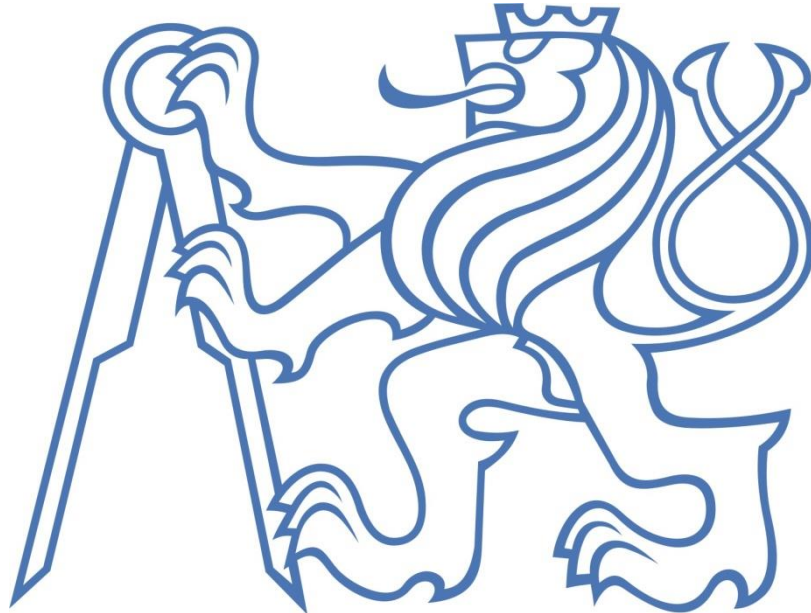


ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE
FAKULTA STROJNÍ
ÚSTAV TECHNOLOGIE OBRÁBĚNÍ, PROJEKTOVÁNÍ A METROLOGIE



Optimalizace procesu dělení keramických komínových vložek

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2015

Vedoucí práce:

Miroslav Gregor

Ing. Jiří Kyncl

Vysoká škola: ČVUT v Praze
Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie

Fakulta: strojní
Akademický rok: 2014/2015

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro **Miroslava Gregora**

obor Technologie, materiály a ekonomika strojírenství

Název: Optimalizace procesu dělení keramických komínových vložek

Název anglicky: Cutting optimization of ceramic flue liners

Zásady pro vypracování:

1. Charakteristika žárovzdorných materiálů.
2. Analýza výroby keramických komínových vložek.
3. Analýza dostupných technologií dělení trubek.
4. Návrh optimalizace technologie dělení keramických komínových vložek s ohledem na kvalitu.

Prohlašuji, že jsem svou bakalářskou práci vypracoval samostatně. Všechny informační zdroje, ze kterých jsem čerpal, jsou citovány v práci a uvedeny v kapitole zdroje informací.

V Praze, dne.....

.....

Miroslav Gregor

Poděkování

Rád bych poděkoval všem, kdo mi při psaní bakalářské práce přispěli radou a pomocí. Hlavně svému vedoucímu Ing. Jiřímu Kynclovi za odbornou pomoc a poskytnuté konzultace.

Abstrakt

Cílem této bakalářské práce je návrh optimalizace procesu dělení keramických komínových vložek s ohledem na snížení nákladů (vadných dílů) ve společnosti P-D Refractories CZ.

V první části jsem představil společnost P-D Refractories CZ a popsal žárovzdorné materiály. Dále jsem objasnil aktuální metody výroby komínových vložek. Poté jsem se zaměřil na technologie dělení trubek bez ohledu na materiál, z kterého jsou vyrobeny. Vybral jsem technologie, které by šly aplikovat na komínové vložky. Vybrané technologie jsem mezi sebou porovnal podle zvolených kritérií. Jako nejvhodnější varianta pro řezání nevypálených keramických komínových vložek mi vyšlo orbitální řezání.

Abstract

The purpose of this bachelor's thesis is design of optimization process of ceramic flue liners cutting to reduce costs (defective parts) at the company P-D Refractories CZ.

In the first part I introduced the company P-D Refractories CZ and described refractory materials. I also explained current methods of flue liners. Then I focused on technology of cutting liners irrespective of material they are made of. I choose technologies which would be possible to apply to flue liners. I compared selected technologies according to selected criteria. As the best option I choose orbital cutting for cutting unfired ceramic flue liners.

Obsah

1. Úvod	7
2. Společnost P-D Refractories CZ a.s.	8
2.1. Historie společnosti	8
2.2. Současnost	9
3. Žárovzdorné materiály	12
3.1. Složení žárovzdorných materiálů	14
3.2. Použití žárovzdorných materiálů	14
3.3. Komínové vložky	15
3.3.1. Materiál komínových vložek v P-D Refractories CZ	16
4. Analýza výroby keramických komínových vložek	17
4.1. Průběh výroby komínových vložek v P-D Refractories CZ	17
4.1.1. Příprava směsi	17
4.1.2. Extruze trubky	18
4.1.3. Dělení trubky	19
4.1.4. Sušení keramických komínových vložek	21
4.1.5. Výpal keramických komínových vložek	21
4.2. Shrnutí problematiky současné výroby komínových vložek	23
5. Analýza technologií dělení trubek	24
5.1. Řezání trubek – nekonvenční metody	25
5.1.1. Řezání laserem	25
5.1.2. Řezání vodním paprskem	26
5.1.3. Řezání plazmou	27
5.1.4. Elektrojiskrové řezání	28
5.2. Konvenční metody	30
5.2.1. Řezání trubek kotoučovou pilou	30
5.2.2. Řezání trubek pásovou pilou	31
5.2.3. Dělení trubek stříháním	32
5.2.4. Dělení trubek řezným kotoučem	33
5.2.5. Dělení trubek upichováním	33
5.2.6. Orbitální dělení trubek	34
6. Porovnání a vybrání metod řezání	35
7. Vybrané metody	36

Optimalizace procesu dělení keramických komínových vložek

7.1.	Řezání vodním paprskem	36
7.1.1.	Volba stroje	36
7.1.2.	Způsob řezání	38
7.1.3.	Shrnutí	39
7.2.	Stříhání	40
7.2.1.	Volba stroje	40
7.2.2.	Princip stříhání	42
7.2.3.	Shrnutí	42
7.3.	Orbitální řezání	43
7.3.1.	Volba stroje	43
7.3.2.	Princip orbitálního řezání	45
7.3.3.	Shrnutí	45
8.	Porovnání vybraných metod	46
8.1.	Vybraná kritéria	46
8.2.	Vyhodnocení nejlepší metody	47
9.	Závěr	48
10.	Zdroje informací	49
11.	Seznam obrázků	53
12.	Seznam tabulek	55

1. Úvod

Bakalářská práce je zpracována ve spolupráci s P-D Refractories CZ a.s. Tato společnost se zabývá výrobou žárovzdorných materiálů a také keramických komínových vložek. Tyto komínové vložky se vyrábí ze žárovzdorného materiálu na bázi hlinitokřemičitanů. V posledních letech se zvýšily požadavky na kvalitu vyráběných komínových vložek, především na dodržování geometrických tolerancí (kruhovitost). V současné době dochází k výrobě 10 % neshodných dílů, přičemž 8 % neshodných dílů je tvořeno nedodržením předepsané kruhovitosti, které je způsobeno především metodou dělení komínových vložek.

Cílem mé práce je optimalizace procesu dělení keramických komínových vložek s ohledem na náklady (snížení počtu neshodných dílů). V první části bakalářské práce popíšu žárovzdorné materiály, jejich základní vlastnosti, složení a použití. Další část je zaměřená na průběh výroby komínových vložek v P-D Refractories CZ od přípravy směsi a extruze trubky až po dělení a vypalování komínových vložek. Dále udělám analýzu technologií dělení trubek bez ohledu na materiál, z kterého jsou vyrobeny. Tyto technologie rozdělím na konvenční a nekonvenční metody a stručně je popíšu. Poté z těchto technologií vyberu ty, co by šli aplikovat na dělení nevypálených komínových vložek, popíšu jejich princip, hlavní výhody a nevýhody a naskicuju možné řešení stroje. Nakonec vybrané technologie mezi sebou porovnáám pomocí rozhodovací analýzy a vyberu nejvhodnější možnost pro dělení komínových vložek.

2. Společnost P-D Refractories CZ a.s.

Společnost P-D Refractories CZ a.s. je jednou ze složek nadnárodní společnosti P-D Glas und Fenerfestwerke Wetro GmbH, která mimo České republiky má zastoupení také v Německu, Francii, Rusku, Číně, Japonsku a dalších zemích. [1]

Společnost P-D Refractories CZ a.s. má výrobní závody v Březině, Velkých Opatovicích a ve Svitavách. Tato společnost je jedním z největších výrobců a dodavatelů žárovzdorných výrobků a surovin ve Střední Evropě. Společnost převážně vyrábí a dodává materiál pro průmyslové firmy, které se zabývají technologiemi za použití vysokých teplot. Jsou to například firmy zabývající se sklářským, ocelářským, keramickým průmyslem. [1]

2.1. Historie společnosti

Historie společnosti P-D Refractories CZ a.s. sahá do roku 1892, kdy se rozhodla firma „Gessner a Pohl“, která těžila jíly v březinské oblasti, postavit továrnu na žárovzdorné výrobky ve Velkých Opatovicích.

V té době se továrna skládala ze tří oddělení: Pece, mlýny a cihlovka. Strojní zařízení zde bylo poháněno pomocí parního stroje. Výpal zde probíhal pomocí generátorového plynu, vyráběném ve vlastním generátoru typu Siemens.

V roce 1950 byla firma znárodněna a přejmenovaná na Moravské šamotové a lupkové závody Velké Opatovice (MŠLZ), které spadaly pod Československé keramické závody n. p. Praha, a měli závody ve Velkých Opatovicích, Mladějově, Nové Vsi, Koclířově, Javůrkách, Březině a Roubanině. V roce 1961 přibyl závod Březinka a v roce 1965 byl rozšířen závod ve Velkých Opatovicích, který byl nazván „Nová šamotka“. Starému závodu se od té doby začalo říkat „Stará šamotka“. V roce 1985 byl postaven závod Dinas Svitavy, kde se začalo vyrábět zboží z dinasu.

V roce 1991 se firma Moravské šamotové a lupkové závody Velké Opatovice stává akciovou společností. A koncem roku 2000 se stává německá společnost P-D Glas und Feurtestwerke Watro GmbH majoritním vlastníkem MŠLZ a.s., které se stávají členem mezinárodní skupiny Preiss-Daimler Group a mění název společnosti na P-D Refractories CZ a.s. [2]



Obrázek č. 1 Historie šamotky ve Velkých Opatovicích [9]

2.2. Současnost

V současnosti je společnost P-D Refractories CZ a.s. rozdělena na divize, které se nachází ve městech: Velké Opatovice, Svitavy, Březina a Březinka.

Ve Velkých Opatovicích (viz obr. 3) se nachází zařízení na výrobu širokého sortimentu tvarových kamenů, různých bloků vážících až několik set kilogramů. Vše se vyrábí se zaměřením na vysokou kvalitu a rozměrovou přesnost. [1]

Ve Velkých Opatovicích se také nachází sídlo akciové společnosti a jsou zde umístěny: [3]

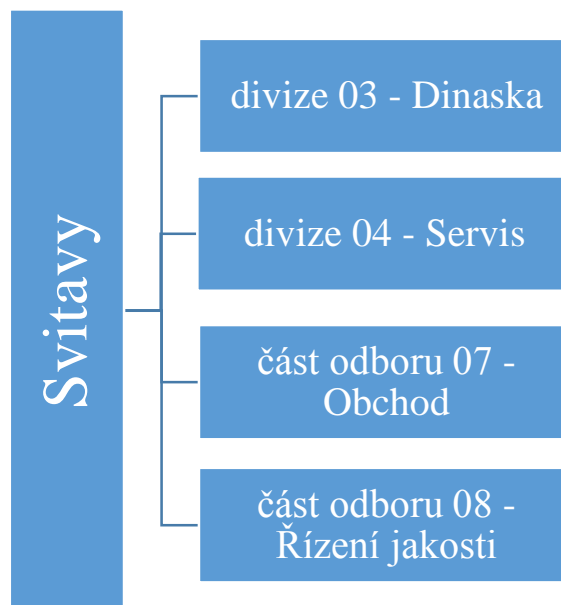


Obrázek č. 2 Schéma struktury ve Velkých Opatovicích



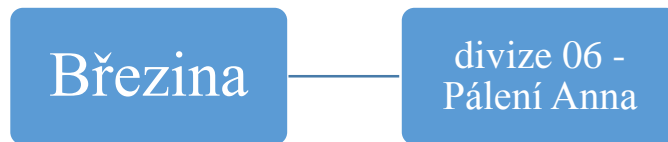
Obrázek č. 3 Velké Opatovice [3]

V závodě ve Svitavách se vyrábí dinasové kameny pro metalurgii, koksárenské pece a sklářský průmysl a najdeme zde tyto divize a odbory: [3]



