VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA PODNIKATELSKÁ
ÚSTAV MANAGEMENTU

FACULTY OF BUSINESS AND MANAGEMENT
INSTITUTE OF MANAGEMENT

HODNOCENÍ NÁKLADŮ NA ŘEZNÉ NÁSTROJE PŘI FRÉZOVÁNÍ HLINÍKOVÝCH PROFILŮ VE SPOLEČNOSTI IFE-ČR, A.S.

EVALUATION THE COST OF CUTTING TOOLS FOR MILLING ALUMINIUM PROFILES IN IFE-ČR, A.S. COMPANY

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE — MONIKA NĚMEČKOVÁ
AUTHOR

VEDOUCÍ PRÁCE — Ing. JOSEF SEDLÁK, Ph.D.
SUPERVISOR

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně
Fakulta podnikatelská

Akademický rok: 2010/2011
Ústav managementu

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Němečková Monika

Ekonomika a procesní management (6208R161)

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách, Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně a Směrnicí děkana pro realizaci bakalářských a magisterských studijních programů zadává bakalářskou práci s názvem:

Hodnocení nákladů na řezné nástroje při frézování hliníkových profilů ve společnosti IFE-ČR, a.s.

v anglickém jazyce:

Evaluation the Cost of Cutting Tools for Milling Aluminium Profiles in IFE-ČR, a.s. Company

Pokyny pro vypracování:

Úvod
Charakteristika operace frézování a materiálů pro řezné nástroje
Analýza současného stavu
Návrh na zlepšení stávajícího stavu
Technicko-ekonomické zhodnocení
Závěr

Podle § 60 zákona č. 121/2000 Sb. (autorský zákon) v platném znění, je tato práce "Školním dílem". Využití této práce se řídí právním režimem autorského zákona. Citace povoluje Fakulta podnikatelská Vysokého učení technického v Brně. Podmínkou externího využití této práce je uzavření "Licenční smlouvy" dle autorského zákona.

Seznam odborné literatury:

AB SANDVIK COROMANT. Produktivní obrábění kovů. Sandvik Coromant, technické vyd. Švédsko: CMSE, 1997. 300 s. S-811 81 Sandviken, Švédsko.
AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. Příručka obrábění-kniha pro praktiky. Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.
HUMÁR, A. Materiály pro řezné nástroje. 1. vyd. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.
HUMÁR, A. Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění. 1. vyd. Brno: CCB, s.r.o., 1995. 256 s. ISBN 80-85825-10-4.
KOCMAN, K., PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2010/2011.

L.S.

_____	_____
PhDr. Martina Rašticová, Ph.D.	doc. RNDr. Anna Putnová, Ph.D., MBA
Ředitel ústavu	Děkan fakulty

V Brně, dne 30.05.2011

Abstrakt

Tato bakalářská práce je vypracována v rámci studijního oboru Ekonomika a procesní management, program Ekonomika a management na Fakultě podnikatelské VUT v Brně. První část práce je zaměřena na teoretická východiska obecné problematiky frézování. Obsahem další části je rozbor a celkové zhodnocení vynaložených nákladů na řezné nástroje při frézování hliníkových profilů ve firmě IFE-ČR, a. s. Součástí práce je provedená analýza na vybraném projektu dveří X-60 při použití stávajících a nově nasazených řezných nástrojů s cílem celkového snížení nákladů, úspory času a zproduktivnění výroby.

Abstract

This bachelor's thesis was written as part of study branch Economics and Process management on the Faculty of Business and Management in Brno. The first part is focused on the theoretical foundations. The second part contains an analysis and assessment of the overall cost of cutting tools for milling aluminum profiles in the company IFE-CR, practical analysis is based on the selected doors profile using the existing cutting tools and the newly deployed advanced cutting tools to reduce overall costs, time savings and productivity of production.

Klíčová slova

Frézování, náklady, materiály, řezné nástroje, obrábění, opotřebení.

Keywords

Milling, cost, materials, cutting tools, machining, wearing.

Bibliografická citace mé práce:

NĚMEČKOVÁ, M. *Hodnocení nákladů na řezné nástroje při frézování hliníkových profilů ve společnosti IFE-ČR, a. s.* Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta podnikatelská, 2011. 74 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Josef Sedlák, Ph.D.

Čestné prohlášení

Prohlašuji, že předložená bakalářská práce je původní a zpracovala jsem ji samostatně. Prohlašuji, že citace použitých pramenů je úplná, že jsem ve své práci neporušila autorská práva (ve smyslu Zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském a o právech souvisejících s právem autorským).

V Brně dne 31. května 2011 .....

Poděkování

Tímto bych chtěla poděkovat Ing. Josefu Sedlákovi, Ph.D. za trpělivost, ochotu, cenné rady a vstřícný přístup při tvorbě této práce. Dále bych chtěla poděkovat zaměstnancům společnosti IFE-ČR, a. s. a RNDr. Jiřímu Buršíkovi z Akademie věd České republiky za vstřícný přístup a čas, který mi věnovali.

Obsah

Úvod ..... - 10 -
1 Charakteristika operace frézování a materiálů pro řezné nástroje ..... - 14 -
1.1 Frézování ..... - 19 -
1.1.1 Kinematika obráběcího procesu ..... - 22 -
1.2 Základní pojmy obráběcího procesu ..... - 25 -
1.3 Materiály pro řezné nástroje ..... - 26 -
1.3.1 Nástrojové oceli ..... - 28 -
1.3.2 Slinuté karbidy ..... - 29 -
1.3.2.1 Nepovlakované slinuté karbidy ..... - 29 -
1.3.2.2 Povlakované slinuté karbidy ..... - 30 -
1.3.3 Cermety ..... - 30 -
1.3.4 Řezná keramika ..... - 31 -
1.3.5 Supertvrdé řezné materiály ..... - 32 -
1.3.5.1 Polykrystalický kubický nitrid boru (PKNB) ..... - 32 -
1.3.5.2 Polykrystalický diamant (PKD) ..... - 32 -
1.4 Trvanlivost břitu nástroje ..... - 33 -
1.5 Upínání fréz a obrobků ..... - 33 -
2 Analýza současného stavu ..... - 35 -
2.1 Dodavatelé hliníkových profilů ..... - 36 -
2.2 CNC obráběcí centrum AXA 2 ..... - 37 -
2.3 Stopková fréza ..... - 39 -
2.3.1 Ukázka řídicího programu ..... - 40 -
2.4 Postup zpracování na AXA 2 ..... - 41 -
3 Návrh na zlepšení stávajícího stavu ..... - 45 -
3.1 Povlakování ..... - 47 -
3.2 Povlak CC AluSpeed® ..... - 49 -
4 Technicko-ekonomické zhodnocení ..... - 52 -
4.1 Měření opotřebení nástrojů ..... - 52 -
4.2 Ekonomické zhodnocení ..... - 60 -

5 Závěr ..... - 62 -
6 Seznam literatury ..... - 63 -
7 Seznam obrázků, tabulek a grafů ..... - 66 -
8 Seznam použitých zkratek a symbolů ..... - 68 -
9 Seznam příloh ..... - 70 -

Úvod

Společnost IFE-ČR, a. s., se sídlem na ulici Evropská 839 v Modřicích, se zabývá zakázkovou výrobou automatických nástupních systémů pro kolejová vozidla. Název společnosti byl odvozen od její podnikatelské činnosti, zkratka IFE tedy při svém vzniku znamenala *„Institut für technische Forschung und Entwicklung“*. V současnosti tato zkratka označuje *„Innovations For Entrance Systems“*.

Společnost zahrnuje následující výrobní sortiment a služby Obr. 1 a 2:

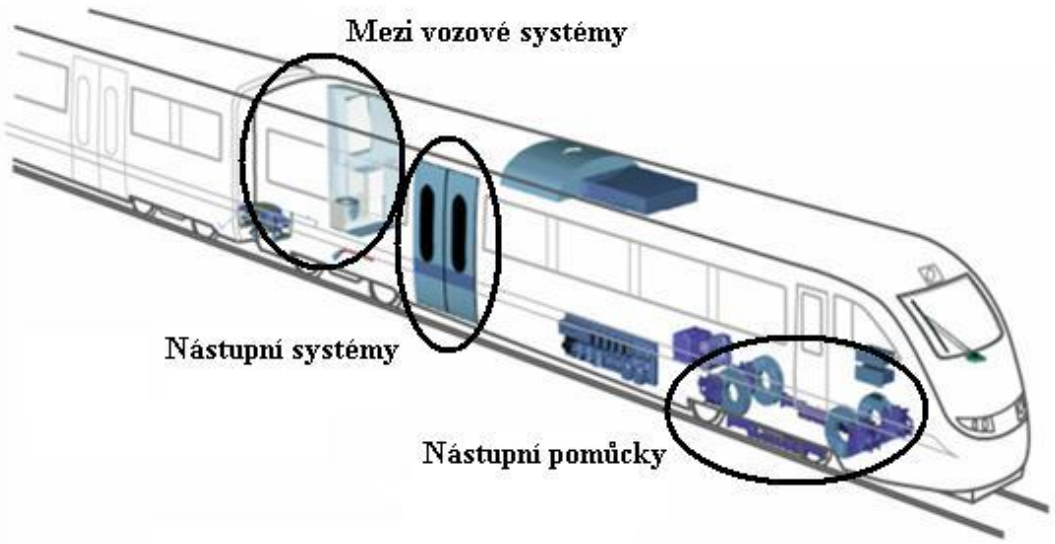
Výrobní sortiment:

- předsuvné dveře pro vysokorychlostní vlaky,
- předsuvné dveře pro regionální dopravu,
- předsuvné dveře pro tramvaje a metro,
- posuvné dveře,
- nákladní dveře,
- schůdky/přemostění,
- rampy/evakuační rampy,
- vnitřní dveře/protipožární dveře,
- dveřní pohony.

Servis:

- montáž,
- údržba,
- školení zákazníků,
- modernizace.

Obr. 1 IFE-ČR, a. s. své produkty dodává do souprav metra, tramvají a vlaků [10].



Obr. 2 Užití produktů firmy [10].

Společnost IFE-ČR, a. s. vznikla roku 1996 odkupem české společnosti Hády Metall, jako součást rakouské společnosti IFE-AU. Ta se o rok později začlenila do německého koncernu Knorr-Bremse mající v současnosti výrobní závody a pobočky v 25 zemích po celém světě.

V současné době je IFE-ČR, a. s. v rámci organizační struktury koncernu Knorr-Bremse na stejné úrovni jako IFE-AU. Je to z toho důvodu, že česká společnost

je zaměřena zejména na výrobu a rakouská společnost na technologie, které poskytuje do České republiky a zde se dle dokumentů k jednotlivým projektům realizuje výroba.

IFE-ČR, a. s. není velkovýrobou, nýbrž staví na zakázkové výrobě. Zatímco v menší z 50% sesterské společnosti v Číně mají přibližně 2 projekty za rok, v Modřicích se projekty střídají zhruba po týdnu, což má samozřejmě vliv na náklady. IFE-ČR, a. s. je ve svém oboru největší společností. Má velmi koncentrovanou produkci, ale ke standardizaci výroby zde dochází omezeně. U dveří není téměř možná, protože každý projekt je jiný (dveře mají různý rádius, zlom apod.). Zakázky se liší projekt od projektu, rozměry, tvarem, vybavením, funkčními doplňky a barvou laku.

U pohonů je již výroba o něco více standardizována, existuje několik hlavních typů pohonů, které jsou na základě potřeb zákazníka modifikovány.

V rozhodování má firma velkou svobodu pokud jde o interní záležitosti, jako jsou např. personální otázky. V ostatních věcech je firma řízena koncernem Knorr-Bremse, který také určuje obecné cíle, kterých má být dosahováno ve všech jeho společnostech po celém světě Obr. 3.

Obr. 3 Mapa poboček společnosti Knorr Bremse [10].

Výroba dveří má v této společnosti 12letou tradici. Firma se podílí na projektech, jako je Pendolino, Brněnská tramvaj či Pražská tramvaj. V roce 2005 obdržela titul

Prizewinner Národní i Evropské ceny za jakost a v roce 2006 vyhrála Národní cenu za jakost.

Vzhledem ke specifickému zaměření výroby se IFE-ČR, a.s. pohybuje na značně úzkém trhu. Jejími největšími zákazníky jsou zejména tři společnosti: Alstom, Siemens a Bombardier. Její největší konkurenci tvoří Favelei z Francie, Bode a Huebner.

Pro svoji bakalářskou práci jsem si vybrala téma „Hodnocení nákladů na řezné nástroje při obrábění ve společnosti IFE-ČR, a. s.“. Tato problematika byla nastíněna na přednáškách předmětu Technologie obrábění, který byl ve studijním plánu v letním semestru 2. ročníku. Bylo velice zajímavé sledovat, jak velký vliv má na náklady nejen správná volba nástroje pro daný obráběný materiál, ale i jeho životnost, povlakování, materiál, ze kterého je nástroj vyroben aj.

Společnost IFE-ČR, a. s. jsem si vybrala již pro splnění stáže v rámci studijního předmětu Praxe v letním semestru 2. ročníku a vzhledem ke znalosti prostředí firmy mi zde byla umožněna spolupráce na projektu snižování nákladů a jeho následné uplatnění v rámci mé bakalářské práce [10].

1 Charakteristika operace frézování a materiálů pro řezné nástroje

Technologie obrábění je velmi stará. Využívána byla již v době vzniku lidské civilizace, kdy první lidé začali ručně opracovávat kameny, dřevo a kosti, a vyráběli tak první primitivní nástroje pro svoji obživu.

V dnešní době si lidé pod pojmem obrábění představí zejména obrábění kovů. Obrábění se však ve svých prvopočátcích vyvíjelo na zcela jiných materiálech. Zejména dřevo se ukázalo jako velmi vhodný a téměř univerzální materiál. U něj se v průběhu vývoje začaly používat různé pomocné mechanismy při jeho opracování, které se staly předchůdci obráběcích strojů. Byly to například pily, vrtačky nebo první jednoduché soustruhy. Obrábění kovů bylo složitější a používalo se téměř výhradně ručních nástrojů, jako byly sekáče, průrazníky, pilníky nebo vrtáky.

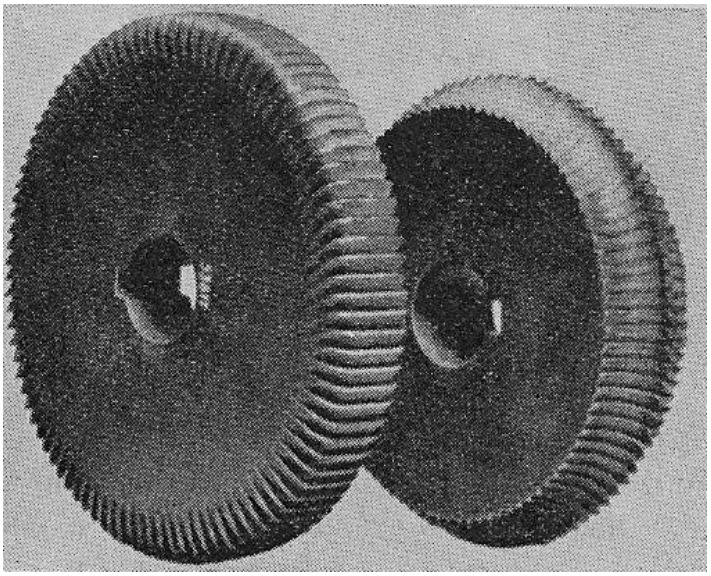
V pozdním středověku se rychlým tempem začalo rozvíjet hodinářství a palné zbraně. Obojí vyžadovalo zdokonalení obrábění kovů, proto během několika století vznikla řada konstrukčních nápadů, které se tímto zabývaly. Avšak pouze malá část z nich byla využita v praxi. Většina zůstala bez povšimnutí a některé upadly v zapomenutí a konstruktéři obráběcích strojů je museli znovu objevovat. Pro strojní obrábění kovů byly v jeho prvopočátcích nejdůležitější dvě technologie, a to soustružení a vrtání (vyvrtávání).

V dalších letech, zejména od poloviny 13. století, se objevuje řada různých verzí strojů a nástrojů na opracování materiálů. Jedním z mnoha dalších lidí, kteří přispěli svými vynálezy k rozvoji technologie obrábění, byl i známý renesanční tvůrce Leonardo da Vinci.

