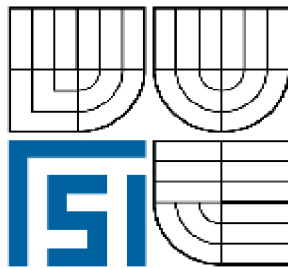


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ  
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ  
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING  
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

## VÝROBA PLEXISKLOVÉHO SOKLU PRO GRAMOFON

ACRYLIC GLASS BASE PRODUCTION TO GRAMOPHONE DECK

DIPLOMOVÁ PRÁCE  
DIPLOMA THESIS

AUTOR PRÁCE  
AUTHOR

Bc. FILIP BEZDĚK

VEDOUCÍ PRÁCE  
SUPERVISOR

Ing. MILAN KALIVODA

BRNO 2008

## ABSTRAKT

Tato práce pojednává o vysoce přesném zpracování plexiskla pro výrobu soklu gramofonu. V této práci se dozvíme o jednotlivých druzích plexiskla, jejich vlastnostech a vlastní výrobě soklu gramofonu. Podrobný popis výroby gramofonového soklu nás seznámí s technologiemi zpracování plexiskla počínaje základním dělením deskového polotovaru, přesným frézováním, broušením a leštěním až k tepelnému zpracování. Výsledkem diplomové práce je popis jednotlivých technologií a ekonomické zhodnocení v reálném prostředí firmy AZ Plastik, spol. s r.o.

### Klíčová slova

Plexisklo, akrylát, frézování, broušení, leštění, žíhání, gramofon, extrudované plexisklo, lité plexisklo, polymethylmetakrylát.

## ABSTRACT

This thesis is aimed at a very detailed process of a transparent plexiglass used for manufacturing an upstand of a gramophone. The diploma work is mainly focused on various types of the plexiglass, its attributes and the gramophone's upstand production. Several manufacturing technologies of a plexiglass such as division of a board-type semi product, precise milling, grinding, polishing and thermal treatment are provided in this diploma work through a very detailed description of a production process of a gramophone's deck. The outcome of this thesis is a description of individual technologies and the economic evaluation within the real business environment of AZ Plastik company.

### Key words

Plexiglass, acrylate, milling, grinding, polishing, annealing, gramophone deck, extruded plexiglass, cast plexiglass, polymethylmetacrylate.

## BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

BEZDĚK, Filip. *Výroba plexisklového soklu pro gramofon : Diplomová práce*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 54s., 12s příloh. Ing. Milan Kalivoda

### Prohlášení

Prohlašuji, že jsem diplomovou práci na téma Výroba plexisklového soklu pro gramofon vypracoval samostatně s použitím odborné literatury a pramenů, uvedených na seznamu, který tvoří přílohu této práce.

Datum 22.května 2008

.....  
Bc. Filip Bezděk

## **Poděkování**

Děkuji tímto panu Ing. Milanu Kalivodovi a firmě AZ Plastik, spol. s r.o. za cenné připomínky a rady při vypracování diplomové práce.

**OBSAH**

|  |    |
|--|----|
| Abstrakt.....  | 4  |
| Prohlášení.....  | 5  |
| Poděkování.....  | 6  |
| Obsah.....   | 7  |
| Úvod.....  | 8  |
| 1 Plexisklo (PMMA).....  | 10 |
| 1.1 Vznik plexiskla.....                                       | 10 |
| 1.2 Technické vlastnosti.....                                  | 12 |
| 1.3 Extrudované plexisklo.....                                 | 15 |
| 1.3.1. Výroba extrudovaného plexiskla.....                     | 15 |
| 1.3.2. Vlastnosti a použití extrudovaného plexiskla.....       | 16 |
| 1.4 Lité plexisklo.....  | 17 |
| 1.4.1. Výroba litého plexiskla.....                            | 17 |
| 1.4.2. Vlastnosti a použití litého plexiskla.....              | 18 |
| 1.5 Srovnání litého a extrudovaného plexiskla.....             | 18 |
| 1.6 Obecná pravidla pro manipulaci a zpracování plexiskla..... | 20 |
| 2 Charakteristika podniku.....                                 | 29 |
| 2.1 Strojní vybavení podniku AZ Plastik, spol. s r.o.....      | 30 |
| 3 Charakteristika výrobku.....                                 | 33 |
| 4 Výroba gramofonového soklu.....                              | 34 |
| 4.1 Dělení plexiskla.....                                      | 35 |
| 4.2 Sušení plexiskla.....                                      | 36 |
| 4.3 Frézování plexiskla.....                                   | 37 |
| 4.4 Broušení plexiskla.....                                    | 44 |
| 4.4.1. Broušení otvorů.....                                    | 44 |
| 4.4.2. Broušení obvodů.....                                    | 45 |
| 4.5 Leštění plexiskla.....                                     | 46 |
| 4.5.1. Leštění otvorů.....                                     | 46 |
| 4.5.2. Leštění obvodů.....                                     | 47 |
| 4.6 Tepelné zpracování.....                                    | 48 |
| 4.7 Balení a expedice.....                                     | 49 |
| 5 Technickoekonomické zhodnocení.....                          | 50 |
| Závěr.....   | 51 |
| Seznam použitých zdrojů.....                                   | 52 |
| Seznam použitých zkratk a symbolů.....                         | 53 |
| Seznam příloh.....   | 54 |

## ÚVOD

Minulé století přineslo lidstvu mnoho vynálezů. Široké spektrum nových výrobků, materiálů a technologií znamenalo určitou technickou revoluci. Vědní disciplíny zaznamenaly obrovský nárůst objevů, což se projevilo na poptávce nových a moderních výrobků, které by uspokojily potřeby jak nejchudší lidí tak vyšších vrstev. Jedním z těchto vynálezů, který ovlivnil několik generací byl i gramofon.

Gramofon již od počátku lidi fascinoval svou dokonalou reprodukcí zachyceného zvuku. Zpočátku byl pouze přístrojem, který si mohla dovolit pouze zámožnější rodina, ale postupem se rozšířil i mezi méně bohaté lidi. Toto bylo způsobeno především lepší cenovou dostupností, která byla zapříčiněna vývojem nových technologií výroby jak samotného gramofonu tak i desek.

Během let, kdy gramofon dělal společnost rodinám, prošel velikým vývojem. Od prvních typů, které byly velice jednoduché a využívaly pohon natočením péra klikou, přes přístroje, které byly zabudovány ve speciálních skříních až po gramofony v automobilech si gramofon vždy své místo našel. V minulých letech však význam a použití gramofonu upadal. Vývoj stále novějších technologií, které zaručí vysokou kvalitu a čistotu zvuku, utlumil použití gramofonu a nahradil jej technologiemi CD a DVD přehrávačů.

V poslední době je určitým módním trendem navracet se k výrobkům a designu starších výrobků a propagovat tak styl, který byl ve své době velice úspěšný. Tento „retro“ styl je většinou doprovázen použitím vysoce kvalitních materiálů a technologií, které dělají z původního prostého přístroje velice profesionální a high-tec výrobek. Náznorným příkladem jsou například slavné návraty ještě slavnějších předloh automobilů Mini Couper a Volkswagen Beattle, které prosluly svou lidovostí a které jsou nyní určitou stylovou záležitostí za vysokou cenu.

Mezi tyto výrobky patří i gramofon. Současné požadavky na design a použití špičkových a netradičních materiálů přineslo použití plexiskla i do tohoto odvětví. Plexisklo je materiál, který je velice kvalitní, ale také vyžaduje určitý stupeň odbornosti při vlastním zpracování. Protože se nejedná o standardní materiál, jakými jsou například kovy, neexistují proto přesné návody a postupy jak plexisklo zpracovávat. Většinou jsou to mnohaleté zkušenosti jednotlivých podniků, které se samozřejmě odrážejí i v ceně jednotlivých výrobků. Tyto informace, jak plexisklo zpracovávat jsou proto jednotlivými firmami chráněny a přístup k nim je velice omezený. Proto použití tohoto materiálu, který splňuje veškeré kvalitativní i designové vlastnosti, ovlivňuje výslednou cenu takového gramofonu. Z ryze spotřebního zboží obyčejných lidí se tak stává high-tec výrobek, který je opět dostupný jen bohatším rodinám.

Tato práce se zabývá popisem technologií zpracování plexiskla při výrobě gramofonového soklu, obr.1. Kompletace elektronických součástí a následná distribuce je prováděna jinou firmou, která v rámci utajení před konkurencí nebude jmenována. Jednotlivé postupy výroby jsou detailně popsány a jsou tak podhaleny složité operace vedoucí k vyhotovení vysoce kvalitního a přesného výrobku. Tyto složité operace jsou popsány na základě dlouholetých zkušeností firmy AZ Plastik, spol. s r.o., která je předním zpracovatelem plexiskla v České

republice. Právě v podmínkách této firmy je výroba sledována a následně vyhodnocena jak z hlediska technologického tak i ekonomického.

Tyto výsledky jsou popsány v závěru, kde jsou podány návrhy na zlepšení. Nedílnou součástí této práce je i popis výroby a vlastností jednotlivých druhů plexiskla, které jsou nutným základem pro pochopení dějů, které probíhají při obrábění a tepelném zpracování plexiskla.



Obr. 1 Gramofon s plexisklovým soklem

## 1 PLEXISKLO (PMMA)

Plexisklo je moderní materiál na bázi polymethylmetakrylátu (PMMA). Název plexisklo je název obchodní a v této diplomové práci bude užíváno pro polymethylmetakrylát označení plexisklo. Je to tuhý, transparentní termoplastický materiál, přirozeně bezbarvý a výjimečně čistý. Lze jej pigmentovat a získat tak široký rozsah tónů a barev s téměř neomezenou škálou změn v propustnosti světla a světelné difuzi.

Je odolný vůči vysoce korozivním chemikáliím, má takové charakteristiky světelné propustnosti a odolnosti vůči stárnutí, které jsou bezkonkurenční při srovnání s mnoha dalšími plastickými materiály. V současné době je velice rozšířený a nalezneme jeho použití téměř ve všech odvětvích. Jeho aplikace můžeme nalézt například ve zdravotnictví jako kryty inkubátoru, v leteckém průmyslu při výrobě kabin, ve strojírenství, reklamě a dalších. Ve velké míře se pak využívá v architektuře, kde je využíváno především pro interiérové doplňky.

Protože se jedná o poměrně mladý materiál, nejsou k dispozici přesné manuály a pokyny pro zpracování a tak každá firma, zabývající se zpracováním plexiskla, musí uplatnit svoje zkušenosti, které si vydobyla ať úspěšnými nebo neúspěšnými projekty. Každý postup, který je pak ve výrobě úspěšně aplikován, je přísně tajen a ani samotný výrobce neposkytuje veškeré informace.

### 1.1 Vznik plexiskla

Plexisklo je poměrně novým materiálem. První, kdo plexisklo vyrobil a předvedl v praktickém využití byl Dr. Otto Röhm a Otto Haas v Německu v roce 1933. Nedlouho po svém uvedení získal tento nový materiál úspěch a ocenění na světové výstavě v Paříži v roce 1937. Jako první byl uveden materiál Plexiglas GS. V roce 1936 byla uvedena technologie, která zajišťovala sériovou výrobu tohoto materiálu. Jedno z prvních použití bylo uplatnění plexiskla v leteckém a automobilovém průmyslu, při výrobě leteckých kabin a čelních skel autobusů. Jednoduché tvarování, nízká hmotnost a dobré optické vlastnosti rychle zvýhodnily plexisklo oproti klasickému sklu.

Firma Plexiglas získala mnoho úspěchů a ocenění a postupem času vyvíjela i nové metody a varianty výroby plexiskla. V roce 1957 přišla firma Plexiglas na trh s extrudovaným plexisklem což významně ovlivnilo produkci a cenu plexiskla na trhu. Plexisklové desky dostaly standardní formát v šířce pásu 2050mm, ze kterého je možné vyrábět libovolné délky.

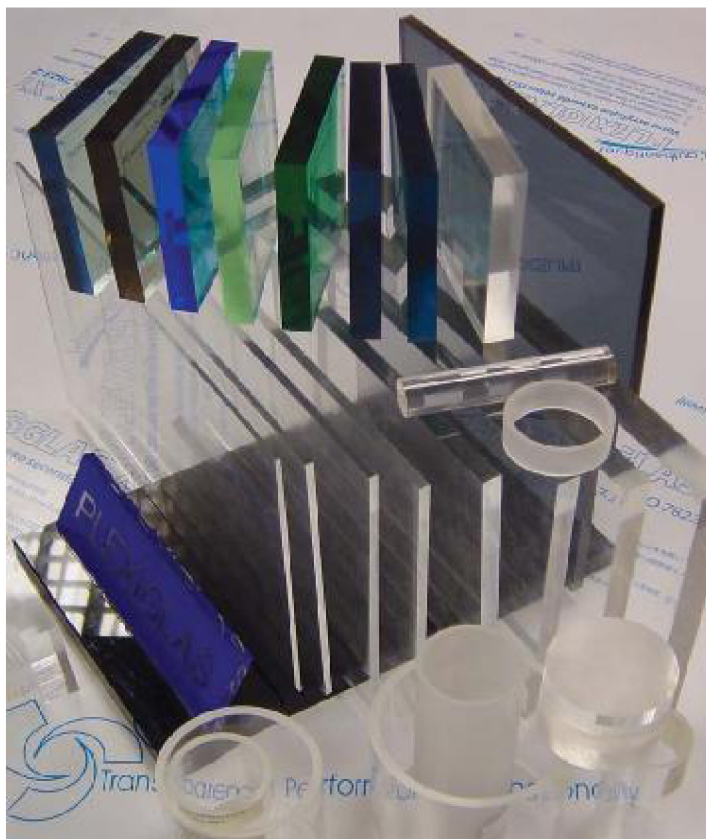
V poslední době se na trh uvádějí varianty plexiskla, které podléhají módním požadavkům současné doby. Jsou to v podstatě barevné a povrchové úpravy litého i extrudovaného plexiskla. Jsou to především satinované desky s povrchovou pískovanou úpravou, barevné, fluorescentní a zrcadlové provedení a plexiskla se strukturovanými povrchy.

Kromě těchto specifikací, používaných z velké míry v oblasti reklamy a stavebnictví, jsou vyvíjeny i materiály určené pro speciální účely. Kromě plexisklových trubek a tyčí je to materiál Plexiglas Soudstop určený pro výrobu protihlukových bariér. Dalším speciálním materiálem je Resist, který je vyvinut pro aplikace, kde je nutno použít nerozbitných materiálů.



Pro potřeby výroby solárních zařízení jsou vyráběna plexiskla s UV ochranou a s povlaky, které dávají obyčejnému plexisklu speciální vlastnosti jako povrchovou odolnost, antistatickou odolnost a odolnost proti zamlžení. Speciálními materiály jsou i plexiskla použitá pro stavbu mořských akvárií. Tyto materiály musí splňovat vysoké optické nároky a odolnosti proti agresivnímu prostředí, které vytváří mořská voda. Příklady typů a druhů plexiskel jsou k vidění na obr. 1.1.

Plexisklo je materiálem, který nachází uplatnění téměř ve všech oblastech výroby. V minulosti bylo plexisklo vyráběno i v Československu (Žilina) ovšem jeho použití a druhy byly velmi omezené. V dnešní době je v České republice mnoho zástupců světových firem, které do naší země plexisklo dovážejí jako např. firma Zenit, která distribuuje materiál Plexiglas, firma Vink distribující Altuglas a firma ICI distribující Perspex. Jediným výrobcem, který u nás plexisklo vyrábí je firma Quinn Plastics v Příbrami.



Obr. 1.1 Příklady provedení plexiskla, trubky, desky a tyče (1)

## 1.2 Technické vlastnosti

Technické parametry litého a extrudovaného plexiskla jsou dány v této podrobné tabulce č.1.2. Hodnoty, které jsou zde uvedené jsou získány laboratorně a pro veřejnost jsou pouze informativní.

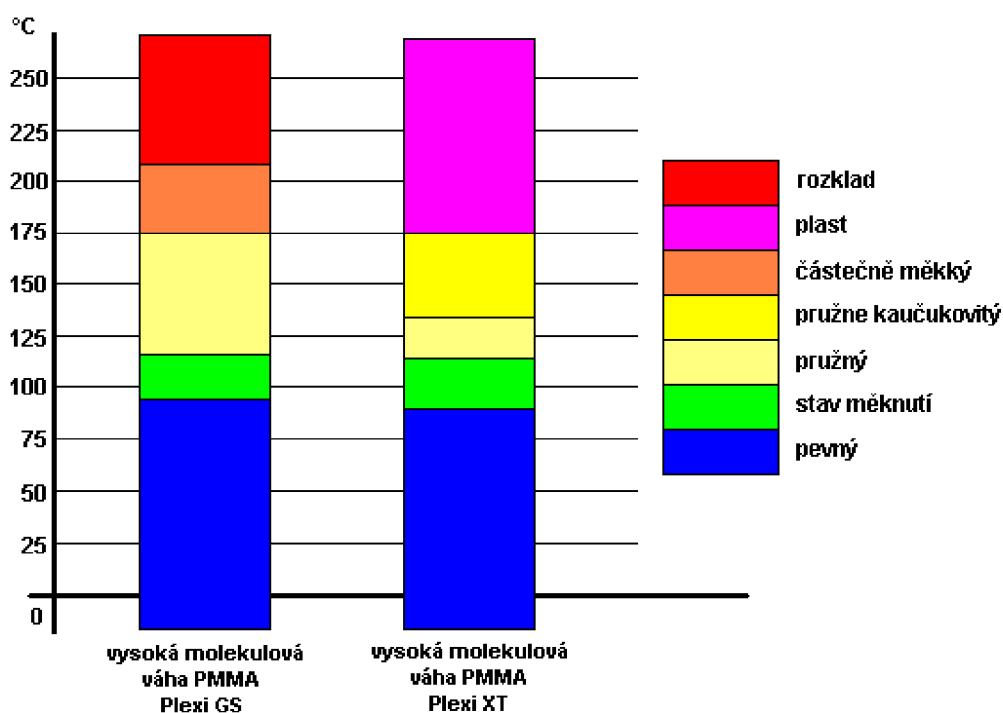
Tab.č. 1.2. Technické parametry litého a extrudovaného plexiskla (2)

| Všeobecné vlastnosti               | Testovací metoda |         |            | Jednotky          | Lité plexisklo |         | Extrudované plexisklo |         |
|------------------------------------|------------------|---------|------------|-------------------|----------------|---------|-----------------------|---------|
|                                    | ISO              | NF      | Ostatní    |                   | Tloušťka [mm]  | Hodnota | Tloušťka [mm]         | Hodnota |
| Absorbce vody, 24 hodin            | 62               | T51002  | DIN 53495  | %                 | 4              | 0,30    | 4                     | 0.30    |
| Absorbce vody, 8 dní               | 62               | T 51002 | DIN 53495  | %                 | 4              | 0,30    | 4                     | 0.50    |
| Absorbce vody, max                 |                  |         | Vnitřní    | %                 | 3              | 1,75    | 3                     | 1.75    |
| Densita                            | 1183             |         |            |                   |                |         |                       | 1.19    |
| <b>Mechanické vlastnosti</b>       |                  |         |            |                   |                |         |                       |         |
| Poissonova konstanta 20°           |                  |         |            |                   |                | 0.39    |                       | 0.39    |
| Mez pevnosti 23°C                  | 527              | T 51034 | DIN53455   |                   |                |         |                       |         |
| pnutí při přerušení                | -2/1A/5          |         |            | MPa               | 4              | 76      | 4                     | 74      |
| modul pružnosti                    |                  |         |            | MPa               | 4              | 3300    | 4                     | 3300    |
| prodloužení při přerušení          |                  |         |            | %                 | 4              | 6       | 4                     | 5       |
| Mez pevnosti -20°C                 | 527              | T 31304 | DIN53455   |                   |                |         |                       |         |
| pnutí při přerušení                | -2/1A/5          |         |            | MPa               | 4              | 102     |                       |         |
| prodloužení při přerušení          |                  |         |            | %                 | 4              | 5       |                       |         |
| Mez pevnosti 80°C                  | 527              | T 51034 | DIN53455   |                   |                |         |                       |         |
| pnutí při přerušení                | -2/1A/5          |         |            | MPa               | 4              | 24      |                       |         |
| prodloužení při přerušení          |                  |         |            | %                 | 4              | 22      |                       |         |
| Pevnost v ohybu 23°C               | 178*             | T 51001 | DIN53452   |                   |                |         |                       |         |
| pnutí při přerušení                |                  |         |            | MPa               | 4              | 130     | 4                     | 120     |
| modul pružnosti                    |                  |         |            | MPa               | 4              | 3250    | 4                     | 3250    |
| Charpyho zkouška (nevrubová)       | 179/2D           | T 51035 | DIN 53453  | Kj/m <sup>2</sup> | 4              | 12      | 4                     | 10      |
| Izodova pevnost (vrubová)          | 180/1A           |         | ASTM D256A | Kj/m <sup>2</sup> | 4              | 14      | 4                     | 1.3     |
| Tvrdost, Rockwellova stupnice M    | 2039             |         | ASTM D785  |                   |                | 100     |                       | 95      |
| Tvrdost, Shoreova stupnice D       | 868              | T 51109 |            |                   |                | 60.70   |                       | 80      |
| Pevnost v tlaku                    | 684              | T 51101 | DIN53454   | MPa               | 4              | 130     | 4                     | 110     |
| Pevnost v stříhu - dynamický modul |                  |         | DIN53445   | MPa               |                | 1700    |                       | 1700    |