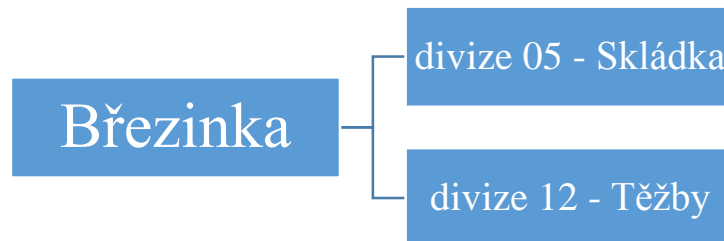
Obrázek č. 4 Schéma struktury ve Svitavách

Závod v Březině leží asi 10 km od Velkých Opatovic a slouží jako úpravárenský provoz. Probíhá zde pálení žárovzdušného jílu a jiné fyzikální úpravy substrátů. Větší část produkce slouží pro výrobu ve Velkých Opatovicích a Svitavách. [3]



Obrázek č. 5 Schéma struktury v Březině

Poslední závod je umístěn v Březince. Tady začala v roce 1961 ražba štoly, která vedla k ložisku jílu v této oblasti. V roce 2009 byl hlubinný důl v Březince dotěžen a v této lokalitě byla obnovena povrchová těžba. Od roku 1992 je zde provozována skládka Březinka a v roce 2009 zde byla otevřena skládka Březinka II. [3]



Obrázek č. 6 Schéma struktury v Březince

3. Žárovzdorné materiály

„Žárovzdorné materiály jsou definovány jako materiály, jejichž žárovzdornost je rovna nebo vyšší než žároměrka 150 (dříve 158), což představuje ekvivalentní teplotu 1500°C (1580°C).“[4] Kromě schopnosti odolávat teplotě nad 1500°C musí mít žárovzdorné materiály také jiné vlastnosti:

- Mechanické a tepelné – odolnost proti deformaci v žáru při zatížení, objemovou stálost žárovzdorných výrobků při vysokých teplotách, tepelná vodivost, teplotní roztažnost a další.
- Chemická stabilita – odolnost proti korozi (odolnost proti narušování materiálů od plynů nebo působením taveniny).[4]

Žárovzdorné materiály jsou většinou tvořeny na bázi oxidů, v menší míře se využívají karbidy a uhlík, žárovzdorné vlastnosti mají také látky na bázi nitridů a boridů, ale ty se tak často nepoužívají.[4][5]

Žárovzdorné materiály se dělí podle různých kritérií, já bych zde uvedl klasifikaci žárovzdorných výrobků podle výskytu hlavní složky.

Tab. 1 Klasifikace žárovzdorných výrobků (dle ISO 1109 1975) [4]

Výrobek	Limitující obsah hlavní složky	Kritéria pro podskupiny a obecné poznámky
Vysocehlinité výrobky skupina 1	$\text{Al}_2\text{O}_3 > 56\%$	Úplné označení těchto výrobků má zahrnovat označení o původu surovin použitých při výrobě nebo mineralogické složení výsledného výrobku. V tomto případě je nutno se dohodnout na metodě stanovení tohoto složení.
Vysocehlinité výrobky skupina 2	$45\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 56\%$	
Šamotové výrobky	$30\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 45\%$	
Křemičitošamotové výrobky	$45\% \leq \text{Al}_2\text{O}_3 < 56\%$ $\text{SiO}_2 < 85\%$	
Křemičité výrobky	$85\% \leq \text{SiO}_2 < 93\%$	

Optimalizace procesu dělení keramických komínových vložek

Pokračování tabulky

Dinasové výrobky	$\text{SiO}_2 \leq 93\%$	Specifikace jakosti odpovídá účelu použití
Zásadité výrobky <ul style="list-style-type: none"> - Magnezitové - Magnezitchromové - Chrommagnezitové - Chromitové - Forsteritové - Dolomitové 	$\text{MgO} > 80\%$ $55\% \leq \text{MgO} < 80\%$ $25\% \leq \text{MgO} < 55\%$ $\text{Cr}_2\text{O}_3 \geq 25\%$ $\text{MgO} \leq 25\%$	Hlavní surovina magnezit Hlavními surovinami je magnezit a chromit Hlavními surovinami je chromit a magnezit Hlavní surovinou je chromit Hlavní složkou je forsterit Hlavní složkou je dolomit
Speciální výrobky		Výrobky na bázi <ul style="list-style-type: none"> - Uhlíku - Grafitu (tuhy) - Zirkonu - Siliciumkarbidu - Karbidů (mimo SiC) - Nitridů - Spinelů (kromě chromitu) Výrobky na bázi různých oxidů (kromě zásaditých) Výrobky na bázi čistých oxidů včetně Al, Si, Mg, Zr, výrobky vysoké čistoty

Existují i další rozdělení žárovzdorných výrobků a žárovzdorných materiálů.

3.1. Složení žárovzdorných materiálů

Většina keramických materiálů, tedy i žárovzdorné materiály, se vyrábí z přírodních surovin. Keramické suroviny rozdělujeme podle jejich funkce do tří skupin [4],[6].

- 1) Plastické suroviny – Do této skupiny patří suroviny, které umožňují výsledné směsi se tvarovat a dodávají směsi plasticitu. Mezi plastické suroviny patří jíly, hlíny a další.
- 2) Ostřiva – Jsou to suroviny, které se přidávají do směsi, aby se materiál při sušení a výpalu tolik nesmršťoval. Jako ostřivo se používá např. křemičitý písek.
- 3) Speciální přísady – Speciální přísady neboli aditiva (taviva) jsou látky, které se přidávají do směsi pro lepší zpracování
- 4) Voda

3.2. Použití žárovzdorných materiálů

Žárovzdorné výrobky (tvarovky) mají uplatnění v různých průmyslových odvětvích. To bude uvedeno v následujících bodech. [7],[8]

- a) Sklářský průmysl
 - tvarovky pro tavící vany
 - tvarovky pro sklářské pece (hořákové tvarovky)
 - žárovzdorné prvky pro pánvové pece
- b) Keramický průmysl
 - kruhové pece
 - tunelové pece (tunelové pecní vozy, hořáky)
- c) Chemický / petrochemický průmysl
 - spalovací pece pro tekuté materiály a plyny
- d) Ocelářský průmysl
 - koksárenské pece
 - licí pánve (výtokové kameny, dopadové desky)
 - elektrické obloukové pece
- e) Spalovny, topeniště (krby, kamna)
 - speciální spalovací pece
 - hořáky, tavící komory
- f) Elektrárny a teplárny
 - kotle (lignitové, na černé uhlí)
- g) Komínové vložky

3.3. Komínové vložky

Komínové vložky slouží pro odvod spalin ze spalovacích kotlů používaných v domácnostech. V současnosti jsou na trhu různé druhy komínových vložek, které lze rozdělit podle materiálu, z kterého jsou vyrobeny.

Rozdělení komínových vložek podle použitého materiálu:

- Keramika
- Nerezová ocel

Dále jsem našel hliníkové a plastové komínové vložky, ty jsou však omezené přípustnou teplotou spalin, které mohou odvádět.



Obrázek č. 7 Ocelová a keramická komínová vložka [10], [7]

Komínové vložky musí odolávat vysokým teplotám, ke kterým dochází při spalování paliva. Dále nesmí chemicky reagovat se spalinami, které vzniknou při hoření. Je také důležité, aby komínové vložky měly dlouhou životnost (prakticky neomezenou). A další neméně důležitá vlastnost je rozměrová přesnost. Pro výrobce je určitě výhodné dělat komínové vložky co možná nejtenčí, při zachování výše uvedených vlastností. Méně materiálu znamená méně nákladů na materiál.

3.3.1. Materiál komínových vložek v P-D Refractories CZ

V současné době se komínové vložky v P-D Refractories CZ vyrábí ze směsi pojiva, ostřiva a vody. Pojivo tvoří asi 60% směsi a používá se žárovzdorný jíel. Ostřivo tvoří 40% směsi a skládá se asi z 40% z Al_2O_3 a z 60% z SiO_2 . Do této směsi se potom vlévá voda asi 60 l na 1,1 tuny směsi. Výrobky z této směsi bych zařadil podle tabulky 1 do skupiny vysocehlinité výrobky. Tato směs, zejména ostřivo, má vysoké abrazivní účinky (viz obr. 8), není elektricky vodivá a také je to směs, která ještě není vypálená, což bude mít vliv na způsob zvoleného řezání komínové vložky.



Obrázek č. 8 Opotřeбенý нůž po jedné směně [11]

4. Analýza výroby keramických komínových vložek

V současné době je společnost P-D Refractories CZ a.s. jedním z největších výrobců keramických komínových vložek v Evropě. Momentálně je firma vyrábí ve Velkých Opatovicích v tzv. Staré šamotce.

Při výrobě keramických komínových vložek se začíná přípravou směsi, následuje lisování trubky na šnekovém lisu (extruze), dále nastává řezání a doprovodné operace a proces se ukončuje vypalováním a kontrolou.



Obrázek č. 9 Schéma postupu výroby komínových vložek

4.1. Průběh výroby komínových vložek v P-D Refractories CZ

4.1.1. Příprava směsi

Nejdříve se přiveze surovina do uskladňovacího prostoru. Odkud se dostává pomocí pásového dopravníku do drtiče, kde se surovina rozdrťí na menší části. Pomocí transportního systému se surovina doveze do mlýna, kde probíhá rozemletí. Následuje závěrečné rozmělnění materiálu přes síta dvěma železnými válci, které pomocí hydraulického zařízení nebo díky vlastní tíze procedí materiál přes síto (viz obr. 10, 11). Dále probíhá smíchání směsí SiO_2 a Al_2O_3 v mísiči v daném poměru a nalití vody do směsi.



Obrázek č. 10 Zařízení na mletí horniny



Obrázek č. 11 Vnitřek zařízení na mletí horniny

4.1.2. Extruze trubky

Dávka takto vytvořené směsi se vysype do motorového vozíku, který převezde směs do zásobníku u lisu. Při výrobě keramických komínových vložek v P-D Refracotries CZ se používá tlačení na horizontálních vakuových šnekových lisech (viz obr. 12). Vnější průměr tlačené trubky závisí na vnitřním průměru koncové části u lisu (viz obr. 13). Tato část se vyrábí z wolframu, aby nedocházelo k neustálému obrušování této části stroje a tím i ke zvětšování průměru vytlačené trubky. A vnitřní průměr trubky závisí na kuželové části (viz obr. 13).



Obrázek č. 13 Vnitřní a vnější koncová část lisu na výrobu trubky



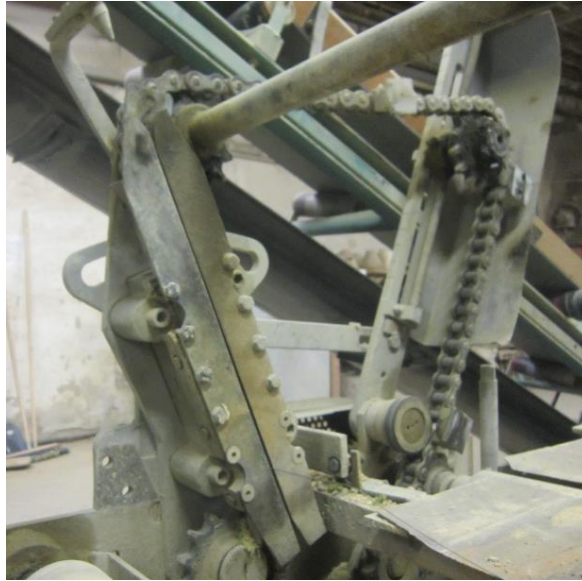
Obrázek č. 12 Vytlačování trubky lisem [11]

4.1.3. Dělení trubky

Šnekový lis vytlačí nekonečně dlouhou trubku, která se dostává za lisem na pásový dopravník. Asi po 2 metrech od lisu nastává řezání. Ještě těsně před řezáním je trubka kalibrována pomocí válečku (viz obr. 14), který prochází vytlačenou trubkou a je upevněn přes tyč k lisu. Řezání, ještě nevypálené trubky, probíhá pomocí dvou drátů tlustých 1 mm, které se pohybují po předem dané dráze (viz obr. 15). Řeže se zešikma, na horní části trubky se drát zařízne, protože lis neustále vytlačuje hmotu, tak se drát pohybuje šikmo dolů ve směru pohybu pásového dopravníku a trubky na něm umístěné. A tady nastávají problémy. Občas se stává, že drát při řezání praskne. A další, ještě větší problém je, že někdy drát při řezání trubku zmáčkne a ta potom nesplňuje předepsanou kruhovitost (válcovitost), ale je oválná.



