

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA STROJNÍ

Studijní program: B 2341 Strojírenství
Studijní zaměření: Programování NC strojů

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Vliv geometrie válcové frézy na povrch sendvičového materiálu

Autor: Jiří VOBROUČEK

Vedoucí práce: Ing. Ivana ČESÁKOVÁ

Akademický rok 2013/2014

Prohlášení o autorství

Předkládám tímto k posouzení a obhajobě bakalářskou/diplomovou práci, zpracovanou na závěr studia na Fakultě strojní Západočeské univerzity v Plzni.

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou/diplomovou práci vypracoval samostatně, s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených v seznamu, který je součástí této bakalářské/diplomové práce.

V Plzni dne:

.....

podpis autora

Poděkování

Zde bych rád vyjádřil svůj vděk firmě Novem Car Interior Design k.s. za poskytnutí možnosti čerpání informací a provedení tohoto výzkumu v její oblasti podnikání. Také panu Janu Špetovi, Josefu Škardovi a Ing. Ivaně Česákové za odborné rady týkající se výroby fréz, programování a dalších záležitostí spjatých s touto prací.

ANOTAČNÍ LIST BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

AUTOR	Vobrouček		Jiří
STUDIJNÍ OBOR	B2341 Programování NC strojů		
VEDOUCÍ PRÁCE	Ing. Česáková		Ivana
PRACOVIŠTĚ	ZČU - FST - KTO		
DRUH PRÁCE	DIPLOMOVÁ	BAKALÁŘSKÁ	Nehodící se škrtněte
NÁZEV PRÁCE	Vliv geometrie válcové frézy na povrch sendvičového materiálu		

FAKULTA	strojní	KATEDRA	KTO	ROK ODEVZD.	2014
----------------	---------	----------------	-----	--------------------	------

POČET STRAN

CELKEM	36	TEXTOVÁ ČÁST	36	GRAFICKÁ ČÁST	-
---------------	----	---------------------	----	----------------------	---

<p>STRUČNÝ POPIS</p> <p>ZAMĚŘENÍ, TÉMA, CÍL POZNATKY A PŘÍNOSY</p>	<p>Účelem této bakalářské práce je znázornění vlivů změn v geometrii čelní válcové frézy na povrch sendvičového materiálu a případné nalezení produktivnějších hodnot, co se životnosti nástroje týče, než je současný stav. Část práce je také věnována popisu výroby daného testovaného obrobku a okolnostem, které jsou spojené s jeho zpracováním a je nezbytné je dodržet.</p>
<p>KLÍČOVÁ SLOVA</p> <p>ZPRAVIDLA JEDNOSLOVNÉ POJMY, KTERÉ VYSTIHUJÍ PODSTATU PRÁCE</p>	<p>Sendvičový materiál, frézy, geometrie, kvalita řezu, frézování, NC program</p>

SUMMARY OF BACHELOR SHEET

AUTHOR	Vobrouček	Jiří	
FIELD OF STUDY	B2341 „Programming of NC machines“		
SUPERVISOR	Ing. Česáková	Ivana	
INSTITUTION	ZČU - FST - KTO		
TYPE OF WORK	DIPLÓMA	BACHELOR	Delete when not applicable
TITLE OF THE WORK	Effect of different mill geometry on surface of multilayer material		

FACULTY	Mechanical Engineering	DEPARTMENT	KTO	SUBMITTED IN	2014
----------------	------------------------	-------------------	-----	---------------------	------

NUMBER OF PAGES (A4 and eq. A4)

TOTALLY	36	TEXT PART	36	GRAPHICAL PART	
----------------	----	------------------	----	-----------------------	--

BRIEF DESCRIPTION TOPIC, GOAL, RESULTS AND CONTRIBUTIONS	<p>The main idea of this bachelor work is to show depending of endmill geometry changes on sandwich material surface and appropriate foundation of better solution in cutter lifetime. Another part of thesis belongs to tested part manufacture description and conditions which are connected with it and is necessary to take care about them.</p>
KEY WORDS	<p>Sandwich material, milling cutters, geometry, surface quality, milling, NC program</p>

Obsah

Obsah.....	
Přehled zkratk.....	1
1. Úvod.....	2
2. Analýza současného stavu.....	3
2.1. Frézování.....	3
2.2. Frézovací nástroje.....	4
2.3. Výroba čelních válcových fréz v závodě Novem Car Interior Design k.s.	6
2.4. Popis principu výroby obráběného materiálu.....	6
2.4.1. Dýha.....	6
2.4.2. Lisování.....	9
2.4.3. Vstříkovací lis.....	10
2.4.4. PUR lak.....	11
2.5. Složení testovacího dílu.....	13
2.6. Problémy a rizika při obrábění sendvičového materiálu.....	15
3. Stroj a řezné podmínky pro testování nástroje.....	16
3.1. Použitý stroj.....	16
3.2. Řezné podmínky při testování:.....	17
3.3. Tvorba programu.....	17
3.3.1. Zhotovení modelu:.....	17
3.3.2. Tvorba NC programu.....	18
3.3.3. Dokončovací operace prvního upnutí.....	21
3.3.4. Upnutí do postupové šablony číslo 2.....	21
3.3.5. Hrubování šablona číslo 2.....	22
3.3.6. Dokončovací operace druhého upnutí.....	22
3.4. Upnutí nástroje.....	22
3.5. Upínání obrobků.....	24
4. Návrh různých typů geometrií.....	25
4.1. Standardní nástroj.....	25
4.2. Varianta 1.....	26
4.3. Varianta 2.....	26
4.4. Varianta 3.....	27
4.5. Porovnání variant.....	28

5.	Vyhodnocení navržených variant.....	29
5.1.	Varianta 1 - vyhodnocení	29
5.2.	Varianta 2 – vyhodnocení.....	31
5.3.	Varianta 3 – vyhodnocení.....	33
5.4.	Tabulka shrnutí vyhodnocení	34
6.	Zhodnocení.....	35
6.1.	Zhodnocení varianty 1	35
6.2.	Zhodnocení varianty 2	35
6.3.	Zhodnocení varianty 3	35
6.4.	Zhodnocení úpravy programu	35
7.	Závěr.....	36
8.	Použitá literatura	37
8.1.	Knižní publikace.....	37
8.2.	Elektronické zdroje.....	37

Přehled zkratk

NC – Numerical control

CNC - Computer

VBD – Vyměnitelné břitové destičky

PKD – Polykristalický diamant

1. Úvod

(použité zdroje [1] [4], [8].)

V dnešní době moderních technologií je, co se obrábění týče, velice populární frézování pomocí frézovacích center, která zvládají zastoupit i další jiné stroje, jako například brusku či soustruh. Právě z důvodu jejich velké mnohostrannosti se staly tak rozšířenými v oblasti třískového obrábění. Díky nim není problém opracovávat ať už dřevo, plasty, kov či keramiku. Vše závisí jen na nástrojích a řezných podmínkách, které jsou k tomu použity.

A právě výběr nástroje pro konkrétní materiál hraje velkou roli při nastavování dalších potřebných věcí, což je řezná rychlost, posuv a otáčky vřetene. Druhem obráběného dílu se u nástroje liší jeho řezné úhly, které mají vliv na kvalitu povrchu obrobeneho materiálu, na životnost nástroje a také na síly, které jsou během obrábění vyvíjeny jak na frézu, tak na obrobek. Samozřejmě určitou roli hraje i odvod třísky v průběhu operace, která je spjata i s odvodem tepla.

Povrch nástrojů lze upravovat tak, aby bylo dosaženo lepších vlastností nástroje. Je možné jej povlakovat jinými směsmi látek a kovů, které mohou mít menší abrazi, vyšší teplotní odolnost apod. Nebo jedna z dalších možností je omílání nástroje, čímž lze dosáhnout potřebného zaoblení břitů. Škála možností v úpravách povrchu je velice obsáhlá a najít optimální řešení mnohdy nebývá záležitost jednoho týdne, ani měsíce.

V automobilovém průmyslu jsou oblíbené sendvičové materiály, které se používají v interiérech automobilů v podobě ozdobných dekorů palubních desek, středových panelů, dveřních panelů, stropního prostoru nebo i sedadel. Avšak cesta k získání těchto krásných tvarových prvků vyžaduje použití moderních technologií.

Pokud přeskochíme od prvotního opracování jediné složky, jediné vrstvy tvořící sendvičový materiál, rovnou k hotovému polotovaru s kompletní strukturou, pak je zapotřebí z tohoto kusu materiálu získat právě požadovaný tvar, který bude použit například zrovna v tom středovém panelu automobilu.

Složení tohoto materiálu může tvořit plast, hliník, dřevěná dýha s tkaninou a různými typy lepidel a lak, zakrývající dřevěnou strukturu. Získání stanoveného tvaru z polotovaru je zajištěno právě zmíněným druhem obrábění, a to frézováním na mnohdy CNC pětiosém frézovacím centru.

Cílem této práce je ukázat, jaké zásahy do geometrie nástroje mohou mít vliv na povrch materiálu a životnost frézy právě u takto složitých materiálů, u kterých nelze stanovit řezné podmínky a použité nástroje dle tabulek či doporučení jejich dodavatelů. A také vliv změny programu, který určuje dráhu nástroje při obrábění a jakým způsobem bude vnikat do obrobku anebo z něho vyjíždět.

2. Analýza současného stavu

Tato kapitola bude věnována jak obecnému popisu použité technologie, frézování tak pro popis výroby obráběného materiálu.

2.1. Frézování

(Informace ke kapitole čerpány z [1], [4], [7], [8] a [9])

Frézování je jedním z nejpoužívanějších způsobů třískového obrábění, respektive konvenční způsob dělení materiálu. Dochází při něm k odebírání vrstvy materiálu z obrobku, formou drobných třísek a je tak učiněno vícezubým rotačním nástrojem, frézou. Ta při práci vykonává otáčivý pohyb kolem své osy a svými zuby na obvodu se postupně zařezává do obrobku, který koná posuvný pohyb proti nástroji.

Tato metoda obrábění je velice rozsáhlá a je možné opracovávat jak rovinné, tak složité tvarové plochy. Problém však je obrábění v menších hůře přístupných místech, vždy se musí dbát na možnost kolize motoru či upínače nástroje, zejména v pětiosém obrábění. Právě velice pestré uplatnění zařadilo tuto technologii na významné místo ve strojírenském průmyslu.

Druhy pohybů:

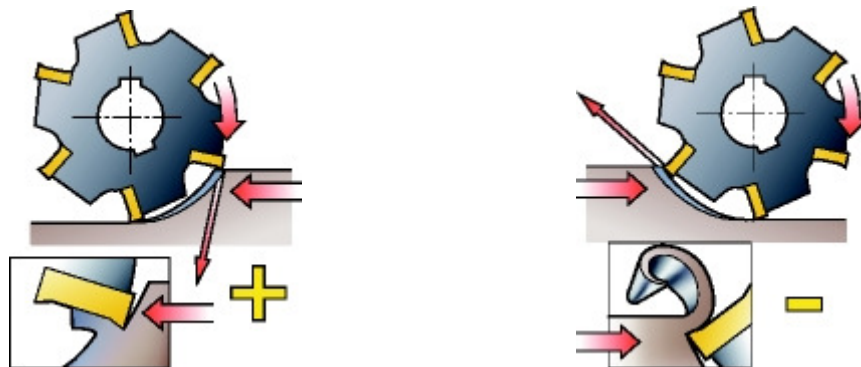
Hlavní pohyb – řezný pohyb zubu

- Zub vykonává pohyb po cykloidě, který je způsoben současným otáčením frézy a posuvu obrobku proti fréze.

Vedlejší pohyb – pracovní posuv

- Obrobek upnutý na pracovním stole frézky pohybující se směrem k nástroji.

Výjimka v pohybech je např. při výrobě ozubených kol odvalovacím způsobem.



Obrázek 1: Dráha ostří zubu – vlevo sousledné, vpravo nesousledné [4]

V případě zmiňovaného materiálu v kapitole 2. 4., má dráha ostří zubu následující vliv. Při nesousledném frézování dochází k „vytahávání“ dřevěné dýhy z obrobku a tím vzniká nežádoucí povrch, který je třeba následně opravit. Z toho důvodu je pro tento typ materiálu vhodnější sousledné obrábění.

