

VPLYV VEĽKOSTI STRIŽNEJ MEDZERY NA KVALITU STRIŽNEJ PLOCHY PRI STRIHANÍ VÝSTRIŽKOV Z OCELÍ VYŠŠÍCH PEVNOSTÍ

Ing. Július Hajduk

Technická univerzita v Košiciach, Katedra technológií, materiálov a počítačovej podpory výroby, Mäsiarska 74, 040 01 Košice, Slovensko, e-mail: julius.hajduk@student.tuke.sk

doc. Ing. Janka Majerníková, PhD.

Technická univerzita v Košiciach, Katedra technológií, materiálov a počítačovej podpory výroby, Mäsiarska 74, 040 01 Košice, Slovensko, e-mail: janka.majernikova@tuke.sk

Abstract

The automotive industry has experienced increase in the usage of higher strength steel plates in recent years. These steels have been developed in response to global governmental environmental measures. This paper deals with the influence of shear conditions on the shear surface quality of cut-outs from higher strength steels. To verify the effect of shear gap size on shear surface quality, two types of steel sheets, namely TRIP steel and deep drawing steel, were used in the experiment. The cut-outs were sheared with a shearing tool with two different shear gaps. The quality of the shear surface was then evaluated by microscopic observation of the surface and by comparing the plastic shear size ratio to the total thickness of the sheet.

Key words: TRIP steel, deep drawing steel, shearing, shear clearance, plastic shear area

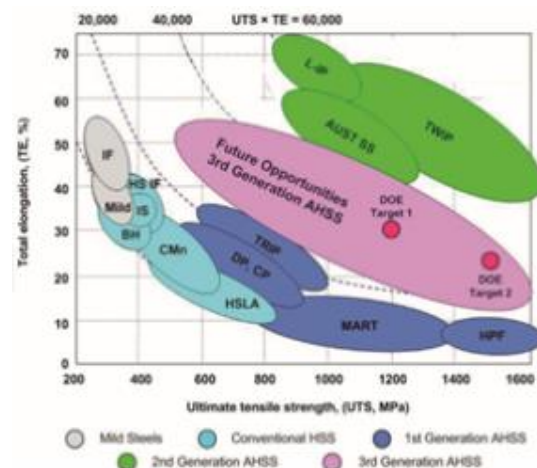
ÚVOD

Automobilový priemysel je v posledných rokoch tlačенý do výroby automobilov s kombináciou nízkych emisných hodnôt, úsporou materiálu a vysokými bezpečnostnými požiadavkami. Týmto požiadavkám vyhovujú pokrokové vysokopevné ocele (Advanced High-Strength Steels AHSS).

AHSS sú primárne ocele s viacfázovou mikroštruktúrou obsahujúcou jednu alebo viac fáz iných štruktúr ako ferit, perlit alebo cementit - napríklad martenzit, bainit, austenit alebo zbytkový austenit v dostatočnom množstve na vytvorenie jedinečných mechanických vlastností. AHSS zahŕňajú aj skupinu TRIP ocelí (oceľe s transformačne indukovanou plasticitou). Vývoj vysokopevných plechov stále napreduje a preto sa rozdeľujú na generácie (Obr. 1).

Plech ako základný polotovár určený na výrobu súčiastok v strojárstve sa tvárnením

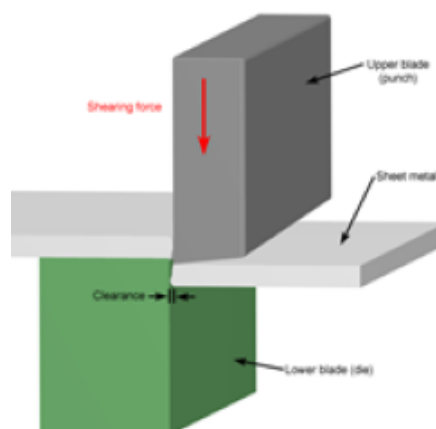
spracováva väčšinou za studena. Medzi základné technológie tvárnenia plechov patrí strihanie, ťahanie a ohýbanie. Pri procese strihania sa pri optimálnych strižných podmienkach zvyšuje kvalita strižných plôch, rozmery výstrižkov a životnosť strižných nástrojov.



