



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ZEFEKTIVNĚNÍ VÝROBY SOUČÁSTI Z ŠICÍHO STROJE

STREAMLINE PRODUCTION OF SEWING MACHINE PARTS

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Michal Švec

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Milan Kalivoda

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Michal Švec**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Výrobní stroje, systémy a roboty
Vedoucí práce: **Ing. Milan Kalivoda**
Akademický rok: 2019/20

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:

Zefektivnění výroby součásti z šicího stroje

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Nevýhodné určité parametry ve výrobě dané součásti lze po rozboru upřesnit. Nové hodnoty parametrů jsou ověřeny. Rozdíl vůči původnímu stavu je doporučen k zavedení do sériové výroby.

Cíle diplomové práce:

- Charakteristika součásti
- Stávající výrobní proces
- Vyhodnocení a úprava polotovaru
- Navržení modernizace výroby
- Zpracování TPV dat
- Vyhodnocení zefektivnění

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 225 s. ISBN 80-214-2374-9.

IMAI, Masaaki. Kaizen. 1. vyd. Brno: Computer Press, a. s., 2004. 272 s. ISBN 80-251-0461-3.

JUROVÁ, Marie. Organizace přípravy výroby. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 100 s. ISBN 978-8-214-3946-7.

LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. Strojnické tabulky. 3. vyd. Úvaly: ALBRA, 2006. 914 s. ISBN 80-7361-033-7.

MÁDL, Jan et al. Jakost obráběných povrchů. 1. vyd. Ústí nad Labem: UJEP, 2003. 180 s. ISBN 80-7044-639-4.

PERNIKÁŘ, Jiří a Miroslav TYKAL. Strojírenská metrologie II. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2006. 180 s. ISBN 80-214-3338-8.

PÍŠKA, Miroslav et al. Speciální technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2009. 252 s. ISBN 978-80-214-4025-8.

Příručka obrábění, kniha pro praktiky. 1. vyd. Praha: Sandvik CZ, s. r. o. a Scientia, s. r. o., 1997. 857 s. ISBN 91-972299-4-6.

SHAW, Milton Clayton. Metal Cutting Principles. 2nd ed. Oxford: Oxford University Press, 2005. P. 651. ISBN 0-19-514206-3.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design. 2nd edition. New York: McGRAW-HILL, 2006. P. 730. ISBN 0-07-146271-6.

ZEMČÍK, Oskar. Nástroje a přípravky pro obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, s. r. o., 2003. 193 s. ISBN 80-214-2336-6.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

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

ABSTRAKT

Diplomová práce se zabývá návrhem zefektivnění výrobního procesu součásti držáku podavače ve firmě MINERVA BOSKOVICE, a.s. Technologiemi, které jsou použity při výrobě součásti, se věnuje první část diplomové práce. Ve druhé části se práce věnuje rozboru součásti a jejímu současnému výrobnímu postupu. Třetí část obsahuje návrh nového výrobního postupu, který obsahuje popis strojů využitých pro výrobu, nového přípravku, zvolené nástroje, strojní výpočty a technologický postup. Poslední část zhodnocuje současnou a nově navrhovanou variantu výroby s jejich porovnáním.

ABSTRACT

The diploma thesis deals with the proposal of more effective production process of the feeder holder component in the company MINERVA BOSKOVICE, a.s. The first part of diploma thesis dedicated to the technologies which are used in the production of components. The second part deals with the analysis of the component and its current production process. The third part contains a proposal for a new production process, which contains a description of the machines used for production, a new jig, selected tools, mechanical calculations and technological method. The last part evaluates the current and newly proposed variant of production with their comparison.

KLÍČOVÁ SLOVA

CNC stroj, přípravek, technologický postup, kusová výroba, šicí stroj

KEYWORDS

CNC machine, technological method, preparation, piece production, sewing machine

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

Švec, M. *Zefektivnění výroby součástí z šicího stroje*, Brno, Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. 2020, 66 s., Vedoucí diplomové práce Ing. Milan Kalivoda.

PODĚKOVÁNÍ

Tímto bych chtěl poděkovat vedoucímu TPV z firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. panu Ing. Kavanovi za poskytnutí tématu k řešení, rady při psaní diplomové práce.

Také chci poděkovat panu Ing. Kalivodovi za vedení práce a cenné rady a konzultace pro správné vypracování diplomové práce.

Nakonec chci poděkovat své rodině, přítelkyni za podporu a trpělivost při studiích.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že tato práce je mým původním dílem, zpracoval jsem ji samostatně pod vedením Milana Kalivody a s použitím literatury uvedené v seznamu.

V Brně dne 28

.....
Bc. Michal Švec

OBSAH

| | | |
|----------|---|-----------|
| 1 | ÚVOD | 1 |
| 2 | TECHNOLOGIE POUŽITÉ PŘI VÝROBĚ DRŽÁKU PODAVAČE, JEJICH POPIS | 3 |
| 2.1 | Základy obrábění | 3 |
| 2.1.1 | Základy tvorby třísky | 3 |
| 2.1.2 | Obrábění – základní pohyby | 5 |
| 2.1.3 | Teplo vzniklé obráběním | 7 |
| 2.2 | Nástrojové materiály | 8 |
| 2.2.1 | Rychlořezná a nástrojová ocel | 9 |
| 2.2.2 | Slinuté karbidy | 9 |
| 2.3 | Obráběcí proces a jeho vliv na řezné prostředí | 11 |
| 2.3.1 | Řezná média – požadavky | 12 |
| 2.3.2 | Řezná média – druhy | 13 |
| 2.4 | Technologie frézování | 14 |
| 2.4.1 | Frézování – kinematika | 14 |
| 2.4.2 | Řezné podmínky | 16 |
| 2.4.3 | Výpočet frézovacích strojních časů | 16 |
| 2.4.4 | Frézovací nástroje – základní druhy | 18 |
| 2.5 | Technologie vrtání, zahlubování, vystružování a vyhrubování | 19 |
| 2.5.1 | Řezný proces – kinematika | 19 |
| 2.5.2 | Výpočet strojních časů | 20 |
| 2.5.3 | Vrtání | 20 |
| 2.5.4 | Zahlubování | 21 |
| 2.5.5 | Vyhrubování | 22 |
| 2.5.6 | Vystružování | 23 |
| 2.6 | Řezání závitů – technologie | 23 |
| 2.6.1 | Kinematika řezání závitů, výpočty strojních časů | 24 |
| 2.6.2 | Řezání závitů | 24 |
| 3 | ANALÝZA – SOUČASNÝ STAV VÝROBY | 26 |
| 3.1 | Popis součásti – držák podavače | 26 |
| 3.1.1 | Konstrukce držáku podavače | 26 |
| 3.1.2 | Funkce součásti | 28 |
| 3.1.3 | Šicí stroj M-type 3 | 29 |
| 3.2 | Současná výroba součásti držáku podavače | 30 |
| 3.2.1 | Zařízení pro současnou výrobu součásti | 30 |
| 3.2.2 | Technologický postup současné výroby | 31 |
| 4 | ZEFEKTIVNĚNÍ STÁVAJÍCÍHO ZPŮSOBU VÝROBY – NÁVRH NOVÉHO VÁROBNÍHO POSTUPU | 33 |
| 4.1 | Stroje využití pro novou výrobu | 33 |
| 4.1.1 | CNC stroj TAJMAC-ZPS 500 a přípravky v něm použité | 33 |
| 4.1.2 | Čistící stroj PERO R1-EX | 35 |
| 4.2 | Přípravek vyrobený pro výrobu dílce na CNC stroji | 36 |
| 4.3 | Použité nástroje | 37 |
| 4.3.1 | Nástroje pro frézování | 38 |
| 4.3.2 | Nástroje pro vrtání | 39 |
| 4.4 | Nový technologický postup | 42 |
| 4.5 | Výpočty výrobních časů | 43 |
| 4.6 | Počet nástrojů potřebných pro výrobu součásti | 47 |

| | | |
|----------|--|-----------|
| 4.7 | Průběžný čas výroby..... | 48 |
| 4.8 | Náklady na celkovou výrobu..... | 48 |
| 5 | TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ..... | 49 |
| 5.1 | Vyhodnocení současné výroby součásti..... | 49 |
| 5.2 | Vyhodnocení navrženého zefektivnění výroby..... | 49 |
| 5.3 | Srovnání stávajícího a navrženého výrobního postupu..... | 50 |
| 6 | ZÁVĚR..... | 52 |
| 7 | SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ..... | 54 |
| 8 | SEZNAM VYUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ..... | 56 |
| 9 | SEZNAM PŘÍLOH..... | 59 |
| | Příloha 1..... | 60 |
| | Příloha 2..... | 61 |
| | Příloha 3..... | 64 |
| | Příloha 4..... | 66 |

1 ÚVOD

Firma MINERVA Boskovice, a.s. byla založena v roce 1881 Emilem Rezlerem a Josefem Komárkem ve Vídni. Tato firma se zabývala výrobou šicích strojů pro domácnosti. Po přestěhování firmy do Boskovic byla v roce 1953 zahájena výroba průmyslových šicích strojů pro různé aplikace v průmyslu, například pro galanterie, obuvi, nábytkářství, v automobilovém průmyslu na šití sedadel, pošívání volantů, autopotahů apod. a následně v roce 1968 byla zrušena výroba domácích šicích strojů. Od roku 1997 se Minerva Boskovice, a.s. stává členem skupiny DÜRKOPP ADLER GROUP a na jejích šicích strojích se vyrábí výrobky známých výrobců jako například Puma, Hugo Boss, Baťa, Adidas a další. V roce 2018 firma zahájila výrobu středně těžké řady průmyslových šicích strojů M-Type 3. [1, 30]

Cílem diplomové práce je návrh nového výrobního postupu součásti držáku podavače pro firmu MINERVA Boskovice, a.s. Návrh by měl zefektivnit stávající výrobu na konvenčních strojích a to jak vzhledem ke zkrácení pracovní doby na součásti, tak i finančním prostředkům, vzhledem k sériové výrobě těchto součástí.

Úkolem práce je provést rozbor použitých technologií při výrobě nosiče podavače, analýza původního výrobního procesu a návrh nového, které povede k zefektivnění výroby dané součásti. Na závěr práce bude technicko-ekonomické zhodnocení, ve kterém budou obě varianty porovnány a zhodnotí se, jak výhodná bude nová varianta výroby této součásti.

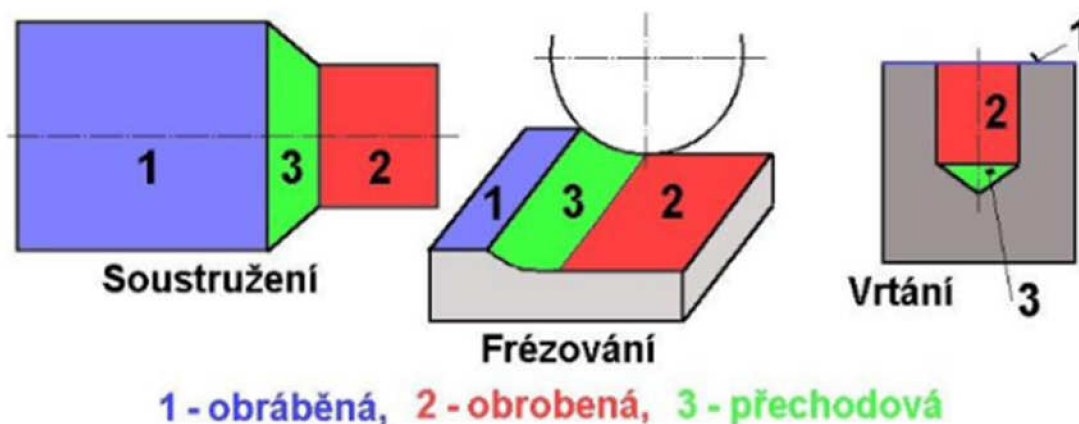
2 TECHNOLOGIE POUŽITÉ PŘI VÝROBĚ DRŽÁKU PODAVAČE, JEJICH POPIS

V této kapitole bude proveden popis, charakteristika a rozbor teoretických základů obrábění, materiálů na nástroje, technologií a řezných prostředí, využitých při výrobě držáku podavače.

2.1 Základy obrábění

Obrábění je technologický proces, při kterém se pomocí odebrání částic materiálu určitým druhem síly utváří určité tvary, rozměry a jakosti povrchů obrobku. Je to především proces intenzivních plastických deformací v rovině maximálních smykových napětí. Při tvorbě třísky se materiál obrobku dostává do mezních stavů pružné napjatosti, plastické deformace a oddělování materiálu lomovým porušením. Tyto mezní stavy materiál prochází velmi rychle, a kvůli vysoké rychlosti deformace dochází k oddělení části třísky ve velmi krátkém čase. Jednotlivé stavy je tedy složité sledovat. Obrábění probíhá v soustavě stroj – nástroj – přípravek – obrobek (S-N-P-O) [2,3].

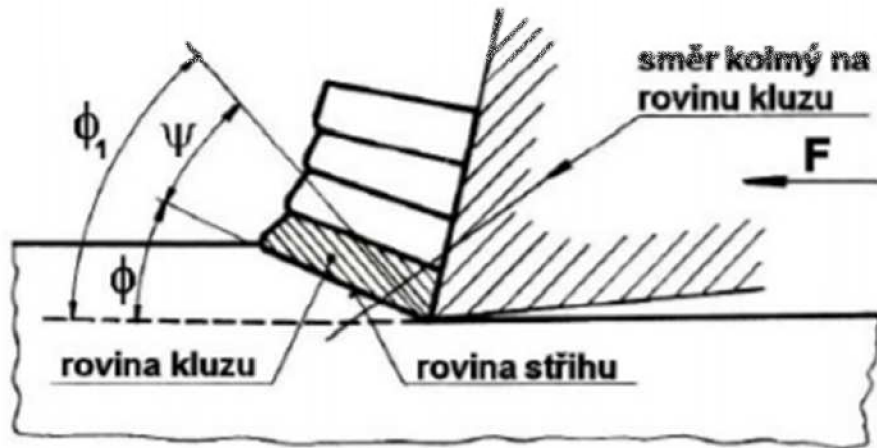
Při obrábění na obrobku vznikají různé typy ploch, jako je plocha obráběná, přechodová a obrobená (viz obr. 2.1), kde obráběná plocha je plocha přetvářená obráběním, obrobená plocha je plocha vzniklá přetvořením řezným nástrojem. Přechodová plocha je vytvářena při okamžitém působení nástroje a leží tedy mezi obráběnou a obrobenou plochou. Obrobená plocha je určena svými rozměry, tvarem a vlastnostmi povrchu [2].



Obr. 2. 1 Plochy na obrobku [2]

2.1.1 Základy tvorby třísky

Při vnikání řezného klínu nástroje, pomocí řezné síly do materiálu obrobku, vzniká tříška. Materiál obrobku je plasticky a elasticky deformován. Pokud se překročí mez kluzu, začne vznikat tříška ve střižné rovině, jejíž úhel se směrem řezu se nazývá úhel řezu a označuje se ϕ (viz obr. 2.2). Aby mohlo obrábění probíhat, je nutné, aby měl obráběný materiál menší tvrdost než materiál nástroje, který bude pro obrábění použit. Oddělování třísky u obrábění závisí zejména na fyzikálních vlastnostech materiálu obrobku a závislosti fyzikálních vlastností na podmínkách plastické deformace [4, 5, 6].

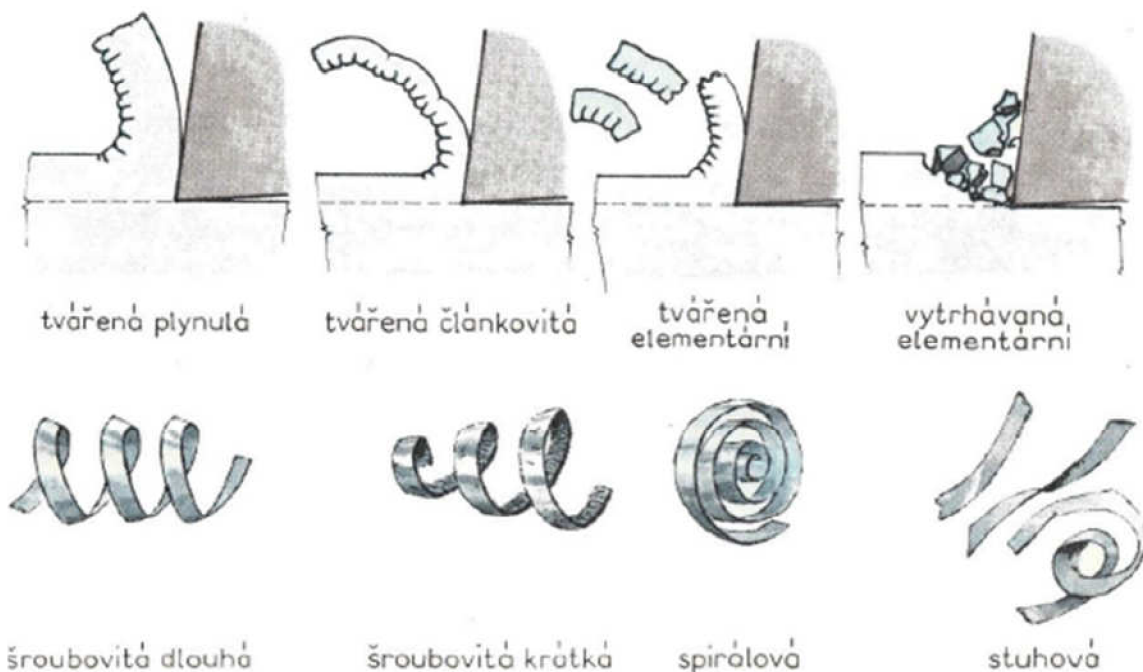


Obr. 2. 2 Tříška – princip tvorby [2]

Technologické charakteristiky třísek vypovídají o procesu obrábění z energetického hlediska a hlediska odchodu z řezné zóny, přestože jsou třísky jen vedlejším produktem obrábění [6].

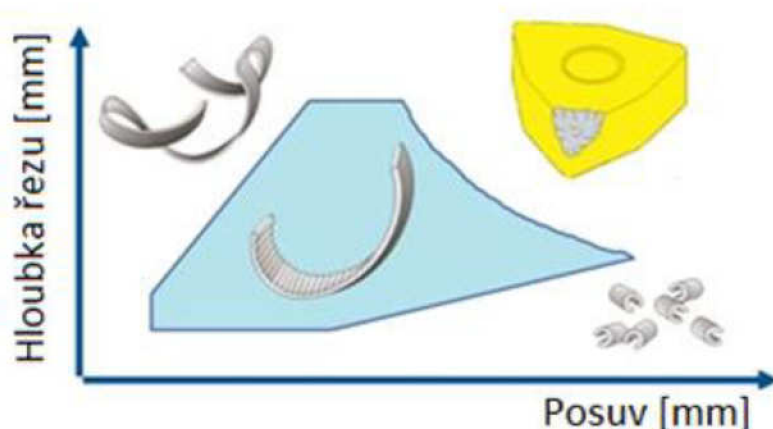
Třísky dělíme na [6] (viz obr. 2.3):

- netvářenou třísku – vzniká, když je materiál odtržen, to znamená štěpení materiálu, tato tříška je typická pro dřevo, sklo apod.,
- tvářenou soudržnou třísku – před oddělováním materiálu od obrobku je materiál daného obrobku plasticky tváren, tříška vzniká pomocí plastického kluzu, typicky tvářené litiny, ocele, slitiny CU a AL,
- částečně tvářenou třísku – před oddělením je obráběný materiál částečně tváren, typicky bronz, litina.



Obr. 2. 3 Druhy a tvary třísek [7]

Tvorba třísky je ovlivňována mnoha různými faktory. Mezi hlavními faktory, které ovlivňují tvorbu třísky, je materiál obrobku. Při vyšší tvrdosti materiálu se vytvářejí kratší třísky, pokud se ale materiál vyznačuje vyšší tažností, pak se vytvářejí delší třísky. Dalším faktorem je geometrie nástroje určeného pro obrábění a to především utvářeč třísek a řezná hrana. Na vytváření třísky a jejího tvaru mají podstatný vliv i řezné podmínky. Jedná se například o hloubku řezu, velikost posuvu, a vzhledem k tomu je nutné, aby byly správně zvoleny řezné podmínky a byl zvolen správný poměr velikosti posuvu a hloubky řezu. Tuto závislost je možné vidět ve schématu vytváření třísek (viz obr. 2.4) [8].



Obr. 2. 4 Schéma vytváření třísek [8]

2.1.2 Obrábění – základní pohyby

Vzájemný pohyb mezi nástroji a obrobku se nazývá **Hlavní pohyb** (viz obr. 2.5) a je realizovaný pomocí obráběcího stroje. Při soustružnických, brousících a někdy také vrtacích operacích se rozeznává točivý pohyb daného obrobku, zatímco u frézování, broušení naplocho a vrtání se otáčí nástroj a obrobek je pevně uchycen. U hoblovacích operací se obrobek pohybuje přímočaře a při obrážecích operacích se naopak pohybuje přímočaře nástroj [2].

Hlavní pohyb – základní pojmy [2]:

- hlavní pohyb má směr (viz obr. 2.6) určený okamžitým směrem hlavního pohybu na daném bodu ostří nástroje vzhledem k obrobku
- okamžitá rychlost hlavního pohybu v daném bodu nástroje vzhledem k obrobku je řezná rychlost v_c . Rychlost v_c je možné vypočítat dle vztahu (2.1).

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.1)$$

kde: v_c [m · min⁻¹] - řezná rychlost,
 D [mm] - obráběný průměr obrobku nebo průměr nástroje
 n [min⁻¹] - otáčky obrobku nebo nástroje.

Dalším relativním pohybem mezi nástrojem a obrobkem je **posuvový pohyb** (viz obr. 2.5), který je realizován pomocí obráběcího stroje. Tento pohyb s hlavním pohybem dává plynulé nebo přerušované odebrání třísek z obrobku. Posuvný pohyb může být plynulý nebo postupný, u některých technologií v obrábění není použit posuvný pohyb, příkladem je protahování [2].

Posuvový pohyb – základní pojmy [2]:

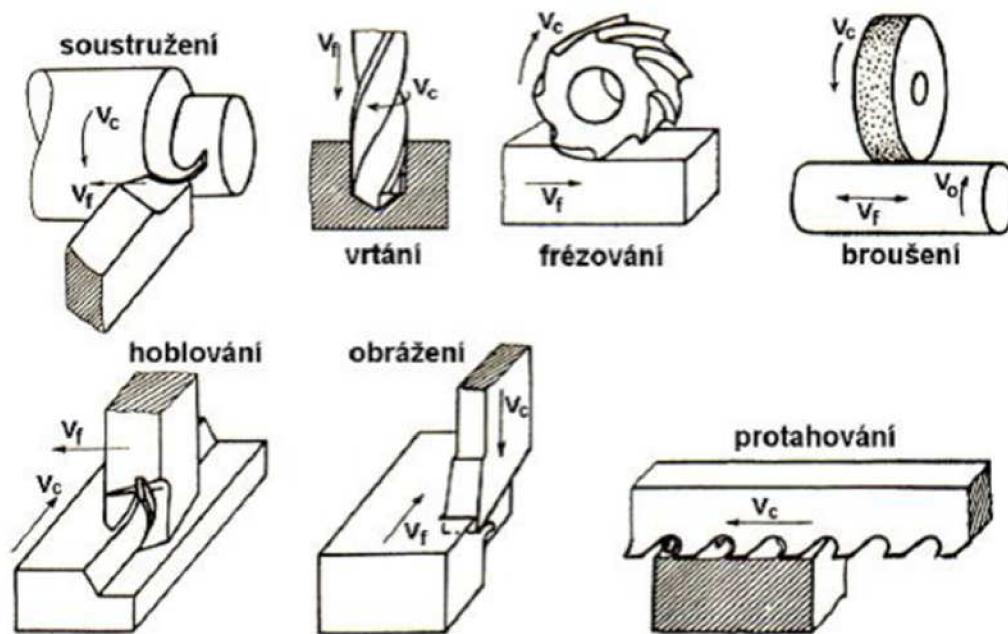
- posuvný pohyb má směr (viz obr. 2.6), který se stanovuje pomocí směru okamžitého posuvného pohybu daného bodu ostří nástroje vzhledem k obrobku,
- současný posuvný a hlavní pohyb mají mezi svými směry úhel, což je **úhel posuvového pohybu ϕ** . Tento úhel měříme v boční pracovní rovině P_{fe} .

Z posuvného a hlavního pohybu vyjde **řezný pohyb** (viz obr. 2.6), který je dán výsledným pohybem nástroje vzhledem k obrobku. Tento pohyb vzniká sečtením dvou vektorů a to vektoru posuvného pohybu a vektoru hlavního pohybu [2].

