



VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V BRNĚ

BRNO UNIVERSITY OF TECHNOLOGY

FAKULTA STROJNÍHO INŽENÝRSTVÍ

FACULTY OF MECHANICAL ENGINEERING

ÚSTAV STROJÍRENSKÉ TECHNOLOGIE

INSTITUTE OF MANUFACTURING TECHNOLOGY

**PROBLEMATIKA PROSTŘIHOVÁNÍ OTVORU
DVOUVRSTVÝM POLOTOVAREM**

HOLE PUNCHING PROBLEMATICS OF TWO LAYERED SHEET METAL

DIPLOMOVÁ PRÁCE

MASTER'S THESIS

AUTOR PRÁCE

AUTHOR

Bc. Štěpán Kvapil

VEDOUCÍ PRÁCE

SUPERVISOR

Ing. Michaela Císařová, Ph.D.

BRNO 2020

Zadání diplomové práce

Ústav: Ústav strojírenské technologie
Student: **Bc. Štěpán Kvapil**
Studijní program: Strojní inženýrství
Studijní obor: Strojírenská technologie
Vedoucí práce: **Ing. Michaela Císařová, Ph.D.**
Akademický rok: 2019/20

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 diplomové práce:

Problematika prostřihování otvoru dvouvrstvým polotovarem

Stručná charakteristika problematiky úkolu:

Jedná se o analýzu procesu prostřihování otvoru dvouvrstvým polotovarem za tepla, který je používán v automobilovém průmyslu.

Cíle diplomové práce:

Literární studie problematiky prostřihování otvorů.
Analýza stávajícího stavu výroby otvoru prostřihováním za tepla.
Návrh konstrukčního řešení nástroje.
Experimentální ověření navrženého nástroje.
Zhodnocení a závěry.

Seznam doporučené literatury:

FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. Teorie obrábění, tváření a nástroje. 1. Brno: Akademické nakladatelství CERM, s. r. o. Brno, 2006. ISBN 80-214-2374-9.

HOSFORD, William F. and Robert CADDEL. Metal Forming: Mechanics and Metalurgy. 4th ed. New York: Cambridge University Press, 2011. ISBN 978-1-107-88-00452-8.

MARCINIAK, Zdzislaw, John L. DUNCAN a Jack HU. Mechanics of sheet metal forming. 2nd ed. Oxford: Butterworth-Heinemann, 2002. ISBN 7506 5300 0.

SUCHY, Ivana. Handbook of die design. 2nd edition New York: McGRAW-HILL, 2006. ISBN 0-0-146271-6.

TSCHAETSCH, Heinz. Metal Forming Practise: Process - Machines - Tools. Springer Berlin Heidelberg, New York, 2006. ISBN 3-540-33216-2.

Termín odevzdání diplomové práce je stanoven časovým plánem akademického roku 2019/20

V Brně, dne

L. S.

prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
ředitel ústavu

doc. Ing. Jaroslav Katolický, Ph.D.
děkan fakulty

ABSTRAKT

KVAPIL Štěpán: Problematika prostřihování otvoru dvouvrstvým polotovarem

Práce je zaměřena na návrh nástroje – střížníku pracujícího za tepla, kdy k prostřihání otvoru dochází ve spěchovaných koncích stabilizátoru. Jedná se tedy o děrování dvouvrstvého polotovaru, při kterém vzniká otřep na rozhraní vrstev, což je z hlediska požadavků zákazníka nežádoucí. Stabilizátor je montován do podvozku automobilu, kde je pomocí šroubů připevněn k nápravě. Literární studie je zaměřena na teorii a problematiku děrování. V praktické části je rozebráno několik konstrukčních řešení čel střížníků, z nichž byly vybrány tři typy tvaru čela. S tím byla spojena i změna konstrukčního řešení vyhazovače. Pro srovnání byly vybrány dva nástrojové materiály. Střížníky byly testovány na automatickém tvářecím centru. Po shrnutí a vyhodnocení všech praktických experimentů je navrženo optimální řešení nástroje určeného na prostřihování otvoru dvouvrstvým polotovarem.

Klíčová slova: stabilizátor, děrování otvoru, dvouvrstvý polotovar, materiál ASP 2023 a W 360

ABSTRACT

KVAPIL Štěpán: Hole punching problematics of two layered sheet metal

The thesis is focussed on project of a tool – a hot working clipping punch, where the hole is punched in the upsetting ends of stabilizer. We talk about punching of a two layered semi-finished product, in which burr is formed at the layer interface, which is undesirable from the point of the customer requirement. The stabilizer is mounted in the car chassis, where it is fastened to the axle with screws. The literature study is focused on the theory and problems of punching. In the practical part, several design solutions of cutter faces are discussed, from which three types of face shape were selected. This was associated with a change in the design of the ejector. Two tool materials were selected for comparison. The cutters were tested on an automatic forming centre. Finally, after summarizing and evaluating all the practical experiments, an optimal solution of a tool designed for punching a hole with a two layered semi-finished product is proposed.

Keywords: stabilizer, hole punching, two layered semi-finished product, material ASP 2023 and W 360

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

KVAPIL, Štěpán. *Problematika prostřihování otvoru dvouvrstvým polotovarem* [online]. Brno, 2020 [cit. 2020-06-25]. Dostupné z: <https://www.vutbr.cz/studenti/zav-prace/detail/124736>. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, Ústav strojírenské technologie. Vedoucí práce Michaela Císařová.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Tímto prohlašuji, že předkládanou diplomovou práci jsem vypracoval samostatně, s využitím uvedené literatury a podkladů, na základě konzultací a pod vedením vedoucí diplomové práce.

V Brně dne 25.6. 2020

.....

Podpis

PODĚKOVÁNÍ

Tímto děkuji paní Ing. Michaela Císařové Ph.D. za cenné rady a připomínky během zpracování diplomové práce, dále Ing. Marku Zajíčkovi za vstřícnost a trpělivost při testování nových nástrojů. Děkuji i celé své rodině za podporu během studia.

OBSAH

Zadání

Abstrakt

Bibliografická citace

Čestné prohlášení

Poděkování

Obsah

ÚVOD	10
1 ROZBOR ZADÁNÍ	11
1.1 Popis a funkce stabilizátoru	12
2 TVÁŘENÍ ZA TEPLA	14
2.1 Způsoby ohřevu	15
2.1.1 Elektrické zařízení.....	17
2.2 Nežádoucí jevy při ohřevu oceli	18
2.3 Pěchování	20
3. STŘÍHÁNÍ	21
3.1 Analýza stavu napjatosti při stříhání	22
3.2 Střížná vůle	24
3.3 Životnost střížného nástroje	26
3.3.1 Závady střížných nástrojů	27
3.4 Konstrukce střížníku	29
3.5 Konstrukce střížnice	30
3.6 Střížná síla	31
3.6.1 Střížný odpor	32
3.7 Příčiny porušení nástrojů	33
3.7.1 Otěruvzdorné povrchové vrstvy a povlaky	34
4 PRAKTICKÁ ČÁST – EXPERIMENT	37
4.1 Proces výroby stabilizátoru	37
4.2 Předpoklad tvorby otřepu	39

4.3 Návrh geometrie střížníku	40
4.3.1 Tvar čela.....	41
4.3.2 Konstrukce vyhazovače.....	43
4.3.3 Volba materiálu.....	44
4.4 Výroba a plán testování	45
4.4.1 Kontrola a měření střížníku.....	47
4.5. Ověřování funkčnosti střížníku	47
4.5.1 Test odstupňovaného střížníku z ASP 2023.....	48
4.5.2 Test oboustranně zešikmeného střížníku z ASP 2023	50
4.5.3 Test čtyřhrotého střížníku z ASP 2023	51
4.5.4 Test odstupňovaného střížníku z W 360	52
4.5.5 Test čtyřhrotého střížníku z W 360.....	54
4.5.6. Test oboustranně zešikmeného střížníku z W 360.....	56
4.6 Shrnutí a diskuze	57
5 ZÁVĚRY	60

Seznam použitých zdrojů

Seznam použitých symbolů a zkratek

Seznam obrázků

Seznam tabulek

Seznam příloh

ÚVOD [1], [2], [12], [13]

V dnešní době má strojírenství široké uplatnění, obzvláště v oblasti technologií jako tváření, obrábění, svařování, zpracování plastů a povrchové úpravy materiálů. Tyto procesy a postupy se uplatňují v celé řadě odvětvích, např. automobilový, letecký, těžební, armádní a v mnoha dalších. Tváření lze dále rozdělit na objemové a plošné, přičemž i tyto dvě oblasti lze dále členit na petchování, protahování, tažení, ohýbání atd. Při plošném tváření se výrazněji mění dva rozměry na úkor jednoho, výjimkou je stříhání, při kterém je oddělován požadovaný obrys součásti a úmyslně se porušuje soudržnost materiálu, přičemž tloušťka plechu zůstává konstantní. Výsledným produktem stříhání je výstřížek, který může představovat finální výrobek nebo polotovar, určený pro další zpracování. Na obr. 1 je možné vidět, že technologie stříhání má opravdu široké použití a z plechu se dá vystříhnout prakticky cokoli.



Obr. 1 Ukázka výrobků zhotovených stříháním [1], [2]

1 ROZBOR ZADÁNÍ [3], [4], [5], [6]

Při výrobě stabilizátoru nastává řada problémů. Na koncích, kde je trubka zploštělá, probíhá petchování, děrování otvorů a zastřížení konců za tepla, proces výroby je tedy sdružený. V případě zploštění trubky dochází k děrování dvouvrstvého materiálu, to sebou nese problém vznikajícího otřepu na rozhraní těchto dvou vrstev. Otřepy lze pozorovat na vnitřní stěně kruhového otvoru, jak je vidět na obr. 2. Tento pozůstatek komplikuje další manipulaci ve výrobě, brání prostrčení šroubu při montáži a nesplňuje požadovanou kvalitu. Jelikož se jedná o proces tváření za tepla, díky předchozímu ohřevu polotovaru indukčními cívkami, hrozí přilnutí odpadu na čelo střížníku a v následné egalizaci (kalibrace ploch) je odpad zalisován do konce stabilizátoru, čímž je kus považován za zmetek a vyhozen. Díra je vytvořena klasickým



Obr. 2 Fotografie otřepu



Obr. 3 Tvar střížníku s rovným čelem [6]

střížným nástrojem s rovným čelem o průměru 10,8 mm s pružinovým vyhazovačem, který je vidět na obr. 3. Střížník je zhotoven z rychlořezné oceli ASP 2023, která je vyrobena práškovou metalurgií a jejíž materiálový list je v příloze 1, zároveň není používán při práci za studena, jak

tomu u stříhání bývá zvykem, ale stříhaný materiál je indukčně ohřátý na teplotu okolo 750 °C. Stříhaný materiál je z oceli 34MnB5 nebo 26MnB5, což je ocel charakterizována svou dobrou tvárností při válcování za tepla a po tepelném zpracování i vysokou pevností. Chemické složení a mechanické vlastnosti jsou uvedeny v tab. 1.

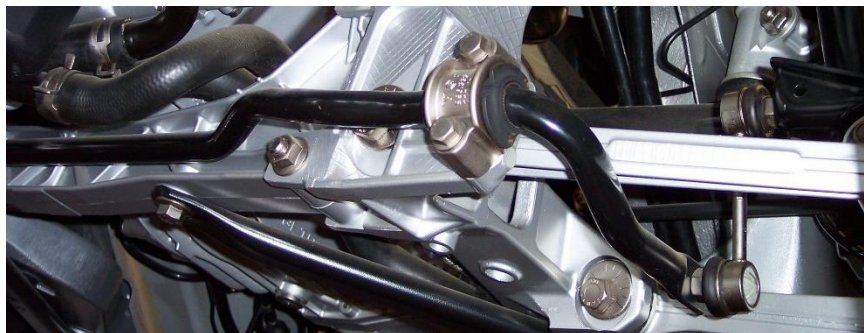
Tab. 1 Mechanické vlastnosti a chemické složení. [4], [5]

34MnB5										
	C	Si	Mn	P	S	B	Rp _{0,2} [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	HRC
Min. v %	0,33	0,15	1,15	-	-	0,0015	340 až	580 až	max.	max.
Max. v %	0,37	0,35	1,45	0,020	0,010	0,0045	610	820	14	50
26MnB5										
	C	Si	Mn	P	S	B	Rp _{0,2} [MPa]	Rm [MPa]	A [%]	HRC
Min. v %	0,23	0,15	1,10	-	-	0,0015	360 až	580 až	max.	max.
Max. v %	0,27	0,35	1,40	0,023	0,010	0,0040	580	740	15	55

Střížník zhotoví okolo 4000 děr za jeden den, což je za měsíc několik desítek tisíc, proto bude kladen velký důraz i na jeho maximální životnost. Úkolem je navrhnout a otestovat nový střížný nástroj, tak aby vystřižená díra splňovala rozměrové, geometrické, jakostní tolerance a v díře nezůstával nežádoucí zbytek materiálu ve formě otřepu, zároveň zabránit případnému přilnutí odpadu na čelo nástroje. Zároveň je nutné uvažovat proměnlivou stříhanou tloušťku, jelikož tloušťka stěny trubky se mění dle druhu stabilizátoru.

1.1 Popis a funkce stabilizátoru [7], [8], [9], [10], [11]

Stabilizátor je prvek v podvozku automobilu snižující náklon vozidla při průjezdu zatáčkou, tím zvyšuje komfort a umožňuje podstatně vyšší rychlost. Podstatou je pružné spojení kol zavěšených na nápravě. Samotný stabilizátor je zpravidla vyráběn z tyče nebo trubky a uložen příčnou částí v lůžkách, které jsou uloženy k nápravnici a ramena přenášejí pohyb na střední část (obr. 4). Obecně platí, když má tyč větší průměr, je i stabilizující účinek vyšší při působení odstředivé síly.



Obr. 4 Uložení stabilizátoru v nápravě automobilu [7]

Při rozdílném zdvihu pravého a levého kola se nakrucuje. Tuhost celé součásti je dána především výběrem jeho materiálu a délkou ramen. Při průjezdu zatáčkou je jeho cílem co nejvíce snížit rozdíl stlačení pružin. Přenáší zatížení vnějšího kola, snižené o vlastní pružnost, na zavěšení méně zatíženého kola vnitřního. Tím dochází ke zvýšení tuhosti a zmenšení náklonu celé karoserie. Stabilizátor nepracuje, pokud jsou přejížděny nerovnosti vozovky (vlna, spára), v tomto případě se jen kýve jako celek.

Nevýhodou pasivního stabilizátoru – zkrutného (obr. 5) je snížení přilnavosti vnitřního kola při průjezdu zatáčkou, to však kompenzují klady zmíněné výše. Snížení přilnavosti se



Obr. 5 Pasivní – zkrutný stabilizátor [9]

projevuje nedotáčivostí přední nápravy a přetáčivostí na zadní nápravě. V terénu je při použití vždy jedno kolo více odlehčeno, tím se snižují jízdní vlastnosti (průjezdnost, komfort, rychlost). Proto je použití pasivního stabilizátoru v terénu nevhodné. Nejvyšší komfort by byl zajištěn, kdyby se náprava obešla bez stabilizačního prvku. Taková auta se dnes již nevyrábějí, jízda byla při průjezdu nerovnostmi pohodlná, ale auto v zatáčce budilo dojem, že se každou chvílí převrátí.

Může se zdát, že výroba pasivního stabilizátoru, jakožto zohýbané trubky nejčastěji do tvaru U, patří k těm jednodušším. Avšak tohle není pravdou, při celém procesu výroby je řada speciálních technologií. Proces výroby začíná výběrem vhodného materiálu, jeho tepelném zpracování přes ohýbání trubky za studena, děrování děr ve zploštělých koncích, vnějšího i vnitřního tryskání až po práškové lakování a post – vulkanizaci.

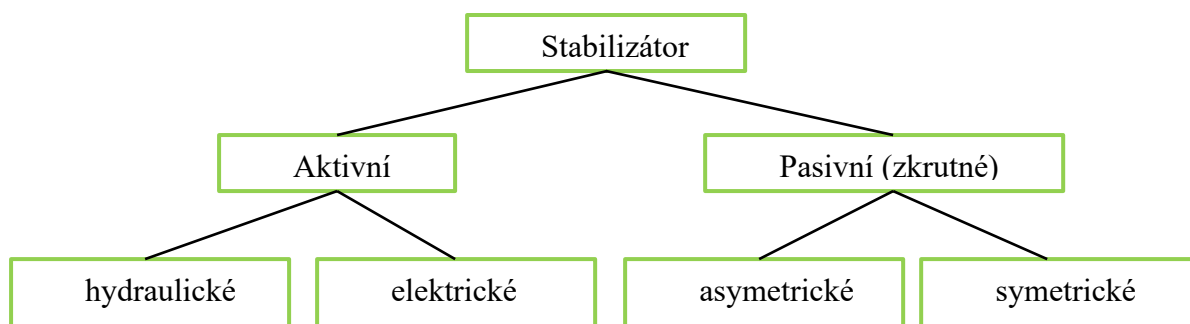
Ve snaze snížit negativní vlivy se vývoj ubíral spíše k výrobě aktivního stabilizátoru, znázorněného na obr. 6. Smyslem je nabídnout lepší komfort při jízdě a zároveň zvýšit



Obr. 6 Aktivní stabilizátor – elektrický [11]

ovladatelnost v zatáčkách. Myšlenka je založena na níže uvedených skutečnostech. Když automobil projíždí zatáčkou na vozidlo působí příčné zrychlení vyvolané odstředivou silou v těžišti vozidla. To zapříčiní vznik klopného momentu, který je vyvolán odstředivou silou působící na rameni. Osa klopení je dána kinematikou. Uvedená fakta posádka a řidič vozidla pociťují jako naklánění karoserie.

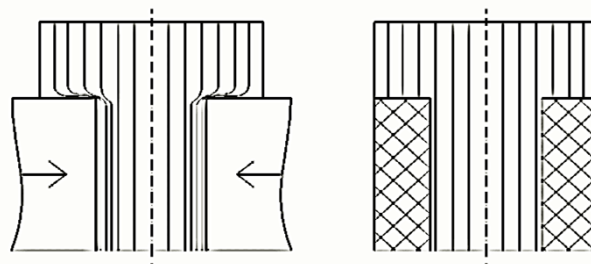
Aktivní stabilizátor vytváří tzv. kompenzační silový moment, ten působí proti klopnému momentu. Výsledkem je vyvážení sil a momentů, které působí na karoserii, což představuje snížení jejího náklonu. Dříve k tomuto účelu byly používány hydraulické jednotky, přesněji hydraulické oscilační motory, jimiž byl stabilizátor rozdělen na dvě části. Dnešní technika a rozvoj inovativních výrobků je již dále, takže se hydraulika nahradila elektromotory. Elektromotor rozděluje stabilizátor také na dvě části, jedna strana je připojena ke statoru a druhá k rotoru. Aby byla zajištěna ovladatelnost, je do celého systému vložena trojitá planetová převodovka v poměru 1:200. Výhodami jsou: vyvinutí max. momentu až $1200 \text{ N} \cdot \text{m}^{-1}$, výkon maximálně 1,5 kW, možnost montáže na přední i zadní nápravu a celkově lepší komfort z jízdy při průjezdu zatáčkou. Nevýhodou je složitost celého zařízení, vyšší hmotnost, zabraný objem místa a celková cena, která je několika násobně vyšší než u pasivního stabilizátoru. Z předešlého textu plyne, že stabilizátor lze rozdělit obr. 7:



Obr. 7 Rozdělení stabilizátoru

2 TVÁŘENÍ ZA TEPLA [14], [15], [16], [17], [41]

Tvářením se rozumí takový výrobní proces, při kterém dochází k požadované změně tvaru vlivem vnějších sil, bez toho, aniž by došlo ke změně objemu materiálu. Účelem je přesáhnout mez kluzu, tedy pohybovat se v oblasti plastických (nepružných) deformací. Překročení meze kluzu je doprovázeno změnami fyzikálními a strukturními, které ovlivňují mechanické vlastnosti materiálu (pevnost, tvrdost, tažnost, houževnatost atd.). Mezi výhody tváření patří vysoké využití materiálu – běžně 95 % (lze dosáhnout i 100 % využitelnosti), produktivita práce, rozměrová přesnost výrobků a neporušení vláken v oceli oproti obrábění (obr. 8). Účinek vláknitosti stoupá s rostoucím stupněm deformace, v jehož důsledku dochází k anizotropii (různé vlastnosti v kolmém a podélném směru).



Obr. 8 Tvářená a obráběná součást [16]

Během plastické deformace se mění vnitřní energie, protože se zvětšuje hustota dislokací a vznikají poruchy v krystalické mřížce. Experimentálně se dokázalo, že velmi malá část energie se spotřebuje na deformaci krystalické mřížky. Zatímco co většina energie se mění na teplo, u kovů tomu je 85 až 90 %. Lze říci, že teplota kovu v zóně deformace se během tváření zvyšuje. Vzhledem k teplotě ohřevu lze tváření rozdělit: za studena, poloohřevu a za tepla. Tyto procesy probíhají v určitých teplotních rozmezích, kde důležitou roli hraje teplota tavení příslušného kovu nebo slitiny, která je označována T_{tav} .

Ohřev s následným ochlazením mění stavbu mřížky, snižuje poruchy a podmiňuje odpeňování kovů. Při ohřevu do teploty $T = 0,2 \cdot T_{tav}$, výdrží a následným ochlazením je dosaženo uvolnění, které charakterizuje přeměnu fyzikálních vlastností, například elektrických vlastností. Tato velikost ohřevu nemá vliv na stavbu mřížky.

Ohřev v rozmezí $0,2 \cdot T_{tav} \leq T \leq 0,3 \cdot T_{tav}$ s výdrží na teplotě a následným ochlazením nastává tzv. polygonizace. To znamená, že se mění struktura a ovlivňují se jak fyzikální (sníží se elektrický odpor), tak i mechanické vlastnosti (klesá tvrdost, mez kluzu, roste plasticita).

Proces odpeňování nastává při deformaci za studena, což je při teplotách $T \leq 0,3 T_{tav}$, kdy rychle roste přetvárný odpor a plasticita se snižuje, což vyžaduje větší tvářecí síly. Obecně je dobré se těmto teplotám při tváření vyvarovat.

Při ohřevu na teplotu $T = 0,4 \cdot T_{tav}$, výdrží a ochlazením dochází ke vzniku nové rovnoměrně orientované struktury deformovaného kovu. Tento proces je znám jako rekrytalizace a rozlišují se tři stádia: vznik rekrytalizačních zárodků, primární rekrytalizace a sekundární rekrytalizace. Během vzniku rekrytalizačních zárodků se tvoří stabilní zárodky, ze kterých následně rostou nová nedeformovaná zrna. Primární rekrytalizaci je možné charakterizovat růstem zrn a vznik homogenní struktury. S dalším zvyšováním teploty dochází k sekundární rekrytalizaci, což je abnormální zvětšování zrn na úkor jiných. Během rekrytalizace se mění jak struktura, tak i mechanické a fyzikální vlastnosti kovů.

K odpeňování dochází při tváření za vyšší teploty v rozsahu $0,3 \cdot T_{tav} \leq T \leq 0,5 \cdot T_{tav}$, přičemž tuto změnu charakterizuje uvolnění a polygonizace. Při tváření za poloohřevu dochází k výraznému odpeňování kovu a tuto změnu doprovází uvolnění, polygonizace i primární

rekrytalizace. Je to rozmezí teplot $0,5 \cdot T_{\text{tav}} \leq T \leq 0,7 \cdot T_{\text{tav}}$, během tohoto procesu se kov dostatečně zpevňuje. Při tomto vysokém ohřevu má rychlost deformace výrazný vliv na strukturu a mechanické vlastnosti kovů.

Tváření za tepla se odehrává za vyšších teplot, než je teplota rekrytalizace. Charakteristické jsou teploty vyšší než $0,7 \cdot T_{\text{tav}}$. Zároveň probíhá primární rekrytalizace a obnovování tvaru zrna umožňuje nekonečné přetvoření materiálu. Pokud se proces odehrává nad touto teplotou je možné provádět plastickou deformaci bez trhlinek nebo porušení součásti. Zároveň se používají síly, které jsou i desetkrát menší než při tváření za studena. Pro oceli je to teplota, která se pohybuje v rozmezí od 800 do 1300 °C, což se nachází jednoznačně v oblasti austenitu. Vyšší teploty tváření se však nemohou volit zcela libovolně, kdy vzniká značný opal a s přibývajícím obsahem uhlíku v ocelích i oduhličení povrchové vrstvy. Podmínkou úspěšného tváření za tepla je znalost souvislostí mezi teplotou tváření, stupněm deformace a rychlostí rekrytalizace. Rozmezí teplot u nejčastěji používaných materiálů je uvedeno v následující tab. 2.

Tab. 2 Rozmezí tvářecích teplot pro vybrané materiály. [14]

Materiál	Tvářecí teplota [°C]
Ocel uhlíková	750 až 1 300
Ocel slitinová	900 až 1 150
Měď	800 až 1 000
Slitiny mědi	650 až 900
Titan	700 až 1 100
Slitiny hliníku	350 až 500

Lze použít vztah:

$$T_{\text{rek}} \sim (0,35 \text{ až } 0,4) \cdot T_{\text{tav}} \text{ [°C]}, \quad (2.1)$$

kde: T_{rek} – teplota rekrytalizace [°C],

T_{tav} – teplota tavení [°C],

kterým se vypočítá teplota rekrytalizace a při ohřevu na tvářecí teplotu je nezbytné držet se nad touto vypočítanou hodnotou.

Důležité je, že při vyšších teplotách je menší přetvárný odpor, avšak na druhé straně hrubne zrno (struktura), klesá houževnatost, roste tvorba okujů a oduhličení.

2.1 Způsoby ohřevu [15], [18], [19], [21]

Materiál je správně ohřátý, pokud je dosaženo optimální tvářecí teploty, rovnoměrného prohřátí a malé oxidace. V ohřivaném materiálu se teplo šíří od povrchu do středu. Při ohřevu dochází k tepelným napětím, ty mají za následek objemové změny, které jsou důsledkem nestejného rozdělení teploty v ohřivaném tělese. Řada kovů nesnese teplotní skok mezi povrchem a jádrem kovu, zvláště v oblasti teplot, kdy ještě není dosaženo podstatné plasticity. Obzvláště nebezpečná je oblast nízkých teplot do 550 °C. Rychlost ohřevu závisí především na rozměrech polotovarů, teplotní vodivosti a vlastnostech materiálu. Čím větší je rychlost ohřevu, tím kratší je doba ohřevu a zároveň jsou větší tepelná napětí v ohřivaném tělese. Přípustná rychlost ohřevu se spočítá dle vztahu:

$$v_o = \frac{k \cdot a \cdot \Delta T_{\text{max}}}{S_t^2} \text{ [K} \cdot \text{h}^{-1}\text{]}, \quad (2.2)$$

kde: a – součinitel teplotní vodivosti [$\text{m}^2 \cdot \text{h}^{-1}$],

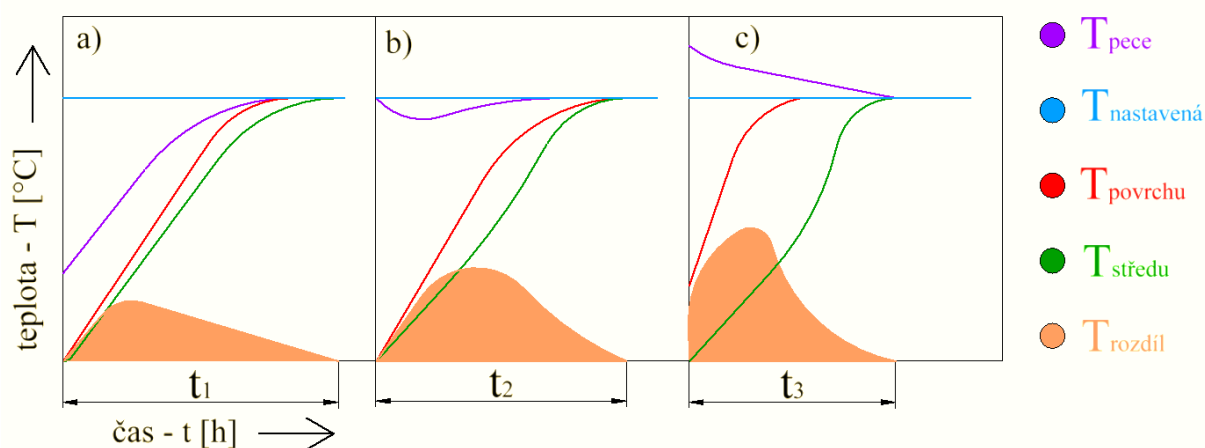
ΔT_{max} – maximální přípustný teplotní rozdíl v tělese [K],

k – tvarový součinitel rychlosti ohřevu, deska $k = 2,1$; válec $k = 5,6$ [-],

S_t – plocha tělesa [m^2].

Ohřev vsázky v peci probíhá třemi způsoby a jejich grafické znázornění je na obr. 9:

- pec je zahřívána současně s polotovarem, což značí menší teplotní rozdíly mezi povrchem a středem tělesa, ale doba ohřevu je výrazně vyšší a s tím spjatá i menší produktivita,
- polotovár je vložen do vyhřáté pece, teplotní rozdíl je vyšší a tím i vyšší napětí, ale i přesto je tento způsob nejčastější, jelikož se zvyšuje efektivita pece,
- teplota pece je výrazně vyšší, než je teplota předepsaná na ohřev výrobku, po vložení vsázky do pece vznikají vysoké teplotní rozdíly mezi povrchem a středem tělesa.



Obr. 9 Ohřev vsázky v peci [15]

Maximální teplotní rozdíl mezi pecí a ohřívaným polotovarem je dán vztahem:

$$\Delta T_{\max} = \frac{k_s \cdot \sigma_m}{\alpha_t \cdot E} \text{ [K]}, \quad (2.3)$$

- kde: k_s – tvarový součinitel teplotního rozdílu, deska $k = 1,05$ a válec $k = 1,4$ [-],
 σ_m – teplotní napětí [MPa],
 α_t – teplotní délková roztažnost [K^{-1}],
 E – Youngův modul pružnosti v tahu [MPa].

Podle velikosti tepelných napětí se ohřívání polotovary dělí na:

- tenké ($\Delta T \rightarrow 0$), kdy je možné tepelná napětí zcela zanedbat,
- tlusté ($\Delta T > \Delta T_{\max}$), u nichž vznikají nebezpečná tepelná napětí v polotovaru.

