

ČESKÉ VYSOKÉ UČENÍ TECHNICKÉ V PRAZE

FAKULTA STROJNÍ

Ústav materiálového inženýrství

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

Materiálové a technologické aspekty perspektivních vysokopevných ocelí pro aplikace v konstrukci dopravních prostředků

Materials and Technological Aspects of Perspective High Strength Steels for Application in Design of Transport Means

2016

Jan DUDLÍČEK



ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

pro: **Jana D U D L Í Č K A**

program: Teoretický základ strojního inženýrství

obor: bez oboru

název česky: **Materiálové a technologické aspekty
perspektivních vysokopevných ocelí pro aplikace
v konstrukci dopravních prostředků.**

název anglicky: Materials and Technological Aspects of Perspective
High Strength Steels for Application in Design of
Transport Means.

Zásady pro vypracování:

Cíl: Charakterizace, popis a dílčí klasifikace vybraných vysoko-pevnostních ocelových plechů, používaných pro konstrukci výztužných prvků karoserií osobních automobilů. Důraz na mikro-strukturní benefity, ve vazbě na významné materiálové a technologické aspekty, se zřetelem na vhodnost uplatnění v dané oblasti techniky. Zmapování současného stavu, predikce dalšího vývoje.

Postup:

1. Provedení důkladné rešerše současného stavu řešené problematiky.
2. Současné požadavky a materiálová řešení v oblasti designu karoserie automobilu.
3. Vytipování stávajících a perspektivních ocelí pro stavbu automobilové karoserie.
4. Zvážení technologických aspektů a povrchových úprav u těchto materiálů.
5. Závěrečné shrnutí, doporučení.

Rozsah průvodní zprávy: 15 – 20 stran

Rozsah grafických prací: dle potřeby

[1] Davies, G. *Materials for Automobile Bodies*. Great Britain: Butterworth-Heinemann, 2012.

[2] Mazancová, E. *Technické materiály I*. [Dokument pdf] Ostrava : Vysoká škola báňská - Technická univerzita Ostrava, 2012. ISBN 978-80-248-2577-9.

[3] Azushima, A; Uda, K; Yanagida, A. *Friction behavior of aluminum-coated 22MnB5 in hot stamping under dry and lubricated conditions*. Journal of Materials Processing Technology, 2012, 212: 1014–1021.

[4] Machek, V. a Sodomka, J. *Speciální kovové materiály*. Praha : Česká technika - nakladatelství ČVUT, 2008. ISBN 978-80-01-04212-0.

Vedoucí bakalářské práce: prof. Dr. Ing. Libor Beneš, IWE

Konzultant bakalářské práce: Ing. Jaroslav Petr

Datum zadání bakalářské práce: 25. dubna 2016

Datum odevzdání bakalářské práce: 19. srpna 2016

Neodevzdá-li student bakalářskou práci v určeném termínu, tuto skutečnost předem písemně zdůvodnil a omluva byla děkanem uznána, stanoví děkan studentovi náhradní termín odevzdání bakalářské práce. Pokud se však student řádně neomluvil nebo omluva nebyla děkanem uznána, může si student zapsat bakalářskou práci podruhé.

Student bere na vědomí, že je povinen vypracovat bakalářskou práci samostatně, bez cizí pomoci, s výjimkou poskytnutých konzultací. Seznam použité literatury, jiných pramenů a jmen konzultantů je třeba uvést v bakalářské práci.

