

Svojstva naprednih čelika visokih čvrstoća u proizvodnji osobnih motornih vozila

The performances of advanced high strength steels in personally motor vehicle manufacturing

Igor Župančić, dipl.ing.

SAŽETAK

Upotreba čelika u proizvodnji šasija i oplata osobnih motornih vozila prisutna je odavno. U posljednje vrijeme proizvođači motornih vozila u svojim proizvodnim profilima sve više upotrebljavaju čelike vrlo visokih čvrstoća koji su danas poznati pod nazivom napredni čelici visokih čvrstoća i čelici ultra visokih čvrstoća. Borom legirani čelici noviji su materijali vrlo visokih čvrstoća koji se upotrebljavaju za proizvodnju dijelova motornih vozila. Kroz sadržaj ovog članka bit će iznesen pregled vlačnih mehaničkih svojstva takvih čelika i njihove prednosti u odnosu na tradicionalne čelike. Navedenim primjerima modela vozila ukazat će se točna mjesta njihove ugradnje u šasijama i karoserijama. Kao rezultat upotrebe takvih vrsta čelika ukazat će se na potrebu za korištenjem odgovarajućih reznih alata kojima se takvi materijali u vatrogasnim intervencijama mogu rezati.

Ključne riječi: čelik, osobni automobili, vatrogastvo

Summary

The use of advanced high-strength-steels (AHSS) is increasing in popularity for almost every vehicle manufactures. They are result of a never-ending quest for material that allows different increases. AHSS vehicle panels are thinner, lighter and stronger than mild and many high-strength steel panels and accomplish the same desired effect for collision energy management. However the addition of AHSS used in vehicle construction has raised some concerns about the

identity and characteristics of these steels, where they are commonly located, and to what extent they can be repaired. The best method to determine a steel type on a vehicle is to look at the vehicle-specific body repair information. High strength steel are generally defined as having tensile strengths between 270 and 700 MPa. Ultra high strength steels (UHSS) are defined as steels with tensile strength greater than 700 MPa. Steel hardness is dependent on the alloying elements used during the manufacturing process. Carbon is the primary hardening element in steels, and is used in varying percentages depending on the desired strength. However, many AHSS steels derive their strength from a combination of ferrite (more commonly known as iron) bainite, martensite, and retained austenite. AHSS grades have unique combinations of material and mechanical properties. Most have carefully selected chemical compositions and multiphase microstructures resulting from precisely controlled heating and cooling processes. Various strengthening mechanisms are employed to achieve a range of strength, ductility, toughness, and fatigue properties. Improved manufacturing processes have, in many cases, been key contributors to the implementation of these technologies. Conventional mild steel has a relatively simple ferritic microstructure; it typically has low carbon content and minimal alloying elements, is readily formed, and is especially sought for its ductility. Widely produced and used, mild steel often serves as a baseline for comparison of other materials. Conventional low- to high-strength steels include IF (interstitial free), BH (bake hardened), and HSLA (high-strength low-alloy). These steels generally have yield strength of less than 550 MPa and ductility that decreases with increased strength.

Medium carbon steel 0,3 % C to 0,6 % C are selected for uses where higher mechanical properties are needed. All these medium carbon steels are suitable for wide variety of automotive application. Boron is an interstitial element and has a very low solubility in α -solid solution ($\leq 0,003$ %). The primary function of boron additions to heat treatable steels is to increase their hardness. In addition to the benefits of economy and alloy conservation boron steel offer significant advantages of better extrudability and machinability compared with boron-free steel of equivalent hardness. Moreover steels containing boron are also less susceptible to quench cracking and distortion heat treatment. Consequently, boron-containing carbon and alloy steels are widely used in automotive, constructional, and various other applicati-

