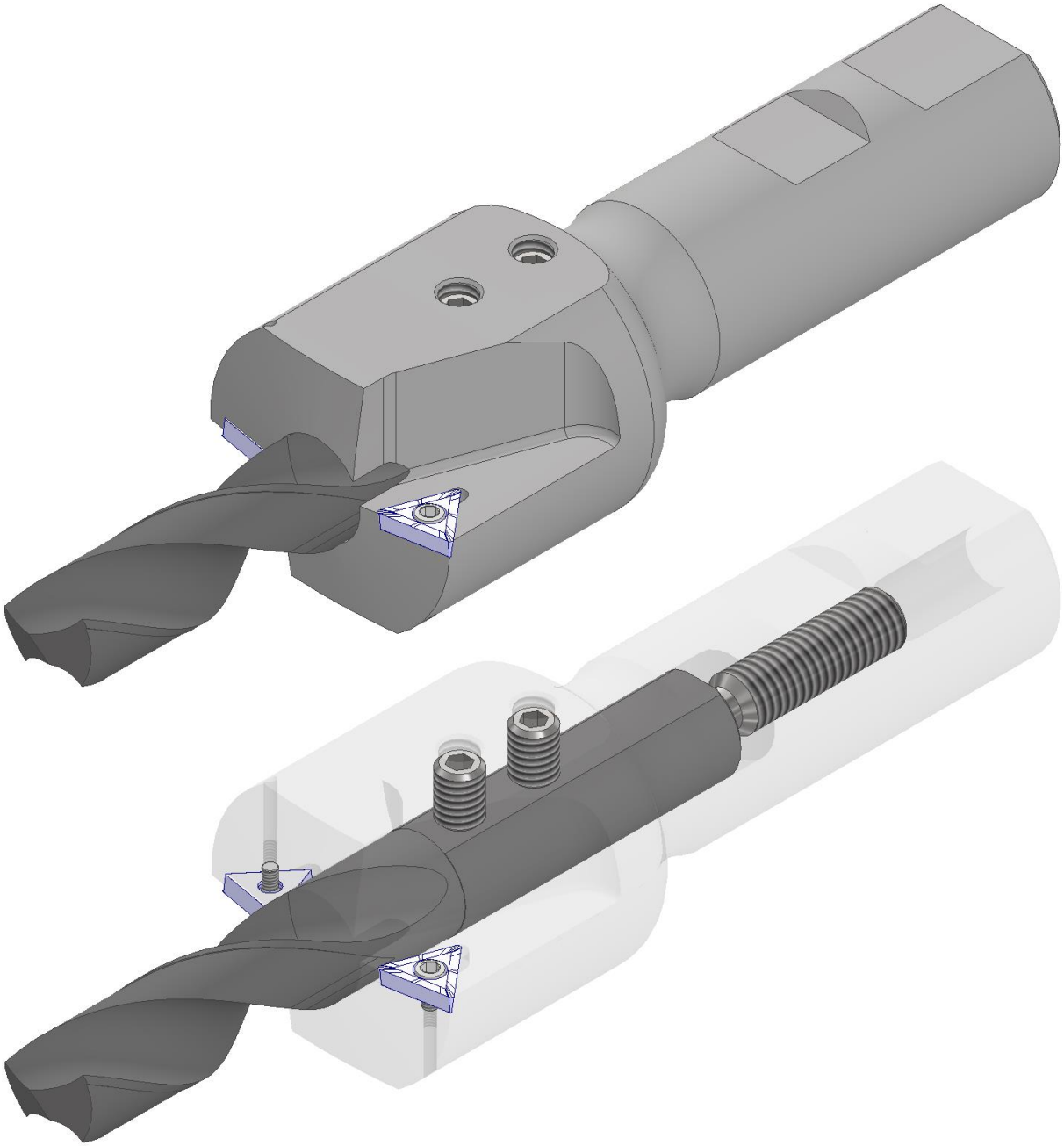
Po předložení tohoto konstrukčního návrhu sdruženého nástroje technologickému úseku firmy TOS Svitavy, a.s. bylo upozorněno na možný problém, který by mohl nastat při obrábění takto zkonstruovaným nástrojem. U této konstrukční varianty sdruženého nástroje, který svým tvarem vychází z válcového záhlubníku, doplněným o šroubovitý vrták hrozí, že po obrobení průchozí díry o Ø 39,7 mm se na jejím konci zbylý materiál pouze vytlačí, nevytvoří plynulou třísku a zůstane zachycený na vrtáku. To je způsobeno geometrií těla sdruženého nástroje s úhlem nastavení VBD 90 °, tedy s rovným čelem. Z toho důvodu je potřeba udělat konstrukční změnu, která by tento možný problém vyřešila. Zbylý materiál zachycený na vrtáku by způsoboval problém při obrábění děr v dalších polohách. Musel by být pokaždé z nástroje odstraněn. Proto byla navržena konstrukční úprava sdruženého nástroje.

4.1.1 Konstrukční úprava

Aby se předešlo uvedenému problému, je potřeba změnit geometrii těla sdruženého nástroje s VBD. Úhel nastavení VBD byl změněn na 10 ° a nyní budou VBD vstupovat do obráběného materiálu postupně pod úhlem. Tato konstrukční změna si vyžádala i změnu použitých VBD. Při nastavení čtvercových VBD na 10 ° by došlo k prostorové kolizi se šroubovitým vrtákem. Z tohoto důvodu jsou nově použity VBD trojúhelníkového tvaru. Těmito úpravami bude vyřešen problém špatné tvorby třísky a ulpívání materiálu na vrtáku. Finální podoba navrženého sdruženého nástroje s trojúhelníkovými VDB je vyobrazena na obr. 45. Výkres těla sdruženého nástroje je v příloze – výkres 4 a výkres celé sestavy nástroje je v příloze – výkres 5.