Z fyzikálního pohledu je ohřev polotovaru prováděn přenosem energie (tepla) z oblasti o vyšší teplotě do oblasti s teplotou nižší. Tento proces má pouze tři základní způsoby, a to: sdílení tepla vedením, prouděním a zářením. Při přenosu vedením dochází k vzájemnému energetickému působení molekul, iontů a elektronů. Sdílení tepla prouděním se odehrává za předpokladu proudícího prostředí (vzduch, kapalina atd.), které odebírá nebo předává teplo z povrchu tělesa. Přenos zářením vzniká elektromagnetickým vlněním, které se šíří prostorem a je pohlcováno povrchy jiných těles.

Polotovár se musí ohřívát rychle, je nutné vzít v úvahu i teplotní rozdíl mezi povrchem a středem. Nerovnoměrné rozdělení teploty v tělese vede k objemovým změnám. Ohřev součásti je možný v peci na tuhá, kapalná i plynná paliva a v neposlední řadě ohřev elektrický.

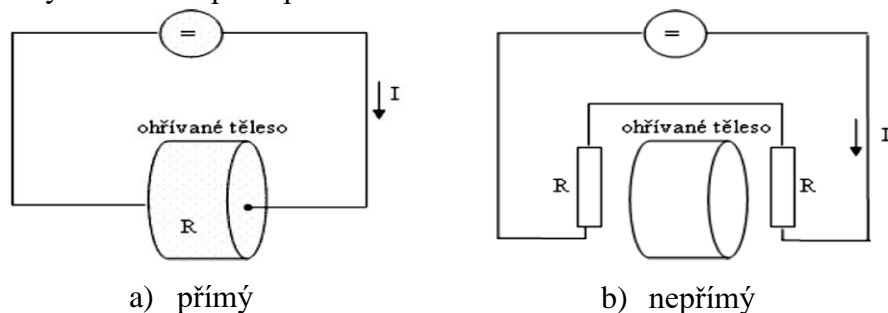
Podrobnější popis těchto metod je uveden dále:

- pece na tuhá paliva zpravidla již nejsou používány. Palivo je spalováno na speciálních spalovacích roštích nebo při použití sypkého paliva musí dojít k rovnoměrnému rozprášení různými hořáky.
- v pecích na kapalná paliva se používají specifické spalovací hořáky, ty zajišťují stejnoměrné rozprášení a smísení kapaliny se spalovacím vzduchem. Jako palivo se nejčastěji používají topné oleje případně nafta. V současné době se již nepoužívají.
- pece plynové, kde teplo vzniká v plynovém hořáku spalováním zemního plynu. Zvýšení účinnosti se dosáhne smícháním plynu s předehřátým vzduchem o teplotě 500 °C, čímž dojde i ke snížení spotřeby paliva. Tento poměr je důležité hlídat, nadbytek vzduchu způsobuje propal a oduhličení, nedostatek zase způsobí snížení teploty. Ohřev je prováděn hořáky, dle jejich umístění se pece plynové rozdělují:
 - komorové pece vozové – hořáky jsou umístěny ve stěnách, v klenbě a pod nístějí. Výhodou je, že je nístěj umístěná na podvozku, což zapříčiní jednodušší manipulaci s materiálem.
 - narážecí pece – hořáky jsou umístěny ze všech stran. Pec je průchozí a rozděluje se na část předehřívací, ohřívací a vyrovnávací.
 - štěrbinové pece – je využívána pro ohřev konců tyčí.
 - karuselové pece – disponují otočnou nístějí a hořáky, které jsou umístěny po vnějším obvodu pece.

2.1.1 Elektrické zařízení [18], [19], [20], [21], [22], [23], [24]

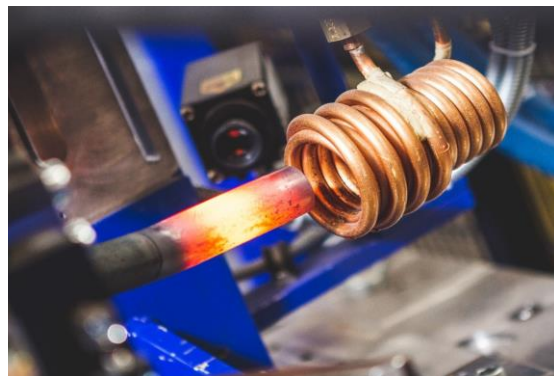
V elektrických zařízeních se nejnadhěji udržuje požadovaná atmosféra (inertní), proto jsou používány nejčastěji. Teplo vzniká uvnitř polotovaru nebo v jeho blízkém okolí, proto je umožněna vysoká rychlost ohřevu. Pro nižší teploty jsou určeny pece odporové a pro vyšší indukční zařízení. Oba způsoby elektrického ohřevu jsou popsány v následujícím textu.

- odporový ohřev – účinnost ohřevu je závislá na délce a průřezu tělesa. Nejčastější využití nalézá u kalení, prohřívání a cementování. Odporová elektrotepelná zařízení se rozdělují dle vzniku tepla na přímé a nepřímé.
 - a) přímý ohřev – proud prochází přímo polotovarem (obr. 10a) tedy teplo vzniká uvnitř, tudíž je tento způsob rychlý a účinný. Nevýhodou je potřeba značné intenzity elektrické energie. Tento způsob ohřevu je vhodný pro tyče, trubky dráty apod.
 - b) nepřímý ohřev – teplo vzniká v topných tělesech (obr. 10b), které se ohřívají a předávají teplo sáláním, vedením a prouděním. Nejčastější uplatnění je při výrobě svařovaných trubek a při zápusťkovém kování.



Obr. 10 Schéma odporového ohřevu přímého a nepřímého [21]

- indukční ohřev – je elektrický ohřev využívající elektromagnetické indukce. Cívkou prochází střídavý proud, to zapříčiní vznik magnetického pole. Pokud je do magnetického pole vložen předmět z elektricky vodivého materiálu, indukuje se v něm elektromotorická síla (vířivé proudy) a těleso se začne ohřívat. V principu se jedná o transformátor, který má jako primární vinutí cívku a sekundární vinutí představuje vsázka (závit nakrátko). Cívka může být napájena proudem o nízké frekvenci (pro velké předměty) nebo vysoké frekvenci několik desítek až stovek kHz (tenkostěnné a drobné předměty). K napájení induktorů o kmitočtech vyšších než 50 Hz, se používají statické měniče kmitočtu tyristorové nebo tranzistorové. Jedná se o nejrychlejší ohřev vůbec, z toho důvodu je používána při tavení kovu a tepelném zpracování. Teplo se do vsázky zpravidla válcového tvaru dopravuje střídavým magnetickým polem, tedy nikoli teplotním spádem jako u nepřímých ohřevů, a vzniká přímo v sázce tzn., že není zbytečně předáváno do okolního prostoru a neohřívá další zařízení v blízkém okolí, to je hlavní výhoda indukčního ohřevu, proto je ve srovnání s plynovou nebo odporovou řádově energeticky úspornější. Teplo ve vsázce se nevyvíjí rovnoměrně v celém průřezu, například u válcového tvaru se nachází největší proudová hustota na povrchu a směrem ke středu klesá, klesání se tvarem blíží exponenciálně. Účinnost se snižuje zvětšením poměru průměru cívky ku průměru vsázky (D/d), protože se zmenšuje vazba magnetického pole induktoru se vsázkou. Proto není vhodné používat jeden průměr induktoru na více průměrů vsázky. Indukční ohřev umožňuje dobrou stabilizaci teploty ohřívaného předmětu. K řízení chodu jsou nejvíce používány programovatelné automaty, kde se teplota měří bezkontaktně pyrometry. Široká škála využití od malých laboratorních zařízení až po tavicí pece s obsahem několik tun. Další z výhod je možnost mechanizace, v některých případech i automatizace. Ukázka indukčního ohřevu je na obr. 11.



Obr. 11 Indukční ohřev v praxi [24]

2.2 Nežádoucí jevy při ohřevu oceli [15], [25], [26], [27], [37], [52]

Za zvýšených teplot se daří především procesům, které probíhají difuzí. Mezi ně patří i nežádoucí jevy při ohřevu ocelí: opal, oduhličení, přehřátí a spálení.

- opal – je zapříčiněn oxidací povrchových vrstev ohřívaného tělesa. Tento proces se děje v pecní atmosféře, která obsahuje volný kyslík, CO_2 a vodní páru. Čím déle je polotovar ohříván, tím větší množství okujů vznikne a zároveň se oxidace urychluje neustálým opadáváním okujů z povrchu ohřívaného tělesa vlivem teplotní roztažnosti okujů a základního kovu. Okuje lze pozorovat na obr. 12, kde jsou vidět pouze na konci trubky, a to jak na vnějším, tak i vnitřním

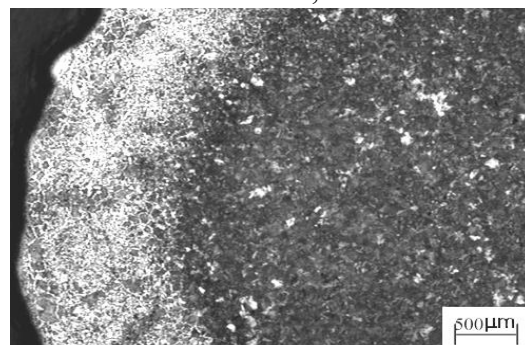


Obr. 12 Okuje na konci trubky [52]

povrchu. Tvorbu okují lze snížit indukčním ohřevem, ochranou atmosférou případně nátěrem. Mezi negativní následky opalu patří ztráta kovu 1 až 3 %, snížení životnosti pecní nístěje, nezbytnost zařazení odokujení před tvářením, snížení životnosti tvářecích nástrojů, znehodnocení tvářeného polotovaru zatlačením okují do povrchu a očištění povrchu před dalším tvářením za studena případně obráběním.

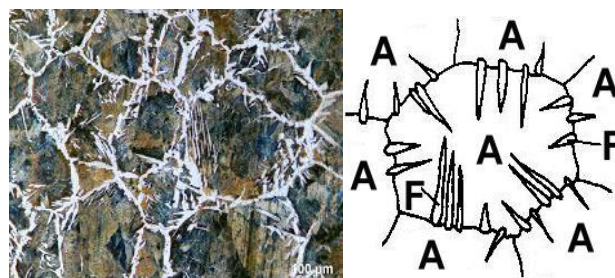
Množství vzniklých okují závisí na:

- ohřívací teplotě – nejvýraznější vliv, z počátku jen řídce, ale nad 1000 °C velmi intenzivně,
 - době ohřevu – jenž se projevuje parabolickou závislostí, tzn. že s časem se přírůstek okují zmenšuje,
 - pecní atmosféře – nejčastěji je používána oxidační (O_2 , CO_2 , H_2O) poté redukční (H_2) nebo neutrální (N_2). Oxidační atmosféra tvoří tlustější vrstvu okují, jenž se snadno odlupuje, zatímco u redukční nebo neutrální vrstvy je vytvářena mnohem tenčí vrstva, která lpí pevně na základním kovu,
 - chemickém složení – prvky s vyšší afinitou k železu (Cr, Al ...) vytvářejí pevnou vrstvu lpících okují, která zpomaluje oxidaci. Přísadové prvky s vyšší afinitou jako nikl, měď molybden a jiné se vyredukuje pod vrstvu okují, čímž nezpomalují oxidaci.
- oduhličení – tvoří se především působení vodní páry a CO_2 na povrchu oceli (obr. 13). To se projevuje snížením pevnosti, tvrdosti na povrchu a dalších vlastností, které závisí na obsahu uhlíku. Úzce souvisí s pochodem oxidace, tj. za vyšších teplot převládá oxidace, zatímco u nižších oduhličení, které působí do větší hloubky. Důsledkem je množství přísadových prvků, které podněcují aktivitu uhlíku v austenitu. Dochází ke zhoršení vlastností u tvářeného polotovaru, např. snížení meze únavy ve střídavém ohybu drátu. Pro ochranu povrchové vrstvy jsou aplikovány ochranné nátěry.



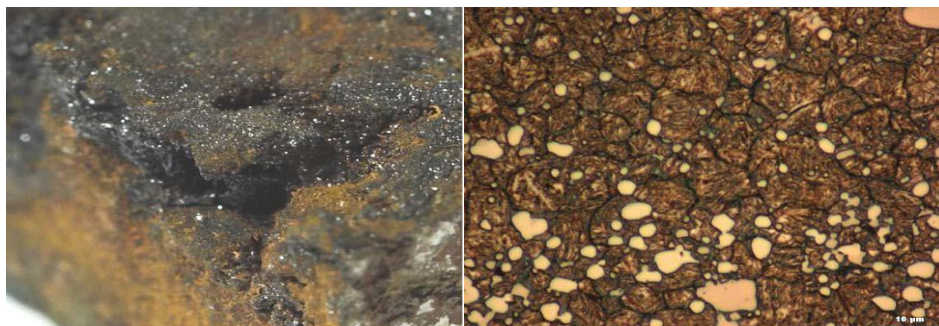
Obr. 13 Ukázka oduhličené oceli [15]

- přehřátí – nastává při dlouhodobém setrvání na horní tvářecí teplotě. Dochází k hrubnutí austenitického zrna. To má nepříznivý vliv na tvařitelnost materiálu, jelikož při ochlazování dochází ke vzniku tzv. Widmannstättenovy struktury – růst feritu do austenitu (A), což způsobí ostré jehlice (obr. 14). Trhliny se zpravidla šíří po hranicích zrn. Čím větší zrno vznikne, tím trhliny musí urazit kratší vzdálenost. Tato struktura lze odstranit normalizačním žiháním nebo tvářením s malým stupněm deformace a nazývá se jako stadium přehřátí bez ovlivnění hranic zrn. Přehřátí s ovlivněním hranic zrn je druhé stadium. Příčinou je síra, která se rozpouští v oceli a difunduje na hranice zhrublého austenitického zrna. Při ochlazování je vylučována v podobě sulfidů, ty oslabují soudržnost a dochází ke snížení plasticity. Ocel je trvale znehodnocena.



Obr. 14 Widmannstättenova struktura [25], [26]

- spálení – je zapříčiněno ohřevem na teplotu solidu. To znamená natavení hranice zrn, do kterých se přemísťuje síra a fosfor. U oceli dojde k úplnému znehodnocení, toto znehodnocení/problém/spálení nelze nijak odstranit. Případné nečistoty, které nadifundovaly na hranice zrn, sniží teplotu tavení a ke spálení může dojít i za teploty pod solidem. Ukázka spáleného povrchu a mikrostruktury je na obr. 15.

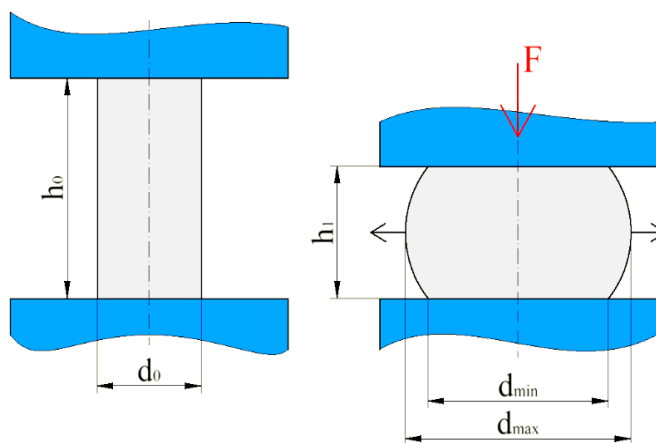


Obr. 15 Povrch a mikrostruktura spálené oceli [15]

2.3 Pěchování [37], [38]

Patří mezi základní tvářecí operace. Jako jedna z mála tvářecích operací má vliv jak na technologickou, tak i metalurgickou stránku výkovku. Pěchování je zařazeno mezi silově a energeticky nejnáročnější tvářecí operace, jelikož se výrazně zmenšuje výška a zvětšuje příčný průřez. Mezi typické charakteristické znaky patří: nástroje působí na celý objem tělesa, napětí vyvolaná nástrojem působí výhradně na stykových plochách, na boční stěny nepůsobí žádná napětí a v objemu materiálu je dosaženo nerovnoměrné deformace. Následkem

nerovnoměrné deformace je vznik přidavných tahových napětí působících na povrchu boční stěny pěchovaného tělesa. Tato napětí vytvoří tvarovou změnu v podobě soudečku, jako je na obr. 16. V některých případech je nemožné protvářet všechny zóny v součásti. Soudečkovitost se při pěchování mění v závislosti na štíhlosti výchozího polotovaru a poměrném výškovém úběru. Aby se snížila soudečkovitost je



Obr. 16 Tvarová změna – soudečkovitost [38]

nutné použít polotovar s co nejmenší možnou štíhlostí a pokud možno omezit třecí síly na stykové ploše nástroje a polotovaru. Tím lze docílit aplikací účinných maziv, pěchování s kuželovou podložkou, použití mazacích podložek případně vytvoření tvarového vybrání do pěchovaného vzorku, kde je nanášeno mazivo.

Účelem pěchování je především snížit anizotropii mechanických vlastností, zvýšit stupeň prokování, rovnoměrně rozmístit karbidy, získat radiální průběh vláken a zhotovit polotovary s větším příčným průřezem.

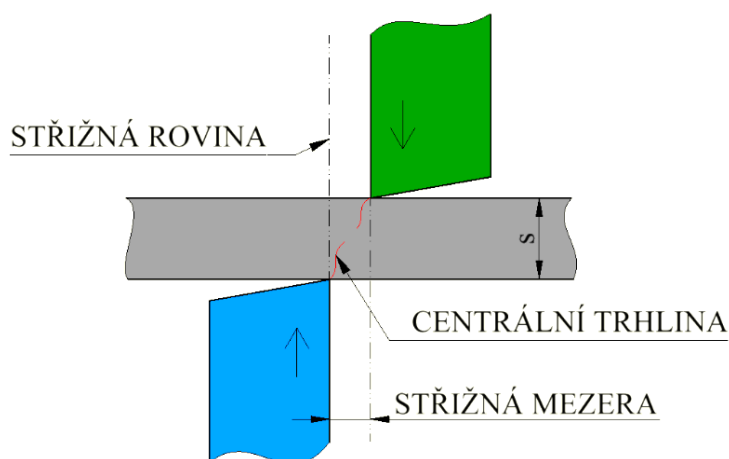
Pro úspěšné pěchování je nutné rovnoměrně ohřát výchozí polotovar na správnou teplotu, zajistit rovnoběžnost čelních ploch, ustavení polotovaru kolmo k ose nástroje a omezit štíhlost (nebezpečí ohybu) jenž musí splňovat $h_0/d_0 \leq 2,5$.

3. STŘÍHÁNÍ [28], [29], [30], [31], [42], [43], [44], [45], [49]

Patří mezi nejrozšířenější operace jak v technologii tváření, tak i při dělení materiálu. Nejčastěji se používá na přípravu polotovarů, vystřihování součástek z plechů sloužící pro přímé použití nebo jsou určeny jako polotovary pro další technologie, případně je stříhání používáno na pomocné nebo dokončovací operace. Dělení materiálu za studena probíhá u měkkých ocelí s pevností zhruba 400 MPa, tvrdé materiály jsou ohřívány nad teplotu rekrytalizace. Materiál umístěn mezi střížníkem a střížnicí, je oddělen působením střížné síly, ta má vzrůstající tendenci a maxima dosahuje v počátku oddělování materiálu. Poté výrazně klesá k nule, přičemž rychlost poklesu závisí na materiálu, střížných hranách a odporech. Mezi střížníkem a střížnicí je tzv. střížná vůle, jejíž velikost ovlivňuje kvalitu střížné plochy a rozměrovou přesnost součástí.

Je to technologie, při které působí protilehlé nože nebo čelo střížníku na materiál tak, aby se kontrolovaně ustříhl v dané ploše. Pro dosažení kvalitní střížné plochy je nutné dodržovat základní pravidla, tj. zvolit správnou velikost střížné vůle, ostří střížných hran a v neposlední řadě také dodržovat sousost střížníku a střížnice. Tím jsou kladeny větší nároky na obsluhu stroje a na stroj samotný (přesnost, tuhost). Nedodržení těchto předpokladů vede k nekvalitnímu stříhu a může skončit poškozením nebo dokonce i zničením nástrojů.

Principem je vtlačování stříhacích nožů do materiálu dvojicí sil, tak aby nastalo oddělení ve střížné rovině, podél které se nože pohybují. Vyvolaný tlak se šíří od místa kontaktu s noži, nejprve jsou vlákna ohýbána a protahována. Po překročení elastické deformace dochází ke vzniku trhlinek, a to vlivem kritické hodnoty tahového napětí ve střížné ploše. Jelikož je největší tahové napětí ve styku s břitem nože, vznikne prasklina obvykle na tomto místě. Při dalším postupu nože hlouběji do materiálu vznikají další trhlinky, což zapříčiní vznik centrální trhliny (obr. 17) a dojde k oddělení stříhaného materiálu. Trhliny jsou orientovány pod úhlem 45° ke směru tahového napětí, což je ve směru největšího smykového napětí. V blízkém okolí střížné plochy se materiál plasticky deformuje, proto v této oblasti dochází ke zpevnění a v souladu s tím i ke snížení tvárnosti. Při optimální střížné vůli se centrální trhliny spojí a vzniká střížná plocha bez otřepu. Při malé nebo naopak velké vůli se trhliny neseskají a následkem je nerovná střížná plocha. Při zvolení malé



Obr. 17 Schéma dělení materiálu [29]

vůle a velké tloušťce materiálu se na střížné ploše objevuje trhlina a pásmo plastického stříhu s ostřinou (typické u měkkých materiálů). Při stříhání s velkou vůlí jsou na střížné ploše velké ostřiny, což je zapříčiněno vtahováním materiálu mezi střížné hrany.

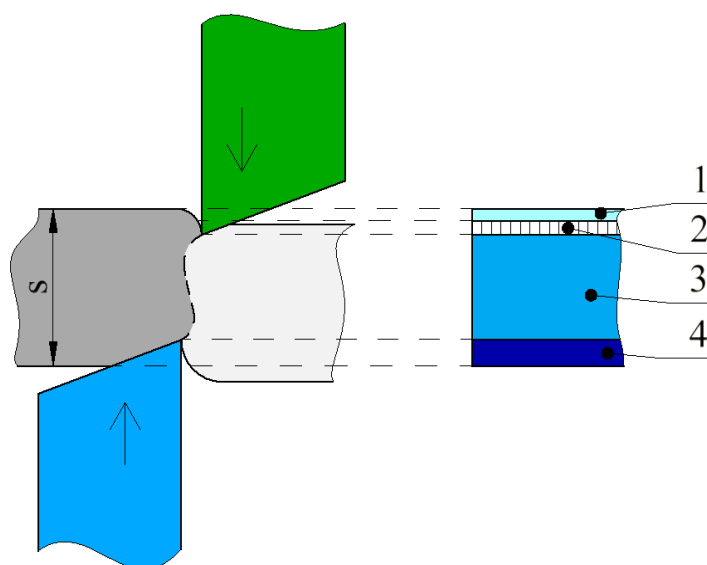
Výstřížek je oddělen dříve, než střížník projde celou hloubkou stříhaného materiálu a následně je výstříh vytlačen. To zapříčiní, že okraje nejsou zcela rovinné a střížná plocha nemá konstantní drsnost, ale je nerovnoměrně rozdělená. Místa, ve kterých došlo k prvnímu

vzniku trhlinek, jsou drsnější. Oddělení nenastane v přesně dané ploše, ale má tvar připomínající písmeno S (tzv. "S" křivka).

Střížná plocha je tedy dělena do čtyř pásem:

- 1 - pásmo zaoblení vstupní hrany (elastická deformace) a tvoří zhruba 6 % tloušťky plechu,
- 2 - pásmo zatlačení nože do vzniku trhliny 10 % tloušťky plechu (plastická deformace),
- 3 - pásmo smyku (utržení), které tvoří až 80 % tloušťky,
- 4 - poslední pásmo otláčení – zatlačení spodního nože (4 % s).

Část 3 tvoří největší procento střížné plochy, a proto je charakteristická pro posouzení kvality střížné plochy. Všechny tyto oblasti jsou znázorněny na obr. 18. Mechanické vlastnosti



a velikost střížné vůle mají vliv na rychlost vzniku a postupu trhlin. Tvrdý a zároveň křehký materiál se oddělí rychle, téměř okamžitě již při malém vniknutí střížných hran. Oproti tomu u měkkých a houževnatých materiálů dochází ke vzniku trhlin, tzv. nástřihu a jejich šíření je pomalé a hloubka vniknutí střížných hran bývá až pětkrát větší.

Průběh střížného procesu zmíněného výše je závislý na mechanických vlastnostech, střížné vůli ale i na rychlosti stříhání. Právě rychlost stříhání má největší vliv na

Obr. 18 Deformační pásma při stříhání [29]

velikost druhého pásma tedy na pásmo plastického stříhu. Pro stejný materiál je při malé rychlosti toto pásmo širší, ale naopak při pomalém pohybu nástroje je toto pásmo malé. V oblasti stříhu dochází k významným strukturním změnám materiálu a k jeho zpevnování. Na velikost zpevněné vrstvy má vliv tloušťka stříhaného materiálu, jeho vlastnosti, struktura, střížná vůle, stav střížných hran a také rychlost stříhání.

Technologií stříhání je úmyslně narušována soudržnost materiálu, tedy namáhání nad mezí pevnosti ve stříhu. Dělí se na stříhání prosté, vystřihování, děrování, ostříhování, nástřihování, dostřihování, protrhávání, vysekávání a přesné stříhání. Přesné stříhání se dále člení s tlačnou hranou, se zaoblenou hranou, přistřihování, kalibrování a se zešikmeným přidržovačem. Nástroje pro stříhání jsou střížník, střížnice případně i přidržovač s vyhazovačem, výrobek zhotovený stříháním je výstřížek. Podrobněji je stříhání popsáno v následujících kapitolách.

3.1 Analýza stavu napjatosti při stříhání [17], [31], [44], [48], [50]

Během procesu tváření (deformace) jakýkoli kovový materiál vlivem vnějších sil přechází ze stavu elastické napjatosti do stavu plastické napjatosti. Tyto změny mohou být vynuceny jak působením napětí, tak i změnou teploty, případně změnou rychlosti tvářecí práce. Změny nastávají buď podél roviny nejvyšší koncentrace potencionální energie nebo podél roviny maximálního smykového napětí. Některé změny mohou být původně plánovány, a z toho

důvodu je lze považovat za prospěšné. Bohužel mohou nastat i situace, jež jsou negativní pro výsledek provedené operace a mají za následek defekt na produktu. Plastičnost kovu je schopnost deformace materiálu za předpokladu, že je použita dostatečně velká síla. Pokud je síla příliš malá, menší než mez kluzu, deformace je pouze dočasná a po uvolnění tlaku se vrátí do původní polohy. Když síla přesáhne mez kluzu daného materiálu, je výsledná deformace krystalové mřížky trvalá a součást zůstane trvale zdeformovaná.

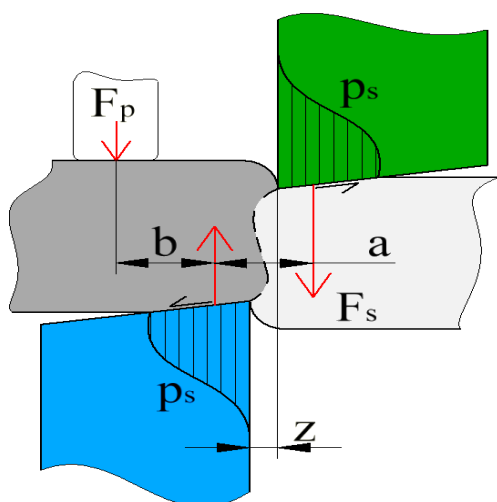
Napětí působící na materiál lze rozdělit do následujících tří skupin:

- lineární působení – napětí působí jen na jedné ose, další dvě jsou bez napětí,
- rovinný stav – aplikace napětí podél dvou os, zatímco třetí je bez napětí,
- objemový – napětí působí na všech třech osách (ve většině tvářecích procesů).

Stříhání lze také rozdělit dle průběhu křivky stříhu na volné (otevřená křivka stříhu) nebo běžné (uzavřenou) stříhání. Typickým představitelem volného stříhání je dělení materiálu, ať už se jedná o dělení strojní na tabulových nůžkách nebo ruční (tenké plechy) na pákových nůžkách (obr. 19). Střížné nože mají tvar lišt či desek, nebo kotoučů. Kotoučové nůžky umožňují zhotovovat téměř neomezenou délku stříhu. Zatímco běžné stříhání má uzavřenou křivku stříhu, což představuje klasické stříhání v nástroji (lisovadlo, stříhadlo, děrovadlo).



Obr. 19 Ruční pákové nůžky [31]



Obr. 20 Volné stříhání [17]

výstřižcích ze silného plechu. Při protlačování výstřižku je střížná síla zvětšena o vliv tření v pružně svírané ploše. Materiál nacházející se mezi hranami střížníku a střížnice je jak natahován, tak i vytlačován do stran, čímž uvolňuje prostor pro vnikající břity.

Horizontální vrstvy, znázorněné vrstevnicemi na obr. 21, mění křivost, prodlužují se a mezi břity se zmenšuje tloušťka plechu. U střížné hrany střížníku i střížnice je znázorněn bod A a C, ve kterých je největší tahové hlavní napětí σ_1 dáno vztahem:

$$\sigma_1 = \tau_s = 0,77 \cdot R_m \text{ [MPa]}, \quad (3.1)$$

kde: σ_1 – hlavní tahové napětí [MPa],

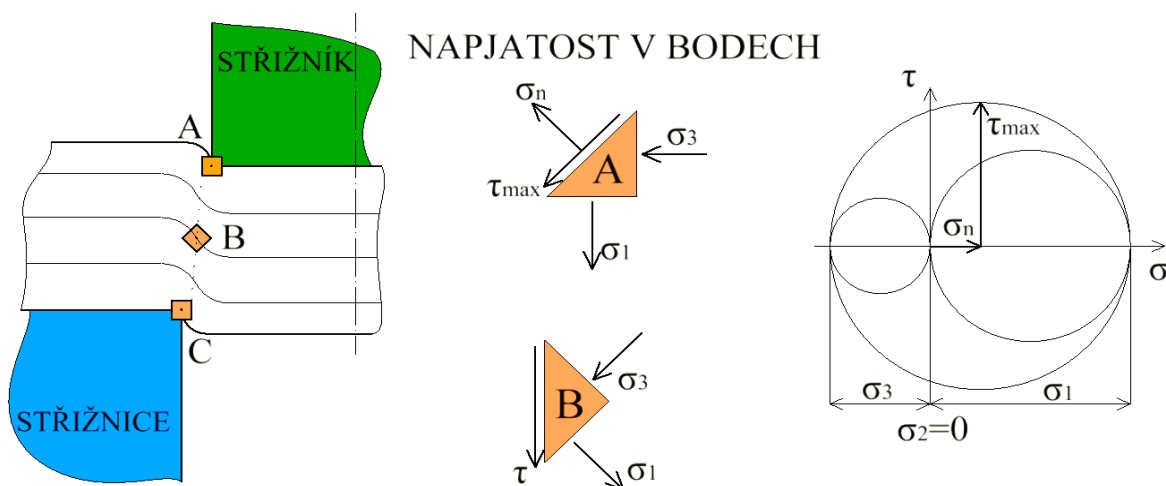
τ_s – střížný odpor ve stříhu [MPa],

R_m – smluvní mez pevnosti v tahu [MPa].