on. Some investigators have reported that a small beneficial effect of boron on toughness after tempering to high hardness levels and a slightly adverse effect at lower hardness. On the other hand, for steels partially hardened or unhardened, boron either did not have a beneficial effect on impact properties or apparently had an adverse effect. To maintain the desired B-hardness effect, strong nitride-forming elements, such as Ti, Al, Zr and even B (at high levels) can be added to combine with the available nitrogen in B-treated steels. TiN is one of the strongest stable nitride. When using Ti to protect B, common steelmaking practice is to add at least the stoichiometric amount of Ti to precipitate any available N before B addition. The type of boron steel used on vehicle today has extremely high strength. Boron steel can have a yield point of about 1,350 to 1,400 N/mm². That's about 3 times stronger than average high-strength steel. The application of boron steel to strengthen the weaker areas of the motor vehicle is obviously for the motor industry that is the correct path for them to take. Not only are there many other new steels all with differing strengths, there are also many new coatings which the steel has been treated with. Coatings such as Zinc, Bonazinc, Granocoating, aluminated sheet metals etc. USIBOR-BTR-Boron are also the same grade of steel, just with a different name, depending which country it comes from. It is very strong but light in weight. In general it is used to provide extra strength in the sill area, roof and centre posts, chassis areas, door strengthening bars, dash cross-members and roll over bars.

Keywords: steel, cars, fire fighting

UVOD

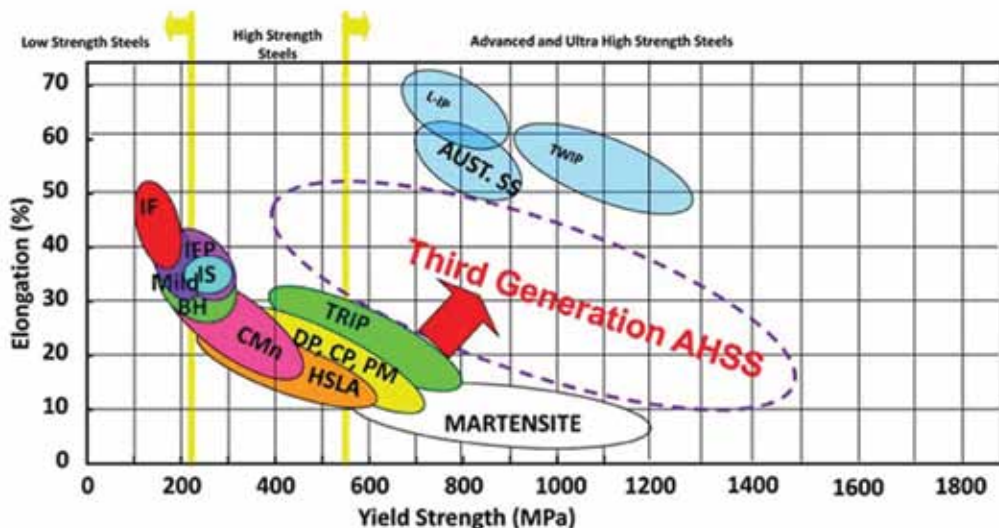
Introduction

Čelik je metastabilno kristalizirana legura željeza (Fe) i ugljika (C) gdje volumni udio ugljika nije veći od 2 %. Čelici se mogu sistematizirati prema više različitih kriterija kao što su na primjer kemijski sastav, mikrostruktura, postupak proizvodnje, njihovi razni oblici i stanja, područje primjene te njihova svojstva. Upotreba čelika visokih čvrstoća kao materijala u proizvodnji motornih vozila prisutna je već odavno. Vrlo čest primjer materijala koji se koriste za izradu karoserija osobnih vozila su upravo čelici, pocinčani čelici, aluminijski limovi i magnezij. Analogno tome, među različitim vrstama čelika u proizvodnji osobnih motornih vozila, često se upotrebljavaju meki čelici, čelici visoke čvrstoće, legirani čelici visoke čvrstoće, čelici ultra visoke čvrstoće, čak i lijevani magnezij, a u posljednje vrijeme i borom legirani čelici. Samonosive karoserije uglavnom se izrađuju iz čeličnih limova povišene čvrstoće,

mikrolegiranih čelika visoke čvrstoće dok su u posljednje vrijeme prisutni i napredni čelici i čelici ultra visoke čvrstoće. Aluminiij (Al) se kao materijal u izradi karoserije motornih vozila koristi samo kao legura. Uglavnom su to legure aluminija (Al) i silicija (Si). Međutim, kod aluminijских legura valja uzeti u obzir činjenicu da one izložene temperaturama iznad 180 °C znatno gube u svojim mehaničkim svojstvima. To se naročito odražava u njihovoj vlačnoj čvrstoći.