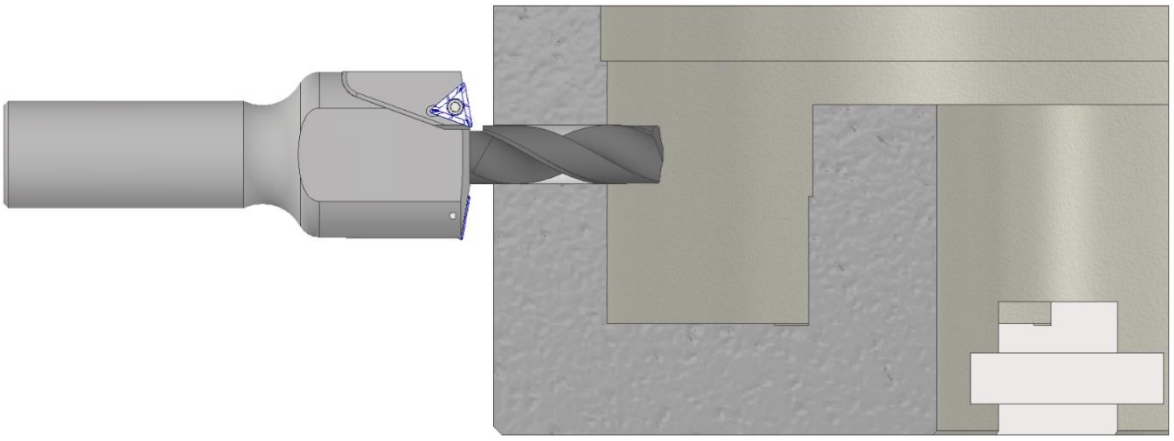
Konstrukční úprava sdruženého nástroje bude osazena dvěma VBD trojúhelníkového tvaru od firmy ISCAR s označením TCMT 110204-19. Jedná se o VBD ze slinutého karbidu pro hrubování při středních a vyšších posuvech opatřené povlakem IC428. Šroubovitý vrták je

zvolen stejný jako u první konstrukční varianty. Technické údaje o nakupovaných nástrojích (VBD a vrták) ve finální podobě sdruženého nástroje jsou uvedeny v příloze 3. [48]

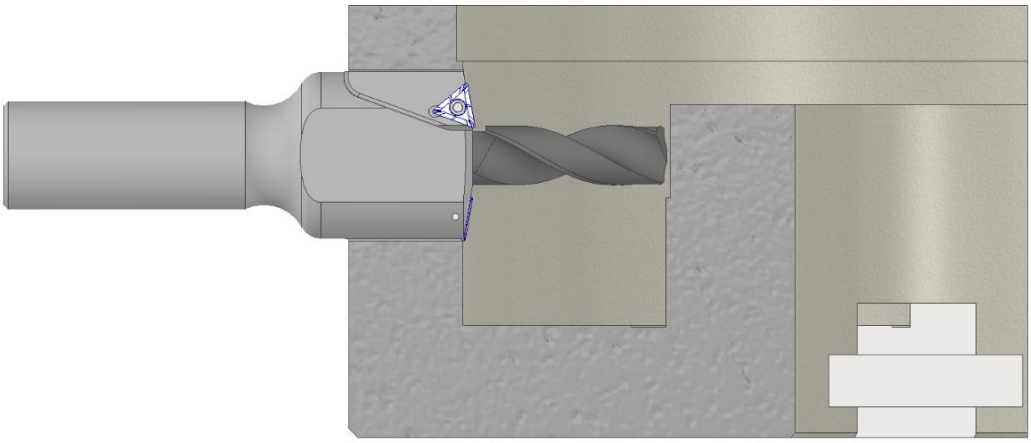


Obr. 45 Finální podoba navrženého sdruženého nástroje.

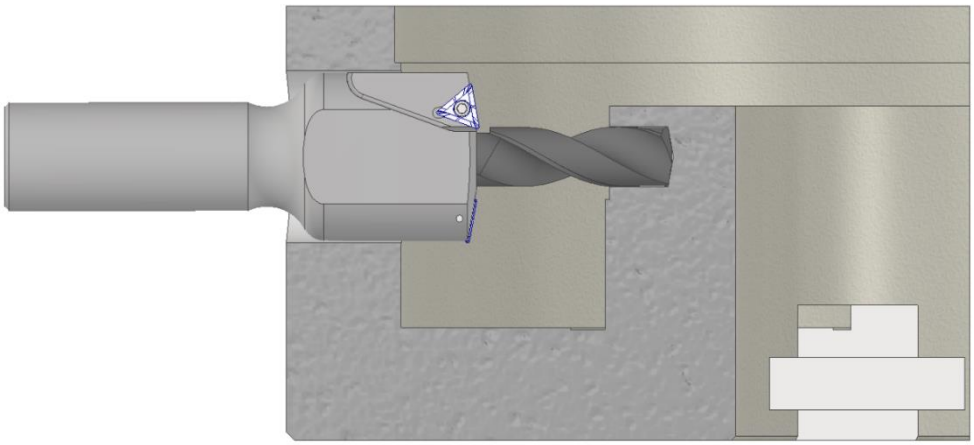
Sdružený nástroj bude pracovat ve třech fázích. V první fázi bude šroubovitý vrták obrábět průchozí díru o Ø 13,8 mm do tělesa sklíčidla (obr. 46). Po dokončení vrtání začnou obrábět VBD, které díru o Ø 13,8 mm zvětší na Ø 39,7 mm (obr. 47). Ve třetí fázi bude šroubovitý vrták obrábět neprůchozí díru o Ø 13,8 mm do hloubky 13,5 mm do tělesa sklíčidla (obr. 48). Vrták bude vyložen o 45 mm, aby nedocházelo k současnému vrtání a obrábění břitovými destičkami.



Obr. 46 První fáze obrábění sdruženým nástrojem.



Obr. 47 Druhá fáze obrábění sdruženým nástrojem.



Obr. 48 Třetí fáze obrábění sdruženým nástrojem.

4.1.2 Způsob upnutí

Spolehlivý upínač nástroje je nepostradatelná spojka mezi vřetenem a řezným nástrojem. Aby bylo zajištěno kvalitní a spolehlivé obrábění, je na správné upnutí kladena celá řada požadavků. Je to především přesnost, jednoduchost a dostatečná tuhost upnutí, spolehlivý přenos krouticího momentu, rychlost výměny nástroje a v neposlední řadě také minimální náklady na upnutí. Navrhovaný sdružený nástroj je opatřen válcovou upínací stopkou. Z tohoto důvodu a s ohledem na strojní vybavení firmy bylo zvoleno upínaní typu Weldon. [49]

Upínač nástroje typu Weldon je jeden z nejjednodušších typů upínaní řezných nástrojů s válcovou stopkou. Pro přenos krouticího momentu z vřetene stroje na řezný nástroj je využívána vyfrézována ploška na válcové stopce nástroje, na kterou dosedají jeden či dva šrouby samotného upínače. Upínací šrouby jsou kolmé k ose nástroje a vyfrézovaná ploška, na kterou šrouby dosedají, je s osou nástroje rovnoběžná. Tím je zajištěn pohyb jak v axiálním, tak radiálním směru. Výhodou tohoto typu upnutí je jednoduché a rychlé upnutí nástroje, nízká pořizovací cena a možnost přenášet libovolně velké krouticí momenty díky bezpečnému upnutí v radiálním směru. Nevýhodou při využití tohoto typu upínání je nezbytnost mít pro každý průměr upínací stopky jiný upínač a větší házivost upnutého nástroje. [50]