Ostatní způsoby obrábění kovů (hoblování, obrážení, frézování a broušení) se začaly vyvíjet až v průběhu průmyslové revoluce.

„Lidstvo používá různé druhy strojů už celou řadu staletí, avšak strojírenství vzniklo až v době průmyslové revoluce, jíž byla zahájena průmyslová, industriální epocha v dějinách lidstva. Jedním z jejích hlavních znaků je systematické nahrazování lidské práce činností strojů v nejrůznějších sférách života lidské civilizace. V době průmyslové revoluce, kterou z hlediska světových dějin vymezujeme zhruba polovinou

18. století a polovinou 19. století, byl proces industrializace zahájen ve sféře výroby zboží a v dopravě.“ [16]

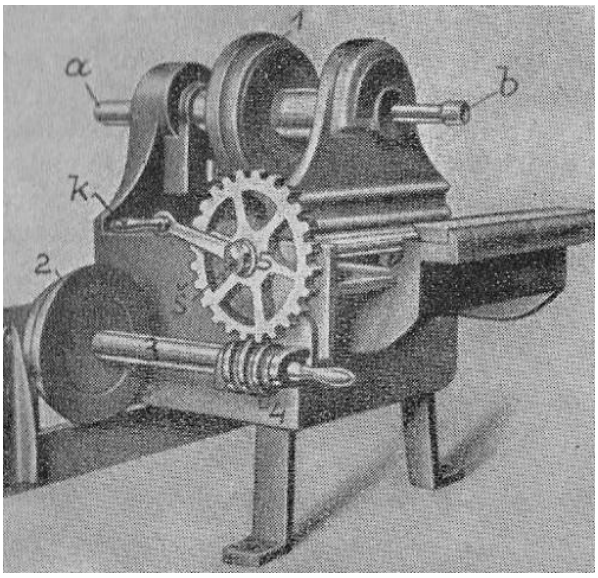


Obr. 1.1 Původní fréza z 18. století [17].

Na konci 18. století byly zhotoveny první frézy a frézky. Používaly se hlavně v zámečnictví a na různé pilovací práce. Svými břity se podobaly pilníkům, měly kotoučový tvar a na obvodech byly mělké záseky, velmi hustě vedle sebe (viz obr.). Postupem času se tyto záseky prohlubovaly a vznikaly tak zuby, na nichž bylo možné rozpoznat úhly řezu, břitu i výchylek. Postupně se záseky prohlubovaly a rozšiřovala se vzdálenost mezi nimi a tím se počet zubů stále zmenšoval. Tento vývoj měl na odřezávání a odvod třísek velmi příznivý vliv. Následně se zuby dále zdokonalovaly úpravou hřbetních ploch.

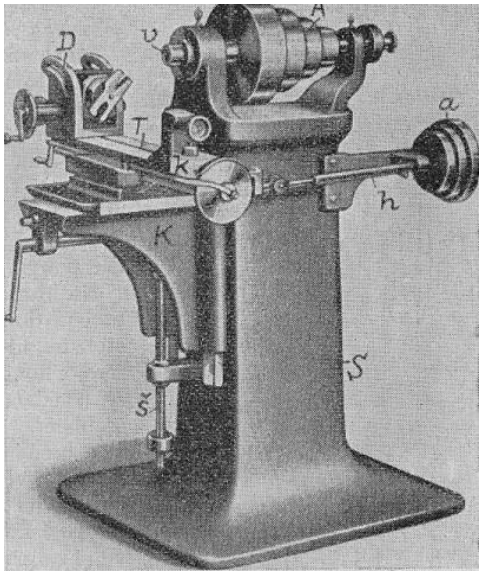
„K rozsáhlejšímu upotřebení fréz v technické praxi došlo však teprve po úspěšném zakončení světové výstavy v Paříži, pořádané roku 1867. Na této výstavě byl předváděn způsob jejich práce na universální frézce a jejich výkony vzbuzovaly zasloužený obdiv.

První frézovací stroj vznikl na začátku devatenáctého století, asi roku 1818.“ [17]



Obr. 1.2 Původní frézka z roku 1818 [17].

Bohužel tato frézka nebyla ve své době řádně oceněna a nedošlo k jejímu využití a rozšíření. O 44 let později byl vykonstruován jiný typ univerzální frézky, která byla určena k výrobě šroubových vrtáků, jejichž drážky se do té doby musely pilovat ručně. Tímto se výroba značně zrychlila, bylo dosaženo vyšší přesnosti a také snížení nákladů. Díky tomuto stroji nastal rychlý vývoj frézek konsolových, které se vyráběly ve třech provedeních: jednoduché, universální a vertikální.



Obr. 1.3 Univerzální frézka z roku 1862 [17].

„Universální frézka z roku 1862 měla již všechny podstatné znaky frézek novodobých. Vyznačovala se na tehdejší dobu velmi úhlednou a účelnou konstrukcí. K jejímu příslušenství patřil již i dělicí přístroj a otočný stůl.“ [17]

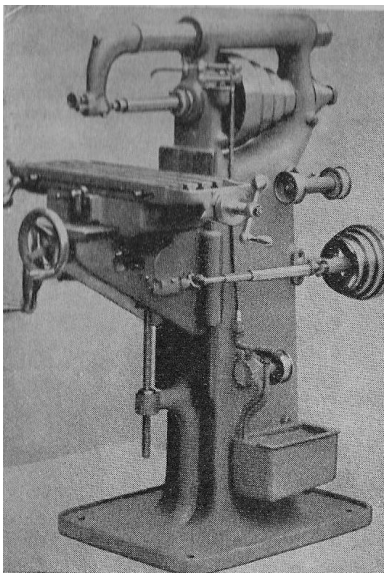
Tento dělící přístroj byl velmi podobný těm dnešním, protože již tehdy měl všechny hlavní mechanismy, které se vyskytují i dnes.

Univerzální frézka se stala vzorem pro všechny novodobé frézky. Roku 1867 na světové výstavě v Paříži byla obdivována pro své výkony, do té doby nevídané.

Roku 1900 došlo u frézky k několika zlepšením při srovnání s rokem 1862. Novinkou bylo zejména nahrazení rovného stojanu za pyramidový, znatelné zesílení a rozšíření konsoly a vytvoření zvláštního nosníku se zahnutým podpěrným ramenem na podepření frézovacího trnu.

„Další vývoj frézek probíhal podobně jako u ostatních obráběcích strojů. V devatenáctém století byl vývoj urychlen zbrojní technikou a vynálezem parního stroje. Ve století dvacátém se o další vývoj zasloužily automobilismus a letectví.

Roku 1840 byla většina pilovacích prací nahrazena pracemi frézovacími, nejprve ve zbrojovkách a později i v podnicích, zabývajících se výrobou strojů textilních, šicích, psacích a hodinářských.“ [17]



Obr. 1.4 Frézka z roku 1900 [17].

Samozřejmostí je, že v průběhu let se obráběcí stroje neustále vylepšovaly a zdokonalovaly. Stejně tak tomu bylo i u frézovacích strojů. Jejich celkovou konstrukci nejvíce ovlivnilo zavedení rychlořezných ocelí do výroby, což bylo kolem roku 1900. Vliv na jejich vývoj měly také tvrdé kovy.

„Nelze nikterak pochybovat o tom, že frézám a frézkám patří mezi nástroji a obráběcími stroji místo nejčestnější. S nesmírným rozvojem průmyslu posledních desetiletí se staly naprosto nepostradatelnými ve většině odvětví stavby strojů. Moderní nástrojárny a nářaďovny si bez nich nedovedeme vůbec představit.“ [17]

Hlavním důvodem, proč je frézování stále více na vzestupu, je především nepřeberné množství nástrojů, ze kterých lze na dnešním trhu vybírat, a specializace frézovacích strojů.

Frézy mohou pracovat při velkých řezných rychlostech a i přesto mají velmi trvanlivé břity. Frézovací stroje dosahují vysoké výrobní přesnosti a zároveň i vysokých výkonů. Jakost obrobených povrchů frézováním je velmi dobrá a ve většině případů není zapotřebí žádných zvláštních dokončovacích prací před použitím obrobku.

V neposlední řadě se o tak četné rozšíření fréz, frézek a samotného procesu frézování zasloužila také snadná obsluha.

„Frézky jsou totiž vybaveny důmyslnými zařízeními k rychlému nařízení a k pohodlnému i rychlému řazení řezných rychlostí a záběrových posuvů (kalkulátory).“ [17]

„Lze očekávat, že význam fréz a frézek v budoucnosti jistě stoupne stupňováním hromadné výroby a omezováním ztrát ve výrobě, způsobených různými činiteli a okolnostmi, např. špatnou organizací výroby, nedokonalou normalizací, špatnou dělbou práce, nedokonalou kontrolou výroby, neúplným a zastaralým strojním zařízením dílen, nevhodnými výrobními postupy apod.

Průmyslové statistiky udávají, že ze všech obráběcích prací připadá asi 25 % na práce frézovací.“ [17]

V průběhu let lze očekávat, že se toto číslo bude určitě ještě zvyšovat [14, 15, 16, 17].

1.1 Frézování

Frézování je univerzální metoda obrábění a v současnosti nachází stále větší uplatnění, zejména díky mnohostrannosti použití obráběcích strojů, řídicích systémů a řezných nástrojů. Je velmi komplexním způsobem obrábění.

Definice frézování dle [9]: *„Frézování je obráběcí metoda, při které je materiál obrobku odebírán břity otáčejícího se nástroje. Posuv nejčastěji koná obrobek, převážně ve směru kolmém k ose nástroje. U moderních frézovacích strojů jsou posuvové pohyby plynule měnitelné a mohou se realizovat ve všech směrech. Řezný proces je přerušovaný, každý zub frézy odřezává krátké třísky proměnné tloušťky.“*

Hlavní řezný pohyb je rotační a koná ho nástroj, vedlejší pohyb je posuvový, přímočarý a koná ho zpravidla obrobek.

Frézování se dělí na několik způsobů dle různých hledisek:

- podle umístění zubů,
  - frézování válcové,
  - frézování čelní,
  - frézování válcové čelní,

- podle kinematiky,
    - frézování nesousledné,
    - frézování sousledné,
- podle materiálu nástroje,
    - rychlořezné oceli,
    - slinuté karbidy,
    - cermety,
    - řezná keramika,
    - KNB,
    - PKD,
    - supertvrdé řezné materiály,
- podle provedení zubů,
    - frézované zuby,
    - podsoustružené zuby,
- podle směru zubů vzhledem k ose rotace frézy,
    - přímé,
    - ve šroubovici,
    - pravé,
    - levé,
- podle počtu zubů vzhledem k průměru frézy,
    - jemnozubé,
    - polohrubozubé,
    - hrubozubé,
- podle konstrukčního uspořádání,
    - frézy celistvé,
    - s vloženými noži,
    - s vyměnitelnými břitovými destičkami,
- podle geometrického tvaru funkční části,
    - válcové,
    - kotoučové,
    - úhlové,
    - drážkovací,

    - kopírovací,
    - rádiusové,
    - na výrobu ozubení,
- podle způsobu upnutí,
    - nástrčné,
    - stopkové,
- podle smyslu otáčení při pohledu od vřetena stroje,
    - pravořezné,
    - levořezné [2, 9, 8].

Obr. 1.5 Příklady fréz [8].

Obr. 1.6 Další příklady fréz [9].

1.1.1 Kinematika obráběcího procesu

Hlavní pohyb – vzájemný pohyb mezi nástrojem a obrobkem, který uskutečňuje obráběcí stroj. Při frézování je to rotační pohyb nástroje.

„Směr hlavního pohybu – je definován jako směr okamžitého hlavního pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku.“

„Řezná rychlost v_c – je vyjádřena jako okamžitá rychlost hlavního pohybu uvažovaného bodu na ostří vzhledem k obrobku.“

„Posuvový pohyb – je realizovaný obráběcím strojem jako další relativní pohyb mezi nástrojem a obrobkem. Společně s hlavním pohybem umožňuje plynulé nebo přerušované odřezávání třísky z obráběného povrchu. Může být postupný nebo plynulý. Při některých obráběcích procesech není posuvový pohyb potřebný.“

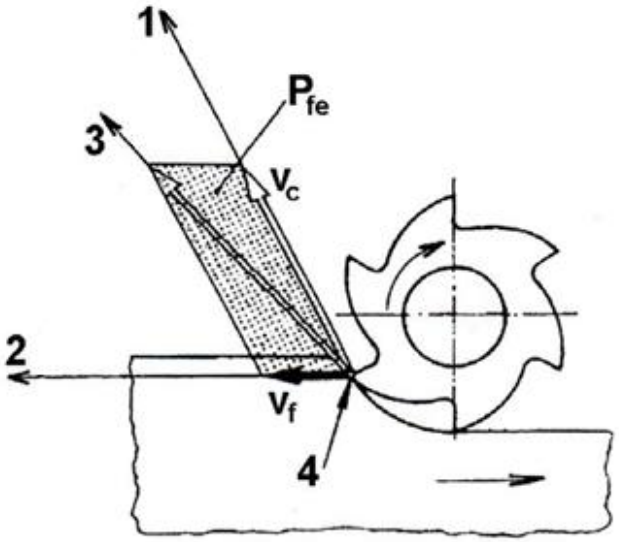
„Směr posuvového pohybu - je určen směrem okamžitého posuvového pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku.“

„Posuvová rychlost v_f – je určena jako okamžitá rychlost posuvového pohybu v uvažovaném bodě ostří vzhledem k obrobku.“

„Řezný pohyb – vychází ze současného hlavního a posuvového pohybu (výsledný vzájemný pohyb nástroje vůči obrobku, který vznikne součtem vektorů hlavního a posuvového pohybu).“

„Směr řezného pohybu - je dán směrem okamžitého řezného pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku.“

„Rychlost řezného pohybu v_e - okamžitá rychlost řezného pohybu uvažovaného bodu ostří vzhledem k obrobku.“ [12, 8]



Obr. 1.7 Pohyby nástroje a obrobku při nesousledném rovinném frézování válcovou frézou s přímými zuby (1 – směr hlavního pohybu; 2 – směr řezného pohybu; 3 – směr posuvového pohybu; 4 – uvažovaný bod ostří) [9].

„Válcové frézování se převážně uplatňuje při práci s válcovými a tvarovými frézami. Zuby frézy jsou vytvořeny pouze po obvodu nástroje, hloubka odebírané vrstvy se nastavuje kolmo na osu frézy a na směr posuvu. Obrobená plocha je rovnoběžná s osou otáčení frézy. V závislosti na kinematice obráběcího procesu se rozliší frézování nesousledné a sousledné.“ [12]

Při nesousledném frézování nástroj rotuje proti směru posuvu obrobku. Obrobená plocha má svůj počátek vzniku při vnikání nástroje do povrchu obrobku. Tloušťka třísky postupně narůstá z nulových hodnot až do maximálních. Tříska se neodděluje v nulové hodnotě, nýbrž po určitém skluzu břitu po ploše vytvořené předchozím zubem. Přitom dochází ke zvýšenému opotřebení břitu. Při tomto protisměrném způsobu frézování dochází k odtahování obrobku od stolu stroje vlivem působení síly směrem nahoru.