NAPREDNI ČELICI VISOKIH ČVRSTOĆA U PROIZVODNJI OSOBNIH MOTORNIH VOZILA - *The advanced high strength steels in personally motor vehicles manufacturing*

U industriji čelika koji ipak iskazuju bolja mehanička svojstva i od kojih se izrađuju zamjenjivi (obnovljivi) dijelovi osobnih motornih vozila vrlo često se govori o takozvanim naprednim čelicima visoke čvrstoće (eng: AHSS-Advanced High Strength Steel), čelicima ultra visoke čvrstoće (eng: UHSS-Ultra High Strength Steel) i borom legiranim čelicima (eng: Borron Steel). Takvi materijali u svojim vlačnim mehaničkim svojstvima iskazuju mnogo veće vrijednosti nego uobičajeni čelici visokih čvrstoća. Bor se kao kemijski element dodaje čeliku kako bi mu se još više poboljšala njegova mehanička svojstva. U tom smislu prije svega misli se na mehanička svojstva pri djelovanju vlačnih naprezanja. Upotreba naprednih čelika visoke čvrstoće u proizvodnji motornih vozila u današnje vrijeme sve popularnija je za većinu njihovih proizvođača. Takvi čelici rezultat su neprestane potrage za materijalom koji osim bitno boljih vlačnih mehaničkih svojstava također omogućuje bolju učinkovitost pogonskog goriva, a također istodobno omogućuje laku proizvodnost vozila. Paneli vozila izrađeni od naprednih čelika visoke čvrstoće bitno su tanji, manje su mase i veće vlačne čvrstoće u odnosu na iste ploče izrađene od mekih čelika ili većine čelika visoke čvrstoće. Ono što je osnovno sa stajališta sigurnosti putničkog prostora osobnih vozila takve legure u potpunosti udovoljavaju istim zahtjevima s obzirom na učinke udarne energije kao posljedice sudara vozila. Uspoređujući različite vrste čelika u pogledu njihovih vlačnih mehaničkih ispitivanja i svojstava, proizvođači motornih vozila takve materijale uglavnom prikazuju u dijagramima granica popuštanja i/ili vlačnih čvrstoća i/ili točke popuštanja u odnosu na produljenje (izduženje).



Slika 1. Dijagram granice popuštanja i produljenja raznih vrsta čelika

Figure 1. Yield Strength and elongation diagram different type of steels

U tom smislu čelici se vrlo često dijagramski prikazuju i međusobno uspoređuju unutar triju njihovih graničnih područja. To su područja niske čvrstoće čelika, visoke čvrstoće čelika i čelika ultra visoke čvrstoće. Područje čelika ultra visoke čvrstoće često se u takvim dijagramima iskazuje i opisuje područjem naprednih čelika visoke čvrstoće (AHSS). Razlika među tim dijagramima je jedino u načinu interpretiranja i iskazivanja mehaničkog svojstva u uvjetima vlačnog naprezanja. Za područje zemalja Europske unije i Amerike uobičajeno je da brojčana oznaka uz oznaku čelika predstavlja vrijednost njegove granice popuštanja izražene u megapaskalima MPa. Kao primjer može se spomenuti niskolegirani čelik visoke čvrstoće, HSLA 450 (HSLA-High Strength Low Alloy Steel). U ovom primjeru označavanja brojčana oznaka uz slovnju oznaku predstavlja referentnu vrijednost granice popuštanja dobivene u Hookeovom dijagramu razvlačenja tijekom provođenja statičkog vlačnog ispitivanja.