Zadání bakalářské práce převzal dne:

25-04-2016

student

Prof. RNDr. Petr Špatenka, CSc.
vedoucí ústavu



Prof. Ing. Michael VALÁŠEK, DrSc.
děkan fakulty

V Praze dne 20. dubna 2016

ANOTAČNÍ LIST

Jméno autora:	Jan Dudlíček
Název BP:	Materiálové a technologické aspekty perspektivních vysokopevných ocelí pro aplikace v konstrukci dopravních prostředků
Název anglicky:	Materials and Technological Aspects of Perspective High Strength Steels for Application in Design of Transport Means
Rok:	2016
Obor studia:	Bez oboru
Ústav / odbor:	Ústav materiálového inženýrství
Vedoucí:	prof. Dr. Ing. Libor Beneš, IWE
Konzultant:	Ing. Jaroslav Petr
Bibliografické údaje:	počet stran: 36 počet obrázků: 35 počet tabulek: 2
Klíčová slova:	ocel, vysokopevná ocel, automobil, karoserie
Keywords:	steel, High Strength Steel, automobile, body work

Anotace:

Tato práce se zabývá oceli používanými v konstrukci osobních automobilů, zejména oceli vysokopevnými. Cílem práce je teoreticky popsat oceli používané v automobilovém průmyslu, důkladněji popsat nepoužívanější vysokopevnou ocel a u této oceli popsat povrchovou úpravu, technologii tepelného zpracování a změnu struktury při tepelném zpracování.

Abstract:

This bachelor's thesis deals with steels used in passenger car constructions, especially High-Strength-Steels. The main goal of this thesis is a theoretical description of steel used in car industry with a focus on the description of the most widely used High-Strength-Steel. Furthermore it tells about surfacing, heat treatment technology and structure modification process, happening during the heat treatment. Those items are described on an example of High-Strength-Steel.

BIBLIOGRAFICKÁ CITACE

DUDLÍČEK, Jan. *Materiálové a technologické aspekty perspektivních vysokopevných ocelí pro aplikace v konstrukci dopravních prostředků*. Praha, 2016. Bakalářská práce. České vysoké učení technické v Praze, Fakulta strojní, Ústav materiálového inženýrství. Vedoucí práce prof. Dr. Ing. Libor Beneš, IWE.

ČESTNÉ PROHLÁŠENÍ

Prohlašuji, že jsem svojí bakalářskou práci vypracoval samostatně s použitím pouze podkladů uvedených v příloženém seznamu a na základě konzultací a pod vedením vedoucího a konzultanta bakalářské práce.

Nemám závažný důvod proti užití tohoto školního díla ve smyslu § 60 zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon).

V Praze dne _____

Jan Dudlíček

PODĚKOVÁNÍ

Chtěl bych poděkovat svému vedoucímu, prof. Benešovi, za cenné rady, připomínky a poskytnuté materiály týkající se bakalářské práce.

Dále bych chtěl poděkovat Ing. Jaroslavu Petrovi za konzultace a připomínky k bakalářské práci.

Obsah

Seznam obrázků.....	10
Seznam tabulek.....	11
Seznam použitého zkráceného označování a použitých symbolů.....	12
1. Úvod.....	13
1.1. Cíl práce.....	13
1.2. Motivace.....	13
2. Teoretický úvod.....	14
2.1. Oceli.....	14
2.1.1. Výroba oceli.....	14
2.1.2. Rozdělení.....	15
2.1.3. Označování ocelí.....	16
2.2. Charakteristika vysokopevných ocelí.....	18
2.3. Karoserie automobilu.....	18
2.3.1. Přední příčník.....	19
2.3.2. Sloupky.....	19
2.3.3. Boční panel vozidla.....	20
2.3.4. Kryty.....	20
3. Oceli používané v automobilovém průmyslu.....	21
3.1. Přehled ocelí používaných v automobilovém průmyslu.....	21
3.2. Nízkopevné oceli.....	21
3.2.1. Běžná uhlíková ocel (Mild steel).....	21
3.2.2. Nízkopevná ocel bez intersticií (IF).....	22
3.3. Klasické vysokopevné oceli (HSS).....	22
3.3.1. Nízkouhlíková ocel bez intersticiální zpevnění (IFHS steel).....	22
3.3.2. Vysokopevná ocel zpevněná speciálním výrobním procesem (BH).....	22
3.3.3. Vysokopevná ocel s nízkým obsahem příměsí (HSLA).....	22
3.4. Vývojové vysokopevné oceli (AHSS).....	23
3.4.1. Dvoufázová ocel (DP).....	23
3.4.2. Vícefázová ocel (CP).....	23
3.4.3. Ocel s transformačně indukovanou plasticitou (TRIP).....	24
3.4.4. Ocel s plasticitou indukovanou dvojčatěním (TWIP).....	24
3.4.5. Martenzitická ocel (MS).....	25
4. Martenzitické vysokopevné oceli.....	26
4.1. Ocel 22MnB5.....	26
4.2. Technologie výroby.....	27
4.2.1. Povrchová úprava.....	27
4.2.2. Technologie kalení lisováním.....	28
4.3. Svařování vysokopevných ocelí.....	32