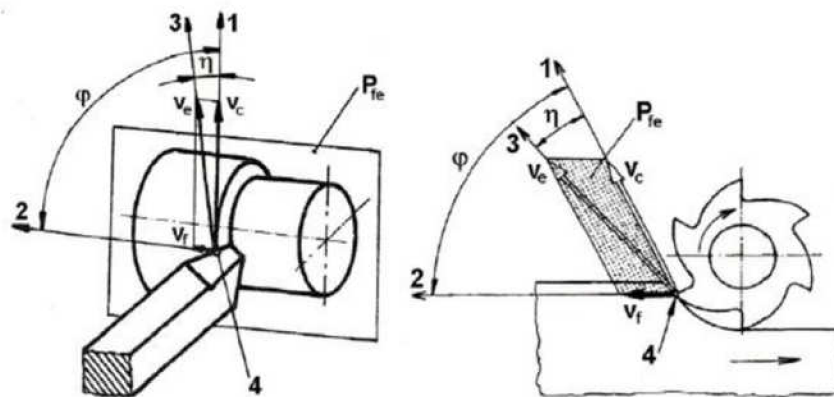
Řezný pohyb – základní pojmy [2]:

- řezný pohyb má směr, který se stanovuje pomocí směru okamžitého posuvného pohybu daného bodu nástroje vzhledem k obrobku,
- hlavní a řezný pohyb mají mezi svými směry úhel, což je úhel řezného pohybu. Tento úhel měříme v boční pracovní rovině P_{fe} ,
- rychlostí v_e je označena rychlost řezného pohybu daného bodu ostří nástroje vzhledem k obrobku.

Pohyb, při kterém se nástroj nastavuje do pracovní polohy, jež má určitou šířku záběru ostří a_p , se nazývá přísuv. Pohyb je zastavený poté, co dosáhne určité šířky záběru ostří a_p apod [2].



Obr. 2. 5 Posuvový a hlavní pohyb u některých obráběcích metod [2]



Obr. 2. 6 Základní pohyby u frézování a soustružení [2]

2.1.3 Teplo vzniklé obráběním

Přeměnou práce při obráběcích operacích vzniká teplo. Veškerá energie, která je vynaložená na obrábění, kromě energie potřebné na pružné deformace a energie, která se spotřebuje na deformaci mřížky daného kovu a následnému vytvoření nových povrchů, se transformuje na teplo. Při obrábění je z celkové energie, použité na tvorbu třísky E_e , 95% - 98% přeměněno na energii tepelnou. Celkové teplo Q je složeno z několika teplot podle vztahu (2.2) [3, 6].

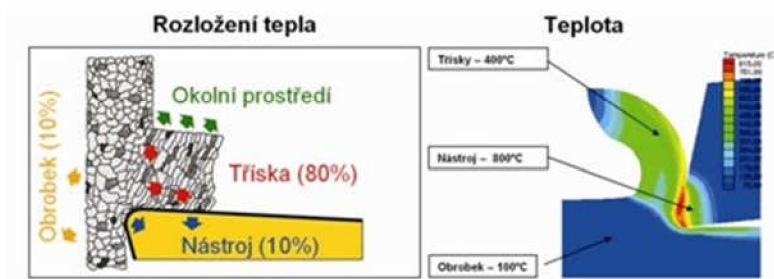
$$Q = Q_{pd} + Q_{\gamma} + Q_{\alpha} \cong E_e \quad (2.2)$$

- kde:
- Q [J] - teplo celkové,
 - Q_{pr} [J] - teplo, které vzniká v oblastech plastických deformací,
 - Q_{α} [J] - teplo, které vzniká v oblasti, kde se tře hřbet nástroje po přechodové ploše obráběného materiálu,
 - Q_{γ} [J] - teplo, které vzniká v oblasti, kde se tře tříška po čele,
 - E_e [J] - energie, které je vynaložena.

Teplo, které vzniklo (viz obr. 2.7), je odváděné do daných prvků systému obrábění dle vzorce (2.3) [6].

$$Q = Q_t + Q_o + Q_n + Q_{pr} \quad (2.3)$$

- kde:
- Q_t [J] - teplo, které je odvedeno třískou,
 - Q_o [J] - teplo, které je odvedeno obrobkem,
 - Q_n [J] - teplo, které je odvedeno nástrojem,
 - Q_{pr} [J] - teplo, které je odvedeno prostředím.

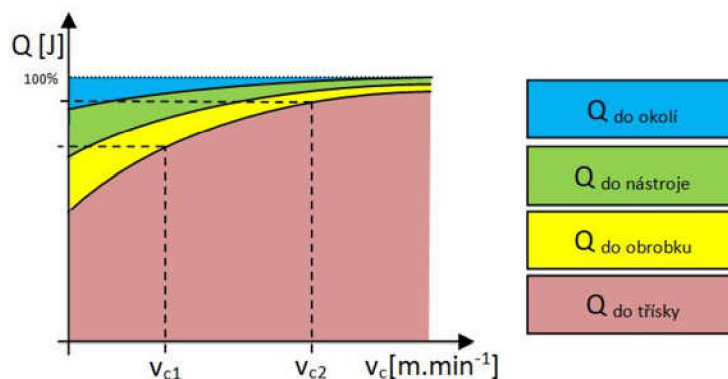


Obr. 3. 7 Teplota a teplo u obrábění [9]

Teplu, které vzniká při obrábění, má také velký vliv na řezný proces [3]:

- má negativní vliv na řezné vlastnosti nástrojů a ovlivňuje je,
- u materiálu obrobku ovlivňuje jeho mechanické vlastnosti,
- na hřbetě a čele nástrojů ovlivňuje podmínky tření,
- ovlivňuje zpevňování materiálu obrobku a také jeho petchování.

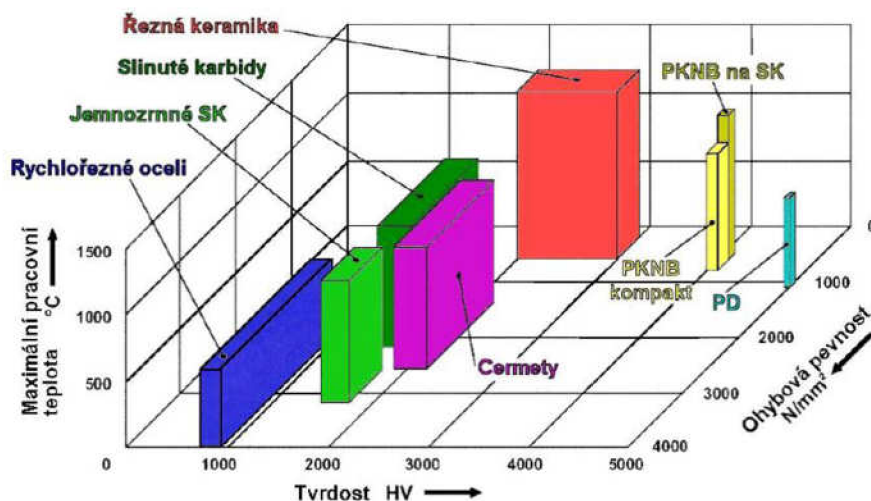
V jednotlivých prostředích nejsou odvody tepla ani rozložení tepelné energie konstantní. Vliv na rozložení tepelné energie a odvod tepelné energie z místa obrábění má vliv především tepelná vodivost materiálu obrobku, materiálu nástroje, technologie obrábění, nástrojová geometrie, řezné podmínky, které jsou nastaveny, například rozložení tepla v závislosti na řezné rychlosti (viz obr. 2.8) [3].



Obr. 2. 8 Rozdělení tepla vzhledem k řezné rychlosti [3]

2.2 Nástrojové materiály

Materiály použité pro výrobu řezných částí nástrojů významně ovlivňují řezný proces. V současné době je na výběr velké množství nástrojových materiálů, jako jsou nástrojové oceli nebo i super tvrdé nástrojové materiály. Spolu s vývojem obráběcích strojů a materiálů pro obrobky, je potřeba vývoj nových řezných materiálů pro vyšší řezné rychlosti, vyšší teploty a vyšší posuvy. Nejdůležitějšími vlastnostmi materiálů pro nástroje jsou tvrdost, tepelná vodivost, houževnatost, maximální teplota, ořeruvzdornost, pevnost v ohybu (viz obr. 2.9). Podrobnější popis nástrojových ocelí a slinutých karbidů budou rozebrány v podkapitolách [2,10].



Obr. 2. 9 Vlastnosti materiálů [2]

2.2.1 Rychlořezná a nástrojová ocel

Každý nástroj je určen pro práci za různých podmínek, podle čehož je nutné volit vlastnosti materiálů na tyto nástroje použitých. U některých nástrojů je například požadována vyšší tvrdost, otěruvzdornost a pevnost materiálu a u jiných vysoká houževnatost a tím nižší pevnost a tvrdost. Při obráběcích operacích vznikají zvýšené teploty, takže je potřeba, aby si nástrojové oceli udržely původní vlastnosti, které jsou pro každý nástroj specifické. Oceli pro nástroje se řadí dle ČSN do třídy číslo 19. Třídu 19 je možné dělit na legované a nelegované oceli (viz tab. 2.1). Rychlořezná ocel se řadí mezi nejdůležitější z těchto celí [2].

Tab. 2. 1 Rozdělení nástrojových ocelí [10]

| Rozdělení | Popis | |
|-----------|--|-----------------------------|
| 190xx | Uhlíkové ocele | Nástrojové oceli nelegované |
| 191xx | | |
| 192xx | | |
| 193xx | Křemíkové, manganové, wolframové ocele | Nástrojové oceli legované |
| 194xx | Chromové ocele | |
| 195xx | Chrom-molybdenové ocele | |
| 196xx | Niklové ocele | |
| 197xx | Wolframové ocele | |
| 198xx | Rychlořezné ocele | |
| 199xx | Volná značka | |

Rychlořezné oceli (RO) se značí podle ČSN 19 8xx, jsou to vysoce legované oceli pro výrobu nástrojů. V rychlořezných ocelích jsou nekarbidotvorné a karbidotvorné, které patří do legujících prvků. Nekarbidotvorný prvek je kupříkladu kobalt a karbidotvorné prvky jsou kupříkladu chrom, molybden, vanad a wolfram. Obsah uhlíku v těchto ocelích není více než 1%. Nástroje vyrobené z těchto ocelí lze využít k obrábění velkého množství materiálů, například litiny, oceli, neželezných kovů, dřeva, plastů apod. Rychlořezné oceli mají střední odolnost proti opotřebování a velkou lomovou pevnost. Rychlořezné oceli jsou často používány na frézy, výstružníky, vrtáky, závitníky, soustružnické nože, protahovací trny apod., také je možné tuto ocel použít na výrobu složitějších tvarových nástrojů. Pro použití těchto nástrojů při obrábění je nutné aplikovat vhodné řezné prostředí, příkladem může být chlazení emulzí. Pro zlepšení vlastností těchto nástrojů je vhodné použít povlakování, které může vlastnosti výrazně vylepšit [10].

2.2.2 Slinuté karbidy

Slinuté karbidy (SK) mají větší tvrdost, větší pracovní teploty, otěruvzdornost, pevnost v tlaku než rychlořezné oceli, ale jsou oproti ní křehčí a vydrolují se. Vyrábí se práškovou metalurgií z karbidů, kterých je mnoho druhů. Nejvíce používané jsou například karbid titanu (TiC), karbid wolframu (NbC), karbid tantalu (TaC), karbid chromu (Cr_3C_2), karbid niobu (NbC) a karbid vanadu (VC). Ve slinutých karbidech se často využívá kobaltu (Co) jako pojiva [10, 11, 12].

Postup výroby slinutých karbidů (viz obr. 2.10) [2, 10, 12]:

1. Příprava dané směsi

- Nejdříve se pomocí mletí prášky z pojících prvků a karbidů podle toho, jaký druh slinutého karbidu chceme vyrábět
- velice důležité je získat u slinutých karbidů požadovanou výslednou strukturu, k tomu dopomáhá proces mletí prášků, při kterém dochází k homogenizaci a míchání směsy,
- mletí nejčastěji probíhá v kulových mlýnech,
- prášky je po mokřém mletí potřeba vysušit a granulovat

2. Formování dané směsi

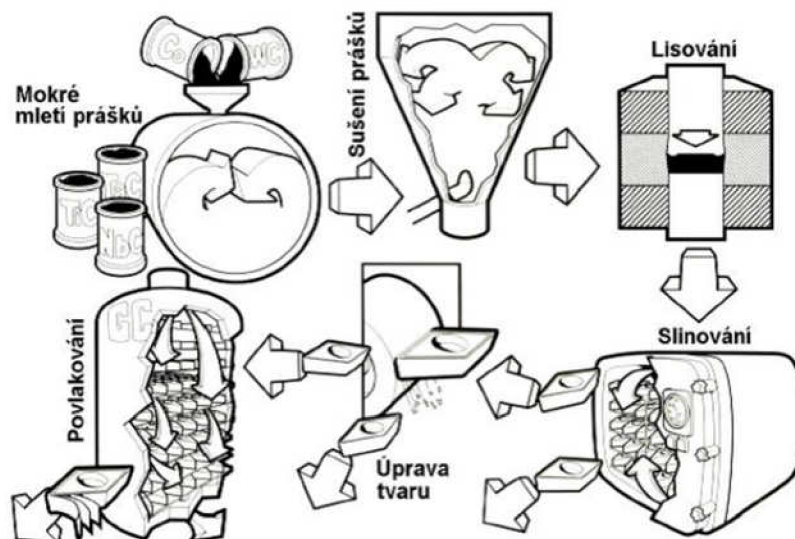
- při této operaci se směs, kterou jsme připravili, vkládá do dutiny lisovnice, ta má již tvar, který požadujeme, například tvar pro určitou vyměnitelnou břitovou destičku,
- při lisování se nejčastěji dva písty s lisovníky pohybují proti sobě a tím je výlisek zhutněn rovnoměrně,
- čela lisovníků můžou být rovná nebo mohou mít tvar utvařeče třísek,
- Při následném slinování se výlisky smršťují, a to rovnoměrně ve všech směrech a to někdy o 20% i více, proto je nutné vyrábět výlisky větší, než požadované rozměry výrobku.

3. Slinování

- při této operaci se výlisek, který je zvětšen o přídavek kvůli smrštění, vkládá do pece, ve které probíhá slinování
- slinovací operace mohou probíhat v ochranné atmosféře nebo ve vakuu,
- Při předehřívání, které probíhá při 700 – 1000 °C, se odstraní plastifikátor,
- pracovní ohřev jsou teploty mezi 1350 a 1650 °C, což jsou teploty nad teplotou, při které vznikají tekuté fáze. Teplota se volí především dle toho, kolik je v dané slinované směsi kobaltu,
- následně se slinovaná směs ochlazuje.

4. Úprava povlakování a tvaru

- poslední operace, ve kterých se ochlazené slinuté výrobky upravují na požadované rozměry a tvar, což se nejčastěji provádí pomocí broušení.
- některé výrobky je třeba i leštit a lapovat,
- u některých slinutých karbidů je možné také využít povlakování a tím výrazně zlepšit jejich původní vlastnosti
- povlaky bývají velmi tenké a většinou mají lepší vlastnosti než slinutý karbid bez povlaku. Mohou být tvrdší, odolnější proti teplotě, otěruvzdornější.



Obr. 2. 10 Slinuté karbidy - postup výroby [13]

Slinuté karbidy dělíme do šesti barevně odlišných skupin (viz tab. 2.2).

Tab. 2. 2 Rozdělení slinutých karbidů [14]

| Skupina | Označení podle barvy | Použití |
|---------|----------------------|---|
| H | | Pro obrábění kalených ocelí nebo zušlechtěných ocelí, které mají pevnost větší než 1500 MPa. |
| K | | pro obrábění materiálů, které tvoří krátkou a také drobnou třísku, jako jsou například litiny |
| M | | Pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou nebo střední třísku, jako jsou například feriticko austenitické korozivzdorné, austenitické, žárovečné a žáruvzdorné ocele. |
| N | | Pro obrábění materiálů, které jsou neželezné, jako jsou slitiny hliníku, mědi, fibry, duroplasty, tvrdá guma apod. |
| P | | Pro obrábění materiálů, které tvoří dlouhou a plynulou třísku, jako jsou vysoce legované, nízkolegované a nelegované ocele, lité, martenzitické korozivzdorné, automatové ocele apod. |
| S | | Pro obrábění slitin na bázi železa, které jsou žáruvzdorné, superslitin na bázi Co nebo Ni a pro obrobení slitin titanu. |

2.3 Obráběcí proces a jeho vliv na řezné prostředí

Řezné prostředí v daném místě, kde v danou chvíli probíhá řezání, má ekonomické, kvantitativní a kvalitativní parametry obrábění. Řezný proces je uskutečňovaný v řezném prostředí o určitých vlastnostech, tyto vlastnosti mohou ovlivnit primární a sekundární plastické deformace třísek. Tyto vlastnosti také dokážou snížit řezný odpor a teplotu řezu, mohou taktéž ovlivňovat jakost a přesnost, které je dosaženo po obrobení, a řezné nástroje mohou mít vyšší trvanlivost. Při vhodných vlastnostech řezného prostředí se může hospodárný úběr zvýšit vzhledem k práci za sucha až o 50 – 200%. Řezné prostředí se nejvíce vytváří pomocí kapalin, pastami, plynem nebo mlhami. Hlavní úkol řezného prostředí je, že

odvádí teplo z obráběné části nebo maže a tím snižuje vnější a vnitřní tření při obráběcích operacích. Řezné prostředí plní taktéž čistící funkci, jako je odvod třísek, zabraňuje tvorbě tvoření nárůstků na nástrojích a může i chránit obráběný materiál proti korozi [2, 3, 6].

2.3.1 Řezná média – požadavky

Chladícím účinkem rozumíme schopnosti daných řezných medií odvádět teplo od místa řezu. Řezné medium, které obklopuje obrobek, nástroj a třísky, zajišťuje odvádění tepla z obráběné části tak, že přebírá část tepla, které vznikne při obrábění a odvádí je pryč. Snižené teploty při obrábění mají pozitivní vliv na trvanlivost nástrojů a také na jakost již obrobených povrchů. Účinek chlazení nástroje závisí především na výparném a měrném teple kapaliny, součiniteli tepelné vodivosti, průtoku kapaliny a její řezné smáčivosti, součiniteli přestupu tepla [2, 3, 10].

Mazacím účinkem rozumíme schopnost řezných medií vytvořit vrstvu na povrchu obrobku, jejíž úkol je zabránit v přímém kovovém styku mezi materiálem obrobku a nástrojem. Tato vrstva pomáhá snížit tření mezi materiálem obrobku a nástrojem. Za vysokých tlaků, vzniklých při obráběcích operacích není možné, aby došlo ke kapalinnému tření, k meznímu tření ale dojít může. Díky mazacímu účinku zlepšuje jakost obrobené plochy a také se snižuje spotřeba energie, protože se snižují řezné síly. U mazacího účinku však záleží hlavně na viskozitě daného maziva a také na tom, jak pevná je vytvořená vrstva. Mazání je využíváno především u technologických operací, jako například řezání závitů, protahování nebo výrobě ozubení [2, 4, 6].

Čistícím účinkem rozumíme schopnost řezných medií odstraňovat z místa řezání třísky a další částice. Tento účinek má význam především u řezání závitů, vrtání hlubších děr, a hlavně při broušení, kde očišťují brousící kotouč [2, 6, 10].

Ochranným účinkem rozumíme vlastnost řezných medií nenapadat materiál obrobku a tím nezpůsobit korozi materiálu. Díky této vlastnosti není potřeba obráběný materiál konzervovat mezi operacemi. Tento účinek nepůsobí jen na materiál obrobku, ale taktéž na nástroje, přípravky, měřidla, upínací zařízení a především chrání před korozí obráběcí stroje. Řezné médium ale nesmí být agresivní vzhledem k nátěrům na obráběcích strojích a těsněním vyrobeným z gumy, aby je řezné medium nerozpouštělo [2, 3, 6].

Provozní stálostí rozumíme hodnocení doby výměny řezných medií. Provozní stálost daných řezných medií je závislá především na jeho teplotě, fyzikálních a chemických vlastnostech. Pryskyřičnaté usazeniny, jež zhoršují ochranné vlastnosti, mazací účinky a taktéž mohou poškodit celý stroj, jsou projevem stárnutí řezných medií. Při výměnách je nutné, aby se neměnily vlastnosti řezných medií [2, 6, 10].

Zdravotní nezávadnost řezných medií, které jsou použity při výrobě jsou požadována, vzhledem k tomu, že při práci na obráběcích strojích, jejich obsluha přichází do kontaktu s řeznými médii. Řezné média tedy musí být zdravotně nezávadné a nemůže v sobě mít obsah látek, které dráždí pokožku a sliznici. Taktéž nemůže obsahovat látky, které jsou jedovaté a zamořovat vzduch v okolí stroje. Při provozu je nutnost zajistit alespoň základní hygienická opatření a to například umývání, ochranu pokožky jako prevenci a větrání [2, 6].

Provozními náklady rozumíme spotřebu řezných medií. Kvůli rozboru nákladů se musí posuzovat vliv řezných medií na proces obrábění, což je trvanlivost a opotřebení nástrojů, struktura povrchu obrobeného materiálu apod. Taktéž se musí brát v potaz výměnu řezných medií, spotřebu a náklady spojené s jeho likvidací [2, 6].

2.3.2 Řezná média – druhy

Nejlevnější jsou **vodní roztoky**, které jsou zároveň nejjednodušší mezi řeznými kapalinami. Voda se musí upravit pomocí chemie a to kvůli změkčení vody, také je možné přidat přísady, které dokáží zabránit korozi, anebo zlepšit její smáčivost. Při použití těchto kapalin nedochází ke vzniku nepříjemného zápachu a nebezpečí tvoření kalů. Vodní roztoky jsou velmi dobré čistící a chladící účinky, ale jejich účinky pro mazání jsou velmi špatné [2,3].

Emulzní kapaliny se skládají ze dvou kapalin, které jsou navzájem nerozpustné. Jednou z těchto složek jsou mikroskopické kapky, jež jsou rozptýleny v druhé kapalině. Jde nejčastěji o olej, který je rozptýlen ve vodě. Toho spojení dvou kapalin je ale možné jen pomocí třetí látky, která musí snížit napětí na povrchu emulgovaných kapalin. Jedná se o emulgátory, které dokáží v emulzi zabránit koagulaci a stabilizovat ji. Emulze z části spojují výhody mazacích olejů a vody. Při nárůstu koncentrace dané emulze účinek chlazení klesá. Korozivzdornost záleží především na pH dané emulze. V případě obrábění železných slitin se má pH emulze pohybovat okolo pH 8 – 9. Emulze jsou nejpoužívanější řezná kapaliny, koncentrace těchto kapalin se pohybuje mezi 2 – 10% [2, 6].

Polosyntetické a syntetické kapaliny mají velkou stálost v provozu a mají dobré ochranné, mazací a chladící účinky. Tyto kapaliny jsou ve vodě rozpustné a namísto minerálních olejů obsahují rozpouštědla neboli glykoly, jež se ve vodě rozpustí, anebo emulgují. Při použití ve výrobě je možné sledovat je možné proces sledovat, protože glykoly jsou průhledné. Tyto řezná média rychle odvádějí teplo, jejich čistící účinek je dobrý a mají proti olejovým kapalinám ekonomické výhody [2].

Zušlechťenými řeznými oleji rozumíme o přísady obohacené kapaliny, které jsou na bázi minerálních olejů. Přísady obsažené v těchto kapalinách zvyšují jejich mazací vlastnosti a odolnost vůči tlaku. Jako první přísada se používají mastné látky, to jsou mastné oleje, které jsou zmýdelnitelné, a ty dokáží zlepšovat mazací účinky olejů a zvýšit jejich přilnavost ke kovu. Další přísadou, která se používá, jsou organické sloučeniny, které jsou na bázi fosforu, chloru nebo síry. Jsou to látky, které jsou používány jako vysokotlaké přísady, jež vytvářejí tenkou vrstvu na povrchu předmětů. Tato vrstva dokáže usnadnit kluzný pohyb vzájemně se dotýkajících ploch. Poslední přísada těchto olejů jsou pevná maziva. Tyto maziva vytvoří mezní vrstvu, která je odolná proti tlaku a rovněž navyšují mazací účinky olejů. Pevná maziva jsou například siričká molybdenu a grafit [2].

Chlazení plynem nemá dobrý čistící a chladící účinek a nemá účinek mazací, takže se běžně nevyužívá. Používá se u některých nástrojových a obráběcích materiálů. Chlazený vzduch se přivádí na místo řezání pod tlakem [3].

Přechodem mezi plynnými a kapalnými řeznými médii je **chlazení řeznou mlhou**, u které se tvoří emulzní nebo olejová mlha, která je rozptýlena pomocí tlaku vzduchu, jehož rychlost tryskání je až 300m/s. Kapalina rozptýlená ve vzduchu, který je stlačený, má větší chladící účinky. U tohoto způsobu chlazení je nutné, aby byl stroj krytován a částice mlhy musí být odsávány, tryska se většinou směřuje na řeznou část nástroje [3].