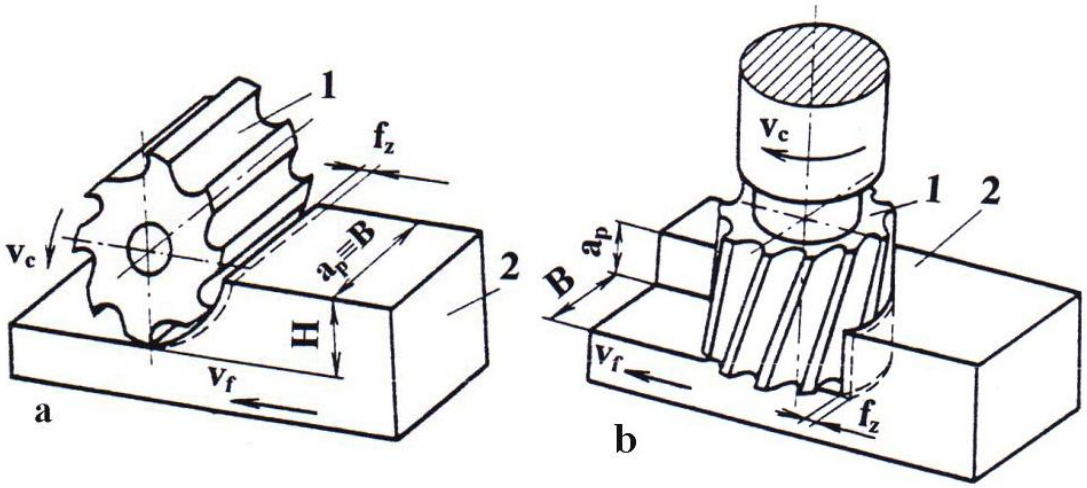
Při sousledném frézování se nástroj otáčí po směru posuvu obrobku. Tloušťka třísky začíná na svém maximu při vniknutí zubu do obrobku a postupně se zužuje do nulové hodnoty. Při vyjetí zubu ze záběru vzniká obrobená plocha. Při sousměrném frézování působí řezné síly směrem dolů. Tento typ frézování může být realizován pouze na stroji, který je k tomu přizpůsoben. Pokud by nebyl, způsobovala by vůle nestejnosměrný posuv a mohlo by dojít k poškození nástroje nebo dokonce stroje.
Shrnutí hlavních výhod nesousledného a sousledného frézování [12, 9, 8].
„Nesousledné frézování:

- *trvanlivost nástroje nezávisí na okujích, písčitém povrchu obrobku apod.,*
- *není zapotřebí vymezování vůle mezi posuvovým šroubem a maticí stolu stroje,*
- *menší opotřebení šroubu a matice,*
- *záběr zubů frézy při jejich vřezávání nezávisí na hloubce řezu,*

Sousledné frézování:

- *vyšší trvanlivost břitů, což umožňuje použití vyšších řezných rychlostí a posuvů,*
- *menší potřebný řezný výkon,*
- *řezná síla přitlačuje obrobek ke stolu, takže lze použít jednodušších upínacích přípravků,*
- *menší sklon ke chvění,*
- *obvykle menší sklon k tvoření nárůstku,*
- *menší drsnost obrobeného povrchu.“* [12]

„Čelní frézování se uplatňuje při práci s čelními frézami, u kterých jsou břity vytvořeny na obvodu i čele nástroje a hloubka odebírané vrstvy se nastavuje ve směru osy nástroje. V závislosti na poloze osy frézy vzhledem k frézované ploše se rozlišuje symetrické a nesymetrické frézování. Kinematické relace pro symetrické frézování jsou naznačeny na Obr. 2.12.“ [8]



Obr. 1.8 a) Válcové; b) Čelní frézování [8].

1.2 Základní pojmy obráběcího procesu

Definice obrábění dle [9] je následující: *„Technologický proces, kterým vytváříme povrchy obrobku určitého tvaru, rozměrů a jakosti odebíráním částic materiálu účinky mechanickými, elektrickými, chemickými, případně jejich kombinací.“*

Samotný pojem obrábění je velmi široký a obsahuje mnoho možností opracování materiálu. Nejpoužívanější je třískové a abrazivní obrábění, které dle [12] obsahuje následující technologie:

- soustružení,
- frézování,
- vrtání, vyhrubování, vystružování a zahlubování,
- vyvrtávání,
- hoblování a obrážení,
- protahování a protlačování,
- broušení,
- honování,
- lapování,
- superfinišování.

Obrobek – objekt obráběcího procesu. Z geometrického hlediska je charakterizován obráběnou, obrobenou a přechodovou plochou.

- Obráběná plocha je taková plocha, která má být obrobena řezáním,
- obrobená plocha je plocha získaná jako výsledek řezného procesu,
- přechodová plocha je část povrchu obrobku, která je vytvořena působením ostří nástroje během zdvihu nebo otáčky nástroje nebo obrobku.

Nástroj – ve vzájemném působení s obrobkem umožňuje realizaci řezného procesu. Z geometrického hlediska je nástroj identifikován svými prvky, plochami, ostřími a rozměry ostří. Nástroj se skládá z mnoha částí jako je stopka, ostří a řezné části, špička a osa nástroje, upínací díra a další.

Jednou z nejdůležitějších částí nástroje je čelo, hřbet a ostří nástroje. [12, 9]

„Čelo je plocha nebo souhrn ploch, po kterých odchází tříska. Hřbet je plocha nebo souhrn ploch, které při řezném procesu směřují k ploše obrobku. Nástrojové ostří je prvek řezné části nástroje, kterým se realizuje vlastní proces řezání.“ [12]

1.3 Materiály pro řezné nástroje

Dnes se již nezbytně nehledají nové materiály pro řezné nástroje pro obrábění, protože je jich na trhu velké množství, ale spíše se pozornost stáčí k jejich správnému a lepšímu využití. Každý řezný materiál je něčím specifický a hodí se pro jiné účely obrábění, za jiných řezných podmínek.

„Neexistuje žádná přírodní ani člověkem vyrobená látka, která by mohla být použita jako univerzální materiál pro řezné nástroje a to s ohledem na metodu obrábění, obráběný materiál a zejména na pracovní podmínky. Je proto velmi důležité podrobně znát fyzikální a mechanické vlastnosti každého konkrétního materiálu a v souladu s nimi stanovit oblasti jeho užití tak, aby výsledný efekt byl optimální jak z hlediska časových nároků a produktivity, tak z hlediska minimalizace výrobních nákladů.“ [7]

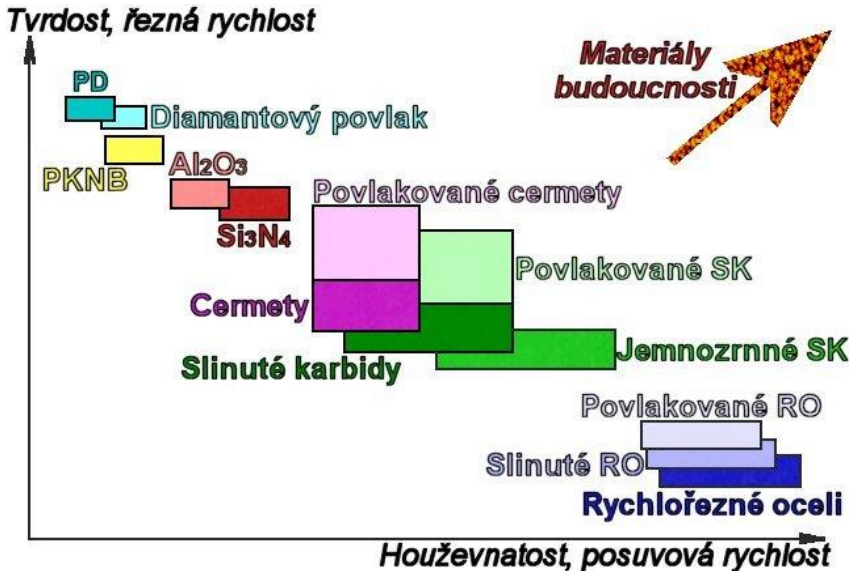
Pro efektivní využití řezného nástroje při obrábění daného materiálu je třeba, aby bylo splněno několik faktorů, které celý řezný proces ovlivňují. Materiál řezného

nástroje by měl mít odpovídající houževnatost a současně vysokou tvrdost a odolnost proti opotřebení a vysokým teplotám, dobrou tepelnou vodivost, pevnost, houževnatost apod.

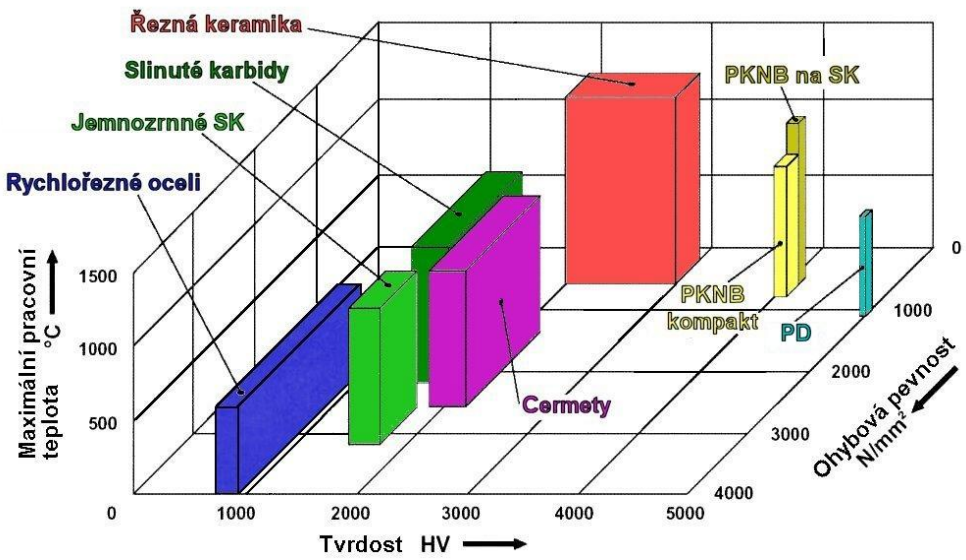
Základní materiály pro řezné nástroje:

- rychlořezné oceli,
- slinuté karbidy,
- cermety,
- řezná keramika,
- supertvrdé řezné materiály.

Každý z těchto nástrojových materiálů má jiné vlastnosti. Vzájemně se od sebe výrazně liší, jak je vidět na obrázku 2.9 a 2.10 [7, 9].



Obr. 1.9 Oblasti použití řezných materiálů [9].



Obr. 1.10 Hodnoty vybraných vlastností řezných materiálů [9].

1.3.1 Nástrojové oceli

Obecně platí, že na řezné materiály jsou kladeny nejrůznější požadavky. U všech je však stejná důležitost zachování mechanických vlastností i za zvýšených teplot a požadavek na vysokou odolnost proti abrazivnímu a adheznímu opotřebení.

Nástrojové oceli mají také požadavky na čistotu materiálu a rovnoměrné rozložení karbidů v matrici.

Nejčastější dělení nástrojových ocelí je podle chemického složení:

- nelegované oceli,
- legované oceli,
- vysokolegované oceli.

Rychlořezné oceli jsou samostatnou skupinou legovaných nástrojových ocelí. Obsahují karbidotvorné prvky Wolfram, Chrom, Vanad, Molybden a nekarbidotvorný Kobalt a také méně než 1% Uhlíku. Podle obsahu legujících prvků a vlastností jsou vhodné pro obrábění ocelí, ocelí na odlitky, které mají vysokou pevnost a tvrdost, a těžkoobrobitelné materiály. Vyznačují se střední odolností proti opotřebení a vysokou lomovou pevností.

Nejčastější použití rychlořezných ocelí:

- tvarové nástroje,
- výstružníky,
- závitníky,
- menší frézy,
- protahovací trhy,
- nástroje vystavované rázům [12].

1.3.2 Slinuté karbidy

„Slinuté karbidy jsou nejpevnější materiály mezi tvrdými nástrojovými materiály a mohou být použity pro obrábění vysokými posuvovými rychlostmi a pro těžké přerušované řezy. Nemohou být použity pro vysoké řezné rychlosti.“ [7]

Slinutých karbidů je více druhů, nejvýznamnějšími jsou karbid wolframu, karbid titanu, karbid tantalu a karbid niobu. Jako pojivo se obvykle používá kobalt. Skládají se tedy ze dvou fází. Množství jednotlivých fází v materiálu ovlivňuje jejich tvrdost, houževnatost a odolnost proti otěru.

Nástroje se vyrábí buď jako monolitické nebo jako normalizované destičky různých tvarů a rozměrů. Destičky se k nástroji mohou pájet nebo, a to je častější, mechanicky upínat.

Slinuté karbidy se člení z hlediska dvou základních skupin na:

- nepovlakované slinuté karbidy,
- povlakované slinuté karbidy [12].

1.3.2.1 Nepovlakované slinuté karbidy

„Současné nepovlakované slinuté karbidy pro řezné aplikace jsou podle normy ČSN ISO 513 označovány symboly HW a HF a podle užití rozdělovány do šesti skupin – P, M, K, N, S a H.“ [6]

Tvrdost slinutých karbidů roste se zmenšující se velikostí zrn tvrdých částic. Jsou křehkým materiálem stejně jako sklo či keramika, ačkoli dokážou snést značné plastické deformace bez porušení. Zejména tato vlastnost je předurčuje k vhodnému užití pro řezné nástroje.

Největším problémem, který ovlivňuje vlastnosti materiálu slinutých karbidů, jsou defekty, na kterých vznikají trhliny. Defekty mohou být póry, velké tvrdé částice nebo segregovaný pojicí kov. Zvýšení pevnosti bez snížení tvrdosti je možné pouze za předpokladu, že se sníží počet a velikost defektů. [6]

1.3.2.2 Povlakované slinuté karbidy

Povlakování má největší význam právě pro slinuté karbidy. Povlakování řezných destiček ze slinutých karbidů je považováno za jeden z největších moderních pokroků ve svém oboru.

První povlakované destičky se na trhu objevily koncem 60. let 20. století. Dříve stačilo k velkému zlepšení procesů jen několik typů povlaků, dnes s rostoucími požadavky zákazníků roste i počet druhů povlaků, které se navzájem liší druhem povlaku, kombinací vrstev, tloušťkou povlaku, metodou povlakování atd. Správná kombinace těchto faktorů na nástroji je klíčová. [6]

1.3.3 Cermety

Předpokladem vzniku tohoto nepříliš starého materiálu bylo spojení tvrdosti keramiky a houževnatosti kovu. Z toho také vychází název tohoto materiálu – CERamics a METal. Cermety se značí podle normy ČSN ISO 513 písmeny HT.

Po svém vzniku nebyly cermety považovány za převratnou novinku a uznání se jim dostalo až po delší době a vývoji. Vysoké tvrdosti a větší odolnosti proti deformaci bylo dosaženo větším obsahem karbidu titanu. Jejich výhodou je možnost použití vyšších řezných rychlostí ve srovnání se slinutými karbidy, nevýhodou však zůstává, že je lze díky jejich nižší houževnatosti a odolnosti proti vydrolování použít především pro dokončovací operace.

Tvrdost je srovnatelná se slinutými karbidy, houževnatost je však nižší. Pevnost cermetů je oproti slinutým karbidům o 15 - 25 % nižší. Také odolnost proti teplotním šokům je nižší.

Použití: soustružení, řezání závitů, frézování.

Nástroje z cermetů jsou vhodné pro obrábění ocelí, litiny, lité oceli, neželezných kovů a snadno obrobitelných slitin. [12, 6]

1.3.4 Řezná keramika

Keramika jako materiál pro řezné nástroje je velmi tvrdá i za tepla a chemicky nereaguje s materiálem obrobku. Břity mají vysokou trvanlivost a snesou i vysokou teplotu břitu (až 1 200 °C). Řezné rychlosti mohou být použity v rozsahu 300 až 1 600 m/min. Nevýhodou řezné keramiky je její křehkost a nízká tepelná vodivost.
Vlastnosti keramiky:

- vysoká tvrdost a odolnost proti plastické deformaci,
- odolnost proti mechanickému namáhání (zejména tlakem),
- odolnost proti působení vysokých teplot,
- vysoká chemická stabilita, inertnost vůči obráběnému materiálu,
- odolnost proti opotřebení, chemickým vlivům a korozi,
- nízká měrná hmotnost,
- dostupnost základních surovin z domácích zdrojů,
- poměrně nízká cena.

Keramika se pro své vlastnosti používá v následujících oblastech:

- tepelné aplikace,
- mechanické aplikace,
- elektrotechnika, elektronika,
- fyzikální a chemické aplikace,
- medicína,
- stavebnictví.

Řezná keramika se dle normy ČSN ISO 513 značí následovně:

- CA – čistá a polosměsná,
- CM – směsná,
- CN – nitridová keramika,
- CC – povlakovaná keramika [12, 6].

1.3.5 Supertvrdé řezné materiály

Jedná se o nástrojové materiály, které se používají zejména pro speciální aplikace. Tyto materiály nejsou přírodní, nýbrž synteticky vyrobené a řadí se sem:

- polykrystalický kubický nitrid bóru (PKNB),
- polykrystalický diamant (PKD).

