



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI
Fakulta strojní



VLIV STŘIŽNÉ MEZERY NA ROZLOŽENÍ TVRDOSTI V OKOLÍ STŘIŽNÉ HRANY

Bakalářská práce

Studijní program: B2341 – Strojírenství
Studijní obor: 3911R018 – Materiály a technologie
Autor práce: **David Koreček**
Vedoucí práce: doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.





ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

Jméno a příjmení **David K O R E Č E K**

Studijní program **B2341 Strojírenství**

Studijní obor **3911R018 Materiály a technologie**

Zaměření **Tváření kovů a plastů**

Ve smyslu zákona č. 111/1998 Sb. o vysokých školách se Vám určuje bakalářské práce na téma:

Vliv střížné mezery na rozložení tvrdosti v okolí střížné hrany

Zásady pro vypracování:

(uveďte hlavní cíle bakalářské práce a doporučené metody pro vypracování)

1. Základy teorie stříhání (způsoby stříhání, vady střížné plochy, výpočet energo-silových parametrů, vliv velikosti střížné mezery na kvalitu střížné plochy.
2. Metody měření tvrdosti kovů (způsoby měření, rozdělení z hlediska zatížení vzorku).
3. Experimentální zjištění rozložení deformace v okolí střížné hrany pomocí měření mikrotvrdosti dle Vickerse.
4. Vyhodnocení měření, statistický test vlivu jednotlivých parametrů měření na výsledek zkoušky.
5. Diskuze výsledků, závěr.





Forma zpracování bakalářské práce:

- průvodní zpráva: v rozsahu cca 30 stran
- přílohy: grafy, tabulky

Seznam literatury (uveďte doporučenou odbornou literaturu):

- [1] BŘEZINA, R. *Úvod do tváření II* [online]. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita, 2002 ISBN 80-248-0068-3.
- [2] ASM HANDBOOK 14B. *Sheet metal forming*, ASM INTERNATIONAL 2004, ISBN-13:978-0-87170-710-9
- [3] MACHEK, V. VESELÝ, L. VESELÝ, M. VIŠŇÁK, J.: *Zpracování tenkých plechů*, SNTL, Praha 1983
- [4] PETRUŽELKA, J. *Úvod do tváření I*. Ostrava: Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2001 ISBN 80-7078-877-1.
- [5] POHLANDT, K.: *Materials Testing for the Metal Forming Industry*, Springer-Verlag, Berlin 1989
- [6] VELES, P. *Mechanické vlastnosti a skúšanie kovov*. Bratislava: Alfa, 1989

Vedoucí bakalářské práce: doc. Ing. Pavel Solfronk, Ph.D.

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jiří Sobotka, Ph.D.



prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
vedoucí katedry

prof. Dr. Ing. Petr Lenfeld
děkan

V Liberci dne 15.2. 2014

Platnost zadání bakalářské práce je 15 měsíců od výše uvedeného data. (v uvedené lhůtě je třeba podat přihlášku ke SZZ). Termíny odevzdání bakalářské práce jsou určeny pro každý studijní rok a jsou uvedeny v harmonogramu výuky.



Prohlášení

Byl jsem seznámen s tím, že na mou bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb., o právu autorském, zejména § 60 – školní dílo.

Beru na vědomí, že Technická univerzita v Liberci (TUL) nezasahuje do mých autorských práv užitím mé bakalářské práce pro vnitřní potřebu TUL.

Užiji-li bakalářskou práci nebo poskytnu-li licenci k jejímu využití, jsem si vědom povinnosti informovat o této skutečnosti TUL; v tomto případě má TUL právo ode mne požadovat úhradu nákladů, které vynaložila na vytvoření díla, až do jejich skutečné výše.

Bakalářskou práci jsem vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury a na základě konzultací s vedoucím mé bakalářské práce a konzultantem.

Současně čestně prohlašuji, že tištěná verze práce se shoduje s elektronickou verzí, vloženou do IS STAG.

Datum:

Podpis:

Vliv střižné mezery na rozložení tvrdosti v okolí střižné hrany

Influence of the punch-die clearance on the distribution of hardness around cutting edge

Anotace

Tato bakalářská práce se zabývá vlivem velikosti střižné mezery na rozložení tvrdosti v okolí střižné hrany. Cílem práce je připravit metalografické vzorky pro různé střižné mezery a v jednotlivých pásmech stříhu změřit mikrotvrdost a následně vyhodnotit závislost tvrdosti na velikosti střižné mezery.

Klíčová slova: stříhání, střižná mezera, střižná plocha, mikrotvrdost, metalografický vzorek

Annotation

This bachelor thesis examines the influence of the size of the punch-die clearance on the distribution of hardness around the cutting edge. The aim is to prepare metallographic samples for a variety of the punch-die clearance and to measure in the individual shear bands microhardness and then evaluate the dependence of hardness on the size die clearance.

Key Words: shearing, punch-die clearance, cutting surface, microhardness, metallographic sample

Poděkování

Tímto děkuji mému vedoucímu bakalářské práce doc. Ing. Pavlu Solfronkovi, Ph.D. za poskytnutí cenných rad a podkladů, které mi pomohly při vypracování této bakalářské práce. Dále bych chtěl poděkovat Ing. Michaele Kolnerové, Ph.D. za vstřícné jednání a cenné informace.

Obsah

1 Úvod.....	10
2 Teoretická část	10
2.1 Technologie stříhání	10
2.1.1 Princip	10
2.1.2 Střížná plocha.....	11
2.1.3 Střížná vůle.....	12
2.1.3.1 Výpočet střížné mezery	13
2.1.4 Výpočet střížné síly a práce	13
2.1.4.1 Výpočet střížné síly a práce pro rovnoběžné nože	14
2.1.4.2 Výpočet střížné síly a práce pro šikmé nože	15
2.1.5 Přesnost a jakost povrchu při stříhání	16
2.1.6 Technologičnost konstrukce výstřížků.....	17
2.1.7 Rozdělení stříhání.....	18
2.1.7.1 Stříhání rovnoběžnými noži.....	18
2.1.7.2 Stříhání šikmými noži.....	19
2.1.7.3 Stříhání kruhovými noži	19
2.1.7.4 Stříhání noži na profily, tyče a trubky	20
2.1.8 Přesné stříhání	21
2.1.8.1 Stříhání bez vůle	21
2.1.8.2 Stříhání s přidržovačem	21
2.1.8.3 Stříhání s nátlacnou hranou.....	22
2.1.8.4 Reversní stříhání	22
2.1.8.5 Stříhání se zápornou vůlí	23
2.1.9 Speciální způsoby stříhání	23
2.1.9.1 Stříhání pomocí pryže.....	23
2.1.9.2 Stříhání se zvýšenou rychlostí	24
2.1.10 Nástroje pro stříhání.....	24
2.1.10.1 Jednoduchý střížný nástroj.....	24
2.1.10.2 Postupový střížný nástroj.....	25
2.1.10.3 Sloučený a sdružený střížný nástroj.....	25
2.2 Měření tvrdosti	26
2.2.1 Úvod.....	26

2.2.2	Zkoušky vnikací	26
2.2.2.1	Zkouška tvrdosti podle Brinella.....	26
2.2.2.2	Zkouška tvrdosti podle Vickerse	27
2.2.2.3	Zkouška tvrdosti podle Rockwella	28
2.2.2.4	Zkouška tvrdosti podle Knoop.....	29
2.2.2.5	Měření mikrotvrdosti	29
2.2.3	Zkoušky dynamické	30
2.2.3.1	Měření tvrdosti kladívkem Poldi	30
2.2.3.2	Měření tvrdosti Baumannovým kladívkem	31
2.2.3.3	Měření tvrdosti pomocí Shoreho skleroskopu	31
2.2.4	Zkoušky vrypové.....	32
3	Experimentální část.....	33
3.1	Úvod	33
3.2	Postup	33
3.2.1	Nastříhání vzorků s různou střížnou mezerou.....	33
3.2.2	Příprava vzorků pro metalografický výbrus.....	34
3.2.3	Měření tvrdosti vzorků s různou střížnou mezerou.....	36
3.3	Naměřené hodnoty - Vzorek 1.	43
3.4	Naměřené hodnoty - Vzorek 2.	45
3.5	Naměřené hodnoty - Vzorek 3.	47
3.6	Naměřené hodnoty - Vzorek 4.	49
3.7	Naměřené hodnoty - Vzorek 5.	51
3.8	Naměřené hodnoty - Vzorek 6.	53
3.9	Porovnání oblasti zaoblení u vzorků 1. - 6.....	55
3.10	Porovnání oblasti vlastního stříhu u vzorků 1. - 6.....	56
3.11	Porovnání oblasti utržení u vzorků 1. - 6.....	57
3.12	Statistický test 1.....	58
3.13	Statistický test 2.....	60
4	Vyhodnocení výsledků měření a závěr.....	62
5	Seznam použité literatury	63
6	Příloha.....	67

Seznam použitých zkratk a symbolů

Označení	Rozměr	Význam
m_s	mm	střížná mezera
c		koeficient závislý na druhu stříhání
s	mm	tloušťka plechu
R_{ms}	MPa	pevnost materiálu ve stříhu
F_s	N	střížná síla
T	N	třecí složka střížné síly
F	N	normálová složka střížné síly
O	mm	střížný obvod
τ_s	MPa	napětí ve smyku
S	mm ²	plocha průřezu ve střížné rovině
A	J	střížná práce
k		koeficient zaplnění plochy pod křivkou
z	mm	zdvih
b	mm	délka stříhu
φ	°	úhel stříhu
R_a	μm	drsnost
IT		tolerance
HB	HB	tvrdost podle Brinella
F	N	zkušební síla
π		Ludolfovo číslo
D	mm	průměr kuličky
d	mm	průměr vtisku
HV	HV	tvrdost podle Vickerse
u	mm	aritmetický průměr dvou délek úhlopříček u_1, u_2
HK	HK	tvrdost podle Knoopu
u_1	mm	délka delší úhlopříčky
H_0		základní hypotéza
H_1		alternativní hypotéza
Q_1		součet čtverců odchylek mezi úrovněmi
Q_2		součet čtverců odchylek reziduální
k_1		počet stupňů volnosti
k_2		počet stupňů volnosti
p		počet nezávislých výběrů
n		četnost
σ_1^2		rozptyl
σ_2^2		rozptyl
T		testovací kritérium
F_{kr}		kritická hodnota testovacího kritéria
atd.		a tak dále
Obr.		obrázek
Tab.		tabulka

1 ÚVOD

Stříhání se řadí mezi nejrozšířenější operace tváření. Používá se na přípravu polotovarů, např. stříhání tabulí nebo sviteků plechů, profilů, vývalků apod. Dále se využívá na vystříhování součástek z plechu jako konečný výrobek nebo pro další zpracování. V neposlední řadě jako dokončovací nebo pomocná operace. Do stříhání jsou zařazeny i další operace jako je děrování, vystříhování, ostříhování, přistříhování, atd. [1, 2]

Úkolem této práce je zhodnotit vliv velikosti střížné mezery na rozložení tvrdosti v okolí střížné hrany. Pro posouzení této problematiky se nejprve připraví vzorky střížných ploch, které jsou stříhány s různou střížnou mezerou. Na těchto vzorcích bude měřena mikrotvrdomost podle Vickerse v okolí střížné hrany. Nejprve se nastříhají vzorky, poté následuje příprava vzorků pro metalografický výbrus a dále se vzorky vybrousí a vyleští. Následně se na každém vzorku změří mikrotvrdomost v jednotlivých pásmech stříhu. Nakonec se vyhodnotí závislost tvrdosti na velikosti střížné mezery.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 TECHNOLOGIE STŘÍHÁNÍ

2.1.1 Princip

Technologie stříhání je klasifikována jako technologie plošného tváření. Stříhání se řadí mezi procesy plastické deformace, které vedou k trvalému porušení soudržnosti materiálu. Při stříhání se materiál odděluje smykovým namáháním, které je vyvoláno střížnými hranami nástroje. Oddělování se uskutečňuje postupně nebo současně podél křivky stříhu. [1, 2, 3]

Stříhání se uskutečňuje ve třech základních fázích. Stříhání je započato dosednutím střížného nástroje na stříhaný materiál. V první fázi je dosaženo pružné deformace stříhaného materiálu. Materiál se pružně vtlačuje a ohýbá. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu je ovlivněna zejména mechanickými vlastnostmi materiálu a činí 5-8 % jeho tloušťky. V tvářeném kovu není přesazena hodnota napětí na mezi úměrnosti. Stříhaný materiál je namáhán silou působící v ploše mezi obvodem střížníku a střížnice. V důsledku této síly dojde ke vzniku silových dvojic v rovinách

kolmých ke střížným plochám. Stříhaný materiál je těmito silami namáhán na ohyb. V důsledku je stříhaný materiál na straně střížníku i střížnice zaoblen. [1, 2, 4]

Ve druhé fázi se uskutečňují plastické deformace. Napětí se zvýší nad mez kluzu stříhaného materiálu a materiál je trvale zdeformován. Nástroj se vtlačuje do materiálu a ten zase do otvoru střížnice. Hloubka vniku střížníku do stříhaného materiálu je v této fázi 10 - 25 % tloušťky stříhaného materiálu a je závislá především na jeho mechanických vlastnostech. Na konci této fáze je napětí blízko meze pevnosti ve smyku. [1, 2, 4]

Třetí fáze je fází smyku. Ve třetí fázi je materiál namáhán napětím větším než mez pevnosti ve smyku. Vznik mikrotrhlin u hran střížníku a střížnice. Ty se rychle šíří a vznikají makrotrhliny. Tvorba trhlin je podporována napjatostí ve stříhaných vláknech materiálu. Rychlost vzniku a šíření trhlin je závislá na mechanických vlastnostech materiálu. Trhliny se prodlužují, až dojde k usmýknutí materiálu. U měkkých a houževnatých materiálů dochází ke vzniku trhlin pomaleji. U tvrdých a křehkých materiálů je oddělení téměř okamžité. [1, 2, 4]

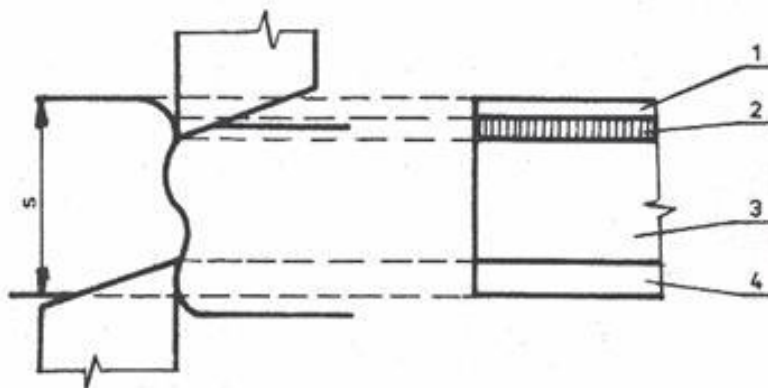
2.1.2 Střížná plocha

Průběh stříhu je závislý na velikosti střížné vůle, která výrazně ovlivňuje kvalitu střížné plochy, dále na vlastnostech materiálu, tvaru a geometrii nástroje, stavu napjatosti a rychlosti stříhání. Výstřížek se oddělí dříve, než projde střížník celou tloušťkou stříhaného materiálu a výstřížek je následně vytlačen. To má za následek, že okraje stříhových ploch nejsou zcela rovinné a střížná plocha má určitou drsnost, která není rovnoměrně rozdělena. Místa prvního výskytu trhlin mají větší drsnost, než ostatní střížné plochy. Protože materiál je elastický a tvárný, tak oddělení nenastane přesně v žádané rovině. Na střížné ploše jsou klasifikována různá pásma. [1, 2]

- 1 - Pásmo zaoblení tzv. první fáze stříhu představuje oblast pružné deformace. Bývá 5 - 8 % tloušťky stříhaného materiálu.
- 2 - Pásmo vlastního stříhu tzv. druhá fáze stříhu představuje oblast plastické deformace a činí v závislosti na mechanických vlastnostech materiálu 10 - 25 % tloušťky stříhaného materiálu.

3 - Pásmo utržení tzv. třetí fáze stříhu představuje nejširší oblast na střížné ploše. Šířka pásma roste s tvrdostí a křehkostí stříhaného materiálu. Dochází zde k oddělení stříhaného materiálu.

4 - Pásmo otlacení od spodního nože. V závislosti na vlastnostech stříhaného materiálu a střížné vůli může dojít v pásmu otlacení k výskytu ostřiny v důsledku vytlačení materiálu. [5]



Obr. 2.1. Deformační pásma při stříhání [2]

1 - pásmo zaoblení (elastická deformace), 2 - pásmo smyku (plastická deformace),
3 - pásmo utržení, 4 - pásmo otlacení

2.1.3 Střížná vůle

Střížná vůle je rozdíl mezi rozměrem pracovních částí střížníku a střížnice. Střížná mezera je pak polovina střížné vůle. Velikost střížné vůle výrazně ovlivňuje kvalitu a jakost stříhu, životnost nástroje, spotřebu energie apod. Střížná mezera musí být naprosto stejná na všech místech křivky stříhu. Při nerovnoměrnosti střížné vůle po obvodě vznikají povrchové vady a střížná plocha je nekvalitní. [4]

Velikost střížné vůle se určuje na úkor střížníku nebo střížnice, podle požadovaného rozměru finálního výstřížku. Při děrování přesného otvoru se volí střížná vůle zvětšením rozměru střížnice. V případě přesného stříhání vnějšího obvodu se střížná vůle volí na úkor střížníku. Velikost závisí především na druhu a tloušťce stříhaného materiálu. U optimální střížné vůle se trhlínky od střížných hran setkají a tím se materiál oddělí při minimální střížné síle. Při malé i velké střížné vůli jakost střížné plochy klesá. Velké střížné vůle způsobují ohyb stříhané součásti, malé střížné vůle pak způsobují vznik přestřížených nebo ohlazených prstenců. Obvykle se velikost

střížné vůle pohybuje v rozmezí 3-20 % tloušťky stříhaného materiálu. Při jednostranném stříhání bez přidržovače se doporučuje velikost střížné mezery 1-3 % stříhaného materiálu. Velikost střížné vůle lze nalézt v normách. ČSN 22 6015. [4, 6]

2.1.3.1 Výpočet střížné mezery

a) Pro tenké plechy do tloušťky 3mm:

$$m_s = c \cdot s \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} \quad (2.1.)$$

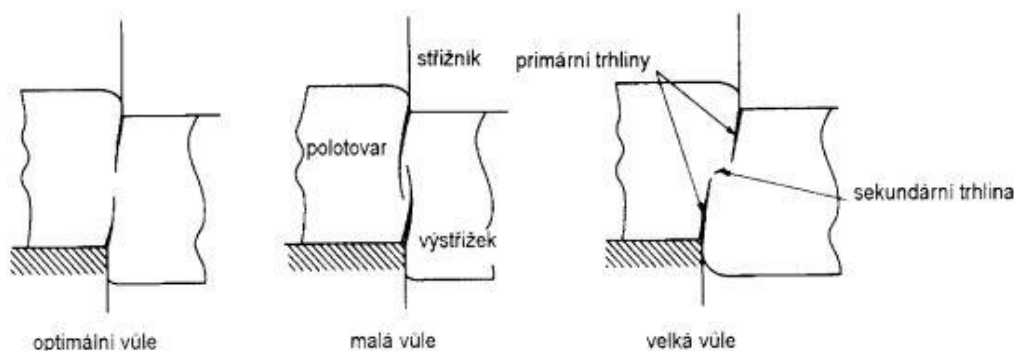
b) Pro tlusté plechy o tloušťce 3 až 12 mm:

$$m_s = (1,5 \cdot c \cdot s - 0,015) \cdot \sqrt{0,1 \cdot R_{ms}} \quad (2.2.)$$

c ... koeficient závislý na druhu stříhání (volí se v rozmezí 0,005 až 0,035), c = 0,005 pro dosažení kvalitního povrchu střížné plochy, c = 0,035 pro dosažení minimální střížné síly

s ... tloušťka plechu

R_{ms} ... pevnost materiálu ve stříhu [MPa] [8]