Obrázek č. 14 Kalibrace vnitřního průměru trubky

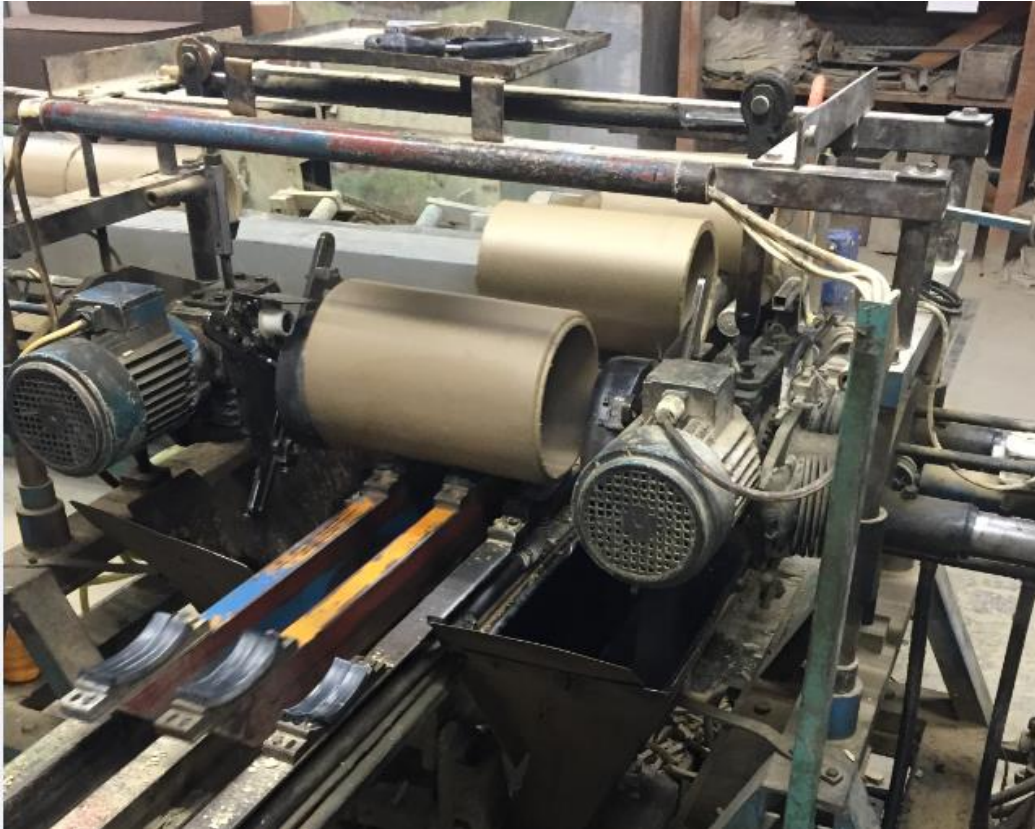


Obrázek č. 15 Zařízení pro řezání trubky

Takto uříznutou trubku dělník očistí a posune ji na pásový dopravník, který se pohybuje rychleji než předchozí část a tím se mezi trubkami na dopravníku vytvoří mezera. Na konci pásového dopravníku se trubka dostane na tři upravené válce (viz obr. 16), u kterých je čidlo. Když čidlo zjistí, že je na válcích trubka, tak se zvedne pod válci dopravník, který přesune a umístí trubku dále na lince. Na toto místo přijede další dopravník, který přemístí trubku na pracoviště, kde se vyrábí drážky na trubkách (viz obr. 17). Z tohoto pracoviště odveze dopravník téměř hotovou komínovou vložku (ještě nevypálenou) na konec linky, kde je pracovník skládá na připravený vůz.



Obrázek č. 16 Přechod trubky na jiný dopravník [11]



Obrázek č. 17 Výroba drážky na komínové vložce [11]

4.1.4. Sušení keramických komínových vložek

Když jsou komínové vložky naskládány v dostatečném počtu na vůz (viz obr. 18), vůz odjede do pece, kde se materiál vysouší. Sušení je důležitý proces před vypalováním materiálu, kdy se z komínových vložek odstraňuje přebytečná vlhkost. Sušení probíhá za teploty okolo 100°C po dobu 32 hodin. Kdyby nebylo zařazeno sušení před výpalem, tak by v peci na výpal docházelo při vysokých teplotách k praskání keramického materiálu.

4.1.5. Výpal keramických komínových vložek

Po vysoušení materiálu následuje vypalování. To je časově nejnáročnější část výroby, trvá asi 60 hodin. Probíhá v tunelové peci (viz obr. 19), která je vytápěna zemním plynem. Tunelová pec ve Velkých Opatovicích, kde nyní P-D Refractories CZ vypaluje komínové vložky, je dlouhá 198m. Vypalování je rozděleno na tři části. V první části se výrobky předeřívají, v další části jsou výrobky vystaveny nejvyššímu žáru okolo 1160°C

Optimalizace procesu dělení keramických komínových vložek

a v poslední části tunelové peci se výrobky pomalu ochlazují. Po výpalu a zchlazení následuje kontrola. Kontrolovány jsou všechny komínové vložky a to vizuálně, jestli tam nejsou trhliny, a dále hmatem, jestli trubka není oválná. Zkontrolované komínové vložky se dávají na paletu a uskladní se.



Obrázek č. 18 Komínové vložky připravené k sušení [11]



Obrázek č. 19 Výpal tvarovek v tunelové peci

4.2. Shrnutí problematiky současné výroby komínových vložek

P-D Refractorices CZ ve své marketingové studii z roku 2014 analyzovala největší problémy při výrobě komínových vložek ve svém podniku a možnosti pro jejich napravení. Studie byla zaměřena na zlepšení vlastností komínových vložek a snížení nákladů při výrobě. [11]

U zlepšení vlastností se jednalo především o zhutnění směsi a to buď vývojem směsí na komínové vložky, anebo změnou použité technologie lisování. V současné době probíhá lisování na horizontálně uspořádaných šnekových lisech, ale jejich změna by byla v současné době nemožná. [11]

U snížení nákladů se jedná především o snížení zmetkovitosti a to především zlepšení geometrických tolerancí (kruhovitost) komínových vložek. Výsledná ovalita má za následek až 9% zmetkovitosti při výrobě. Tato ovalita je způsobena především současným dělením komínových vložek, v menší míře pak použitým dopravníkem. [11]

Důvody zmetkovitosti KKV				Celková zmetkovitost
Ovalita	Trhlina	Vytavenina	Mechanické poškození	
1. pololetí 2014				9,5
75,4	24,3	0,1	0,2	
únor 2014				10,6
81,2	18,3	0,1	0,4	
březen 2014				10,1
68,7	31,2	0,1	0	
duben 2014				9,8
68,6	31,4	0	0	
květen 2014				8,2
77,8	21,8	0,1	0,3	
červen 2014				9,7
87,7	11,2	0,5	0,6	

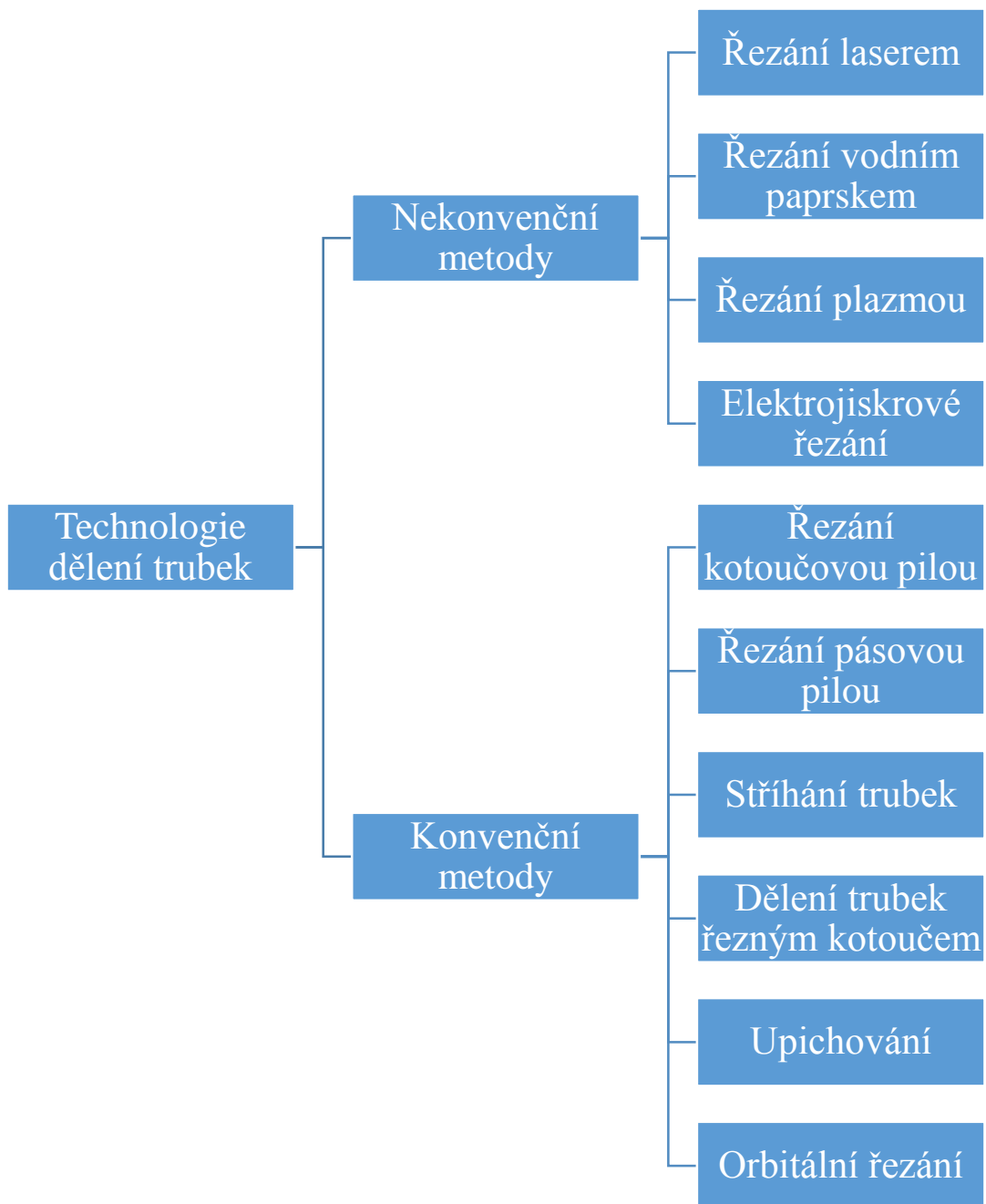


Obrázek č. 20 Důvody zmetkovitosti KKV v první polovině roku 2014 [11]

V další kapitole se zaměřím na současné způsoby dělení trubek a z těchto metod se pokusím zvolit nejlepší variantu pro dělení komínových vložek.

5. Analýza technologií dělení trubek

V této části se budu věnovat různými způsoby dělení trubek bez ohledu na materiál, z kterého jsou vyrobeny. Nejdříve rozdělím metody dělení trubek (viz obr. 21). Stručně popíšu každou metodu, uvedu u ní výhody a nevýhody.



Obrázek č. 21 Schéma rozdělení metod dělení trubek

5.1. Řezání trubek - nekonvenční metody

Nekonvenční metody řezání materiálu jsou založeny na bázi fyzikálního nebo fyzikálně-chemického principu k úběru materiálu. [12]

Dělení trubek pomocí nekonvenčních metod není využíváno tak často jako třeba řezání na pilách, ale má své specifické uplatnění. Využívá se zejména při dělení těžkoobrobitelných materiálů nebo za dosažením určitého specifického tvaru výsledného řezu. Z těchto metod se nejčastěji na řezání trubek využívá laser, vodní paprsek, plazma v menší míře řezání kyslíkem a elektrojiskrové řezání.

5.1.1. Řezání laserem

„I když přesný překlad akronymu laser znamená zesilování světla využitím stimulované emise, slovo laser se obecně používá především pro označení generátoru optického záření.“[13] Řezání laserem se řadí mezi novější metody dělení materiálu.

„Laserové obrábění je založeno na využití fotonové eroze, tj. na rozkládání a odstraňování obráběného materiálu tepelným působením světelného záření.“ [12]

Řezání laserem probíhá buď pomocí robotů, ale většinou probíhá na CNC řízených strojích, které tvoří pracovní stůl, rezonátor, laserový stroj, terminál obsluhy, filtrovací a chladicí jednotky. [14]

V praxi jsou využívány tři typy laserů na řezání. Nejčastěji se používá CO₂ laser. Další lasery na řezání např. Nd-YAG laser, excimerový laser. [14]

Laserem se mohou řezat různé druhy materiálů. Kovové materiály (ocel) a neželezné kovy (titan, hliník) se řezou pomocí CO₂ laseru. Nekomovové materiály (keramika, kompozity, plasty) se řezou převážně excimerovým laserem. Kovové materiály a neželezné kovy se řezou přímo, zatímco nekovové materiály se dělí tak, že se vyřeže drážka v materiálu a pak se materiál pomocí tzv. kontrolovaného lomu rozlomí. [14]

Hlavní výhodou této metody je rozmanitost řezaných materiálů, další výhodou je rychlost řezu (hlavně u slabších materiálů) a malý řez s malou teplotně ovlivněnou oblastí. Naopak hlavní nevýhoda je tloušťka řezaného materiálu, která je asi 16mm u konstričních ocelí, další nevýhoda je snížení rychlosti při řezání obrobků s větší tloušťkou materiálu.