4.1.3 Materiál nástroje

Pro výrobu sdruženého nástroje je zvolena konstrukční chrom-molybdenová ocel třídy 15, konkrétně se jedná o ocel 15 142 dle ČSN (42CrMo4 dle DIN). Tato konstrukční ocel je vhodná pro povrchové kalení a je využívaná k výrobě velmi namáhaných strojních součástí a součástí pro motorová vozidla, kde je požadována vysoká pevnost a zároveň vyšší houževnatost. Ocel 15 142 se řadí mezi nejpoužívanější zušlechťované oceli a je u ní možné dosáhnout pevnosti přes 1 000 MPa. Tvrdost kalené vrstvy se pohybuje v rozmezí 54 až 60 HRC v závislosti na způsobu kalení a geometrii součásti. Ocel je vhodná ke zušlechtění, které bude na nástroji provedeno. Chemické složení a mechanické vlastnosti konstrukční chrom-molybdenové oceli 15 142.7 dle ČSN v zušlechtěném stavu jsou uvedeny v tab. 3. [51]

Tab. 3 Chemické složení a mechanické vlastnosti oceli 15 142.7 [51].

Chemické složení oceli 15 142.7						
C [hm. %]	Mn [hm. %]	Si [hm. %]	Cr [hm. %]	Mo [hm. %]	P [hm. %]	S [hm. %]
0,38 až 0,45	0,50 až 0,80	0,17 až 0,37	0,90 až 1,20	0,15 až 0,30	max. 0,035	max. 0,035

Mechanické vlastnosti oceli 15 142.7 v zušlechtěném stavu				
Průměr nebo tloušťka [mm]	Nejnižší Re [MPa]	Nejnižší Rm [MPa]	Nejnižší A [%]	Nejnižší Z [%]
do 16	883	1 079 až 1 275	10	40
16 až 40	765	981 až 1 177	11	45
40 až 100	637	883 až 1 079	12	50
100 až 160	559	785 až 932	13	55

4.1.4 Tepelné zpracování a povrchová úprava

Tělo sdruženého nástroje je potřeba před použitím tepelně zpracovat. Z toho důvodu byla vybrána ocel 15 142.1 dle ČSN vhodná ke zušlechtění. Hodnota, na kterou bude nástroj zušlechtěn je 1 200 MPa + 200 MPa.

Zušlechťování je tepelné zpracování, při kterém je provedena kombinace kalení a vysokoteplotního popouštění mezi teplotami 400 až 650 °C. Kalení je provedeno na teplotu A3, kde dochází k přeměně feriticko-perlitické struktury na austenit. Na této teplotě probíhá výdrž a následuje rychlé ochlazení. Ihned po zakalení je potřeba udělat popouštění pro snížení vnitřního pnutí. Popouštění je provedeno ohřevem materiálu pod teplotu A_1, následnou výdrží a ochlazením převážně na vzduchu. Výsledkem zušlechťování je zjemnění struktury a zvýšení mechanických vlastností při zachování vysoké houževnatosti. [52]

Takto zušlechtěné tělo sdruženého nástroje je vhodné opatřit povrchovou úpravou, a to černěním. Černění je chemická úprava povrchu zabezpečující lepší korozní odolnost a zlepšení vzhledu díky vytvoření konverzní oxidové vrstvy. Tato sytě černá vrstva zajistí u těla sdruženého nástroje velmi dobrou otěruvzdornost, přijatelné korozní odolnosti a velmi pěkný dekorativní vzhled. [53]

4.2 Řezné podmínky a nový technologický postup

Volba řezných podmínek sdruženého nástroje, hrubujícího jednu sadu děr pro pastorek před následným vystružením, závisí na použitých VBD, šroubovitém vrtáku a obráběném materiálu. Obráběný materiál je v tomto případě feritická tvárná litina s kuličkovým grafitem 42 2304 dle ČSN. Vzhledem ke složitosti programování NC programu pro obrábění tímto sdruženým nástrojem je navrženo použít stejné řezné podmínky jak pro šroubovitý vrták, tak pro VBD. Budou vycházet z doporučených řezných podmínek VBD TCMT 110204-19, které udává jejich výrobce.

Doporučená řezná rychlost použitých VBD je 200 až 300 m·min^{-1}. Byla zvolena řezná rychlost v_c = 200 m·min^{-1}. Dále byl dle výrobce VBD zvolen posuv na zub f_z = 0,05 mm. Průměr sdruženého nástroje na řezném obvodu VBD je roven D = 39,7 mm. Otáčky vřetene stroje se vypočítají dle vztahu (2.1).

$$n = \frac{1\,000 \cdot v_c}{\pi \cdot D} = \frac{1\,000 \cdot 200}{\pi \cdot 39{,}7} = 1\,603{,}6\ min^{-1}.$$

Vypočítané otáčky vřetene jsou pro zjednodušení zaokrouhleny na n = 1600 min^{-1}. Aby bylo možné určit posuvovou rychlost, je třeba znát posuv nástroje na otáčku. Navržený sdružený nástroj je osazen dvěma VBD, a proto se jedná o dvoubřitý nástroj. Posuv nástroje na otáčku je vypočítán dle vztahu (2.4).

$$f = f_z \cdot z = 0{,}05 \cdot 2 = 0{,}1\ mm.$$

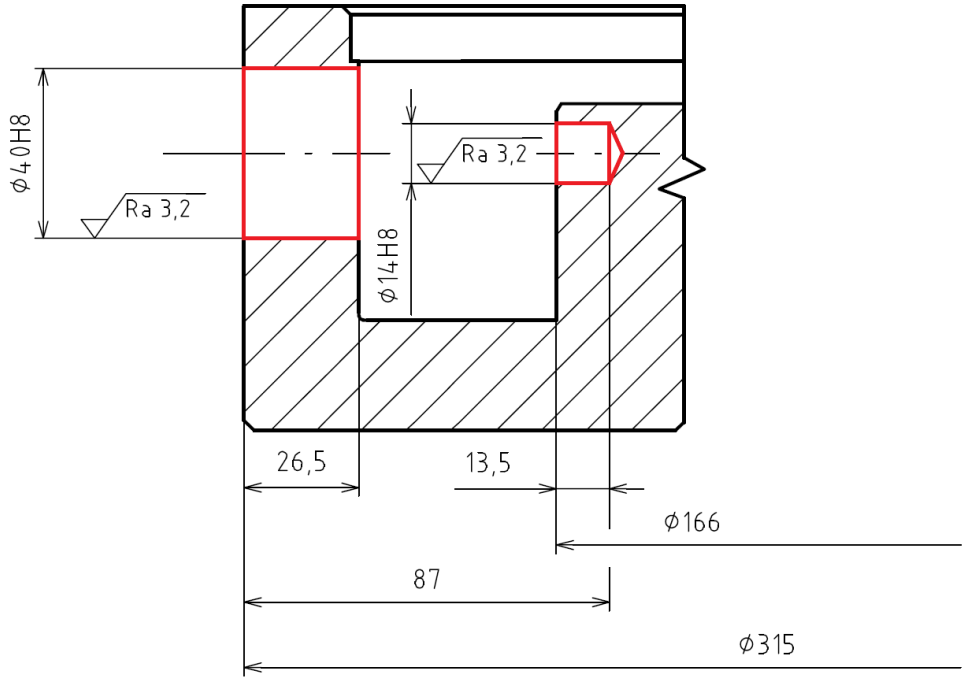
Při znalosti otáček a posuvu nástroje na otáčku je možné vypočítat posuvovou rychlost v_f dle vztahu (2.2).