1.3.5.1 Polykrystalický kubický nitrid boru (PKNB)

Tento materiál je velmi podobný diamantu jak svojí tvrdostí, tak i svými krystaly. Kubický nitrid boru vykazuje při vysokých teplotách (2 000 °C) dobrou chemickou stabilitu a odolnost proti abrazivnímu opotřebení. Jsou součástí řezných destiček slinutých karbidů, ale jsou také vyráběny monolitické vyměnitelné destičky z PKNB.
Použití PKNB je vhodné při obrábění následujících materiálů:

- tvrdé a žáruvzdorné materiály,
- kalené oceli,
- nežíhané tvrdé litiny,
- kobaltové a niklové slitiny.

PKNB jsou dále také vhodné pro použití při dokončovacím obrábění.

1.3.5.2 Polykrystalický diamant (PKD)

Nejtvrdším materiálem, který je doposud známý, je přírodní diamant. Polykrystalický diamant nedosahuje stejné tvrdosti, ale velmi se jí blíží.

Břity z PKD jsou nejčastěji usazeny ve vyměnitelných břitových destičkách ze slinutých karbidů, které zaručují odolnost proti tepelným šokům. Trvanlivost PKD je několikanásobně vyšší než u slinutých karbidů.

PKD je vhodný pro soustružení, frézování a vrtání.
Diamant je vhodné použít k obrábění následujících materiálů:

- neželezné kovy,
- hliníkové slitiny,
- slitiny mědi (bronzy, mosazi),
- kompozitní materiály vyztužené různými vlákny (skleněná, uhlíková, aj.),

- titan a jeho slitiny,
- keramika,
- grafit,
- tvrdé přírodní materiály (žula, mramor, aj.),
- dřevo [12, 6].

1.4 Trvanlivost břitu nástroje

Trvanlivostí se označuje doba, po kterou je nástroj schopen efektivně plnit svoji funkci, za příslušných parametrů. Součet všech trvanlivostí nástroje pak udává celkovou životnost nástroje.

Trvanlivost nástroje ovlivňují poruchy. Ty mohou být náhlé (nelze je předpovídat) nebo postupné (mohou být v závislosti na čase očekávány). Poruchami mohou být označovány následující parametry: opotřebení břitu, drsnost povrchu obrobené plochy, rozměry obrobené plochy, velikost řezné síly aj.

Trvanlivost se nejčastěji udává jako čas řezného procesu v minutách nebo dráha řezu v metrech (kilometrech). Trvanlivost závisí na řezných podmínkách. Trvanlivost vztaženou k řezné rychlosti vyjadřuje Taylorův vzorec:

$$T = C_T * v_c^{-m} \ [min] \tag{1.1}$$

kde C_T - konstanta [-]

m – exponent [-]

v_c – řezná rychlost [m/min] [1, 12]

1.5 Upínání fréz a obrobků

Způsobů upnutí frézy je několik, záleží na jejích rozměrech, konstrukci apod. Pro upnutí nástrčných fréz slouží frézovací trny. Ty jsou kuželovitého tvaru a rozlišují se metrické, Morse a strmé.

Metrický a Morse kužel jsou samosvorné a přenáší krouticí moment z vřetena na frézovací trn. Pro větší dokonalost přenosu krouticího momentu je na konci stopky obdélníkové vybrání.

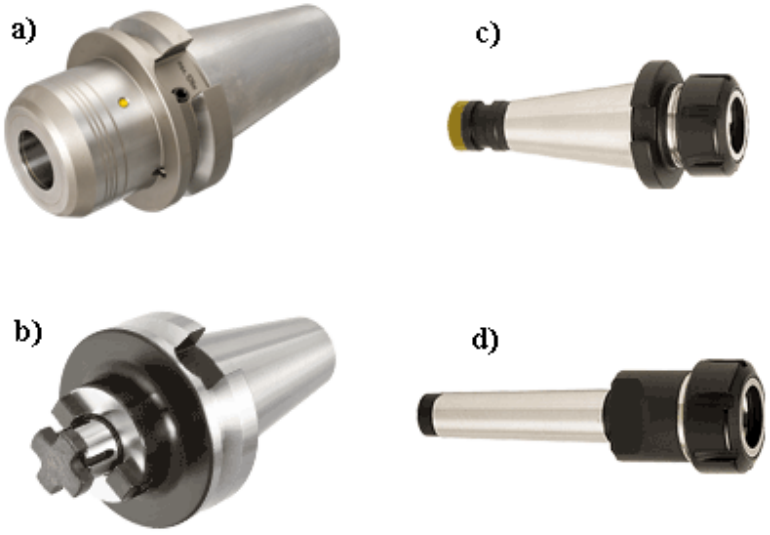
U strmého kužele se krouticí moment přenáší kameny na čele vřetene, které zapadají do vybrání na frézovacím trnu.

Frézy s kuželovou upínací stopkou se upínají přímo do kuželové dutiny vřetena frézky. Frézy s válcovou upínací stopkou se upínají do upínacích sklíčidel.

Moderní metodou upínání nástrojů je tepelné upínání.

„Tato metoda spočívá v ohřevu upínacího pouzdra, které je po vložení nástroje ochlazeno a tím upne nástroj s vysokou spolehlivostí a přesností. Uvolnění nástroje se rovněž provádí ohřevem, k uvolnění dojde v důsledku různé délkové roztažnosti upínacího pouzdra a frézy.“ [8]

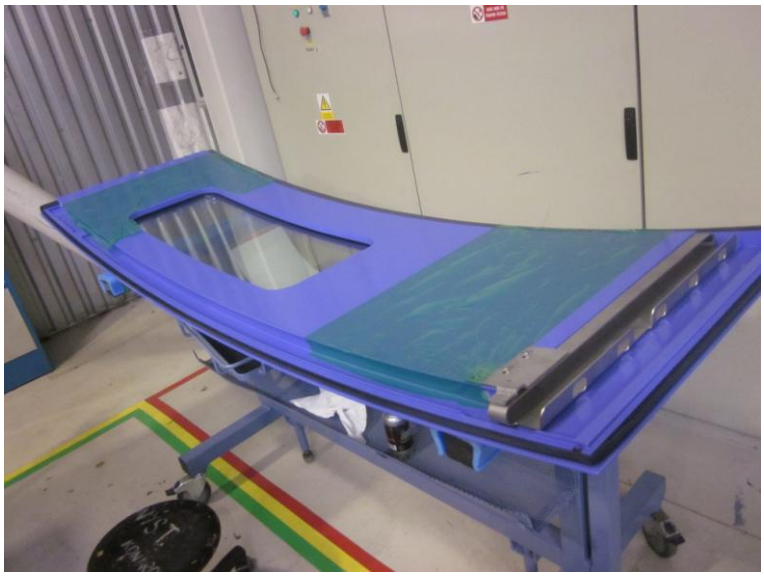
Upínání obrobků je odlišné od upnutí nástroje. Na rozdíl od nástrojů se neupíná do pouzdra, ale přímo na pracovní stůl frézky do svěráků nebo upínacích přípravků [12, 8].



Obr. 1.11 Příklady upínacích kuželů.
a) hydraulický upínač, b) upínač nástrčných fréz,
c) kleštinový upínač, d) morse kužel [11].

2 Analýza současného stavu

V následující kapitole bude popsán současný stav zařízení a výroby v IFE-ČR, a. s. Ve společnosti IFE-ČR, a. s. se vyrábí, jak již bylo popsáno dříve, více druhů výrobků. Tato práce se zabývá výrobou dveřních křídel, konkrétně k projektu s názvem X-60 Obr. 2.1. Zákazníkem projektu X-60 je společnost Alstom, která tyto dveře montuje do příměstských vlaků jezdících ve Švédsku Obr. 2.2.



Obr. 2.1 Dveřní křídlo projektu X-60 (vnitřní strana).

Obr. 2.2 Příměstský vlak, ve kterém jsou použity produkty IFE-ČR, a. s. [10].

Základní součástí dveří jsou hliníkové profily, které tvoří kostru celého výrobku. Ty se musí dále zpracovat nařezáním na správnou délku a následně obrobením, jak je popsáno dále. Kromě obrábění prochází ještě mnoha dalšími procesy jako je svařování, rovnání, broušení, lakování, sklení aj. Příloha 4.

2.1 Dodavatelé hliníkových profilů

Společnost IFE-ČR, a. s. nakupuje hliníkové profily pro výrobu dveří od společnosti Sapa Profily, a. s. ze Slovenské republiky a Hammerer Aluminium Industries z Rakouska.

Cena jedné tuny hliníkových profilů je 3 500 €. Společnost samozřejmě vlastní atesty svých výrobků a poskytuje je svým zákazníkům Příloha 1.

Společnost Sapa se zabývá vývojem, výrobou a prodejem profilů, stavebních konstrukčních systémů a pásek pro výměníky tepla z lehkého kovu – hliníku.
Výrobky této společnosti mají rozměrovou a mikrostrukturní stabilitu, dobrou otěruvzdornost a vysokou pevnost při vyhovující tažnosti.

Trendem poslední doby je „*EFC - Environmental Friendly Company*“, který přidává společnosti na jejím dobrém jménu.

V posledních letech je použití hliníku na vzestupu zejména pro jeho příznivé vlastnosti, jako jsou:

- nízká hmotnost,
- pevnost,
- dobré korozivzdorné vlastnosti,
- dobrý vodič tepla i elektrického proudu,
- je nemagnetický,
- netoxický,
- tvarovatelný,
- opracovatelný,
- svařitelný [13].

2.2 CNC obráběcí centrum AXA 2

Hliníkové profily se musí nejdříve nařezat na správnou délku, a poté na CNC strojích upravit. V IFE-ČR, a. s. vlastní celkem 5 CNC obráběcích center, kde se zpracovávají hliníkové profily pro výrobu dveří. Test nástrojů se prováděl na jednom z nich, konkrétně na stroji s názvem AXA 2 Obr. 2.3. Parametry stroje jsou uvedeny v Tab. 2.1.

Obr. 2.3 Obráběcí centrum AXA 2.

Tab. 2.1 Parametry AXA 2 [10].

Výrobce	AXA-Entwicklungs- und Maschinenbaugesellschaft für produktionstechnische Anlagen und Geräte m. b. H.
Rok výroby	1998
Délka a šířka stroje	6 x 3,2 m (pouze samotná velikost stroje, k tomu je nutné přičíst ještě další prostor okolo na odpad, nádoby s chladící emulzí apod.)
Ovládací program	Siemens 840 C
Typ upínače	Morse kužel typu Weldon – kužel SK 40.
Typ upínání	Hydraulické.
Osy	3 osy – x, y, z.
Zásobník nástrojů	36 pozic.
Maximální otáčky	10 000 ot/min
Maximální posuv	20 m/min
Rozměry pracovního stolu (délka/šířka/výška)	4 000/600/480 mm Stůl lze rozdělit na dvě části o délce 2 300 mm a 1 200 mm.
Údržba	Po každé směně – kontrola filtračního papíru, čištění pohyblivých částí od nečistot a kovových třísek aj. Denní – kontrola stavu oleje, koncentrace řezné emulze, čištění upínacího kužele aj. Týdenní – kontrola a čištění zásobníku nástrojů, celkové čištění stroje aj. Měsíční – kontrola poškození upínacího kužele, funkce nouzového vypínače, vzduchového filtru aj. Čtvrtletně – kontrola opotřebení klínového řemene aj. Půlročně – výměna kleštiny v hlavním vřetenu aj. Ročně - kontrola vodících drah všech os, ovládací skříně aj.
Náklady na 1hod chodu stroje	771,35 Kč (pozn. údaje z roku 2006)

Jak je uvedeno v Tab. 2.1 kontrola koncentrace řezné emulze se musí provádět 1x denně. Kontrolu provádí obsluha strojů za pomoci refraktometru Obr. 2.4. Do žlábku refraktometru se kápne několik kapek emulze, pracovník se do něj podívá druhým koncem a zjistí, zda je emulze ve správném poměru. Jeho optimální výše je okolo 9 %. Při našem měření měla emulze 8 %. Roztok splňuje normu ČSN EN ISO 9001:2001.

Obr. 2.4 Měření koncentrace emulze pomocí refraktometru.

2.3 Stopková fréza

Při zpracování profilů pro projekt X-60 se používá několik různých nástrojů např. vrtáky různých průměrů, navrtáváky, frézy nebo závitníky Obr. 2.5. Pro účely testování byla vybrána fréza o průměru 12 mm Obr. 2.6, vzhledem ke svému širokému využití ve většině stávajících projektů. Popis parametrů této frézy je uveden v Tab. 2.2.

Obr. 2.5 Vybrané nástroje používané při obrábění profilů.

Obr. 2.6 Stopková hrubovací fréza z rychlořezné oceli.

Tab. 2.2 Parametry stopkové frézy [4].

Průměr	12 mm
Výrobce	Nachreiner GmbH
Dodavatel	FandServis, s. r. o.
Materiál	PM-HSS
Povlak	TiAlN (Blue Cut)
Cena	katalogová: 42,5 € prodejní: 35,5 €
Řezná rychlost	150-200 m/min
Posuvová rychlost	0,065 mm/zub
Počet zubů	4

2.3.1 Ukázka řídicího programu

Hlavička programu, ve které jsou vypsány nástroje, které budou v průběhu celého procesu výroby profilu použity. První sloupeček udává pozici v zásobníku a druhý je korekce nástroje. Dále je uveden název nástroje a poté jeho průměr.

```
( WERKZEUGLISTE                AXA 2                                  )
( ------------------------------------------------------------------- )
( T22  D22  I FREZA                        12   d  I                  )
( T1   D1   I NAVRTAVAK                    10   d  I                  )
( T7   D7   I VRTAK                        7    d  I                  )
( T13  D37  I VRTAK                        5    d  I                  )
```

```
( T33  D38  I VRTAK                       12   d  I                 )
( T35  D119 I FREZA DRAZK                 10   d  I                 )
( T5   D5   I VRTAK                       6.2  d  I                 )
( T16  D72  I ZAVITNIK_PRODL M6HC         6    d  I                 )
( T24  D112 I T FREZA                     48/8 d  I                 )
( T4   D4   I VRTAK                       3.4  d  I                 )
( T12  D12  I ZAVITNIK                    M4      I                 )
( ------------------------------------------------------------------ )
(                                                                    )
```

V tomto místě přichází na řadu testovaná fréza o průměru 12 mm.

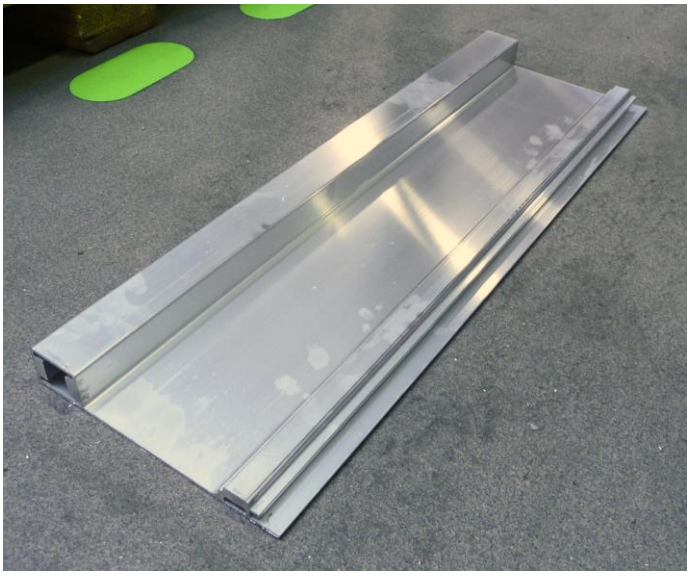
Jako první je potřeba zapnout chlazení, které se mezi výměnami nástrojů vypíná a teprve poté lze přistoupit k dalším operacím, jako je výběr nástroje ze zásobníku, jeho najetí na správnou pozici a následný záběr do materiálu.

```
N0130 T22 L06
N0140 ( FREZA 12d ) M08
N0150 G00 G90 G64 G54 G64 X-60.5 Y-10 B0 T33
N0160 D22 S6500 F4000 M03
N0170 Z2
G58 Y0
N0180 G01 Z-42
N0190 G42 X-70.5 F200
N0200 Y50
N0210 X-19.5 F200
N0220 G03 X-12.5 Y57 U7
N0230 G01 Y137 F700
N0240 G01 G40 X7.5 F1000
N0250 G41 X-13.5 F800
N0260 Y57
N0270 G02 X-19.5 Y51 U6
N0280 G01 X-71.5
N0290 Y-10
N0300 G00 G40 X-61.5
G58 Y0
N0370 G00 Z200
    ...
T22 L6
N2190 G00 B45
N2200 (L07)
N2210 M30
```

2.4 Postup zpracování na AXA 2

Nejprve musí obsluha připravit stroj pro novou sérii, tzn. zejména přednastavit stroj (nahrát řídicí program, nastavit najetí nulových bodů, upravit řezné podmínky, atd.). Poté se může přistoupit k výrobě dané dávky.

