



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ
BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY



FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ
ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING
INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

VARIANTNÍ ŘEŠENÍ VÝROBY BRZDOVÉHO KOTOUČE MOTOCYKLU

MANUFACTURING POSSIBILITIES OF MOTORCYCLE BRAKE WHEEL

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE
BACHELOR'S THESIS

AUTOR PRÁCE
AUTHOR

JOSEF ROZUM

VEDOUCÍ PRÁCE
SUPERVISOR

Ing. KAMIL PODANÝ, Ph.D.

BRNO 2012

Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství

Ústav strojírenské technologie
Akademický rok: 2011/12

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

student(ka): Josef Rozum

který/která 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:

Variantní řešení výroby brzdového kotouče motocyklu

v anglickém jazyce:

Manufacturing possibilities of motorcycle brake wheel

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o návrh variantního řešení výroby brzdového kotouče motocyklu z ocelového plechu. Součástka je rotačního tvaru s mnoha otvory a cílem bude navrhnout možné způsoby její výroby.

Cíle bakalářské práce:

Provedení aktuální literární studie se zaměřením na varianty výroby zadané součásti s návrhem vhodné technologie a naznačením postupu výroby.

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, 115s.).
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 2011/12.

V Brně, dne 15.11 2011

L.S.

prof. Ing. Miroslav Piška, CSc.
Ředitel ústavu

prof. RNDr. Miroslav Doupovec, CSc.
Děkan

ABSTRAKT

Rozum Josef: Variantní řešení výroby brzdového kotouče motocyklu

Bakalářská práce předkládá variantní řešení hromadné výroby motocyklových brzdových kotoučů. Brzdové kotouče jsou součástí rotačního tvaru o velkém průměru a malé tloušťce zhotovené především z uhlíkové oceli. V práci jsou uvedeny metody výroby technologiemi nekonvenčního obrábění a metody výroby technologiemi tváření. Jako vhodné varianty pro výrobu byly zvoleny technologie řezání laserem, řezání vodním paprskem, řezání plazmou, běžného a přesného stříhání. Jednotlivé metody jsou popsány a je zhodnocena jejich vhodnost pro výrobu. U metody přesného stříhání, která se jeví neoptimálnější, je naznačen postup výroby.

Klíčová slova: brzdový kotouč, řezání laserem, řezání vodním paprskem, řezání plazmou, stříhání, přesné stříhání

ABSTRACT

Rozum Josef: Manufacturing possibilities of motorcycle brake wheel

This bachelor thesis presents a variant solution of mass production of motorcycle brake wheel. These are part of rotating component of large diameter and small thickness made up mainly of carbon steel. The thesis presents methods for the production of unconventional machining technologies and methods of molding. As appropriate variants were selected technologies of laser cutting, water jet cutting, plasma cutting, blanking and fineblanking. The individual methods are described and evaluated their suitability for production. For fineblanking method which seems to be optimal is indicated the production process.

Key words: brake wheel, laser cutting, water jet cutting, plasma cutting, blanking, fineblanking

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

ROZUM Josef *Variantní řešení výroby brzdového kotouče motocyklu*. Brno, 2012. 30 s., CD. FSI VUT v Brně, Ústav strojírenské technologie, Odbor technologie tváření kovů a plastů. Vedoucí práce Ing. Kamil Podaný, Ph.D.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucího bakalářské práce.

V Brně dne 24.5.2012

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji panu Ing. Kamilu Podanému, Ph.D. za cenné připomínky a rady týkající se zpracování bakalářské práce.

OBSAH

Zadání
Abstrakt
Bibliografická citace
Čestné prohlášení
Poděkování
Obsah

ÚVOD	9
1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU	10
2 NEKONVENČNÍ METODY OBRÁBĚNÍ	12
2.1 Řezání plazmou	12
2.2 Řezání laserem	13
2.3 Řezání vodním paprskem	15
3 STŘÍHÁNÍ	17
3.1 Běžné stříhání	18
3.2 Přesné stříhání	18
3.2.1 Kalibrování	19
3.2.2 Přistřihování	19
3.2.3 Stříhání se zkoseným přidržovačem.....	20
3.2.4 Stříhání se zaoblenou střížnou hranou.....	21
3.2.5 Přesné stříhání s tlačnou hranou	21
4 ZÁVĚRY.....	25

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratk

ÚVOD [2],[3],[4],[8],[10]

Brzdové kotouče jsou základním prvkem kotoučových brzd, které se používají u většiny moderních motocyklů. Na brzdové kotouče jsou kladeny vysoké nároky. Především na rozměrovou přesnost, pevnost, odolnost proti opotřebení, odolnost proti teplotním šokům a tepelnou vodivost.

Rotační součásti, mezi které patří i brzdový kotouč, se dají vyrábět mnoha způsoby. Rozhodujícími faktory pro určení nejvýhodnější metody výroby dané součásti je několik. Záleží např. na požadovaném tvaru a materiálu součásti, požadované přesnosti, efektivnosti a hospodárnosti výroby a dalších.

Při výrobě rotačních součástí dochází k dělení materiálu. To můžeme rozdělit na třískové a beztřískové. Mezi třískové způsoby dělení materiálů patří soustružení a frézování. Beztřískové dělení materiálů se dělí na několik druhů stříhání. Dalším způsobem je dělení materiálů plazmou, laserem nebo vodním paprskem.



Obr. 1 Kotoučové brzdy [2],[3],[4],[8],[10]

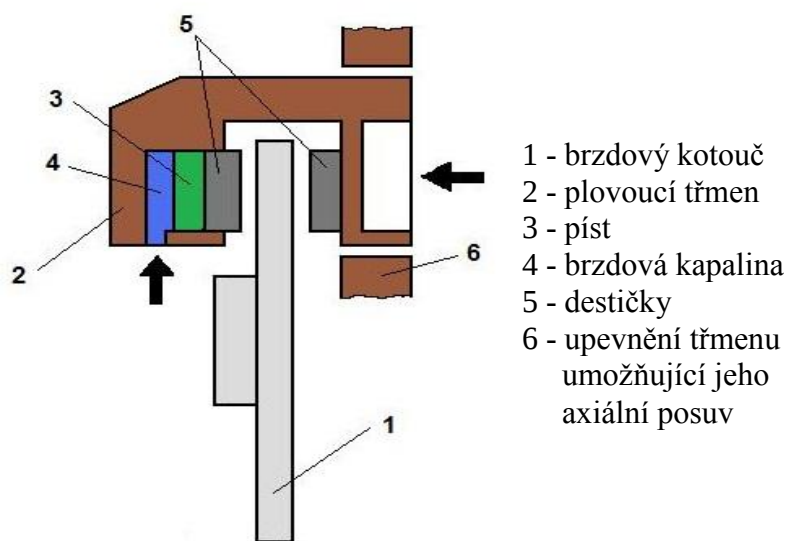
1 ROZBOR SOUČASNÉHO STAVU [9],[12],[14],[33]

Základní princip kotoučové brzdy je naznačen na obr.2. Brzdový kotouč (obr. 3) je přišroubován na náboji kola a otáčí se společně s kolem. Brzdový třmen je nehybně upevněn na vidlici, která zároveň zajišťuje vedení kola.

V brzdovém třmenu jsou uloženy brzdové destičky. Ty jsou opatřeny speciálními třecími materiály. Přitlačováním destiček na rotující kotouč vzniká tření mezi destičkami a kotoučem a dochází k brzdění kola. Sílu potřebnou na přitlačení destiček ke kotouči musí vyvinout jezdec na motocyklu pákou na řídítku (přední brzda) nebo brzdovým pedálem (zadní brzda). Přenos síly mezi pákou (pedálem) a destičkami je dnes řešen převážně prostřednictvím hydraulického vedení. Mechanický převod síly (lankem) používaný v počátcích vývoje kotoučových brzd, je dnes používán pouze u malých motocyklů nebo jízdních kol. Hydraulický převod síly je výhodný především díky využití hydraulického převodu.

Stlačením brzdové páky se zatlačí píst do hlavního brzdového válce a brzdová kapalina přenesení tlak do brzdového třmenu. Nestlačitelná kapalina vytlačuje pohyblivé pístky z brzdového třmenu a ty tlačí brzdové destičky na kotouč. Po uvolnění brzdové páky se díky podtlaku vysaje brzdová kapalina z brzdových třmenů zpět do hlavního válce. Tím se oddálí destičky od kotouče. Oddálení destiček napomáhají těsnící kroužky, které se při vysouvání pístků ze třmenů pootáčí (deformují) a při uvolnění brzdové páky se pootáčí zpět.

Brzdový kotouč je součástí rotačního tvaru o vnějším průměru až 320 mm a tloušťce 4 až 6 mm. Kotouče mají díry pro upevnění na náboj kola, ale mají i otvory v jejich činné ploše. Ty slouží nejen k lepšímu odvodu vody a nečistot při provozu, ale především k lepšímu chlazení. Stupeň přesnosti rozteče pro díry, sloužící k upevnění na náboj kola, se volí v rozmezí IT 8 až 9. Materiál používaný k výrobě kotoučů je především uhlíková ocel. Ale přesné označení použitého materiálu je výrobním tajemstvím každé firmy zabývající se jejich výrobou. Stejně jako jejich následné tepelné zpracování. Z důvodu zajištění minimální axiální házivosti, která se volí cca 0,1 mm, je finální úpravou broušení kotoučů. To se provádí na hrotových bruskách nebo na rovinných svislých bruskách s použitím hrncového brousícího kotouče.



Obr.2 Schéma kotoučové brzdy s plovoucím třmenem [14]



Obr. 3 Příklad vyráběného kotouče [9]

Mnoho dnešních moderních motocyklů bývá vybaveno integrovanými brzdovými systémy. Tyto systémy propojují okruhy předních a zadních brzd. To znamená, že při stisku páky přední brzdy je v činnosti i zadní brzda. Rovněž i při sešlápnutí pedálu zadní brzdy je ovládána brzda přední. Dělení brzdného účinku je řešeno elektronicky. Integrované systémy nabývají na významu především ve spojení se systémem ABS (protiblokovací systém). Protiblokovací systém reguluje brzdný účinek a zabráňuje zablokování a prokluzu kola. Pro zaručení dostatečné rychlosti reakce jsou systémy řízeny elektronicky. Skládají se ze snímačů otáčení kol, z hydraulické jednotky s čerpadlem a akumulátorem tlaku a řídicí jednotky. Ta vyhodnocuje údaje ze snímačů kol a jakmile je kolo zablokováno, sníží tlak kapaliny. Po pominutí kritické situace tlak v okruhu ihned zvýší. Integrované systémy i protiblokovací systémy napomáhají jezdcům zachovat stabilitu motocyklu a zabráňují ztrátě adheze při změnách povrchu vozovky. Zachování stability motocyklu umožňuje jezdcům vyhnout se překážce nebo zabránit případnému pádu.