Mazání pevnými látkami je používáno při náročnějších podmínkách. K mazání jsou používány pevné látky, které jsou ve formě past nebo gelů. Nejčastěji používané pevné látky jsou grafir, který je rozptýlen v tuku nebo oleji, také mohou být použity pasty, které obsahují síru nebo fosfor. Při použití pevných mazacích látek tvoření usazenin v nádrži a také na stroji [3].

2.4 Technologie frézování

Frézování je univerzální a efektivní metoda, jak obrábět materiál. Materiál daného obrobku je odebírán pomocí rotujícího nástroje, který má geometricky určené břity. Nástroj u frézovacích operací koná hlavní pohyb a další pohyb, který je posuvný, koná obrobek. Víceosé CNC frézky a obráběcí centra mají posuvy, které jsou regulované plynule, a je možné, aby byly prováděny zároveň ve všech směrech. Řezný proces je u frézovacích operací přerušovaný, protože každý ze zubů frézy odebere třísku, která je krátká a její tloušťka je proměnná [2, 4, 5, 6].

2.4.1 Frézování – kinematika

Řezná rychlost, která určuje hlavní pohyb, se počítá dle vzorce (2.4), a posuvová rychlost, která určuje vedlejší pohyb, se počítá dle vztahu (2.5) [3].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.4)$$

kde: v_c [m · min⁻¹] - řezná rychlost,
D [mm] - nástrojový průměr,
n [min⁻¹] - nástrojové otáčky.

$$v_f = f_z \cdot z \cdot n \quad (2.5)$$

kde: v_f [mm · min⁻¹] - posuvová rychlost,
 f_z [mm] - posuv na zub nástroje,
z [-] - počet zubů na nástroji,
n [min⁻¹] - nástrojové otáčky.

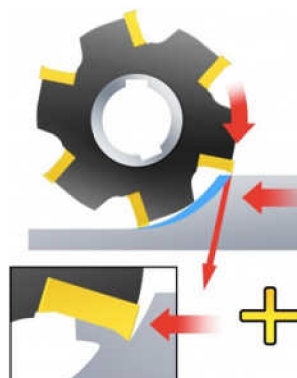
Dle nástroje, který používáme, můžeme podle technologického hlediska dělit frézování na čelní a válcové. Z těchto dvou typů frézování se odvozují další typy frézování, což jsou například [2, 4, 5, 6]:

- čelní / válcové frézování rovinných ploch,
- frézování závitů,
- osazení,
- drážek,
- ozubení,
- tvarových drážek,
- válcových ploch,
- tvarové frézování,
- dělicí operace.

Frézování jde dále dělit na sousledné a nesousledné a to podle vzájemného pohybu obrobku s nástrojem [6].

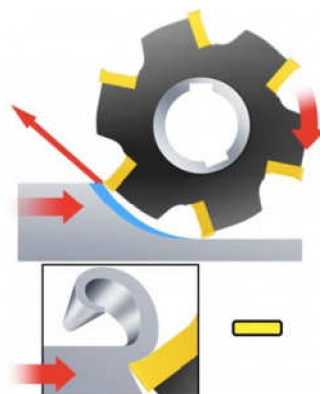
U **sousledného frézování** se obrobek posouvá stejným směrem, kterým se otáčí nástroj (viz obr. 2.11). Tříska je maximální v době, kdy břit daného nástroje začne vnikat do obrobku, a následně se zmenšuje až do nulové hodnoty. U tohoto typu obrábění je možné využít jednoduššího upínání, protože řezné síly většinou působí v dolním směru a tím obrobky přitlačí ke stolu. Také je pro tento typ frézování dobré, aby probíhalo na strojích, které jsou na to přizpůsobeny a mají vymezené vůle, dochází totiž k nežádoucím účinkům,

jako je vtahování daného nástroje do řezu. To může způsobit i poškození nástroje a kvůli tomu se souslední frézování nejčastěji používá na CNC strojích [2, 6, 15].



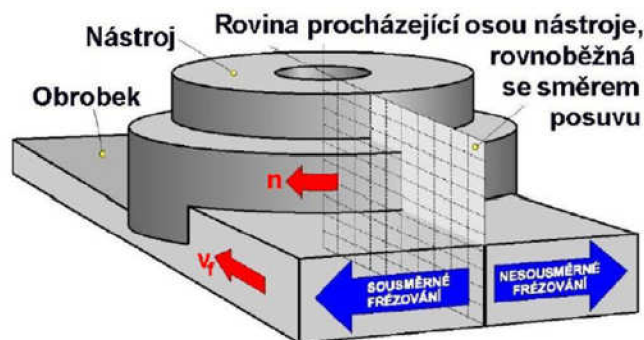
Obr. 2. 11 Sousedné frézování [15]

U **nesousledného frézování** se obrobek posouvá opačným směrem, než se otáčí nástroj (viz obr. 2.12). Tříska je při vnikání do nástroje nulová a následně se zvětšuje až do maxima. Řezné síly, které působí v horním směru, nadzvedávají obrobky od pracovní plochy. Tento typ obrábění je dobrý pro frézování součástí, u kterých se přídavky na ploše, kterou obrábíme, liší. Při tomto obrábění taktéž není nutné vymezení vůlí strojů. U nesousledného frézování ale dochází k většímu opotřebování břitů než u frézování sousledného [2, 6, 15].



Obr. 2. 12 Nesousledné frézování [15]

U **čelního frézování** se používají čelní frézy, jejichž břity jsou vytvořeny na čele i na obvodu fréz. Tento typ frézování lze rozdělit na frézování symetrické a nesymetrické, a to vzhledem k průměru nástroje, šířce obráběné plochy a k poloze osy vzhledem k obráběné ploše. Osa nástroje je u čelního obrábění kolmá na ofrézovanou plochu (viz obr. 2.13) [10].



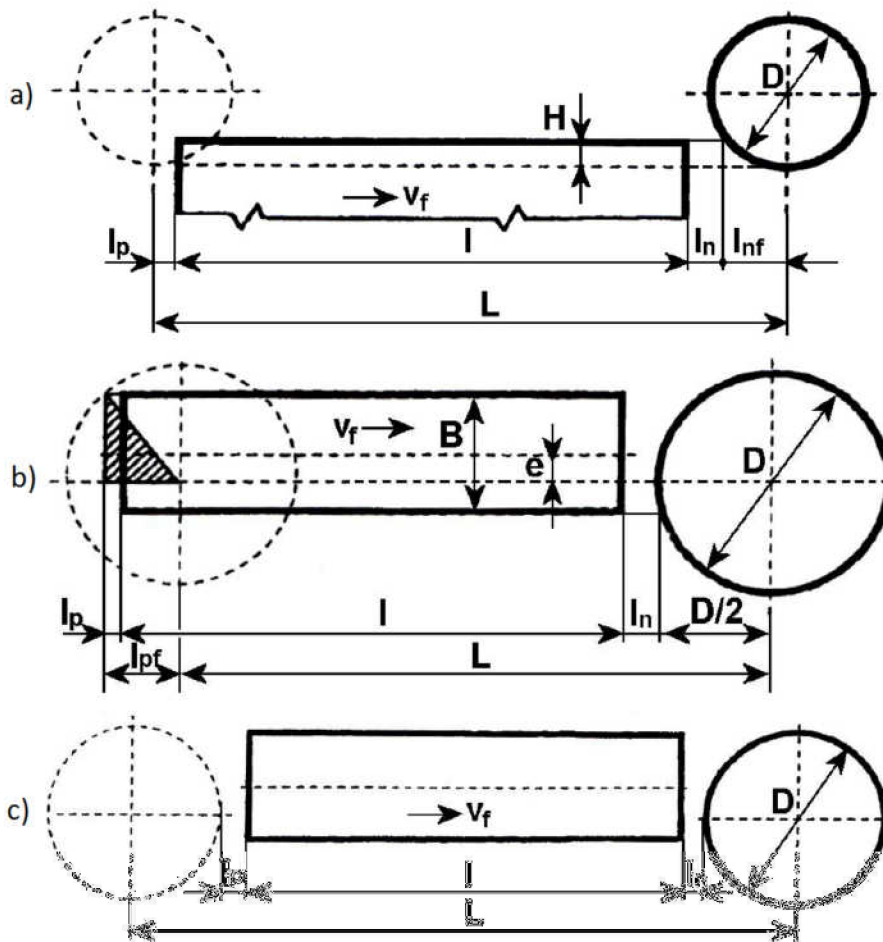
Obr. 2. 13 Čelní frézování [2]

2.4.2 Řezné podmínky

Volba řezných podmínek je ovlivněna mnoha faktory, je tedy důležité vybírat takové řezné podmínky, aby byl brán ohled na soustavu S-N-P-O. Materiál nástroje a obrobku patří mezi hlavní činitele. Řezné podmínky také záleží na tom, jaký typ nástroje bude použit, jaká operace bude prováděna, ze kterého materiálu bude vyroben nástroj, jaká jakost bude požadována, jak velká bude stabilita a tuhost s jakou bude obrobek upnut a na tuhosti daného stroje. U hrubovacích operací je volena větší posuvná rychlost a větší šířka záběru, ale je nutné brát ohled na výkon obráběcího stroje a tuhost upnutí obrobku. U dokončovacích operací se naopak volí menší rychlost posuvu a menší šířka záběru, protože je nutné dosáhnout požadovaných jakostí a rozměrů obrobku. Mezi hlavními řeznými podmínkami jsou řezná rychlost v_c , rychlost posuvu v_f , šířka záběru nástroje a_p , rychlost posuvu lze nahradit rychlostí posuvu na zub f_z . Tyto parametry se týkají materiálu, který je použit na obrobek a nástroji, které byly využity a lze je vyhledat v katalogích firem, které jsou zaměřeny na výrobu nástrojů [6, 10].

2.4.3 Výpočet frézovacích strojních časů

U výpočtů strojních časů při frézovacích operacích záleží na druhu frézovací operace především, jde-li o dokončovací operace nebo hrubovací. Dle použitého typu frézování se mění délka dráhy nástroje, vzhledem k náběhu a přeběhu (viz obr. 2.14).



Obr. 2. 14 Dráhy nástroje pro tři druhy frézování [2]:

a) válcové; b) čelní asymetrické - hrubování; c) čelní asymetrické - dokončování

Jednotkový strojní čas lze vypočítat dle vzorce (2.6) [2]:

$$t_{AS} = \frac{L \cdot i}{v_f} \quad (2.6)$$

kde: t_{AS} [min] - jednotkový strojní čas,
 L [mm] - délka nástrojové dráhy,
 i [-] - počet řezů,
 v_f [mm · min⁻¹] - rychlost posuvu.

Nástrojová dráha u válcového frézování (viz obr. 3.14a) lze vypočítat podle vzorce (2.7) [2]:

$$L = l + l_n + l_p + l_{nf} \quad (2.7)$$

kde: l [mm] - délka obrábění,
 l_n [mm] - náběhová délka,
 l_p [mm] - přiběhová délka,
 l_{nf} [mm] - náběhová délka frézy, kterou lze vypočítat podle vzorce (2.8).

$$l_{nf} = \sqrt{H \cdot (D - H)} \quad (2.8)$$

kde: H [mm] - hloubka vrstvy, která je odebírána,
 D [mm] - průměr nástroje.

Nástrojová dráha pro čelní asymetrická frézování – hrubování (viz obr. 2.14b) lze vypočítat podle vzorce (3.9) [2]:

$$L = l + l_n + l_p + \frac{D}{2} - l_{pf} \quad (2.9)$$

kde: l_{pf} [mm] - přeběhová délka frézy, kterou lze počítat podle vzorce (2.10).

$$l_{pf} = \sqrt{\left(\frac{D}{2}\right)^2 - \left(\frac{B}{2} + e\right)^2} \quad (2.10)$$

kde: B [mm] - šířka obrobku,
 e [mm] - vyosení.

Nástrojová dráha pro čelní asymetrická frézování – dokončování (viz obr. 2.14c) lze vypočítat podle vzorce (2.11) [2]:

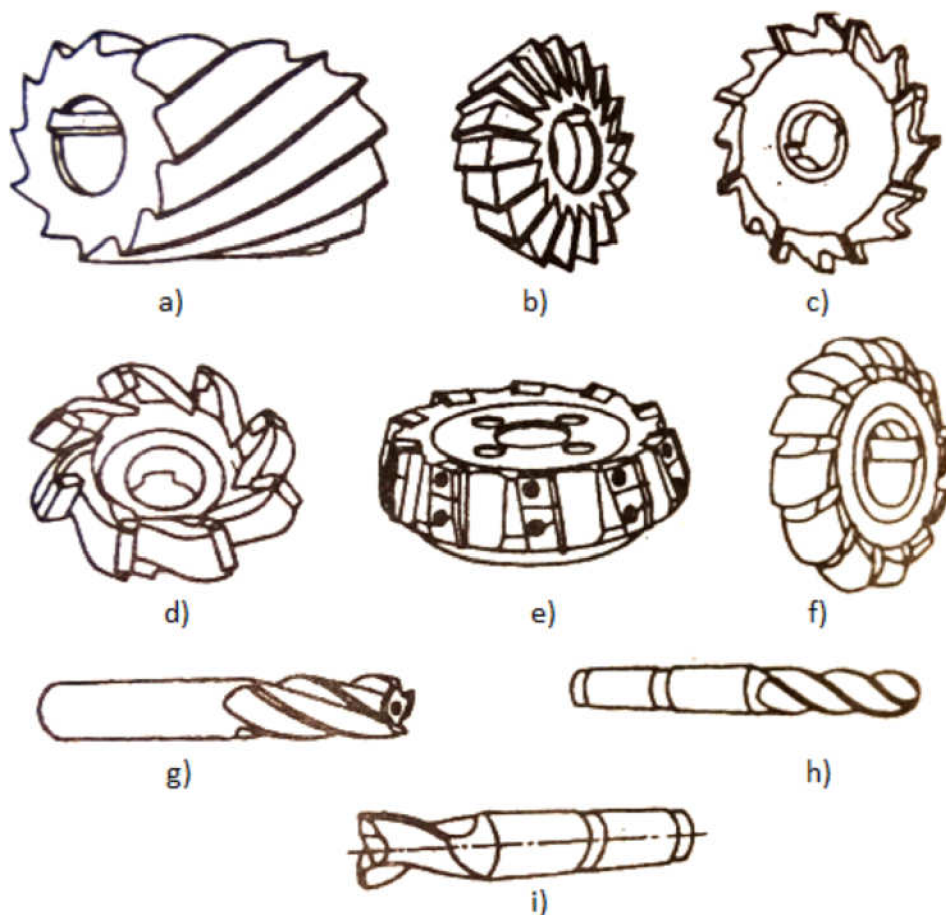
$$L = l + l_n + l_p + D \quad (2.11)$$

2.4.4 Frézovací nástroje – základní druhy

Pro frézovací operace je mnoho typů nástrojů, které jsou potřebné vzhledem k všestrannosti využití frézovacích operací. Jednotlivé nástroje mohou být jiné vzhledem k materiálu, který byl použit na jejich výrobu, použitím, tvarem, geometrií nástrojů a způsobem, jakým se nástroj upíná [2].

Základní druhy fréz (viz obr. 2.15) jsou [10]:

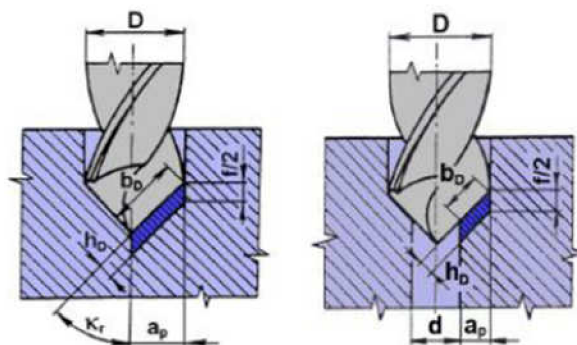
- fréza čelní válcová,
- válcová,
- úhlová,
- čelní,
- kotoučová,
- tvarová,
- kopírovací,
- drážkovací,
- frézovací hlava.



Obr. 2. 15 Základní druhy frézovacích nástrojů [10]:
a) válcová; b) úhlová; c) kotoučová; d) čelní fréza; e) frézovací hlava; f) tvarová;
g) čelní válcová; h) kopírovací; i) drážkovací fréza

2.5 Technologie vrtání, zahlubování, vystružování a vyhrubování

Otvory do obrobků se nejběžněji vyrábí pomocí vrtání. Vrtat je možné do plného materiálu nebo do předem zhotovené díry, která se vrtáním zvětšuje (viz obr. 2.16). Hlavním pohybem je rotace, která je vykonávána především nástrojem a vedlejším pohybem je pohyb ve směru osy nástroje, která bývá kolmá k obráběné ploše. Vedlejší pohyb je taktéž vykonáván nástrojem. U zahlubování, vyhrubování a vystružování se používá hlavní a vedlejší pohyb jako u vrtání a jedná se o operace, které mají zlepšit kvalitu otvorů, které jsou do materiálu vyvrtány nebo upravit jejich konec pomocí zahlubování [10, 16].



Obr. 3. 16 Vrtání do plného a předvrtaného materiálu [16]

2.5.1 Řezný proces – kinematika

Podél hlavního ostří se řezná rychlost snižuje, a to ve směru do středu nástroje, ve kterém je řezná rychlost nulová. K tomuto snižování rychlosti dochází u všech nástrojů. Řezná rychlost v_c charakterizuje hlavní pohyb a lze ji vypočítat dle vzorce (2.12). Tato hodnota je brána na jmenovitém průměru daného nástroje [16].

$$v_c = \frac{\pi \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.12)$$

kde: v_c [m · min⁻¹] - řezná rychlost,
 D [mm] - průměr obrobku, který je obráběn nebo průměr nástroje,
 n [min⁻¹] - otáčky obrobku nebo nástroje.

Posuvová rychlost v_f charakterizuje vedlejší pohyb a lze jej vypočítat dle vzorce (2.13). Nástroje jako výhrubníky, záhlubníky, výstružníky a vrtáky jsou převážně vícebřité a je tedy možné jejich posuv definovat jako posuv na zub f_z , jež lze vypočítat podle vzorce (2.15) [16].

$$v_f = f \cdot n \quad (2.13)$$

kde: v_f [mm · min⁻¹] - rychlost posuvu,
 f [mm] - posuv za otáčku,
 n [min⁻¹] - otáčky obrobku nebo nástroje.

$$f_z = \frac{f}{z} \quad (2.14)$$

kde: f_z [mm] - posuv na zub,
 f [mm] - posuv za otáčku,
 n [min⁻¹] - otáčky obrobku nebo nástroje.

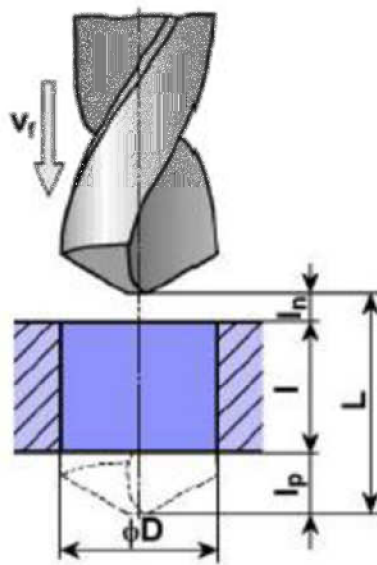
2.5.2 Výpočet strojních časů

Jednotkový strojní čas lze vypočítat dle vzorce (2.15). Strojní čas se počítá pro všechny metody stejným způsobem a jediný rozdíl pro výpočty je v tom, jestli obrábíme průchozí nebo neprůchozí otvor. Dráha nástroje je při obrábění průchozího otvoru delší o délku přeběhu.

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \quad (2.15)$$

kde: t_{AS} [min] - jednotkový strojní čas,
 L [mm] - délka dráhy, kterou nástroj musí přejet,
 v_f [mm · min⁻¹] - rychlost posuvu.

Délku dráhy, kterou nástroj musí přejet (viz obr. 2.17), ale lze ji vypočítat dle vzorce (2.16).



Obr. 2. 17 Délka dráhy, kterou nástroj vykoná při vrtání průchozího otvoru

$$L = l_n + l + l_p \quad (2.16)$$

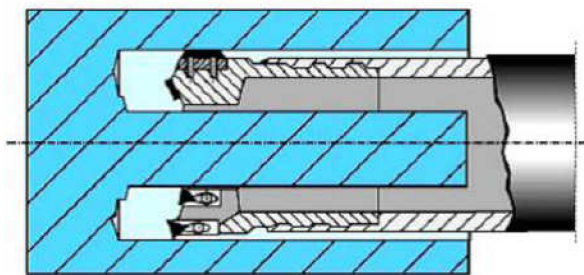
kde: l_n [mm] - délka náběhu,
 l_p [mm] - délka přeběhu.

2.5.3 Vrtání

Technologie vrtání lze podle druhu konstrukce, geometrie nástroje a technologie dělit na [16]:

- vrtání středícího otvoru, které se používá pro následné upínání a středění obrobků při následujících operacích nebo také pro vystředění vrtáku při najetí,
- pro vrtání díry, která nebude mít velkou hloubku, do plného materiálu, se nejvíce využívají vrtáky šroubovitě, s vyměnitelnými špicemi, kopinaté, s výměnnými destičkami. Poměr průměru otvoru k délce otvoru těchto děr je mezi 1/5 a 1/10,
- pro vrtání díry, která nebude mít velkou hloubku, do předem vyvrtaných otvorů, se využívají stejné vrtáky jako u vrtání do plného materiálu, lze použít i hlavňové a dělové vrtáky,
- pro vrtání díry, která bude mít velkou hloubku, se využívají vrtáky hlavňové, dělové, ejektorové, u díry s malým průměrem se využívají vrtáky šroubovitě. Průměr otvoru k délce otvoru má poměr vyšší než 1/10,

- pro vrtání průchozí díry většího průměru, se využívá metoda, při které se materiál odřezává pomocí jednobřitého, popřípadě vícebřitého korunkového vrtáku (viz obr. 2.18),

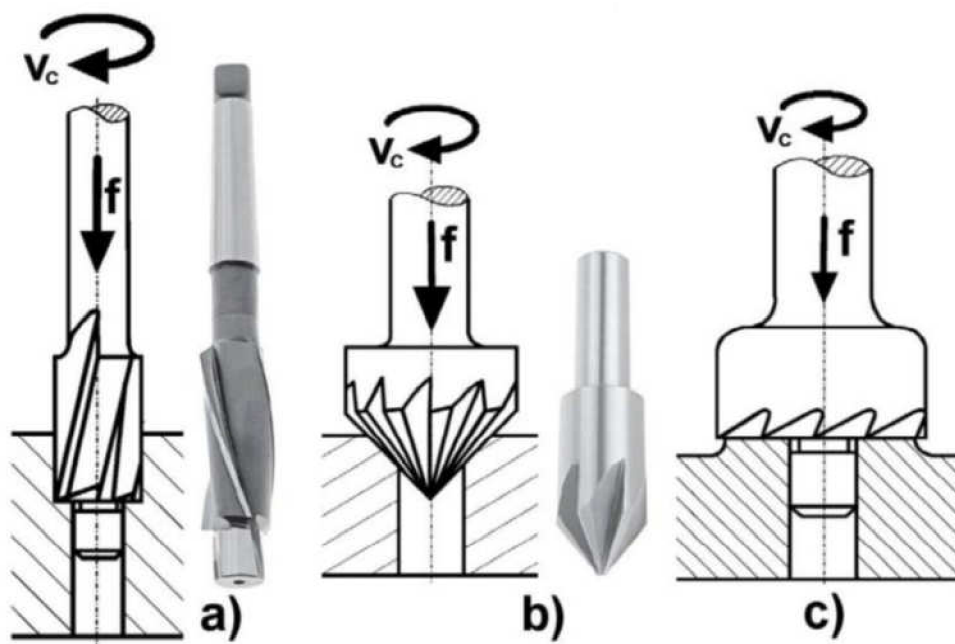


Obr. 2. 18 Vrtání pomocí korunkového vrtáku [16]

- vrtání díry do plechu pomocí odstupňovaného vrtáku, vrtání díry do tenkého profilu pomocí tvářecího vrtáku, vrtání díry pomocí kombinovaného nástroje, jako například vrták s výstružníkem, záhlubníkem nebo závitníkem, vrtání odstupňované díry, jsou speciální typy vrtání,
- vrtání díry do nekovových a kompozitních materiálů, například beton, cihly, kámen nebo pryč a těžkoobrobitelných materiálů, probíhá pomocí nástrojů, které mají speciální konstrukci nebo geometrii.