$$v_f = f \cdot n = 0{,}1 \cdot 1\,600 = 160\ mm \cdot min^{-1}.$$

Pro přehlednost jsou zde vypsány řezné podmínky při obrábění navrženým sdruženým nástrojem:

- řezná rychlost vc = 200 m·min^{-1},
- otáčky vřetene n = 1 600 min^{-1},
- posuv na otáčku f = 0,1 mm,
- posuvová rychlost vf = 160 mm·min^{-1}.

Nyní je možné pomocí výše zmíněných řezných podmínek vypočítat jednotkový strojní čas potřebný pro výrobu jedné sady přesných děr pro pastorek pomocí nově navrženého sdruženého nástroje. Pro objasnění dráhy vrtání je na obr. 49 zobrazen výřez výkresu, na kterém jsou obráběné díry zakótovány.



Obr. 49 Rozměry obráběných děr.

Přestože se jedná o dvě díry (jedna sada děr), mezi kterými je volný, neobráběný prostor, je pro výpočet strojního času uvažováno, že nástroj bude v pracovním režimu celých 87 mm, protože vždy obrábí jednu ze tří obráběcích fází. K této hodnotě je třeba přičíst 5 mm pro náběh sdruženého nástroje. Přeběh vrtáku je roven nule, protože je obráběna neprůchozí díra. Posuvová rychlost je rovna 160 mm·min^{-1}, jak je uvedeno výše.

Jednotkový strojní čas je vypočítán pomocí vztahu [6]:

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} = \frac{l_n + l + l_p}{v_f}, \tag{4.1}$$

kde: t_{AS} – jednotkový strojní čas [min],
L – celková dráha vrtáku [mm],
v_f – posuvová rychlost [mm·min^{-1}],
l_n – délka náběhu vrtáku [mm],
l – délka vrtané díry [mm],
l_p – délka přeběhu vrtáku [mm].

$$t_{AS} = \frac{l_n + l + l_p}{v_f} = \frac{5 + 87 + 0}{160} = 0{,}575\ min.$$

Ve stávající technologii výroby, jak je zmíněno v kapitole 3.3.1, je využíváno mnoho nástrojů, které jsou použity pro výrobu přesných děr pro pastorky v tělese sklíčidla. V novém technologickém postupu je většina těchto nástrojů nahrazena navrženým sdruženým nástrojem hrubujícím díry před dokončením. Následné vystružení otvorů na Ø 14 H8 a Ø 40 H8 zůstalo zachováno ze stávající technologie výroby. Nový technologický postup zahrnující obrábění navrženým sdruženým nástrojem je uveden v tab. 4

Tab. 4 Nový technologický postup výroby jedné sady přesných děr pro pastorek v tělese sklíčidla.

NOVÝ TECHNOLOGICKÝ POSTUP VÝROBY JEDNÉ SADY PŘESNÝCH DĚR PRO PASTOREK							
TOS Svitavy, a.s.		**Polotovar:** Těleso sklíčidla	**Materiál:** EN-GJS 400-15	**Název součásti:** Těleso sklíčidla 315/3			
Č. oper.	**Název operace**	**Popis operace**		**Stroj Tříd. č. prac.**	**Nástroje, přípravky**	**t_{as} [min]**	**t_{a11} [min]**
01/01	Vrtání	Upnout těleso sklíčidla do přípravku		Frézovací a vrtací centrum MCU 700V-5X 45232	Přípravek HK315		
		Výměna nástroje					0,17
		Vrtat Ø 13,8 a Ø 39,7			Sdružený nástroj	0,575	
		Výměna nástroje					0,17
02/02	Vrtání	Vystružit Ø 14 H8			T5	0,23	
		Výměna nástroje					0,17
03/03	Vrtání	Vystružit Ø 40 H8			T6	0,53	
					Součet složek časů:	1,34	0,51
Nástroje T5 a T6 jsou stejné jako ve stávající technologii výroby a jsou uvedeny v příloze 1. Nástroje osazené na těle sdruženého nástroje jsou uvedeny v příloze 3.							

Uvedené časy v tab. 4 jsou vztažené k jedné poloze, při které je vyráběna jedna sada přesných děr pro umístění pastorku. Celkový strojní čas nově navržené technologie potřebný pro výrobu jedné sady přesných děr v tělese sklíčidla činí již jen 1,34 minuty. Vedlejší čas potřebný pro výměnu všech potřebných nástrojů činí 0,51 minuty. Následné vyhodnocení stávající a nově navržené technologie bude porovnáváno z hlediska celkového strojního času při obrábění v jedné poloze. Ze strojních časů uvedených v tab. 4 je zřejmé, že při sloučení operací navrtávání, vrtání Ø 30 mm a interpolační frézování na Ø 39,7 mm do jediné operace s využitím sdruženého nástroje, dojde k výraznému zkrácení strojního času.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

