

HODNOTENIE MATERIÁLOVEJ TVÁRNITEĽNOSTI OCEĹÍ S VYŠŠOU PEVNOSŤOU PRE AUTOMOBILOVÝ PRIEMYSEL

Ing. Juraj Hudák, CSc.
Ing. Miroslav Tomáš, PhD.

Technická univerzita v Košiciach
Strojnícka fakulta
Katedra technológií a materiálov
Mäsiarska 74, 040 01 Košice
Juraj.Hudak@tuke.sk
Miroslav.Tomas@tuke.sk

Abstract: Contribution deals with material formability evaluation of TRIP and HSLA steels. These steels are widely used in automotive industry for its good plastic properties and high strength. They are commonly used in crash zones of car's bodies. Material formability evaluation was performed by tensile test. HSLA steel sheets H220PD with thickness 0,80 mm and TRIP steel RAK40/70 with thickness 0,75 mm were used as experimental materials.

Úvod

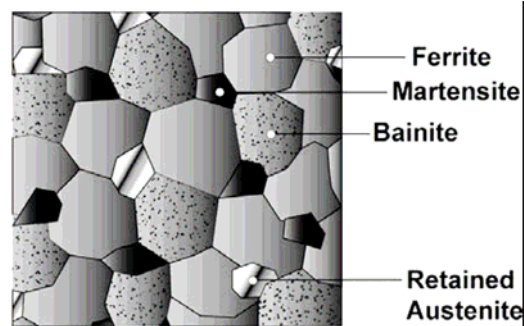
Kategóriu oceľových plechov valcovaných za studena možno rozdeliť na niekoľko skupín: [1,2,3]

- textúrované nízkouhlíkové hliníkom upokožené ocele,
- ocele bez interstícií (IF ocele),
- ocele vytvrditeľné pri vypaľovaní laku (BH ocele),
- dvojfázové ocele (DP ocele),
- vysokopevné mikrolegované ocele (HSLA)
- ocele s transformačne indukovanou plasticitou (TRIP ocele).

V súčasnosti je vo výskume najväčšia pozornosť venovaná progresívnym vysokopevným oceliam (AHSS) a ultravysokopevným oceliam (UHSS). Do kategórie AHSS sú zaradované ocele dvojfázové (DP), komplexne fázové (CP) a ocele s transformačne indukovanou plasticitou (TRIP) obsahujúce reziduálny austenit (RA). Do kategórie UHSS patria predovšetkým ocele martenzitické. Uvedené skupiny ocelí sú dobre lisovateľné, vykazujú vynikajúcu kombináciu pevnosti, životnosti, pohlcovania deformačnej rýchlosti, deformačného spevnenia a dobrej zvariteľnosti. Takto koncipované charakteristiky ocelí, umožňujú automobilovým konštruktérom realizovať predstavy znižovania hmotnosti konštrukcie a zvyšovania bezpečnosti posádky pri havárii [3].

Mikrolegované ocele (HSLA – High Strength Low Alloy) sa vyznačujú feriticko-perlitickou jemnozrnnou štruktúrou s malou prísadou (max. 0,15 %) jedného prvku alebo kombinácie prvkov skupiny Al, Ti, Nb, V. Mikrolegujúce prvky sú viazané na uhlík a dusík, pričom podstata mikrolegujúcich účinkov súvisí s rozpustnosťou karbidov (TiC, VC, NbC), nitridov (AlN, TiN) a karbonitridov (Ti(C,N)) v austenite a ferite a mechanizmami spevňovania. [2]

TRIP ocele sú prednostne trojfázové ocele s dvomi majoritnými fázami: ferit + bainit a minoritnou fázou – reziduálny austenit. V oblasti deformácií 0 - 7 % majú TRIP ocele exponent deformačného spevnenia n podobný ako HSS, ale pri deformáciách vyšších než 7 % unikátna mikroštruktúra umožňuje lokálnu stabilitu plastickej deformácie a zvyšovanie pevnosti ocele. Podstatou procesov prebiehajúcich pri spevňovaní TRIP ocelí je martenzitická transformácia indukovaná napätím alebo deformáciou. Pri deformácii preberajú oblasti austenitu zaťaženie a transformujú sa na martenzit, ktorý je súčasne ďalej transformovaný. Ich chemické zloženie je určené tak, aby mali austenitickú štruktúru s malým množstvom martenzitu (obr. 1). [2,3]



Obr. 1 Schématické znázornenie štruktúry TRIP ocele [4]

Metodika experimentov

Materiál

V rámci experimentálnych prác bola hodnotená materiálová tvárnosť vysokopevných oceľových plechov, ktoré sa používajú v automobilovom priemysle:

A – mikrolegovaná oceľ H220PD, $a_0 = 0,80$ mm

B – oceľ TRIP, označ. RAK40/70, $a_0 = 0,75$ mm.