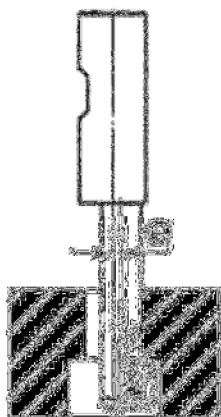
2.5.4 Zahlubování

Zahlubování se využívá pro úpravu konců otvorů, které jsou již zhotoveny. Díky zahlubování lze vytvořit válcová zhloubení, souosá válcová zhloubení a zarovnat čelní plochy (viz obr. 2.19). Záhlubníky mohou mít zuby ve šroubovici nebo přímé. Využívají se na zarovnání čel otvorů, pro vytvoření válcového zhloubení mají záhlubníky vodící čep, který daný záhlubník vystředí. Záhlubníky kuželové mají díky své konstrukci samostředící efekt a z tohoto důvodu nepotřebují vodící čep jako záhlubníky válcové [16].



Obr. 2. 19 Základní způsoby zahlubování [16]:
a) válcové; b) kuželové; c) zarovnávání čela

Je možné použít také zpětný záhlubník, který se využívá k zahlubování v místech, které jsou nepřístupné. Řezná část těchto záhlubníků je umístěna excentricky vzhledem k upínací číste. Záhlubník se zavádí do otvoru, kde dochází k přesunu obráběného materiálu v kolmém směru vzhledem k ose záhlubníku a to o hodnotu vyosení, v poslední části operace je zahloubení provedeno pomocí zpětného pohybu (viz obr. 2.20).



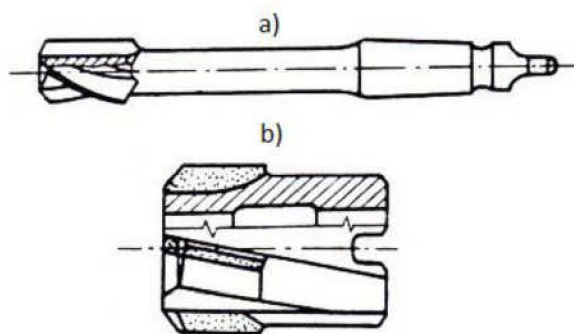
Obr. 2. 20 Zpětné zahlubování

2.5.5 Vyhrubování

Při vrtání, což je považováno za operaci, při které většinou nemá vrtaný otvor dobré geometrické parametry, jako jsou špatná válcovitost, kruhovitost, jakost povrchu, velké tolerance jmenovitého průměru a někdy také vychýlená osa otvoru ze směru, který je požadován. Při vyšších požadavcích na kvalitu výsledného obrábění je třeba vyvrtaný otvor vyhrubovat nebo vystružit, k čemuž je nutná další operace [10, 16].

Otvory, které mají průměr menší než 10 mm, se většinou pouze vystružují. Otvory, které jsou větší než 10 mm, se nejdříve vyhrubují a až následně vystružují. Po vyhrubování, jelikož to není nikdy poslední operace, následuje vystružení. Díky vyhrubování se zlepšují geometrické parametry vyvrtaného otvoru, které se provádí před posledním vystružováním. Přídavky, které jsou nutné pro vystružování a vyhrubování, záleží hlavně na přesnosti, kterou u daného otvoru vyžadujeme, také na konstrukci nástrojů, materiálu nástroje a obrobku a dalších vlastností [10, 16].

Výhrubníky, což jsou vícebřité nástroje, mají většinou 3 – 5 břitů. Nejvíce vyráběné jsou stopkové výhrubníky, které mají méně než 32 mm v průměru. Pro otvory, které mají průměr větší, než 24 mm se vyrábí nástrčné výhrubníky (viz obr. 2.21) [10, 16].



Obr. 2. 21 Provedení výhrubníků [16]:
a) stopkový; b) nástrčný

2.5.6 Vystružování

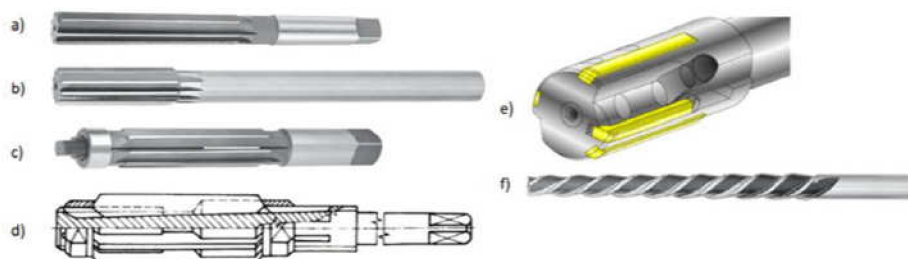
Vystružování se využívá pro dokončovací operace výroby otvorů, které mají předepsanou určitou jakost výsledného povrchu nebo geometrické tolerance. Aby se obráběný materiál při vystružování odřezával, a ne pouze plasticky a elasticky deformoval, je nutné, aby měl přírůstek materiálu určenou minimální hodnotu, což by vedlo ke zvýšení tření a tlaku a tím by se nástroj rychleji opotřeboval, a navíc bychom nedosáhli požadované přesnosti otvorů. Přírůstek, který je potřebný pro daný průměr, lze určit dle vzorce (2.17) [4, 16].

$$p = 0,1 + 0,005 \cdot D \quad (2.17)$$

kde: p [mm] - přírůstek průměru,
 D [mm] - jmenovitý průměr vystružovaného otvoru.

Pokud pracujeme s malými přírůstky, je nutné, aby byly výstružníky broušeny a lapovány, protože jejich břity musí být co nejostřejší a zaoblení ostří musí mít minimální poloměr. U výstružníků můžeme mít zuby ve šroubovici nebo přímé. Počet zubů se udává dle průměru a to v rozmezí 4 – 18. Pracovní část je složena z válcové části a řezného kužele. Výstružníky se dle geometrie a konstrukce dají dělit na nástrčné, stopkové a je možné je i dále rozdělit na (viz obr. 2.22) [16]:

- výstružník ruční,
- výstružník stavitelný,
- výstružník rozpínací,
- výstružník strojní,
- výstružník loupací,
- výstružník jednobřítý.



Obr. 2. 22 Provedení výstružníků:
a) ruční; b) strojní; c) rozpínací; d) stavitelný; e) jednobřítý;
f) loupací

2.6 Řezání závitů – technologie

Závity, jež se řadí mezi technologické prvky s velkým významem, mohou být využity pro spojovací nebo i pohybové funkce. Přesnost a jakost závitů má vliv na jeho spolehlivost a správnou funkci. Závity je možné rezat závitníky, závitových hlav a čelistí, je možné je obrábět pomocí soustružení a frézování a závity s geometrickými tolerancemi je možné brousit a lapovat. Závity je možné dle technologického hlediska dělit na vnitřní a vnější závity. Je možné rozlišit jednotlivé typy závitů podle jejich stoupání, profilu, počtu chodů, rozměrů a dalších parametrů. Základní druhy používaných závitů jsou například metrické, lichoběžníkové, trubkové, oblé závity apod. a základní druhy parametrů jsou například

jmenovitý průměr, malý průměr, střední průměr, úhel stoupání, stoupání a rozteče u vícechodových závitů [4, 16].

2.6.1 Kinematika řezání závitů, výpočty strojních časů

Při řezání závitů je možné, aby hlavní pohyb, vykonával obrobek i nástroj. Hlavní pohyb je možné vyjádřit pomocí řezné rychlosti v_c , kterou lze spočítat dle vzorce (2.18).

$$v_c = \frac{\mu \cdot D \cdot n}{1000} \quad (2.18)$$

kde: $v_c [mm \cdot min^{-1}]$ - řezná rychlost,
 $D [mm]$ - obráběný průměr obrobku nebo průměr nástroje,
 $n [min^{-1}]$ - otáčky obrobku nebo nástroje.

Při řezání závitů je možné, aby také vedlejší pohyb vykonával obrobek i nástroj. Vedlejší pohyb je možné vyjádřit rychlostí posuvu v_f , kterou lze spočítat dle vzorce (2.19). Při výrobě závitu jeho stoupání ovlivňuje velikost posuvu řezání.

$$v_f = f \cdot n \quad (2.19)$$

kde: $v_f [mm \cdot min^{-1}]$ - rychlost posuvu,
 $f [mm]$ - posuv za otáčku,
 $n [min^{-1}]$ - otáčky obrobku nebo nástroje.

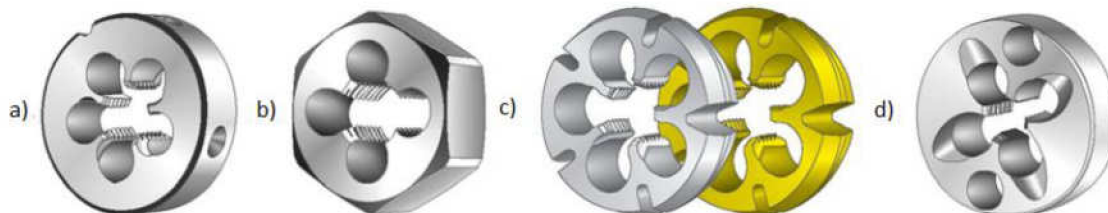
Při řezání závitů lze vypočítat jednotkový strojní čas dle vzorce (2.20).

$$t_{AS} = \frac{L}{v_f} \quad (2.20)$$

kde: $t_{AS} [min]$ - jednotkový strojní čas
 $L [mm]$ - dráha nástroje,
 $v_f [mm \cdot min^{-1}]$ - rychlost posuvu.

2.6.2 Řezání závitů

Pro výrobu vnějších závitů, jak při ručním řezání, tak při strojním, lze použít různé druhy závitových čelistí (viz obr. 2.23). Řezané závit, které mají požadovaný profil, se vyrábí pomocí závitových čelistí postupným odebíráním třísek. Tyto čelisti jsou vyráběny jak pro pravé, tak i pro levé závit a jejich řezný kužel se nachází po obou stranách. Pro ruční řezání slouží vratidla, do kterých lze upnout závitové čelisti (viz obr. 2.24) [16].

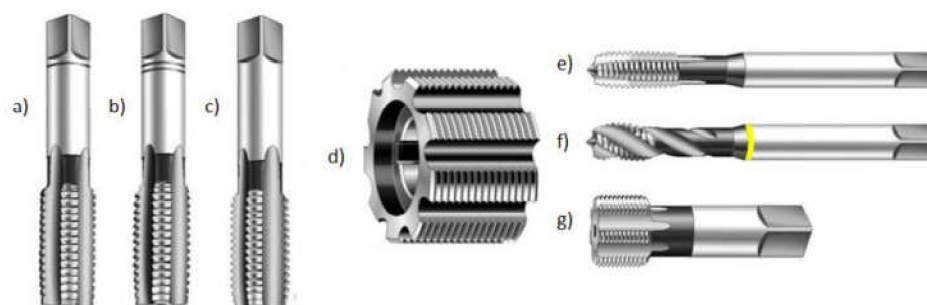


Obr. 2. 23 Druhy závitových čelistí [16]:
a) kruhová; b) šestihránná;
c) elastická kruhová s nastavitelnou tolerancí;
d) automatová kruhová



Obr. 2. 24 Vratidlo pro závitové čelisti – kruhové [16]

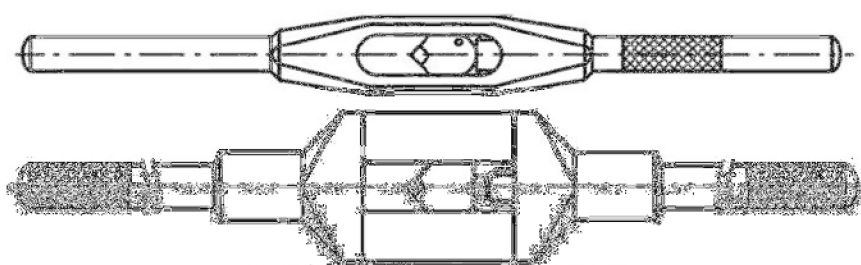
Pro ruční i strojní výrobu vnitřních závitů lze použít závitníky různých druhů (viz obr. 2.25), což jsou v podstatě šrouby, které mají náběhový kužel, na němž jsou břity, které se utvářejí jednou nebo až osmi šroubovými nebo přímými drážkami. Při volbě vhodných závitníků je potřeba brát v potaz především materiál obrobku. Při řezání závitů do M60 lze použít závitníky stopkové, pro závitů M52 až M100 se využívají závitníky nástrčné [16].



Obr. 2. 25 Druhy závitníků [16]

- a) sadový předřezávací; b) sadový řezací;
- c) sadový dořezávací a kalibrovací; d) nástrčný závitník;
- e) strojní s přímými drážkami; f) strojní s drážkami ve šroubovici;
- g) krátký automatový

Ruční řezání lze provádět pomocí sadových závitníků, jejichž sada je složena převážně ze tří kusů. Jeden závitník z této sady závit předřeže, druhý společně se třetím jej následně dořeže a zkalibruje. Ruční závitníky jsou převážně upínané do vratidel, které jsou stavitelné (viz obr. 2.26) [16].



Obr. 2. 26 Stavitelné vratidlo [16]

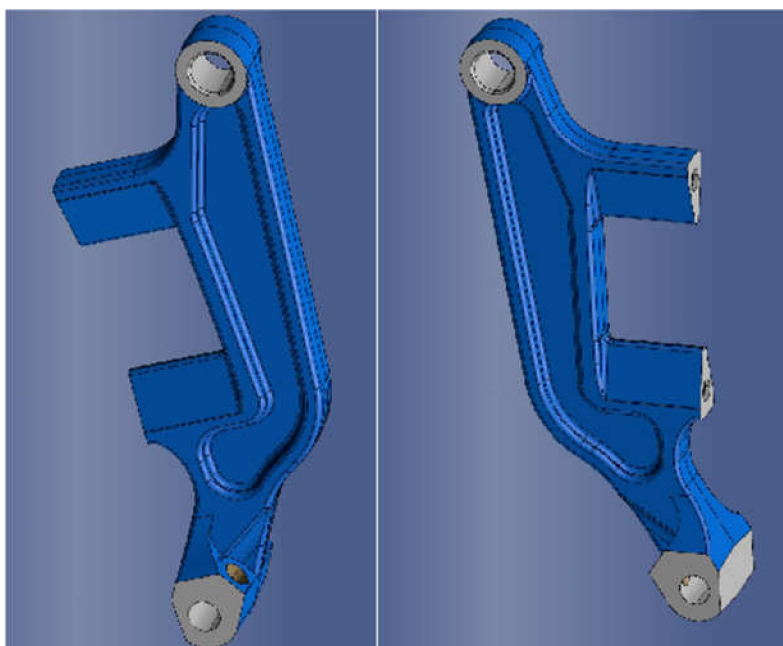
U strojního řezání závitů se nejvíce využívá závitník s kratším řezným kuželem a se šroubovými nebo přímými drážkami. Drážky je možné vytvořit jako neprůběžné nebo průběžné. Závitníky, které mají drážky neprůběžné, které jsou schopné snést větší namáhání, se využívají pro řezání do materiálu, který má vyšší pevnost. Pro vyřezání závitů na vrtačkách je nutné upnout závitník do závitové hlavy, která dokáže zabránit, aby se nástroj poškodil, a také umožní, že se směr otáčení daného závitníku může okamžitě změnit. Pro vyřezání závitů na CNC stroji je upínání závitníků zajištěno pomocí běžných držáků a změny směru otáčení, které se mění po vyřezání závitů, jsou zajištěny pomocí CNC stroje [16].

3 ANALÝZA – SOUČASNÝ STAV VÝROBY

Tato kapitola se zabývá analýzou stávající výroby a také rozborem součástí šicího stroje, její funkci a konstrukci.

3.1 Popis součásti – držák podavače

Zadaná součást je držák podavače (viz obr. 3.1), který je součástí nových šicích strojů třídy M-Type 3. Číslo dílce je 0867 164030.



Obr. 3. 1 Součást držák podavače

3.1.1 Konstrukce držáku podavače

Držák podavače je symetrická součást s požadavky na přesnost. Tato součást se vyrábí z výkovku, který je vyroben z hliníkové slitiny EN AW - 7075 (AlZn55MgCu), popis materiálu (viz tab. 3.1).

Tab. 3. 1 Popis materiálu EN AW - 7075 (AlZn55MgCu) [17, 18, 19]

| | | | |
|-------------------------------|---|----------------|------------------|
| Chemické složení [hm. %] | Si (0,4) | Fe (0,5) | Cu (1,2 ÷ 2,0) |
| | Mn (0,3) | Mg (2,1 ÷ 2,9) | Cr (0,18 ÷ 0,28) |
| | Zn (5,1 ÷ 6,1) | Ti (0,2) | Pb |
| | Ostatní (0,2) | Al (zbytek) | |
| Mez kluzu $R_{p0,2}$ [MPa] | 385 ÷ 470 | | |
| Mez pevnosti R_m [MPa] | 455 ÷ 530 | | |
| Tažnost A_5 [%] | 8 ÷ 6 | | |
| Tvrдость podle Brinella [HBW] | 130 ÷ 145 | | |
| Popis a použití | <ul style="list-style-type: none">• Vysoké pevnostní vlastnosti• Špatná svařitelnost• Snížená odolnost proti korozi• Dobře obrobitelný, lešitelný <ul style="list-style-type: none">• Použití pro letecký, automobilový průmysl, komponenty hydraulických zařízení, strojírenství | | |

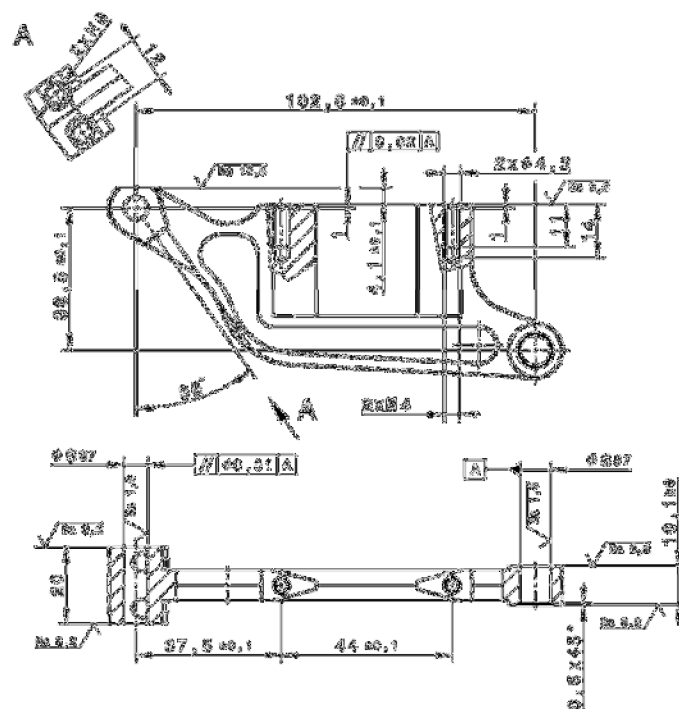
Rozměry držáku podavače mohou být maximálně 110 x 43 x 20,1 mm, které budou vytvořeny pomocí obrábění a zarovnávání tvaru výkovku. Součást má také několik plošek, které je nutné obrábět a otvorů, které jsou nutné vzhledem k požadované funkci držáku podavače.

Nábojku součásti, které se nachází u otvoru, jež má osu definovanou jako hlavní základnu A, je nutné obrobit na míru 10,1 h9 mm a druhou nábojku, která se nachází na druhé straně dílce, je nutné obrobit na šířku 20 mm a je nutné dodržet kolmost vzhledem k základně A.

Součást dále obsahuje dva otvory v nábojkách o \varnothing 8 mm v toleranci S7, který má osu definovanou jako hlavní základnu A a \varnothing 6 mm o toleranci G7. Do otvoru \varnothing 8S7 mm je nalisován čep se středním přesahem, který je možné za použití větší síly nalisovat i za studena. Otvor \varnothing 6G7 mm je s velmi malou vůlí nasazen na hřídelku šicího stroje. Oba otvory, vzhledem k rychlosti šití a podávání materiálu, musí být osy otvorů rovnoběžné v toleranci 0,01 mm.

Na součásti je také potřeba vyřezat závity M6, které jsou umístěny u otvoru \varnothing 6G7 mm, a pomocí dvou stavěcích šroubů s vnitřním šestihranem se přitáhne k hřídelce šicího stroje. Aby byla zajištěna správná funkce stroje, musí být ploška, na které bude uchycen podavač rovnoběžná se základnou A a to v toleranci 0,02 mm, na jejímž povrchu budou vyřezány dva závity M4 v úhlu 35% od osy otvoru. Tyto závity budou mít mezi sebou rozteč 44 mm a závit, který je blíže k otvoru \varnothing 6G7 mm, má rozteč s tímto otvorem 37,5 mm. Pomocí šroubů s vnitřním šestihranem budou tyto závity následně držet podavač.

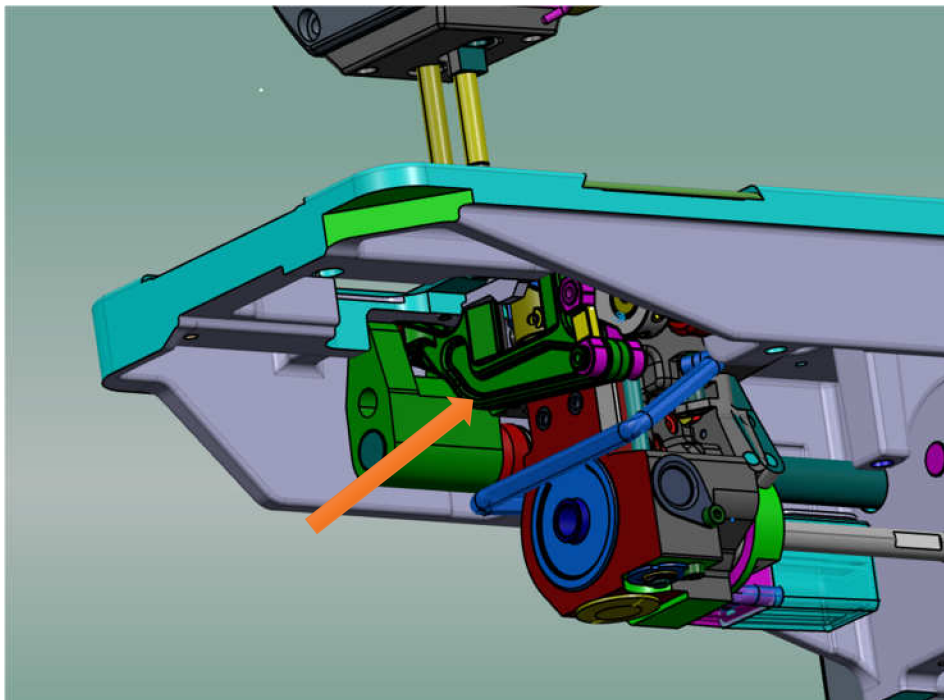
Vzhledem k malému prostoru v šicím stroji je taktéž nutné, aby byl rádius u otvoru 6G7 mm na straně, rovnoběžné s plochou pro podavač, snížen na vzdálenost 4,1 mm od plochy určené pro podavač. Všechny popsané prvky a rozměry držáku podavače jsou k vidění na ukázce výkresové dokumentace (viz obr. 3.2) a na výkresové dokumentaci, která je přiložena v přílohách (viz příloha 1).