Za istočne zemlje: Kinu, Japan i sl., ista brojčana vrijednost uz oznaku čelika predstavlja vrijednost vlačne čvrstoće također dobivene u Hookeovom dijagramu razvlačenja tijekom provođenja statičkog vlačnog ispitivanja. Dakle, vlačna mehanička svojstva materijala mogu se međusobno prikazivati i uspoređivati s obzirom na njihove različite

položaje i točke Hookeovog dijagrama razvlačenja. Slika 1. dijagramski prikazuje čelike uspoređujući tako njihove vrijednosti granice popuštanja u odnosu na produljenje. U dijagramu su označena područja čelika niske čvrstoće, čelika visoke čvrstoće i kao treće područje naprednih čelika visoke čvrstoće i čelika ultra visoke čvrstoće. Mehanička svojstva bilo kojeg čelika u uvjetima njegova ispitivanja razvlačenjem, dakle statičkim vlačnim pokusom iskazuju se u Hookeovom dijagramu razvlačenja odnosno konvencionalnom dijagramu razvlačenja. Hookeov dijagram prikazuje ovisnost vlačnog naprezanja (σ) i relativnog produljenja (ϵ). Budući da vlačno naprezanje predstavlja vlačnu silu (F) koja djeluje na površinu poprečnog presjeka ispitnog tijela (A) ono se u Hookeovom dijagramu izražava mjernom jedinicom (N/mm^2). Međutim proizvođači takvih čelika, a što se očituje gotovo u svim stranim izvornicima vlačna mehanička svojstva čelika poput vlačne čvrstoće, granice popuštanja ili točke popuštanja ne izražavaju jedinicama N/mm^2 nego MPa. Tako se na osi apscise većine dijagrama iskazano određeno vlačno svojstvo izražava mjernim jedinicama (MPa), a produljenje se na ordinati istog dijagrama iskazuje istim mjernim jedinicama (postocima, %), kao i u konvencionalnom dijagramu razvlačenja. No Hookeov dijagram razvlačenja ima drugačiji prikaz. Uzevši u obzir mjernu jedinicu tlaka (Pa) kao osnovnu mjernu jedinicu SI sustava način izražavanja vlačnog naprezanja u takvim uvjetima ispitivanja metalnih materijala nije bitan. Međutim ovako izrađenim grafičkim dijagramskim prikazom dobije se bolji istodobni prikaz mehaničkih svojstva više različitih čeličnih materijala na istom dvodimenzionalnom koordinatnom sustavu.

Kao što se i može očitati sa dijagrama prikazanog na slici 1. područje čelika niske čvrstoće ograničeno je vrijednošću granice popuštanja u iznosu od 210 MPa. Iznad tog područja pa do iznosa granice popuštanja od 550 MPa su čelici visoke čvrstoće, a područje iznad vrijednosti granice popuštanja 550 MPa smatra se područje naprednih čelika visoke čvrstoće i čelika ultra visoke čvrstoće. Čelici ultra visoke čvrstoće imaju izuzetno visoku vlačnu čvrstoću koja kod nekih čelika iznosi iznad 780 MP, a i seže čak iznad 1 200 MPa. Ti čelici u današnjoj proizvodnji osobnih motornih vozila upotrebljavaju se na primjer za izradu ojačanja koja se ugrađuju u unutrašnost vratiju kao zaštita od bočnih udara u vozilo, ojačanja smještenih ispod upravljačke ploče vozila koja poprečno povezuju lijevi i desni prednje nosače (A stupove) te ojačanja ispod branika vozila kojima se ojačavaju prednji i stražnji dio karoserije. Ovi dijelovi u



Slika 2. Prednji (A) i srednji (B) nosači (stupovi) izrađeni od borom legiranog čelika (Ford Fiesta 2013. god)

Figure 2. Front (A) and middle (B) pillars made from boron steel (Ford Fiesta 2013. year)

izradi karoserije vozila u pravilu se ne režu osim ukoliko to nije nužno i neophodno zbog opravdanosti i specifičnosti postupka spašavanja unesrećenih osoba. Borom legirani čelici kakvi se danas upotrebljavaju u proizvodnji dijelova osobnih vozila imaju izuzetno visoke vrijednosti vlačnih svojstva prilikom njihova mjerenja u uvjetima razvlačenja. Njihova granica elastičnosti može biti do 1.400 N/mm^2 (MPa). Ovaj iznos za razliku od prosječnih vrijednosti većine čelika visoke čvrstoće veći je i do četiri puta.

