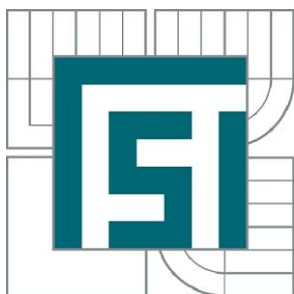


VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ ÚSTAV
STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

ROZBOR VHODNÝCH DOKONČOVACÍCH OPERACÍ PO TAŽENÍ

ANALYSIS OF APPROPRIATE FINISHING TECHNOLOGY AFTER DEEP DRAWING

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

PAVEL ŠOBÁŇ

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2011

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie

Akademický rok: 2011/2012

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student: Pavel Šobáň

který studuje v **bakalářském studijním programu**

obor: **Strojní inženýrství (2301R016)**

Ředitel ústavu Vám v souladu se zákonem č.111/1998 o vysokých školách a se Studijním a zkušebním řádem VUT v Brně určuje následující téma bakalářské práce:

Rozbor vhodných dokončovacích operací po tažení

v anglickém jazyce:

Analysis of appropriate finishing technology after deep drawing

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o přehled vhodných technologií použitelných pro odstranění nerovných čelních ploch u válcových výtažků z korozivzdorného plechu s rozбором jejich významu pro strojírenskou praxi.

Cíle bakalářské práce:

Aktuální literární studie se zaměřením na technologie použitelné pro odstranění nerovných okrajů u válcových výtažků se zhodnocením jejich výhod a nevýhod.

Seznam odborné literatury:

1. NOVOTNÝ, J. a Z. LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13–B3-IV 41/22674.
2. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Karel NOVOTNÝ. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno: CERM, 2007. 169 s. ISBN 978-80-214-3425-7.
3. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. Příručka pro lisování za studena. 2. vyd. Praha: SNTL, 1959. 540 s. DT 621.986.
4. PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. Úvod do tváření II. [s.l.]: [s.n.], 2001. 2 sv. (161, 115 s.).
5. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření. 2. vyd. Technická 2, Brno: Nakladatelství Vysokého učení technického Brno, 1992. ISBN 80-214-0404.

Vedoucí bakalářské práce: Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Termín odevzdání bakalářské práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2011/2012. V Brně, dne 2. 12. 2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
děkan fakulty

Abstrakt

ŠOBÁŇ Pavel: Rozbor vhodných dokončovacích operací po tažení

Práce shrnuje poznatky o vhodných dokončovacích operacích po tažení. V práci jsou rozebrány pouze v praxi nejpoužívanější a nejvhodnější metody. Mezi popsané metody patří dělení materiálu plošným stříháním, laserem, plazmou, vodním paprskem, řezáním a obrobení soustružením a broušením. U každé z uvedených metod je popsán princip vybrané technologie a její vhodnost pro danou problematiku. Práce srovnává jednotlivé metody z hlediska jejich výhod a nevýhod při odstraňování nerovných okrajů válcových výtažků.

Klíčová slova: dokončovací operace, dělení materiálů, stříhání, soustružení, broušení, laser, plazma, vodní paprsek, řezání

Abstract

ŠOBÁŇ Pavel: Analysis of appropriate finishing technology after deep drawing

This bachelor thesis summarizes information about appropriate finishing technology after deep drawing. The thesis is focused only on the most used and most proper methods, which include material parting operations, such as plate shearing, laser, plasma, water jet and saw cutting, and machining operations, such as lathe-turning and grinding. For each of the mentioned methods, a principle of the selected technology is described and also its suitability for the present problems. The thesis compares the individual methods considering their advantages and disadvantages for removal of uneven edges of cylindrical shells.

Key words: finishing technology, material parting, shearing, lathe-turning, grinding, laser, plasma, water jet, cutting

Bibliografická citace

ŠOBÁŇ, P. *Rozbor vhodných dokončovacích operací po tažení*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012. 29 s., CD. Vedoucí bakalářské práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

Poděkování

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se bakalářské práce. Dále bych chtěl také poděkovat své přítelkyni a svým rodinným příslušníkům a přátelům, kteří mě podporovali při psaní této práce.

Čestné prohlášení

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci na téma Rozbor vhodných dokončovacích operací po tažení jsem vypracoval samostatně s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 25. 5. 2012

.....

Podpis

OBSAH

Abstrakt

Bibliografická citace

Poděkování

Čestné prohlášení

Obsah

Úvod	8
1 Dokončovací operace po tažení	9
2 Dokončování válcových výtažků s přírubou.....	10
2.1 Dokončování technologií plošné stříhání	10
2.1.1 Stříhání rovnými noži.....	11
2.1.2 Stříhání šikmými noži	13
2.1.3 Stříhání se zaoblenou střížnou hranou	14
2.2 Dokončování technologií obrábění.....	15
2.2.1 Soustružení.....	16
2.2.2 Broušení	17
2.3 Dokončování nekonvenčními způsoby dělení.....	19
2.3.1 Řezání laserem	20
2.3.2 Řezání plazmou.....	21
2.3.3 Řezání vodním paprskem	22
3 Dokončování válcových výtažků bez příruby.....	24
3.1 Dokončování technologií obrábění.....	24
3.2 Dokončování technologií řezání.....	25
4 Závěry	26

Seznam použitých zdrojů

Seznam symbolů a zkratek

ÚVOD [11], [15]

V praxi se využívají součástky, které se vyrábí různými metodami. Jednou z těchto metod je tažení.

Tažení je technologický proces plošného tváření, při němž se z rovinného přistřižnutého plechu vyhotovují při jedné nebo více operacích výtažky jednoduchého rotačního, hranatého, ale i složitého nesymetrického tvaru. V praxi se tažení využívá k výrobě různých druhů mělkých i hlubokých nádob, vík, součástí karosérií atd. Nástroj je tažidlo, které se skládá z tažnice, tažníku a dalších konstrukčních součástí.

Touto metodou se dají vyrobit součástky buď s přírubou, nebo bez přírubby, viz příklady na obrázku 1.1.

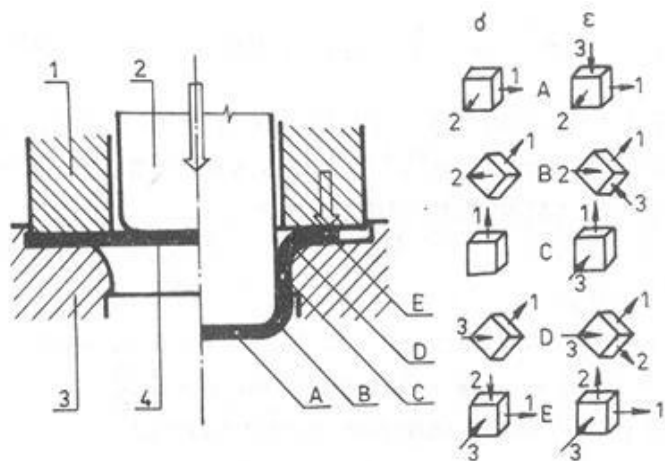
Problémem při dokončování výrobku je odstranění nerovných okrajů po tažení. K odstranění nerovných okrajů se používají různé metody. Tyto metody dokončovacích operací po tažení válcových výtažků budou v této práci rozebrány.



Obr. 1.1 Válcové výtažky z korozi-vzdorné oceli [4], [6], [7]

1 DOKONČOVACÍ OPERACE PO TAŽENÍ [11], [15]

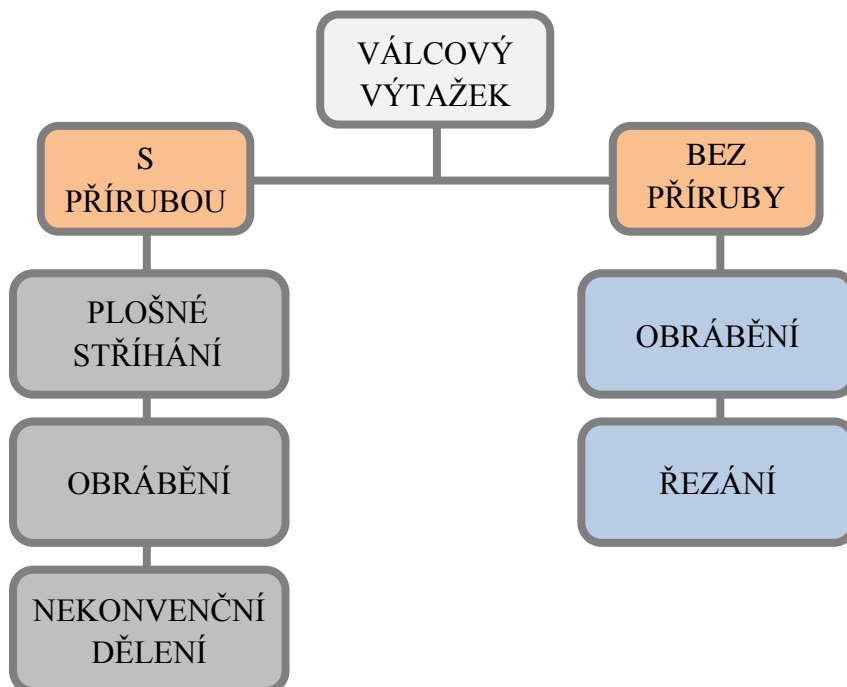
Při tažení válcových výtažků vzniká přesun značné části a značného objemu materiálu. Takhle vzniklý objem při tažení zvětšuje výšku nádoby, mění tloušťku stěny a postupně se vytlačuje. Plech má tendence v místě příruby se vlnit, a to zejména, pokud má vysoký stupeň deformace. Důvodem vlnění je postupné sunutí plechu z příruby do válcové části. Čím menší je stupeň deformace a čím větší je tloušťka plechu, tím méně se na něm tvoří vlny.