Obr. 2.2. Vliv střížné vůle na tvorbu střížné plochy [6]

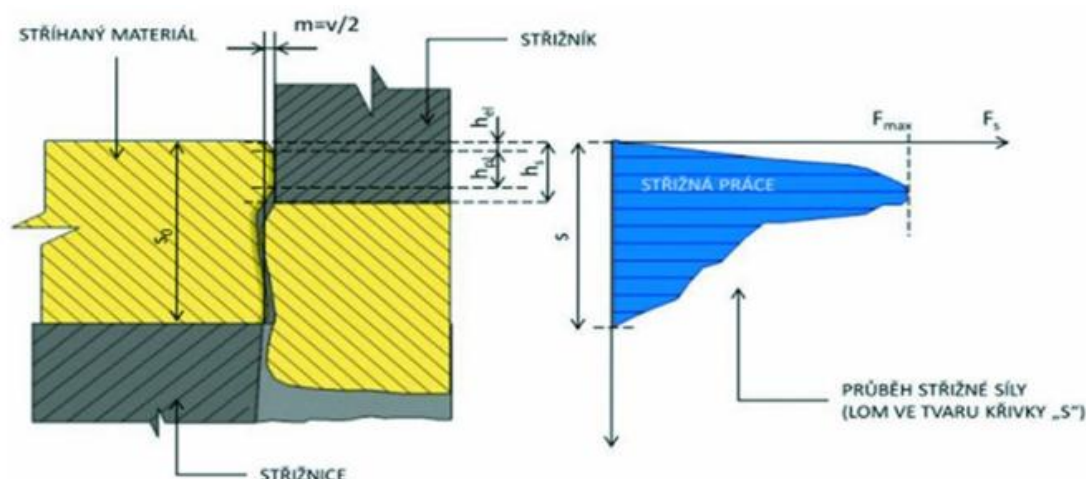
2.1.4 Výpočet střížné síly a práce

Pro návrh technologického procesu je nutné znát velikost stříhacích sil, které vzniknou působením střížných dvojic. Podle velikosti střížné síly volíme vhodný stroj a nástroj. Při reálných střížných podmínkách nedochází k čistému smyku, ale namáhání jsou kombinovaná. Při stříhání houževnatých materiálů dochází vnikáním střížníku do materiálu k deformačnímu zpevnění. Důsledkem je růst střížného odporu a střížné síly. Růst nastává po překročení meze kluzu a trvá do dosažení meze

pevnosti stříhaného materiálu. Křehké materiály se většinou poruší už při nepatrném vniknutí střížníku do materiálu. Velikost střížné síly se může ovlivnit geometrií střížných hran nástroje. Správnou úpravou geometrie nástroje lze střížnou sílu snížit až o 30-40 %. Střížnou sílu také výrazně ovlivňuje střížná mezera. Střížná mezera způsobuje ohybový moment, který je způsoben silami na střížníku a střížnici. [4]

2.1.4.1 Výpočet střížné síly a práce pro rovnoběžné nože

V důsledku střížné mezery střížné síly nepůsobí ideálně v jedné rovině. Střížní síla (F_s) se rozkládá na třecí složku (T) a normálovou složku (F). Díky těmto silám vzniká ohybový moment, který je zodpovědný za vznik jednotlivých pásem na výstřížku. [1, 2]



Obr. 2.3. Princip stříhu s rovnoběžnými noži. [7]

Vztah pro výpočet střížné síly při stříhu s rovnoběžnými noži:

$$F_s = (1,1 \div 1,3) \cdot O \cdot s \cdot \tau_s \quad (2.3.)$$

s ... tloušťka plechu [mm]

O ... střížný obvod [mm]

τ_s ... napětí ve smyku, stříhová pevnost, $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ [MPa]

S ... plocha průřezu ve střížné rovině, $S = O \cdot s$ [mm²] [1, 2]

Protože napětí ve smyku a stříhová pevnost jsou hodnoty závislé od poměrného vtlačení nože do stříhaného materiálu, tak vzorec nebude platit v celém střížném procesu. Střížná síla se bude měnit od nuly po určité maximum a zpět na nulu. To

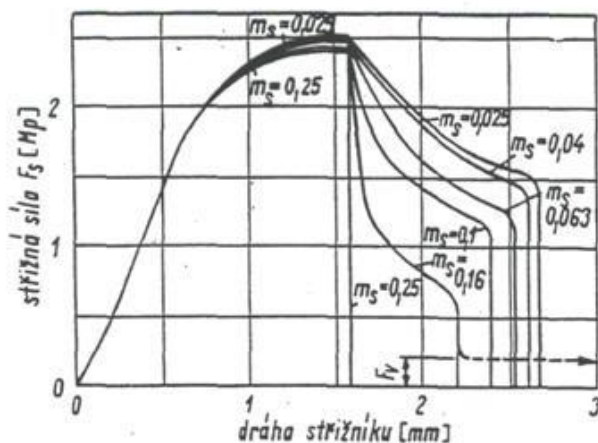
závisí hlavně na tloušťce stříhaného materiálu a méně na velikosti střížné mezery. V důsledku toho, že nevzniká čistý smyk, ale kombinované namáhání, nože se otupují a proto se skutečná síla zvýší o 10 - 30 %. Střížná práce pak bude rovna ploše pod křivkou a bude závislá na střížné mezeře. [1, 2]

Vztah pro výpočet střížné práce při stříhu s rovnoběžnými noži:

$$A = F_s \cdot k \cdot z \quad (2.4.)$$

k ... koeficient zaplnění plochy pod křivkou

z ... zdvih [mm] [1, 2]



Obr. 2.4. Průběh síly při stříhání rovnoběžnými noži s ukázkou vlivu střížné mezery na průběh střížné síly F a velikosti práce A [2]

2.1.4.2 Výpočet střížné síly a práce pro šikmé nože

Pro výpočet střížné síly a práce platí analogický vzorec, vztažený na plochu trojúhelníka ve tvaru

$$F_s = (1,1 \div 1,3) \cdot s^2 \cdot b \cdot \frac{\tau_s}{\tan \varphi} \quad (2.5.)$$

s ... tloušťka plechu [mm]

b ... délka stříhu, $b = \frac{a}{\tan \varphi}$ [mm]

φ ... úhel stříhu, úhel sklonu nožů (2 až 6° pro tabulové nůžky, 7 až 20° pro pákové nůžky)

τ_s ... napětí ve smyku, $\tau_s = 0,8 \cdot R_m$ [Mpa] [1, 2]

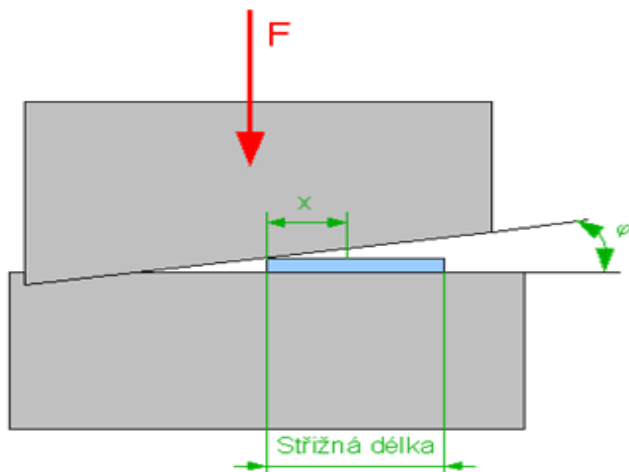
$$A = F_s \cdot k \cdot z = F_s \cdot k \cdot b \cdot \operatorname{tg} \varphi \quad (2.6.)$$

k ... koeficient zaplnění plochy pod křivkou

z ... zdvih [mm] [1, 2]

Vypočítaná síla zůstává konstantní, když nastane záběr nože v celé tloušťce. Když nože odchází ze záběru, tak velikost střižné síly začne klesat až k nule. Potřebná velikost práce je opět rovna ploše pod křivkou. [1, 2]

Pokud porovnáme velikost síly a práce při stříhání rovnými a šikmými noži je vidět, že stříhání šikmými noži je méně energeticky náročné. Zmenšení střižné síly podstatně zmenšuje rázy. [1, 2]



Obr. 2.5. Stříhání skloněnými, šikmými noži

2.1.5 Přesnost a jakost povrchu při stříhání

Přesnost součásti vyrobené stříháním závisí na řadě faktorů. Je závislá na vlastnostech stříhaného materiálu, přesnosti střižníku a střižnice, na druhu a taktu stroje, ustavení polotovaru apod. [4]

Při stříhání součástí z materiálu do tloušťky $s = 4$ mm, rozměru menšího než 200 mm lze dosáhnout přesnosti v rozmezí základní tolerance IT 12 až IT 14. V nástrojích se zvýšenou přesností, vodícími stojany a přidržovačem polotovaru lze dosáhnout přesnosti IT 9 až IT 11. Ve speciálních nástrojích pro přesné stříhání lze dosáhnout přesnosti IT 6 až IT 8. [4]

Stříháním vznikne nerovný, mírně zkosený a drsný povrch stříhu. Jakost povrchu významně ovlivňuje konstrukce a stav stříhadla, velikost a rovnoměrnost střížné vůle, mechanické vlastnosti stříhaného materiálu. S rostoucí tvrdostí materiálu se zhoršuje jakost povrchu střížné plochy. Dále tloušťka a přesnost stříhaného materiálu, počet zdvihů stroje a rychlost stříhání. S rostoucí rychlostí stříhání se jakost povrchu střížné plochy zlepšuje. Drsnost povrchu střížné plochy dosahuje při vystřihování $R_a = 6,3$ až $3,2 \mu\text{m}$ a při děrování $R_a = 12,5$ až $6,3 \mu\text{m}$. Při použití přesného stříhání a děrování lze dosáhnout $R_a = 0,2 \div 0,8$. [4, 6]

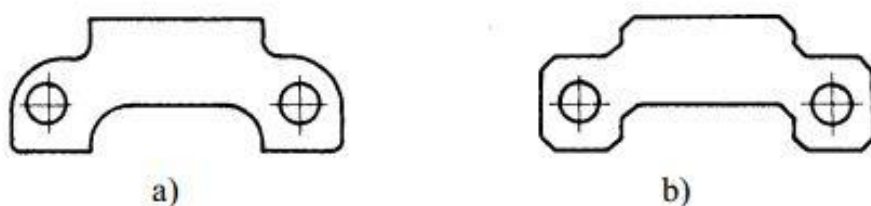
2.1.6 Technologičnost konstrukce výstřížků

Pro správný technologický postup a maximální hospodárnost výroby je velmi důležitá správná volba technologičnosti výstřížků. Tvar výstřížku se volí tak, aby byl účelný, výrobně jednoduchý s minimální spotřebou materiálu (resp. s minimálním odpadem), estetický apod. Při návrhu technologičnosti konstrukce se musí vzít v úvahu vlivy a faktory, které zasahují do procesu stříhání. Jako je například nedokonalost procesu stříhání, mechanické vlastnosti a tloušťku stříhaného materiálu, mechanické vlastnosti nástroje a výrobní možnosti použitých strojů a nástrojů. Materiál ve většině případů tvoří největší část celkových nákladů, proto je nutné se zabývat spotřebou materiálu. Je třeba vytvořit optimální nástřihový plán, to znamená optimální uspořádání nebo změna konstrukce výstřížku vedoucí k minimálnímu odpadu. [4]

Návrh výstřížku musí respektovat vlastnosti materiálu a zvláštnosti technologie stříhání. A to, že: Drsnost střížné plochy se zmenšuje se zvyšující se tvárností stříhaného materiálu. Odchylka kolmosti střížné plochy se zvětšuje se zvyšující se střížnou vůlí. Podél střížné plochy dochází ke ztenčení materiálu a materiál podél střížné plochy zpevňuje. Rozměrová přesnost výstřížku se mění odpružením a opotřebením nástroje. [6]

Z toho plynou zásady pro navrhování technologičnosti výstřížku: Navrhovat optimální nástřihové plány s využitím materiálu minimálně 70 %. Vhodně zvolit rozměrové tolerance. U nefunkčních ploch výstřížku nepředepisovat jakost povrchu ani kolmost k rovině plechu. U tenkých výstřížků nepředepisovat rovinnost a u tlustostěnných zcela výjimečně. Výstřížky menších rozměrů než 150 mm se vyrábějí

v toleranci IT 12 až IT 14, u přesných stříhadel s vodícími sloupy v toleranci IT 9 až IT 11. Dát přednost kruhovým otvorům před nekruhovými nebo tvarovými, protože na složité otvory je potřeba složitější a dražší nástroj. Vhodně volit vzdálenosti mezi otvory a snaha stříhat minimální otvory. Rohy mají být raději sražené než zaoblené. Pokud vzniká výstřížek postupným stříhem, pak je sražení nezbytné. Nejvhodnější tvar výstřížku je rovnoběžník, jehož protilehlé strany jsou tvarované jako pozitiv a negativ. [4, 6]



Obr. 2.6. Zaoblení rohů výstřížku

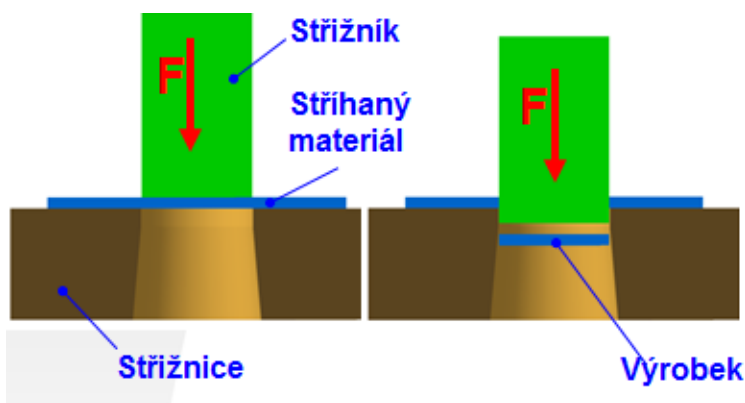
a) nevhodné střídání poloměrů, b) vhodná úprava [6]

2.1.7 Rozdělení stříhání

Podle konstrukce nožů můžeme stříhání dělit na stříhání rovnoběžnými noži, stříhání skloněnými noži, stříhání kotoučovými noži a noži na profily a tyče. [1, 2]

2.1.7.1 Stříhání rovnoběžnými noži

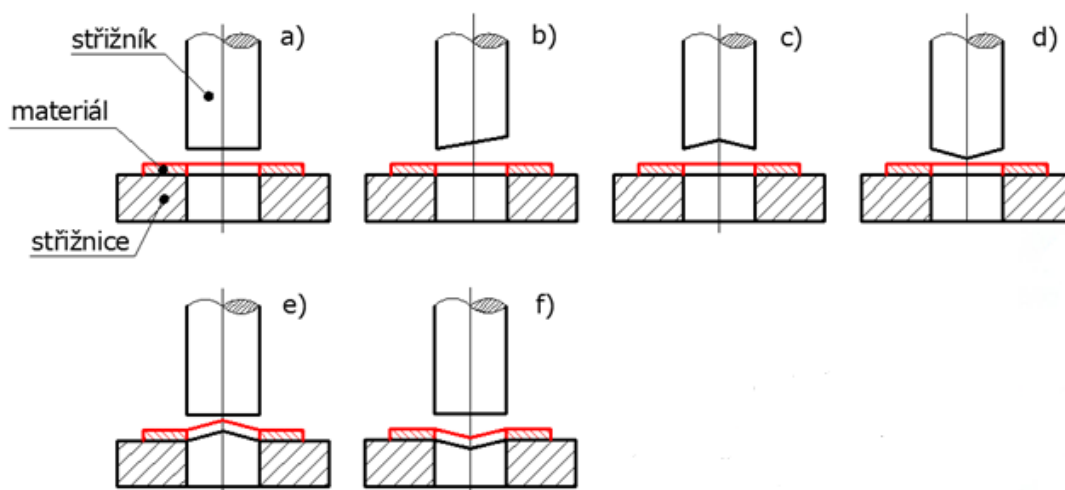
Při stříhání rovnoběžnými noži jsou nože rovnoběžné s plochou stříhaného materiálu. Nástroj je složen ze střížníku a střížnice. Mezi střížníkem a střížnicí je střížná vůle. Na docílení kvalitního výstřížku je důležitá optimální střížná vůle. Jednostranná vůle bývá od 3-10 % tloušťky plechu. S rostoucí pevností se vůle zvětšuje. [1, 2, 6]



Obr. 2.7. Schéma nástroje s rovnoběžnými noži [7]

2.1.7.2 Stříhání šikmými noži

Stříhání šikmými noži, které při stříhání svírají určitý úhel je výhodné proto, že se zmenší celková střížná síla oproti stříhání rovnoběžnými noži, potřebujeme ale větší pracovní zdvih nástroje. Materiál není stříhán v celé šířce najednou, ale postupně. Úhel sklonu horního nože φ se musí rovnat 1 až 5°, aby byla zaručena podmínka samosvornosti a stříhaný materiál před nožem neujížděl. Průběh střížné síly je možno regulovat, ale celková práce potřebná pro stříhání se nezmění. Nevýhoda tohoto způsobu stříhání je, že odstříhovaná část plechu se ohýbá. Pro vystříhování se aplikuje oboustranné zkosení a to na střížnici. Výrobek zůstane rovný a odpad ohnutý. Oboustranné zešikmení vyrovnává síly na střížníku. Jednostranné zkosení se používá pro nastříhování. U děrování je zkosený střížník a střížnice je rovná. [1, 2, 8]



Obr. 2.8. Zkosení střížníku a střížnice [7]

2.1.7.3 Stříhání kruhovými noži

Používá se pro podélné stříhání dlouhých pásů. Kotoučové nůžky jsou střížný nástroj s odvalujícími se noži. Při použití kruhových nožů se snižují rázy při stříhání, ale prodlužuje se čas stříhu. Sklon řezné hrany se mění od nejvyšší hodnoty v místě záběru do nuly. Pro stříhání zakřivených tvarů se volí kombinace dvoukuželového a válcového nože, s výhodou skloněných os nástrojů. Na křivkové stříhání je třeba zvolit co nejmenší průměr kotoučových nožů. Speciálním nástrojem jsou kmitací nůžky, které slouží k ostříhování výlisků a vystříhování děr. [1, 2]

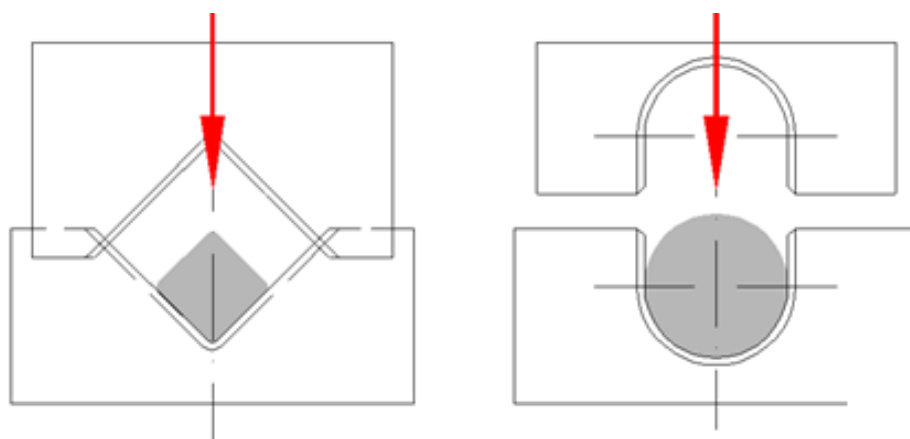


Obr. 2.9. Kotoučové nůžky pro stříhání pásů [7]

2.1.7.4 Stříhání noži na profily, tyče a trubky

Používá se pro stříhání profilů, kruhových a čtvercových tyčí, trubek, apod. Příčný průřez funkčních částí nástrojů zůstává ve všech případech téměř stejný a podélný tvar se mění podle účelu stříhu. Je vhodné docílit, aby při stříhu byla stříhaná tloušťka v každém okamžiku téměř stejná. Při šikmém posuvu pohyblivé části nástroje se dosáhne rovnoměrnějšího průběhu střížné síly v závislosti na zdvihu, než kdyby byl pohyb nože podle některé z os průřezu. [1, 2]