Metod pro výrobu motocyklových brzdových kotoučů je mnoho. Výběr nejvhodnější metody výroby závisí na několika požadavcích. Cílem je dosažení požadovaných rozměrových přesností a jakostí povrchu vyráběné součásti, krátkých strojních časů, nízkých nákladů na výrobu jednoho kusu, vysokého využití materiálu, možnosti automatizace a jednoduchého seřizování a nenáročné údržby výrobních strojů. Strojní čas udává potřebný čas pro výrobu jednoho kusu. Výrazně ovlivňuje výsledné náklady, je tedy usilováno o jeho minimalizaci. Se zvyšováním strojních časů se také zvyšují nároky na údržbu a seřízení strojů. Při výrobě je snaha o vysoké využití materiálu. Vzniklý odpad je nežádoucí a nevyužitý materiál zvyšuje náklady. Pro hromadnou výrobu je vhodný automatizovaný výrobní proces. Odpadá potřeba stálé obsluhy strojů a eliminuje se tím vliv nežádoucího lidského faktoru.

S ohledem na tyto požadavky byly vybrány metody stříhání a nekonvenčního obrábění. Jedné z nejpoužívanějších metod pro výrobu strojních součástí, třískovému obrábění, se tato práce věnovat nebude. Pro hromadnou výrobu se soustružení v kombinaci s vrtáním, ani frézování, nehodí. Z hlediska rozměrových přesností i jakostí obráběných ploch by třískové obrábění bylo vyhovující, ale jako výchozí polotovary by musela být zvolena tyčovina a docházelo by ke vzniku velkého množství odpadu. Ve srovnání s uvažovanými metodami hovoří v neprospěch třískového obrábění i vysoké strojní časy a s tím související vysoké náklady na výrobu jednoho kusu. Z těchto důvodů lze třískové obrábění pro výrobu kotoučů použít pouze v případě kusové výroby.

2 NEKONVENČNÍ METODY DĚLENÍ MATERIÁLU

U nekonvenčních metod dělení materiálu nedochází k tvorbě třísek, které jsou typické pro obrábění reznými nástroji. Úběr materiálu je založen na fyzikálních nebo chemických principech. Na obrábění materiál se tedy většinou působí bez použití síly.

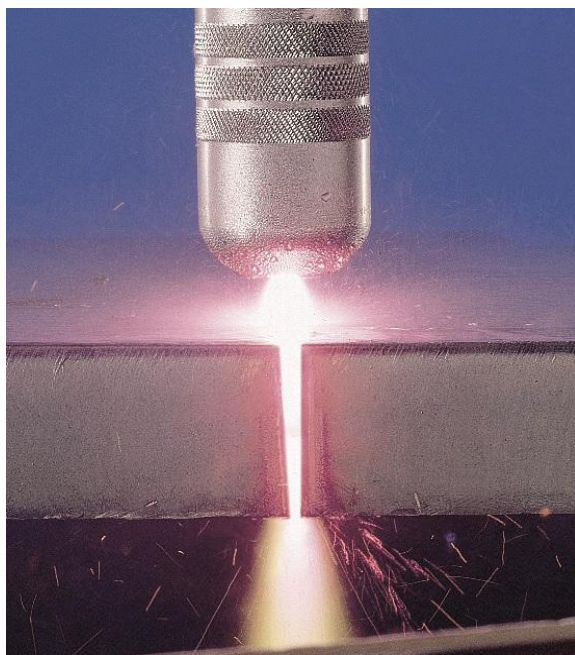
Jako vhodné nekonvenční metody byly pro výrobu motocyklových brzdových kotoučů zvoleny technologie řezání plazmou, laserem a vodním paprskem.

2.1 Řezání plazmou [20],[23],[25],[28],[37],

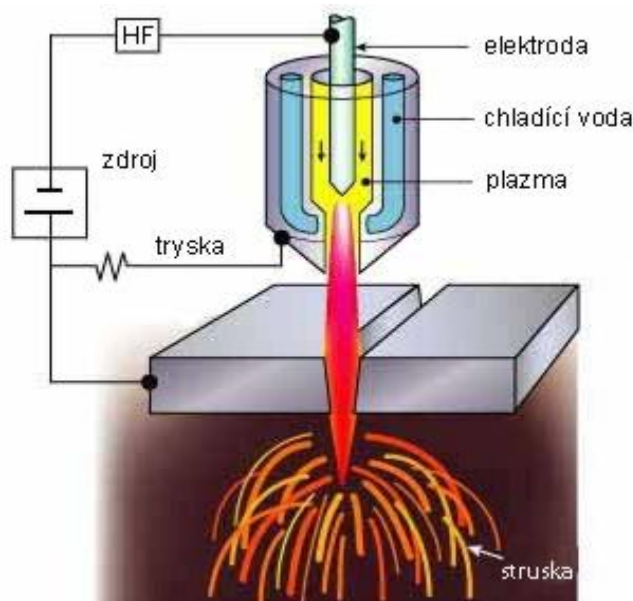
Princip technologie řezání plazmou (obr. 4) spočívá v tavení materiálu za vysokých teplot.

Ty vznikají při průchodu plazmového plynu elektrickým obloukem. Elektrický oblouk vnese do plynu energii a tím dochází k uvolnění elektronů z valenčních orbitalů atomů. Tyto uvolněné elektrony mohou vést elektrický proud. Elektrický oblouk je tvořen mezi netavící se wolframovou elektrodou a řezaným materiálem (nebo tryskou plazmového hořáku). Dochází k ionizaci plynu a jeho ohřevu. Tento stav se nazývá plazma. K samotnému řezání dochází za působení vysoké teploty plazmy (až 30 000 °C) a kinetické energie plazmového paprsku.

K usměrnění proudu a přeměně elektrické energie na tepelnou dochází v plazmovém hořáku. V něm se také stabilizuje elektrický oblouk. Stabilizace oblouku se provádí plynem nebo vodou. Plazmový hořák se stabilizací oblouku plynem lze rozdělit na dva typy. U typu s transferovým



Obr.5 Řezání plazmou [23]



Obr. 4 Schéma řezání plazmou [25]

obloukem hoří oblouk mezi netavící se wolframovou elektrodou (katoda) a obráběným materiálem (anoda). Tento hořák se využívá při řezání elektricky vodivých materiálů (ocel a neželezné kovy). Druhým typem je hořák s netransferovaným obloukem. Při použití tohoto hořáku hoří oblouk mezi netavící se wolframovou elektrodou a tryskou, která je součástí hořáku. Díky tomu lze řezat i materiály elektricky nevodivé (např. keramika) a lze tímto způsobem i nanášet povlaky. V hořáku, u kterého se ke stabilizaci elektrického oblouku používá voda, jsou kanálky pro přívod vody do tělesa hořáku. Těmito hořáky lze řezat oceli, neželezné kovy i nanášet povlaky. Při použití hořáku se stabilizací elektrického proudu vodou lze řezat pod vodou, to přináší výhody jako snížení hluchosti, prašnosti a obsluha stroje je vystavena menším účinkům UV záření.

Při řezání plazmou (obr. 5) se k určitým aplikacím používají rozdílné plyny. Jsou to plyny plazmové, fokusační a asistentní. Plazmový plyn slouží přímo k řezání obráběného materiálu. Je přiváděn do plazmového hořáku, kde je ionizován a dochází ke zvýšení jeho teploty, která je potřebná pro tavení řezaného materiálu. Plazmové plyny jsou např. argon, vodík, dusík, kyslík nebo vzduch. Plazmový plyn, který vychází z trysky hořáku, je potřeba zaostřit, k tomu se používají fokusační plyny. Jako fokusační plyn se používá argon, dusík, směs argonu a vodíku nebo směs argonu a dusíku. K ochraně řezaného materiálu se používají plyny asistentní. Tyto plyny chrání místo řezu před účinky atmosféry. Pro tento účel je používán argon nebo dusík. Plazmový a asistentní plyn se volí dle řezaného materiálu. Jako plazmový plyn se pro řezání konstrukčních ocelí používá O_2 nebo vzduch, pro řezání vysoce legovaných ocelí směsi $Ar + H_2$, $Ar + H_2 + N_2$, $Ar + N_2$, vzduch nebo N_2 , pro neželezné kovy $Ar + H_2$ nebo vzduch, pro kompozitní materiály $Ar + H_2$, $Ar + H_2 + N_2$, vzduch nebo O_2 .

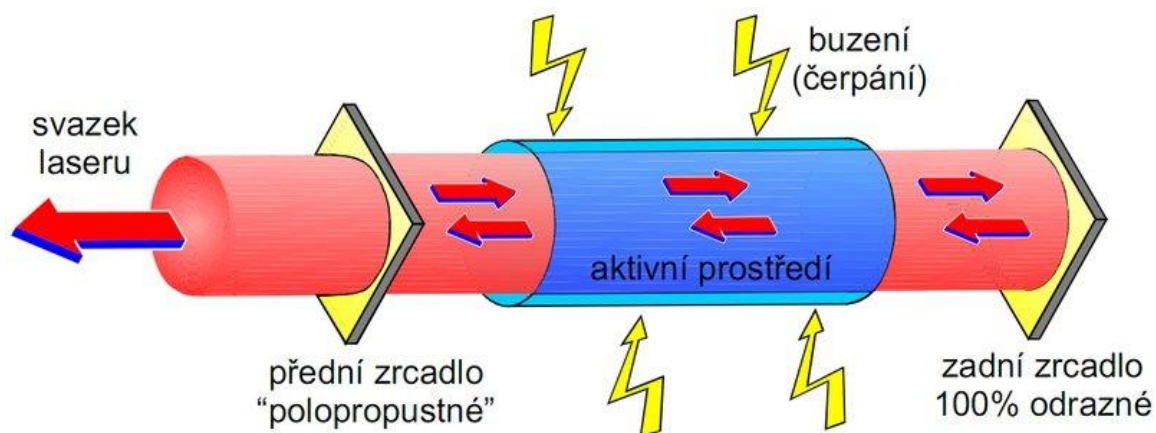
Řezný proces je založen na působení vysokých teplot a dynamickém účinku proudu plazmy na řezaný materiál. Elektrický oblouk hořící mezi plazmovým hořákem a obráběným polotovarem je zkoncentrován fokusačním plynem nebo vodou. Zkoncentrováním dochází ke zvýšení účinku plazmy. Materiál je účinkem paprsku plazmy taven a zároveň dochází k vyfukování roztaveného materiálu z místa řezu. V případě použití kyslíku, jako plazmového plynu, je materiál zároveň spalován.

Výhodou při použití plazmy k řezání materiálu je možnost řezání i více hořáky zároveň, je to velmi výkonná metoda při řezání materiálů do tloušťky 30 mm, lze používat vysoké řezné rychlosti a automatizace procesu řezání je jednoduchá. Mezi nevýhody patří omezená tloušťka řezaného materiálu, která je 160 až 180 mm při suchém řezání a při řezání pod vodou 120 mm. Další nevýhodou je i širší řezná spára a tepelné ovlivnění řezaného materiálu, které může způsobit deformace řezané součásti. Tepelné ovlivnění lze omezit řezáním pod vodou. Přesnost řezání plazmou odpovídá hrubovacím operacím.