Následně lze upnout hliníkový profil na stůl stroje (Obr. 2.7 a 2.8) a spustit řídicí program.



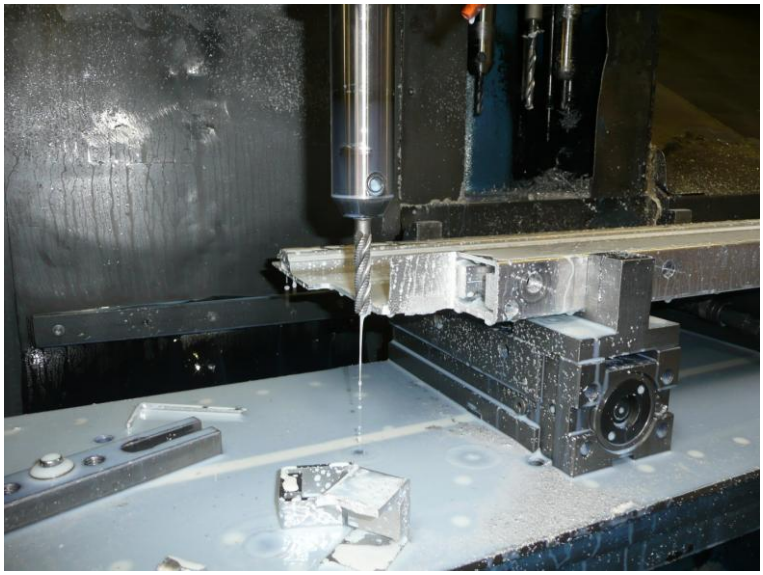
Obr. 2.7 Hliníkový profil k výrobě dveří před zpracováním na CNC centru.

Obr. 2.8 Upnutí profilu ve stroji.

V průběhu obráběcího cyklu je možné regulovat otáčky anebo proces úplně zastavit např. když se zlomí nástroj. Ten se pak musí vyměnit a po vložení do upínače ustavit Obr. 2.9.

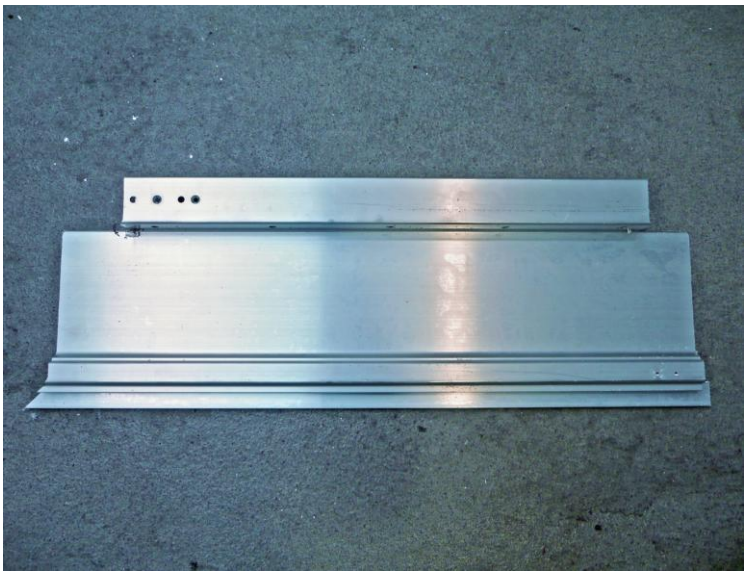
Obr. 2.9 Nový nástroj se musí v upínači ustavit vč. nastavení korekcí.

Po výměně se může pokračovat v obráběcím procesu. Na Obr. 2.10 je vidět fréza v záběru během obráběcího procesu. Pod ní je i kousek profilu, který byl právě odfrézován.



Obr. 2.10 Fréza v záběru.

Po skončení všech operací řídicího programu lze profil očistit a vyjmout ze stroje. Dokončený profil je na Obr. 2.11 a 2.12.



Obr. 2.11 Obrobený hliníkový profil.

Obr. 2.12 Průřez profilu.

3 Návrh na zlepšení stávajícího stavu

V současnosti se při frézování profilů používá fréza z rychlořezné oceli o průměru 12 mm s černým povlakem TiAlN a čtyřmi břity.

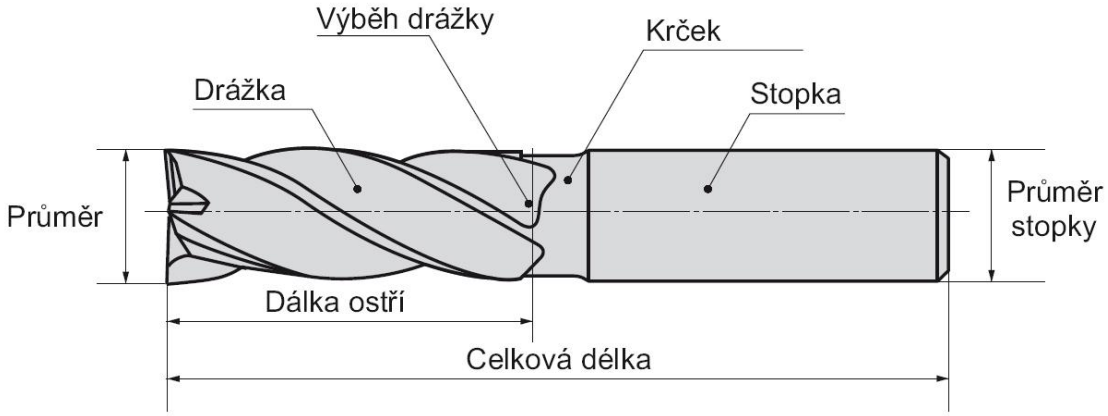
Návrhem na zlepšení bylo použití jiného povlaku a frézy s jiným počtem zubů. Volba padla na frézu také z rychlořezné oceli se čtyřmi břity, ale s jiným povlakem vhodným pro obrábění hliníku Obr. 3.1. Druhým navrhovaným nástrojem je fréza opět z rychlořezné oceli, ale se třemi břity Obr. 3.2, která by měla mít lepší odvod třísky a je vhodná pro těžké řezy. U obou fréz bylo navrhnuto povlakování novým povlakem s názvem CC AluSpeed® od firmy CemeCon, s. r. o.

Tento povlak je dle údajů poskytnutých výrobcem vhodný k obrábění hliníkových slitin a při použití vysokých řezných rychlostí až 1 200 m/min.

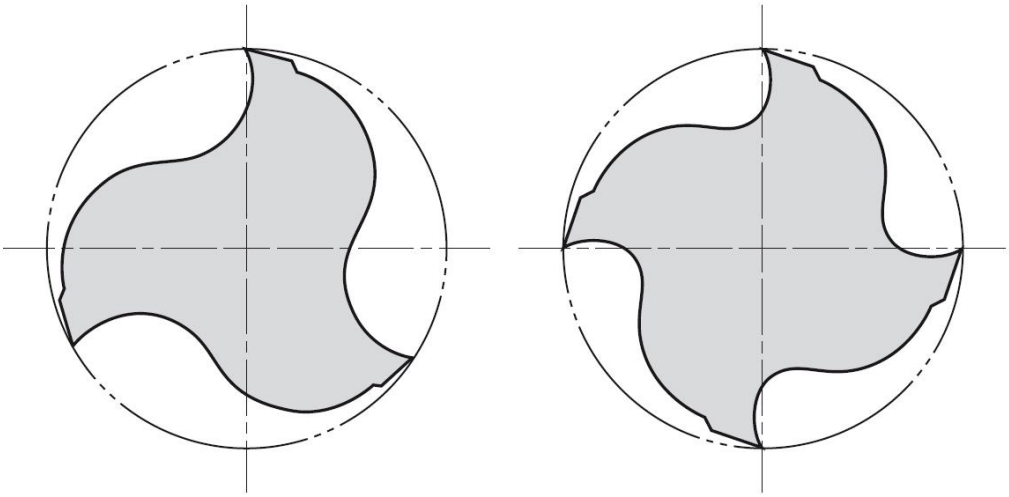
Obr. 3.1 Čtyřbřitá fréza s povlakem CC AluSpeed®.

Obr. 3.2 Tříbřitá fréza s povlakem CC AluSpeed®.

Detailnější znázornění nástrojů na Obr. 3.3 a 3.4.



Obr. 3.3 Schéma jednotlivých částí nástroje [5].



Obr. 3.4 Příčný řez frézami se třemi a čtyřmi břity [5].

V minulosti se k obrábění profilů používala fréza z rychlořezné oceli se třemi břity. Dle teoretických poznatků to bylo správné rozhodnutí, avšak v praxi se příliš neosvědčila. Proto se začala využívat fréza stejného typu, ale se čtyřmi břity, která již vydržela déle.

Bohužel nelze posoudit přesné rozdíly, protože si společnost v tomto ohledu nevede žádné statistiky. Odhadem však byla trvanlivost frézy se čtyřmi břity stanovena na 50 hod.

3.1 Povlakování

Podstata povlakování je v nanášení velmi tenké vrstvy materiálu s vysokou tvrdostí a odolností proti opotřebení na podkladový materiál. Povlak zlepšuje řezné vlastnosti nástroje díky o jeden nebo i více řádů jemnější zrnitosti a menšímu množství strukturních defektů. Velkou výhodou je absence povlakového pojiva v materiálu.
Metody povlakování:

- PVD (*Physical Vapour Deposition* – fyzikální napařování). Povlakování se provádí za nízkých pracovních teplot (pod 500 °C). Původně byla tato metoda určena pro nástroje z rychlořezné oceli, pro které je velmi vhodná, v posledních letech se však využívá i u slinutých karbidů.

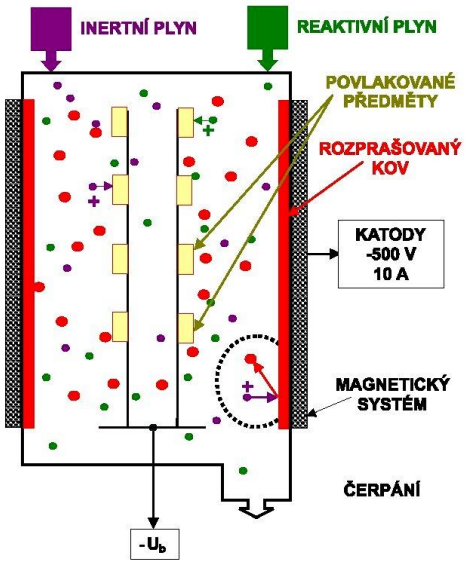
Povlak je nanášen:

- napařováním,
- naprašováním,
- iontovou implantací.

Povlak CC AluSpeed® byl aplikován metodou PVD pomocí magnetronového naprašování Obr. 3.5.

„Naprašování využívá elektrického výboje v plynné atmosféře komory, při kterém vznikají kationy (kladné ionty), které bombardují katodu z čistého kovu, na níž je připojen záporný pól elektrického napětí 0,5 - 5,0 kV. Vysoká kinetická energie iontů uvolní z terče čistého kovu částice potřebného chemického složení (závisí na použitém kovu a složení plynné atmosféry), které se následně usazují na povrchu substrátu a vytvářejí tak požadovaný povlak.“ [7]

Nevýhodou tohoto typu povlakování je poměrně složitý vakuový systém a nutnost otáčet povlakovanými nástroji z důvodu rovnoměrného nanášení povlaku. K výhodám lze naopak přisoudit možnost povlakování i velmi ostrých hran.



Obr. 3.5 PVD povlakování – naprašování [9].

- CVD (*Chemical Vapour Deposition* – chemické napařování z plynné fáze). Povlakování probíhá za vysokých teplot (1 000 – 1 200 °C). Slinuté karbidy se povlakují převážně touto metodou. Používají se tyto čtyři varianty:
  - tepelně indukovaná,
  - plazmaticky aktivovaná,
  - elektronově indukovaná (paprsek elektronů),
  - fotonově indukovaná (př. laser) [7, 6, 9].

3.2 Povlak CC AluSpeed®

Tab. 3.1 Parametry povlaku CC AluSpeed® [3].

Výrobce	CemeCon, s. r. o., Ivančice
Skupina	Borid
Složení	TiB2
Struktura povlaku	Monolayer
Tvrdost HV 0,05	4 000
Max. teplota použití	900 °C
Koeficient tření s ocelí	0,3
Tloušťka povlaku	1,7 – 2 μm
Cena povlaku	108 Kč
Použití	Soustružení, frézování, vrtání, vystružování

Cena povlaku se vypočítává v závislosti na průměru nástroje. Cenová relace se pohybuje v rozpětí 7 – 9 Kč za 1 mm průměru nástroje. Při výpočtu byla brána v úvahu horní hranice tj. 9 Kč.

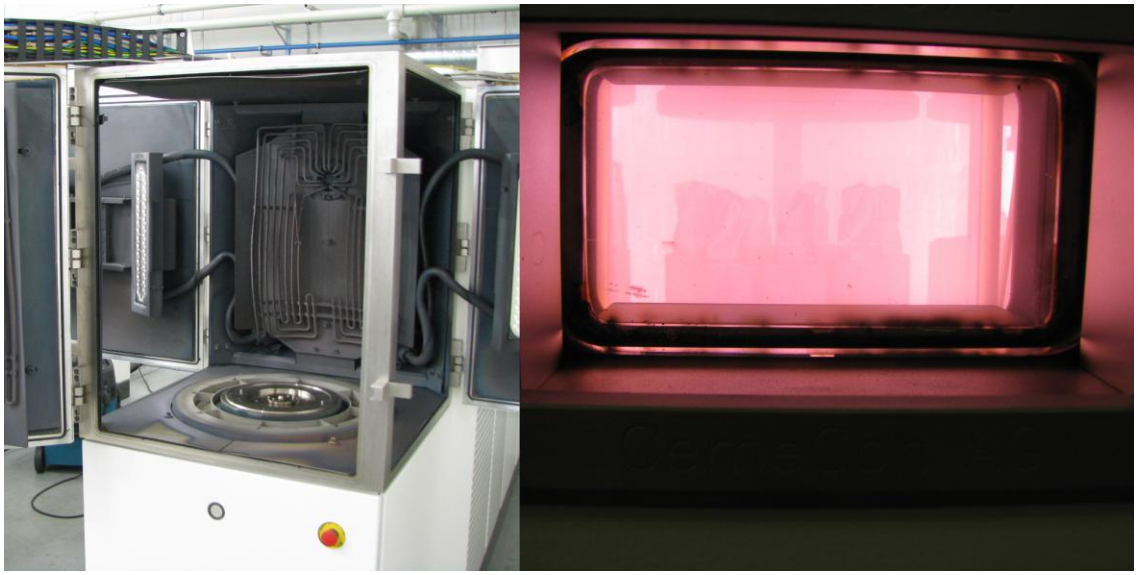
Povlak CC AluSpeed® je určen k třískovému obrábění hliníkových, měděných a titanových slitin. Další vlastnosti tohoto povlaku:

- kopíruje kontury ostrých řezných hran,
- vysoká houževnatost při vysoké tvrdosti,
- samomazný efekt v řezném procesu,
- nízká náchylnost k nárůstkům a nalepování materiálu,

- extrémně hladký povrch umožňující lehký odvod materiálu z drážky nástroje při vrtání, závitování a frézování,
- nízké tření fazetek – vysoká kvalita povrchu,
- přepovlakování na vysoké úrovni.

Povlak CC AluSpeed® byl vyvinut společností CemeCon, s. r. o. Firma CemeCon, s. r. o. byla založena 27. listopadu 2006 s cílem provozovat fyzikální povlakování nástrojů pro třískové obrábění. Je vlastníkem certifikátu kvality dle normy DIN EN: ISO 9001: 2000. Firma má pobočky po celém světě – v USA, Německu, Dánsku, České republice a Číně.

