

Technologická příprava výroby odlévaných dílů

Bc. Marcel Juříčka

Diplomová práce
2013



Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně
Fakulta technologická

Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně

Fakulta technologická

Ústav výrobního inženýrství

akademický rok: 2012/2013

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Bc. Marcel JUŘIČKA**

Osobní číslo: **T11027**

Studijní program: **N3909 Procesní inženýrství**

Studijní obor: **Výrobní inženýrství**

Forma studia: **kombinovaná**

Téma práce: **Technologická příprava výroby odlévaných dílů**

Zásady pro vypracování:

1. Provedte studium teorie a technologie frézování a vrtání.
2. Hodnoťte technologickou přípravu výroby.
3. Hodnoťte řezné síly a jakost povrchů.
4. Určete způsob upnutí a přesnost výrobků.

Rozsah diplomové práce:

Rozsah příloh:

Forma zpracování diplomové práce: **tištěná/elektronická**

Seznam odborné literatury:

Jurko, J. Lukovics, I.: Vrtanie-technologická metóda výroby dier. UTB Zlín, 2007. ISBN 978-80-7318-488-9.

Kocman, K.: Technologie obrábění. CERM Brno, 2011. ISBN 80-214-3068-0.

Lukovics, I.: Konstrukční materiály a technologie. VUT Brno, 1990. ISBN 80-214-0399-3.

Neslušan, M. aj.: Experimentálne metódy v obrábani. EDIS Žilina, 2007.

ISBN978-8070-711-8.

Vedoucí diplomové práce: **prof. Ing. Imrich Lukovics, CSc.**
Ústav výrobního inženýrství

Datum zadání diplomové práce: **8. února 2013**

Termín odevzdání diplomové práce: **10. května 2013**

Ve Zlíně dne 11. února 2013


doc. Ing. Roman Čermák, Ph.D.
děkan




prof. Ing. Berenika Hausnerová, Ph.D.
ředitel ústavu

Příjmení a jméno:

Obor:

PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že

- beru na vědomí, že odevzdáním diplomové/bakalářské práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, bez ohledu na výsledek obhajoby ¹⁾;
- beru na vědomí, že diplomová/bakalářská práce bude uložena v elektronické podobě v univerzitním informačním systému dostupná k nahlédnutí, že jeden výtisk diplomové/bakalářské práce bude uložen na příslušném ústavu Fakulty technologické UTB ve Zlíně a jeden výtisk bude uložen u vedoucího práce;
- byl/a jsem seznámen/a s tím, že na moji diplomovou/bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, zejm. § 35 odst. 3 ²⁾;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 1 autorského zákona má UTB ve Zlíně právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla v rozsahu § 12 odst. 4 autorského zákona;
- beru na vědomí, že podle § 60 ³⁾ odst. 2 a 3 mohu užít své dílo – diplomovou/bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití jen s předchozím písemným souhlasem Univerzity Tomáše Bati ve Zlíně, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše);
- beru na vědomí, že pokud bylo k vypracování diplomové/bakalářské práce využito softwaru poskytnutého Univerzitou Tomáše Bati ve Zlíně nebo jinými subjekty pouze ke studijním a výzkumným účelům (tedy pouze k nekomerčnímu využití), nelze výsledky diplomové/bakalářské práce využít ke komerčním účelům;
- beru na vědomí, že pokud je výstupem diplomové/bakalářské práce jakýkoliv softwarový produkt, považují se za součást práce rovněž i zdrojové kódy, popř. soubory, ze kterých se projekt skládá. Neodevzdání této součásti může být důvodem k neobhájení práce.

Ve Zlíně

.....

1) zákon č. 111/1998 Sb. o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších právních předpisů, § 47 Zveřejňování závěrečných prací:

(1) Vysoká škola nevydělečně zveřejňuje disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce, u kterých proběhla obhajoba, včetně posudků oponentů a výsledku obhajoby prostřednictvím databáze kvalifikačních prací, kterou spravuje. Způsob

- zveřejnění stanoví vnitřní předpis vysoké školy.*
- (2) *Disertační, diplomové, bakalářské a rigorózní práce odevzdané uchazečem k obhajobě musí být též nejméně pět pracovních dnů před konáním obhajoby zveřejněny k nahlížení veřejnosti v místě určeném vnitřním předpisem vysoké školy nebo není-li tak určeno, v místě pracoviště vysoké školy, kde se má konat obhajoba práce. Každý si může ze zveřejněné práce pořizovat na své náklady výpisy, opisy nebo rozmnoženiny.*
 - (3) *Platí, že odevzdáním práce autor souhlasí se zveřejněním své práce podle tohoto zákona, bez ohledu na výsledek obhajoby.*
- 2) *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 35 odst. 3:*
- (3) *Do práva autorského také nezasahuje škola nebo školské či vzdělávací zařízení, užije-li nikoli za účelem přímého nebo nepřímého hospodářského nebo obchodního prospěchu k výuce nebo k vlastní potřebě dílo vytvořené žákem nebo studentem ke splnění školních nebo studijních povinností vyplývajících z jeho právního vztahu ke škole nebo školskému či vzdělávacímu zařízení (školní dílo).*
- 3) *zákon č. 121/2000 Sb. o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon) ve znění pozdějších právních předpisů, § 60 Školní dílo:*
- (1) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení mají za obvyklých podmínek právo na uzavření licenční smlouvy o užití školního díla (§ 35 odst. 3). Odpirá-li autor takového díla udělit svolení bez vážného důvodu, mohou se tyto osoby domáhat nahrazení chybějícího projevu jeho vůle u soudu. Ustanovení § 35 odst. 3 zůstává nedotčeno.*
 - (2) *Není-li sjednáno jinak, může autor školního díla své dílo užít či poskytnout jinému licenci, není-li to v rozporu s oprávněnými zájmy školy nebo školského či vzdělávacího zařízení.*
 - (3) *Škola nebo školské či vzdělávací zařízení jsou oprávněny požadovat, aby jim autor školního díla z výdělku jím dosaženého v souvislosti s užitím díla či poskytnutím licence podle odstavce 2 přiměřeně přispěl na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložily, a to podle okolností až do jejich skutečné výše; přitom se přihlédne k výši výdělku dosaženého školou nebo školským či vzdělávacím zařízením z užití školního díla podle odstavce 1.*

ABSTRAKT

Tato diplomová práce se zabývá upínáním odlévaných výrobků při vytváření technologických základen. Cílem je navrhnout a popsat způsob upínání při výrobě komponentu do hydraulického čerpadla. V teoretické části je zmíněn přehled výroby odlévaných dílů, nejčastějších metod opracování odlitků, vlivy působící na jakost opracované plochy a možnosti upínání na magnetických upínačích. V praktické části je návrh přípravku na opracování, včetně výpočtů řezných a upínacích sil.

Klíčová slova: odlitek, opracování, hydraulické čerpadlo, upínání obrobků

ABSTRACT

This thesis deals with the clamping of cast products in the creation of technology platforms. The aim is to design and describe the way in the production of component clamping hydraulic pump. The theoretical part is mentioned overview of production of cast parts, the most common methods of castings, influences on the quality of the machined surfaces and the possibility of clamping on magnetic chucks. The practical part of the design of plant processing, including calculations of cutting and clamping forces.

Keywords: casting, machining, hydraulic pump, workholding

Děkuji panu Prof. Ing. Imrichu Lukovicsovi, CSc. za odborné vedení, cenné rady a ochotu při zpracovávání této diplomové práce.

OBSAH

| | |
|--|-----------|
| ÚVOD..... | 10 |
| I TEORETICKÁ ČÁST..... | 11 |
| 1 VÝROBA ODLITKŮ..... | 12 |
| 1.1 ZÁKLADNÍ ROZDĚLENÍ SLÉVÁRENSKÉ TECHNOLOGIE..... | 12 |
| 1.2 MATERIÁLY POUŽÍVANÉ NA VÝROBU ODLITKŮ..... | 13 |
| 1.2.1 Oceli na odlitky..... | 13 |
| 1.2.2 Litiny | 13 |
| 1.2.3 Slitiny neželezných kovů..... | 14 |
| 1.3 VÝHODY A NEVÝHODY SLÉVÁRENSKÉ TECHNOLOGIE..... | 15 |
| 1.3.1 Výhody odlitků..... | 15 |
| 1.3.2 Nevýhody odlitků..... | 15 |
| 1.4 VADY ODLITKŮ..... | 16 |
| 1.4.1 Vady odlitků z hlediska použití v hydraulických systémech..... | 16 |
| 1.5 POROVNÁNÍ ODLITKŮ S DALŠÍMI POLOTOVARY..... | 17 |
| 2 METODY OPRACOVÁNÍ SUROVÝCH ODLITKŮ..... | 18 |
| 2.1 SOUSTRUŽENÍ..... | 18 |
| 2.2 FRÉZOVÁNÍ..... | 18 |
| 2.3 VRTÁNÍ..... | 20 |
| 3 ŘEZNÉ SÍLY PŮSOBÍCÍ PŘI OPRACOVÁNÍ..... | 21 |
| 3.1 ŘEZNÉ SÍLY PŘI SOUSTRUŽENÍ..... | 21 |
| 3.2 ŘEZNÉ SÍLY PŘI FRÉZOVÁNÍ..... | 23 |
| 3.3 ŘEZNÉ SÍLY PŘI VRTÁNÍ..... | 24 |
| 4 VLIV TECHNOLOGIE OPRACOVÁNÍ NA JAKOST OBROBENÉ PLOCHY..... | 26 |
| 4.1 VLIV METODY OPRACOVÁNÍ NA JAKOST OBROBENÉ PLOCHY..... | 26 |
| 4.2 ŘEZNÉ PODMÍNKY..... | 27 |
| 4.3 OBROBITELNOST MATERIÁLŮ..... | 27 |
| 4.3.1 Vliv vlastností materiálů na obrobitelnost..... | 28 |
| 4.4 ŘEZNÉ NÁSTROJE..... | 28 |
| 4.4.1 Nástrojové materiály..... | 28 |
| 4.4.2 Geometrie nástroje..... | 29 |
| 4.5 VIBRACE STROJE..... | 31 |
| 4.6 UPNUTÍ NÁSTROJE A OBROBKU..... | 32 |
| 5 MAGNETICKÉ UPÍNAČE..... | 33 |
| 5.1 ELEKTROMAGNETICKÝ UPÍNAČ..... | 33 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 5.2 | MAGNETICKÝ UPÍNAČ S PERMANENTNÍMI MAGNETY..... | 34 |
| 5.2.1 | Druhy permanentních magnetů..... | 35 |
| 5.3 | ELEKTROPERMANENTNÍ UPÍNAČ..... | 35 |
| 6 | HYDRAULICKÉ STROJE..... | 38 |
| 6.1 | ČERPADLA (HYDROGENERÁTORY)..... | 38 |
| 6.2 | ZUBOVÉ ČERPADLA..... | 38 |
| 6.3 | ZUBOVÉ ČERPADLA S VNĚJŠÍM OZUBENÍM..... | 39 |
| 6.4 | KOMPONENTY HYDRAULICKÝCH ZUBOVÝCH ČERPADEL..... | 39 |
| II | PRAKTICKÁ ČÁST..... | 41 |
| 7 | CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI..... | 42 |
| 8 | VÝROBA ODLITKU..... | 43 |
| 8.1 | VÝROBNÍ TECHNOLOGIE – ODLÉVÁNÍ DO PÍSKOVÝCH FOREM..... | 43 |
| 8.2 | MATERIÁL ODLITKU..... | 44 |
| 9 | UPNUTÍ ODLITKU PŘI OPRACOVÁNÍ..... | 45 |
| 9.1 | OBRÁBĚCÍ CENTRUM..... | 45 |
| 9.2 | MAGNETICKÝ UPÍNAČ..... | 46 |
| 9.2.1 | Drsnost odlitku – vzduchová mezera..... | 47 |
| 10 | ŘEZNÉ SÍLY PŮSOBÍCÍ PŘI OPRACOVÁNÍ..... | 49 |
| 10.1 | NÁSTROJ A DRÁHA NÁSTROJE..... | 50 |
| 10.2 | VÝPOČET ŘEZNÝCH SIL PRO OPERACI FRÉZOVÁNÍ..... | 50 |
| 10.3 | VÝPOČET ŘEZNÝCH SIL PRO OPERACI VRTÁNÍ..... | 52 |
| 11 | ROZEBIRATELNÉ SPOJENÍ MAGNETICKÉHO UPÍNAČE PŘÍPRAVKU..... | 54 |
| 11.1 | ZPŮSOB SPOJENÍ A ARETACE MAGNETICKÉHO UPÍNAČE A PŘÍPRAVKU..... | 54 |
| 11.2 | KOLÍK 8..... | 55 |
| 11.3 | NAMÁHÁNÍ KOLÍKU..... | 56 |
| 12 | VYHODNOCENÍ PŮSOBENÍ ŘEZNÝCH A UPÍNACÍCH SIL..... | 59 |
| 12.1 | UPÍNACÍ SÍLA..... | 59 |
| 12.2 | ŘEZNÉ SÍLY..... | 59 |
| 12.3 | ARETACE PŘÍPRAVKU POMOCÍ KOLÍKU..... | 59 |
| 13 | ZÁVĚR..... | 61 |
| | SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY..... | 62 |
| | SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK..... | 64 |
| | SEZNAM OBRÁZKŮ..... | 66 |
| | SEZNAM TABULEK..... | 67 |
| | SEZNAM PŘÍLOH..... | 68 |

ÚVOD

Výroba odlévaných výrobků a technologie třískového obrábění jsou velice podstatnou součástí současného strojírenství. S vývojem nových konstrukčních materiálů rostou požadavky na celý proces obrábění z hlediska optimalizace řezných podmínek a jakosti opracování. S rozvojem slévárenské technologie je spojen především vývoj počítačových aplikací – CAD systémů.

Základní metody třískového obrábění jsou nedílnou součástí dalšího zpracování odlévaných výrobků na hotové a funkční výrobky. Tyto výrobky jsou součástí složitých systémů, které se ve strojírenství neustále vyvíjí. Na jedné straně je snaha zdokonalovat užité vlastnosti polotovarů, na druhé straně je nutné tomu přizpůsobit i konstrukční materiály nástrojů na obrábění.

Z hlediska ekonomiky výroby jednotlivých součástí je důležité, aby obrobky byly vyrobeny co nejefektivněji a co nejhospodárněji. V této diplomové práci se zabývám upnutím odlévaných výrobků při třískovém obrábění. Cílem je navrhnout takový přípravek, který by splňoval požadavky na funkčnost a zároveň, aby čas upnutí byl co nejkratší. Zaměřuji se hlavně na požadavek splnění funkčnosti, tzn. výpočet řezných a upínacích sil. Přípravek na upnutí je založen na magnetickém upínači, který nabízí časovou úsporu oproti mechanickým upínačům, ale zároveň má svá specifika z hlediska vlastností upínaného materiálu a drsnosti upínané plochy.

I. TEORETICKÁ ČÁST

1 VÝROBA ODLITKŮ

Výroba odlitků je netřískové výrobní odvětví, kde se kromě hlavního technologického procesu uplatňuje také vliv a vlastnosti pomocných slévárenských surovin.

Principem výroby odlitků, je vyplnění dutiny žáruvzdorné formy tekutým kovem, přičemž tvar dutiny formy odpovídá negativu tvaru budoucího odlitku. Po ochlazení taveniny se z odlitku odstraní vtoková soustava, nálitky a odlitek se podle potřeby tepelně zpracovává.

Výroba odlitků je energeticky náročná a v dnešní době velmi nákladná. Při vzrůstajícím počtu odlévaných kusů, tzn. při sériové výrobě náklady na vyrobený kus výrazně klesají. Výhodou slévárenské výroby je možnost vyrobit tvarově složité díly, jejichž výroba by při použití jiných výrobních technologií byla buď nemožná, nebo velice nákladná. Běžně dosahovaná přesnost dílů vyrobených slévárenskou technologií je IT 12 až 15 a drsnosti se pohybují mezi 12,5 – 100 μ m. [4]

1.1 Základní rozdělení slévárenské technologie

Slévárenskou technologii můžeme rozdělit z několika hledisek.

Samotné slévárenství dělíme na:

- hutní slévárenství – jedná se o výrobu hutních odlitků – ingotů
- výroba odlitků – výroba tvarových součástí

Dalším rozdělení slévárenské technologie je dle typu použité formy:

- formy pískové – které se nazývají také netrvalé formy – model odlitku se otiskne do formovací směsi
- formy keramické
- formy kovové – kokily

Rozdělení dle způsobu lití taveniny do slévárenské formy:

- gravitační lití
- odstředivé lití
- tlakové lití [3]

1.2 Materiály používané na výrobu odlitků

Odlitek, který má spolehlivě plnit svoji funkci ve výrobním zařízení, musí mít požadované mechanické a fyzikální vlastnosti. Důležitá je taky volba výrobní technologie v rámci možností, které nám nabízí slévárenství. [4]

1.2.1 Oceli na odlitky

Základní rozdělení:

- nelegované – uhlíkové
- legované – slitinové

Teplota lití u ocelí na odlitky se pohybuje okolo 1600°C, což klade vysoké nároky na žáruvzdornost slévárenské formy. Z tohoto materiálu je nevhodné vyrábět tenkostěnné odlitky z důvodu velkého povrchového napětí a menší zabíhavosti. V důsledku většího smršťování (ve srovnání se šedou litinou) se v odlitcích tvoří vady – staženiny, řediny, praskliny a trhliny.

Oceli na odlitky se používají hlavně pro své výborné mechanické vlastnosti, na které má vliv zejména obsah uhlíku. Další vlastnosti, kvůli kterým používáme tento materiál jsou zejména žáruvzdornost, žarupevnost, otěruvzdornost a magnetické vlastnosti. [4]

1.2.2 Litiny

Jsou to slitiny železa s uhlíkem ($C > 2,14\%$) a dalšími základními prvky (Si, Mn, P, S).