Pro hromadnou výrobu motocyklových brzdových kotoučů metoda vhodná není. Zejména díky nižší přesnosti i nákladům na výrobu jednoho kusu.

2.2 Řezání laserem [15],[16],[17],[18],[19],[24],[27],[38]

Lasery pracují na principu vynuceného záření (indukované emise). Vynucené záření je vyvoláno nárazem fotonu do elektronu prvku aktivního prostředí. Fotony jsou dodávány buzením laseru. Elektron pohltí energii fotonu a donutí elektron, obíhající okolo prvku, vystoupat na vyšší energetickou hladinu. Při nárazu dalšího fotonu do elektronu dojde k přesunu elektronu zpět na základní energetickou hladinu (vlivem rovnováhy sil) a elektron



Obr. 6 Schéma laserové hlavičky [38]

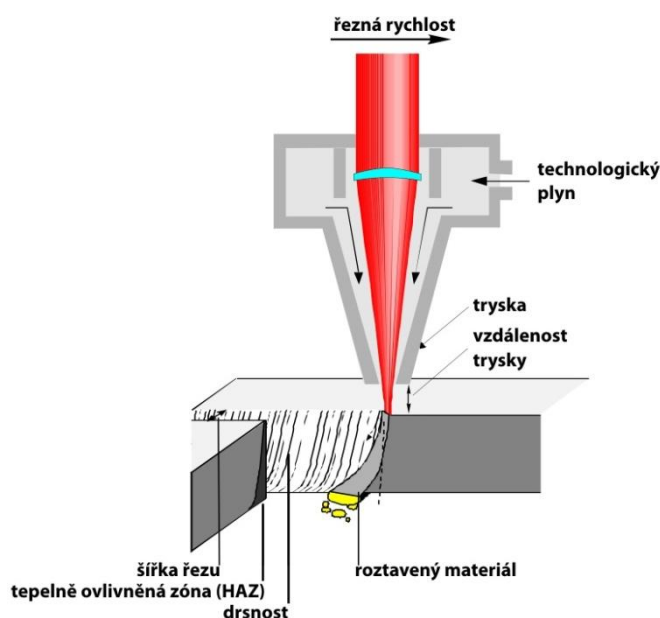
vyzáří první foton. Oba fotony se pohybují ve směru pohybu druhého fotonu. Dva fotony se stejnou vlnovou délkou, které letí stejným směrem, se spojí. Záření, které vznikne, má jednu, přesně definovanou vlnu délku (je monochromatické), fotony se pohybují jedním směrem (je koherentní) a dojde k zesílení světla. K těmto dějům dochází v optickém rezonátoru, který je umístěn v laserové hlavici (obr. 6). Ten je tvořen dvěma zrcadly (jedno z nich je polopropustné) a aktivním prostředím. Paprsek vystupující z optického rezonátoru je poté zaostřen čočkou.

Lasery lze rozdělit podle použitého aktivního prostředí. Nejpoužívanější jsou lasery plynové, pevnolátkové a vláknové. Prvním typem jsou lasery plynové. U nich tvoří aktivní prostředí plyn, nejčastěji CO_2 nebo směs helia a neonu. Budí se elektricky, opticky nebo radiofrekvenčními vlnami. CO_2 lasery jsou v průmyslu jedny z nejpopulárnějších typů pro řezání materiálů a lze je použít pro kontinuální chod.

Dalším typem jsou pevnolátkové lasery. Aktivní prostředí je tvořeno pevnou látkou, nejčastěji monokrystalem syntetického rubínu. Buzení se provádí opticky za pomoci výbojek nebo laserových diod. V průmyslu jsou tyto lasery používány především pro řezání, značení a svařování. Při velkých výkonech musí být laser chlazen, aby nedošlo k poškození krystalu. Typickým představitelem je Nd:YAG laser. Aktivní prostředí je tvořeno monokrystalem yttriumaluminiového granátu, který je dopován atomy neodymu.

Aktivní prostředí vláknových laserů je tvořeno optickým vláknem, které je dopováno atomy erbia nebo ytterbia. Laser je buzen laserovými diodami. Záření těchto diod je do optického vlákna přivedeno optickým vláknem. Laser tedy neobsahuje žádná zrcadla a další součásti s nimi spojené. Nejsou tedy náchylné na mechanické poškození, teplotu ani přesné umístění. Díky tomu dochází k velkému rozmachu této technologie. V porovnání s ostatními druhy laserů má vláknový laser nejnižší náklady na provoz a kvalita paprsku laseru je nejvyšší.

Při řezání materiálů laserem (obr. 7) existuje několik typů vlastního řezného procesu. Ty lze rozdělit na tavné, oxidační a sublimační řezání. V případě použití tavného typu řezání,



Obr. 7 Schéma řezání laserem [17]

dochází k lokálnímu natavení řezaného materiálu a tavenina, která vznikne, se odděluje od základního materiálu proudem plynu přiváděným do místa řezu. Plyn je inertní a o vysoké čistotě, na řezném procesu se nepodílí. Řezná rychlost je v porovnání s ostatními metodami nižší. Při použití výkonnějších laserů stoupá řezná rychlost lineárně, s tloušťkou řezaného materiálu a s jeho teplotou řezná rychlost klesá přibližně lineárně. Tímto způsobem lze dosáhnout neoxidovaných řezů kovových materiálů (nerezových ocelí, hliníku, mosazi, mědi a pozinkovaných plechů). Pro dosažení kovových lesklých řezných ploch, bez potřeby dalších úprav, je potřeba přivádět do místa řezu dusík. Ten musí být o vysoké čistotě a o tlaku 1 až 2 MPa na trysce.

U oxidačního řezání není použit inertní plyn, ale právě naopak plyn řezný. Na roztavený povrch je přiváděn kyslík, který zvyšuje teplotu řezaného materiálu. Díky tomu lze zvýšit řeznou rychlost. Výsledný řez má ale horší kvalitu, vyšší drsnost a tepelně ovlivněné pásmo je

větší. Proto není pro ostré geometrické tvary a malé otvory tento způsob řezání vhodný. Tyto nevýhody se dají do určité míry omezit pulzním režimem laseru. V tomto režimu laseru se materiál mezi jednotlivými pulzy částečně ochladí. Pro získání kvalitní řezné plochy je důležité správné nastavení výkonu laseru dle tloušťky řezaného materiálu.

Sublimační způsob řezání je založen na principu odpařování materiálu. Použití této metody je podmíněno vysokou hustotou energie laserového paprsku z důvodu minimalizace tavné zóny. Důležité je kontrolovat tloušťku řezaného materiálu, ta nesmí být větší než průměr laserového paprsku. Jinak by páry odpařovaného materiálu znovu zkondenzovaly a došlo by ke svaření řezu. Toto omezení ale neplatí pro materiály, u kterých k tavení nedochází (např. keramika, dřevo). Velmi důležité je nastavení optiky laseru vzhledem k tloušťce řezaného materiálu. V dnešní době není sublimační proces řezání příliš používán.

Řezání laserem (obr. 8) se provádí na CNC strojích. Výhody řezání laserem jsou vysoká řezná rychlost a přesnost řezaných součástí, pravouhlá řezná hrana, nízké vnesené teplo a z toho vyplývající téměř nulová deformace součástí, malá šířka řezné spáry (0,2 až 0,4 mm), velmi snadná automatizace, možnost řezání malých otvorů a ostrých tvarů, drsnost řezaných ploch se pohybuje v rozmezí $Ra = 3,6$ až $12 \mu m$ a stejně jako většina ostatních parametrů závisí na typu použitého laseru a na druhu řezaného materiálu. Mezi nevýhody obrábění paprskem laseru patří vysoké náklady při zavádění do výroby, vysoká spotřeba plynů a s tím spojené vysoké provozní náklady, omezená tloušťka řezaného materiálu (u konstrukční oceli do 20 mm, u vysoce legované oceli do 15 mm, u slitin hliníku do 10 mm), horší stabilita řezného procesu při řezání materiálů s lesknoucím se povrchem, nižší účinnost laseru (u CO_2 max. 10%). Metoda obrábění paprskem laseru není pro hromadnou výrobu motocyklových brzdových kotoučů vhodná. Především kvůli vyšším nákladům na výrobu jednoho kusu. Z hlediska přesnosti a kvality řezných ploch je ovšem vyhovující. Díky snadné změně tvaru řezané součásti pouze změnou řídicího programu CNC stroje lze tuto metodu použít pro kusovou a malosériovou výrobu brzdových kotoučů.



Obr. 8 Řezání laserem [24]

2.3 Řezání vodním paprskem [26],[29],[30],[34],[35]

Princip technologie obrábění vodním paprskem spočívá v působení vodního paprsku s vysokou rychlostí na řezaný materiál. Rychlost vodního paprsku je až čtyřnásobně vyšší než rychlost zvuku. Toho se dosahuje tím, že je voda pod velmi vysokým tlakem (až 6000 barů) přivedena do řezací hlavičky a v její trysce se změnila na vodní paprsek. Do řezací hlavičky je voda vedena vysokotlakým potrubím z vysokotlakých čerpadel s příkonem 11 až 150 kW s průtokem vody 1,2 až $5,2 \text{ l} \cdot \text{min}^{-1}$.

Čistá voda se používá především pro měkké materiály (např. plasty, gumu, dřevo, tkaniny a další). Paprsek má velmi malý průměr asi 0,1 až 0,24 mm. A lze použít vysoké řezné rychlosti až $20 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$.

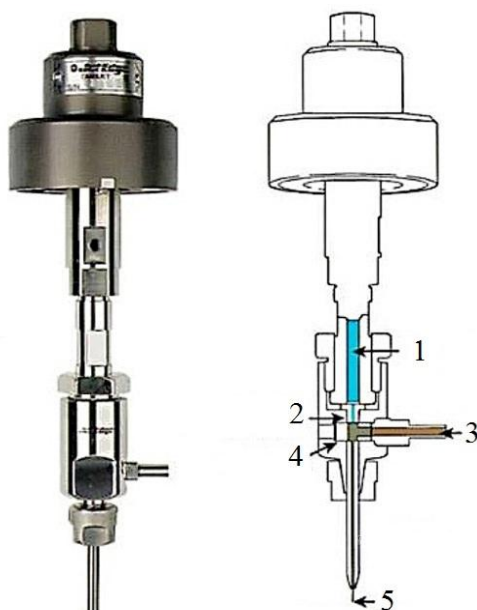
Druhou možností je řezání vodním paprskem s abrazivem. Vodní paprsek slouží k urychlování abrazivních částic, které se přidávají do proudu vody v řezací hlavičce (obr.9). Abrazivní částice o vysoké rychlosti rozrušují řezaný materiál. Tento způsob je vhodný pro řezání tvrdých materiálů (např. kovy, kámen, keramika, kompozity, sklo a další).