2.2. Frézovací nástroje

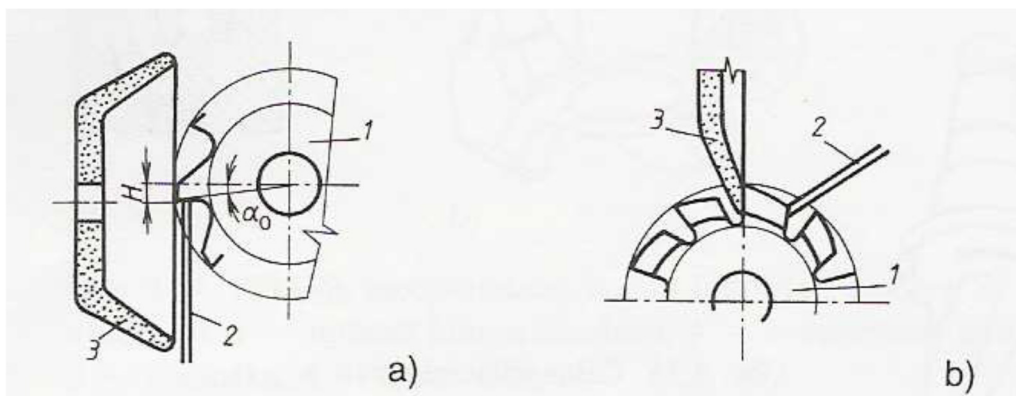
Nástroje používané pro frézování jsou nazývány frézy. Jsou to několikabřité nástroje, které rotují kolem své osy. Frézy můžeme dělit:

Dle umístění břitů (zubů):

- Válcové – břity jsou situovány na válcové (obvodové) ploše
- Čelní – břity jsou situovány na válcové a čelní ploše
- Válcové čelní – břity jsou umístěny jak na čelní, tak na válcové ploše

Dle tvaru zubů:

- S frézovanými zuby (Obrázek 2 a)) – ostřeno na hřbetě nástroje
- S podbroušenými zuby (Obrázek 2 b)) – ostřeno na čele nástroje



Obrázek 2a,b Typ tvaru zubů [1]

Podle průběhu ostří zubů:

- S přímými zuby – zuby jsou rovnoběžné s osou nástroje
- Se zuby ve šroubovici – pravá, levá, úhel sklonu šroubovice λ . Se zvyšujícím se úhlem λ se dostává do záběru více zubů současně, umožňuje snížení počtu zubů, zvětšení zubové mezery a možnost kratší délky stopkové frézy.

Podle počtu zubů

- Jemnozubé
- Polohrubozubé
- Hrubozubé

Podle materiálu zubů

- Rychlořezné oceli

- Slinuté karbidy
- Cermety
- Řezná keramika
- KNB
- PKD

Podle tvaru řezné části nástroje

- Kotoučové – břity umístěny na válcové a obou čelních plochách
- Válcové
- Úhlové
- Drážkovací
- Kopírovací
- Rádiusové
- Pro výrobu ozubení
- Kuželové – břity jsou na jedné nebo dvou kuželových plochách
- Tvarové – břity jsou na tvarových plochách (úhlové, rádiusové frézy, frézy na závity, na ozubení,...)

Podle upínání:

- Stopkové – s válcovou stopkou, s kuželovou stopkou (Morse)
- Nástrčné

Podle konstrukce:

- Celistvé
- S vyměnitelnými břitovými destičkami – tělo nástroje je z konstrukční oceli a břitové destičky z rychlořezné oceli, keramiky či slinutých karbidů
- Skládané – z více samostatných fréz

Podle smyslu otáčení:

- Pravořezné
- Levořezné

Při obrábění sendvičového materiálu z kapitoly 2. 4., jsou nejvíce používané dvoubřité pravořezné čelní válcové stopkové frézy ze slinutého karbidu. Tento materiál je pro tento typ obrábění nejvhodnější a to z důvodu jeho poměru ceny a životnosti. Ostatní materiály tento poměr nespĺňují anebo vůbec nevyhovují z důvodu omezení, např. průměrem. To se týká např. VBD, které není možné použít pro nástroj o průměru 8 milimetrů, jenž je nejpoužívanější. Do materiálu je možno i vrtat. Pokud je zapotřebí zhotovit v obrobku kapsu, je proto vhodnější levořezná fréza s pravotočivou šroubovicí, která odvádí třísku směrem vzhůru a tím pádem ji nástroj netlačí pod sebe.

2.3. Výroba čelních válcových fréz v závodě Novem Car Interior Design k.s.

Pro obrábění sendvičového materiálu (viz.: 2.4. Popis principu výroby obráběného materiálu) je zapotřebí speciální frézy neboli mít nastavenou geometrii tak, aby nástroj byl dostatečně ostrý a zároveň měl vyhovující životnost. Proto si skupina Novem Car Interior Design k. s. vyrábí frézy sama do všech poboček ve světě. Nástroje, které se zde používají, nejsou obvykle v běžné nabídce ostatních dodavatelů fréz.

Samotný proces výroby začíná v tvorbě programu pro danou geometrii nástroje v softwaru NUMROTO. Zde se program pomocí grafické simulace odladí a vzápětí nahraje do stroje buď to výroby Saacke nebo Reinecker. Do stroje se musejí upnout předem připravené sady brusných kotoučů, které jsou v programu použity, založit tvrdokovový polotovar konkrétní délky do upínače ve stroji a začít program reálně odladovat. To probíhá tak, že se obrobí první kus, konkrétní úhly se přeměří v měřícím stroji ZOLLER, pokud je některý z nich nevyhovující, provede se korekce. Tento postup je opakován, dokud geometrie nevyhovuje standardům. Poté se do zásobníku materiálu ve stroji založí polotovary, které si bude stroj samostatně odebírat. Frézy jsou vyráběny v dávkách a to zhruba o počtech tří set kusů.

2.4. Popis principu výroby obráběného materiálu

Firma Novem Car Interior Design se již dlouhou řadu let zabývá výrobou ozdobných interiérových dílů do automobilů, což jsou např. palubní desky či dveřního panelu. Tyto díly jsou zhotoveny ze sendvičového materiálu, což znamená, že díl se skládá z několika různých, samostatných složek jako jsou např. PUR lak, ABS plast, slitina hliníku, dýha, textilie, atd. Jednotlivé vrstvy v sendviči nejsou u každého komponentu stejné, jejich tloušťky, resp. procentuální zastoupení v řezu se mění. Produkty, co se materiálů týče, jsou rozděleny do několika skupin v závislosti na:

- Povrchu dílu:
 - Hliníkový – různé vzory
 - Karbonový – různá struktura vláken
 - Lakovaný – PUR lak na povrchu s dýhou pod ním – různé barvy a dřeva
 - Bez laku – tzv. offenporig – pouze dýha s vystouplými léty.
- Složení dílu:
 - Díly s hliníkovým základem o různých tloušťkách – Aufbau, Halbschlankeaufbau
 - Díly bez hliníkového základu – Leanwood

2.4.1. Dýha

Úplný počátek je v sekci Dýha, kam jsou dováženy tenké pláty různých druhů dřevin. U takto surového materiálu není nijak předběžně definováno, v jakých rozměrech bude dodán. Dřevo je přírodní materiál a tak není možné jej vždy udělat v naprosto stejné tvarové specifikaci jako například kov. V dřevě bývají vady v podobě děr, nežádoucích struktur a špatné kvality.

Dodaný materiál je vlnitý a tak je potřeba jej narovnat, což je uskutečněno pomocí lisů od výrobce JOOS, typ HP 45 při teplotě přibližně 80°C, lisovací síle 430 kN a po dobu 45 minut. Podoba lisu viz. Obrázek 3



Obrázek 3 Lis pro dýhu

Na vyrovnané pláty se podle šablon orýsují obdélníky, které budou dále zpracovávány. Při tomto úkonu se musí brát ohled na již zmíněné vady a na efektivitu zpracování, respektive míru využití dané plochy. Takto orýsované části se z dýhy vystříhají na strojních nůžkách SSB ANTRIEBSTECHNIK s jmenovitým výkonem 0,25 kW. Viz. Obrázek 4

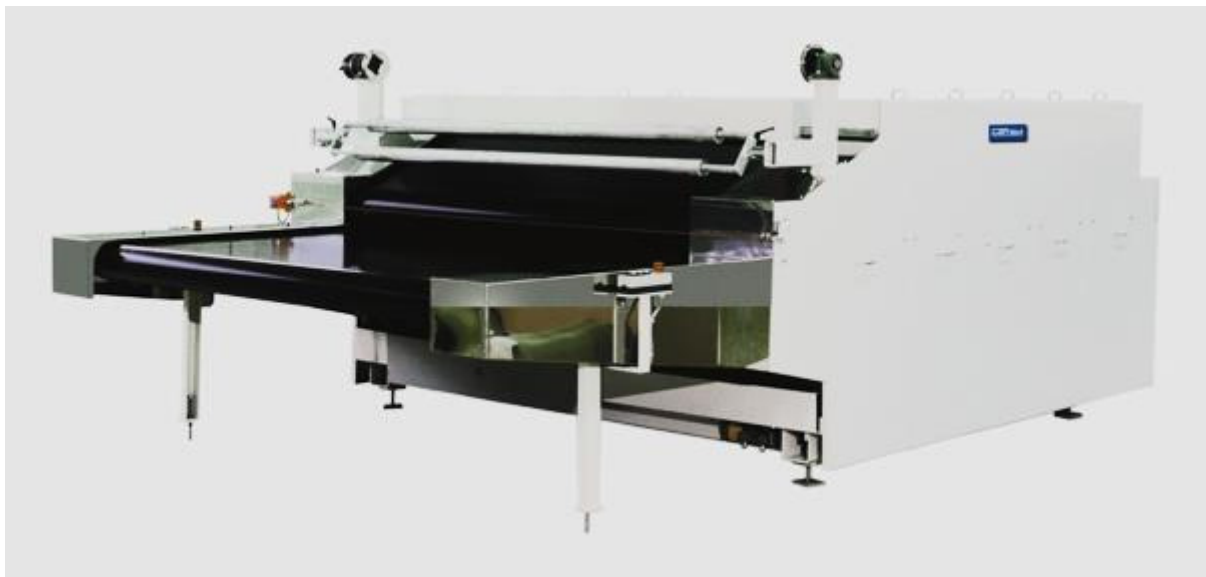


Obrázek 4 strojní nůžky

Pokud je díl, pro který je dýha určená, větších rozměrů, pak je zapotřebí jednotlivé obdélníky dýhy k sobě slepit. Před samotným lepením je však zapotřebí upravit dosedající hrany zabroušením. Dělá se to proto, aby k sobě hrany při spojování co nejlépe doléhaly a tím se zvýšila pevnost spoje. Spojování je realizováno strojem Kuper.

Po dokončení této operace je zapotřebí jednotlivé pláty zkontrolovat, zda se v nich nenachází nežádoucí otvory či jiné vady a zda je spoj vyhovující. Pokud tomu tak není, plát se opraví a opět projde kontrolou.

Takto připravený materiál dále putuje na část procesu zvanou kašírování. Pro tuto operaci je nejdříve nutné připravit materiál, na který je dýha nalepena. Do stroje pro kašírování se současně založí role s textilním materiálem a folie, které se spojí projektím stroje a na konci se opět namotává do role. Folie zde slouží při rozpuštění jako lepidlo. Připravený materiál se opět založí na začátek procesu, prochází strojem a operátor na něj pokládá pláty dýhy, která je slepena dohromady s textilií pomocí lepidla, které již bylo nanесeno v přechozím kroku. Celý tento proces je uskutečněn při teplotě přibližně 200°C. Uvnitř stroje jsou dvě tlakové zóny. První, na začátku, působí po celé šířce odmotávaného pásu a druhá, na konci operace, je realizována dvěma válci, které vyvíjejí tlak pouze v místě, kam je situována dýha.



Obrázek 5: MAYER KFK-E 1500 [5]

Tento pás materiálu je opět namotáván do role, která se pak přemístí k brousicímu stroji Costa. Dýhu je zapotřebí také zabrousit, protože jak bylo již zmíněno výše, je to přírodní materiál a tak není v celém průřezu stejný. Broušením se minimalizují výškové rozdíly. Požadovaná tloušťka materiálu je například 0,5 mm s horní a dolní tolerancí 0,05 mm, tyto hodnoty závisí na zákazníkovi, pro kterého je dýha určena, respektive pro jaký díl bude použita.



Obrázek 6 Brousící stroj pro dýhu

Poslední fází před balením do balíčků je laserování. Při něm je z plachet, vzniklých kaširováním, vypálen požadovaný tvar s přídávky pro další krok, pro lisování.



Obrázek 7 Laser

2.4.2. Lisování

Ve výrobě jsou využívány hydraulické dolnotlaké lisy od výrobců PLESNER a TOSS. Technologie lisování, respektive složení výlisků, dělíme na:

- 1) Aufbau – toto je nejstarší technologie lisování, která se zde využívá. Díly se skládají z několika složek, jako jsou například hliníková matrice, kaširovaná textilie, lepidlo, slepá dýha atd. Konkrétně tzv. slepá dýha u těchto dílů slouží k rozložení pnutí v díle a zvýšení jeho pevnosti v určitých směrech. Je to dáno léty dřeviny, které jsou úmyslně orientované do požadovaného směru. Tento komplet je však zakrytý krycí dýhou. Je to nejsložitější a časově nejnáročnější technologie, která trvá přibližně 240 s.
- 2) Halbschlankeaufbau – u tohoto druhu odpadají některé složky, které byly použity v technologii předchozí. Výlisek tak tvoří pouze nakaširovaná dýha (dýha s kaširovanou textilií na spodní straně), hliníkový plech a nakaširovaná textilie (díky ní přilne ABS plast k dílu v následujícím kroku).
- 3) Leanwood – toto je nejnovější používaná technologie a zároveň nejjednodušší. Složení sendviče v této fázi tvoří pouze kaširovaná dýha, která se na lisu pouze zastříhne a dá se jí požadovaný tvar. Tento proces také trvá nejkratší čas. Samotné lisování netrvá déle než 60 s.