Litiny dělíme na:

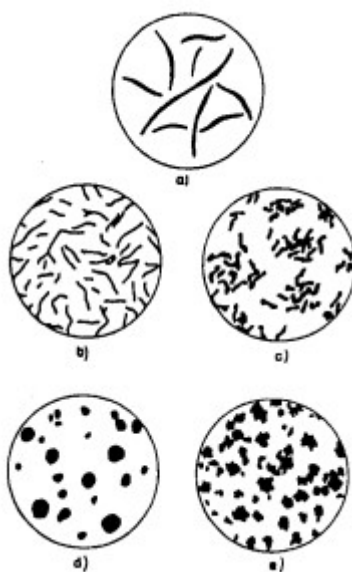
- bílou litinu
- šedou litinu
- tvárnou litinu
- temperovanou litinu
- vermikulární litinu
- speciální litiny

Mechanické vlastnosti litiny jsou závislé zejména na tom, v jakém stavu (množství a tvar) vykrytalizuje při tuhnutí uhlík. Pokud se část uhlíku vyloučí ve formě grafitu, tak dochází k rozrušení kompaktnosti základního kovového materiálu a snižuje se pevnost.

U šedých litin se pohubují pevnosti v tahu:

- od 150 do 250MPa – zde se vylučuje grafit ve formě hrubých lupínků
- od 250 do 350MPa – vyloučen grafit ve formě jemných lupínků

U tvárných litin dosahujeme pevností až 500MPa a grafit se zde vylučuje v globulární formě – kuličkový grafit.



Obr. 1: Tvar grafitu v litinách

*a – hrubý lupínkový grafit, b – jemný lupínkový grafit, c – vermikulární grafit,
d – globulární grafit, e – temperovaný ulík*

Litiny mají oproti ocelím přibližně o 300°C menší lící teplotu a tím nevznikají takové nároky na žáruvzdornost formy, souvisí s tím i menší energetická náročnost jejich výroby.

Kvůli dobrým mechanickým a slévárenským vlastnostem jsou litiny ve slévárenství velmi často používaným materiálem. [4]

1.2.3 Slitiny neželezných kovů

Čisté neželezné kovy se používají pro výrobu odlitků jen velmi zřídka, častější je použití jejich slitin. Mezi základní materiály v této oblasti patří slitiny mědi, hliníku, zinku, cínu, olova a titanu.

a) Slitiny mědi – tavící teplota je 1083°C, mají dobrou tvárnost, výborné elektrické vlastnosti a tepelnou vodivost. Tyto slitiny dělíme dále na mosaz a bronz.

b) Slitiny hliníku – tavicí teplota je 660°C, mají dobrou tvárnost a malou pevnost.

c) Slitiny titanu – tavicí teplota 1668°C, mají dobrá mechanické vlastnosti, lze je tepelně zpracovávat, jsou svařitelné. [4]

1.3 Výhody a nevýhody slévárenské technologie

Při rozhodování o tom, jakým způsobem se bude požadovaná součást vyrábět musí konstruktér zvážit specifika slévárenské výroby a položit proti sobě výhody a nevýhody této výrobní technologie.

1.3.1 Výhody odlitků

- Výroba tvarově složitých dílů, které mohou být i značně namáhány
- Široké spektrum hmotností od několika gramů až po tunové odlitky
- Výroba dutin a vnitřních tvarů, které by jinými technologiemi nešly vyrobit
- Možnost neomezeně dimenzovat značně namáhané místa pomocí žeber a vhodného prostorového rozložení materiálu
- Možnost použití velkého množství kovů a slitin a možnost ovlivnění vnitřní struktury materiálu chemickým složením, řízeným tuhnutím a tepelným zpracováním
- Vysoké využití materiálu a recyklovatelnost
- Možnost dosažení zvýšených přesností (až IT 8) a drsností (Rz 1,6 – 3,2) [5]

1.3.2 Nevýhody odlitků

- Nerovnoměrná tloušťka stěn odlitků je příčinou nerovnoměrného tuhnutí a chladnutí a tím vznikají v odlitku pnutí, deformace a další poruchy
- U silnostěnných odlitků je problém pomalé chládnutí a následkem je vznik hrubozrnné struktury
- U většiny odlitků je možné dosáhnout požadovaných mechanických vlastností zařazením tepelného zpracování
- Nebezpečí výskytu vnitřních vad (staženiny, porezita, bubliny)

- Smršťování slitin při tuhnutí vyžaduje použití masivních nálitků, což vede ke snížení využití tekutého kovu
- Problematické použití této technologie u součástí, které mají malou tloušťku stěny a vysoké nároky na rozměrovou přesnost a drsnost povrchu [5]

1.4 Vady odlitků

Při tuhnutí a chládnutí taveniny může docházet k jevům, které způsobují nežádoucí vznik slévárenských vad:

a) Staženiny a mikroporozita

Velikost staženin závisí na smrštění materiálu a v jednotlivých místech se může lišit v závislosti na konstrukci odlitku a na odvodu tepla při tuhnutí. Na tvar staženiny má velký vliv chemické složení litiny. Mikroporozita je závislá na podmínkách a délce tuhnutí litiny – čím delší je interval tuhnutí, tím je větší podíl mikroporozity na úkor staženin.

b) Trhliny

Vznik trhlin je závislý na použité slévárenské technologii a na druhu odlévané slitiny (u ocelí je velký sklon k tvorbě trhlin, zatímco u šedé a tvárné litiny je velmi malý).

c) Povrchové napětí

Důsledkem vzniku povrchového napětí při odlévání slitiny, může být pronikání taveniny do formovacího materiálu, což má za následek vznik mechanických zapečenin. Nejvíce náchylné na tento typ vad jsou kouty, hrany a vpadlé části odlitku, kde se forma nejvíce prohřívá. Líc forem se v praxi často ošetřuje ochrannými nátěry a tím se zabraňuje pronikání taveniny do formovacího materiálu.

d) Vměstky

Při velké rychlosti průtoku taveniny vtokovou soustavou (průtok je dán velikostí použitého filtru) může tavenina strhávat drobné částičky pískové formy, které se následně rozplaví v dutině formy. Po zatuhnutí odlitku jsou na opracovaných plochách řediny. [5]

1.4.1 Vady odlitků z hlediska použití v hydraulických systémech

U komponentů, které tvoří hydraulické systémy je vyžadována kromě zaručených mechanických vlastností i tlaková těsnost. A právě vnitřní vady odlitků (porozita, řediny, lunkry, trhliny a další) způsobují, že odlitek je tlakově netěsný. Po natlakování

hydraulického systému protéká kapalina přes nehomogenní strukturu odlitku (která vzniká tím, že v odlitku je vnitřní vada).

U odlitků, kde je vyžadována tlaková těsnost se většinou nepřipouští žádné opravy vad, např. zavařování nebo tmelení. [5]

1.5 Porovnání odlitků s dalšími polotovary

Volba výroby polotovaru každé strojírenské součásti vychází z několika kritérií, které musí daný polotovar splnit. Jsou to zejména:

- Požadavky na materiál
- Velikost, tvar a složitost součásti
- Požadavky na rozměrovou přesnost a jakost polotovaru
- Technologické vlastnosti polotovaru
- Množství výrobků a náklady na polotovar
- Recyklace součásti

Válcované polotovary jsou levnější než odlitky, ale jejich výhoda se ztrácí s rostoucí tvarovou složitostí konečné strojní součásti. Při kusové výrobě je rovněž výhodnější použití válcovaného polotovaru, poněvadž se nevyplácí nákladná výroba modelového zařízení.

Výkovky mají ve srovnání s odlitky lepší mechanické vlastnosti a předpoklad menšího výskytu vnitřních a vnějších vad. Naopak výhodou odlitků je možnost vyrábět tvarově složitější součásti, menší přídavky na obrábění, menší tloušťky stěn a z toho vyplývající menší hmotnost.

Výlisky jsou vhodné hlavně pro výrobky otevřených tvarů s jednotnou tloušťkou stěny. Oproti odlitkům jsou zde dražší nástroje a proto je tato technologie vhodná pro velkosériovou výrobu. Výhodou výlisků jsou dobré mechanické vlastnosti a jakost povrchu.

Svařování je oproti odlévání pohotovější a je vhodné pro tvarově složité součásti, kdy jednotlivé komponenty svařence jsou jednoduché polotovary. Odlévání bývá vhodnější pro menší a kompaktnější součásti. Další výhodou svařování je to, že nepotřebuje nákladné modelové zařízení a většinou ani složité přípravky. K výhodám odlitků patří větší spolehlivost, možnost optimalizace součásti dle zatížení, lepší tlumení kmitů a lepší obrobiteľnosť. [5]

2 METODY OPRACOVÁNÍ SUROVÝCH ODLITKŮ

Nejčastější metodou vytváření technologických základen na odlévaných výrobcích je třískové obrábění nástroji s definovanou geometrií. Jedná se o soustružení, frézování a vrtání. Oproti jiným polotovarům vyvstává u opracování odlitků problém s ustavením odlitku, zejména kvůli přítomnosti nutných úkosů, hřebínku v dělicí rovině a broušených místech po nálitku. Dalším problémem jsou slévárenské vady, kdy vady na vnější kontuře způsobují rozměrové problémy a vnitřní vady mají za následek nehomogenitu materiálu a tím může dojít k poškození nástrojů.

2.1 Soustružení

Tato metoda obrábění je určena hlavně k opracování válcových ploch a to jak vnějších, tak vnitřních. Dále je možné obrábět rotační plochy tvarovými nástroji, kuželové plochy, čelní rovinné plochy a řezat závit.

Kromě uvedených operací je možné na soustruzích vrtat, vyhrubovávat, vystružovat a zahlubovat.

Rotující obrobek vykonává hlavní řezný pohyb. Nástroj vykonává posuvový pohyb a to ve směru podélném, obecném a příčném.

Nástrojem při této technologii jsou soustružnické nože, které lze dělit dle materiálu, dle konstrukce a dle geometrie břitu. Soustružnické nože a další nástroje se upínají do nožové nebo revolverové hlavy.

Nejčastější způsob upínání obroku soustruhu je upnutí do sklíčidla a dalšími možnostmi jsou upnutí do kleštin, upnutí na tvarovou desku a upnutí mezi hroty. O způsobu upnutí rozhoduje zejména tvar, velikost a hmotnost součásti a taky typ stroje.

Soustruhy dělíme na hrotové, svislé, čelní, revolverové a speciální. Dále je můžeme rozdělit dle stupně automatizace na ruční, poloautomatické a automatické. [6]

2.2 Frézování

Je to metoda obrábění rovinných a tvarových ploch, které se uskutečňuje vícebřitým frézovacím nástrojem, tzv. frézou.

Podstatou frézování je odebírání materiálu obrobku jednotlivými břity frézy, která se otáčí kolem své osy. Během jedné otáčky vniká každý břit alespoň jednou do obrobku a poté ze záběru vychází a tudíž břity frézy pracují, na rozdíl od soustružení, vždy v podmínkách

přerušovaného řezu.

Hlavní pohyb při frézování koná rotující fréza.

Vedlejší (posuvový) pohyb koná obrobek, který je upnutý na pracovním stole obráběcího stroje (frézky) – tento pohyb je zpravidla přímočarý.

Dle orientace osy hlavního pohybu nástroje rozdělujeme frézování na:

- a) frézování válcové – osa rotace je rovnoběžná s obrobenou plochou
- b) frézování čelní – uskutečňuje se čelem i obvodem frézy nebo frézovací hlavy a osa nástroje je kolmá na obráběnou plochu

Čelní frézování uskutečňované frézovacími hlavami (s vestavěnými břitovými destičkami) je produktivnější než frézování válcové.

Dle smyslu otáčení nástroje dělíme frézování na sousledné a nesousledné.

Frézy, jak nazýváme nástroje pro frézování, jsou několikabřité nástroje přičemž bříty jsou uspořádány na válcové, kuželové nebo jiné tvarové ploše frézy.

Rozsah technologie umožňuje použití mnoha druhů fréz, které lze dělit do skupin z několika hledisek.

- Dle ploch na nichž leží ostří: válcové, čelní, válcové čelní
- Dle způsobu výroby zubů: se zuby frézovanými, se zuby podsoustruženými
- Dle směru zubů vzhledem k ose rotace: se zuby přímými, se zuby ve šroubovici
- Dle počtu zubů: jemnozubé, hrubozubé
- Dle konstrukčního uspořádání: celistvé, s vyloženými zuby, s vyměnitelnými břitovými destičkami

Čelní frézy a frézovací hlavy se upínají pomocí frézovacích trnů s podélným nebo příčným perem. Stopkové frézy se upínají do kleštín nebo upínacích pouzder a pro upínání válcových fréz se používají speciální frézovací trny s podpěrou.

Obrobek je při frézování upínán většinou mechanickými prostředky (svěráky, upínky, podpěry) nebo je možnost upínání na magnet (ne pro všechny materiály a všechny tvary obrobků).

Obráběcí stroje pro frézování jsou frézky a ty dělíme dle konstrukce na konzolové, rovinné, stolové a speciální. [6]

2.3 Vrtání

Je to metoda opracování, při níž se zhotovují otvory do plného materiálu nebo se zvětšují již předvyrobené otvory. K této výrobní technologii se vztahují další metody obrábění jako je vyhrubování, vystružování a vyvrtávání.

Nástroj (vrták) zde vykonává jak hlavní (rotační) pohyb, tak i vedlejší pohyb (přímočarý posuv).

Při vrtání je z technologického hlediska vždy významný poměr L/D , tzn. poměr vrtané délky k vrtanému průměru. Tento ukazatel a to, zda jde o vrtání otvoru průchozího, nebo slepého významně ovlivňuje nároky na utváření a odvod třísky z otvoru.

Charakteristickým rysem všech obráběcích nástrojů na díry je to, že se řezná rychlost zmenšuje od obvodu směrem k ose nástroje, kde má téměř nulovou hodnotu.

Základní rozdělení vrtání:

- vrtání do plného materiálu
- vrtání na jádro
- vrtání předvyrobených otvorů

Nástroje pro vrtání (vrtáky) jsou jedno nebo vícebřité nástroje válcové nástroje, na jejichž obvodu jsou drážky pro odvod třísky. Hlavním nástrojem pro vrtání je šroubovitý vrták. V ose vrtáku je umístěno příčné ostří, které za předpokladu symetrického naostření vyrovnává pasivní složky řezné síly a nástroje vykazují dobrý samostředící efekt. Tyto nástroje jsou realizovány většinou jako monolitní a jsou schopny přebrušování. Další skupinou nástrojů pro vrtání jsou vrtáky s vyměnitelnými břitovými destičkami, které obvykle disponují více břity. Destičky jsou upnuty v těle nástroje pomocí šroubů, nebo pomocí kazet, které usnadňují jejich výměnu.

Vrtáky s válcovou stopkou upínáme do sklíčidel a vrtáky s kuželovou stopkou upínáme přes redukční pouzdra do dutiny vřetene obráběcího stroje. Většinu obrobků upínáme, stejně jako u frézování, mechanicky a to do svěráků, upínek a speciálních přípravků.

Stoje na vrtání rozdělujeme dle konstrukce na ruční, stolní, sloupové, vodorovné a speciální. Vrtací operace je možné provádět i na obráběcích centrech, soustruzích a frézách. [6]

3 ŘEZNÉ SÍLY PŮSOBÍCÍ PŘI OPRACOVÁNÍ

Opracovávaný materiál klade při řezání (při vnikání břitu nástroje do materiálu) odpor. Abychom odebrali třísku, je potřeba tento odpor překonat, tzn. břit nástroje musí vnikat do materiálu určitou silou, které říkáme řezná síla.

Řezná síla:

- lze charakterizovat jako sílu, která působí ve směru obrábění (kolmo na plochu odebírané třísky) a která je nutná pro odebrání této třísky
- výslednice řezné síly je tvořena třemi složkami, které jsou vzájemně kolmé a leží souřadných osách x , y , z
- vysoké řezné síly negativně ovlivňují efektivitu obrábění (potřebujeme vysoký výkon a velké upínací síly, dochází k většímu opotřebením nástroje
- na velikost řezné síly má vliv ostrost řezné hrany, čím je větší, tím jsou řezné síly menší

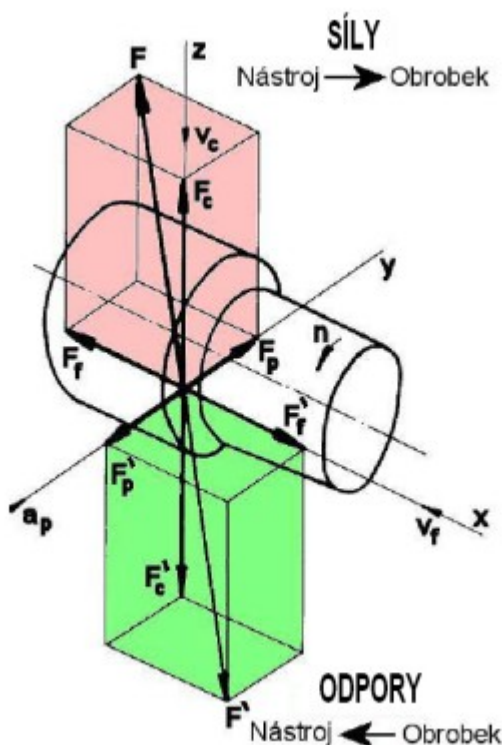
Řezný odpor:

- je odpor materiálu polotovaru vůči vnikání břitu nástroje do povrchu obrobku při oddělování třísky
- je závislý hlavně na řezných podmínkách, materiálu obrobku a materiálu nástroje (z řezných podmínek je nejdůležitější vliv tloušťky třísky)
- je tvořen dvěma složkami a to složkou odporu F_c , který je přítomen při plastické deformaci při tvorbě třísky a druhou složkou, kterou tvoří odpor proti tření mezi obrobkem a čelem nebo hřbetem nástroje

Řezné síly a řezné odpory nejsou v průběhu řezného procesu konstantní, ale proměnlivé v závislosti na změně tvaru polotovaru, změně jeho vlastností, změně vlastností nástroje, tuhosti obráběcího stroje a dalších. [6]

3.1 Řezné síly při soustružení

Celková řezná síla F se skládá ze tří složek – a to z řezné složky obrábění F_c , z posuvové složky F_f a z pasivní složky F_p .