Praktickými zkouškami bylo zjištěno, že hlavní tlakové napětí σ_3 je přibližně rovno polovině σ_1 , tedy $\sigma_3 = -\sigma_1/2$. Maximální smykového napětí τ_{max} působí pod úhlem 45° a pro jeho výpočet lze použít vztah:

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_3}{2} = \frac{3}{2}\sigma_3 = \frac{3}{4}\sigma_1 \text{ [MPa]}, \quad (3.2)$$

kde: σ_3 – hlavní tlakové napětí [MPa].



Obr. 21 Rozbor napjatosti při uzavřeném stříhání [17]

Při volném stříhání je možno uvažovat přibližně rovinný stav napjatosti, jelikož $\sigma_2 \approx 0$. To však neplatí při běžném uzavřeném stříhání, kde složka deviatoru napětí a střední napětí jsou nenulová. V bodě A a C je tedy prostorový stav deformace. Z Mohrových kružnic na obr. 21 je vidět, že kolmo na rovinu maximálního smykového napětí působí kladná normálová složka napětí σ_n , která se podílí na šíření a rozevírání trhlin po nástřihu. Poměr hlavních napětí σ_1 a σ_3 se mění, a právě ve středu stříhaného materiálu, tedy v bodě B, jsou splněny podmínky čistého smyku, kde $\sigma_2 = 0$.

3.2 Střížná vůle [29], [33], [35], [43], [44]

Pro vytvoření kvalitní střížné plochy a optimální velikosti střížné síly je nutné nastavit ideální velikost střížné vůle, která má vliv i na opotřebení nástroje – jeho životnost. Nejdůležitější roli v tomto případě hraje tloušťka stříhaného materiálu a mez pevnosti ve stříhu. Při konstrukci je nutné střížník navrhnout s menším rozměrem, než je otvor ve střížnici. Rozdíl jmenovitých rozměrů střížníku a střížnice je vůle, která se označuje písmenem "v". Zatímco jednostranným rozdílem jmenovitých rozměrů je střížná mezera, označována "z". Velikost střížné vůle, tedy součet mezer mezi střížníkem a střížnicí bývá pro normální stříhání v rozmezí 3 až 20 % tloušťky materiálu. Její nevhodně zvolená velikost pak negativně ovlivňuje trvanlivost břitu, sílu, spotřebu energie, kvalitu střížné plochy a vznik ostřin. Již při malém zmenšení vůle dochází k navýšení síly. Změna síly není až tak razantní oproti navýšení práce, jenž se může zvýšit až o 40 %.

Konkrétní hodnoty střížné vůle jsou uvedeny v tab. 3.

Tab. 3 Velikost střížné vůle dle způsobu stříhání a tloušťky materiálu. [44]

Způsob stříhání	Tloušťka materiálu s [mm]	Střížná vůle v [% s]
Běžné vystřihování a děrování ocelí	do 0,2	0
	0,3 až 3,0	10 až 16
	3 až 10	16 až 20
	10 až 20	20 až 24
Vystřihování s hladkou střížnou plochou	do 3	4 až 8
	3 až 10	8 až 12
	10 až 20	12 až 16
Vystřihování a děrování hliníku	do 3	4 až 8
	3 až 10	8 až 12

Při vystřihování z plechu do tloušťky 0,2 mm se prakticky používá stříhání bez vůle. Střížný nástroj je vyroben tak, že tvar střížné plochy nekaleného střížníku se získá ostřížením v přesně vyrobené zakalené střížnici. Velikost střížné vůle, případně střížné mezery se v praxi určuje dle doporučených hodnot z tabulek. Případně se používají vztahy sestavené na základě praktických zkušeností:

- pro plechy do tloušťky 3 mm:

$$z = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot c \cdot s \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]}, \quad (3.3)$$

- pro plechy nad tloušťku 3 mm:

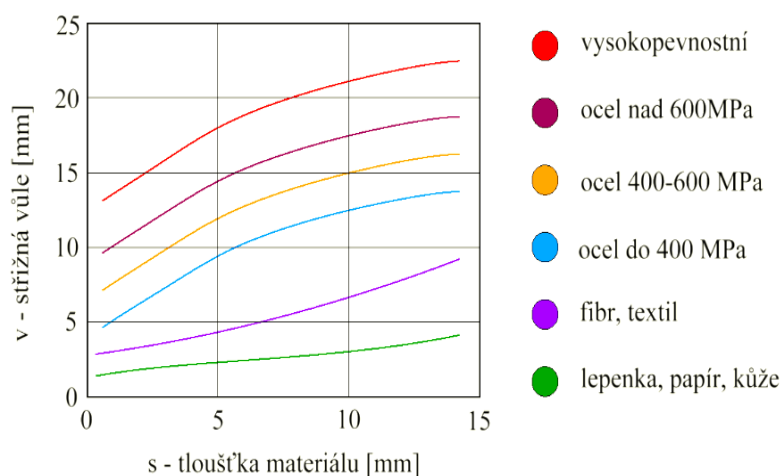
$$z = \frac{v}{2} = 0,32 \cdot (1,5 \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{\tau_s} \text{ [mm]}, \quad (3.4)$$

kde: v – střížná vůle [mm],

c – součinitel závislý na stupni stříhu (0,005 až 0,035) [-],

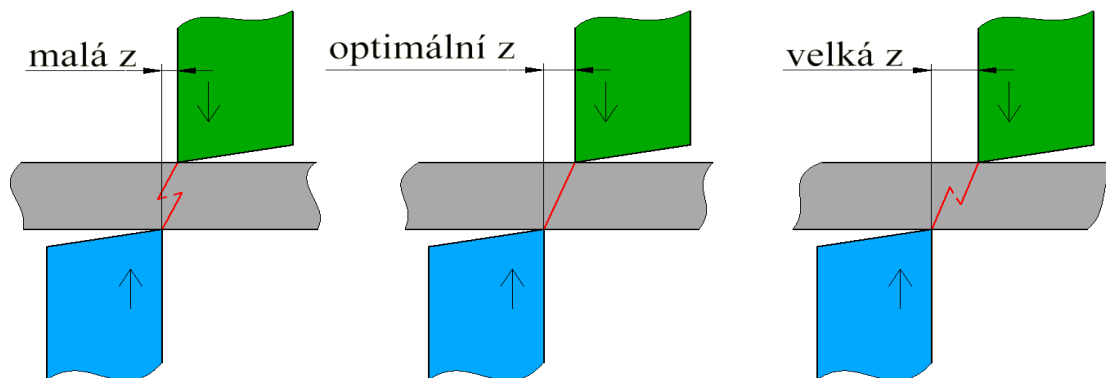
s – tloušťka stříhaného materiálu [mm].

Součinitelem "c" lze ovlivnit kvalitu stříhu. Při volbě spodní hranice lze dosáhnout vysoké kvality, naopak volbou horní hranice je dosahováno menší síly. Největší význam na velikost střížné vůle má tloušťka a druh stříhaného materiálu. Tato závislost je zobrazena na obr. 22, kde je patrné, že se zvětšující se tloušťkou materiálu se zvětšuje i střížná vůle. Dle velikosti střížné mezery (z) mezi střížníkem a střížnicí mohou nastat tři případy. Pokud je střížná mezera malá dochází k šíření trhlinek ve dvou různých směrech, což ovlivňuje kvalitu střížné plochy a také zvyšuje střížnou sílu a práci. Velká střížná mezera zapříčiní vznik sekundární trhliny, rovněž dochází k zvyšování



Obr. 22 Střížná vůle v závislosti na tloušťce materiálu [33]

síly a práce. Dochází k oddělení lomem, to vede ke vzniku nerovného povrchu a zhoršení kvality střížné plochy. V obou případech je stříh nekvalitní. Jedinou správnou cestou je nastavení velikosti střížné mezery dle vzorce 3.3 případně 3.4, kdy se po nástřihu trhliny šíří tak, že se potkají. Všechny tři varianty jsou vidět na obr. 23.

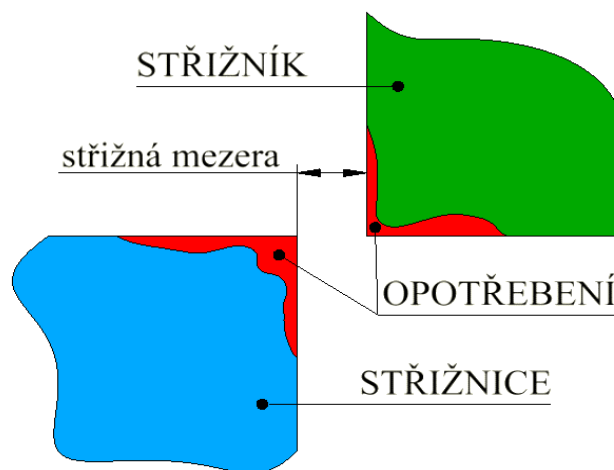


Obr. 23 Případy nastavení střížné mezery – z [43]

3.3 Životnost střížného nástroje [29], [31], [34], [36], [37]

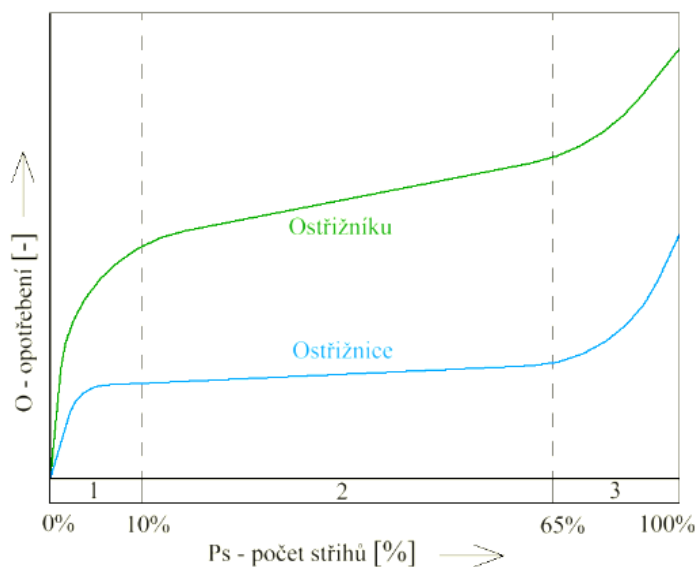
Trvanlivost a životnost funkčních částí nástroje (střížník, střížnice, přidržovač, vyhazovač) závisí na mnoha faktorech. Největší vliv má výběr nástrojového materiálu a následné tepelné zpracování. Do úvahy se musí brát tloušťka a tvar stříhaného materiálu. Vhodnou povrchovou úpravou funkčních ploch se výrazně zvyšuje životnost nástroje. Ať už se jedná o chemicko-tepelné zpracování (cementace, nitridace) nebo povlakování. Trvanlivost funkčních částí, tj. čas, po který nástroj pracuje od naostření až po otupení, se výrazně liší, ale je dáno, že životnost střížnice je třikrát až čtyřikrát větší než u střížníků. Při renovaci čela střížníku, případně dosedací plochy střížnice, se musí uvažovat úbytek materiálu, tj. zkrácení funkční délky střížníku. Životnost je posuzována z hlediska počtu vyrobených výstřížků o požadovaných rozměrech a kvalitě. Pokud již nejdou činné části nástroje přebrousit případně opravit, nástroj je opotřebován a vyřazen.

Jestliže je způsoben úbytek materiálu na činných plochách střížníku a střížnice, jedná se o opotřebování nástroje. To se projevuje otěrem boku činné plochy nebo žlábkovitým vymíláním čela. Oba uvedené typy opotřebování se v praxi vyskytují ve smíšené formě, jak je znázorněno na obr. 24. Opotřebování nastává, když vniká střížník do plechu a jeho okrajová vlákna se prodlužují a materiál se zpevňuje. Na nástroj jsou vyvíjeny vysoké tlaky, které vlivem abraze a adheze způsobují opotřebování. Adheze převládá u stříhání, abraze u lisování.



Obr. 24 Opotřebování na nástroji [36]

Velikost opotřebení neroste lineárně, ale má obecný průběh, který je podrobně znázorněn na obr. 25. U křivky opotřebení střížníku i střížnice je vidět podobný průběh, ale liší se ve strmosti. Obě křivky lze rozdělit na tři pásma. V prvním úseku dochází k rychlému otupení nabroušených nástrojů. Ve druhém je opotřebování pomalejší, jelikož se zvětšily střížné plochy



Obr. 25 Křivka opotřebení [36]

a poklesl tlak působící na plochu. Extrémně strmé opotřebení v úseku tři je způsobenou změnou procesu deformace. Nastává superpozice střížné síly a síly přechovací v procesu protlačování výstřížku. Při tom probíhá objemové tváření části materiálu ve střížném obvodu. Výsledkem 3 fáze je zvýšení střížné síly vlivem zvyšujícího se zpevnění, tření a většího stupně tváření materiálu. Křivka má obdobný průběh i pro různé materiály. Pojmem trvanlivost je myšlena doba mezi dvěma přebroušeními, zatímco životnost je součet všech trvanlivostí.

Životnost nástroje ovlivňuje:

- tvar a velikost výstřížku – poměr střížného obvodu vůči tloušťce a tvrdosti,
- typ a kvalita nástroje – geometrie, provedení a preciznost výroby,
- namáhání a stav lisu – druh vedení, velikost pružení,
- údržba – seřízení a ustavení nástroje,
- vystřihovaný materiál – druh a velikost.

3.3.1 Závady střížných nástrojů [29], [34]

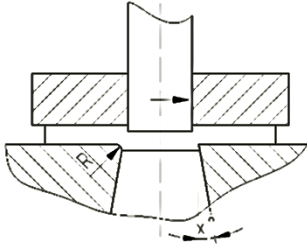
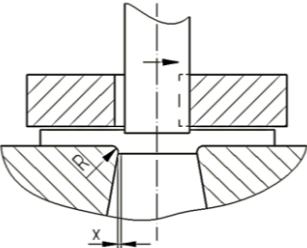
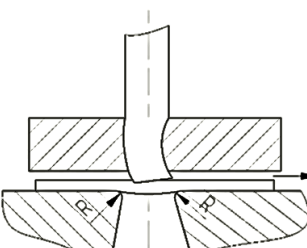
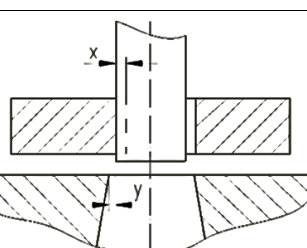
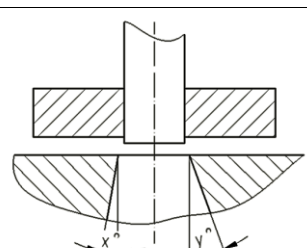
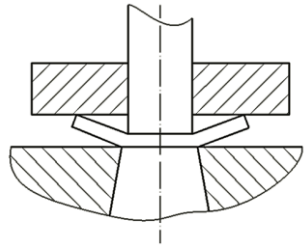
Závady na nástrojích jsou nejčastěji způsobovány nesprávným seřízením, typem výroby, špatnou kvalitou stříhaného materiálu, opotřebováním nástrojů i vedením stroje. Např. špatným tepelným zpracováním nemá střížník požadovanou tvrdost, což vede k předčasnému opotřebení nebo k plastifikaci nástroje. Nepřesným vystředěním dojde k nerovnoměrné stranové mezeře, v nejhorším případě otěru střížníku po hraně střížnice, to může vést nejen ke zničení nástrojů, ale i k poničení stroje. Za těchto předpokladů je nutné dbát na bezpečnost obsluhy a pracovníku v blízkosti stroje. I po dokonalém seřízení a výrobě se časem projeví vliv otupení. Za tupé nástroje se považují střížníky, kde maximální dovolené otupení (zaoblení hrany) je dáno:

$$R_{\max} \geq 0,1 \cdot s \text{ [mm]} \quad (3.5)$$

Ze vzorce 3.5 je zřejmé, že při stříhání tloušťky materiálu 5 mm je maximální dovolené otupení 0,5 mm. Pokud je opotřebení větší, tak se zvětšuje střížná síla, klesá kvalita střížné plochy atd. Problém nastává při kontrole střížníku, kdy tak malé otupení nelze na místě vyhodnotit. Řešením je nástroj vyjmout a hranu si zvětšit a zároveň i změřit na mikroskopu. Toto řešení je velice přesné, ale zároveň i časově náročné.

V následující tab. 4 jsou uvedeny některé z mnoha možných závad, a to jak při seřízení, tak i při výrobě samotného střížníku.

Tab. 4 Závady při stříhání a jejich důsledky. [29]

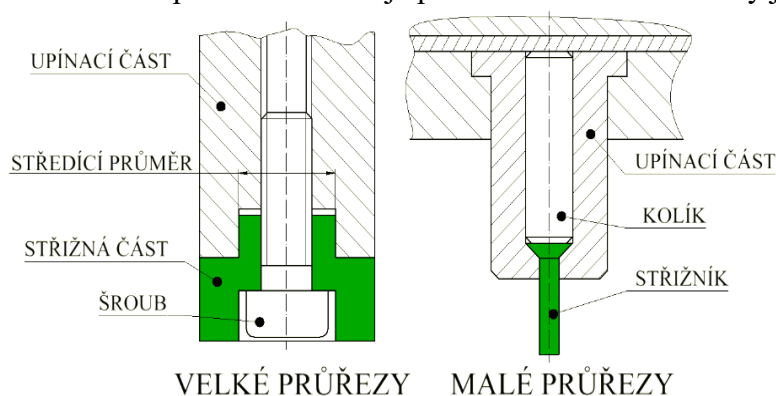
Schéma	Závada	Důsledek závady
	<p>nerovnoměrná tvrdost střížných hran</p>	<p>vznik bočních tlaků, jednostranné opotřebení vodící desky, riziko vylovení střížné hrany</p>
	<p>nestejná střížná vůle, volně lícovaná vodící deska</p>	<p>vznik bočních tlaků, výstřížek má jednostranné ostří, poruchy při centrování polotovaru, jednostranné otupení střížnice</p>
	<p>deformace střížníku při tepelném zpracování</p>	<p>vznik bočních tlaků, výstřížek má jednostranné ostří, poruchy při podávání, jednostranné otupení střížnice</p>
	<p>velká vůle ve vodící desce, i ve střížnici</p>	<p>nepřesné výstřížky, velké ostří, větší spotřeba energie, časté poruchy</p>
	<p>střížný otvor nemá stejný úkos</p>	<p>proti střížníku je vyvíjen velký odpor, výstřížky se hromadí ve střížnici až dochází k zadření a případnému zlomení střížníku</p>
	<p>nadměrná vůle mezi přidržovačem a střížnicí</p>	<p>materiál je deformován, významné otupení střížnice s tím klesá i celková životnost</p>

3.4 Konstrukce střižníku [30], [35], [43], [46], [51]

Při konstrukčním řešení funkčních částí střižného nástroje je nutné zaměřit se na správné ustavení a výrobní přesnost jednotlivých dílů nástroje. Pozornost je především soustředěna na střižník, střižnici a jejich upínání.

Střižník musí mít dostatečnou délku na ostření, být kolmý k plechu, zalícovaný v kotevní desce, odmagnetizovaný a souosý. Malé průměry střižníků jsou zpravidla z jednoho kusu nástrojové oceli, oproti velkým průměrům, které jsou tvořeny dvěma částmi. Část upínací není vyrobena z drahé nástrojové oceli, ale z konstrukční oceli, ke které je pomocí šroubu upevněna část střižná a je centrovaná pomocí středícího průměru. Pokud je průměr střižníku moc malý je možné upravit konstrukční řešení pomocí upínací části a kolíku.

Střižníky složené pro velké a malé průměry jsou zobrazeny na obr. 26. Nejčastějším typem upnutí střižníku je osazení, které může být válcové nebo kuželové, další používané způsoby jsou: roznýtování, sešroubování, pomocí kuličky (rychloupínání), případně zalitím pryskyřicí.



Obr. 26 Střižníky složené [43]

Jedna ze zásad při navrhování střižníku je i jeho kontrola na vzpěr. Postup při výpočtu je takový, že nejdříve se vypočítá kritická síla a z kritické síly dle Eulera se odvodí maximální volná délka střižníku.

Vzorec pro kritickou sílu je:

$$F_{krit} = n_b \cdot F_s [N], \quad (3.6)$$

kde: n_b – koeficient bezpečnosti, volí se 2 až 3 [-],

F_s – střižná síla [N].

Vzorec pro kritickou sílu dle Eulera:

$$F_{krit} = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{l_{red}^2} [N], \quad (3.7)$$

kde: I – kvadratický moment průřezu, pro kruh $I = \frac{\pi \cdot D^4}{64} [mm^4]$,

l_{red} – redukovaná délka, $l_{red} = \mu \cdot l_{krit} [mm]$,

kde: μ – koeficient [-], závisí na stupni namáhání střižníku, vedený ve vodící desce $\mu = 0,5$, nevedený $\mu = 2$,

l_{krit} – kritická délka střižníku [mm].

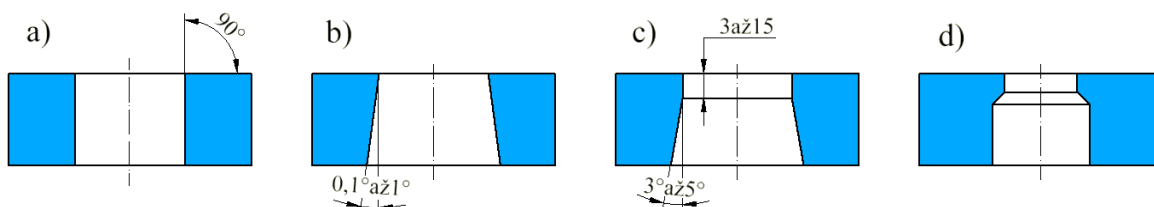
Maximální volná délka je odvozena ze vzorce pro kritickou vzpěrnou sílu dle Eulera, do kterého se dosadí za l_{red} a F_{krit} :

$$n_b \cdot F_s = \frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu^2 \cdot l_{krit}^2} \rightarrow l_{krit} = \sqrt{\frac{\pi^2 \cdot E \cdot I}{\mu^2 \cdot n_b \cdot F_s}} [mm]. \quad (3.8)$$

3.5 Konstrukce střížnice [43], [44], [45], [46], [47], [56]

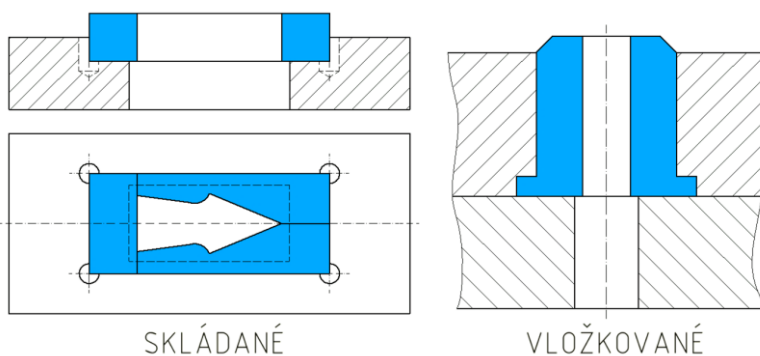
Střížnice musí být broušená, bez přechodů a správně zalícovaná v základové desce. Patří mezi nejdražší součásti střížného nástroje, jelikož jsou na ni kladeny vysoké požadavky při výrobě. Lze ji vyrobit z jednoho kusu nástrojové oceli nebo z více kusů, jejíž výsledný tvar má podobu výstřížku. Rozdělují se na celistvé, skládané a vložkované.

- Celistvé jsou použity tam, kde dochází k vystřihování jednoduchých otvorů, menších rozměrů, u kterých se dají odstranit deformace po kalení. Složité tvary jsou prvně tepelně zpracovány a poté se tvar zhotoví pomocí drátového řezání. Rozdělují se na válcové (a), kuželové (b), kuželové s válcovou fazetou (c) a prizmatické (d), všechny typy jsou schematicky znázorněny na obr. 27, z nichž je nejvíce používána střížnice kuželová s válcovou fazetou, a to díky dlouhé životnosti a vysoké přesnosti vystřihovaných dílů. Kuželový otvor je určený pro výrobu menších sérií, jelikož dochází k otupení břitu a zvětšování průměru, což způsobí nepřesné výstřížky. Pro malé díry a velkou sériovost je určena střížnice prizmatická.



Obr. 27 Schematicky znázorněné tvary celistvých střížnic [46], [47]

- Skládaná střížnice je složena z několika menších částí, které dohromady tvoří požadovaný tvar. Její výroba je levnější a snazší, než kdyby se vyráběla jako celistvá, má vyšší životnost, dosahuje menší zmetkovitosti a má snadnější údržbu.
- Vložkování střížnic se využívá při stříhání rozměrných a složitých výstřížků. Vložky musí být zajištěny proti vysunutí při zpětném pohybu střížníku, a to například zalisováním nebo osazením. V principu jde o nahrazení měkkých částí střížnic kalenými vložkami nebo vložkami ze slinutých karbidů. Ukázky konstrukčního řešení skládaných a vložkovaných střížnic je na obr. 28.



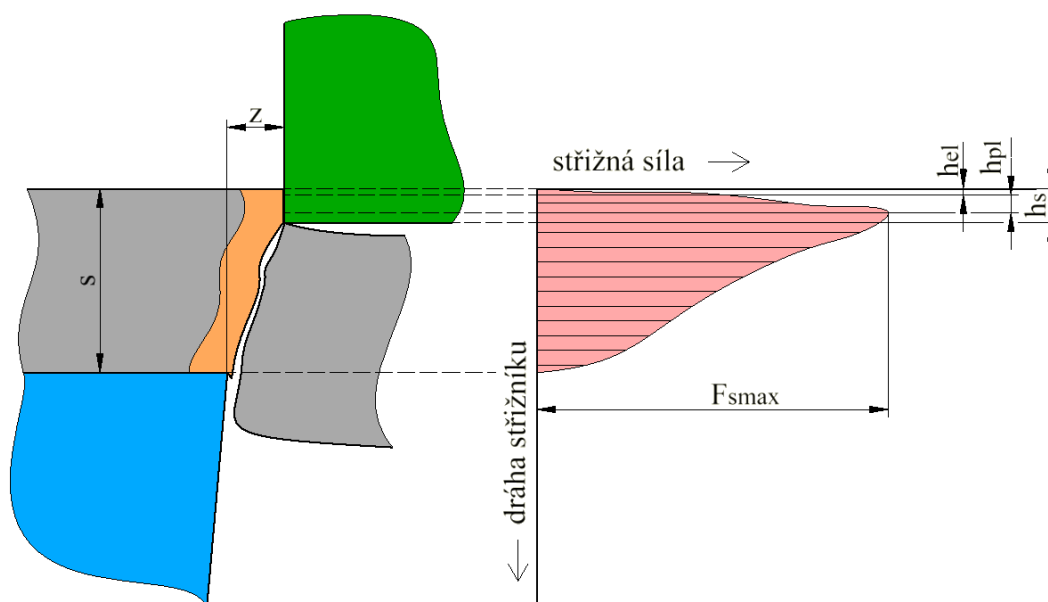
Obr. 28 Konstrukční řešení skládaných a vložkovaných střížnic [47]

Materiály na výrobu střížnic a střížníků jsou zpravidla nástrojové oceli třídy 19. Pokud je zapotřebí zvýšit otěruvzdornost (životnost) mohou být vyráběny ze slinutých karbidů. Obvykle jsou tedy použity oceli nástrojové uhlíkové 19 191, 19 312, 19 436 případně 19 437. V ojedinělých případech lze použít rychlořeznou ocel 19 830. Pro zvýšení tvrdosti a otěruvzdornosti jsou tepelně zpracovány. Nástrojové oceli musí zajistit stanovené mechanické vlastnosti (minimální mez kluzu, pevnost v tahu a tvrdost). V mnoha případech musí splňovat

i specifické vlastnosti, jako jsou prokalitelnost, řezivost, teplotní a rozměrovou stálost. Tudiž nároky, jež jsou na tyto oceli kladené, jsou často protichůdné. Někdy je dáván nárok na vysokou tvrdost a pevnost, ale u jiných je cílem dosáhnout vyšší houževnatosti. Obecně je požadována vysoká odolnost proti abrazivnímu i adhezivnímu opotřebení. U nástrojových ocelí pracujících za tepla musí být zmiňované vlastnosti zaručeny i za zvýšených teplot. Na chemické složení je dáván velký důraz, musí mít vysokou čistotu, tedy nízký podíl nežádoucích částic a rovnoměrně rozložené karbidy v matici.