Dle firmy je provoz ekologický a neprodukuje žádné nebezpečné odpady, celý výrobní prostor je klimatizován a veškeré technologické operace jsou realizovány v uzavřených jednotkách. Samotný proces povlakování probíhá ve speciálním vakuovém zařízení za nejvyšší možné čistoty Obr. 3.6.

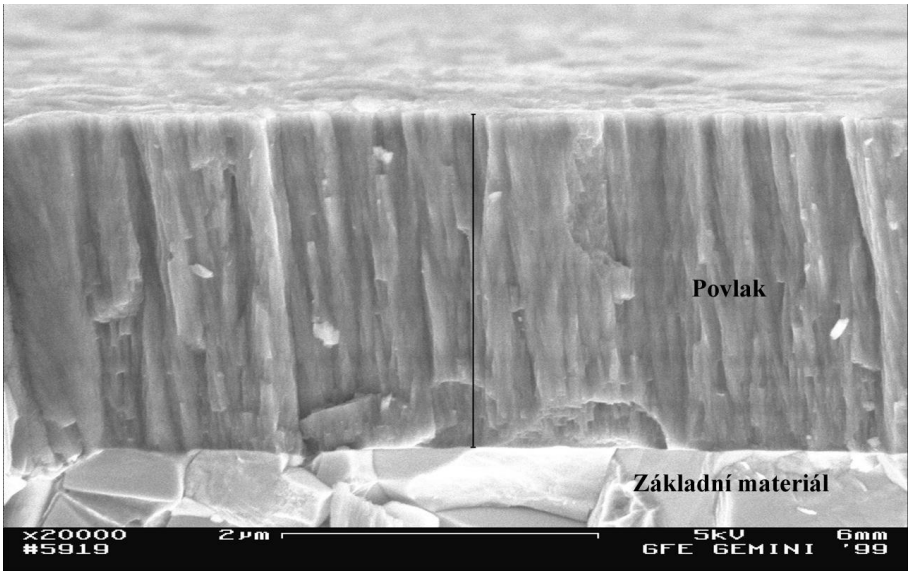


Obr. 3.6 Povlakovací komora ve společnosti CemeCon, s. r. o.

Před samotným povlakováním musí být nástroje nejprve důkladně očištěny. Toho lze dosáhnout pomocí mikro otryskání. Fáze čištění je velice důležitá, protože pokud by na povrchu nástroje zůstala jakákoli drobná nečistota, mělo by to vliv na funkci povlaku a docházelo by k rychlejšímu opotřebení nástroje. Po očištění se nástroje umístí

do speciálních košíků Obr. 3.7, kam se jich vejde několik desítek a vloží se do vakuového zařízení. Za použití systému označovaného CC800/9ML se nanese povlak pomocí magnetronového naprašování díky odprašování TiB2 a za použití reakčního plynu dusíku Obr. 3.8. Teplota tohoto substrátu během povlakování se pohybuje mezi 450 – 480 °C [3].

Obr. 3.7 Speciální košíky pro umístění nástrojů v povlakovací komoře.



Obr. 3.8 Morfologie povlaku CC AluSpeed® [3].

4 Technicko-ekonomické zhodnocení

Aby mohlo být testování nástrojů považováno za relevantní, byla snaha o dodržení stejných pracovních podmínek při zkoušení všech tří nástrojů. Test tedy probíhal na stejném stroji tj. AXA 2 za standardních podmínek, které jsou ve firmě nastaveny. Všechna dveřní křídla se skládají ze čtyř částí - kratší horní a spodní profil a dva dlouhé postranní profily. Všechny nástroje se testovaly na stejné části dveří, a to jsou spodní profily dveřních křídel projektu X-60.

Nepříznivý vliv na testování měl počet kusů, které byly k dispozici. Počty obrobených kusů jednotlivými frézami znázorňuje Tab. 4.1.

Tab. 4.1 Počty obrobených kusů a čas.

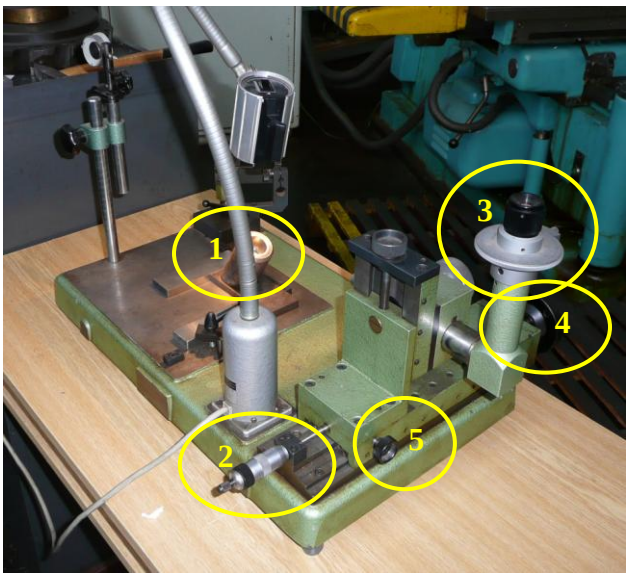
Nástroj	Počet kusů	Celkový čas obrábění
4 břity povlak TiAlN	12	4,5 h
4 břity povlak CC AluSpeed®	20	6 h
3 břity povlak CC AluSpeed®	20	6 h

4.1 Měření opotřebení nástrojů

Na školním zařízení Gühring PG 100A bylo měřeno opotřebení hřbetu nástroje VB Obr. 4.1. Na tomto přístroji lze měřit jmenovitý průměr, délku hlavního ostří, délku příčného ostří, doplňkové nástrojové úhly nastavení hlavních ostří, nástrojový úhel špičky, nástrojové boční úhly hřbetu a úhel stoupání šroubovice.

Postup měření je vyznačen na Obr. 4.2. Do speciálního přípravku přístroje (1) se umístí nástroj Obr. 4.3, který je potřeba změřit, nastaví se zaostření na střed na osu nástroje a mikrometrickým šroubem se nastaví na číselníku nula (2). Okulár (3), kterým se zaostřuje, zvětšuje 10x a číselník na mikrometrickém šroubu má setinové měřidlo. Příčným pojezdem (4) se následně najede na průměrnou hodnotu opotřebení hřbetu nástroje a utáhne se pojistný šroub (5). Poté se příčný pojezd vrátí opět na nulovou hodnotu a pomocí mikrometrického šroubu se zjistí hodnota opotřebení nástroje.

Obr. 4.1 Měřící platforma Gühring PG 100A.



Obr. 4.2 Postup měření na Gühring PG 100A.

Obr. 4.3 Měření opotřebení na hřbetě - VB.

Vzhledem k malému opotřebení testovaných fréz vlivem nízkého počtu testovaných kusů (cca 20 ks.), bylo nutné zvolit jiný způsob zjištění opotřebení. Po dohodě s vedoucím bakalářské práce Ing. Sedlákem jsem se tedy obrátila na Ústav fyziky materiálů Akademie věd České republiky, v. v. i., konkrétně na pana RNDr. Jiřího Buršíka, CSc., DSc. Docent Buršík provedl studii těchto nástrojů na světelném mikroskopu, jehož parametry jsou uvedeny v Tab. 4.2.

Tab. 4.2 Parametry mikroskopu [18].

Mikroskop	Řádkovací elektronový mikroskop JEOL 6460 JSM s energiově disperzním rtg analyzátorem INCA Energy firmy Oxford Instruments
Použité urychlovací napětí	20 kV
Jednotky výsledků EDX analýz	hmotná procenta
Přesnost metody EDX	cca 1%

Nástroje nebylo možné rozřezat a udělat detailnější analýzu, protože je firma chtěla vrátit zpět. Byly tedy prozkoumány světelným mikroskopem, který nám bohužel neposkytne potřebnou analýzu.

Před samotným pozorováním v mikroskopu byly frézy v horní třetině aktivní části očištěny v acetonové lázni s ultrazvukem. Obráběný materiál byl nahrubo vybroušen na brusném papíru.

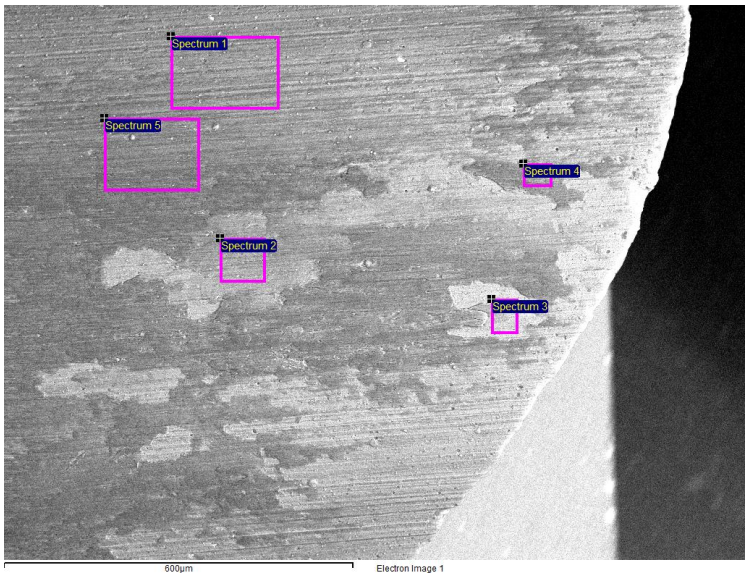
Snímky ukazují strukturu povrchu nástrojů s některými defekty. Obecně vzato lze říci, že povlak, který byl na nástrojích aplikován, je smeten pryč.

Povlak na aktivní části všech nástrojů vykazuje na snímcích sekundárních i zpětně odražených elektronů nerovnoměrnou intenzitu. EDX analýza ukazuje zřetelné rozdíly ve složení: tmavší místa mají vyšší poměr Al/Ti Obr. 4.4.

V Tab. 4.3 jsou uvedeny poměry prvků, které se nacházejí v oblastech označených Spectrum 1 - 5. Oblast Spectrum 1, 4 a 5 vyznačuje tmavší části na nástroji a oblast zkoumání Spectrum 2 a 3 naopak světlejší části.

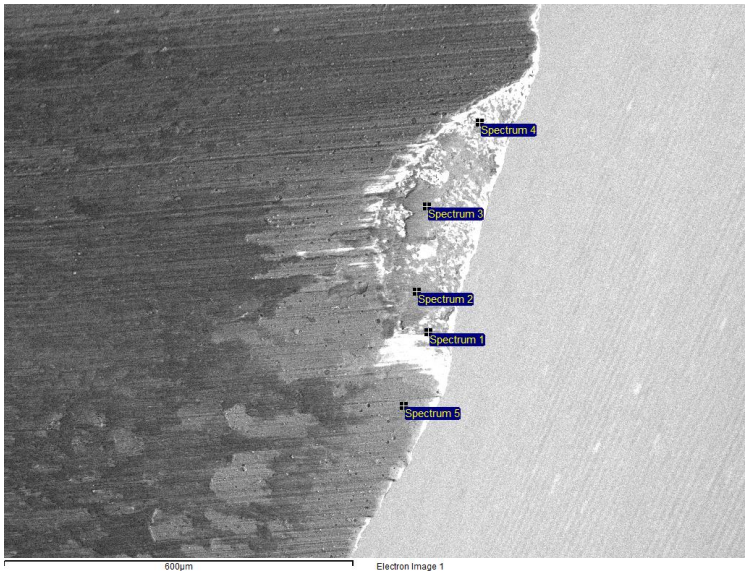
Tab. 4.3 Struktura materiálu Obr. 4.3 [18].

Spectrum	**O**	**Al**	**Ti**
Spectrum 1	26,34	44,54	29,12
Spectrum 2	26,57	48,60	24,83
Spectrum 3	24,15	39,68	36,16
Spectrum 4	26,44	63,93	9,63
Spectrum 5	33,29	46,86	19,85



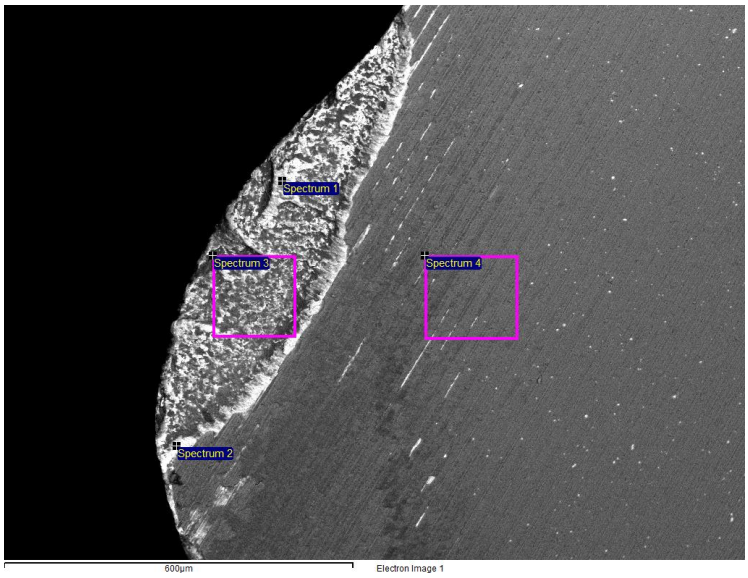
Obr. 4.4 Čtyřbřitá fréza s povlakem TiAlN [18].

V dalších částech nástroje se vyskytují defekty na břitech (drobné výlomy) i na plochách, které odhalují nepovlakovaný základní materiál (ocel, v EDX spektrech zejména výrazný *Peek* Fe). Dochází tedy k vylamování břitů a tím ke zhoršování řezných vlastností nástroje Obr. 4.5. To je způsobeno zejména náročností frézovací operace.



Obr. 4.5 Ukázka vylomené části břitu na jednom ze zubů čtyřbřité frézy s povlakem TiAlN [18].

Dalším typem defektu pozorovaným na fréze s povlakem TiAlN je rozsáhlejší poškození pod hranou zubu, které se vyznačuje na analýzách vysokým obsahem Fe a Al při nízkém obsahu Ti. Zde by se mohlo jednat o výlom s nalepeným materiálem obráběného kusu Obr. 4.6.

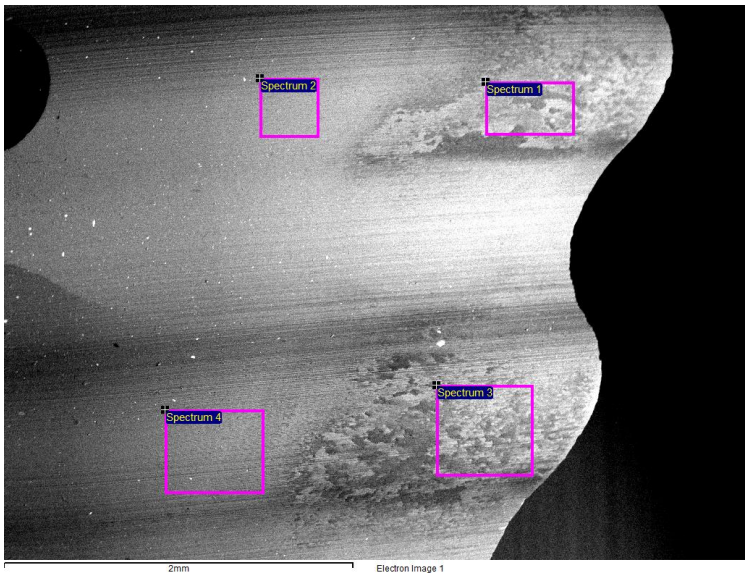


Obr. 4.6 Ukázka vylomené části břitu TiAlN [18].

Na Obr 4.7 jsou vidět rozdíly ve složení povlaku v místech největší expozice na hřbetu zubů (zde je systematicky vyšší obsah Al) a v místech dále od hrany. Složení materiálu na Obr. 4.7 znázorňuje Tab. 4.4.

Tab. 4.4 Hodnoty k Obr. 4.7 [18].

Spectrum	O	Al	Ti
Spectrum 1	22,93	47,53	29,54
Spectrum 2	11,93	35,57	52,5
Spectrum 3	20,59	50,78	28,63
Spectrum 4	9,33	39,65	51,01



Obr. 4.7 Znázornění jedné řady zubů [18].