Obr. 2: Rozklad řezné síly do třech složek

U podélného soustružení platí vztahy pro výpočet:

$$F_c = c_{Fc} \cdot a_p^{x_{Fc}} \cdot f^{y_{Fc}}$$

, kde jsou:

c_{Fc} , c_{Ff} a c_{Fp} – materiálové konstanty

x_{Fc} , x_{Ff} a x_{Fp} – exponenty vlivu a_p

y_{Fc} , y_{Ff} a y_{Fp} – exponenty vlivu f

a_p – hloubka obráběné vrstvy [mm]

f – posuv na otáčku [mm]

Rovnice pro výpočet výsledné síly:

$$F = \sqrt{F_c^2 + F_f^2 + F_p^2}$$

Jednotlivé složky řezné síly působí při opracování poměrem:

$$F_c : F_f : F_p = 1 : 0,4 : 0,25$$

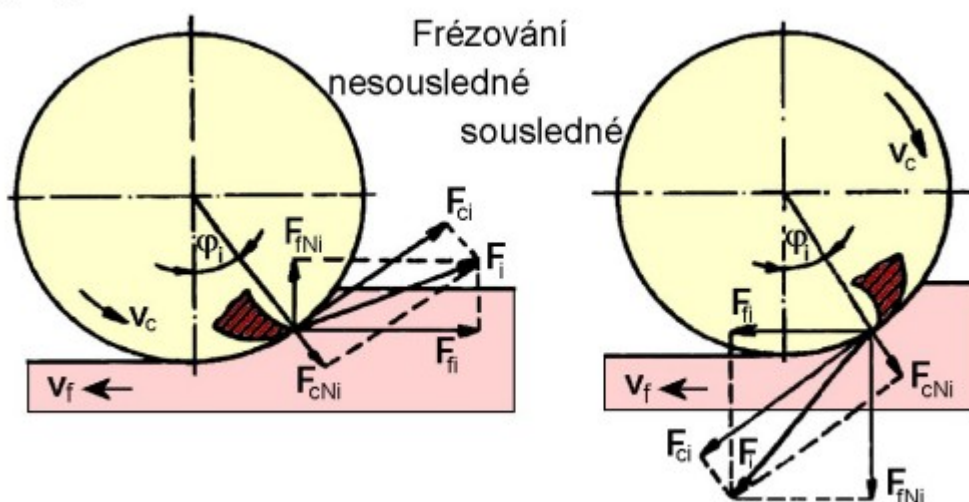
Měrná síla řezání – je to síla, která je vztažena na jednotku řezné plochy a značí se k_c :

$$k_c = \frac{F_c}{A_D} \quad [\text{MPa}]$$

, kde A_D – plocha jmenovitého průřezu třísky [6]

3.2 Řezné síly při frézování

Řezná síla působící při tomto opracování je vztahována na zub nástroje a vychází ze silových poměrů, které zde působí. Celková řezná síla se značí F_{ci} . Řezná síla vztažená na zub nástroje je rozložena do dvou složek a to na posuvovou složku řezání F_{fi} a kolmou složku k posuvu řezání F_{fNi} .



Obr. 3: Určení silových poměrů na zubu a rozklad sil řezání

Výpočet složky řezné síly:

$$F_{ci} = k_{ci} \cdot A_{Di} = k_{ci} \cdot a_p \cdot f_z \cdot \sin \varphi_i \quad [\text{N}]$$

, kde:

k_{ci} – měrná řezná síla [MPa]

A_{Di} – průřez třísky [mm²]

f_z – posuv na zub [mm]

Vztah určující měrnou řeznou sílu:

$$k_{ci} = \frac{C_{Fc}}{h_i^{1-x}} = \frac{C_{Fc}}{(f_z \cdot \sin \varphi_i)^{(1-x)}} \quad [\text{MPa}]$$

C_{Fc} – konstanta zahrnující vliv obráběného materiálu

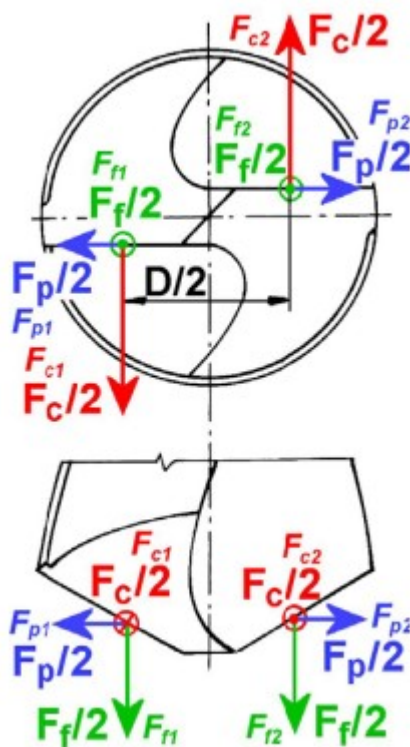
x – exponent tloušťky třísky

Po dosazení do předchozích vztahů dostaneme rovnici pro celkovou řeznou složku síly:

$$F_{ci} = C_{Fc} \cdot a_p \cdot f_z^x \sin^x \varphi_i \quad [\text{N}] \quad [6]$$

3.3 Řezné síly při vrtání

Standartní šroubovitý vrták, který má dva břity je symetrický vůči své ose a proto uvažujeme o složkách, které působí na obou břitech stejnou silou. Celková řezná síla je rozdělena na dvě složky a to posuvovou řeznou sílu F_f a pasivní řeznou sílu F_p .



Obr. 4: Jednotlivé složky řezných sil

Posuvová složka řezné síly:

$$F_f = F_{f1} + F_{f2} \quad [\text{N}]$$

Pasivní složka řezné síly:

$$F_p = F_{p1} + F_{p2} \quad [\text{N}]$$

Celková řezná síla:

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} \quad [\text{N}]$$

Celková řezná síla se určuje z empirického vztahu:

$$F_c = C_{Fc} \cdot D^{(x_{Fc})} \cdot f^{(y_{Fc})} \quad [\text{N}]$$

kde:

C_{Fc} – konstanta zohledňující vliv materiálu

x_{Fc} – exponent vlivu průměru vrtáku

y_{Fc} – exponent vlivu posuvu na otáčku

Další vztah určující celkovou řeznou sílu z řezného odporu:

$$F_c = k_c \cdot A_D \quad [\text{N}]$$

kde:

k_c – měrný řezný odpor obráběného materiálu

Celková posuvová síla se vypočítá ze vztahu:

$$F_f = C_{Ff} \cdot D^{x_{Ff}} \cdot f^{y_{Ff}} \quad [\text{N}]$$

kde:

C_{Ff} – konstanta zohledňující vliv materiálu

x_{Ff} – exponent vlivu průměru vrtáku

y_{Ff} – exponent vlivu posuvu na otáčku

Řezný moment při znalosti celkové řezné síly F_c je:

$$M_c = \frac{F_c \cdot D}{4} \quad [\text{Nm}] \quad [6]$$

4 VLIV TECHNOLOGIE OPRACOVÁNÍ NA JAKOST OBROBENÉ PLOCHY

Jakost obrobené plochy se vyjadřuje několika parametry, které jsou většinou součástí výkresu, ale mohou být taky zahrnuty v příslušné normě, dle které je obrobek dodáván, nebo ve dalších podmínkách sjednaných mezi výrobcem a odběratelem.

Hlavní parametry určující jakost obrobené plochy jsou:

- drsnost povrchu
- rozměrové tolerance
- tolerance tvaru a polohy
- vlastnosti povrchové plochy

Tyto parametry jsou ovlivněny při opracování několika faktory, z nichž k nejdůležitějším patří:

- zvolená metoda opracování
- řezné podmínky
- materiál opracovávané součásti
- materiál a konstrukce řezného nástroje
- vibrace stroje
- upnutí nástroje a obrobku
- tuhost celé soustavy stroj – nástroj – obrobek [8], [6]

4.1 Vliv metody opracování na jakost obrobené plochy

Použitá metoda opracování vychází nejen ze samotného tvaru a konstrukce součásti, ale taky z požadavků zákazníka na jakost obrobené plochy.

Tab. 1. Dosahované hodnoty drsnosti u jednotlivých metod opracování

| <i>Metoda</i> | <i>Hrubování</i> | <i>Obrábění na čisto</i> | <i>Jemné obrábění</i> |
|---------------|------------------|--------------------------|-----------------------|
| Soustružení | Ra 12,5 - 100 | Ra 1,6 – 12,5 | Ra 0,2 – 1,6 |
| Frézování | Ra 6,3 - 25 | Ra 1,6 – 6,3 | Ra 0,8 – 1,6 |
| Vrtání | Ra 12,5 - 100 | Ra 1,6 – 6,3 | Ra 0,4 – 1,6 |
| Broušení | Ra 0,8 – 6,3 | Ra 0,2 – 1,6 | Ra 0,05 – 0,4 |

Tab. 2. Dosahované hodnoty přesnosti u jednotlivých metod opracování

| <i>Metoda</i> | <i>Hrubování</i> | <i>Obrábění na čisto</i> | <i>Jemné obrábění</i> |
|---------------|------------------|--------------------------|-----------------------|
| Soustružení | IT 11 - 14 | IT 9 - 11 | IT 5 - 8 |
| Frézování | IT 10 - 13 | IT 7 - 13 | IT 7 - 8 |
| Vrtání | IT 11 - 14 | IT 9 - 11 | IT 5 - 8 |
| Broušení | IT 9 - 11 | IT 5 - 8 | IT 3 - 4 |

4.2 Řezné podmínky

Řezné podmínky jsou souhrnem všech činitelů, které ovlivňují průběh obrábění a volíme je tak, aby celý proces byl efektivní a hospodárný. K základním činitelům řezných podmínek patří:

- a) řezná rychlost – je to rychlost řezného pohybu (značka v , jednotky m/min)
- b) posuv – je to dráha, kterou urazí obrobek při pohybu do záběru za minutu, otáčku, nebo zub (u frézování) – značka je f a jednotky dle druhu posuvu (mm/min, mm/ot, mm/z)
- c) hloubka řezu – vzdálenost mezi obráběnou a obrobenou plochou ve směru kolmém na hlavní řezný pohyb a posuv (značka h , jednotky mm) [8], [6]

4.3 Obrobitelnost materiálů

Je to technologická vlastnost materiálu, která určuje vhodnost daného materiálu k opracování. Zahrnuje vliv jeho mechanických a fyzikálních vlastností a dále chemické složení, tepelné zpracování a způsob výroby samotného polotovaru. Obrobitelnost materiálu nesouvisí jen s jeho charakteristikou, ale také s řeznými podmínkami a způsobem obrábění.

Nejdůležitější charakteristikou, která určuje obrobitelnost materiálu, je opotřebení bříty nástroje etalonového materiálu, se kterým se srovnávají obráběné materiály v tzv. třídách obrobitelnosti. [8]

Roztřídění materiálů do tříd obrobitelnosti:

- a – litiny
- b – oceli
- c – těžké neželezné kovy (měď)

d – lehké neželezné kovy (hliník)

e – plasty

f – přírodní nerostné suroviny

g – vrstvené materiály

v – tvrzené litiny pro výrobu válců

V každé skupině jsou rozděleny materiály dle indexu obrobitelnosti až do 20-ti tříd a očíslovány 1 – 20. [8], [6]

4.3.1 Vliv vlastností materiálů na obrobitelnost

Z hlediska obrobitelnosti jsou výhodné nízké mechanické vlastnosti materiálu (pevnost, tvrdost), avšak u některých měkkých materiálů se projevuje nežádoucí jev a to je tvorba nárůstků. Při tvorbě třísky je lepší, pokud materiál má nízkou tvařitelnost.

Materiály s vysokou tepelnou vodivostí dobře odvádějí teplo z místa řezu a tudíž dochází k menšímu opotřebením nástroje.

Pokud dochází při opracování ke zpevnění povrchové vrstvy materiálu, což sebou přináší i zvýšení tvrdosti, může to mít negativní vliv v případě, že jsou tyto plochy dále opracovávány.

Pro zlepšení obrobitelnosti se do materiálů přidává síra, nebo olovo, ale vzhledem k tlakům na ekologičnost výroby se od těchto postupů upouští.

Z hlediska struktury obráběného materiálu má největší vliv na obrobitelnost materiálů abrazivní vliv na nástroj. Cementit ve struktuře materiálu zvyšuje tvrdost a abrazivní vlastnosti, naopak ferit je měkký a tvárný. Střední pozici z hlediska obrobitelnosti zaujímá perlit, který je tvořen lamelami cementitu a feritu. [8], [6]

4.4 Řezné nástroje

Realizaci řezného procesu umožňuje nástroj v interakci s obrobkem. Nástroje jsou charakterizovány materiálem a geometrií nástroje. [8], [6]

4.4.1 Nástrojové materiály

Nástrojové materiály musí mít určité vlastnosti, aby celý obráběcí proces byl dostatečně efektivní a hospodárný a řezná část nástroje se vyznačovala ideální řezivostí.

Mezi tyto vlastnosti patří:

- tvrdost
- odolnost proti opotřebení
- tepelná vodivost
- pevnost v ohybu
- houževnatost
- chemická stálost

Všechny tyto vlastnosti by měl nástrojový materiál držet i při vysokých teplotách.

Rozdělení nástrojových materiálů:

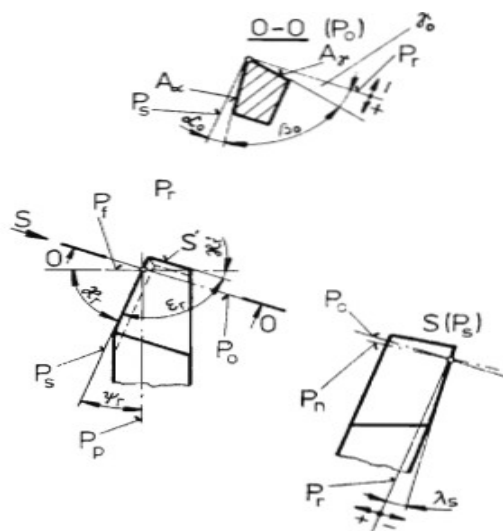
1. Nástrojové oceli
 - legované
 - nelegované
 - rychlořezné
2. Slinuté karbidy
 - nepovlakované
 - povlakované
3. Cermety
4. Řezná keramika
5. Supertvrde řezné materiály
 - kubický nitrid bóru
 - diamant
6. Brousící materiály [8], [6]

4.4.2 Geometrie nástroje

Nástrojové i geometrické parametry obráběcích nástrojů jsou definovány pomocí úhlů a ty jsou definovány v jednotlivých rovinách.

Na obrázku je nástrojová geometrie břitu soustružnického nože se zakreslením jednotlivých úhlů, kde:

| | |
|--------------------------------------|---------------------------------------|
| α_0 – ortogonální úhel hřbetu | κ_r – úhel nastavení |
| β_0 – ortogonální úhel břitu | κ'_r – vedlejší úhel nastavení |
| γ_0 – ortogonální úhel čela | ψ_r – doplňkový úhel nastavení |
| δ_0 – ortogonální úhel řezu | ε_r – úhel špičky |
| λ_s – úhel sklonu ostří | r_ε – poloměr špičky |



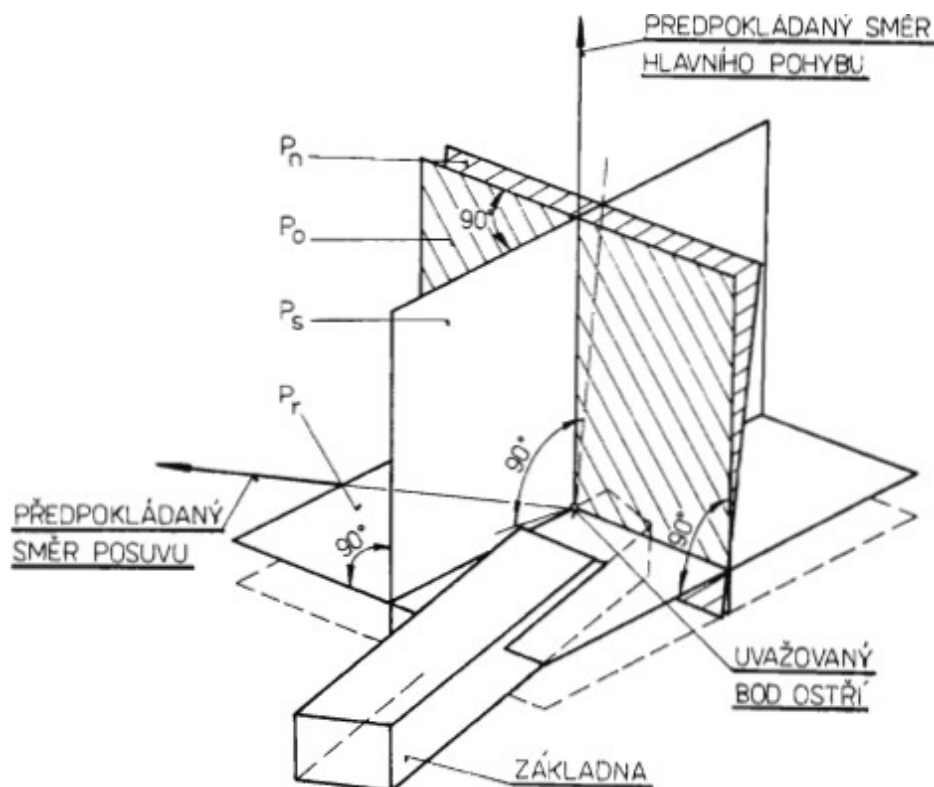
Obr. 5: Nástrojová geometrie břitu soustružnického nože

Jednotlivé úhly se identifikují ve dvou rovinách souřadnicové soustavy:

- nástrojová – geometrie řezné části je ve statickém pojetí
- pracovní – geometrie řezné části v procesu řezání

Na obrázku je nástrojová souřadnicová soustava soustružnického nože, kde:

| | |
|---------------------------------------|--|
| P_r – nástrojová základní rovina | P_s – nástrojová rovina ostří |
| P_o – nástrojová ortogonální rovina | P_n – nástrojová normálová rovina [8], [6] |



Obr. 6: Nástrojová souřadnicová soustava soustružnického nože

4.5 Vibrace stroje

Vibrace jsou nežádoucím průvodním jevem každého obrábění a mohou mít za následek zvýšené opotřebení stroje a nástrojů, zhoršení jakosti obrobené plochy, vyšší hlučnost obráběcího procesu, nebo poruchu obráběcího stroje.