Průměr paprsku se pohybuje v rozmezí 0,3 až 1,35 mm. Jako abrazivní částice se používají přírodní granát a olivín. Tloušťky řezaných materiálů jsou až 250 mm.

Řezání vodním paprskem se provádí na CNC strojích. Lze použít i více než jednu řezací hlavici. Kvalita a přesnost řezu může být ovlivněna samotným CNC stolem, ale i dalšími faktory. Například přesným dávkováním abrazivních částic. To lze zajistit

dálkovou tlakovou dopravou abraziva. Ze zásobníku je abrazivo dopravováno pomocí stlačeného vzduchu potrubím do malého zásobníku u řezací hlavy. Tím je zajištěn plynulý přívod abraziva do směšovací komory a konstantní jakost řezu. Velmi kvalitního paprsku lze dosáhnout i použitím diamantové trysky v řezací hlavici. Jejím použitím je dosahováno lepší soudržnosti paprsku i větší životnosti trysky, čímž je zvyšována produktivita i kvalita řezu a jsou snižovány provozní náklady.

Výhodou řezání vodním paprskem (obr. 10) je možnost řezat téměř všechny materiály (kovy, nekovy, kompozity, plasty, gumu, dřevo, papír, tkaniny, sklo, kámen, beton a další), dobrá přesnost u menších tloušťek a jakost řezné hrany (u větších tloušťek dochází ve spodní části řezné hrany k deformaci paprsku a ke snížení jakosti řezné hrany) a snadná automatizace řezného procesu. Voda má při řezání maximální teplotu přibližně 50°C a nedochází tedy k tepelnému ovlivnění okolí řezu ani k deformacím řezaného materiálu vlivem vneseného tepla, lze volit malé řezné spáry, kvalitu řezu lze nastavit od drsnosti $Ra = 3,2 \mu m$ až po drsnost určenou pouze pro dělení materiálu, v průběhu řezného procesu nevznikají žádné škodlivé plyny ani jiné neekologické látky. Mezi nevýhody lze zařadit kontakt řezaného materiálu s vodou a nutnost vyrobené součásti ihned ošetřit proti korozi, nízké řezné rychlosti při řezání odolných materiálů a zejména vysoké náklady na zavedení technologie do výroby a vysoké provozní náklady. Metoda řezání vodním paprskem není vhodná pro hromadnou výrobu motocyklových brzdových kotoučů. Především kvůli vysokým nákladům na výrobu jednoho kusu. Ale díky možnosti jednoduché změny tvaru řezané součásti ji lze použít pro kusovou a malosériovou výrobu.



- 1 - voda o vysokém tlaku
- 2 - tryska
- 3 - přívod abraziva
- 4 - směšovací komora
- 5 - výstupní paprsek vody s abrazivem

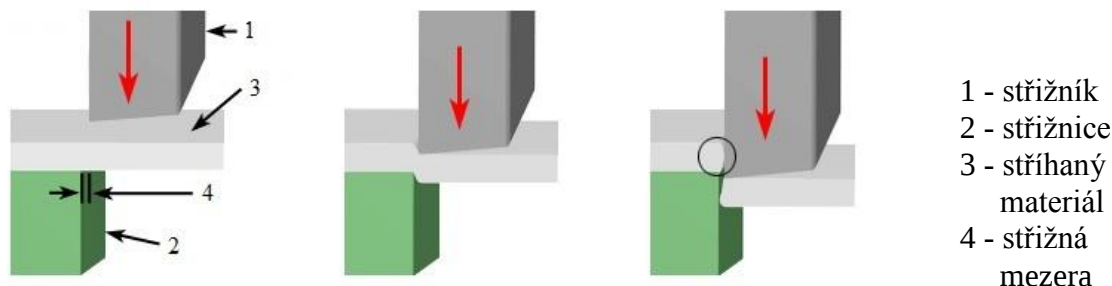
Obr. 9 Řezací hlavice pro řezání vodou s abrazivními částicemi [30]



Obr. 10 Řezání vodním paprskem [35]

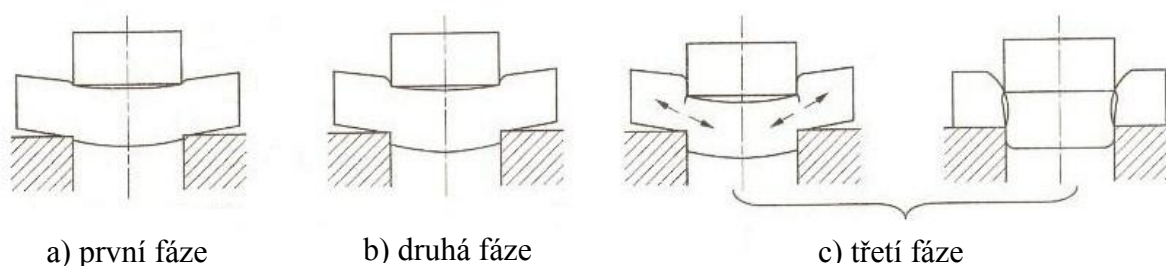
3 STŘÍHÁNÍ [1],[22],[31]

Stříhání materiálů je technologie spadající mezi plošné tváření. Princip stříhání (obr. 11) spočívá v působení vhodnými nástroji na materiál. Působením nástrojů proti sobě po uzavřeném nebo neuzavřeném obrysu dochází k oddělování části materiálu. Na přesnost a kvalitu střížných ploch má vliv několik faktorů. Patří mezi ně velikost střížné mezery, kvalita střížného nástroje, stříhaný materiál a další. Podle požadované jakosti střížné plochy se volí vhodný způsob stříhání a konstrukce střížného nástroje. Tím lze ovlivnit stříhací proces a zamezit tak vzniku nekvalitní střížné plochy a předejít deformacím výstřižků.



Obr. 11 Princip stříhání [31]

Stříhání se dělí na několik druhů. Je to stříhání na nůžkách, stříhání kruhovými noži a stříhání ve stříhadlech. Stříhání na nůžkách a stříhání kruhovými noži se pro výrobu brzdových kotoučů použít nedá, vhodné je pouze stříhání ve stříhadlech.

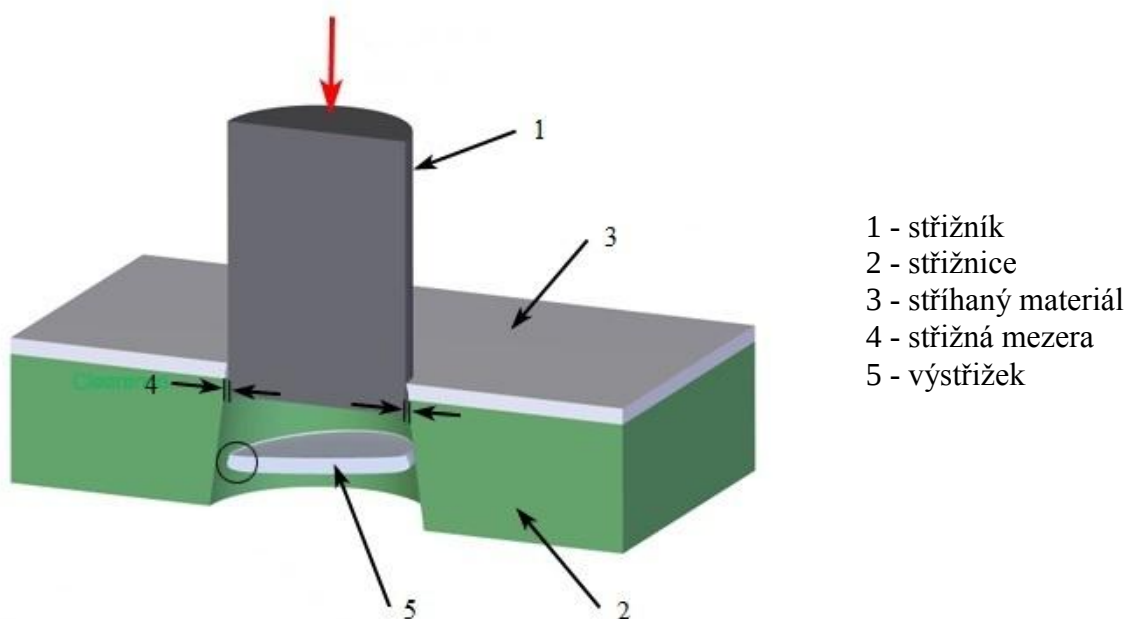


Obr. 12 Fáze při stříhání [1]

Střížný proces lze rozdělit do tří fází (obr. 12). V první fázi (obr. 12a) je břit nástroje tlačěn do stříhaného materiálu, tím se v něm vyvolá napětí, které je menší než mez pružnosti a dochází k elastické deformaci. Střížník vnikne do materiálu do hloubky 5 až 8 % jeho tloušťky. V rovinách kolmých na střížné plochy vzniknou silové dvojice. Ty ohýbají materiál mezi střížníkem a střížnicí a na stříhaném materiálu vzniká zaoblení. Střížník je vtlačován do materiálu a zároveň vytlačován do střížnice. V průběhu druhé fáze se napětí v materiálu zvětšuje nad mez kluzu a dojde k trvalé deformaci (obr. 12b). Střížník vniká do hloubky 10 až 25 % jeho tloušťky, hloubka závisí na mechanických vlastnostech stříhaného materiálu. Na konci druhé fáze je dosahováno napětí pevnosti ve stříhu. Napětí nad mez pevnosti ve stříhu je dosahováno ve třetí fázi. Střížník vniká do hloubky 10 až 60 % tloušťky stříhaného materiálu. U hran střížníku a střížnice dojde ke vzniku makroskopických a poté i ke vzniku mikroskopických trhlin (obr. 12c). Následuje růst trhlin a oddělení materiálu. Vlastnosti stříhaného materiálu ovlivňují rychlost šíření trhlin, jejich průběh je závislý na velikosti střížné vůle. U tvrdých a křehkých materiálů dochází k oddělení téměř okamžitě, u měkkých a houževnatých materiálů relativně pomalu. Když má střížná vůle správnou velikost, tak se trhliny od střížných hran střížníku i střížnice setkají a na střížné ploše se nevyskytují ostřiny. Při nesprávné velikosti střížné vůle se vzniklé trhliny nesetkají a povrch střížné plochy je nerovný.