Međutim, proizvodni proces borom legiranih čelika koji ih čini ovako dobrima u svojstvima bitno im umanjuje neka druga svojstva kao što je na primjer sposobnost njihova rezanja. Zbog toga su od svih naprednijih čelika visoke čvrstoće (eng. AHSS), čelici ultra visoke čvrstoće (eng. UHSS, Ultra-High Strength Steel) legirani borom tijekom posljednjih nekoliko godina poprimili i određene negativnosti. Naime, neki proizvođači osobnih motornih vozila poput tvrtke Volvo iz Švedske borom legirane čelike upotrebljavaju kao sastavni materijal za izradu svojih vozila. Tako, primjerice, pojedini modeli osobnih vozila borom legirane čelike upotrebljavaju za izradu raznih profila poput unutarnjih branika vozila, poprečnih gređa koje se ugrađuju s unutarnje strane bočnih vrata vozila, ojačanja srednjih nosača karoserije vozila (B-nosač), poprečnih gređa krova vozila, unutarnjih stražnji ploča (panela) za bočnu oplatu vozila i slično. Uvođenje borom legiranih čelika u proizvodnju osobnih vozila počelo se primijeniti-



Slika 3. Primjer vlačnih čvrstoća različitih vrsta čelika šasije vozila

Figure 3. Example tensile strengths different type of steel vehicle chassis

vati osobito među europskim proizvođačima osobnih motornih vozila. Osim već spomenutog poznatog proizvođača osobnih vozila tvrtke Volvo iz Švedske valja spomenuti i ostale. Tako je na primjer borom legirane čelike početkom 2002. godine počeo upotrebljavati Porsche u svojim modelima Cayenne kod izrade poprečne šipke smještene u upravljačkoj ploči vozila. Zatim 2003. godine, Porsche model Boxer za izradu sigurnosne šipke stražnjih sjedala, kao i u modelu Porsche 911 Carrera za ojačanje bočnih vrata. Mercedes Benz je 2003. godine u svojim modelima E klase borom legirane čelike počeo upotrebljavati u izradi srednjih nosača karoserije (B nosač). Međutim, analizirajući sve danas prisutne europske proizvođače osobnih motornih vozila tvrtka Volvo u izradi svojih osobnih motornih vozila borom legirane čelike zasigurno najviše upotrebljava. Kao što je već bilo i spomenuto, takvi čelici kod Volvo upotrebljavaju se prvenstveno za izradu nekih dijelova karoserije vozila te profila za ojačanja kao i izradu oplata za nadogradnju karoserije. Primjer upotrebe raznih vrsta čelika visokih čvrstoća za izradu karoserije novijeg modela osobnog vozila prikazan je na slici 3.

Kao primjer visokih mehaničkih svojstva materijala borom legiranih čelika valja spomenuti kako tvrtka Volvo preporučuje da servisi za održavanje njihovih vozila borom legirane čelike režu alatima koji imaju kružno rotirajuće rezače ili upotrebom plinskog plamenika plazme. Međutim oba ta načina rezanja čelika nisu prikladna za upotrebu u vatrogsnim postrojbama niti u ostalim spasilačkim službama. Razni modeli ubodnih pila za rezanje metala također su beskorisni, a i takvi postupci rezanja



Slika 4. Srednji nosač/stup vozila, (B stup)

Figure 4. Middle vehicle pillar, (B pillar)



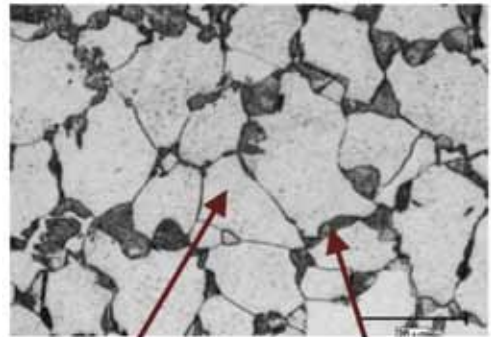
Slika 5. Prednji nosač/stup vozila, (A stup)