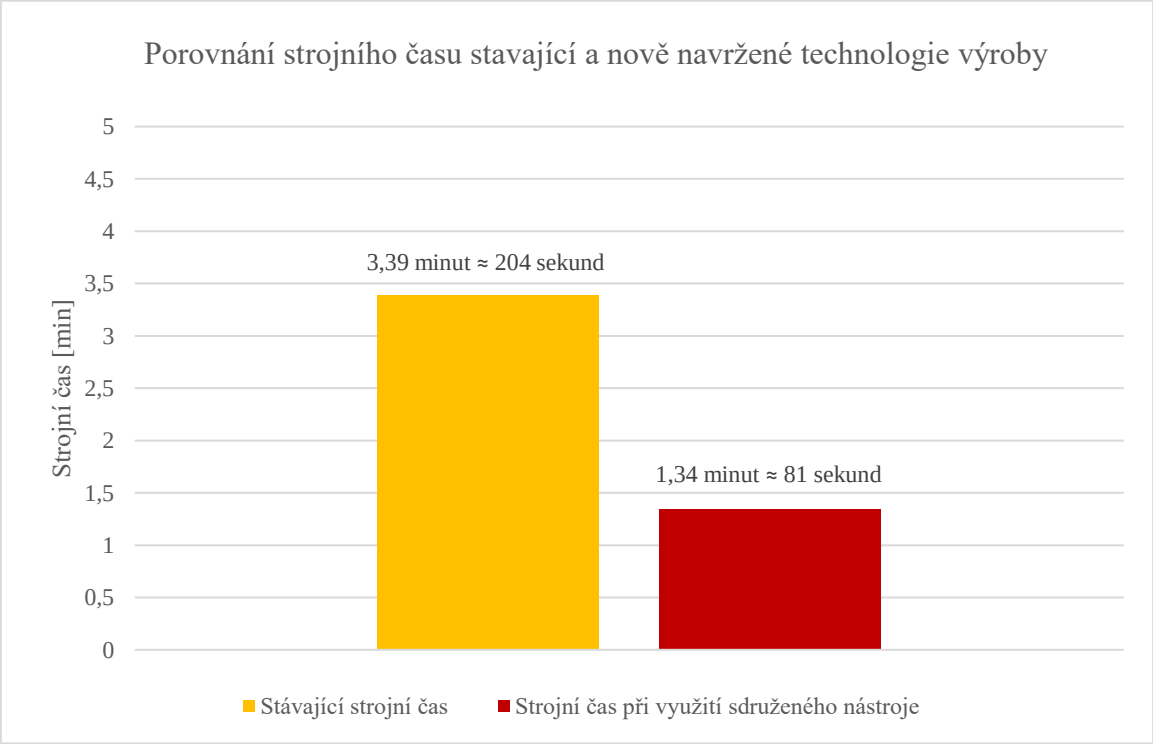
Byl proveden rozbor stávající technologie výroby přesných děr pro pastorky v tělese sklíčidla, navržen sdružený nástroj, který sloučí velkou část stávajících operací obrábění a navržena nová technologie výroby s využitím tohoto nástroje a sestaven nový technologický postup. Následné technicko-ekonomické zhodnocení stávající a nově navržené technologie je provedeno z hlediska strojního času potřebného pro výrobu jedné sady přesných děr pro pastorek v jedné pracovní pozici a z hlediska nákladů na použité nástroje. Jak již bylo uvedeno v kapitole 3.3, pro jeden pastorek jsou obráběny dvě díry a pro lepší přehlednost je uváděn výraz „jedna sada děr pro pastorek“.

5.1 Zhodnocení z hlediska strojního času

Ve stávající technologii výroby přesných děr je díky používání celé řady nástrojů velmi vysoká hodnota strojního času. Z toho důvodu byl navržen sdružený nástroj, který velkou část operací a nástrojů nahradí a vyhrubuje jednu sadu děr pro pastorek v jednom pracovním zdvihu před následným dokončením vystružováním. Zavedením sdruženého nástroje do výrobního procesu dojde k výraznému zkrácení strojního času:

- strojní čas potřebný pro výrobu jedné sady přesných děr pro pastorek ve stávající výrobě činí **3,39 minuty**,
- při zavedení sdruženého nástroje do výrobního procesu dojde ke zkrácení strojního času na **1,34 minuty**.

Celková úspora strojního času činí 2,05 minuty, což v procentuálním vyjádření představuje **60,5 %**. Grafické znázornění je na obr. 50. Tato úspora strojního času vznikne především díky odstranění navrtávacích operací a interpolačního frézování. Samotné interpolační frézování ve stávajícím výrobním procesu trvalo 2,1 minuty z celkového strojního času.



Obr. 50 Porovnání strojního času stávající a nově navržené technologie výroby v jedné poloze.

5.2 Zhodnocení z hlediska nákladů na nástroje

Protože vystružování přesných děr bude jak u stávající, tak u nově navržené technologie totožné, nejsou náklady na vystružovací nástroje zohledňovány ve zhodnocení. Z důvodu co nejpřesnějšího zhodnocení nákladů na spotřebované nástroje byl zvolen výpočet nákladů na hrubování jedné sady přesných děr pro pastorek před následným dokončením. Životnost jednotlivých nástrojů pro výpočet nákladů jak ve stávající, tak i v nově navržené technologii výroby vychází ze zkušeností a údajů poskytnutých technologickým oddělením firmy TOS Svitavy, a.s., která tyto nástroje dlouhodobě používá.

Ve stávající technologii výroby jsou pro hrubování děr pro pastorky použity následující nástroje:

- **NC navrtávák 120 ° Ø 16 mm**, cena 1 823 Kč, udaná životnost 240 sad děr (za předpokladu 4 přeostření),
- **vrtací hlavice korunkového vrtáku Ø 30 mm**, cena 4 000 Kč, udaná životnost 90 sad děr,
- **monolitní stopková fréza Ø 20 mm**, cena 7 600 Kč, udaná životnost 150 sad děr (za předpokladu 4 přeostření),
- **šroubovitý vrták Ø 13,8 mm**, cena 3 600 Kč, udaná životnost 150 sad děr (za předpokladu 4 přeostření) [54].

Monolitní nástroje (NC navrtávák, stopková fréza a šroubovitý vrták) je možné přeostřit, pokud nedojde v průběhu obrábění k jejich zničení. Průměrně jsou uvedené monolitní nástroje během své životnosti ostřeny čtyřikrát. Bližší informace o nástrojích použitých ve stávající technologii výroby jsou uvedeny v příloze 1. V následující tab. 5 jsou přehledně znázorněny výše uvedené nástroje, jejich cena, životnost a nástrojové náklady na hrubování jedné sady děr pro pastorek. Z tab. 5 vyplývá, že náklady na nástroje na hrubování ve stávající výrobě jsou 126,70 Kč.

Tab. 5 Nástrojové náklady na hrubování jedné sady děr pro pastorek ve stávající technologii výroby.

Nástroj	Cena nástroje	Životnost	Cena za 1 sadu děr
NC navrtávák	1 823 Kč	240 sad děr	7,60 Kč
Vrtací hlavice Ø 30	4 000 Kč	90 sad děr	44,40 Kč
Monolitní stopková fréza	7 600 Kč	150 sad děr	50,70 Kč
Šroubovitý vrták Ø 13,8	3 600 Kč	150 sad děr	24,00 Kč
Náklady na nástroje na hrubování jedné sady děr pro pastorek:			126,70 Kč

V nově navržené technologii výroby je místo výše uvedených nástrojů v tab. 5 využit sdružený nástroj, ve kterém jsou použity tyto nástroje:

- **VBD TCMT 110204-19**, cena 200 Kč za kus, udaná životnost 60 sad děr,
- **šroubovitý vrták Ø 13,8 mm s konstrukční úpravou**, cena 3 600 Kč, udaná životnost 70 sad děr (za předpokladu 4 přeostření) [54; 55].