4.4. Příklady použití oceli 22MnB5	33
5. Závěrečné shrnutí	34
Seznam použité literatury	35

Seznam obrázků

Obr. 1. Příklad nahrazení oceli DP600 ocelí USIBOR® 1500 [16].....	13
Obr. 2. Schéma vysoké pece [2]	14
Obr. 3. Kyslíkový konvertor [2]	15
Obr. 4. Zkrácené označování ocelí [17]	16
Obr. 5. Číselné označování ocelí [17]	17
Obr. 6. Struktura karoserie [10]	18
Obr. 7. Konstrukce karoserie automobilu [8]	18
Obr. 8. Umístění předního příčnicku na karoserii automobilu [7].....	19
Obr. 9. Sloupek B v karoserii automobilu [7]	19
Obr. 10. Postranní panel automobilu [7].....	20
Obr. 11. Vnější prvky karoserie [7]	20
Obr. 12. Přehled ocelí používaných v automobilovém průmyslu [5]	21
Obr. 13. Mikrostruktura DP oceli [6]	23
Obr. 14. Struktura CP oceli [6].....	24
Obr. 15. Mikrostruktura TRIP oceli [6]	24
Obr. 16. Mikrostruktura MS oceli [5]	25
Obr. 17. Zobrazení rozsahu mechanických vlastností martenzitických ocelí [5].....	25
Obr. 18. Struktura oceli USIBOR® 1500 od ArcelorMittal [9].....	26
Obr. 19. Příčný řez součástí z oceli USIBOR® 1500-AS [9].....	27
Obr. 20. Vzorok oceli USIBOR® 1500-AS.....	27
Obr. 21. Technologie Hot Stamping [6]	28
Obr. 22. Technologie zpracování oceli USIBOR® 1500 (ArcelorMittal) [9].....	29
Obr. 23. ARA diagram pro ocel MBW® 1500+AS150 od Thyssenkrupp Steel Europe AG [12].....	29
Obr. 24. ARA diagram pro ocel 22MnB5 se znázorněnou křivkou ochlazování [6]	30
Obr. 25. Struktura oceli MBW® 1500+AS150 [12].....	30
Obr. 26. Struktura oceli USIBOR® 1500 [9].....	30
Obr. 27. Změna mechanických vlastností oceli 22MnB5 před a po tepelném zpracování [6]	31
Obr. 28. Detail homogenního svarového spoje oceli USIBOR® 1500 [9].....	32
Obr. 29. Detail heterogenního svarového spoje oceli USIBOR® 1500 s vícefázovou ocelí s trojnásobnou tloušťkou [9]	32
Obr. 30. Detail svarového spoje metodou MAG [9].....	32
Obr. 31. Oranžové zvýrazněné jsou součásti z oceli USIBOR® 1500 od ArcelorMittal [18]	33
Obr. 32. A - sloupek [9].....	33
Obr. 33. B – sloupek [9].....	33
Obr. 34. Výztuha nárazníku [9].....	33
Obr. 35. Výztuha dveří [9].....	33

Seznam tabulek

Tab. 1. Rozdělení ocelí.....	15
Tab. 2. Chemické složení oceli 22MnB5 [11].....	26