3.6 Střížná síla [31], [42], [44], [48]

Samotné ustřížení materiálu je podmíněno působením střížné síly. V závislosti na její velikosti lze navrhnout konstrukci nástroje i volbu stroje. V reálných podmínkách nedochází k čistému smyku, ale ke kombinovanému namáhání, proto se síla navyšuje nejčastěji o 50 %. Na obr. 29 je znázorněn její průběh, který se v závislosti na hloubce vniknutí střížné hrany



Obr. 29 Průběh střížné síly [44]

"h" mění. V prvních fázích stříhu, kdy dochází k pružné deformaci až do hloubky "h_{e1}" síla strmě vzrůstá. Následuje oblast plastických deformací "h_{pl}", kde její nárůst pokračuje až do vzniku trhlinek. Trhlinky jsou způsobovány důsledkem deformačního zpevnování materiálu. V tomto místě dosahuje také svého maxima. Od tohoto okamžiku mírně klesá, až dosáhne hloubky vniknutí "h_s". V tomto okamžiku dochází k razantnímu poklesu síly a vzniku lomu ve tvaru "S". Jelikož v posledním kroku dochází ke tření mezi oddělenými plochami materiálu, tedy mezi výstřížkem a střížnicí, není pokles síly tak strmý, jako její růst. Velikost střížné síly závisí na střížné mezeře, naostření střížných hran, úhlu sklonu střížných hran, pevnosti stříhaného materiálu, hloubce vniknutí střížníku a vypočítá se dle vztahu:

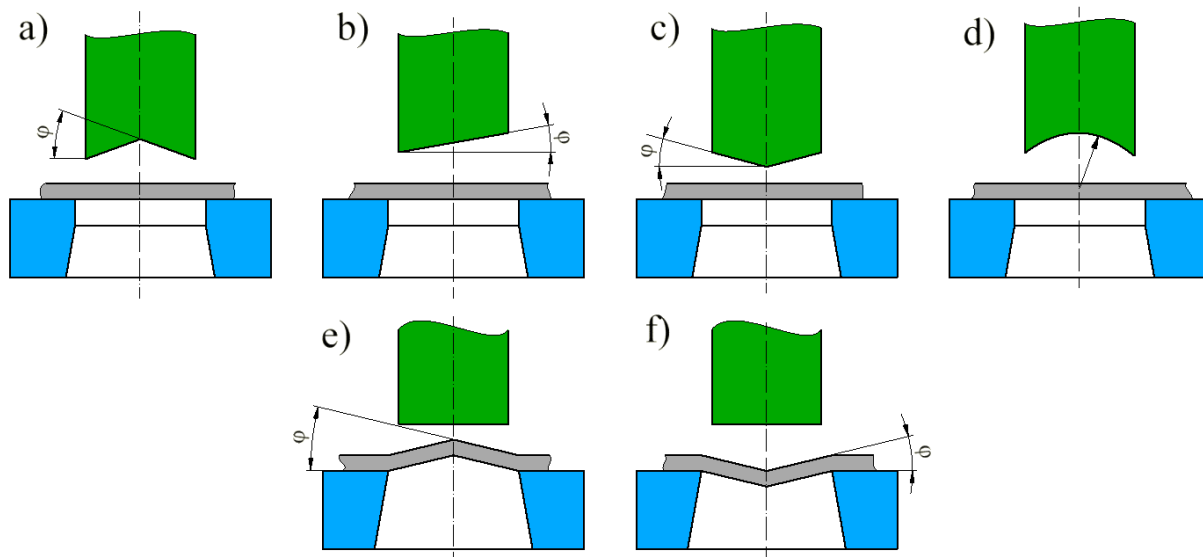
$$F_s = k_{on} \cdot \tau_s \cdot S = k_{on} \cdot 0,8 \cdot R_m \cdot s \cdot L_s [N], \quad (3.9)$$

kde: k_{on} – koeficient otupení nástroje (1,1 až 1,3) [-],

S – střížná plocha [mm²],

L_s – délka stříhu (obvod střížníku) [mm].

Hodnota střížné síly se dá různými modifikacemi zmenšit. Mezi ně patří zejména zkosení střížníku a střížnice, či jiné tvarové úpravy, které jsou znázorněny na obr. 30, kde představuje oboustranné zkosení (a, c), jednostranné zkosení (b), zaoblení (d) a zkosení střížnice (e, f).



Obr. 30 Tvarové úpravy střížníku a střížnice [31], [44]

Střížná síla se zmiňovanými úpravami zmenší až o 40 %. Při vystřihování součásti je úkos na střížnici oproti děrování, kde je úkos na střížníku. Velikost úhlu zkosení " φ " se stanoví dle tloušťky stříhaného materiálu následovně:

- pro materiály do tloušťky plechu 3 mm: $\varphi = 5^\circ$
- pro materiály o tloušťce plechu nad 3 mm: $\varphi = 5^\circ$ až 8°

Dalším způsobem, jak zmenšit střížnou sílu jsou odstupňované střížníky. Při procesu stříhání dosedají na stříhaný materiál postupně. Dochází k rozložení celkové síly na několik menších, a to tak, aby žádný z postupných stříhů nepřekročil maximální sílu lisu.

3.6.1 Střížný odpor [17], [34], [35]

Deformační odpor ve stříhu, v literatuře nazývaný též jako střížný odpor nebo napětí ve stříhu τ_s , zahrnuje, jak vliv mechanických vlastností stříhaného materiálu, tak tvar a velikost střížné plochy. Pohybuje se v rozmezí $(0,55 \text{ až } 0,9) \cdot R_m$, a to dle druhu materiálu a tloušťky plechu, avšak nejčastěji je používáno $0,8 \cdot R_m$. Obecně lze říci, že roste s klesající tvárností a vyšší pevností, naopak zmenšuje se s rostoucí tloušťkou, neboť silnější materiály vykazují vyšší tvárnost a menší zpevnění. Na jeho velikost má vliv střížná vůle, kdy nejmenšího odporu je dosaženo při optimální vůli. Pod pojmem střížný odpor je myšlen odpor stříhaného materiálu vůči přetvoření s následným oddělením. Kromě zmiňovaných činitelů může být střížný odpor ovlivněn tvarem křivky stříhu, rozměry křivky stříhu, konstrukcí stříhadla, podmínkami při stříhání (rychlost, mazání, stav střížných hran, tvar střížnice) a tření mezi výstřížkem a bokem střížné hrany. Hodnotu střížného odporu lze stanovit pomocí empirických vztahů nebo následujícího vzorce:

$$\tau_s = \frac{F_s}{S} [MPa]. \quad (3.10)$$

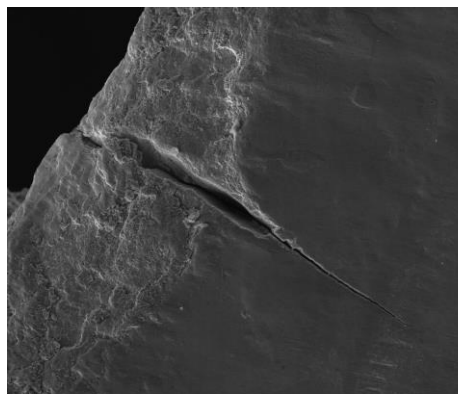
3.7 Příčiny porušení nástrojů [56], [57], [58], [59], [60], [61]

Při procesu tváření ocelí se objevuje řada negativních jevů, jedním z nich je degradace povrchu nástroje. Nástrojové oceli podléhají zpravidla kombinovanému tepelně-mechanickému namáhání. Do mechanismu opotřebení lze zařadit:

- tepelnou únavu,
- mechanické opotřebení,
- oxidaci.

Zmiňované jevy probíhají na povrchu nástroje. Aby bylo zabráněno těmto účinkům je důležité zaměřit se na povrchovou vrstvu, která je v tloušťce několika milimetrů. Cílem tedy je zabránit těmto mechanismům, a to při jejich vzniku, tak i samotnému šíření. Dále jsou popsány mechanismy opotřebení podrobněji.

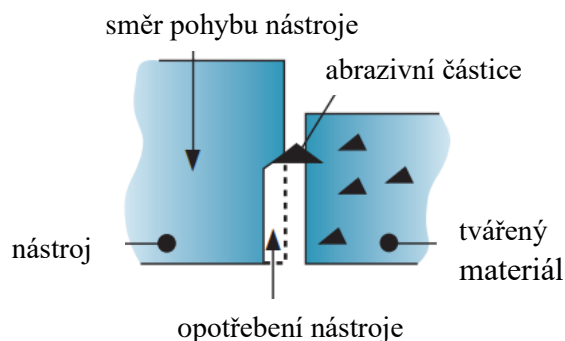
- Tepelná únava – je zapříčiněna velkými teplotními gradienty při práci za tepla (cyklické změny teploty), jež mají za následek střídání tahového a tlakového namáhání. Při působení tepla na povrch materiálu se horní vrstva nástroje roztahuje, zatímco vrstvy pod povrchem jsou studené a roztahování brání. Tím dochází ke vzniku tlakového napětí. Při obráceném procesu, kterým je ochlazování se napětí mění na tahové. Pokud je větší, než mez kluzu zapříčiní plastickou deformaci, což vede k nežádoucí změně tvaru nástroje. Další fází je vznik mikrotrhlin, které postupně rostou a šíří se ve směru kolmém na povrch, tím dojde k prasknutí (zlomení) nástroje. Velký vliv na šíření únavových trhlin má především tvrdost materiálu, čím tvrdší materiál je, tím má vyšší odolnost proti plastické deformaci. Proto je u tvrdých materiálu pozorována nižší rychlost šíření únavových trhlin. Nejčastěji se zkoušky tepelné únavy provádějí na klínovém vzorku za předem definovaných podmínek. Ukázka trhliny, jež je způsobena tepelnou únavou je na obr. 31.



Obr. 31 Trhlina způsobená tepelnou únavou [61]

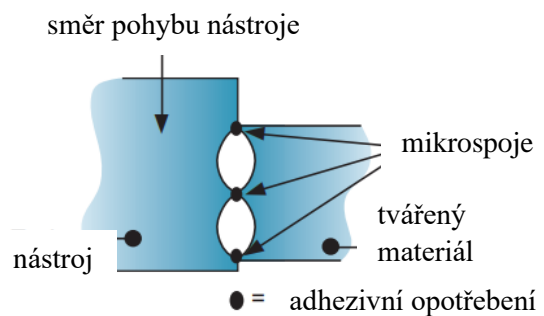
- Mechanické opotřebení – je častý mechanismus opotřebení, který vzniká při kontaktu ploch nástroje s opracovávanou součástí. Částice hmoty jsou přemísťovány nebo odstraněny, to má za následek úbytek materiálu a zhoršení kvality povrchu. Mechanické opotřebení lze dále členit na abrazivní, adhezivní, únavové, vibrační, erozivní a kavitační. Dále jsou popsány první tři opotřebení, jež jsou stěžejní pro tuto práci.

- Abrazivní opotřebení – neboli abraze je brusný ořez při kontaktu dvou ploch, které se vůči sobě pohybují. Omíláním nástroje tvrdými částicemi dochází ke stírání vrstvy ve směru třecích sil. Jako abrazivní částice nejčastěji slouží vměštky, které jsou obsaženy ve tvářeném materiálu nebo nečistoty z okolního prostředí. Princip abraze je popsán na obr. 32.



Obr. 32 Abrazivní opotřebení nástroje [60]

- Adhezivní opotřebenění – také nazývaná adheze. Při tomto jevu dochází ke kontaktu (styku) nejvyšších nerovností nástroje a tvářeného materiálu, viz obr. 33. Za působení velkého tlaku a teploty na povrchové vrstvy dochází ke vzniku mikrospoje. Po přerušení vazby se uvolní úlomky, které se stávají abrazivními částicemi. Ty mohou dále způsobovat mikrotrhliny a rýhování povrchu.



Obr. 33 Adhezivní opotřebenění nástroje [60]

- Kontaktní únava – jejíž vznik je na malých styčných plochách, typickým příkladem z praxe je styk konvexní a konkávní plochy při válcování. V tomto místě vznikají obrovské tlaky v řádech jednotek GPa. K tvorbě mikrotrhlin dochází, pokud se styčné plochy dostávají do kontaktu s tvrdými a ostrými částicemi nebo nečistotami. Postupně nastává spojování mikrotrhlin, které se spojují do větších trhlin. Tím dojde k lomu materiálu. Od tepelných trhlin se odlišují směrem šíření trhlin. Kontaktní trhliny mají směr šíření od 0° do 30° (k tečně povrchu), zatímco tepelné trhliny se šíří ve směru kolmém na povrch. Tento druh opotřebenění lze omezit vhodným chemicko tepelným zpracováním (nitridací) a nízkou drsností povrchu.
- Oxidace – během které dochází k difuzi a chemickým změnám během pracovního postupu. Oxidační opotřebenění roste se zvyšující se teplotou, která působí na nástroj. Příkladem je válcování, kde se objevuje již při teplotách nad 250 °C. Šíření oxidů probíhá z povrchu, který je vystaven okolní oxidační atmosféře, do hloubky, kde se pohybují podél hranic zrn. Celková přítomnost vody a vodních par má vysoký vliv na oxidaci. Čím vyšší přítomnost, tím vyšší rychlost oxidace a přeměny materiálu v oxidy. Lze je vnímat dvojím způsobem, první je negativní. Křehké a tvrdé částice jsou umístěny na povrchu nástroje, kde usnadňují tvorbu a šíření trhlin do základního materiálu. Druhý pozitivní dopad se provádí záměrně. Spočívá ve zlepšení třecích vlastností povrchu, čímž se snižuje mechanická opotřebenění.

3.7.1 Otěruvzdorné povrchové vrstvy a povlaky [61], [62], [63], [64]

Povrchové úpravy jsou vytvářeny na kovových materiálech, z důvodu splňování podmínek jejich provozního nasazení. Spadají do širokého spektra technologických procesů, jenž tvoří povrchové vrstvy nebo povlaky s požadovanými vlastnostmi. Až v 80 % případů dochází k předčasnému opotřebenění strojů a strojních zařízení, a tím dochází k jejich porušení. Obvykle používané kovové materiály nemají požadovanou životnost, spolehlivost a ekonomickou efektivnost. Tyto možnosti nabízí pouze kompozitní materiály, jenž kombinují zpravidla protichůdné vlastnosti, jako je houževnatost a plasticita u kovových materiálu a tvrdost s pevností u materiálů keramických. Jedním z možných systémů je aplikace otěruvzdorných povlaků nebo povrchových vrstev na povrch namáhané součásti. Rozdíl mezi vrstvou a povlakem je takový, že vrstva má přechod do základního materiálu kontinuální, zatímco u povlaku je přechod skokový. Jinak řečeno povlakem se rozumí zcela jiný materiál nanesený na povrch základního materiálu, zatímco povrchová vrstva vzniká modifikací povrchu základního. Povrchové úpravy zlepšují tribologické charakteristiky u kovů (tření, odolnost proti opotřebenění) a lze je rozdělit do 2 základních skupin:

- povrchové vrstvy a povlaky s vysokou tvrdostí, kde je výrazně snížen rozsah plastické mikrodeformace (obtížně narušitelný povrch). Koeficient tření se sníží na místech, kde dochází ke kontaktu povrchů bez maziva. Menší je jak tepelné, tak i mechanické namáhání.
- měkké a houževnaté povrchové vrstvy a povlaky, zde je cílem směřovat deformace i porušování do tenké vrstvy s vysokou plasticitou. Pod povrchovou vrstvou je základní materiál s vyšší pevností, který brání šíření plastické mikrodeformace tzn., že je zabraňováno v porušování materiálu do větší hloubky.

Další dělení je možné u povrchových úprav, které lze rozdělit na 3 základní skupiny: povrchové vrstvy, povlaky a duplexní povlaky. Dále budou detailněji rozebrány.

- Otěruvzdorné povrchové vrstvy lze vytvářet mechanickými, fyzikálními, chemicko-tepelnými a elektrochemickými procesy. Do mechanických procesů lze zahrnout kuličkování, válečkování, otryskání nebo speciální opracování leštěním, třením, hlazením, které zlepšují drsnost a pevnostní charakteristiku povrchu. Dále lze povrch kalit, a to pomocí obvyklých metod, které jsou běžně využívány v průmyslu, a to plamenem a indukcí nebo pomocí relativně nových technologií povrchového kalení laserem a elektronovým paprskem. Mezi chemicko-tepelné procesy patří cementace (sycení povrchu uhlíkem - C), nitridace (sycení povrchu dusíkem - N), bórování, difuzní sírování, vanadování nebo kombinací prvků docílíme karbonitridace nebo nitrocementace apod. Chemicko-tepelné zpracování (CHTZ) patří k základním procesům, pomocí kterých se docílí povrchových vrstev s příznivými tribologickými vlastnostmi. Anodizace patří do elektrochemického procesu. Aplikace je vhodná především pro Al a jeho slitiny, kdy se na povrchu vytváří vrstva tvrdého porézního oxidu Al_2O_3 , který lze sytit kapalným mazivem. Což částečně eliminuje špatné tribologické vlastnosti hliníku. Hlavní charakteristiky vybraných technologických procesů jsou v tab. 5.

Tab. 5 Charakteristiky technologických procesů pro vytvoření povrchových vrstev. [62]

technologie	teplota procesu [°C]	tloušťka povrchové vrstvy [μm]	základní materiál	tvrdost [HV]
kalení plamenem, indukcí	> A_{c3}	<2500	oceli, nízkolegované oceli	650
kalení laserem	> A_{c3}	<1500	oceli, litiny, kalitelné slitiny	650
cementace	850 až 950	<2000 (i více)	oceli s max. 0,3 %C	800 až 900
nitridace	450 až 550	100 až 650	oceli legované Cr, Mo, V, Al	500 až 1200
difuzní sírování	570 až 600	20 až 60	oceli, litiny	800
bórování	900	20 až 120 (max. 500)	nelegované oceli	1550 až 2000
vanadování	1000 až 1100	5 až 15	oceli > 0,4 %C	2500 až 3000
anodizace	10	<100	Al a slitiny Al	400 až 500

- Technologické procesy otěruvzdorných povlaků lze vytvářet tepelně-mechanicky (naválcování, detonační plátování), termickými nástřiky, odléváním (gravitační, odstředivé), tepelně-fyzikálními procesy (navařování, přitavení, procesy PVD), elektrochemickými procesy (katodové, elektroforetické) a tepelně-chemickými procesy (chemické niklování, metody CVD). Dále bude rozebrána pouze problematika PVD a CVD nanášení, které jsou pro tvářecí nástroje nejběžnější. Základem procesu CVD (Chemical Vapour Deposition) je chemická reakce plynných složek reakční směsi. Při dodávání tepelné energie a za různého tlaku se na povrch materiálu usazují pevné látky ve formě povlaku. Tento proces se děje při vysokých teplotách nad 800 °C (až 1200 °C). Při tomto tepelném ovlivnění dochází ke snížení mechanických vlastností, a proto se po skončení povlakovacího děje musí tepelně zpracovat ve vakuu. Využívá se především u nástrojů ze slinutých karbidů (povlakování vyměnitelných břitových destiček). Povlaky nemusí být jednovrstvé, zpravidla se přechází k vícevrstevným povlakům, jež mají mezivrstvy z různých chemických sloučenin. Tím se sníží rozdíl roztažnosti povlaku a základního materiálu. Hlavními výhodami jsou výborná přilnavost, homogenita povlaku, rovnoměrná tloušťka, teplotní stabilita a relativně nízká pořizovací cena. Jako nevýhodu lze brát již zmiňované ovlivnění vysokou teplotou (ve vrstvě vzniká tahové napětí), energetická a časová náročnost, není možné povlakovat ostré hrany a nemožnost kombinace různých kovů (např. TiAlN). PVD (Physical Vapour Deposition) patří mezi tepelně-fyzikální procesy. Nanáší se při nízkých pracovních teplotách okolo 200 °C až 550 °C a nízkého tlaku. Uzavřenou komoru vyplňuje inertní (Ar) a reaktivní plyn (N₂). Částičky atomů jsou uvolňovány ze zdroje pomocí fyzikálních metod, jež lze rozdělit na iontovou implementaci, naprašování a napařování. Tyto částičky se ionizují, začnou reagovat s atmosférou v komoře a jsou urychleny záporným předpětím. Dopadající atomy na základní materiál tak tvoří tenké vrstvy homogenního povlaku. Mezi výhody PVD povlakování patří: nedochází k tepelnému ovlivnění, ekologičtější, kombinace různých typů vrstev (kluzné a otěruvzdorné) a umožňuje povlakovat ostří nástrojů. Nevýhodou je složitost zařízení (vakuový systém) a pořizovací cena. Aby bylo docíleno rovnoměrného povlaku je důležité s nástrojem pohybovat. Přehled charakteristik je v tab. 6.

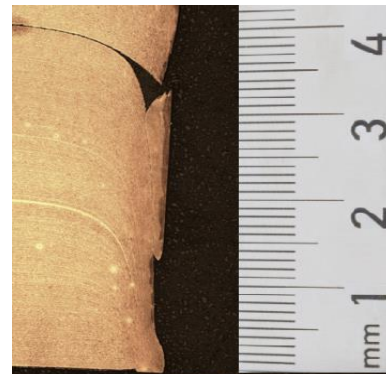
Tab. 6 Charakteristiky technologických procesů pro vytvoření povlaků. [62]

technologie	teplota procesu [°C]	tloušťka povlaku [μm]	základní materiál	tvrdost [HV]
navařování	> T _{tav}	> 250	oceli, slitiny kovů	dle chem. složení návaru
CVD	> 800	< 10	SK – slinutý karbid, oceli	1800 až 5200*
PVD	200 až 550	2 až 4	oceli, SK	2300 až 3000

- Duplexní povlaky vznikají spojením výše jmenovaných procesů. Např. iontové směšování (ion-beam mixing) nebo proces IBAD (ion-beam assisted deposition), jež kombinují PVD proces s iontovou implantací, mohou mít konstantní nebo proměnné chemické složení. Na rozhraní mezi povlakem a základním materiálem se vytváří vrstva silná několik desítek nanometrů, což vede ke zvýšení adheze. Nevýhodou je vysoká pořizovací cena zařízení a pomalý růst povlaku.

4 PRAKTICKÁ ČÁST – EXPERIMENT

Praktická část je vypracována s nadnárodní firmou, jenž se zabývá výrobou komponentů do automobilového průmyslu. Během výroby stabilizátoru nastává řada problémů, jednou z nich je děrování otvorů, které se nachází na koncích stabilizátoru. V díře zůstává otřep materiálu na rozhraní dvou vrstev, znázorněný na obr. 34. V dalším procesu výroby tento nedostatek komplikuje manipulaci a montáž, proto je nutné jej odstranit. Proces děrování se provádí na stojanových C lisech. Jednoduchým řešením, jak odstranit tuto chybu je dvojitý zdvih, avšak krok navíc prodlužuje výrobní časy a při výrobě tisíce kusů týdně se tyto malé prodlevy nasčítají. Tento proces probíhá za tepla, kdy hrozí přilepení odpadu na čelo střížníku a následným vtisknutím odpadu do konce stabilizátoru. V procesu egalizace (kalibrace) je stabilizátor znehodnocen a považován za zmetek, jak je vidět na obr. 35. Navíc tloušťka stříhaného materiálu není vždy konstantní, ale mění se v závislosti na typu stabilizátoru od cca 5 mm až po 9 mm.



Obr. 34 Otřep v příčném řezu

Cílem je navrhnout takové řešení, které by odstranilo výše zmíněné problémy při samotném procesu výroby. Jedna z možných variant řešení je upravit čelo střížníku tak, aby díru vystříhl na jeden zdvih a modifikovat vyhazovač (odlepovák), jehož konstrukce není vhodně navržena a dochází k jeho zalamování uvnitř střížníku. Není možné zasahovat do výrobního procesu, jelikož změny v lise by byly finančně vysoké i technologicky obtížně realizovatelné. Nelze tedy upravit střížnici, upínání nástrojů a vedení, které by po optimalizaci mohli kvalitu otvoru zlepšit. V poslední řadě bude porovnána životnost původního a nového nástroje na základě provedených opakování a kvality díry. Dle výsledků bude doporučena nejlepší varianta v poměru cena/životnost/kvalita.



Obr. 35 Zalisování odpadu

4.1 Proces výroby stabilizátoru

Proces zploštění a vystříhnutí díry na konci stabilizátoru probíhá v řadě úkonů. Děje se tak na hydraulickém lise typu C (obr. 36), který je založen na principu rovnoměrného šíření tlaku v kapalinách. Jeho výhodami jsou automatizace výrobního procesu s přídatným zařízením, plynulé regulování rychlosti pohybu, konstantní tlak a možnost odebrání maximální síly při různém zdvihu. Mezi nevýhody patří složitost konstrukce (což vede k vyšším pořizovacím nákladům) a vyšší nároky na servis a opravy. Před vlastním děrováním probíhá řada kroků.







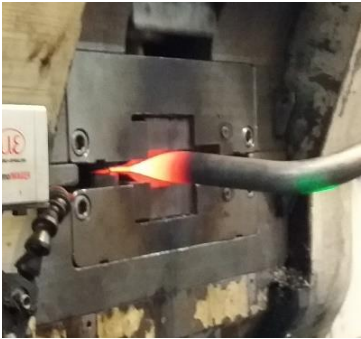
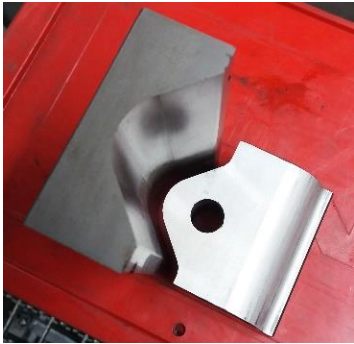

Nejprve je trubkový stabilizátor manuálně vložen na vstupní skluz, kde je možné naskládat několik desítek kusů. Poté přichází na řadu bezdotyková (laserová) kontrola průměru a vzápětí



Obr. 36 Hydraulický lis

tlaková kontrola těsnosti trubky. Pokud je nevyhovující průměr, případně trubka netěsní je vložena na stojan se zmetky. Následuje aplikace konzervantu dovnitř stabilizátoru, jedná se o směs olejů, které zabraňují korozi. Aby bylo docíleno lepší tvařitelnosti a menšího střížného odporu, je konec stabilizátoru indukčně ohřát na teplotu 750 °C, pak přichází na řadu pēchování, děrování otvoru, ostřížení hrany a egalizace. Přičemž teplota materiálu se při děrování pohybuje v rozmezí 650 °C až 680 °C. Před umístěním na výstupní skluz je provedena kontrola roztečí děr na speciálním přípravku. Přesun stabilizátoru mezi jednotlivými stanovišti zajišťují robotická ramena. Celý zmíněný postup je znázorněn v tab. 7, doložený o obrázek z každého kroku.

Tab. 7 Proces výroby pēchování a děrování konce stabilizátoru.

 <p>Vstup materiálu</p>	 <p>Kontrola průměru</p>	 <p>Tlaková kontrola</p>
 <p>Aplikace konzervantu</p>	 <p>Indukční ohřev</p>	 <p>Pēchování</p>
 <p>Děrování</p>	 <p>Ostřížení konce</p>	 <p>Kalibrace ploch</p>

 <p>Kontrola roztečí děr</p>	 <p>Výstupní skluz</p>	<p>Další operace tryskání</p>
---------------------------------------------------------------------------------------------------------------	----------------------------------------------------------------------------------------------------------	-------------------------------

4.2 Předpoklad tvorby otřepu

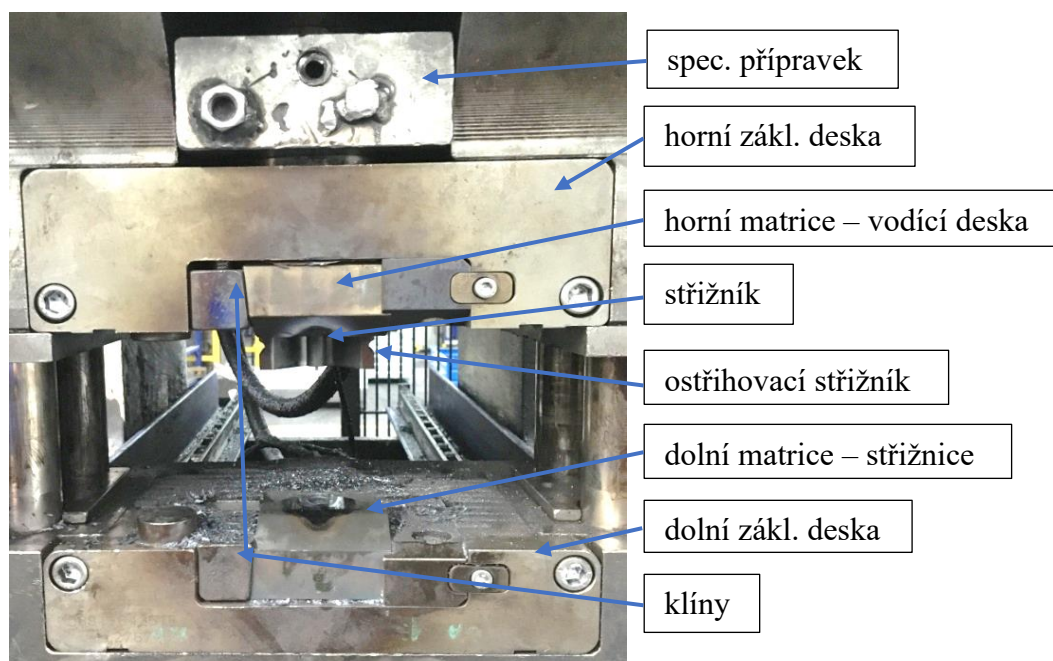
Stříhání je ve strojírenském oboru velice častou a používanou technologií. Ve většině případů dochází ke stříhání za pokojové teploty a pouze jedné vrstvy materiálu. Běžným polotovarem je tedy tabule nebo svitek plechu. Nejčastěji se používá stříhání k dělení materiálu nebo ke stříhání v postupových nástrojích. V našem případě dochází k pēchování, ostřížení, děrování a kalibraci v jednom nástroji, jedná se tedy o sdružený nástroj. Navíc je stříhaný materiál ohřát do oblasti austenitu a dalším neobvyklým faktorem je stříhání dvojité vrstvy. Spojíme-li výše uvedené úkony dohromady, zjistíme, že v tomto případě se jedná o velmi specifickou oblast, kde je spojeno více běžných technologií do jednoho nástroje.

Při pēchování trubky dochází ke stlačení dvou vrstev materiálu k sobě, to znamená, že se vytváří dvouvrstvý polotovar. V následujícím kroku probíhá děrování otvoru a ostřížení konce stabilizátoru, oba tyto úkony probíhají současně jedním zdvihem lisu. U ostřihování konce, kde je otevřená křivka stříhu, nevznikne otřep. Problémy nastávají při děrování kruhového otvoru o průměru 10,8 mm, kde dochází k pronikání střížníku dvojitou vrstvou ohřátého materiálu a křivka stříhu je uzavřená. Z teorie o průběhu stříhání je známo, že od hrany střížníku i střížnice se šíří trhlinky pod úhlem 45°. Až dojde ke spojení centrálních trhlin, tak nastane ustřížení v přesně dané ploše. Avšak při stříhání dvouvrstvého polotovaru, kde není známa žádná teorie, se domnívám, že se centrální trhliny nepotkají, jelikož se každá šíří v jiné vrstvě materiálu a není tak možné, aby se spojily. Když dochází k vnikání střížníku hlouběji, je odpad pod čelem více deformován a protlačován až nastane mezní stav a otvor je spíše vytlačen, než vystřihnout. Na rozhraní dvou vrstev vznikne otřep, který je druhým (přídavným) zdvihem odstraněn.