Obr. 1.2 Napětí a deformace při tažení [11]

Napjatost a deformace jsou znázorněny na obrázku 1.2. Probíhá zde anizotropie mechanických vlastností plechu. Dno nádoby (A) se rovnoměrně a nepatrně táhne do dvou směrů. Oválná část (C) se natahuje pouze v jednom směru. U ohybu (B) lze vidět působení dvojosé nebo trojosé napjatosti. Materiál přecházející přes tažnou hranu (D) je zatěžován tangenciálním tlakem a namáhán radiálním ohybem. Materiál nacházející se pod přidržovačem (E) je zatěžován tlakem kolmo na povrch příruby a také tlakem v tangenciálním směru, dále pak je namáhán tahem ve směru radiálním. Pokud nástroj nemá přidržovač, zatížení tlakem pod přidržovačem odpadá. Nejméně výhodné podmínky jsou u dna výtažku v ohybu se stěnou, kde působí vysoké tahové napětí. Dochází zde k zeslabování tloušťky stěny, což může vést až k úplnému utržení dna.

Pro odstranění nerovných okrajů korozivzdorných ocelí jsou vhodné následující metody:



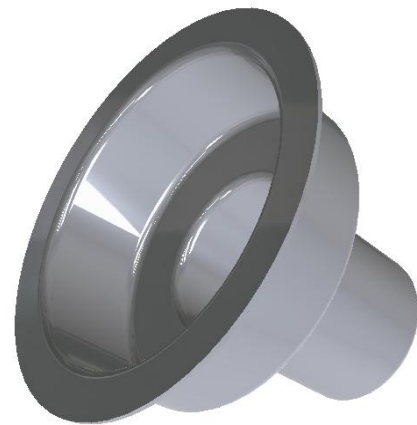
2 DOKONČOVÁNÍ VÁLCOVÝCH VÝTAŽKŮ S PŘÍRUBOU [11], [15]

Po tažení válcového výtažku vyjde jako výstup výtažek s přírubou nebo bez příruby. U každé z těchto dvou možností budou dokončovací operace nerovných okrajů vypadat odlišně.

V této kapitole budou rozebrány metody vhodných dokončovacích operací pro válcové výtažky s přírubou. Válcový výtažek s přírubou je znázorněn na obrázku 2.1.

Mezi tyto dokončovací metody patří:

- plošné stříhání
- obrábění
- nekonvenční dělení



Obr. 2.1 Válcový výtažek s přírubou [11]

2.1 Dokončování technologií plošné stříhání [11], [13]

Plošné stříhání je jedna z nejrozšířenějších operací plošného tváření. Využívá se na přípravu polotovarů (stříhání profilů, tabulí nebo svitků plechů, vývalků, apod.), na vystřihování různých součástek z plechu pro výrobky na další technologie (tažení, protlačování, ohýbaní, apod.), pro konečné použití nebo na pomocné a dokončovací operace. V tomto odvětví existují také jiné operace, které se nazývají dle způsobu odstraňování materiálu. Mezi ně se řadí vystřihování, děrování, přistřihování, ostřihování, atd.

Stříhání lze chápat jako oddělování části materiálu, na který působí protilehlé řezné hrany, způsobující smykové napětí v řezné rovině, jak je znázorněno na obrázku 2.2.



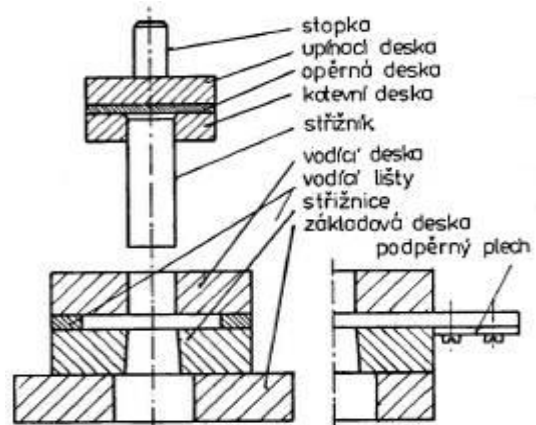
Obr. 2.2 Princip stříhání pomocí stříhadla [11]

K oddělení výstřížku dojde dříve, než střížník projde celou tloušťkou stříhaného plechu. Poté je výstřížek zcela vytlačen. Okraje střížných ploch nejsou úplně rovinné a střížná plocha nemá ve všech místech stejnou drsnost. V místech, kde se vyskytly první trhlinky, bývá zpravidla drsnější materiál než v ostatních místech střížné plochy. Oddělení materiálu nenastane přesně v žádné rovině, protože materiál je tvárný a elastický a napětí je způsobeno tlakem nožů na celé ploše plechu.

Pro kvalitní a správné odstřížení budoucí součásti je třeba správně zvolit střížný nástroj. Nástroje pro stříhání (stříhadla), jsou nástroje, které vykonávají funkci pohyblivého a pevného nože. Pohyblivý nůž je střížník a pevný nůž střížnice.

Střížné nástroje lze dělit podle počtu a druhu operací na:

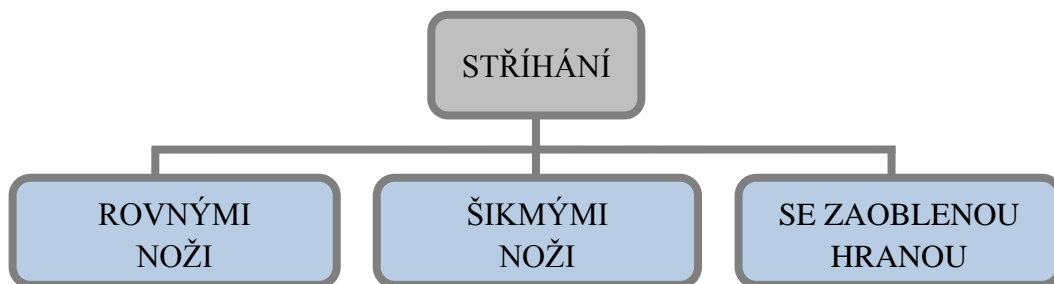
- nástroje jednoduché - jsou určeny pro jednu operaci
- nástroje postupové - dvě a více operací jedoucí za sebou
- nástroje sloučené - sloučení operací stejného typu
- nástroje sdružené - sdružování operací různého typu



V případě stříhání válcových výtažků s přírubou bude za potřeby jednoduchého stříhadla. Stříhadlo musí být očištěné od zbytků uhlíkatých materiálů. V prostoru zpracování korozivzdorných ocelí se musí udržovat naprostá čistota a pravidelně odsávat prach. Schéma střížného nástroje lze vidět na obrázku 2.3.

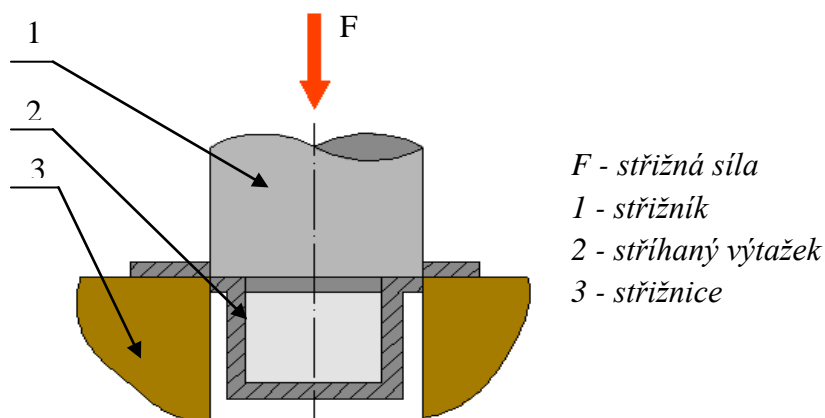
Výhodami této metody odstranění přírub po tažení jsou široké uplatnění, velmi jednoduchý technologický postup, vysoká efektivita a možnost automatizace. Naopak nevýhodami jsou horší kvalita střížných ploch, vzniklé otěpy na střížných plochách po procesu a poměrně drahou záležitostí jsou střížné nástroje.

Pro odstranění nerovných okrajů příruby stříháním jsou vhodné následující metody:



2.1.1 Stříhání rovnými noži [11], [13]

Ke stříhání rovnými noži slouží střížný nástroj, který se skládá ze střížnice a střížníku, mezi kterými je střížná vůle. Stříhání rovnoběžnými noži viz obrázek 2.4.



Obr. 2.4 Princip stříhání rovnoběžnými noži [13]

Optimální střížná vůle mezi střížnicí a střížníkem je velmi důležitá pro docelení kvalitního výstřížku. Střížná vůle je dána rozdílem mezi rozměrem otvoru střížnice a střížníku. Nelze bez zvláštních úprav sestavit nástroj, který by neměl střížnou mezeru. Důvodem je nebezpečí havárie. Střížná mezera ovlivňuje kvalitu střížné plochy, trvanlivost nástroje, přesnost výrobku a spotřebovanou energii. S velikostí střížné mezery se podstatně mění střížná práce, která může narůst až o 40%. Jednostranná vůle bývá cca od 3 do 10% tloušťky plechu v závislosti na pevnosti materiálu (vůle se zvětšuje s rostoucí pevností).