| Optické vlastnosti                                  |         |           |             |                      |    |                   |    |                   |
|---|---------|-----------|-------------|----------------------|----|-------------------|----|-------------------|
| Propustnost světla                                  | T 51068 | DIN 5036  |             |                      |    |                   |    |                   |
| tloušťka 3mm  |         |           |             | %                    | 3  | 92                | 3  | 92                |
| tloušťka 5mm  |         |           |             | %                    | 5  | 92                | 5  | 92                |
| tloušťka 8mm  |         |           |             | %                    |    |                   | 8  | 92                |
| tloušťka 10mm                                       |         |           |             | %                    | 10 | 92                |    |                   |
| Index lámavosti                                     | T 51064 | DIN 53491 |             |                      |    | 1.492             |    | 1.492             |
| Elektrické vlastnosti                               |         |           |             |                      |    |                   |    |                   |
| Dielektrická pevnost                                |         | C 26225   | DIN 53481   | KV/mm                |    | 20 až 25          |    | 20 až 25          |
| Příčný odpor  |         | C 26215   | DIN 53482   | Ohm.cm               |    | >10 <sup>15</sup> |    | >10 <sup>15</sup> |
| Dielektrická konstanta                              |         | C 26230   | DIN 53483   |                      |    |                   |    |                   |
| do 50 Hz  |         |           |             |                      |    | 3.7               |    | 3.7               |
| do 1 MHz  |         |           |             |                      |    | 2.6               |    | 2.6               |
| Teplotní vlastnosti                                 |         |           |             |                      |    |                   |    |                   |
| Koeficient lineární roztažnosti                     | EN2155  | T 51251   | DIN 52328   | mm/m/°C              |    | 0.065             |    | 0.065             |
| Teplotní vodivost                                   |         |           | DIN 52612   | W/m/°C               |    | 0.17              |    | 0.19              |
| Izolační koeficient K                               |         |           | DIN 4701    |                      |    |                   |    |                   |
| 3 mm tloušťky                                       |         |           |             | W/m <sup>2</sup> /°C | 3  | 5.4               | 3  | 5.4               |
| 5 mm tloušťky                                       |         |           |             | W/m <sup>2</sup> /°C | 5  | 5.1               | 5  | 5.1               |
| 10 mm tloušťky                                      |         |           |             | W/m <sup>2</sup> /°C | 10 | 4.5               | 10 | 4.5               |
| Teplota deformace                                   |         |           |             |                      |    |                   |    |                   |
| pod zátěží, 1.8 N/mm <sup>2</sup> , upravené vzorky | 75/A    | T 51005   | DIN 53461   | °C                   |    | 109               |    | 102               |
| Max. průběžná pracovní teplota                      |         |           |             | °C                   |    | 85                |    | 80                |
| Formovací teplota pece                              |         |           |             | °C                   |    | 130-190           |    | 140-175           |
| Maximální teplota ohřevu                            |         |           |             | °C                   |    | 200               |    | 180               |
| Max. lineární smrštění po ohřátí, tloušťka ≥ 3 mm   |         |           |             | %                    |    | 2                 |    | 3                 |
| Max. lineární smrštění po ohřátí, tloušťka < 3 mm   |         |           |             | %                    |    | 2                 |    | 6                 |
| Vznětlivost   |         |           |             |                      |    |                   |    |                   |
| Teplota samovznícení                                |         |           |             | °C                   |    | asi 450           |    | asi 450           |
| Ohnivzdornost (radiální tepelný zdroj)              |         | P 92501   |             |                      | 3  | M4                |    | M4                |
| Způsob tavení při hoření                            |         | P 92505   |             |                      | 3  | bez kapek         |    | kapky             |
| Ohnivzdornost                                       |         |           | DIN 4102    |                      |    | B2                |    | B2                |
| Ohnivzdornost                                       |         |           | BS 476 b.7  |                      |    | třída 3           |    | třída 3           |
| Ohnivzdornost                                       |         |           | UL 94       |                      |    | HB                |    | HB                |
| Kyslíkový index                                     |         | T 5701    | ASTM 286377 | %                    |    | 18                |    | 18                |
| Obsah chloru  |         |           |             | %                    |    | 0                 |    | 0                 |
| Obsah dusíku  |         |           |             | %                    |    | <0.02             |    | <0.02             |

Plexisklo podstupuje teplotami související se změnami stavu, které jsou typické u amorfních materiálů. Důvod leží v různé molekulové váze litých a extrudovaných tabulí, trubek a tyčí. Tyto výsledné technické výkony musí být vzaty v úvahu zejména během tváření. Zvláště důležitá pro lisování je termoelastická oblast, ve které se termoplast stává pružně-kaučukovitý a může být tvářen bez řezání a ohýbání (1).

Lité plexisklo vykazuje převážně termoelastické chování přes široký okruh vysokých teplot. Okruh, ve kterém extrudované plexisklo vykazuje termoelastické chování, je poměrně malý. Za vyšších teplot se stává termoplastem a dosahuje plastové tuhosti. Odtud není jasná dělící čára mezi termoplastickým a termoelastickým stavem. Nicméně v každém kuse zůstává určitá plastická deformace, která závisí na tvářecí teplotě. Proto se obrobky vyráběné z extrudovaného plexiskla nikdy zcela nevrátí do svého původního tvaru při opětovném ohřevu. Proces deformace je tak pouze částečně vratný. Chování plexiskla za různých teplot naznačuje obr. 1.2.



Obr. 1.2. Změny stavu plexiskla v závislosti na teplotě (1)

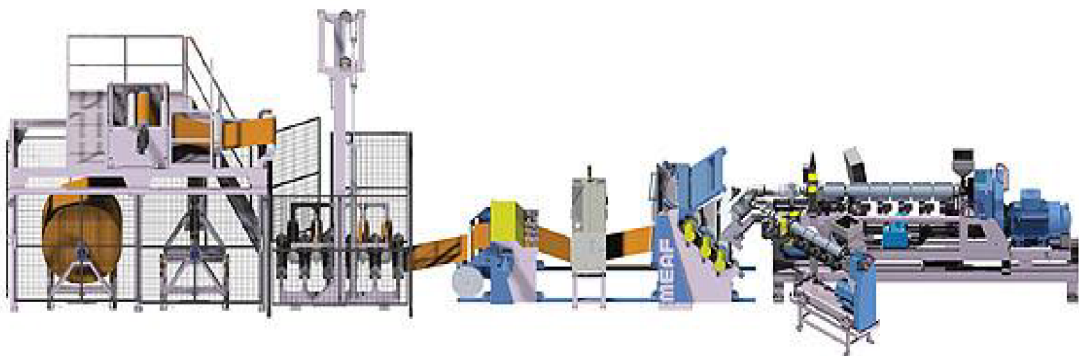
## 1.3 Extrudované plexisklo

Extrudované plexisklo se vyznačuje vynikající průhledností a dobrými mechanickými vlastnostmi. Jsou odolné vůči UV záření, vykazují velmi dobrou odolnost proti povětrnostním vlivům a stárnutí a zůstávají barevně stálé po řadu let. Tyto desky s vysokou rázovou pevností lze použít ve styku s potravinami, protože vyhovují všem v současnosti platným evropským předpisům pro materiály přicházející do kontaktu s potravinami. Tyto desky neobsahují žádné toxické materiály nebo těžké kovy, které by mohly vést k poškození životního prostředí nebo ke zdravotním rizikům. Jsou nerozpustné ve vodě a nemusí být uváděny jako nebezpečné materiály a jsou snadno recyklovatelné.

### 1.3.1 Výroba extrudovaného plexiskla

Extrudování se provádí v extrudérech, obr.1.3.1.1, které zpracovávají granulát PMMA. Tento je během procesu zahříván a pomocí šneku, který se otáčí vysokými otáčkami, je protlačen tryskami mezi válce, které válčují plexisklo do požadovaného formátu šířky. Při průchodu těmito válci se plexisklo postupně chladí a při vstupu do další skupiny válců se extrudovaný pás vyrovnává. Podobný princip je použit i u rovnání plechů. Celý proces je vysoce ovlivněn teplotou okolí i čistotou prostředí. Jakýkoliv výkyv teploty nebo znečištění v podobě usazení částic prachu na povrch plexiskla, ovlivňuje konečné optické a mechanické vlastnosti desek. Tento nekonečný pás je pak v další části potažen ochrannou fólií, která zabraňuje mechanickému poškození desky. Po nalepení je deska nařezána na konečný formát, většinou 2050x3050mm.

Celý tento proces je maximálně automatizován a kontrolován mnoha pracovníky tak, aby byla zaručena maximální produktivita celého zařízení. Jeden takovýto extrudér je schopen vyrobit až 3000 tun materiálu ročně.

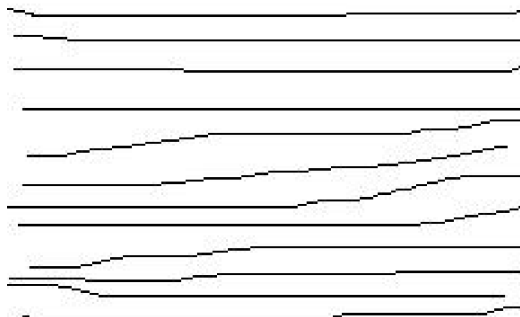


Obr. 1.3.1.1. Schéma extrudovací linky (3)

### 1.3.2 Vlastnosti a použití extrudovaného plexiskla

Extrudované plexisklo vyniká jednoduchou strukturou, ve které jsou řetězce polymeru PMMA rovnoměrně uspořádány ve směru extruze. Toto uspořádání významně ovlivňuje chování materiálu při zpracování. Z obrázku 1.3.2 je patrné, že technologičnost výrobku např. u ohýbání musí předepisovat správný směr ohybu a to takový, aby osa ohybu byla kolmá na procházející vlákna.

Také na lepení plexiskla má tato struktura veliký vliv, zvláště u lepení jednosložkovými lepidly. Ty v zásadě pracují na principu naleptání a prolnutí povrchových struktur lepených dílů. K tomu, aby došlo k dostatečnému prolnutí musí být struktura dostatečně naleptána a zvláště pak povrchové řetězce polymerů. Tato jednoduchá struktura umožňuje dostatečné naleptání a otevření struktury. Proto se extrudovaný materiál lepí snadněji než materiál litý, který má strukturu složitou.



Obr. 1.3.2 Schéma struktury extrudovaného plexiskla

Tyto desky jsou použitelné téměř ve všech odvětví výroby a jsou zpracovávány všemi běžnými technologiemi jako řezání, vrtání, frézování a tvarování za tepla. Významné použití těchto desek je v reklamním průmyslu a při výrobě drobných výrobků a předmětů. Zvláště pro tepelné tváření jsou tyto desky velice vhodné, protože svými vlastnostmi, danými vlastní výrobou, lépe odpovídají požadavkům tváření. Obzvláště výhodná vlastnost je dobré vyplnění formy i za nižších teplot oproti plexisklu litému, které potřebuje vyšší teplotu pro dosažení stejných vlastností.

Vysoce produktivní výroba extrudovaného plexiskla, která je mnohem vyšší než produkce litého plexiskla, zajišťuje tomuto materiálu i jednu z vlastností, která je v dnešním světě prioritou. Je to nízká cena, která ovlivňuje výběr při použití plexiskla pro daný výrobek. Extrudované plexisklo je méně vhodné pro obrábění a použití v externím prostředí avšak cena, která je o cca 30% nižší, je rozhodujícím faktorem pro použití. Výrobky proto nemusí vždy dosahovat nejvyšší kvality a hlavně vysoké životnosti.

## 1.4 Lité plexisklo

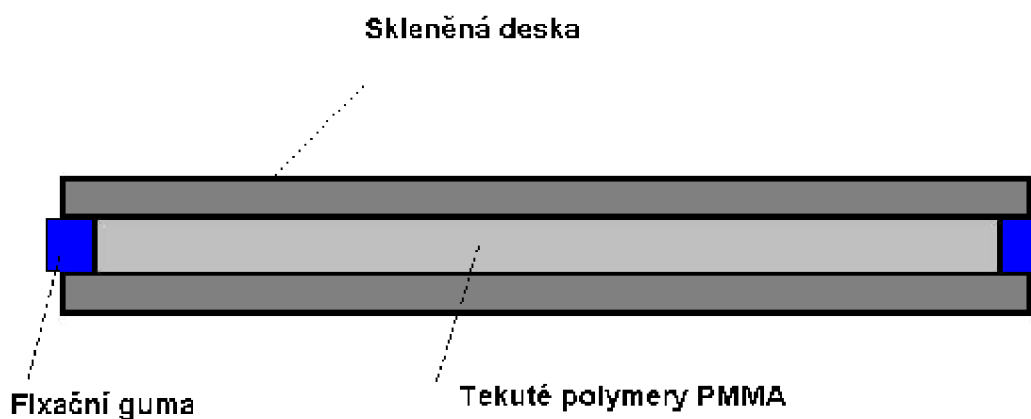
Lité akrylátové desky a bloky mají vlastnosti, které jsou vhodné pro široký sortiment použití sahající od přesných strojírenských součástí až po výrobky určené pro domácnost i obchod. Lze je snadno obrábět s použitím běžného strojního vybavení a pomocí nenákladného zařízení je lze tepelně tvarovat.

Lité plexisklo je dostupné v mnoha provedeních jako jsou čiré nebo barevné desky a bloky v rozmanitých rozměrech a tloušťkách až do 100 mm, desky s lesklým matným nebo vzorovaným povrchem nebo speciální desky použité pro letecký průmysl nebo desky pro výrobu mořských akvárií.

Složení konečného produktu je 90–95% polymethylmetakrylátu a přísady (stabilizátory, zvláčňovadla, barviva, pigmenty a separační prostředky). Díky svým užitným vlastnostem, technickým parametrům a mimořádně bohaté paletě barev je lité plexisklo vynikajícím materiálem pro stavebnictví, průmyslové objekty, výrobu dekorací, výrobu osvětlení a reklamní nosiče.

### 1.4.1 Výroba litého plexiskla

Lité plexisklo je vyráběno velice složitou a náročnou technologií, která ovlivňuje konečnou cenu tohoto produktu. Celá výroba spočívá na principu lití tekuté směsi rozpuštěného granulátu PMMA mezi dvě skleněné desky (obr. 1.4.1), které jsou na stranách izolované pružnou lištou.



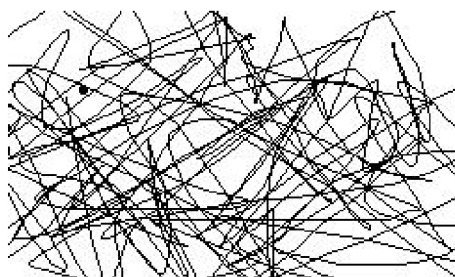
Obr. 1.4.1. Schéma lití mezi dvě skleněné desky

Po nalití této směsi jsou desky utěsněny a převezeny do pece, kde je za pomoci tepla dochází ke konečné polymerizaci. Při tomto procesu dochází k velikému smrštění, které významně ovlivňuje toleranci rozměru tloušťky desky. Celý tento proces je automatizován avšak může dojít k výrobě zmetku nedolitím plně dávky tekuté směsi PMMA mezi dvě skla nebo příliš velkým smrštěním, které neodpovídá předepsaným výrobním tolerancím cca  $\pm 5\%$  tloušťky materiálu.

Takto vzniklé plexisklo má vlivem této technologie velmi složitou strukturu což ovlivňuje vlastnosti a použití tohoto plexiskla.

### 1.4.2 Vlastnosti a použití litého plexiskla

Při výrobě litého plexiskla vzniká složitá nelineární struktura (obr. 1.4.2), která ovlivňuje vlastnosti při zpracování a zejména způsob lepení a jeho náročnost. Protože je struktura nelineární tak dochází k nedostatečnému naleptání a prolnutí povrchových struktur. Proto se většinou na lepení větších tlouštěk používá dvousložkové lepidlo, které obsahuje polymery PMMA a vytvoří spoj, který má pevnost téměř stejnou jako plexisklo a má stejné vlastnosti. Velikou nevýhodou tohoto materiálu je však nestejná tloušťka desky. Tato tloušťka může kolísat v rozmezí  $\pm 5\%$  tloušťky materiálu.



Obr. 1.4.2 Struktura litého plexiskla

Také obrábění tohoto materiálu je lepší než u extrudovaného, protože v důsledku způsobu výroby je litý materiál schopen lépe odolávat teplotním vlivům což má pozitivní vliv na výsledný povrch.

Protože je výroba litého plexiskla složitější a méně produktivní než výroba extrudovaného plexiskla, je výsledná cena desky asi o 30% vyšší než cena desky extrudované. To samozřejmě ovlivňuje použití materiálu při volbě mezi těmito dvěma druhy. Nelze však podcenit lepší vlastnosti při obrábění a hlavně lepší odolnost proti změnám teplot. Proto je tento materiál převážně používán v exteriérech, kde se střídají nízké a vyšší teploty.

### 1.5 Porovnání extrudovaného a litého plexiskla

Existuje několik rozdílů ve fyzikálních vlastnostech litého a extrudovaného plexiskla. Oba materiály vykazují výbornou odolnost vůči přirozenému stárnutí. Hlavní rozdíly jsou v jejich teplotních a chemických vlastnostech a ve způsobu jejich zpracování a využití.

Oba tyto materiály jsou rozdílné ve své povaze a v určitých procesech se chovají různě. Je důležité podrobně se seznámit s těmito rozdíly tak, aby se získaly vysoce kvalitní výrobky (2).

#### a) Rozdíly v dostupnosti tlouštěk

Lité plexisklo je dostupné v téměř neomezeném rozsahu tlouštěk. Extrudované plexisklo je dostupné v tloušťkách 1,5 až 20 mm.



**b) Rozdíly v rozměrech**

Lité plexisklo má izotropní reakci vůči teplotě s maximálním smrštěním 2% ve všech směrech. Extrudovaný proces aplikovaný pro extrudované plexisklo zapříčiňuje rozdíly ve smrštování v závislosti na tloušťce a směru extruze (protlačování).

**Ve směru extruze :**

- do 3% pro 3 mm a více,
- do 6% pro tloušťky pod 2 a 2,5 mm

**Příčně na směr extruze :**

- do 1% pro tloušťky nad 3 mm
- do 2% pro tloušťky 2 a 2,5 mm.