Obr. 1 Rozdelenie vysokopevných plechov do troch generácií v diagrame závislosti ťažnosti a pevnosti

1. STRIHANIE

Strihanie je operácia delenia kovov, ktorá sa končí porušením materiálu. Materiály sa oddeľujú postupne, alebo súčasne, pozdĺž krivky strihu, vytvorenej relatívnym pohybom dvoch strižných hrán, ktoré vyvolávajú potrebné šmykové napätie (Obr. 2).



Obr. 2. Princíp strihania

Proces strihania pozostáva zo 4 fáz:

I. fáza: pružný aj plastický ohyb (deformácia) bez oddeľovania častí materiálu,

II. fáza: plastický strih (čistý strih), pri ktorom sa materiál oddeľuje šmykovým napätím,
 III. fáza: oddelenie častí odtrhnutím (prevažuje tu ťahové napätie),
 IV. fáza: strihanie sa ukončí vytlačením výstrižku od polotovaru.

Strižná vôľa a strižná medzera

Strižná vôľa je rozdiel rozmerov strižnice a strižníka v zodpovedajúcom mieste prierezu. Ide o vzdialenosť strižníka od strižnice pri jeho zasunutí v ktoromkoľvek mieste. Ideálna strižná medzera je rovnaká po celom obvode strižníka (strižnice) a rovná sa polovici strižnej vôle. Optimálna strižná medzera je dôležitým meradlom kvality strižného nástroja a rozhodujúco vplyva na trvanlivosť strižnej hrany a na celkovú životnosť činných dielov nástroja. Jej veľkosť závisí najmä od hrúbky a mechanickej vlastnosti strihaného materiálu. Za optimálnu strižnú medzeru možno považovať takú, ktorá je rovnomerná po celej krivke strihu a dosiahne sa pri nej požadovaná akosť strižnej plochy pri vynaložení najmenej sily a práce. Zmenšovaním strižnej medzery sa zväčšuje strižná sila aj práca, pričom prírastok sily nie je veľký, ale prírastok práce môže dosiahnuť hodnotu až 40 %.

Nedostatočná strižná medzera spôsobuje efekt druhotného strihnutia, čo spôsobuje väčšie opotrebovanie strižníka, a tým aj zníženie jeho životnosti. Toto môže nastať aj v prípade, že na začiatku bola medzera zvolená správne, ale proces strihu je nedostatočne mazaný. V prípade nedostatočného mazania sa na strižník postupne v stotínových vrstvách nabaľuje strihaný materiál, čo časom spôsobuje jeho zväčšenie a tým pádom redukcii strižnej medzery. Naopak, veľká strižná medzera vytvára výstrižky, ktoré majú nevhodnú spodnú hranu a tým znehodnocujú celkovú strižnú plochu.

2. POKROČILÉ VYSOKOPEVNÉ OCELE AHSS

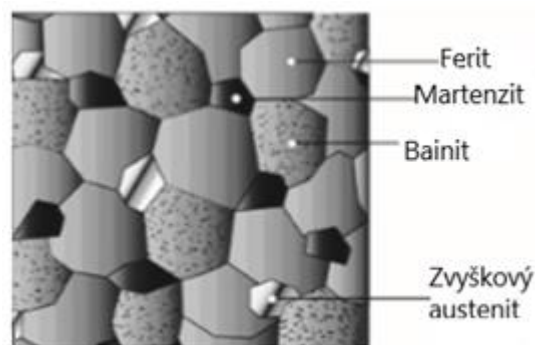
Pokročilé vysokopevné ocele (AHSS - Advanced High Strength Steel) - sú špeciálne materiály s vyššou pevnosťou než HSS ocele, určené na bezpečnostné a nosné prvky automobilovej konštrukcie (DP, CP, TRIP, TWIP a MS ocele).