Při optimální střížné mezeře se šířící trhliny ve stříhaném materiálu setkávají a tvoří střížnou plochu bez otřepů. Jestliže je vůle příliš velká nebo malá, šířící trhliny se nesetkávají a tvoří se nerovný povrch. Dochází tak k ovlivnění tvaru i rozměrů součásti.

Vztah pro výpočet střížné vůle:

$$\text{pro plechy do } t \leq 3 \text{ mm: } m = 0,32 \cdot c \cdot t \cdot \sqrt{k_s} \quad [\text{mm}] \quad (2.1)$$

$$\text{pro plechy do } t \geq 3 \text{ mm: } m = 0,32 \cdot (1,5 \cdot t - 0,015) \cdot \sqrt{k_s} \quad [\text{mm}] \quad (2.2)$$

kde t tloušťka plechu [mm],
 k_s střížný odpor [MPa],
 c (0,005 až 0,035) součinitel závislý na stupni stříhu.

Střížná mezera se dá také určit pomocí nomogramů, ve kterých jsou uvedeny velikosti střížných vůlí pro stříhaný materiál.

Střížná vůle má velký vliv na rozměr a kvalitu střížné plochy. Každým způsobem stříhání lze dosahovat určitých přesností střížného povrchu. Střední přesnost povrchu u stříhání rovnými noži na nástroji bývá IT 11 až IT 14 a drsnost povrchu střížných ploch $R_a = 3,2$ až $6,3 \mu\text{m}$.

Střížné síly nepůsobí ideálně v jedné rovině v důsledku mezery mezi střížnicí a střížníkem při skutečném procesu, v němž se střížná síla rozkládá na třecí a normálovou složku. Tyto složky mají za následek vznik ohybových momentů a vznik jednotlivých pásem na konečném výrobku.

Vztah pro výpočet střížné síly:

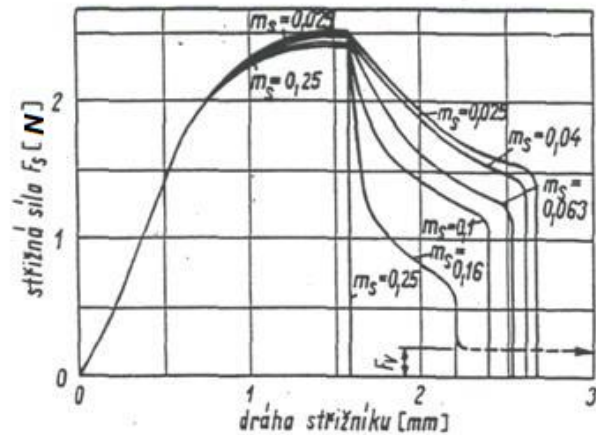
$$F_s = A \cdot \tau_s \cdot K_1 \cdot K_2 \quad [\text{N}] \quad (2.3)$$

kde A střížná plocha $A = b \cdot t$ [mm²],
 b šířka plechu [mm],
 τ_s střížná pevnost [MPa],
 K_1 součinitel vyjadřující hloubku vniknutí nože do materiálu (0,2 až 0,6),
 K_2 součinitel vyjadřující otupení, vůle a jakosti povrchu nože (1,2 až 1,5).

Na obrázku 2.5 je zobrazen průběh síly při stříhání rovnými noži s ukázkou vlivu střížné mezery na průběh střížné síly F a velikost střížné práce A .

Práce při stříhání je energie, která je potřebná na vystřížení součásti. Závisí na hloubce střížné hrany a velikosti střížné síly.

Střížnou práci lze vyjádřit jako integrál z plochy pod křivkou průběhu střížné síly v závislosti na dráze.



Obr. 2.5 Průběh síly při stříhání rovnými noži [11]

Vztah pro výpočet střížné práce:

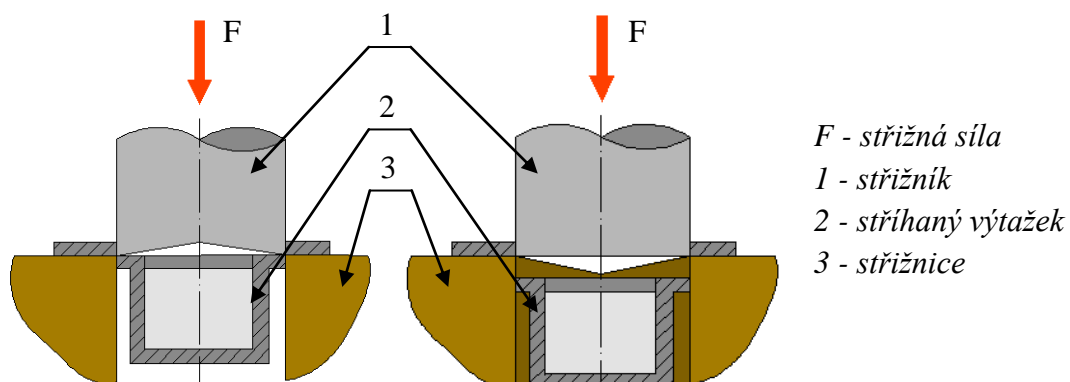
$$A_s = F_s \cdot \lambda \cdot h \quad [\text{J}] \quad (2.4)$$

kde F_s maximální střížná síla [N],
 λ (0,2 až 0,75) koeficient zaplnění plochy pod křivkou,
 h zdvih střížníku [mm].

2.1.2 Stříhání šikmými noži [11], [13]

Stříhání šikmými noži, kde hrana střížníku nebo střížnice svírá určitý úhel, má výhodu v tom, že je potřeba menší střížné síly než u stříhání s noži rovnoběžnými. Materiál se u této metody stříhá postupně.

Stříhadla se zkoseným ostřím se používají tehdy, pokud je potřeba zmenšit střížnou sílu, která je větší než síla lisu. Na vystříhování se dělá oboustranné zkosení na střížnici. Výrobek je poté rovný a odpad ohnutý. Způsob oboustranného zešikmení jak střížníku, tak střížnice, vyrovnává střížné síly na střížníku i střížnici a nevychyluje výrobek z osy. Stříhání s oboustranně šikmými noži je znázorněno na obrázku 2.6.



Obr. 2.6 Princip stříhání s oboustranně zkoseným střížníkem (vlevo) a oboustranně zkosenou střížnicí (vpravo) [13]

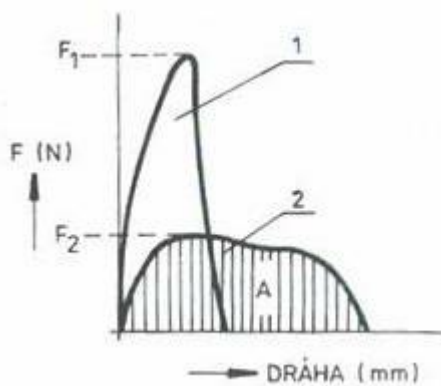
Pro výpočet střížné síly u šikmého stříhání platí analogický vzorec, který je vztažený na plochu trojúhelníka zkosené střížné hrany.

Vztah pro výpočet střížné síly:

$$F_s = \frac{b \cdot t \cdot \tau_s}{2} = \frac{t^2 \cdot \tau_s}{2 \cdot \operatorname{tg} \varphi} \quad [\text{N}] \quad (2.5)$$

kde φ úhel stříhu [°].

Při porovnání střížné síly a velikosti střížné práce při stříhání šikmými noži a rovnými noži, jak je vidět na obrázku 2.7, je jasně patrné, že výhodnější je stříhání se šikmými noži, protože pro stejnou délku a tloušťku stříhu je zapotřebí mnohem menší síla než u stříhání rovnými noži. Zmenšení střížné síly podstatně zmenšuje rázy. Nevýhodou je delší dráha stříhu.



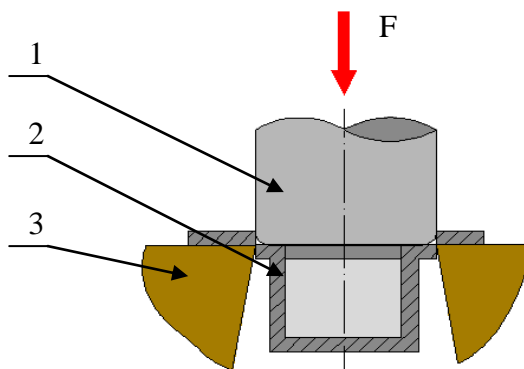
1 - střížná práce pod křivkou průběhu střížné síly u stříhání rovnými noži
2 - střížná práce pod křivkou průběhu střížné síly u stříhání šikmými noži

Obr. 2.7 Porovnání průběhu střížné síly a práce při stříhání rovnými a šikmými noži [11]

Střední přesnost povrchu při stříhání šikmými noži na nástroji bývá stejně jako u stříhání noži rovnými IT 11 až IT 14 a drsnost povrchu střížných ploch $R_a = 3,2$ až $6,3 \mu\text{m}$.

2.1.3 Stříhání se zaoblenou střížnou hranou [11], [13]

U výše popsanych metod plošného stříhání má střížná plocha i vystřížený kus určitou standardní jakost. Jedná se o přesnost střížných rozměrů a drsnost povrchu střížné plochy. Aby bylo možno vystřížené výtažky používat hned bez dalších úprav, snažili se technologové vylepšit střížný proces. Mezi tyto technologie stříhání, které zlepšují jakost povrchu střížné plochy a zpřesňují stříhané rozměry, patří stříhání se zaoblenou střížnou hranou.