**c) Teplotní stabilita a viskozita**

Střední molekulová váha litého plexiskla je větší než u extrudovaného plexiskla (cca 2 200 000 vůči 150 000) a rozpětí molekulových vah je daleko větší. Lité plexisklo tedy nabízí větší teplotní stabilitu a lepší odolnost vůči praskání při vystavení účinkům rozpouštědel.

Rozsah tepelného tváření je pro lité tabule široký. Mohou se zpracovávat horké, což není vždy možné u tabulí protlačovaných.

Extrudované plexisklo má za tepla nižší viskozitu, což znamená, že má lepší tažnost než lité plexisklo. Může se tedy používat během komplexního tvarování u složitějších tvarů.

**d) Optické vlastnosti**

Konečná úprava povrchu, rovinnost a optické vlastnosti litého plexiskla jsou lepší ve srovnání s extrudovaným plexisklem.

**e) Možnosti spojování**

Zkušenosti ukázaly, že lité a extrudované plexisklo se mohou zaměňovat v mnoha aplikacích. Výběr určitého produktu pro specifické aplikace je ale třeba provádět s ohledem na rozdílné vlastnosti, uživatelské požadavky a s ohledem na výrobní náklady.

**f) Zpracování odřezků**

Odřezky, jak z litých, tak z extrudovaných tabulí, je možno znovu zužitkovat, aniž by to způsobilo zvláštní problémy z hlediska životního prostředí. Možné metody recyklace jsou:

- extrudované plexisklo : odpad je možno shromažďovat a pak znovu vstříkovat a protlačovat.
- lité plexisklo : odpad se vystaví teplotnímu šoku při velmi vysokých teplotách a získané výrobky se destilují pro regenerace na monomer (methylmetakrylát).

## 1.6 Obecné pravidla pro manipulaci a zpracování plexiskla

Při opracovávání tabulí plexiskla lze použít většinu běžného nářadí na dřevo nebo kov. Je třeba si ovšem uvědomit, že zkušenosti získané při práci s kovem nelze mechanicky aplikovat na plasty. Plastická hmota nepřenáší teplotu tak účinně jako kov. Teplo vznikající při tření během opracování se tak rychle neodvádí, a je tedy třeba ochlazovat používané nářadí nebo přímo materiál. Proud vzduchu namířený na řeznou hranu slouží nejen k chlazení, ale také k odstraňování štěpin.

Plastická hmota se vyznačuje vysokou rozpínavostí při zahřátí. Při řezání může proto dojít k zaseknutí listu pily a při vrtání ke změně velikosti vrtaného otvoru. Plastická hmota je náchylná k poškrábání a prasknutí. Při opracování je proto třeba dbát na maximální možnou hladkost výsledného profilu. Jen tak lze zaručit požadované mechanické vlastnosti výrobku.

Plastická hmota není tak pevná jako kov. Proto je na ni třeba při opracování působit menší silou. Je velmi důležité, aby byly všechny řezné nástroje vždy náležitě naostřené. Doporučujeme používat vysoce odolné nástroje s vyšší hřbetní vůlí než při práci s kovy. Při delším řezání je nejlepší používat nástroje s vysokou rychlostí břitu či ostří s uhlíkovým povlakem. Jen tak lze zaručit přesnost a stejnorodost řezu (6).

### ***Skladování a zacházení***

Plexisklové desky v původním balení se nemají skladovat ve venkovním prostředí ani nemají být vystavovány velkým změnám povětrnostních vlivů nebo teploty. Při skladování za podmínek s podstatným kolísáním teploty a vlhkosti vzduchu může dojít k tvarové deformaci (zvlnění) desky a to dokonce i při skladování v paletách ve vodorovné poloze.

Desky jsou chráněny proti znečištění, mechanickému zatížení a poškrábání polyethylenovou fólií. Doporučuje se ponechat PE fólii na deskách až do konečného zpracování. Ochranná PE fólie není určena k dlouhodobé ochraně/expozici v otevřených prostorách – vykazuje pouze skromnou odolnost vůči UV a tepelnou odolnost.

Jsou-li desky skladovány bez ochrany ve venkovním prostředí, je třeba přibližně po čtyřech týdnech odstranit ochrannou fólii, protože hrozí riziko deformace a obtížného odstranění degradované PE fólie. To by mohlo vést k poškození povrchu desky.

Plexisklové desky absorbují vlhkost v závislosti na podmínkách skladování a povětrnostních podmínkách. Absorpce vlhkosti sice nemá praktický vliv na fyzikální vlastnosti, může se však projevit při dalším zpracování desek při vyšších teplotách, např. při prohýbání nebo při zahřívání před tvářením za tepla.

### Čištění

Odstranění ochranné vrstvy indukuje tvorbu elektrostatického náboje na povrchu desky. Tento elektrostatický náboj přitahuje částice prachu ze vzduchu a jiné jemné částice. Před dalším zpracováním se proto doporučuje desky očistit antistatickým postupem (např. pomocí ionizovaného stlačeného vzduchu nebo ručně pomocí tkaniny napuštěné vhodným antistatickým přípravkem). To je zvláště důležité před procesem tváření za tepla, protože prach a částice nečistot způsobují otisky na lisovaných površích.

Pro čištění a péči o desky postačuje obyčejná voda. V případě nadměrného znečištění je dobré desky vyčistit teplou vodou a slabě alkalickým neabrazivním čistícím přípravkem. Desky je třeba vysušit pomocí měkkého hadříku nebo zámišové usně (jelenice). Drhnutí povrchu na sucho může vést k jeho poškrábání a případně i k mechanickému poškození.

Silně zamaštěné a znečištěné povrchy je třeba vyčistit benzinem bez aromatických příměsí nebo petroletherem. Další chemikálie vhodné pro čištění desek jsou například ředěné kyseliny, jako je kyselina citrónová, kyselina chlorovodíková, kyselina sírová, ředěný hydroxid sodný nebo hydroxid draselný, běžný ocet, lakový benzin, neutrální mýdlo a domácí čistící prostředky.

### Řezání

Doporučuje se používat nové nebo dobře ostřené nástroje. Při použití kotoučových pil se dobře osvědčily pilové listy se zuby s destičkami z karbidu wolframu. Při velmi vysokých řezných rychlostech resp. mezních kmitočtech je třeba chladit pilový list stlačeným vzduchem, vodním sprejem nebo pomocí vhodné chladicí emulze. Velmi důležité je používat účinný systém pro odsávání prachu, kterým se odstraňují piliny a úlomky vzniklé při řezání.

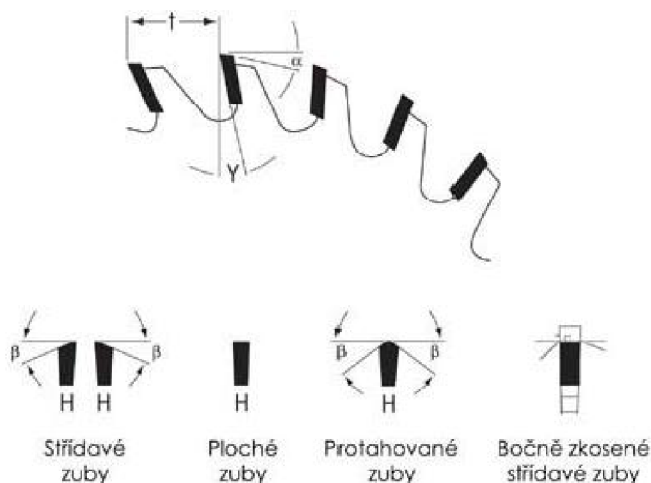
K řezání výlisků se často používají pásové pily. Řezná plocha zůstává značně „hrubá“ vzhledem k mírně „zkříženému“ uspořádání zubů pily.

Kmitací pily se používají k vyřezávání vnitřních vybrání. Řezná plocha je často hrubá. K řezání se mají používat pouze pilové listy vhodné pro akrylové materiály. Při práci s kmitací pilou je třeba pevně tisknout břit pily k povrchu desky a zvolit vysokou řeznou rychlost. Desky musí být důkladně fixovány, aby se zabránilo chvění nebo vibracím.

Tab. 1.6.1 Doporučené hodnoty nastavení (1)

| Nastavení            | Pásová pila                              | Kotoučová pila     |
|----------------------|--|--------------------|
| Vzdálenost zubů      | Tloušťka materiálu < 3 – 1 až 1 mm       | 8 až 12 mm         |
|                      | Tloušťka materiálu 3 až 12 mm – 2 až 3mm | 8 až 12 mm         |
| Úhel hřbetu $\alpha$ | 30 až 40°                                | 15°                |
| Úhel sklonu $\gamma$ | 0 až 8°                                  | 5°                 |
| Úhel zubů $\beta$    | -  | 15°                |
| Rychlost řezání      | 1200 až 1700 m/min                       | 2500 až 4000 m/min |
| Rychlost posuvu      | -  | 20 m/min           |

Nejčastěji jsou však používány pily kotoučové. Snadná ovladatelnost a dobrá manipulace s přířezy umožňuje pohodlné zpracování přířezů. Pro řezání plexiskla musí pilový list splňovat požadavky na geometrii, které jsou uvedeny spolu s řeznými rychlostmi v tab. 1.6.1. Náčrt geometrie pilového kotouče je uveden na obr. 1.6.1.



1.6.1. Příklady pilových listů (1)

### Řezání laserem

Plexisklo lze řezat pomocí laserového paprsku. Tato technologie umožňuje vytvářet komplikované a hluboké otvory a vzory nebo jen povrchové vrypy. Otvory a řezy vytvořené laserem jsou lehce kónické, čisté, přesné a hladké. Povolené odchylky lze při použití laseru udržovat mnohem lépe pod kontrolou než při řezání klasickými stroji. Výkon a rychlost laserového paprsku je třeba optimalizovat, aby se zabránilo nežádoucímu „vybělení“ desky při obrábění. Laserovací stroje se vyrábějí s různým výkonem od 20 do 450W. příklad výkonného laseru je stroj firmy Mercury, obr. 1.6.2, který má výkon 340W a dokáže uříznou plexisklo o tloušťce 30mm.



Obr. 1.6.2 Laser Mercury pro řezání plexiskla (4)

### **Leštění**

Leštění obvodů se provádí na diamantové leštičce. Příkladem takovéto leštičky je stroj CR Clarke 1550 (obr. 1.6.3). Tato diamantová leštička umožňuje leštění povrchu bez vzniku napětí v povrchových vrstvách. Touto technologií vzniká tzv. strojní lesk, čili lesk, ve kterém jsou vidět stopy po řezu nástroje. Tento lesk se na povrchu projevuje kružnicovými stopami, pravidelně se opakujícími. Tímto leštěním se provádí 90% veškerého leštění plexiskla.

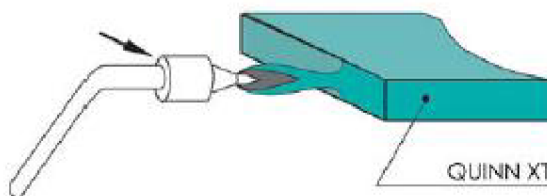


Obr. 1.6.3. Diamantová leštička Clarke 1550 (5)

### **Leštění plamenem**

Tato technologie vyžaduje vysokou zručnost. Potřebujeme k ní malý hořák, např. používaný ve zlatnictví. Toto zařízení obsahuje malou pistoli, která je hadičkou spojena s přístrojem, který pomocí elektrolýzy vyrábí hořlavý plyn.

Po zapálení hořáku a seřízení plamene, směřujeme směr plamene do místa leštění. Vlivem vyvinutého tepla se povrchová vrstva plexiskla ohřívá a jemně spaluje, obr. 1.6.4. To je provázeno „zatáhnutím povrchu,“ který zesklvatí. Tento povrch pak dosahuje optického lesku. Nezkušenost však může způsobit to, že při nadměrně dlouhém natavení povrchu může dojít ke vzplanutí a následné tepelné deformaci výrobku. Proto je tato technologie náročná.



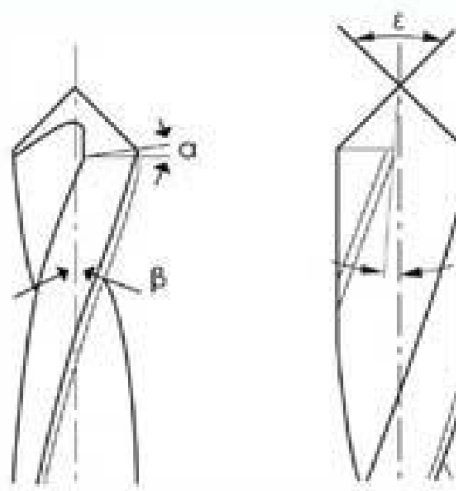
Obr. 1.6.4. Leštění plamenem (6)

### Vrtání

K vrtání lze použít vrtáky na kov běžné kvality. Vrcholový úhel je třeba zabrousit na  $60^\circ$  až  $90^\circ$ , (obr.1.6.5) Nejlepší účinnosti vrtání se dosáhne při použití řezné rychlosti 25 - 80 m/min a rychlosti posuvu 0,1-0,2 mm na otáčku. Hodnoty rychlostí a geometrie naznačuje tab. 1.6.2.

Při použití nadměrných rychlostí posuvu dochází ke vzniku jemných prasklin na materiálu a naopak nízká rychlost posuvu při vysoké řezné rychlosti vede k přehřívání materiálu. Použití materiálu o tloušťce větší než 5 mm vyžaduje chlazení a zvlhčování vrtacími emulzemi nebo chladícím olejem kompatibilním s akrylovými hmotami (6).

Vrtání hlubokých otvorů vyžaduje časté chlazení vrtáku na vzduchu, kterým se zabrání lokálnímu přehřívání. V případě vrtání tenkých desek se doporučuje upevnit desku na pevnou a rovnou plochu, aby se zabránilo tvorbě jemných prasklin při spodní okraji vrtaného otvoru.



Obr. 1.6.5. Schéma vrtáku pro vrtání do plexiskla (6)

Tab. 1.6.2. Hodnoty nastavení geometrie vrtáku ( )

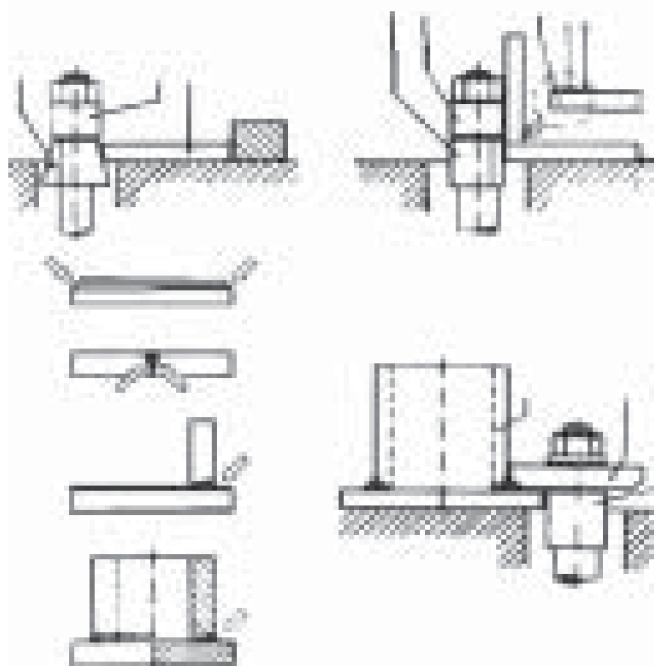
| Nastavení                | Hodnoty          |
|--------------------------|------------------|
| Úhel hřbetu $\alpha$     | 3 až $8^\circ$   |
| Úhel stoupání šroubovice | 12 až $16^\circ$ |
| Vrcholový úhel           | 60 až $90^\circ$ |
| Úhel čela $\gamma$       | 0 až $4^\circ$   |
| Řezná rychlost           | 25 až 80 m/min   |

### Frézování

Plexisklo lze zpracovat pomocí univerzálních tvarových spodních fréz a ručních frézek při řezných rychlostech do 4500 m/min.

Pro frézování malých součástí se používá malých jedno nebo dvoubřitých fréz. Tyto frézy umožňují dokonalé odvádění třísek, vysokou řeznou rychlost a vynikající hladkost řezu. Při použití jednobřitých fréz je třeba dotahovat upínací vřeteno opatrně, aby nedošlo k otisknutí komponent na desku (6).

Při frézování desek a přířezů jedno nebo dvoubřitými čelními válcovými frézami není vždy zapotřebí chlazení, protože tyto frézy produkují méně tepla než vícebřité čelní frézy. Metody frézování spodní frézou jsou naznačeny na obr. 1.6.6.



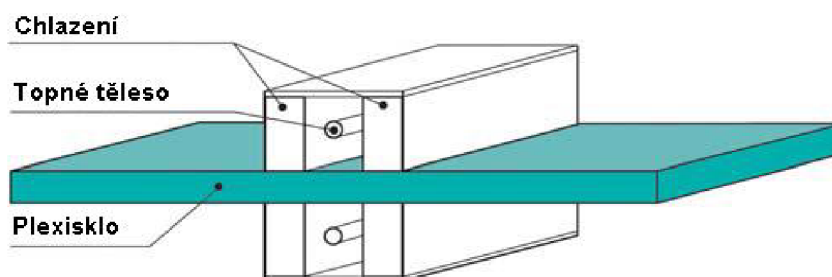
Obr. 1.6.6 Příklady použití spodních frézek (6)

### ***Ohýbání za tepla a za studena***

Postupy ohýbání za tepla zahrnují intenzivní zahřívání desky, po kterém následuje ohnutí a zafixování desky až do jejího vychladnutí. Intenzivní zahřívání se provádí pomocí topné spirály nebo pásky, obr. 1.6.7. Doba zahřívání závisí na použitém vybavení a zvyšuje se podstatně s rostoucí tloušťkou materiálu.

Poloměr ohybu musí být dvakrát větší než tloušťka materiálu, aby se zabránilo zvrásnění a vysokému pnutí. Vizuální vzhled vnitřní části ohybu lze zlepšit použitím největších možných poloměrů ohybu. Šířka zahřívané oblasti musí být alespoň 3 až 5krát větší než tloušťka desky. Pro malé poloměry ohybu je postačující šířka zahřívané oblasti 3krát větší než tloušťka desky.

Příliš malá oblast zahřívání má za následek nadměrné protažení a zatížení v místě ohybu a vede ke zhoršení optických vlastností. Velká šířka zahřívané oblasti umožňuje vytvořit velké poloměry ohybu.



Obr. 2.6.7 Schéma příkladu ohýbání plexiskla (6)

Plexisklo lze ohýbat tlakem. Při zachování minimálního poloměru, tab. 1.6.3, nemá ohýbání za studena vliv na odolnost materiálu vůči klimatickým vlivům, průhlednost, odolnost vůči nárazu apod.

Tab. 2.6.3. Poloměry ohybů pro jednotlivé tloušťky pro ohýbání za studena (6)

| Tloušťka (mm) | Minimální poloměr (mm) |
|---------------|------------------------|
| 3             | 960                    |
| 4             | 1280                   |
| 5             | 1600                   |
| 6             | 1920                   |
| 8             | 2240                   |
| 10            | 2560                   |

### ***Tváření za tepla***

Technika tváření za tepla spočívá ve tvarování termoplastických polotovarů za zvýšené teploty do trojrozměrných plastických výlisků. Materiál desky se zahřeje na teplotu v termoelastickém teplotním rozmezí a vytvaruje se pomocí vhodných forem.

Vakuové tváření vyžaduje tvářecí teplotu 160 až 190°C. Dobrých výsledků lze dosáhnout při zahřátí matrice na 85°C. Ventilační otvory ve vakuových formách by měly mít průměr 0,8 mm; v případě příliš velkých průměrů dochází ke vzniku otisků.

Smrštění materiálu při zpracování desek činí 0,5 až 0,8% v závislosti na použitých postupech (6).