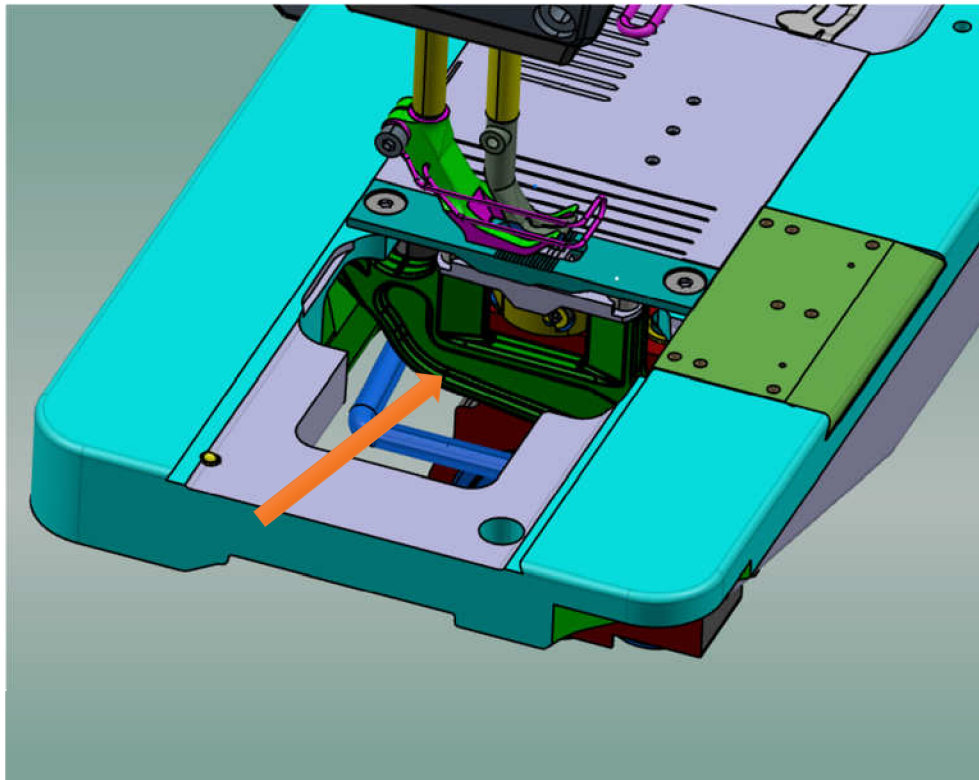
Obr. 3. 2 Ukázka výkresu držáku podavače [20]

3.1.2 Funkce součásti

Umístění držáku podavače je ve spodní části stroje, jak je znázorněno na obrázku z CAD programu CATIA (viz obr. 3.3 a 3.4)

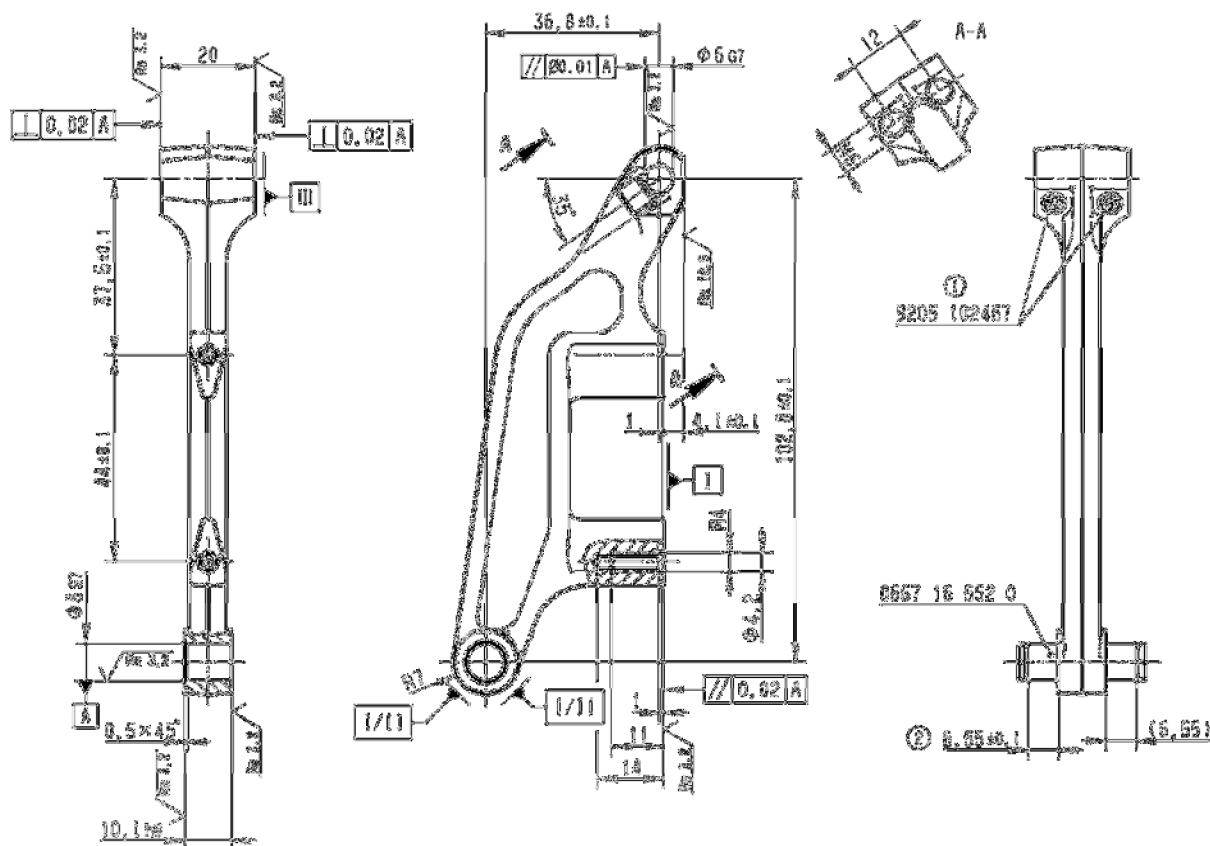


Obr. 3. 3 Umístění držáku podavače v šicím stroji



Obr. 3. 4 Umístění držáku podavače v šicím stroji

Držák podavače je součástí podsestavy 0667 165403 (viz obr. 3.5), která se vyrábí pro nové šicí stroje třídy M-Type 3 delta, a plní důležitou funkci



Obr. 3. 5 Výkres podsestavy držáku podavače

Základní funkcí držáku podavače je, že je na něm umístěn podavač, který zajišťuje spolu se součástkou, která je umístěna v horní části stroje, automatický posuv šité látky ve vodorovném směru. Tento mechanismus je spojen s mechanismem jehly, což je nutné pro zajištění rovnoměrného šití při vysokých rychlostech šití průmyslových šicích strojů. Pohyb mechanismu se mění v závislosti na použitém programu, který si obsluha navolí na dotykovém panelu umístěném na šicím stroji. Držák podavače je součástí celého posuvného mechanismu, který přenáší pohyb stehu na posuv látek a tím zajišťuje správnou tvorbu stehu tak, aby stehy byly i při snížení rychlosti šití vždy stejně velké. Steh je základním prvkem švu a ten tvoří pevné spojení dvou textilních materiálů nebo více.

3.1.3 Šicí stroj M-type 3

Součást držák podavače, jejíž výrobou se zabývá tato práce, náleží do nových šicích strojů třídy M – Type 3 delta (viz obr. 3.6), které jsou plně digitalizovány a jsou určeny pro materiály, jako je kůže, čalounění, technické textilie. Tento stroj využívá integrovaný asistent údržby nebo časově řízené údržby indikuje nadcházející práci [21, 22].

Šicí stroje se vyrábí v různých variantách, a to stroje ploché a sloupové, které se využívají pro šití obuvi, čalounění nebo galanterie, také se vyrábí jako ramenové šicí stroje, které jsou určeny pro univerzální použití. Všechny tyto stroje jsou vybaveny podporou videa, takže zaučení operátora je omezeno na minimum [21, 22].



Obr. 3. 6 Šicí stroje M-Type 3 delta

3.2 Současná výroba součásti držáku podavače

Držák podavače se vyrábí z výkovku, který je z hliníkové slitiny EN AW - 7075. Celkem je naplánována roční série o 4500 kusech. Aby se ve firmě neskladovalo velké množství těchto dílců a tím nevázano velké finanční prostředky, bude série rozdělena do šesti výrobních dávek po 750 kusech.

Od firmy MINERVA Boskovice, a.s. jsem zjistil, že průměrná doba na výrobu jedné dávky o 750 kusech držáků podavače je $t_{pS}=23,71$ pracovních dnů a že náklady na výrobu jednoho dílce jsou $N_{CS}=167,41$ Kč

Hliníkové výkovky dodává pro firmu MINERVA Boskovice, a.s. v kooperaci firma Kovolit Modřice, a.s., která se specializuje na výrobu výkovků ze slitin Cu a Al. Tato firma provádí i tepelné zpracování a povrchovou úpravu tryskáním výkovků z hliníkových slitin. Náklady na jeden kus polotovaru pro držák podavače jsou $N_p=24,31$ Kč [23].

3.2.1 Zařízení pro současnou výrobu součástí

V současnosti se držák podavače vyrábí na klasických konvenčních strojích (viz obr. 3.7), například řadové vrtačky, vertikální frézy, vrtačky stojanové a CNC frézka Kitamura Mycenter, na které je většina operací na dílci. Čištění se provádí na čistícím stroji PERO R1-EX. Některé operace se provádějí ručně, zejména se jedné o operace jako odjehlování obrobenejších hran, měření firemními kontrolory, aby se dosáhlo přesnosti požadované podle výkresové dokumentace. Proto je nutné součást upínat do speciálních přípravků.

Výroba na konvenčních strojích je vhodná pro výrobu menších dávek tohoto dílce, který bude sloužit jako zkušební součást do prototypů, kde se může její tvar a určité přesnosti ještě změnit podle funkčnosti při provozu. Pro sériovou výrobu je tento typ výroby nevyhovující především kvůli dlouhé době výroby součástí a nutného personálu u strojů potřebných k výrobě. Takto dlouhá výroba součástí zároveň může brzdit výrobu celého šicího stroje a tím by se prodloužila doba mezi objednáním zákazníkem a jeho prodej a dodání

zákazníkovi. Výroba je tak dražší a také váže finanční prostředky firmy v celkové výrobě, než se stroj jako hotový výrobek prodá zákazníkovi [1].

Výrobou na novějším CNC strojích lze rovněž dosáhnout vyšší kvality daného výrobku a snížit zmetkovitost. Z hlediska přesností dosahovaných na nových CNC strojích a také rychlostí výroby je snaha nahrazovat jimi klasické obráběcí stroje [1].

Pro obrábění na starém CNC stroji Kitamura Mycenter se využívají starší přípravky, které jsou upravené pro nový dílec. Na stroji se dělají 2 operace s mezikontrolou. Tyto přípravky budou využity i v novém technologickém postupu do doby, než bude vyroben nový přípravek určen přímo na tuto součást.



Obr. 4. 7 Konvenční obráběcí stroje

3.2.2 Technologický postup současné výroby

Součást držák podavače se do této doby vyráběl pouze v menší sérii a technologický postup se skládal z 18 operací, kde se využily jen konvenční stroje, ruční práce a CNC fréza Kitamura Mycenter. Celkový kusový čas všech operací je 14,815 min. A časy přípravy strojů na výrobu jsou celkově 271 min. Ukázka současného technologického postupu je v tabulce (viz tab. 3.2). Přepis celého stávajícího technologického postupu s výrobními časy na všech operacích je k nalezení v přílohách (viz příloha 2).

Tab. 3. 2 Ukázka současného technologického postupu a časů výroby [24]

| OPERACE | PRADOVIŠTĚ (STROJ) | ÚSEK | PRÁCE – POPIS | KUSOVÝ ČAS [min] |
|---------------------------|------------------------------------|------|---|---------------------|
| 0010 | Ruční práce | 10 | Brousí švy – napojí (mimo výstupky pro podavač) | 1,024 |
| 0020 | Omílací bubny | 10 | Omílá ve vibračním bubnu R125 | 0,089 |
| | | 20 | Proplach, suší | |
| 0030 | Frézka vertikální | 10 | Upne do svěráku do PF | 0,792 |
| | | 20 | Porovná základnu pro PV v operaci 40 | |
| | | 30 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| 0040 | Kitamura Mycenter CNC frézka | 10 | Upne do PV 2 kusy | 4,365 |
| | | 20 | Frézuje nábojky ku míře 10,1 h9 a ku míře 20 mm z horní strany – hrub + šlicht (dodržen kolmost) | |
| | | 30 | Frézuje nábojky na míru 10,1 h9 mm a na míru 20 mm ze spodní strany – hrub + šlicht (dodržen kolmost) | |
| | | 40 | Navrtá 2x – s odjehlením | |
| | | 50 | Vrtá otvor Ø5,5 mm | |
| | | 60 | Vrtá otvor Ø7,5 mm | |
| | | 70 | Převrtá otvor Ø7,8 mm | |
| | | 80 | Převrtá otvor Ø5,8 m | |
| | | 90 | Odjehlí 2x | |
| | | 100 | Vystruží na Ø8S7 mm | |
| | | 110 | Vystruží na Ø6G7 mm | |
| | | 120 | Mimo přípravek odjehlí otvory z druhé strany | |
| | | 130 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| Celkový kusový čas | | | | Σ 14,815 |

Celkový výrobní čas jedné dávky součásti $v_d=750$ kusů je vypočten dle vztahu (3.1):

$$t_{BS} = t_{KS} \cdot v_d \quad (3.1)$$

- Kde: t_{BS} - celkový výrobní čas jedné dávky, která činí 750 kusů dle stávající varianty výroby,
 t_{KS} - celkový kusový čas, udávající čas výroby držáku podavače dle stávající varianty,
 v_d - výrobní dávka.

$$t_{BS} = 14,815 \cdot 750 = 11\,111,25 \text{ min}$$

4 ZEFEKTIVNĚNÍ STÁVAJÍCÍHO ZPŮSOBU VÝROBY – NÁVRH NOVÉHO VÁROBNÍHO POSTUPU

Každá výroba má součásti, které se lze vyrobit za kratší průběžný čas výroby a součásti, u nichž je průběžný čas výroby násobně delší. Součást držák podavače patří mezi součásti se střední průběžnou dobou výroby, ale patří mezi první součásti, které je nutné mít hotové na montážní lince, protože jsou potřeba v prvních montážních operacích,. Tím je potřebu dobu výroby této součásti co nejvíce zkrátit. Práce se bude zabývat výrobou jedné dávky těchto součástí, která činí 750 kusů držáků podavače.

4.1 Stroje využité pro novou výrobu

Při výrobě držáku podavače bude použit CNC stroj TAJMAC-ZPS 500 a následné čištění po výrobních operacích bude probíhat na čistícím stroji PERO R1-EX.

4.1.1 CNC stroj TAJMAC-ZPS 500 a přípravy v něm použité

Největším zefektivněním výroby držáku podavače bude převedení většiny operací z konvenčních obráběcích strojů na CNC vertikální obráběcí centrum TAJMAC-ZPS 500. (viz obr. 4.1).

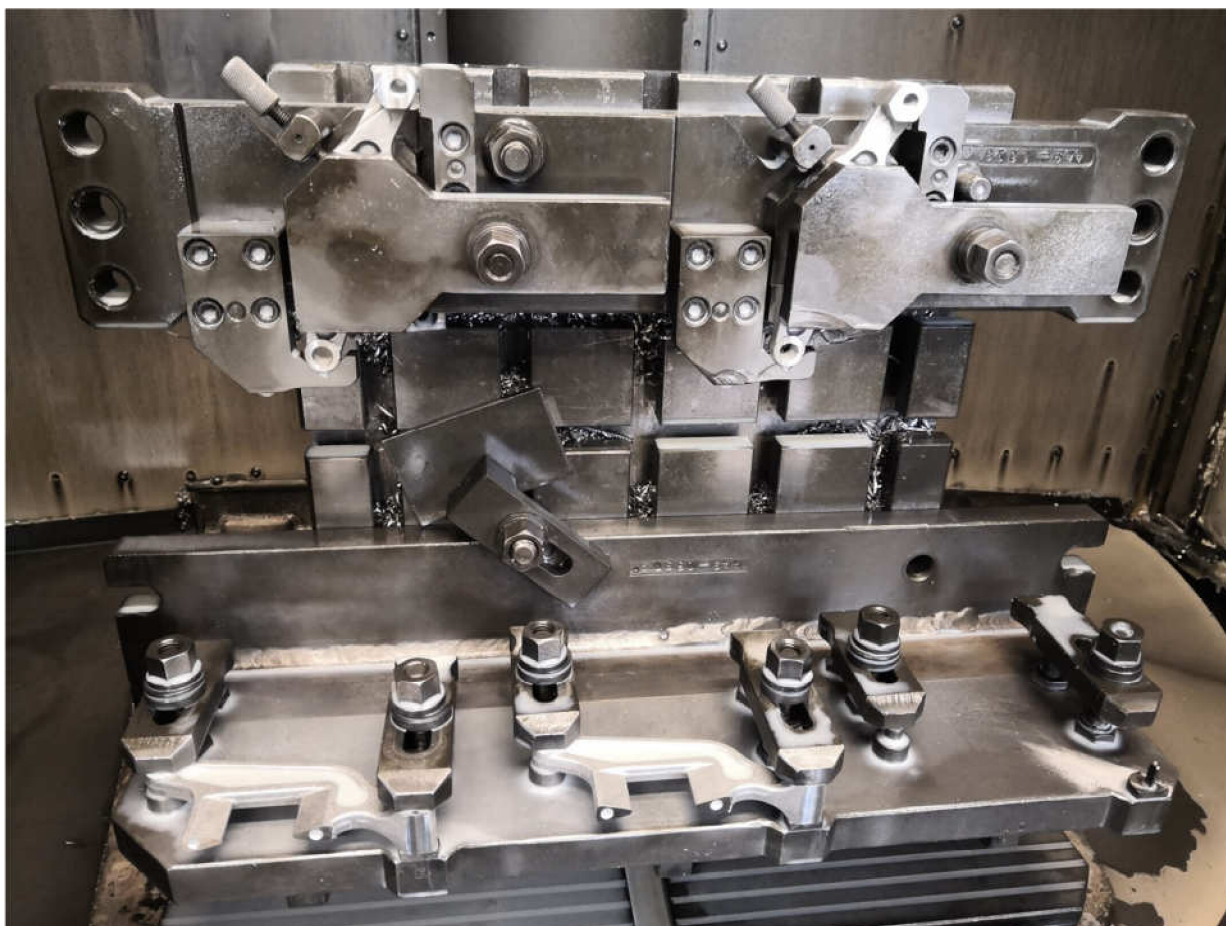


Obr. 4. 1 CNC stroj TAJMAC-ZPS 500

CNC stroj TAJMAC-ZPS 500 je rychlé obráběcí centrum s vysokorychlostním vřetenem a přímým pohonem. Tohle obráběcí centrum umožňuje vysokou rychlost strojních posuvů a je vybaven i vysokorychlostním měničem nástrojů a také je vybaven, díky otočnému stolu, automatickou výměnou palet, což velmi urychlí vedlejší časy při výměně kusů v přípravku. Stroj má také výhodu v možnosti vnitřního chlazení pomocí emulze a možnosti odvodu třísek pomocí stlačeného vzduchu. Odvod třísek následně zajišťuje šnekový dopravník, který je taktéž součástí obráběcího centra.

Centrum TAJMAC-ZPS 500 umožňuje, díky vyšší tuhosti a konstrukci stroje, použití vyšších řezných rychlostí a rychlejších posuvů stroje oproti klasickým obráběcím strojům. To by mělo vést k výrazné změně ve výrobních časech součásti držáku podavače a snížení počtu zmetků oproti výrobě na tolika různých strojích.

Součást bude do výroby nového přípravku obráběna na starších přípravních, které byly vyrobeny pro původní variantu obrábění (viz obr. 4.2). Následně bude nutné vyrobít nový přípravek, aby bylo možné všechny operace přesunout na TAJMAC-TSZ 500 a to hlavně porovnávání plochy pro upnutí na druhou polohu přípravku, což není na starších přípravních možné. Parametry stroje TAJMAC-ZPS 500 jsou umístěny v tabulce (viz tab. 4.1). [25]



Obr. 4. 2 Staré přípravky v CNC stroji TAJMAC-ZPS 500

Tab. 4. 1 Parametry stroje TAJMAC-ZPS 500 [1, 25]

| TAJMAC - ZPS 500 | | Otočný stůl s paletou | |
|-----------------------------|---------------|-----------------------|----------------|
| Maximální délka | 5332 mm | Rozměry palety | 500 x 500 mm |
| Maximální šířka | 2663 mm | Rozsah otáčení | 360° |
| Maximální výška | 2871 mm | Max zatížení palety | 300 kg |
| Hmotnost | 10 000 kg | Max. rozměr obrobku | ø 600 x 750 mm |
| Rozměry stolu | 500 x 500 mm | Čas výměny palety | 10 vteřin |
| Pojezd v ose x | 560 mm | | |
| Pojezd v ose y | 560 mm | | |
| Pojezd v ose z | 560 mm | | |
| Maximální zatížení stolu | 300 kg | | |
| Otáčky | 15 000 ot/min | | |
| Maximální výkon vřetene | 31 kW | | |
| Maximální krouticí moment | 197 Nm | | |
| Rychloposuv | 50 m/min | | |
| Kapacita zásobníku nástrojů | 45 | | |

4.1.2 Čistící stroj PERO R1-EX

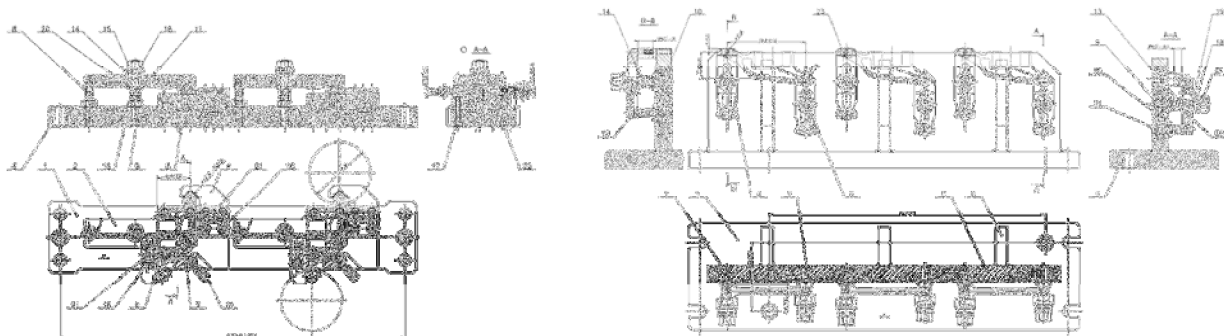
Pro čisticí práce bude použit PERO R1-EX (viz obr. 4.3). Tento stroj je v práci pouze okrajově zmíněn, protože není pro výsledné obrobení součásti držáku podavače důležitý.



Obr. 4. 3 Čistící stroj PERO R 1-EX

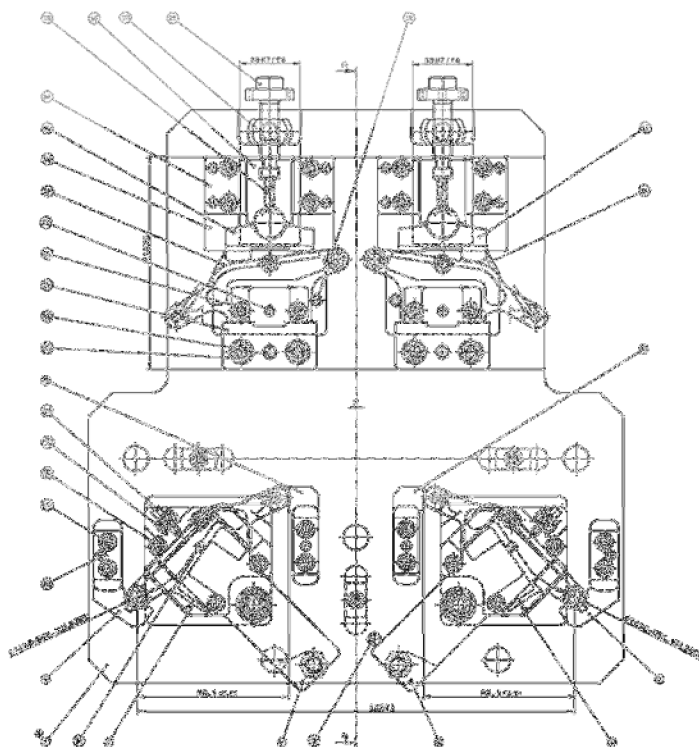
4.2 Přípravek vyrobený pro výrobu dílce na CNC stroji

Pro výrobu této součásti byly použity dva starší přípravky, které byly současně uchyceny ve stroji TAJMAC-ZPS 500. Do jednoho z těchto přípravků lze upnout 3 součásti najednou a do druhého 2 součásti. U prvního přípravku nebude poslední uchycení využíváno, protože se nyní obě operace budou obrábět zároveň (viz obr. 4.4). Tyto přípravky budou využity dočasně, protože na nich nelze provádět všechny operace, které je možné přesunout na CNC stroj TAJMAC-ZPS 500.



Obr. 4. 4 Ukázky starších přípravků pro výrobu součásti držák podavače

Pro pozdější výrobu byl zadán nový upínací přípravek (viz obr. 4.5), který je určen pro všechny možnosti CNC stroje na tento dílec. Přípravek byl navržen ve firmě MINERVA Boskovice, a.s. v konstrukčním oddělení pro přípravky a nástroje. Tento přípravek bude mít 4 pozice, z nichž budou dvě pro první operaci a dvě pro operaci druhou. Obě pozice se tedy budou vyrábět zároveň, čímž se ušetří čas pro výměnu nástrojů, které jsou potřebné pro obě obráběcí operace. Držák podavače bude po těchto dvou operacích téměř hotov a bude probíhat už jen čištění, měření a lisování čepu do otvoru $\text{Ø}8\text{S}7$.