Hodnotené oceľové plechy boli obojstranne galvanicky pozinkované, kde množstvo zinku predstavuje 100 g/mm² (ozn. Z100MBO).

Tab. 1 Chemické zloženie hodnotených ocelí [%]

Prvok	A - mikro	B - TRIP
C	0,004	0,204
Mn	0,415	1,683
Si	0,100	0,200
Al	0,035	1,730
P	0,042	0,018
S	0,004	0,003
Cr	0,031	0,055
Cu	0,011	0,028
Ni	0,017	0,018
Ti	0,037	0,009
Nb	0,026	0,004
Mo	0,005	0,008
Zr	0,001	0,007

Skúšky materiálovej tvárniteľnosti

Hodnotenie materiálovej tvárniteľnosti experimentálnych materiálov bolo realizované komplexom skúšok:

1. Skúška ťahom STN EN 10002-1
2. Skúška súčiniteľa plošnej anizotropie STN 42 0437
3. Skúška súčiniteľa normálovej anizotropie STN 42 0435
4. Skúška exponenta deformačného spevnenia STN 42 0436

Pri skúšaní parametrov hlbokotlačnosti podľa bodov 1.-4. boli skúšané význačné smery 0°, 45° a 90° proti smeru valcovania. Pre všetky uvedené skúšky bola použitá plochá skúšobná tyč podľa STN EN 10002-1, L₀ = 80 mm. Skúšky boli realizované na ťhacom stroji TiraTEST 2300 so záznamom priebehu skúšky pomocou PC, ktorý je súčasťou vybavenia laboratórií KTaM.

Interval hodnotenia exponenta deformačného spevnenia bol pre obidva hodnotené plechy v rozsahu rovnomerných deformácií 5 - 20 %.

Dosiahnuté výsledky a hodnotenie

Výsledné hodnoty mechanických vlastností a ich stupne plošnej anizotropie sú uvedené pre materiál H220PD v tab. 2 a pre materiál RAK40/70 v tab. 5. Ich grafické porovnanie je uvedené na obr. 2 až obr. 4.

Výsledné hodnoty súčiniteľa normálovej anizotropie a jeho stupeň plošnej anizotropie sú uvedené v tab. 3 pre materiál H220PD, resp. v tab. 6 pre materiál RAK40/70. Ich grafické porovnanie je uvedené na obr. 5

Výsledné hodnoty exponenta deformačného spevnenia a jeho stupeň plošnej anizotropie sú uvedené v tab. 4 pre materiál H220PD, resp. v tab.

7 pre materiál RAK40/70. Ich grafické porovnanie je uvedené na obr. 6

Tab. 2 Smerové hodnoty mechanických vlastností – materiál H220PD

smer [°]	R _{p0,2} (Re) [MPa]	R _m [MPa]	A ₈₀ [%]	PR _{p0,2} (PRE) [%]	PR _m [%]	PA ₈₀ [%]
0°	219	385	34,5			
45°	225	368	37,4	2,76	-4,29	8,24
90°	238	382	35,8	8,38	-0,69	3,67

Tab. 3 Smerové hodnoty súčiniteľa normálovej anizotropie – materiál H220PD

smer	r priem	r _m	Δr
0°	1,172	1,640	0,285
45°	1,782		
90°	1,823		

Tab. 4 Smerové hodnoty exponenta deformačného spevnenia – materiál H220PD

smer	n-	n _m	Δn
0°	0,235	0,231	0,001
45°	0,231		
90°	0,229		

Tab. 5 Smerové hodnoty mechanických vlastností – materiál RAK40/70

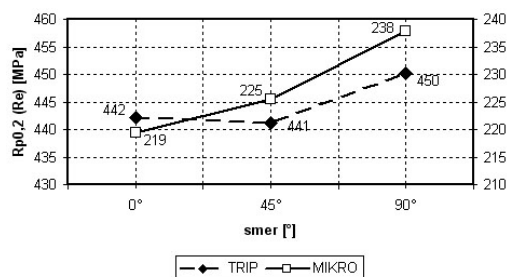
smer [°]	R _{p0,2} (Re) [MPa]	R _m [MPa]	A ₈₀ [%]	PR _{p0,2} (PRE) [%]	PR _m [%]	PA ₈₀ [%]
0°	442	771	27,7			
45°	441	762	25,4	-0,24	-1,27	-8,54
90°	450	766	25,9	1,80	-0,72	-6,64