Vibrace, nebo-li kmitání, může mít různé příčiny a dle nich je dělíme na:

a) Vynucené kmitání

Je vyvoláno proměnlivými silami, které působí na jednotlivé prvky celého systému a ty mohou být:

- impulzy síly vznikající v obráběcím systému
- přerušovaný řez
- silové impulzy z vnějšího okolí

b) Samobuzené kmitání

Souvisí bezprostředně s nestabilitou řezného procesu a k jeho charakteristikám patří odchylky tvaru, jakosti povrchu a dále zvukové projevy při řezání.

Příčinami těchto jevů mohou být: nehomogenita materiálu, nepravidelný přídavek, tvorba nárůstku, nebo periodická tvorba elementu třísky. [8], [6]

4.6 Upnutí nástroje a obrobku

Požadavky na vysokou jakost a přesnost obrobené plochy souvisí s požadavkem na:

- přesnou vzájemnou polohu nástroje a obrobku
- tuhost upnutí
- přesný pohyb i posuv řezného nástroje

V souvislosti s vývojem opracovávaných a řezných materiálů se zintenzivňují řezné podmínky a dochází k větším úběrům materiálu v kratších časech, což podstatně zvyšuje nároky na přesnost a tuhost upnutí nástrojů a obrobků.

Při upínání nástrojů je vhodné, aby upínače:

- byly jednoduché konstrukce
- měly co nejširší možnost aplikace na obráběcích strojích
- měly možnost aplikace funkčních elementů na přípravky vlastní konstrukce
- měly snadnou obsluhu, údržbu a instalaci

Při upínání obrobků jsou klasické mechanické upínače (svěráky, upínky, dorazy) nahrazovány specializovanými a jednoúčelovými upínači. Důvodem jsou požadavky na co nejkratší strojní časy při obrábění. Upínací prvky by proto měly mít širokou možnost aplikace na upínače, které byly vyrobeny jednoúčelově na opracování konkrétního výrobku.

[8], [6]

5 MAGNETICKÉ UPÍNAČE

S požadavky dnešní doby na zvyšování produktivity práce je nutné při obráběcích procesech bezpečně, spolehlivě a v co nejkratším čase upnout obrobek. To se provádí hlavně mechanickými, hydraulickými a pneumatickými upínači. Zmíněné operace jsou časově a manuálně náročné operace. Jednou z možností, jak tyto operace zjednodušit a zrychlit jsou magnetické upínače.

Magnetické upínače slouží k upnutí feromagnetických materiálů při opracování na soustruzích, frézkách, vrtačkách, bruskách, hoblovkách a jiných strojích. Je možné je používat i jako přídržná, podpěrná a nosná zařízení.

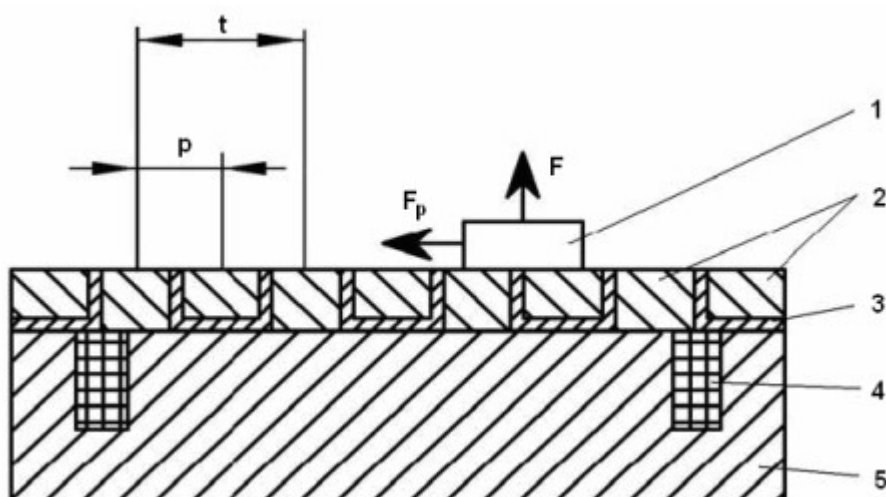
První patent ohledně magnetického upínání byl zaregistrován v roce 1896. Od té doby byl tento druh upínání dále vyvíjen a zdokonalován. Magnetické upínání je výhodné svou časovou nenáročností, jednoduchostí a variabilitou při upínání více obrobků a jednoznačně zvyšuje produktivitu práce.

V dnešní době známe tři principy magnetického upínání, které jsou používány. [7]

5.1 Elektromagnetický upínač

Jeho principem jsou cívky, které jsou napájeny usměrněným proudem z nichž se stane elektromagnet. Jelikož tento elektromagnet je závislý na vnějším zdroji elektrické energie, tak při odpojení magnetické pole zaniká a dochází k prudkému poklesu magnetické síly. Z těchto důvodů je tento způsob upínání obrobků značně rizikový.

Elektromagnetický upínač je konstruován jako vana z feromagnetického materiálu, ve které je umístěno budící vinutí, které při zapnutí vytváří elektromagnetické pole. [7]



Obr. 7: Základní modul elektromagnetického upínače s pólovou deskou

(1 – obrobek, 2 – pólová deska, 3 – nemagnetické spáry, 4 – cívka, 5 – těleso upínače)

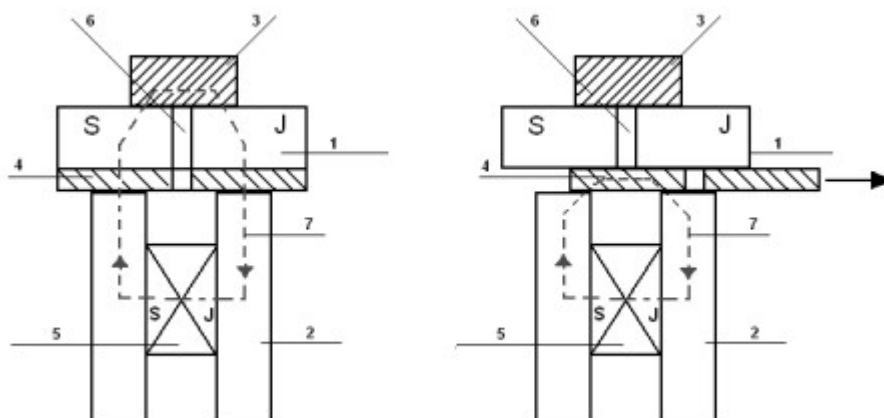
(t – pólová rozteč, p – pólový interval, F_p – posuvná síla, F – adhezí síla)

5.2 Magnetický upínač s permanentními magnety

Vznik síly, která upíná obrobek, zajišťují permanentní magnety, přičemž nejčastěji se používají tzv. neodymové magnety, které mají nejvyšší hodnoty magnetické remanence B_r . Tyto magnety jsou nezávislé na zdroji energie a tím se stávají ve srovnání s elektromagnetickými upínači daleko bezpečnějšími.

Výhodou tohoto systému je to, že se tyto magnety nezahřívají a naopak mezi nevýhody řadíme to, že obrobky si po vyjmutí z upínače ponechávají zbytkový magnetismus a je potřeba je odmagnetovat.

Stav vypnuto nebo zapnuto se řídí mechanicky pomocí zkratovací planžety z feromagnetického materiálu. Tato planžeta se posouvá mezi permanentními magnety a pólovou deskou a buď pustí magnetické indukční čáry do prostoru pólové desky (stav zapnuto), nebo tyto čáry zůstanou uvnitř a to navodí stav vypnuto. Tím je dáno, že velikost upínačů je omezena a jsou vhodnější pro menší obrobky. [7]



Obr. 8: Princip permanentního magnetického upínače, zapnuto, vypnuto

(1 – pólová deska, 2 – pólové nástavce, 3 – obrobek, 4 – zkratovací planžeta, 5 – magnet, 6 – nemagnetická spára, 7 – tok magnetických indukčních čar)

5.2.1 Druhy permanentních magnetů

Jako tradiční permanentní magnety se používají tvrdé ferity, které jsou cenově nejpříznivější. V poslední době se začínají prosazovat magnety ze sloučenin vzácných zemin, které splňují požadavky na vysokou adhezni sílu. Jedná se o neodym (Nd), samarium (Sm), nebo složky železa (Fe) a bóru (B).

Vlastnosti permanentních magnetů ze vzácných zemin:

- vyšší hodnoty koercivity H_c
- vyšší hodnoty remanence B_r

Z uvedených jsou cenově nejvýhodnější neodymové magnety. Používání těchto materiálů eliminovalo náchylnost magnetů z tvrdých feritů ke korozi. [7]

5.3 Elektropermanentní upínač

Jedná se o nejmladší princip magnetického upínání, který spojením výhod předchozích magnetických upínačů dosáhl velmi dobré funkčnosti a výkonnosti celého systému. K aktivaci magnetického materiálu je zapotřebí pouze milisekundový impuls energie magnetického pole. Obrobek společně s pólovou deskou se stane po svém nasycení

zdrojem permanentního magnetického toku. K odepnutí obrobku, čili k odmagnetizaci, vyšleme opačně orientovaný energetický impuls. Vzhledem ke krátkým proudovým impulsům zůstává celý systém ve funkčním stavu chladný a tím je rozměrově stabilní. Napájecí systém upínače je většinou vybaven vlastním demagnetizačním cyklem.

Výhody elektropermanentního magnetického upínače:

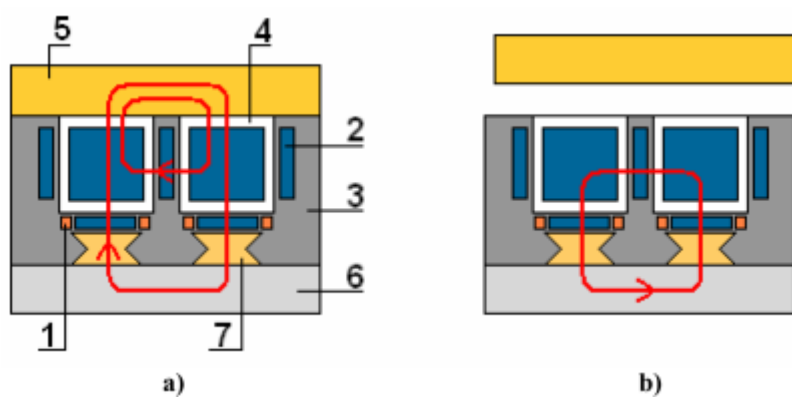
- při upnutém stavu není potřebná zdroj napájení, tzn. v tomto směru je velice bezpečný
- nízká spotřeba elektrické energie
- nemá teplotní výkyvy a tím je zajištěna rozměrová stabilita
- vysoká upínací síla
- demagnetizace obrobku

Nejnovější konstrukce těchto upínačů je charakteristická tzv. čtvercovým uspořádáním magnetických pólů, které vykazují vyšší adhezní sílu než paralelní uspořádání pólů.

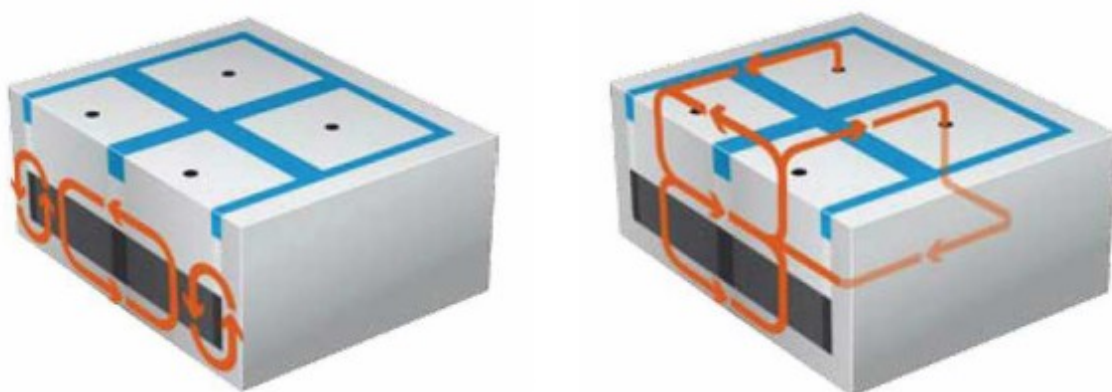
Fyzikální princip tohoto provedení:

- každý pól je tvořen krychlí z feromagnetického materiálu
- horní stěna krychle je pracovní plocha, dalších pět stěn je pokryto magnetickým materiálem
- spodní stěna krychle je tvořena přepólovatelným permanentním magnetem s cívkou
- magnetické póly jsou zality pryskyřicí (ve vakuu) – tím je zajištěna ochrana proti průniku chladicí kapaliny
- při poloze zapnuto se magnetické toky všech permanentních magnetů sečtou a začnou se uzavírat přes upínaný obrobek
- při poloze vypnuto se magnetický tok stáhne dovnitř a uzavírá se pouze mezi magnety po stranách
- každý pól je obložen z pěti stran permanentními magnety a to umožňuje šíření magnetického toku všemi směry [7]

(1 – cívka, 2 – permanentní magnet, 3 – epoxidová pryskyřice, 4 – feromagnetický pól, 5 – obrobek, 6 – feromagnetická základna, 7 – podpěra)



Obr. 9: Principiální schéma čtvercových pólů a) zapnuto b) vypnuto



Obr. 10: Přenos magnetického toku na vedlejší pól

6 HYDRAULICKÉ STROJE

Hydraulické stroje patří k nejrozšířenějším energetickým strojům s uplatněním v řadě technických zařízení. Činnost těchto strojů je vždy vázána na jednotlivé prvky hydraulického obvodu, který je součástí určitého technického zařízení.

Základní rozdělení hydraulických strojů:

- čerpadla (hydrogenerátory)
- turbíny (hydromotory)
- čerpadlové turbíny
- hydraulické převody

Nejčastěji používaným strojem v hydraulických obvodech jsou zařízení, která pracují ve funkci čerpadel. [1]

6.1 Čerpadla (hydrogenerátory)

Čerpadla jsou stroje, u kterých probíhá transformace energie za účelem přemístění kapalin z jednoho místa na druhé. Dochází zde k přenosu energie z poháněného motoru na kapalinu, kde se mechanická energie na vstupu transformuje na energii kapaliny ve formě tlakové energie.

Základní typy čerpadel se liší dle tvaru činné plochy a kinematiky jejího pohybu:

- zubové čerpadla
- lamelové čerpadla
- pístové čerpadla [2]

6.2 Zubové čerpadla

Zubové čerpadla jsou v hydraulických obvodech velmi rozšířená zejména kvůli své jednoduchosti, spolehlivosti a ceně. Spektrum jejich použití je v regulačních obvodech a v mechanismech s přímočarými hydromotory pro střední tlakové pásmo (do 16 MPa).

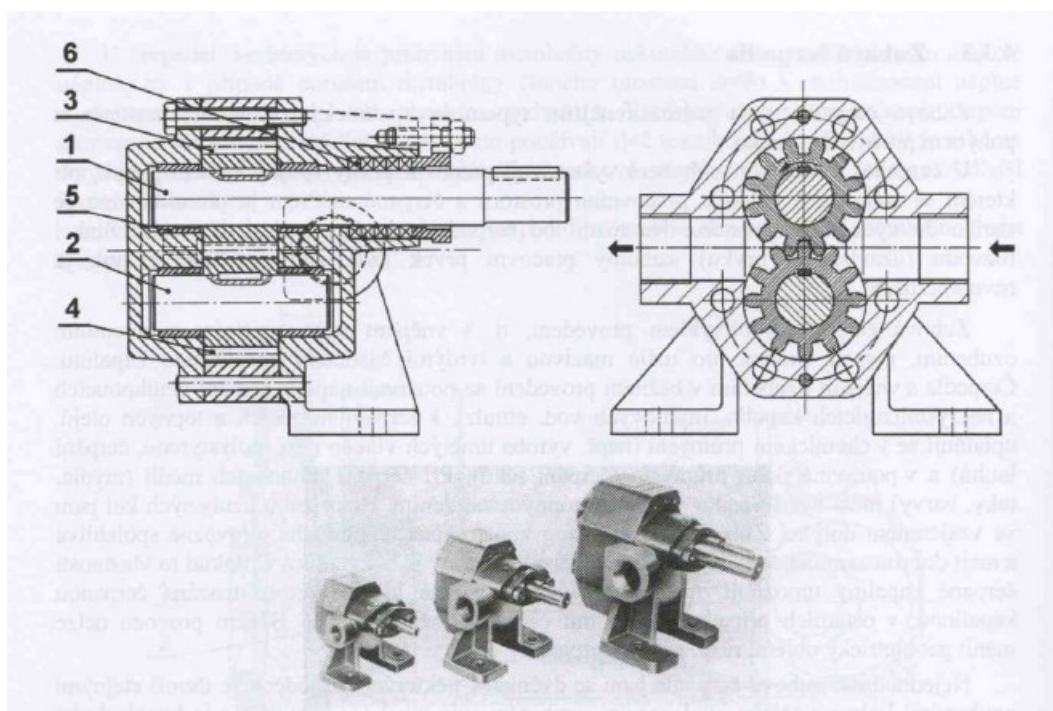
Princip činnosti vychází ze záběru dvou ozubených kol a tudíž činným prvkem jsou jednotlivé zuby. Mezizubovými prostory proudí kapalina, přičemž vstupní a výstupní pásmo je odděleno dotykem dvou ozubených kol.