Obecně platí, že ve veškerých záhybech či složitějších tvarech se musí dýha před vložením do lisu napařit či navlhčit, aby se stala tvárnější a zamezilo se jejímu popraskání při lisovacím procesu. Teploty použité při lisování se pohybují v rozpětí 130°C až 140°C. Čas a teplota při procesu se odvíjí od členitosti a velikosti dílu.



Obrázek 8 Lisovací stroj

2.4.3. Vstřikovací lis

Tato fáze začíná v sušičkách granulátu, kde granulát od dodavatele získává potřebnou suchost k dalšímu zpracování. Jsou umístěny centrálně a materiál k lisům je dopravován pomocí rozvodů granulátu. Materiál tvoří 3 složky. Těmi jsou sklo, polykarbonát (zkratka PC) a

akrylonitrilbutadienstyren (zkratka ABS). Ne pro každý díl je procentuální zastoupení těchto složek stejné, liší se dle požadavků zákazníka.

Strojní park tvoří čtyři vstřikovací lisy a to dva Engel DUO800 a dva Engel DUO1100. Z toho jsou tři stroje vybaveny robotickou rukou FANUC, sloužící k zakládání a vyndávání připravených dílů do a z vstřikovacího nástroje.

Proces nanášení plastu na vylisovaný díl probíhá při teplotě od 250°C do 280°C a o tlacích 110 MPa až 150 MPa. Časové trvání operace je závislé na složitosti dílu. Po vylisování je díl příliš hladký a tak putuje do napařovací pece, za účelem vystoupení let dřeviny. Pokud by se tak neučinilo, ve výsledné fázi by nebylo vizuálně dobře rozeznatelné, že se jedná o skutečnou dřevinu, že v díle opravdu reálně je, ale hlavně také proto, aby se otevřely póry dřeviny, což je zapotřebí k uskutečnění následující operace.

2.4.4. PUR lak

I tento proces se skládá z několika operací:

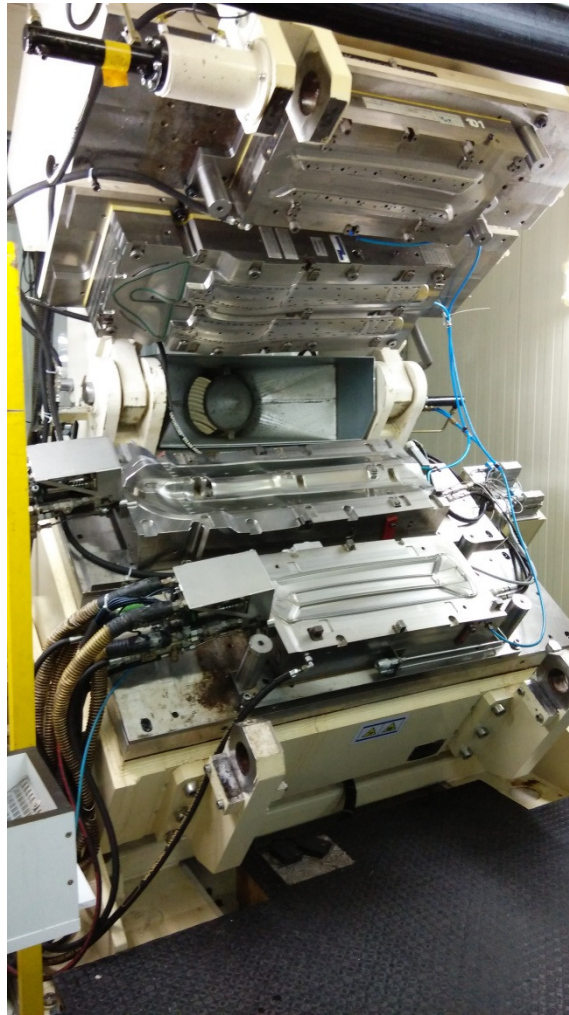
1. **Vysušení napařeného dílu** – po dostatečné době napařování dílu (viz. Kapitola 2.4.3.), je zapotřebí jej opět vysušit, což se provádí ve vysoušecí peci při teplotě 75°C po dobu dvou hodin. Pokud by k vysušení docházelo bez této technologie, čas potřebný k dosažení určité suchosti by byl přibližně 6 hodin.
2. **Barvení** – díl s požadovanou suchostí dále putuje do lakovacího boxu, kde už si obsluha připravila barvu, která má pro každou dřevinu jiné složení a nanáší se různými počty vrstev. Tato část operace je jednou z nejsložitějších, protože tolerance v odlišnosti odstínů jsou velmi malé. Proto má lakýrník k dispozici vzorky, které porovnává s právě nalakovanými díly. Pokud je odstín odlišný, směs barvy modifikuje k dosažení požadovaného výsledku.



Obrázek 9 Lakovací kabina

3. **Vysoušení nabarveného dílu** – předchozím dějem se však do struktury vnese opět nějaké procento vlhkosti a tak je opět zapotřebí jej vysušit a to pomocí odvlhčovací místnosti, kde je konstantní teplota 40 °C a vlhkost vyšší než 10 % v tomto prostoru není přípustná. Maximální doba setrvání komponentů je 90 hodin. Po uplynutí této doby začne tvrdidlo v barvě degradovat a nebude možné provést následující operaci.
4. **PUR lití** – v první fázi je třeba vysušený díl předehřát na požadovanou teplotu, která je mezi 50 °C do 100 °C (přesné teploty nelze uvést z důvodu výrobního tajemství) s horní a dolní mezí tolerance 5 °C a to po dobu 10 minut až 20 minut. Nástroje licího stroje jsou předehřívány přibližně na stejnou teplotu jako zakládané díly. Sled úkonů této fáze je následující. Obsluha stroje stlačeným vzduchem odstraní nečistoty z horních nástrojů, poté z dolních protikusů. Založí předehřáté díly do horních nástrojů, naimpregnuje spodní části a spustí operaci lití. PUR lak se skládá ze dvou složek s názvy POLY a ISO. Tyto složky se směšují až těsně před vpuštěním do nástrojů, protože jejich reakce je velice rychlá. Čas plnění směsí nástrojů nesmí být delší než 3,5 s a to bez rozdílu velikosti dílu. Při delším čase by se litý materiál nestačil dostat do celé plochy z důvodu předčasného ztuhnutí. I uvedené dvě složky jsou předem předehřáté na teplotu dílu. Po dokončení lití se výrobek vyjme z formy a nechá vychladnout při pokojové teplotě.

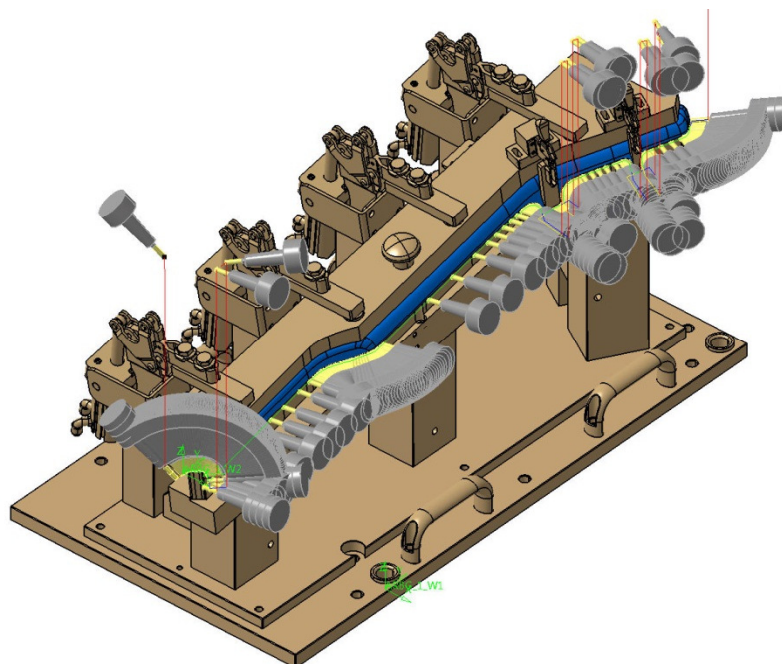
Po předchozích operacích následují další, které však už nemají se strukturou komponentu nic společného. Jedná se o dodání finálního tvaru pomocí technologie obrábění frézováním (viz. kapitola 2.1. a kapitola 3 , dodání výsledného lesku přebroušením PUR laku kvůli vyhlazení nerovností a následným vyleštěním. Na závěr se díl zkontroluje proti vadám a otestuje se v sestavě patřičné části automobilu, kam je prvek určen.



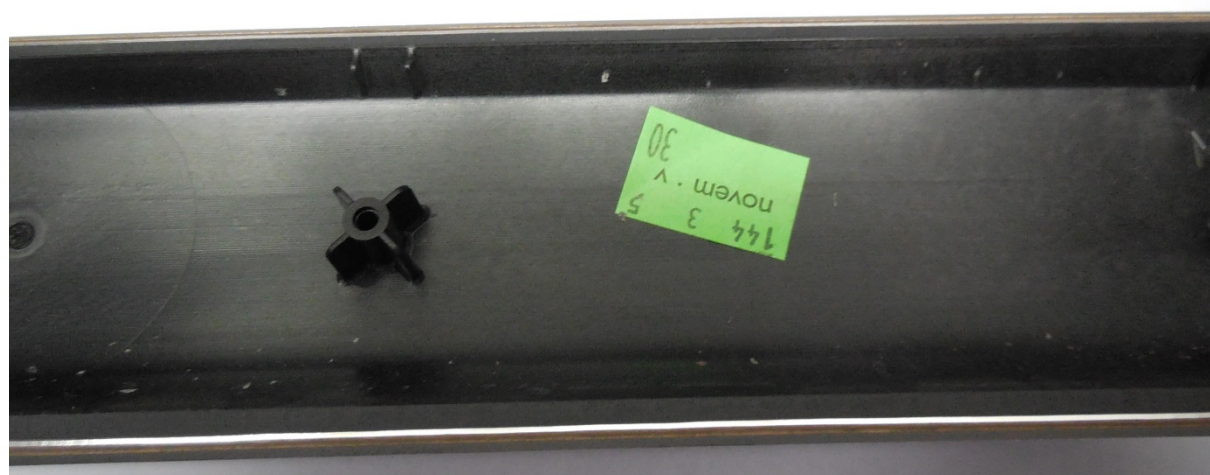
Obrázek 10 Licí stroj

2.5. Složení testovacího dílu

Materiál, na který je tento test zaměřen, je lakovaný díl s hliníkovým základem, na kterém je ze spodní strany ABS plast a zakrývá ho dýha s tkaninou a lepidlem, která je pokryta vrstvou PUR laku. Jedná se o technologii lisování Afubau (viz. kapitola 2.4.2). Název zmiňovaného dílu je Audi D4 MIKO. Je to část středového panelu ve voze Audi A8, na které se nachází jak přímé, tak i rádiusové obráběcí dráhy (viz. Obrázek 11). Řez dílu Obrázek 12, tvar dílu Obrázek 13



Obrázek 11 Dráhy nástroje



Obrázek 12 Řez dílu



Obrázek 13 Tvar dílu

2.6. Problémy a rizika při obrábění sendvičového materiálu

Při obrábění zmíněného sendvičového materiálu jsou nestandardní podmínky. Jednou z nich je, že není možné nástroj chladit jiným způsobem, než stlačeným vzduchem či dusíkem (v případě magnesiového základu dílu). Dalším kritériem je směr obrábění. Při nesousledném frézování nastává riziko, že dojde k „vytahování“ dýhy z dílu a tím pádem ke špatnému obrobenu povrchu. Jedním z dalších specifík je, že motory používané ve strojích nemají příliš velký výkon, což je nahrazeno vysokými otáčkami, konkrétně 24 000 ot/min pro dvouzubý nástroj o průměru 8 mm.

Dalším úskalím je tvar obráběných dílů. Složitost křivek na něm nedovoluje ve většině případů použít nástroj větší než o průměru 10 mm a naopak nejmenší používaný je 1 mm. Výhodou firmy Novem Car Interior Design je, že si právě obráběcí nástroje vyrábí sama. Protože mnohdy jsou zapotřebí takové průměry, které ostatní dodavatelé nemají standardně v sortimentu a tak už se z nich stává zakázková výroba. A to je znát nejen na průměru, ale i na ceně.

3. Stroj a řezné podmínky pro testování nástroje

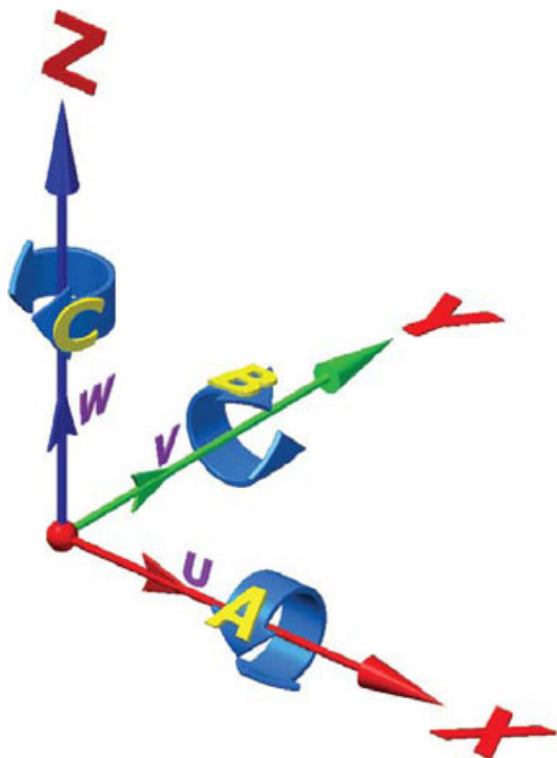
V této kapitole je představení použité technologie pro výrobu, konkrétně pro testovaný díl.