Při stříhání trubek je důležité dbát na minimální zdeformování. Pohyblivá část nástroje má tvar oblouků zakončený špičkou. Špička nejprve trubku propíchne a poté následuje stříh. [1, 2]



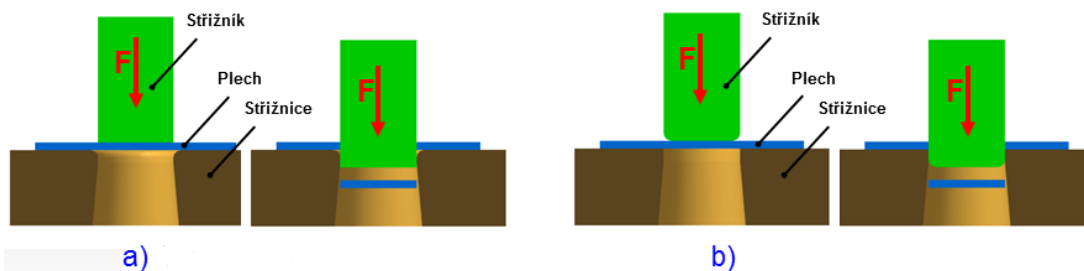
Obr. 2.10. Nože pro stříhání čtvercového a kruhového materiálu [7]

2.1.8 Přesné stříhání

Přesným stříháním se dosáhne vyšší kvality povrchu a větší geometrické přesnosti střížné plochy. Se zmenšující střížnou mezerou se eliminují tahové složky napětí od ohybového namáhání a napjatost se blíží čistému smyku. Technologie přesného stříhání umožňuje dosažení kvality na úrovni třískového obrábění, přičemž produktivita práce a úspory materiálu technologií obrábění vysoce překračuje. [1, 2, 9]

2.1.8.1 Stříhání bez vůle

Při stříhání bez vůle je jedna funkční část nástroje opatřena zaoblením střížné hrany a druhá část je nabroušena. Při stříhání se zaoblenou střížnou hranou je střížná plocha vyhlazována pomocí zaoblení břitu střížnice nebo střížníku. Pro kvalitní povrch díry používáme střížnici se zaoblenou hranou. Pro kvalitní povrch výstřížku používáme zaoblený střížník. Zaoblení nástrojů se volí minimální, protože velké zaoblení zvětšuje průhyb výstřížku a podporuje tvorbu otřepů. Nástroj musí dokonale zajišťovat vzájemnou polohu střížníku a střížnice. [1, 2, 6]



Obr. 2.11. Stříhání bez vůle

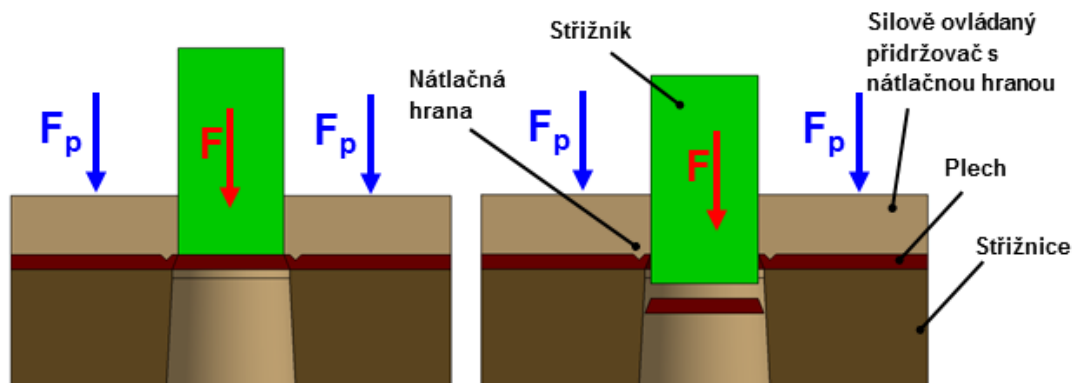
a) Zaoblená střížnice, b) Zaoblený střížník [7]

2.1.8.2 Stříhání s přidržovačem

Přidržovač se používá na volných plochách polotovaru nezátížených břity nástroje. To umožní vytvořit složitou tlakovou plasticou oblast, uvnitř které nastává vyčerpání plasticity téměř po přímce, jejíž sklon je dán velikostí střížné vůle. Používá se proti ohýbání okrajů výstřížku a pro zlepšení povrchu střížné plochy. [1, 2, 9]

2.1.8.3 Stříhání s nátlacnou hranou

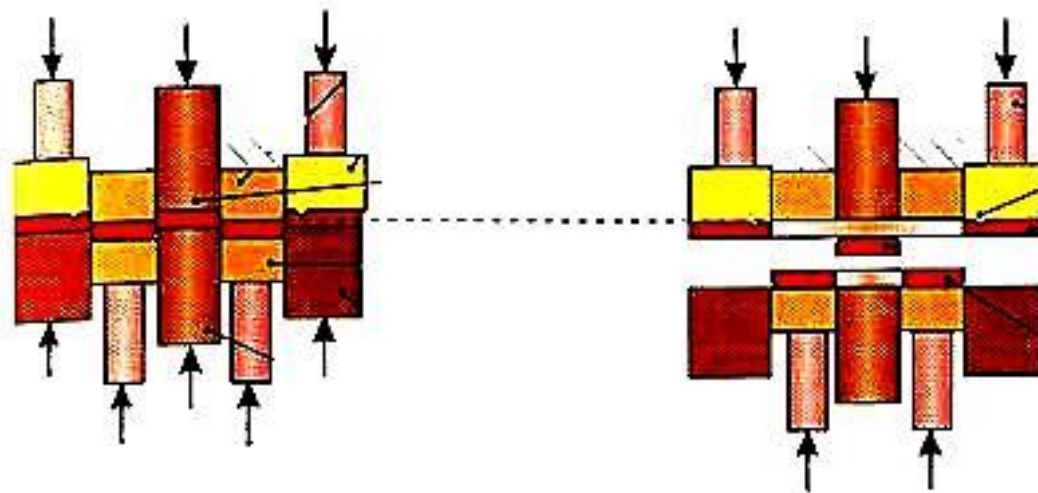
Při tomto způsobu stříhání je stříhaný materiál v počáteční fázi sevřen mezi přidržovačem, střížnicí, střížníkem a vyhazovačem. Nátlacná hrana je vtlačena do materiálu a podporuje tvorbu tlakové plastické oblasti. Vtlačováním hrany vzniká v místě stříhu převážně tlakový stav napjatosti. Vlivem tlakových napětí se pásmo plastického stříhu rozšiřuje přes celou tloušťku materiálu. [6, 9]



Obr. 2.12. Stříhání s přidržovačem (vlevo) a stříhání s nátlacnou hranou (vpravo) [7]

2.1.8.4 Reversní stříhání

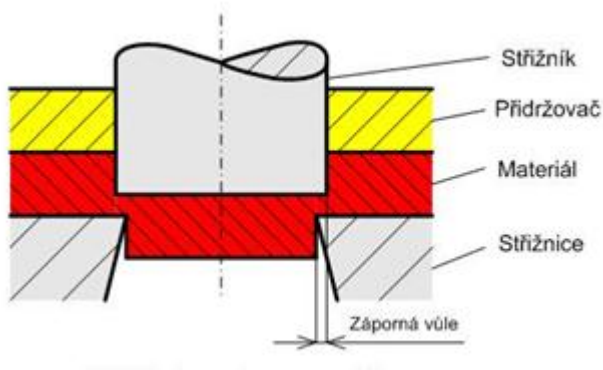
Reversní stříhání je založeno na principu sevření stříhaného materiálu tak, že se neprojeví tahové složky napětí.



Obr. 2.13. Reversní stříhání [2]

2.1.8.5 Stříhání se zápornou vůlí

Při stříhání střížník nepronikne do otvoru střížnice. Průměr střížníku se volí větší než průměr střížnice a to přibližně o 0,1 až 0,2 % tloušťky plechu. Při dokončení stříhu musí střížník zůstat 0,2 až 0,5 mm nad rovinou střížnice. [1, 2]

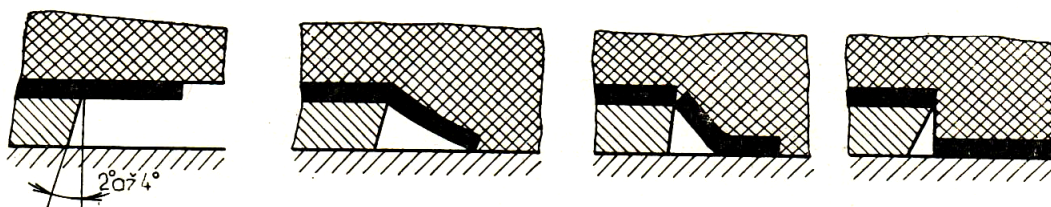


Obr. 2.14. Stříhání se zápornou vůlí [2]

2.1.9 Speciální způsoby stříhání

2.1.9.1 Stříhání pomocí pryže

Používá se pro stříhání výstřižků z tenkého plechu. Nástroj je ocelová deska o tloušťce 6 až 10 mm, která musí být dokonale hladká, aby nezanechala stopy na výstřižku. Obrys této desky je shodný s obrysem konečného výrobku. Protinástrojem je pryž uzavřená v rámu nebo volně položená na součást. Je možné provádět operace jako je ostříhování a děrování otvorů. Pryžová deska má tloušťku asi 150 mm a je složena z více kusů. Výhody této metody spočívají v jednoduchém a levném nástroji, možnosti stříhat více součástí najednou a také je zde možná kombinace s tažením. Nevýhodou je velký odpad a malá životnost pryže. [1, 2]



Obr. 2.15. Stříhání pomocí pryže [7]

2.1.9.2 Stříhání se zvýšenou rychlostí

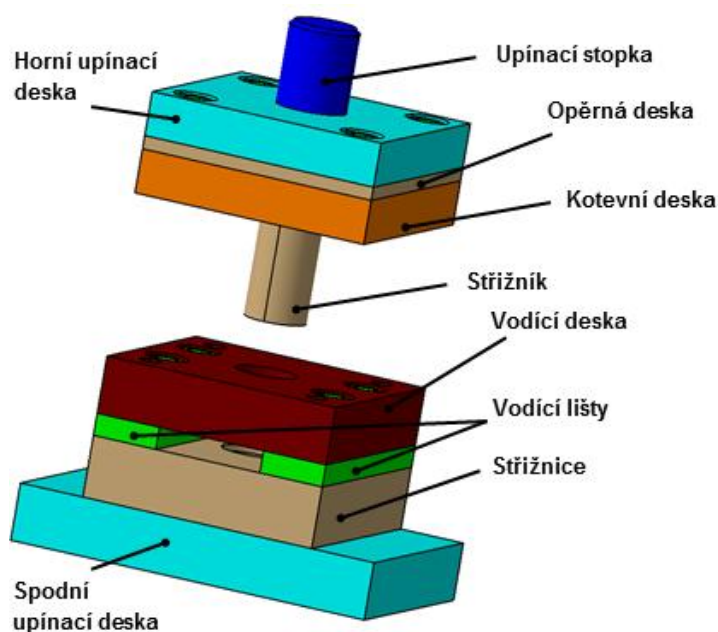
Tato metoda je založena na zmenšení objemu s vyčerpanou plasticitou na minimum. Dráhy trhlin od střížných hran jsou velmi blízké a to má za následek kolmé a rovinné střížné plochy. Ke stříhu dochází křehkým lomem. Toto vše je možné pouze při kritických rychlostech. Stříhání se zvýšenou rychlostí zvyšuje pouze geometrickou přesnost střížné plochy a kvalita jejího povrchu se může mnohdy i zhoršit. [1, 2, 9]

2.1.10 Nástroje pro stříhání

Nástroje pro stříhání se nazývají stříhadla. Jsou to nástroje, kde funkci horního pohyblivého nože koná střížník a funkci spodního pevného nože střížnice. Materiál se vkládá mezi střížník a střížnici a je nejčastěji veden vodícími lištami. Stříhadla lze rozdělit podle počtu operací, které je na nich možno provádět, na jednoduché, postupové, sloučené a sdružené postupové. Podle základní práce lze dělit na stříhací, ohýbací, tahací apod. Dále je možné dělit podle počtu výrobků, které na nich lze vyrábět, na jednonásobné a vícenásobné. [1, 2]

2.1.10.1 Jednoduchý střížný nástroj

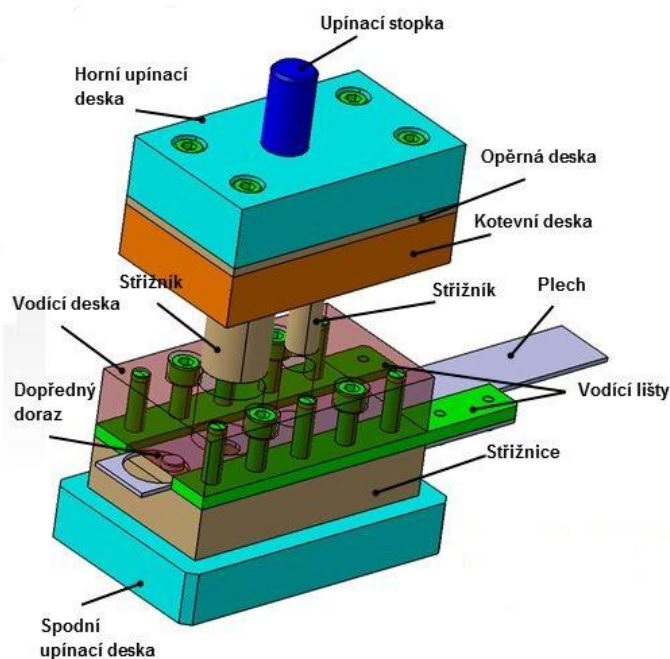
Je to nejběžnější střížný nástroj, který se vyznačuje jednoduchou výrobou. Tento druh stříhadla je určen pro jednu operaci. Poloha pásu je zajištěna pevným dorazem. Posuv určuje hodnota kroku, tzn. velikost výrobku plus přídavek. [1, 2]



Obr. 2.16. Jednoduchý střížný nástroj [7]

2.1.10.2 Postupový střížný nástroj

Na postupovém střížném nástroji se výstřížek zhotovuje postupně na několik operací. Je zde potřeba použití načínacího dorazu pokaždé s vložením nového pásu. Poloha pásu je dále zajištěna pevným koncovým dorazem. [1, 2]



Obr. 2.17. Postupový střížný nástroj [7]

2.1.10.3 Sloučený a sdružený střížný nástroj

Při použití sloučeného střížného nástroje dochází ke zhotovení více operací v jednom kroku. Díky tomu je možné například děrovat i vystříhovat. [1, 2]

Sdružený střížný nástroj je konstruován pro sdružení několika pracovních úkolů na jeden krok, resp. více kroků. To umožňuje například stříhat a ohýbat, popř. táhnout atd. Jednotlivé operace zajišťuje konstrukce nástroje. [1, 2]

2.2 MĚŘENÍ TVRDOSTI

2.2.1 Úvod

Tvrlost je obecně definována jako odolnost materiálu proti místnímu porušení cizím tělesem. Je to odpor proti pružné, nebo plastické deformaci tělesa. Tento odpor je nejvíce ovlivněn vlastnostmi materiálu. [11]

Zkoušky tvrdosti patří mezi nejstarší a nejrozšířenější zkoušky materiálu. Zkoušky lze dělit podle způsobu porušení povrchu zkoušeného materiálu na zkoušky statické, dynamické a vrypové. Obecně lze rozdělit zkoušky tvrdosti na vnikací a odrazové. [10, 11]

2.2.2 Zkoušky vnikací

Princip vnikacích zkoušek je vtlačování přesně definovaného vnikacího tělesa, indentoru, do povrchu vzorku a z rozměrů vtisku následně stanovíme tvrdost materiálu. Vnikací tělesa jsou obvykle jednoduchého tvaru jako je koule, jehlan nebo kužel. Odolnost proti vnikání cizího tělesa je dána velikostí sil, kterými jsou k sobě přitahovány atomy materiálu. [11, 12]

2.2.2.1 Zkouška tvrdosti podle Brinella

Princip zkoušky spočívá ve vtlačování ocelové kalené kuličky nebo kuličky ze slinutých karbidů do povrchu vzorku definovaným zatížením a změření průměru vtisku, který zůstane na povrchu po odlehčení. Tvrlost je definována jako poměr použitého zatížení a plochy vtisku. [11, 13]

Po provedení zkoušky je třeba změřit průměr nebo hloubku vtisku. Měření průměru se provádí pomocí měřicího mikroskopu, ale přesné změření hloubky je obtížné. Proto jsou většinou tvrdoměry konstruovány tak, že lze hloubku odečíst přímo na přístroji. [10]

Pro správnost zkoušky je třeba dodržovat dané zkušební podmínky z důvodu srovnatelnosti naměřených výsledků. Na naměřené výsledky má vliv především velikost zatížení. Zatížení volíme s ohledem na průměr použité kuličky a vlastnosti zkoušeného materiálu. Povrch zkoušeného předmětu musí být rovný, hladký, bez okují a nečistot. Tloušťka předmětu nesmí být menší než osminásobek hloubky

vtisku. Vzdálenost středu vtisku od okraje zkoušeného předmětu má být minimálně 2,5 násobek průměru vtisku. Vzdálenost středů dvou sousedních vtisků musí být nejméně 4 násobek průměru vtisku. [10]

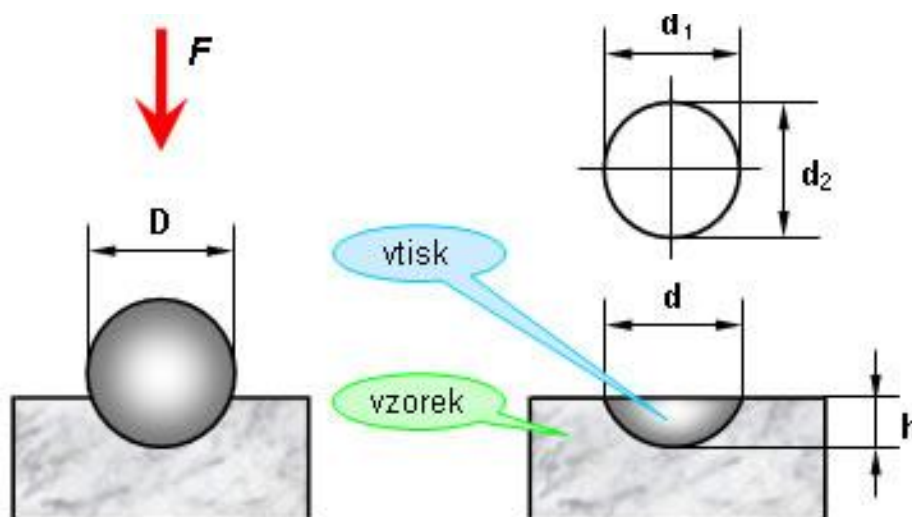
Tvrdotost podle Brinella:

$$HB = 0,102 \cdot \frac{2F}{\pi D(D - \sqrt{D^2 - d^2})} \quad (2.7.)$$

F ... zkušební síla [N]

D ... průměr kuličky [mm]

d ... průměr vtisku [mm] [11]



Obr. 2.18. Měření tvrdosti podle Brinella [14]

2.2.2.2 Zkouška tvrdosti podle Vickerse

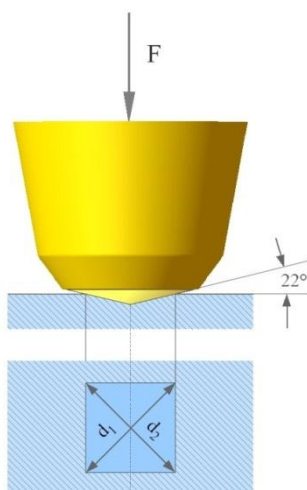
Při metodě měření tvrdosti podle Vickerse je indentorem čtyřboký diamantový jehlan s vrcholovým úhlem stěn 136° . Po odlehčení se měří úhlopříčka vtisku. Tvrdotost podle Vickerse je vyjádřena jako poměr zkušebního zatížení a plochy povrchu vtisku. Změřené hodnoty tvrdosti touto metodou jsou velmi přesné a vtisky jsou poměrně malé. Kvůli rozdílnému zpevnění v okolí hran jehlanu a uprostřed ploch nemusí být průmět vtisku přesně čtvercový, ale strany mohou být vyduté nebo vypuklé. Vyduté strany vzniknou u měkkých materiálů a naopak. [10, 11]