Figure 5. Front vehicle pillar, (A pillar)

trajali bi predugo. Rezanje borom legiranih čelika pomoću ubodnih rezača odnosno reznih pila rezultirali bi vrlo brzim trošenjem reznih zubova listova. Analogno tome ovakvi rezni alati zahtijevali bi višekratne izmjene listova. Starija generacija hidrauličkih škara i kombiniranih hidrauličkih alata također su se pokazali beskorisni. Generacija hidrauličkih škara koja ostvaruje sile rezanja iznad 400 kN ima dovoljnu silu rezanja tek za nisko legirane čelike visoke čvrstoće. Međutim, upotrebom takvih alata bit će dosta teško odrezati profil osobnog vozila izrađen od nisko legiranog čelika ultra visoke čvrstoće. To će biti osobito teško kod onih profila šasije vozila koji su izrađeni kao višeslojni profili. Iskustva su u tom smislu dobro poznata ukoliko se takvim silama rezanja pokušava izvršiti rezanje baze srednjeg nosača karoserije vozila kada je nosač unutarnjim slojem ojačan borom legiranim čelikom. To jednostavno nije moguće. Naime, proizvođači nekih ne tako novih modela dvoradnih reznih hidrauličkih alata tvrde da su njihovi rezni alati sposobni rezati nisko legirane čelike ultra visoke čvrstoće kao i borom legirane čelike za koje se smatra da su napredni čelici visoke čvrstoće. Međutim mnogi rezni alati za takve čelike nemaju ni približan kapacitet rezanja osobito oni koji u području središta rezača ostvaraju maksimalnu silu rezanja do 130 kN. Primjer poprečnog presjeka srednjeg nosača vozila (B stupa) izrađen od borom legiranog čelika prikazan je na slici 4. U ovom slučaju proizvođač je nosač izradio na način da su samo unutarnji slojevi čeličnih profila izrađeni od borom legiranih čelika. Drugi primjer je prednji nosač vozila (A stup) u koji je umetnuta cijev kružnog poprečnog presjeka izrađena od borom legiranog čelika. Poprečni presjek prednjeg stupa prikazan je na slici 5.

Slika 6. Mikrostruktura dvofaznog čelika (ferit, martenzit)

Figure 6. Microstructure dual-phase steel (ferrite, martensite)



Ferrite

Martensite

Proizvođači kvalitetu svojih hidrauličkih alata za rezanje dokazuju u reznim svojstvima upravo na primjeru rezanja borom legiranih čelika ili ojačanjima izrađenim od borom legiranih čelika koji su sastavni dio srednjeg nosača vozila (B stupa). S obzirom da su u području pragova srednji nosači vozila najširi, prilikom njihova rezanja noževi alata zaokružuju ga i rezna oštrica u području glavnog osovin-skog vijka ostvaruje najveće sile rezanja. Međutim takve maksimalne sile rezanja ne predstavljaju i stvarne sile rezanja čitavog poprečnog presjeka jer se one duž rezne oštrice smanjuju i pri vrhu reznih oštrica su najmanje. Zbog toga proizvođači hidrauličkih alata predstavljaju svoje rezne alate rezajući upravo ojačane šipke i slojeve nisko legiranih čelika ultra visoke čvrstoće s umetnutim šipkama izrađenim od borom legiranih čelika.

Dvofazni čelici su čelici koji iskazuju visoka svojstva vlačnih čvrstoća. Znatno viša nego konvencionalni čelici. Takvi čelici sastoje se od feritne matrice koja u sebi sadrži tvrdi sekundarnu martenzirnu fazu posebnog oblika. Dakle dvofazni čelici imaju mikrostrukturu koja predstavljaju kombinaciju faze mekane matrice ferita i tvrde disperzirane faze martenzita, (Slika 6.). Meka mikrostrukturna faza u obliku ferita čeliku osigurava izuzetno dobro svojstvo istezljivosti. Dok općenito gledajući, povećavajući volumni udio tvrde sekundarne martenzitne faze povećava se i svojstvo čvrstoće čelika. Dvofazni čelici proizvode se kontroliranim hlađenjem iz austenitne faze (vruće valjanih proizvoda) ili iz dvofazne ferite i austenitne faze i to promjenom nekih austenita u ferit prije nagle hladne promjene preostalog austenita u martenzit. Tijekom njihova proizvodnog procesa u mikrostrukтури mogu biti predstavljene i manje vrijednosti nekih ostalih faza poput bainita.