V praxi se využívá řezání laserem převážně pro vyřezávání do plechů, ale některé stroje jsou vybavené přímo pro řezání různých profilů a trubek (viz obr. 22).[14], [15]



Obrázek č. 22 ADIGE laser tube LT8 [16]

5.1.2. Řezání vodním paprskem

Princip je založen na dělení materiálu pomocí vysokotlakého vodního paprsku, který má abrazivní účinky. Řezání probíhá buď čistým vodním paprskem (Waternife) nebo vodním paprskem s abrazivní příměsí (Paser). [12]

Zařízení na řezání vodním paprskem (viz obr. 23) se skládá z lapače vody, opěrného roštu, zásobníku abraziva, dopravního a měřícího systému, řezací hlavice, terminál pro obsluhu a vysokotlakého čerpadla, které umožňuje vyvinout tlak až 400Mpa a voda z něj vytryskává rychlostí až $900\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Množství vody, které proteče čerpadlem, je až $8\text{l}\cdot\text{min}^{-1}$. Při řezání se voda zachytává v lapači vody, poté je voda přefiltrována a může být znovu použita k řezání materiálu.[12],[17]



Obrázek č. 23 Model Mach 4c pro řezání vodním paprskem [20]

Vodním paprskem se mohou řezat různé duhy materiálů. Čistým vodním paprskem se mohou dělit nekovové materiál jako např. plast, pryž. Vodním paprskem s abrazivní příměsí lze řezat velmi tvrdé materiály jako titan, dále tak můžeme řezat křehké materiály např. sklo, keramika. [17]

Výhodou řezání vodním paprskem je, že nevzniká tepelně ovlivněná oblast, dále má úzký řez, je dosahována vysoká přesnost řezu, má vysokou energetickou účinnost a mohou se pomocí této metody obrábět různé druhy materiálů. Naopak nevýhodou je samotný kontakt s vodou, proto se některé kovové materiály musí ošetřit, další nevýhoda je, že některé materiály nasávají vodu a musí se potom vysoušet. [18], [19]

5.1.3. Řezání plazmou

Princip je založen na roztavení řezaného materiálu pomocí vysoké teploty (větší než 10000°C), která se vytváří rozpadem molekul plynu za vysokého vývinu tepla, když prochází elektrickým obloukem, hořícím mezi netavící se elektrodou (katodou -) a řezaným materiálem (anodou +). [12]

K řezání plazmou lze provádět pomocí ručního nebo strojního automatizovaného zařízení (viz obr. 24). To se skládá z řezacího stolu, na kterém je upevněná součást, řezacího hořáku, který se pohybuje pomocí CNC řídicí jednotky. Součástí řezacího hořáku je netavící se, většinou wolframová elektroda (může být také thoriová, háfniová). Řezacím hořákem prochází směs plynu, vytvořená pomocí směšovací jednotky. Používá se plazmový plyn

a plyn ochranný. Z plazmového plynu vzniká plazmový paprsek a slouží k řezání materiálu. Ochranný plyn chrání obráběný materiál a plazmu před okolní atmosférou a slouží ke stabilizaci plazmy (k zaostření paprsku plazmy) [21]



Obrázek č. 24 CNC řezací stroj Vanad Kompakt (vlevo), ruční systém pro plazmové řezání Powermax 85 [23],[24]

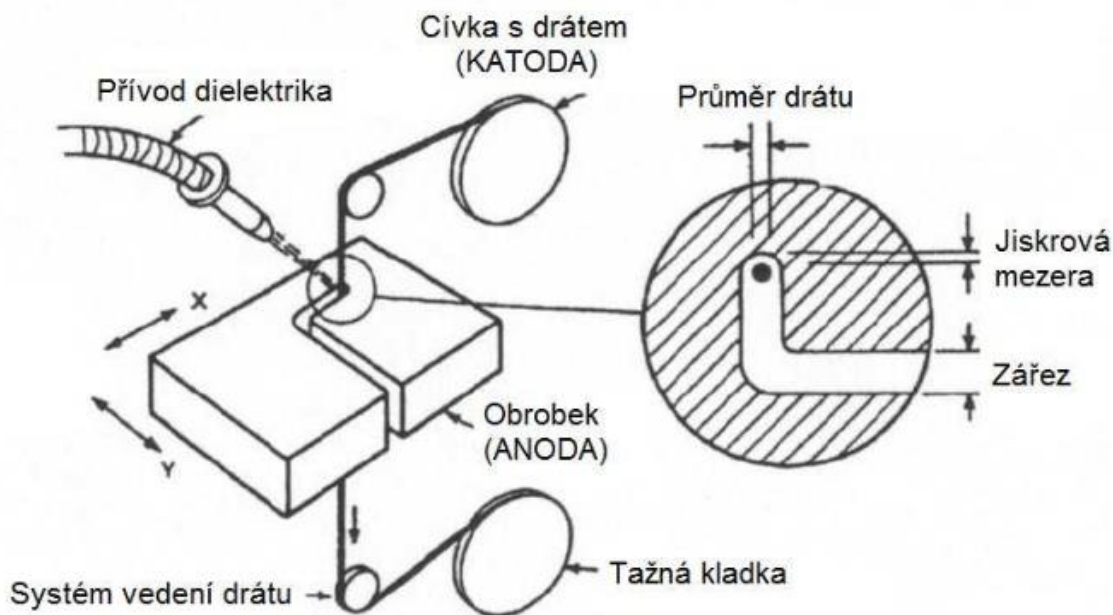
Tento způsob se může využívat i na řezání profilů (trubek) většinou pomocí automatizovaného zařízení. Nejčastěji se řezání plazmou používá pro dělení konstrukční oceli, dále je možné řezat i legovanou ocel, nerezavějící ocel, hliník, další materiály se řezou jen velmi málo tímto způsobem.

Výhodou této metody je vysoká automatizace této metody, vysoká řezná rychlost (záleží na materiálu a na tloušťce řezaného polotovaru), možnost řezat i více hořáky najednou. Nevýhodou této metody je řezání elektricky vodivých materiálů, širší řez, omezení použití při tloušťce materiálu okolo 180mm, snížení rychlosti řezání při větších tloušťkách materiálu. [22]

5.1.4. Elektrojiskrové řezání

Elektrojiskrové řezání je jeden ze způsobů elektroerozivního obrábění, které mají společný znak, a to je ubírání materiálu pomocí opakujících se elektrických výbojů. [25]

Dělení materiálu probíhá pomocí elektrického výboje, který vzniká na elektrodě (drát) a obrobkem. K obrobku, který je ponořen v dielektriku (deionizovaná voda) se přibližuje elektroda. Při dostatečném přiblížení elektrody k obrobku vznikne elektrický výboj. V místě dopadu elektrického výboje vzniká vysoká teplota okolo 10000°C, touto teplotou se materiál na obrobku roztaví a tlakem par je materiál odnesen z místa řezu. Tento děj se při určité frekvenci opakuje a způsobuje dělení materiálu.



Obrázek č. 25 Princip elektrojiskrového řezání drátovou elektrodou [26]

Elektrojiskrové řezání probíhá na speciálních strojích s CNC řízením, které se skládají z rámu stroje, generátoru impulzů, systému vedení drátové elektrody a čerpací systém na dielektrikum. Drát na řezání musí být dostatečně napnutý, aby řez byl přesný, dále se musí neustále odvíjet, aby nedošlo k prasknutí drátu při obrábění. Drát se vyrábí z mědi, mosazi a molybdenu o průměru od 0,03 mm. [26]

Tento způsob nebývá často využíván na řezání trubek. Pomocí této metody se řezají elektricky vodivé materiály. Výhodou při elektrojiskrovém řezání je tenký řez, nízká cena drátu, oproti jiným nástrojům a vysoká možnost automatizace. Nevýhoda je řezání pouze elektricky vodivých materiálů, nízká rychlost řezání a nutnost navrtat otvor pro drát. [27]

5.2. Konvenční metody

Řezání materiálu pomocí nástrojů s předem definovanou geometrií nebo zrnny brusiva. [12]

5.2.1. Řezání trubek kotoučovou pilou

Kotoučová pila je nejčastěji využívaný stroj na dělení materiálu v podnicích. Princip spočívá ve vnikání pilového kotouče do materiálu. Pilový kotouč vykonává rotační pohyb, zatímco posuvný pohyb vykonává většinou obrobek. [28]

Může se jednat o kotoučovou pilu, která vykonává pouze řezný pohyb nebo o plně automatizovanou pilu, kde se pomocí jeřábu dají tyče na dopravník. Z dopravníku se tyče dostávají na kotoučovou pilu, kde se řezou na předem určenou délku a z pily dále putují na výstupní část dělicích linek, kde se tyče (trubky) dělí na dobré kusy a na odpad. Popřípadě místo výstupní části dělicích linek může být umístěný robot anebo může následovat další pracoviště na obrábění tyčí (trubek). [29]



Obrázek č. 26 Kotoučová pila Exactcut 155 [29]

Řezný nástroj u kotoučové pily je pilový kotouč. Šířka zubů na kotouči bývá v rozmezí od 2 mm do asi 11 mm. Čímž se dostáváme k nevýhodě kotoučových pil, a tou je, široký

úběr materiálu. Kotoučovou pilu můžeme použít na dělení různých druhů materiálů, ať už jde o kovové, nekovové nebo plastové trubky. Podle druhu řezaného materiálu volíme řezný kotouč. V současné době se většinou vyrábí řezné kotouče s vyměnitelnými břitovými destičkami.

5.2.2. Řezání trubek pásovou pilou

Princip spočívá ve vnikání břitů pilového pásu do obrobku. Nástroj (pilový pás) je nasazen na dva kotouče, jeden kotouč je hnací a druhý hnaný. Průměr těchto kotoučů u větších pásových pil může dosahovat až 1200 mm. Do řezné části je potom pás narovnáván pomocí kladek.[28]

Nástroj pro řezání pásovou pilou je pilový pás, většinou jsou to pásy z nástrojové oceli anebo z ušlechtilé oceli (bimetalové pásy) které mají na jedné straně zuby. Délka pilových pásů, záleží na typu použitého stroje, může být i několik metrů, tloušťka pásu bývá menší než tloušťka kotouče u kotoučové pily a je asi 1 mm. Rozteč zubů závisí na typu řezaného materiálu a na průměru obrobku. Při špatném zvolení pilového pásu, upnutí obrobku může dojít k rychlému otupení pilového pásu nebo třeba ke křivému řezu. [28]

Na pásové pile se mohou řezat trubky z různých materiálů – plastové, kovové (nerezová ocel, nástrojová ocel atd.). Oproti kotoučové pile má menší úběr materiálu.

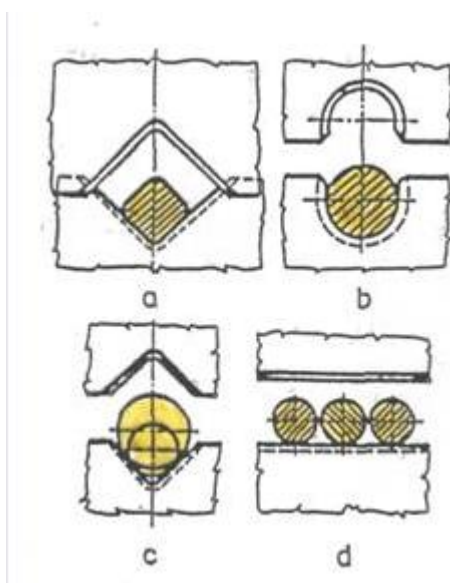


Obrázek č. 27 Pásová pila ARG 640 DC S.A.F. [30]

5.2.3. Dělení trubek stříháním

Stříhání se označuje jako beztržkové dělení materiálu a je založeno na oddělení materiálu pomocí dvou břitů za působení smykového napětí. Materiál je při stříhání vytlačován do stran. Stříhání je vhodné pro měkké a tvárné materiály. [31]

Při stříhání jakéhokoliv profilového výrobku se musí dbát na to, aby stříhaná tloušťka materiálu byla v každém okamžiku přibližně stejná. Kvůli tomuto pravidlu se musí zvolit správný obrys nože pro stříhání různých profilů (viz obr. 28). Pro stříhání trubek je nejlepší zvolit obloukový profil pohybujícího se nože se zašpičatělou částí, která trubku nejdřív propíchne.[31]



Obrázek č. 28 Nože b, c na kruhový materiál a nože a, d na čtvercový materiál [31]

Ke stříhání trubek s velmi malým průměrem a pro kusovou výrobu se mohou používat i speciální nůžky. Pro větší série se pak používají strojní nůžky s hydraulickým, pneumatickým nebo elektromechanickým pohonem, dále ke stříhání profilů je možno použít i lisy.[28]

Výhodou stříhání je, že se jedná o beztržkovou metodu dělení, nedochází ke ztrátě materiálu prořezem jako u ostatních konvenčních metod. Naopak nevýhodou je možné zdeformování stříhaného profilu.

5.2.4. Dělení trubek řezným kotoučem

Při rozbrušování dochází k úběru materiálu pomocí abrazivního účinku rychle rotujícího brousícího kotouče, rychlost může být i $100\text{m}\cdot\text{s}^{-1}$. Posuvný pohyb většinou vykonává rotující brousící kotouč. [32]

Při řezání malého počtu kusů se využívají ruční nebo stolové rozbrušovačky. Při sériové výrobě se už využívají poloautomatické nebo automatické rozbrušovačky. Jako řezný nástroj u této metody je použitý řezný kotouč, tvořen brousícími zrný a pojivem. [32]

Rozbrušování je vhodná metoda dělení pro různé materiály od různých druhů litin až po neželezné kovy nebo třeba keramiku. Výhodou této metody je rychlost řezání materiálu a dosažení malé drsnosti řezaného povrchu. Nevýhoda je vznik tepla při řezání a tepelné ovlivnění materiálu v oblasti řezu. [32]

5.2.5. Dělení trubek upichováním

Princip založený na rotačním pohybu obrobku a posuvného pohybu nástroje. Tato metoda řezání je určena především pro rotační součásti (jako např. trubky).