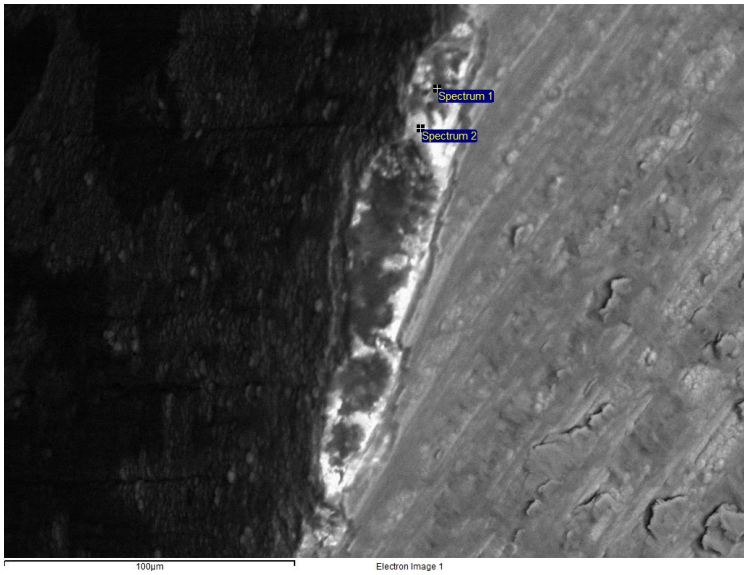
Obr. 4.8 znázorňuje ostří tříbřité frézy povlakované CC AluSpeed®. Hodnoty v jednotlivých Spectrech 1 – 4 popisuje Tab. 4.5. Je patrné, že naměřené hodnoty odpovídají tomu, že na tomto nástroji není povlak tak poškozen jako na předcházejícím.

Obr. 4.8 Ostří čtyřbřité frézy s povlakem CC AluSpeed® [18].

Tab. 4.5 Hodnoty k Obr. 4.8 [18].

Spectrum	O	Al	Ti
Spectrum 1	20,60	17,91	61,49
Spectrum 2	21,30	32,81	45,89
Spectrum 3	21,67	59,70	18,63
Spectrum 4	18,88	15,60	65,52

Na posledním Obr. 4.9 frézy je patrné vylomení břitu. Analýza Spectra 1 a 2 Tab. 4.6 ukazuje vylomení části břitu nástroje až na ocel společně s nalepením materiálu obrobku.

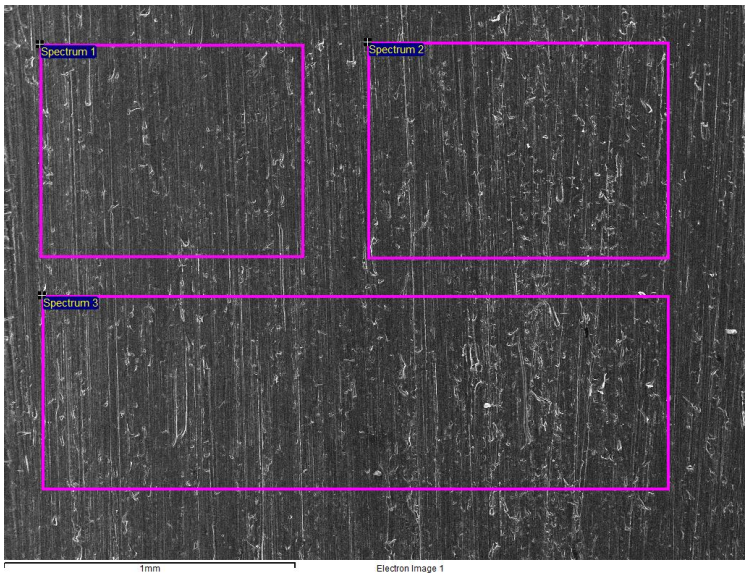


Obr. 4.9 Fréza se třemi břity a povlakem CC AluSpeed® [18].

Tab. 4.6 Rozbor materiálu k Obr. 4.9 [18].

Spectrum	O	Al	Ti	V	Cr	Fe	Co	Mo
Spectrum 1	17,00	53,53	0,60	0,96	1,32	21,86	3,37	1,36
Spectrum 2	53,53	12,95	0,68	0,50	3,10	62,48	8,98	3,75

Na Obr. 4.10 je detail obráběného materiálu. Plošné EDX analýzy na hrubém výbrusu vykazují jen Al, další prvky jsou pod mezí detekovatelnosti metody.



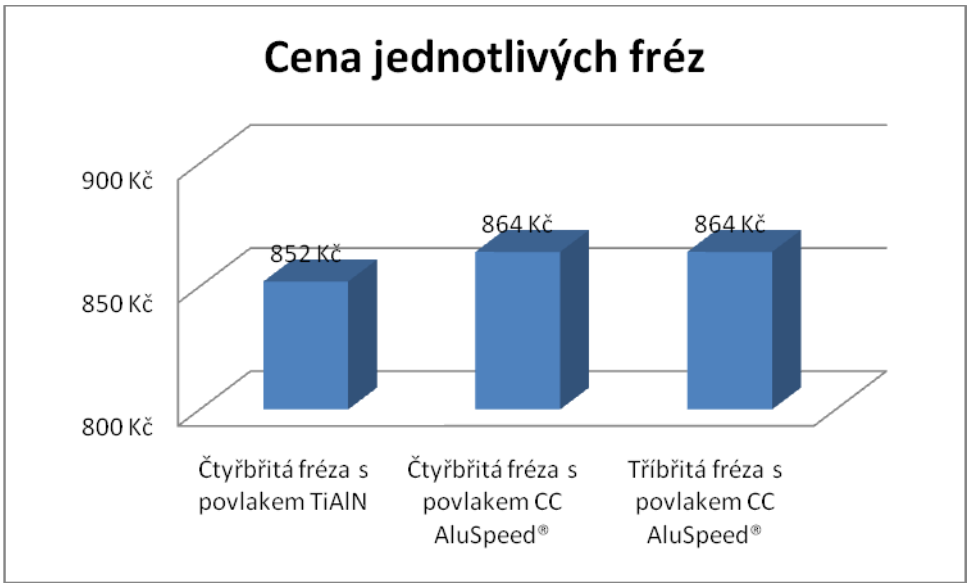
Obr. 4.10 Výbrus obráběného materiálu [18].

4.2 Ekonomické zhodnocení

Z výsledků SEM analýz není bohužel patrné přesné opotřebení jednotlivých nástrojů. Je však vidět, že stávající čtyřbřitá fréza s povlakem TiAlN má více smetený povlak a také více drobných defektů než ostatní dva nástroje.

Jak je patrno z Grafu 4.1 celková cena obou fréz s povlakem CC AluSpeed® je na zhruba stejné výši jako stávající frézy. Do všech cen je zahrnuta i cena nového povlaku, která je stanovena pro jeden kus nástroje bez daně. S větším množstvím je samozřejmě možné cenu upravit. Je také třeba zvážit cenu i s ohledem na opotřebení nástrojů.

	Čtyřbřitá fréza s povlakem TiAlN	**Čtyřbřitá fréza s povlakem CC AluSpeed®**	**Tříbřitá fréza s povlakem CC AluSpeed®**
Cena v €	31,5	31,5	31,5
Cena v Kč (1€/24,5 Kč)	756	756	756
Cena povlaku v Kč	96	108	108
Cena celkem v Kč	852	864	864



Graf 4.1 Cena jednotlivých fréz.

5 Závěr

Proces obrábění a v poslední době zejména i frézování je čím dál tím častěji skloňován v nejrůznějších oborech. Bez tohoto způsobu opracování materiálu si dnešní moderní výrobu již neumíme vůbec představit. Proto je velmi důležité dbát na efektivitu těchto procesů a snažit se ji ještě zvyšovat. Je nutné dbát na využití správných nástrojů, za optimálních řezných podmínek pro daný materiál. Ne vždy je nejlevnější řešení tím nejlepším, které nám přinese úsporu nákladů.

Při testování ve společnosti IFE-ČR, a. s. se zkoušely frézy z rychlořezné oceli při obrábění hliníkových profilů. Vzhledem k podmínkám, které byly pro tento test umožněny, z něj nevyšel příliš jednoznačný výsledek zlepšení, který byl zamýšlen. Vliv měl v nemalé míře počet obrobených kusů, který byl dán velikostí dávky projektu. Jak je patrno v ekonomickém zhodnocení, příliš velký rozdíl mezi stávajícími a navrhovanými nástroji není. Teorie sice udává, že lepší využití by měla mít fréza se třemi břity, ovšem rozdíl není z testu příliš patrný. Dále by dle teoretických poznatků bylo výhodnější využití nástrojů z jiných materiálů, např. ze slinutých karbidů, které se bohužel díky problémům během práce nepodařilo nasadit.

S jistotou lze však říci, že pokud by společnost využila navrhované řešení, rozhodně by svůj stav nezhoršila, spíše by došlo k mírnému zlepšení.

Pokud bychom se chtěli touto problematikou zabývat do detailu, řešení výběru vhodných nástrojů by bylo až na pomyslném vrcholu. Problém efektivity při obráběcích procesech je velmi komplexní a nelze vše vyřešit pouze jedním opatřením. Pokud by mělo být obrábění dokonalé, musela by se pozornost zaměřit také na upnutí obrobků, vibrace, přesnost daného obráběcího centra apod.

V této práci jsem rozebrala teoretická východiska problematiky frézování, která jsem se pokusila implementovat na daný reálný problém. Koncept bakalářské práce se při konzultaci s vedením společnosti líbil, ovšem jak velký přínos bude mít, záleží také na firmě, zda se jím bude zabývat.

6 Seznam literatury

[1] AB SANDVIK COROMANT. *Produktivní obrábění kovů.* Sandvik Coromant, technické vyd. Švédsko: CMSE, 1997. 300 s. S-811 81 Sandviken, Švédsko.

[2] AB SANDVIK COROMANT – SANDVIK CZ, s.r.o. *Příručka obrábění-kniha pro praktiky.* Přel. KUDELA, M. Praha: Scientia, s.r.o., 1997. 857 s. Přel. z: Modern Metal Cutting – A Practical Handbook. ISBN 91-97 22 99-4-6.

[3] CemeCon, s. r. o., Ivančice. *Podnikové zdroje.* [online] 2011. Dostupné z World Wide Web: <http://www.cemecon.cz/>.

[4] FandServis, s. r. o., Brno. *Podnikové zdroje.* [online] 2011. Dostupné z World Wide Web: <http://www.fandservis.cz/>.

[5] General Catalogue 2007-2009. MITSUBISHI Materials Corporation, Hard Metal Products Department, Tokyo, Japan. 2007.9.IDD(1.2C).

[6] HUMÁR, A. *Materiály pro řezné nástroje.* 1. vyd. Praha: MM publishing, s.r.o., 2008. 235 s. ISBN 978-80-254-2250-2.

[7] HUMÁR, A. *Slinuté karbidy a řezná keramika pro obrábění.* 1. vyd. Brno: CCB, s.r.o., 1995. 256 s. ISBN 80-85825-10-4.

[8] HUMÁR, A. *Sylaby předmětu Výrobní technologie II*. Bakalářské kombinované studium. Ústav strojírenské technologie VUT v Brně, 138 s.

[9] HUMÁR, A. *Technologie obrábění 1. část.* Studijní opory pro magisterskou formu studia. FSI VUT v Brně, 2003. 138 s.

[10] IFE-ČR, a. s., Modřice. *Podnikové zdroje.* [online] 2011. Dostupné z World Wide Web: <http://www.knorr-bremse.cz/cz/>.

[11] ISCAR, s. r. o., *Upínače,* [online] 2010 [cit. 2011-05-03]. Dostupné z World Wide Web: <http://www.iscar.com/Ecat/Application.asp/mapp/IT/GFSTYP/M/lang/WV>.

[12] KOCMAN, K., PROKOP, J. *Technologie obrábění.* 1. vyd. Brno: CERM, 2002. 270 s. ISBN 80-214-1996-2.

[13] Sapa Profily, a. s. *Sapa Profile Academy: Odborný seminář o designu, výrobě a vlastnostech hliníkových profilů 29. – 30. 11. 2010* Sapa Profily, a. s., 2010, Slovenská republika.

[14] TOS Varnsdorf, a. s., *Vzpomínky 75 – Historie obrábění 2*, [online] 1998-2011 [cit. 2011-02-25]. Dostupné z World Wide Web: <http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/o-spolecnosti/historie/vzpominky/clanky/vzpominky-75-historie-obrabeni-2.html>.

[15] TOS Varnsdorf, a. s., *Vzpomínky 76 – Historie obrábění 3*, [online] 1998-2011 [cit. 2011-02-25]. Dostupné z World Wide Web: <http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/o-spolecnosti/historie/vzpominky/clanky/vzpominky-76-historie-obrabeni-3.html>.

[16] TOS Varnsdorf, a. s., *Vzpomínky 77 – Historie obrábění 4*, [online] 1998-2011 [cit. 2011-02-25]. Dostupné z World Wide Web: <http://www.tosvarnsdorf.cz/cz/o-spolecnosti/historie/vzpominky/clanky/vzpominky-77-historie-obrabeni-4.html>.

[17] TumliKovo, Metal Cutting Technologies, *Z historie vývoje fréz, frézovacích strojů a frézování*, [online] 2010 [cit. 2011-02-25]. Dostupné z World Wide Web: <http://www.tumlikovo.cz/z-historie-vyvoje-frez-frezovacich-stroju-a-frezovani/>.

[18] Ústav fyziky materiálů Akademie věd České republiky, v. v. i., Žižkova 22, Brno, RNDr. Buršík J., CSc., DSc. Dostupné z World Wide Web: <http://www.ipm.cz/lide-rndr-jiri-bursik-csc-dsc.html>.

7 Seznam obrázků, tabulek a grafů

Obr. 1 IFE-ČR, a. s. své produkty dodává do souprav metra, tramvají a vlaků [10]. - 11 -
Obr. 2 Užití produktů firmy [10]. ..... - 11 -
Obr. 3 Mapa poboček společnosti Knorr Bremse [10]. ..... - 12 -
Obr. 1.1 Původní fréza z 18. století [17]. ..... - 15 -
Obr. 1.2 Původní frézka z roku 1818 [17]. ..... - 16 -
Obr. 1.3 Univerzální frézka z roku 1862 [17]. ..... - 16 -
Obr. 1.4 Frézka z roku 1900 [17]. ..... - 18 -
Obr. 1.5 Příklady fréz [8]. ..... - 21 -
Obr. 1.6 Další příklady fréz [9]. ..... - 22 -
Obr. 1.7 Pohyby nástroje a obrobku při nesousledném rovinném frézování válcovou frézou s přímými zuby (1 – směr hlavního pohybu; 2 – směr řezného pohybu; 3 – směr posuvového pohybu; 4 – uvažovaný bod ostří) [9]. ..... - 23 -
Obr. 1.8 a) Válcové; b) Čelní frézování [8]. ..... - 25 -
Obr. 1.9 Oblasti použití řezných materiálů [9]. ..... - 27 -
Obr. 1.10 Hodnoty vybraných vlastností řezných materiálů [9]. ..... - 28 -
Obr. 1.11 Příklady upínacích kuželů. a) hydraulický upínač, b) upínač nástrčných fréz, c) kleštinový upínač, d) morse kužel [11]. ..... - 34 -
Obr. 2.1 Dveřní křídlo projektu X-60 (vnitřní strana). ..... - 35 -
Obr. 2.2 Příměstský vlak, ve kterém jsou použity produkty IFE-ČR, a. s. [10]. ..... - 36 -
Obr. 2.3 Obráběcí centrum AXA 2. ..... - 37 -
Tab. 2.1 Parametry AXA 2 [10]. ..... - 38 -
Obr. 2.4 Měření koncentrace emulze pomocí refraktometru. ..... - 39 -
Obr. 2.5 Vybrané nástroje používané při obrábění profilů. ..... - 39 -
Obr. 2.6 Stopková hrubovací fréza z rychlořezné oceli. ..... - 40 -
Tab. 2.2 Parametry stopkové frézy [4]. ..... - 40 -
Obr. 2.7 Hliníkový profil k výrobě dveří před zpracováním na CNC centru. ..... - 42 -
Obr. 2.8 Upnutí profilu ve stroji. ..... - 42 -
Obr. 2.9 Nový nástroj se musí v upínači ustavit vč. nastavení korekcí. ..... - 43 -
Obr. 2.10 Fréza v záběru. ..... - 43 -

