

ANALÝZA A HODNOTENIE STRIHATELNOSTI VYSOKOPEVNÝCH OCEĽOVÝCH PLECHOV

Ing. Anna Šúňová
Ing. Stanislav Németh
Prof. Ing. Emil Spišák, CSc.
 Technická univerzita v Košiciach
 Strojnícka fakulta
 Katedra technológií a materiálov
 Mäsiarska 74, 040 01 Košice
 anna.sunova@tuke.sk

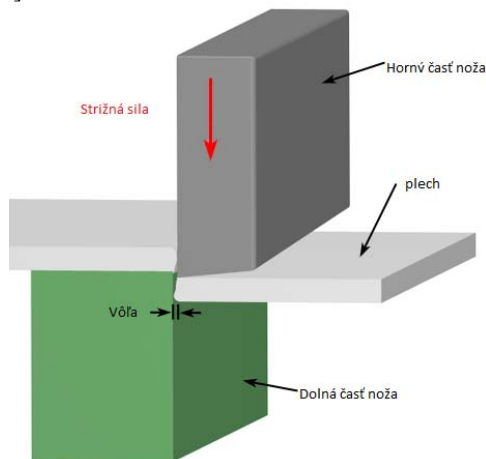
Abstract

The most discussed topic in last several years are High Strength Steels (HSS), Advanced High Strength Steels (AHSS) and Ultra High Strength Steels (UHSS) Sheets and its shearability. In processing of this High Strength material it is necessary to increase life cycle and durability of active parts of shear tools and also cut-out quality. Final shape and cut-out quality depends on some very important conditions of shearing technological process, such as: suitable selection of tools material, shearing speed, durability in case of interaction of machine - tool - cut-out and others.

Key words: shearability, durability, HSS, depreciation, life cycle, shear edge

ÚVOD

Strihanie je najrozšírenejšou operáciou tvárnenia. Používa sa na prípravu polotovarov (strihaní tabúl, alebo zvitkov plechov, pri strihaní profilov a pod.) ako aj na vystrihovanie súčiastok z plechu, buď pre konečné použitie, alebo pre výrobky na ďalšie spracovanie technológiami ako sú ohýbanie, pretlačovanie, ťahanie a iné a taktiež na dokončovacie a pomocné operácie. Okrem klasického strihania (Obr. 1) existujú aj iné spôsoby plošného tvárnenia. Patrí sem dierovanie, vystrihovanie, ostrihovanie, pristrihovanie a iné [1,2].



Obr. 1 Princíp strihania [3]

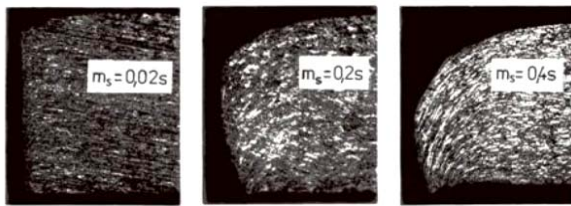
Strihanie je technologický proces, pri ktorom pôsobením vonkajších síl dochádza k postupnému alebo súčasnému oddeľovaniu častí materiálu v strižných nástrojoch pozdĺž krivky strihu. Strižný nástroj je určený na vystrihovanie z tenkých plechov a jeho základnými časťami sú strižník, strižnica, základová doska a doraz. Na delenie materiálov strihaním na pásy, tabule, pruhy alebo polovýrobky rôznych tvarov používame nožnice rôznych typov. V prevádzke sa najčastejšie používajú mechanické nožnice, ktoré majú veľký počet zdvihov. Väčšia rýchlosť nožnic zlepšuje kvalitu strihu. Hydraulické nožnice majú väčší zdvih, čo sa javí ako výhoda pri strihaní širokých plechov naklonenými nožmi [4].

1. ANALÝZA STRIHATELNOSTI

Aby bolo možné strihať vysokopevné materiály, je potrebné pri strihaní nastaviť správne parametre. Pevnosť v strihu sa väčšinou vypočíta ako 0,8 x medza pevnosti, čo znamená, že strižná sila vzrastá úmerne so zvyšujúcou sa pevnosťou. Štúdie však ukázali, že pevnosť v strihu sa pri zvyšujúcej sa sile postupne znižuje na hodnotu 0,6 x medze pevnosti. Ak sa okrem toho zníži aj hrúbka plechu, čo je pri nahradení mäkkej ocele oceľou s vyššou pevnosťou možné, aj strižná sila sa bude ďalej znižovať. Výslednú aplikovanú silu strihania je teda možné znížiť. Ak sa okraj oceľového plechu má intenzívne plasticky tvárniť, je potrebné pri tepelnom delení oceľového plechu použiť pevnejší a hrubší materiál. Strihanie ťažko tvárniteľných vysokopevných a húževnatých materiálov si vyžaduje náročnejšie konštrukcie nástrojov, najmä vtedy, ak sa kladú zvýšené požiadavky na kvalitu strižnej plochy. Kvalita strižnej plochy závisí od veľkosti strižnej medzery (Obr. 2), tvaru činných častí strižného nástroja a ich opotrebenia, od materiálu nástroja a materiálu strihaného výrobku.