3.1. Použitý stroj

Testy proběhly na stroji od výrobce MAKA typ MM 7t vyrobeným v roce 2008. Jedná se o dřevařský stroj, čemuž odpovídají jeho rozměry a výkon vřetene (viz. Tabulka 7). Stroj disponuje dvěma stoly, které zajišťují pohyb v ose Y. Lze obrábět nezávisle na každém stole, čili vřetena nejsou na sobě závislá. Každé může vykonávat různý řezný pohyb. Popis obráběcích os viz. Obrázek 14

Typ stroje:		MAKA MM 7t				
						
Vnější rozměry:	Výška:	4000 mm	Délka:	6808 mm	Šířka:	7360 mm
Pracovní prosotr:	X:	1700 mm	Y:	1500 mm	Z:	750 mm
počet řízených os:	5 (X, Y, Z, B, C)					
Rotace os:	C:	720°	(2x 360°)	B:	260°	(2x130°)
Vřeteno:	IBAG					
Výkon vřetene	5,5 kW					
maximální počet otáček:	40 000 ot/min					
Upínací systém upínače nástroje:	HSK F40					
Počet pozic v zásobníku nástrojů:	10					
počet stolů:	2 - konají pohyb osy Y					
Ovládací systém:	Sinumerik 840D					

Tabulka 1: stroj MAK A MM 7t



Obrázek 14 Souřadný systém stroje [8]

3.2. Řezné podmínky při testování:

	od	do
Pracovní posuv při dokončovací operaci	4860 mm/min	6500 mm/min
Pracovní posuv při hrubovací operaci	3600 mm/min	5400 mm/min
Počet otáček za minutu	38000 ot/min	
Hrubovací přídavek	1 mm	

Tabulka 2

3.3. Tvorba programu

Pro zhotovení dílu pomocí frézky MAKa nebo obecně jakéhokoliv číslicově řízeného stroje, je zapotřebí program, který lze chápat jako instrukce v jazyce, ve kterém stroj komunikuje. Každý stroj má svůj postprocesor, kde jsou definovány jednotlivé funkce, ovládání os, otáček motoru a podobně. Jako úplně první úkon při programování je určení nulového bodu, od kterého budou počítány souřadnice pro dráhy nástroje. Sled akcí od tvorby programu až do jeho nahrání do stroje je následující:

3.3.1. Zhotovení modelu:

Pro modelování komponent se používají CAD softwary, kde můžeme kus zhotovit pomocí 3D modelování a vidět tak jeho finální podobu. Takto zhotovený díl transformujeme do CAM modulu, kde se nastavují potřebné obráběcí operace pro zhotovení dílu ze stanoveného polotovaru. Po definování operací nezůstává nic jiného, než vygenerovat program v jazyce, kterému „rozumí“ obráběcí stroj, použitý k obrobení testovaného dílu. Tento jazyk určuje tzv. postprocesor, kde jsou definovány veškeré vlastnosti stroje, jako například kolik má otočných os, jaké jsou jejich rozsahy, jaký je pracovní prostor stroje apod. Celou tuto proceduru ve

firmě Novem Car Interior Design k. s., zastřešuje její CAD/CAM centrum, sídlící v německém městě Vrorbach. Zde jsou tvořeny programy a komponenty, jako jsou upínací šablony pro celou skupinu závodů Novem. (Část hlavního programu viz. Příloha 1)

3.3.2. Tvorba NC programu

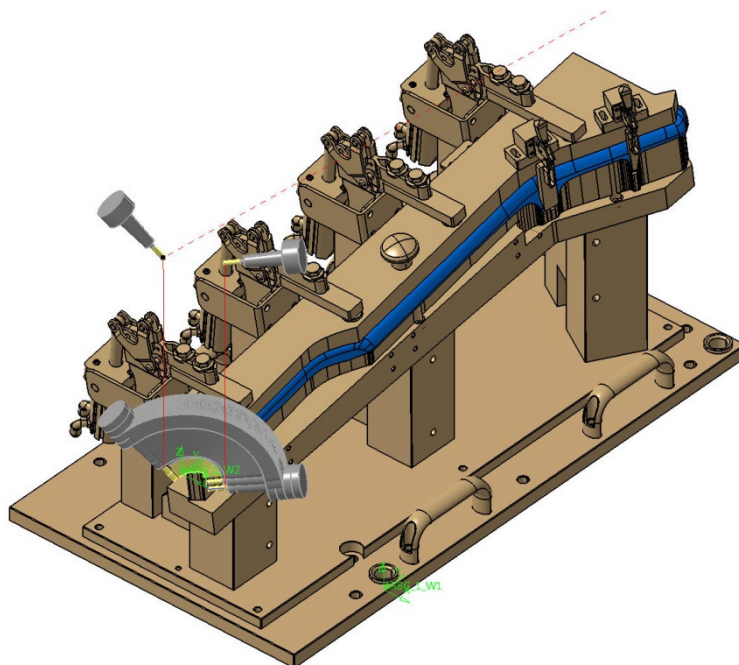
Program jako takový obsahuje informace o tom, odkud si brát souřadnice pro jednotlivé úseky obrábění, jakým nástroje má obrábět a při jakých řezných podmínkách. Zodpovědný pracovník jej píše pomocí dílenského programování. Je k němu zapotřebí dalšího souboru, kde jsou souřadnice, které vycházejí ze souřadného systému stroje. Tento soubor je generován pomocí softwaru Catia V5R19. Jak bude zvolen sled operací a jejich definice, je pouze na programátorovi a jeho zkušenostech. U obráběného dílu jsou použity postupové šablony, což znamená, že v jedné šabloně, při jednom cyklu, je obrobena jedna strana dílu. Pak se přendá do druhé šablony a tam se dokončí druhá strana druhým cyklem. Sled jednotlivých operací je následující:

1) Upnutí do postupové šablony číslo jedna

- polotovar se umístí do spodní části, otevřené šablony číslo jedna a přepnutím pneumatického ventilu se zavře víko, které díl přidržuje na svém místě. Více popsáno v kapitole 3.5 Upnutí obrobků.

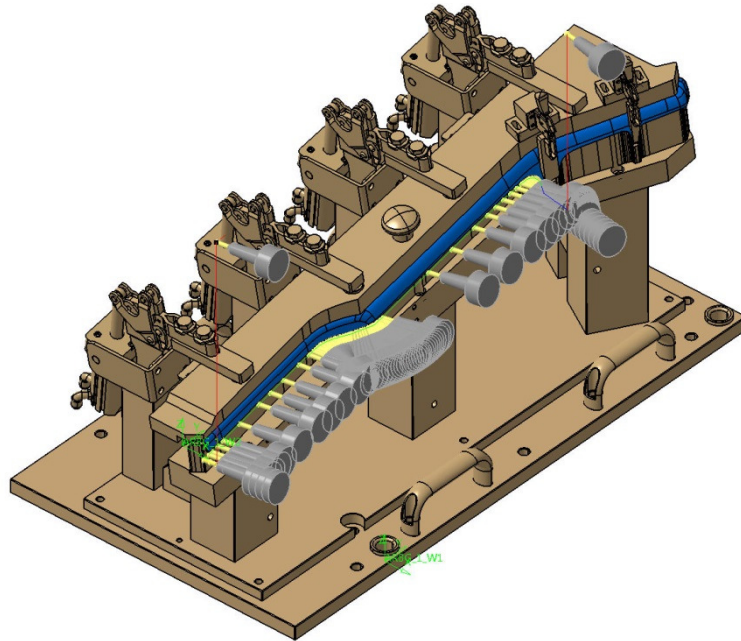
2) Hrubování šablona č. 1

- Rádiusová kontura: Program vyvolá první konturu, což je konkrétně seříznutí jedné strany dílu pod úhlem, dle požadovaného výsledného tvaru.



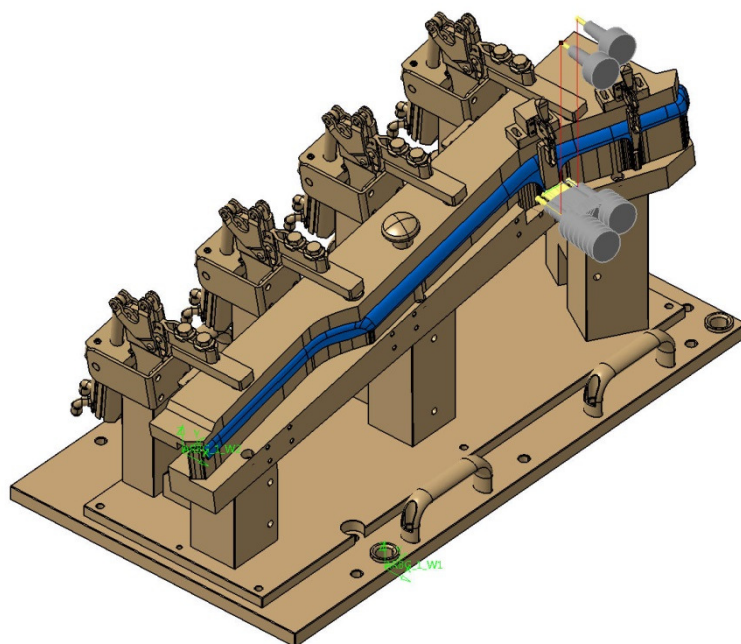
Obrázek 15

- Přímá kontura: jako další se při tomto konkrétním upnutí zhotoví



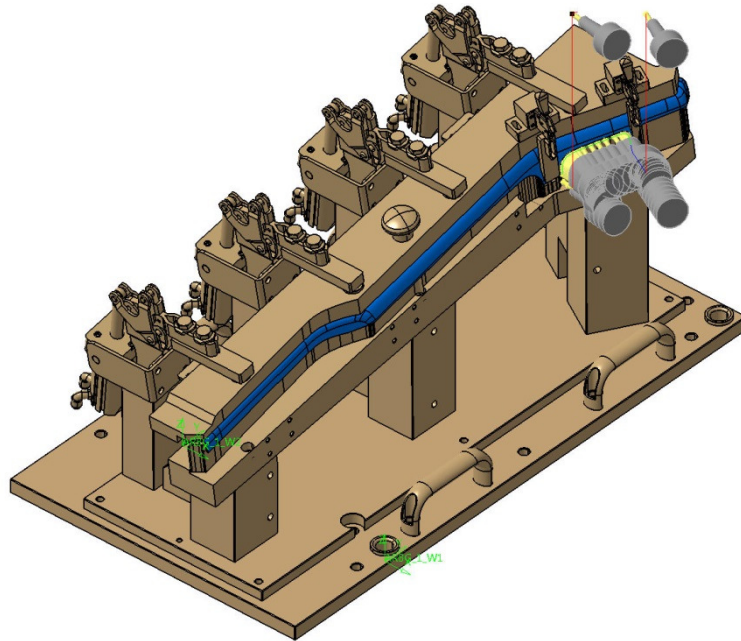
Obrázek 16

- Lícovací plocha 1: Stroj pokračuje v obrábění na plošce, která lícuje s navazujícím dílem.



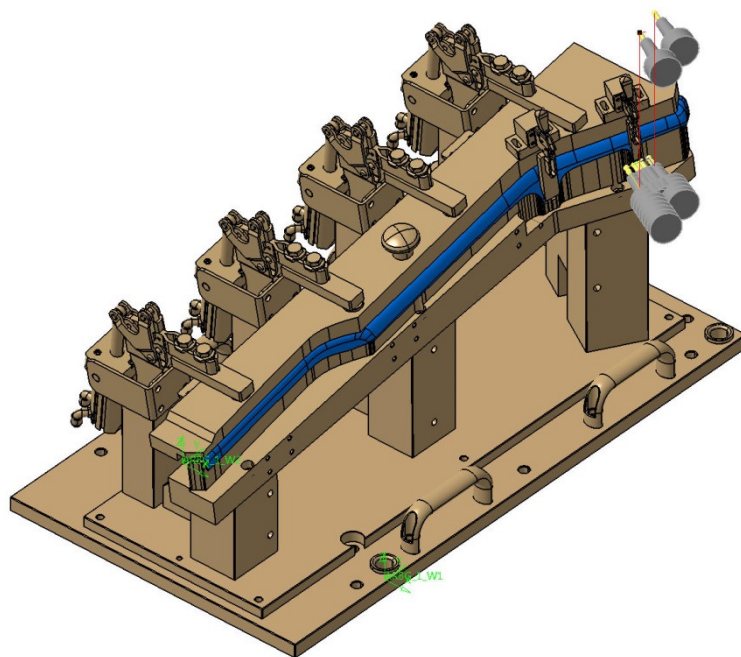
Obrázek 17

- Vybrání: Další pohyb se koná v oblasti vybrání mezi dvěma lícovacími plochami.