### ***Pozitivní a negativní tváření***

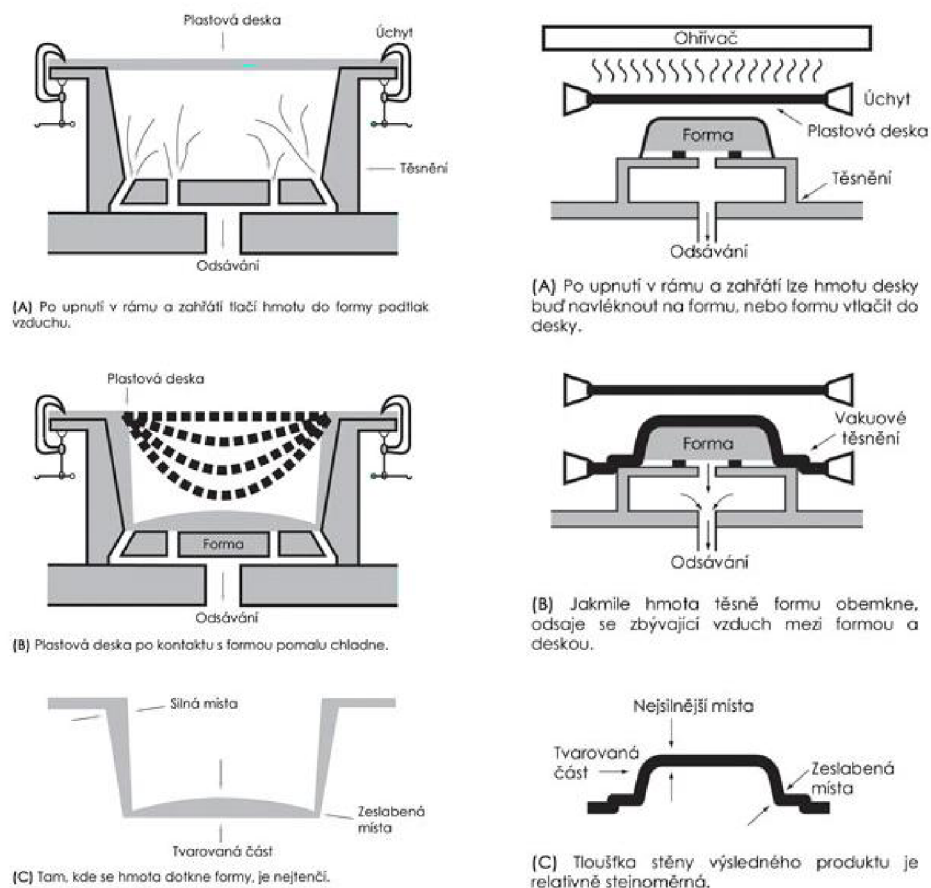
V závislosti na tom, zda se dostane do kontaktu s nástrojem vnitřní nebo vnější část matrice, se tyto techniky nazývají „pozitivní“ nebo „negativní“ tváření,



obr. 1.6.8. Pozitivní tváření spočívá v tom, že se zahřáté polotovary přetáhnou přes formu. Při provádění tohoto postupu mohou některé povrchové oblasti zahřátých polotovarů nadměrně vychladnout a v takovém případě není možné provést kompletní přetažení a ve výlisku se objeví “zesílená místa”.

Některé typické problémy během pozitivního tváření, jako je například zvrásnění nebo tvorba síťové struktury nebo mechanických otisků, lze vyřešit vhodným pneumatickým roztažením před finálním sejmutím. Mechanické stopy mohou být rovněž způsobeny vysokou teplotou nástroje a vysokou rychlostí nástroje.

Negativní tváření spočívá v tom, že se zahřátý polotovar vtlačí do dutiny formy. Tenké rohové oblasti, které se mohou objevit u negativního tváření komponentů s ostrými hranami, lze redukovat mechanickým roztažením horního razníku.



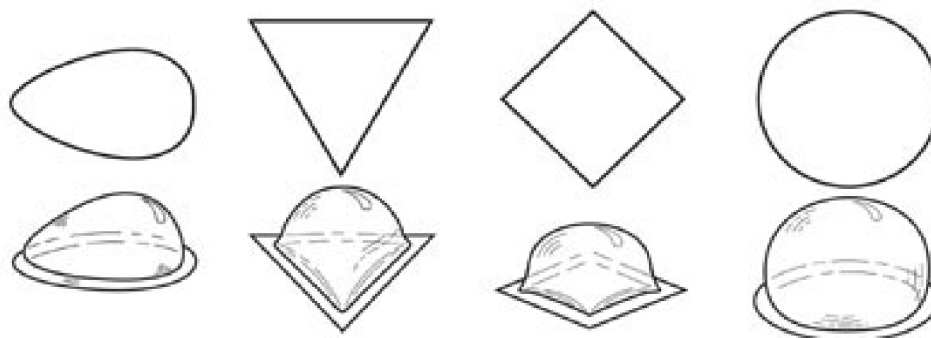
Obr. 1.6.8 Tváření do negativní a pozitivní formy (6)

### **Volné tvarování**

Při použití této metody se zahřátá tabule pomocí proudu vzduchu o tlaku cca 2,76 Mpa protlačí skrz rám negativní formy, obr. 1.6.9. Proud vzduchu

vytvoří hladký finální produkt ve tvaru bubliny, který se obvykle používá například jako víko světlíků nebo střešní okno.

Protože na hmotu působí pouze vzduch, nejsou na výrobku žádné rýhy nebo prolisy. Nemá-li být konečný výrobek zaoblený, lze za rám negativní formy umístit tvarovanou překážku, která vytvoří příslušnou konturu.



Obr. 1.6.9 Příklady výrobků, které lze vytvořit volným tvarováním (6)

## 2 CHARAKTERISTIKA PODNIKU

Firma AZ Plastik, spol. s r.o. Působí na našem trhu od roku 1992. Již od začátku tato firma začala zpracovávat plexisklo a polykarbonát. Svou

specializací si rychle získala mnoho zákazníků a díky tomu mohla investovat a kupovat nové stroje. Firma se specializuje na zakázkovou výrobu a výrobu středně sériovou.

Hlavní sídlo této firmy je v Praze, kde se nachází administrativa a dílny se základním vybavením pro jednoduché zpracování plexiskla a prodejem plexiskla řezaného zákazníkům na počkání. V roce 2001 firma expandovala na Moravu a ve Ždánicích postavila nové haly a administrativní budovy, obr. 2. V těchto halách je soustřeďována veškerá výroba firmy, která je náročnější na zpracování nebo počet kusů. Pro potřeby pokrytí trhu jsou výrobky dvakrát týdně exportovány mezi pobočkami, aby tak byla zajištěna plynulá a rychlá výroba uspokojující všechny zákazníky. Především vysoká kvalita, dána optickými vlastnostmi a rychlost zpracování, je předností této firmy, která je předním zpracovatelem v České republice.

Jednou ze specialit této firmy je výroba leteckých kabin. V této oblasti je snad jedinou firmou v České republice, která dodává leteckému průmyslu plexisklové překryty kabin. Toto svědčí o vysoké odbornosti, kterou si firma za šestnáct let na našem trhu získala.

V současné době zaměstnává firma AZ Plastik, spol. s r.o. 35 zaměstnanců. Aby došlo ke zefektivnění práce a zvýšení ročního obrátu, který činil v roce 2007 cca 36 miliónů korun, začala se firma certifikovat systémem ISO 9001/2000.

Vzhledem k náročnosti a poměrně malým zkušenostem u zpracování plexiskla existuje mezi firmami, zpracovávající plexisklo, velký konkurenční boj. Data a údaje, které jsou použity v následujících odstavcích jsou proto záměrně neúplná, aby nedošlo k úniku cenných informací.



Obr. 2 Areál firmy AZ Plastik ve Ždánicích

## 2.1 Strojní vybavení podniku AZ Plastik, spol. s r.o.

Protože je pro zpracování plexiskla potřeba převážně ručního náradí, je vybavení firmy podobné truhlářským dílnám. Pro dělení materiálu jsou

používány vertikální formátovací pily, pro řezání menších přířezů jsou používány především kotoučové pily. V případě, že je nutno odřezat lemy polotovarů, vzniklé po vakuovém tváření, je použito pásových pil.

Pro ruční frézování jsou použity spodní ruční frézky, které jsou uchyceny ke stolu, většinou vlastní výroby. Firma zakoupila i jeden frézovací stůl, který umožňuje naklápění osy frézování a umožňuje automatický pojezd. Frézovací nástroje jsou převážně válcové kopírovací frézy s ložiskem určené pro stolařské a truhlářské aplikace. Pro potřebu vytvoření rádiusových ploch nebo fazet jsou použity tvarové frézy.

Firma disponuje i speciálními stroji určenými pro obrábění plexiskla. Jsou to především diamantové leštičky firmy Bermaq a Clarke. Leštička firmy Bermaq, obr. 2.1.1, umožňuje leštění rovných a za pomoci natočení leštící hlavy i zkosených ploch. Princip spočívá v upnutí materiálu na stůl a za pomoci automatického pojezdu leštící hlavy dochází k leštění. Leštička od firmy Clarke naopak využívá pojezdu materiálu oproti rotující, nepohyblivé se leštící hlavě. Z hlediska manipulace a jednoduchosti ovládní je častěji využívána leštička firmy Clarke.



Obr. 2.1.1 Diamantová leštička BERMAQ (1)

Dalším speciálním strojem pro obrábění plexiskla je laser. Firma AZ Plastik, spol. s r.o. vlastní dva lasery určené pro řezání plexiskla. První, umístěný na pražské pobočce, má výkon 27W a dokáže řezat plexisklo tloušťky 8mm. Tento stroj je velice zastaralý a využívá jednoduché řízení pomocí programu CASMATE. Druhý, umístěný na nové pobočce, má výkon 350W a se zárukou dokáže uřezat plexisklo o tloušťce až 30 mm. Je to moderní stroj, který pracuje na bázi počítačového řízení s programem ICARO. Svou rychlostí a výkonem vysoce předčí dosud používané lasery. Tento nový stroj je prvním svého druhu v České republice a firma plánuje tímto strojem uspokojit požadavky trhu. Nemůže se však srovnávat s lasery, které řezou kovy. Tyto stroje mají výkon 3500W a jejich velikost může zabrat značnou část dílenského prostoru.

Dalšími CNC stroji, které firma vlastní jsou frézky. Jsou to především stroje určené pro dřevařský průmysl nebo stroje obrábějící lehké neželezné kovy. Největší z těchto strojů je CNC Stratos firmy Anderson, obr. 2.1.2. Tento stroj, s pracovním stolem o rozměrech 1250x2500mm, umožňuje obrábění

velikých deskových přířezů. Tento stroj nachází veliké uplatnění u frézování ochranných plexiskel do sprchových koutů. K upínání přířezů se využívá vakua, které přisaje přířez k desce stolu.



Obr. 2.1.2 Frézovací CNC STRATOS firmy Anderson (7)

Pro frézování menších a přesných výrobků firma využívá CNC HAAS VF4. Tento stroj, určený původně pro obrábění hliníkových obrobků, je využíván k přesnému frézování plexisklových výrobků a výrobě hliníkových forem určených pro vakuové tváření. Upínání je prováděno pomocí upínek a speciálních jednoúčelových přípravků.

Pro ohýbání plexiskla firma vlastní ohýbací stroje s topnými spirálami nebo dráty. Tyto ohýbačky firmy Clarke, obr. 2.1.3, umožňují ohýbat plexisklo v délce 2200mm. Pro vytvoření ohybu je pak využíváno přípravků, které umožňují nastavit úhel a zafixovat ohnutý kus.



Obr. 2.1.3 Ohýbačky plexiskla (5)

Pro ohýbání přířezů velké tloušťky jsou využívány ohýbačky s infračervenými zářivkami o výkonu 2500W. Tyto zářivky dokáží prohřát plexisklo daleko rychleji a intenzivněji než ohýbačky s klasickými dráty, kde se teplo mění pomocí regulátoru proudu, který se nastavuje dle tloušťky materiálu a spolu s ním se nastavuje vzdálenost tepelného zdroje od plexiskla, tak aby nedošlo k spálení přířezu.

Aby nedocházelo k destrukcím v materiálu vlivem tepelného ovlivnění při obrábění, musí se vyrobené kusy žíhat a to buď v průběhu výroby nebo úplně na konci. Toto žíhání se provádí v horkovzdušných elektrických pecích za teplot cca 75 až 85°C.

Firma vlastní celkem 6 pecí různých velikostí určených nejen pro žíhání, ale i pro tváření plexiskla. Největší pec má rozměry 3500x2500x3000mm, obr. 2.1.4. V této peci jsou převážně vyráběny kryty leteckých kabin, které jsou velice náročné na výrobu a vyžadují stálou kontrolu a další manipulace uvnitř pece. Celkově teplota v pecích nepřesahuje 180°C, záleží však na daném zpracování a druhu plexiskla. Pro případy tváření jsou v peci nahřívány přířezy, které jsou pak zakládány do tvarových forem a za pomoci zvýšené teploty, vlivem gravitace nebo jemným dotlačením, vyplní tvar formy.



Obr.2.1.4 Horkovzdušná pec firmy BVD (8)

U vakuového tváření slouží pece pouze k nahřátí plexiskla a tento přířez je pak vyjmut z formy, umístěn na formu lisu a potom vytvarován. Tyto lisy vlastní firma dva. Jeden s pracovním stolem 2500x1800 mm a 1800x1100mm.

Mezi dokončovací metody, které firma využívá, se řadí strojní leštění diamantem, ruční leštění za pomoci speciálních náradí a nástrojů a broušení. Tyto speciální ruční technologie jsou velice náročné na manuální zručnost dělníků a optické vlastnosti, kterých se dosahuje jsou posuzovány individuálně za použití vizuální kontroly. Existují pouze základní pravidla pro dokončování, která obsahují postupy pro hrubé a jemné broušení, použití brusných papírů a následné použití leštících prostředků. Z hlediska zpracování se řadí leštění spolu s lepením k nejsložitějším a časově nejnáročnějším technologiím zpracování plexiskla.

K vybavení firmy nelze opomenout i manipulační prostředky, které jsou využívány k přemísťování materiálu i výrobků. Protože jsou desky plexiskla dodávány ve formátech 2050x3050mm, jsou desky uloženy dle hmotnosti a počtu kusů na dřevěných paletách. Tyto palety jsou přemísťovány pomocí vysokozdvizných vozíků DESTA 3232. Výrobky jsou pak přemísťovány v přepravních bednách pomocí paletových vozíků.

### 3 CHARAKTERISTIKA VÝROBKU

Plexisklový sokl gramofonu je vyroben z litého plexiskla. Toto plexisklo je použito z důvodu lepší obróbitelnosti a lepší tepelné odolnosti pro změnám teplot, které vznikají při obrábění a ovlivňují rozměrovou stálost výrobku.

Jedná se vlastně o výrobek s frézovanými drážkami, otvory a polodrážkami, které slouží pro upnutí elektronických a dalších mechanismů. Všechny tyto části jsou broušeny a následně leštěny do optického lesku. Aby byla zaručena vysoká přesnost při obrábění a vytvořeny kvalitní povrchy, které by se vlivem nekvalitního opracování velice špatně brousily, je použito CNC výrobních strojů.

Na tento výrobek jsou kladeny vysoké nároky týkající se jak rozměrů tak optického zpracování výrobku. Veliké nároky jsou kladeny i na materiál. Vzhledem na tyto požadavky je použit německý materiál Plexiglas, který svými vlastnostmi a vysokou optickou kvalitou plně vyhovuje všem požadavkům. Zvláště optické vlastnosti jsou u tohoto materiálu na vynikající úrovni oproti ostatním výrobcům, u kterých se častěji objevují nečistoty a drobné vady vzniklé při obrábění.

Protože se jedná o výrobu, na které je veliký podíl ruční práce závislé na zkušenosti a zvláštních schopnostech jednotlivých pracovníků, je celá výroba velice časově náročná a tato náročnost se i odráží ve vysoké ceně výrobku.

Firma AZ Plastik, spol. s r.o. vyrábí tento výrobek úspěšně již několik let a za tuto dobu došlo ke zdokonalení výroby a zkvalitnění vztahů se zákazníkem. Problémy, které vznikaly na počátku produkce, kdy byl odhalen problém týkající se porušení povrchu při expedici, byl po vzájemné dohodě obou firem rychle odstraněn způsobem předání a kontrolou kusů přímo pracovníky zákazníka. Ti při převzetí zkontrolují expedované kusy a případné porušení povrchu je ihned odhaleno a opraveno. Byly tím tak odstraněny dohady o vzniku škod.

#### **4 VÝROBA GRAMOFONOVÉHO SOKLU**

Výrobní proces je soubor na sobě nezávislých činností, při kterých se přetváří výchozí materiál v hotový výrobek. Výrobní proces je realizován technologickými postupy, které dávají stručný návod na zpracování polotovarů v součást nebo hotový výrobek a dělí se obecně na technologické postupy hlavní a pomocné. K hlavním patří technologické postupy součástí a montáže finálních výrobků z nich. K pomocným pak výroba a ostření nářadí, oprava zařízení, vnitrozávodní doprava apod.

Technologický postup určuje potřebné výrobní zařízení, nářadí řezné, upínací, měřicí a pracovní podmínky potřebné pro danou operaci tak, aby dílec nebo celý výrobek byl podle daného technologického postupu hospodárně vyrobitelný a splňoval kvalitativní a kvantitativní požadavky dané technickou dokumentací.

V průmyslové praxi a zejména v technologii obrábění se setkáváme s jevem, že i přes zachování naprosto stejných technologických parametrů žádný rozměr na výkrese není vyrobitelný opakovaně ve jmenovité velikosti a žádné výrobní zařízení neumožňuje trvale vyrábět danou veličinu absolutně stejných rozměrů. Proto je nutné ve výrobní praxi s těmito nepřesnostmi počítat předem a předepisovat přípustné meze formou tolerancí tak, aby vyrobený dílec splňoval kvalitativní požadavky určené jeho funkcí v sestavě při zachování standardních nákladů na výrobu. (13)

Obrábění plexiskla je velice náročné na zpracování neboť se obrábí díly, které jsou transparentní a každé sebemenší poškození povrchu, špatná volba řezných podmínek nebo i jiné zanedbání, je ve výrobku vidět a tyto chyby lze odstranit velice obtížně. Jako každé zpracování plastů je oproti zpracování kovů těžší určit řezné podmínky a často se tak děje díky odhadu pracovníků nebo vizuální kontrole obrobenej plochy.

Kompletní výroba je realizována firmou AZ Plastik, spol. s r.o. na pobočce ve Ždánicích, kde se nacházejí nejlepší podmínky pro zhotovení konečného výrobku v požadované kvalitě i kvantitě. Na této pobočce je produkt vyráběn šest let a za tuto dobu došlo k výraznému zproduktivnění výroby a zlepšení kvality vlivem použití novějších metod obrábění, volbou vhodnějších nástrojů a větší kvalifikací pracovníků.

#### **4.1 Dělení plexiskla**



Materiál Plexiglas GS je standardně dodáván v rozměrech 2030x3050 mm. Pro výrobu soklu gramofonu je nutné použít materiál o tloušťce 20 mm. Tyto desky jsou standardně převáženy na dřevěných paletách a aby nedošlo k jejich poškození při manipulaci jsou opatřeny ochrannou fólií. Tyto fólie zabraňují mechanickému poškození ovšem jen do určité míry. Tloušťka ochranné fólie se mění s tloušťkou materiálu.

Pro základní dělení plexiskla se používá formátovacích pil. Tyto kotoučové pily jsou buď horizontální nebo vertikální konstrukce. Příslušná deska se umístí na základní rampu a zafixuje pomocí ručních svěrek. Pojezd, na kterém je upnut motor s pilovým kotoučem, je uložen na příčném vedení a tato hlava je pak otočná o 90° a umožňuje řezání ve směru podélném.

Systém odměřování je elektronický a umožňuje okamžité odečítání polohy. Pneumatický systém zajišťuje zablokování podélného nebo příčného pojezdu tak, aby nedošlo k vychýlení ze stanovené polohy. Odstranění třísek z místa řezu je zabezpečeno vzduchovým odsáváním. Motory je také zajišťován automatický pojezd řezací hlavy, který je možné regulovat dle tloušťky materiálu.