Na strihateľnosť vysokopevných oceľových plechov vplyvajú parametre ako anizotropia materiálu, použitý nástroj a zvláštne charakteristiky technológie strihania:

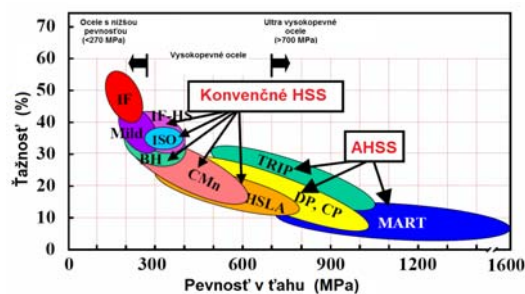
- drsnosť strižnej plochy sa znižuje so zvyšujúcou sa tvárnosťou materiálu,
- odchýlka kolmosti strižnej plochy sa zväčšuje so zväčšujúcou strižnou vôľou,
- pozdĺž strižnej plochy dochádza k stenčeniu materiálu,
- materiál sa pozdĺž strižnej plochy spevňuje,
- rozmery výstrižkov sa menia odpružením a opotrebením nástrojov.



Obr. 2 Kvalita strižnej plochy pre rôznu veľkosť strižnej medzery

2. OCELOVÉ PLECHY VALCOVANÉ ZA STUDENA

Klasifikácia moderných oceľových plechov využívaných predovšetkým v automobilovom priemysle nie je doposiaľ jednotne stanovená. Vo všeobecnosti sa rozdeľujú z hľadiska metalurgie. Podľa toho ich triedime na ocele s nízkym obsahom uhlíka Low-Carbon Steels (LC) z ktorých najhlavnejším zástupcom sú (MILD a IF ocele), vysokopevné ocele HSS (BH, HSLA, HS-IF ocele) a moderné vysokopevné ocele AHSS (DC, DP, MS, TRIP a TWIP ocele) [5].



Obr. 3 Porovnanie pevnostných a plastických vlastností oceľových plechov [6]

Ďalšie delenie je výstižné a aj čoraz viac zaužívané. Triedenie ocelí podľa dosahovanej medze klzu a pevnosti v ťahu (Tab. 1). Klasifikácia oceľových plechov do skupín na vysokopevné (HSS), moderné (AHSS) a ultra vysokopevné (UHSS) sa javí ako veľmi nepresné, nakoľko napr. ocele akosti TRIP sa môžu v závislosti na spracovaní a chemickom zložení vyskytovať vo všetkých troch kategóriách [5].

Tab. 1 Oceľové plechy klasifikované podľa Re a Rm [7]

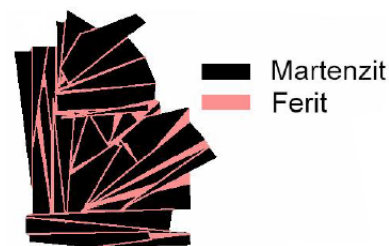
Kategória ocelí	Medza klzu [MPa]	Pevnosť v ťahu [MPa]
Ocele s nízkou pevnosťou	< 210	< 340
Vysokopevné ocele (HSS)	210 - 550	270 - 700
Moderné vysokopevné ocele (AHSS)	> 550	590 - 980
Ultra vysokopevné ocele (UHSS)	> 550	> 980

Hlavným rozdielom medzi vysokopevnými HSS a moderne vysokopevnými AHSS je v ich mikroštruktúre. HSS charakterizujeme ako jednofázové feritické ocele. AHSS sú v najväčšej

miere multifázové ocele, ktoré obsahujú vo svojej štruktúre okrem perlitu a feritu aj iné fázy ako bainit, martenzit alebo zvyškový austenit v takom množstve, ktoré postačuje pre výhodné mechanické vlastnosti [8, 10].