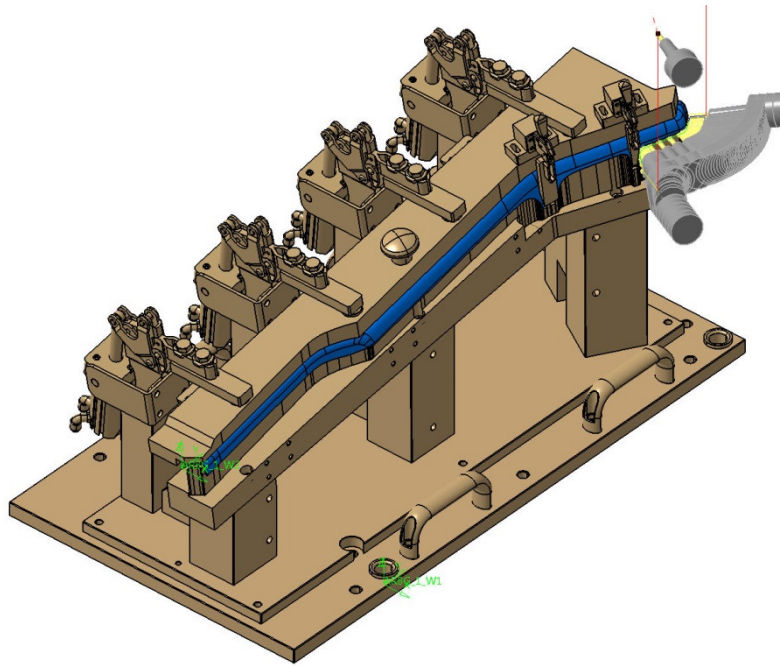
Obrázek 18

- Lícovací plocha 2: Následujícím úkonem je obrobení lícovací hrany číslo dvě.



Obrázek 19

- Plocha s ohybem: A na závěr se zhotoví další „přímá“ kontura bez velkého rozdílu v ose Z.



Obrázek 20

3.3.3. Dokončovací operace prvního upnutí

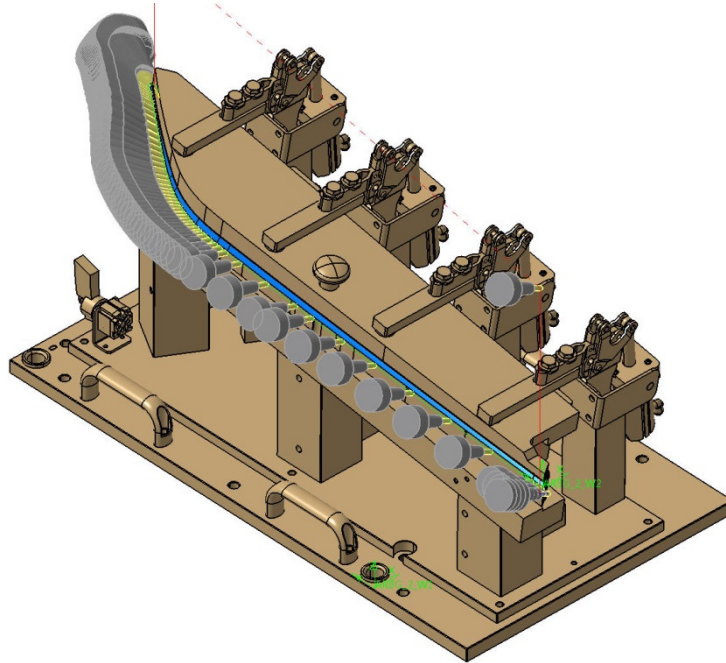
- při této operaci je odstraněn právě zmíněný přídavek na hrubování, 1mm. Posloupnost jednotlivých kontur je naprosto totožný s odstavcem 3.3.2, bodem 2 Hrubování šablona číslo jedna. Po jejich dokončení je již výrobek ve finální tvarové podobě, co se postupové šablony číslo jedna týče. Nyní dojde k upnutí obrobku do druhé šablony pro dokončení druhé strany dílu.

3.3.4. Upnutí do postupové šablony číslo 2

- Dokončený díl z šablony číslo jedna se uvolní a přendá do vedlejšího upínače a následně se zaaretuje pomocí víka, které je přidržováno pneumatickými upínkami, viz kapitola 3.5 Upínání obrobku.

3.3.5. Hrubování šablona číslo 2

- Složitost kontury na této straně je jednodušší právě o výběžky s lícovacími plochami, jak je vidět na Obrázek 21. Tato kontura je téměř vedena při konstantní hodnotě souřadnice Z. Dokončením tohoto procesu je díl již ve finálové tvarové podobě.



Obrázek 21

3.3.6. Dokončovací operace druhého upnutí

- Stejný princip jako v 3.3.3. Dokončovací operace prvního upnutí. Odstranění přídatku jeden milimetr. Použit stejný tvar kontury.

Jediné, co ještě zbývá s dílem dodělat, je vyleštění vnějšího povrchu, kontrola kvality a vývoz k zákazníkovi. Část použitého hlavního programu je obsažena v Příloha 1.

V programu byly ještě před testováním provedeny změny, v podobě změny nájezdů nástroje do obrobku. Do změny nástroj najížděl shora kolmo na obrobek, tzv. se „zavrtával“. A to nepůsobilo příznivě na špičky řezných hran, které se odštípávaly, a tím se zvětšoval řezný odpor. A to tak, že docházelo až k destrukci nástroje. Nyní fréza zajíždí do obrobku z boku její válcovou plochou. Očekává se zvýšení životnosti frézy.

3.4. Upnutí nástroje

Aby bylo možné frézovací nástroj umístit do stroje, je nutné jej nejdříve upnout do používaného termického upínače, s možností upnutí do vřetene se systémem HSK F40 (Obrázek 22 Tepelný upínač nástroje). Jedná se o systém tepelného upínání, kdy je zapotřebí pouzdro zahřát kvůli zvětšení vnitřního prostoru otvoru, kam se nástroj vkládá. Toto je realizováno přístrojem od výrobce HAIMER (Obrázek 23 HAIMER). Nástroj se do pouzdra

musí upnout na konkrétní rozměr vyložení. Pokud by byl rozměr jiný, kratší, pak by nedošlo k úplnému obrobení obrobku a naopak pokud by byl dlouhý, dostal by se nástroj do kolize s upínací šablonou obroku.

Při každé výměně nástroje je důležité přeměřit první obrobený kus, aby se ověřilo, zda je v toleranci či nikoliv. Pokud by se tak neučinilo hned u prvního dílu, ale až u několikátého, vznikl by tak risk výroby několika vadných kusů a tím by se narušil celý plán výroby.



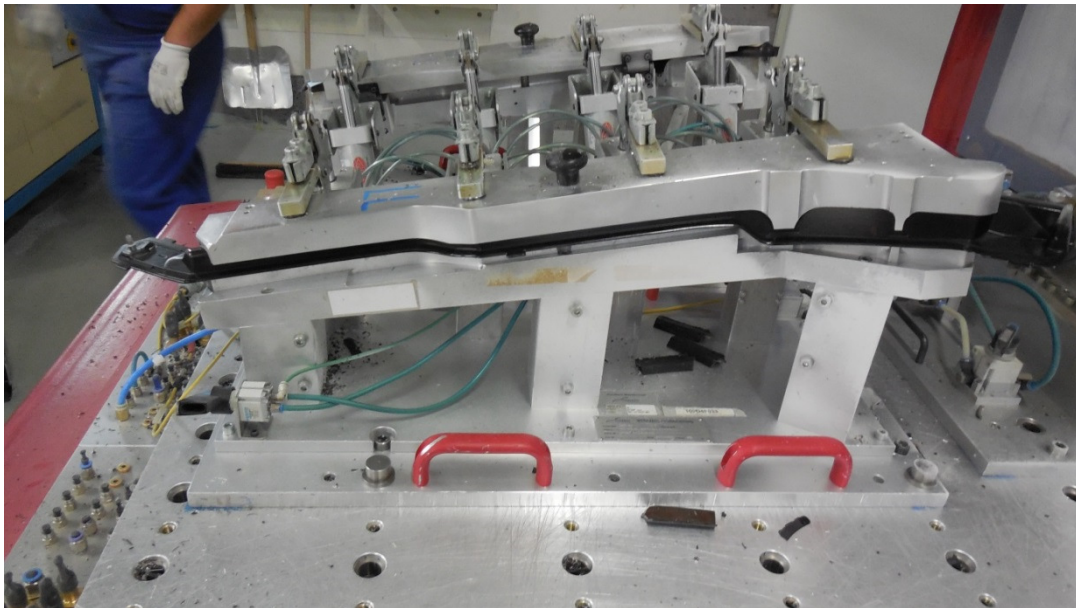
Obrázek 22 Tepelný upínač nástroje



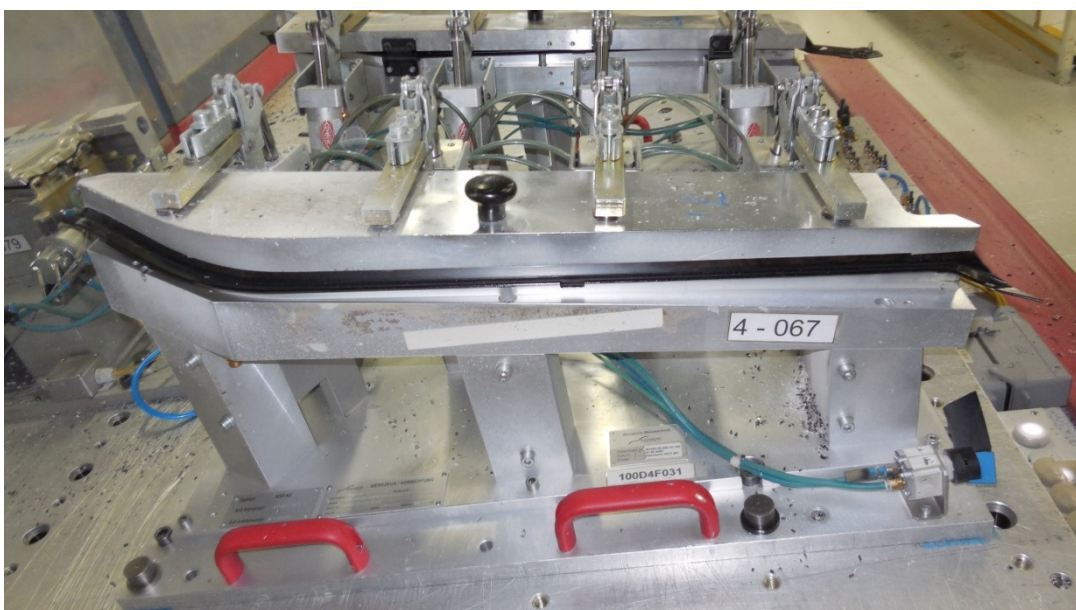
Obrázek 23 HAIMER [2]

3.5. Upínání obrobků

Pro upnutí tvarového dílu jsou použity postupové šablony ze slitiny hliníku. Byly zkonstruovány na základě CAD dat upínaného dílu a z toho vyplývá, že pokud jsou nové, musejí se ještě náležitě upravit. A to proto, že vlivem teplot a použitých technologií není výsledný produkt totožný s 3D daty, podle kterých byly šablony zkonstruovány a vyrobeny. Účelem šablon je zakrýt a přidržet co největší možnou plochu dílu, aby se co možná nejvíce omezila možnost vibrací obrobku, protože ty jsou nežádoucí jak pro kvalitu obrobeného povrchu, tak pro životnost nástroje. K tomu slouží použité technologie pro upínání, jako je přisátí dílu podtlakovými zónami ve spodní části upínací šablony či pneumatické válce pro přitisknutí víka na díl. Viz Obrázek 24 Šablona operace 1 a Obrázek 25 Šablona operace 2.



Obrázek 24 Šablona operace 1



Obrázek 25 Šablona operace 2

4. Návrh různých typů geometrií

Pro jasnou názornost vlivů změny geometrie byly navrženy nástroje se zásadními změnami v oblasti úhlů. Pro nástroje byl použit superfine tvrdokovový materiál od dodavatele Ceratizit jehož vlastnosti jsou uvedeny v Tabulka 3. Cenu materiálu tvoří cena výrobního času, kde je započítána i obsluha stroje a cena polotovaru, který je již v dané délce nakupován zmíněným dodavatelem. Pro všechny navržené varianty platí, že mají stejnou délku, 70 mm a délku břitu 15 mm.