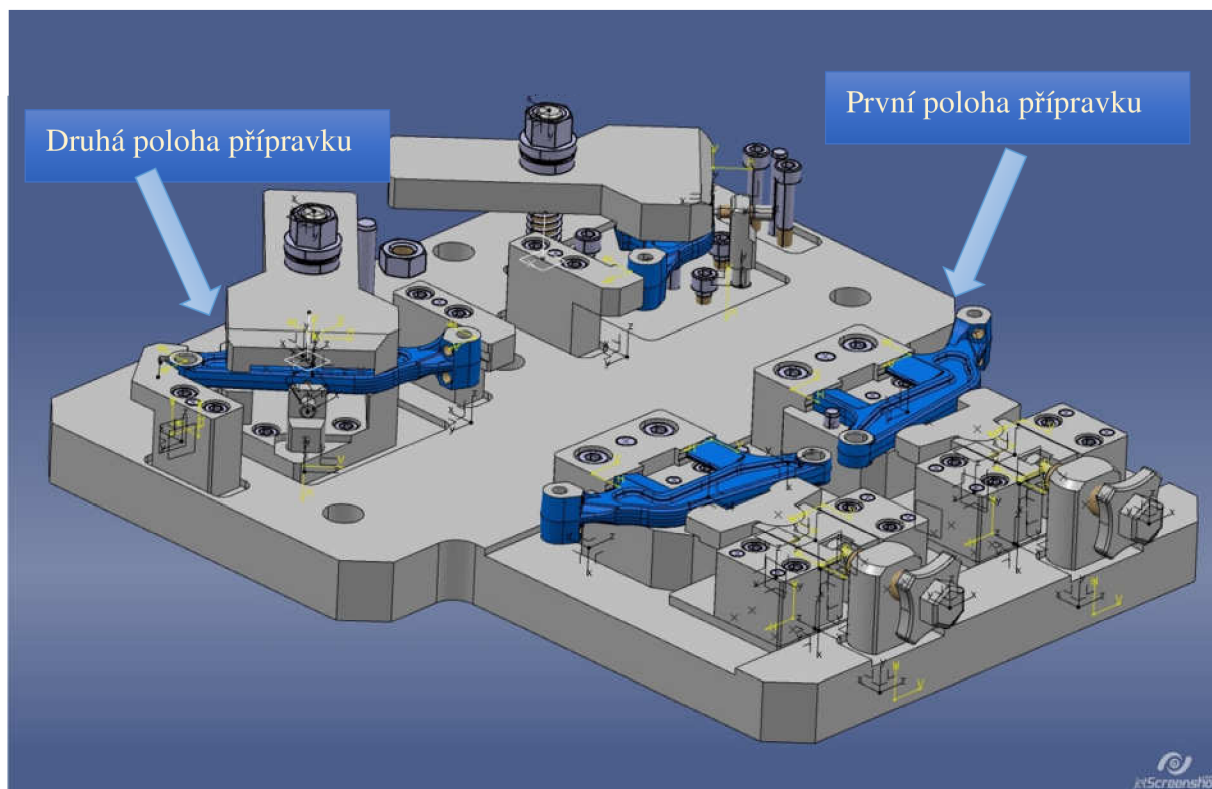


Obr. 4. 5 Ukázka z výkresové dokumentace nového upínacího přípravku

Obrábění bude probíhat tak, že po ukončení první části obráběcího procesu dostaneme vždy dvě téměř hotové součásti odebrané z druhé části.

Postup odepínání a upínání držáku podavače po zaběhnutí výroby (viz obr. 4.6)

1. Odepnutí téměř hotové součásti z druhé polohy přípravku
2. Přepnutí obrobeneých součástí z první polohy na druhou
3. Upnutí polotovarů součástí do první polohy přípravku.



Obr. 4. 6 Model nového přípravku pro výrobu držáku podavače z programu CATIA

4.3 Použité nástroje

Modernější nástroje použité při výrobě na obráběcím centru, které snášejí vyšší řezné rychlosti, je další část zefektivnění výroby součásti držáku podavače. Nástroje pro frézovací operace firma MINERVA Boskovice, a.s. nakupuje od firem GÜHRING, ISCAR a z nástrojového velkoobchodu M&V. Od firmy GÜHRING firma kupuje nástroje na vrtání, závitníky apod. Tato část se bude zabývat nástroji, které budou použity pro výrobu součásti držáku podavače. Ostatní nástroje a měřidla budou pouze zmíněna. Nástroje, které budou použity při výrobě, jsou uvedeny v tabulce (viz tab. 4.2)

Tab. 4. 2 Seznam nástrojů, měřidel


| | | | |
|----|-------------------------|----|-------------------------|
| T1 | Fréza Ø80 pro VBD | M1 | Posuvné měřítko |
| T2 | Navrtávák Ø10 mm | M2 | Závitový kalibr M4 H6 |
| T3 | Spirálový vrták Ø5,5 mm | M3 | Válečkový kalibr Ø8 S7 |
| T4 | Spirálový vrták Ø7,5 mm | M4 | Válečkový kalibr Ø6 G7 |
| T5 | TK fréza Ø5,8 mm | M5 | Třmenový kalibr 11,1 h9 |

| | |
|-----|--------------------------|
| T6 | TK fréza Ø7,8 mm |
| T7 | Záhlubník Ø12,5 x 90° |
| T8 | Navrtávák Ø2,5x6,3x200 |
| T9 | Vrták Ø5 |
| T10 | Závitník M6 |
| T11 | Výstružník Ø8S7 |
| T12 | Výstružník Ø6G7 |
| T13 | Fréza kotoučová 80x10x22 |
| T14 | Vrták Ø4,2 |
| T15 | Spirálový vrták Ø3,3 |
| T16 | Závitník M4 |

4.3.1 Nástroje pro frézování

Nástrojem T1 je fréza s výměnnými břitovými destičkami, kterou firma zakoupila od firmy ISCAR. Tímto nástrojem se bude obrábět celou jednu stranu obrobku v první poloze upnutí, tím se zajistí rovinnost ve druhém upnutí a dodržení tolerancí otvorů při vrtání. VBD jsou z řezného materiálu IC28 a nejsou povlakovány. Tento materiál je vhodný pro obrobení slitin hliníku a díky leštění jejich povrchu se sníží ulpívání materiálu z obrobku na povrchu destiček. Parametry VBD a držáku jsou zapsány v následující tabulce. (4.3).


Tab. 4. 3 Nástroj T1 fréza Ø80 od firmy ISCAR [27]

| | |
|---|--|
| Držák: HM90 F90A D 80-7-27 | Mat. VBD: IC28 |
|  | $l_c: 0,5 \text{ mm}$ |
| | $v_c: 400 - 640 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ |
| | $a_{pmax}: 10 \text{ mm}$ |
| | $f_z: 0,07 - 0,25 \text{ mm}$ |
| | $z: 5$ |
| VBD: APCCR 1003PDFR-P | |
|  | |

Nástrojem T13 je kotoučová fréza jemnozubá od firmy M&V, pomocí kterého se budou frézovat nábojky, mají rozměry 10,1h9 mm a 20 mm. Počet zubů frézy je 22 a je vyrobena z materiálu HSSE, což je vysoce výkonná rychlořezná ocel, která se využívá pro nástroje s většími průměry a kotoučové frézy. Fréza je bez povlakování z důvodu následného

přeoštění na firemní nástrojářské dílně. Parametry kotoučové frézy jsou zapsány v tabulce (viz tab. 4.4)


Tab. 4. 4 Nástroj T13 - kotoučová fréza [28, 29]

| | |
|---|--|
| Nástroj: Kotoučová fréza 80x10x22 | Obj. č. 3580-80 Mar.: HSSE $v_c: 160 - 250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $f_z: 0,05 \text{ mm}$ z: 22 |
|  | |

4.3.2 Nástroje pro vrtání


Nástroje T2 a T8 jsou NC navrtávký o $\varnothing 10 \text{ mm}$ a $\varnothing 2,5 \text{ mm}$, které budou použity pro navrtání se zahloubením, které bude využito pro menší průměry otvorů před vrtacími operacemi. Jde o 90° NC navrtávký, určený pro obrábění lehkých kovů. Jedná se o navrtávký od firmy GÜHRING, které je vyrobena z materiálu VHM (řezný materiál bez povlakování). Parametry navrtávký jsou zapsány v tabulce (viz tab. 4.5).

Tab. 4. 5 Nástroje T2 a T8 – navrtávký [26]

| | | | |
|---|-----------|---|--|
|  | Mat.: VHM | Nástroj T8: NC navrtávký $\varnothing 2,5 \text{ mm}$ | Obj. č.: 723-2,5 $v_c: 250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $f_z: 0,15 \text{ mm}$ |
| | | Nástroj T2: NC navrtávký $\varnothing 10 \text{ mm}$ | Obj. č.: 723-10 $v_c: 250 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $f_z: 0,15 \text{ mm}$ |

Nástroje T3, T4, T9, T15 jsou spirálové vrtáky, které jsou vyrobeny z řezného materiálu VHM, která není následně povlakována. Tyto nástroje firma kupuje od firmy GÜHRING. Vrtáky z těchto ocelí jsou doporučovány pro vrtání so slitin hliníku. Pomocí spirálových vrtáků budou vytvářeny otvory pro $\varnothing 8S7 \text{ mm}$ a $\varnothing 6G7 \text{ mm}$, které je nutné dále převrtat a vystružit. Vrták $\varnothing 3,3 \text{ mm}$ bude vrtat otvory pro závit M4. Vrták T10 se musí prodloužit pomocí stopky vyrobené v nástrojářské dílně a bude obrábět otvory $\varnothing 5 \text{ mm}$ pro závit M6 . Parametry spirálových vrtáků jsou zapsány v tabulce (viz. tab. 4.6).

Tab. 4. 6 Nástroje T3, T4, T9, T14 a T15 – spirálové vrtáky [26]

| | | |
|---|---|---|
|  | Mat.: VHM $v_c: 200 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ | Nástroj T4: Spirálový vrták Ø7,5 mm Obj. č.: 732-7,5 $f_z: 0,26 \text{ mm}$ $l_f: 69 \text{ mm}$ |
| | | Nástroj T3: Spirálový vrták Ø5,5 mm Obj. č.: 732-5,5 $f_z: 0,215 \text{ mm}$ $l_f: 63 \text{ mm}$ |
| | | Nástroj T9: Spirálový vrták Ø5 mm Obj. č.: 732-5 $f_z: 0,21 \text{ mm}$ $l_f: 59 \text{ mm}$ |
| | | Nástroj T14: Spirálový vrták Ø4,2 mm Obj. č.: 732-4,2 $f_z: 0,205 \text{ mm}$ $l_f: 54 \text{ mm}$ |
| | | Nástroj T15: Spirálový vrták Ø3,3 mm Obj. č.: 732-3,3 $f_z: 0,19 \text{ mm}$ $l_f: 43 \text{ mm}$ |


Nástroje T5 a T6 jsou TK frézy, které jsou vyrobeny z HSS. Vzhledem ke speciálním rozměrům průměrů těchto nástrojů (Ø7,8 a Ø5,8) se budou nástroje vyrábět dle výkresu v naší nástrojářské dílně, jen kalení nástrojů proběhne v externí firmě, čímž se ušetří náklady na speciální výrobu nástrojů. Tyto nástroje budou hrubovat otvory Ø8S7 a Ø6G7 před jejich vystružením na konečnou míru. Parametry vyrobených nástrojů jsou uvedeny v tabulce (viz tab. 4.7).

Tab. 4. 7 Nástroj T5 a T6 - speciální frézy

| | | |
|-----------------------------|-------------------------|--|
| Nástroj T5: speciální fréza | $f_z: 0,275 \text{ mm}$ | Mat.: HSS $v_c: 150 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $z = 4$ |
| Nástroj T6: speciální fréza | $f_z: 0,21 \text{ mm}$ | |


Nástroje T11 a T12 jsou výstružníky, vyrobeny z rychlořezné oceli, které jsou bez povlakování. Tyto nástroje byly zakoupeny od firmy GÜHRING. Tyto výstružníky jsou doporučeny pro obrobení slitin hliníku. Parametry těchto nástrojů jsou zapsány v tabulce (viz tab. 4.8).

Tab. 4. 8 Nástroj T11 a T12 – výstružníky [26]

| | | |
|--|------------------------------|--|
|  Mat.: HSS $v_c: 18 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ z: 6 | Nástroj T11: výstružník Ø8S7 | Obj. č.: 490-8 $f_z: 0,24 \text{ mm}$ $l_f: 32 \text{ mm}$ |
| | Nástroj T12: výstružník Ø6G7 | Obj. č.: 490-6 $f_z: 0,2 \text{ mm}$ $l_f: 26 \text{ mm}$ |

Nástroj T10 je spirálový závitník M6, vyrobený z rychlořezné oceli, které jsou bez povlakování. Tento nástroj byl zakoupen od firmy GÜHRING a je doporučován pro obrábění slitin hliníku. Parametry závitníku jsou zapsány v tabulce (viz tab. 4.9).

Tab. 4. 9 Nástroj T10 - závitník M6 [26]

| | |
|--|---|
|  Nástroj: Závitník M6 | Obj. č.: 2876-6 Mat.: HSS $v_c: 15 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $l_f: 10 \text{ mm}$ |
|--|---|

Nástroje T16 je spirálový závitník M4 – 6H, vyrobený z rychlořezné oceli, které je povlakován TiN. Tento nástroj byl zakoupen od firmy GÜHRING a je doporučován pro obrábění slitin hliníku. Parametry závitníku jsou zapsány v tabulce (viz tab. 4.10).

Tab. 4. 10 Nástroj T16 - závitník M4-6H [26]

| | |
|---|--|
| Nástroj: Závitník M4 – 6H | Obj. č.: 2876-6 |
|  | Mat.: HSS Povlak: TiN $v_c: 25 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $l_f: 7,5 \text{ mm}$ |

Nástrojem T7 je kuželový záhlubník. Je vyroben z rychlořezné oceli, která není povlakovaná, firmou GÜHRING. Kuželovým záhlubníkem budou zahlubovány a odjehlovány otvory na obrobku po jejich vystružení. Parametry kuželového záhlubníku jsou zapsány v tabulce (viz tab. 4.7).

Tab. 4. 11 Nástroj T7 - kuželový záhlubník [26]

| | |
|---|--|
| Nástroj: Kuželový záhlubník Ø12,5 mm 90° | Obj. č. 475-12,5 |
|  | Mat.: HSS $v_c: 90 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$ $f_z: 0,22 - 0,29$ z: 5 |

4.4 Nový technologický postup

Důležitou součástí každé výroby je technologický postup, který je nutný pro správné plánování výrobního procesu a také pro správnou výrobu součástí ve tvaru požadovaném výkresem, aby součást následně plnila požadovanou funkci. Technologický postup součásti držáku podavače je napsán tak, že je obrábění v každé z dvou pozic zvlášť, ale při opravdové výrobě budou nástroje přejíždět mezi oběma uchyceními a až následně by stroj měnil nástroje pro další obráběcí operace. Ukázka technologického postupu je v tabulce (viz tab. 4.16) a kompletní technologický postup je uveden v příloze (viz příloha 3) [1].

Nový technologický postup je navržen dle současného technologického postupu, který byl vytvořen pro výrobu menších sérií firmou MINERVA Boskovice, a.s., kde byla většina operací převzata a některé operace upraveny nebo i odstraněny vzhledem k nahrazení staršího CNC stroje a konvenčních obráběcích strojů, které byly použity pro ověřovací výrobu držáku podavače, CNC strojem TAJMAC-ZPS 500. V první poloze se porovná základna, ofrézují nábojky na přesnou míru a následně se navrtají a vyvrtají otvory, které jsou nutné pro následné upnutí do druhého přípravku, a předvrtají a vyřežou závity M6. Ve druhém upnutí se pak frézuje druhá nábojka na přesnou míru, předvrtá a vyřeže závity M4 a otvory Ø 4,2 mm.

Tab. 4. 12 Ukázka technologického postupu - zkrácená

| Název: Držák podavače | | Číslo dílce: 0667 156403 | | | |
|----------------------------|----------------------------|--------------------------|--|------------------------|----------------|
| Pol.: Výkovek ČSN EN 573-3 | | Hm. Součásti: 0,0453 | | Materiál: EN AW - 7075 | |
| Č. op. | Název stroje, číslo stroje | Úk. | Popis práce v operaci | Nástroj, měřidlo | K. čas [min] |
| 10 | TAJMAC-ZPS H500 45226 | 10 | Upne do první polohy PV 449-1420 – 2 kusy | | |
| | | 20 | Porovná základnu pro další upínání Frézuje nábojky ku míře 10,1h9 mm a ku míře 20 z horní strany – hrub | T1 | 0,386 0,145 |
| | | 30 | Frézuje nábojky na míru 10.1 h9 mm a na míru 20 ze spodní strany – hrub | T13 | 0,769 |
| | | 40 | Navrtá 4x - s odjehlením | T2 | 0,562 |
| | | 50 | Navrtá 2x pro M6 | T8 | 0,438 |
| | | 60 | Vrtá otvor Ø7,5 mm | T4 | 0,367 |
| | | 70 | Vrtá otvor Ø5,5 mm | T3 | 0,459 |
| | | 80 | Převrtá na Ø7,8 mm | T6 | 0,421 |
| | | 90 | Vystruží na Ø8S7 mm | T11 | 0,433 |
| | | 100 | Vrtá 2 otvory Ø5 mm pro M6 | T9 | 0,856 |
| | | 110 | Řeže 2 závity M6 | T10 | 0,369 |
| | | 120 | Převrtá na Ø5,8 mm | T5 | 0,458 |
| | | 130 | Vystruží na Ø6G7 mm (dodržet rovnoběžnost) | T12 | 0,563 |
| | | 140 | Odjehlí otvory | T7 | 0,122 |

| | | | | | |
|---------------------------|------------------------------|--|--|---------|-----------------|
| | | **** Přepne do druhé polohy PV 449-1420 – 2 kusy | | | |
| | | 150 | Frézuje nábojku na míru 5,1 ±0,1 a plochy pro podavač – hrub, šlicht | T1 | 0,424 |
| | | 160 | Vrtá otvory Ø4,2 – 2x | T14 | 0,32 |
| | | 170 | Dovrtá otvory Ø3,3 pro závity M4 | T15 | 0,362 |
| | | 180 | Řeže závity M4 – 2x | T16 | 0,441 |
| | | 190 | Frézuje nábojky ku míře 10,1 h9 a ku míře 20 z horní strany – šlicht | T1 | 0,254 |
| | | 200 | Frézuje nábojky na míru 10,1 h9 a na míru 20 ze spodní strany – šlicht | T13 | 0,851 |
| | | 200 | Mimo PV odjehlí otvory z druhé strany | | - |
| | | 210 | Uloží do bedny | | - |
| 20 | Ruční práce při měření 09892 | 10 | Kontroluje dle OSQ – mezioperační kontrola | M1 - M5 | - |
| 30 | Ruční práce 09426 | 10 | Odjehlí po frézování | | 0,828 |
| | | 20 | Uloží do bedny | | - |
| Celkový kusový čas | | | | | Σ 10,655 |

4.5 Výpočty výrobních časů

Výpočty byly provedeny pouze pro výrobní operace probíhající na CNC stroji TAJMAC-ZPS 500. Časy na ostatních strojích a ručních pracích byly převzaty z předešlého technologického postupu, případně od firmy MINERVA Boskovice, a.s. Vypočtené časy jednotlivých operací byly vypočteny dle následujících vztahů. Délky obráběných ploch při daných operacích byly zjištěny v programu CATIA a délky nástrojových náběhů a přeběhů byly zvoleny podle polotovaru součásti.

Vztah pro výpočet otáček nástroje (4.1):

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot D} \quad (4.1)$$

Kde: $n[\text{min}^{-1}]$ - Posuv na otáčku,

$v_c[\text{m} \cdot \text{min}^{-1}]$ - řezná rychlost,

$D[\text{mm}]$ - průměr nástroje.

Ukázka výpočtu otáček: T1

$$n = \frac{500 \cdot 1000}{\pi \cdot 80} = 1989 \text{ min}^{-1}$$

Vzhledem k možným otáčkám stroje 15000 min^{-1} se musí otáčky nástrojů T8, T14 a T15 zpomalit na 12000 min^{-1} , aby při obrábění nebylo přetěžováno vřeteno stroje. Také vrták T9 je nutno zpomalit na otáčky 8000 min^{-1} , kvůli délce vrtáku, který se musí pod 35° dostat k vyvrtání otvorů pro závity. Snížené otáčky tohoto nástroje jsou použity v dalších výpočtových vztazích.

U jednotlivých nástrojů byl vypočten posuv na otáčku dle vzorce (4.2):

$$f = f_z \cdot z \quad (4.2)$$

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

Ukázkový výpočet posuvu za otáčku u nástroje T1.

$$f = 5 \cdot 0,08 = 0,4 \text{ min}^{-1}$$

Strojní časy jsou vypočítány dle vzorce (5.3):

$$t_{AS} = \frac{(l_n + l_o + l_p) \cdot i}{n \cdot f} \quad (4.3)$$

kde: t_{AS} [min] - Strojní čas (jednotkový),
 l_n [mm] - náběhová délka,
 l_o [mm] - délka obráběné plochy,
 l_p [mm] - přeběhová délka,
 i [-] - počet řezů.

Ukázkový výpočet jednotkového strojního času je frézování nábojky z horní strany na míru 10,1 h9 mm v operaci číslo 10 v úkonu 20 nástrojem T1.

$$t_{AS} = \frac{(3 + 15 + 3 + 17) \cdot 1}{1989 \cdot 0,75} = 0,0255 \text{ min}$$

Vypočítané hodnoty jsou zapsány v tabulce, které je umístěná v přílohách (viz. příloha 4). Strojní časy jednotlivých nástrojů a jejich nejdůležitější údaje jsou zapsány v tabulce (viz tab. 4.13).

Tab. 4. 13 Celkové strojní časy a důležité údaje

| Nástroj | v_c [m · min ⁻¹] | n [min ⁻¹] | f [mm] | t_{ASj} [min] |
|---------|--------------------------------|--------------------------|----------|-----------------|
| T1 | 500 | 1989 | 0,750 | 0,1408 |
| T2 | 250 | 7957 | 0,150 | 0,0134 |
| T3 | 200 | 11574 | 0,215 | 0,0104 |
| T4 | 200 | 8488 | 0,260 | 0,0073 |
| T5 | 20 | 8232 | 0,275 | 0,0116 |
| T6 | 20 | 6121 | 0,210 | 0,0204 |
| T8 | 250 | (12000) | 0,150 | 0,0044 |
| T9 | 200 | (8000) | 0,210 | 0,0131 |
| T10 | 15 | 795 | 0,800 | 0,0314 |
| T11 | 18 | 954 | 0,240 | 0,0616 |
| T12 | 18 | 716 | 0,200 | 0,1676 |
| T13 | 12 | 875 | 0,050 | 0,0790 |

| | | | | |
|-----|-----|---------|-------|--------|
| T14 | 200 | (12000) | 0,205 | 0,0024 |
| T15 | 200 | (12000) | 0,190 | 0,0140 |
| T16 | 25 | 1989 | 0,800 | 0,0163 |

Celkový strojní čas u operací, které se provádí na CNC stroji, byl vypočten dle vzorce (4.4)

$$t_{ASH} = \sum_{j=1}^{1B} t_{ASj} \quad (4.4)$$

kde: t_{ASH} [min] - celkový strojní čas na CNC stroji TAJMAC-ZPS 500
 t_{ASj} [min] - strojní čas nástrojů.

$$t_{ASH} = 0,59 \text{ min}$$

Celkový výrobní čas na dva kusy je složen z jednotkových časů na stroji a také vedlejších časů výroby na CNC stroji, do kterých se počítají časy, ve kterých žádný nástroj neodebírá třísku. Vedlejšími časy tedy jsou přejezdy nástrojů mezi operacemi rychloposuvem, automatická výměna palet strojem TAJMAC-ZPS 500 apod. Vedlejší časy byly ve firmě MINERVA Boskovice, a.s. po konzultacích stanoveny na $t_v = 2$ min. Vzhledem k automatické výměně palet na stroji TAJMAC-ZPS 500 nemusíme připočítávat do vedlejších časů čas, který je potřebný pro upnutí kusů do přípravku vyrobeného pro tento dílec. Výměna palet podle výrobce $t_u = 10$ vteřiny. Do vedlejších časů taktéž patří čas, který je nutný pro výměnu nástroje, přičemž výrobce udává, že čas potřebný na výměnu nástroje mezi jednotlivými operacemi je 3,5 vteřin. Z důvodu spolehlivější výměny nástrojů byl čas výměn prodloužen na $t_{vn} = 10$ vteřin. Při plných rychlostech výměn docházelo k nespolehlivému upínání držáku, špatné výměně nástroje nebo i vypadnutí držáku spolu s nástrojem z vřetene CNC stroje, což se stávalo ve výjimečných případech. Počet nástrojových výměn za celkové obrobění držáku podavače $n_v = 16$.