Firma AZ Plastik, spol. s r.o. vlastní vertikální formátovací firmu od firmy Attl a.s., typ AFM 3000 MPS, obr. 4.1.1. Na této pile lze bez větších problémů řezat desky o rozměrech 2150x3100 mm do hloubky řezu 70 mm.



Obr. 4.1.1. Formátovací pila AFM 3000 MPS (9)

Pilové kotouče firmy DIMAR 90107066, které jsou použity pro nařezání plexisklové desky, mají průměr 300mm, šířku 3,3 mm a 96 zubů.

Velmi důležité je používat účinný systém pro odsávání prachu, kterým se odstraňují piliny a úlomky vzniklé při řezání. Řezná plocha zůstává značně hrubá vzhledem k mírně zkříženému uspořádání zubů pily. Proto je nutné po řezání provést broušení nebo leštění.

Formátování probíhá za obsluhy dvou pracovníků, kteří desku upevní na základní rovinu a pomocí pojezdu ručně nastaví počáteční prořez materiálu ve

vzdálenosti cca 15mm od kraje desky. Toto zarovnání je nutné provádět před každou řezací operací, protože výrobce nezaručuje přesnost a kolmost zpracování svých polotovarů.

Po odstranění této části pak pracovník vynuluje digitální měřidlo a odblokuje pojezd, přičemž posunem pojezdu nastaví požadovanou vzdálenost. Tu si ověří na digitálním ukazateli. Po zablokování pojezdu nastaví rychlost řezného posuvu a spustí řezání, obr. 4.1.2. Tento proces opakuje dokud nenařeže požadovaný počet kusů, v našem případě přířezy o rozměrech 472x350 mm. Tento přířez je počítán s přídavkem na obrobení 5mm.



Obr. 4.1.2. Řezání na formátovací pile a výsledné přířezy v ochranné fólii

## 4.2 Sušení plexiskla

Plexisklo, stejně jako většina plastů, pohlcuje vlhkost během skladování. V případě zpracování za vyšších teplot tak může dojít ke vzniku bublin. Proto se doporučuje předsušení za teplot pod bodem měknutí. U desek s vysokým obsahem vlhkosti za normálních okolností postačuje předsušení v sušičce s cirkulací vzduchu po dobu 24 hodin.

Pro dosažení dobrých výsledků sušení je třeba zajistit cirkulaci vzduchu mezi deskami. Pro minimalizaci nákladů je vhodné využít teplo vzniklé při sušení k následnému tváření a to ihned po skončení procesu sušení.

Před frézováním je třeba plexisklo nejprve vysušit a eliminovat tak vlhkost. Provádí se to ohřátím na 75 až 80°C ve větrané peci po dobu 15 až 20 hodin. Jednotlivé kusy jsou očištěny tlakem vzduchu a založeny do elektrické horkovzdušné pece. Ochranná fólie se nestrhává.

Je-li plexisklo zahříváno poprvé, sráží se a při stanovování rozměrů polotovarů se musí proto počítat s přídavkem. Lité plexisklo, které jsme použili, se sráží rovnoměrně do 2% v obou směrech.

## 4.3 Frézování plexiskla

Frézování plexisklového přířezu je nejdůležitější operací, která ovlivňuje konečnou přesnost výrobku a hlavně celkový čas dokončovacích operací. Kvalita povrchu, která je daná po frézování musí být co nejlepší a proto velmi záleží na zvolení rezných podmínek a nástrojů.

Frézování je prováděno na obráběcím CNC stroji HAAS VF4, obr. 4.3.1. Tento 4-osý moderní obráběcí stroj umožňuje splnit všechny požadavky na kvalitu. Vertikální obráběcí centrum s rozměry pracovního stolu 1270x508x635 mm (xyz), má výkon 22,4 kW, má vysokorychlostní zásobník nástrojů, rychloposuvy 35,5 m/min, šnekový dopravník třísek, zabudovaný transformátor, metrickou tabulku, PCOOL, Visual Quick Code, pevné závitování, makra, rotace a změnu měřítka souřadnic (10).



Obr. 4.3.1 Frézovací centrum HAAS VF4 (10)

### ***Chlazení během obrábění***

Mimořádně rychlé obrábění způsobuje lokální přehřátí, které vytváří vnitřní pnutí, které je třeba následně uvolnit žíháním. Jinak by dříve nebo později způsobilo toto pnutí jemné povrchové trhliny, které by se mohly rozšiřovat účinkem rozpouštědel nebo namáháním. Materiál se během obrábění nepřehřeje, pokud se dodrží následující všeobecné pokyny:

- ◆ Chlazení vodou, která obsahuje 2% rezného oleje ("rozpuštěný" olej) nebo proudem stlačeného vzduchu přímo do místa řezu.
- ◆ Zajištění účinného odstraňování třísek.
- ◆ Udržování perfektně ostrých nástrojů.

Extrudované plexisklo je citlivější na přehřátí a rezné nástroje proto musí být perfektně ostré a musí být zajištěno dostatečné chlazení. Lité plexisklo, které jsme použili, lépe odolává teplotním rozdílům a to teplotním rozdílům 10 až 15°C dané tabule bez vlivu na konečnou kvalitu.

### ***Odstraňování třísek***

Během celého procesu obrábění musí být zaručena čistota a odstraňování třísek z povrchu pomocí tlaku vzduchu. Volné třísky, které dopadají na povrch mohou zanechat drobné škrábance a při manipulaci a upínání plexisklových přířezů se mohou zadřít do povrchu.

### **Frézovací nástroje**

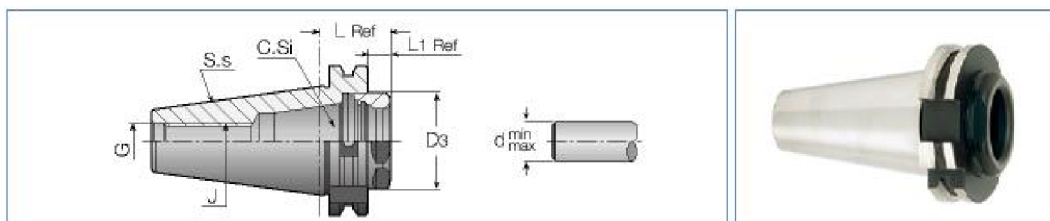
Frézovací nástroje patří po soustružnických nožích mezi nejdůležitější obráběcí nástroje. Frézováním vyrábíme jak rovinné, tak i tvarové plochy. Fréza patří mezi vícebřité nástroje rozměrové a je výrobně mnohem náročnější (13).

Frézovací nástroje, které jsou používány k obrábění plexiskla jsou standardní nástroje pro obrábění kovů. Pro obrábění plexiskla je velmi důležité vytvořit kvalitní povrch a ne všechny nástroje tomuto požadavku vyhovují. Bohužel dnes nejsou běžně dostupné nástroje vyrobené speciálně pro obrábění plexiskla, ale pouze pro obrábění technických plastů. Tyto nástroje byly mnohokrát zkoušeny a bohužel nedosáhly takových výsledků jako nástroje pro obrábění hliníku a kovů.

Nástroje, které se používají, jsou čelní válcové frézy, dvou-, tří- a čtyřbřité, převážně celistvé, s válcovou stopkou. Frézy s vyměnitelnými destičkami se používají velmi omezeně, především pro odebrání velkého množství materiálu.

Pro výrobu plexisklového soklu gramofonu jsou pro velké zkušenosti a k velké spokojenosti s kvalitou povrchu používány frézy firmy ISCAR. Mateřská firma ISCARu sídlí v izraelském Tefenu a patří již řadu let ke světové špičce v oblasti vývoje, výroby a celosvětové distribuce obráběcích nástrojů a řezných materiálů, které nacházejí uplatnění v nejrůznějších průmyslových odvětvích vyspělých zemí všech kontinentů. Strategie firmy spočívá nejen v důrazu na vysokou kvalitu a výkonnost vyráběných nástrojů a řezných materiálů, ale též v jejich upotřebitelnosti jak v podmínkách průmyslových gigantů se sériovou i kusovou výrobou, tak i v oblasti drobnějších výrobců s rozmanitou univerzální výrobou a mnohdy i velmi speciálními požadavky na nástroj. I v této oblasti firma velmi pružně reaguje a je schopna splnit téměř každý ekonomicky zdůvodněný požadavek zákazníka. V České republice je firma zastupována v plném rozsahu a zprostředkovává veškerý kontakt od speciálních požadavků na nástroj u výrobce v Tefenu až po technologické ověření a zavedení do provozu v místních podmínkách uživatele (11).

Kromě technického informačního servisu zajišťují pracovníci též bezprostřední technickou pomoc v podobě řešení technologické problematiky, provozní aplikace nejmodernějších výkonných nástrojů a stanovení optimálních řezných parametrů v konkrétních podmínkách u zákazníka.



Obr. 4.3.2 Upínač DIN69871 40 ER32 (11)

Také upínače jsou použity od firmy ISCAR. Jedná se převážně o upínače SK 40 a typ DIN69871 40 ER32, obr. 4.3.2. Tyto upínače se standardně

používají pro většinu frézovacích nástrojů, ale v případě nutnosti jsou vyměněny za speciální upínače s prodlouženými těly umožňující upínání speciálních nástrojů

### ***Příprava materiálu***

Materiál, který je naformátován a vysušen, je na paletách dodán do obrobny. Obsluha CNC musí jednotlivé přířezy roztřídit, protože materiál, který je použit, je lité plexisklo a to ve své tloušťce kolísá. Reálně může plexisklo tloušťky 20mm kolísat od 18,5 až do 22mm tloušťky. Jednotlivé hromádky, které jsou roztříděny dle tlouštěk, jsou popsány a dle tohoto rozměru je pak nastavovaná výška v ose „z“. Výrobní tolerance, které jsou předepsané na výkrese, umožňují z větší části odchylku tloušťky ignorovat, ale pro přesné obrobení je doporučeno přířezy roztřídit. Takto rozdělené přířezy jsou vizuálně zkontrolovány jestli neobsahují ve svém objemu nečistoty a vměstky, které jsou nežádoucí. V případě, že dojde k odhalení nečistot, musí obsluha kus označit a předat výstupní kontrole, která přířez vyřadí. Takový to kus se zpravidla reklamuje přímo u výrobce.

### ***Upínání***

Upínání je provedeno pomocí vakuového systému na speciální hliníkový přípravek., obr. 4.3.3. V tomto přípravku jsou vyfrézované kanálky, které pomáhají zvětšit činnou plochu, pomocí které se odsává z místa pod obrobkem vzduch. Pro zvýšení produktivity jsou na pracovním stole upnuty dva hliníkové přípravky, na kterých se postupně obrábí nejdříve jedna strana a pak po otočení strana druhá zároveň se stranou první.

Přesné upnutí v druhé operaci je zabezpečeno upnutím za čep, který je vsunut do otvoru vyfrézovaném v předchozí operaci. Důležitá je opět čistota před upnutím, aby nedošlo k otláčení třísek do materiálu.



Obr. 4.3.3 Hliníkové upínací přípravky

### ***Software***

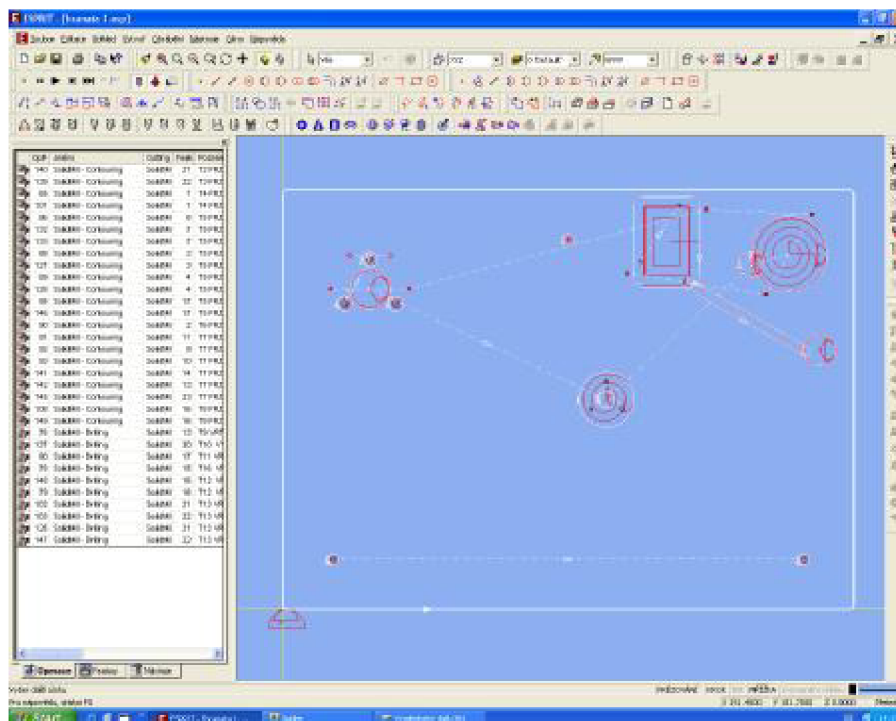
Obráběcí centrum HAAS pracuje se systémem Fanuc. Software, ve kterém vytváří a edituje obsluha CNC výkresy a programy se jmenuje Esprit. CAM Esprit nabízí vysokou variabilitu a možnost v jednom standardním rozhraní programovat frézky až do pěti plynule řízených os, soustruhy do 22 os včetně frézařsko-soustružnických center s „B“ osou a drátořezy do pěti os.

V České a Slovenské republice je momentálně nainstalováno 127 licencí tohoto programu. Za tímto množstvím stojí široká podpora CNC strojů od nejjednodušších CNC frézek až po složitá centra.

Tato podpora vzniká úzkou spoluprací mezi výrobcem softwaru DP Technology a dalšími výrobci strojů (Citizen, Makino, Mazak, Nakamura Tome, Haas, Mori Seiki, Okuma, Tsugami a mnoho dalších). Díky tomuto je zajištěna podpora odladěných postprocesorů, včetně speciálních postprocesorů pro Mazatrol a Tornos-TB Deco (12).

Velice jednoduchá obsluha tohoto programu umožňuje importovat výkresy vytvořené v programu AutoCAD a pouze definovat dráhy a řezné podmínky. Protože firma AZ Plastik, spol. s r.o. nemá konstrukční nebo technologické oddělení, vytváří obsluha strojů programy sama. Tento přístup je velice výhodný neboť umožňuje rychle reagovat na změnu řezných podmínek a odladovat programy. V současné době je program již odladěn a upravuje se pouze hodnota v ose „z“ dle výšky přířezu.

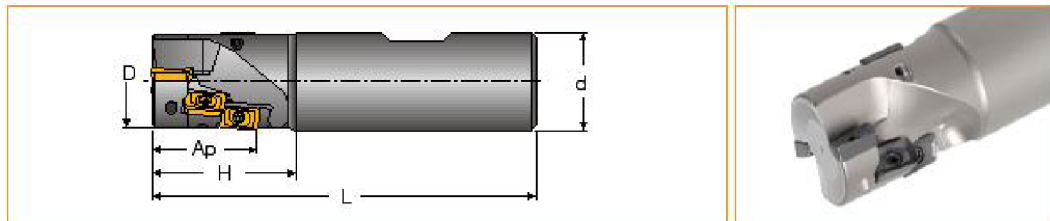
NC program, který je vytvořen pro frézování soklu gramofonu, má dvě části. První program je naprogramován pro frézování jedné strany, obr. 4.3.4 a jednoho přířezu a druhý program obsahuje frézování jedné i druhé strany na jedno upnutí. Tím dochází ke zvýšení produktivity.



Obr. 4.3.4 CAM program Esprit

### **Frézování**

Po provedení kontroly je na první upínací přípravek upnut první kus. První operace, která se u frézování gramofonového soklu začíná, je frézování obvodů. Pro tuto operaci je použit nástroj s vyměnitelnými břitovými destičkami o průměru 25mm **HP ANK D25-28-03-W25-7**, obr. 4.3.5. Tento nástroj je použit pouze pro hrubování obvodů. Dostatečná tuhost nástroje a větší počet břitů zaručuje odebrání třísky v požadované kvalitě a rychlosti.



Obr. 4.3.5 Fréza ISCAR HP ANK D25-28-03-W25-7 (11)

Hrubovací operace je provedena s přídavkem na začištění 0,7 mm. Celkový rozměr přířezu je nyní 340,7x462,7mm. Pro obrobení načisto je použita trojbřitá čelní válcová fréza o průměru 20mm **ECC200E38-3C20**. Touto frézou se začistí obvody na konečný rozměr 340x462mm.

Řezné podmínky, které obsluha nastavuje, se nastavují téměř u všech frézovacích operací stejně. Pouze pro frézování obvodu se nastavují větší řezné rychlosti. Chlazení je pomocí proudu vzduchu, počet otáček  $n = 3000 \text{ min}^{-1}$ , posuv  $f = 2500 \text{ mm/min}$  a velikost třísky  $a_f = 5 \text{ mm}$ . Pro dokončení se nastavuje  $n = 8000 \text{ min}^{-1}$ ,  $f = 1400 \text{ mm/min}$  a velikost třísky  $a_f = 0,7 \text{ mm}$ . Pro operace vrtání se nastavuje  $n = 1000 \text{ min}^{-1}$  a posuv  $f = 300 \text{ mm/min}$ . Pro frézování otvorů a drážek se nastavují parametry  $n = 4500 \text{ min}^{-1}$  a  $f = 1200 \text{ mm/min}$ .

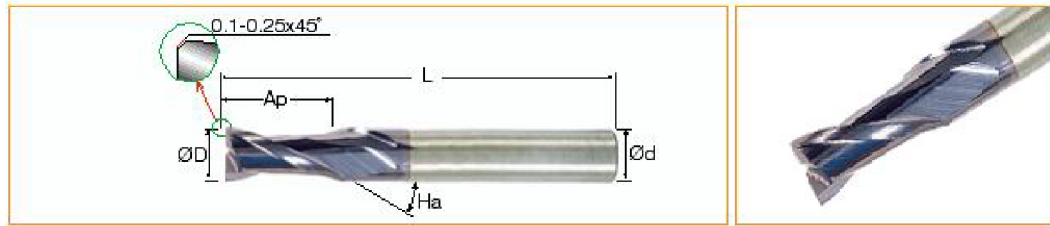
Po ofrézování obvodu jsou frézovány slepé a průchozí otvory. Tyto otvory jsou po frézování broušeny a leštěny a proto nemohou být vrtány. Naopak otvory, u kterých se nevyžaduje optická kvalita povrchu mohou být vrtány a to obyčejným vrtákem na kov, který má zabroušený úhel špičky na 90°. Větší a střední otvory jsou frézovány trojbřitými nástroji o průměru 10 mm **ECC100E22-3C10**. Kapsa pro vypínač je frézována opět trojbřítým nástrojem o průměru 12mm **ECC120E25-3C12**, obr. 4.3.6.



Obr. 4.3.6 Fréza ISCAR ECC120E25-3C12 (11)

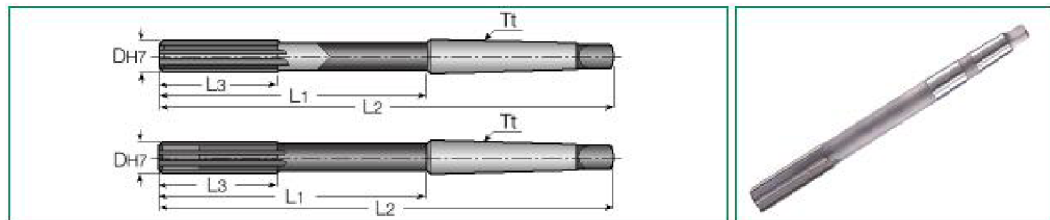
Frézování první strany je zakončené vyfrézování kanálku pro rameno gramofonu. Tento kanálek je frézován dvoubřitou frézou o průměru 4 mm

**ECC040A12-2C04**, obr. 4.3.7. Pro tuto frézu je nutno nastavit nižší rychlost posuvu cca  $f = 800 \text{ mm/min}$ .



Obr. 4.3.7 Fréza ISCAR ECC040A12-2C04 (11)

Konečná operace, která se provádí na první straně, je vystružení otvoru průměr  $8,1_{-0,05} \text{ mm}$ . Pro tento atypický rozměr byl zakoupen strojní výstružník o průměru 9 mm **RM-SHR-0900-H7S-MT1- CH 07**, obr. 4.3.8. Tento výstružník byl potom zabroušen na průměr 8,1 mm.