F - střížná síla
1 - střížník se zaoblenou střížnou hranou
2 - stříhaný výtažek
3 - střížnice

Obr. 2.8 Princip přesného stříhání se zaoblenou střížnou hranou [13]

Při stříhání válcových výtažků se zaoblenou střížnou hranou je nevhodnější použít metodu se zaoblenou hranou na střížníku, která zajišťuje vysokou hladkost vnitřního obrysu stříhané plochy. Tato metoda je vhodná pro součástky, u kterých je vyžadována vyšší rozměrová a geometrická přesnost. Při stříhání se zaoblenou hranou je dosahováno přesnosti IT 9 až IT 11 a drsnosti střížných ploch $R_a = 0,4$ až $0,8 \mu\text{m}$. Metoda stříhání se zaoblenou střížnou hranou na střížníku je znázorněna na obrázku 2.8.

Pro stříhání běžných korozivzdorných výtažků není nutné volit stříhání se zaoblenou střížnou hranou, protože samotný výtažek z korozivzdorné oceli nemá tak vysokou jakost povrchu, jakou by měly střížné plochy po dokončení touto technologií.

2.2 Dokončování technologií obrábění [5], [10]

Obrábění je technologický proces, při kterém se vytváří povrchy určitého tvaru, rozměrů a jakosti povrchu. Obrábění se uskutečňuje v soustavě stroj - nástroj - obrobek a je spojeno s odebráním materiálu účinky mechanickými, elektrickými a chemickými, popřípadě jejich kombinací.

Velmi důležitým faktorem při obrábění je obrobiteľnost daného materiálu. Tedy v tomto případě korozivzdorné oceli.

Obrobiteľnost korozivzdorných ocelí značně kolísá, neboť požadavky na ně kladené, např. odolnost proti korozi a pevnost v tahu, značně zhoršují jejich obrobiteľnost. Z hlediska obrobiteľnosti se ukázaly jako vhodné austenitické oceli, které jsou popuštěné, za studena tažené a měkké.

Požadavky na nástroj pro obrábění korozivzdorných ocelí

K základním požadavkům kladených na nástroj používaný k obrábění korozivzdorných ocelí patří zatížení řezné hrany nástroje velkými řeznými silami a vysokými teplotami, zabránění tvorbě nárůstků a zpevnění materiálu obrobku za studena.

Tvrdość obráběného materiálu má bezprostřední vliv na trvanlivost řezné hrany nástroje. Materiály, které jsou tvrdší, se musí obrábět nižšími řeznými rychlostmi, aby bylo dosaženo požadované trvanlivosti. Korozivzdorná ocel tažená za studena je v důsledku deformace vyvolané tvářením tvrdší a má většinou austenitickou strukturu. Při obrábění má podstatný význam i tepelná vodivost materiálu obrobku. U korozivzdorných ocelí, které mají špatnou tepelnou vodivost, se vzniklé teplo hromadí v místě řezu. Tím se zvyšuje teplota na řezné hraně nástroje, což vede k jeho intenzivnějšímu opotřebení.

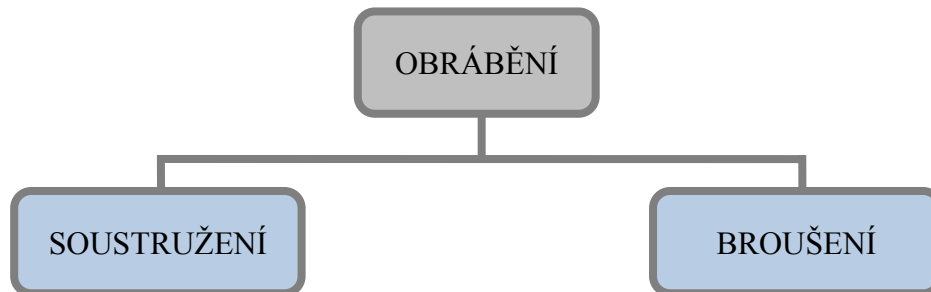
Plastická deformace je největší rizikový faktor. Kladná geometrie nástroje s otevřeným tvarovačem třísek zaručuje rovnoměrný a plynulý odvod třísek a snižuje množství tepla vzniklého při obrábění.

Při obrábění korozivzdorných ocelí je dalším důležitým faktorem tvorba otřepů, která vzniká při extrémně těžkých podmínkách obrábění. Zabránit tvoření otřepů, je možné použitím kladné geometrie nástroje, která je vhodná na obrábění tohoto druhu materiálu.

Existuje celá řada faktorů, které zhoršují obrobiteľnost korozivzdorných ocelí. Tyto oceli mají sklony ke špatné tepelné vodivosti, zpevňování, jsou houževnaté a vyžadují správnou volbu speciálně vyvinutých nástrojů a jejich použití při optimálních podmínkách.

Odstranění přírub válcových výtažků obráběním je vhodné pouze pro nádoby, které byly taženy z velmi tlustých korozivzdorných plechů. Vzhledem ke kolísající obrobiteľnosti korozivzdorných ocelí a náročným požadavkům na nástroj se odstranění příruby válcových výtažků z korozivzdorné oceli touto technologií spíše nedoporučuje.

Pro odstranění nerovných okrajů příruby obráběním jsou vhodné následující metody:



2.2.1 Soustružení [5], [10]

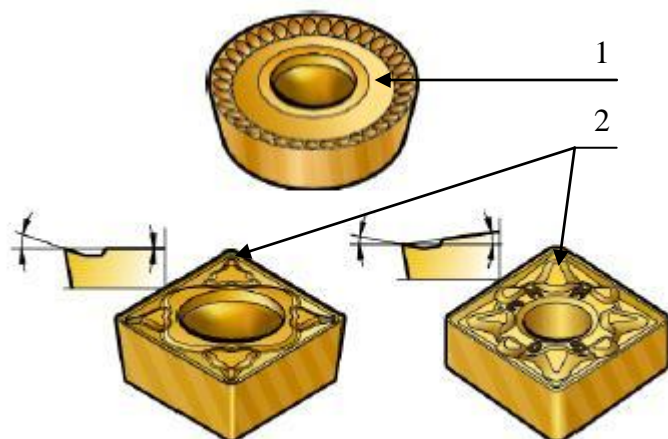
Základními znaky soustružení jsou pevnost řezného nástroje a rotační pohyb obráběného materiálu. Rotační pohyb obrobku je zpravidla označován jako hlavní pohyb a většinou jiný pohyb než rotační obrobek nekoná. Pohyb nástroje (jednobřitého nože) je přímočaře posuvný. Posuv je konán buď ve směru osy obrobku (axiální soustružení) nebo v kolmém směru k ose obrobku (radiální soustružení).

V případě soustružení příruby válcového výtažku bude použito soustružení radiální. Metoda radiálního soustružení příruby je znázorněna na obrázku 2.9.



Obr. 2.9 Princip radiálního soustružení příruby výtažku [10]

Soustružení je metoda, při níž se uplatňuje větší počet různých druhů nástrojů. Při obrábění houževnatých materiálů dochází ke vzniku dlouhých plynulých třísek, které poškozují povrch břitu a špatně se odstraňují. Pro lepší utváření třísky se doplňuje čelní plocha nože žlábkem, takzvaným utvařečem.



1 - kruhová břitová destička pro obrábění korozivzdorných ocelí
2 - hladicí břitová destička pro obrábění korozivzdorných ocelí

Obr. 2.10 Břítové destičky k obrábění korozivzdorných ocelí [18]

Pro dokončování korozivzdorných ocelí je doporučeno používat např. břitové destičky kruhové nebo hladicí z materiálu, který je určen k obrábění korozivzdorných ocelí, viz obrázek 2.10. Tyto destičky bývají vyrobeny z jemnozrnného slinutého karbidu s velmi dobrou rovnováhou mezi houževnatostí a odolností proti opotřebení. Je však nutné vždy používat řeznou kapalinu, která umožní snížit opotřebení. Je zde tendence ke snadnému ulpívání materiálu na břitu a tvorba nárůstků na hrotu. Obě tyto tendence negativně ovlivňují výslednou jakost obráběného povrchu a trvanlivost nástroje.

Pro kvalitní a správné obrobení příruby je třeba zvolit správný soustružnický stroj a správně a spolehlivě upnout obrobek. Při soustružení se nejčastěji využívá sklíčidlo, ve kterém lze upnout dlouhý obrobek dvoustranně. Zpravidla se používá tříčelist'ové upínání. U výtažků tyčového tvaru menších a středních průměrů se obrobek upíná do přesných upínacích pouzder, do takzvaných kleštin.

Soustružnické stroje mají největší podíl zastoupení ve strojírenské obráběcí technice. Ve strojírenských podnicích jsou tyto stroje zastoupeny velkým počtem typů soustruhů.

Přesnost povrchu po soustružení příruby korozivzdorné oceli bývá IT 11 až IT 14 a drsnost povrchu obrobené plochy $R_a = 12,5$ až $100 \mu\text{m}$.

2.2.2 Broušení [5], [10]

Broušení je jedna z nejstarších metod obrábění. V dnešní době se v drtivé většině používá už jenom jako dokončovací metoda obrábění válcových, rovinných nebo tvarových vnějších i vnitřních ploch. Nástroj má břity tvořeny zrnny tvrdých materiálů, které jsou navzájem spojeny vhodným pojivem. Při broušení je dosahováno vysoké jakosti povrchu.