3.1 Běžné stříhání [7],[22],[31]

Stříhání ve stříhadlech (obr. 13) se používá pro výrobu většiny součástí vyráběných z plechu. Lze nimi provádět děrování, vystřihování i nastřihování. Stříhání ve stříhadlech je velmi podobné stříhání nůžkami. Rozdíl je v tom, že při stříhání ve stříhadlech je střížná hrana většinou uzavřená. Jako polotovary se používají z tabulí nastříhané pásy plechu nebo svitky. Je důležité co nejlépe využít plochu polotovaru. Toho se dosahuje vhodným uspořádáním tvarů, které se mají stříhat na plochu polotovaru. Podle požadovaného tvaru součástí, způsobu stříhání a technologických požadavků se sestaví nástřihový plán. Z důvodu snadnější automatizace je při hromadné výrobě výhodnější používat plech navinutý ve svitcích. Dosahované rozměrové přesnosti se pohybují v rozmezí IT 11 až 16 a drsnost střížných ploch je $R_a = 3,2$ až $6,3 \mu m$ v závislosti na stříhaném materiálu a jeho tloušťce. Při běžném stříhání dochází ke zkosení střížných ploch, ty mají drsný povrch a jejich hrany jsou zaoblené a s ostřinami.



Obr. 13 Stříhání ve stříhadle [31]

Běžné stříhání není pro hromadnou výrobu motocyklových brzdových kotoučů vhodné. Touto metodou nelze dosáhnout požadované rozměrové přesnosti a jakosti střížných ploch. Střížným procesem také dochází k nežádoucím deformacím výstřížků a nelze dosáhnout kolmosti střížných ploch.

3.2 Přesné stříhání [22]

Klasickým stříháním nelze u některých výstřížků dosáhnout požadované rozměrové přesnosti, kvalitní střížné hrany nebo kolmosti střížných ploch. K dosažení těchto požadavků je využíváno některé z metod přesného stříhání.

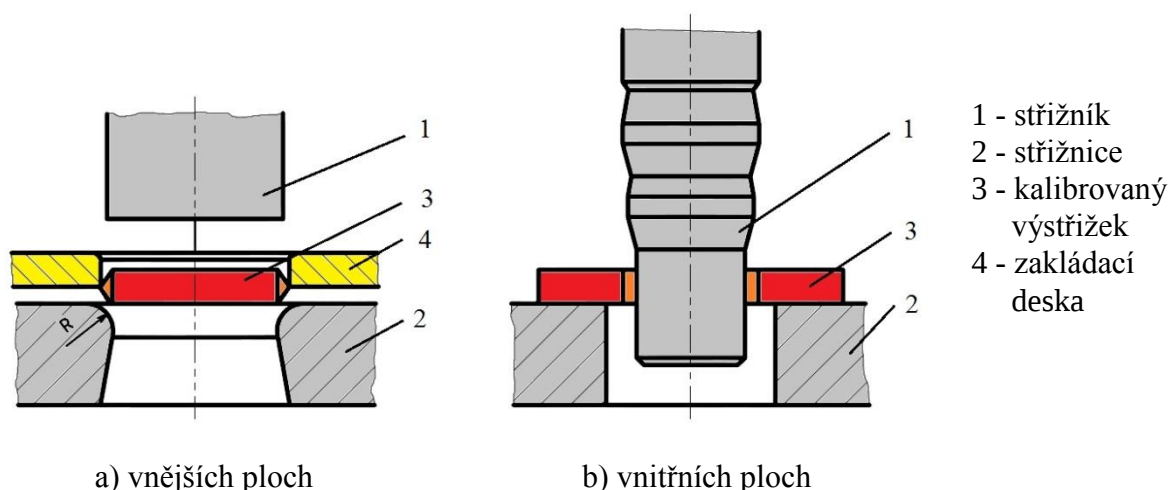
Metody přesného stříhání:

- kalibrování
- přistřihování
- stříhání se zkoseným přidržovačem
- stříhání se zaoblenou střížnou hranou
- stříhání s tlačnou hranou

3.2.1 Kalibrování [22]

Přesných rozměrů výstřižků lze dosáhnout kalibrováním (obr. 14). Kalibrovat lze vnější i vnitřní plochy. Při kalibrování vnějších ploch je přes střížnici se zaoblenými hranami výstřižek protlačován střížníkem. Poloměr zaoblení střížnice se volí s ohledem na tloušťku plechu, velikost poloměru je v rozmezí 0,5 až 1,5 mm. Přidávky stříhaného materiálu jsou v rozmezí 0,15 až 0,4 mm. Přidávky nemusí být v každém místě stříhané součásti stejné. U členitých výstřižků se v rozích a výstupcích volí až dvojnásobné, v zářezích až poloviční. Větší přídavky se volí pro materiály s větší tloušťkou a při větších poloměrech zaoblení střížnice. V případě použití technologie kalibrování je nutné brát v potaz odpružení materiálu, to bývá 0,02 až 0,06 % daného rozměru. Kalibrování vnitřních ploch otvorů se provádí kalibrovacím trnem. Ten je opatřen jednou nebo více kalibrovacími plochami o šířce 1 až 3 mm a jejich náběhy a výběhy jsou pod úhlem 5°. Součástí trnu je i zaváděcí a výstupní část. Pro dosažení kvalitních ploch výstřižků je nutné kalibrovat otvory, které jsou v dostatečné vzdálenosti od okrajů výstřižků. Kalibrování je méně přesné než přistříhování. Vliv na to má především odpružení materiálu. Okraje kalibrovaných otvorů jsou nepatrně rozšířeny a jejich plochy jsou zpevněny. Síla potřebná ke kalibrování je větší než u přistříhování.

Kalibrováním lze dosáhnout požadovaných rozměrových přesností i jakostí střížných ploch pro brzdové kotouče. Kalibrování je ale metoda dokončovací, pro hromadnou výrobu motocyklových brzdových kotoučů tedy vhodná není.

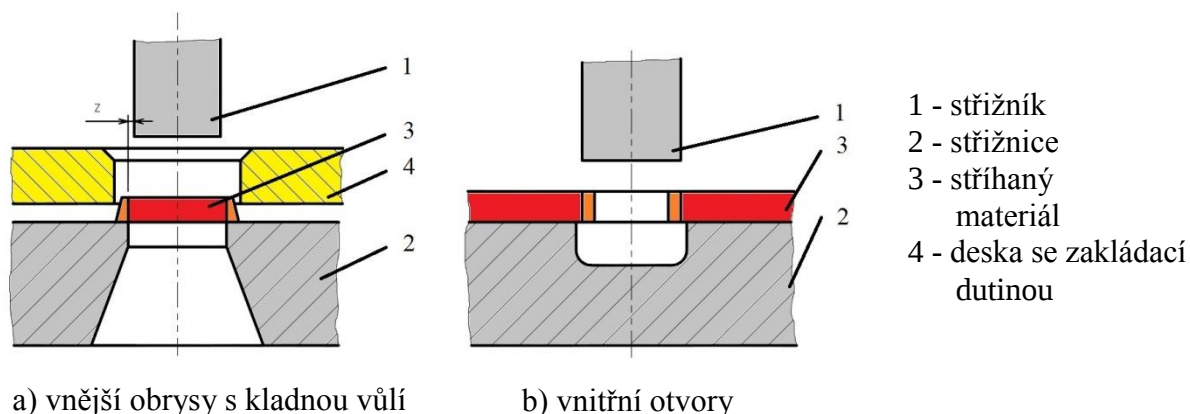


Obr. 14 Kalibrování [22]

3.2.2 Přistříhování [7],[21],[22]

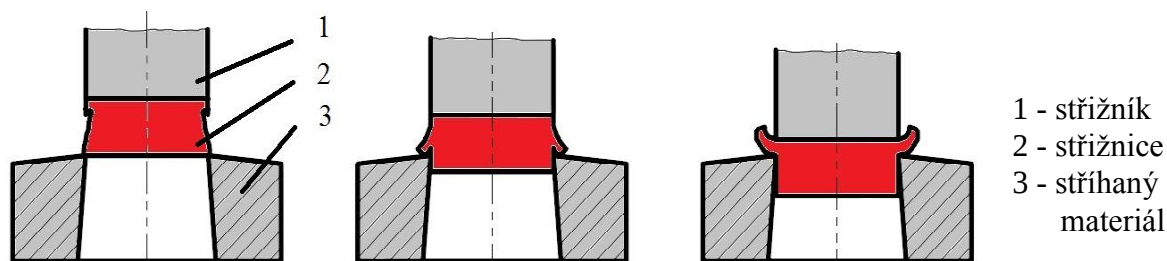
Princip přistříhování spočívá v oddělení malého množství materiálu ze střížné plochy. Cílem je dosažení vyšší kvality a přesnosti střížné plochy bez mikrotrhlin, zpevnění a vnitřních pnutí. Při tomto typu technologie dochází k oddělení třísky. Na střížné ploše se ponechá přídavek asi 0,1 až 0,5 mm, který se přistříháním odstraní. Čára stříhu může být otevřená nebo uzavřená. Směr přistříhování se doporučuje stejný, jako při předchozím stříhání. Jinak může docházet k vytrhávání materiálu. Přistříhováním je dosahováno drsnosti střížných ploch $R_a = 0,8$ až $1,6 \mu\text{m}$. Přistříhování lze rozdělit na přistříhování vnějších obrysů výstřižků s kladnou vůlí, přistříhování vnějších obrysů výstřižků se zápornou vůlí a přistříhování vnitřních otvorů.

Při přistříhování vnějších obrysů výstřižků s kladnou vůlí (obr. 15a) slouží ke středění výstřižků deska se základací dutinou. Pro odvod vznikajících třísek slouží prostor mezi základací deskou a střížnicí. Střížnice o rozměrech budoucího výstřižku je v horní části opatřena fazetkou o výšce asi 6 až 8 mm, poté je kuželovitě rozšířena.



Obr. 15 Přistřižování [22]

Otvory určené k přistřižování vnitřních otvorů (obr. 15b) lze děrovat nebo vyvrtat. Při použití osazeného střižníku lze děrování a přistřižování spojit do jedné operace.



Obr. 16 Přistřižování vnějších obrysů se zápornou vůlí [21]

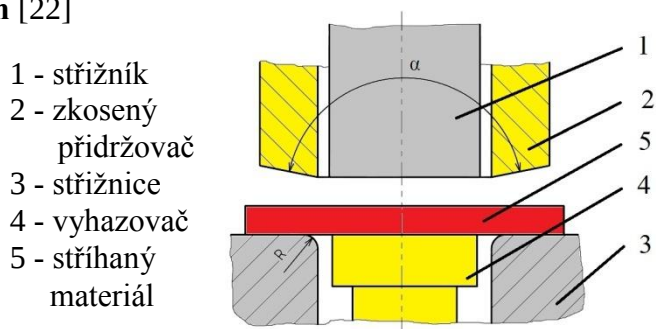
Pro technologii přistřižování vnějších obrysů výstřížků se zápornou vůlí (obr. 16) se používají střižníky větší o 0,1 až 0,5 mm než je rozměr střižnice. Přistřižení není na jeden zdvih lisu provedeno do konce, protože se střižník nesmí dotknout střižnice. Nejmenší přípustná vzdálenost mezi střižníkem a střižnicí je $a = 0,2$ až $0,4$ mm. K dokončení přistřižování dojde až při přistřižování dalšího výstřížku. Ten protlačí předchozí výstřížek do střižnice.