Sdružený nástroj je osazen dvěma VBD trojúhelníkového tvaru se třemi použitelnými řeznými břity. Do udané životnosti je započítáno využití všech tří břitů VBD, a to za předpokladu, že nedojde během obrábění ke zničení destičky. Šroubovitý vrták je během své životnosti

průměrně čtyřikrát přeostřen. Bližší informace o nástrojích použitých v nově navržené technologii výroby jsou uvedeny v příloze 3. V následující tab. 6 jsou opět znázorněny uvedené nástroje, jejich cena, životnost a nástrojové náklady na hrubování jedné sady děr pro pastorek. Z tab. 6 vyplývá, že náklady na nástroje na hrubování v nově navržené technologii jsou 58,10 Kč.

Tab. 6 Náklady na nástroje na hrubování jedné sady děr pro pastorek v nové technologii výroby.

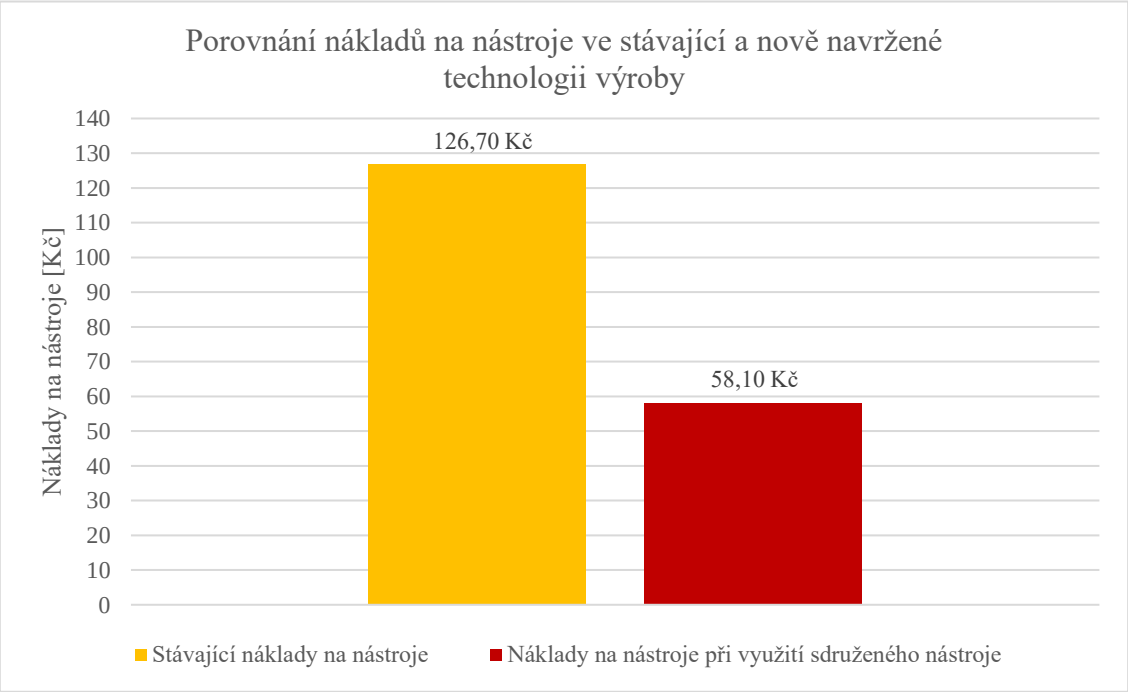
Nástroj	Cena nástroje	Životnost	Cena za 1 sadu děr
VBD TCMT 110204-19	400 Kč (2 ks VBD)	60 sad děr	6,70 Kč
Šroubovitý vrták Ø 13,8	3 600 Kč	70 sad děr	51,40 Kč
Náklady na nástroje na hrubování jedné sady děr pro pastorek			58,10 Kč

Hodnoty životností nástrojů použitých v nově navržené technologii výroby jsou teoretický předpoklad vycházející ze současných výrobních zkušeností firmy. Konkrétní hodnoty životností by byly stanoveny na základě testování při zavedení sdruženého nástroje do výroby.

Zavedením navrženého sdruženého nástroje a nové technologie výroby by došlo ke snížení nákladů na používané nástroje na hrubování jedné sady děr pro pastorek:

- náklady na nástroje použité ve stávající technologii výroby činí **126,70 Kč** na vyhrubovaní jedné sady děr pro pastorek,
- náklady na nástroje použité v nově navržené technologii výroby s využitím sdruženého nástroje by činily **58,10 Kč**.

Úspora nákladů na nástroje pro vyhrubování jedné sady děr pro pastorek by byla 68,60 Kč, což představuje rozdíl **54,1 %**. Porovnání nákladů na nástroje je znázorněno v grafu na obr. 51.



Obr. 51 Porovnání nákladů na nástroje ve stávající a nově navržené technologii výroby.

Při zavedení sdruženého nástroje je třeba počítat s jednorázovou investicí do 10 000 Kč na výrobu těla sdruženého nástroje s ohledem na úroveň složitosti a použitý materiál. Protože by byly vyměňovány pouze VBD a šroubovitý vrták, nepředpokládá se jeho opotřebení.

ZÁVĚR

V této diplomové práci byl řešen návrh sdruženého nástroje pro obrábění děr v tělese sklíčidla, který by znamenal zefektivnění stávající technologie výroby. Nejdříve byla krátce představena firma TOS Svitavy, a.s., se kterou probíhala dlouhodobá spolupráce, a pro kterou byl sdružený nástroj navržen. Dále bylo popsáno samostředicí univerzální sklíčidlo, jeho funkce, upínací mechanismus a bylo charakterizováno těleso sklíčidla, včetně postupu výroby. Řešenými prvky na tělese sklíčidla jsou přesné díry pro pastorky. Následně byl proveden detailní rozbor stávající technologie výroby přesných děr a přehledně popsány jednotlivé technologické operace, včetně určení nejproblematičtějších částí současné výroby. Tato problematika byla vyřešena nově navrženou technologií výroby s využitím nového sdruženého nástroje, jehož návrh byl jedním z cílů diplomové práce. Hlavní částí práce byl návrh konstrukce sdruženého nástroje a postup obrábění tímto nástrojem. Součástí návrhu bylo stanovení řezných podmínek na základě nástrojů osazených na těle sdruženého nástroje. Výstupem byl nový technologický postup obrábění přesných děr v tělese sklíčidla. Na závěr bylo provedeno technicko-ekonomické zhodnocení. Zavedením sdruženého nástroje a nového technologického postupu do výroby by bylo dosaženo těchto výsledků:

- úspora 2,05 minuty strojního času na výrobu jedné sady přesných děr pro pastorek, což v procentuální vyjádření představuje 60,5 %,
- úspora nákladů na nástroje ve výši 68,60 Kč na vyhrubování jedné sady děr pro pastorek, což v procentuální vyjádření představuje 54,1 %.