Obr. 5.3.8 Výstružník RM-SHR-0900-H7S-MT1- CH 07 (11)

Po vystružení posledního otvoru je ukončen první NC program. Při zahájení série se frézuje pouze jeden kus z jedné strany. Při frézování dalšího kusu se nahrává druhý program, který frézuje jednu i druhou stranu soklu zároveň.

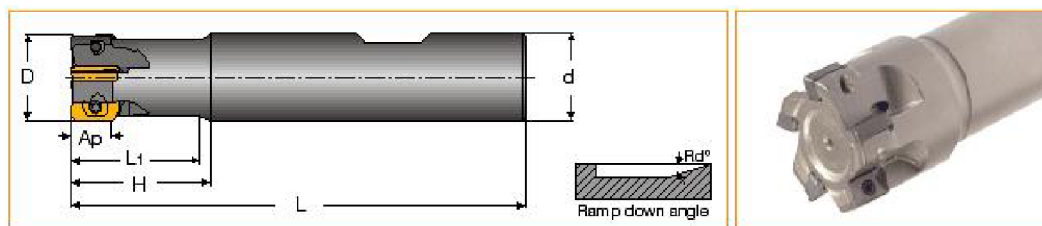
První frézovaný kus je upnut za otvor na druhý upínací přípravek a na následující kus je upnut na první upínací přípravek. Důležité je opět dosedací plochy očistit aby nedošlo k otlacení třísek do povrchu plexiskla.

Po upnutí je spuštěn druhý NC program, který začíná frézováním první strany. Po dokončení se začíná frézovat strana druhá. Jednou z prvních operací je vrtání průchozích otvorů a frézování otvoru pro vypínač. Ten je frézován dvoubřitou frézou o průměru 3 mm **ECC030A10-2C03**.

Po vyfrézování otvoru pro vypínač je nutno vyfrézovat otvor pro umístění pohonu gramofonu. Tento otvor o průměru 72mm je frézován vícebřitou frézou o průměru 20 mm **HP E90AN-D20-5-W20-07**, obr. 4.3.9.

Díky většímu počtu břitů dochází k rovnoměrnému odebrání třísky aniž by docházelo k „napalování“ materiálu na povrchu plexiskla. Tato chyba je nejčastějším projevem špatně nastavených rezných rychlostí. Její odstranění, které je prováděno broušením, je velice časově náročné a prodražuje tím konečnou cenu výrobku a ovlivňuje výslednou produktivitu. Celková doba, nutná pro vyfrézování jednoho kusu, činí **22 minut**.





Obr. 4.3.9 Fréza HP E90AN-D20-5-W20-07 (11)

Všechny otvory, drážky, polodrážky a kapsy jsou frézovány nejdřív nahrubo a pak načisto. Pro začištění se používá přídavku 0,2 mm, který je odebrán najednou. Pro vytvoření odpovídajícího povrchu je třeba zajistit ostré nástroje a dostatečně tuhé, aby při frézování ve větších hloubkách nedocházelo k vibracím, které nepříznivě ovlivňují průběh frézování.

Frézování plexiskla, obr. 4.3.10, je náročnou operací zvláště jsou-li kladeny požadavky na optickou kvalitu povrchu. Vzhledem k tomu, že se nejedná o standardní materiál, pro který by platily obecně uznávané poučky, je hledání správných parametrů pro nastavení řezných podmínek velice náročné a často k jejich nastavení dochází zkouškou i za cenu destrukce materiálu a nástroje.



Obr. 4.3.10 Frézování plexiskla na stroji HAAS VF4

Jednotlivé vyfrézované kusy jsou sejmuty z upínacích přípravků a uloženy na přepravní box. Každý kus je opatřen průvodním listem, do kterého se zaznamenává teplota za jaké se obrábí, kontrolované rozměry a jméno frézaře. Zvláště teplota, za které se obrábí, je důležitá, protože ovlivňuje rozměrovou toleranci výrobku.

Po vyfrézování jsou kusy podrobeny mezioperační kontrole, která zahrnuje kontrolu rozměrů a vizuální kontrolu povrchu.

## 4.4 Broušení plexiskla

Dokončovací operace jsou u zpracování plexiskla jedny z nejnáročnějších operací. Na dokonalosti vybroušené plochy závisí úspěšnost leštících operací a tím i optické vlastnosti leštěných ploch. Protože má zákazník velmi vysoké nároky na optické vlastnosti výrobku, je broušení a leštění věnována velká pozornost.

Základní předpoklad pro správné vybroušení všech ploch je dobře připravená frézovaná plocha z předchozí operace. Abychom dosáhli kvalitně vybroušené plochy, musíme se řídit pravidlem, které určuje postup pro broušení plexiskla. Toto pravidlo se týká broušení smirkovým papírem, který je nejčastěji používaným brusným médiem.

Doporučuje se broušení probíhající za mokra, aby se předešlo zahřívání třením, které je charakteristické pro smirkování za sucha. Při použití vody vydrží brusný materiál déle a zvyšuje se také jeho účinnost. Postupně je třeba používat jemnější a jemnější smirek, například hrubé obroušení karbidem křemíku o hrubosti 80, jemné vybroušení karbidem křemíku o hrubosti 280 – bez ohledu na to, zda se provádí za mokra nebo za sucha, konečná úprava smirkovým papírem o hrubosti 400 nebo 600.

Po skončení procesu a odstranění veškerého brusného materiálu je možné pokračovat dalšími úpravami. Stopy po předchozích pracovních krocích už nesmějí být vidět. Při strojním broušení nesmí být přitlačen obráběný díl příliš dlouho a příliš silně, protože příliš velké teplo vzniklé třením může způsobit pnutí a později drobné trhlinky.

Pokud se nachází na povrchu drobné oděrky nebo škrábance, vzniklé při manipulaci nebo v předchozích operacích, je dobré je odstranit nejprve brusnou vatou a po té se brousí speciálními smirkami o hrubosti 30, 15 a 8 mikronů. Následně se pak může leštit.

### 4.4.1 Broušení otvorů

Broušení otvorů a tvarových ploch je velmi složitou a odbornou činností. Složitosti celé operace napomáhá i fakt, že současný trh s brusným nářadím a nástroji plně nepokrývá požadavky složité výroby. Pracovníci jsou nuceni si vyrábět mnoho přípravků v podobě dřevěných válečků, na které se přilepí smirkový papír. I díky tomuto faktu jsou pracovníci nuceni si pomáhat improvizací a degradují tak, ne však svou vinou, tuto výrobu z průmyslové na vysoce odbornou ruční práci závislé na zručnosti a schopnostech jedince. Firma AZ Plastik, spol. s r.o. však za dobu, kdy sokl gramofonu vyrábí, znormovala a zjednodušila tento proces natolik, že i méně kvalifikovaní a zruční dělníci jsou po krátkém zaškolení schopni činnost vykonat.

Nástroje, pro broušení otvorů a tvarových ploch, jsou smirkové papíry různé hrubosti od 220 do 400. Tyto smirky jsou v tenkých páscích nalepeny na dřevěné válečky s upínací stopkou a upnuty v hlavě akumulátorové vrtačky **BOSCH GSR 14,4V**, obr. 4.4.1. Toto ruční nářadí vyhovuje jak svým výkonem tak svou hmotností. Zvláště hmotnost je důležitá, protože při vykonávání složitých pohybů, jako se u broušení dosahuje, dochází ke vzniku únavy pracovníka a tím ke snížení produktivity.



Obr. 4.4.1 Broušení otvorů pomocí brousících přípravků

Tato náročná výrobní operace je náročná i časově. Pokud je povrch dobře připraven tak vybroušení otvorů jedno kusu trvá cca **30 minut**. V případě komplikací se špatně vyfrézovaným povrchem, které mohou vzniknout použitím tupého nástroje, se může celkový čas zvětšit až dvojnásobně.

Tyto problémy nastávaly na počátku výroby než se odladily frézovací programy a zajistily nástroje, které zaručily dostatečnou kvalitu obrobené plochy. V současné době však k těmto problémům nedochází.

#### 4.4.2 Broušení obvodů

Tak jako u broušení otvorů tak i u broušení obvodů využíváme smirkové papíry. Protože se u broušení obvodů jedná převážně o rovinné plochy, nemusí se používat vyráběné brousící kotoučky. Přířez, který je volně položen na jemné látce je přímočarými pohyby posunován proti kotouči se smirkovým papírem o průměru 125mm. Tento smirek je přilepen pomocí suchého zipu na brusný kotouč vibrační excentrické brusky **BOSCH GEX 125 AC**, obr. 4.4.2. Broušení je prováděno za sucha a opět se postupuje od hrubé zrnitosti smirku až k nejjemnější, přičemž nejjemnější kotouč má zrnitost 400.

U této operace je nutné dbát na zvýšenou čistotu, aby posunováním výrobku po jemné látce nedošlo k poškrábání povrchu, který je stále maskován ochrannou fólií. Nutné je taky často kontrolovat kvalitu povrchu a rovnoměrně strany brousit takovým způsobem, aby nedošlo v určitých místech k probroušení a tím k optickému zvlnění hrany.

Speciální operací u broušení obvodů je broušení fazet. Tyto fazety jsou opět broušeny ručně a snadno tak může dojít k vychýlení brusného náradí a tím ke vzniku nerovnoměrné plochy fazety. Tato operace je proto náročná na zručnost pracovníka.

Celkový čas nutný pro broušení obvodů a fazet je cca **35 minut**.



Obr. 4.4.2 Broušení obvodů a fazet bruskou BOSCH GEX 125 AC

## 4.5 Leštění plexiskla

Leštění je konečnou výrobní operací při výrobě gramofonového soklu. Tato operace je stejně jako broušení velice specifickou a složitou operací. Vyžaduje znalosti o chování plexiskla při obrábění a manuální zručnost. Protože je leštění operací konečnou a udávající celkový vzhled výrobku, velmi záleží na jejím zpracování. Protože jsou optické nároky dané zákazníkem vysoké, bylo pro ruční leštění gramofonového soklu vyvinuto několik přístrojů zaručující dostatečné opracování ploch. Po zkušenostech s těmito přístroji se zakoupily lešticí přístroje **PROXXON FBS 12/E**. Toto mikronářadí umožňuje měnit rozsah otáček od 3000 až 15000 ot/min a svou velikostí dovoluje upnout malé lešticí kotoučky.

Důležitým faktorem u leštění je znalost chování plexiskla při zahřátí. Pokud nastavíme špatně otáčky a zvýšíme tlak lešticího kotoučku na plochu plexiskla dochází k „napálení“ povrchu a vzniku matné skvrny. Tuto skvrnu již nelze rozleštit a musí se znovu vybrousit. Případná nepozornost pracovníka tak může ovlivnit výsledný čas potřebný pro vyleštění jednoho kusu.

Jedním z požadavků zákazníka je optický lesk všech hran. Tento lesk lze docílit pouze ručním leštěním. Strojní leštění, které je nepochybně produktivnější, není schopné dosáhnout tohoto lesku. Ve většině případů se používá leštění diamantovými kotouči, které vykonávají rotační pohyb. Při průchodu diamantu povrchem plexiskla vzniká dráha, která je lidským okem viditelná a tudíž nemůže splňovat nároky na optické vlastnosti. Proto je zavedena technologie broušení a leštění, které tyto optické vlastnosti zaručí.

### 4.5.1 Leštění otvorů

Při leštění se používá netkaná velurová useň nebo plst' namazaná lešticí pastou. Ploché povrchy se leští plstěnými nebo vlněnými lešticími kotouči. Tyto kotouče se standardně prodávají spolu s mikronářadím Proxxon, obr. 4.5.1. Před konečným leštěním nitěnými kotoučky se používá i tvrdších filcových kotoučků pro odstranění posledních nerovností.

Po leštění je možno aplikovat Cleaner (čistič), který odstraní všechny otisky prstů. Tím se také zdokonalí lesk, zmenšuje elektrostatika a minimalizuje se tak akumulace prachu, což má za následek nižší požadavky na čištění.

Lešticí pasta, která je nutná pro správné vyleštění aniž by došlo ke spálení povrchové vrstvy, je pasta firmy Unipol. Tuto pastu pracovník nanese na plstěný nebo nitěný kotouček a provede leštění. Během leštění dochází k nabalování přebytečné pasty na hrany otvorů a po dokončení leštění se musí tyto hrany očistit.



Obr. 4.5.1 Lešticí sada Proxxon FBS 12/E a lešticí pasta Unipol

Celková doba nutná pro vyleštění otvorů jak z jedné tak z druhé strany je **30 minut**.

#### 4.5.2 Leštění obvodů

Leštění obvodů a fazet je poslední výrobní operací při výrobě gramofonového soklu. Tato operace je prováděna na stojanové hadrové lešticce, obr. 4.5.2. Hadrový kotouč je upnut na vřeteno a vykonává hlavní rotační pohyb. Tento kotouč je namazán lešticí pastou Unipol a pracovník, držící v ruce výrobek, jemným dotlačením hranou na kotouč provádí leštění. Tato operace není složitá, je však nutné zachovat určitou pozornost před vychýlením se výrobku z polohy proti kotouči. Toto vychýlení má za následek ráz, který většinou může skončit strhnutím výrobku mimo místo leštění do okolního prostoru, kde se mohou nacházet předměty, které by mohly výrobek poškodit.

Stejným způsobem jsou leštěny i fazety výrobku. Je nutné si dát pozor, aby nedošlo k rozleštění fazety a nevznikla tak oblá hrana.

Protože se nejedná o náročnou operaci, je výsledný čas nutný pro vyleštění obvodů a fazet **10 minut**.



Obr. 4.5.2 Leštění obvodů a fazet na stojanové leštičce

## 4.6 Tepelné zpracování

Plexisklo je schopno snášet značně vysoké napětí v tahu, avšak pouze tehdy, pokud na ně současně nepůsobí korozivní látky. Napětí v tahu je indukováno například strojovým zpracováním, řezáním laserem, tvářením za tepla, různými teplotami při zahřívání a vnějšími faktory. Napětí v tahu prodlužuje strukturu materiálu a tím snižuje odolnost vůči povětrnostním vlivům.

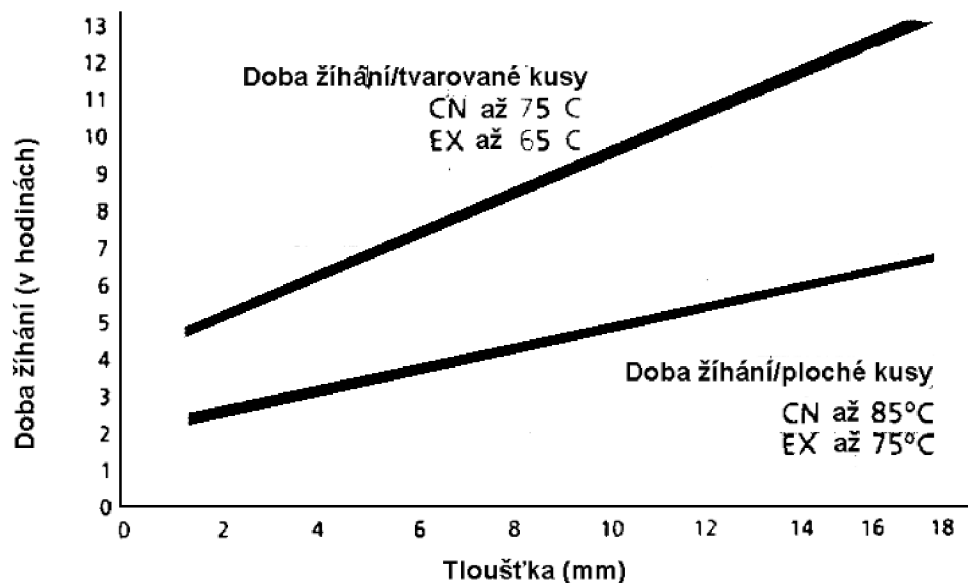
Pokud nejsou výrobky správně obrobena nebo pokud byly vystaveny při tepelném tvarování nevhodným podmínkám, musí se žíhat v peci s cirkulovaným vzduchem a to ještě předtím, než přijdou do kontaktu s rozpouštědly, adhezivními látkami, inkousty a barvami. Tato operace je určena pro uvolnění vnitřních pnutí, které jsou způsobeny obráběním nebo tvarováním. Vnitřní pnutí může způsobit praskliny a to při kontaktu s materiály, jako jsou například rozpouštědla a adheziva.

### ***Žihací časy a žihací teploty***

Ploché kusy vyrobené z litých nebo extrudovaných tabulí potřebují stejný žihací čas. Extrudované tabule jsou žihány za teploty 75°C a lité tabule se žihají při teplotě okolo 85°C. Doba žihání je daná následujícím vzorcem:

$$\text{Doba žihání (hodiny)} = 2 + (0.225 \times \text{tloušťka (mm)})$$

Z níže uvedeného grafu 4.6 je na první pohled zřejmé, jaký je čas žihání pro danou tloušťku. Je důležité zajistit, aby se výrobky při chlazení v peci nevystavovaly teplotním šokům, které by mohly způsobit další dodatečná pnutí. Chlazení v peci musí být pozvolné a jednotlivé kusy se mohou vyložit z pece kolem teploty 30°C.



Graf 4.6 Graf žíhání litého a extrudovaného plexiskla (2)

Žíhání se provádí v horkovzdušné kazetové peci vlastní výroby. Rozměr pece je 800x1500x1500mm (š x d x v). Tato pec umožňuje zahřát plexisklo až na teplotu 180°C, ale pro případy žíhání soklu gramofonu je použita teplota  $t = 80^{\circ}\text{C}$  a doba žíhání **6,5 hodin**. Jednotlivé kusy jsou v peci naskládány na sobě v několika policích. Důležité je aby se do prostoru pece nedostaly nečistoty, které by mohly narušit povrch a optické vlastnosti leštěných hran.

Žíhání je dobré provádět po každé operaci, která tepelně ovlivňuje povrch součásti. Vyhnete se tak případnému porušení výrobku, které by mohlo nastat přímo v provozu.

#### 4.7. Balení a expedice

Očištěné kusy, ze kterých se strhává fólie, jsou zabaleny do strečové fólie. Čištění plexiskla je provedeno buď speciálními čističi, např. antistatickým prostředkem Kunststoff Pflieger nebo technickým benzinem. Použití lihových přípravků může vést ke vzniku destrukce plexiskla v podobě malých prasklinek v místech obrábění. V případě ohýbaných kusů může čištění lihovým prostředkem vést až k prasknutí celého kusu.

Takto očištěné a zabalené kusy jsou uschovány v regále, který zabezpečuje jejich setrvání v neprašném prostředí. Jednotlivé kusy jsou od sebe odděleny bublinkovou polyetylenovou fólií aby nedošlo k poškrábání.

Protože je výroba gramofonového soklu složitá a požadavky kladené zákazníkem, zvláště na optickou kvalitu, vysoké, probíhá předání hotových kusů v areálu firmy AZ Plastik, spol. s r.o. za asistence pracovníků zákazníka. Tito pracovníci podrobně prohlédnou jednotlivé kusy a v případě odhalení jakékoliv závady, tuto nahlásí pracovníkům zpracovatele a ti závadu odstraní.

## 5 TECHNICKO EKONOMICKÉ ZHODNOCENÍ

Výroba plexisklového soklu je náročná jak časově tak technologicky. Díky vysokým nárokům zákazníka je věnováno každému detailu zpracování velká pozornost. Přirozeně je takto precizní výroba náležitě ohodnocena cenou výrobku. Přílišný podíl lidské, vysoce odborné práce, výrazně prodražuje celý výrobek.