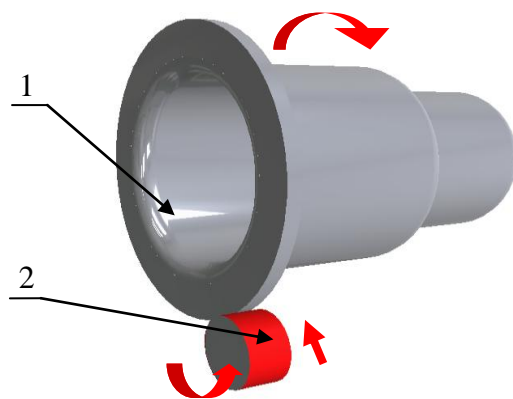
U korozivzdorných ocelí je zakázáno používat brusné kotouče nebo prostředky, které obsahují feromagnetické částice. Aby se nepřehříval povrch v místě obrábění, je nutné používat čisté chladicí kapaliny.

Broušení se používá většinou až po soustružení jako dokončovací operace pro součástky, na které jsou kladeny vysoké požadavky jakosti obrobeneho povrchu.

Z hlediska posuvu kotouče můžeme broušení dělit na:

- axiální broušení
- radiální broušení

V případě broušení příruby válcových výtažků z korozivzdorné oceli je vhodné použít radiální broušení, jak je znázorněno na obrázku 2.11. Kotouč je v tomto případě širší než broušená plocha. Obrobek musí být dostatečně tuhý. Obvodová rychlost bývá cca 25 až 30 m/s a posuv je pouze ve směru kolmém na osu obrobku a to cca 0,0025 až 0,0075 mm/otáčku.



1 - válcový výtažek s přírubou rotující kolem své osy (obrobek)

2 - brusný kotouč s vhodnými břitý rotující kolem své osy a posouvající se ve směru kolmém na osu obrobku

Obr. 2.11 Princip radiálního broušení příruby výtažku [10]

Při broušení korozivzdorných ocelí je velmi důležitá volba nástroje. Fyzikální vlastnosti korozivzdorných ocelí vyžadují během broušení opatrnost, aby se předcházelo přehřátí a tím i zabarvení místa okolo broušené plochy v důsledku doprovodného tepla. Tento problém nastane, pokud teplota plochy povrchu překročí cca 200°C. Je tedy nutné používat chladicí kapaliny. Při volbě brusného kotouče je nutné dbát na to, aby kotouč neobsahoval feromagnetické částice.

Upínání obrobku do stroje bude záviset na jeho tvaru. Obrobky se dají upnout jak mezi hroty, tak v případě tenkostěnných součástí do rozpínacích trnů.

Stroj při broušení je bruska. Ve strojírenské obráběcí technice jsou různé typy brusek, pro různé způsoby broušení.

Při broušení přírub válcových výtažků je vhodné zvolit brusky rotační. Rotační brusky jsou buď hrotové nebo bezhrotové.

Přesnost povrchu po broušení příruby korozivzdorné oceli bývá IT 9 až IT 11 a drsnost povrchu obrobene plochy $R_a = 0,8$ až $6,3 \mu\text{m}$.

Dokončování broušením je vhodné pouze tehdy, pokud není zapotřebí úběru velkého množství materiálu a jsou vyžadovány velmi kvalitní jakosti obrobenech ploch.

2.3 Dokončování nekonvenčními způsoby dělení [12], [14]

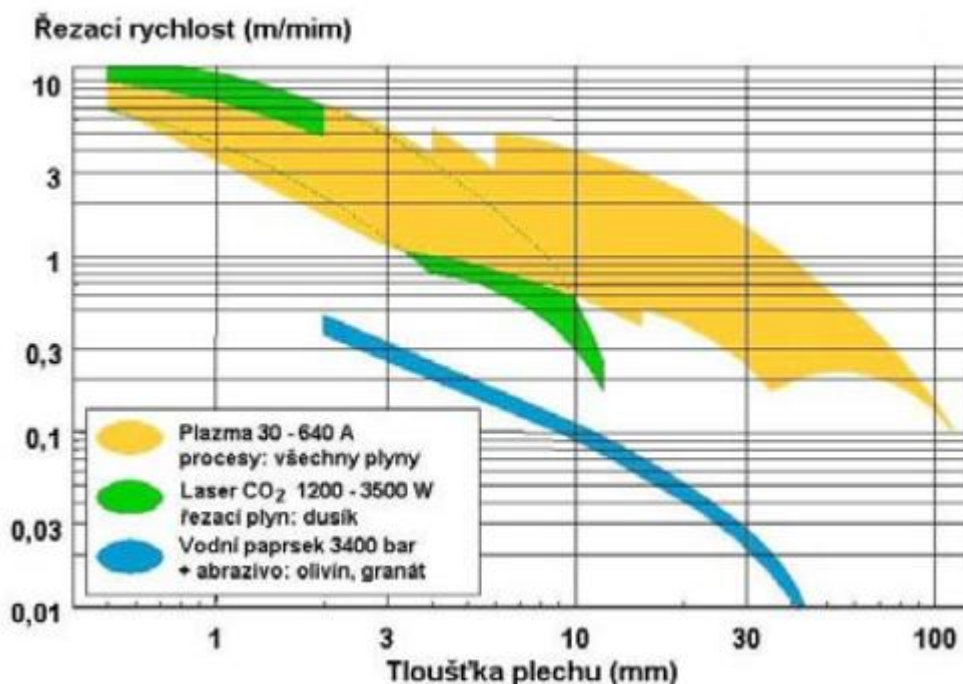
Nekonvenční dělení materiálu lze chápat jako technologii řezání pracující na principech lokálního tavení, odpařování nebo spalování, popřípadě kombinace těchto tří způsobů, kdy energie, která je potřeba k inicializaci tohoto procesu a jeho průběhu, je dodávána různými tepelnými zdroji. Nekonvenční dělení materiálu lze aplikovat na celou škálu konstrukčních materiálů.

U této dokončovací technologie je velmi důležitá rovnost příruby. U značně zvlněných přírub je nemožné aplikovat dokončování technologií nekonvenční dělení.

Pro odstranění nerovných okrajů příruby nekonvenčním dělením jsou vhodné následující metody:



Z obrázku 2.12 je zřejmé, že z dostupných variant řezání laserem, plazmou a vodním paprskem, se tyto metody dají využít pro řezání velkými rychlostmi u tenkých plechů (laser, plazma), menšími rychlostmi u plechů tlustších (vodní paprsek, plazma). Z velikosti pásma plazmy je zřejmé, že tato metoda bude oproti ostatním v tomto ohledu výhodnější.



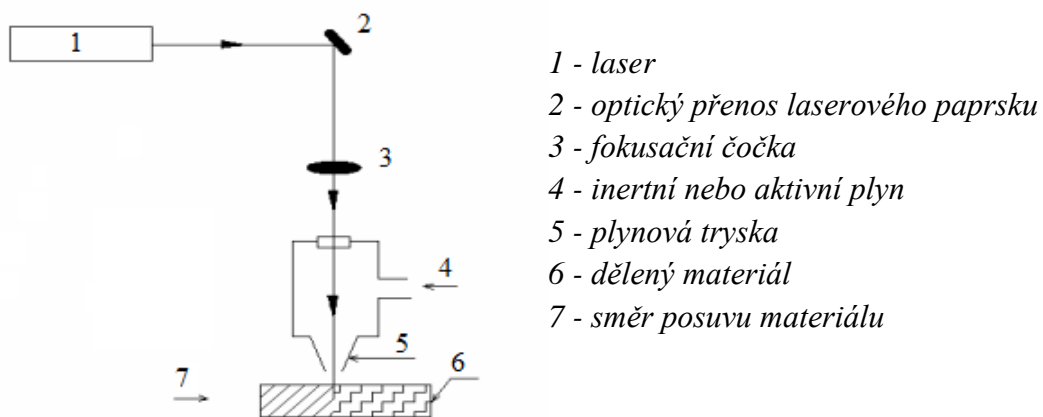
Obr. 2.12 Diagram pracovních oblastí jednotlivých metod nekonvenčního dělení korozivzdorné oceli [16]

Dalším důležitým faktorem při výběru správné metody nekonvenčního dělení materiálu je kvalita řezu. Kritérium pro kvalitu daného řezu je jakost řezné plochy, tvarová přesnost a taky velikost tepelně ovlivněné oblasti. Výsledná jakost řezu není dána konkrétním číslem, je ovlivněna především rychlostí řezání. Vysoké řezné rychlosti se vyznačují hrubým a nekvalitním povrchem a označují se jako dělicí řez, který je nejlevnější a časově nejméně náročný. Pro vyšší přesnosti řezu je potřeba počítat s delší dobou zpracování, a tím pádem i větší vynaložení finančních prostředků.

2.3.1 Řezání laserem [12], [14], [19]

Tato metoda dělení materiálu využívá laser jako technologické zařízení. Zesílený paprsek laseru umožňuje dělení materiálu nezávisle na jeho tepelně - fyzikálních vlastnostech.

Nejčastěji používané lasery jsou kontinuální CO₂ lasery, které mají výkon do 15 kW. Těmito lasery je možné řezat korozivzdorné oceli cca do tloušťky 10 mm. Pro větší přesnost řezu a menší šířku spáry řezu se často používají lasery Nd: YAG, které mají výkon 100 až 1000W. Těmito lasery lze řezat korozivzdorné oceli cca do tloušťky 3 mm. Princip technologie řezání laserem je znázorněn na obrázku 2.13.



Obr. 2.13 Princip řezání laserem [12]

Technologická zařízení pro řezání laserem můžeme rozdělit do dvou kategorií:

- 2D stroje
- 3D stroje

Pro odstranění příruby válcového výtažku stačí použití stroje pro řezání rovinných dílců, tedy 2D stroje.