Při zavedení sdruženého nástroje a nového technologického postupu do výroby by bylo třeba počítat s jednorázovou investicí do 10 000 Kč na výrobu těla sdruženého nástroje. Přesná cena by byla stanovena až na základě konkrétní nabídky. S ohledem na možnou výši úspor v oblasti strojního času a nákladů na nástroje se dá předpokládat velmi rychlá návratnost investice.

Po zavedení sdruženého nástroje do výroby, ověření jeho funkčnosti a efektivity by bylo vhodné navrhnout, vyrobit a zavést do výroby sdružené nástroje i pro ostatní velikosti vyráběných sklíčidel.

Závěrem, po zhodnocení výsledků této diplomové práce, je možno konstatovat, že uplatnění sdruženého nástroje a nového technologického postupu by bylo požadovaným zefektivněním a přínosem pro stávající výrobu samostředicích upínacích sklíčidel.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. *TOS Svitavy, a.s.* [online]. [cit. 2022-23-03]. Dostupné z: https://www.tos.cz
2. BOROVAN, Petr. Upínače nástrojů (6): Upínání rotačních obrobků – 1. část. In: *Technický týdeník* [online]. Praha, 2012 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/upinace-nastroju-6-upinani-rotacnich-obrobku-1-cast_8502.html
3. SOVA, František. *Technologie obrábění a montáže*. Plzeň: Vysoká škola strojní a elektrotechnická, 1989. ISBN 80-708-2006-3.
4. ČSN 42 2304. *Tvárná litina 42 2304 feritická*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1977.
5. ČSN 41 2050. *Ocel 12 050*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1978.
6. HUMÁR, Anton. *Technologie obrábění – 2. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2004 [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-2cast.pdf
7. Vrtání. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/drilling/pages/default.aspx
8. BOTHE, Otakar. *Strojírenská technologie IV pro strojírenské učební obory.* Praha: SOBOTÁLES, 1996. ISBN 80-85920-30-1
9. *Technická příručka obrábění: soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. Praha: Sandvik Coromant, 2005, [601] s. : il. (převážně barev.).
10. Typy děr. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/drilling/pages/default.aspx
11. Training Handbook. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/pages/default.aspx
12. Užitečné rady pro vrtání. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/drilling/pages/drilling-tips.aspx
13. CoroKey - Leichte Auswahl. Einfacher Einsatz. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/pages/default.aspx
14. *Technická příručka obrábění: soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. Praha: Sandvik Coromant, 2005, [601] s. : il. (převážně barev.).
15. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. 1. vyd. Brno: Akademické vydavatelství CERM, s. r. o., 2006. 217 s. ISBN 80-214-2374-9.
16. KOCMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*. Brno: CERM, 2001. ISBN 80-214-1996-2.
17. Nástroje na vrtání. *Elektronická učebnice - ELUC* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1209
18. ZEMČÍK, Oskar. *Nástroje a přípravky pro obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2003, 193 s. : obr. + 1 CD-ROM. ISBN 80-214-2336-6.
19. Středicí navrtávák - 60°. *Dormer Pramet* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: https://www.dormerpramet.com/cs-cz/pages/default.aspx

20. PŘIKRYL, Zdeněk. *Technologie obrábění*. Praha;Bratislava: SNTL;SVTL, 1967, 444 s.

21. Vše, co potřebujete vědět o vrtácích do kovu. *Kobotec* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: https://www.kobotec.cz

22. Spade drill. *Karnasch Professional Tools GmbH* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: https://karnasch.tools/en/

23. BENEŠOVÁ, Dana. Vrtací hlavice nabízejí nové možnosti. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2012 [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/vrtaci-hlavice-nabizeji-nove-moznosti

24. Indexable insert drill bit CoroDrill 870. *DirectIndustry* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: https://www.directindustry.de/

25. CoroDrill 881. *Sandvik Coromant* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: https://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/products/corodrill_881/pages/default.aspx

26. BOSMAN, Oldřich. Vrtání hlubokých otvorů na obráběcích centrech. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2006 [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/vrtani-hlubokych-otvoru-na-obrabecich-centrech

27. Dělový vrták. *TeSoGu* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: http://tesogu.cz/nastroje-pro-obrabeni/vrtani-vyvrtavani-hluboke-vrtani-delove-vrtani/

28. Karbidové a HSS(-E) strojní výstružníky. *Dormer Pramet* [online]. [cit. 2022-02-24]. Dostupné z: https://www.dormerpramet.com/cs-cz/pages/default.aspx

29. HUMÁR, Anton. *Technologie obrábění – 1. část: Studijní opory pro magisterskou formu studia* [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie, 2004 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/studijni-opory/TI_TO-1cast.pdf

30. BOROVAN, Petr. Řezné nástroje (7). *Technický týdeník* [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/rezne-nastroje/rezne-nastroje-7_8519.html

31. *Technická příručka obrábění: soustružení, frézování, vrtání, vyvrtávání, upínání nástrojů*. Praha: Sandvik Coromant, 2005, [601] s. : il. (převážně barev.).

32. SOVA, František. *Technologie obrábění a montáže*. Plzeň: Vysoká škola strojní a elektrotechnická, 1989. ISBN 80-708-2006-3.

33. *Produktivní obrábění kovů*. Sandviken: Sandvik Coromant, 1997, 300 s. : il.

34. KOENIGSBERGER, F. a A.J.P. SABBERWAL. An investigation into the cutting force pulsations during milling operations. *International Journal of Machine Tool Design and Research* [online]. 1961, 1(1-2), 15-33 [cit. 2022-03-10]. ISSN 00207357. Dostupné z: doi:10.1016/0020-7357(61)90041-5

35. Sunshine Tool. *Milling tools* [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: http://www.sunshinetool.com/milling-tools.html

36. BOROVAN, Petr. Řezné nástroje (8). *Technický týdeník* [online]. [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/serialy/rezne-nastroje/rezne-nastroje-8_8520.html

37. PLÁNIČKA, František. Nové frézy zvyšují produktivitu. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2014 [cit. 2022-03-10]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/nove-frezy-zvysuji-produktivitu

38. Nástroje, upínání nástrojů a ostření. *Elektronická učebnice - ELUC* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://eluc.ikap.cz/verejne/lekce/1228

39. MCU 700V[T]-5X. *KOVOSVIT MAS: Obráběcí stroje, CNC stroje, CNC soustruhy* [online]. 2022 [cit. 2022-04-08]. Dostupné z: https://www.kovosvit.cz/mcu-700vt-5x/