Do celkového času na výrobu jednoho kusu držáku podavače bude taktéž zahrnut čas na přípravu. Tento čas zahrnuje například čas, který obsluha stroje potřebuje na prostudování technologického postupu a výkresu, na cestu do výdejny nástrojů a zpátky, upínání přípravku ke stolu stroje a nástrojů do stroje s jejich zaměřením, případná výměna otupených nástrojů nebo jejich přeostržení, měření, korekce při obrábění, nahrání programu do CNC stroje, seřízení stroje, schválení prvního vyrobeného kusu kontrolou apod. Čas na přípravu byl také konzultován s vedoucím TPV a byl následně stanoven na $t_{PH} = 135$ min.

Vedlejší strojní čas t_{AVH} lze počítat dle vzorce (4.5):

$$t_{AVH} = t_u + t_v + t_{vn} \cdot n_v \quad (4.5)$$

kde: t_{AVH} [min] - vedlejší strojní čas u stroje TAJMAC-ZPS 500,
 t_u [min] - čas automatické výměny palet,
 t_v [min] - vedlejší časy,
 t_{vn} [min] - čas nástrojové výměny mezi operacemi,
 n_v [-] - počet nástrojových výměn.

$$t_{AVH} = \frac{10}{60} + 1,5 + \frac{10 \cdot 16}{60} = 4,33 \text{ min}$$

Celkový čas výroby součástí držáku podavače vzhledem k výrobní dávce $v_d = 750$ kusů na CNC stroji TAJMAC-ZPS 500 byl vypočten dle vzorce (4.6)

$$t_{BH} = v_d \cdot t_{ASH} + v_d \cdot t_{AVH} + t_{PH} \quad (4.6)$$

kde: t_{BH} [min] - celkový čas výroby jedné dávky na CNC stroji,
 t_{ASH} [min] - celkový čas výroby jednoho kusu držáku podavače,
 t_{PH} [min] - čas přípravy stroje TAJMAC-ZPS 500
 v_d [ks] - jedna výrobní dávka.

$$t_{BH} = 750 \cdot 4,33 + 750 \cdot 0,59 + 135 = 3828 \text{ min}$$

Čas výroby jednoho kusu pro na CNC stroji TAJMAC-ZPS 500 byl vypočten dle vzorce (4.7):

$$t_{KH} = \frac{t_{BH}}{v_d} \quad (4.7)$$

kde: t_{KH} [min] - čas operací, které jsou prováděny na CNC stroji, pro dva kusy,
 t_{BH} [min] - výrobní čas jedné dávky,
 v_d [ks] - počet kusů ve výrobní dávce.

$$t_{KH} = \frac{3828}{750} = 5,104 \text{ min}$$

Časy jednotlivých operací na výrobu součástí v nově navržené výrobě jsou zapsány v tabulce (viz tab. 4.14) i s celkovým časem pro výrobu součástí v nově navržené variantě výroby.

Tab. 4. 14 Časy jednotlivých operací pro jeden kus držáku podavače

| Operace | Čas na dva kusy [min] |
|---------------|-----------------------|
| 10 | 9,00 |
| 20 | - |
| 30 | 0,828 |
| 40 | 0,092 |
| 50 | 0,447 |
| 60 | 0,288 |
| 70 | - |
| Celkem | 10,655 |

Celkový čas na kus součástí držáku podavače byl vypočten dle vzorce (4.8)

$$t_{Kn} = \sum_{j=1}^{10} t_{Kj} \quad (4.8)$$

kde: t_{Kn} [min] - celkový výrobní čas jednoho kusu u nové varianty výroby,
 t_{Kj} [min] - čas jednotlivých operací pro dva kusy.

$$t_{Kn} = 10,655 \text{ min}$$

Celkový čas výroby jedné dávky $v_d = 750$ kusů byl vypočten dle vzorce (4.9):

$$t_{Bn} = v_d \cdot t_{Kn} \quad (4.9)$$

kde: t_{Bn} [min] - celkový čas výroby 750 kusů pomocí nové varianty výroby,
 t_{Kn} [min] - celkový čas na výrobu jednoho kusu držáku podavače,
 v_d [ks] - jedna výrobní dávka.

$$t_{Bn} = 10,655 \cdot 750 = 7991,25 \text{ min}$$

4.6 Počet nástrojů potřebných pro výrobu součástí

Standartní trvanlivost nástrojů, kterou potřebujeme k určení počtu nástrojů, je pro frézy 45 minut, pro vrtací nástroje 30 minut a pro VBD na držáku T1 15 minut.

Celkové časy u jednotlivých nástrojů, pro výrobu jedné dávky o 750 kusech součástí držáku podavače, jsou zapsány v tabulce (4.15) a vyly vypočítány dle vzorce (4.10):

$$t_{řj} = v_d \cdot t_{ASj} \quad (4.10)$$

kde: $t_{řj}$ [min] - celková doba obrábění jednotlivých nástrojů na výrobní dávku,
 v_d [ks] - výrobní dávka,
 t_{ASj} [min] - strojní časy pro jednotlivé nástroje.

$$t_{ř1} = 750 \cdot 9 = 6750 \text{ min}$$

Tab. 4. 15 Potřebné počty nástrojů a časy řezů na jednu výrobní dávku

| Nástroj | t_{ASj} [min] | $t_{řj}$ [min] | Počet VBD nebo nástrojů [ks] | Nástroj | t_{ASj} [min] | $t_{řj}$ [min] | Počet VBD nebo nástrojů [ks] |
|---------|--------------------|-------------------|---------------------------------|---------|--------------------|-------------------|---------------------------------|
| T1 | 0,1408 | 105,6 | 40 | T10 | 0,0314 | 23,55 | 2 |
| T2 | 0,0134 | 10,05 | 1 | T11 | 0,0616 | 46,2 | 2 |
| T3 | 0,0104 | 7,8 | 1 | T12 | 0,1676 | 125,7 | 5 |
| T4 | 0,0073 | 5,475 | 1 | T13 | 0,0790 | 59,25 | 2 |
| T5 | 0,0116 | 8,7 | 1 | T14 | 0,0024 | 1,8 | 1 |
| T6 | 0,0204 | 15,3 | 2 | T15 | 0,0140 | 10,5 | 1 |
| T8 | 0,0044 | 3,3 | 1 | T16 | 0,0163 | 12,225 | 1 |
| T9 | 0,0131 | 9,825 | 1 | | | | |

Na výrobu jedné dávky o 750 kusech držáku podavače bude potřeba 40 výměnných břitových destiček do nástroje T1, dva kusy nástroje T6, T10, T11, T13 a pět kusů nástroje T12, je ale možné, že bude stačit menší počet kusů. Dále bude potřebný jeden kus od zbylých nástrojů, využitých pro obrábění na CNC stroji.

Všechny vrtáky je možné po otupení opětovně naostřit na nástrojářské dílně firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s., protože nejsou povlakovány. Povlakované nástroje by bylo nutné odeslat na nové povlakování do externí firmy.

V případě zlomení nebo poškození kteréhokoliv nástroje nebo při nedodržení předepsaných tolerancí, musí obsluha stroje nástroj vyměnit za nový, vyzvednutý v nástrojové výdejně.

4.7 Průběžný čas výroby

Průběžný čas výroby je čas, který je počítán od doby, kdy je součást zadána do výroby až do doby, kdy jsou součásti zhotoveny. Průběžný čas výroby je závislý na mnohých faktorech, například čekací doby na dovoz odlitků z externí firmy (většinou již bývá na skladu), také transportování držáků podavače ve firmě mezi jednotlivými dílnami, na kterých budou probíhat operace, čekání na daných dílnách, než se uvolní stroje, na kterých mohou probíhat operace na jiných součástech a další možná zpoždění výroby.

Průběžný čas výroby je ve firmě MINERVA BOSKOVICE, a.s. mnohdy určován dle pracovních zkušeností, kteří se danou problematikou zabývají. Vzhledem k interním informacím firmy bude v této práci zmíněna jen výsledný průběžný čas výroby, která byla navržena. Při spolupráci ve firmě bylo určeno, že průběžný čas jedné dávky o 750 kusech součásti držáku podavače podle nově navržené výroby bude $t_{pn} = 11,72$ pracovních dní.

4.8 Náklady na celkovou výrobu

Do nákladů na vyrobení součásti je zahrnuto mnoho dílčích nákladů, mezi které patří například náklady, které jsou nutné na koupení polotovaru, na jejich uskladnění, náklady na výrobu přípravku a jejich uskladnění, na zakoupení a výrobu nástrojů, osvětlení dílen, platy obsluh u jednotlivých strojů, hodinové sazby u strojů, další náklady, které jsou spojeny s administrativou apod.

Celkové náklady jsou opět interní informace, kterou si firma MINERVA BOSKOVICE, a.s., podobně jako u průběžných časů výroby, nepřeje zveřejnit. Proto budou zmíněny jen celkové náklady na výrobu součásti držáku podavače. Při spolupráci ve firmě bylo určeno, že výrobní náklady na jednu součást jsou $N_{cn} = 112,4$ Kč.

5 TECHNICKO-EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

V této kapitole bude technicko-ekonomické vyhodnocení současné výroby součásti držáku podavače a nově navrženého postupu zefektivněné výroby. Také budou rozebrány klíčkové hodnoty pro obě varianty a následně jejich vyhodnocení a srovnání.

5.1 Vyhodnocení současné výroby součásti

Jak bylo zmíněno již ve 4 kapitole diplomové práce, jež se zabývala současnou výrobou součásti držáku podavače, většina práce na součásti probíhá na starší CNC frézce Kitamura Mycenter a následně klasických obráběcích strojích. Vzhledem k mnoha operacím a nutnosti na CNC frézce upínat součást dvakrát, je současná výroba velice náročná. Pro součást byly na začátku vyrobeny dva přípravky, které budou z počátku využity pro novější CNC stroj TAJMAC-ZPS 500 a na ostatních strojích se využily klasická upínací zařízení.

Kvůli mnoha operacím a častému přepínání součásti do přípravků docházelo k prodloužení průběžného času výroby. Také se do výroby vnášely nepřesnosti, protože starší CNC stroj Kitamura Mycenter nebyl schopen obrobít některé závity a také byl problém dodržení předepsaných kolmostí u otvorů 8S7 mm a 6G7 mm, které se následně musely ručně opravovat.

Náklady na zhotovení součásti rostou spolu s množstvím operací, které musí být provedeny. Náklady také rostou s množstvím strojů, které jsou zapotřebí pro výrobu součásti, protože do nákladů je nutné započítat platy jednotlivých operátorů výrobních strojů, také na údržby jednotlivých strojů, větší plochy pro stroje, které jsou potřebné pro výrobu. Vysoký počet operací taktéž zapříčiňuje vyšší náklady na přesun součástí k jednotlivým operacím. Další náklady jsou spojeny s uskladněním přípravků v době, kdy se součást nevyrábí.

Součást držák podavače se v současnosti vyrábí v 18 operacích a celkový kusový čas $t_{KS} = 14,815$ min. Od firmy MINERVA BOSKOVICE a.s. bylo uvedeno, že průběžné časy jedné dávky výroby při $d_v = 750$ kusů je $t_{ps} = 24,31$ pracovních dnů a náklady na celkovou výrobu jednoho držáku podavače jsou $N_{CS} = 167,41$ Kč.

5.2 Vyhodnocení navrženého zefektivnění výroby

Nová varianta výroby součásti je především v náhradě dvou operací na starším CNC stroji Kitamura Mycenter a dalších operací na jiných strojích jedním CNC strojem TAJMAC-ZPS 500 s automatickou výměnou palet. Taktéž budou nahrazeny dva přípravky ze staršího CNC jedním, na kterém budou dvě upnutí, které budou prováděny zároveň při jedné operaci. Další prvek zefektivnění výroby je použití modernějších nástrojů, které mohou mít větší rezné rychlosti a posuvy na CNC stroji TAJMAC-ZPS 500.

Náhradou starší CNC frézy Kitamura Mycenter novějším CNC strojem se sloučí všechny operace, které probíhaly na staré CNC frézce a také některé operace z klasických obráběcích strojů. Všechny tyto operace se sloučí do jedné, která bude uskutečněna na CNC stroji TAJMAC-ZPS 500 ve dvou upnutích. Nižší počet operací ve výrobě a menší počet upnutí součásti zkrátí průběžné časy výroby, zvýší se přesnost a jakost součástí ve výrobě, sníží náklady na výrobu a také sníží zmetkovitost.

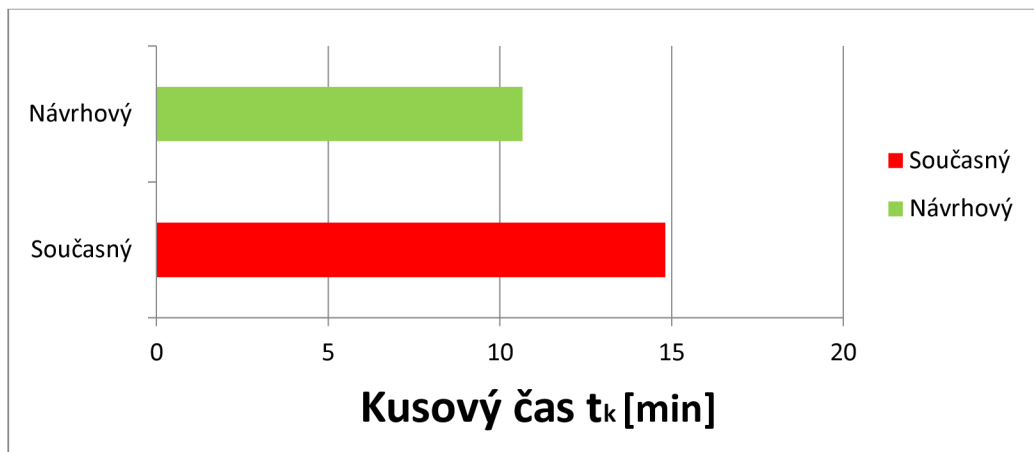
Dle návrhu nového technologického postupu se bude součást podavače vyrábět v 7 operacích. Od firmy MINERVA BOSKOVICE a.s. bylo ve spolupráci určeno, že celkový čas na výrobu jednoho kusu součásti bude $t_{Kn} = 10,655 \text{ min}$. Průběžný čas výroby jedné dávky $d_v = 750 \text{ kusů}$ se bude pohybovat okolo $t_{Pn} = 11,72 \text{ pracovních dnů}$. Náklady na celkovou výrobu jedné součásti držáku podavače budou $N_{Cn} = 112,4 \text{ Kč}$.

Při následném odladění výroby na CNC stroji TAJMAC-ZPS 50, kde je možné změnit řezné parametry, například zvýšit nebo snížit posuvové nebo řezné rychlosti dle sledování obrábění při zavádění součásti do výrobního procesu a při vyrobění prvních součástí držáku podavače. U návrhu nové varianty výroby byly využity řezné podmínky, které u jednotlivých nástrojů doporučuje výrobce. Při následném sledování obrábění prvních kusů po zavedení do výrobního procesu se určí konečné řezné podmínky. Také bude třeba po prvních kusech proměřit otvory zda splňují geometrické tolerance a také toleranci kolmosti, zda bude nutné do postupu výroby zahrnout i operaci na vyrovnávání tolerancí u otvorů, nebo již nebude třeba žádná úprava a tolerancí bude dosaženo již po obrobení na CNC stroji.

5.3 Srovnání stávajícího a navrženého výrobního postupu

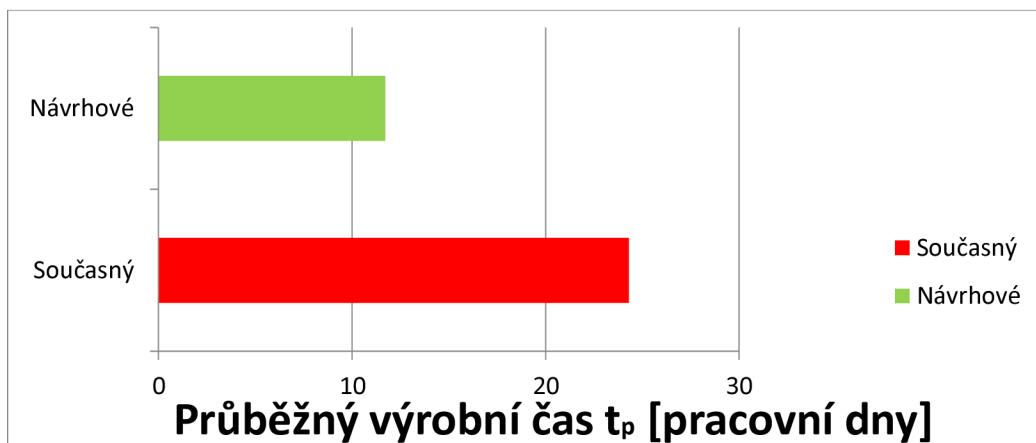
Náhradou stávající varianty výrobního procesu novou se počet operací sníží z nynějších 18 na 7. To povede k vyšší přesnosti výroby a jakosti vyrobených součástí držáku podavače a také k nižší zmetkovitosti díky nižšímu počtu operací a nižšímu počtu upínání součásti.

Změna varianty výroby také sníží celkový kusový čas ze stávajících $t_{Ks} = 14,815 \text{ min}$ na $t_{Kn} = 10,655 \text{ min}$. Snížení kusového času je znázorněno v grafu (viz obr. 5.1). Díky náhradě výrobní varianty by mohl kusový čas výroby klesnout o **4,16 min**.



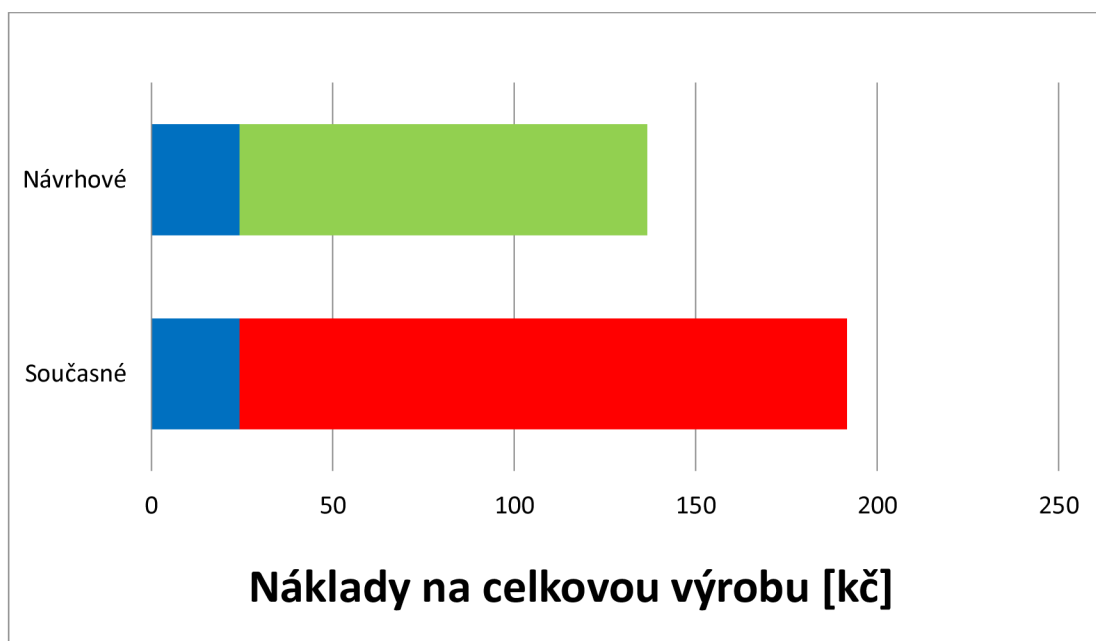
Obr. 5. 1 Srovnání kusových časů současné a návrhové varianty výroby

Průběžný čas vyrobění jedné dávky $d_v = 750 \text{ kusů}$ by se změnou výrobního postupu snížil z nynějších $t_{Ps} = 24,31 \text{ pracovních dnů}$ na $t_{Pn} = 11,72 \text{ pracovních dnů}$. Pokles průběžného času výroby jedné dávky by tedy byl o **12,59 pracovních dnů**. Srovnání těchto dvou variant je znázorněné v grafu (viz obr. 5.2).



Obr. 5. 2 Srovnání průběžného výrobního času pro 750 dílců u současné a návrhové varianty výroby

Náklady na vyrobení jedné součásti držáku podavače s novou variantou výrobního procesu klesne na $N_{cn} = 112,4$ Kč ze současných $N_{cs} = 167,41$ Kč. Celkové náklady na výrobu součásti tedy klesnou o **55,01 Kč**. Náklady na zakoupení polotovaru pro výrobu držáku podavače jsou $N_p=24,31$ Kč, tato hodnota se v celkových nákladech na výrobu nezmění. Porovnání nákladů u těchto dvou variant je znázorněna v grafu (viz obr. 5.3).



Obr. 6. 3 Srovnání výrobních nákladů na celou výrobu jednoho kusu
 Modrá část jsou náklady na zakoupení polotovaru

6 ZÁVĚR

Cíl práce byl návrh zefektivnění výrobního postupu součásti držáku podavače, jež je důležitou součástí v nových šicích strojích M-Type 3 delta, pro firmu MINERVA BOSKOVICE, a.s., která je jedním z předních výrobců a dodavatelů šicích strojů pro průmyslové účely ve světě.

Polotovary pro součásti držáku podavače se dodávají v kooperaci od firmy KOVOLIT Modřice, a.s. a jedná se o výkovky ze slitiny hliníku EN AW - 7075 (AlZn55MgCu). Náklady na koupi jednoho kusu jsou $N_p=24,31$ Kč.

Nová varianta výrobního procesu je především náhrada staršího CNC stroje Kitamura Mycenter a některých klasických obráběcích strojů pomocí jednoho novějšího CNC stroje TAJMAC-ZPS 500, který je vybaven automatickou výměnou palet pomocí otočného stolu, čímž se ušetří čas na upínání a přepínání obrobků do dvou pozic na přípravku. Náhradou staršího CNC stroje a některých klasických strojů dochází ke slučování operací do jedné, která se bude provádět na novějším CNC stroji.

Taktéž se nahradí přípravky, které byly nutné při obrábění na CNC stroji Kitamura Mycenter a klasických strojích jedním, který je vyroben pro dvě upnutí dílce. Tento přípravek, který má na každou ze dvou pozic možnost upnout dva kusy součásti, bude upnut na otočný stůl vybavený automatickou výměnou palet a umožní obrobení součásti ze všech stran ve dvou upnutích.

Volené nástroje mají taktéž značný vliv na výsledek nového návrhu. Vzhledem k tomu, že bude pro obrobení součásti využit CNC stroj TAJMAC-ZPS 500, které umožňuje velké posuvové rychlosti a také vysoké otáčky vřetene, může se pro obrobení součásti využít moderních nástrojů, umožňujících velké řezné rychlosti.

Snížení počtu strojů a operací pro výrobu, na kterých byla součást držák podavače opakovaně přepínána, sníží i vliv člověka na výrobu pomocí CNC stroje a především zvýší produktivitu výrobního procesu, jakost, přesnost obrobků a taktéž se sníží zmetkovitost výroby.

Vedení firmy rozhodlo, že roční série bude obsahovat 4500 kusů této součásti a tato série se bude vyrábět v šesti dávkách v průběhu roku po 750 kusech. Tím se zabrání tomu, aby vyrobené součásti neležely ve skladu a nevázaly velké finanční prostředky. Taktéž by se mohlo stát, že nebudou zakázky na tyto stroje a tím by se jedna dávka mohla zrušit. Výsledky a výpočty této práce se tedy vztahují na jednu výrobní dávku.

Nahrazením současné výrobní varianty klesne počet operací potřebných pro vyrobení součásti držáku podavače ze současných 18 operací na 7 operací. Díky náhradě taktéž dojde ke snížení celkové doby výroby jednoho kusu součásti ze stávajících $t_{Ks} = 14,815$ min na $t_{Kn} = 10,655$ min. Průběžný čas výroby jedné dávky 750 kusů se také sníží ze stávajících $t_{Ps} = 24,31$ pracovních dnů na $t_{Pn} = 11,72$ pracovních dnů. Náklady na vyrobení jedné součásti držáku podavače by se snížily ze současných $N_{Cs} = 167,41$ Kč na $N_{Cn} = 112,4$ Kč.

Při zavádění součásti do výroby se může doba výroby nové varianty měnit, takže se mohou měnit i náklady na výrobu s ní spojené. Výpočty v této práci byly provedeny pomocí řezných podmínek nástrojů, které doporučuje výrobce, a jde tedy o hraniční podmínky nástrojů. Při těchto podmínkách by mohlo docházet k vibracím, které nejsou žádoucí při obrábění, a bude nutné tyto podmínky na CNC stroji nejdříve vyzkoušet spolu s upnutím

součásti držáku podavače v přípravku, které nemusí být dostatečné. Taktéž se bude muset, po obrobení prvních kusů na CNC stroji, zhodnotit, zda jsou geometrické tolerance, především u otvorů, v pořádku již po obrobení na CNC stroji TAJMAC-ZPS 500 nebo bude nutné doplnit technologický postup o operaci, která vyrovná geometrické tolerance.