Tab. 6 Smerové hodnoty súčiniteľa normálovej anizotropie – materiál RAK40/70

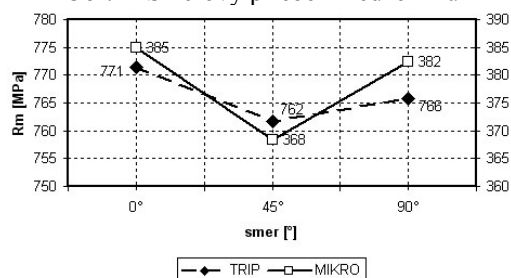
smer	r priem	r _m	Δr
0°	0,686	0,816	0,108
45°	0,870		
90°	0,838		

Tab. 7 Smerové hodnoty exponenta deformačného spevnenia – materiál RAK40/70

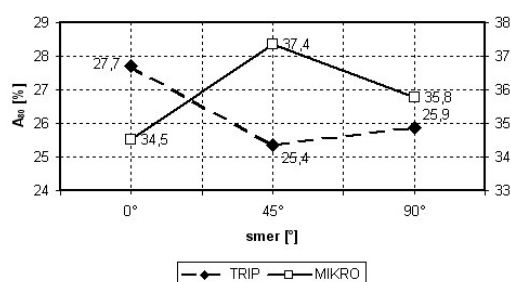
smer	n-	n _m	Δn
0°	0,295	0,290	0,008
45°	0,294		
90°	0,278		



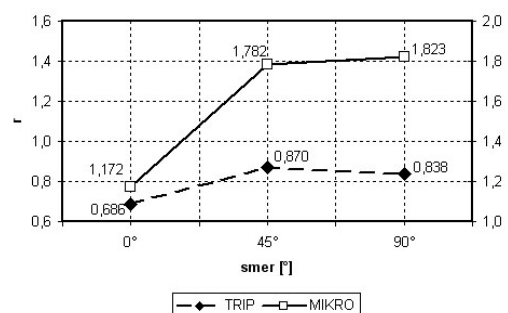
Obr. 2 Smerový priebeh medze klzu



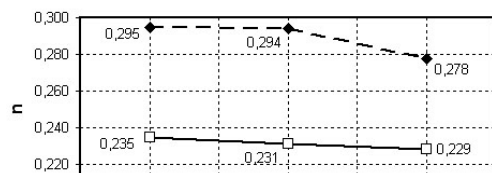
Obr. 3 Smerový priebeh pevnosti v ťahu



Obr. 4 Smerový priebeh ťažnosti

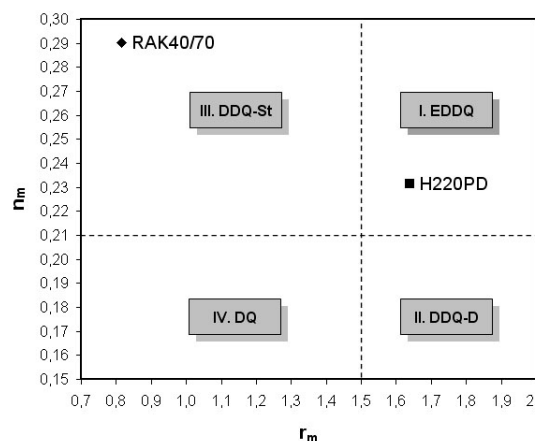
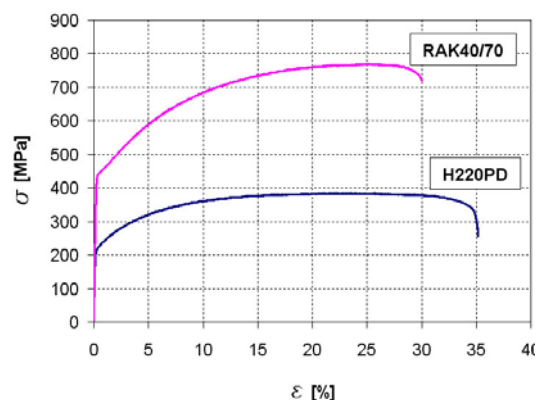