Nově zkonstruovaný střížník by měl tvorbě otřepu úplně předejít, případně jej odstranit při jednom zdvihy. Pokud se upraví tvar čela tak, že prostřihne vrchní (první) vrstvu a zároveň nastřihne i spodní (druhou), tak předpokládáme, že se trhlinky začnou šířit i ve spodní problémové vrstvě a stříh tak bude kvalitnější, což je první předpoklad. Druhou hypotézou je vystřihnout menší díru, než je požadovaný rozměr a nechat malý přídavek, který bude odstraněn následující střížnou hranou, tzv. přistřížením. To vše v jednom zdvihy, což by mohl zajistit odstupňovaný střížník. Účelem tedy bude nevystřihnout díru naráz, ale postupně ve dvou krocích. V prvním bude odstraněna většina materiálu a ve druhém kroku se díra vystřihne na přesný rozměr, tím že se odebere malý přídavek materiálu. S ohledem na tyto předpoklady budou konstruovány střížné nástroje tak, aby bylo docíleno zmiňovaných výsledků. Dále je nutné zajistit, aby vystřihovaný odpad nezůstal přilepený na čele střížníku.

4.3 Návrh geometrie střížníku

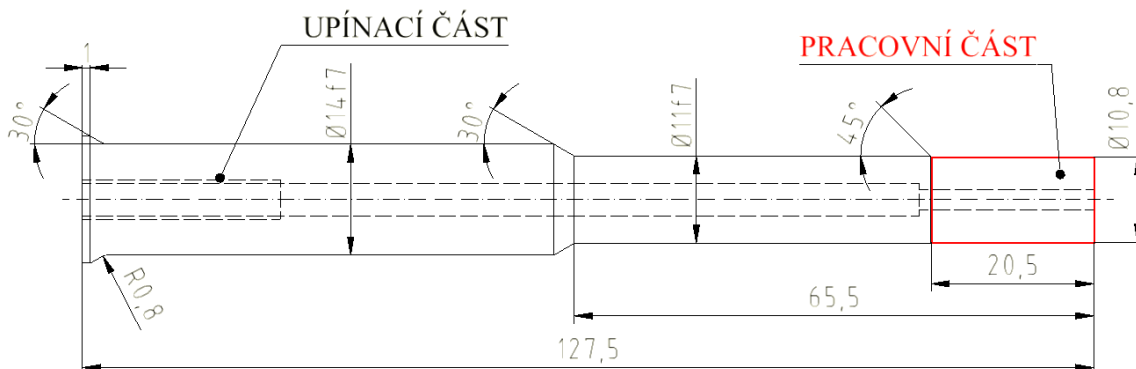
Upnutí střížníku a jeho správné vycentrování patří k náročnějším operacím celého výrobního procesu. Střížník s kuželovým osazením je zasunut do kotvící desky, která má tvar podkovy, a v níž je umístěn i ostříhovací střížník, který slouží k úpravě konce trubky. Vysunutí střížníku je zajištěno opěrnou deskou. Takto sešroubovaný díl je provlečen skrz základovou desku. Jelikož je střížník poměrně dlouhý vůči svému průměru, je zesponu k základové desce



Obr. 37 Uspořádání v prostoru lisu

přípevněna vodící deska pomocí šroubů a klínů, která slouží i jako matrice na pěchování konců stabilizátoru. Celá sestava je zasunuta do prostoru lisu a hlava beranu je spojena s opěrnou deskou pomocí speciálního přípravku. Spodní matrice, která představuje zároveň i střížnici, je upnuta obdobně do spodní části. Celé uspořádání prostoru lisu je popsáno na obr. 37.

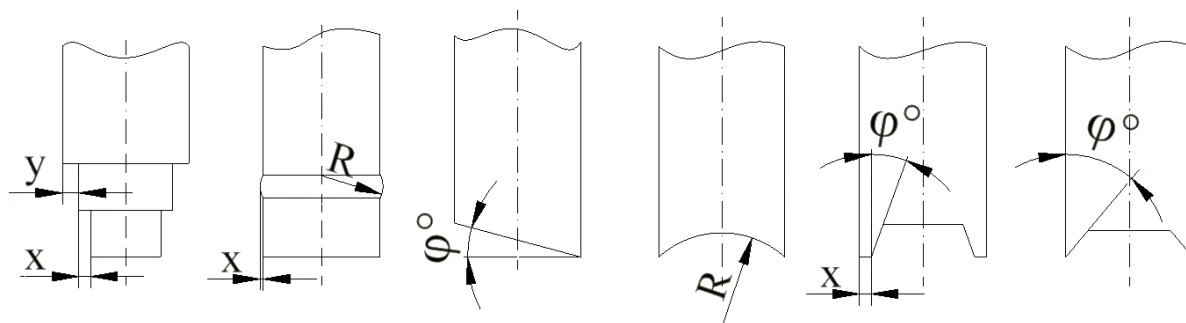
Střížník lze rozdělit na upínací a pracovní část. V našem případě zůstává upínací část totožná jako u původního typu, jelikož způsob upínání na hydraulický lis je jen jeden. Navrhovaná bude část pracovní, červeně vyznačena na obr. 38.



Obr. 38 Upínací a tvářecí část na střížném nástroji

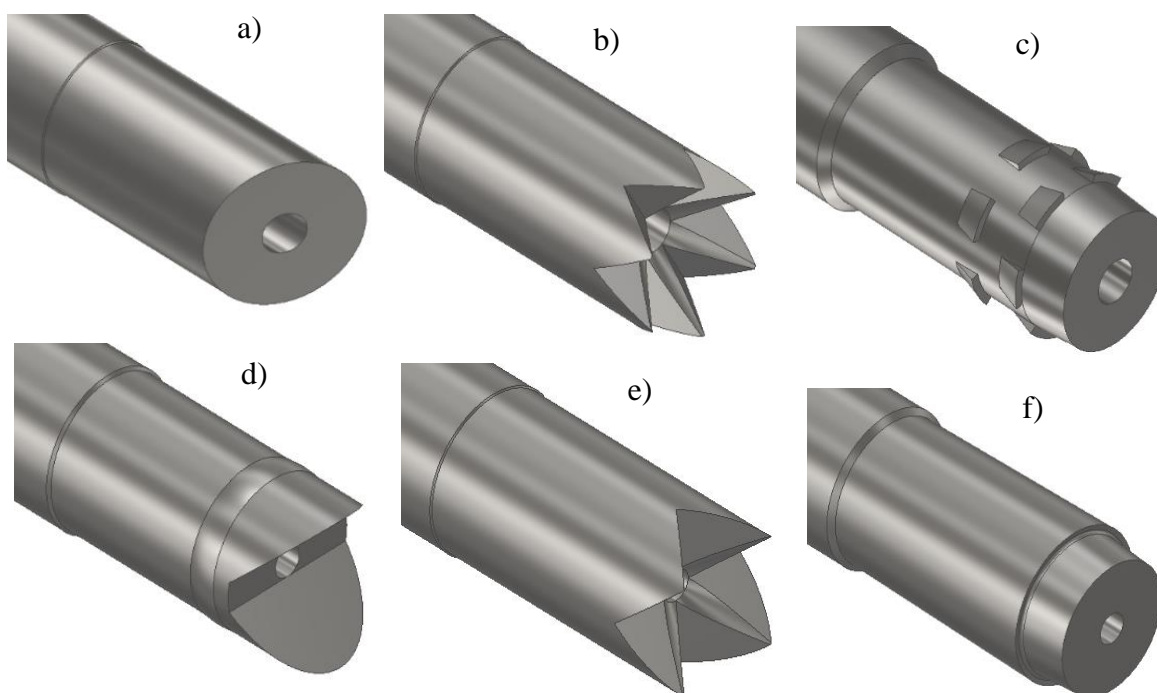
4.3.1 Tvar čela

V kapitole 3.6 je pojednáváno o úpravě čela střížníku za účelem snížení střížné síly, ať už se jedná o jednostranné nebo oboustranné zkosení případně i rádius. V našem případě se jedná o změnu tvaru čela se záměrem eliminovat vznik otřepu. Nejprve je načrtnuto několik základních tvarů, které jsou zobrazeny na obr. 39. Ty vycházejí z odstupňovaných, kalibrovacích, sešikmených, zaoblených a oboustranně zkosených střížníků jenž jsou uvedeny v některých použitých literaturách.



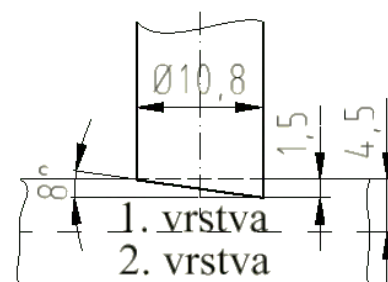
Obr. 39 Jednotlivé náčrtky tvaru čel

Z uvedených náčrtů jsou postupně navrhované komplikovanější tvary. Neustále je myšleno na předpoklad tvorby otřepu a jak efektivně docílit jeho odstranění. Po zvážení je vymodelováno několik návrhů (obr. 40) v programu Autodesk Inventor Professional 2019, pro lepší představivost ve 3D. Jak je vidět, ve všech je počítáno s vyhazovačem v ose střížníku. Dále bude u každého typu rozebrán předpoklad funkčnosti, výhody a nevýhody použití.



Obr. 40 Vymodelované návrhy ve 3D

- a) První návrh představuje klasický sešikmený střížník. Jelikož bude stříhána tloušťka větší než 3 mm, tak z kap. 3.6 vyplívá, že úhel by měl být 5° až 8° , tak malý úhel by u tloušťky materiálu až 9 mm a průměru nástroje 10,8 mm neměl v podstatě žádný vliv, což je znázorněno na obr. 41. Aby byla nastříhnuta druhá vrstva dřívě, než bude první vytlačena, musel by úhel být 23° . Při takovém úhlu by mohlo dojít k vyosení střížníku mimo osu střížnice. V nejhorším případě k odírání nástrojů válcovými plochami o sebe. Nespornou výhodou je snadná výroba a možnost přebrušování čela pod daným úhlem. Při malém úhlu čela by byla funkčnost zajištěna, otázkou je, zda by se zlepšila kvalita díry a nevznikl by otřep.
- b) S předpokladem nastříhnout druhou vrstvu dřívě, než začne být vytlačována, vznikl šesti-hrotý střížník. Hroty jsou symetricky rozmístěny po obvodu válce, které směřují do středu k díře vyhazovače. Předpokládá se postupné vnikání hrotů na více místech, zároveň s výsledným děrováním kruhového otvoru, kdy odpad bude značně přetvořen. Nevýhodou je náročnost vyrobení složité tvářecí části a nutnost přetvoření odpadu do složitého tvaru. Funkčnost je v tomto případě velkou neznámou, ale domnívám se, že kvalitu otvoru by to mohlo zlepšit.
- c) Třetí návrh je založen na principu postupném děrování. V první fázi bude vystříhnuta značná část díry a poté zůstane malý přídavek, který odstraní ve druhé fázi celkem dvanáct břitů umístěných ve dvou řadách, mezi kterými je mezera. V každé řadě bude šest břitů, ty se budou navzájem překrývat. Účelem každého je odstranit malý přídavek a na závěr zkalibrovat otvor. Výška každého břitu je 0,8 mm a jeho délka je 2,9 mm. U střížníku, jehož tvářecí část bude obzvláště složitá na výrobu hrozí, že břity umístěné po obvodu se vlivem tváření za tepla mohou rychle otupit a nebudou plnit předpokládanou funkčnost.
- d) Další typ střížníku vyplívá z návrhu a), při kterém hrozilo sklouzávání střížníku vlivem velkého úhlu čela na stranu. Sešikmení je přidáno i z druhé strany a vznikne oboustranně zkosený střížník s ploškou uprostřed, která je široká stejně jako průměr vyhazovače. Postupné vnikání do materiálu ze dvou stran by mohlo zajistit lepší kvalitu díry. Nad zmiňovanou částí je možné vidět kalibrovací úsek. Kalibrovací část nemá odebírat třísku, ale uhlazovat povrch díry a tím i odstranit otřep. Přídavek na kalibraci je velmi malý, a to 0,2 mm. Kalibrovací část je navržena s velkým rádiusem, aby přechod nebyl náhlý, ale postupný.
- e) Principem je tento návrh stejný jako tvar b) jen místo šesti hrotů jsou po obvodu rozmístěny čtyři. Tato změna byla navržena v důsledku zjednodušení výroby střížníku a zvětšení hrotů. Čtyři hroty jsou rozmístěny po 90° , které mezi sebou svírají úhel 80° . Nástroj je navrženy tak, aby od špičky hrotu až po díru vyhazovače byla výška 4,5 mm.
- f) Poslední typ představuje odstupňovaný nástroj, jehož konstrukce je jednodušší než u návrhu c). V délce 3,5 mm od čela vyhazovače je umístěn souvislý odstupňovaný břit po celém obvodu. Za kalibrovacím břitem není válcová část, ale část kuželová, tzn. při pohybu lisu dolů a nahoru nebude vznikat tření na celé válcové ploše, ale jen ve styku s odstupňovanou hranou.

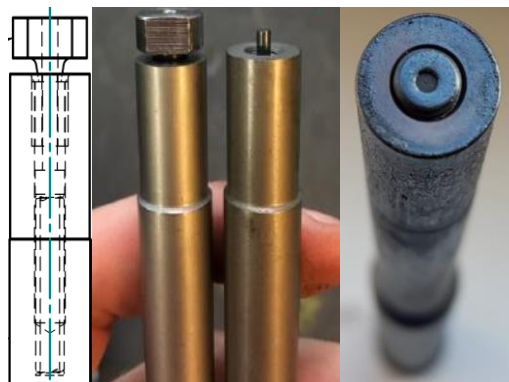


Obr. 41 Schéma stříhu sešikmeným nástrojem

Jak plyne z předešlého textu návrhy a) a d), b) a e), c) a f) jsou založeny na stejných předpokladech. Částečně se odlišují pouze v samotném tvaru čela. Po konzultaci jsou vybrány varianty d), e) a f), ty budou vyrobeny a následně otestovány na lisovacím stroji.

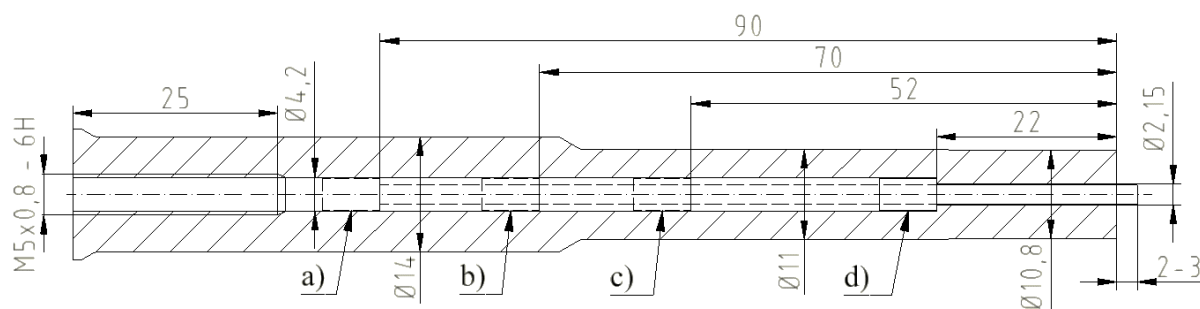
4.3.2 Konstrukce vyhazovače

Vyhazovač neboli odlepvák, je umístěn v neprůchozí díře v ose střížníku, jak je znázorněno na obr. 42. Do díry je vložena tlačná pružina a vyhazovač ve formě čepu. Konec je zašroubován speciálním šroubem, jehož délka závitu je stejně dlouhá jako délka závitu v konci střížníku a středem prochází vyhazovač. Po zašroubování celého závitu dojde ve zúžené části šroubu k ulomení hlavy šroubu a vyhazovač je uzavřen v díře střížníku. Během výrobního procesu dochází k zadrhávání, až dojde k jeho ulomení (obr. 42) a nefunkčnosti stírání odpadu z čela nástroje. Problémem je, že nelze vyhazovač vyměnit a k jeho zalomení dojde ještě před koncem životnosti samotného nástroje. Další velkou nevýhodou je, že čelo střížníku, pokud je rovné, nelze přebrousit. Vyhazovač nelze vyjmout, tak aby se střížník přebrousil a dále použil. Z těchto důvodů je důležité navrhnout novou konstrukci. Ta by měla zajistit bezproblémové stírání odpadu bez zadrhávání a zalomení. Pokud se vyhazovač zalomí, je nutné zajistit snadné vyjmutí a nahrazení. Řešením je vyrobit průchozí díru skrze celý nástroj a umístit do něj vyhazovač, tlačnou pružinu, stavěcí šroub, případně i rozpěrné válečky.



Obr. 42 Stávající typ sestavení

Byly vypracovány různé možnosti umístění hlavy vyhazovače od čela střížníku a), b), c) a d), jak je vidět na obr. 43. U varianty a) a b) je vyhazovač umístěn dále od čela a ve větším průměru (14 mm) upínací části. Hlavní výhodou je větší pevnost a tuhost celého nástroje. V těchto případech není zapotřebí použít rozpěrné válečky, které by vyplnily prostor od hlavy vyhazovače až k pružině, ale místo se využije na tlačnou pružinu a stavěcí šroub. Na druhou stranu je nutné vyrobit dlouhou průchozí díru o průměru 2,15 mm, což bude stěžejní operací při výrobě.



Obr. 43 Návrhy umístění vyhazovače

Návrhy c) a d) jsou umístěny blíže k čelu a v menším průměru (11 mm) nástroje. Hlava vyhazovače, která má průměr 4 mm, a pro kterou bude zhotoveno uložení s vůlí bude ve větší míře oslabovat stěnu nástroje více než v předešlých dvou případech. Pro vyplnění prostoru bude potřeba použít rozpěrné válečky. V tomto případě bude kratší díra o průměru 2,15 mm, ale dlouhá díra s průměrem 4,2 mm delší.

Jako nejvhodnější varianta se jeví umístění b), a to z těchto důvodů: díra o průměru 4,2 mm bude ve větším průměru střížníku, bude zde dostatek místa pro stavěcí šroub i tlačnou pružinu, nejsou zapotřebí rozpěrné válečky mezi hlavou vyhazovače a tlačnou pružinou, nejkratší možný průchozí otvor s průměrem 2,15 mm se nachází ve větším průměru.

Pro zajištění pružiny je zvolen stavěcí šroub s vnitřním šestihranem DIN 913 M5x20, dle potřeby i kratší. Tlačná pružina broušená, která má rozměry 0,5x3,3x30 (průměr drátu x vnější průměr pružiny x délka pružiny ve volném stavu), zajišťuje nezbytnou sílu vyhazovače k odstranění výstřížku z čela střížníku. Dle potřeby je možné pružinu stlačit stavěcím šroubem, tím se zmenší pracovní délka pružiny a zvětší se síla, která bude působit na vyhazovač. Přesah přes čelo střížníku je stanoven na 2 až 3 mm. Pokud dojde ke stlačení pružiny, může dojít k přetlaku uvnitř střížníku. Proto bude ve střížníku umístěn odvodušňovací otvor, který bude zhotoven do místa předpokládaného umístění pružiny.

4.3.3 Volba materiálu

Stávající střížníky jsou vyrobeny z nástrojové oceli ASP 2023, jejíž materiálový list je v příloze 1. Z materiálového listu vyplývá, že tato ocel je vhodná pro práci za studena, avšak k děrování dochází při teplotách 650 °C až 680 °C. Z toho důvodu budou testovány i střížníky z jiné nástrojové oceli, která je vhodná pro práci za tepla. Z široké škály nástrojových materiálů pro tváření za tepla byly vybrány oceli z firmy Voestalpine, které se označují jako Böhler, což je synonymem pro speciální oceli nejvyšší kvality. Některé tyto oceli nemají označení ČSN, a dokonce ani DIN, jelikož jsou vyvinuty uvedenou firmou a neshodují se s normovanými materiály. Srovnání vybraných ocelí je uvedeno v tab. 8.

Tab. 8 Srovnání ocelí Böhler vhodné pro nástroje při tváření za vysokých teplot. [53]

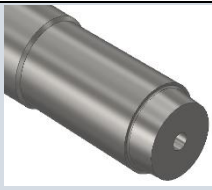
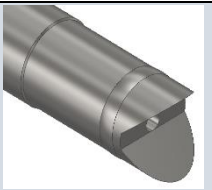
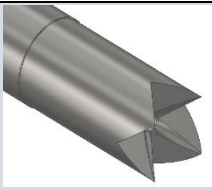
Označení			Materiálové charakteristiky při vysokých teplotách		
Böhler	DIN	ČSN	Pevnost	Houževnatost	Odolnost proti opotřebení
W 100	X30WCrV9-3	19721			
W 300	X38CrMoV5-1	19552			
W 320	X32CrMoV3-3	19541			
W 360	-	-			
W 400	X37CrMoV5-1	-			
W 720	X2NiCoMo18-9-5	-	Martenziticky vytvrzená, všestranně použitelná ocel pro práci za tepla, není možné porovnat s klasickými oceli pro zušlechtní.		
Pozn. převod do normy ČSN nemusí vždy přesně souhlasit s chemickým složením materiálu uvedeným v normě ČSN.					

Po konzultaci s odborníky z firmy Voestalpine, byl zvolen materiál W 360 ISOBLOC. Vyznačuje se vysokou tvrdostí (až 57 HRC) a vynikající houževnatostí při práci za tepla, výhodou je homogenní mikrostruktura a velmi dobrá odolnost proti popouštění. Ocel je patentovaná a je elektro-struskově obráběná. Její nejčastější využití je na nástroje pro rychlokovací stroje, průtláčnice, razníky a matrice pro práci za tepla. Materiálový list je uveden v příloze 2.

4.4 Výroba a plán testování

V kapitole 4.3.1 byly vybrány 3 typy čela a v předchozí kapitole 4.3.3 dva materiály, a to stávající ASP 2023 a nový W 360. Z původního návrhu výroby pěti testovacích kusů od každého typu, byl počet testovaných kusů snížen na 3, jež by měli postačovat pro praktické vyzkoušení. Celkem se tedy bude vyrábět 18 střížníků, viz tab. 9.

Tab. 9 Celkový počet střížníků.

Tvar čela / materiál			
ASP 2023	3 kusy	3 kusy	3 kusy
W 360	3 kusy	3 kusy	3 kusy

Pro zhotovení objednávky bylo osloveno celkem pět nástrojářen, z toho tři odmítly danou zakázku provést. Ve všech třech případech je překážkou ve výrobě dlouhá průchozí díra s průměrem 4,2 mm a 2,15 mm. Zbylé dvě objednávky byly s kladnou odezvou, a to od Jablonecké nástrojárny a nástrojárny Mubea v Žebráku, které jsou schopny střížníky zhotovit. Z těchto dvou byla vybrána druhá jmenovaná, jenž disponuje rozsáhlým strojním vybavením od konvenčních metod (soustružení, frézování, vrtání apod.) až po nekonvenční (elektroerozivní obrábění). V následujícím textu je uveden popis výroby v jednotlivých krocích.

Po naskladnění materiálu přichází na řadu řezání polotovaru na délku 138 mm na pásové pile Pegas 240x280 SHI-R-F, která je vybavena frekvenčním měničem pro plynulou regulaci posuvu do řezu $20 - 100 \text{ m} \cdot \text{min}^{-1}$. Jelikož je střížník válcová symetrická součást bude operace soustružení (hrubování) prováděno na soustruhu Masturn 550 CNC (obr. 44). Během prvního soustružení se jedná o nejvíce úkonů v jedné operaci, jsou to tyto úkony: soustružit průměr 14f7, 11f7 a $10,8 \pm 0,02 \text{ mm}$ s přídávkem 0,3 mm pro broušení, průměr 16 mm s rádiusem 0,8 mm, M5x0,8 do hloubky 30 mm, navrtat průměr 2,1 mm do hloubky 20 mm. Další operací je vyfrézovat díru o průměru 1,5 mm do osy střížníku na frézce typu MCV 1016 Q (obr. 44), která slouží pro odvodu vzduchu uzavřeného otvoru.



Obr. 44 Soustruh Masturn 550 CNC a frézka MCV 1016 Q [54]

Doposud byly použity konvenční technologie obrábění jako řezání, soustružení a frézování. Následuje nekonvenční technologie elektroerozivního obrábění (zkratka EDM z anglického Elektro Discharge Machining), kde se zhotoví průměr 4,2 mm do hloubky 57 mm a průchozí průměr 2,15 mm. Principem této metody je odebrání materiálu sérií výbojů, které vznikají mezi obrobkem a elektrodou jako nástrojem. Na to je použita elektroerozivní hloubička a řezačka Agie Integral 2 a Agie Charmilles (obr. 45). Následují úkony jako odjehlení a označení materiálů. Důležitou operací je tepelné zpracování, tedy kalení a popouštění. Materiál ASP 2023 je kalen ve firmě Body Cote v Liberci na tvrdost 60 + 2 HRC, zatímco W360 ve firmě Böhler Voestalpine ve Vyškově na tvrdost 56 + 2 HRC. Až do této operace jsou úkony na všech nástrojích stejné. Dále bude rozebrán postup zhotovení u každého typu samostatně.



Obr. 45 Elektroerozivní drátová řezačka [55]

U čtyř-hrotého střižníku následuje broušení průměrů 14f7, 11f7 a $10,8 \pm 0,02$ mm na brusce Studer Favorit CNC. Pomocí elektroerozivního obrábění se bude erodovat vybrání 80° a upravovat na celkový rozměr $127,5 \pm 0,2$ mm. Dále se speciálně vyrobenou elektrodou vyhloubí vnitřní tvar, výrobní výkres elektrody je v příloze 3.

U oboustranně zešíkmeného střižníku se brousí pouze průměry 14f7 a 11f7. Rozměr $10,8 \pm 0,02$ mm s kalibračním rádiusem 5,4 mm se jemně soustruží. Tvar vybrání pod úhlem 42° a celková délka se upraví opět elektroerozivním obráběním.

Odstupňovaný střižník má jeden úkon navíc v první operaci soustružení, což spočívá v obrobení odstupňovaného průměru 9,2 mm. Další operace až po tepelné zpracování jsou beze změny. Průměry 14f7 a 11f7 jsou broušeny, ale průměr $10,8 \pm 0,02$ mm včetně kužele s úhlem 1° a sražením pod 45° je obrobena jemným soustružením, jelikož na soustruhu se lépe dodrží přechody mezi průměry. Finální délka $127,5 \pm 0,2$ mm se zhotoví EDM, kde je jistota, že na čele zůstane ostrá hrana. Poslední 3. operace je opět u každého střižníku stejná, a to odjehlit ostré hrany, zaskladnit a exportovat. Průvodka odstupňovaného střižníku z materiálu W 360 je uveden v příloze 4.

V plánu je otestovat všech 18 střižníků v běžném provozu. V úmyslu je vyměnit střižník při předání směny, kde dochází k časové prodlevě a části hydraulického lisu mají nižší teplotu než za plného provozu tzn., že upínací deska jde snadněji vyjmout (vlivem teplotní roztažnosti). Samotná výměna za testovací typ je poměrně rychlá, čímž se výroba omezí minimálně. Předpokladem je otestovat střižník na tisíci kusech, to je dva tisíce děr. První, pětistý a poslední stabilizátor si ponechat, vizuálně zkontrolovat díry a udělat mikroskopický pohled na příčný řez díry. V průběhu výroby je nutné kontrolovat otupení nástroje a fotograficky jej zaznamenávat. V závislosti na taktu stroje by mělo testování jednoho střižníku trvat osm až deset hodin. To vše za předpokladu, že díra bude splňovat požadovaná kritéria, kterými jsou:

- otvor bez otřepu,
- kontrola tolerance díry pomocí ručního kalibru,
- ověření správnosti stabilizátoru v měřícím přípravku.

4.4.1 Kontrola a měření střížníku

Po vyrobení v nástrojárně Mubea Žebrák přišlo osmnáct střížníků, zobrazených na obr. 46.



Obr. 46 Vyrobené střížníky

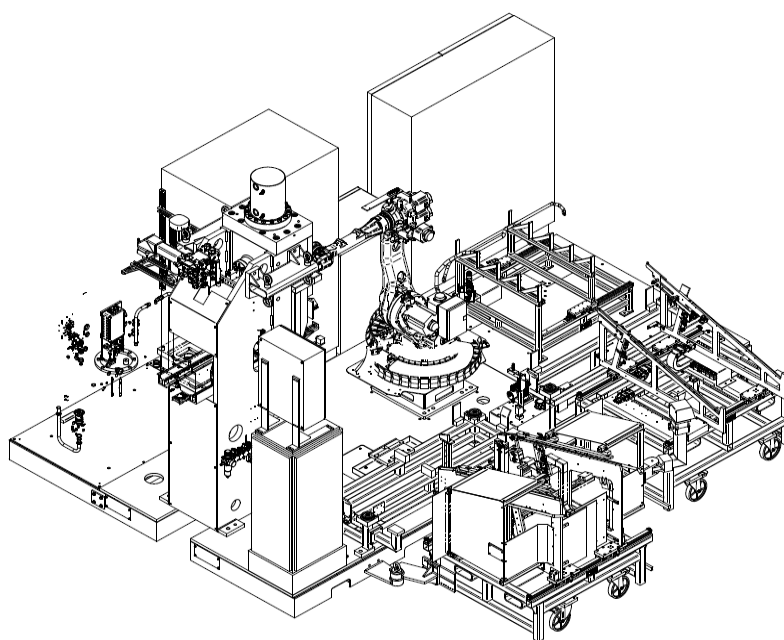
Po vybalení následovala vizuální a rozměrová kontrola. Po vizuální stránce bylo vše v pořádku, tvary čel odpovídaly výkresům, na střížníku byli všechny tvarové návrhy a vyhazovač umístěn v ose splňoval funkci. Po rozměrové stránce je důležité především změření jednotlivých délek a průměrů střížníku. Měření probíhalo digitálním posuvným měřítkem značky Mitutoyo s přesností $\pm 0,02$ mm. Naměřené rozměry odpovídaly hodnotám na výkrese, tzn. střížníky byly vyrobeny správně. Aby nedošlo k záměně materiálu, je na střížníku vyražen typ materiálu, ze kterého je vyroben. Tvary čel i označení je vidět na obr. 47.