40. Navrtávák NC 120°. *M&V - Velkoobchod nástroji, nářadím a stroji* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://katalog.mav.cz/detail.php?id=74861

41. Vrták Hydra 5xD, H85530.0. *Dormer Pramet* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://www.dormerpramet.com/cz/cs/p/5988748

42. Stopková fréza S71720.0. *Dormer Pramet* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://www.dormerpramet.com/cz/cs/p/6706709

43. Ratio vrták s vnitřním chlazením VHM / Ø 13,800 mm. *Gühring KG* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://webshop.guehring.cz/000009055110138000?page=2

44. Strojní výstružník / Ø 14,000 mm / H7. *Gühring KG* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://webshop.guehring.cz/000009016850140000

45. Hlava vyvrtávacího systému F90. *Dormer Pramet* [online]. [cit. 2022-05-08]. Dostupné z: https://www.dormerpramet.com/cz/cs/p/6760646

46. SOMT-DT : 5507875 - SOMT 09T306-DT. *ISCAR Cutting Tools - Metal Working Tools* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.iscar.com/eCatalog/Item.aspx?cat=5507875&fnum=893&mapp=DR&lang=WZ

47. Ratio vrták VHM / Ø 13,800 mm / m7 / DIN 6537K / nanoFIRE. *Gühring KG* [online]. [cit.2022-04-25]. Dostupné z: https://webshop.guehring.cz/000009060260138000?page=2

48. TCMT-19 : 5600280 - TCMT 110204-19. *ISCAR Cutting Tools - Metal Working Tools* [online]. [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.iscar.com/eCatalog/item.aspx?cat=5600280&fnum=432&mapp=IS&app=29&GFSTYP=M&isoD=1

49. BOROVAN, Petr. Upínače nástrojů (1). *Technický týdeník* [online]. 2012 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/upinace-nastroju-1_8497.html

50. BOROVAN, Petr. Upínače nástrojů (2). *Technický týdeník* [online]. 2012 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.technickytydenik.cz/rubriky/obrabeci-stroje-a-jejich-prislusenstvi/upinace-nastroju-2_8498.html

51. ČSN 41 5142. *Ocel 15 142 Cr-Mo*. Praha: Úřád pro normalizaci a měření, 1977.

52. MORÁVEK, Otakar a Vladislav BABOROVSKÝ. *Nástrojové materiály a tepelné zpracování nástrojů*. Praha: SNTL - Nakladatelství technické literatury, 1972, 505 s.

53. KUDLÁČEK, Jan. Alkalické černění ocelí. *MM Průmyslové spektrum* [online]. 2008 [cit. 2022-04-25]. Dostupné z: https://www.mmspektrum.com/clanek/alkalicke-cerneni-oceli

54. TOS Svitavy, a.s., *Ceník nástrojů*. [cit. 2022-05-02]. Osobní komunikace

55. VANĚK, Oldřich, *Ceník nástrojů Gühring s.r.o.* [cit. 2022-05-02]. E-mailová komunikace

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symboly

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažnost	[%]
A_D	jmenovitý průřez třísky	[mm^2]
A_{Di}	jmenovitý průřez třísky pro i-tou polohu frézy	[mm^2]
A_{Dmax}	maximální velikost jmenovitého průřezu třísky	[mm^2]
C_{Fc}, C_{Ff}	konstanty vyjadřující zejména vliv obráběného materiálu	[-]
D	průměr nástroje	[mm]
F_c	řezná síla	[N]
F_f	posuvová síla	[N]
F_p	pasivní síla	[N]
L	celková dráha vrtáku	[mm]
M_k	krouticí moment	[N·mm]
P_c	řezný výkon	[kW]
Ra	střední aritmetická úchylka profilu	[µm]
Re	mez kluzu	[MPa]
Rm	mez pevnosti v tahu	[MPa]
Z	kontrakce	[%]
a_p	šířka záběru ostří	[mm]
b_d	jmenovitá šířka třísky	[mm]
d	průměr předpracované díry	[mm]
f, f_n	posuv nástroje na otáčku	[mm]
f_z	posuv na zub	[mm]
h_D, h_i	jmenovitá tloušťka třísky	[mm]
k_c	měrná řezná síla	[MPa]
l	délka vrtané díry	[mm]
l_n	délka náběhu vrtáku	[mm]
l_p	délka přeběhu vrtáku	[mm]
n	otáčky nástroje (případně obrobku)	[min^{-1}]
n_z	počet zubů frézy v záběru	[-]
t_{AS}	čas jednotkový strojní	[min]
t_{A11}	čas jednotkové práce za klidu výrobního zařízení	[min]
v_c	řezná rychlost	[m·min^{-1}]
v_e	rychlost řezného pohybu	[mm·min^{-1}]
v_f	posuvová rychlost	[mm·min^{-1}]
x	exponent vlivu tloušťky třísky	[-]
x_{Ff}, x_{Fc}	exponenty vyjadřující vliv průměru vrtáku	[-]
y_{Ff}, y_{Fc}	exponenty vyjadřující vliv posuvu na otáčku	[-]
z	počet zubů nástroje/frézy	[-]
κ_r	úhel nastavení hlavního ostří nástroje	[°]
φ_i	úhel posuvového pohybu	[°]
φ_{max}	maximální úhel posuvového pohybu	[°]

Zkratky

Označení	Legenda
BTA	Boring and Trepanning Association
CNC	Computer Numerical Control
ČSN	Česká státní norma
DIN	Deutsche Industrie Norm – Německá průmyslová norma
EN	European Norm – Evropská norma
HRC	Tvrdost dle Rockwella
ISO	International Organization for Standardization
KNB	Kubický nitrid bóru
NC	Numerical Control
PKD	Polykrystalický diamant
STS	Single Tube System
VBD	Vyměnitelná břitová destička
a.s.	Akciová společnost

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 Přehled obráběcích nástrojů použitých ve stávající technologii výroby přesných děr

Příloha 2 Nakupované nástroje pro osazení první konstrukční varianty sdruženého nástroje

Příloha 3 Nakupované nástroje pro osazení finální varianty sdruženého nástroje

Seznam výkresů

Výkres 1 TĚLESO IUS 315 – HRUB; 2022-DP-201203-01

Výkres 2 TĚLESO – IUS 315/3-M1; 2022-DP-201203-02

Výkres 3 MODIFIKACE VRTÁKU; 2022-DP-201203-03

Výkres 4 TĚLO SDRUŽENÉHO NÁSTROJE; 2022-DP-201203-04

Výkres 5 SDRUŽENÝ NÁSTROJ; 2022-DP-201203-05