Obr. 5 Smerový priebeh súčiniteľa normálovej anizotropie



Na základe výsledných hodnôt mechanických vlastností, plošnej anizotropie, súčiniteľa normálovej anizotropie a exponenta deformačného spevnenia je možné konštatovať:

- TRIP oceľ RAK40/70 má takmer dvojnásobne vyššiu pevnosť oproti mikrolegovanej oceli H220PD, pričom parametre plošnej anizotropie mechanických vlastností sú výraznejšie u mikrolegovanej oceli H220PD,
- mikrolegovaná oceľ H220PD má oproti TRIP oceli RAK40/70 vyššiu ťažnosť,
- súčiniteľ normálovej anizotropie r je vyšší u mikrolegovanej oceli H220PD, ktorá súčasne vykazuje vyšší stupeň jeho plošnej anizotropie,
- exponent deformačného spevnenia je vyšší u TRIP oceli RAK40/70, pričom stupeň plošnej anizotropie exponenta deformačného spevnenia je pre obidva hodnotené plechy minimálny.

Obr. 7 Hodnotenie hĺbokot'ažnosti podľa kombinácie hodnôt r_m a n_m 

Obr. 8 Ťahový diagram hodnotených oceľových plechov

Z hľadiska smerového priebehu hodnotených parametrov materiálnej tvárnosti nie je u obidvoch hodnotených plechov jednoznačne nepriaznivý smer oproti smeru valcovania tak ako je typický pre hĺbokot'ažné

oceľové plechy smer 45°. Najnepriaznivejšie hodnoty mechanických vlastností, súčiniteľa normálovej anizotropie a exponenta deformačného spevnenia boli pre jednotlivé plechy určené v smeroch:

	$R_{p0,2}$	A_{80}	r	n
H220P	90°	0°	0°	90°
RAK40/70	90°	45°	0°	90°

Podľa výsledných hodnôt mechanických vlastností a kritérií r , n je možné hodnotené ocele klasifikovať stupňom:

	H220PD	RAK40/70
- medza klzu	DDQ	DQ
- ťažnosť	DQ	DQ
- r	DQ	DQ
- n	EDDQ	EDDQ - S
- komplexné hodnotenie podľa r_m a n_m (obr. 7)	EDDQ	DDQ-St

Záver

Príspevok uvádza výsledky skúšok hodnotenia materiállovej tváriteľnosti oceľových plechov s vyššou pevnosťou – mikrolegovanej ocele H220PD a TRIP ocele RAK40/70. Plechy sú hodnotené kritériami používanými pre tradičné hlbokotlačné oceľové plechy. Je možné konštatovať, že kritériami materiállovej tváriteľnosti nie je možné jednoznačne posúdiť komplexnú tváriteľnosť vysokopevných ocelí. Tieto výsledky

budú doplnené o technologické skúšky tváriteľnosti posudzovaných oceľových plechov s vyššími pevnostnými vlastnosťami.

Dosiahnuté výsledky predstavujú základnú informačnú bázu materiálových vlastností projektu APVV-0629-06 riešeného na KTaM SJF TU v Košiciach.

Táto práca bola podporovaná Agentúrou na podporu výskumu a vývoja na základe Zmluvy č. APVV-0629-06 [5].

LITERATÚRA

- [1] PARILÁK, Ľ. – DŽUPON, M. – KOLLÁROVÁ, M.: Výskum ocelí pre automobilový priemysel. In: Zborník VT-seminára „MAT/TECH automobilového priemyslu“. Košice, 2005. s. 78-84. ISBN 80-8073-400-3
- [2] HRIVŇÁK, A. – EVIN, E.: Lisovateľnosť plechov. Košice : Elfa, 2004. - 223 s. : ISBN 80-89066-93-3
- [3] KVAČKAJ, T.: Výskum progresívnej ocele nielen pre automobilový priemysel. Strojárstvo, č. 5,6/2006, s. 12-13
- [4] Advanced High Strength Steel (AHSS) Application Guidelines. International Iron & Steel Institute, Committee on Automotive Applications, September 2006, Version 3
- [5] SPIŠÁK, E. a kol.: Dizajn moderne koncipovaných ocelí na základe charakteristík lisovateľnosti. APVV-0629-06.