Přistřižování je využíváno pro zvýšení rozměrových přesností a jakostí střižných ploch výstřížků. Přistřižováním lze dosáhnout požadovaných rozměrových přesností i jakostí střižných ploch pro motocyklové brzdové kotouče. Je to metoda dokončovací, pro hromadnou výrobu motocyklových brzdových kotoučů tedy vhodná není.

3.2.3 Stříhání se zkoseným přidržovačem [22]

Použitím zkoseného přidržovače se vyvodí ve stříhaném materiálu dvouosý stav napjatosti. Vrcholový úhel přidržovače je $178^\circ 30'$ a poloměr střižné hrany $R \leq 0,01$ mm.

Stříháním se zkoseným přidržovačem (obr. 17) lze dosáhnout požadovaných rozměrových přesností i jakosti střižné plochy pro výrobu brzdových kotoučů. Metoda je používána především pro výrobu malých sérií výstřížků a pro hromadnou výrobu motocyklových brzdových kotoučů vhodná není.

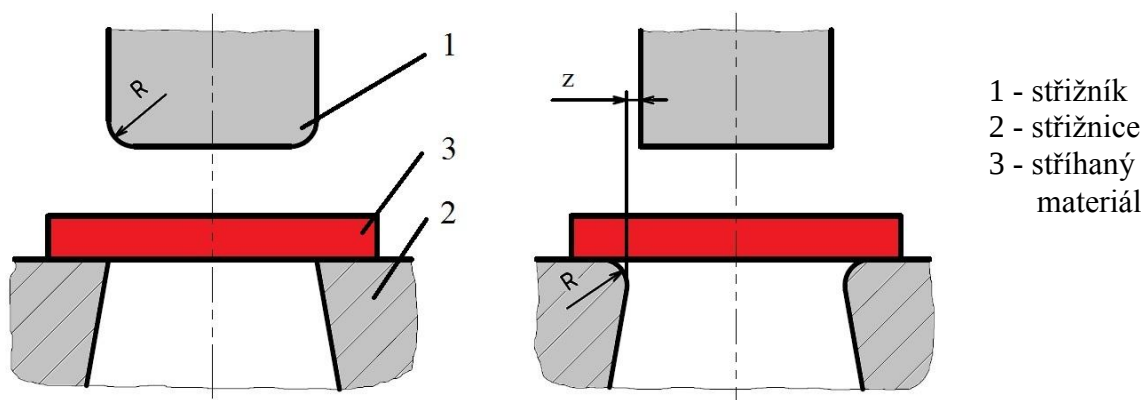


Obr. 17 Stříhání se zkoseným přidržovačem [22]

3.2.4 Stříhání se zaoblenou střížnou hranou [21],[22]

Principem stříhání se zaoblenou střížnou hranou (obr. 18) je ve stříhaném materiálu zabránit vzniku střížné trhliny. Při stříhu vzniká zaoblením střížnice nebo střížníku ve stříhaném materiálu dvouosý stav napjatosti. Materiál je částečně dopředně protlačován a dosáhne se tím hladkých a kolmých střížných ploch. Poloměry zaoblení střížných hran jsou asi 15 až 20 % tloušťky stříhaného materiálu. Střížná mezera se volí 0,01 až 0,02 mm. Střížná síla se je asi o 15 % větší než u běžného stříhání. Zaoblení střížníku se používá k dosažení hladké střížné plochy při děrování (vnitřní plochy), zaoblení střížnice při vystřihování (vnější plochy). Dosahovaná rozměrová přesnost je v rozmezí IT 9 až 11 a drsnost střížných ploch je $R_a = 0,4$ až $1,6 \mu\text{m}$.

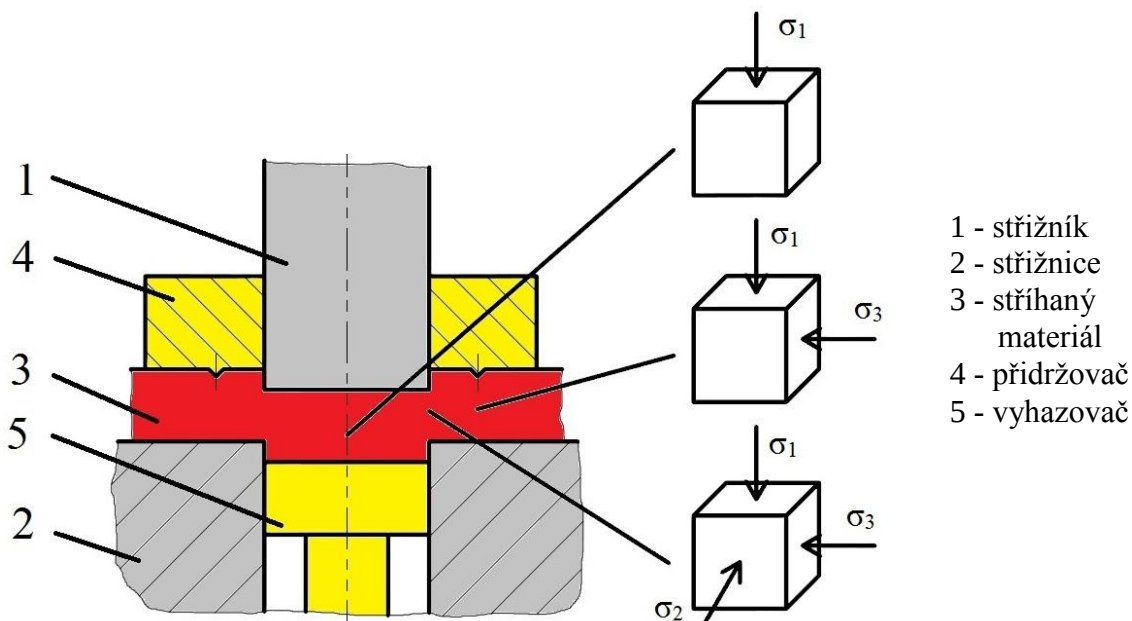
Stříháním se zaoblenou střížnou hranou lze získat výstřížky s požadovanými rozměrovými přesnostmi a jakostí střížných ploch. Metoda je ale vhodná především pro výrobu malých sérií výstřížků a proto není vhodná pro hromadnou výrobu motocyklových brzdových kotoučů.



Obr. 18 Stříhání se zaoblenou střížnou hranou [22]

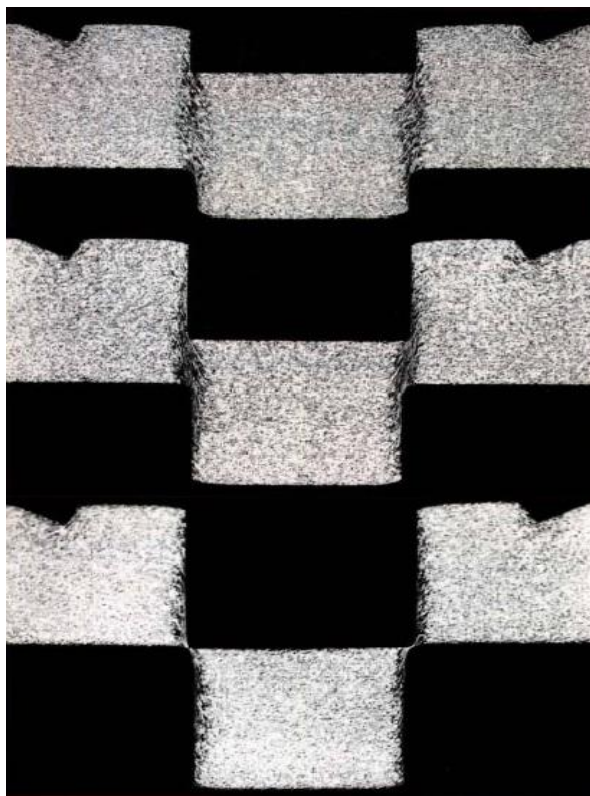
3.2.5 Přesné stříhání s tlačnou hranou [6],[7],[11],[13],[22],[32],[36]

Principem přesného stříhání (obr. 19) je vyvolání tříosé napjatosti v místě stříhu stříhaného materiálu. Tím se rozšíří pásmo plastického stříhu do celé tloušťky materiálu. Ve střížném nástroji je stříhaný materiál nejprve sevřen mezi střížnici a tlačnou hranou. Tlačná hrana je do



Obr. 19 Přesné stříhání s tlačnou hranou [22]

plechu vtačena ještě před vlastním stříháním a je umístěna mimo křivku stříhu. Nedochází tedy k prohýbání a radiální složka pružení, vznikající při pružné deformaci, je zachycována tlačnou hranou. Síly potřebné k přesnému stříhání se určují s ohledem na tvar součásti, druh a tloušťku stříhaného materiálu. Je nutné, aby se velikost jednotlivých sil dala nastavovat samostatně. Z tohoto důvodu se používají trojčinné lisys. V případě použití jiných lisů se musí zbývající síly vyvodit jinak, například hydraulicky nebo pneumaticky. Střížná hrana ovlivňuje kvalitu střížné plochy i životnost nástroje svým tvarem, polohou i rozměry. Do tloušťky stříhaného materiálu 4 mm se tlačná hrana používá na přidržovači. Při větších tloušťkách jsou tlačné hrany na přidržovači i na střížnici. Z důvodu umístění tlačné hrany vně křivky stříhu je většinou nutné použít širší pásy plechu i větší můstky. Tím se zvyšuje spotřeba materiálu. Střížná vůle se u přesného stříhání volí asi 0,5% tloušťky stříhaného plechu (tj. asi 10x menší než při klasickém stříhání). U tohoto typu stříhání se vyskytuje také několik omezení. Musí být zachován určitý poměr mezi rozměry součástí a tloušťkou plechu a nelze vystříhovat ostré rohy. Stříháním metodou přesného stříhání s tlačnou hranou (obr. 20) lze dosáhnout rozměrové přesnosti výstřižků ve stupni přesnosti IT 6 až 9. Stupeň přesnosti IT 6 platí pro plechy o tloušťce 0,5 až 1 mm, pro plechy s tloušťkou nad 6 mm platí stupeň přesnosti IT 9. Dosahovaná drsnost střížných ploch bývá v rozmezí $Ra = 0,4$ až $1,6 \mu m$. Rozdíl v kolmosti je u plechů o tloušťce 4 mm v rozmezí 0,01 až 0,02 mm. Střížné plochy jsou ve srovnání s běžným stříháním (obr. 21) velice kvalitní.