Nemalou měrou se k navyšování ceny přidává i cena materiálu. V současné době je trh s plasty ovlivňován cenami ropy. Při zvedající se ceně ropy roste i cena plexiskla. To nepříznivě ovlivňuje cenu celého dílu gramofonového soklu. I když je cena zvyšována převážně dodavateli, je v rámci dlouholetých zákaznických vztahů cena udržována v přijatelné výši mírného zdražení.

Firma AZ Plastik, spol. s r.o. vyrábí ročně cca 600 kusů gramofonového soklu. Cena takového kusu se pohybuje okolo 100 EUR. Se snižujícím se kurzem české koruny vůči euru, je firma nucena hledat úspory ve výrobním programu. Nejnáročnějšími operacemi a tudíž i nejdražšími jsou operace ručního obrábění. Ty mají v celkovém podílu výroby největší zastoupení. Z celkového času výroby, který činí cca 140 minut (uvedeno bez času stráveného při žíhání a sušení), je časový podíl ruční práce cca 70%. Podíl ruční práce na výrobě gramofonového soklu se snaží firma minimalizovat použitím lepších brousících a leštících nástrojů. Český trh zatím nenabízí takové nástroje, které by proces zefektivnily, ale po oslovení několika výrobců brusného a leštícího náradí zahájily tyto firmy vývoj.

S použitím nových technologií a lepších nástrojů může dojít k zefektivnění výroby a tím ke snížení nákladů na výrobu jednoho kusu. Tento krok by uvítal i zákazník, který by tak měl jistotu, že v případě náhlého zdražení, ať už plexiskla nebo energií, nedojde ke dramatickému zdražení hotového výrobku.



## ZÁVĚR

Tato diplomová práce pojednává o zpracování plexisklového soklu gramofonu. Vzhledem k obrábění netradičního materiálu je podrobně popsána výroba plexiskla a jeho vlastnosti. Zvláštní pozornost je věnována zpracování plexiskla. Protože se jedná o materiál, jehož zpracování není odborně popsáno, vychází tato práce z praktické zkušenosti technického pracovníka firmy AZ Plastik, spol. s.r.o.

Technologický proces výroby plexisklového soklu gramofonu je popsán v jednotlivých bodech diplomové práce a je jím věnována zvláštní pozornost. Poznatky a způsob výroby je výsledkem dlouhodobé činnosti firmy AZ Plastik, spol. s.r.o. na trhu.

Výrobní operace jsou detailně rozepsány a pro názornost jsou připojeny i autentické fotografie z výroby. Tyto informace, které firma AZ Plastik, spol. s.r.o. poskytla, jsou velmi cenné a odtajňují určitá tabu, která existují mezi konkurenčními firmami.

Zpracování plexiskla je velice specifickým odvětvím výroby. Tento materiál má specifické vlastnosti a požadavky na výrobu. Nenáročnějším požadavkem je zachování optických vlastností obrobených ploch. Tyto dokončovací operace jsou velmi časově náročné a vyžadují vysokou kvalifikaci pracovníků. Těmto požadavkům musí vyhovět i nástroje a nářadí a často dochází k výrobě nářadí a přípravků vlastních. Velký podíl ruční práce, který doprovází zpracování plexiskla má přímý vliv na cenu jakéhokoliv výrobku.

Prioritou firmy AZ Plastik, spol. s.r.o. je minimalizovat podíl ruční práce a zvýšit tak produktivitu.

Výroba gramofonového soklu je velmi úspěšným produktem firmy AZ Plastik, spol. s.r.o. Za dobu, kdy byla firma zákazníkem oslovena bylo vyrobeno více než 5000 kusů. Přes obtížnější začátky, kdy firma neměla tolik zkušeností s tak precizní výrobou, je výroba gramofonového soklu standardním výrobkem a technologie vyvinuté a použité na tomto výrobku byly a jsou aplikované v celé výrobě. Zákazník odebírající vyrobené kusy je s kvalitou a cenou spokojen a vzhledem k úspěšnosti tohoto projektu oslovil firmu s výrobou dalších prototypů. V současné době jsou vyráběny celkem 3 typy plexisklových soklů pro gramofon. Firma AZ Plastik, spol. s.r.o. tak dokazuje, že je předním českým zpracovatelem plexiskla.

**SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ**

1. *Pokyny pro zpracování plexiskla*  
URL: <[http://www.zenit.cz/images/stories/pdf/2\\_02.pdf](http://www.zenit.cz/images/stories/pdf/2_02.pdf)> [cit. 2003-03-10]
2. PROCH, J. *Technická příručka Altuglas XT a GS*. Brno: Vink-Plasty s.r.o., 2002, 33s.
3. *Meaf Machines b.v*  
URL: <<http://www.meaf.nl/meaf/extrusion.html>>
4. *SEI Mercury 603*, Praha  
URL: <[http://www.lao.cz/upload/prospekty/SEI\\_Mercury\\_603CZ.pdf](http://www.lao.cz/upload/prospekty/SEI_Mercury_603CZ.pdf)> [cit. 2007-07-27]
5. *C.R. Clarke & Co. Limited*  
URL: <<http://www.crclarke.com/>> [cit. 2007-01-01]
6. *Technická příručka Akrylon XT*  
URL: <<http://www.quinn-plastics.sk/dosky/akrylon/sk-akrylon-xt-technical-manual-26-10-2005.pdf>> [cit. 2006-04-04]
7. *Anderson America Corp.*  
URL: <<http://www.andersonamerica.com/stratos.htm>>
8. *Katalog pecí pro metalurgii BVD*  
URL: <<http://www.bvd.cz/download/pdf/pece-kovoprmysl.pdf>> [cit. 2006-01-12]
9. *Formátovací pily ATTL*  
URL: <[http://www.attl.cz/dokumenty/FormatovaciPily\\_05s\\_WEB.pdf](http://www.attl.cz/dokumenty/FormatovaciPily_05s_WEB.pdf)> [cit. 2007-09-03]
10. *HAAS Automation, Inc.*  
URL: <[http://www.haascnc.com/lang/VMC/details\\_VMC\\_NEW.asp?ID=59781&intLanguageCode=1029#VMCTreeModel](http://www.haascnc.com/lang/VMC/details_VMC_NEW.asp?ID=59781&intLanguageCode=1029#VMCTreeModel)>
11. *Elektronický katalog ISCAR*  
URL: <<http://www.iscar.com/ecat/open.asp/lang/EN/ECommerce/N/GFSTYP/M/Multlang/Y>>
12. *Pimpel s.r.o.*  
URL: <<http://www.pimpel.cz/esprit.php>>
13. KOCMAN, Karel, PROKOP, Jaroslav. *Technologie obrábění*. Brno : Akademické vydavatelství CERM, s.r.o., 2001. 270s. ISBN 80-214-1996.

**SEZNAM POUŽITÝCH  
ZKRATEK A SYMBOLŮ**

| Zkratka/Symbol | Jednotka | Popis                 |
|----------------|----------|-----------------------|
| PMMA           |          | polymethylmetakrylát  |
| XT             |          | extrudované plexisklo |
| GS             |          | lité plexisklo        |
| n              | [ot/min] | otáčky                |
| f              | [mm/min] | posuv                 |
| a              | [mm]     | velikost třísky       |
| t              | [°C]     | teplota               |
| $\alpha$       | [°]      | úhel hřbetu           |
| $\beta$        | [°]      | úhel zubu             |
| $\gamma$       | [°]      | úhel sklonu           |
| P              | [W]      | výkon                 |
| š              | [mm]     | šířka                 |
| l              | [mm]     | délka                 |
| v              | [mm]     | výška                 |

**SEZNAM PŘÍLOH**

|            |   |
|------------|---|
| Příloha 1  | Certifikát výrobku Plexiglas                                  |
| Příloha 2  | Protokol o zkouškách požárně technických                      |
| Příloha 3  | Formátovací Pila AFM 3000 MPS                                 |
| Příloha 4  | Katalog nástrojů ISCAR – dvoubřité frézy                      |
| Příloha 5  | Katalog nástrojů ISCAR – trojbřité frézy                      |
| Příloha 6  | Katalog nástrojů ISCAR – frézy s výměnnými destičkami         |
| Příloha 7  | Katalog nástrojů ISCAR – frézy HELIPLUS                       |
| Příloha 8  | Katalog nástrojů ISCAR – upínače nástrojů DIN 69871           |
| Příloha 9  | Katalog nástrojů ISCAR – výstružníky                          |
| Příloha 10 | Srovnávací tabulka vlastností deskových průhledných materiálů |
| Příloha 11 | Aku vrtačka BOSCH GSR 14,4V pro broušení                      |
| Příloha 12 | Výkres gramofonového soklu                                    |



TECHNICKÝ A ZKUŠEBNÍ ÚSTAV STAVEBNÍ PRAHA, s.p.  
Autorizovaná osoba 204  
pobočka Praha  
Prosecká 76, 190 00 Praha 9  
Česká republika

Autorizace číslo 9/1997, ze dne 24.července 1997

vydává  
podle ustanovení § 10 zákona č. 22/1997 Sb., o technických požadavcích na výrobky  
a o změně a doplnění některých zákonů a § 5 nařízení vlády č. 178/1997 Sb.

## CERTIFIKÁT VÝROBKU

č. 01 - 3277

dovozci: ZENIT s. r. o.  
Radlická 138, 150 21 Praha 5

IČO: 44797672

na výrobek: Plné a komůrkové desky PLEXIGLAS XT, plné desky PLEXI-  
GLAS GS, roury a tyče PLEXIGLAS, strukturované desky PLE-  
XIGLAS XT  
(Desky z akrylátového extrudovaného i litého skla)

výrobce: RÖHM GmbH Chemische Fabrik, Kirschenallee, D-64293 Darmstadt,  
SRN

Autorizovaná osoba 204 zjistila u vzorku předmětného výrobku:

- shodu jeho vlastností – geometrické parametry (tloušťka), pevnost v tahu, modul pružnosti, prodloužení při přetržení, hořlavost, šíření plamene, odkapávání hmot, požární bezpečnost staveb, index vzduchové neprůzvučnosti, prostupnost světla, zdravotní a hygienická nezávadnost - se základními požadavky nařízení vlády č. 178/1997, konkretizovanými následujícími technickými předpisy: Stavební technické osvědčení č. 01 - 3142 ze dne 20. května 1999,
- že systém řízení jakosti výrobce odpovídá technické dokumentaci a zabezpečuje, aby předmětný výrobek odpovídal technické specifikaci.

Na základě těchto zjištění autorizovaná osoba 204 tímto certifikátem osvědčuje, že  
výrobek je v souladu s výše uvedenými požadavky.


Nedílnou součástí tohoto certifikátu jsou:

- Protokol č. 01-3276 o výsledku certifikace výrobku ze dne 15. června 1999 vydaný TZÚS Praha, s.p., pobočkou Praha
- Příloha certifikátu výrobku

Certifikát se vydává pro účely prohlášení výrobce v souladu s osvědčením.

Praha, 1999-06-15



  
Ing. Miroslav Šťastný  
zástupce vedoucího  
autorizované osoby 204

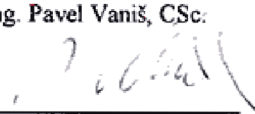
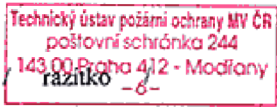
## Příloha 2

Ministerstvo vnitra - ředitelství Hasičského záchranného sboru ČR - Technický ústav PO  
zkušebna požárně technické laboratoře, Písková 42, 143 00 Praha 4 - Modřany  
tel. 401 88 81 nebo 2143 4418

Státem akreditovaná zkušební laboratoř

### PROTOKOL č. 3078 - 1/2

o zkouškách požárně technických charakteristik

|  |                                      |        |   |        |        |        |
|--|--------------------------------------|--------|---|--------|--------|--------|
| Č. j.: PO - 330/TÚ - 96  | Počet stran protokolu: 1             |        |   |        |        |        |
| Zadavatel: ZENIT s. r. o., Radlická 138, 150 00 Praha 5  |                                      |        |   |        |        |        |
| <b>PŘEDMĚT ZKOUŠEK</b><br>Název: Deska PLEXIGLAS GS Clear<br>Norma: Nesdělena Výrobce: RÖHM GmbH Chemische Fabrik, Darmstadt, SRN<br>Složení: Polymetylmetakrylát<br>Vzhled: Bezbarvá průhledná plná deska tloušťky 3 mm<br>hustota 1,19 g/cm <sup>3</sup>   |                                      |        |   |        |        |        |
| Datum přijetí vzorku: 5. 4. 1996   | Odběr vzorku: Vzorek dodal zadavatel |        |   |        |        |        |
| Datum provedení zkoušek: 19. 4. 1996   |                                      |        |   |        |        |        |
| Zkušební metoda: ČSN 73 0862   |                                      |        |   |        |        |        |
| <b>NAMĚŘENÉ HODNOTY A VÝSLEDKY ZKOUŠEK:</b>  |                                      |        |   |        |        |        |
| Vzorek číslo:  | 1                                    | 2      | 3   | 4      | 5      | průměr |
| Datum zkoušky:   | 19. 4.                               | 19. 4. | 19. 4.  | 19. 4. | 19. 4. |        |
| $\Delta T_1$ [°C]  | 153                                  | 154    | 151   | 150    | 152    | 152    |
| $\Delta T_2$ [°C]  | 256                                  | 254    | 252   | 249    | 254    | 253    |
| $\Delta T_{max}$ [°C]  | 256                                  | 254    | 252   | 249    | 254    | 253    |
| $t_{max}$ [ min ]  | 5                                    | 5      | 5   | 5      | 5      | 5      |
| Q = 1197   |                                      |        |   |        |        |        |
| <b>Závěr:</b><br>Podle vypočtené hodnoty Q je "Deska PLEXIGLAS GS Clear" zařazena do stupně hořlavosti<br><b>C3 - l e h c e h o ř l a v é .</b><br>Výsledky zkoušek se týkají pouze předmětu zkoušek. Mají platnost do 22.4.2001. Bez písemného souhlasu zkušebny se nesmí protokol reprodukovat jinak než celý. |                                      |        |   |        |        |        |
| Vedoucí zkušebny: Ing. Pavel Vaniš, CSc.<br>Datum: 22. 4. 1996   |                                      |        | <br> |        |        |        |

# FORMÁTOVACÍ PILY

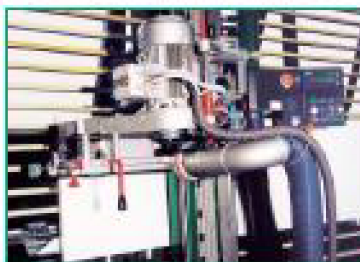
## řada AFM

Silná a stabilní konstrukce dovoluje řezání plexiskla, Al desek, makrolonu, latovky, dřevotřískových a dřevovláknitých desek různých rozměrů. Konstruktivní řešení stroje umožňuje minimální půdorysný zastavěný prostor.

Na vodorovné ose je doraz pro nastavování rozměrů přířezů, na svislé ose je odměřovací digitální systém. Na svislé ose je též instalován nárazkový systém pro opakované řezání přesných rozměrů přířezů. Kryt řezací jednotky je z materiálu redukujícího hluk a vibrace na minimum.



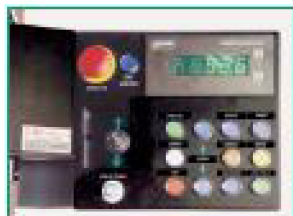
AFM 3000 MPS



Digitální odměřování délek na svislé ose umožňuje přesnost řezu  $\pm 0,15$  mm.

Formátovací pila může být vybavena motorickými posuvy vřeteníku na obou osách.

Je dodávána v provedení řezacího vřeteníku na tloušťku řezu 70 mm.



### Standardní příslušenství:

- 1) Pilový kotouč.
- 2) Řezací body pro vertikální řezy.
- 3) Nárazkový systém pro horizontální řezy.
- 4) Metrické stupnice na dorazu pro vertikální řezy a digitální odměřovací jednotka pro horizontální řezy.
- 5) Pneumatická brzda na vodorovné ose a elektromagnetická brzda na svislé ose.

### Zvláštní příslušenství:

- 1) Předřezávací jednotka včetně pilového kotouče.
- 2) Transportní válečky pro přesun desky.
- 3) Tandemový zásobník desek s možností otáčení o 90°.
- 4) Mechanické zařízení pro úhlové řezání s odměřováním.
- 5) Motorické posuvy řezacího vřeteníku.

Ka slatinám 117, Dolní Měcholupy  
109 00 Praha 10, Česká republika  
☎ 420/272705611, fax 420/272705623  
E-mail: atf@iol.cz, <http://www.atf.cz>

*Atf a spol. s.r.o.*  
*Zodp. na stroje*

# Příloha 4

www.iscar.com

Search Path

Reset

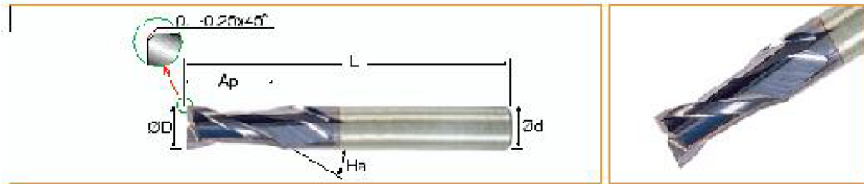


Main Application



Sub Application

**ECC-A-2**: Solid carbide medium length endmills, 2 flutes, 30° helix, center cutting with chamfered corners.



New Search  
Cutting Conditions  
Related Holder

| Designation           | D     | d     | Flut | Ap    | L      | Ha°  | Rd°  | Shank | Ch      | Grade      |
|-----------------------|-------|-------|------|-------|--------|------|------|-------|---------|------------|
| <b>ECC020B07-2C0B</b> | 2.00  | 3.00  | 2    | 7.00  | 38.00  | 45.0 | 5.00 | C     | 0.10X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC025A07-2C03</b> | 2.50  | 3.00  | 2    | 7.00  | 38.00  | 30.0 | 5.00 | C     | 0.10X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC030A10-2C03</b> | 3.00  | 3.00  | 2    | 10.00 | 38.00  | 30.0 | 5.00 | C     | 0.10X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC035A12-2C04</b> | 3.50  | 4.00  | 2    | 12.00 | 50.00  | 30.0 | 5.00 | C     | 0.10X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC040A12-2C04</b> | 4.00  | 4.00  | 2    | 12.00 | 50.00  | 30.0 | 5.00 | C     | 0.15X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC050A14-2C05</b> | 5.00  | 5.00  | 2    | 14.00 | 50.00  | 30.0 | 5.00 | C     | 0.15X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC060A16-2C06</b> | 6.00  | 6.00  | 2    | 16.00 | 57.00  | 30.0 | 5.00 | C     | 0.15X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC060A16-2W06</b> | 6.00  | 6.00  | 2    | 16.00 | 57.00  | 30.0 | 5.00 | W     | 0.15X45 | IC900      |
| <b>ECC080A20-2C08</b> | 8.00  | 8.00  | 2    | 20.00 | 63.00  | 30.0 | 5.00 | C     | 0.15X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC080A20-2W08</b> | 8.00  | 8.00  | 2    | 20.00 | 63.00  | 30.0 | 5.00 | W     | 0.15X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC100A22-2C10</b> | 10.00 | 10.00 | 2    | 22.00 | 72.00  | 30.0 | 5.00 | C     | 0.25X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC100A22-2W10</b> | 10.00 | 10.00 | 2    | 22.00 | 72.00  | 30.0 | 5.00 | W     | 0.25X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC120A25-2C12</b> | 12.00 | 12.00 | 2    | 25.00 | 83.00  | 30.0 | 5.00 | C     | 0.25X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC120A25-2W12</b> | 12.00 | 12.00 | 2    | 25.00 | 83.00  | 30.0 | 5.00 | W     | 0.25X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC160A32-2C16</b> | 16.00 | 16.00 | 2    | 32.00 | 92.00  | 30.0 | 5.00 | C     | 0.25X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC160A32-2W16</b> | 16.00 | 16.00 | 2    | 32.00 | 92.00  | 30.0 | 5.00 | W     | 0.25X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC200A38-2C20</b> | 20.00 | 20.00 | 2    | 38.00 | 104.00 | 30.0 | 5.00 | C     | 0.25X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC200A38-2W20</b> | 20.00 | 20.00 | 2    | 38.00 | 104.00 | 30.0 | 5.00 | W     | 0.25X45 | IC300IC900 |