2.1 TRIP ocele

TRIP ocele patria do skupiny pokrokových vysokopevných ocelí. Ich mikroštruktúra sa skladá z viacerých fáz, preto sa nazývajú aj multifázové ocele. V TRIP oceliach sa nachádzajú tri štruktúrne zložky: tuhý roztok uhlíka v železe s priestorovo centrovanou kryštálovou mriežkou, známy pod názvom ferit, ktorý tvorí maticu a predstavuje približne 60% objemu. V ňom sa nachádzajú ostrovcy tvrdšieho bainitu, čo je prechodová

štruktúrna zložka medzi mäkkým feritom a tvrdým martenzitom (približne 25 % objemu) a zvyšok, približne 15 % objemu tvorí austenit. Hoci je zvyškový austenit najmenej zastúpený, predsa má zásadný vplyv na mechanické vlastnosti ocele. Je to vďaka TRIP efektu, teda vďaka jeho premene na martenzit počas tvárnenia. Takéto ocele sú veľmi pevné a tvárne zároveň.

Vlastnosti TRIP oceli - veľká absorpcia energie počas zaťaženia, vysoká tvárnosť pred transformáciou, veľká životnosť výrobkov z TRIP ocelí. Výhoda TRIP ocelí spočíva v ich schopnosti predĺženia (ťažnosť 20 – 80%) a vynikajúcich pevnostných vlastnostiach ($R_e = 390 - 800$ MPa, $R_m = 500 - 1050$ MPa). Ďalšou z výhod je odolnosť voči stenčeniu počas procesu tvárnenia, čo poskytuje zlepšenie tváriteľnosti. TRIP ocele obsahujú relatívne málo legujúcich prvkov: $C \leq 0,24$; $Al \leq 1,6$; $Mn \leq 2$; $S \leq 0,01$; $Si \leq 0,3$; $P \leq 0,04$; $B \leq 0,005$; $Cr + Mo \leq 0,6$; $Nb + Ti \leq 0,2$ (hm. %).



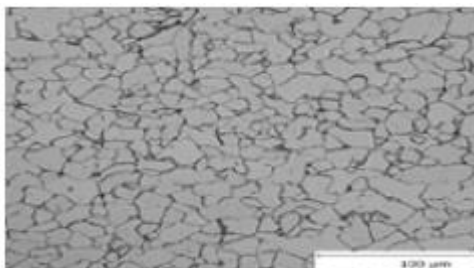
Obr. 3 Mikroštruktúra TRIP oceli

Využitie vysokopevných ocelí - vysokopevné ocele s TRIP efektom sa používajú najmä na výrobu nosných častí karosérií áut vo forme tenkých plechov s hrúbkou približne 1,5 mm. Najmenšia doterajšia hrúbka pri takých vysokých pevnostiach – typicky viac ako 1 000 MPa – je približne 0,9 mm. Samozrejme, zmenšenie hrúbky oceľových plechov znižuje tiež celkovú hmotnosť auta, čo zasa vplyva na zníženie spotreby pohonných látok a šetrí naše náklady. Okrem toho, vyššia pevnosť ocelí zaručuje aj väčšiu odolnosť áut pri náraze a lepšie chráni naše životy pri nebezpečných haváriách.