Obsah Wolframu	4,2 %
Hustota	15,05 g/cm ³
Velikost zrna	0,2 μm
Tvrдость HV30	2200
Mez pevnosti v ohybu (Transverse rupture strength)	3700 MPA

Tabulka 3

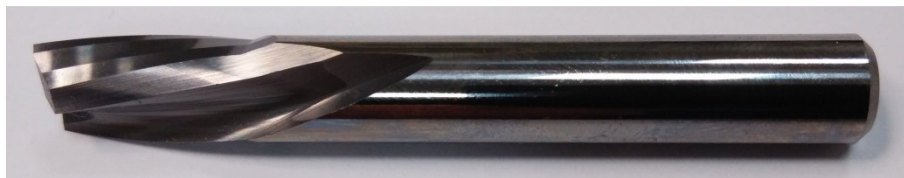
4.1. Standardní nástroj

Stávající nástroj, který je používán na obrábění testovacího dílu má určitou životnost a důvodem výměny bývá zejména špatný obroběný povrch a velké ořepky. Cílem práce je tedy znázornit vlivy změny geometrie nástroje na obráběný povrch sendvičového materiálu a dokázat, která z navržených geometrií je pro materiál nejlepší.

Geometrie standardního nástroje:

	Standard
Úhel čela 0,3	13°
Úhel hřbetu 1	22°
Fazetka	0,7 mm
Pr. Jádra	3,3 mm
Úhel šroubovice	15°
Úhel hřbetu 2	35°
Výrobní čas	8,5 min
Cena	11,55 €

Tabulka 4



Obrázek 26

4.2. Varianta 1

U nástroje varianty 1 došlo ke změně v úhlu šroubovice. Jedná se o nástroj s přímou geometrií respektive neutrální.

Očekávání: Odebíraný materiál by neměl být ani vtlačován do obrobku ani vytrháván. Třísky vzniklé obráběním by neměly být presovány pod nástroj ani nad něj tlačeny. Je zde však riziko, že nástroj se dříve opotřebuje, protože využitá řezná hrana je z navržených geometrií nejkratší. Popis geometrie v Tabulka 5.

	Varianta 1
Úhel čela 0,3	13°
Úhel hřbetu 1	22°
Fazetka	0,7 mm
Pr. Jádra	3,3 mm
Úhel šroubovice	0°
Úhel hřbetu 2	35°
Výrobní čas	9,5 min
Cena	11,94 €

Tabulka 5



Obrázek 27

4.3. Varianta 2

Pro frézu varianty 2 byl změněn úhel šroubovice z 15° na 7,5°.

Očekávání: Očekává se, že tato změna bude ovlivňovat odvod třísky a také změnu opotřebení břitu, protože postupnost odřezávání materiálu bude zde menší než u standardní frézy. Popis geometrie v Tabulka 6.

	Varianta 2
Úhel čela 0,3	13°
Úhel hřbetu 1	22°
Fazetka	0,7 mm
Pr. Jádra	3,3 mm
Úhel šroubovice	7,5°
Úhel hřbetu 2	35°
Výrobní čas	8,5 min
Cena	11,55 €

Tabulka 6



Obrázek 28

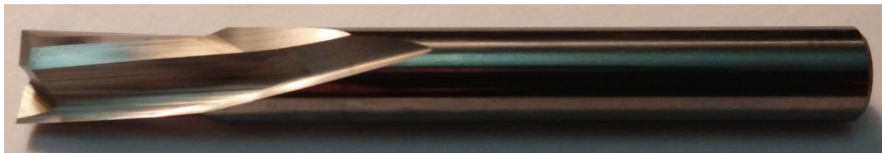
4.4. Varianta 3

Co se frézovacího nástroje varianty číslo 3 týče, tak zde byly provedeny změny v podobě zvýšení hodnoty úhlu čela a to ze 13° na 18° , úhel hřbetu jedna je místo původních 22° 25° , což znamená, že ostří nástroje bude o 3° ostřejší, než u předchozích modifikací. A poslední změnou je stejně jako u předchozí varianty 2, změna úhlu šroubovice na $7,5^\circ$ z 15° .

Očekávání: Pokles řezného odporu nástroje z důvodu ostřejšího břítu, avšak jeho oslabením z důvodu méně materiálu v oblasti břítu. Popis geometrie v Tabulka 7.

	Vyrianta 3
Úhel čela 0,3	18°
Úhel hřbetu 1	25°
Fazetka	0,7 mm
Pr. Jádra	3,3 mm
Úhel šroubovice	$7,5^\circ$
Úhel hřbetu 2	35°
Výrobní čas	7,5 min
Cena	11,13 €

Tabulka 7



Obrázek 29

4.5. Porovnání variant

Rychlé srovnání jednotlivých variant je možno vidět v Tabulka 8, kde jsou shrnuté jednotlivé body z každé varianty. Pro nástroje s nenulovým úhlem šroubovice se očekává plynulejší průběh a obrobek hladší povrch, z důvodu postupného zařezávání břitu do odebírané vrstvy materiálu. Jen u nástroje s vyšším úhlem čela je určité riziko, že řezný odpor bude příliš velký, což se může projevit nevyhovující kvalitou obrobku.

	Standard	Typ 2	Typ 3	Typ 4
Úhel čela 0,3	13°	13°	13°	18°
Úhel hřbetu 1	22°	22°	22°	25°
Fazetka	0,7 mm	0,7 mm	0,7 mm	0,7 mm
Pr. Jádra	3,3 mm	3,3 mm	3,3 mm	3,3 mm
Úhel šroubovice	15°	0°	7,5°	7,5°
Úhel hřbetu 2	35°	35°	35°	35°
Výrobní čas	8,5 min	9,5 min	8,5 min	7,5 min
Cena	11,55 €	11,94 €	11,55 €	11,13 €

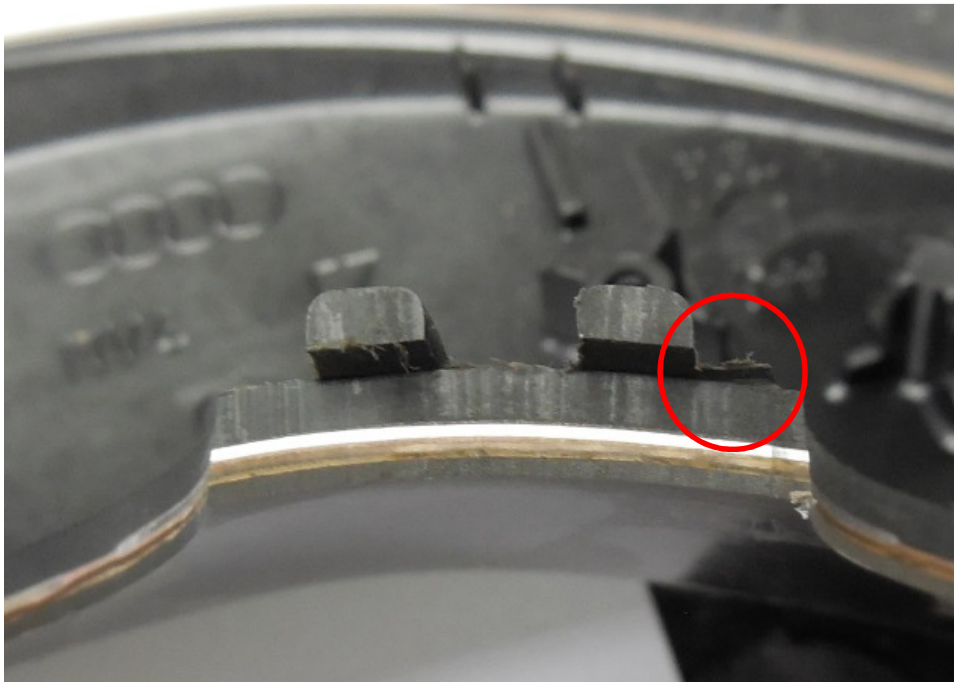
Tabulka 8

5. Vyhodnocení navržených variant

K výměně nástrojů docházelo pouze tehdy, kdy jimi obrobené díly již neměly vyhovující kvalitu, což bylo posuzováno vizuálně. U každé varianty byly bedlivě pozorovány všechny obrobené kusy a vyhodnocovány obsluhou stroje, která provádí prvotní kontrolu a na základě svých mnohaletých zkušeností vyhodnotí vadu a označí. Vada může být opravitelná, avšak pokud je na více než jednom kusu, je to známka toho, že nástroj je již na pokraji své životnosti.

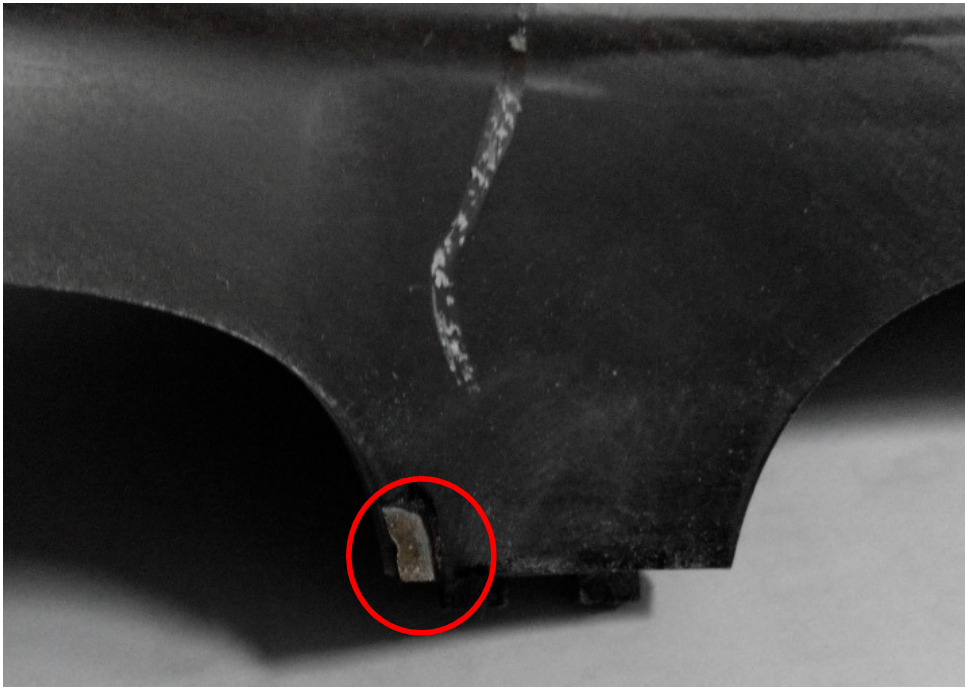
5.1. Varianta 1 - vyhodnocení

Obrobený povrch dílu byl od prvního kusu velmi hladký a tím pádem vyhovující. Nebyly na něm žádné otřepy a tak nebylo téměř nutné jej začišťovat. Po třicátém kuse se začaly tvořit malé zbytky materiálu (Obrázek 30), který obsluha manuálně, velice snadno odstraní ohraněním. Zmíněný jev není neobvyklý pro standardní frézu a tento druh výroby typický.



Obrázek 30

Důvodem výměny nástroje byl odštípnutý lak, což je z hlediska kvality nepřijatelné. Je to opravitelná vada, avšak neakceptovatelná. Vadu lze vidět na Obrázek 31. Vada pravděpodobně vznikla z toho důvodu, že řezná hrana nástroje již nebyla dostatečně ostrá a tak při obrábění vznikala větší tlak při průniku břitu materiálem a tím pádem i vnášení napětí do řezné oblasti. A toto napětí způsobilo právě zmíněné odštípnutí.



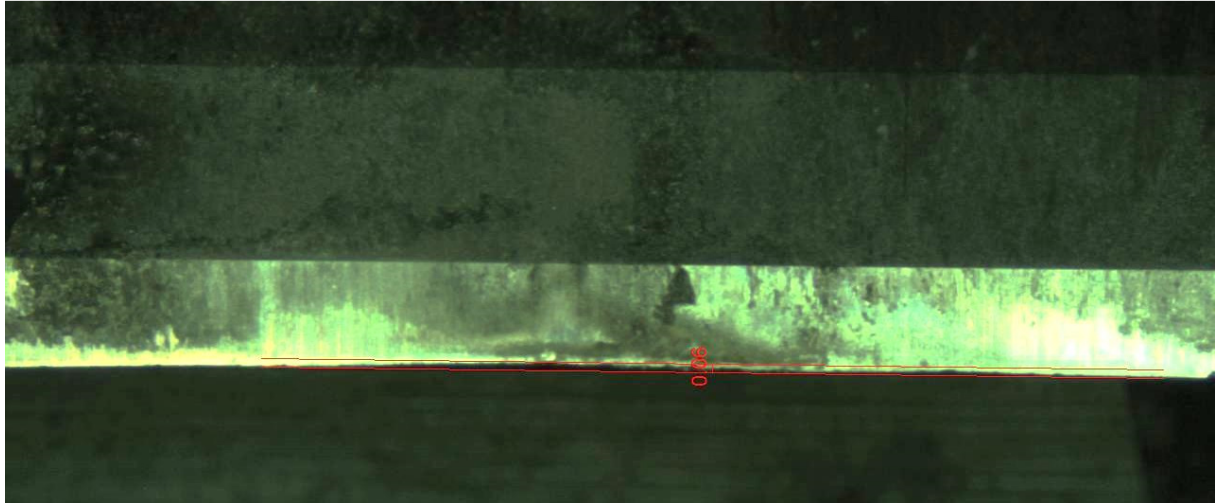
Obrázek 31

Na nástroji je možné pouhým okem vidět opotřebení úbytkem materiálu, což i poukazuje na to, v jaké výšce ostří je nástroj nejvíce používán. Na Obrázek 32 lze vidět záznam z mikroskopu při dvacetinásobném zvětšení. Opotřebení je zvýrazněno červeně.