2.1 Martenzitické ocele (Martensitic Steels)

Mikroštruktúra pozostáva hlavne z martenzitu s doskovitou morfológiou (najmenej 30%), ktorý vzniká transformáciou austenitu počas kalenia, hneď po valcovaní za tepla a žihaní. Tieto ocele sú často po kalení podrobené temperovaniu s cieľom zlepšiť ich húževnatosť aj pri veľmi vysokej medze pevnosti. V závislosti na podiele martenzitickej fázy poskytujú MART ocele konečnému produktu najvyššiu medzu pevnosti od 800 až do 1650 MPa. Medza klzu je na úrovni 720 – 1200 MPa a ťažnosť 5 až 15% [11].



Obr. 4 Schéma mikroštruktúry MS ocele [12]

Pridaním uhlíku do MS ocele sa posilňuje martenzit a zvyšuje ich prekaliteľnosť. Pre zvýšenie prekaliteľnosti sa do MS ocelí, okrem uhlíku pridáva kremík molybdén, chróm, mangán, vanád, nikel a bór a to buď samostatne alebo v rôznych kombináciách. Typickými aplikáciami MART ocelí sú prvky vyžadujúce vysokú pevnosť a únavovú odolnosť pri čo najužšom priereze alebo hrúbke. Veľmi často sa objavujú ako výstuže dverí, bočné výstuže, výstuže nárazníkových partií, bočné rámy karosérie a pod. [13].

2.2 HSLA ocele (High-Strength Low-Alloy Steels)

Tieto ocele sa zaradzujú medzi mikrolegované ocele. Pôvodne boli vyvíjané ako ocele na výrobu plynovodov a ropovodov, odolávajúce atmosférickej korózii so zvýšenými mechanickými charakteristikami. Až neskôr sa presadili aj v automobilizme. Chemické zloženie HSLA ocelí sa pohybuje v nasledujúcich intervaloch: $0,05 \leq C \leq 0,26$, $0,5 \leq Mn \leq 1,65$, $0,025 \leq P \leq 0,15$, $0,01 \leq S \leq 0,05$, $0,15 \leq Si \leq 0,9$, $0,25 \leq Cr \leq 0,9$, $0,25 \leq Ni \leq 1,25$, $0,2 \leq Cu \leq 1$, $0,005 \leq V \leq 0,11$ (hm.%), a prímiesy Mo, Zr, Ca, Nb, N, Al a Ti do 0,25%. Do tejto skupiny ocelí patria aj DP a CMn ocele. Jemnozrnná mikroštruktúra HSLA ocelí je rôznorodá. Môže byť čisto perlitická, feriticko-perlitická, s acikulárnym

feritom, alebo feriticko-martenzitická. Nízky obsah uhlíka zabezpečuje dobrú tvárnosť a zvariteľnosť. Malé množstvá Zr, Ca a vzácnych zemin regulujú tvar oxidov síry, čo tiež prispieva k lepšej tvárnosti. Cu, Ti, V a Nb zvyšujú pevnosť HSLA ocelí precipitáciou karbidov a roztokovým spevnením. HSLA ocele sa používajú na výrobu niektorých dynamicky namáhaných dielov podvozku, výstuží dverí, nárazníkov a nosných častí karosérie. Vďaka dobrej hĺbkoťažnosti sú vhodné na náročné výlisky. V porovnaní s obyčajnými uhlíkovými ocelami majú o 20 – 30 % nižšiu hmotnosť pri rovnakej pevnosti [17]. Medza klzu HSLA ocelí je v intervale 240 až 620 MPa a medza pevnosti je súčasnosti v rozmedzí 290 - 800 MPa [14].