Stroje pro upichování jsou buď soustruhy, anebo obráběcí centra. Jako nástroj je využíván upichovací nůž (viz obr. 29).



Obrázek č. 29 Upichovací nůž [33]

V současné době se tato metoda moc nevyužívá k řezání materiálu, kromě obráběcích center, kde je součást dále obráběna. Upichováním se dají řezat trubky z různých materiálů, záleží hlavně na použitém upichovacím noži. Nevýhoda této metody je vysoký úběr

materiálu (asi 2 mm), zase záleží na upichovacím noži a vnášení velkých tlaků při najetí nožem do materiálu.

5.2.6. Orbitální dělení trubek

Princip spočívá v řezání pomocí kotouče, který rotuje kolem své osy, tím vykonává řezný pohyb a současně se pohybuje po dráze ve tvaru kružnice a při tom řeže materiál. Tento způsob je určen speciálně pro trubky. Slouží nejen k řezání trubek, ale bývá využíván i jako orbitální svařování trubek.

Nejdříve se trubka upne mezi čelisti stroje, poté se nastaví stroj na velikost trubky a následuje samotné řezání pomocí kotouče, který je podobný kotouči na kotoučové pile, akorát je menší. Pohyb kotouče po kružnici (po trubce) je řešen buď ručně, otáčením kličky se přenáší rotační pohyb na stroj. U speciálních strojů je už tento pohyb automatizován.

Touto metodou se řezou trubky z různých materiálů (ocelové, plastové). Výhodou této metody je přesnost a drsnost obroběného povrchu. U automatizovaných strojů je to i rychlost řezání. Nevýhodou je potom řezání trubek různých průměrů, protože stroje na orbitální řezání jsou vyráběny pro upnutí trubek v určitém rozsahu.



Obrázek č. 30 Stroj Axxair pro orbitální řezání [34]

6. Porovnání a vybrání metod řezání

V předchozích kapitolách jsem rozebral metody dělení trubek bez ohledu na materiál trubky. Některé způsoby pro dělení keramické nevypálené trubky jsou nevhodné. V této kapitole vyberu vhodné metody pro dělení keramických trubek a porovnám je mezi sebou. U ostatních metod stručně vysvětlím, proč jsem je naopak nevybral.

Opět začnu s nekonvenčními metodami. Řezání laserem se v tomto případě nehodí, ať už je to řezaným materiálem (nevypálená keramika) nebo také tloušťkou trubky. V případě nevypáleného materiálu by u této metody mohlo docházet k tepelnému ovlivnění materiálu v oblasti řezu. Další problém je tloušťka stěn komínové vložky, která může být až 25 mm, to už nemusí laser zvládnout.

Dalšími nevhodnými metodami jsou řezání plazmou a elektrojiskrové řezání. Jejich nevýhodami jsou tepelná ovlivněná oblast v místě řezu a možnost řezat elektricky vodivé obrobky. V těchto případech je tepelně ovlivněná oblast ještě větší než od paprsku laseru.

Jediná nekonvenční metoda, která by mohla řezat nevypálenou komínovou vložku je řezání vodním paprskem.

Z konvenčních metod bych vyloučil řezání kotoučovou pilou, pásovou pilou a rozbrušování, které by při záběru do nevypálené komínové vložky působily spíše destruktivně. Dále je také nevyhovující upichování, protože není možné, aby vytlačená trubka z lisu mohl nějak rotovat kolem své osy.

Stroje pro stříhání a orbitální řezání trubek by se musely upravit, aby se na nich mohli dělit komínové vložky.

Tab. 2 Určení vhodných a nevhodných metod pro dělení keramických komínových vložek

Metoda	Řezání laserem	Řezání vodním paprskem	Řezání plazmou	Elektrojiskrové řezání
Vyhovující / nevyhovující				

Pokračování tabulky

Metoda	Řezání kotoučovou pilou	Řezání pásovou pilou	Dělení trubek stříháním	Dělení řezným kotoučem	Upichování	Orbitální řezání
Vyhovující / nevyhovující						

= nevhodné metody, = vhodná metoda

7. Vybrané metody

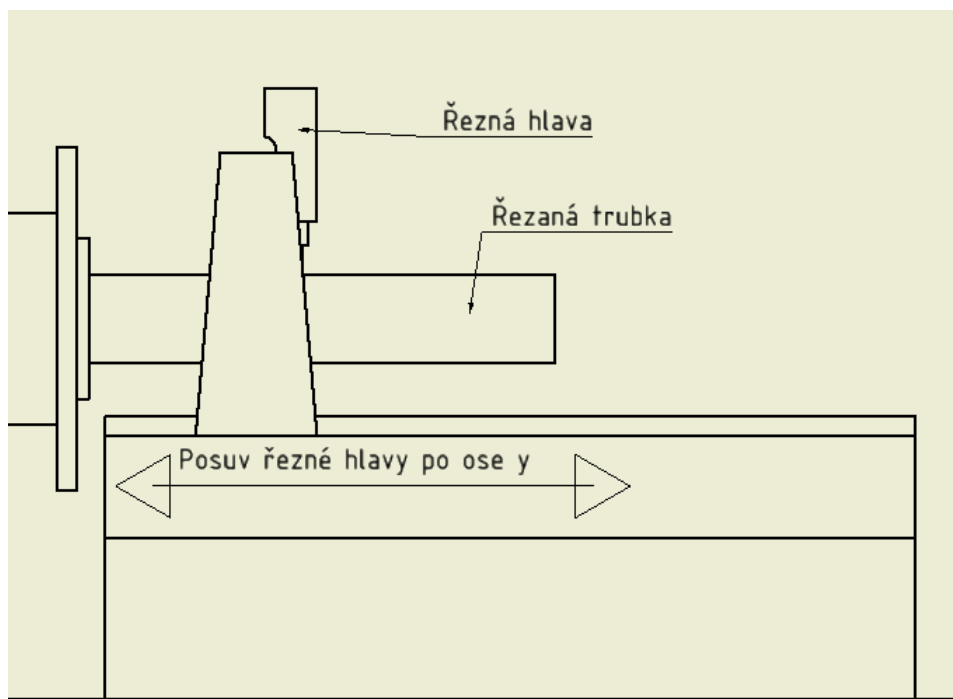
Z metod dělení trubek jsem vybral řezání vodním paprskem, stříhání a orbitální řezání. Všechny tři metody by musely být speciálně upraveny pro provoz na řezání nevypálených keramických komínových vložek v P-D Refracotries CZ. U všech tří způsobů dělení komínových vložek počítám s tím, že se bude jednat o automatizovaný proces, bez větších zásahů člověka a s odebráním odříznutých komínových vložek robotem.

7.1. Řezání vodním paprskem

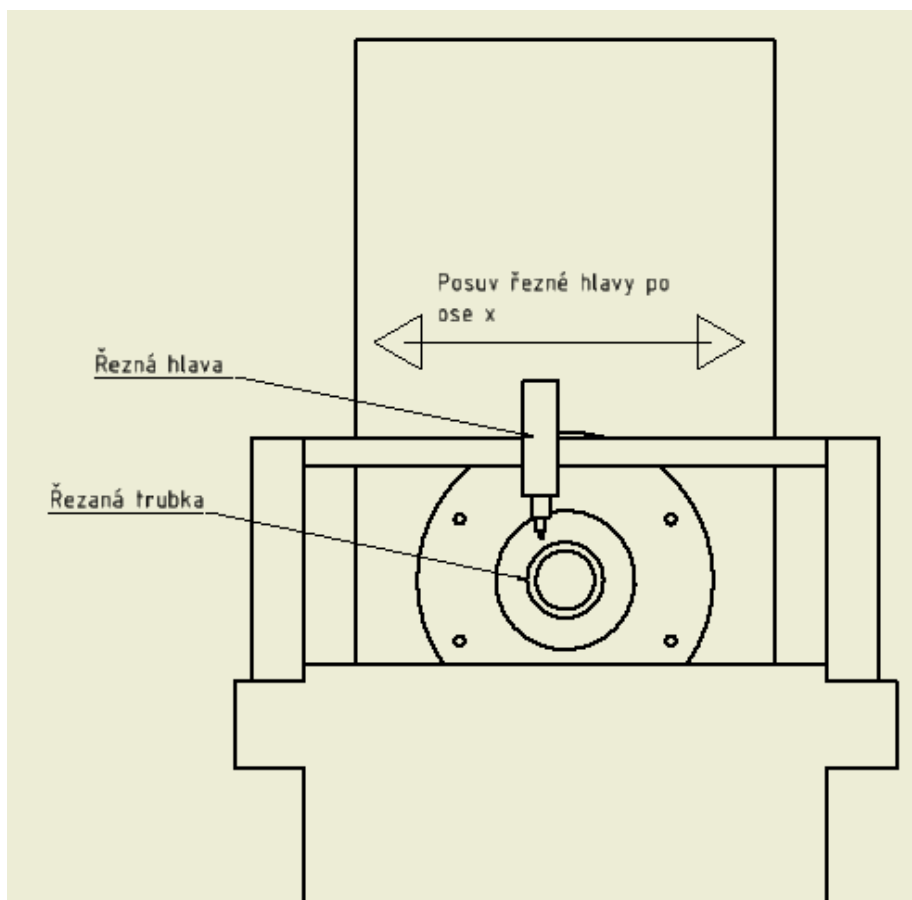
Kdyby se použilo řezání vodním paprskem, tak by se s ohledem na náklady jednalo o stroj s jednou řezací hlavou. Řez by probíhal z jedné strany trubky na druhou, až by došlo k uříznutí trubky.

7.1.1. Volba stroje

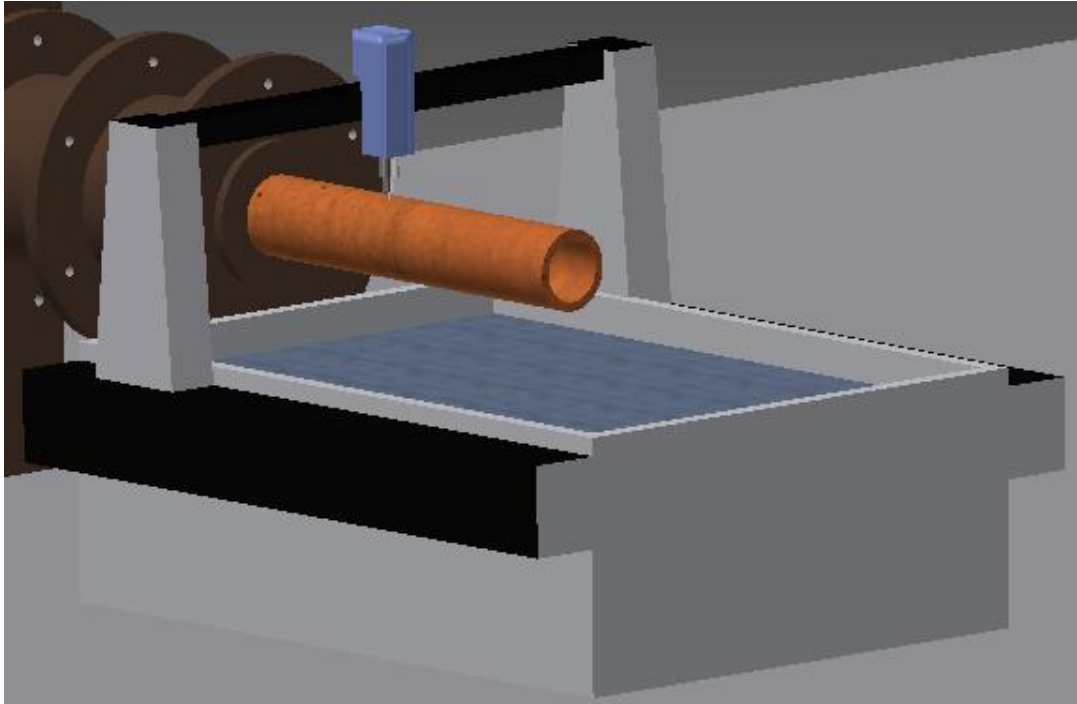
Pracovní prostor stroje by nemusel být příliš velký. V našem případě by stačila řezací hlava s dvěma osami posuvu. Osa x by sloužila při řezání průměru trubky a osa y pro vyrovnání rychlosti vytlačování trubky. Průměr největší komínové vložky je 300 mm, pro dostačující manipulaci s řezací hlavou by stačil poměrně malý posuv v ose x (po konstrukci), nad 300 mm. Délka řezaných komínových vložek je 330 mm. Musíme brát v úvahu, že tlačovaná trubka je neustále v pohybu a s tím se bude muset pohybovat i řezací hlava v ose y. V ose z by pak hlava nemusela vykonávat žádný pohyb. Dále by musel být použit speciální lapač vody, takový aby se vešel pod vytlačovanou trubku