Dakle, ovisno o njihovu sastavu i načinu provodnje, čelici zahtijevanih poboljšanih sposobnosti otpornosti na rezanje mogu imati mikrostrukturu koja sadrži značajne količine upravo bainita. Kada se dvofazni čelik podvrgne postupku ispitivanja razvlačenjem i počinje se iskazivati deformabilnost materijala, naprezanje je usredotočeno upravo u području manje istezive meke feritne faze okružujući područja martenzita, stvarajući pri tome jedinstvene visoko inicirajuće mikrostrukturne zone hladne obrade metala kojima su bili izloženi ti čelici. Hladno obrađena zona, uz prisutno svojstvo njene istezljivosti, stvara dvofazni čelik s mnogo većom vlačnom čvrstoćom nego što je vlačna čvrstoća konvencionalnih čelika sličnih granica razvlačenja.

ZAKLJUČAK

Conclusion

Upotreba čelika visokih čvrstoća u proizvodnji šasija i karoserija osobnih motornih vozila uvelike je povećala sigurnost putnika u putničkom prostoru. To se posebice ogleda kroz materijale velikih vlačnih svojstva čije su granice popuštanja i vlačna čvrstoća još više povećane legiranjem čelika s kemijskim elementom borom. Takvi ugrađeni profili u šasiji i karoseriji vozila bitno povećavaju čvrstoću i krutost vozila prilikom prednjeg i bočnih udara vozila. Zbog toga su proizvođači vozila u oblikovanju takvih šasija i karoserija te odabiru posebnih materijala za njihovu izradu uspjeli postići povoljne deformacijske zone. Međutim zbog svojih izuzetno visokih vlačnih mehaničkih svojstava napredni čelici visoke čvrstoće zahtijevaju prisutnost velikih sila rezanja reznih alata na površini djelovanja. Poseban problem prilikom rezanja prednjih i srednjih nosača (stupova) karoserije vozila predstavljaju njihovi višeslojni profili ojačani središnjim dijelom u obliku šipke izrađene od borom legiranog čelika. Zbog toga je za sigurno i potpuno rezanje pojedinih dijelova novije generacije osobnih motornih vozila potrebno raspolagati hidrauličkim reznim alatima čija rezna oštrica u području glavnog osovinskog vijka ostvaruje silu rezanja iznad 1 000 kN.

LITERATURA

References

1. *AHSS 101: The Evolving Use of Advanced High-Strength Steels for Automotive Applications, Materials Science and Engineering, University of Michigan, Carrie M. Tamarelli, Student Intern - Summer 2011*
2. *Boron steel in vehicles, Implication of HSLA/UHSS and Boron Steels for Rescuers, Len Watson, <http://www.resqmed.com/BoronSteel1.pdf>*

3. *I-Car Advantage, Advantage high strength steel-a ollision repair perspective (2006) <https://www.i-car.com/pdf/advantage/online/2006/061206.pdf>*
4. *I-CAR, Repairability Technical Support, Working with boron.alloyed steel-What's in a name (UHSS), <https://rts.i-car.com/collision-repair-news/working-with-boron-alloyed-steel-what-s-in-a-name-uhss.html>*
5. *Influence of borron additions on mechanical properties of carbon steel, Journal of Minerals and Materials Characterization and Engineering; (October 2012), 11, 995-999; Saeed N. Ghali, Hoda S. EL-Faramawy, Mamdouh M. Eissa*
6. *World Auto Steel, <http://www.worldautosteel.org/steel-basics/automotive-steel-definitions/>*
7. *World Auto Steel, <http://www.worldautosteel.org/steel-basics/steel-types/dual-phase-dp-steels/>*