Obrázek 32

Obrázek 33 je fotografie 40x zvětšené oblasti úbytku materiálu na fréze. Při bližším prozkoumání si lze povšimnout, že na břitu vznikly vruby, což má za následek nestabilitu řezu.



Obrázek 33

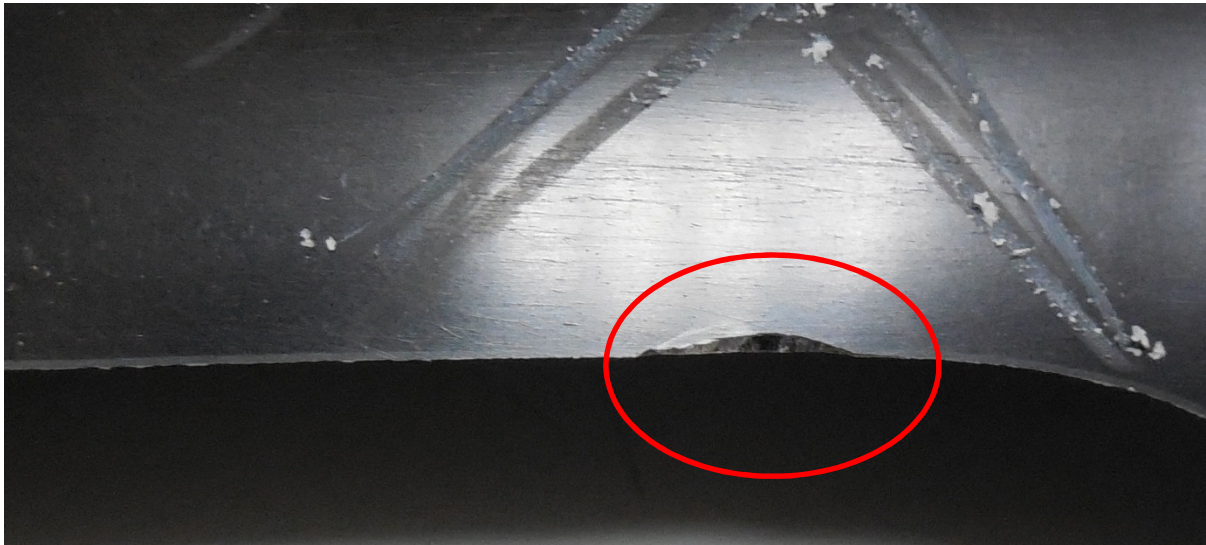
5.2. Varianta 2 – vyhodnocení

U této varianty nástroje již od dvacátého obrobeneho kusu zůstával přebytečný „nedříznutý“ materiál, což lze pozorovat na Obrázek 34. U takového povrchu je nutné, aby jej obsluha opracovala ručním ojhlením. To jí ale zabírá čas a je možné, že nesplní daný počet dílů, který má pro svojí směnu určenou.



Obrázek 34

Zásadní podmět k výměně nástroje na sebe ale nenechal dlouho čekat. Po 40 kusech došlo opět k odštípnutí laku. Vadu lze vidět na Obrázek 35 v červeném orámování.



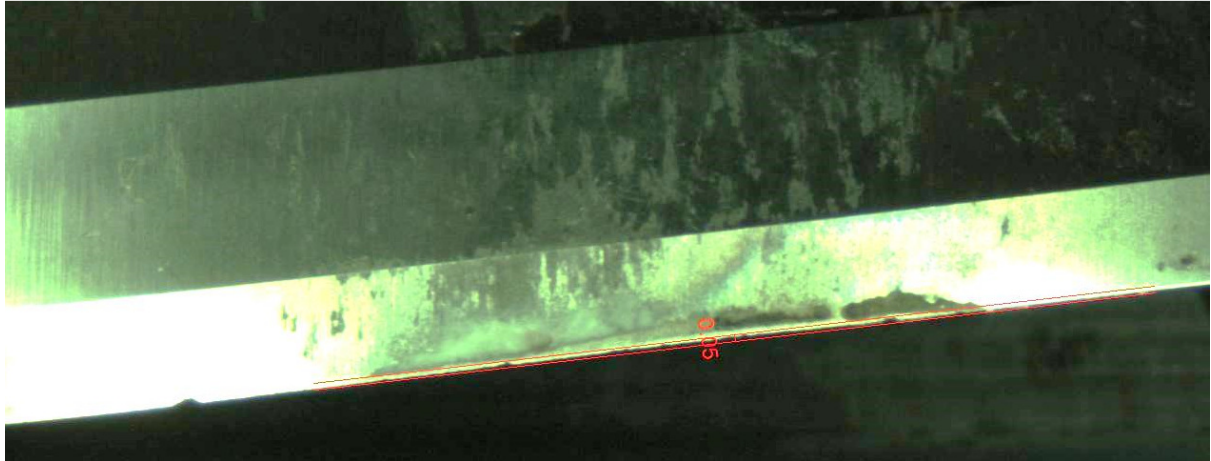
Obrázek 35

Na nástroji se po těchto kusech objevilo opotřebení, jež je patrné z Obrázku 36 a Obrázku 37. Opět došlo k úbytku tvrdokovového materiálu v oblasti řezu, avšak ne k tak markantnímu jako u varianty jedna. Na snímcích z mikroskopu si můžeme povšimnout, že je zde oblast s nataveným plastem. Na obrázku 36 lze opět vidět, v jaké oblasti se nástroj při obrábění pohyboval, ale již zde není zcela vidět, jaké opotřebení nastalo. Obrázek 36 je 20x zvětšený nástroj.



Obrázek 36

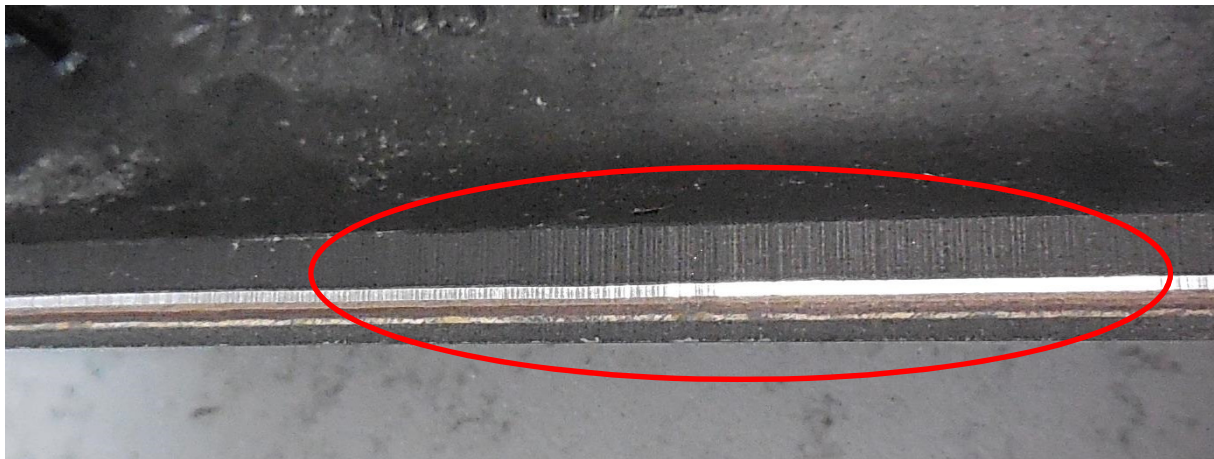
Pro lepší vyhodnocení byl pořízen 40x zvětšený snímek břitu nástroje v oblasti řezu (Obrázek 37). Zde je již možné pozorovat změnu břitu nástroje i napečený plastový materiál, který také může mít vliv na životnost nástroje.



Obrázek 37

5.3. Varianta 3 – vyhodnocení

Tato specifikace nástroje už od 20. kusu tvořila povrch řezu velice drsným, což lze vidět ve zvýrazněné oblasti na Obrázek 38. U takovéto struktury je nutné, aby jej obsluha opět manuálně opracovala zabroušením, které jí ale zabírá čas a je možné, že nesplní daný počet dílů, který má pro svojí směnu určenou.



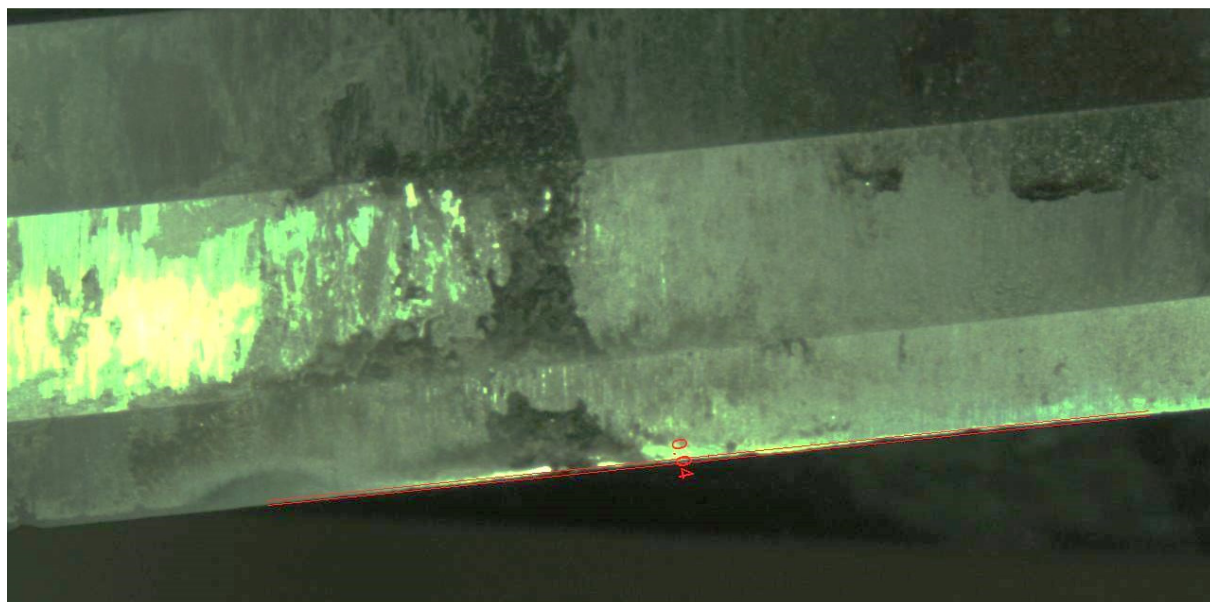
Obrázek 38

U Obrázku 39 lze opět vidět povrch doslouženého nástroje, na kterém je patrna oblast jeho využití, která je zvýrazněna „napečeným“ plastem na jeho zevnějšku. I ta má samozřejmě určitý vliv na životnost i kvalitu povrchu.



Obrázek 39

Na zvětšené zvýrazněné oblasti využití je možné pozorovat míru opotřebení, opět úbytkem materiálu, která není příliš velká a také již zmíněné „natavení“ ABS plastu z obráběného materiálu. Tato vrstvička může vést k nárůstu řezného odporu.



Obrázek 40

5.4. Tabulka shrnutí vyhodnocení

	Počet obrobených dílů [ks]	Standardní počet [ks]	Důvod výměny	Cena nástroje [€]	Cena jednoho dílu k nástroji [€]	Výkonnost [%]
Varianta 1	139	90	Vyštípnutý lak	11,94	0,09	154
Varianta 2	40		Vlnitý povrch	11,55	0,29	44
Varianta 3	63		Vyštípnutý lak	11,13	0,18	70

Tabulka 9

V tabulce výše (Tabulka 9) je shrnutí výsledků z testování, pro rychlý přehled a Zhodnocení výsledků

6. Zhodnocení

Na základě vyhodnocení z kapitoly 5. Vyhodnocení navržených variant, lze zhodnotit navržené varianty následovně.

6.1. Zhodnocení varianty 1

Životnost této frézy byla nejdelší z fréz testovaných. Její životnost byla o 54% vyšší než standardní nástroj. I v případě poměru ceny nástroje ku obrobeným dílům má nejlepší hodnotu, protože platí, že čím nižší poměr, tím lépe. Na základě těchto poznatků byl vznesen návrh na dlouhodobější testování pro ověření.

6.2. Zhodnocení varianty 2

Pro tuto specifikaci nástroje, jak je možné vyčíst z Tabulka 9, dopadlo testování nejhůře. Důvody a příčiny jsou patrné z předchozí kapitoly, kapitola 5. Vyhodnocení navržených variant. Tato fréza má jak nejnižší poměr obrobené dílu k ceně nástroje, tak o 56% menší produktivitu. Tento typ geometrie se nebude nadále testovat.

6.3. Zhodnocení varianty 3

Varianta pod číslem 3, byla vyhodnocena, jakož to druhá nejlepší z testovaných nástrojů, ale bohužel také velice vzdálená standardnímu nástroji. Její životnost byla o 30% nižší. Podrobnější popis průběhu testu je popsán v předchozím bodě 5. Vyhodnocení navržených variant. Tento nástroj se také nebude nadále testovat.