Obrázek č. 31 Skica stroje pro vodní řezání



Obrázek č. 32 Skica stroje pro vodní řezání

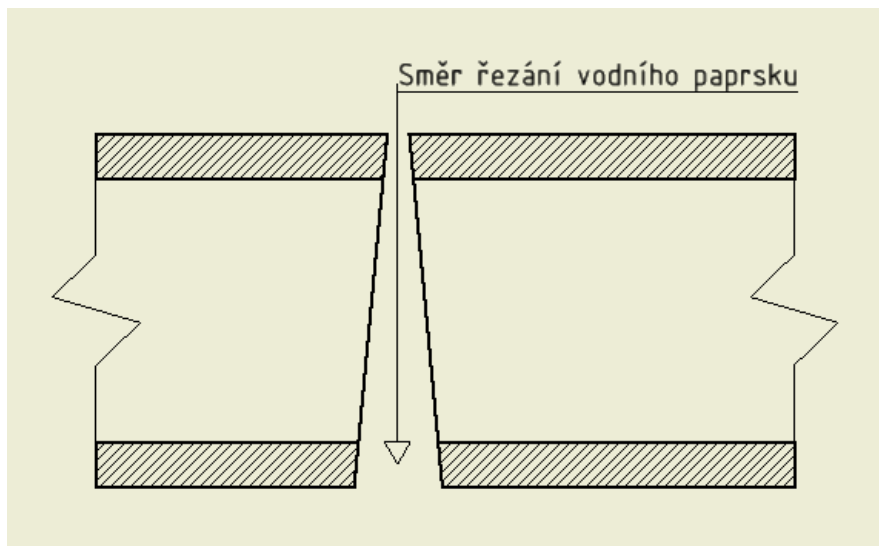


Obrázek č. 33 Návrh stroje pro vodní řezání

7.1.2. Způsob řezání

Řezání by začala hlava na jedné straně trubky a pohybovala by se po ose x ke druhému kraji trubky až do uříznutí. Dělení trubky by probíhalo pomocí vodního paprsku s abrasivem. V tomto případě by mohl nastávat problém, protože vodní paprsek se při řezání velkých tloušťkách materiálu rozšiřuje, takže při vstupním 0,5 mm širokém řezu by ve spodní části trubky mohl být i 5 mm široký řez (viz obr. 31). Tento problém by měl být odstraněn při řezání pera / drážky, kde je přírůstek na obrábění 2cm. Větší problém by dělalo stlačování trubky tlakem vodního paprsku. Takto uříznutá trubka by nemusela splnit geometrické tolerance. Nejlepší by bylo vyzkoušet řezat nevypálenou komínovou vložku na stroji pro řezání vodním paprskem u firmy, která disponuje takovou technologií a tam bychom zjistili velikost rozšíření řezané mezery ve spodní straně trubky a další důležité vlastnosti.

Odřezávanou komínovou vložku by přidržoval robot, aby se při řezu nezlomila nebo nespadla do nádrže s vodou. A po odříznutí komínové vložky by mohl robot pokračovat na následující pracoviště pro vyříznutí drážek. V tomto případě by museli být použity asi dva roboti, jeden by přidržoval odřezávanou součást a druhý by byl na pracovišti pro odřezávání drážek.



Obrázek č. 34 Předpovídané rozšíření řezu vodním paprskem

7.1.3. Shrnutí

Řezání vodním paprskem by zřejmě vyřešilo problém v podobě ovality komínových vložek, ale mohl by zde nastat jiný problém v rozdílné řezné šířce dolní části oproti vrchní části řezu. Kvůli tomuto problému by bylo vhodné nejdříve vyzkoušet působení vodního paprsku na nevytvořenou komínovou vložku a až podle toho dělat další závěry. Moje odhadované výsledky řezu vodního paprsku na komínové vložky jsou znázorněny v tabulce 2.

Tab. 3 Výhody a nevýhody řezání vodním paprskem

Výhody	Nevýhody
Přesný řez	Náklady na stroj (cca 3 mil. Kč)
Zlepšení geometrických tolerancí komínové vložky	Náklady na rozvody vody, odpady, čistírna vody
Hladký povrch	Vysoké náklady na hodinu práce
	Kontakt s vodou
	Poměrně častá výměna dýz, kterými proudí kapalina a abrazivní materiál (životnost asi 50 hod.)
	Možnost vytvoření širšího řezu na spodní části komínové vložky

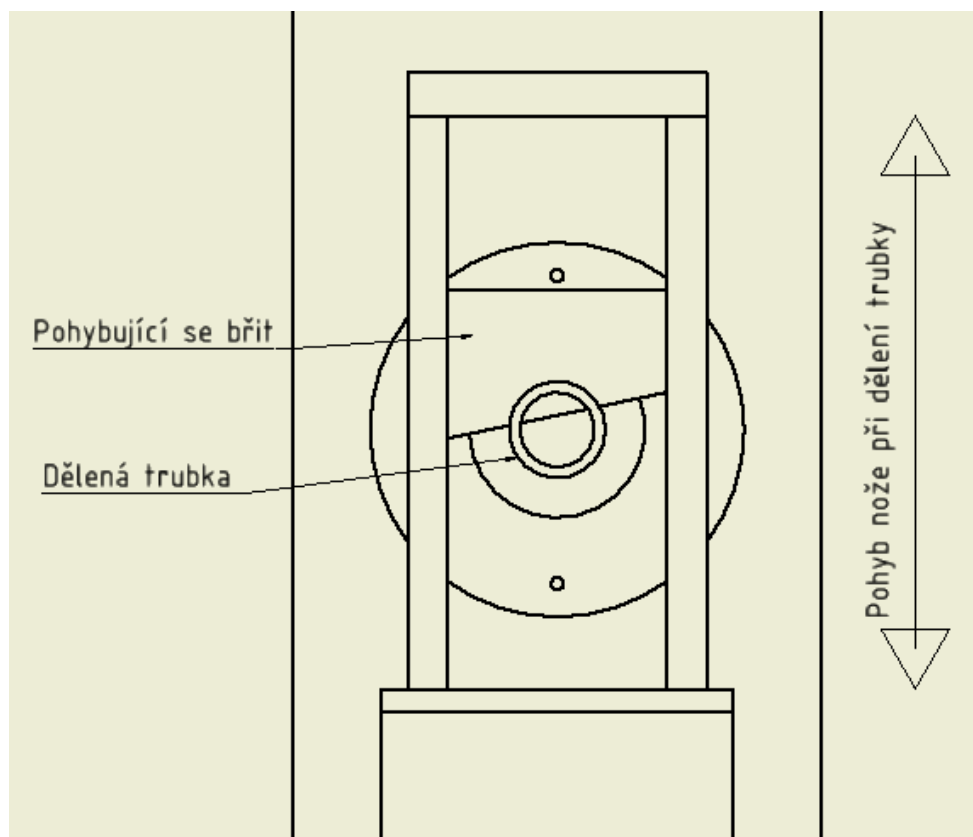
7.2. Stříhání

V případě stříhání by se nejednalo o tradiční stříhání pomocí dvou proti sobě se přibližujícím břitům, ale jednalo by se o speciální stroj na bázi gilotiny s jedním pohybujícím se břitem.

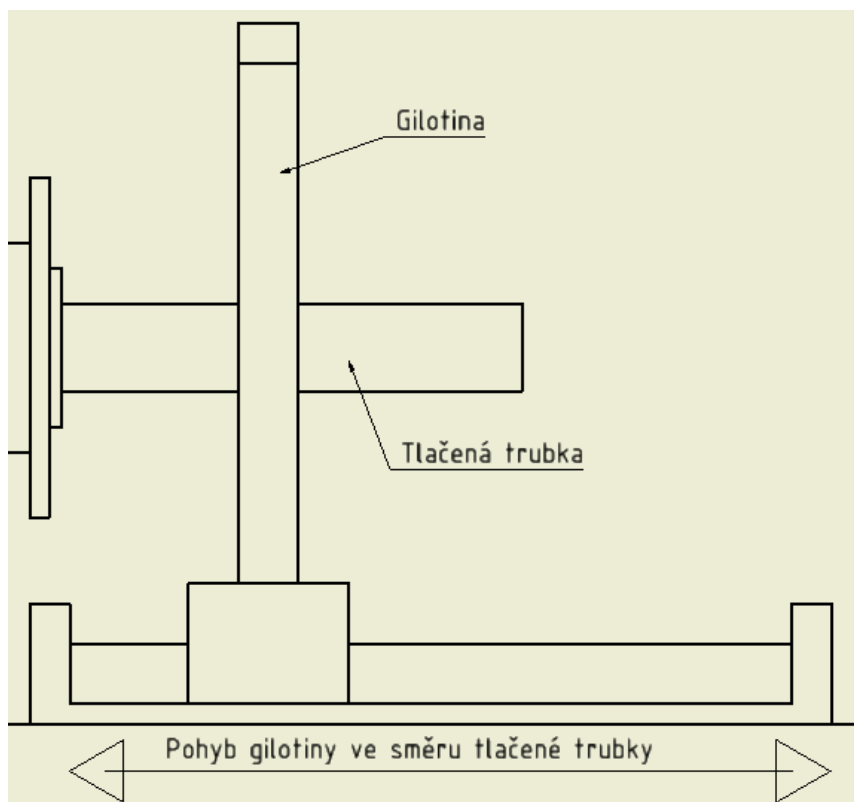
7.2.1. Volba stroje

V případě stříhání by se opět rozměry stroje (gilotiny) řídily největší vyráběnou komínovou vložkou. Ta má vnější průměr 300 mm, což je minimální vzdálenost dvou vysokých sloupů, mezi kterými se pohybuje břit.

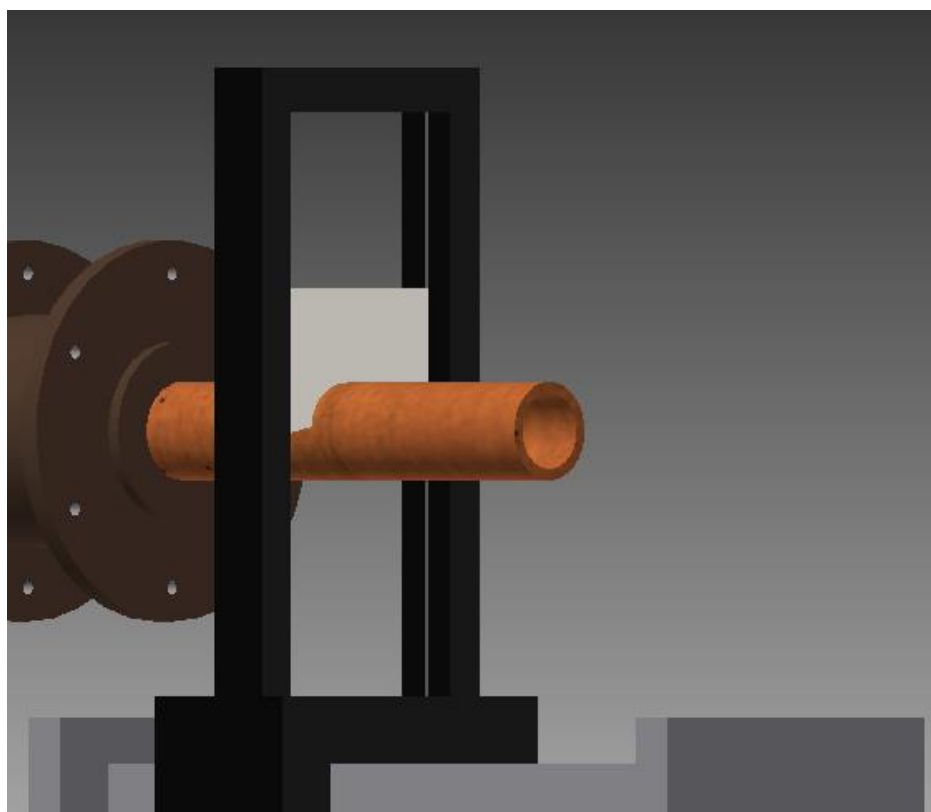
Jako břit by měl být zvolen plech. Při tloušťce plechu by se mělo vzít v potaz stlačení nevypálené komínové vložky a abrazivní účinky této nevypálené směsi. Aby nedocházelo ke stlačování trubky břitem (plechem), bylo by vhodné zvolit co nejtenčí plech, ale ten by se brzo opotřeboval a musel by často měnit. Proto je nutné udělat kompromis. Zvolil bych plech o tloušťce asi 0,2 – 0,5 mm. Dále je důležitá volba materiálu plechu hlavně s ohledem na abrazivní účinky. Doporučuji zvolit materiál vysoce odolný proti abrazivnímu opotřebení např. wolfram.



Obrázek č. 35 Skica stroje pro stříhání



Obrázek č. 36 Skica stroje pro stříhání



Obrázek č. 37 Návrh stroje pro stříhání

7.2.2. Princip stříhání

Stříhání by spočívalo v rychlém posunutí plechu směrem dolů v drážkách sloupů. Toto posunutí by muselo být tak rychlé, že by na stříh nemělo vliv posouvání lisované trubky anebo by se gilotina musela pohybovat ve směru lisované trubky. Při stříhání by byl opět použit robot, který by přidržoval vytlačovanou trubku a po ustřížení by ji přesunul na další pracoviště.