Obr. 47 Úprava čel a označení materiálu

4.5. Ověřování funkčnosti střížníku

Zkoušky probíhaly v provozu na hydraulickém lise v lisovacím nástroji, který je součástí automatického centra AWA (obr. 48). Centrum také disponuje vstupním skluzem, robotickým ramenem, ohřívací stanicí, kontrolním stanovištěm, stojanem na špatné kusy a výstupním skluzem. Pokud je na vstupu jiný stabilizátor, než má být, je rozeznán a vyřazen z výroby hned na začátku. Taktéž pokud na kontrolním stanovišti nesedí průměry děr, geometrické nebo tvarové tolerance, je stabilizátor přesunut na stojan se špatnými díly. Celé zařízení je ohrazeno plotem, aby nedošlo ke kontaktu s operátorem.



Obr. 48 Layout automatického centra AWA

4.5.1 Test odstupňovaného střížníku z ASP 2023

Jako první byly odzkoušeny tři nástroje z materiálu ASP 2023, tento materiál je používán na střížníky s rovným čelem a neprůchozím vyhazovačem. Ihned po rozměrové kontrole byl otestován odstupňovaný střížník. Stříhaná tloušťka, respektive výška spěchovaného konce, byla 7,1 mm. Výměna nástrojů proběhla dle plánu zmíněného výše. Střížník vystříhl obě díry na koncích stabilizátoru, odpad propadnul vystříženým otvorem a nedošlo k jeho nalepení na čelo střížníku (obr. 49). Poté došlo k přesunutí stabilizátoru na kontrolní stanoviště. Tam byl umístěn do stojanu a do obou děr byl automaticky zasunut kontrolní čep, kterým se zkontroluje, jestli byl otvor správně zhotoven. V tomto kroku došlo k zablokování kontrolních čepů a automaticky nešly vysunout z děr. Bylo nutné vstoupit do ohraničeného prostoru a manuálně stabilizátor vytáhnout. Po vyjmutí byl otvor vzhledově zkontrolován, na první pohled byl ze spodní strany patrný otřep.



Obr. 49 Díra s odpadem

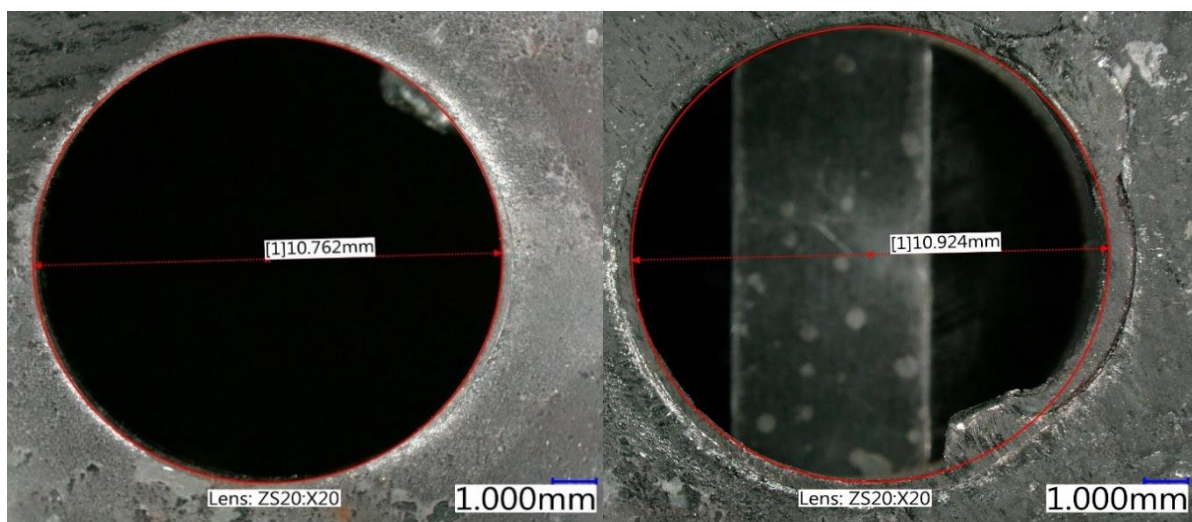
Další přezkoumání je možné ve speciálním měřícím přípravku zvaném "léhra" (obr. 50), kde probíhá geometrická a tvarová kontrola. Kontrolovaný díl musí být vložen volně bez použití tlaku a ustaven centrovacím mechanismem. Při kontrole musí rýsky ukazovat do tolerančního pole. Problém nastal při ustavení stabilizátoru. Nebylo možné usadit stabilizátor na centrovací trny. Poslední kontrola je možná ručním kalibrem. Kalibr prošel jen ve dvou případech z celkových 16 kontrolovaných děr. Ve většině případů prošlo jen 40 až 60 % stříhané tloušťky. Všech osm stabilizátorů bylo vyhodnoceno jako zmetek.



Obr. 50 Speciální měřící přípravek "léhra"

Po neúspěšném testování byl vyměněn odstupňovaný střížník za původní typ s rovným čelem. Ten vystříhne otvor, kus projde přes kontrolní stanoviště a je položen na výstupní dopravník. Aby byla ověřena jeho správnost, je umístěn do léhry, tam jsou v toleranci všechny kontrolované hodnoty. Stabilizátor je tak vyroben správně a dle interních požadavků.

Dále byl proveden rozbor otvoru ve stabilizátoru, proč do díry nejde zasunout kalibr, i když rozměr vyrobeného střížníku je správný. K bližšímu zjištění byl uříznutý konec zkoumán v laboratoři na digitálním mikroskopu Keyence VHX-7000. Bylo důležité zkontrolovat, zda je díra kruhová, jestli otvor není oválný. Po vyrovnaní vzorku na podložce byla díra nasnímána s dvacetinásobným zvětšením a následně změřena, jak je vidět na obr. 51 vlevo. Lze



Obr. 51 Pohled vlevo na vrchní a vpravo na spodní část

konstatovat, že díra je kruhová, ovalita nepřipadá v úvahu. I průměr díry, který činí 10,762 mm by měl vyhovovat. Z toho plyne, že díra z vrchní části splňuje všechny předpoklady. Přichází na řadu kontrola spodní strany, kde se sledovala stejná kritéria (ovalita, rozměr). Zobrazení lze vidět na obr. 51 vpravo, ze kterého konstatuji, že díra není oválná. V pohledu na dolní část jsou vidět dva otřepy. Jeden z nich výrazně zasahuje do kruhové otvoru, což je příčina, proč kalibr neprošel celou dírou. Otřep vznikne po vystřížení díry a na egalizaci je zalisován do okrajů díry, čímž ji znehodnotí a vznikne zmetek. Na obr. 52 je znázorněn příčný řez, na kterém lze pozorovat rozhraní dvou vrstev. Jak je vidět na zvětšeném pohledu, tak na každé straně je jiný



Obr. 52 Příčný řez s detailem na rozhraní vrstev

tvár přechodu. To je dáno střížnou vůlí, která není symetrická a osa střížníku není v ose střížnice. Na pravé straně je otřep větší a zasahuje až do spodní vrstvy, což je dle mého názoru zapříčiněno velkou střížnou mezerou. Naopak na straně levé je přechod mezi vrstvami materiálu vyhovující a otřep je minimální, což bude zapříčiněno menší střížnou mezerou. V příloze 5 jsou fotky dalších dvou děr, u kterých je vidět stejný problém jako u předchozího rozebraného otvoru.

4.5.2 Test oboustranně zešikmeného střížníku z ASP 2023

Tento nástroj byl otestován na tloušťce materiálu 6,9 mm. První stabilizátor se ohřeje na požadovanou teplotu během několika sekund. Robotické rameno vloží stabilizátor do pracovního prostoru lisu, konec stabilizátoru se spěchuje a zároveň dojde k vystřížení otvoru a ostřížení hrany. Odpad vypadl do bedny. Vzápětí dochází k přesunutí konce na egalizaci a ulomení střížníku (obr. 53).



Obr. 53 Ulomený střížník po 1. zdvihu

Po prozkoumání situace bylo zjištěno, že při prvním zdvihu došlo k rozevření tvářecí části, která se zablokovala ve střížnici. Díky tomu se neprovedl zpětný zdvih a beran zůstal v pozici dole. Při přesunutí na egalizaci došlo k ulomení spodní části, která vypadla společně s odpadem a utržení části těla střížníku, který zůstal v díře stabilizátoru, což je vidět na obr. 54. K takové



Obr. 54 Odpad a ulomený střížník v stabilizátoru

kolizi by nemělo vůbec dojít, protože jednotlivé kroky při stříhání jsou kontrolovány. Avšak v tomto případě nebyla kontrola pozic zapnuta. Tudiž, i když byl beran v pozici dole, došlo k přesunutí na pozici egalizace a vzniku kolize. Nebylo docíleno ani předpokladu nastříhnout spodní vrstvu, což je patrné z obr. 55. Tvarově zdeformovaná je pouze horní vrstva a do spodní se střížník vůbec nedostal, proto je mírně zaoblená. Na obr. 55 jsou také vyznačena dvě místa, na kterých je vidět výstupek materiálu. Ten vznikl při roztržení střížníku a následného zatečení materiálu do trhliny.

Test oboustranně zešikmeného střížníku byl neúspěšný, jak je zřejmé z předchozího textu. Střížník se ulomil již při prvním zdvihu, proto bude nutné upravit geometrii nástroje, tak aby nedošlo ke vzniku trhliny a k jeho prasknutí. Při testu došlo k poničení střížnice a velkému rázovému zatížení robotického ramene, který doslova utrlh stabilizátor s kusem střížníku. Robotické rameno nebylo poškozeno a střížnice musela být vyměněna. Po výměně střížníku za původní typ byla provedena kontrola vyrobeného stabilizátoru, který je v pořádku a plní veškeré náležitosti. Další fotky z testování jsou umístěny v příloze 6.



Obr. 55 Zdeformovaný odpad

4.5.3 Test čtyřhrotého střížníku z ASP 2023

Poslední tvar čela z materiálu ASP 2023 je čtyřhrotý střížník, který byl ve výrobě odzkoušen na stříhané tloušťce 7,1 mm, což je opět poměrně velká tloušťka vzhledem k průměru nástroje. Aby bylo docíleno přibližně stejné teploty konce při stříhání první i druhé díry, je konec, který se děruje jako druhý, nahřát o zhruba 50 °C více než první. To zajistí, že při stříhání první i druhé díry bude mít spěchovaná trubka stejnou teplotu.



Obr. 56 Střížník s ulomenými hroty a odpadem

Po předchozím testování tvarového střížníku z ASP 2023, jehož výsledek byl velkým překvapením, nebyly vkládány velké naděje ani do tohoto typu. Již při stříhání první díry došlo k ulomení všech čtyř hrotů (obr. 56), a i přes tuto skutečnost, byla díra vystříhnutá. Do druhého konce se pouze otisknul ulomený střížník. Na rozdíl od předešlých testů se zde jednotlivé vrstvy nerozpojily, ale pevně u sebe drží. Jeden ze čtyř hrotů zůstal přivařený na odpadu, což je detailně vidět na obr. 57. V hydraulickém lise zůstal upnut ulomený střížník s nepoškozeným vyhazovačem. Jiná část nebo nástroj v hydraulickém lise nebyla poškozena. Při samotném stříhu nedochází k tak velkému přetvoření materiálu (jak bylo předpokládáno), aby hroty zajely i do druhé vrstvy. Ohřátý materiál stabilizátoru klade tak velký střížný odpor, že dochází k překonání meze pevnosti nástrojového materiálu a k ulomení tvarových částí. Tvarové plochy nástroje, do kterých se opírá materiál jsou příliš velké. Je nutné poupravit geometrii nástroje. Jako nejjednodušší možnost se ukazuje právě zmenšit tvarové plochy. Toho se docílí obrobením špiček hrotů.



Obr. 57 Odpad s hrotem

Testy nástrojů z materiálu ASP 2023 nedopadly příznivě. Nástrojový materiál je příliš tvrdý a má malou houževnatost při práci za tepla, čímž dochází k ulomení tvarových částí na čele střížníku již při stříhání prvních děr. Další fotky jsou vloženy do přílohy 7.

Jelikož dochází k ulomení funkčních částí nástroje nebo v případě odstupňovaného střížníku výrobě zmetků, nebude možné porovnat životnost a srovnat zkoušené materiály. Zřejmé je, že materiál ASP 2023 není vhodný pro tvarově složité nástroje, jelikož je příliš křehký. To však nemusí znamenat, že u střížníku s rovným čelem bude mít menší životnost než střížník s rovným čelem z materiálu W 360.

4.5.4 Test odstupňovaného střížníku z W 360

Oproti předešlému materiálu by měl mít W 360 lepší tvrdost i houževnatost při práci za tepla. Při tomto testu činila stříhaná tloušťka 5 mm. Výměna nástroje proběhla s menšími komplikacemi, jelikož nebyl střížník měněn na začátku směny, ale v průběhu dne. To znamenalo že funkční části nástroje byly ohřáté a roztažené. Vedení horní upínací desky, která byla upevněna v lise pomocí dvou šroubů, bylo přesné, čímž klesla velikost potřebné vůle na vytažení. Po vyměnění šlo vše již bez problému. Po uložení stabilizátoru na vstupní skluz proběhly operace dle výše zmíněného postupu. Na kontrolním stanovišti bylo vše v pořádku a stabilizátor byl umístěn na výstupní skluz. Po vizuální stránce byla první díra v pořádku, avšak ve druhé byl pozůstatek odpadu.



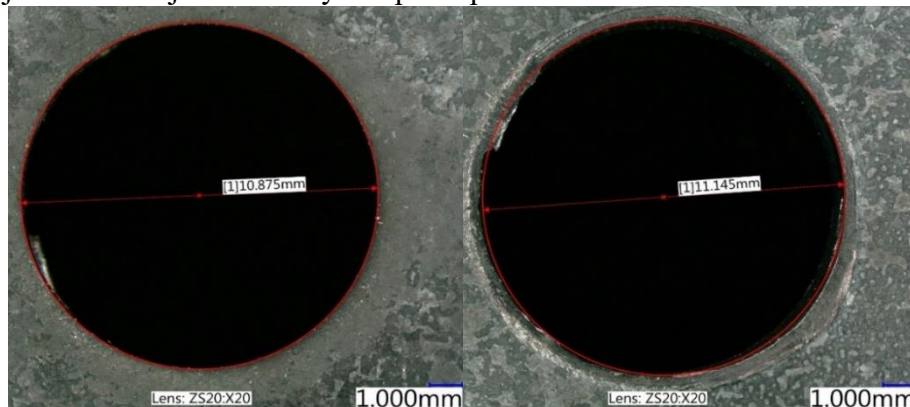
Odpad nebyl přes celou tloušťku konce, ale byl pouze v její polovině, což je vidět na obr. 58 vlevo. Na obr. 58 vpravo vidíme, že ze spodní části je odpad ve formě kroužku zároveň se spodní plochou. První stříhaná díra je v pořádku jak vizuálně, tak i po kontrole kalibrem. Střížná plocha je na pohled velice kvalitní. Střížník byl otestován na šesti stabilizátorech a každý z nich měl stejný problém, na jedné straně vyhovující díra a na straně druhé pozůstatek odpadu. Hypotézou je, že při stříhání první díry, která je v pořádku, zůstane na čele střížníku v odstupňované části navléknutý kroužek materiálu. Při stříhání druhé díry kroužek z první díry nevypadne, ale při pohybu lisu nahoru zůstane v díře a při egalizaci se zamáčkne do díry, takže je zároveň se spodní plochou. Kroužek vznikne, jelikož se stříhá tloušťka 5 mm, to znamená že jedna vrstva má 2,5 mm, ale odstupňovaná část na střížníku je dlouhá 3,5 mm. To zapříčiní, že v první vrstvě je vystřižena část díry s průměrem 9,4 mm a až po ní dojde k dostřížení

Obr. 58 Vlevo pohled shora, vpravo pohled zespoda konce, ale byl pouze v její polovině, což je vidět na obr. 58 vlevo. Na obr. 58 vpravo vidíme, že ze spodní části je odpad ve formě kroužku zároveň se spodní plochou. První stříhaná díra je v pořádku jak vizuálně, tak i po kontrole kalibrem. Střížná plocha je na pohled velice kvalitní. Střížník byl otestován na šesti stabilizátorech a každý z nich měl stejný problém, na jedné straně vyhovující díra a na straně druhé pozůstatek odpadu. Hypotézou je, že při stříhání první díry, která je v pořádku, zůstane na čele střížníku v odstupňované části navléknutý kroužek materiálu. Při stříhání druhé díry kroužek z první díry nevypadne, ale při pohybu lisu nahoru zůstane v díře a při egalizaci se zamáčkne do díry, takže je zároveň se spodní plochou. Kroužek vznikne, jelikož se stříhá tloušťka 5 mm, to znamená že jedna vrstva má 2,5 mm, ale odstupňovaná část na střížníku je dlouhá 3,5 mm. To zapříčiní, že v první vrstvě je vystřižena část díry s průměrem 9,4 mm a až po ní dojde k dostřížení



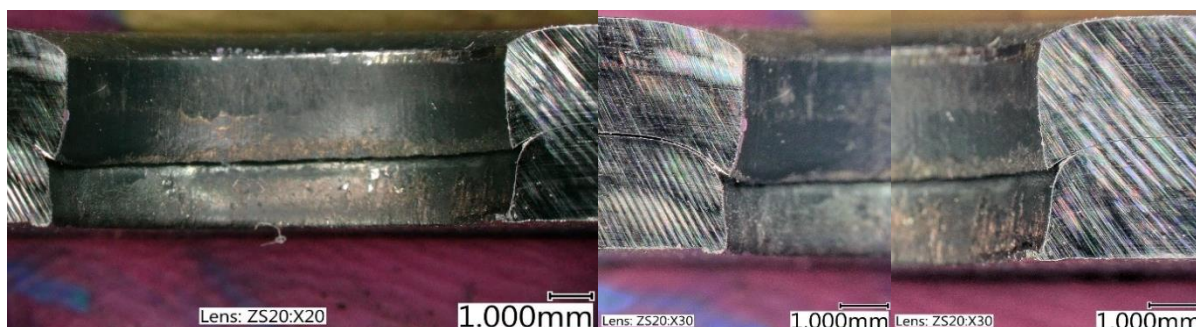
na průměr 10,8 mm. Jednotlivé části odpadu při děrování jsou vidět na obr. 59. Taktéž byl proveden rozbor na mikroskopu, kde se kontroloval průměr první i druhé vystřižené díry. U první díry, která je v pořádku, byl měřen průměr z vrchní i spodní části, což lze pozorovat na obr. 60. Díra je kruhová a je vidět malý otřep na spodní straně.

Obr. 59 Odpad po stříhání odstupňovaným střížníkem. Jednotlivé části odpadu při děrování jsou vidět na obr. 59. Taktéž byl proveden rozbor na mikroskopu, kde se kontroloval průměr první i druhé vystřižené díry. U první díry, která je v pořádku, byl měřen průměr z vrchní i spodní části, což lze pozorovat na obr. 60. Díra je kruhová a je vidět malý otřep na spodní straně.



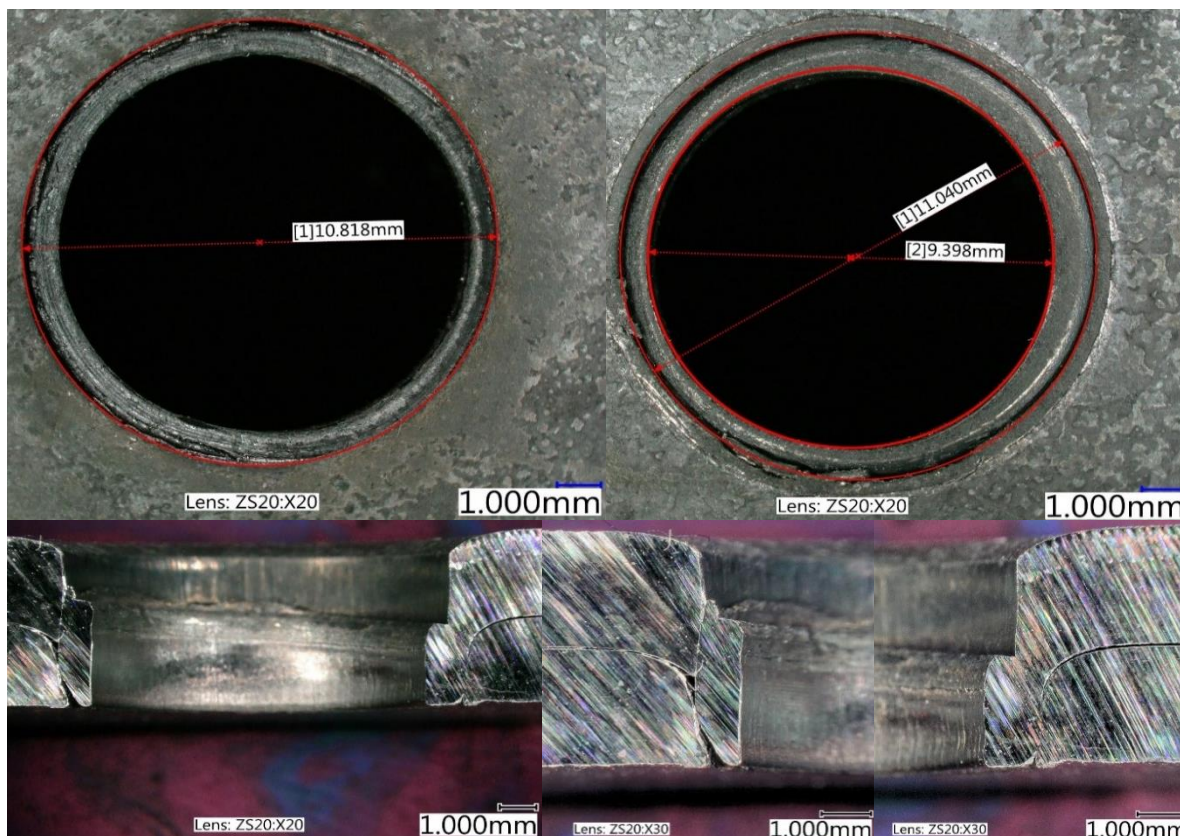
Obr. 60 Vlevo pohled na vrchní, vpravo pohled na spodní část první díry

Následně došlo k rozřezání vzorku (konce stabilizátoru) a ke zkoumání a kontrole příčného řezu (obr. 61), tam můžeme pozorovat přechod mezi vrstvami materiálu. Přechod na rozhraní vrstev byl v požadované kvalitě, na obou stranách přibližně stejný, což poukazovalo na dobré seřízení a střížník je v ose střížnice. I v tomto řezu byl vidět malý otřep v pravé spodní části, který je ve velikosti 0,1 až 0,2 mm a okem takřka nepoznatelný.



Obr. 61 Pohled na příčný řez s detailem na rozhraní vrstev u první díry

U druhé díry je z obr. 62 patrný kroužek materiálu o vnitřním průměru cca 9,4 mm, což odpovídá prvnímu průměru odstupňovaného střížníku. V příčném pohledu je zřetelně vidět, že kroužek je přesně v úrovni spodní hrany. Také je zřejmé, že jeho výška není po celém obvodu stejná, ale mění se. Na jedné straně zasahuje zhruba do poloviny tloušťky, což odpovídá, ale na straně druhé zasahuje až do tří čtvrtin celé tloušťky. Domnívám se, že je to opět způsobeno rozdílnou střížnou mezerou. Pro úplný a přesný rozbor o průběhu stříhu by bylo nutné při experimentu zastavit lis a podívat se na díru i střížník ihned po prvním zdvihu.



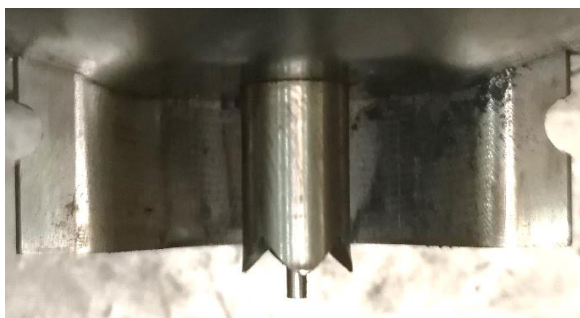
Obr. 62 Rozbor druhé díry s příčným řezem

Všech 6 kusů stabilizátoru bylo vyhodnoceno jako zmetek, a to díky 2. díře, kde byl přebytek materiálu. Další rozборы děr jsou zobrazeny v příloze 8. Z dosavadních výsledků je patrné, že optimalizace velikosti a přesného tvaru odstupňovaného střížníku vyžaduje mnoho dalších testů na různých tloušťkách pěchovaného konce. U dalších tloušťek mohou být výsledky různé a zcela odlišné. Takové testování by omezovalo výrobu a výsledek není zcela zaručen, jelikož by se pro rozmezí tloušťek konce musela vyrobit odlišná velikost tvarové části střížníku.

4.5.5 Test čtyřhrotého střížníku z W 360

Po neúspěšném testu čtyřhrotého střížníku z materiálu ASP 2023 přichází na řadu zkouška materiálu W 360. Předpokladem je, že i u tohoto střížníku dojde k ulomení hrotů během prvních kusů. Tloušťka pletungu (stříhaného konce) činí 5,1 mm.

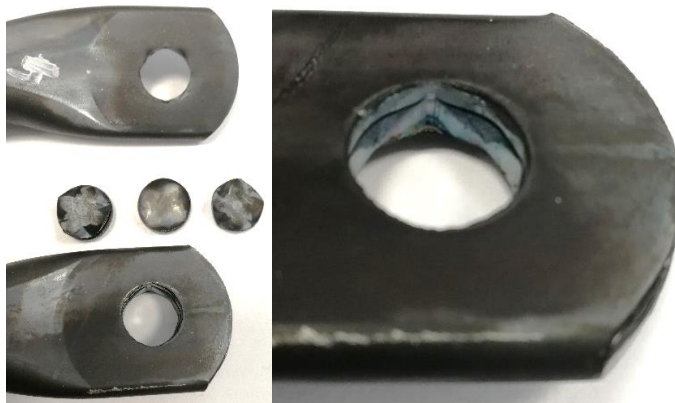
Po spěchování konce došlo k prostříhu a odpad vypadl. Robotické rameno otáčí stabilizátor a dochází ke stříhání druhého otvoru. I ten byl proděrován a odpad vypadl do připravené krabice. Stabilizátor byl vložen do kontrolního stanoviště a následně umístěn na výstupní skluz.



Obr. 63 Rozevření hrotů v lisovacím nástroji

Výrobní proces byl zastaven a zkontrolován stav střížníku. Na první pohled bylo zřejmé, že se hroty neulomily, ale došlo k jejich rozevření. To je patrné z obr. 63, kde je možné pozorovat, že střížník je ještě stále upnut v lisovacím nástroji. Po konzultaci se seřizovačem a procesním inženýrem byl střížník již po vystříhnutí dvou děr sundán a vyměněn. Dalším stříháním může docházet postupnému rozevírání hrotů na takovou mez, až by hrozil kontakt se střížnicí. V takovém případě by došlo ke kolizi a poškození střížníku a střížnice, případně dalších částí lisu. Jelikož došlo ke zvětšení průměru, nebylo snadné jej vyjmout. Nakonec byla použita hrubá síla, kterou se podařilo střížník vytáhnout. Poté došlo ke změření dvou průměrů na sebe kolmých, a to přes špičky hrotů. První průměr činil 11,13 mm a druhý 11,02 mm. Z toho vyplývá, že oproti výchozímu rozměru, který byl 10,8 mm, došlo k roztažení v jednom směru bezmála o tři desetiny milimetru a ve směru druhém bezmála o dvě desetiny milimetru. Zvláštností je, že nedošlo k symetrickému rozevření. Taktéž nelze brát tyto hodnoty jako závazné, jelikož během vytahování střížníku z lisovacího nástroje pravděpodobně došlo ke zmenšení průměru.

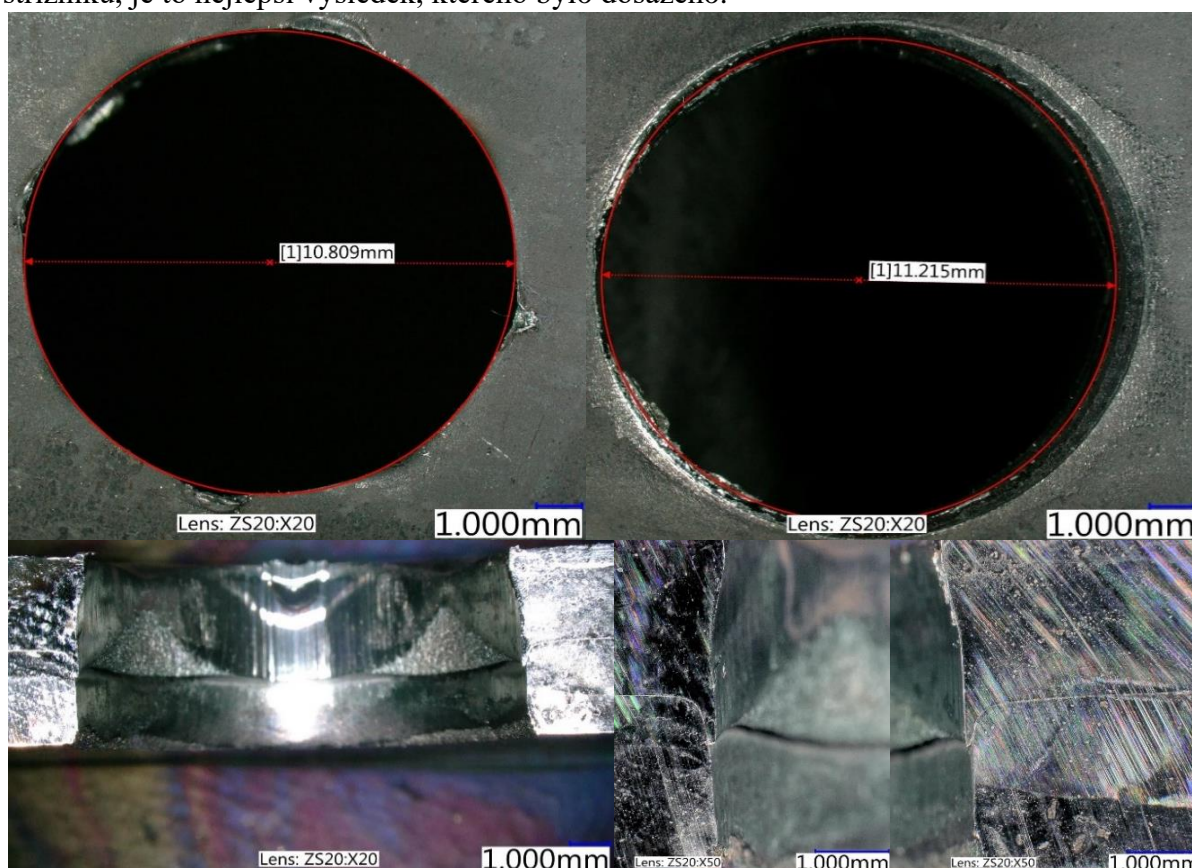
Dále byla vizuálně kontrolována plocha stříhu, která vypadala v pořádku, avšak jsou na ni vidět stopy po vniknutých hrotech, které jsou patrné na obr. 64. Stopy po hrotech jsou zřetelné jak na ploše stříhu, tak i na horní straně při vnikání hrotů do materiálu. Tam kde dochází k vnikání hrotů je hrana v pořádku. Problém je, když se materiál (odpad)



Obr. 64 Díra vystřížená čtyřhrotým střížníkem

dostává do užší části mezi hroty. Tam je mačkán a dochází k jeho utržení. V takovém místě je zřetelný propad na horní ploše. I když se jednalo o tloušťku 5,1 mm, střižník nevníkl do druhé vrstvy, ale pouze ji plasticky zdeformoval. Tudíž předpokladu nastříhnout i druhou vrstvu odpadu nebylo docíleno.