6.4. Zhodnocení úpravy programu

Úpravou programu se prokázala vyšší životnost nástroje a to z důvodu šetrnější vníkaní do obrobku. Nástroj již není rázově namáhaný na špičkách ostří. Životnost nástroje se zvýšila zhruba 8 kusů obrobeného dílu na jeden nástroj. Test probíhal 3 dny. Pro přesnější informace je nezbytné provést test dlouhodobější. Až s těmito výsledky se budou provádět kalkulace úspor apod.

7. Závěr

Cílem této bakalářské práce bylo pokusit se předvést, jaký vliv má změna geometrie dvoubřité čelní válcové frézy na povrch sendvičového materiálu, který byl také v této práci představen. A také zjistit, jaký vliv bude mít změna nájezdů v programu. První část byla zaměřena na obecné základy týkající se frézování a frézovacích nástrojů. Pak následoval popis složení a postup výroby obráběného sendvičového materiálu, aby bylo snazší pochopení problematiky, která je s opracováváním spjata.

Ve druhé části se pojednává o samotném testování a popisu navržených geometrií. Je zde uvedeno i očekávání od jednotlivých nástrojů. Změny byly postupné, nejdříve změna šroubovice nástroje, poté se k tomuto zásahu do geometrie přidalo ještě změnění úhlu čela a hřbetu 1. Také jsou zde zmíněny základy o tvorbě NC programu právě pro konkrétní díl.

V závěru práce je zhodnocení a vyhodnocení jednotlivých variant se shrnující tabulkou. Po shrnutí informací ze zmíněných dvou kapitol, se dospělo k tomu, že vliv geometrie byl prokazatelný na jeho životnost i na povrch materiálu. Dokonce byl nalezen i jeden potenciál, jedna modifikace, která byla lepší než standardní nástroj. Pro variantu jedna navržené frézy bylo doporučeno, aby byl proveden dlouhodobější test z důvodu ověření informací, které byly díky této práci získány. Co se změny nájezdů nástroje do obrobku týče, tam bylo zjištěno zlepšení opět v životnosti frézy, kdy obrobila o 6 dílů více oproti dřívější verzi programu. Je to odůvodněné tím, že se nyní nástroj nezavrtává do materiálu, ale vniká do něho z boční strany, takže již nejsou namáhány špičky břitů. Avšak i toto zjištění bude třeba prověřit dlouhodobějším testováním.

8. Použitá literatura

8.1. Knižní publikace

[1] JANDEČKA, K. , ČESÁNEK, J. , KOŽMÍN, P. : Programování NC strojů. Plzeň: ZČU, 2000. ISBN 80-7082-694-4

[6] Prof. Ing. Dušan Drienski, CSc. - Josef Tomaidés: Strojní obrábění II frézování,
Praha, SNTL 1991

8.2. Elektronické zdroje

[2] <http://www.indiamart.com/as-entps-kanpur/products.html>

[3] http://www.ceratizit.com/mso_noSSL/cms/EN/EN/ctmso/download/GD_KT_PRO-0147-0813?ausgabeart=BS&suffix=pdf&sprache=EN&customDownloadFilename=GD_KT_PRO-0147-0813_%23SEN_%23ABS_%23V1.pdf

[4] http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/knowledge/milling/getting_started/general_guidelines/cutter_position/pages/default.aspx

[5] <http://www.meyer-machines.com/de/Produkte/Kaschieren/KFK-E/kfk-e.html>

[7] [http://en.wikipedia.org/wiki/Milling_\(machining\)](http://en.wikipedia.org/wiki/Milling_(machining))

[8] <http://www.globalspec.com/reference/76593/203279/multiaxis-machine-configurations>

[9] http://ust.fme.vutbr.cz/obrabeni/opory-save/TI_TO-1cast.pdf

PŘÍLOHY K BAKALÁŘSKÉ PRÁCI

Vliv geometrie válcové frézy na povrch sendvičového materiálu

Autor: Jiří Vobrouček

Seznam příloh

Vázané: Příloha č.1 – Část hlavního programu součásti Audi D4 MIKO37- 46

Příloha č.1 Program součásti Audi D4 MIKO

```
%_N_TISCH1_SPF
;$PATH=/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD
;-----
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_EINSTELLEN_SPF"
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_PRUEFEN_SPF"
;-----
$P_UIFR[1]=CTTRANS(X1,435.91,Y1,495.88,Z1,-888.737,B1,0,C1,0):CFINE(X1,900,Y1,200,Z1,0)
$P_UIFR[2]=CTTRANS(X1,435.91,Y1,495.88,Z1,-888.737,B1,0,C1,0):CFINE(X1,0,Y1,200,Z1,0)
;-----

IF R51==1
;-----
;-----ZACATEK-PRVNI-OPERACE-MIKO-LI-----
;-----
WPL=3
WECHSEL(WPL,3,40000,KOPFVORWAHL,0,0)
M8
TRANS
TRAFEIN
;=====Parametr posuvu=====
R25=18 ;R25=10=100% ;6.6 PRO 30000 OT
;=====
G54
VP_A=1 R80=-7.2 R81=0
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_POS_MIKO_LI_SPF"
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_WZK_SPF"
TRANS X-143.00 Y-197.63 Z208.25 AX[BAX]=0 AX[CAX]=0
ATRANS X=0+R17 Y=-0.9+R18 Z=0+R19
;!!!AROT Z1.0!!! Y-2.3
EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_MIKO_LL_80_WPD/_N_LM2K1VGG_SPF"
STOPRE
;-----
VP_A=2 R80=-6.5 R81=0
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_POS_MIKO_LI_SPF"
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_WZK_SPF"
TRANS X-143.00 Y-197.63 Z208.25 AX[BAX]=0 AX[CAX]=-180
ATRANS X=0+R17 Y=0.8+R18 Z=-0.5+R19 AX[BAX]=0-14
AROT Z0
AMIRROR AX[BAX]=0
EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_MIKO_LL_80_WPD/_N_LM2K2VGG_SPF"
STOPRE
;-----
VP_A=3 R80=-7.3 R81=0
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_POS_MIKO_LI_SPF"
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_WZK_SPF"
TRANS X-143.00 Y-197.63 Z208.25 AX[BAX]=0 AX[CAX]=0
ATRANS X=0+R17 Y=0+R18 Z=-3+R19
AROT Z0
EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_MIKO_LL_80_WPD/_N_LMZUB2_PRYC_SPF"
STOPRE
;-----
VP_A=3 R80=-4.5 R81=0; R80=0.9;MUSTER
```

```
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_POS_MIKO_LI_SPF"  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_WZK_SPF"  
TRANS X-143.00 Y-197.63 Z208.25 AX[BAX]=0 AX[CAX]=0  
ATRANS X=0+R17 Y=0+R18 Z=-0.4+R19  
AROT Z0  
EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_MIKO_LL_80_WPD/_N_LM2K3VGG_SPF"  
STOPRE  
:_____  
VP_A=4 R80=-5.5 R81=0  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_POS_MIKO_LI_SPF"  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_WZK_SPF"  
TRANS X-143.00 Y-197.63 Z208.25 AX[BAX]=10 AX[CAX]=0  
ATRANS X=0+R17 Y=1.4+R18 Z=-0.7+R19  
AROT Z0  
EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_MIKO_LL_80_WPD/_N_LM2K4VGL_SPF"  
STOPRE  
:_____  
VP_A=5 R80=-7.45 R81=0  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_POS_MIKO_LI_SPF"  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_WZK_SPF"  
TRANS X-143.00 Y-197.63 Z208.25 AX[BAX]=0 AX[CAX]=0  
ATRANS X=0+R17 Y=0+R18 Z=-3+R19  
AROT Z0  
EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_MIKO_LL_80_WPD/_N_LMZUB1_PRYC_SPF"  
STOPRE  
:_____  
VP_A=5 R80=-5.0 R81=0  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_POS_MIKO_LI_SPF"  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_WZK_SPF"  
TRANS X-143.00 Y-197.63 Z208.25 AX[BAX]=0 AX[CAX]=0  
ATRANS X=0+R17 Y=0+R18 Z=-1.2+R19  
AROT Z0  
EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_MIKO_LL_80_WPD/_N_LM2K5VGG_SPF"  
STOPRE  
:_____  
VP_A=6 R80=-6.5 R81=0  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_POS_MIKO_LI_SPF"  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_WZK_SPF"  
TRANS X-143.00 Y-197.63 Z208.25 AX[BAX]=0 AX[CAX]=0  
ATRANS X=0+R17 Y=1.1+R18 Z=-1+R19 AX[BAX]=0+14  
AROT Z0  
EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_MIKO_LL_80_WPD/_N_ODREZLL_SPF"  
EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_MIKO_LL_80_WPD/_N_LM2K6VGL_SPF"  
STOPRE  
:_____  
VP_A=1 R80=-7.2 R81=0  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_POS_MIKO_LI_SPF"  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_WZK_SPF"  
TRANS X-143.00 Y-197.63 Z208.25 AX[BAX]=0 AX[CAX]=0  
ATRANS X=0+R17 Y=-0.9+R18 Z=0+R19  
;!!!!N585 AROT Z1.0!!!!  
EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_MIKO_LL_80_WPD/_N_LM2K1FGG_SPF"  
STOPRE  
:_____  
VP_A=2 R80=-7.5 R81=0
```

```
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_POS_MIKO_LI_SPF"  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_WZK_SPF"  
TRANS X-143.00 Y-197.63 Z208.25 AX[BAX]=0 AX[CAX]=-180  
ATRANS X=0+R17 Y=0.8+R18 Z=-0.5+R19 AX[BAX]=0-14  
AROT Z0  
AMIRROR AX[BAX]=0  
EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_BL_SE_VO_LI_80_SERIE_WPD/_N_2AK2FEGG_SPF"  
STOPRE  
;-----  
VP_A=3 R80=-4.9 R81=0  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_POS_MIKO_LI_SPF"  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_WZK_SPF"  
TRANS X-143.00 Y-197.63 Z208.25 AX[BAX]=0 AX[CAX]=0  
ATRANS X=0+R17 Y=0+R18 Z=-0.4+R19  
AROT Z0  
EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_MIKO_LL_80_WPD/_N_LM2K3FGG_SPF"  
STOPRE  
;-----  
VP_A=4 R80=-5.5 R81=0  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_POS_MIKO_LI_SPF"  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_WZK_SPF"  
TRANS X-143.00 Y-197.63 Z208.25 AX[BAX]=10 AX[CAX]=0  
ATRANS X=0+R17 Y=1.4+R18 Z=-0.7+R19  
AROT Z0  
EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_BL_SE_VO_LI_80_SERIE_WPD/_N_MU4AK4FEGG_SPF"  
STOPRE  
;-----  
VP_A=5 R80=-5.0 R81=0  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_POS_MIKO_LI_SPF"  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_WZK_SPF"  
TRANS X-143.00 Y-197.63 Z208.25 AX[BAX]=0 AX[CAX]=0  
ATRANS X=0+R17 Y=0+R18 Z=-1.2+R19  
AROT Z0  
N825 EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_MIKO_LL_80_WPD/_N_LM2K5FGG_SPF"  
N830 STOPRE  
;-----  
VP_A=6 R80=-6.45 R81=0  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_POS_MIKO_LI_SPF"  
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_WZK_SPF"  
TRANS X-143.00 Y-197.63 Z208.25 AX[BAX]=0 AX[CAX]=0  
ATRANS X=0+R17 Y=1.1+R18 Z=-1+R19 AX[BAX]=0+14  
AROT Z0  
EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_BL_SE_VO_LI_80_SERIE_WPD/_N_2AK6FEGG_SPF"  
STOPRE  
;-----  
;-----KONEC-PRVNI-OPERACE-MIKO-LI-----  
;-----  
ENDIF  
  
IF R52==1  
;-----  
;-----ZACATEK-DRUHE-OPERACE-MIKO-LI-----  
;-----  
WPL=3
```

```
WECHSEL(WPL,3,40000,KOPFVORWAHL,0,0)
M8
TRANS
TRAFEIN
;=====Parametr posuvu=====
R25=17 ;R25=10=100% ;6.6 PRO 30000 OT
;=====
G55
VP_A=7 R80=-5.9 R81=0
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_POS_MIKO_LI_SPF"
CALL "/_N_WKS_DIR/_N_AUDID4_MIKO_LL_K12_WPD/_N_WZK_SPF"
TRANS X93.00 Y-197.63 Z208.25 AX[BAX]=0 AX[CAX]=180
ATRANS X=1+R17 Y=1.3+R18 Z=0.6+R19
AMIRROR AX[BAX]=0
AROT Z0
;EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_MIKO_LL_80_WPD/_N_LM2K7FGG_SPF"
EXTCALL "/_N_WKS_DIR/_N_D4_MIKO_LL_80_WPD/_N_LM2K7FGL1_SPF"

STOPRE
;-----
;-----KONEC-DRUHE-OPERACE-MIKO-RE-----
;-----
ENDIF

ENDE:
M9
HEAD(KOPFVORWAHL,KOPPELABSTAND)
G90 G0 D0 AX[BAX]=0 G500
G53 G0 Z=Z_SICH ;M07
STOPRE
TRANS
TRAFAS
M17
```