Tvrдост podle Vickerse:

$$HV = 0,102 \cdot \frac{2F \cdot \sin \frac{136^\circ}{2}}{u^2} = 0,189 \frac{F}{u^2} \quad (2.8.)$$

F ... zkušební zatížení [N]

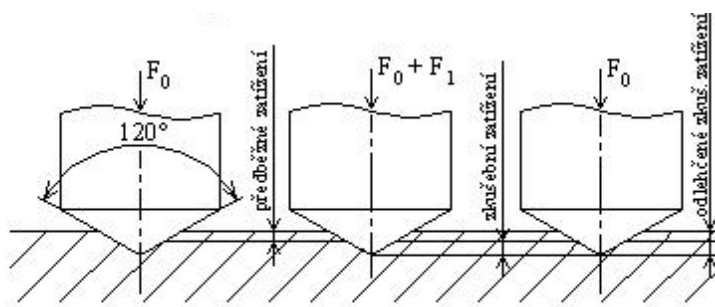
u ... aritmetický průměr dvou délek úhlopříček u_1 a u_2 [mm] [11]



Obr. 2.19. Zkouška tvrdosti podle Vickerse [15]

2.2.2.3 Zkouška tvrdosti podle Rockwella

Při této zkoušce je použit diamantový identor ve tvaru kužele s vrcholovým úhlem 120° . Tvrđost je určována přímo z trvalé hloubky vtisku. Tato metoda se používá pro zkoušky kalených, zušlechťovaných nebo jinak tepelně zpracovaných vzorků, protože není vyžadována úprava povrchu. Hloubka vtisku se měří tak, že se nejprve použije předzatižení a hloubkoměr se ustaví na nulu a poté se zatíží hlavní silou. Po odlehčení na nulu se odečte hloubka vtisku a hodnota tvrdosti přímo na stroji. [10, 13]



Obr. 2.20. Zkouška tvrdosti podle Rockwella [16]

2.2.2.4 Zkouška tvrdosti podle Knoop

Princip této metody je založen na vtlačování diamantového identoru ve tvaru čtyřbokého jehlanu s vrcholovými úhly $172,5^\circ$ a 130° do zkoušeného materiálu pomocí definované síly. Měří se pouze delší úhlopříčka vtisku. Tvrdost je definována jako poměr zatěžující síly a druhé mocniny delší úhlopříčky vtisku. [11]

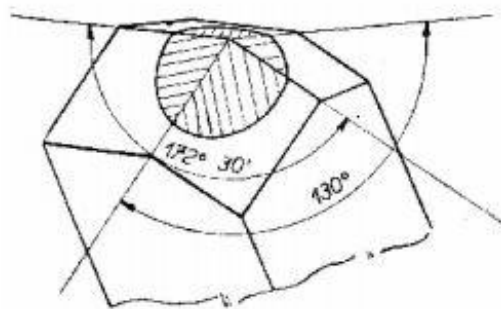
Výhodou této metody je, že deformace jsou největší u krátké úhlopříčky, to má za následek největší odpružení po odlehčení a ve směru dlouhé úhlopříčky je odpružení zanedbatelné. Díky tvaru identoru můžeme měřit tvrdost i u tenkých součástích. [10]

Tvrdost podle Knoop:

$$HK = \frac{1,4509 \cdot F}{u_1^2} \quad (2.9.)$$

F ... působící síla [N]

u_1 ... délka delší úhlopříčky [mm] [11]



Obr. 2.21. Tvar diamantového jehlanu podle Knoop [10]

2.2.2.5 Měření mikrotvrdosti

Měření mikrotvrdosti se provádí Vickersovou nebo Knoopovou metodou. Používá se pro měření tvrdosti tenkých vrstev nebo malých předmětů. Princip měření mikrotvrdosti podle Vickerse je založen na vtlačování diamantového identoru do testovaného materiálu definovaným zatížením. Identor je ve tvaru pravidelného čtyřbokého jehlanu s vrcholovým úhlem 136° . Zatížení je aplikováno po stanovenou dobu a identor způsobí vtisk ve tvaru jehlanu. Velikost úhlopříček je měřena mikroskopicky. Hodnoty mikrotvrdosti jsou vždy vyšší než u makrotvrdosti. To je způsobeno tím, že vtisk se po odlehčení zmenší o elastickou deformaci, jejíž podíl na celkové velikosti vtisku roste s jeho klesající velikostí. [10,12, 17, 18]

Výsledná tvrdost je pak určena ze vztahu:

$$HV = 0,189 \cdot \frac{F}{u^2} \quad (2.10.)$$

F ... zatěžující síla [N]

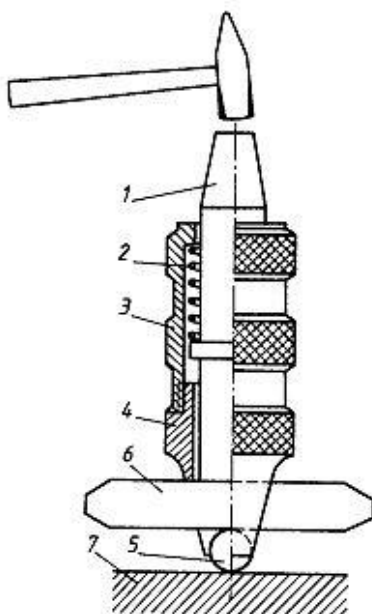
u ... průměr dělek úhlopříček [mm] [10]

2.2.3 Zkoušky dynamické

Jsou to zkušební metody při kterých identor působí na zkoušené těleso rázem. Je možné rozlišit 2 typy rázových zkoušek a to zkoušku vnikací nebo odrazovou. Tvrdost je pak určena z plastické deformace nebo z velikosti odskoku identoru. [10]

2.2.3.1 Měření tvrdosti kladívkem Poldi

Měření tvrdosti pomocí kladívka Poldi je založeno na srovnávací metodě. Porovnáváme známou tvrdost materiálu porovnávací tyčinky a pevnost zkoušeného materiálu. S tvrdoměrem Poldi se pracuje tak, že se přiloží na zkoušený materiál a kladivem se udeří na úderník. Ocelová kulička vytvoří úderem vtisk ve zkoušeném materiálu a v etalonu. Pomocí lupy se změří průměry vtisků a v tabulkách se vyhledá příslušná hodnota tvrdosti. [10, 11, 19]



Obr. 2.22. Ruční tvrdoměr Poldi

1 - úderník, 2 - pružina, 3 - těleso, 4 - nástavec, 5 - kulička, 6 - porovnávací tyčka, 7 - zkoušený materiál [20]

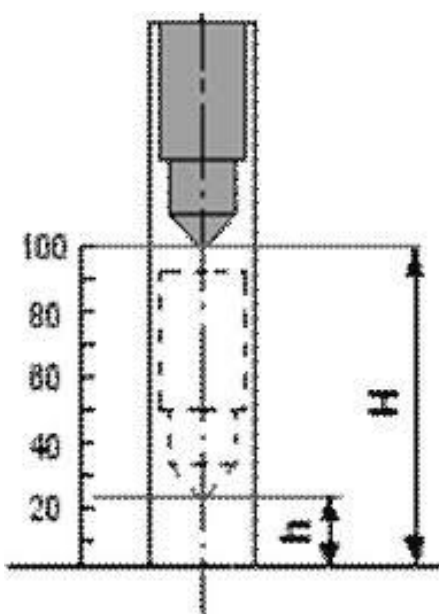
2.2.3.2 Měření tvrdosti Baumannovým kladívkem

Toto zařízení se často využívá ve výrobních procesech díky jeho mobilitě. K úderu razníku dojde v důsledku odjištění pružiny, která je součástí kladívka. Identorem je ocelová kalená kulička, která je vtlačena do povrchu zkušebního tělesa. Tvrdost je pak určena pomocí průměru vtisku z tabulek. [13]

2.2.3.3 Měření tvrdosti pomocí Shoreho skleroskopu

Tato metoda je založena na měření tvrdosti na základě pružného odrazu tělesa válcového tvaru s diamantovým hrotem a dané hmotnosti padajícího z určité výšky na povrch zkoušeného materiálu. Tvrdost je pak charakterizována výškou odrazu tělesa. [10]

V principu je měřen rozdíl dodané energie pádem identoru a energie získané útlumem pružných deformací. Celková energie je součet energií pro trvalou a pružnou deformaci. Ukazatelem tvrdosti je poměr těchto energií. [10]



Obr. 2.23. Shoreho skleroskop [21]

2.2.4 Zkoušky vrypové

Tento princip měření tvrdosti je založen na myšlence Mohsovy stupnice pro zkoušení minerálů. V této stupnici je seřazeno 10 nerostů, z nichž každý následující je schopen vyryt do všech předcházejících nerostů vryp. [10]

Tab. 2.1. Mohsova stupnice nerostů [10]

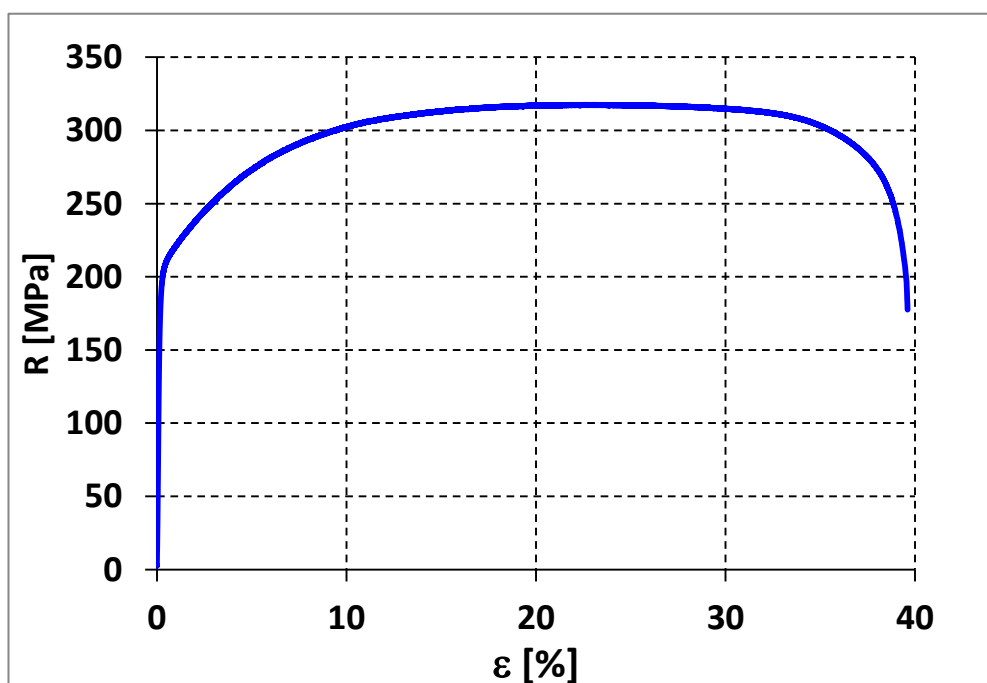
1. Mastek	6. Živec	Pořadí materiálu používaného ve strojírenství: Grafit 0,5; Cín 1,5; Olovo 1,5; Hliník 2; Zlato 2,5; Stříbro 2,5; Antimon 3,5; Čisté železo 4,5; Platina 4,5; Měkká ocel 5; Iridium 6; Tvrdá ocel 8,5; Nitridovaný povrch 9; Slinuté karbidy 9,8
2. Sůl kamenná	7. Křemen	
3. Vápenec	8. Topas	
4. Kazivec	9. Korund	
5. Apatit	10. Diamant	

Citlivost této stupnice je malá, proto u kovů a jejich slitin je tvrdost určena na základě šířky vytvořeného vrypu. Pro určení této tvrdosti je použit přístroj, který zavedl Martens a pracuje následujícím způsobem. Po vyhlazené ploše zkoušeného vzorku přejíždí diamantový kužel s vrcholovým úhlem 90° , který je zatížen silou až 19,8 N. Pomocí optického mikroskopu se měří vytvořený vryp. Mírou tvrdosti je pak zatížení, které vytvoří vryp široký 0,01 mm. Zjišťování tvrdosti touto metodou je poměrně nepřesné, proto se používá zřídka. V praxi se používá pro zjišťování tvrdosti tenkých povrchových vrstev nitridů nebo karbidů kovů. [10]

3 EXPERIMENTÁLNÍ ČÁST

3.1 ÚVOD

Cílem této práce je zhodnotit vliv velikosti střížné mezery na rozložení tvrdosti v okolí střížné hrany. Pro zkoumání této problematiky je třeba připravit vzorky střížných ploch s různou střížnou mezerou, na kterých bude měřena mikrotvrdost v okolí střížné hrany. Nejprve se nastříhají vzorky, poté následuje příprava vzorků pro metalografický výbrus a dále se vzorky vybrousí a vyleští. Následně se na každém vzorku změří mikrotvrdost v různých pásmech. Tato problematika se bude zkoumat na materiálu H220 PD EN 10292 o jmenovité tloušťce 2mm.



Obr. 3.1. Tahový diagram pro uvedený materiál

3.2 POSTUP

3.2.1 Nastříhání vzorků s různou střížnou mezerou

Na tabulových nůžkách byl nejprve ustřižen pás plechu cca 300x100 mm. Na tomto pásu bylo provedeno stříhání s různou střížnou mezerou. Plech byl stříhán s šesti střížnými mezerami a to 0,01; 0,08; 0,16; 0,24; 0,32; 0,40 mm. Střížná mezera je na úkor střížníku. Materiál byl stříhán na lisu pomocí střížníku a střížnice. Nejdříve se na lis namontoval nástroj pro stříhání. Střížník se upnul do beranu lisu a střížnice se pomocí upínek upnula k pracovnímu stolu lisu. První stříhání bylo provedeno

střížníkem a střížnicí se střížnou mezerou 0,01 mm. Plech byl vložen mezi střížník a střížnici a provedl se stříh. Vzorek vzniklý z tohoto stříhu byl označen jako vzorek 1. Poté se střížník vyměnil za střížník s menším průměrem a stříhání probíhalo s mezerou 0,08 a provedl se další stříh. Vzorek vzniklý z tohoto stříhu byl označen jako vzorek 2. Takto se postupovalo až do mezery 0,40 mm. Po dokončení stříhání byla k dispozici sada šesti výstřížků rotačního tvaru zhotovených s různou střížnou mezerou.



Obr. 3.2. Lis na kterém probíhalo stříhání



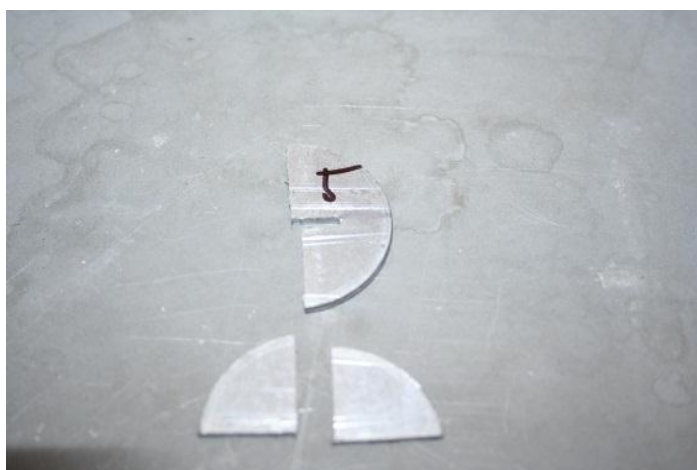
Obr. 3.3. Sada střížníků

3.2.2 Příprava vzorků pro metalografický výbrus

Aby bylo možné změřit tvrdost v okolí střížné hrany, bylo nutné připravit vzorky pro metalografický výbrus, na kterých se následně měřila mikrotvrdost. Nejdříve bylo třeba z výstřížků nařezat vzorky. To bylo provedeno na kotoučové rozbrušovací pile AbrasiMet 250. Při řezání bylo velmi důležité dbát na intenzivní chlazení, aby nedošlo k tepelnému ovlivnění vzorku.



Obr. 3.4. Kotoučová rozbrušovací pila AbrasiMet 250 [22]



Obr. 3.5. Nařezání výstřižku pro přípravu vzorku

Dále byly tyto nařezané vzorky umístěny do formy tak, aby plocha určená ke zkoumání a další analýze byla v kontaktu se dnem formy. Každý vzorek byl umístěn do zvláštní formy. Následně se vzorky ve formě zalily dentakrylem, který po určité době ztuhne. Díky tomu byla umožněna snadnější manipulace se vzorky při následném broušení a leštění. [23]

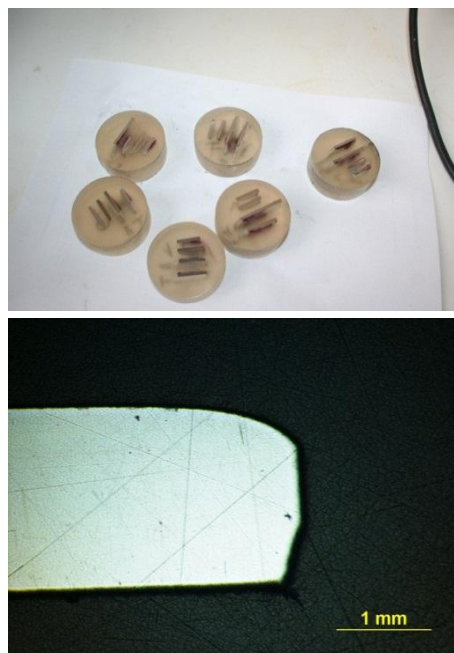
V další fázi přípravy vzorku bylo provedeno broušení. Při broušení byl materiál intenzivně ubírám z povrchu vzorku. Cílem této operace bylo dosáhnout rovinného povrchu vzorku. Toto broušení bylo provedeno na mechanické brusce. Vzorky byly

upevněny do přípravku, který je instalovaný na brusce. Broušení se realizovalo tak, že se vzorek pohyboval po rotujícím kotouči, na kterém byl přichycen brusný papír. Brusný papír se postupně měnil od hrubšího k jemnějšímu. Během broušení se aplikovalo smáčedlo a chladicí medium, které omezuje zahřívání vzorku během broušení. Když byl vzorek vybroušen podle požadavků, tak bylo nutné ho zbavit částic brusiva ulpělých uvnitř pórů. [23, 24]

V dalším kroku bylo provedeno leštění. V našem případě byla k leštění opět použita mechanická bruska. Princip byl obdobný jako u broušení, ale na místo brusného kotouče se použil kotouč leštící. Pro chlazení se použilo menší množství tekutiny, neboť ochlazování už nemuselo být tak intenzivní jako u broušení. Dále se použila vodná suspenze s leštícím práškem. [23, 24]



Obr. 3.6. Metallografická bruska [22]

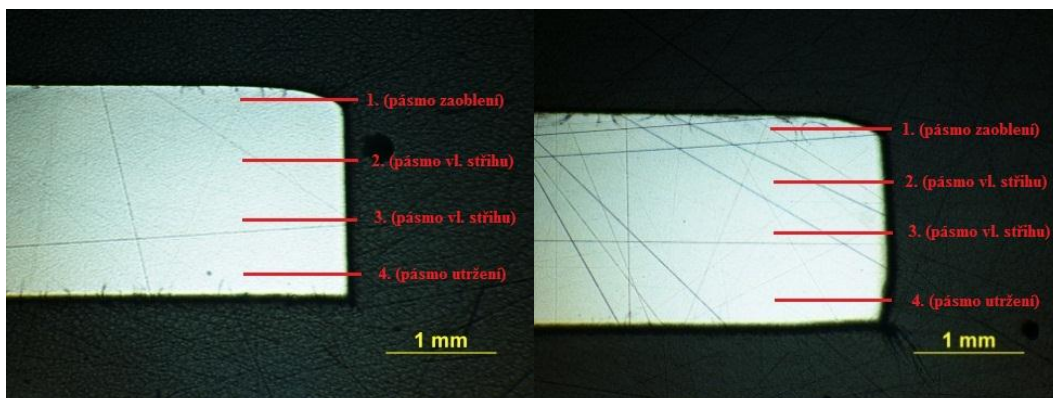


Obr. 3.7. a 3.8. Připravené vzorky

3.2.3 Měření tvrdosti vzorků s různou střížnou mezerou

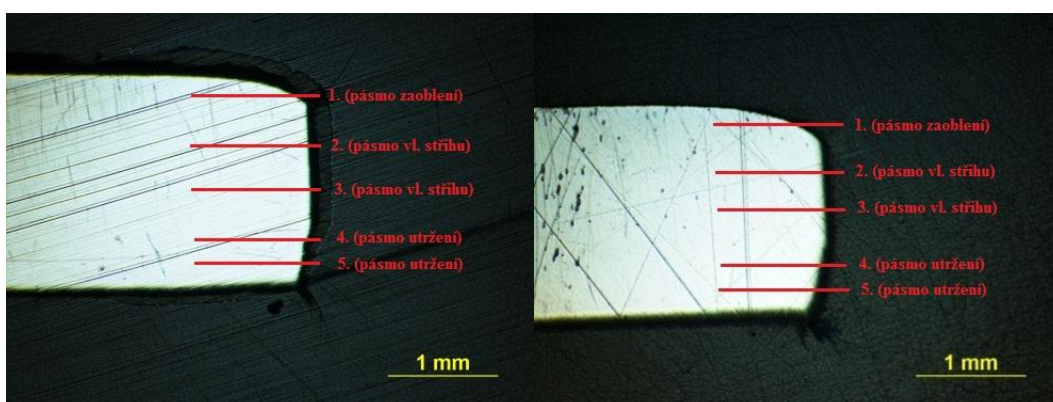
Když byly vzorky náležitě připraveny podle našich požadavků, tak následovalo měření tvrdosti vzorků. Tvrdost byla měřena v okolí střížné hrany v různých pásmech. U vzorků 1. a 2. byla tvrdost měřena ve čtyřech pásmech a u vzorků 3.- 6. v pásmech pěti. První pásmo, kde se měřila tvrdost, se nachází oblasti zaoblení. Druhé a třetí pásmo se nachází v oblasti vlastního stříhu. V oblasti utržení se nachází čtvrté a páté pásmo pro měření tvrdosti. První pásmo se umístilo do poloviny oblasti zaoblení. Druhé a třetí pásmo se rovnoměrně umístilo do oblasti vlastního stříhu a

čtvrté a páté pásmo se rovnoměrně umístilo do oblasti utržení. U vzorku 1. a 2. bylo v oblasti utržení měřeno jenom jedno pásmo, neboť pásmo utržení je zde malé. Pásma měření tvrdosti jsou znázorněna na obrázcích.