Základní rozdělení zubových čerpadel:

- s vnějším ozubením
- s vnitřním ozubením [2]

6.3 Zubové čerpadla s vnějším ozubením

Zubové čerpadlo s vnějším ozubením tvoří vzájemně poháněná ozubená kola, kde jedno je hnací a má vyvedenou hřídel mimo těleso čerpadla. Ozubená kola jsou s minimálními vůlemi uložena do sebe v tělese čerpadla. Do mezizubových prostorů proudí kapalina ze sacího prostoru a ta je po kruhové dráze v mezizubových mezerách dopravena do výtlačného prostoru. [2]



Obr. 11: Zubové čerpadlo s dvěma ozubenými koly s vnějším ozubením

1 – Hnací hřídel, 2 – Hnaný hřídel, 3 – Hnací ozubené kolo, 4 – Hnané ozubené kolo,
5 – ložisko, 6 – ucpávkové těsnění

6.4 Komponenty hydraulických zubových čerpadel

Na obrázku 11. jsou hlavní komponenty hydraulických čerpadel a to jsou:

- hnací a hnaná hřídel
- hnací a hnané ozubené kolo

- ložisko a ucpávkové těsnění
- samotné těleso čerpadla
- víko čerpadla

Samotné čerpadlo pracuje na jednoduchém principu a jeho konstrukce není příliš složitá a naopak samotné komponenty jsou na výrobu poněkud náročnější a to hlavně z důvodu přesnosti a tlakové těsnosti.

Hřídele a ozubené kola se vyrábí z ocelí se zaručenými vlastnostmi třískovým obráběním, kde polotovarem jsou tažené profily.

Těleso a víko čerpadla jsou vyrobené z odlitků ze šedé litiny nebo z hliníku. Odlitek je následně opracován třískovým obráběním. [1]

II. PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍLE PRAKTICKÉ ČÁSTI

V praktické části této diplomové práce budu navrhovat přípravek na upnutí při opracování odlitku ze šedé litiny, přičemž finální výrobek je víko hydraulického zubového čerpadla. Nejedná se o konstrukčně náročnou součástku, ale vzhledem k technologii výroby polotovaru, má způsob upínání svá negativní specifika, mezi které řadím drsnost povrchu a přípustné odchylky výrobků odlévaných do pískových forem.

V úvodu představím vyráběnou součástku a zmíním technologii výroby polotovaru. V další části navrhnu přípravek na upínání odlitku, navrhnu technologie opracování a vypočítám řezné síly, které budou působit při opracování na obrobek. Další výpočty se budou týkat spojení přípravku a navrženého upínače.

8 VÝROBA ODLITKU

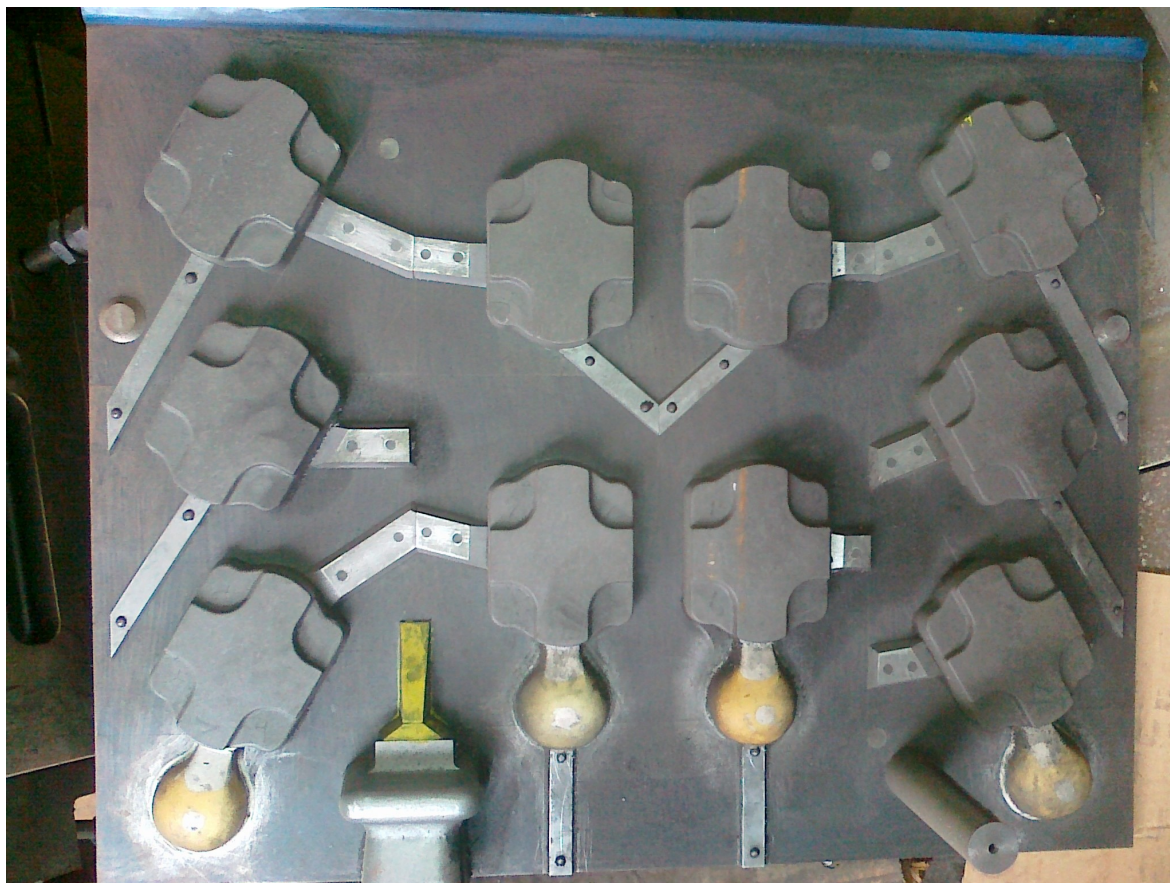
Odlitek, který je polotovarem pro finální součástku, má číslo výkresu 206000 (v příloze). Technologií výroby je zde odlévání do pískových forem, protože funkční části výrobku budou opracovány a plochy, které zůstanou surové nevyžadují lepší kvalitu povrchu, než dosahují výrobky zmiňované technologie.

8.1 Výrobní technologie – odlévání do pískových forem

Vzhledem k tvaru daného odlitku je použita nejběžnější slévárenská technologie a to lití do pískových syrových forem. Roční potřeba těchto odlitků je stanovena na 30000ks a tudíž se jedná o velkosériovou výrobu.

Pro formování a odlití je zvolena formovací linka DISAMATIC typ 2013, která má rozměry formy 600 x 480 mm a jedná se o bezrámovou formovací linku. Na modelové plotně je umístěno 10ks modelů, dělicí rovina je na spodní hraně odlitku a celý tvar součásti je na jedné formovací desce – obrázek 12.

Touto technologií se dosahuje drsnosti povrchu Ra 10 – 100 μ m a rozměrové přesnosti IT 9 – 12. Přídavky na obrábění se stanovují dle normativů a jsou 2 – 3mm na stěnu. [4]



Obr. 12: Modelové zařízení pro výrobu odlitku dle výkresu č. 206000

8.2 Materiál odlitku

Materiálem odlitku je šedá litina, označení dle EN GJL 250. Mechanické vlastnosti: $R_m = 250-350\text{MPa}$, tvrdost 180-240HB.

Chemické složení materiálu EN GJL 250 je: 2,5 – 3,5% C, max. 3,5% Si, 0,4 – 0,8% Mn, 0,2 – 1,2% P, 0,08 – 0,12% S.

Tato litina je vhodná pro součásti, kde je požadována záruka mechanických vlastností, např. řemenice, válce, písty, bloky motorů, nebo komponenty všech typů čerpadel. [4] [1]

9 UPNUTÍ ODLITKU PŘI OPRACOVÁNÍ

Odlitek je opracován do finálního stavu „na jedno“ upnutí a budou zde použity dvě technologické operace a to frézování a vrtání.

Opracovaný odlitek má číslo výkresu 206100 (v příloze), kde průchozí otvory jsou vyrobeny technologií vrtání a „hlavní těsnicí plocha“ je frézována.

9.1 Obráběcí centrum

Obě technologické operace jsou provedeny na obráběcím centru MCFV 1050 Basic, jehož výrobcem je TAJMAC – ZPS, a.s. se sídlem ve Zlíně. Jedná se o základní řadu vertikálních center, které tato firma vyrábí. [31]

Obráběcí centrum má lineární vedení ve všech osách a digitální pohony posuvů. Je vybaveno třemi na sebe kolmými osami, které jsou souvisle řízeny. [431]

Tab. 3. Technická data vertikálního obráběcího centra MCFV 1050 Basic

| | |
|---|--------------------------|
| Zásobník nástrojů | |
| Osa X | 1020 mm |
| Osa Y | 510 mm |
| Osa Z (vřeteník) | 525 mm |
| Rychloposuv | 25 m/min |
| Maximální pracovní posuv | 8 m/min |
| Zrychlení | 5 m/s ² |
| Stůl | |
| Pracovní plocha | 1200 x 510 mm |
| Maximální zatížení | 700 kg |
| Počet T-drážek x šířka x rozteč | 4 x 18 x 125 mm |
| Rozměr střední drážky | 18H6 |
| Vzdálenost pracovní plochy od podlahy | 850 mm |
| Vřeteno | |
| Upínací kužel | ISO 40 |
| Maximální otáčky | 10 000 min ⁻¹ |
| Maximální kroutící moment při přetížení | 115 Nm |
| Výkon při přetížení | 26kW |
| Počet míst v zásobníku | 20 |

| | |
|--------------------------------------|-----------------|
| Zásobník nástrojů | |
| Čas výměny nástroje | 6 s |
| Maximální délka nástroje | 300 mm |
| Maximální hmotnost nástroje | 8 kg |
| Přívody energie | |
| Jmenovité napětí sítě | 3 x 400 V/50 Hz |
| Provozní příkon | 25 kVA |
| Tlak vzduchu | 0,6 – 0,8 MPa |
| Doplňkové údaje | |
| Půdorys stroje bez dopravníku třísek | 2810 x 1895 mm |
| Maximální pracovní výška stroje | 2940 mm |
| Hmotnost stroje | 4800 kg |
| Řídicí systém | FANUC |

9.2 Magnetický upínač

Jako upínač odlitku při obou technologických operacích (frézování, vrtání) je zvolen elektromagnetický permanentní upínač od firmy SCHUNK s typovým označením MFR 2-050-060-040. [29]

Tab. 4. Technická data upínače MFR 2-050-040-060

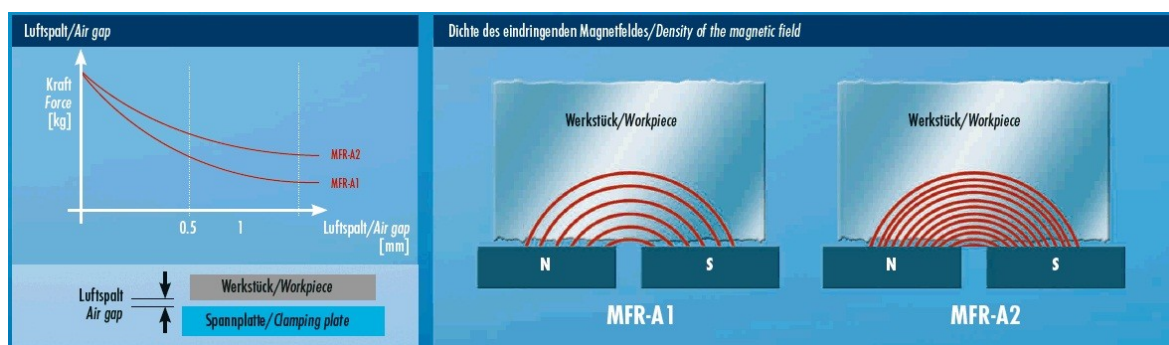
| Označení | MFR 2-050-040-060 |
|--|--------------------------|
| Délka | 600 mm |
| Šířka | 430 mm |
| Výška | 76 mm |
| Počet pólů | 48 |
| Váha | 145 kg |
| Upínací síla při vzduchové mezeře 0 mm | 182 kN |
| Upínací síla při vzduchové mezeře 0,5 mm | 124 kN |
| Upínací síla při vzduchové mezeře 1 mm | 76 kN |

Další volbou mohl být elektromagnetický permanentní upínač od firmy SCHUNK s typovým označením MFR 1-050-040-060. V tabulce č. 5 jsou uvedeny jeho technická data.

Tab. 5. Technická data upínače MFR 1-050-040-060

| Označení | MFR 1-050-040-060 |
|--|-------------------|
| Délka | 590 mm |
| Šířka | 420 mm |
| Výška | 66 mm |
| Počet pólů | 48 |
| Váha | 114 kg |
| Upínací síla při vzduchové mezeře 0 mm | 182 kN |
| Upínací síla při vzduchové mezeře 0,5 mm | 86 kN |
| Upínací síla při vzduchové mezeře 1 mm | 40 kN |

Důvodem pro volbu elektromagnetického permanentního upínače s označením MFR 2-050-040-060 je hlavně větší upínací síla při nenulové vzduchové mezeře. Odlitky, které jsou upínány za surovou plochu se vyznačují drsností od Ra 5 do Ra 8 a tudíž nemohou celou dosedací plochou „dosedat“ na upínací plochu magnetu. Vyšší upínací síly při nenulové vzduchové mezeře u upínače s označením MFR 2 jsou z důvodu použití dvojité vrstvy AlNiCo magnetu, který zajišťuje větší hustotu siločar působících mezi dvěma magnetickými póly. [29]



Obr. 13: Závislost upínací síly na vzduchové mezeře

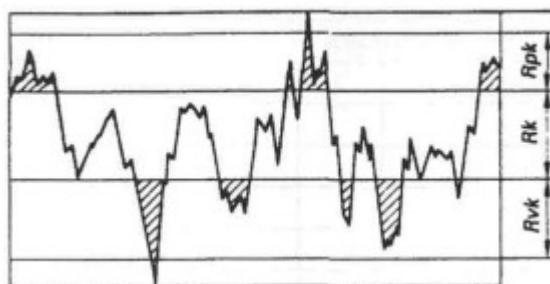
9.2.1 Drsnost odlitku – vzduchová mezera

Vzhledem k drsnosti povrchu odlitku, který je vyráběn technologií lití do pískových forem, je potřeba počítat se vzduchovou mezerou, která vznikne mezi povrchem odlitku a upínací plochou elektromagnetického permanentního magnetu.

Z důvodu uvažované vzduchové mezery byly provedeny měření na surových plochách odlitků – měření jsou uvedena v tabulce 6.