2.2 Hlbokotlačná oceľ

Hlbokotlačné ocele, s obsahom $C \leq 0,12$; $Mn \leq 0,6$; $P \leq 0,045$; $S \leq 0,045$; $Ti + Nb \leq 0,3$ (hm. %), sú odolné voči starnutiu, majú dobrú tváriteľnosť za studena, dostatočnú zvariteľnosť a spĺňajú požiadavku na nízku medzu klzu, ktorá je od 100 – 340 MPa. Medza pevnosti je na úrovni 250 – 500 MPa a ťažnosť 23 – 32 %. Mikroštruktúra je obvyčajne čisto feritická, ale vo veľmi malom

množstve sa môžu objaviť karbidy v objeme zŕn (Obr. 4). Plastické vlastnosti majú byť rovnaké v celom objeme spracovávaného plechu a nemajú podliehať zmenám v období medzi dokončením výroby vo valcovni za studena a jeho spracovaním na hotový výlisok. Z uvedeného vyplýva, že plechy majú byť stabilné vzhľadom k času a k teplote.



Obr. 4. Mikroštruktúra hlbokoŕažnej ocele

Využitie hlbokoŕažných plechov - hlavnou požiadavkou pre väčšinu spôsobov použitia hlbokoŕažných plechov je dobrá tvárnosť, získanie zložitých tvarov bez porušenia a vzniku povrchových väd tvárnením za studena. Majú pomerne slabé únavové vlastnosti a nijak výrazne neprispievajú svojimi vlastnosťami k bezpečnosti v prípade havárie. To ich predurčuje iba na také komponenty konštrukcie ako sú vnútorné plechy dverí, komplikované výlisky podláh, vnútorné podbehy a blatníky alebo strešné plechy.

3. METODIKA EXPERIMENTOV

V rámci experimentálnych prác bol hodnotený vplyv strižnej vôle na kvalitu strižnej plochy. Použitý materiál bol - hlbokoŕažná oceľ (DC06BZE75/75PHOL), s označením „D“, hrúbky $a_0 = 0,75$ mm a oceľ s transformačne indukovanou plasticitou (TRIP RAK40/70 Z100MBO), s označením „T“, hrúbky $a_0 = 0,75$ mm.

Hodnotený oceľový plech T bol obojstranne elektrolyticky pozinkovaný, s množstvom zinku predstavujúcim 100 g/m^2 (Z100MBO). Hlbokoŕažný oceľový plech D bol tiež obojstranne pozinkovaný, s množstvom zinku 75 g/m^2 (BZE75/75PHOL).

Chemické zloženie ocelí je uvedené v Tab. 1.

Tab.1 Chemické zloženie experimentálnych materiálov [%]

	C	Mn	P	S	Ti	Si	
T	0,204	1,683	0,018	0,003	0,009	0,2	
D	0,2	0,25	0,002	0,02	0,3		
	Al	Cr	Cu	Ni	Nb	Zr	Mo
T	1,73	0,055	0,028	0,018	0,004	0,007	0,008
D							

Výsledky z jednoosovej skúšky ťahom pre vzorky D a T sú uvedené v Tab. 2 a 3.

Tab.2 Hodnoty namerané na skúšobných tyčiach s označením T

Smer [°]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A80 [%]
0°	442	772	27,7
45°	441	763	25,3
90°	450	277	25,8

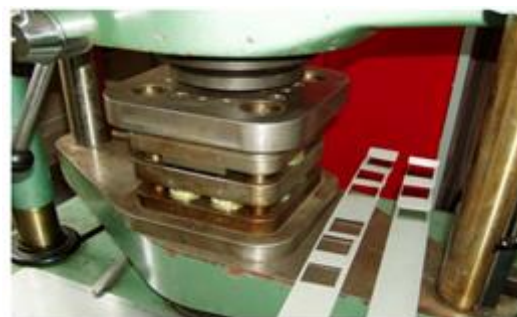
Tab.3 Hodnoty namerané na skúšobných tyčiach s označením D

Smer [°]	$R_{p0,2}$ [MPa]	R_m [MPa]	A80 [%]
0°	138	277	52,9
45°	142	282	50,4
90°	141	277	51,7

3.1 Strihanie vzoriek

Pri experiment a následnú analýzu vplyvu podmienok strihania na kvalitu strižnej plochy bol použitý hydraulický lis ZD40. Experimentálny nástroj (Obr. 5) má vymeniteľné činné časti a je možné pri presnom strihaní s tlačnou hranou zmeniť dané parametre:

1. veľkosť tlačnej hrany h od 0,5 mm do 1,5 mm;
2. vzdialenosť tlačnej hrany od čiar strihu je od 1,2 mm do 2,0 mm;
3. veľkosť strižnej vôle je od 0 do 0,15 mm.