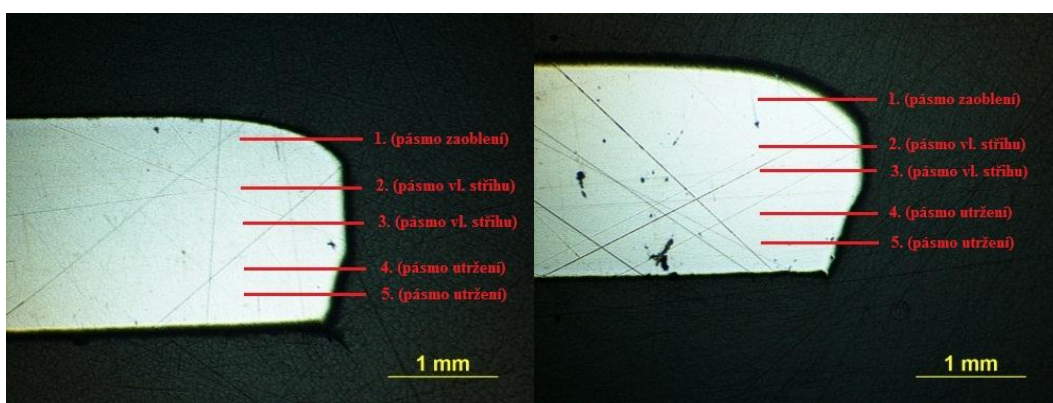
Obr. 3.9. Vzorek 1.

Obr. 3.10. Vzorek 2.



Obr. 3.11. Vzorek 3.

Obr. 3.12. Vzorek 4.



Obr. 3.13. Vzorek 5.

Obr. 3.14. Vzorek 6.

Tvrдост byla měřena pomocí mikrotvrdoměru Qness Q10 a softwaru Qpix control. Na tomto přístroji je možné měřit mikrotvrdost metodou Vickers, Knoop nebo Brinell. Na tomto přístroji je elektronicky řízené zatěžování, které zajišťuje rychlé a přesné měření tvrdosti spolu s rychlou změnou metod a automatickým zaostřením povrchu. Pracovní stůl je plně automatický a pohybuje se v rovinách X,Y s velmi přesným odměřováním dráhy. Použitý software umožňuje naprogramovat automatické měření. Přístroj obsahuje otočnou hlavu se šesti pozicemi. Hlava je vybavena třemi různými objektivy a příslušnými vnikacími tělesy. Elektronické řízení pohybu umožňuje přesný a rychlý vertikální přesun zkušební jednotky. [26]



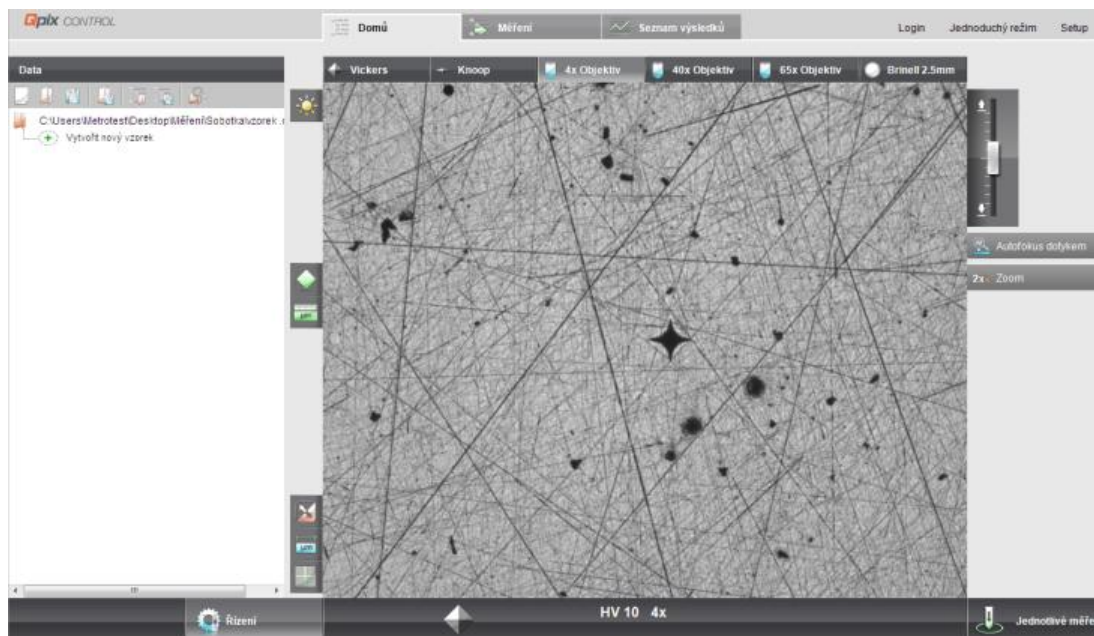
Obr. 3.15. Systém pro měření tvrdosti Qness [27]

Nejprve byl vytvořen nový vzorek 1. a pouhým přetažením se umístil do příslušné pozice v držáku vzorků.



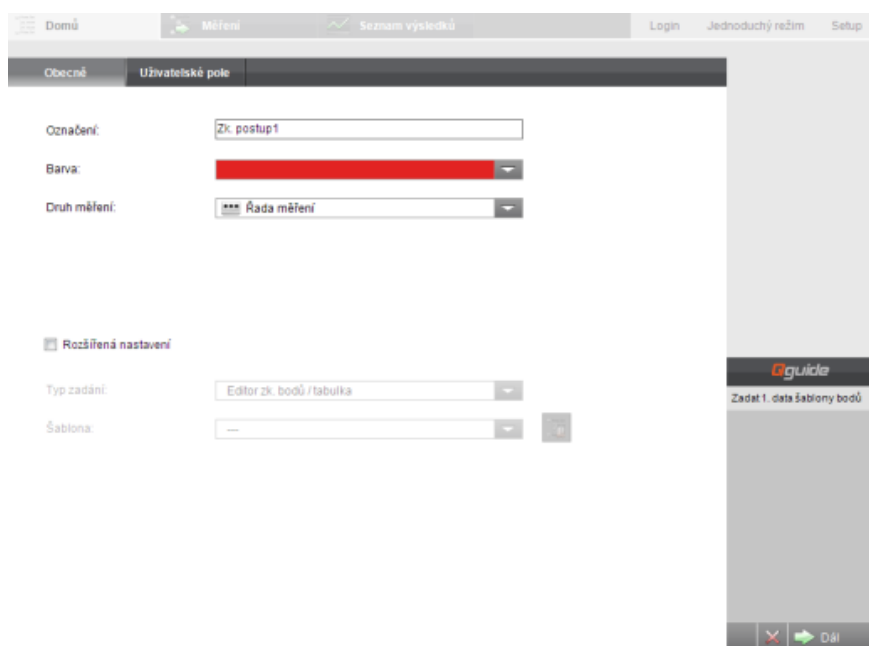
Obr. 3.16. Umístění vzorku do příslušné pozice v držáku vzorků

Dále se použila funkce řízení a kurzor byl umístěn na příslušné místo vzorku. Pro zaostření byla použita funkce autofokus dotykem a byl vytvořen zkušební vtisk, který byl přístrojem automaticky zaostřen.



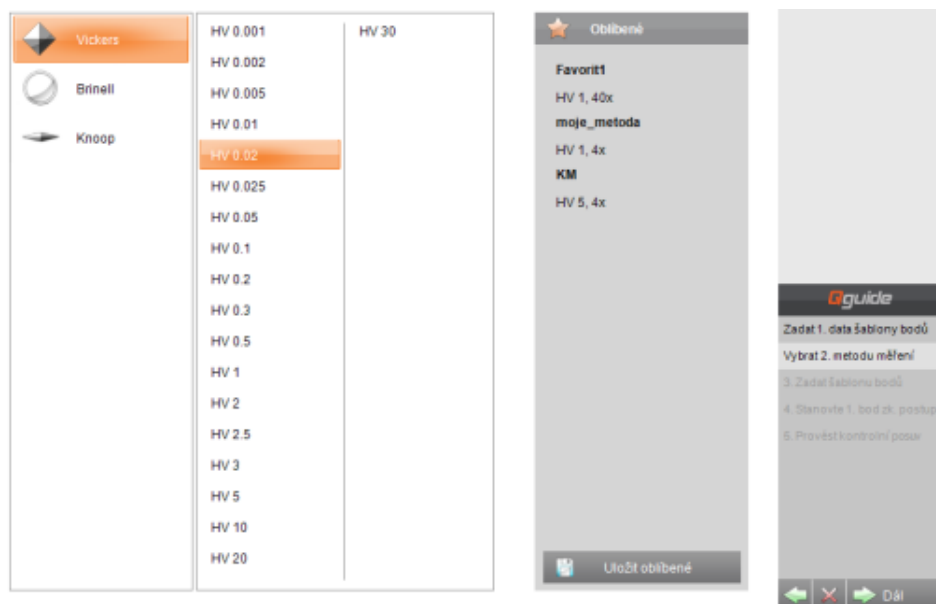
Obr. 3.17. Autofokus dotykem

Když byl takto nadefinován vzorek, tak se v následujícím kroku nadefinoval nový zkušební postup č.1. právě pro tento vzorek. Tento zkušební postup byl určen pro první pásmo měření tvrdosti.



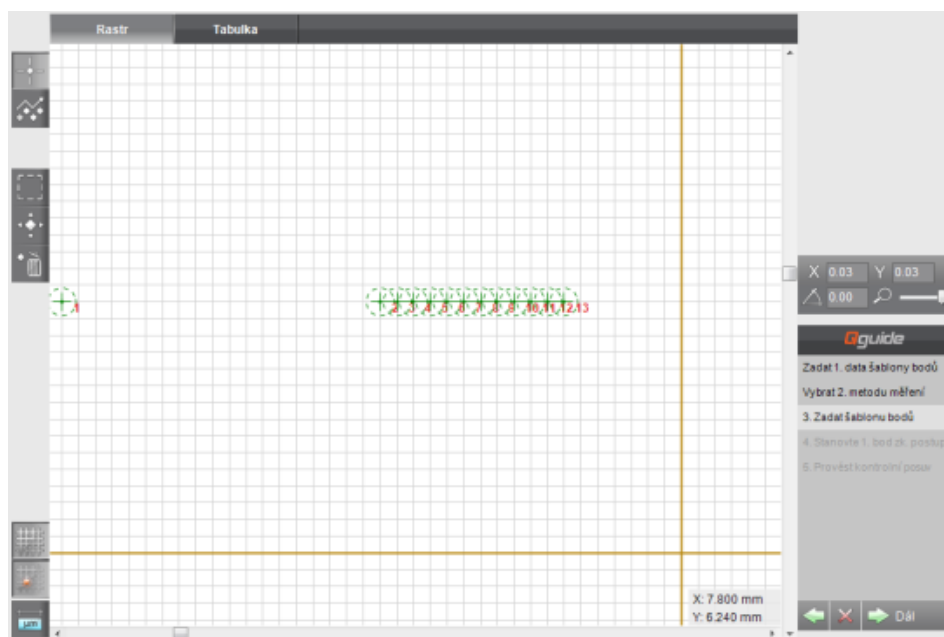
Obr. 3.18. Založení zkušebního postupu

Pro naše měření se použila metoda Vickers [HV 0,02]. Takto malé zatížení bylo zvoleno, protože se měřilo už v těsné blízkosti střížné hrany a vpichy byly umístěny blízko u sebe.



Obr. 3.19. Volba metody měření

Dále bylo nutné vytvořit a nadefinovat řadu měření. Vytvořil se rastr 0,03 mm a do tohoto rastru se umístily jednotlivé body, kde bylo třeba změřit tvrdost, v našem případě řada dvanácti vpichů a vpich třináctý, který je od toho dvanáctého vzdálen 0,6 mm.



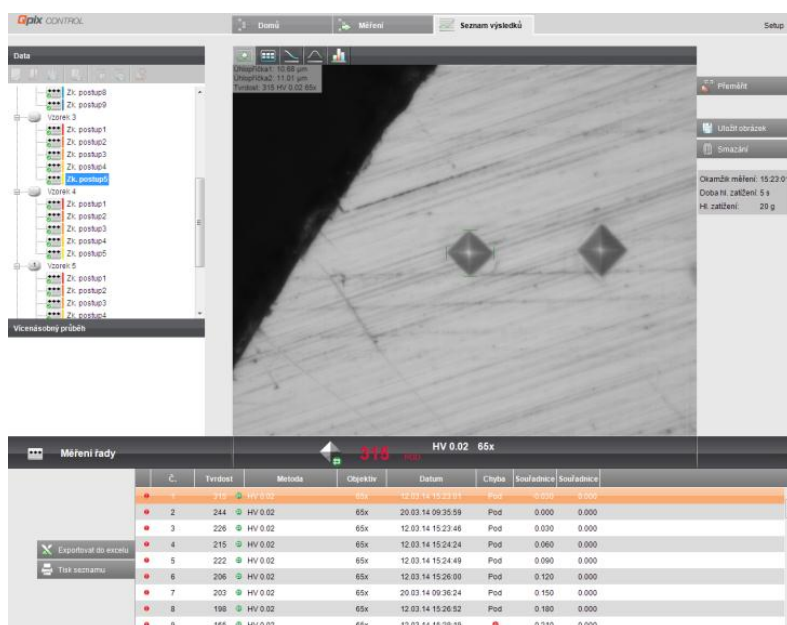
Obr. 3.20. Vytvoření řady měření

Následovalo umístění řady měření na vzorek. Pomocí kurzoru se najelo na místo na vzorku, kde měla být měřena tvrdost a provedlo se umístění této řady na vzorek. Řada se umístila 0,05 mm od kraje střížné plochy do poloviny pásma zaoblení. Nyní bylo možné zahájit měření.



Obr. 3.21. Umístění řady měření na vzorek

Když přístroj doměřil, tak automaticky vyhodnotil hodnoty tvrdosti. Pro zvýšení přesnosti byly všechny tyto hodnoty zkontrolovány a případně ručně přeměřeny. To se provedlo tak, že na snímek vtisku se ručně do každého rohu umístily body a software změřil velikost úhlopříček. Nyní bylo možné provést export dat do programu Microsoft Excel.



Obr. 3.22. Naměřené výsledky

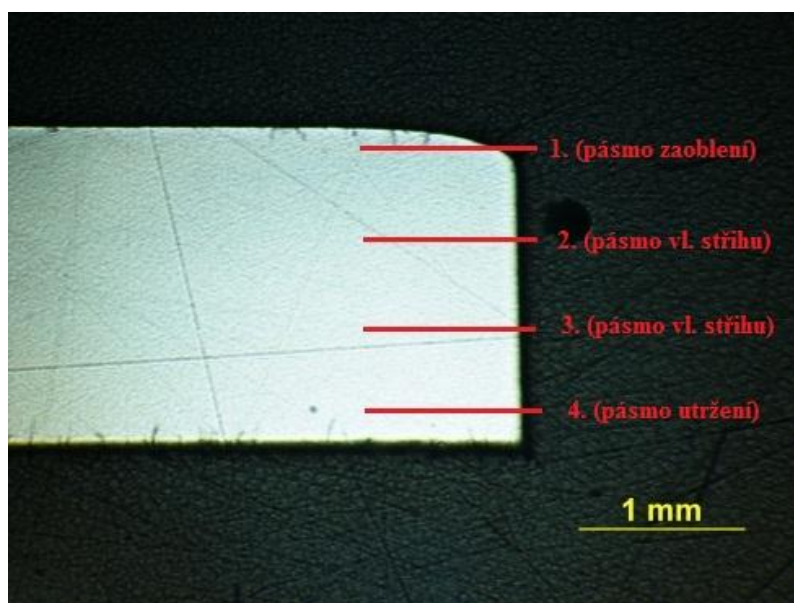
V dalším kroku se vytvořil nový zkušební postup č.2. , který byl použit pro druhé pásmo v oblasti vlastního stříhu. Postup byl obdobný jako u předešlého pásma. Zvolila se metoda měření tvrdosti podle Vickerse HV 0,02 a nadefinovala se řada měření, která byla následně umístěna na vzorek. Po skončení měření bylo opět nutné zkontrolovat a případně ručně přeměřit rozměry úhlopříček vtisku. Následoval opět export dat do Excelu. Takto bylo postupováno i u následujících pásem měření tvrdosti.

Pro každý další nový vzorek se postupovalo podle výše uvedeného postupu.

Když byly naměřeny všechny potřebné hodnoty tvrdosti na všech vzorcích, tak bylo třeba zpracovat výsledky a vytvořit grafy závislosti tvrdosti na vzdálenosti od kraje střížné plochy. Tyto grafy byly vytvořeny pro každý vzorek zvlášť a následně byla ještě porovnána pásma zaoblení, vlastního stříhu a utržení na jednotlivých vzorcích mezi sebou.