Obr. 2.11 Obrobený hliníkový profil. ..... - 44 -
Obr. 2.12 Průřez profilu. ..... - 44 -
Obr. 3.1 Čtyřbřitá fréza s povlakem CC AluSpeed®. ..... - 45 -
Obr. 3.2 Tříbřitá fréza s povlakem CC AluSpeed® ..... - 46 -
Obr. 3.3 Schéma jednotlivých částí nástroje [5]. ..... - 46 -
Obr. 3.4 Příčný řez frézami se třemi a čtyřmi břity [5]. ..... - 47 -
Obr. 3.5 PVD povlakování – naprašování [9]. ..... - 48 -
Tab. 3.1 Parametry povlaku CC AluSpeed® [3]. ..... - 49 -
Obr. 3.6 Povlakovací komora ve společnosti CemeCon, s. r. o. ..... - 50 -
Obr. 3.7 Speciální košíky pro umístění nástrojů v povlakovací komoře. ..... - 51 -
Obr. 3.8 Morfologie povlaku CC AluSpeed® [3]. ..... - 51 -
Tab. 4.1 Počty obrobených kusů a čas. ..... - 52 -
Obr. 4.1 Měřící platforma Gühring PG 100A. ..... - 53 -
Obr. 4.2 Postup měření na Gühring PG 100A. ..... - 53 -
Obr. 4.3 Měření opotřebení na hřbetě - VB. ..... - 54 -
Tab. 4.2 Parametry mikroskopu [18]. ..... - 54 -
Tab. 4.3 Struktura materiálu Obr. 4.3 [18]. ..... - 55 -
Obr. 4.4 Čtyřbřitá fréza s povlakem TiAlN [18]. ..... - 56 -
Obr. 4.5 Ukázka vylomené části břitu na jednom ze zubů čtyřbřité frézy s povlakem TiAlN [18]. ..... - 56 -
Obr. 4.6 Ukázka vylomené části břitu TiAlN [18]. ..... - 57 -
Tab. 4.4 Hodnoty k Obr. 4.7 [18]. ..... - 57 -
Obr. 4.7 Znázornění jedné řady zubů [18]. ..... - 58 -
Obr. 4.8 Ostří čtyřbřité frézy s povlakem CC AluSpeed® [18]. ..... - 58 -
Tab. 4.5 Hodnoty k Obr. 4.8 [18]. ..... - 59 -
Obr. 4.9 Fréza se třemi břity a povlakem CC AluSpeed® [18]. ..... - 59 -
Tab. 4.6 Rozbor materiálu k Obr. 4.9 [18]. ..... - 59 -
Obr. 4.10 Výbrus obráběného materiálu [18]. ..... - 60 -
Graf 4.1 Cena jednotlivých fréz. ..... - 61 -

8 Seznam použitých zkratek a symbolů

Zkratka	Popis zkratky
aj.	a jiné
např.	například
tj.	to je
tzn.	to znamená
vč.	včetně
pozn.	poznámka
Kč	korun českých
€	eura
hod	hodin
min	minuty
m	metry
mm	milimetry
ot.	otáčky
Peek	vykmitnutí
HW, HF	rozdělení nepovlakovaných slinutých karbidů
P, M, K, N, S, H	skupiny slinutých karbidů
HT	označení cermetů
CA	čistá a polosměsná řezná keramika
CM	směsná řezná keramika
CN	nitridová řezná keramika
CC	povlakovaná řezná keramika
PKNB	polykrystalický kubický nitrid bóru
PKD	polykrystalický diamant
EFC	Environmental Friendly Company
O	Kyslík
Al	Hliník
Ti	Titan
V	Vanad
Cr	Chrom
Fe	Železo
Co	Kobalt
Mo	Molybden

Zkratka	Jednotky	Význam
T	[min]	trvanlivost
m	[-]	exponent
v_c	[m/min]	řezná rychlost
C_T	[-]	konstanta

9 Seznam příloh

Příloha č.	Název
1	Atest hliníkových profilů
2	Průřez profilu
3	Výřez z výkresu profilu
4	Pracovní postup projektu X-60

Příloha 1

Abnahmeprüfzeugnis 3.1 gemäß EN 10204

Hammerer Aluminium Industries GmbH - extrusion

Inspection certificate – mill certificate

Nr.: 8680081553
Rev. 0
Seite / page: 1 von / of 1
Datum / date: 2010 09 14

Zertifiziert nach / certified to ISO/TS 16949

Auftraggeber / orderer: IFE-CR, a.s. Evropská 839 66442 Modrice Czech Republic **Warenempfänger / consignee:** IFE-CR, a.s. Evropská 839 66442 Modrice Czech Republic **Endkunde, Bestell Nr. / Your cust., ord. no.:**	Bestell Nr. / order no.: 4540265127-I51 Datum / date: 2010 09 23 Auftragsbest. Nr. / order confirmation no.: 145346 Datum / date: 2010 06 07 Lieferschein Nr. / delivery note.: 8680081553 Datum / date: 2010 09 14 Akkreditiv Nr. / letter of credit no.:

AB-Pos. ord.-pos	FA-Nr. production no.	Materialnr. item no.	Kunden Artikel customer item	Profilnr. part no.	Werkstoff material	Zustand temper	Guss no. cast no.
1	40409239	94118598	3TD01097R01	K33968	6060	T6403	8500001893

Chemische Zusammensetzung / chemical composition: [%] Gewichtsanteile / weight proportion – EN 573											
EN AW-6060		Si [%]	Fe [%]	Cu [%]	Mn [%]	Mg [%]	Cr [%]	Ni [%]	Zn [%]	Ti [%]	
	Min.	0,30	0,10			0,35					
	Max.	0,6	0,30	0,10	0,10	0,6	0,05		0,15	0,10	
8500001893		0,40	0,19	0,01	0,02	0,45	<0,01		0,02	0,02	

Achtung!
Rundungsregel bei Nachkommazahlen nach EN 573-3 beachten!
Ist der SOLL-Wert mit einer Kommastelle angeführt und der IST-Wert mit zwei Kommastellen, gilt die Rundungsregel. Beispiel: SOLL 0,6%; IST 0,62% = Wert ist innerhalb Toleranz

Zugversuch / tensile test – DIN EN ISO 6892-1					
FA-Nr. production no.	Zustand temper		Rp0.2 [MPa]	Rm [MPa]	A5 [%]
		Min.	170	215	12,0
		Max.			
40409239	T6403		214	239	13,1

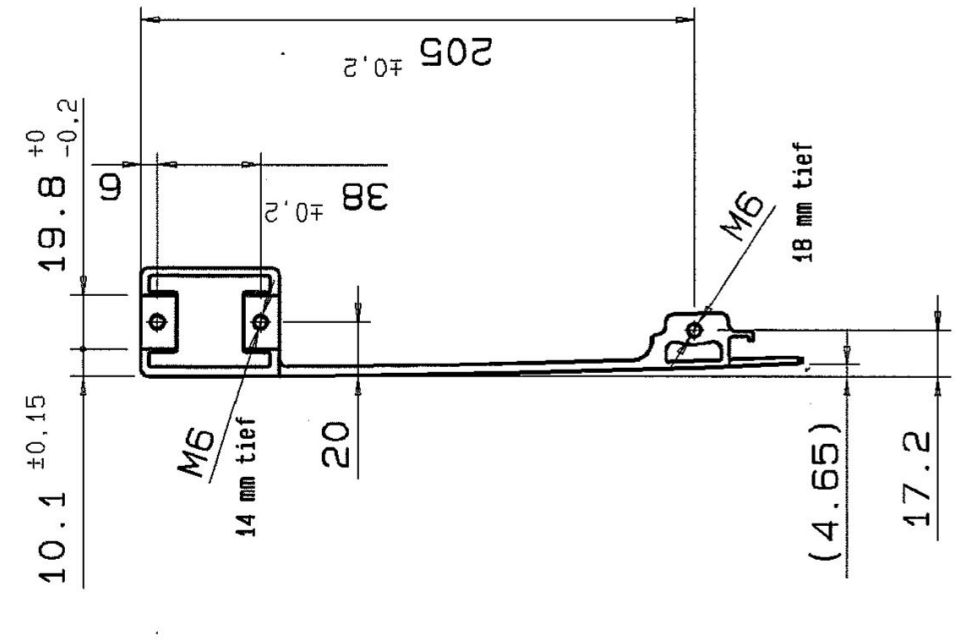
Es wird bestätigt, dass die Lieferung geprüft wurde und den Vereinbarungen bei der Bestellung entspricht.
We hereby certify that the material described above has been tested and complies with the terms of the order contract.

Werkssachverständiger / factory specialist	Telefon / telephone	Fax / fax	E-Mail / e-mail
Rudolf Buchmann	+43 (7722) 891 2434	+43 (7722) 891 444	Rudolf.buchmann@hai-aluminium.at

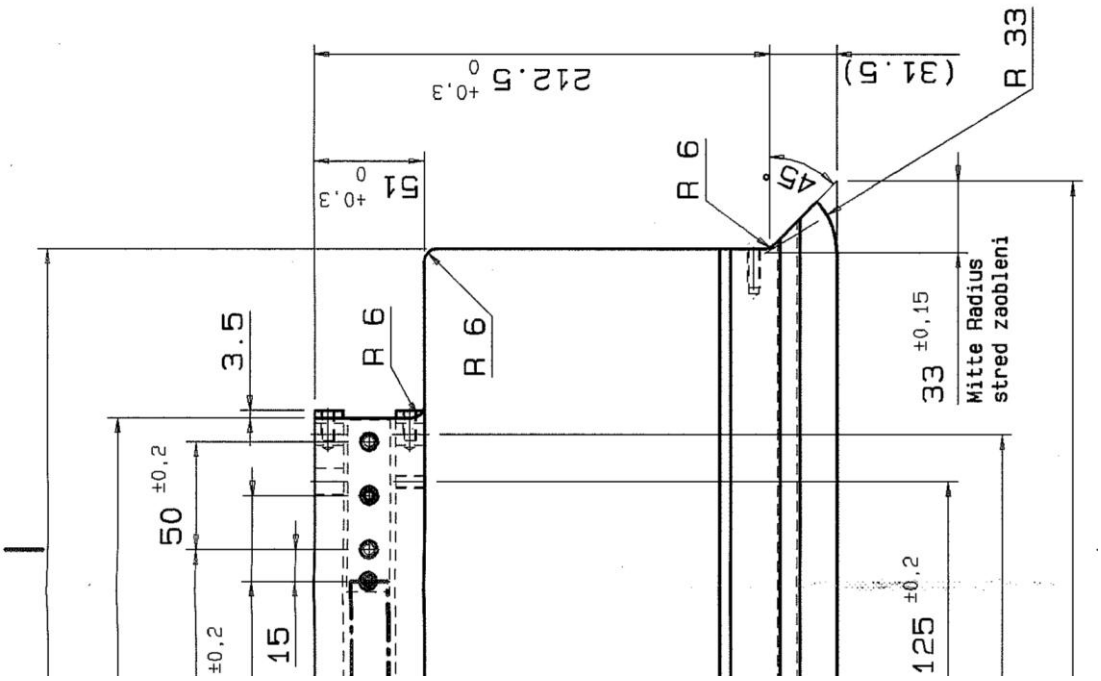
Maschinell erstellt - Gültig ohne Unterschrift / Automated - valid without being signed

Seite 1 von 1

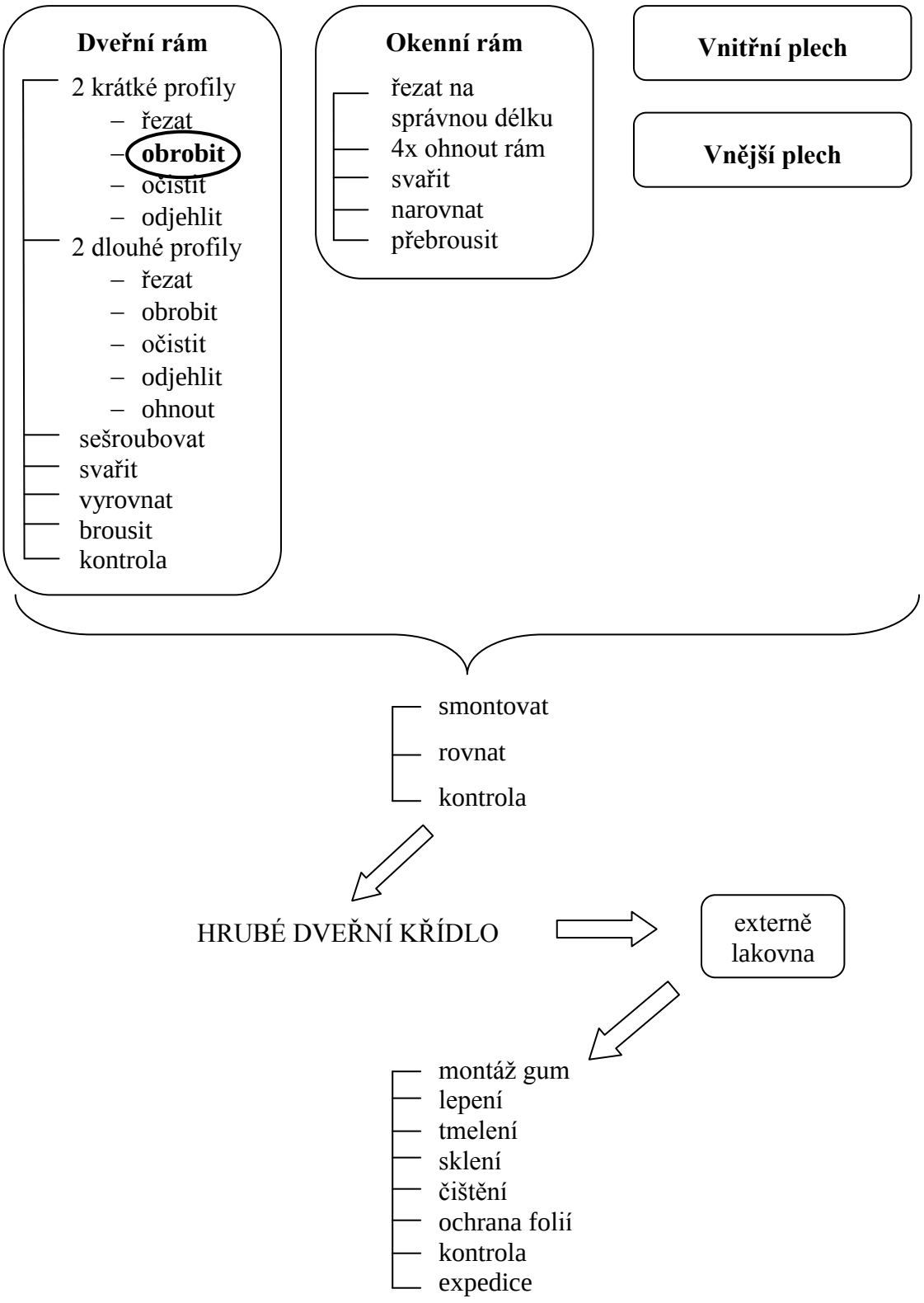
Příloha 2


205 ±0.2
38 ±0.2
6
19.8 +0 -0.2
10.1 ±0,15
M6
14 mm tief
20
M6
18 mm tief
(4.65)
17.2

Příloha 3


212.5 +0.3 0
(31.5)
R 33
51 +0.3 0
R 6
45°
3.5
R 6
R 6
33 ±0,15
Mitte Radius
stred zaobleni
50 ±0.2
±0.2
15
125 ±0.2

Příloha 4


Dveřní rám
2 krátké profily
– řezat
– obrobit
– očistit
– odjehlit
2 dlouhé profily
– řezat
– obrobit
– očistit
– odjehlit
– ohnout
sešroubovat
svařit
vyrovnat
brousit
kontrola
Okenní rám
řezat na správnou délku
4x ohnout rám
svařit
narovnat
přebrousit
Vnitřní plech
Vnější plech
smontovat
rovnat
kontrola
HRUBÉ DVEŘNÍ KŘÍDLO
externě lakovna
montáž gum
lepení
tmelení
sklení
čištění
ochrana folií
kontrola
expedice