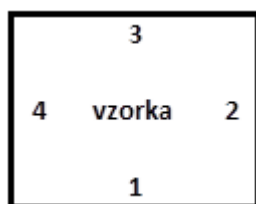
Obr. 5 Experimentálny nástroj

3.2 Meranie hĺbky plastického strihu

Hĺbka plastického strihu h_v , určená u všetkých vzoriek obidvoch experimentálnych materiálov, bola meraná mikroskopom KEYENCE 5000, ktorý má katedra k dispozícii. Pri experimente sa jednotlivé vzorky strihali pri dvoch rôznych strižných vôľach -zhodná strižná vôľa bola na stranách vzorky 1 a 3, a to 0,08 mm a na stranách vzoriek 2 a 4 bola veľkosť strižnej vôle 0,01 mm (Obr. 6). Strižná vôľa pre jednotlivé strany vzoriek je uvedená v Tab.4.

Tab.4 Strižňa vôľa na stranách vzoriek

strana vzorky	1	2	3	4
strižná vôľa (mm)	0,08	0,1	0,08	0,01



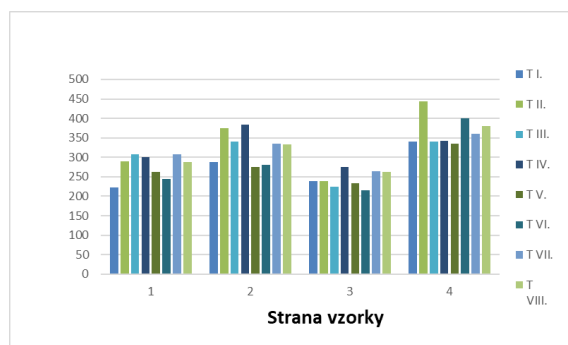
Obr. 6 Označenie strán vzoriek

V Tab. 5 sú uvedené priemerné hodnoty hĺbky plastického strihu jednotlivých strán materiálu T. Najnižšia hodnota $h_v = 0,215$ mm bola nameraná pri strižnej vôli 0,08 mm vzorky T VI. a najväčšia hodnota $h_v = 0,443$ mm bola nameraná pri strižnej vôli 0,01 mm vzorky T II.

Tab.5 Priemerné hodnoty hĺbky plastického strihu jednotlivých strán vzoriek TRIP ocele [μm]

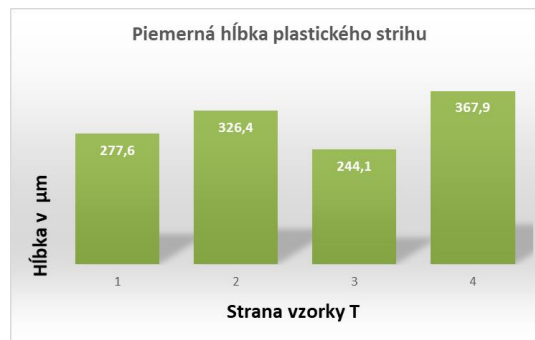
Strana	T I.	T II.	T III.	T IV.	T V.	T VI.	T VII.	T VIII.	Priemer
1	223	289	307	300	263	245	307	287	277,6
2	287	375	340	384	275	281	335	334	326,4
3	239	238	225	276	233	215	264	263	244,1
4	340	443	341	342	335	400	361	381	367,9

Na obr. 7 je uvedené porovnanie hĺbky plastického strihu jednotlivých strán a vzoriek experimentálneho materiálu T.