Tab. 6. Naměřené hodnoty drsnosti na surovém odlitku

| <i>Kus</i> | R_a | R_k | R_{vk} | R_{pk} |
|--------------------------|-------|-------|----------|----------|
| č. 1 | 6,87 | 19,86 | 10,12 | 7,61 |
| č. 2 | 5,25 | 14,45 | 9,89 | 5,26 |
| č. 3 | 7,22 | 18,21 | 8,63 | 6,32 |
| č. 4 | 6,8 | 20,5 | 9,13 | 13,77 |
| č. 5 | 4,81 | 15,22 | 9,16 | 5,76 |
| č. 6 | 7,79 | 24,6 | 15,63 | 8,13 |
| č. 7 | 5,93 | 15,18 | 8,77 | 6,22 |
| č. 8 | 5,86 | 15,86 | 6,8 | 10,81 |
| č. 9 | 6,55 | 17,64 | 8,12 | 7,59 |
| č. 10 | 4,38 | 10,85 | 6,49 | 8,01 |
| $\Sigma 1 \dots 10 / 10$ | 6,15 | 17,24 | 9,27 | 7,95 |



Obr. 14: Jádro drsnosti R_k a redukovaná výška výstupků a prohlubní

Definice pojmů dle ISO 4287:

R_k – hloubka jádra profilu drsnosti

R_{vk} – střední hloubka prohlubní profilu pod jádrem drsnosti

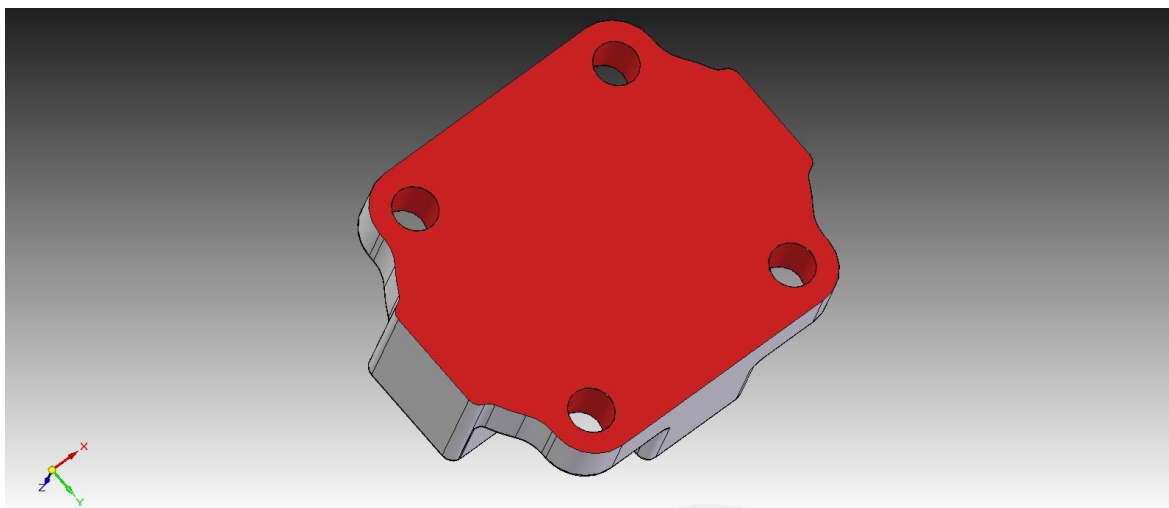
R_{pk} – střední hloubka výstupků nad jádrem profilu [26]

Pro výpočet upínací síly byla stanovena vzduchová mezera jako součet naměřených hodnot R_k , R_{vk} a R_{pk} . Výpočet průměrné vzduchové mezery:

$$\text{Vzduchová mezera} = R_k + R_{vk} + R_{pk} = 34,46\mu\text{m} = 0,034\text{mm}$$

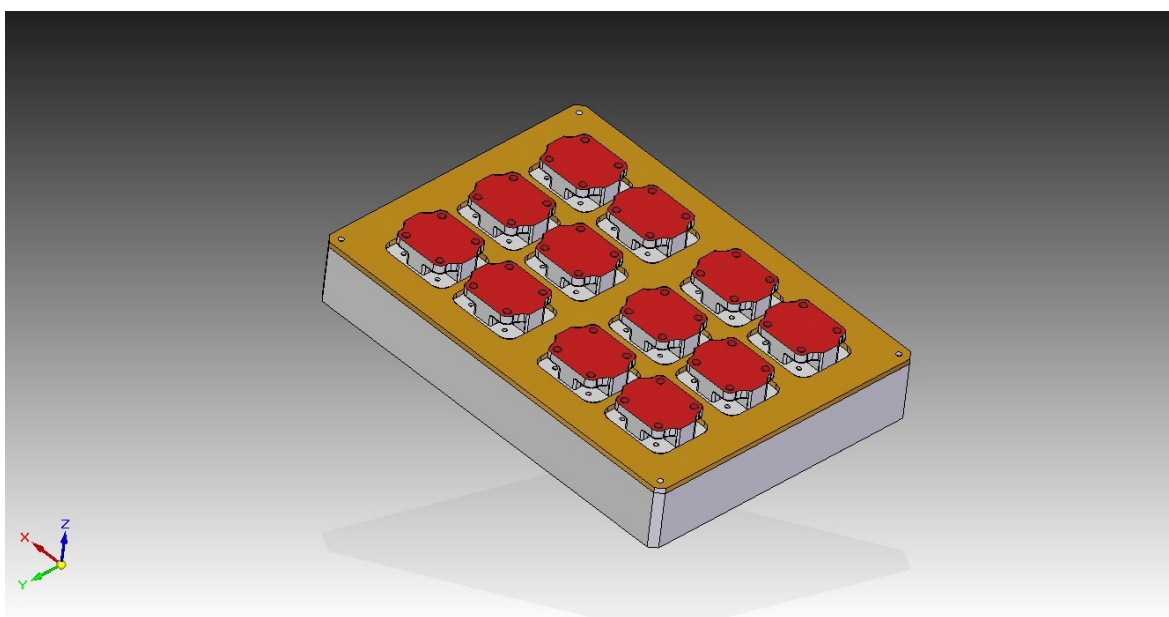
10 ŘEZNÉ SÍLY PŮSOBÍCÍ PŘI OPRACOVÁNÍ

Pro opracování surového odlitku je volena technologie frézování a vrtání na vertikálním obráběcím centru MCFV 1050 Basic. K upnutí je použit magnetický upínač s permanentním magnetem od firmy SCHUNK. Opracované plochy jsou znázorněny na obrázku 15.



Obr. 15: Obrobené plochy

Na magnetický upínač je upnuto 12ks odlitků, které jsou ustaveny na magnetickém upínači pomocí přípravku, který je vyroben z nemagnetického materiálu – obrázek 16.

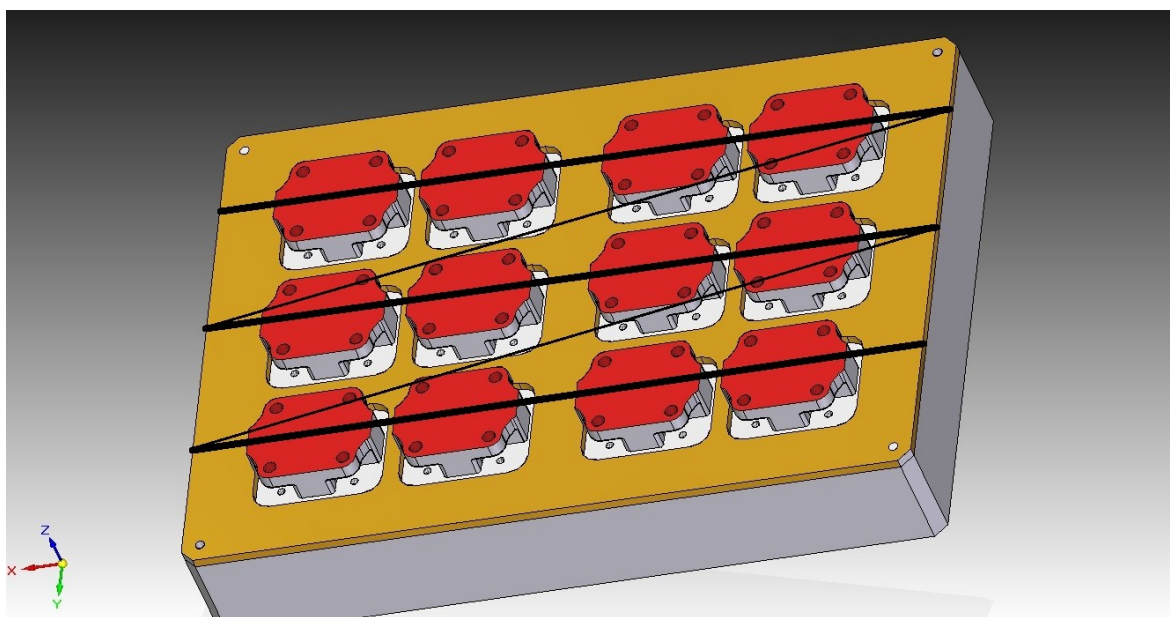


Obr. 16: Upnutí odlitků na magnetický upínač, ustavení pomocí přípravku

10.1 Nástroj a dráha nástroje

Jako nástroj pro operaci frézování je použita frézovací hlava s vyměnitelnými břitovými destičkami od firmy ISCAR. Frézovací hlava má průměr 125mm a je osazena 13-ti břitovými destičkami.

Rovinná plocha opracovávaných odlitků se frézuje frézovací hlavou symetricky a dráha nástroje je zobrazena na obrázku 17.



Obr. 17: Vyobrazení dráhy frézovací hlavy

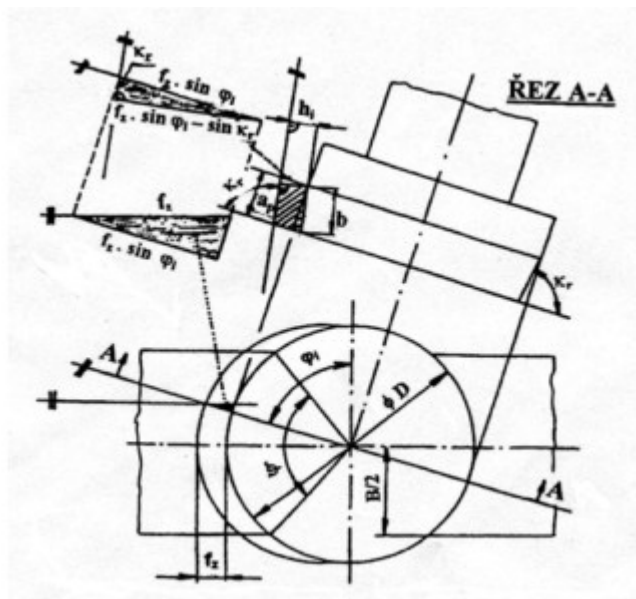
Thustá čára souběžná s přípravkem – frézovací hlava v záběru

Tenká čára – přejezd frézovací hlavy nad obrobkem

Pro operaci vrtání jsou použity tvrdokovové vrtáky o průměru 10,7mm s vnitřním chlazením od firmy HHW.

10.2 Výpočet řezných sil pro operaci frézování

Při čelním symetrickém frézování se celková řezná síla F_c vyjádří na základě řezné síly působící na zub F_{ci} , dále pomocí příslušné měrné řezné síly k_{ci} a jmenovitého průřezu třísky A_{Di} . [8]



Obr. 18: Jmenovitý průměr třísky odebíraný zubem čelní frézy při symetrickém frézování

D – průměr frézy; B – šířka frézované plochy; f_z – posuv nazub; h_i – jmenovitá tloušťka třísky pro polohu i zubu frézy; a_p – šířka záběru ostří; b – jmenovitá šířka třísky; φ_i – úhel posuvového pohybu pro polohu i zubu frézy; κ_r – nástrojový úhel nastavení hlavního ostří; ψ – úhel rozpětí polohy zubu frézy

Dané parametry pro výpočet celkové řezné síly:

1. Průměr frézy $D = 125$ mm
2. Počet zubů frézy $z = 8$
3. Otáčky frézy $n = 620$ min⁻¹
4. Posuvová rychlost $v_f = 450$ mm.min⁻¹
5. Šířka záběru ostří $a_p = 1,5$ mm
6. Šířka frézované plochy $B = 81$ mm
7. Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří $\kappa_r = 75^\circ$
8. Konstanta pro frézování šedé litiny $C_{F_c} = 950$
9. Exponent pro frézování šedé litiny $x = 0,67$

Počet zubů v současném záběru n_z se pro symetrické frézování vypočítá ze vztahů:

$$\Psi = 2 \arcsin \frac{B}{D} = 2 \arcsin \frac{81}{125} = 81^\circ$$

Úhel rozpětí zubů frézy při záběru je 81° .

$$n_z = \frac{\Psi}{360} \cdot z = \frac{81}{360} \cdot 13 = 2,925 \rightarrow 3 \text{ zuby}$$

V současném záběru jsou 3 zuby.

Posuv na zub f_z je dán vztahem:

$$f_z = \frac{v_f}{n \cdot z} = \frac{450}{620 \cdot 13} = 0,055 \rightarrow 0,06 \text{ mm}$$

Posuv na zub f_z je 0,06mm.

Celková řezná síla pro F_c bude vypočtena pro $\varphi_1 = 45^\circ$, $\varphi_2 = 90^\circ$, $\varphi_3 = 135^\circ$:

$$F_c = C_{F_c} \cdot a_p \cdot f_z^x (\sin^x \varphi_1 + \sin^x \varphi_2 + \sin^x \varphi_3)$$

$$F_c = 950 \cdot 1,5 \cdot 0,06^{0,67} (\sin^{0,67} \varphi_{45} + \sin^{0,67} \varphi_{90} + \sin^{0,67} \varphi_{135}) = 559,4 \text{ N}$$

Celková řezná síla pro operaci frézování je 559,4 N. [14]

10.3 Výpočet řezných sil pro operaci vrtání

Celková řezná síla při vrtání F_c se nejčastěji vypočítává z empirického vztahu:

$$F_c = C_{F_c} \cdot D^{(x_{F_c})} \cdot f^{(y_{F_c})} \quad [\text{N}]$$

Charakteristickým znakem při vrtání je vícebřítý nástroj, u kterého se řezná rychlost zmenšuje směrem od obvodu ke středu nástroje. Za řeznou rychlost se považuje obvodová rychlost na největším průměru nástroje. [8]

Dané parametry pro výpočet celkové řezné síly u operace vrtání:

1. Průměr vrtané díry a zároveň průměr nástroje $D = 10,7 \text{ mm}$
2. Otáčky vřetena $n = 3500 \text{ min}^{-1}$
3. Posuvová rychlost $v_f = 700 \text{ mm} \cdot \text{min}^{-1}$
4. Konstanta pro vrtání šedé litiny $C_{F_c} = 2450$
5. Exponent pro vrtání šedé litiny $x_{F_c} = 0,85$
6. Exponent pro vrtání šedé litiny $y_{F_c} = 0,80$

Přepočet posuvové rychlosti v_f na posuv na otáčku f

$$f = \frac{v_f}{n} \cdot 10^{-3} = \frac{700}{3500} \cdot 10^{-3} = 0,002$$

Posuv na otáčku $f = 0,0002 \text{ mm} \cdot \text{ot}^{-1}$

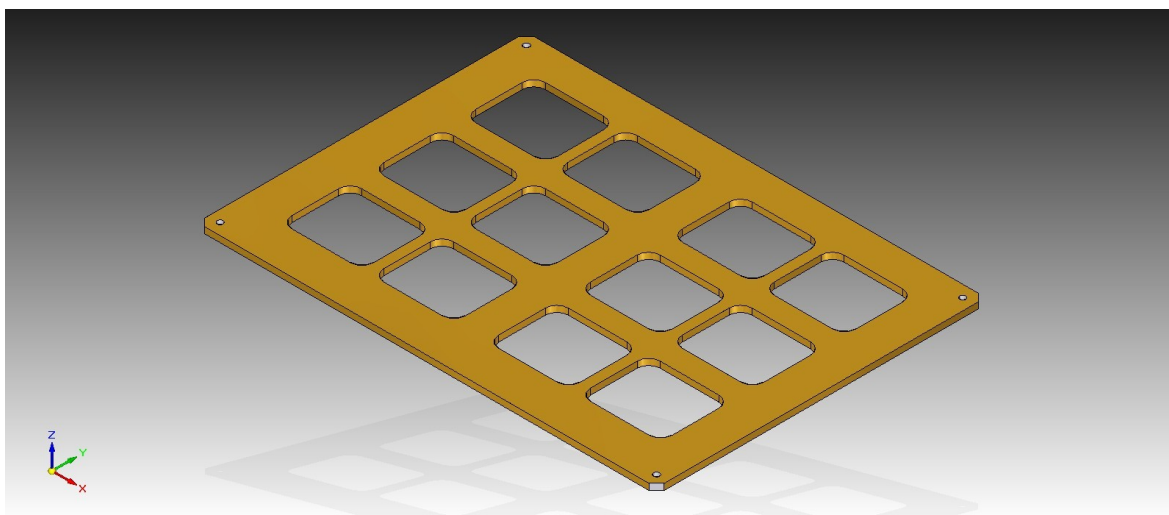
Výpočet celkové řezné síly F_c

$$F_c = C_{F_c} \cdot D^{(X_{F_c})} \cdot f^{(Y_{F_c})} = 2450 \cdot 10,7^{0,85} \cdot 0,0002^{0,8} = 20,2 \text{ N}$$

Celková řezná síla u operace vrtání $F_c = 20,2 \text{ N}$ [15]

11 ROZEBIRATELNÉ SPOJENÍ MAGNETICKÉHO UPÍNAČE PŘÍPRAVKU

Pro aretaci odlitků na magnetickém upínači byl zvolen přípravek – ustavovací mřížka – obrázek 19.



Obr. 19: Přípravek - ustavovací mřížka

Ustavovací mřížka je vyrobená z materiálu: nerezová ocel 1.4016 dle EN100883-1.

Vnější rozměr přípravku odpovídá vnějšímu tvaru zvoleného elektromagnetického permanentního upínače, tzn. 600 mm x 430 mm.

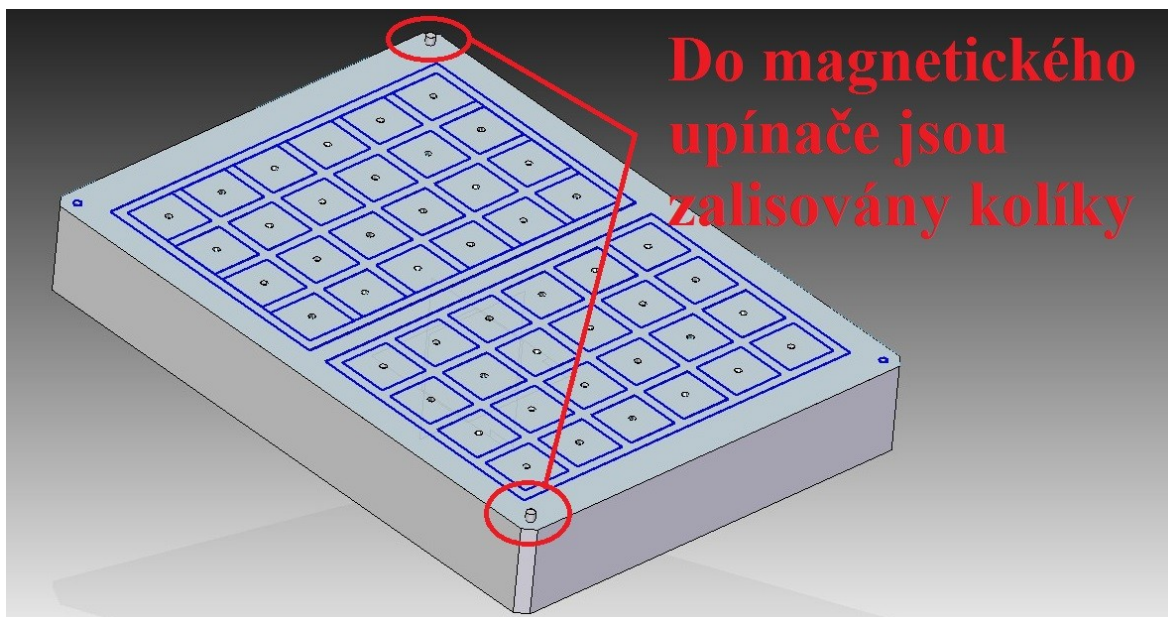
Mřížka byla vyrobena technologií řezání vodním paprskem dle výkresu č. 206600.