2.3 Konštrukčné nízkoлегované ocele

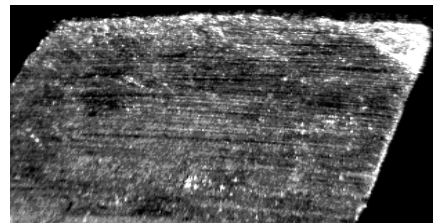
Ocele legované kombináciou chrómu, vanádu alebo molybdénu prípadne wolfrámu. Používajú sa hlavne na vysokotlakové kotle a trubky, na súčasti parných turbín a iné súčasti namáhané za tepla, nakoľko tieto ocele sú žiarupevné t.j. majú vysokú medzu tečenia. Okrem toho sa tieto ocele používajú na veľmi namáhané súčasti a to buď ako ocele cementované, zušľachtené, povrchovo kalené, alebo nitridované, a taktiež pri stavbe motorových vozidiel a lietadiel. Obsah legujúcich prvkov po odpočítaní obsahu uhlíka je nižší než 5 %. Majú podobné vlastnosti ako ocele nelegované, ale sú vhodné pre tepelné spracovanie. Tepelným spracovaním je u nich možno ovplyvniť mechanické vlastnosti. So stúpajúcim obsahom uhlíka stúpa aj tvrdosť po kalení. A to až do obsahu 0,85 hm. % C. S vyšším obsahom uhlíka sa kalením už tvrdosť ďalej nezvyšuje. Samotný obsah uhlíka má však taktiež vplyv na pevnosť ocelí, čím vyšší obsah, tým je oceľ pevnejšia. Napríklad v 80-tych rokoch sa vyrábali radlice pluhu z ocelí 11 700, pri ktorých výrobca uvádzal, že po naostrení už nie je nutné ich kalieť, pretože oceľ s takým obsahom uhlíka bola sama o sebe dostatočne tvrdá [10].

3. OPOTREBENIE A ŽIVOTNOSŤ STRIŽNÝCH NÁSTROJOV

Problematika životnosti je značne dôležitá pre strižné nástroje a pre ich široké použitie v praxi. Ich cena predstavuje významnú nákladovú položku v podnikoch. Dôsledkom výmeny nástroja sa musí zastaviť celá linka a tým vznikajú finančné ale aj časové straty. Proces strihania je predovšetkým ovplyvňovaný opotrebením činných častí strižného nástroja, ktoré sa prejavuje rýchlejšie ako pri iných základných operáciách lisovania. Opotrebené nástroje môžu znižovať kvalitu výrobkov. V dnešnej dobe sa výskum v oblasti trvanlivosti a životnosti strižných nástrojov zameriava predovšetkým na [9]:

- vývoj skúšobných zariadení - experimentálnych nástrojov umožňujúcich v celom rozsahu modelovať proces strihania,
- na skrátené skúšky trvanlivosti, priebeh a charakteristiku opotrebenia, vrátane kritérií hodnotenia opotrebenia, trvanlivosti a životnosti,
- použitie matematických metód vyhodnotenia a plánovania experimentov.

Pri procese strihania dochádza k opotrebeniu činných častí strižného nástroja. Opotrebenie je definované úbytkom elementárnych častíc z činných častí v oblasti strižnej hrany, ktoré je ovplyvňované počtom vyrobených výstrižkov. Na obr. 4 je zobrazený detail opotrebovania strižníka v priebehu procesu strihania [9].



Obr. 5 Detail opotrebovanej strižnej hrany [8]

K najdôležitejším faktorom, ktoré ovplyvňujú proces strihania a životnosť nástroja pre tvárnenie za studena sú [10]:

- Konštrukcia nástroja - veľkosť, rozmery, zložitosť,
- Materiál nástroja - tvrdosť, karbidy (množstvo, veľkosť, tvrdosť), plasticita, húževnatosť, prekaliteľnosť,
- Tepelné spracovanie - predohrevy, kaliaca teplota, popúšťacia teplota, chemicko-tepelné spracovanie,
- Výroba nástroja - trieskové opracovanie, elektroerozívne opracovanie, odlievanie, brúsenie, leštenie, opravné zvary,
- Spracovávaný materiál - druh, tvrdosť, tvrdé častice, húževnatosť, povlakovanie,
- Procesné podmienky - vôľa, mazanie, stabilita stroja, kadencia,
- Údržba nástroja - ostrenie, čistenie, leštenie, opravné zvary, popúšťanie na odstránenie napätí.

Životnosť nástroja je podmienená [10]:

- vyrobiteľnosťou - ovplyvňuje ju druh použitého materiálu a jeho mechanické vlastnosti, obrobiteľnosť, spôsob tepelného spracovania, povrchová úprava, požadovaná presnosť a pod.,
- vymeniteľnosťou - závisí najmä od vhodnej voľby materiálov a ich

spracovania, spôsobu vzájomného uloženia, lícovania, použitých typizovaných a normalizovaných dielcov a kvality montážnych prác,

- požadovanou tuhosťou konštrukčných častí nástroja,
- akosťou vodiacich elementov,
- statickými a dynamickými silami pôsobiacimi v procese,
- vplyvom prostredia,
- skladovaním a údržbou v pracovnom procese.