Obr. 7 Graf porovnania hĺbky plastického strihu jednotlivých strán a vzoriek TRIP ocele

Na obr. 8 sú uvedené priemerné hodnoty hĺbky plastického strihu jednotlivých strán všetkých vzoriek strihaných z TRIP ocele.



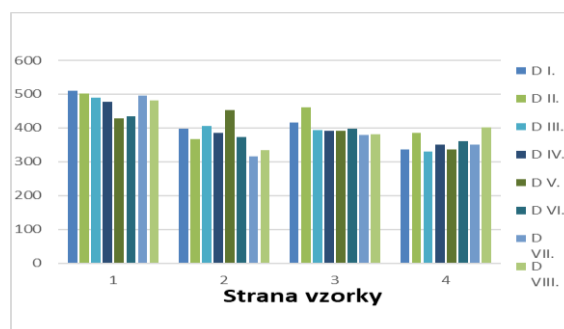
Obr. 8 Graf priemerných hodnôt plastického strihu jednotlivých strán vzoriek TRIP

V Tab. 6 sú uvedené priemerné hodnoty hĺbky plastického strihu jednotlivých strán materiálu D. Najnižšia hodnota $h_v = 0,317$ mm bola nameraná pri strižnej vôli 0,01 mm vzorky D VII. a najväčšia hodnota $h_v = 0,510$ mm bola nameraná pri strižnej vôli 0,08 mm vzorky D I.

Tab.6 Priemer hĺbky plastického strihu jednotlivých strán vzoriek hlbokotážnej ocele [μm]

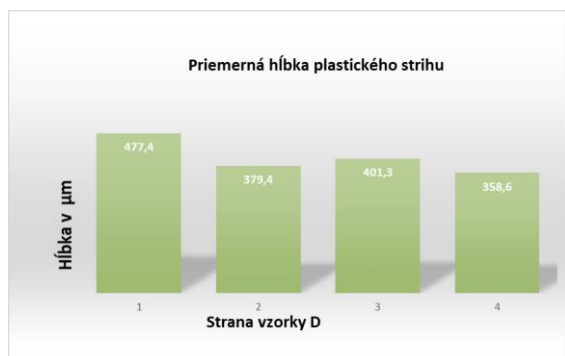
Strana	D I.	D II.	D III.	D IV.	D V.	D VI.	D VII.	D VIII.	Priemer
1	510	502	490	478	428	435	495	481	477,4
2	398	368	405	386	453	374	317	334	379,4
3	417	460	393	391	391	398	379	381	401,3
4	337	386	330	350	337	361	351	402	358,6

Na obr. 9 je uvedené porovnanie hĺbky plastického strihu jednotlivých strán a vzoriek experimentálneho materiálu D.



Obr. 9 Graf porovnania hĺbky plastického strihu jednotlivých strán a vzoriek hlbokotážnej ocele

Na obr. 10 sú uvedené priemerné hodnoty hĺbky plastického strihu jednotlivých strán všetkých vzoriek strihaných z hlbokotážnej ocele.

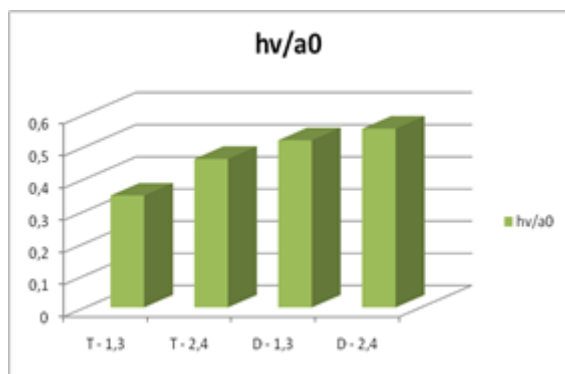


Obr. 10 Graf priemerných hodnôt plastického strihu jednotlivých strán vzoriek D

V Tab. 7 a na Obr. 11 je uvedený pomer hĺbky plastického strihu k hrúbke strihaného materiálu.