Nerezový materiál k výrobě přípravku byl zvolen z toho důvodu, že je nemagnetický a tudíž nebude odebírat elektromagnetickému permanentnímu upínači magnetismus a všechny siločáry, které po zapojení upínače vzniknou mezi jednotlivými póly magnetu, budou probíhat přes obrobek. [29]

11.1 Způsob spojení a aretace magnetického upínače a přípravku

Jako způsob aretace přípravku vůči magnetu bylo zvoleno spojení kolíkem, kdy jedna část kolíku je vlisována do předvrtaného otvoru na magnetu a na druhou vyčnívající část se nasazují otvory vyvrtané v přípravku. [27]

Spojení přípravku a magnetu je zajištěno pomocí šroubu M8, kde v magnetu je závit a v přípravku je předvrtán otvor.



Obr. 20: Umístění kolíku na magnetu, v opačných rozích jsou otvory se závitem pro šroub M8

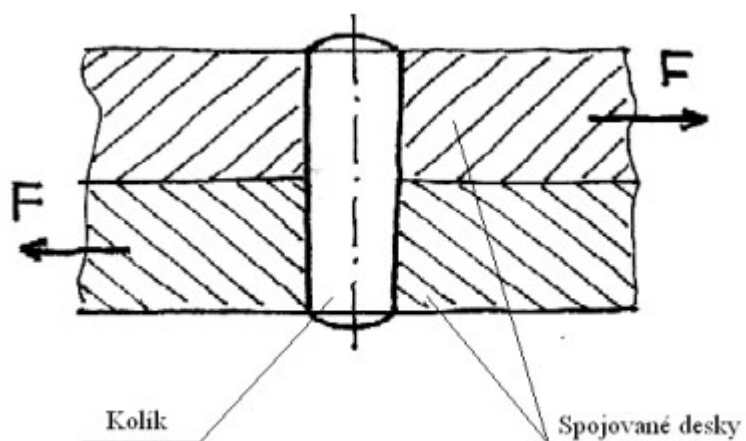
11.2 Kolík 8

Kolíkové spoje patří k nejstarším a jednoduchým spojením, kde se spojení uskutečňuje tvarovým stykem. Jedna část kolíku je usazena pevně v jedné ze součástí a děje se tak pomocí:

- přesahu naráženého kolíku v díře
- deformací kolíku
- narážená část kolíku má kuželovitý tvar

Kolíkové spoje mají tyto vlastnosti:

- levné a jednoduché spojení
- pevné a nepohyblivé spojení dvou součástí
- spojení je rozebíratelné
- lze spojovat i rotační součásti
- většina kolíků je normalizována [32]



Obr. 21: Kolíkový spoj

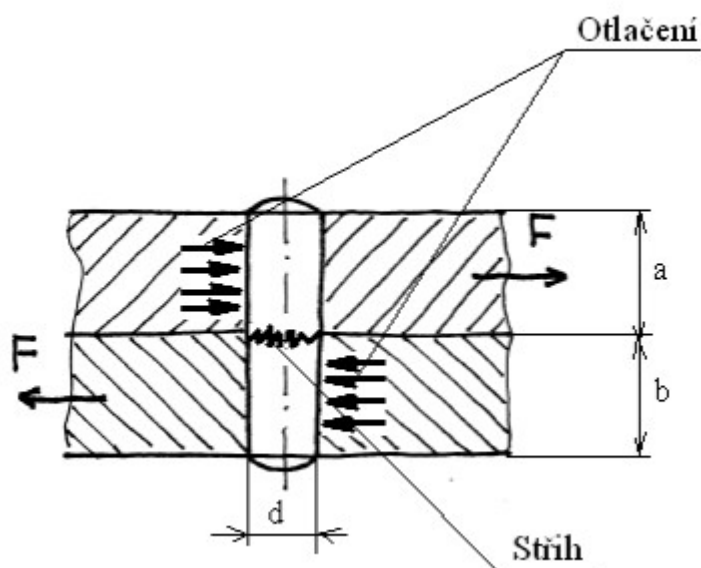
Rozdělení kolíků:

- válcové
- válcové se sražením
- válcové k roznýtování
- kuželové
- pružné
- rýhované
- hřeby

Pro potřebu aretace přípravku a elektromagnetického permanentního upínače byl zvolen nenormalizovaný kolík dle výkresu č. 206800 z materiálu 11600 dle ČSN. [32]

11.3 Namáhání kolíku

Kolík je namáhán na stříh a na otláčení na boku kolíku. U navrženého kolíkového spoje je nutné provést výpočty, zda bude dostatečně dimenzován proti rezným silám, které se budou přenášet na kolíkový spoj.



Obr. 22: Namáhání kolíku

Dané parametry pro výpočet:

1. Je navržen kolík o průměru $d = 8\text{mm}$.
2. Zátěžující síla F působící na kolík. Je počítána jako síla F_c působící při frézování, protože je větší jako síla F_c působící při vrtání. $F = 559,4\text{N}$.
3. Dovolené napětí materiálu (11600) kolíku ve střihu $\tau_{Ds} = 60\text{MPa}$ [28]
4. Délka kolíku, která je ve styku s přípravkem $a = 8\text{mm}$
5. Délka kolíku, která je zalisovaná v přípravku $b = 10\text{mm}$
6. Dovolенý tlak mezi kolíkem a deskou $p_d = 100\text{MPa}$ [28]

Výpočet kolíku na střih:

$$\tau = \frac{F}{S}$$

$$S = \frac{\pi \cdot d^2}{4} = \frac{\pi \cdot 8^2}{4} = 50,27\text{mm}^2$$

$$\tau = \frac{F}{S} = \frac{559,4}{50,27} = 11,13\text{MPa}$$

Je splněna podmínka $\tau \leq \tau_{Ds}$ a tudíž navržený kolík dle výkresu č. 208800 vyhovuje z hlediska dovoleného napětí ve střihu.

Výpočet otláčení kolíku:

$$p_a = \frac{F}{(d \cdot a)} = \frac{559,4}{(8 \cdot 8)} = 8,74 \text{ MPa}$$

$$p_b = \frac{F}{(d \cdot a)} = \frac{559,4}{(8 \cdot 10)} = 6,99 \text{ MPa}$$

Je splněna podmínka $p \leq p_D$ a navržený kolík dle výkresu č. 208800 vyhovuje z hlediska dovoleného otláčení. [32]

12 VYHODNOCENÍ PŮSOBENÍ ŘEZNÝCH A UPÍNACÍCH SIL

Při technologických procesech obrábění vznikají řezné síly působící na obrobek, který musí být dostatečně upnut v přípravku. Upínací síly zabraňují obrobku, aby se přemístil ze své polohy a tudíž musí být větší než řezné síly.

12.1 Upínací síla

Upínací síla musí být dostatečně velká na to, aby po aretaci obrobku v přípravku zajistila přesnou vzájemnou polohu nástroje a obrobku a taky dostatečnou tuhost upnutí.

Pro upínání byl zvolen elektromagnetický permanentní upínač, který zajišťuje upnutí v krátkých časech a je zde možnost jeho aplikace na širokém spektru obrobků i obráběcích strojů.

Výrobce magnetu byly dodány parametry pro upínání a upínací sílu. Dle tabulky 4., kde jsou uvedena technická data použitého magnetu, je upínací síla při nulové vzduchové mezeře mezi upínací plochou obrobku a dosedací plochou na magnetu 182 000 N. Při vzduchové mezeře 0,5 mm je to 124 000 N a při vzduchové mezeře 1 mm je to 76 000N.

U upínací plochy odlitku byla naměřena drsnost R_a 6,15 μm . Z dalších naměřených hodnot profilu drsnosti (R_k , R_{vk} , R_{pk}) bylo zjištěno, že střední vzdálenost mezi výstupky a prohlubněmi je 34,46 μm , což odpovídá 0,034 mm. [29] [10]

12.2 Řezné síly

Řezné síly, které jsou vyvolány působením nástroje na obrobek, tvoří složitou silovou soustavu. Celková řezná síla je výslednicí jednotlivých sil, které působí mezi nástrojem a obrobkem. Řezná síla působí proti upínacím silám a musí být za všech okolností menší než upínací síly.

V kapitole 10.2 byla vypočítána pro technologickou operaci frézování celková řezná síla $F_c = 559,4$ N.

V kapitole 10.3 byla vypočítána pro technologickou operaci vrtání celková řezná síla $F_c = 20,2$ N.

12.3 Aretace přípravku pomocí kolíku

Pro přesné ustavení obrobku bylo nutné na elektromagnetickou permanentní desku umístit přípravek, na kterém dojde k přesnému (a tuhému) ustavení obrobku vůči nástroji. Pro

tento účel byl navržen přípravek dle výkresu č. 206600. Přípravek je na elektromagnetickou permanentní desku umístěn pomocí kolíků, které byly počítány na namáhání ve střihu a na otláčení.

Při maximální řezné síle $F_c = 559,4$ N, bude kolík ve střižné ploše namáhán silou $\tau = 11,13$ MPa a dovolené napětí ve střihu je v tomto případě $\tau_{Ds} = 60$ Mpa, tzn. navržený kolík průměru 8mm (výkres č. 206800) vyhovuje.

Kolík zároveň vyhověl kontrole na otláčení, kdy hodnota otláčení byla spočítána na $p = 8,74$ MPa a dovolený tlak mezi kolíkem a deskou je u použitého materiálu (11 600) $P_D = 100$ MPa.

13 ZÁVĚR

V teoretické části této diplomové práce byly představeny výrobní technologie, které se používají pro výrobu finálního obrobku, tzn. víka hydraulického čerpadla.

V praktické části byly specifikovány parametry použitých strojů, upínačů a přípravků. Byl navržen elektromagnetický permanentní upínač a přípravek, které zajišťují tuhé upnutí obrobku a jeho aretaci vůči nástroji.

Na základě doporučení dodavatele elektromagnetického upínače a měření byla stanovena upínací síla, která zajišťuje upnutí obrobku. Výpočty celkové řezné síly u provedených technologických operací při opracování ukázaly, že řezné síly jsou daleko menší než je upínací síla obrobku.

Spojení přípravku s elektromagnetickým upínačem zajišťuje kolíkový spoj, u něhož byly rovněž provedeny výpočty na namáhání stříhem a otlačení. Navržený kolík vyhověl v obou případech.

Výhody navrženého přípravku:

- efektivní a rychlé upnutí
- dostatečná tuhost upnutí
- možnost variability s dalšími stroji
- oproti mechanickému upnutí nedochází k deformaci upínacích ploch

SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] MELICHAR, Jan. *Hydraulické a pneumatické stroje, část čerpadla*. České vysoké učení technické Praha, 137 stran
- [2] VAŘURA, Jaroslav. *Hydraulické a pneumatické mechanismy*. Vysoké učení technické Brno, 170 stran
- [3] Internet: www.fme.vutbr.cz . *Hydrostatika – učební texty*
- [4] MURGAŠ, POKUSA, PODHORSKÝ, POKUSOVÁ. *Technologia zlievarenstva*. Slovenská technická univerzita v Bratislavě, 2001, 185 stran
- [5] BEDNÁŘ. *Technologičnost konstrukce odlitků*. ÚJEP Ústí nad Labem, 2004
- [6] MÁDL, BARCAL. *Základy technologie II*. ČVUT v Praze, 2002
- [7] VOLNÝ. *Vývojové trendy magnetických upínačů pro upínání feromagnetických předmětů*, ČVUT v Praze, zdroj www.synergy.com
- [8] KOČMAN, PROKOP. *Technologie obrábění*. Akademické nakladatelství CERM, 2005, 270 stran, ISBN 80-214-3068-0
- [9] JURKO, LUKOVICS. *Vrtanie – technologická metóda výroby dier*. UTB – Zlín, 2007, ISBN 978-80-7318-488-9
- [10] KOČMAN. *Technologie obrábění*. CERM Brno, 2011, ISBN 80-214-3068-0
- [11] LUKOVICS. *Konstrukční materiály a technologie*. VUT Brno, 1990, ISBN 80-214-0399-3
- [12] NESLUŠAN, aj. *Experimentálne metódy v obrábani*. EDIS Žilina, 2007, ISBN 978-8070-711-8
- [13] MÁDL, KAFKA, VRABEC, DVOŘÁK. *Technologie obrábění – 1.díl*. ČVUT v Praze
- [14] HUMÁR. *TECHNOLOGIE I. - výpočtová cvičení*. VÚT Brno, 2003
- [15] KOČMAN, PROKOP. *TECHNOLOGIE VÝROBY II. - řešené příklady*. VUT v Brně, 2002
- [16] HUMÁR. *TECHNOLOGIE I. - Technologie obrábění*. VÚT Brno, 2004
- [17] HUMÁR, PÍŠKA. *Technologie frézování*. MM Průmyslové spektrum – speciální vydání, 2004, ISSN 1212-2572

- [18] HUMÁR, PÍŠKA. *Technologie vrtání*. MM Průmyslové spektrum – speciální vydání, 2004, ISSN 1212-2572
- [19] VIGNER, PŘIKRYL a kol.. *Obrábění*. SNTL Praha, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1984
- [20] KAFKA, VRABEC. *Technologie obrábění – Návod ke cvičení*, ČVUT v Praze, 1995
- [21] PATRICK DE VOS. *Jak je to s řeznými silami*. [www:mmspektrum.com](http://www.mmspektrum.com), 2012
- [22] Internet: www.sandvik.coromant.com.
- [23] Internet: www.drogo.fme.vutbr.cz. *Obrábění na CNC strojích*
- [24] FOREJT, PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. CERM, 2006, ISBN 80-214-2374-9
- [25] VÁVRA, LEINVEBER. *Strojírenské tabulky*. ALBRA, 2006, ISBN 80-7361-033-7
- [26] Internet: www.hommel-etamic.cz. *Drsnost povrchu dle DIN EN ISO*
- [27] ŘASA. *Strojírenská technologie 3: Metody, stroje a nástroje na obrábění*. Scientia, Praha, 2005
- [28] VÁVRA a kol.. *Strojnické tabulky pro SPŠ strojnické*, SNTL, Praha, 1983
- [29] Internet: www.schunk.com
- [30] Internet: www.iscar.cz
- [31] Internet: www.tajmac-zps.cz
- [32] Internet: www.moodle2.voskop.eu. ŠLUPINA. *Spoje ve strojírenství*.

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

| | |
|-------------|--|
| F_c | Celková řezná síla [N] |
| F_f | Posuvová složka řezné síly [N] |
| F_p | Pasivní složka řezné síly [N] |
| c_{Fc} | Materiálová konstanta |
| c_{Ff} | Materiálová konstanta |
| c_{Fp} | Materiálová konstanta |
| x_{Fc} | Exponent vlivu a_p |
| x_{Ff} | Exponent vlivu a_p |
| x_{Fp} | Exponent vlivu a_p |
| a_p | Hloubka obráběné vrstvy [mm] |
| y_{Fc} | Exponent vlivu f |
| y_{Ff} | Exponent vlivu f |
| y_{Fp} | Exponent vlivu f |
| f | Posuv na otáčku [mm] |
| k_c | Měrná řezná síla [MPa] |
| A_D | Plocha jmenovitého průřezu třísky [mm ²] |
| F_{ci} | Řezná síla vztažená na zub nástroje [N] |
| F_{fi} | Posuvová složka řezné síly vztažená na zub nástroje [N] |
| F_{fi} | Síla kolmá k posuvové složce řezné síly vztažené na zub nástroje [N] |
| k_{ci} | Měrná řezná síla vztažená na zub nástroje [MPa] |
| f_z | Posuv na zub nástroje |
| C_{Fc} | Konstanta zahrnující vliv obráběného materiálu |
| x | Exponent tloušťky třísky |
| F_{f1} | Jedna ze dvou složek posuvové řezné síly [N] |
| F_{f2} | Jedna ze dvou složek posuvové řezné síly [N] |
| F_{p1} | Jedna ze dvou složek pasivní řezné síly [N] |
| F_{p2} | Jedna ze dvou složek pasivní řezné síly [N] |
| x_{Fc} | Exponent vlivu průměru vrtáku u vrtání |
| y_{Fc} | Exponent vlivu posuvu na otáčku u vrtání |
| M_c | Řezný moment [Nm] |
| R_a | Průměrná aritmetická úchylka posuzovaného profilu drsnosti [μm] |
| R_k | Hloubka jádra profilu drsnosti [μm] |
| R_{vk} | Střední hloubka prohlubní profilu pod jádrem drsnosti [μm] |
| R_{pk} | Střední hloubka výstupků nad jádrem profilu [μm] |
| κ_r | Nástrojový úhel nastavení hlavního ostří [°] |
| φ_i | Úhel posuvového pohybu pro polohu i zubu frézy [°] |

| | |
|-------------|---|
| ψ | Úhel rozpětí polohy zubu frézy [°] |
| z | Počet zubů nástroje |
| n | Otáčky nástroje [min^{-1}] |
| v_f | Posuvová rychlost [$\text{mm} \cdot \text{min}^{-1}$] |
| τ_{Ds} | Dovolené napětí ve střihu [MPa] |
| p_D | Dovolený tlak mezi kolíkem a deskou [MPa] |