3.3 NAMĚŘENÉ HODNOTY - VZOREK 1.

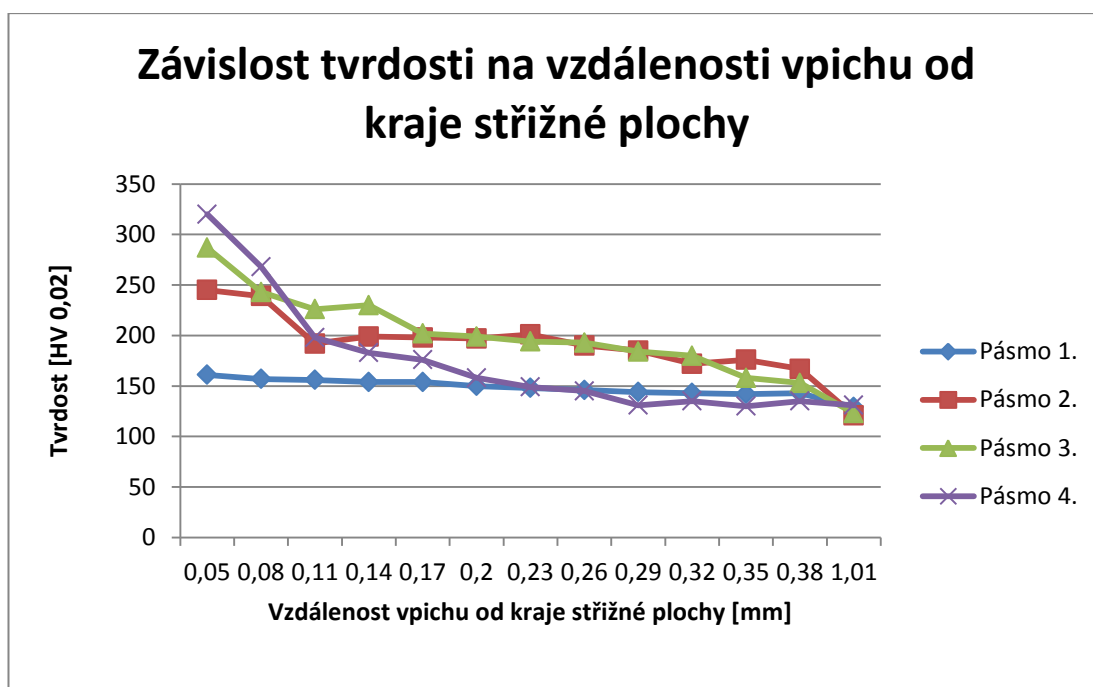
Tento vzorek byl stříhán se střížnou mezerou 0,01 mm. Tvrdost byla měřena ve čtyřech pásmech. V oblasti zaoblení se nacházelo 1. pásmo měření tvrdosti. V oblasti vlastního stříhu se nacházelo 2. a 3. pásmo a v oblasti utržení pásmo 4.



Obr. 3.23. Pásma měření u vzorku 1.

Tab. 3.1. - Naměřené hodnoty tvrdosti v jednotlivých pásmech pro vzorek 1.

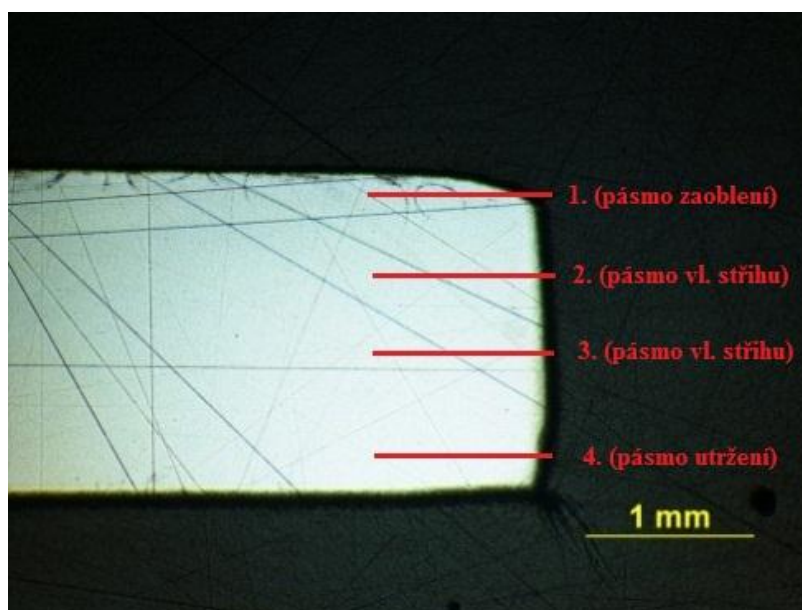
Vpich	Vzdálenost vpichu od kraje střížné plochy [mm]	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 1.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 2.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 3.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 4.
1.	0,05	161	245	287	320
2.	0,08	157	239	243	268
3.	0,11	156	192	226	198
4.	0,14	154	199	230	183
5.	0,17	154	198	202	176
6.	0,2	150	197	199	158
7.	0,23	148	201	194	149
8.	0,26	146	190	193	145
9.	0,29	144	185	184	131
10.	0,32	143	172	180	135
11.	0,35	142	176	158	130
12.	0,38	143	167	153	135
13.	1,01	129	121	123	131



Obr. 3.24. - Graf závislosti tvrdosti na vzdálenosti vpichu od kraje střižné plochy pro vzorek 1.

3.4 NAMĚŘENÉ HODNOTY - VZOREK 2.

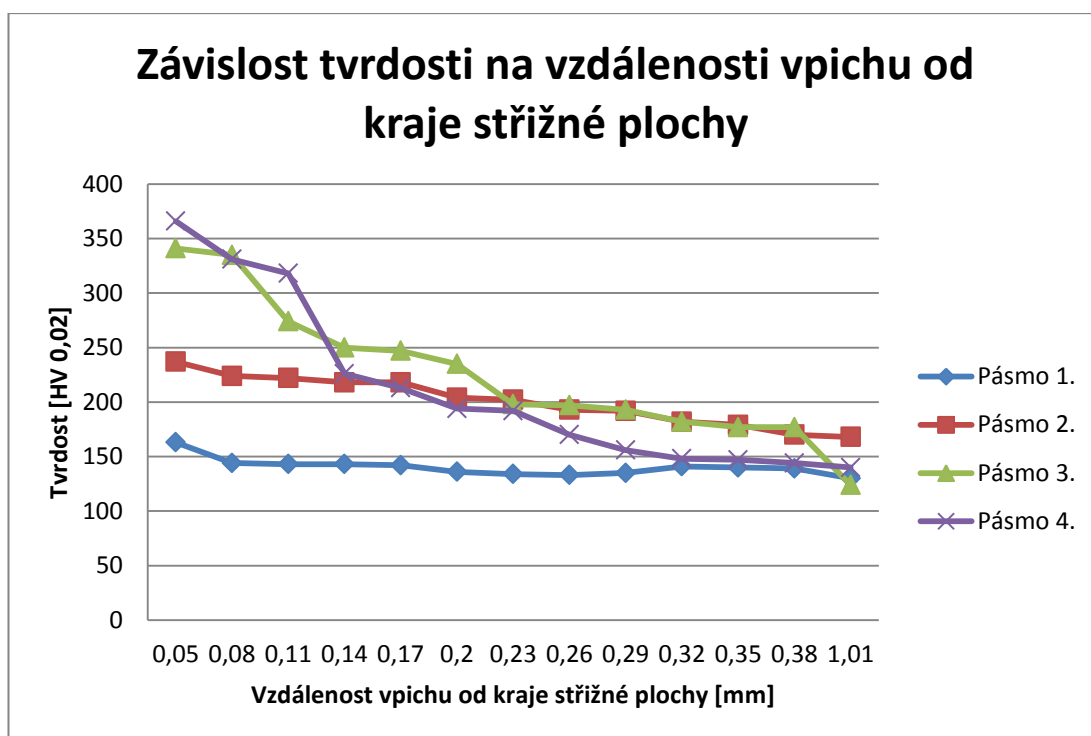
Tento vzorek byl stříhán se střížnou mezerou 0,08 mm. Tvrdost byla měřena v pěti pásmech. V oblasti zaoblení se nacházelo 1. pásmo měření tvrdosti. V oblasti vlastního stříhu se nacházelo 2. a 3. pásmo a v oblasti utržení pásmo 4. a 5.



Obr. 3.25. Pásma měření u vzorku 2.

Tab. 3.2. - Naměřené hodnoty tvrdosti v jednotlivých pásmech pro vzorek 2.

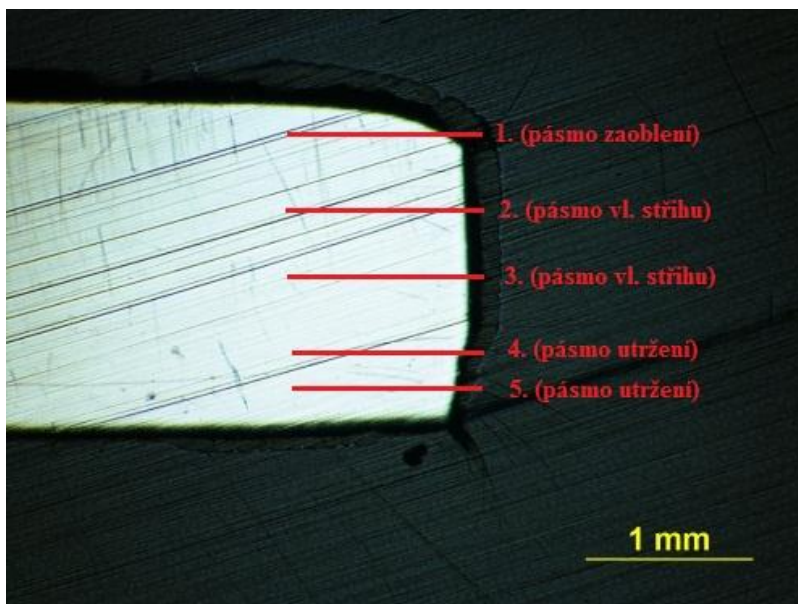
Vpich	Vzdálenost vpichu od kraje střížné plochy [mm]	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 1.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 2.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 3.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 4.
1.	0,05	163	237	341	366
2.	0,08	144	224	335	331
3.	0,11	143	222	274	318
4.	0,14	143	218	250	226
5.	0,17	142	218	247	213
6.	0,2	136	204	235	194
7.	0,23	134	202	198	192
8.	0,26	133	193	197	170
9.	0,29	135	192	193	156
10.	0,32	141	182	182	148
11.	0,35	140	179	177	147
12.	0,38	139	170	177	144
13.	1,01	130	168	124	140



Obr. 3.26. - Graf závislosti tvrdosti na vzdálenosti vpichu od kraje střížné plochy pro vzorek 2.

3.5 NAMĚŘENÉ HODNOTY - VZOREK 3.

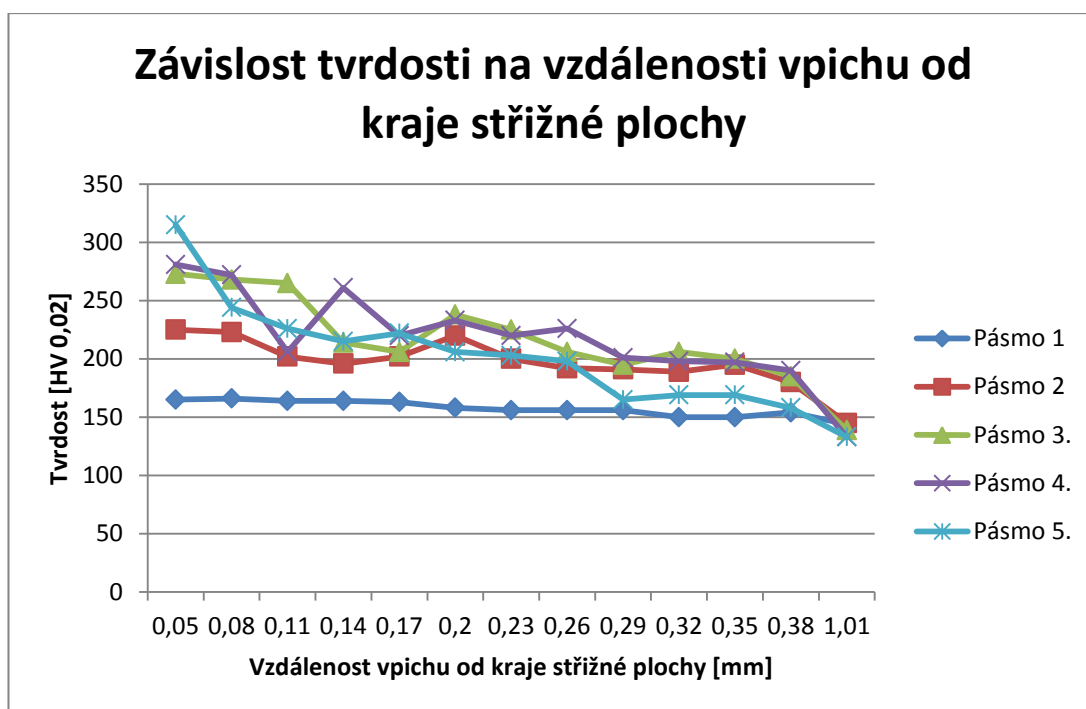
Tento vzorek byl stříhán se střížnou mezerou 0,16 mm. Tvrdost byla měřena v pěti pásmech. V oblasti zaoblení se nacházelo 1. pásmo měření tvrdosti. V oblasti vlastního stříhu se nacházelo 2. a 3. pásmo a v oblasti utržení pásmo 4. a 5.



Obr. 3.27. Pásma měření u vzorku 3.

Tab. 3.3. - Naměřené hodnoty tvrdosti v jednotlivých pásmech pro vzorek 3.

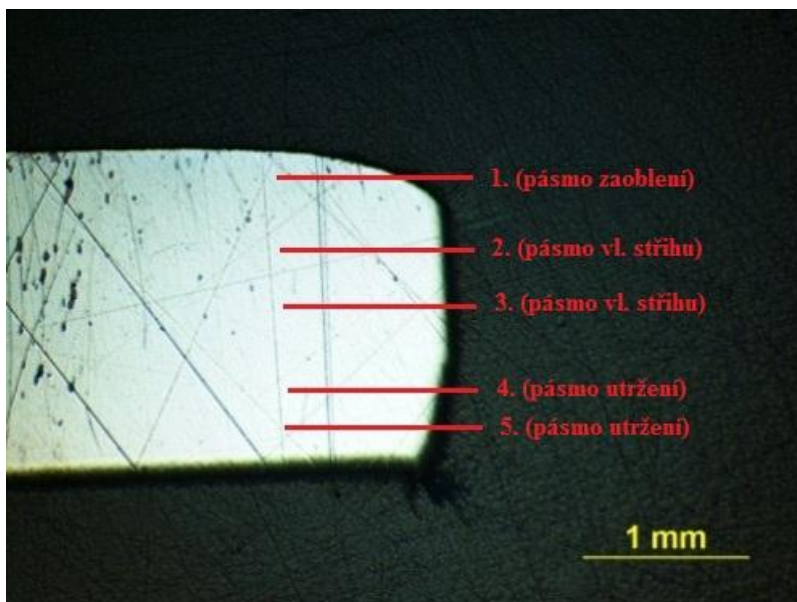
Vpich	Vzdálenost vpichu od kraje střížné plochy [mm]	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 1.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 2.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 3.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 4.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 5.
1.	0,05	165	225	273	281	315
2.	0,08	166	223	268	272	244
3.	0,11	164	202	265	206	226
4.	0,14	164	196	214	261	215
5.	0,17	163	202	206	220	222
6.	0,2	158	220	238	233	206
7.	0,23	156	200	225	220	203
8.	0,26	156	192	206	226	198
9.	0,29	156	191	195	201	165
10.	0,32	150	189	206	198	169
11.	0,35	150	195	200	197	169
12.	0,38	154	180	185	190	158
13.	1,01	144	145	139	133	133



Obr. 3.28. - Graf závislosti tvrdosti na vzdálenosti vpichu od kraje střížné plochy pro vzorek 3.

3.6 NAMĚŘENÉ HODNOTY - VZOREK 4.

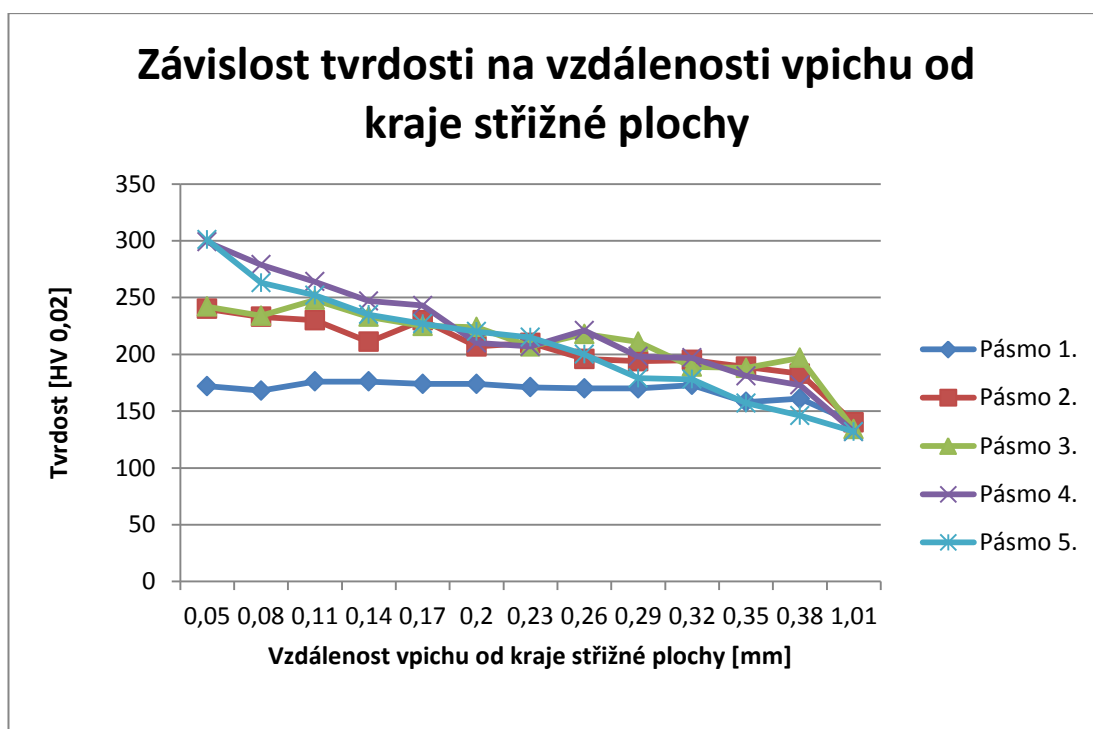
Tento vzorek byl stříhán se střížnou mezerou 0,24 mm. Tvrdost byla měřena v pěti pásmech. V oblasti zaoblení se nacházelo 1. pásmo měření tvrdosti. V oblasti vlastního stříhu se nacházelo 2. a 3. pásmo a v oblasti utržení pásmo 4. a 5.



Obr. 3. 29. Pásma měření u vzorku 4.

Tab. 3.4. - Naměřené hodnoty tvrdosti v jednotlivých pásmech pro vzorek 4.

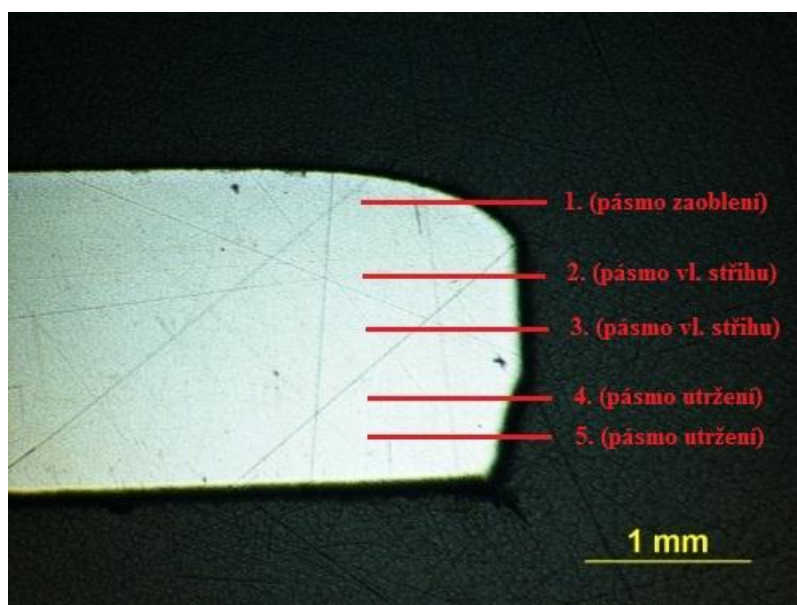
Vpich	Vzdálenost vpichu od kraje střížné plochy [mm]	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 1.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 2.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 3.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 4.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 5.
1.	0,05	172	240	242	299	301
2.	0,08	168	233	234	279	263
3.	0,11	176	230	248	264	252
4.	0,14	176	211	233	247	235
5.	0,17	174	230	225	243	227
6.	0,2	174	207	224	210	220
7.	0,23	171	210	207	207	215
8.	0,26	170	196	218	221	200
9.	0,29	170	194	211	198	179
10.	0,32	173	195	189	197	178
11.	0,35	158	189	188	181	157
12.	0,38	161	183	197	173	146
13.	1,01	140	140	134	132	132



Obr. 3.30. - Graf závislosti tvrdosti na vzdálenosti vpichu od kraje střížné plochy pro vzorek 4.