Vyhodnocení děr proběhlo i na mikroskopu Keyence. První díra je rozebrána na obr. 65 a obrázky druhé díry jsou umístěny v příloze 9. Průměr první díry ve vrchní části je 10,809 mm a ve spodní části má již průměr 11,215 mm. Z tohoto faktu konstatuji, že k roztažení hrotů došlo již během stříhání první díry. Na okraji děr jsou patrné otřepy, které jsou však v řádech desetin milimetru. Při pohledu na příčný řez díry je zřejmý velice kvalitní přechod mezi první a druhou vrstvou materiálu. Pokud srovnám rozhraní vrstev s předchozími výsledky u odstupňovaných střižníků, je to nejlepší výsledek, kterého bylo dosaženo.



Obr. 65 Rozbor díry s příčným řezem

Celkový vzhled díry s přihlédnutím na všechna uvedená fakta vyhodnocuji jako velice dobrý, tato díra by rozhodně nepatřila mezi zmetkové - kvalitní střižná plocha, rozhraní vrstev takřka bez otřepu, na spodní straně velice malé otřepy. Na druhé straně dochází k plastické deformaci střižníku, přesněji k jeho roztažení o několik desetin milimetru, což je již při první díře nepřijatelné. Počáteční problém s velkým otřepem na rozhraní dvou vrstev byl odstraněn avšak nastal další problém s plastickou deformací střižníku.

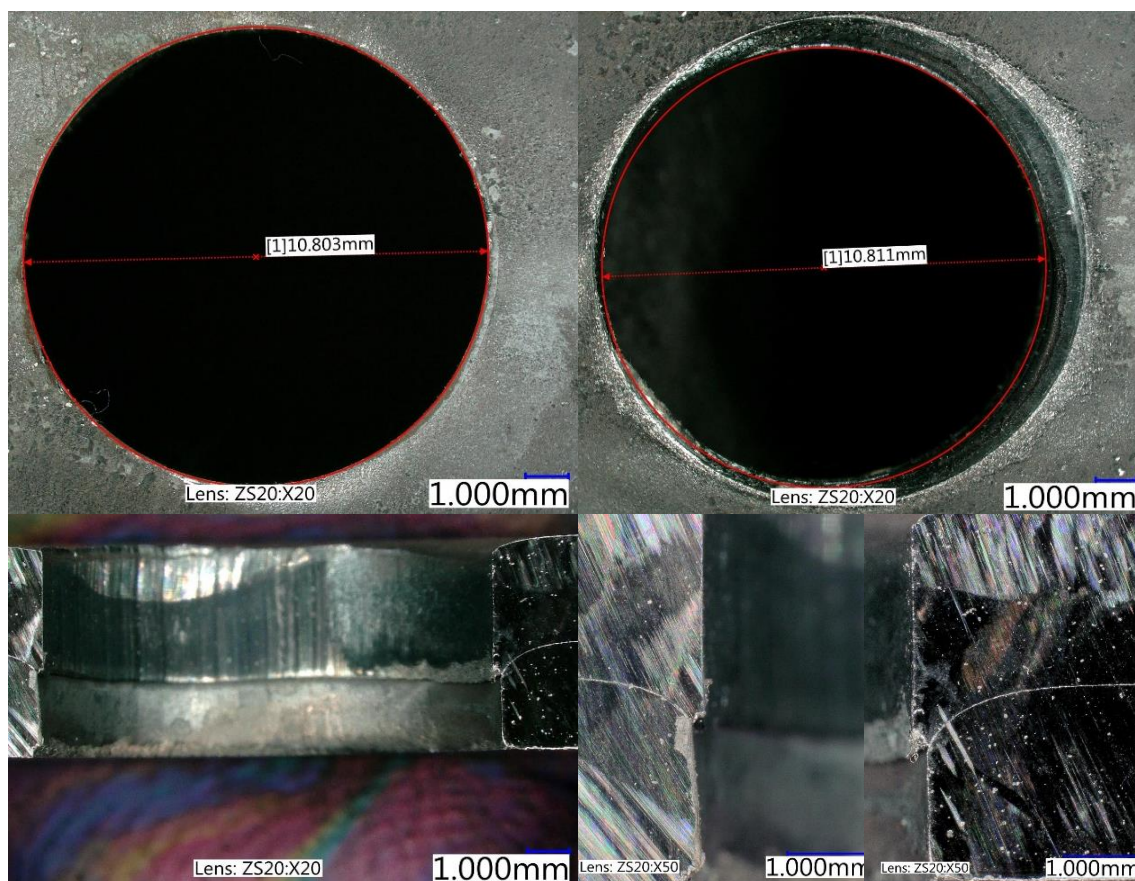
Řešením by bylo najít takový materiál, který by měl dostatečnou houževnatost při práci za tepla (aby neprasknul) a zároveň vysokou pevnost (aby nedocházelo k plastické deformaci). Není vůbec jisté, zda by vůbec nějaký nástrojový materiál splňoval tyto podmínky na čtyřhrotý střižník.

4.5.6. Test oboustranně zešíkmeného střížníku z W 360

Při zkoušce posledního typu střížníku z materiálu W 360 došlo k velice podobné situaci jako u předchozího čtyřhrotého střížníku ze stejného materiálu. Po prostřihnutí dvou děr na jednom stabilizátoru byla na řadě vizuální kontrola upnutého nástroje v hydraulickém lise. Již z prvního pohledu je patrné, že opět došlo k roztažení střížníku. Jakmile došlo k vytáhnutí byl změřen jeho průměr, jenž činí 10,98 mm, z původních 10,6 mm, to znamená, že po dvou dírách se roztáhl bezmála o 0,4 mm. Z obr. 66, kde je vidět odpad z díry lze konstatovat, že nebylo docíleno předpokladu nastříhnout i druhou vrstvu, ta byla pouze zdeformována a vytlačena první vrstvou. Kvalita střížné plochy je na vysoké úrovni a spodní část je téměř bez otřepu. Tloušťka stříhaného konce stabilizátoru byla 5,1 mm, u této tloušťky dochází k bezproblémovému vystřížení i pomocí střížníku s rovným čelem. Po změření průměru, rozříznutí a přiblížení pohledu na příčný průřez (obr. 67) je vidět, že přechodová oblast je bez otřepu a střížná plocha je ve vysoké kvalitě. Také lze vyloučit ovalitu a otřepy na spodní straně. První díra vyhovuje ve všech kontrolovaných aspektech a splňuje všechny požadované předpoklady.



Obr. 66 Konce stabilizátoru a odpad



Obr. 67 Rozbor otvoru

Snímky druhé díry jsou uvedeny v příloze 10. Díra je ve velice podobné kvalitě jako první, ale spodní průměr činí bezmála 11,11 mm. Tento průměr je takřka o 0,3 mm větší, než má být. Z toho lze usoudit, že stabilizátor je zmetek a výměna střížníku již po jednom kuse stabilizátoru je oprávněná, a to z těchto důvodů:

- následující vystřižená díra by byla zmetková,
- může dojít k prasknutí nebo rozlomení střížníku,
- může dojít k poškození střížnice případně vodící desky,
- hrozí zaseknutí střížníku ve střížnici (jako v případě střížníku z materiálu ASP 2023),
- může dojít k poškození robotického ramene, jenž drží stabilizátor.

4.6 Shrnutí a diskuze

Pro větší přehlednost byla vytvořena tabulka, kde jsou shrnuty získané výsledky z experimentů a již výše zmíněných skutečností. Pro každý materiál je vytvořena tabulka, tedy pro materiál ASP 2023 tab. 10 a pro W 360 tab. 11. Co se týče čtyřhrotého a oboustranně zešikmeného střížníku z ASP 2023 nelze u nich hodnotit kontrolované parametry, jelikož byly zlomeny již u prvního zdvihu, to znamená, že druhá díra nebyla zhotovena a stabilizátor je zmetek.

Tab. 10 Přehled výsledků jednotlivých střížníků z materiálu ASP 2023.

materiál ASP 2023			
kontrolované parametry/typ střížníku	odstupňovaný	čtyřhrotý	oboustranně zešikmený
stav střížníku	OK	vylomené hroty	ulomený, zaseknutý v díře
počet vystřižených děr	16	1	1
stříhaná tloušťka	7,1 mm	7,1 mm	6,9 mm
horní průměr díry	a) 10,762 mm	-	-
	b) 10,793 mm		
	c) 10,807 mm		
dolní průměr díry	a) 10,924 mm	-	-
	b) 10,929 mm		
	c) 11,111 mm		
přechodová oblast mezi vrstvami	dobrá, bez otřepu	-	-
kvalita střížné plochy	OK	-	-
ovalita	NE	-	-
otřep na spodní straně	ANO – výrazný	-	-
vyhodnocení	zmetky – neprojde kalibr	zmetek	zmetek

Tab. 11 Přehled dosavadních výsledků jednotlivých střížníků z materiálu W 360.

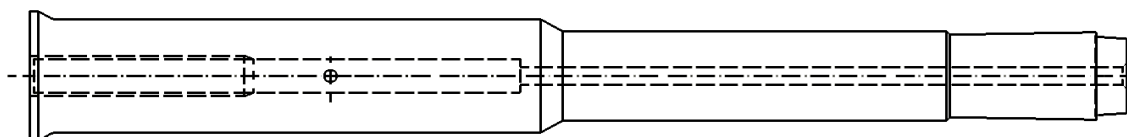
materiál W 360			
kontrolované parametry/typ střížníku	odstupňovaný	čtyřhrotý	oboustranně zešikmený
stav střížníku	OK	plastická deformace průměr 11,13 mm	plastická deformace průměr 10,98 mm
počet vystříhnutých děr	12	2	2
stříhaná tloušťka	5 mm	5,1 mm	5,1 mm
horní průměr díry	-	a) 10,809 mm	a) 10,803 mm
		b) 10,971 mm	b) 10,810 mm
dolní průměr díry	-	a) 11,215 mm	a) 10,811 mm
		b) 11,632 mm	b) 11,113 mm
přechodová oblast mezi vrstvami	kroužek materiálu uvnitř každé druhé díry	výborná, bez otřepu	výborná, bez otřepu
kvalita střížné plochy	-	OK	OK
ovalita	-	NE	NE
otřep na spodní straně	-	NE	NE
vyhodnocení	zmetek	zmetek – velký průměr díry	zmetek – velký průměr díry

U odstupňovaného střížníku z materiálu W 360 nelze hodnotit všechny díry stejně, jelikož každá první díra byla vystřížena v požadované kvalitě, ale každá druhá díra měla uvnitř kroužek materiálu. Z toho plyne, že každý stabilizátor byl vyhodnocen jako zmetek.

Na začátku testování byly plánovány dlouhodobé zkoušky jednotlivých nástrojů. Již během prvních pokusů bylo zřejmé, že dlouhodobě je testovat nelze. Všechny stabilizátory, které byly děrovány se vyhodnotily jako zmetkové. Vlivem této skutečnosti je pochopitelné, že testování proběhlo jen velice krátce, aby byla omezena výroba jen minimálně a na několika kusech stabilizátoru. Každý z testovaných střížníků měl zcela překvapivé a odlišné výsledky. Dále bude uveden každý z nástrojů a popsány jeho nedostatky, které byly během zkoušení odhaleny.

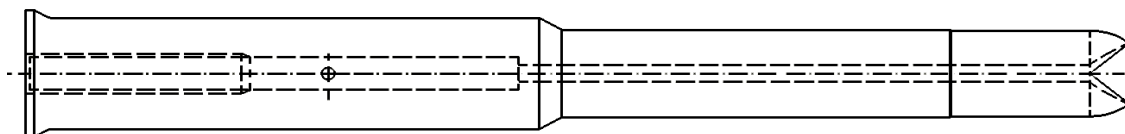
- Odstupňovaný střížník (obr. 68) – tento typ měl úmyslně nechávat malý přídavek na následné odebrání a díra měla být zkalibrována odstupňovanou hranou. Bohužel se takový předpoklad nenaplnil. U větších tlouštěk pleťungu (7 mm) byla přechodová oblast takřka bez otřepu, ale otřep se vytvořil na spodní straně, to znemožnilo průchod kalibru u většiny stříhaných děr. U menších stříhaných tlouštěk (5 mm) dochází k oddělení kroužku materiálu samostatně, a ten se v následujícím kroku při zpětném pohybu zasekne a zůstane v díře. Z těchto výsledků je zřejmé, že optimální výška odstupňovaného konce

nástroje by byla velice obtížně zjistitelná a bylo by nutno provést mnoho dalších testů na různých tloušťkách. I po těchto testech se domnívám, že jeden odstupňovaný střížný nástroj by nepokryl celou škálu stříhaných tloušťek, která se pohybuje od 4 mm až po 9 mm. Důležitým faktem je, že průchozí vyhazovač fungoval během všech testů spolehlivě a ani v jednom případě nedošlo k situaci, že by odpad zůstal nalepen na čele nebo se nalisoval do konce stabilizátoru.



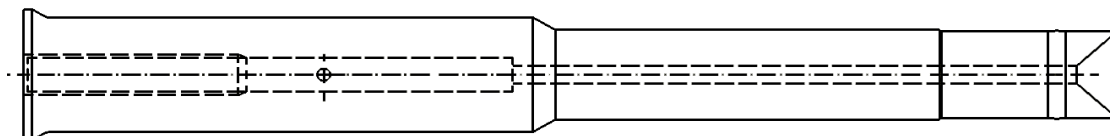
Obr. 68 Nárýs odstupňovaného střížníku

- čtyřhrotý střížník (obr. 69) – jehož předpokladem bylo začít stříhat druhou vrstvu materiálu dříve, než začne být první vrstvou vytlačována. Tato domněnka nebyla potvrzena v žádném z testů, vždy došlo k přetvoření první vrstvy a do druhé se břity nedostaly. Při stříhání tvrdším nástrojovým materiálem (62 HRC) došlo k vylomení všech hrotů při prvním zdvihu. Během testování méně tvrdého (58 HRC), ale velice houževnatého materiálu při práci za tepla, se hroty střížníku roztáhly. Hroty byly dlouhé 4,5 mm a jejich délka byla navržena tak, aby i při větší tloušťce byly schopny proniknout do druhé vrstvy. To se nepotvrdilo. Z toho plyne, že kratší hroty (např. 2 mm), u kterých by nedošlo k vylomení by zřejmě neměly žádný vliv na proces stříhu.



Obr. 69 Nárýs čtyřhrotého střížníku

- oboustranně zešikmený střížník (obr. 70) – je zkonstruován tak, aby pronikl i do druhé vrstvy stejně jako u čtyřhrotého, ale navíc za střížnou částí je umístěna část kalibrovací (ta má otvor zpřesnit a dokončit). Výsledky jsou obdobné jako u předchozího nástroje, v jednom případě ulomení a ve druhém roztažení průměru. K přetvoření odpadu nedojde v tak velkém rozsahu, jak bylo předpokládáno. Spodní část je pouze tvarově zdeformovaná, ale nejsou v ní vidět otisky po vniknutých břitech.



Obr. 70 Nárýs oboustranně zešikmeného střížníku

Pro tvarově složité střížníky nebyly nástrojové materiály vhodné, ale pokud by se našel vhodný nástrojový materiál, jenž se nebude lámat případně plasticky deformovat, mohl by takový nástroj fungovat. Dalším postupem by mohlo být zkoušení materiálu pro tvářeni za tepla od firmy Voestalpine, například materiálu W 100 (19 721), který se vyznačuje velmi dobrou pevností při práci za tepla.

5 ZÁVĚRY

V diplomové práci je rozebrána výroba stabilizátoru, který je dále montován do podvozku automobilu. Především se jedná o zhotovení konců stabilizátoru, které jsou během procesu ohřáty, spěchovány, ostříženy a děrovány střížníkem o průměru 10,8 mm. Jelikož je trendem snižovat hmotnost auta za účelem snížení vypuštěných emisí do ovzduší, je stabilizátor zhotoven z trubky. Během výroby dochází k spěchování trubky za tepla, a tím vzniká dvouvrstvý polotovar, do kterého je vystřížena díra pro šrouby. Právě při děrování vzniká na rozhraní dvou vrstev otřep, který je nutné odstranit. S ohledem na požadavky je potřebné navrhnout nový tvar čela střížníku, který by tento problém mohl odstranit.

Nástrojem pro výrobu děr je střížník s rovným čelem a neprůchozím vyhadzovačem, který je vyroben z materiálu ASP 2023 a zhotoví okolo 4 000 děr za den. Na základě teoretického rozboru, bylo navrženo několik základních tvarů čela. V konečné fázi jsou vybrány tři podoby a to odstupňovaný, oboustranně zešíkmený a čtyřhrotý střížník, jenž vychází z prvotních návrhů. Dále je upravena konstrukce vyhadzovače. Nový typ vyhadzovače je navržen jako průchozí, jeho průměr je stanoven na 2 mm a vede celým tělem v ose střížníku. Sílu vyhadzovače udává tlačná broušená pružina, která je zajištěná stavěcím šroubem. Pro srovnání byl vybrán i druhý nástrojový materiál s označením W 360. Jako ideální počet nástrojů na testování jsou stanoveny tři kusy. Celkem je tedy vyrobeno 18 nástrojů, jejichž test proběhl v provozu na automatických tvářecích centrech AWA.

Během praktických testů se nové tvarové úpravy čel neosvědčily. Sice byl minimalizován nebo zcela odstraněn otřep v přechodové oblasti dvou vrstev, prostřihnutá díra nebyla oválná a kvalita střížné plochy byla ve dvou případech výborná ale objevili se další nedostatky. Jedním z nich byla nevhodná volba nástrojového materiálu, který se ulomil nebo plasticky zdeformoval. Dalším problémem byl vznik otřepu ze spodní strany při stříhání odstupňovaným střížníkem. Ani jeden z tvarově zkoušených střížníků nevyrobil stabilizátor, jenž by byl vyhodnocen jako velmi dobrý a prošel dále do výroby. Dalším krokem může být testování tvarových střížníků z jiného nástrojového materiálu, např. ocel označená W 100 (19 721), která by mohla mít dostatečnou pevnost i houževnatost při práci za tepla.

Z těchto praktických testů vyplívá, že vývoj tvarové úpravy čela není správnou cestou. Jako ideální způsob se jeví používat střížník s rovným čelem, protože jeho výroba je jednodušší, výrobní cena třetinová a lze opakovaně renovovat, a tedy i používat. To vše za předpokladu, že bude použita konstrukce průchozího vyhadzovače.

SEZNAM POUŽITÝCH ZDROJŮ [40]

1. Product and Service. *Indiamart* [online]. Haryana, 1996-2018 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: <https://www.indiamart.com/meneta-automotive-components/fine-blanking.html>
2. Leaders in Fineblanking & Precision Stamping. *Mpiproducts* [online]. Minnesota, 2018 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: <https://www.mpiproducts.com/mpi-minnesota/>
3. Rychlořezná ocel ASP2023. *Bolzano* [online]. Kladno, 2008 [cit. 2019-05-29]. Dostupné z: <http://www.bolzano.cz/assets/files/ASP-2023.pdf>
4. Steel 26mnb5. *Salzgitter-flachstahl* [online]. Salzgitter [cit. 2019-05-29]. Dostupné z: [flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationmaterial/produktinformationen/warmgewalzte_produkte/eng/26mnb5.pdf](http://www.flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationmaterial/produktinformationen/warmgewalzte_produkte/eng/26mnb5.pdf)
5. Steel 34mnb5. *Salzgitter-flachstahl* [online]. Salzgitter [cit. 2019-05-29]. Dostupné z: https://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationmaterial/produktinformationen/warmgewalzte_produkte/eng/34mnb5.pdf
6. ŠROM, Jan. *Optimalizace technologie děrování dvou-vrstvého plechu*. Prostějov, 2018, 8 s. Interní dokument.
7. Stabilizátor. *Wikipedie* [online]. San Francisco, 2019. Dostupné z: [https://cs.wikipedia.org/wiki/Stabiliz%C3%A1tor_\(odpru%C5%BEen%C3%AD\)](https://cs.wikipedia.org/wiki/Stabiliz%C3%A1tor_(odpru%C5%BEen%C3%AD))
8. Funkce stabilizátoru. *Turbo-tec* [online]. Brno: Turbo-Tec, c2012 [cit.2019-05-28]. Dostupné z: <http://www.turbo-tec.eu/cz/blog/funkce-stabilizatoru-v-systemech-odpruzeni-modernich-vozidel/>
9. Stabilizátor. In: *Maxildily* [online]. Praha: MAXI L, 2019 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: <https://www.maxildily.cz/Stabilizator-22mm-1K0411303AQ-OE-d6187.htm?tab=description>
10. Aktivní stabilizátor. *Auto.cz* [online]. Tomáš Dusil, 2019 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: <https://www.auto.cz/aktivni-stabilizatory-pry-davaji-i-velkym-suv-dynamiku-sportaku-jak-funguji-126974>
11. Schaeffler. *autotechupdates* [online]. 2015 [cit. 2019-05-29]. Dostupné z: <https://autotechupdates.com/schaeffler-puts-electromechanical-active-roll-control-into-volume-production/>
12. Products. *Mubea* [online]. Attendorn [cit. 2019-05-29]. Dostupné z: <https://www.mubea.com/cz/products-technologies/automotive/podvozek/>
13. Company. *Mubea* [online]. Attendorn [cit. 2019-05-29]. Dostupné z: <https://www.mubea.com/cz/company/philosophy/>
14. NĚMEC, Milan, Jan SUCHÁNEK a Jan ŠANOVEC. *Základy strojírenské technologie I*. Praha: České vysoké učení technické, 2016. ISBN978-80-01-06056-8.

15. FABÍK, Richard. *Tváření kovů: studijní materiály pro studijní program Metalurgické inženýrství Fakulty metalurgie a materiálového inženýrství* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská – Technická univerzita, 2012 [cit. 2019-05-29]. ISBN978-80-248-2572-4. Dostupné z: <http://www.person.vsb.cz/archivcd/FMMI/TVKB/Tvareni20kovu.pdf>
16. PODANÝ, Kamil. *Technologie tváření*. Přednáška Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2017
17. FOREJT, Milan a Miroslav PÍŠKA. *Teorie obrábění, tváření a nástroje*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2006. ISBN 80-214-2374-9.
18. BAXANT, Petr. *Elektrické teplo a světlo*. Brno: Akademické nakladatelství CERM, 2004. ISBN 80-214-2761-2.
19. HRADÍLEK, Zdeněk. *Elektrotepelná zařízení*. Praha: IN-EL, 1997. Knižnice Elektro. ISBN 80-902-3332-5.
20. Indukční ohřev. *Rajmont* [online]. Hradec Králové, 2005-2019 [cit. 2019-05-28]. Dostupné z: <https://www.rajmont.cz/produkty-indukcni-ohrev/>
21. KOČMAN, Stanislav. *Elektrické teplo*. Fei1.vsb [online]. Ostrava, 2009 [cit. 2019 05 29]. Dostupné z: http://fei1.vsb.cz/kat420/vyuka/Bakalarske_FMMI/Prednasky/Prezentace/teplo.pdf
22. Indukce. *Roboterm* [online]. Chotěboř, 2012 [cit. 2019-06-18]. Dostupné z: <https://www.roboterm.cz/home/co-je-indukcni-ohrev>
23. UHLÍŘ, Miroslav. *Indukční ohřevy ve strojírenství* [online]. Plzeň, 2012, 44 s. [cit. 2019-06-18]. Dostupné z: <https://otik.zcu.cz/bitstream/11025/2770/1/BP20Uhlir20Miroslav20Indukcni20ohrev20ve20strojirenstvi.pdf>. Bakalářská práce. Západočeská univerzita v Plzni. Vedoucí práce Jiří Kožený.
24. MACEDO, Sergio. *Hot forming/welding*. 2018, 30 s. Interní dokument.
25. MÜNSTEROVÁ, Eva a Eva MOLLIKOVÁ. *Fázové přeměny při tepelném zpracování*. Ime.fme.vutbr [online]. Brno [cit. 2019-07-03]. Dostupné z: http://ime.fme.vutbr.cz/images/umvi/vyuka/struktura_a_vlastnosti_materialu/prednasky/02-0320-20Fazove20premeny20pri20TZ.ppt
26. Rozpad austenitu: Strojírenské materiály. *Opi.zcu* [online]. [cit. 2019-07-03]. Dostupné z: https://www.opi.zcu.cz/tep_zprac.pdf
27. KRAUS, Václav. *Tepelné zpracování a slinování*. Plzeň: Západočeská univerzita, 2000, 274 s. ISBN 80-708-2582-0.
28. MACHEK, Václav a Jaroslav VIŠŇÁK. *Zpracování tenkých plechů*. Praha: Státní nakladatelství technické literatury, 1982. DT 621.98.
29. NOVOTNÝ, Josef a Zdeněk LANGER. *Stříhání a další způsoby dělení kovových materiálů*. Praha: Nakladatelství technické literatury, 1980. DT 621.96.

30. NOVOTNÝ, Karel. *Tvářecí nástroje*. Brno: Vysoké učení technické, 1992, 186 s. ISBN 80-214-0401-9.
31. LENFELD, Petr. *Technologie II*. Katedra strojírenské technologie: Oddělení tváření kovů a plastů [online]. Liberec: Technická univerzita Liberec [cit. 2019-06-18]. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/01.htm
32. Ruční pákové nůžky. *Extera* [online]. Ostrava [cit. 2019-07-09]. Dostupné z: <https://extera.cz/lisy-apakove-nuzky/23565-rucni-pakove-nuzky.html>
33. Akademie tváření: Stříhání. *Mmspektrum* [online]. Praha, 2010 [cit. 2019-06-25]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
34. BOBČÍK, Ladislav. *Střížné nástroje pro malosériovou výrobu*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1983, 213 s.
35. ČSN 22 6015 *Stříhadla a střížné vřetě, Směrnice pro výpočet a konstrukci*. Praha: Úřad pro normalizaci a měření, 1975.
36. ZÁTORSKÝ, Michal. *Střížný nástroj*. Zlín, 2010, 84 s. Bakalářská práce. Univerzita Tomáše Bati, Fakulta technologická. Vedoucí práce Miroslav Maňas.
37. ELFMARK, Jiří. *Tváření kovů*. Praha: SNTL – Nakladatelství technické literatury, 1992, 528 s. Technický průvodce. ISBN 80-030-0651-1.
38. FOREJT, Milan, Anton HUMÁR, Miroslav PÍŠKA a Libor JANÍČEK. *Experimentální metody* [online]. Brno, 2019, 47 s. [cit. 2019-09-27]. Dostupné z: http://ust.fme.vutbr.cz/tvareni/img/cviceni/he1_experimentalni_metody_cviceni_2019_forejt_piska_humar_janicek.pdf
39. LEINVEBER, Jiří a Pavel VÁVRA. *Strojnické tabulky: pomocná učebnice pro školy technického zaměření*. 5., upr. vyd. Úvaly: Albra, 2011. ISBN 978-80-7361-081-4.
40. CITACE PRO. *Generátor citací* [online]. 2016 [cit. 2019-11-14]. Dostupné z: <https://citace.lib.vutbr.cz/>
41. MORAVEC, Ján. *Technológia tvárenia kovov: vybrané statě*. Žilina: Žilinská univerzita v Žiline, 2016. Vysokoškolské učebnice (Žilinská univerzita). ISBN 978-80-554-1251-1.
42. HRUBÝ, Jiří, Stanislav RUSZ a Radek ČADA. *Strojírenské tváření*. Ostrava: VŠB-Technická univerzita, 1993. ISBN 80-707-8201-3.
43. KOTOUČ, Jiří, Jan ŠANOVEC, Jan ČERMÁK a Luděk MÁDLE. *Tvářecí nástroje*. Praha: vydavatelství ČVUT, 1993, 349 s. ISBN 80-010-1003-1.
44. LIDMILA, Zdeněk. *Teorie a technologie tváření I*. Brno: Univerzita obrany, 2008, 105 s. ISBN 978-80-7231-579-6.
45. LIDMILA, Zdeněk a Emil SVOBODA. *Strojírenská technologie*. Brno: Univerzita obrany, 2006, 250 s. ISBN 978-80-7231-220-7.