4. ZHODNOTENIE STRIHATELNOSTI VYSOKOPEVNÝCH OCEĽOVÝCH PLECHOV

Výskum v oblasti strihateľnosti plechov napreduje, čo znamená, že sa navrhujú moderné špičkové strižné nástroje, ktoré sú schopné strihať aj vysokopevné oceľové plechy. Rozhodujúcim činiteľom pri výbere nástroja, je voľba vhodného materiálu, z ktorého sa strižný nástroj vyrobí. Nie menej rozhodujúcim faktorom je výsledná cena nástroja, ktorá za týchto podmienok, ako je použitie špičkového materiálu pre jeho výrobu, je pomerne vysoká. Zohľadniť je potrebné aj trvanlivosť nástroja, ktorá je omnoho nižšia ako u nástrojov pre strihanie bežných materiálov.

Literatúra

- [1] SCHMIDT A. R., BIRZER F., HOFEL P., a spol. Cold Forming and Fineblanking – a Handbook on cold processing, steel material properties and part, part design. Carl Hanser Verlag Munchen Wien, Germany, 2007. 250s.
- [2] Úvod do strojírenství. 1. vyd. Liberec: Nakladatelství Technická univerzita, 2001. 190s. ISBN 80-7083-538-9
- [3] Sheet Metal Cutting (Shearing), [online]., 2013-01-25 [cit. 2013-11-25]. Dostupné na internete: <<http://www.custompartnet.com/wu/sheet-metal-shearing>>.
- [4] DVOŘÁK, Milan, GAJDOŠ, František, NOVOTNÝ, Karel. Technologie tváření: plošné a objemové tváření. 2. vyd. Brno : CERM, 2007. ISBN 978-80-214- 3425-7.169 s.
- [5] GIRMAN, V. - HRABČÁKOVÁ, V.: Kovové materiály v automobilových konštrukciích - II. Karoséria a karosárske plechy. In: Materiálový inžinier 2012. ISSN 1337 – 8953 [online]. 2012 [cit. 2013-11-09]. Dostupné na internete:<
http://www.materialing.com/materialy_auto_konstruckcii>
- [6] Great Designs in Steel. SteelWorks [online] American Iron and Steel Institute, 2011 [cit. 2013-12-04]. Dostupné na internete:<
<http://members.steel.org/AM/Template.cfm?Section=Home&TEMPLATE=/CM/ContentDisplay.cfm&CONTENTID=28132>>
- [7] EDGAR, J.: Steel identification Using Hardness testing. AutoSpeed, 2008 [online] 2012 [cit. 2012-11-01]. Dostupné na internete:<
http://autospeed.com/cms/title_Steel-Identification-Using-Hardness-Testing/A_109717/article.html>
- [8] Current Status of Advanced High Strength Steel [online]. Sanghai, China 2012 [cit.2011-10-27]. Dostupné na internete: <http://www.baosteel.com/english_n/e07technical_n/021702e.pdf>
- [9] GREŠKOVIČ, František a kol. : Opatrebenie strižných nástrojov a nástrojové materiály [online]. [cit. 2013-09-15]. Dostupné na internete: <<http://www.sjf.tuke.sk/transferinovacii/pages/archiv/transfer/4-2002/pdf>>.
- [10] ZDRAVECKÁ, Eva: Zvyšovanie životnosti nástrojov pri tvárnení za studena. In: Tribotechnika [online]. 2010, č.2, s.72 – 74 [cit. 2013-09-05]. Dostupné na internete: <<http://www.tribotechnika.sk/tribotechnika-22010>>.
- [11] Autosteel: 2011 Steel Market Development Institute, [on-line] 2012 [cit. 2013-11-12]. Dostupné na internete: <www.autosteel.org>
- [12] Pevnostní materiály v karosérii: Metódy tváření kovů a plastů [online]. Technická univerzita v Liberci, Katedra strojírenské technologie, Liberec, 2010 [on-line] 2011 [cit. 2013-11-12]. Dostupné na internete:<http://www.ksp.tul.cz/cz/kpt/obsah/vyuka/stud_materialy/mtk/MTK3.pdf>
- [13] Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guedelines. International Iron & Steel Institute, Committee on Automotive Applications, Jún 2009, Version 4.1
- [14] Hall J. N.: Evolution of Advanced High Strength Steels in Automotive Applications. Great Design in Steel Seminar, 18th May, Livonia, 0Michigan USA, 2011.

Príspevok bol vypracovaný s podporou projektu APVV 0682-11, Aplikácia progresívnych povlakov nástrojov pre zvýšenie efektívnosti a produktivity lisovania plechov z moderne koncipovaných materiálov.