3.7 NAMĚŘENÉ HODNOTY - VZOREK 5.

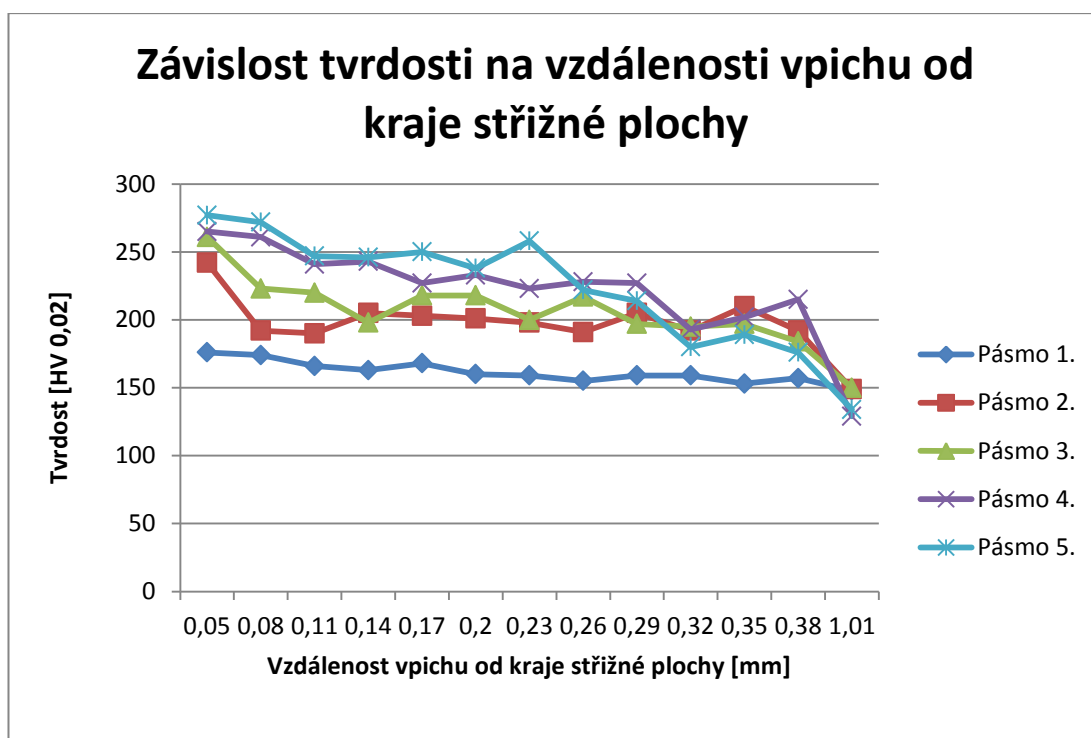
Tento vzorek byl stříhán se střížnou mezerou 0,32 mm. Tvrdost byla měřena v pěti pásmech. V oblasti zaoblčení se nacházelo 1. pásmo měření tvrdosti. V oblasti vlastního stříhu se nacházelo 2. a 3. pásmo a v oblasti utržení pásmo 4. a 5.



Obr. 3.31. Pásma měření u vzorku 5.

Tab. 3.5. - Naměřené hodnoty tvrdosti v jednotlivých pásmech pro vzorek 5.

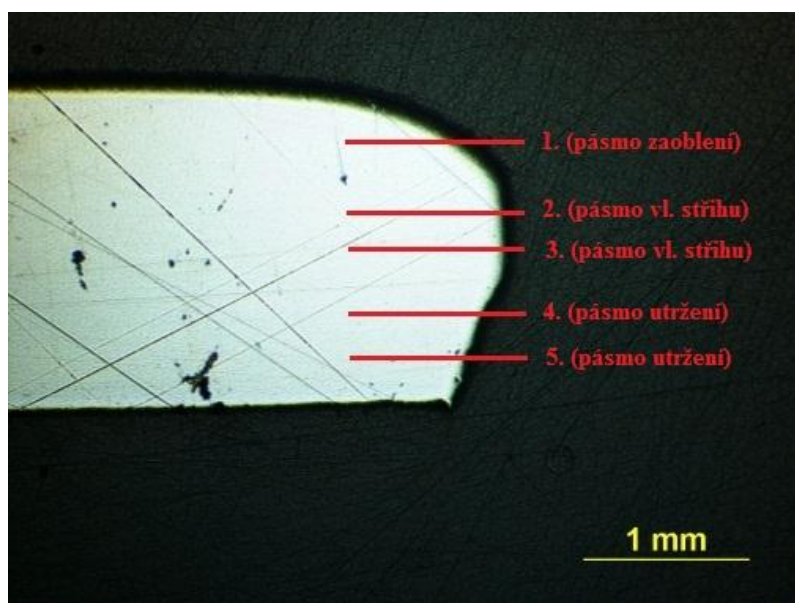
Vpich	Vzdálenost vpichu od kraje střížné plochy [mm]	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 1.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 2.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 3.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 4.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 5.
1.	0,05	176	242	261	265	277
2.	0,08	174	192	223	261	272
3.	0,11	166	190	220	241	247
4.	0,14	163	205	198	243	246
5.	0,17	168	203	218	227	250
6.	0,2	160	201	218	233	238
7.	0,23	159	198	200	223	258
8.	0,26	155	191	217	228	222
9.	0,29	159	205	197	227	214
10.	0,32	159	192	195	193	180
11.	0,35	153	210	197	202	189
12.	0,38	157	192	184	215	176
13.	1,01	148	149	150	129	134



Obr. 3.32. - Graf závislosti tvrdosti na vzdálenosti vpichu od kraje střížné plochy pro vzorek 5.

3.8 NAMĚŘENÉ HODNOTY - VZOREK 6.

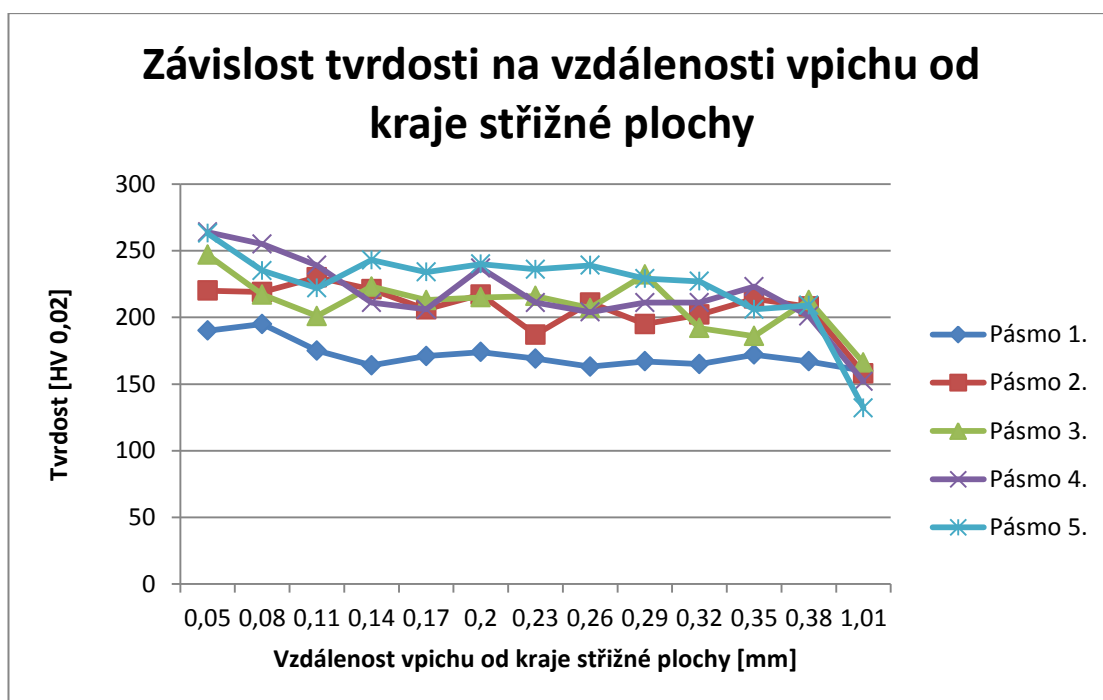
Tento vzorek byl stříhán se střížnou mezerou 0,40 mm. Tvrdost byla měřena v pěti pásmech. V oblasti zaoblení se nacházelo 1. pásmo měření tvrdosti. V oblasti vlastního stříhu se nacházelo 2. a 3. pásmo a v oblasti utržení pásmo 4. a 5.



Obr. 3.33. Pásma měření u vzorku 6.

Tab. 3.6. - Naměřené hodnoty tvrdosti v jednotlivých pásmech pro vzorek 6.

Vpich	Vzdálenost vpichu od kraje střížné plochy [mm]	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 1.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 2.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 3.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 4.	Tvrdost [HV 0,02] Pásmo 5.
1.	0,05	190	220	247	264	263
2.	0,08	195	219	217	255	235
3.	0,11	175	230	201	239	222
4.	0,14	164	221	223	211	243
5.	0,17	171	206	213	206	234
6.	0,2	174	217	215	237	240
7.	0,23	169	187	216	211	236
8.	0,26	163	211	207	204	239
9.	0,29	167	195	232	211	229
10.	0,32	165	202	192	211	227
11.	0,35	172	214	186	223	206
12.	0,38	167	208	213	201	209
13.	1,01	160	158	166	152	132



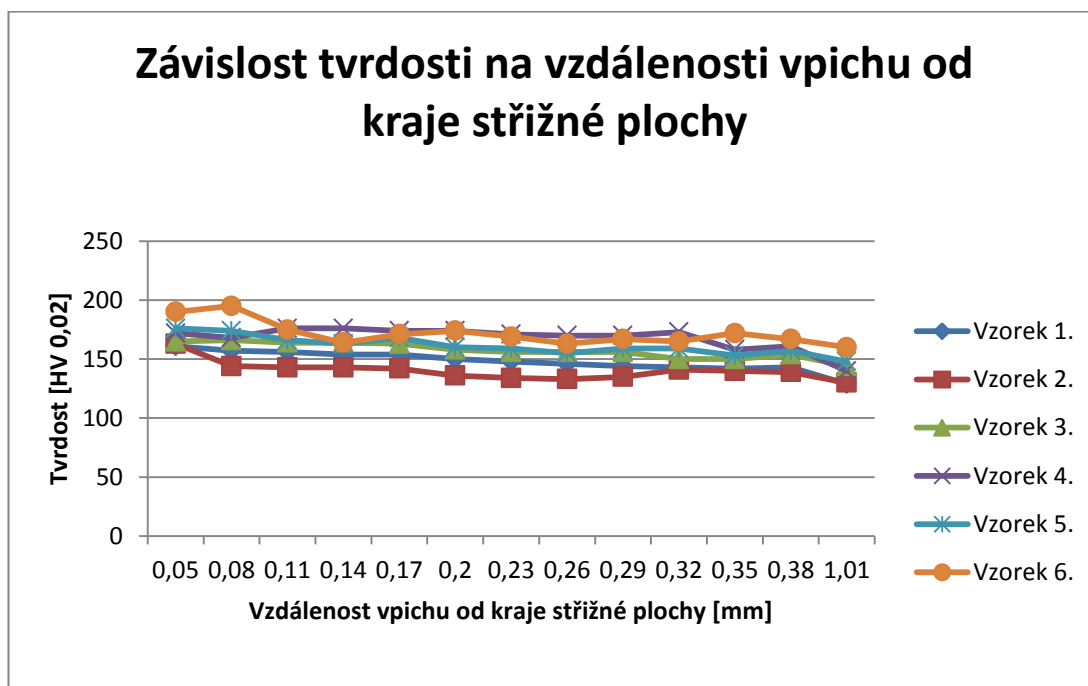
Obr. 3.34. - Graf závislosti tvrdosti na vzdálenosti vpichu od kraje střižné plochy pro vzorek 6.

3.9 POROVNÁNÍ OBLASTI ZAOBLENÍ U VZORKŮ 1. - 6.

V tabulkách a grafu je zobrazeno porovnání tvrdosti naměřené v oblasti zaoblení mezi jednotlivými vzorky.

Tab. 3.7. - Naměřené hodnoty tvrdosti v pásmu zaoblení pro vzorky 1. - 6.

Vpich	Vzdálenost vpichu od kraje střížné plochy [mm]	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 1.	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 2.	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 3.	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 4.	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 5.	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 6.
1.	0,05	161	163	165	172	176	190
2.	0,08	157	144	166	168	174	195
3.	0,11	156	143	164	176	166	175
4.	0,14	154	143	164	176	163	164
5.	0,17	154	142	163	174	168	171
6.	0,2	150	136	158	174	160	174
7.	0,23	148	134	156	171	159	169
8.	0,26	146	133	156	170	155	163
9.	0,29	144	135	156	170	159	167
10.	0,32	143	141	150	173	159	165
11.	0,35	142	140	150	158	153	172
12.	0,38	143	139	154	161	157	167
13.	1,01	129	130	144	140	148	160



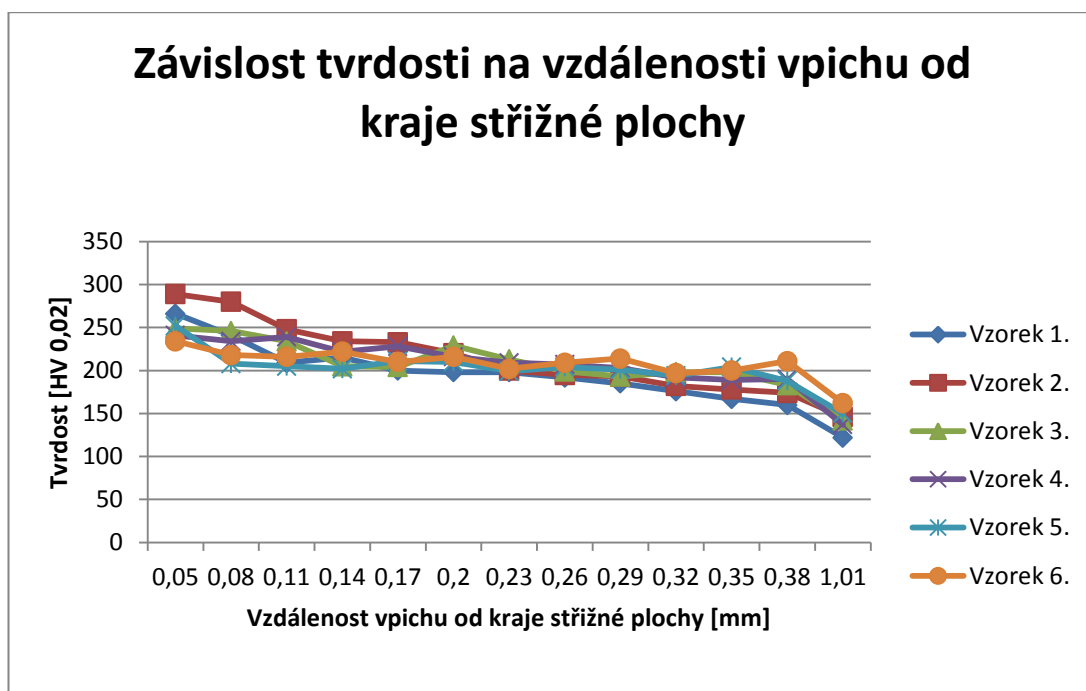
Obr. 3.35. - Graf závislosti tvrdosti na vzdálenosti vpichu od kraje střížné plochy pro vzorky 1. - 6.

3.10 POROVNÁNÍ OBLASTI VLASTNÍHO STŘIHU U VZORKŮ 1. - 6.

V tabulkách a grafu je zobrazeno porovnání tvrdosti naměřené v oblasti vlastního stříhu mezi jednotlivými vzorky.

Tab. 3.8. - Naměřené hodnoty tvrdosti v pásmu vlastního stříhu pro vzorky 1. - 6.

Vpich	Vzdálenost vpichu od kraje střížné plochy [mm]	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 1.	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 2.	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 3.	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 4.	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 5.	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 6.
1.	0,05	266	289	249	241	252	234
2.	0,08	241	280	246	234	208	218
3.	0,11	209	248	234	239	205	216
4.	0,14	215	234	205	222	202	222
5.	0,17	200	233	204	228	211	210
6.	0,2	198	220	229	216	210	216
7.	0,23	198	200	213	209	199	202
8.	0,26	192	195	199	207	204	209
9.	0,29	185	193	193	203	201	214
10.	0,32	176	182	198	192	194	197
11.	0,35	167	178	198	189	204	200
12.	0,38	160	174	183	190	188	211
13.	1,01	122	146	142	137	150	162



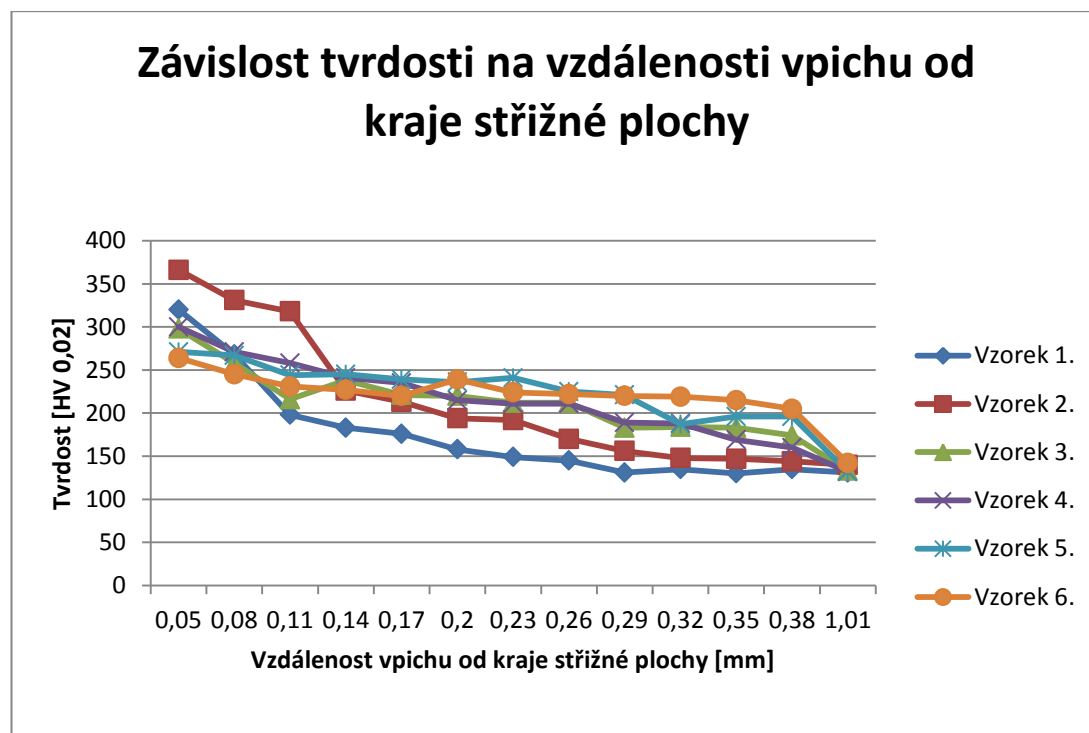
Obr. 3.36. - Graf závislosti tvrdosti na vzdálenosti vpichu od kraje střížné plochy pro vzorky 1. - 6.