# Příloha 5

www.iscar.com

Search Path

Reset

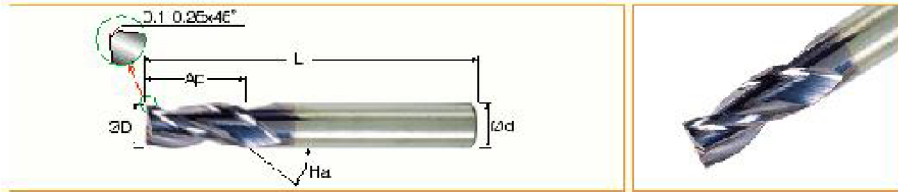


Main Application



Sub Application

**ECC-E-3** : Solid carbide end mills, chamfered, center cutting, 3 flute, 38° helix. Medium length.



New Search  
Cutting Conditions  
Related Holder

| Designation           | D     | d     | Ap    | L      | Flut | Ha°  | Rd°  | Shank | Ch      | Grade      |
|-----------------------|-------|-------|-------|--------|------|------|------|-------|---------|------------|
| <b>ECC020B07-3C03</b> | 2.00  | 3.00  | 7.00  | 38.00  | 3    | 45.0 | 5.00 | C     | 0.10X45 | IC300      |
| <b>ECC025E07-3C03</b> | 2.50  | 3.00  | 7.00  | 38.00  | 3    | 38.0 | 5.00 | C     | 0.10X45 | IC300      |
| <b>ECC030E10-3C03</b> | 3.00  | 3.00  | 10.00 | 38.00  | 3    | 38.0 | 5.00 | C     | 0.10X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC035E12-3C04</b> | 3.50  | 4.00  | 12.00 | 50.00  | 3    | 38.0 | 5.00 | C     | 0.10X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC040E12-3C04</b> | 4.00  | 4.00  | 12.00 | 50.00  | 3    | 38.0 | 5.00 | C     | 0.15X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC050E14-3C05</b> | 5.00  | 5.00  | 14.00 | 50.00  | 3    | 38.0 | 5.00 | C     | 0.15X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC060E16-3C06</b> | 6.00  | 6.00  | 16.00 | 57.00  | 3    | 38.0 | 5.00 | C     | 0.15X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC060E16-3W06</b> | 6.00  | 6.00  | 16.00 | 57.00  | 3    | 38.0 | 5.00 | W     | 0.15X45 | IC900      |
| <b>ECC080E20-3C08</b> | 8.00  | 8.00  | 20.00 | 63.00  | 3    | 38.0 | 5.00 | C     | 0.15X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC080E20-3W08</b> | 8.00  | 8.00  | 20.00 | 63.00  | 3    | 38.0 | 5.00 | W     | 0.15X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC100E22-3C10</b> | 10.00 | 10.00 | 22.00 | 72.00  | 3    | 38.0 | 5.00 | C     | 0.25X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC100E22-3W10</b> | 10.00 | 10.00 | 22.00 | 72.00  | 3    | 38.0 | 5.00 | W     | 0.25X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC120E25-3C12</b> | 12.00 | 12.00 | 25.00 | 83.00  | 3    | 38.0 | 5.00 | C     | 0.25X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC120E25-3W12</b> | 12.00 | 12.00 | 25.00 | 83.00  | 3    | 38.0 | 5.00 | W     | 0.25X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC160A32-3W16</b> | 16.00 | 16.00 | 32.00 | 92.00  | 3    | 30.0 | 5.00 | W     | 0.25X45 | IC300      |
| <b>ECC160E32-3C16</b> | 16.00 | 16.00 | 32.00 | 92.00  | 3    | 38.0 | 5.00 | C     | 0.25X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC160E32-3W16</b> | 16.00 | 16.00 | 32.00 | 92.00  | 3    | 38.0 | 5.00 | W     | 0.25X45 | IC900      |
| <b>ECC200E38-3C20</b> | 20.00 | 20.00 | 38.00 | 104.00 | 3    | 38.0 | 5.00 | C     | 0.25X45 | IC300IC900 |
| <b>ECC200E38-3W20</b> | 20.00 | 20.00 | 38.00 | 104.00 | 3    | 38.0 | 5.00 | W     | 0.25X45 | IC300IC900 |



# Příloha 6

[www.iscar.com](http://www.iscar.com)

Search Path

Reset

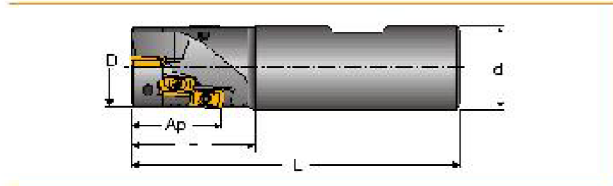


Main Application



Sub Application

**HP ANK-07** Extended flute endmills using HELIPLUS HP ANK-07 . . inserts.



For Adaptation Click on Info.



- New Search
- Cutting Conditions
- More Info
- Related Insert
- Related Holder

| Designation                   | D     | Ap    | Zeff | Z  | L      | H     | d     | Kg   | Shank |
|-------------------------------|-------|-------|------|----|--------|-------|-------|------|-------|
| <b>HP ANK D16-14-02-W16-7</b> | 16.00 | 14.60 | 2    | 4  | 75.00  | 25.00 | 16.00 | 0.13 | W     |
| <b>HP ANK D16-21-01-W16-7</b> | 16.00 | 21.60 | 1    | 3  | 80.00  | 30.00 | 16.00 | 0.15 | W     |
| <b>HP ANK D20-21-02-W20-7</b> | 20.00 | 21.60 | 2    | 6  | 80.00  | 30.00 | 20.00 | 0.16 | W     |
| <b>HP ANK D20-28-02-W20-7</b> | 20.00 | 28.60 | 2    | 8  | 90.00  | 40.00 | 20.00 | 0.15 | W     |
| <b>HP ANK D25-28-03-W25-7</b> | 25.00 | 28.60 | 3    | 12 | 100.00 | 40.00 | 25.00 | 0.44 | W     |
| <b>HP ANK D32-35-04-W32-7</b> | 32.00 | 35.50 | 4    | 20 | 110.00 | 45.00 | 32.00 | 0.45 | W     |



# Příloha 7

www.iscar.com

Search Path

Reset

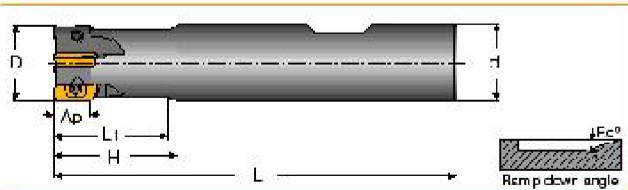
HP E90AN-07 Endmills using HELIPLUS HP ANKT 0702 inserts.



Main Application



Sub Application



"B" Type with cylindrical shank which may be shortened.

For Adaptation Click on Info.



New Search

Cutting Conditions

More Info

Related Insert

Related Holder

| Designation                     | D     | Z | H     | Ap   | L1   | L      | Rd°  | d     | Shank | Cool | Kg   |
|---------------------------------|-------|---|-------|------|------|--------|------|-------|-------|------|------|
| HP E90AN-D10-1-C10-07-C         | 10.00 | 1 | 20.00 | 7.70 | 18.0 | 80.00  | 2.50 | 10.00 | C     | Y    | 0.03 |
| HP E90AN-D12-2-C12-07-C         | 12.00 | 2 | 18.00 | 7.70 | 16.5 | 80.00  | 2.70 | 12.00 | C     | Y    | 0.05 |
| HP E90AN-D14-2-C14-07-C         | 14.00 | 2 | 18.00 | 7.70 | 16.5 | 80.00  | 3.20 | 14.00 | C     | Y    | 0.11 |
| HP E90AN-D16-3-C15-07- <b>B</b> | 16.00 | 3 | 26.00 | 7.70 | 24.5 | 150.00 | 3.20 | 15.00 | C     | Y    | 0.21 |
| HP E90AN-D16-3-C16-07-C         | 16.00 | 3 | 26.00 | 7.70 | 24.5 | 90.00  | 3.20 | 16.00 | C     | Y    | 0.10 |
| HP E90AN-D16-3-W16-07           | 16.00 | 3 | 21.00 | 7.70 | 19.5 | 85.00  | 3.20 | 16.00 | W     | -    | 0.15 |
| HP E90AN-D16-4-C16-07-C         | 16.00 | 4 | 26.00 | 7.70 | 24.5 | 90.00  | 3.20 | 16.00 | C     | Y    | 0.10 |
| HP E90AN-D16-4-W16-07           | 16.00 | 4 | 20.00 | 7.70 | 24.5 | 85.00  | 3.20 | 16.00 | W     | -    | 0.15 |
| HP E90AN-D20-4-C19-07- <b>B</b> | 20.00 | 4 | 22.00 | 7.70 | 20.5 | 160.00 | 2.40 | 19.00 | C     | Y    | 0.36 |
| HP E90AN-D20-4-C20-07-C         | 20.00 | 4 | 22.00 | 7.70 | 20.5 | 110.00 | 2.40 | 20.00 | C     | Y    | 0.22 |
| HP E90AN-D20-4-W20-07           | 20.00 | 4 | 22.00 | 7.70 | 20.5 | 90.00  | 2.40 | 20.00 | W     | -    | 0.24 |
| HP E90AN-D20-5-C20-07-C         | 20.00 | 5 | 22.00 | 7.70 | 20.5 | 110.00 | 2.40 | 20.00 | C     | Y    | 0.22 |
| HP E90AN-D20-5-W20-07           | 20.00 | 5 | 22.00 | 7.70 | 20.5 | 90.00  | 2.40 | 20.00 | W     | -    | 0.24 |
| HP E90AN-D25-5-C20-07-C         | 25.00 | 5 | 24.00 | 7.70 | -    | 120.00 | 2.00 | 20.00 | C     | Y    | 0.33 |
| HP E90AN-D25-5-C24-07- <b>B</b> | 25.00 | 5 | 24.00 | 7.70 | -    | 200.00 | 2.00 | 24.00 | C     | Y    | 0.68 |
| HP E90AN-D25-5-W25-07           | 25.00 | 5 | 24.00 | 7.70 | 22.5 | 95.00  | 2.00 | 25.00 | W     | -    | 0.38 |
| HP E90AN-D25-7-C20-07-C         | 25.00 | 7 | 24.00 | 7.70 | -    | 120.00 | 2.00 | 20.00 | C     | Y    | 0.28 |
| HP E90AN-D25-7-W25-07           | 25.00 | 7 | 24.00 | 7.70 | 22.5 | 95.00  | 2.00 | 25.00 | W     | -    | 0.38 |
| HP E90AN-D32-6-C25-07-C         | 32.00 | 6 | 30.00 | 7.70 | -    | 130.00 | 1.40 | 25.00 | C     | Y    | 0.52 |
| HP E90AN-D32-6-C31-07- <b>B</b> | 32.00 | 6 | 30.00 | 7.70 | -    | 250.00 | 1.40 | 31.00 | C     | Y    | 1.41 |
| HP E90AN-D32-6-W25-07           | 32.00 | 6 | 30.00 | 7.70 | -    | 95.00  | 1.40 | 25.00 | W     | -    | 0.44 |
| HP E90AN-D32-8-C25-07-C         | 32.00 | 8 | 30.00 | 7.70 | -    | 130.00 | 1.40 | 25.00 | C     | Y    | 0.48 |

# Příloha 8

[www.iscar.com](http://www.iscar.com)

Search Path

Reset



Tooling

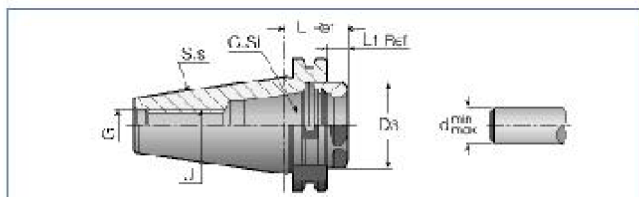
Main Application



DIN 69871

Sub Application

**DIN69871-ER-SHORT(SHORTIN)** SHORTIN short ER collet chuck with a DIN 69871 form A/B taper shank.



Add B for coolant through flange.

For Adaptation Click on Info.



New Search

More Info

Related Tool

Related Holder

Accessories

| Designation                      | S.s | C.Si | d   |      | L     | L1  | D3    | G   | J       | Cool | Kg   |
|----------------------------------|-----|------|-----|------|-------|-----|-------|-----|---------|------|------|
|                                  |     |      | min | max  |       |     |       |     |         |      |      |
| <b>DIN69871 40 ER32 SHOR</b> T   | 40  | ER32 | 2,0 | 20,0 | 28,60 | 9,5 | 40,00 | M16 | M16     | -    | 0,69 |
| <b>DIN69871 50 ER32 SHOR</b> T   | 50  | ER32 | 2,0 | 20,0 | 28,60 | 9,5 | 40,00 | M24 | M22X1,5 | -    | 2,58 |
| <b>DIN69871 50 ER40 SHOR</b> T   | 50  | ER40 | 3,0 | 26,0 | 28,60 | 9,5 | 50,00 | M24 | M28X1,5 | -    | 2,38 |
| <b>DIN69871 50 ER40 SHOR</b> T B | 50  | ER40 | 3,0 | 26,0 | 28,60 | 9,5 | 50,00 | M24 | M28X1,5 | Y    | 1,61 |



# Příloha 9

[www.iscar.com](http://www.iscar.com)

Search Path

Reset

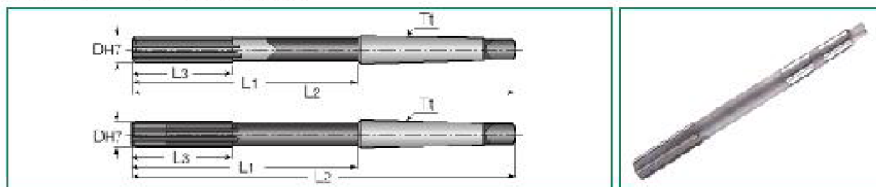


Main Application



Sub Application

**RM-SHR-H7S-MT** Solid carbide reamers with Morse taper shanks. Straight flute according to DIN 8094. CH - Brazed solid carbide head, CB - Brazed solid carbide tips.



New Search

Related Holder

| Designation               | D     | L2    | L1    | L3   | Flut | Tc° |
|---------------------------|-------|-------|-------|------|------|-----|
| RM-SHR-0500-H7S-MT1-CH 07 | 5.00  | 133.0 | 67.5  | 23.0 | 4    | MT1 |
| RM-SHR-0600-H7S-MT1-CH 07 | 6.00  | 138.0 | 72.5  | 26.0 | 4    | MT1 |
| RM-SHR-0700-H7S-MT1-CH 07 | 7.00  | 150.0 | 84.5  | 31.0 | 4    | MT1 |
| RM-SHR-0800-H7S-MT1-CH 07 | 8.00  | 156.0 | 90.5  | 33.0 | 4    | MT1 |
| RM-SHR-0900-H7S-MT1-CH 07 | 9.00  | 162.0 | 96.5  | 36.0 | 4    | MT1 |
| RM-SHR-1000-H7S-MT1-CH 07 | 10.00 | 168.0 | 102.5 | 38.0 | 6    | MT1 |
| RM-SHR-1100-H7S-MT1-CH 07 | 11.00 | 175.0 | 109.5 | 41.0 | 6    | MT1 |
| RM-SHR-1200-H7S-MT1-CH 07 | 12.00 | 182.0 | 116.5 | 44.0 | 6    | MT1 |
| RM-SHR-1300-H7S-MT1-CH 07 | 13.00 | 182.0 | 116.5 | 44.0 | 6    | MT1 |
| RM-SHR-1400-H7S-MT1-CH 07 | 14.00 | 189.0 | 123.5 | 47.0 | 6    | MT1 |
| RM-SHR-1500-H7S-MT2-CH 07 | 15.00 | 204.0 | 124.0 | 50.0 | 6    | MT2 |
| RM-SHR-1600-H7S-MT2-CH 07 | 16.00 | 210.0 | 130.0 | 52.0 | 6    | MT2 |
| RM-SHR-1700-H7S-MT2-CB 07 | 17.00 | 214.0 | 134.0 | 54.0 | 6    | MT2 |
| RM-SHR-1800-H7S-MT2-CB 07 | 18.00 | 219.0 | 139.0 | 56.0 | 6    | MT2 |
| RM-SHR-1900-H7S-MT2-CB 07 | 19.00 | 223.0 | 143.0 | 58.0 | 6    | MT2 |
| RM-SHR-2000-H7S-MT2-CB 07 | 20.00 | 228.0 | 148.0 | 60.0 | 6    | MT2 |

# Příloha 10



## srovnávací tabulka vlastností deskových průhledných materiálů PMMA, PC, PETG, PET

|   | PLEXIGLAS® XT | PLEXIGLAS RESIST® 45 | PLEXIGLAS RESIST® 65 | PLEXIGLAS RESIST® 75 | PLEXIGLAS RESIST® 100 | polykarbonát bez UV ochrany | polykarbonát s UV ochranou | PETG bez UV ochrany | PETG s UV ochranou | PET bez UV ochrany | PET s UV ochranou |
|---|---------------|----------------------|----------------------|----------------------|-----------------------|-----------------------------|----------------------------|---------------------|--------------------|--------------------|-------------------|
| Různá houževnatost                            |               |                      |                      |                      |                       |                             |                            |                     |                    |                    |                   |
| Odklon vlnění povrchovými vlnami              |               |                      |                      |                      |                       |                             |                            |                     |                    |                    |                   |
| Lesk  |               |                      |                      |                      |                       |                             |                            |                     |                    |                    |                   |
| Tuhost  |               |                      |                      |                      |                       |                             |                            |                     |                    |                    |                   |
| Chemická odolnost                             |               |                      |                      |                      |                       |                             |                            |                     |                    |                    |                   |
| Tvrdość povrchu                               |               |                      |                      |                      |                       |                             |                            |                     |                    |                    |                   |
| Řezání laserem (CO <sub>2</sub> )             |               |                      |                      |                      |                       | —                           | —                          |                     |                    | —                  | —                 |
| Lepení  |               |                      |                      |                      |                       |                             |                            |                     |                    |                    |                   |
| Teplotné tvárnení                             |               |                      |                      |                      |                       |                             |                            |                     |                    |                    |                   |
| Zdravotní nezávadnost (kontakt s potravinami) |               |                      |                      |                      |                       | •                           | —                          |                     |                    |                    | —                 |
| Cena  |               |                      |                      |                      |                       |                             |                            |                     |                    |                    |                   |

\* speciální výroba



<http://www.plexiglas.cz/>

## Příloha 11



### GSR 14,4 V

dvourychlostní akumulátorový vrtací šroubovák SD (2 akumulátory)

- -----praktický a silný stroj pro malé až střední průměry-----
- lehký vrtací šroubovák SD s nízkou hmotností - vhodný pro práci nad hlavou, šroubování, utahování ...
- 15 stupňů kroutícího momentu - regulace síly utažení při šroubování
- Dlouhá doba chodu: až 150 šroubů (6 × 60 mm) do měkkého dřeva na jedno nabití akumulátoru
- dobřehová brzda - při sundání prstu ze spínače se stroj okamžitě zastaví
- Dobřehová brzda pro přesné utahování a pro rychlé šroubování více šroubů po sobě
- plně funkční i po pádu z 2 metrů na beton - speciální odolné plasty
- Rychlejší výměna nástrojů i jednou rukou díky jednoobjímkovému rychloupínacímu sklíčidlu s funkcí Auto-Lock
- Mnohostranné možnosti použití díky širokému spektru kroutících momentů nově vyvinuté dvoustupňové převodovky s kovovými ozubenými koly