SEZNAM OBRÁZKŮ

| | |
|--|----|
| Obr. 1: Tvar grafitu v litinách..... | 12 |
| Obr. 2: Rozklad řezné síly do třech složek..... | 20 |
| Obr. 3: Určení silových poměrů na zubu a rozklad sil řezání..... | 21 |
| Obr. 4: Jednotlivé složky řezných sil..... | 22 |
| Obr. 5: Nástrojová geometrie bříty soustružnického nože..... | 28 |
| Obr. 6: Nástrojová souřadnicová soustava soustružnického nože..... | 29 |
| Obr. 7: Základní modul elektromagnetického upínače s pólovou deskou..... | 32 |
| Obr. 8: Princip permanentního magnetického upínače, zapnuto, vypnuto..... | 33 |
| Obr. 9: Principiální schéma čtvercových pólů a) zapnuto b) vypnuto..... | 35 |
| Obr. 10: Přenos magnetického toku na vedlejší pól..... | 35 |
| Obr. 11: Zubové čerpadlo s dvěma ozubenými koly s vnějším ozubením..... | 37 |
| Obr. 12: Modelové zařízení pro výrobu odlitku slw výkresu č. 206000..... | 42 |
| Obr. 13: Závislost upínací síly na vzduchové mezeře..... | 45 |
| Obr. 14: Jádro drsnosti R_k a redukováná výška výstupků a prohlubní..... | 46 |
| Obr. 15: Plochy obrobené při 1. technologické operaci..... | 48 |
| Obr. 16: Upnutí odltků na magnetický upínač, ustavení pomocí přípravku..... | 48 |
| Obr. 17: Vyobrazení dráhy frézovací hlavy | 49 |
| Obr. 18: Jmenovitý průměr třísky odebíraný zubem čelní frézy při symetrickém frézování... 50 | |
| Obr. 19: Přípravek - ustavovací mřížka..... | 53 |
| Obr. 20: Umístění kolíku na magnetu, v opačných rozích jsou otvory se závitem pro šroub M8..... | 54 |
| Obr. 21: Kolíkový spoj..... | 55 |
| Obr. 22: Namáhání kolíku..... | 56 |

SEZNAM TABULEK

| | |
|--|----|
| Tab. 1. Dosahované hodnoty drsnosti u jednotlivých metod opracování..... | 23 |
| Tab. 2. Dosahované hodnoty přesnosti u jednotlivých metod opracování..... | 24 |
| Tab. 3. Technická data vertikálního obráběcího centra MCFV 1050 Basic..... | 41 |
| Tab. 4. Technická data upínače MFR 2-050-040-060..... | 42 |
| Tab. 5. Technická data upínače MFR 1-050-040-060..... | 43 |
| Tab. 6. Naměřené hodnoty drsnosti na surovém odlitku..... | 44 |

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha P 1: Výkres č. 206000

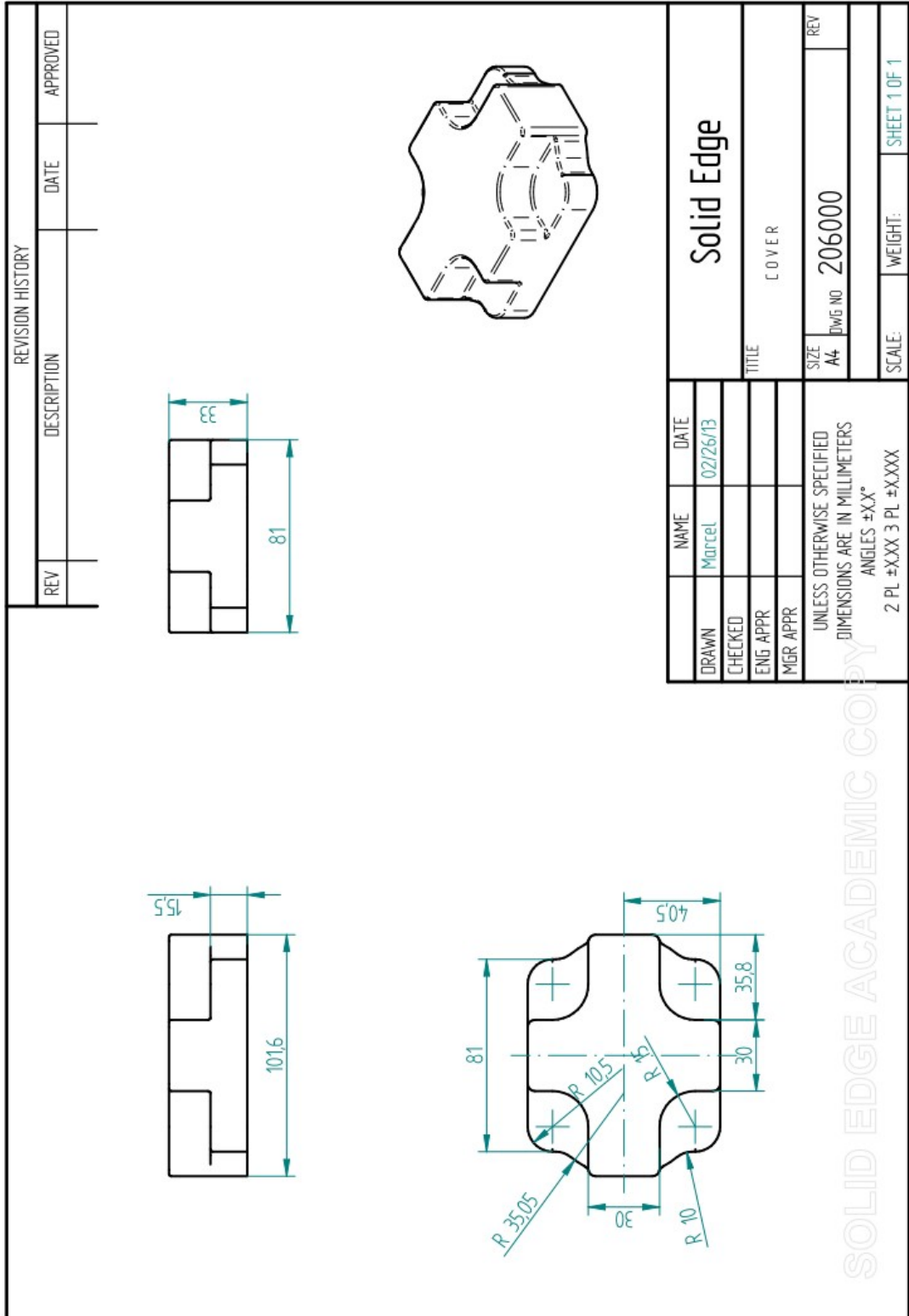
Příloha P 2: Výkres č. 206100

Příloha P 3: Výkres č. 206600

Příloha P 4: Výkres č. 206800

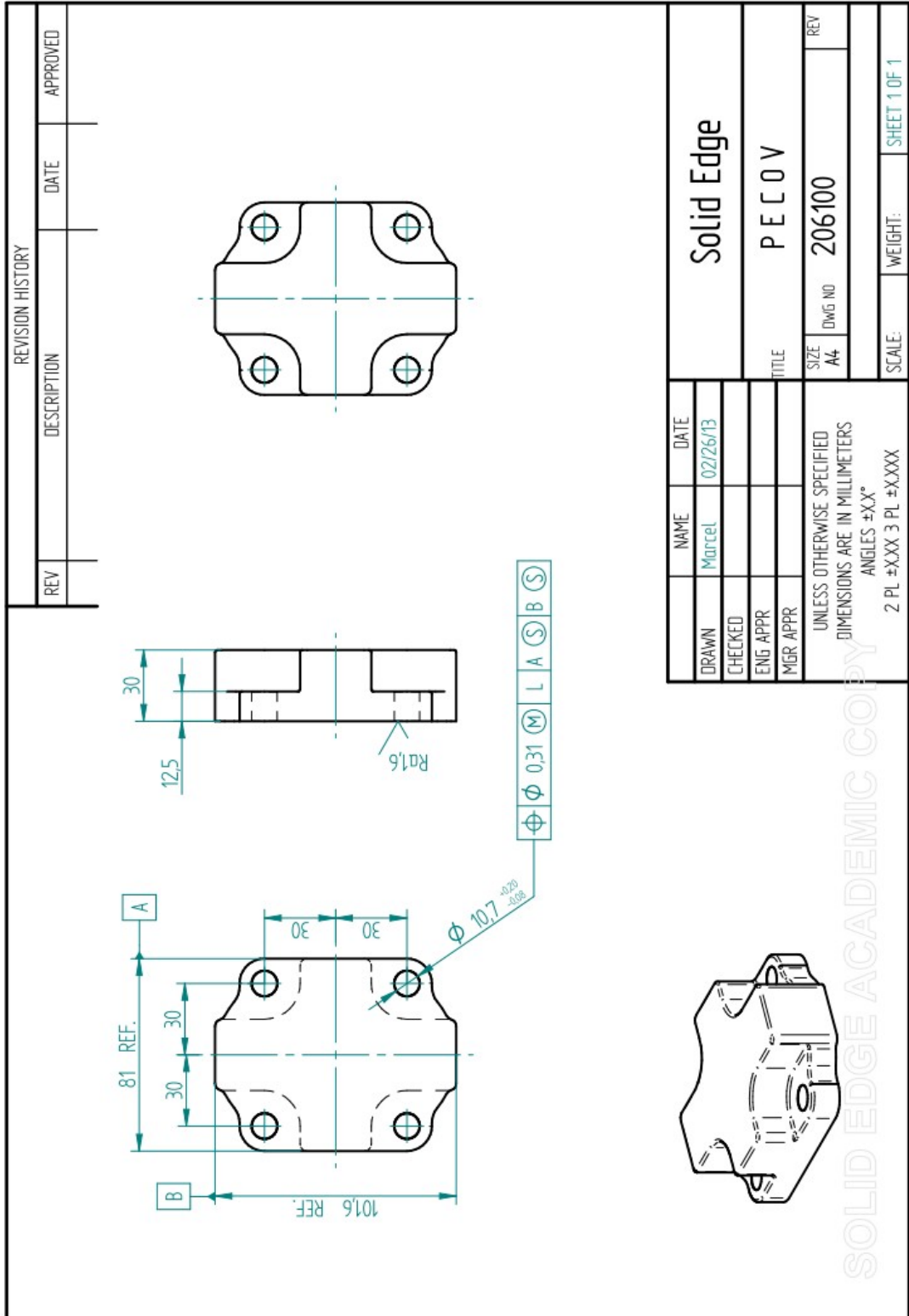
Příloha P 5: Výkres upínače č. 0422451

PŘÍLOHA P 1: VÝKRES Č. 206000

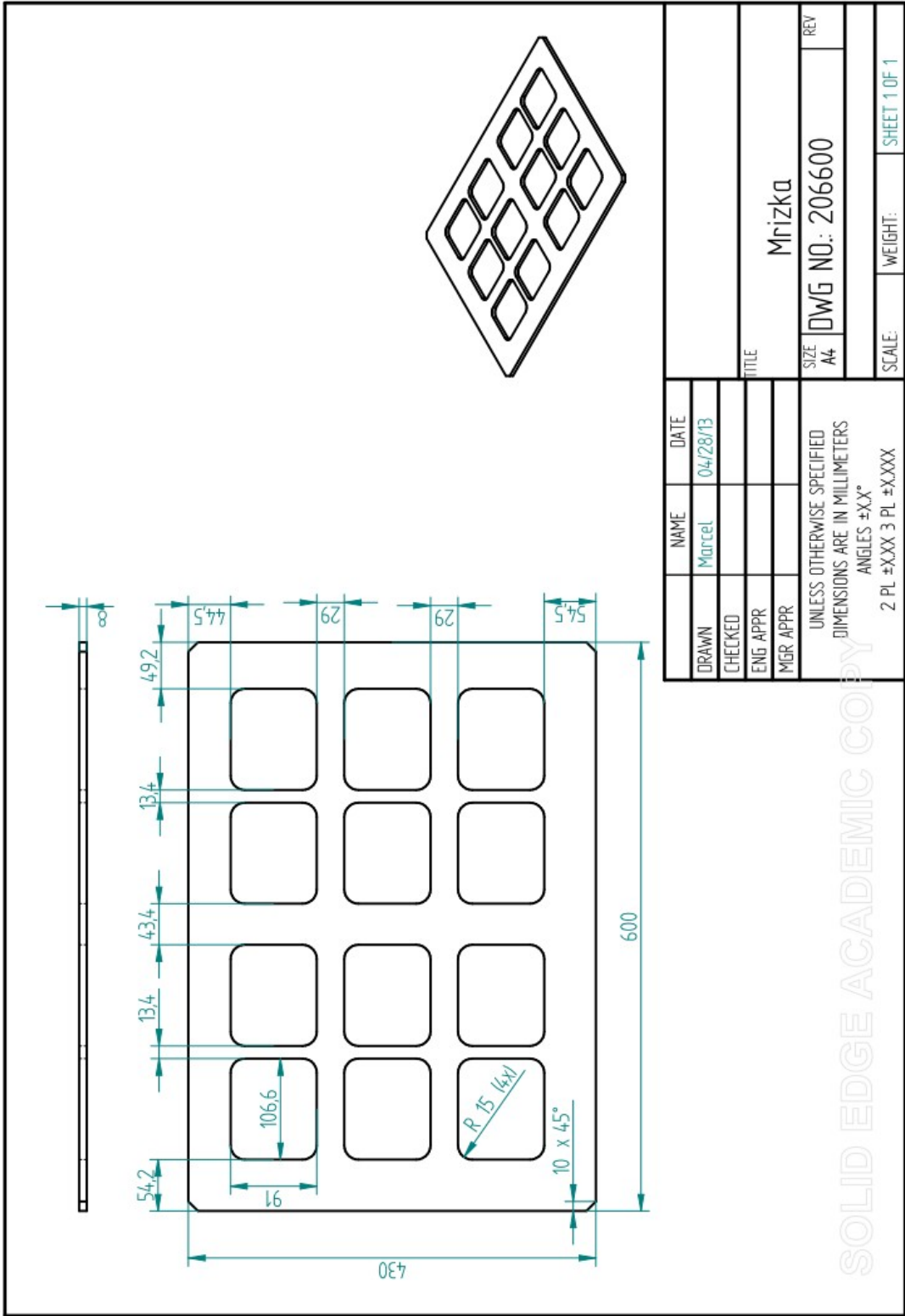


SOLID EDGE ACADEMIC COPY

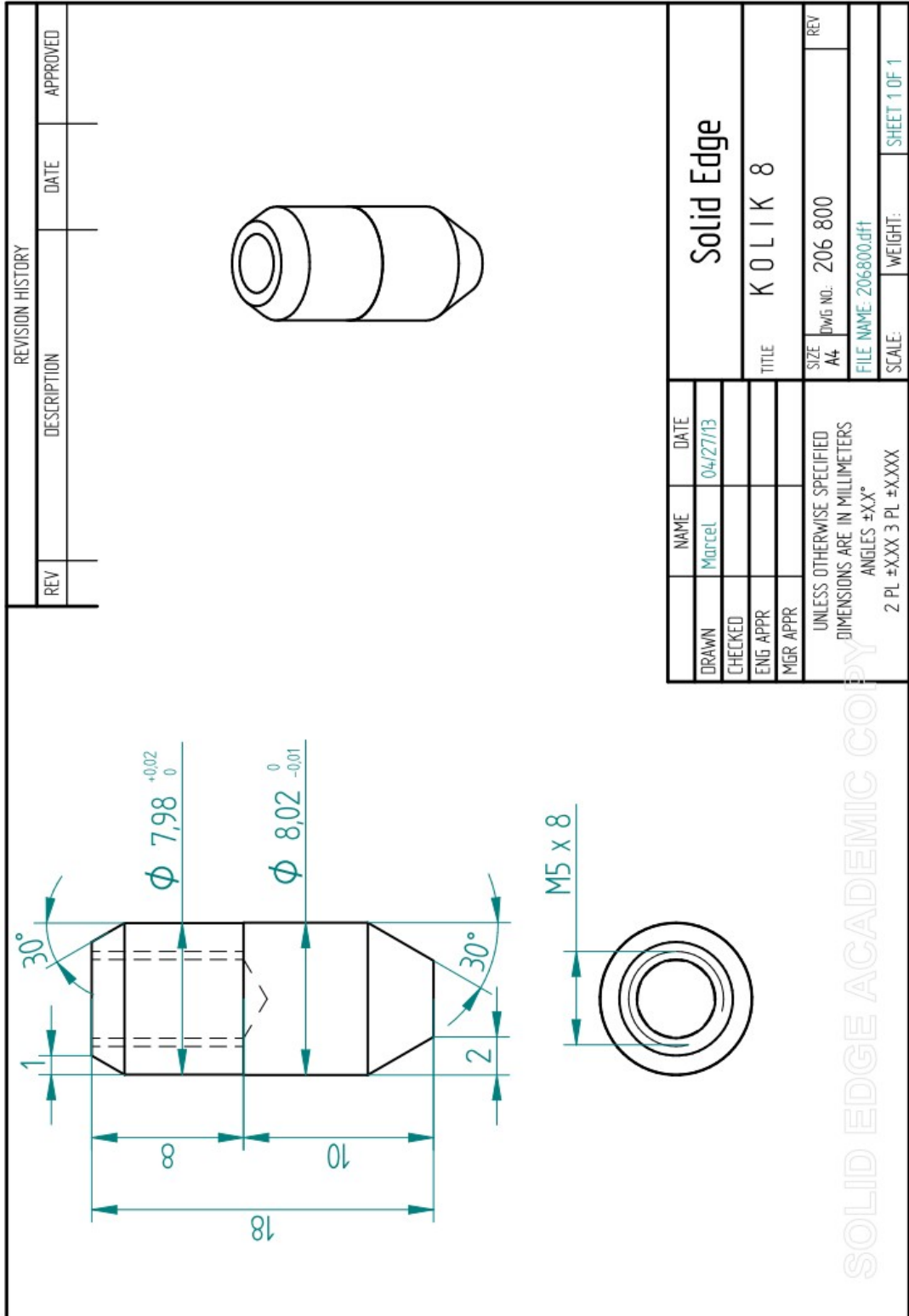
PŘÍLOHA P 2: VÝKRES Č. 206100



PŘÍLOHA P 3: VÝKRES Č. 206600



PŘÍLOHA P 4: VÝKRES Č. 206800



SOLID EDGE ACADEMIC COPY