7.2.3. Shrnutí

Tato metoda je docela podobná současně používanému dělení trubek pomocí drátu. Místo drátu je tady použit slabý plech o tloušťce asi 0,2 mm, čímž by se mělo zamezit tak časté ovalitě jako při řezání drátem, který měl v průměru 1 mm. A při použití dostatečně dlouhého plechu by se mělo zamezit dalšímu problému, který byl u drátu, a to přetrhávání drátu.

Tab. 4 Výhody a nevýhody stříhání

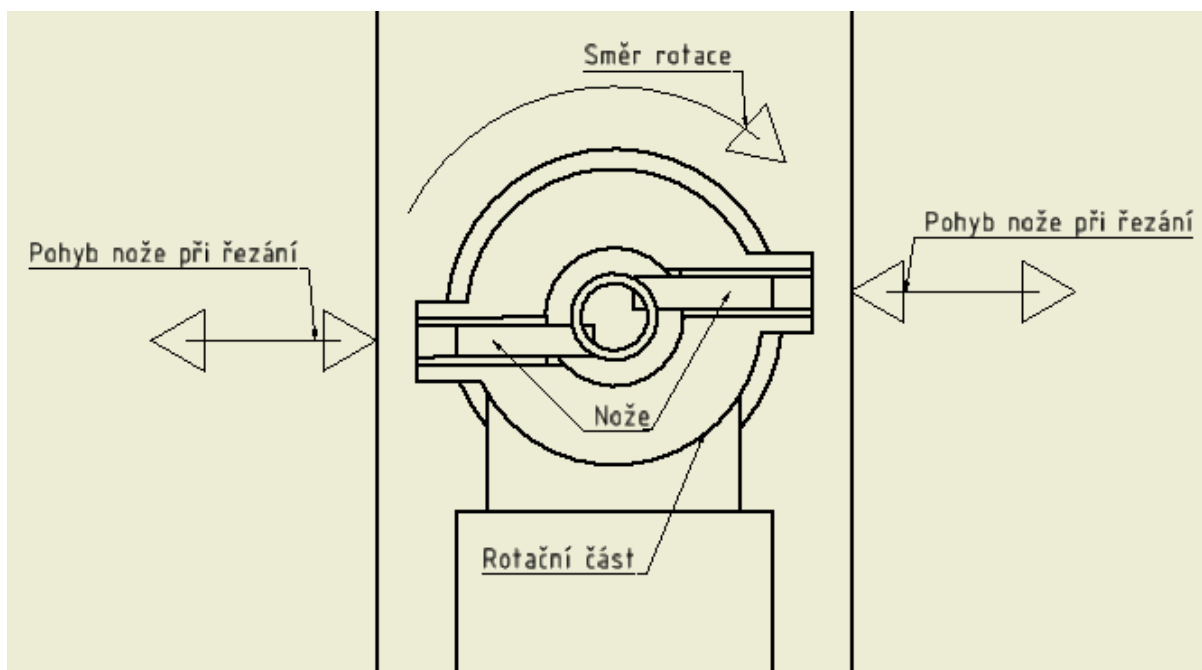
Výhody	Nevýhody
Přesný řez	Geometrická přesnost komínové vložky (možnost stlačení trubky plechem)
Vyšší životnost nástroje	
Nižší náklady na stroj (cca 1 mil. Kč)	
Nižší hodinové náklady	

7.3. Orbitální řezání

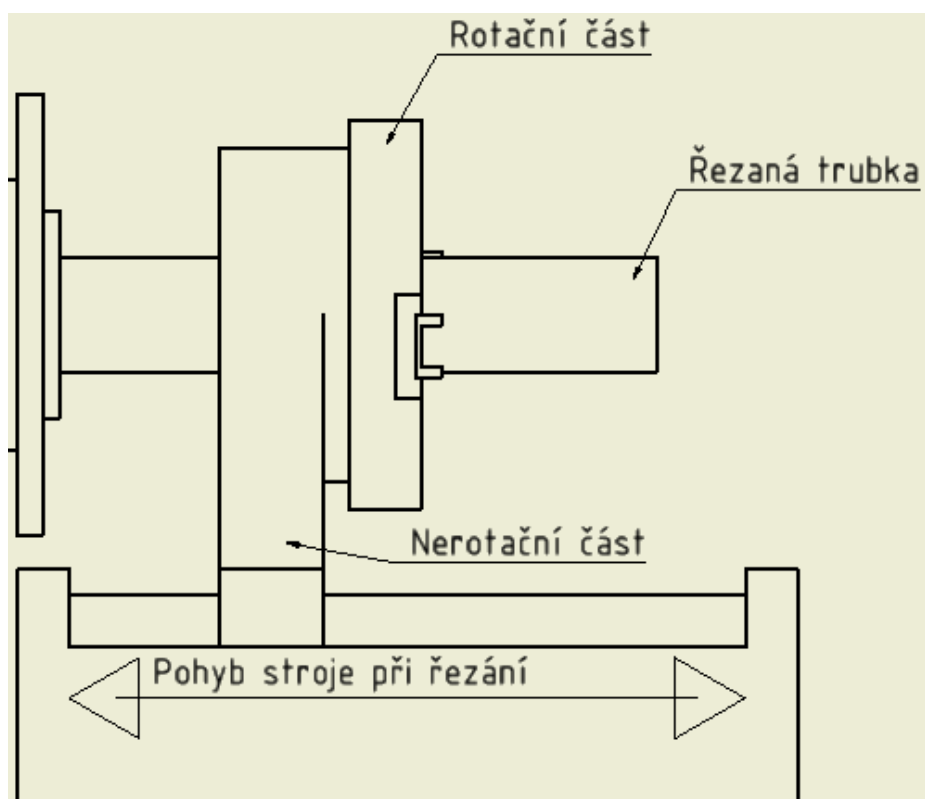
U orbitálního řezání by se musel použít speciálně vyrobený stroj na zakázku. Řez by vykonávaly dva nože pohybující se po kruhové trajektorii, které by se přibližovaly k sobě a až by uřízly trubku.

7.3.1. Volba stroje

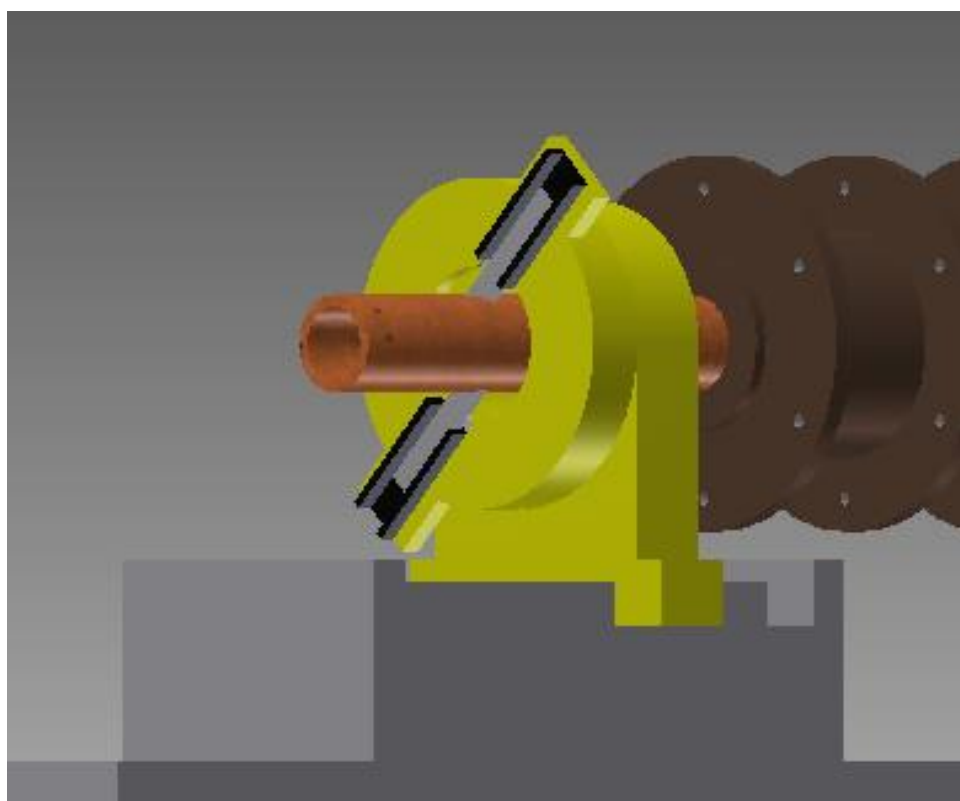
Tento stroj by byl sestaven z nerotační části, která by se pohybovala ve směru tlačené trubky a rotační části, na které by byly připevněny dva nože (plechy). Tyto nože by musely být stejně jako při stříhání tenké asi 0,2 mm a z materiálu, který odolává abrazivnímu opotřebení. V tomto případě bych opět volil wolframové plechy. Délka nožů zahrnuje kompromis mezi dlouhou výdrží nožů (co nejdelší nože) a velikost konstrukce, čím delší nože, tím nutnost větší konstrukce.



Obrázek č. 38 Skica stroje pro orbitální řezání



Obrázek č. 39 Skica stroje pro orbitální řezání



Obrázek č. 40 Návrh stroje pro orbitální řezání

7.3.2. Princip orbitálního řezání

V tomto případě by hlavní řezný pohyb vykonávala rotační část, na které by byly připevněny proti sobě dva nože. Rotaci by zajišťoval elektromotor. Tato část by rotovala pořád, protože kdyby se měla po každém řezu zastavit, museli bychom zvolit silnější elektromotor. Řez by tedy probíhal postupným zajižděním nožů do trubky. Zároveň by se stroj pohyboval ve směru tlačené trubky. Po odříznutí komínové vložky by se zase nože vzdálily od sebe a stroj by se vrátil proti směru tlačené trubky a znovu ve správné vzdálenosti by začal řezat přiblížením se nožů.

7.3.3. Shrnutí

Při zrealizování této metody by cena stroje asi odpovídala ceně stroje na střihání (asi 1 mil. Kč). Důležitý by byl čas práce do výměny nástroje, který by závisel na délce a tloušťce zvoleného plechu. Tloušťku bych zvolil 0,2 mm, aby byla dodržena geometrická tolerance (kruhovitost). Při této tloušťce plechu odhaduju dobu výdrže nože okolo 50 hod.

Tab. 5 Výhody a nevýhody orbitálního řezání

Výhody	Nevýhody
Zlepšení geometrických přesností komínové vložky	Nízká životnost nástroje (asi 50 hod.)
Nižší náklad na stroj (asi 1 mil. Kč)	
Nižší hodinové náklady	

8. Porovnání vybraných metod

V části 7 jsem popsal vybrané metody a teď bych je mezi sebou porovnal podle zvolených kritérií pomocí vícekritériálního rozhodování. První a nejdůležitější kritérium je dodržení geometrických tolerancí při řezání, další kritérium je délka životnosti nástroje, náklady na hodinu práce daného stroje a náklady na pořízení stroje.

8.1. Vybraná kritéria

U geometrické tolerance jsem bral v úvahu u řezání vodním paprskem a stříhání možnost porušení geometrické tolerance trubky (stlačení trubky) a u řezání vodním paprskem ještě možnost rozšíření řezu na spodní straně trubky.

U životnosti nástroje jsem zjistil přibližnou dobu u vodního paprsku u výměny dýz, tato doba se odhaduje asi na 50 hodin. U orbitálního řezání předpokládám přibližně stejnou dobu, tedy 50 hodin. A u stříhání předpokládám, že řezný nástroj vydrží nejdéle asi 80 hodin.

Hodinové náklady na práci budou nejvyšší u řezání vodním paprskem, u orbitálního řezání a stříhání gilotinou by hodinové náklady na práci měly být přibližně stejné a výrazně nižší než u řezání vodním paprskem.

Cenu strojů odhaduju asi na 1 mil. Kč u stroje pro orbitální řezání a stříhání gilotinou. Stroj pro řezání vodním paprskem by pak měl stát asi 3 mil. Kč.

Váhy důležitosti hodnotících kritérií jsem ohodnotil podle metody pořadí, protože předpokládám, že žádné kritérium nemá stejnou váhu. Číslo 4 má nejdůležitější kritérium a číslo 1 podle mě nejméně důležité kritérium.

Tab. 6 Váhy důležitosti hodnotících kritérií

	Geometrická tolerance	Životnost nástroje	Náklady na hodinu práce	Náklady na stroj	Σ
Moje hodnocení	4	3	2	1	10
Váha kritéria	0,4	0,3	0,2	0,1	1
Pořadí	1.	2.	3.	4.	x

8.2. Vyhodnocení nejlepší metody

Agregace hodnotících kritérií

Agregace hodnotících kritérií bude probíhat pomocí bodovací metody, protože například cena stroje na orbitální řezání a cena stroje na stříhání jsou přibližně stejné, tak jsem nevolil metodu pořadové funkce. U bodovací metody jsem zvolil stupnicí (1 – 5), 5 bodů jsem dával nejlepšímu stroji v rámci kritéria.

Tab. 7 Pořadí vybraných metod dělení

	Geom. tolerance	Životnost nástroje	Náklady na hod.	Náklady na stroj	Váha metody	Pořadí
Vodní paprsek	2	3	3	3	2,6	3.
Stříhání gilotinou	3	5	5	5	4,2	2.
Orbitální řezání	5	3	5	5	4,4	1.
Váha kritéria	0,4	0,3	0,2	0,1	x	x

Z vícekritériálního rozhodování mi jako nejlepší metoda vyšlo orbitální řezání, které mi přijde jako nejlepší řešení pro řezání keramických nevypálených komínových vložek. Druhá nejlepší metoda v pořadí mi vyšlo stříhání gilotinou a nejhoršího výsledku dosáhlo řezání vodním paprskem.