U laserového dělení materiálu není možné nastavení různých stupňů jakosti řezu. Řez je nastaven pro optimální kvalitu závislou na tloušťce řezaného materiálu. Nejlepší řezy jsou realizovatelné cca 8 mm. Se vzrůstající tloušťkou řezu se zhoršuje jeho kvalita, dochází ke vzniku okují, drážkování a návarků. Dosahovaná geometrická přesnost je $\pm 0,1$ mm. Drsnost povrchu řezaných ploch je cca $R_a = 3,6$ až $12 \mu\text{m}$.

Řezání laserem je vhodné, pokud je třeba velmi kvalitního řezu s vysokou rychlostí a bez deformace materiálu. Ze všech tepelných metod dělení materiálu je u řezání laserem nejmenší úkos. Omezení je ovšem u tloušťky řezaného materiálu. Jsou nutná přísná bezpečnostní opatření, náročná údržba a vysoké provozní i pořizovací náklady.

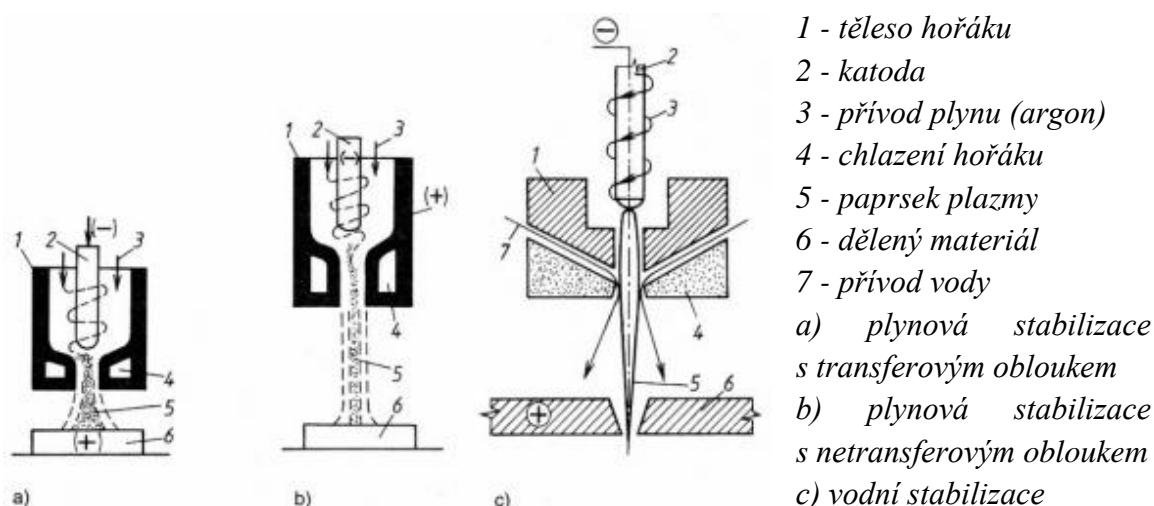
2.3.2 Řezání plazmou [1], [8]

Plazma je vysoce žhavý elektricky vodivý plyn, který je tvořen ionty, elektrony, vybuzenými a neutrálními atomy a molekulami. Je často fyziky označován jako čtvrté skupenství.

Tato technologie byla vyvinuta zejména pro dělení materiálů, které nebylo možné řezat hořlavým plynem (zejména kyslíkem). Mezi tyto materiály se řadí například korozivzdorné oceli, hliník a měď. Technologie řezání plazmou je označována za obloukovou. A to z důvodů využívání elektrického oblouku k ionizování plazmového plynu.

Ionizace plazmového plynu probíhá v plazmovém hořáku díky přívodu elektrické energie na elektrodu (katoda) oproti řezanému materiálu (anoda). Tento plyn je fokusován dýzou směrem k povrchu řezaného materiálu. Tato dýza je speciálně konstruována. Tím vznikne mezi řezným materiálem a hořákem plazmový elektrický oblouk, který má teplotu dosahující až cca 20000 - 30000°C a velmi silný dynamický účinek. Díky tomuto účinku je materiál nataven a odveden z řezné spáry.

Pro zvýšení koncentrace energie elektrického oblouku se využívají chlazené plazmové hořáky, které umožňují přívod fokusačního a ochranného plynu, popřípadě vody. Plazmové hořáky jsou schematicky zobrazeny na obrázku 2.14.



Obr. 2.14 Princip plazmových hořáků se stabilizací [8]

Technologická zařízení pro řezání plazmou můžeme podle nároků na pracovní prostředí rozdělit do dvou kategorií na:

- stacionární - vhodné pro výrobní průmyslové pracoviště
- mobilní - vhodné pro časté přenášení, např. na staveništích

Pro odstranění příruby válcového výtažku je vhodné zvolit plazmový stroj stacionární, který zajišťuje oproti mobilnímu vyšší rozměrovou přesnost, rychlost řezného procesu a jeho kvalitní provedení.

Kvalita povrchu u dělení materiálu plazmou závisí především na charakteristice plazmy. Faktory ovlivňující kvalitu řezu:

- průměr plazmy ve svazku v závislosti na výkonu a jeho symetrie - nesymetrický svazek způsobuje zhoršení kvality řezu
- druh plazmového plynu - špatně zvolený druh plynu může způsobit nežádoucí chemickou reakci, což má za následek zhoršenou kvalitu řezu
- chvění hořáku - řezný svazek kopíruje velmi citlivě polohu hořáku, proto chvění působí negativně na kvalitu povrchu

Nejpřesnější plazmové stroje jsou schopny dosáhnout geometrické přesnosti $\pm 0,1$ mm a drsnosti povrchu řezaných ploch cca $R_a = 3,6$ až $12 \mu\text{m}$.

Řezání plazmou je velmi vhodné pro dělení malých a středních tlouštěk materiálu, má vysoké řezné rychlosti a není zde nutný předehřev. Pro eliminování vysokých teplot je možnost řezání plazmou pod vodou. Oproti laseru je zde nízká pořizovací cena. Omezením je zkosení řezné hrany, kdy šířka řezu na vstupu a výstupu je jiná. Při řezání plazmou je poněkud širší řezná spára a také vzniká ořep.

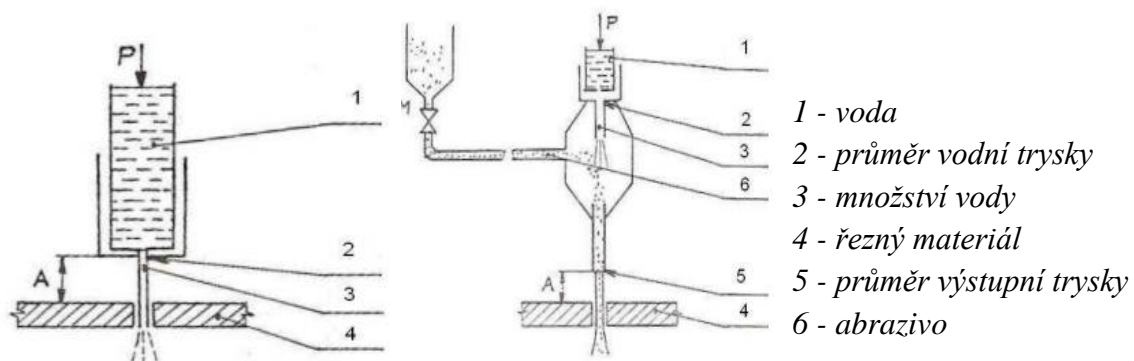
2.3.3 Řezání vodním paprskem [12], [14]

Technologie řezání vodním paprskem je založena na využití abrazivního účinku vysokoenergetického paprsku z kapaliny k dělení materiálů. Je to metoda, která využívá mechanické principy k dělení materiálu. Paprsek vody je využíván k řezání studeným řezem (je zde nulové pásmo tepelného ovlivnění).

Tato technologie se v praxi využívá dvěma základními způsoby:

- kapalinový vodní paprsek
- kapalinový vodní paprsek s abrazivní směsí

Pro obě technologie je základem stroje k řezání paprskem vody vysokotlaké čerpadlo. Toto čerpadlo generuje pomocí multiplikátoru vysoký tlak vody, která je vysokotlakým vedením dopravena do řezací hlavy. Tlak kapaliny se dá plynule regulovat. U metody řezání vodním paprskem s abrazivní směsí se do kapaliny přidávají abrazivní zrna, která účinnost paprsku zvyšují. Největší nevýhodou této technologie je nízká životnost trysky. U obyčejného vodního paprsku je to cca 40 hodin, u paprsku s abrazivní směsí jen 8 hodin. Obě technologie jsou zobrazeny na obrázku 2.15.