3.11 POROVNÁNÍ OBLASTI UTRŽENÍ U VZORKŮ 1. - 6.

V tabulkách a grafu je zobrazeno porovnání tvrdosti naměřené v oblasti utržení mezi jednotlivými vzorky.

Tab. 3.9. - Naměřené hodnoty tvrdosti v pásmu utržení pro vzorky 1. - 6.

Vpich	Vzdálenost vpichu od kraje střížné plochy [mm]	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 1.	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 2.	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 3.	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 4.	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 5.	Tvrdost [HV 0,02] Vzorek 6.
1.	0,05	320	366	298	300	271	264
2.	0,08	268	331	258	271	267	245
3.	0,11	198	318	216	258	244	231
4.	0,14	183	226	238	241	245	227
5.	0,17	176	213	221	235	239	220
6.	0,2	158	194	220	215	236	239
7.	0,23	149	192	212	211	241	224
8.	0,26	145	170	212	211	225	222
9.	0,29	131	156	183	189	221	220
10.	0,32	135	148	184	188	187	219
11.	0,35	130	147	183	169	196	215
12.	0,38	135	144	174	160	196	205
13.	1,01	131	140	133	132	132	142



Obr. 3.37. - Graf závislosti tvrdosti na vzdálenosti vpichu od kraje střížné plochy pro vzorky 1. - 6.

3.12 STATISTICKÝ TEST 1.

Pomocí statistického testu analýzy rozptylu pro jednoduché třídění (ANOVA – Analysis of Variance) bylo provedeno ověření, zda velikost tvrdosti závisí na poloze měření v oblasti střížné hrany (pásmu měření). Analýza rozptylu umožňuje určit faktory, které ovlivňují výsledek náhodného pokusu trvale a faktory, jejichž působení je nevýznamné. [28] Test vlivu pásma měření na velikost tvrdosti byl zjišťován na hladině významnosti $\alpha = 5\%$.

Tab. 3.10.

Pásmo	Střední hodnota tvrdosti [HV 0,02] Vzorek 1.	Střední hodnota tvrdosti [HV 0,02] Vzorek 2.	Střední hodnota tvrdosti [HV 0,02] Vzorek 3.	Střední hodnota tvrdosti [HV 0,02] Vzorek 4.	Střední hodnota tvrdosti [HV 0,02] Vzorek 5.	Střední hodnota tvrdosti [HV 0,02] Vzorek 6.	Součet Y_i	Celková střední hodnota
1.	148	140	157	168	161	172	946	158
2.	195	213	207	208	202	209	1234	206
3.	174	211	210	214	223	221	1253	209
Součet	-	-	-	-	-	-	$Y_{xx}=3433$	191

Základní hypotéza H_0 : tvrdost nezávisí na pásmu měření

Alternativní hypotéza H_1 : tvrdost závisí na pásmu měření

Součty čtverců odchylek:

$$Q_1 = \sum \frac{y_{ij}^2}{n_i} - \frac{Y_{xx}}{n} \quad (3.1.)$$

$$Q_1 = \frac{946^2 + 1234^2 + 1253^2}{6} - \frac{3433^2}{3.6} = 664422,8$$

$$Q_2 = \sum y_{ij}^2 - \sum \frac{y_{ij}^2}{n_i} \quad (3.2.)$$

$$Q_2 = (148^2 + \dots + 221^2) - \frac{946^2 + 1234^2 + 1253^2}{6} = 2523,5$$

Stupně volnosti:

$$k_1 = p - 1 \quad (3.3.)$$

$$k_2 = n - p \quad (3.4.)$$

Rozptyl:

$$\sigma_1^2 = \frac{Q_1}{p-1} \quad (3.5.)$$

$$\sigma_1^2 = \frac{664422,8}{3-1} = 332211,4$$

$$\sigma_2^2 = \frac{Q_2}{n-p} \quad (3.6.)$$

$$\sigma_2^2 = \frac{2523,5}{18-3} = 168,2$$

Testovací kritérium:

$$T = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} \quad (3.7.)$$

$$T = \frac{332211,4}{168,2} = 1975,1$$

Kritická hodnota testovacího kritéria:

$$F_{kr} = F_{k1=2, k2=15, \alpha=0,05} = 3,8$$

Rozhodnutí o přijetí hypotézy H_0 :

pro přijetí musí platit $T \leq F_{kr}$, protože $T > F_{kr}$ přijímá se hypotéza H_1 na hladině významnosti 5%.

Tvrdość závisí na pásmu měření. [28, 29]

3.13 STATISTICKÝ TEST 2.

Pomocí statistického testu analýzy rozptylu pro jednoduché třídění (ANOVA – Analysis of Variance) bylo provedeno ověření, zda velikost tvrdosti závisí na velikosti střížné mezery. Analýza rozptylu umožňuje určit faktory, které ovlivňují výsledek náhodného pokusu trvale a faktory, jejichž působení je nevýznamné. [28] Test vlivu velikosti střížné mezery na velikost tvrdosti byl zjišťován na hladině významnosti $\alpha = 5\%$.

Tab. 3.11.

Vzorek	Tvrdost [HV 0,02]	Součet	Střední hodnota
1.	161...129 266...122 320...131	6561	168
2.	163...130 289...146 366...140	7340	188
3.	165...144 249...142 298...133	7471	192
4.	172...140 241...137 300...132	7670	197
5.	176...148 252...150 271...132	7625	196
6.	190...160 234...162 264...142	7816	200
Součet	-	44483	190

Základní hypotéza H_0 : tvrdost nezávisí na velikosti střížné vůle

Alternativní hypotéza H_1 : tvrdost závisí na velikosti střížné vůle

Součty čtverců odchylek:

$$Q_1 = \sum \frac{y_{ij}^2}{n_i} - \frac{y_{xx}}{n} = \frac{6561^2 + 7340^2 + 7471^2 + 7670^2 + 7625^2 + 7816^2}{39} - \frac{44483}{6.39} = 8481798,2$$

$$Q_2 = \sum y_{ij}^2 - \sum \frac{y_{ij}^2}{n_i} = (161^2 + \dots + 142^2) - \frac{6561^2 + 7340^2 + 7471^2 + 7670^2 + 7625^2 + 7816^2}{39}$$

$$Q_2 = 412686,7$$

Rozptyl:

$$\sigma_1^2 = \frac{Q_1}{p-1} = \frac{8481798,2}{6-1} = 1696359,6$$

$$\sigma_2^2 = \frac{Q_2}{n-p} = \frac{412686,7}{234-6} = 1810$$

Testovací kritérium:

$$T = \frac{\sigma_1^2}{\sigma_2^2} = \frac{1696359,6}{1810} = 937,2$$

Kritická hodnota testovacího kritéria:

$$F_{kr} = F_{k1=5, k2=228, \alpha=0,05} = 2,21$$

Rozhodnutí o přijetí hypotézy H_0 :

pro přijetí musí platit $T \leq F_{kr}$, protože $T > F_{kr}$ přijímá se hypotéza H_1 na hladině významnosti 5%.

Tvrdost závisí na velikosti střížné vůle. [28, 29]

4 VYHODNOCENÍ VÝSLEDKŮ MĚŘENÍ A ZÁVĚR

Úkolem předkládané bakalářské práce bylo vyhodnotit vliv střížné mezery na rozložení tvrdosti v okolí střížné hrany. Test byl proveden pro 6 různých střížných mezer, jejichž rozsah dostatečně reprezentuje běžně používané mezery při stříhání. Vzhledem k tomu, že v oblasti stříhu se vyskytují různé typy vad (oblast zaoblení, oblast vlastního stříhu a oblast utržení), bylo u každého vzorku analyzováno 5 pásem, kde byla měřena mikrotvrdość dle Vickerse. Jednotlivá pásma tedy charakterizují oblasti zaoblení, oblasti vlastního (plastického) stříhu i oblasti utržení vzorku. Pro každou analyzovanou oblast (pásmo) bylo měřeno rozložení tvrdosti od hrany stříhu směrem do základního materiálu. Průběh tvrdosti v každém měřeném pásmu byl zjišťován z 13 jednotlivých měření tvrdosti. Počet 65 měření tvrdosti pro každý vzorek s různou střížnou mezerou je již dostatečný z hlediska statistického vyhodnocení.

Z naměřených hodnot je patrné, že pro všechny testované vzorky s různou střížnou mezerou byla v oblasti zaoblení tvrdost nejmenší. Nejvyšší tvrdost u všech testovaných vzorků byla naměřena v pásmu utržení. S rostoucí vzdáleností měření tvrdosti od okraje stříhu hodnoty tvrdosti stále klesají až na hodnotu tvrdosti základního materiálu. Jednotlivé odchylky tvrdosti jsou pravděpodobně způsobeny metodikou měření, kdy bylo zvoleno velmi malé zatížení (20g) a výsledek měření mohly ovlivnit nečistoty nebo karbidy v kovu.

Při porovnání naměřené tvrdosti mezi jednotlivými vzorky bylo zjištěno, že v pásmu zaoblení, od prvního vzorku s nejmenší střížnou mezerou až k vzorku s největší střížnou mezerou, tvrdost pozvolna roste. V pásmu plastického stříhu tvrdost pozvolna klesá. V posledním pásmu utržení tvrdost od prvního vzorku k poslednímu opět klesá.

Statistickým testem byly ověřeno, že velikost střížné mezery a oblast, kde se tvrdost měří, má skutečně vliv na velikost naměřené tvrdosti.

5 SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY

- [1] LENFELD, Petr. *Technologie II. - 1.část (tváření kovů)*. [cit. 2014-03-3]. 2. vydání. Liberec: TU v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-466-5
- [2] LENFELD, Petr. *Technologie II. - 1.část (tváření kovů)*. [online]. [cit. 2014-03-3]. 2. vydání. Liberec: TU v Liberci, 2009. ISBN 978-80-7372-466-5. Dostupné z: http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/skripta_tkp/sekce/06.htm
- [3] SOBOTKA, Jiří. *Technologie II (Tváření kovů a plastů)- Dělení plechů a profilů stříháním, střížné nástroje, technologie přesného stříhání, zvláštní způsoby dělení materiálu* [online]. [cit. 2014-03-3]. Liberec: TU v Liberci. Dostupné z: http://www.techno-mat.cz/data/katedry/ksp/KSP_TKP_CV_05_CZE_Sobotka_Deleni_plechu_a_profilu_strihanim.pdf
- [4] FINDA, Luděk a Roman HALTUF. Akademie tváření: Stříhání. *MM průmyslové spektrum* [online]. [cit. 2014-03-3]. Praha: MM Publishing, 2010, č. 6 Dostupné z: <http://www.mmspektrum.com/clanek/akademie-tvareni-strihani.html>
- [5] ŠPAČEK, Jindřich. *Technologie II tváření* [online]. [cit. 2014-03-7]. 2009. Dostupné z: <http://www.fsiforum.cz/upload/soubory/databaze-predmetu/5TE/prednasky/5TE-spacek-prednasky-prezentace.pdf>
- [6] PETRUŽELKA, Jiří a Richard BŘEZINA. *Úvod do tváření II* [online]. [cit. 2014-03-7]. Vysoká škola báňská-Technická univerzita Ostrava, 2001. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jiripetruzelka/Texty/Uvod_TV2.pdf
- [7] SOLFRONK, Pavel. Studijní materiály. [cit. 2014-03-10].
- [8] ČADA, Radek. *Technologie I* [online]. [cit. 2014-03-10]. Ostrava, 2007. Dostupné z: <http://www.elearn.vsb.cz/archivcd/FS/TECH1/Technologie-I.pdf>
- [9] HRUBÝ, Jiří. *Technologie stříhání* [online]. [cit. 2014-03-10]. Dostupné z: http://www.345.vsb.cz/jirihruby/Texty/Shearing_II.pdf

[10] *Zkoušky tvrdosti* [online]. [cit. 2014-03-15]. Dostupné z:

http://www.ateam.zcu.cz/Zkousky_tvrlosti.pdf

[11] LUDVÍK, Jan, Karel BÍLEK a Štěpán LUDVÍK. *Zkoušky tvrdosti* [online]. [cit. 2014-03-15]. Metrotest Kladno, 2010. Dostupné z:

http://www.metrotest.cz/files/zkousky_tvrlosti.pdf

[12] *Vlastnosti kovů a jejich zkoušení* [online]. [cit. 2014-03-19]. Dostupné z:

http://www.kmt.tul.cz/edu/podklady_kmt_bakalari/NOM1/Vlastnosti_podklady.pdf

[13] *Zkoušky tvrdosti* [online]. [cit. 2014-03-19]. Projekt č.: CZ.1.07/1.1.02/04.0004.

Dostupné z: http://www.sssebrno.cz/files/ovmt/zkousky_tvrlosti.pdf

[14] *Měření tvrdosti podle Brinella* [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z:

https://www.google.cz/search?q=tvrdost+podle+brinella&es_sm=93&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=znpzU4PnNrOL4gSFpYCYCA&ved=0CDwQsAQ#facrc=_&imgdii=_&imgrc=NDstmI0OO7iuFM%253A%3BOgzL5gAwZNCUCM%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.zadania-seminarky.sk%252Fpreview%252F1%252F04%252Fc9f7a643e85cd3ba1089%252F014977_2.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fwww.zadania-seminarky.sk%252Fmeranie%252Fzkouska-tvrlosti-podle-brinella%252F14977%3B363%3B206

[15] *Měření tvrdosti podle Vickerse* [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z:

https://www.google.cz/search?q=tvrdost+podle+brinella&es_sm=93&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=znpzU4PnNrOL4gSFpYCYCA&ved=0CDwQsAQ#q=tvrlost+podle+vickerse&tbm=isch&facrc=_&imgdii=_&imgrc=z_-IAnF3M6MEKM%253A%3BVf5LOC7XsRuACM%3Bhttp%253A%252F%252Fupload.wikimedia.org%252Fwikipedia%252Fcommons%252Fc%252Fc8%252FVickersSkizze.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fcs.wikipedia.org%252Fwiki%252FZkou%2525C5%2525A1ka_tvrlosti_podle_Vickerse%3B595%3B866

- [16] *Měření tvrdosti podle Rockwella* [online]. [cit. 2014-03-25]. Dostupné z:
https://www.google.cz/search?q=tvrdost+podle+brinella&es_sm=93&tbm=isch&tbo=u&source=univ&sa=X&ei=znpzU4PnNrOL4gSFpYCYCA&ved=0CDwQsAQ#q=zkou%C5%A1ka+tvrdosti+podle+rockwella&tbm=isch&facrc=_&imgdii=_&imgsrc=ENddXTywKJJYqM%253A%3B7zcHay12n3dbXM%3Bhttp%253A%252F%252F3.bp.blogspot.com%252F-cgfTcU4_Sg0%252FTpHqAqNltkI%252FAAAAAAABC0%252Fz0Ng5ig_EVM%252Fs1600%252F7.jpg%3Bhttp%253A%252F%252Fstrojirenstvi-maturita.blogspot.com%252F2011%252F10%252Fzkouska-podle-rockwella-hrx-zkouska.html%3B496%3B184
- [17] *Metalografie III* [online]. [cit. 2014-04-5]. Dostupné z:
<http://www.vscht.cz/document.php?docId=9610>
- [18] *Stanovení mikrotvrdosti strukturních složek vícefázových ocelí* [online]. [cit. 2014-04-7]. Dostupné z:
<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/projekty/frvs139/T4.pdf>
- [19] *Zkoušky tvrdosti- poldi kladivo* [online]. [cit. 2014-04-7]. Dostupné z:
<http://www.strojari.wz.cz/kom/poldi.htm>
- [20] *Strojírenská technologie – 1. ročník (vlastnosti materiálů – tvrdost)* [online]. [cit. 2014-04-7]. Dostupné z:
http://www.strojirenstvi.wz.cz/stt/rocnik1/06b_tvrdost.php
- [21] *Zkoušky tvrdosti- shore* [online]. [cit. 2014-04-10]. Dostupné z:
<http://www.strojari.wz.cz/kom/shore.htm>
- [22] *Pila AbrasiMet 250* [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z:
<http://www.hanyko-praha.cz/produkty/metalografie/rozbrusovaci-pily/pila-abrasimet-250/>
- [23] ŠEBESTOVÁ, Hana. *Základy přípravy vzorků pro optickou metalografii* [online]. [cit. 2014-04-20]. Dostupné z:
<http://fyzika.upol.cz/cs/system/files/download/vujtek/texty/znm2-1.pdf>

-
- [24] *Metalografie I. - příprava vzorku pro pozorování mikroskopem* [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupné z:
http://www.vscht.cz/met/stranky/vyuka/labcv/labor/fm_metalografie_1/teorie.htm
- [25] *Metallography facilities* [online]. [cit. 2014-04-22]. Dostupné z:
http://urfe3.enise.fr/commun/la_recherche/DIPI/recherche2/equipement_metallo_en.html
- [26] *Měření mikrotvrdosti s nejvyšší přesností* [online]. [cit. 2014-04-26]. Dostupné z: <http://www.imr.saske.sk/documents/1-677-q10prospekt.pdf>
- [27] *Fully automatic micro hardness tester* [online]. [cit. 2014-04-27]. Dostupné z:
<http://www.qness.at/en/products/q10-micro-hardness-tester/detail.html>
- [28] MOC, Lubomír. *Analýza rozptylu při jednoduchém třídění* [online]. [cit. 2014-05-4]. Dostupné z:
http://www.kvm.tul.cz/studenti/texty/statistika/IS_Pr10.pdf
- [29] MOC, Lubomír. *Cvičení z inženýrské statistiky*. [cit. 2014-05-4]. 1. vydání. Liberec: TU v Liberci, 2006. ISBN 80-7372-132-5

6 PŘÍLOHA

STATICKÁ ZKOUŠKA TAHEM

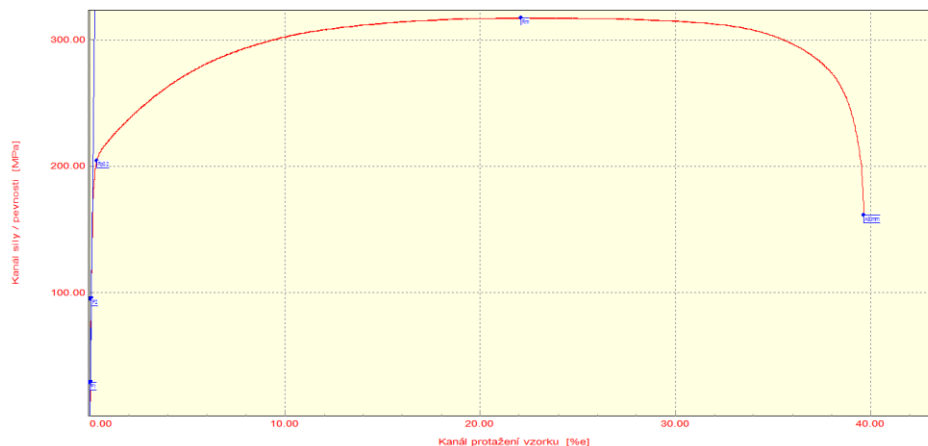
EN ISO 6892-1 VSTUPNÍ PARAMETRY

Testovaný materiál: H220 PD
Norma: EN 10292
Rychlost zatěžování: 10 mm/min.
Rozměr vzorku: 20 x 2 [mm]
Vypracoval: David Koreček
Datum zkoušky: 12.3. 2014
Směr odebrání vzorku: 0°
Podmínky měření: RT, L0=80mm, KAF 100kN

VÝSTUPNÍ HODNOTY

Zkouška	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
1	205	318	21.9	39.5
2	207	321	21.8	39.4
3	202	313	22.1	40.0
4	207	321	22.2	40.1
5	204	316	21.6	39.1
6	206	319	22.0	39.8

Statistika	Rp0.2 MPa	Rm MPa	Ag %	A80mm %
Počet zkoušek	6	6	6	6
Průměrná hodnota	205	318	21.9	39.7
Směrodatná odchylka	2	3	0.2	0.4



TECHNICKÁ UNIVERZITA V LIBERCI

Katedra strojírenské technologie

Oddělení tváření kovů a plastů

Studentská 2, 461 17, Liberec 1, CZ

<http://www.ksp.tul.cz>