46. KOTOUČ, Jiří. *Nástroje pro tváření za studena. Střížné a ohýbací nástroje* [online]. České vysoké učení technické v Praze, 1978 [cit. 2019-11-21]. Dostupné z: http://www.strojar.com/upload/skripta/NVPO_nastroje_pro_tvareni.pdf
47. LIDMILA, Zdeněk. *Tvářecí nástroje: Nástroje pro stříhání*. Brno, 2018. Přednáška VUT Brno.
48. SUCHY, Ivana. *Handbook of die design* [online]. Second edition. New York: McGraw-Hill, 2006 [cit. 2020-01-20]. McGraw-Hill handbooks. ISBN 00-714-6271-6. Dostupné z: <http://staff.uny.ac.id/sites/default/files/pendidikan/aan-ardian-mpd/1g-handbook-die-design-2nd-edition.pdf>
49. HOSFORD, William a Robert CADDELL. *Metal forming: mechanics and metallurgy* [online]. 3th ed. New York: Cambridge University Press, 2007 [cit. 2020-01-29]. ISBN 978-0-511-35453-3. Dostupné z: http://mhriau.ac.ir/_DouranPortal/Documents/Metal20forming20cadell_20160129_120241.pdf
50. MARCINIAK, Zdzislaw, John DUNCAN a Jack HU. *Mechanics of sheet metal forming* [online]. 2nd ed. Oxford: Butterwort-Heinemann, 2002 [cit. 2020-02-01]. ISBN 07-506-5300-0. Dostupné z: https://archive.org/details/Mechanics_of_Sheet_Metal_Forming_Marciniak/page/n1/mode/2up
51. TSCHAETSCH, Heinz. *Metal forming practise: processes - machines - tools* [online]. New York: Springer Berlin Heidelberg, 2006 [cit. 2020-02-04]. ISBN 35-403-3216-2. Dostupné z: <https://www.defconbunkers.com/wp-content/uploads/2017/12/Metal-Forming2.pdf>
52. Odstranění primárních a sekundárních okují. *Kompass* [online]. Praha [cit. 2020-02-06]. Dostupné z: <https://cz.kompass.com/p/ostrik-odstraneni-primarnich-a-sekundarnich-okuji/0bb46933-de84-406f-9ec7-f9c4a8e1b752/>
53. Nástrojové oceli pro práci za tepla. *Bohler* [online]. Vyškov, 2020 [cit. 2020-02-10]. Dostupné z: <https://www.bohler.cz/cs/product-category/nistrojove-oceli-pro-praci-za-tepla/>
54. *Kovosvit MAS* [online]. Sezimovo Ústí, 2016 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://www.kovosvit.cz/>
55. Elektroerozivní obrábění. *KOVO Mik* [online]. Lanškroun: Jan Fryauf, 2020 [cit. 2020-03-30]. Dostupné z: <https://kovomik.cz/vyroba/elektroerozivni-obrabeni>
56. FREMUNT, Přemysl, Jiří KREJČÍK a Tomáš PODRÁBSKÝ. *Nástrojové oceli*. Brno: Dům techniky, 1994, 229 s.
57. MELLOULI, Dhouha, Nader HADDAR, Alain KÖSTER a Hassine FERID AYEDI. Hardness effect on thermal fatigue damage of hot-working tool steel. *Engineering Failure Analysis* [online]. Elsevier, 2014, (45), 85-95 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S1350630714001915>

58. ZAHRADNÍK, Radek. *Tepelně-mechanická degradace povrchů za vysokých teplot*. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2014. 236 s. Vedoucí dizertační práce prof. Ing. Miroslav Raudenský, CSc.
59. *Oxidace a koroze* [online]. [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: www.zam.fme.vutbr.cz/~vlach/6ms/prednasky/koroze.doc
60. Steel for cold work tooling. *Uddeholm* [online]. 2016 [cit. 2020-04-05]. Dostupné z: https://www.uddeholm.com/files/AB_cold_work_eng.pdf
61. TOMEŠEK, Viktor. *Analýza lomového porušení nástrojových ocelí a studium jeho eliminace*. Brno, 2018, 51 s. Diplomová práce. Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství. Vedoucí práce Prof. Ing. Miroslav Píška, CSc.
62. SUCHÁNEK, Jan a Zuzana TATÍČKOVÁ. Otěruvzdorné povrchové vrstvy a povlaky. *Techmagazín* [online]. Praha: ČVUT-FS, Ústav strojírenské technologie, 2016 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <http://www.techmagazin.cz/45782>
63. Současnost a trendy povlakování technologií PVD. *Mmspektrum* [online]. 2003 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.mmspektrum.com/clanek/soucasnost-a-trendy-povlakovani-technologie-pvd.html>
64. CVD Povlakování. *Voestalpine* [online]. Praha, 2020 [cit. 2020-04-06]. Dostupné z: <https://www.voestalpine.com/highperformancemetals/cs/cs/pozadavky-k-pvd-povlakovani-kovovych-dilu/>

SEZNAM POUŽITÝCH SYMBOLŮ A ZKRATEK

Označení	Legenda	Jednotka
A	tažnost	[%]
a	součinitel teplotní vodivosti	[m ² · h ⁻¹]
c	součinitel závislý na stupni stříhu	[-]
d _{max}	maximální průměr polotovaru	[mm]
d _{min}	minimální průměr polotovaru	[mm]
d ₀	počáteční průměr polotovaru	[mm]
E	Youngův modul pružnosti v tahu	[MPa]
F _{krit}	kritická síla	[N]
F _s	střížná síla	[N]
F _{smax}	maximální střížná síla	[N]
h ₀	počáteční výška polotovaru	[mm]
h ₁	konečná výška polotovaru	[mm]
I	kvadratický moment průřezu	[mm ⁴]
k	tvárový součinitel rychlosti ohřevu	[-]
k _{on}	koeficient otupení nástroje	[-]
k _s	tvárový součinitel teplotního rozdílu	[-]
L _s	délka stříhu	[mm]
l _{krit}	kritická délka střížníku	[mm]
l _{red}	redukováná délka	[mm]
n _b	koeficient bezpečnosti	[-]
R _{p0,2}	smluvní mez kluzu	[MPa]
R _m	smluvní mez pevnosti	[MPa]
R _{max}	maximální rádius otupení	[mm]
S	střížná plocha	[mm ²]
S _t	plocha tělesa	[m ²]
s	tloušťka materiálu	[mm]
T _{rek}	teplota rekrystalizace	[°C]
T _{tav}	teplota tavení	[°C]
v	střížná vůle	[mm]
v _o	přípustná rychlost ohřevu	[K · h ⁻¹]
z	střížná mezera	[mm]

Označení	Legenda	Jednotka
α_t	teplotní délková roztažnost	[K ⁻¹]
ΔT	teplotní rozdíl	[K]
ΔT_{\max}	maximální přípustný teplotní rozdíl v tělese	[K]
μ	koeficient	[-]
σ_m	teplotní napětí	[MPa]
σ_n	normálová složka napětí	[MPa]
σ_1	hlavní tahové napětí	[MPa]
σ_3	hlavní tlakové napětí	[MPa]
τ_{\max}	maximální smykové napětí	[MPa]
τ_s	střižný odpor ve stříhu	[MPa]
φ	úhel zkosení střižné hrany	[°]

Zkratka	Legenda
Al	hliník
Al ₂ O ₃	oxid hlinitý
B	bór
C	uhlík
CO ₂	oxid uhličitý
Cr	chrom
ČSN	Česká národní norma
DIN	Německá národní norma
HRC	tvrdost dle Rockwella
HV	tvrdost dle Vickerse
H ₂	vodík
H ₂ O	voda
Mn	mangan
N ₂	dusík
O ₂	kyslík
P	fosfor
S	síra
Si	křemík
SK	slinutý karbid

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Ukázka výrobků zhotovených stříháním [1], [2].....	10
Obr. 2 Fotografie otřepu	11
Obr. 3 Tvar střížníku s rovným čelem [6]	11
Obr. 4 Uložení stabilizátoru v nápravě automobilu [7]	12
Obr. 5 Pasivní – zkrutný stabilizátor [9].....	12
Obr. 6 Aktivní stabilizátor – elektrický [11].....	13
Obr. 7 Rozdělení stabilizátoru	13
Obr. 8 Tvářená a obráběná součást [16]	14
Obr. 9 Ohřev vsázky v peci [15].....	16
Obr. 10 Schéma odporového ohřevu přímého a nepřímého [21]	17
Obr. 11 Indukční ohřev v praxi [24]	18
Obr. 12 Okuje na konci trubky [52].....	18
Obr. 13 Ukázka oduhličené oceli [15]	19
Obr. 14 Widmannstättanova struktura [25], [26].....	19
Obr. 15 Povrch a mikrostruktura spálené oceli [15].....	20
Obr. 16 Tvarová změna – soudečkovitost [38].....	20
Obr. 17 Schéma dělení materiálu [29]	21
Obr. 18 Deformační pásma při stříhání [29].....	22
Obr. 19 Ruční pákové nůžky [31].....	23
Obr. 20 Volné stříhání [17].....	23
Obr. 21 Rozbor napjatosti při uzavřeném stříhání [17]	24
Obr. 22 Střížná vůle v závislosti na tloušťka materiálu [33]	25
Obr. 23 Případy nastavení střížné mezery – z [43].....	26
Obr. 24 Opotřebení na nástroji [36].....	26
Obr. 25 Křivka opotřebení [36]	27
Obr. 26 Střížníky složené [43].....	29
Obr. 27 Schematicky znázorněné tvary celistvých střížnic [46], [47].....	30
Obr. 28 Konstrukční řešení skládaných a vložkových střížnic [47]	30
Obr. 29 Průběh střížné síly [44].....	31
Obr. 30 Tvarové úpravy střížníku a střížnice [31], [44]	32
Obr. 31 Trhlina způsobená tepelnou únavou [61]	33
Obr. 32 Abrasivní opotřebení nástroje [60].....	33
Obr. 33 Adhezivní opotřebení nástroje [60]	34
Obr. 34 Otřep v příčném řezu	37
Obr. 35 Zalisování odpadu.....	37
Obr. 36 Hydraulický lis	37
Obr. 37 Uspořádání v prostoru lisu.....	40
Obr. 38 Upínací a tvářecí část na střížném nástroji	40
Obr. 39 Jednotlivé náčrtky tvaru čel	41
Obr. 40 Vymodelované návrhy ve 3D	41
Obr. 41 Schéma stříhu sešikmeným nástrojem.....	42
Obr. 42 Stávající typ sestavení	43
Obr. 43 Návrhy umístění vyhazovače.....	43

Obr. 44 Soustruh Masturn 550 CNC a frézka MCV 1016 Q [54]	45
Obr. 45 Elektroerozivní drátová řezačka [55]	46
Obr. 46 Vyrobené střížníky	47
Obr. 47 Úprava čel a označení materiálu.....	47
Obr. 48 Layout automatického centra AWA	47
Obr. 49 Díra s odpadem.....	48
Obr. 50 Speciální měřicí přípravek "léhra"	48
Obr. 51 Pohled vlevo na vrchní a vpravo na spodní část.....	49
Obr. 52 Příčný řez s detailem na rozhraní vrstev	49
Obr. 53 Ulomený střížník po 1. zdvihu	50
Obr. 54 Odpad a ulomený střížník v stabilizátoru	50
Obr. 55 Zdeformovaný odpad.....	50
Obr. 56 Střížník s ulomenými hroty a odpadem.....	51
Obr. 57 Odpad s hrotem.....	51
Obr. 58 Vlevo pohled shora, vpravo pohled zespoda.....	52
Obr. 59 Odpad po stříhání odstupňovaným střížníkem	52
Obr. 60 Vlevo pohled na vrchní, vpravo pohled na spodní část první díry stabilizátoru	52
Obr. 61 Pohled na příčný řez s detailem na rozhraní vrstev u první díry	53
Obr. 62 Rozbor druhé díry s příčným řezem	53
Obr. 63 Rozevření hrotů v lisovacím nástroji.....	54
Obr. 64 Díra vystřížená čtyřhrotým střížníkem	54
Obr. 65 Rozbor díry s příčným řezem	55
Obr. 66 Konce stabilizátoru a odpad	56
Obr. 67 Rozbor otvoru	56
Obr. 68 Nárýs odstupňovaného střížníku	59
Obr. 69 Nárýs čtyřhrotého střížníku	59
Obr. 70 Nárýs oboustranně zešikmeného střížníku	59

SEZNAM TABULEK

Tab. 1	Mechanické vlastnosti a chemické složení. [4], [5].....	11
Tab. 2	Rozmezí tvářecích teplot pro vybrané materiály. [14]	15
Tab. 3	Velikost střížné vůle dle způsobu stříhání a tloušťky materiálu. [44].....	25
Tab. 4	Závady při stříhání a jejich důsledky. [29]	28
Tab. 5	Charakteristiky technologických procesů pro vytvoření povrchových vrstev. [62].....	35
Tab. 6	Charakteristiky technologických procesů pro vytvoření povlaků. [62]	36
Tab. 7	Proces výroby pýchování a děrování konce stabilizátoru.....	38
Tab. 8	Srovnání ocelí Böhler vhodné pro nástroje při tváření za vysokých teplot. [53]	44
Tab. 9	Celkový počet střížníků.	45
Tab. 10	Přehled výsledků jednotlivých střížníků z materiálu ASP 2023.	57
Tab. 11	Přehled dosavadních výsledků jednotlivých střížníků z materiálu W 360.....	58

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1	Materiálový list oceli ASP 2023
Příloha č. 2	Materiálový list oceli Böhler W 360
Příloha č. 3	Dokumentace speciální elektrody pro elektroerozivní obrábění
Příloha č. 4	Průvodka odstupňovaného střížníku z materiálu W 360
Příloha č. 5	Další fotky děr k odstupňovanému střížníku z ASP 2023
Příloha č. 6	Další fotky z testu oboustranně zešikmeného střížníku z ASP 2023
Příloha č. 7	Další fotky z testu čtyřhrotého střížníku z ASP 2023
Příloha č. 8	Další fotky děr k odstupňovanému střížníku z W360
Příloha č. 9	Druhá vystřižená díra čtyřhrotým střížníkem z materiálu W 360
Příloha č. 10	Druhá díra oboustranně zešikmeného střížníku z materiálu W 360

Rychlořezná ocel, výrobek práškové metalurgie

ASP[®]2023

CHEMICKÉ SLOŽENÍ

C	Cr	Mo	W	Co	V
1,28	4,1	5,0	6,4	-	3,1

ASP 2023 je bezkobaltová rychlořezná ocel pro vysokovýkonné nástroje a pro práci za studena.

Odpovídá chem. složením

- USA: AISI (M3:2)
- Evropa: ENHS 6-5-3
- Německo: W.Nr. 1.3344
- Švédsko: SS 2725
- Japonsko: JIS SKH53

Tvrdość ve stavu dodání

Žiháno na měkko max. 260 HB
 Taženo za studena max. 300 HB
 Válcováno za tepla max. 300 HB

PRODUKTY

- Drát
- Tyče kruhové
- Přířezy
- Kované polotovary
- Tyče ploché a čtvercové
- Plechy
- Kotouče

Dodávaná provedení povrchu: tažený, broušený, loupáný, hrubovaný, po válcování za tepla.

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

- Žihání na měkko se provádí 3 hodiny v ochranné atmosféře při 850-900°C, pak pomalu ochlazovat rychlostí 10°C/hod. na 700°C, následně dochladiť na vzduchu.
- Žihání na odstranění pnutí při 600-700°C, s výdrží cca. 2 hodiny na této teplotě, následuje pomalé ochlazení na teplotu 500°C.
- Kalení v ochranné atmosféře, předehřev ve dvou stupních při 450-500°C a při 850-900°C, teplotu austenitizace pak volit v závislosti na požadované tvrdosti. Při kalení pak ochladit až na teplotu 40-50°C.

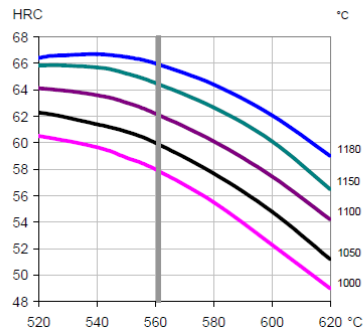
2008 *Výše uvedené údaje slouží pro informační účely a není možno je považovat za závazné smluvní ujednání. ASP je registrovaná ochranná známka společnosti Erasteel.*

- Popouštěť 3 x nejméně 1 hodinu při 560°C, mezi každým cyklem ochlazovat až na teplotu okolí (25°C).

VYBRANÁ DATA PRO TEP. ZPRACOVÁNÍ

Tvrd. HRC	Kalící teplota °C
56	975
58	1000
59	1030
60	1050
61	1075
62	1100
63	1120
64	1140
65	1160
66	1180

SMĚRNICE PRO TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ



Popouštěcí teplota
 Popouštěť 3 x min. 1 hodinu při 560°C

ARA diagram

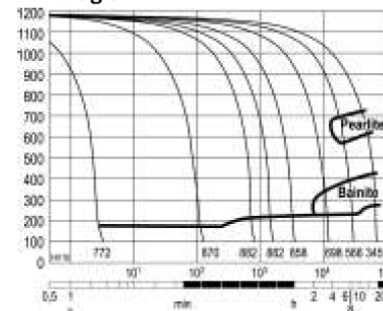


Diagram anizotermického rozpadu austenitu
 Kalící teplota 1180°C

ZAPP
 ZAPP MATERIALS ENGINEERING
 TOOL ALLOYS

Robert Zapp
 Werkstofftechnik GmbH
 Zapp-Platz 1
 40880 Ratingen
 Phone +49 2102 710-501
 Fax +49 2102 710-596



Bolzano
 ocel v pohybu...

Bohdan Bolzano s.r.o.
 Huťská 1379
 272 01 Kladno
 Phone +420 312 613 309
 Fax +420 312 613 350
 www.bolzano.cz

OPRACOVÁNÍ

ASP 2023 může být opracována následujícími způsoby:

- Mechanické/ třískové obrábění (broušení, soustružení, frézování)
- Jemné broušení
- Elektroerozivní obrábění
- Svařování (speciální metody s přehřevem a bazické přídavné materiály).

BROUŠENÍ

Při broušení je nutno vyvarovat se vyhrátí povrchu, neboť by mohlo dojít k vytvoření nežádoucí popuštěné struktury. Volbu vhodných brusných kotoučů konzultujte s jejich výrobcem.

POVLAKOVÁNÍ, NITRIDOVÁNÍ

Tato ocel je dobrým nosným substrátem pro povlakování metodami PVD a CVD. Při nitridaci se doporučuje tenká difundovaná zóna o tloušťce 2-15 μm . V případě požadavku může být povrch nástrojů z této oceli vaporizován.

VLASTNOSTI

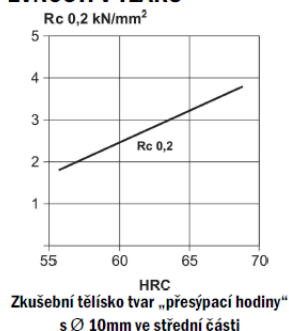
FYZIKÁLNÍ VLASTNOSTI

	Teplota		
	20 °C	400 °C	600 °C
Hustota g/cm^3 (1)	8,0	7,9	7,9
Modul pružnosti kN/mm^2 (2)	230	205	184
Součinitel teplotní roztažnosti K^{-1} (2)	-	$12,1 \times 10^{-6}$	$12,7 \times 10^{-6}$
Tepelná vodivost $\text{W/m}^\circ\text{C}$ (2)	24	28	27
Měrné teplo $\text{J/kg } ^\circ\text{C}$ (2)	420	510	600

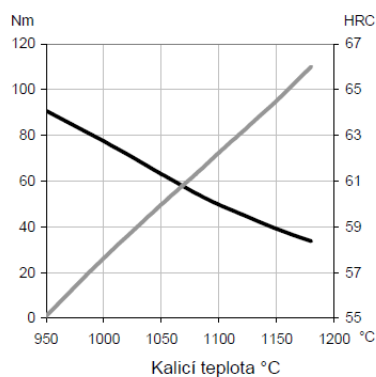
(1) = žiháno na měkko

(2) = kaleno při 1180 °C a 3 x 1 hod při 560 °C popuštěno

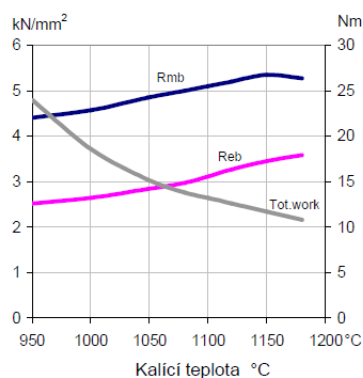
MEZ PEVNOSTI V TLAKU



VRUBOVÁ HOUŽEVNATOST



4- BODOVÁ ZKOUŠKA OHYBEM

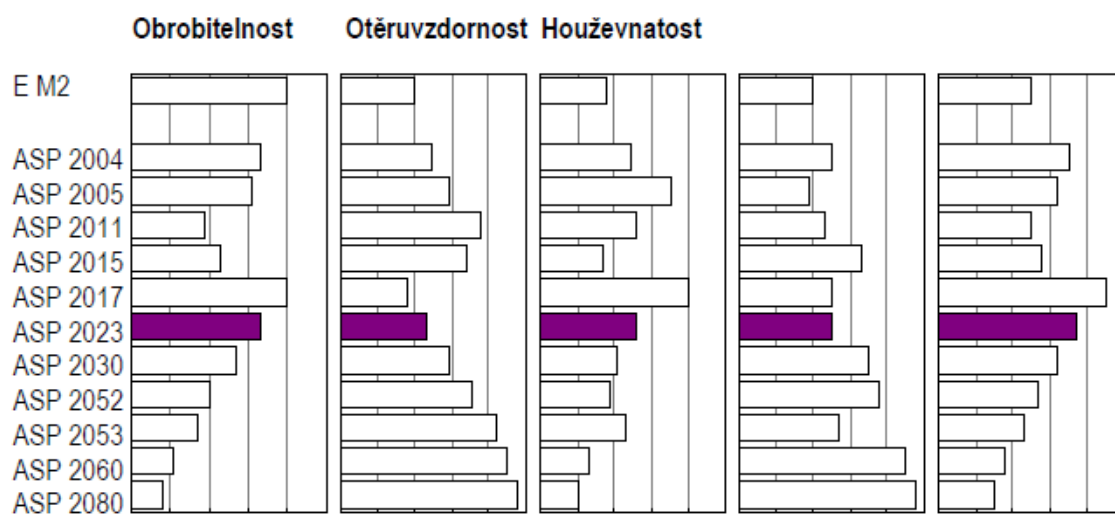


Rmb = Mez pevnosti v ohybu
 kN/mm^2

Reb = Mez kluzu v ohybu
 kN/mm^2

Tot. work = Celková práce v Nm

SROVNÁNÍ VLASTNOSTÍ



BÖHLER W360

ISOBLDC

Chemické složení	C	Si	Mn	Cr	Mo	V
Obsah prvků v %	0,50	0,20	0,25	4,50	3,00	0,55

Charakteristika

Ocel s patentovaným konceptem, která je elektro-struzkové vyráběná (ESU), což obnáší homogenní mikrostrukturu. Pracovní tvrdost 52-57 HRC. Vyniká excelentní houževnatí, která je u oceli pracujících za tepla důležitou vlastností, neboť je tím pádem odolná proti prasknutí a tepelným šokům při kolísání teplot (tepelné únavě). Velmi dobrá odolnost proti popouštění. Je chladitelná vodou.

Použití

ve všech případech kde je požadována kombinace vysoké tvrdosti s vynikající houževnatostí. Nástroje pro rychlokovací stroje, průtlačné nástroje, jádra a vložky do forem pro tlakové lití, razníky a matrice pro tvářeni za tepla. V případech, kdy je problematické nasazení oceli pracujících za studena.

TEPELNÉ ZPRACOVÁNÍ

Stav dodání: žhánno na měkko, max 205 HB

Žhání na měkko: 750-800°C, výdrž 6-8hod.

Pomalé řízené ochlazování v peci rychlostí 10-20°C za hodinu na teplotu ca 600°C.

Další ochlazování již na vzduchu.

Žhání na odstranění prnutí: 650-700°C. Po úplném prohřátí ponecht 1-2hod. v ochranné atmosféře na teplotě. Pomalé ochlazení v peci.

KALENÍ

1050°C - horká (500-550°C) olejová lázeň, vzduchem nebo ve vakuu. Výdrž po úplném prohřátí: 15 - 30 minut.

STANDARDNÍ ROZMĚROVÝ SORTIMENT

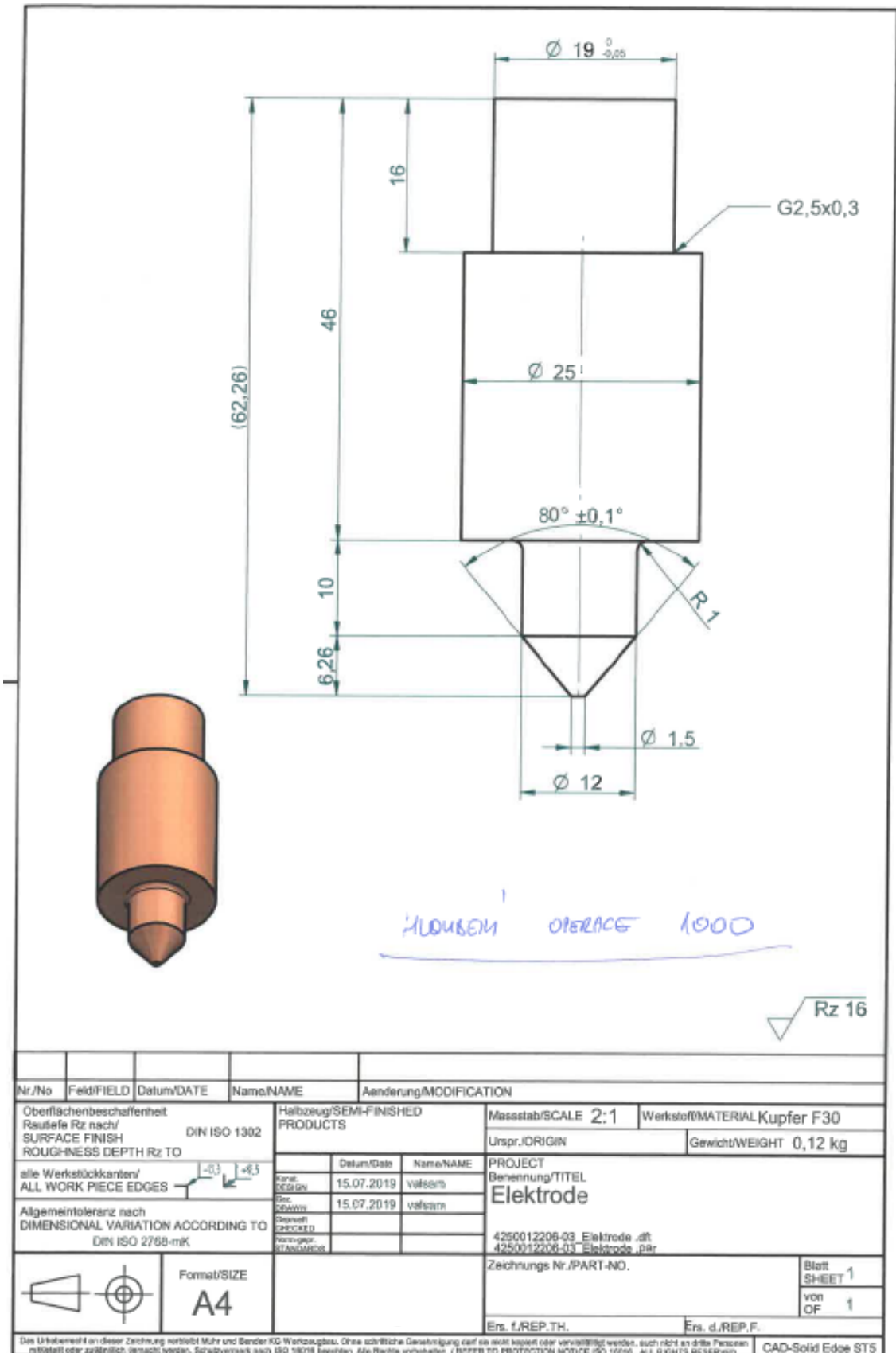
● Kruhové tyče, žháné IBO ECOMAX (mm)						
20,50	25,50	35,80	40,80	50,80	60,80	
81,0	91,0	101,50	111,50	121,50	131,50	
141,50	162,0	182,0	202,0	262,0		

■ Bloky, žháné		
Šířka (mm)	Tloušťka (mm)	
	202,0	303,0
603		X
403	X	



NÁSTROJOVÉ OCELI PRO PRÁCI ZA TEPLA

BÖHLER



Název: **Odstupnovany str.**Číslo výkresu **01**

KS

3

Skupina: 03

Pozice:

Poznámka:




Operace	Pracoviště	Popis Operace	Kon. term.
0000	 Material	W360 - Kruh 20x138	13.05.2019
0100	 Řezat 040	L=138	15.05.2019
0200	 Soustružit 916	pr.14f7 , pr.11f7 , s příd. 0,3 pro brus * pr.10,8+-0,02-s příd. 0,3 pro soustr. po kalení * pr.9,2 * hlavu na pr.16 s R0,8	23.05.2019
M5x0,8 do hl.30-nariznout * navrtat pr.2,1 do hl.20 * fazky pro brus			
0300	 Frézovat 885	pr.1,5	27.05.2019
0400	 Hloubit 521	pr. 4,2 hl.57 * pr.2,15+0,05 dle výkresu a tol.	27.05.2019
0500	 Odjehlit 1230	M5x0,8	28.05.2019
0600	 Označit 1235	mat.	28.05.2019
0700	 Kalení - KOO 6082	56+2HRc	31.05.2019
0800	 Brousit 240	pr.14f7 * pr.11f7 *	05.06.2019
EG KOO Cervenka 8.7.			
0900	 Soustružit 916	pr. 10,8+-0,02 vč. 1°	05.06.2019
1000	 Erodovat 400	L=127,5+-0,2	10.06.2019

Název: **Odstupnovany str.** Číslo výkresu **01** KS **3**

Skupina: 03

Pozice:

Poznámka:




Operace	Pracoviště	Popis Operace	Kon. term.
1100 	Odjehlit 1230	Ostré hranyl	11.06.2019
1200 	Zaskladnit 1500		14.06.2019
1300 	Export 1500		14.06.2019

Název: **Vyhazovac** Číslo výkresu **02** KS **3**

Skupina: 03

Pozice:

Poznámka:




Operace	Pracoviště	Popis Operace	Kon. term.
0100 	Kaufteile	Vyhazovac Kern - č.v.02	10.06.2019
0200 	Zaskladnit 1500		14.06.2019
3.7.19 /k8/DE			
0300 	Export 1500		14.06.2019

Název: **Sestava** Číslo výkresu **03** KS **3**

Skupina:

Pozice:

Poznámka:

Operace	Pracoviště	Popis Operace	Kon. term.
0100 	Montage 040	sestavit a smontovat dle výkresu b.č.17-18	13.06.2019
0200 	Zaskladnit 1500		14.06.2019
0300 	Export 1500		14.06.2019