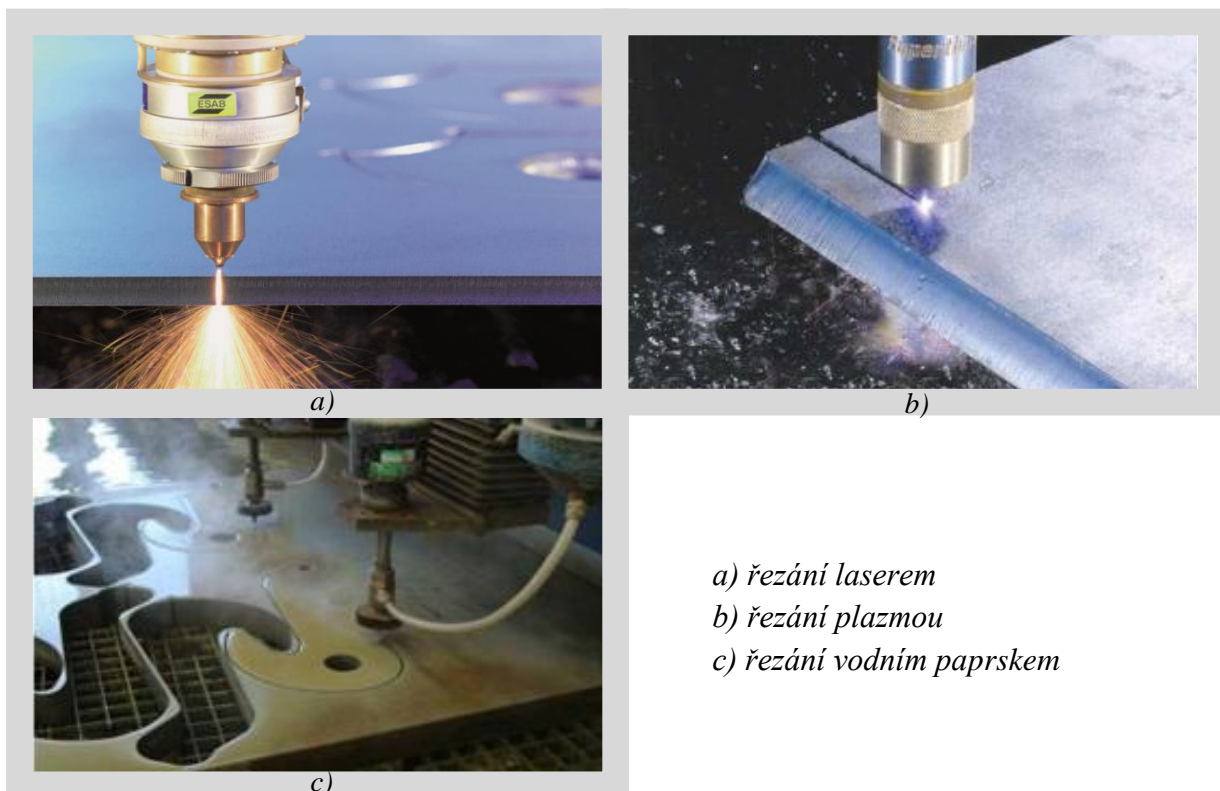


Obr. 2.15 Princip řezání vodním paprskem (vlevo) a vodním paprskem s abrazivní směsí (vpravo) [12]

Na technologických zařízeních pro řezání vodním paprskem je prováděn samotný řezný proces. Řezací stroje jsou většinou řízeny číslicovou technikou, což zaručuje dostatečnou přesnost a rychlost řezu. Tyto stroje lze vybavit řadou speciálních doplňků od řezných hlav až po nejrůznější upínací a senzorické systémy. Podpora mnoha CAD formátů je samozřejmostí.

Jakost řezaného povrchu vodním paprskem se liší v horní části řezu a spodní části řezu, kde vodní paprsek ztrácí svou kinetickou energii, a proto se zde tvoří méně kvalitní povrch. U řezání vodním paprskem je dosahováno geometrické přesnosti $\pm 0,1$ mm. Výsledkem působení abrazivního procesu na povrch řezané plochy je možné dosahovat nejlepší drsnosti povrchu $R_a = 3,2 \mu\text{m}$, naopak u dělicího řezu s velmi hrubou přesností je dosahováno drsnosti povrchu až $R_a = 40 \mu\text{m}$.

Řezání vodním paprskem je vhodné pro dělení velmi tvrdých a těžko obrobitelných materiálů o velkých tloušťkách. Je to univerzální metoda z hlediska kvality řezu, kdy drsnost lze zvolit od nejlepší jakosti ($R_a = 3,2 \mu\text{m}$) až po dělicí řez ($R_a = 40 \mu\text{m}$). Výhodou také je, že neproběhne žádná metalurgická změna na řezné ploše, protože maximální ohřev děleného materiálu je na teplotu 40 až 50°C. Nevýhodou jsou vysoké investiční i provozní náklady, například v porovnání s plazmou je to 1:5 až 1:20, v závislosti na tloušťce materiálu. U materiálů z korozivzdorné oceli je relativně menší řezná rychlost.



- a) řezání laserem
- b) řezání plazmou
- c) řezání vodním paprskem

Obr. 2.16 Jednotlivé metody nekonvenčního dělení materiálu v praxi [1], [2], [3]

3 DOKONČOVÁNÍ VÁLCOVÝCH VÝTAŽKŮ BEZ PŘÍRUBY [11], [15]

Po tažení válcového výtažku bez příruby dostaneme jako výstup součástku, která má okraje orientovány směrem s osou rotace. Pro tento způsob tažení válcových výtažku budou dokončovací operace po tažení vypadat jinak než u válcového výtažku s přírubou.

V této kapitole budou rozebrány metody vhodných dokončovacích operací pro válcové výtažky bez příruby. Válcový výtažek bez příruby je znázorněn na obrázku 3.1.

Mezi tyto dokončovací metody patří:

- obrábění
- řezání

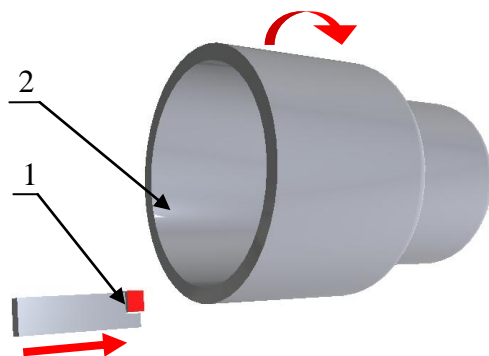


Obr. 3.1 Válcový výtažek bez příruby [11]

3.1 Dokončování technologií obrábění [5], [10]

Obrábět nerovné kraje válcového výtažku z korozivzdorné oceli bez příruby je vhodné pouze soustružením. Všechny náležitosti této metody obrábění jsou popsány výše v kapitolách 2.2 a 2.2.1.

V případě soustružení výtažku bez příruby bude použito soustružení axiální, kdy se nůž posouvá k obrobku ve směru jeho osy otáčení. Princip metody axiálního soustružení je znázorněn na obrázku 3.2.



1 - válcový výtažek bez příruby rotující kolem své osy (obrobek)
2 - nůž s vhodným břitem posouvající se ve směru osy obrobku

Obr. 3.2 Princip axiálního soustružení výtažku [10]

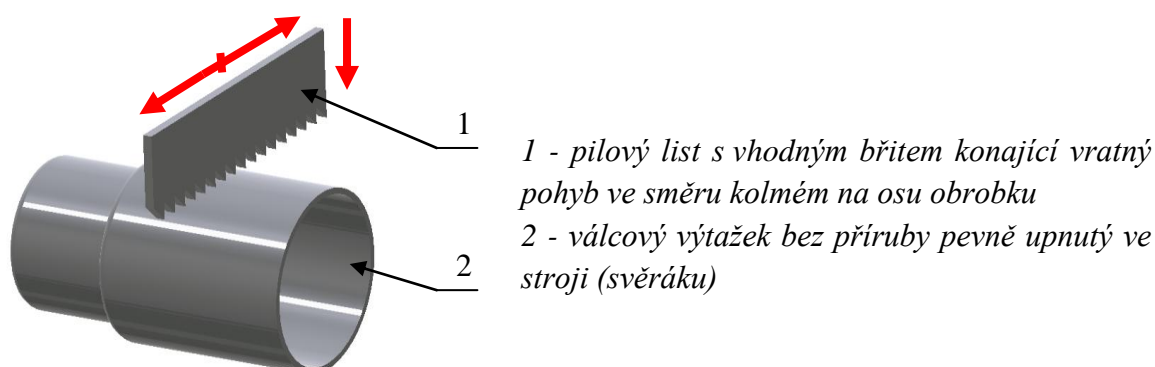
Při volbě této metody odstranění nerovných okrajů válcového výtažku bez příruby musíme dbát na tloušťku materiálu obrobku, která musí být dostatečně velká, aby měl obrobek tuhé vlastnosti a nedocházelo ke chvění.

Přesnost povrchu po soustružení výtažku bez příruby z korozivzdorné oceli bývá IT 11 až IT 14 a drsnost povrchu obrobené plochy $R_a = 12,5$ až $100 \mu\text{m}$.

3.2 Dokončování technologií řezání [9], [20]

Při technologii řezání se část materiálu ztrácí ve formě třísek, kdy hmotnost odpadu závisí především na šířce řezného nástroje, tedy pily. Řezat materiál je možné pouze do určité tvrdosti. Řezáním lze zajistit přesnou hmotnost, hladký řez a jeho kolmost daného obrobku, což je u některých jiných technologiích dělení značně problematické.

Při dokončování nerovných ploch válcového výtažku bez příruby je vhodné zvolit například řezání pilovým listem. Princip řezání materiálu pilovým listem je založen na vnikání břitu nástroje do materiálu obrobku, přičemž nástroj koná přímočarý vratný pohyb a obrobek je nehybný. Řezání pilovým listem je znázorněno na obrázku 3.3.



Obr. 3.3 Princip řezání výtažku pilovým listem [17]

Nástroj, tedy pilový list je pás, který je opatřen na jedné straně zuby. Tyto pilové listy se vyrábějí z nástrojových ocelí a mají délku 300 až 700 mm. Šířka se odvíjí od jejich délky, většinou je 25 až 50 mm. Tloušťka je 1,25 až 2,5 mm a rozteč zubů 1,8 až 6,3 mm. Zuby mají jednoduchý tvar, a aby tělo pilového listu nedřelo o stěny řezného materiálu, jsou rozvedené.