9. Závěr

Bakalářskou práci jsem zpracoval ve spolupráci s P-D Refractories CZ a.s. Tato společnost se zabývá výrobou žárovzdorných materiálů a také komínových vložek. Tyto keramické komínové vložky se vyrábí z materiálů na bázi hlinitokřemičitanů. V posledních letech se zvýšily požadavky na kvalitu komínových vložek, zejména na dodržování jejich geometrických tolerancí (kruhovitosti, válcovitosti). V současné době dochází k výrobě asi 8 % neshodných dílů, které nesplňují předepsanou kruhovitost a jsou způsobené používanou technologií dělení komínových vložek.

Cílem této práce byla optimalizace procesu dělení keramických komínových vložek s ohledem na snížení výroby neshodných dílů (snížení nákladů).

V první části této práce je představena společnost P-D Refractories CZ a.s., její historie, struktura. V druhé části jsem popsal žárovzdorné materiály, jejich vlastnosti, složení, rozdělení a použití. V další části jsem se pak zabýval analýzou výroby keramických komínových vložek v P-D Refractories CZ. Popsal jsem výrobu směsi na komínové vložky, extruzi trubky, dělení trubky, sušení a výpal komínových vložek.

Dále jsem udělal analýzu dostupných technologií dělení trubek bez ohledu na materiál, z kterého jsou vyrobeny. Tyto technologie jsem popsal a vybral z nich ty, které by se mohli aplikovat na dělení nevypálených keramických komínových vložek. Vybral jsem tři metody: řezání vodním paprskem, stříhání gilotinou a orbitální řezání. U těchto tří technologií jsem popsal možné výhody a nevýhody a nakreslil skici strojů. Nakonec jsem vybrané technologie porovnal pomocí rozhodovací analýzy. Jako hlavní kritéria jsem použil očekávanou geometrickou přesnost, životnost nástroje, náklady na hodinu práce a náklady na stroj. Z tohoto hodnocení mi nejlépe vyšlo dělení komínových vložek orbitálním řezáním.

10. Zdroje informací

- [1] JELÍNEK, Vojtěch. *Návrh ověřování odolnosti lisovacích nástrojů v P-D Refractories CZ proti opotřebení*. Praha, 2012. Diplomová práce.
- [2] Historie - P-D Refractories CZ a.s. *P-D Refractories CZ a.s.* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.pd-refractories.cz/historie>
- [3] Lokality - P-D Refractories CZ a.s. *P-D Refractories CZ a.s.* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.pd-refractories.cz/lokality>
- [4] KUTZENDOERFER, Jaroslav. *Žárovzdorné materiály: Díl 1. Rozdělení, vlastnosti, výpočty*. 1. vyd. Praha: VŠCHT, 1992, 100 s. ISBN 80-708-0148-4.
- [5] KODERA, Michal. *Výroba žáruvzdorných vybrolitých materiálů*. Praha, 2014. Bakalářská práce. ČVUT v Praze, Fakulta strojní, Ústav technologie obrábění, projektování a metrologie.
- [6] MATOUŠEK, Josef. *Anorganické nekovové materiály*. 1. vyd. Praha: Vysoká škola chemicko-technologická, 1992, 160 s. ISBN 80-708-0160-3.
- [7] *P-D Refractories CZ a.s.* [online]. [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.pd-refractories.cz/>
- [8] Žárobetony a žáruvzdorniny. *Lac* [online]. [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: <http://www.lac.cz/produkty/zarobetony-zaruvzdorniny/>
- [9] NAVRÁTILOVÁ, Jana. Opatovická šamotka vyrábí už 119 let. *Blanenský deník* [online]. [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: <http://blanensky.denik.cz/serialy/opatovicka-samotka-vyrabi-uz--let20110712.html>
- [10] Nerezové komínové vložky. *Nerezové systémy* [online]. 2015 [cit. 2015-06-01]. Dostupné z: http://www.nerezovesystemy.cz/index.php?main_page=index&cPath=65
- [11] Podnikové zdroje [cit. 2015].
- [12] MÁDL, Jan, Jindřich KAFKA, Martin VRABEC a Rudolf DVOŘÁK. *Technologie obrábění: 3. díl*. Praha: ČVUT, 2000, s. 29-47. ISBN 80-01-02-091-6.
- [13] VRBOVÁ, M, H JELÍNKOVÁ a P GAVRILOV. *Úvod do laserové techniky*. Praha: Vydavatelství ČVUT, 1998, 228 s. ISBN 80-010-1108-9.

[14] POLÁK, Marek. *Nasazení řezání laserem při výrobě součástí manipulační techniky* [online]. Brno, 2009 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z:

http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=15756.

Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.

[15] Laserové zpracování. *Laser tube* [online]. 2011 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z:

<http://www.laser-tube.cz/>

[16] New ADIGE LT 8 - BAST. *Bast* [online]. 2010 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z:

<http://www.bast.cz/clanky-new-adige-lt-8.html?lang=2>

[17] MIDRLA, Zdeněk. *Řezání abrazivním vodním paprskem* [online]. Brno, 2013 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64494.

Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.

[18] MAŘÍKOVÁ, Petra. *3D abrazivní vodní paprsek* [online]. Brno, 2013 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64649.

Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.

[19] Co je to řezání vodním paprskem? - Řežeme vodou. *Řežeme vodou* [online]. 2011 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <http://www.rezeme-vodou.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>

[20] Stroje pro řezání vodním paprskem. *Flow* [online]. 2015 [cit. 2015-05-31]. Dostupné

z: <http://www.flowwaterjet.com/cs-CZ/%C5%99ez%C3%A1n%C3%AD-vodn%C3%ADm-paprskem/%C5%99ez%C3%A1n%C3%AD-vodn%C3%ADm-paprskem/mach-4/cutting%20systems/Mach%204c%20Models.aspx>

[21] SEDLÁK, Ondřej. *Technologie řezání plazmovým paprskem* [online]. Brno, 2011 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=37970.

Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.

- [22] SOLAŘ, Luboš. *Porovnání technologií kyslíkového a plazmového řezání* [online]. Brno, 2009 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=17741. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
- [23] Vanad KOMPAKT: CNC plazmový řezací stroj, plazma řezačky | Vanad 2000 a.s. *Vanad* [online]. 2015 [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <http://www.vanad.cz/vanad-kompakt>
- [24] PLAZMOVÉ STROJE | Hypertherm - POWERMAX | POWERMAX 85 | FROWELD - profesionální svařovací, řezací a nabíjecí technika. *Froweld* [online]. [cit. 2015-05-30]. Dostupné z: <http://www.froweld.cz/svarovaci-technika/eshop/16-1-PLAZMOVE-STROJE/92-2-Hypertherm-POWERMAX/5/1562-POWERMAX-85>
- [25] Univerzita Tomáše Bati ve Zlíně, Ústav výrobního inženýrství. *Technologické procesy obrábění*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2011, s. 146-160. ISBN 978-80-7204-722-2.
- [26] BARABÁŠ, Martin. *Elektrojiskrové řezání drátovou metodou* [online]. Brno, 2012 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=50781. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
- [27] EDM - elektrojiskrové obrábění. ŠPINAR, Jiří. *Toolscomp* [online]. 2009 [cit. 2015-05-29]. Dostupné z: <http://www.toolscomp.cz/technologie/edm-elektrojiskrove-obrabeni/>
- [28] KAŠPAR, Ladislav. *Analýza konvenční technologie dělení materiálu* [online]. Brno, 2008 [cit. 2015-06-02]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=5949. Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.
- [29] ExactCut. *ExactCut-Kotoučová pila ExactCut 155* [online]. 2015 [cit. 2015-05-17]. Dostupné z: <http://www.exactcut.cz/pila-exactcut-155/>
- [30] ARG 640 DC S.A.F. *Pilous* [online]. [cit. 2015-06-02]. Dostupné z: <http://pilous.cz/metal/pasove-pily-na-kov/dvousloupove-poloautomaty/arg-640-dc-saf/>

[31] Technologie II: Technologie plošného tváření - stříhání. *Technická univerzita Liberec Fakulta strojní* [online]. [cit. 2015-06-02]. Dostupné z:

http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm

[32] JERMOLAJEV, Štěpán. *Technologie dělení materiálu rozbrušováním* [online]. Brno, 2011 [cit. 2015-06-03]. Dostupné z:

https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=37476.

Bakalářská práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie.

[33] Upichovací nůž 16 mm. *Unimax.cz* [online]. 2015 [cit. 2015-06-03]. Dostupné z:

<http://www.uni-max.cz/upichovaci-nuz-16-mm/d/>

[34] Multifunkční stroje Axxair pro dělení, ukosování a orbitální sváření trubek. *Hála-welding* [online]. 2013 [cit. 2015-06-03]. Dostupné z: [http://www.hala-](http://www.hala-welding.cz/file.php?nid=5135&oid=3429306)

[welding.cz/file.php?nid=5135&oid=3429306](http://www.hala-welding.cz/file.php?nid=5135&oid=3429306)

11. Seznam obrázků

Obrázek č. 1:	Historie šamotky ve Velkých Opatovicích [9].....	9
Obrázek č. 2:	Schéma struktury ve Velkých Opatovicích.....	9
Obrázek č. 3:	Velké Opatovice [3].....	10
Obrázek č. 4:	Schéma struktury ve Svitavách.....	10
Obrázek č. 5:	Schéma struktury v Březině.....	10
Obrázek č. 6:	Schéma struktury v Březince.....	11
Obrázek č. 7:	Ocelová a keramická komínová vložka [10], [7].....	15
Obrázek č. 8:	Opatřebený nůž po jedné směně [11].....	16
Obrázek č. 9:	Schéma postupu výroby komínových vložek.....	17
Obrázek č. 10:	Zařízení na mletí horniny.....	17
Obrázek č. 11:	Vnitřek zařízení na mletí horniny.....	18
Obrázek č. 12:	Vnitřní a vnější koncová část lisu na výrobu trubky.....	18
Obrázek č. 13:	Vytlačování trubky lisem [11].....	19
Obrázek č. 14:	Kalibrovací část při tlačení lisem.....	19
Obrázek č. 15:	Zařízení pro řezání trubky.....	20
Obrázek č. 16:	Přechod trubky na jiný dopravník [11].....	20
Obrázek č. 17:	Výroba drážky na komínové vložce [11].....	21
Obrázek č. 18:	Komínové vložky připravené k sušení [11].....	22
Obrázek č. 19:	Výpal tvarovek v tunelové peci.....	22
Obrázek č. 20:	Důvody zmetkovitosti KKV v první polovině roku 2014 [11].....	23
Obrázek č. 21:	Schéma rozdělení metod dělení trubek.....	24
Obrázek č. 22:	ADIGE laser tube LT8 [16].....	26
Obrázek č. 23:	Model Mach 4c pro řezání vodním paprskem [20].....	27
Obrázek č. 24:	CNC řezací stroj Vanad Kompakt (vlevo), ruční systém pro plazmové řezání Powermax 85 [23],[24].....	28
Obrázek č. 25:	Princip elektrojiskrového řezání drátovou elektrodou [26].....	29
Obrázek č. 26:	Kotoučová pila Exactcut 155 [29].....	30
Obrázek č. 27:	Pásová pila ARG 640 DC S.A.F. [30].....	31
Obrázek č. 28:	Nože b, c na kruhový materiál a nože a, d na čtvercový materiál [31].....	32
Obrázek č. 29:	Upichovací nůž [33].....	33
Obrázek č. 30:	Stroj Axxair pro orbitální řezání [34].....	34

Optimalizace procesu dělení keramických komínových vložek

Obrázek č. 31:	Skica stroje pro vodní řezání.....	37
Obrázek č. 32:	Skica stroje pro vodní řezání.....	37
Obrázek č. 33:	Návrh stroje pro vodní řezání.....	38
Obrázek č. 34:	Předpovídané rozšíření řezu vodním paprskem.....	39
Obrázek č. 35:	Skica stroje pro stříhání.....	40
Obrázek č. 36:	Skica stroje pro stříhání.....	41
Obrázek č. 37:	Návrh stroje pro stříhání.....	41
Obrázek č. 38:	Skica stroje pro orbitální řezání.....	43
Obrázek č. 39:	Skica stroje pro orbitální řezání.....	44
Obrázek č. 40:	Návrh stroje pro orbitální řezání.....	44

12. Seznam tabulek

Tab. 1	Klasifikace žárovzdorných výrobků (dle ISO 1109 1975) [4].....	12
Tab. 2	Určení vhodných a nevhodných metod pro dělení keramických komínových vložek.....	35
Tab. 3	Výhody a nevýhody řezání vodním paprskem.....	39
Tab. 4	Výhody a nevýhody stříhání.....	42
Tab. 5	Výhody a nevýhody orbitálního řezání.....	45
Tab. 6	Váhy důležitosti hodnotících kritérií.....	46
Tab. 7	Pořadí vybraných metod dělení.....	47