Obr. 20 Průběh stříhu [32]



Obr.21 Běžné (vlevo)
a přesné stříhání (vpravo) [36]

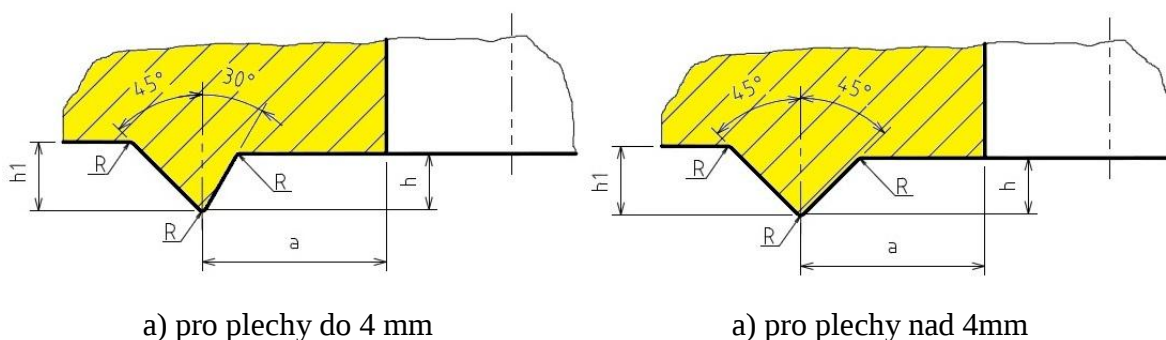
Tvar tlačné hrany, která svírá stříhaný materiál z důvodu vyvození třísle napjatosti ve stříhaném materiálu, musí splňovat určité podmínky. Pro zajištění ideálního působení tlačné hrany u nekruhových výstřižků by se musel měnit tvar i velikost tlačné hrany. Ve strojírenské praxi však není možné těmto požadavkům vyhovět. Lze ale provést úpravy vzdálenosti tlačné hrany od křivky stříhu, které zajistí rozměrovou přesnost a kvalitní střížnou plochu i u tvarově složitějších výstřižků. Je důležité věnovat se několika aspektům ovlivňujících rozměry a tvar tlačné hrany.

Vzdálenost tlačné hrany od křivky stříhu ovlivňuje její velikost. S menší tlačnou hranou v blízkosti křivky stříhu lze dosáhnout stejného výsledku jako při použití tlačné hrany o větších rozměrech umístěné dál od křivky stříhu. Tlačná hrana ale nesmí být umístěna příliš blízko u křivky stříhu, při zakulacení okraje výstřížku na začátku stříhání by mohlo dojít k odebrání materiálu pro střížnou hranu a její funkce by byla omezena. Velké vzdálenosti tlačné hrany od křivky stříhu ale zvyšují střížné síly a zvětšuje se spotřeba materiálu.

U členitých výstřížků je snazší přesně stříhat části zabíhající dovnitř stříhané součásti než části, které vyčnívají. Jsou-li na stříhaných součástech úzké štěrby s malým poměrem šířky a tloušťky materiálu, nesleduje tlačná hrana křivku stříhu, ale prochází kolem ústí štěrby. Vliv přemísťování materiálu je totiž vzájemně vyrušen.

Snadněji lze také stříhat části stříhaných součástí, které leží uvnitř výchozího pásu plechu než ty části, které leží na jeho okrajích. Řešením by bylo zvětšit okraje a můstky pro zvýšení jejich momentu odporu průřezu, to by však bylo ne hospodárné. Z těchto důvodů se někdy tlačnou hranou opatřuje i střížnice. Umístění důležitých střížných ploch je vhodné ve směru pásu výchozího materiálu nebo do jeho částí s větším odpadem.

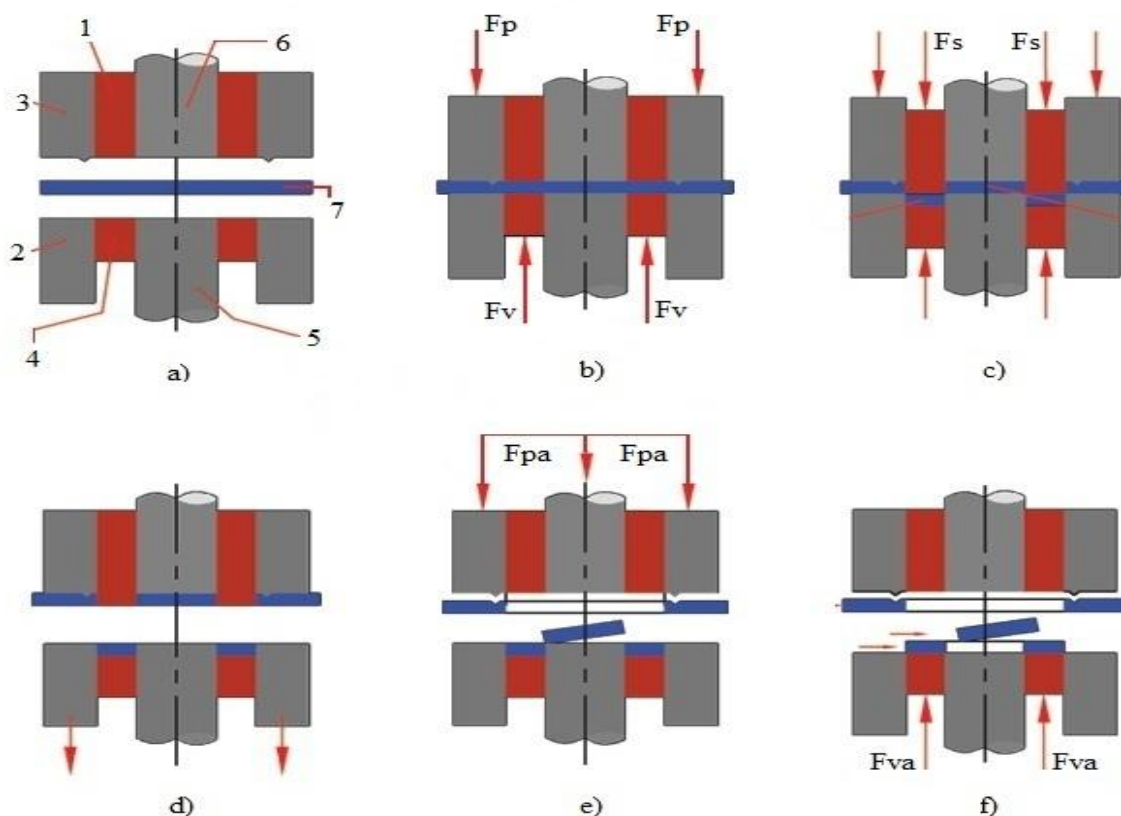
Pro stanovení rozměrů tlačné hrany jsou důležité vlastnosti stříhaného materiálu a jeho tloušťka. Zaoblení stříhu lze zmenšit použitím větší tlačné hrany. Opatření nástroje je ovlivňováno i rozměry tlačné hrany. Se zvětšující se tlačnou hranou klesá celkový počet výstřížků, které lze nástrojem vyrobit.



Obr.22 Tvar tlačné hrany pro různé tloušťky stříhaného materiálu [22]

Při výrobě součástí metodou přesného stříhání jsou používána sloučená stříhadla, vnitřní i vnější tvary jsou tedy stříhány současně. Tvoření trhlin v oblasti stříhu se zabráňuje působením stříhadla a lisu současně. Střížná mezera je u stříhadel téměř nulová. Součet všech sil nutných pro přesné stříhání s tlačnou hranou je přibližně 1,5 až 2,5 násobek síly střížné. Ta závisí především na druhu materiálu a tloušťce stříhaného plechu. Jakost střížných ploch je závislá na střížných hranách nástroje. Pro vnější tvary je to hrana střížnice, pro vnitřní tvary hrana střížníku.

Postup výroby brzdového kotouče metodou přesného stříhání s tlačnou hranou je naznačen na obr. 23. Ve výchozí poloze (obr. a) je do otevřeného nástroje vložen pás plechu (7). Než dojde k samotnému stříhání je stříhaný materiál sevřen (obr. b). Sevřen je mezi přidržovačem (3) a střížnicí (2) a mezi střížníkem (1) a vyhazovačem (4). Poté začíná stříh (obr. c), střížník (1) se pohybuje dolů a vyhazovač (4) mu klade odpor. Ke stříhu dochází na střížných hranách mezi střížnicí (2) a střížníkem (1) a mezi střížníkem (5) a střížnicí (1). Střížná, vyhazovací i přidržovací síla působí zároveň. Po ukončení stříhu se spodní část nástroje pohybuje dolů a nástroj je otevřen (obr. d). Dalším krokem je seřazení odpadu ze střížníku (1) přidržovačem (4) a vyhození odpadu vyhazovačem (6) (obr. e). Výstřížek brzdového kotouče je vyhozen vyhazovačem (4) a odpad i výstřížek je odstraněn (obr. f).



Obr. 23 Postup výroby brzdového kotouče [13]

Pro výpočet celkové střížné síly je nutné sečíst síly, které se přesného stříhání účastní. Je to střížná síla sloužící k oddělování materiálu, síla přidržovače potřebná k zatlačení tlačné hrany do stříhaného materiálu a k sevření materiálu mezi střížnicí a přidržovačem a síla vyhazovače potřebná k sevření materiálu mezi vyhazovačem a střížníkem.

Celková potřebná síla F_{celk} :

$$F_{\text{celk}} = F_s + F_p + F_v \text{ [N]} \quad (1)$$

F_{celk} – celková síla [N]

F_s – střížná síla [N]

F_p – přidržovací síla [N]

F_v – vyhazovací síla [N]

Metodou přesného stříhání s tlačnou hranou lze získat výstřižky, které odpovídají požadavkům na rozměrové přesnosti a jakosti povrchů pro hromadnou výrobu motocyklových brzdových kotoučů. Protože je to metoda plošného tváření, při kterých se v průběhu výrobního procesu nevyužívá působení tepla, nedochází k žádnému tepelnému ovlivnění výstřižků. Deformace, ke kterým dochází v případě běžného stříhání, jsou u této metody stříhání potlačeny díky použití tlačné hrany. Z důvodu jednodušší automatizace výrobního procesu jsou nejvhodnějším výchozím polotovarem svitky plechu.

Vyšší náklady na zavedení této technologie do výroby, zejména vysoká pořizovací cena trojčinných lisů a stříhacích nástrojů, jsou při hromadné výrobě kompenzovány minimálními provozními náklady v porovnání s nekonvenčními metodami obrábění. Z těchto důvodů je metoda přesného stříhání s tlačnou hranou vhodná k hromadné výrobě motocyklových brzdových kotoučů.

4 ZÁVĚRY

Motocyklové brzdové kotouče jsou součástí s velkým průměrem a malou tloušťkou s mnoha otvory. Kotouče jsou opatřeny otvory pro upevnění kotouče na náboj motocyklu a činná plocha kotoučů je opatřena otvory, které slouží ke zlepšení chlazení a odvodu vody a nečistot. Kotouče jsou vyráběny především z uhlíkové oceli. V práci bylo nastíněno variantní řešení výroby brzdových kotoučů. Z nekonvenčních metod byly zvoleny metody řezání plazmou, laserem a vodním paprskem. Z technologie plošného tváření byly zvoleny metody běžného a přesného stříhání.