Výsledky práce:

- počet operací se sníží ze stávajících 18 na 7,
- náhrada dvou operací na CNC stroji Kitamura Mycenter a některých klasických strojů jedním CNC strojem TAJMAC-ZPS 500,
- náhrada přípravků jedním, na kterém budou dvě upnutí pro každou ze dvou pozic,
- sníží se vliv člověka na výrobní proces,
- zvýší se přesnost a jakost obrobených součástí,
- sníží se zmetkovitost,
- sníží se čas výroby jednoho kusu o 4,16 min tedy o 28,08%,
- sníží se průběžný čas výroby jedné dávky o 750 kusech o 12,59 pracovních dní, takže o 51,79 %,
- sníží se celkové náklady na výrobu jedné součásti držáku podavače o 55,01 Kč, takže o 32,86 %.

Výsledek navrženého technologického postupu je vyšší produktivita výroby, nižší náklady na výrobu, vyšší přesnost a jakost součástí, lze tedy říci, že byly splněny všechny cíle zadané v diplomové práci.

7 SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. ŠVEC, Michal. *Postup výroby součástky šicího stroje* [online]. Brno, 2018, 41 s. [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=173673. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Ing. Milan Kalivoda.
2. HUMÁR, Anton. *Technologie 1: Technologie obrábění - 1. část* [online]. Brno, 2003, 138s. [cit.2020-06-06]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/oporysave/TI_TO-1cast.pdf
3. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9.
4. GARANT. *GARANT PŘÍRUČKA OBRÁBĚNÍ*.39.vyd. 843s. ISBN 3-00-016882-6
5. AB SANDVIK COROMANT. *Produktivní obrábění kovů*. Sandvik Coromant, technické vyd.Švédsko: CMSE, 1997.300s. S-811 81 Sandviken, Švédsko.
6. KOČMAN, Karel. *Technologické procesy obrábění*.Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, 330s. ISBN 978-80-7204-722-2.
7. ELUC:Vznik třísky a její druhy. *Elektronická učebnice* [online].[cit.2020-06-6].Dostupné z:<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1190>
8. DE VOS, Patrick.Příručka pro technology:Jak rozpoznat správné utváření třísek?*MM Spektrum* [online]. 2012, (4) [cit. 2020-06-06].Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-jak-rozpoznat-spravne-utvareni-trisek.html>
9. DE VOS, Patrick.Příručka pro technology:Není teplota příliš vysoká nebo nízká?*MM Spektrum* [online]. 2012, (5) [cit. 2020-06-06]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prirucka-pro-technology-neni-teplota-prilisvysoka-nebo-nizka.html>
10. KOČMAN, Karel a Jaroslav PROKOP. *Technologie obrábění*.Brno: CERM, 2001,270s.ISBN 80-214-1996-2.
11. KOČMAN, Karel. *Speciální technologie:obrábění*. 2. přeprac. a dopl.vyd. Brno:PC-DIR, 1998, 213s.Učební texty vysokých škol.ISBN 80-214-1187-2.
12. HUMÁR, Anton. *Materiály pro řezné nástroje*.Praha:MM Publishing, 2008, 235s.ISBN 978-80-254-2250-2.
13. *Příručka obrábění:Kniha pro praktiky*.Praha: Scientia, 1997, 1 svazek v různém stránkování.ISBN 91-972-2994-6.
14. ELUC:Základní pojmy ze soustružení. *Elektronická učebnice* [online].[cit. 2020-06-06].Dostupné z:<https://eluc.kr-olomoucky.cz/verejne/lekce/1219>
15. Frézování:Poloha frézy vůči obrobku. *SANDVIK Coromant* [online].Sweden: Sandviken, 2020 [cit. 2020-06-05].Dostupné z:http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/cutter_position/pages/default.aspx
16. HUMÁR, Anton. *Technologie 1: Technologie obrábění - 2. část* [online].2004 [cit.2020-06-02].Dostupné z:http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf
17. NORMA. *Hliník a slitina hliníku:Chemické složení a druhy tvářených výrobků*.Praha:Úřad pro technickou normalizaci, metrologii a státní zkušebnictví, 2014,40 s.
18. Tabulka slitin. *STROJMETAL* [online].eBRÁNA s.r.o., 2016[cit. 2016-04-19].

- Dostupné z: <http://www.strojmetal.cz/tabulka-slitin>
19. LEINVEBER, Jan a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 3., dopl. vyd. Úvaly: Albra, 2006. ISBN 80-736-1033-7.
 20. MINERVA BOSKOVICE, a.s. *Výkres součásti držáku jehelní tyče*. Boskovice, 1979.
 21. *Zigzag machines for medium-weight applications and decorative stitching with DAC* [online]. Germany: Dürkopp Adler AG, 2012, 6s. [cit. 2020-06-04]. Dostupné z: <http://www.minerva-boskovice.cz/dmp/printFLO/preferences/Clients/18/assetFlo/files/1100932819169.pdf>
 22. *Zigzag machines for medium-weight application with DAC* [online]. Germany: Dürkopp Adler AG, 2012, 6s. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <http://www.minervaboskovice.cz/dmp/printFLO/preferences/Clients/18/assetFlo/files/1084011177448.pdf>
 23. Kovárna.KOVOLIT [online]. KOVOLIT, a.s. [cit. 2020-04-16]. Dostupné z: <http://www.kovolit.cz/kovarna>
 24. MINERVA BOSKOVICE, a.s. *Technologický postup držáku podavače*. Boskovice.
 25. TAJMAC-ZPS 500. *TAJMAC-ZPS* [online], 2018 [cit. 2020-04-25]. Dostupné z: <https://www.tajmac-zps.cz/skupina-tajmac>
 26. GÜHRING: Navigator. *GÜHRING* [online]. Německo, 2014 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: <http://navigator.guehring.de/navigator/index.php?mod=sta>
 27. ISCAR: eCatalog. *ISCAR* [online]. 2020 [cit. 2020-05-02]. Dostupné z: <https://www.iscar.com/eCatalog/>
 28. M&V: E-katalog pro nakupování. *M&V* [online]. 2020 [cit. 2020-06-02]. Dostupné z: <http://katalog.mav.cz/detail.php?id=53076>
 29. Nástroje pro frézování [online]. 4. vyd. NAREX Consult, a.s., 2010 [cit. 2020-05-01]. Dostupné z: http://www.mav.cz/data/katalog/k_frez.pdf
 30. MINERVA BOSKOVICE, a.s. *MINERVA* [online]. 2008 [cit. 2020-02-01]. Dostupné z: <http://www.minerva-boskovice.cz/dmp/printflo/content/18/17/default.aspx>

8 SEZNAM VYUŽITÝCH ZKRATEK A SYMBOLŮ

| Zkratka | Jednotka | Popis |
|----------------|----------|---------------------------------------|
| CNC | [-] | Computer Numeric Control |
| ČSN | [-] | Česká státní norma |
| CAD | [-] | Computer Aided Design |
| HSS | [-] | High Speed Steel |
| SK | [-] | Slinutý karbid |
| HBW | [-] | Tvrдость podle brinella |
| RO | [-] | Rychlořezná ocel |
| TPV | [-] | Technická příprava výroby |
| S-N-P-O | [-] | Stroj – nástroj – přípravek - obrobek |
| VBD | [-] | Výměnné břitové destičky |

| Symbol | Jednotka | Popis |
|-------------------------|----------|--|
| A₅ | [%] | Tažnost |
| D | [mm] | Nástrojový průměr |
| E_e | [J] | Vydaná energie |
| B | [mm] | Šířka obráběného materiálu |
| H | [mm] | Hloubka odebírané vrstvy |
| L | [mm] | Délka nástrojové dráhy |
| M_i | [-] | Měřidla |
| N_{cu} | [Kč] | Náklady na novou výrobní variantu |
| N_p | [Kč] | Náklady na koupi polotovaru |
| P_{fe} | [-] | Boční pracovní rovina |
| Q | [J] | Teplo – celkové |
| Q_n | [J] | Teplo – odvedené pomocí nástroje |
| Q_o | [J] | Teplo – odvedené pomocí obrobku |
| Q_{pd} | [J] | Teplo – vznik v oblastech plastických deformací |
| Q_t | [J] | Teplo – odvedené pomocí třísky |
| Q_{pr} | [J] | Teplo – odvedené pomocí prostředí |
| Q_γ | [J] | Teplo – vznik v třením třísky po čele |
| Q_α | [J] | Teplo – vznik v oblasti tření přechodové plochy obrobku o hřbet nástroje |
| R_m | [MPa] | Mez v pevnosti |
| R_{p0,2} | [Mpa] | Mez v kluzu |
| T_i | [-] | Nástroje |

| | | |
|-----------|---------------------------------------|---|
| a_p | [mm] | Šířka zabírání hlavního ostří |
| e | [mm] | Vyosení |
| f_z | [mm] | Posuv na zub |
| f | [mm] | Posuv za otáčku |
| i | [-] | Množství řezů |
| l | [mm] | Délka obrábění |
| l_n | [mm] | Náběhová délka |
| l_{nf} | [mm] | Náběhová délka frézy |
| l_p | [mm] | Přeběhová délka |
| l_{pf} | [mm] | Přeběhová délka frézy |
| l_f | [mm] | Délka řezu |
| n | [min^{-1}] | Nástrojové otáčky |
| n_v | [-] | Počet výměn nástrojů |
| t_{AS} | [min] | Strojní čas pro jednu součást |
| t_{ASH} | [min] | Jednotkový strojní čas na stroji TAJMAC-ZPS 500 |
| t_{ASj} | [min] | Jednotkový strojní čas nástrojů |
| t_{AVH} | [min] | Vedlejší strojní časy na stroji TAJMAC-ZPS 500 |
| t_{BH} | [min] | Výrobní čas jedné dávky na stroji TAJMAC-ZPS 500 |
| t_{Bn} | [min] | Výrobní čas dávky 750 kusů pomocí nové varianty výrobního procesu |
| t_{Bs} | [min] | Výrobní čas dávky 750 kusů pomocí současné varianty výroby |
| t_{KH} | [min] | Kusový čas operace na stroji TAJMAC-ZPS 500 |
| t_{Kj} | [min] | Kusový čas pro jednotlivé operace |
| t_{Kn} | [min] | Kusový čas pomocí nové varianty výroby součásti |
| t_{Ki} | [min] | Kusový čas pomocí stávající varianty výroby součásti |
| t_{PH} | [min] | Přípravný čas stroje TAJMAC-ZPS 500 |
| t_{Pn} | [den] | Průběžný čas nové varianty výroby |
| t_{Ps} | [den] | Průběžný čas současné varianty výroby |
| t_{ij} | [min] | Doba v řezu u jednotlivých nástrojů |
| t_u | [min] | Časy pro upínání a výměnu kusů |
| t_v | [min] | Některé vedlejší časy |
| t_{vn} | [min] | Průměrný čas výměny nástroj |
| v_c | [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] | Řezná rychlost |
| v_d | [ks] | Výrobní dávka |
| v_e | [$\text{m} \cdot \text{min}^{-1}$] | Rychlost řezného pohybu |
| v_f | [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] | Rychlost posuvu |
| z | [-] | Počet zubů |

| | | |
|-----------|-----|---------------------|
| φ | [°] | Úhel posuvu |
| ϕ | [°] | Střížný úhel |
| η | [°] | Úhel řezného pohybu |

9 SEZNAM PŘÍLOH

- Příloha 1 Výkres součásti držáku podavače z firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. [20].
- Příloha 2 Současný technologický postup přepsaný od firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. [24].
- Příloha 3 Nový technologický postup pro výrobní proces součásti držáku podavače.
- Příloha 4 Vypočtené a naměřené hodnoty.

Příloha 1

Výkres součásti držáku podavače z firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. [20].

Konstruktion: **0867 164030 A**

Technische Zeichnung

Einzelstücke d. Holz-Bearbeitung (gerader/abgewinkelte) **616/10** (32°/37°) **52/120** (29°/30°) **129/100** (über 40°) **37°** **38°** **39°** **30°** **35°**

Lebensdauer (Stöße/Min) **1000** **2000** **3000** **4000** **5000** **6000** **7000** **8000** **9000** **10000**

Spindelnummer **130** **150** **170** **190** **210** **230** **250** **270** **290** **310** **330** **350** **370** **390** **410** **430** **450** **470** **490** **510** **530** **550** **570** **590** **610** **630** **650** **670** **690** **710** **730** **750** **770** **790** **810** **830** **850** **870** **890** **910** **930** **950** **970** **990**

DIN **34**

Property of Bürkopp Adler AG and protected by copyright. Any reuse of these contents, including extracts, is prohibited without the prior written approval of Bürkopp Adler AG. All rights reserved. Copyright © Bürkopp Adler AG

0867 164030 A

Bei Änderung beachten: 0867 165403

Kb 0,2; $\sqrt{Ra 12,5}$ $\sqrt{Ra 3,2}$ $\sqrt{Ra 1,6}$

V=16,196cm³

M 1:2

Overovací serie

| Anmerkung: | | Material: | | Maßstab: | |
|--|--|---|--|-----------------|-------------------------------------|
| Ein-Kante abgerundet ; Kb-Kante gekantet | | Aus 0867 164031 gefertigt | | 1:1 (1:2) | |
| | | | | | |
| Eigenschaften: | | Eigenschaften: | | Eigenschaften: | |
| Öl- u. Fettbeständig | Zug- u. Lochl. DIN 108 1/1 | Oberflächen nach DIN 138 (135 u. 136) | 1:1 (1:2) | Klassifizierung | Teilenummer |
| DIN 34 | DÖRKOPP ADLER AG Birkopp Adler | Gew. 08.66.20.1 Messwerk Ggw. Buechlak | Anmerkung Transporteurträger | | Teil Nummer 0867 164030 A |

Příloha 2

Současný technologický postup přepsaný od firmy MINERVA BOSKOVICE, a.s. [24]

| OPERACE | PRADOVIŠTĚ (STROJ) | ÚSEK | PRÁCE – POPIS | KUSOVÝ ČAS [min] |
|---------|------------------------------|------|---|------------------|
| 0010 | Ruční práce | 10 | Brousí švy – napojí (mimo výstupky pro podavač) | 1,024 |
| 0020 | Omílací bubny | 10 | Omílá ve vibračním bubnu R125 | 0,089 |
| | | 20 | Proplach, suší | |
| 0030 | Frézka vertikální | 10 | Upne do svěráku do PF | 0,792 |
| | | 20 | Porovná základnu pro PV v operaci 40 | |
| | | 30 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| 0040 | Kitamura Mycenter CNC frézka | 10 | Upne do PV 2 kusy | 4,365 |
| | | 20 | Frézuje nábojky ku míře 10,1 h9 mm a ku míře 20 mm z horní strany – hrub + šlicht (dodržen kolmost) | |
| | | 30 | Frézuje nábojky na míru 10,1 h9 mm a na míru 20 mm ze spodní strany – hrub + šlicht (dodržen kolmost) | |
| | | 40 | Navrtá 2x – s odjehlením | |
| | | 50 | Vrtá otvor Ø5,5 mm | |
| | | 60 | Vrtá otvor Ø7,5 mm | |
| | | 70 | Převrtá otvor Ø7,8 mm | |
| | | 80 | Převrtá otvor Ø5,8 mm | |
| | | 90 | Odjehlí 2x | |
| | | 100 | Vystruží na Ø8S7 mm | |
| | | 110 | Vystruží na Ø6G7 mm | |
| | | 120 | Mimo přípravek odjehlí otvory z druhé strany | |
| | | 130 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| 0050 | Ruční práce při měření | 10 | Kontroluje dle OSQ mezioperační kontrola | - |
| | | 20 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| 0060 | Kitamura Mycenter CNC frézka | 10 | Upne do PF 3 kusy | 3,395 |
| | | 20 | Frézuje nábojku na míru 5,1±0,1 mm (4,1±0,1 + 1) mm a plochy pro podavač na míru 1 – hrub + šlicht | |

| | | | | |
|------|-----------------------------------|----|---|-------|
| | | 30 | Navrtá – 2x s odjehlením | |
| | | 40 | Vrtá otvory Ø4,2 mm do hl. 1 mm 2x | |
| | | 50 | Dovrtá otvory Ø3,3 mm pro M4 do hl. 14 mm | |
| | | 60 | Řeže závity M4 do hl. 11 mm–2x | |
| | | 70 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| 0070 | Ruční práce při měření | 10 | Kontroluje dle OSQ mezioperační kontrola | - |
| | | 20 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| 0080 | Ruční práce | 10 | Odjehlí po frézování | 0,828 |
| | | 20 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| 0090 | Omílací bubny | 10 | Omílá ve vibračním bubnu dle zvláštního předpisu + přísada FC 230 doba: 120 minut | 0,089 |
| | | 20 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| 0100 | Vrtačky řadové | 10 | Upne do PV | 0,82 |
| | | 20 | Vrtá otvory Ø5 mm pro M6 – 2x | |
| | | 30 | Mimo PV otvory odjehlí | |
| | | 40 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| 0110 | Vrtačka stojanová závitořez | 10 | Upne do PV | 0,447 |
| | | 20 | Řeže závity M6 – 2x | |
| | | 30 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| 0120 | Ruční práce | 10 | Kalibruje otvor Ø6G7 mm | 0,196 |
| | | 20 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| 0130 | Ruční práce - rovnání | 10 | Rovná rovnoběžnost otvorů | 1,956 |
| | | 20 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| 0140 | Ruční práce při měření | 10 | Kontroluje dle SQL mezioperační kontrola | - |
| | | 20 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| 0150 | Ruční práce | 10 | Našroubuje záv. kolíky – 2x | 0,447 |
| | | 20 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| 0160 | Čistící zařízení pero | 10 | Čistí | 0,288 |
| | | 20 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| 0170 | Vrtačky řadové | 10 | Upne do PLIS pod vrtačku | 0,288 |
| | | 20 | Nalisuje čep na míru 6,55±0,1 mm – měří pomocí MK | |
| | | 30 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |

| | | | | |
|---------------------------|------------------------|----|--|-----------------|
| 0180 | Ruční práce při měření | 10 | Kontroluje dle OSQ mezioperační kontrola | - |
| | | 20 | Uloží do bedny, proloží sololitem | |
| Celkový kusový čas | | | | Σ 14,815 |

Příloha 3

Nový technologický postup pro výrobní proces součásti držáku podavače.

| Název: Držák podavače | | Číslo dílce: 0667 156403 | | | | |
|----------------------------|---------------------------------------|--|---|------------------|--|--|
| Pol.: Výkovek ČSN EN 573-3 | | Hm. Součásti: 0,0453 | Materiál: EN AW - 7075 | | | |
| Č. op. | Název stroje, číslo stroje | Úk. | Popis práce v operaci | Nástroj, měřidlo | | |
| 0010 | TAJMAC-ZPS H500 45226 | 10 | Upne do první polohy PV 449-1420 – 2 kusy | | | |
| | | 20 | Porovná základnu pro další upínání Frézuje nábojky ku míře 10,1h9 mm a ku míře 20 mm z horní strany – hrub | T1 | | |
| | | 30 | Frézuje nábojky na míru 10,1h9 mm a na míru 20 mm ze spodní strany – hrub | T13 | | |
| | | 40 | Navrtá 4x - s odjehlením | T2 | | |
| | | 50 | Navrtá 2x pro M6 | T8 | | |
| | | 60 | Vrtá otvor Ø7,5 mm | T4 | | |
| | | 70 | Vrtá otvor Ø5,5 mm | T3 | | |
| | | 80 | Převrtá na Ø7,8 mm | T6 | | |
| | | 90 | Vystruží na Ø8S7 mm | T11 | | |
| | | 100 | Vrtá 2 otvory Ø5 mm pro M6 | T9 | | |
| | | 110 | Řeže 2 závity M6 | T10 | | |
| | | 120 | Převrtá na Ø5,8 mm | T5 | | |
| | | 130 | Vystruží na Ø6G7 mm (dodržet rovnoběžnost) | T12 | | |
| | | 140 | Odjehlí otvory | T7 | | |
| | | **** Přepne do druhé polohy PV 449-1420 – 2 kusy | | | | |
| | | 150 | Frézuje nábojku na míru 5,1 ±0,1 a plochy pro podavač – hrub, šlicht | T1 | | |
| | | 160 | Vrtá otvory Ø4,2 – 2x | T14 | | |
| | | 170 | Dovrtá otvory Ø3,3 pro závity M4 | T15 | | |
| | | 180 | Řeže závity M4 – 2x | T16 | | |
| | | 190 | Frézuje nábojky ku míře 10,1h9 a ku míře 20 mm z horní strany – šlicht | T1 | | |
| | | 200 | Frézuje nábojky na míru 10,1h9 a na míru 20 mm ze spodní strany – šlicht | T13 | | |
| 200 | Mimo PV odjehlí otvory z druhé strany | | | | | |
| 210 | Uloží do bedny | | | | | |
| 0020 | Ruční práce při měření 09892 | 10 | Kontroluje dle OSQ – mezioperační kontrola | M1 - M5 | | |
| 0030 | Ruční práce 09426 | 10 | Odjehlí po frézování | | | |
| | | 20 | Uloží do bedny | | | |

| | | | | |
|------|------------------------|----|---|---------|
| 0040 | Omílací bubny | 10 | Omílá, tělíška RM20/20/08E + FC230, doba setrvání 2 hod | - |
| | | 20 | Propláchně, vyfouká otvory stlačeným vzduchem, vysuší | |
| | | 30 | Uloží do bedny | |
| 0050 | Ruční práce | 10 | Našroubuje záv. kolíky – 2x | - |
| | | 20 | Uloží do bedny | |
| 0060 | Vrtačky řadové | 10 | Upne do PLIS pod vrtačku | - |
| | | 20 | Nalisuje čep na míru $6,55 \pm 0,1$ – měří pomocí MK | |
| | | 30 | Uloží do bedny | |
| 0070 | Ruční práce při měření | 10 | Kontroluje dle OSQ mezioperační kontrola | M1 - M5 |
| | | 20 | Uloží do bedny | |

Příloha 4

Vypočtené a naměřené hodnoty.

| Úkon | L [mm] | i [-] | n [min^{-1}] | f_z [mm] | z [-] | f [mm] | t_{Asj} [min] |
|--------------------|--------|-------|-------------------------|------------|-------|--------|-----------------|
| Nástroj T1 | | | | | | | |
| 20 | 50 | 2 | 1989 | 0,150 | 5 | 0,750 | 0,0670 |
| 150 | 72 | 1 | 1989 | 0,150 | 5 | 0,750 | 0,0483 |
| 190 | 38 | 1 | 1989 | 0,150 | 5 | 0,750 | 0,0255 |
| Nástroj T2 | | | | | | | |
| 40 | 4 | 4 | 7957 | - | - | 0,150 | 0,0134 |
| Nástroj T3 | | | | | | | |
| 70 | 20 | 2 | 11574 | - | - | 0,215 | 0,0104 |
| Nástroj T4 | | | | | | | |
| 60 | 10,1 | 2 | 8488 | - | - | 0,260 | 0,0073 |
| Nástroj T5 | | | | | | | |
| 120 | 4 | 2 | 8232 | - | - | 0,275 | 0,0116 |
| Nástroj T6 | | | | | | | |
| 80 | 10,1 | 2 | 6121 | - | - | 0,210 | 0,0204 |
| Nástroj T8 | | | | | | | |
| 50 | 11 | 2 | (12000) | - | - | 0,150 | 0,0044 |
| Nástroj T9 | | | | | | | |
| 100 | 11 | 2 | (8000) | - | - | 0,210 | 0,0131 |
| Nástroj T10 | | | | | | | |
| 110 | 10 | 2 | 795 | - | - | 0,800 | 0,0314 |
| Nástroj T11 | | | | | | | |
| 90 | 13,1 | 1 | 954 | - | - | 0,240 | 0,0616 |
| Nástroj T12 | | | | | | | |
| 130 | 24 | 1 | 716 | - | - | 0,200 | 0,1676 |
| Nástroj T13 | | | | | | | |
| 30 | 38 | 1 | 875,35 | 0,050 | 22 | 1,1 | 0,0395 |
| 200 | 38 | 1 | 875,35 | 0,050 | 22 | 1,1 | 0,0395 |
| Nástroj T14 | | | | | | | |
| 160 | 3 | 2 | (12000) | - | - | 0,205 | 0,0024 |
| Nástroj T15 | | | | | | | |
| 170 | 16 | 2 | (12000) | - | - | 0,190 | 0,0140 |

| Nástroj T16 | | | | | | | |
|-------------|----|---|------|---|---|-------|--------|
| 180 | 13 | 2 | 1989 | - | - | 0,800 | 0,0163 |