Volba nástroje je velmi důležitá. Volí se počet zubů na 25 mm, v závislosti na rozměrech a druhu řezaného materiálu.

Tab. 3.1 Doporučený počet zubů pro korozivzdornou ocel

Doporučený počet zubů na 25 mm pro řezaný materiál			
Řezaný materiál	Průměr materiálu [mm]		
	10 - 30	30 - 100	100 - 250
Počet zubů na 25 mm			
Korozivzdorná ocel	8 - 6	6 - 4	6 - 4

Pilové listy se upínají do rámu pily, který je veden ramenem pily a koná přímočarý vratný pohyb, pomocí klikového mechanismu. Při zpětném zdvihu rámu se rameno pily nadzvedne, aby nedocházelo k otěru zubů o obrobek.

Odstranění nerovných okrajů válcových výtažků řezáním je vhodné spíše pro výtažky menších průměrů. Řezání pilovým listem je vhodné pro malosériovou výrobu. Výhodou je levný nástroj, snadná manipulace a mobilita stroje. Nevýhodou je malý výkon a horší kvalita obrobků. K odřezání nerovných okrajů válcových výtažků lze použít také technologii řezání pilovými pásy a pilovými kotouči.

4 ZÁVĚRY

Při výrobě válcového výtažku se díky přeskupení materiálu nevytvoří rovný a hladký okraj součástky, proto je nutno ho opracovat. Tato práce analyzuje jednotlivé metody pro odstranění nerovných okrajů válcových součástí po výrobě tažením a rozděluje je na dokončování výtažků s přírubou a bez příruby.

I když společný cíl všech popsanych metod je stejný, je zapotřebí, aby volbě konkrétní metody předcházelo posouzení potřeb dokončovaného dílce z hlediska materiálu, rozměrů, jakosti povrchu, atd.

První variantou u dokončování válcových výtažků je plošné stříhání, které je použitelné pouze pro výtažky s přírubou. Stříhání má v praxi široké uplatnění, velmi jednoduchý technologický postup, vysokou efektivitu procesu a možnost automatizace, ale pořizovací náklady střížného nástroje jsou vysoké a kvalita povrchu střížných ploch je horší. Přesto je plošné stříhání metoda, která je vhodná pro dokončování válcových výtažků.

Další variantou je metoda obrábění, která má uplatnění jak u výtažků s přírubou, tak u výtažků bez příruby. Obrábění korozivzdorných ocelí je v praxi velmi složité z důvodu jejich kolísající obrobiteľnosti. Náklady na nástroj i stroj jsou vysoké a není možné obrábět tenkostěnné výtažky. Při obrábění broušením lze dosáhnout velmi kvalitní jakosti povrchu, přesto je tato metoda odstranění nerovných okrajů spíše nevhodná.

K odstranění nerovných okrajů válcových výtažků s přírubou je další variantou nekonvenční způsoby dělení materiálu, která je zastoupena metodami řezání laserem, řezání plazmou a řezání vodním paprskem.

Řezáním laserem je dosahováno velmi kvalitních řezů vysokou rychlostí, avšak jen u malých tloušťek materiálu. Nevýhodou jsou vysoké pořizovací i provozní náklady.

Dělení plazmou je vhodné pro malé a střední tloušťky vysokou rychlostí. Nevýhodami jsou zkosení řezné hrany, širší řezná spára a vznik otřepů. V porovnání s ostatními metodami nekonvenčních způsobů dokončování jsou pořizovací náklady plazmy 5 až 20krát nižší.

Řezání vodním paprskem je vhodné pro dělení velmi tlustých a těžko obrobiteľných materiálů širokou škálou jakostí řezného povrchu. Nevýhodami jsou vysoké pořizovací i provozní náklady a malá řezná rychlost.

Z porovnání plyne, že nejvhodnější metoda pro dokončování je řezání plazmou.

Poslední variantou dokončování je řezání pilovým listem. Tuto metodu lze použít pouze pro výtažky bez příruby. Výhodami jsou snadná manipulace, operativnost použití, nízké pořizovací náklady a mobilita stroje. Nevýhodami jsou malý výkon a horší kvalita obroběných ploch. Tuto metodu je vhodné používat zejména u součástek menšího průřezu.

Z výše uvedeného srovnání jednotlivých metod je zřejmé, že každý ze způsobů dokončování válcových výtažků z korozivzdorné oceli má v praxi své uplatnění. Bez podrobných znalostí provozních potřeb a podmínek je takřka nemožné některou z metod upřednostnit nebo odmítnout.

Konečnému rozhodnutí volby konkrétní metody musí předcházet detailní analýza dokončovaného dílce.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ

1. BŘICHNÁČ, Pavel. Plazmové technologie. *Aldebaran bulletin* [online]. 17.05.2004 [cit. 2012-04-13]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_20_plt.html
2. CHPS s.r.o. Vodní paprsek - Technologie. *Co je to vysokotlaký vodní paprsek?* [online]. c2009 [cit. 2012-04-14]. Dostupné z: <http://www.chps.cz/vodni-paprsek/technologie.html>.
3. ESAB. Svařování a pálení. *Obrázkový archiv* [online]. [cit. 2012-04-13]. Dostupné z: <http://www.esab.cz/cz/cz/news/image-archive.cfm>
4. EST. Vnitřní nádoba TZ10 [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.estplus.cz/vnitri-nadoba-tz10>
5. FOREJT, Milan. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006, 225 s. ISBN 80-214-2374-9
6. GASTRORADWAN. Gastronomické vybavení a technika. Miska nerezová 3,0 L [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: <http://www.gastroradwan.eu/misy-a-misky/769-nerezova-miska--pr24-cm--h-98-cm--30l.html>
7. INNA. Katalog produktů. Zednické a malířské nářadí / Lžice fanky spárovačky [online]. [cit. 2012-05-17]. Dostupné z: http://www.inna-kt.cz/index.php?scat=331&par=0*20*2*0**&lang=CZ
8. JANATA, Marek. Technické plyny pro řezání plazmou: Co je to plazma?. *Svět svaru* [online]. Praha, 2007 [cit. 2012-05-12]. Dostupné z: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/TP_plasma_2007.pdf
9. KAŠPAR, L. Analýza konvenční technologie dělení materiálu.. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2008. 42 s. Vedoucí bakalářské práce Ing. Oskar Zemčík, CSc
10. KOČMAN, K. a PROKOP, J. Technologie obrábění. 1. vyd. Brno: Akademické nakladatelství CERM s.r.o. 2001. 270s. ISBN 80-214-1996-2.
11. LENFELD, Petr. Internetová podpora výuky technologie tváření kovů a plastů [online]. 1998-2005 [cit. 2012-03-24]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/
12. MORÁVEK, R. Nekonvenční metody obrábění. Plzeň: ZČV Plzeň, 1994. 102 s. ISBN: 80-7082-161-2
13. NOVOTNÝ, J. a Z. LANGER. Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů. 1. vyd. Praha: SNTL, Redakce báňské a strojírenské literatury, 1980. 216 s. L 13–B3-IV 41/22674

14. PETRUŽELKA, Jiří. Tvařitelnost a nekonvenční metody ve tváření. 1. vyd. Ostrava:VŠB-TU Ostrava, 2000. 156 s. ISBN 80-7078-635-3.
15. ROMANOVSKIJ, Viktor Petrovič. Příručka pro lisování za studena. 2. vyd. Praha: SNTL, 1959. 540 s.
16. ROUBÍČEK, Martin. Kritéria a trendy tepelného dělení materiálu [online]. [cit. 2012-04-15]. Dostupné z: <http://www.airliquide.cz/file/otherelement/pj/roubicek49122.pdf>
17. ŘASA, J., GABRIEL, V. strojírenská technologie 3, 1. díl. SCIENTIA Pedagogické nakladatelství, Praha 2002. ISBN 80-7183-337-1
18. SANDVIK Coromat. Soustružení korozivzdorné oceli [online]. [cit 2012-05-10]. Dostupné z: http://www.sandvik.coromant.com/cs-cz/technical_guide/general_turning/getting_started/turning_different_materials/stainless_steel_turning/pages/default.aspx
19. ZATLOUKAL, Petr. Laserové dělení materiálu [online]. 10. 5. 2007 [cit. 2012-04-20]. Dostupné z: <http://www.welding.cz/laser/deleni.htm>
20. ZEMČÍK, O. Technologická příprava výroby. CERM,s.r.o. Akademické nakladatelství, Brno 2002. ISBN 80-214-2219-X

SEZNAM SYMBOLŮ A ZKRATEK

Symbol	Popis	Jednotka
A	střižná plocha	[mm ²]
A _s	střižná práce	[J]
b	šířka plechu	[mm]
c	součinitel závislý na stupni stříhu	[-]
F _s	střižná síla	[N]
h	zdvih střižníku	[mm]
IT	přesnost povrchu	[-]
K ₁	součinitel vyjadřující hloubku vniknutí nože do materiálu	[-]
K ₂	součinitel vyjadřující otupení, vůle a jakosti povrchu nože	[-]
k _s	střižný odpor	[MPa]
m	střižná vůle	[mm]
R _a	drsnost povrchu	[μm]
t	tloušťka plechu	[mm]
φ	úhel stříhu	[°]
λ	koeficient zaplnění plochy pod křivkou	[-]
τ _s	pevnost ve stříhu	[MPa]