Tab. 7 Pomer hĺbky plastického strihu k hrúbke strihaného materiálu.

Vzorka -strana	h _v [mm]	a ₀ [mm]	h _v /a ₀
T - 1,4	0,261	0,75	0,348
T - 2,3	0,347	0,75	0,462
D - 1,4	0,39	0,75	0,52
D - 2,3	0,417	0,75	0,556



Obr. 11 Pomer hĺbky plastického strihu k hrúbke strihaného materiálu

4. ZHODNOTENIE VÝSLEDKOV EXPERIMENTU

Z dosiahnutých výsledkov experimentu sme dospeli k záveru, že pri nami testovaných materiáloch (plech vyššej pevnosti a hlbokoťažný plech) ich mechanické vlastnosti (pevnosť v ťahu, medza klzu a ich pomer, ťažnosť) majú určitý vplyv na strižnú plochu a jej kvalitu, ktorá je hodnotená pomerom h_v/a_0 . Z výsledkov vyplýva, že pre materiál s nižšou medzou klzu a väčšou ťažnosťou (materiál D) bola zistená vyššia hodnota h_v/a_0 a pre materiál s vyššou medzou klzu a nižšou ťažnosťou (materiál T) bola zistená nižšia hodnota pomeru h_v/a_0 .

ZÁVER

Optimálna strižná medzera je dôležitým meradlom kvality strižnej plochy. Veľkosť strižnej vôle má vplyv na životnosť nástrojov a na výslednú kvalitu výstrižku. S cieľom definovať vplyv veľkosti strižnej medzery na kvalitu strižnej plochy boli získané výsledky:

- (1) pri strihaní skúmaných oceľových plechov hrúbky 0,75 mm je kvalita strižnej plochy ovplyvnená vzdialenosťou medzi strižníkom a strižnicou vyjadrená pomerom h_v/a_0 ;
- (2) najnižšia hodnota hĺbky plastického strihu TRIP ocele bola nameraná pri strižnej vôle 0,08 mm a pri hlbokoťažnej oceli pri strižnej vôle 0,01 mm. Najväčšia hodnota hĺbky plastického strihu TRIP ocele bola nameraná pri strižnej vôle 0,01 mm a pri hlbokoťažnej oceli pri strižnej vôle 0,08 mm.

Pod'akovanie: Príspevok vznikol v rámci riešenia projektu APVV-17-0381.

Literatúra

- [1] SPIŠÁK, E. et al.: Strojárske technológie. 1. vyd. Košice: Technická univerzita v Košiciach, 2011. 388s. ISBN 978-80-553-0820-3.
- [2] BOGDAN, D. – DULEBA, B. – SPIŠÁK, E.: Twip ocele – Konštrukčný materiál pre automobilový priemysel budúcnosti. In: Transfer inovácií, 21/2011.
- [3] TISZA, M.: Development of Lightweight Steels for Automotive Applications. In: Development of Lightweight Steels for Automotive Applications.
- [4] MAJERNÍKOVÁ, J., SPIŠÁK, E. Punch-Die Gap Effect on Blanked Edge in Fine Blanking of Low-Carbon, Micro-Alloyed and High-Strength Steels, Applied Mechanics and Materials, 474, 2014, 279-284.
- [5] TRIP Steels. 2014. [online]. [cit. 2021-05-10]. Dostupné na internete: <<https://www.ispatguru.com/trip-steels/>>.
- [6] KALPAKJIAN, S., SCHMID, S. R.: Manufacturing Engineering and Technology. Singapur: Pearson Education South Asia Pte Ltd, 2014. 1180s. ISBN 978-981-06-9406-7.