Při řezání plazmou dochází k tepelnému ovlivnění řezaného materiálu, u kterého může docházet k deformacím. Přesnost řezných ploch odpovídá hrubovacím operacím, drsnost řezaných ploch je nevyhovující a náklady na výrobu jednoho kusu jsou vysoké. Hromadná výroba brzdových kotoučů řezáním plazmou není vhodná.

Řezáním laserem lze dosáhnout vyšších rozměrových přesností a lepších jakostí řezaných ploch než při řezání plazmou. Automatizace výrobního procesu je jednoduchá. Náklady na výrobu jednoho kusu jsou vysoké. To je způsobeno především vysokou spotřebou plynů potřebných k řeznému procesu. Díky jednoduché změně řezaného tvaru lze tuto metodu využít při kusové a malosériové výrobě. Metoda řezání laserem ale není vhodná pro hromadnou výrobu brzdových kotoučů.

Při použití metody řezání vodním paprskem lze dosáhnout požadovaných rozměrových přesností i jakostí povrchů. Nedochází k žádnému vnášení tepla do řezaného materiálu ani k žádným deformacím s tím spojených. Řezný proces lze snadno automatizovat. Řezaný materiál se ale po styku s vodou musí ihned ošetřit proti korozi. Pořizovací cena a provozní náklady jsou vysoké. Z toho vyplývají vysoké náklady na výrobu jednoho kusu. Změna řezaného tvaru je jednoduchá a proto lze tuto metodu využít v kusové a malosériové výrobě. Metoda řezání vodním paprskem pro hromadnou výrobu kotoučů ale vhodná není.

Běžným stříháním nelze dosáhnout požadovaných rozměrových přesností a povrchových jakostí. Dochází při něm i k deformacím výstřižků a střížné plochy nedosahují požadované kolmosti. Z těchto důvodů nelze použít běžné stříhání k hromadné výrobě brzdových kotoučů.

Nedostatky běžného stříhání lze odstranit použitím metod přesného stříhání. Kalibrováním lze dosáhnout rozměrových přesností i jakostí střížných ploch požadovaných pro brzdové kotouče. Kalibrování je ale metoda dokončovací a není tedy pro hromadnou výrobu motocyklových brzdových kotoučů vhodná.

Pro zvýšení rozměrových přesností a jakostí střížných ploch výstřižků je využíváno přistříhování. Lze jím dosáhnout požadovaných rozměrových přesností i jakostí střížných ploch pro motocyklové brzdové kotouče. Je to metoda dokončovací a pro hromadnou výrobu motocyklových brzdových kotoučů tedy vhodná není.

Při použití metody stříhání se zkoseným přidržovačem pro výrobu brzdových kotoučů lze dosáhnout požadovaných rozměrových přesností i jakostí střížných ploch. Metoda je používána především pro malé série výstřižků a proto není vhodná pro hromadnou výrobu motocyklových brzdových kotoučů.

Metodou stříhání se zaoblenými střížnými hranami lze získat výstřižky s požadovanými rozměrovými přesnostmi a jakostí střížných ploch. Metoda je vhodná především pro výrobu malých sérií výstřižku a není proto vhodná pro hromadnou výrobu motocyklových brzdových kotoučů.

Pro hromadnou výrobu motocyklových brzdových kotoučů je vhodná metoda přesného stříhání s tlačnou hranou. Získané výstřižky jsou rozměrově přesné, mají kvalitní střížné plochy a k deformacím u nich nedochází. Vyšší náklady na trojčinné lisy a střížné nástroje jsou při použití v hromadné výrobě vynahrazeny nízkými provozními náklady.

Seznam použitých zdrojů [5]

1. Blanking Deformation Process, injection mold design - Get Instant Quotations. *Injection Molding | Injection Moulding Factory - Get Instant Quotations* [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.vulcanmold.com/article/Blanking-Deformation-Process.html>
2. Brzdový kotouč zadní Grosskopf - MX Shop. *MX SHOP - náhradní díly a oblečení pro motocross a čtyřkolky* [online]. [cit. 2012-05-24]. Dostupné z: <http://www.mxlife.cz/brzdove-kotouce/795-brzdovy-kotouc-zadni-grosskopf.html>
3. Brzdy Brembo moto - brzdové destičky a brzdové kotouče pro motocykly. *Brzdy Brembo moto - brzdové destičky a brzdové kotouče pro motocykly* [online]. 2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.brzdy-brembo.cz/>
4. BUELL LIGHTNING LONG XB12Ss (2010) | BIKE MOTORCYCLE MODIFICATION. *BIKE MOTORCYCLE MODIFICATION* [online]. 2008 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://modifextrem.blogspot.com/2010/04/buell-lightning-long-xb12ss-2010.html>
5. Citace 2.0. *Generátor citací* [online]. 2004 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://generator.citace.com>
6. 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.
7. DVOŘÁK, Milan, František GAJDOŠ a Ladislav ŽÁK. *Technologie tváření: návody do cvičení*. 2. vyd. Brno: CERM, 2005, 103 s. ISBN 80-214-2881-3.
8. EBC FRONT BRAKE DISC SUZUKI MD3089X. *Bike Devils Motorcycle Shop Parts Clothing Accessories & More* [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.bikedevils.com/ebc-front-brake-disc-suzuki-md3089x-9083-p.asp>
9. EBC Triumph Motorcycle Rear Brake Rotor - British Customs. *British Customs* [online]. 2000 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.british-customs.com/ebc-triumph-motorcycle-rear-brake-rotor.html>
10. Galfer Wave Rotor & Galfer Brake Pad Part Numbers - PashnitMoto. *California Motorcycle Roads - Pashnit Motorcycle Tours Maps, Passionate Scenic Rides Photos* [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://www.pashnit.com/product/galfer/brake_rotors_pads.html
11. GUIDI, A. *Přistřihování a přesné stříhání*. 1. vyd. Praha: SNTL, 1969, 138 s.
12. HUSÁK, Pavel. *Motocykly s dvoudobým motorem*. Praha: SNTL, 1978. DT 621. 434. 13:629. 118.6.
13. IFB - FINE BLANKING. *FINE BLANKING* [online]. 2008 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://www.ifbbangalore.com/html/fine_blanking.htm
14. Kotoučová brzda :: Auto - PC technologie. *Auto - PC technologie* [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://auto-pc.webnode.cz/automobily/kotoucova-brzda/>
15. Laser - Princip laseru. *Laser - vše o laserech* [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://lasery.wz.cz/princip.html>

16. Laserové dělení materiálu. *Laser ve strojírenství* [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.welding.cz/laser/deleni.htm>
17. Laserové řezání (laser cutting) - LAO. *Seriál na téma lasery - LAO* [online]. 2002 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/serial-laserove-rezani.htm>
18. Nekonvenční metody obrábění – 4. díl. *MM spektrum* [online]. 2008 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-4-dil.html>
19. Nekonvenční metody obrábění – 5. díl. *MM spektrum* [online]. 2008 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-5-dil.html>
20. Nekonvenční metody obrábění – 8. díl. *MM spektrum* [online]. 2008 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/nekonvencni-metody-obrabeni-8-dil.html>
21. 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.
22. NOVOTNÝ, Karel a Zdeněk MACHÁČEK. *Speciální technologie I: Plošné a objemové tváření*. 1. vyd. Brno: VUT Brno, 1986, 168 s.l
23. Obrázkový archiv. *ESAB Global* [online]. 2009 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://www.esab.cz/global/en/news/upload/901303_plasmacutting.jpg
24. Obrázkový archiv. *ESAB Global* [online]. 2009 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://www.esab.cz/global/en/news/upload/903122_Laser.jpg
25. Pavel Břichnáč: Plazmové technologie. *Aldebaran homepage* [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://www.aldebaran.cz/bulletin/2004_20_plt.html
26. Plazma přednosti a nevýhody | PLAZMA CZ s.r.o. *CHPS s.r.o. - řezání vodním paprskem, řezání laserem, zpracování kovů* [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.plazmacz.cz/plazma-prednosti-a-nevyhody/>
27. Průmyslové lasery (1) – princip laseru. *MM spektrum* [online]. 2012 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/prumyslove-lasery-1-princip-laseru.html>
28. Řezání plazmou | PLAZMA CZ s.r.o. *Úvod | PLAZMA CZ s.r.o.* [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.plazmacz.cz/rezani-plazmou/>
29. Řezání vodním paprskem. *MM spektrum* [online]. 2008 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/rezani-vodnim-paprskem.html>
30. Řezání vodním paprskem. *PKIT Praha s.r.o. - Tryskací materiály a Tryskací zařízení* [online]. 2008 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.pkit.cz/rezani-vodnim-paprskem.php>
31. Sheet Metal Cutting (Shearing). *Manufacturing Cost Estimation* [online]. 2009 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-shearing>

32. Stamping Quarterly. *MPI International, LLC - fineblanking, metal stamping, finegrinding, die design, fineblanked stampings, blanchard grinding, cold-forming, lapping, deburring, engineering, design and technical support*: [online]. 1993 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.mpi-int.com/Stamping%20Quarterly%201993.pdf>
33. *Technická rukověť motocyklisty*. České Budějovice: KOPP, 1999. ISBN 80-7232-059-9.
34. Technologie řezání vodním paprskem | Flow. *Jednička v oboru řezání vodním paprskem | Flow* [online]. 2006 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.flowcorp.cz/technologie-rezani-vodnim-paprskem-26/>
35. Technologie. *CHPS s.r.o. - řezání vodním paprskem, řezání laserem, zpracování kovů* [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.chps.cz/vodni-paprsek/technologie.html>
36. The Fine-Blanking Technology. *Welcome to Department of Industrial and Systems Engineering* [online]. 2002 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://www.ise.polyu.edu.hk/fine_blank/information.html
37. TP_plasma_2007. *Hadyna - International, spol. s r. o., Ostrava* [online]. [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: http://www.hadyna.cz/svetsvaru/technology/TP_plasma_2007.pdf
38. Základní princip laseru a jejich dělení - LAO. *Seriál na téma lasery - LAO* [online]. 2002 [cit. 2012-05-23]. Dostupné z: <http://www.lao.cz/serial-princip-a-typy-laseru.html>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
Ar	Argon	[-]
CNC	Počítačem řízený stroj	[-]
CO ₂	Oxid uhličitý	[-]
F _{celk}	Celková síla	[N]
F _s	Střížná síla	[N]
F _p	Přidržovací síla	[N]
F _v	Vyhazovací síla	[N]
H ₂	Vodík	[-]
N ₂	Dusík	[-]
O ₂	Kyslík	[-]