Seznam použitého zkráceného označování a použitých symbolů

HSS	(High Strength Steels)	Vysokopevné oceli
AHSS	(Advanced High Strength Steels)	Vývojové vysokopevné oceli
UHSS	(Ultra High Strength Steels)	Ultra vysokopevné oceli
Mild Steel		Běžná uhlíková ocel
IF	(Interstitial-Free)	Nízkopevná ocel bez intersticií
IF-HS	(Interstitial-Free High-Strength)	Nízkouhlíková ocel bez intersticiálního zpevnění
BH	(Bake Hardenable)	Vysokopevná ocel zpevněná speciálním výrobním procesem
HSLA	(High Strength Low Alloy)	Vysokopevná ocel s nízkým obsahem příměsí
DP	(Dual Phase)	Dvofázová ocel
CP	(Complex Phase)	Vícefázová ocel
TRIP	(Transformation-Induced Plasticity)	Ocel s transformačně indukovanou plasticitou
TWIP	(Twinning-Induced Plasticity)	Ocel s plasticitou indukovanou dvojčatením
MS	(Martensitic Steel)	Martenzitická ocel

Symbol	Název veličiny	Jednotky
R_m	mez pevnosti v tahu	MPa
E	modul pružnosti v tahu	MPa
ρ	hustota	$\text{kg} \cdot \text{m}^{-3}$

1. Úvod

1.1. Cíl práce

Bakalářskou práci jsem si vybral úmyslně na ústavu materiálového inženýrství. Toto téma se mi zalíbilo, protože se zabývá oceli a jejich spojením s automobilovým průmyslem.

Cílem bakalářské práce je teoreticky popsat oceli používané v konstrukci osobních automobilů, hlavně vysokopevné oceli a jejich charakteristiky, důkladněji popsat nejpoužívanější z vysokopevných ocelí, její tepelné zpracování a změnu struktury při tepelném zpracování.

1.2. Motivace

Dnešní doba patří přísným bezpečnostním a emisním normám a na karoserii automobilu jsou kladeny vysoké nároky. Výrobci se snaží snižovat škodlivé emise z výfukových plynů, toho lze také dosáhnout snížením spotřeby vozidla. Z toho důvodu mají výrobci snahu o redukci hmotnosti vozidla.

Hmotnost hnacího a převodového ústrojí nelze příliš snížit, dalšího významného snížení hmotnosti vozidla lze dosáhnout redukcí hmotnosti karoserie. Ale snižování hmotnosti karoserie a současně zvyšování její pevnosti je možné jen s nově vyvíjenými oceli. Díky vysoké pevnosti vývojových vysokopevných ocelí, je možné snižovat průřez profilů karoserie a tím snížit její celkovou hmotnost.



Obr. 1. Příklad nahrazení oceli DP600 ocelí USIBOR® 1500 [16]

Na obr. 1. můžeme pozorovat nahrazení ocelí DP600 vysokopevnou ocelí, která je pevnější, díky tomu lze snížit objem, a tedy i hmotnost součástí.

Řada výrobců automobilů používá v konstrukci karoserií slitiny hliníku, které jsou lehčí oproti oceli, ale výhody oceli jsou vyšší pevnost, nižší cena a snadná recyklovatelnost. Slitiny hliníku mají až čtyřikrát větší tepelnou vodivost než ocel. Vyšší tepelná vodivost slitin hliníku způsobuje rychlejší ohřátí karoserie než u karoserie z ocelí, hlavně za vyšších teplot v letních měsících. Naproti tomu za nižších teplot, během zimních měsíců, karoserie z oceli lépe izoluje prostor pro posádku automobilu než karoserie ze slitin hliníku.

Karoserie musí disponovat nejen vysokou operační pevností a dlouhou životností, ale musí mít i robustní kostru pro hnací ústrojí, musí zajistit přesné řízení a ochranu před nepříjemnými vibracemi. Ale karoserie by měla být co nejlehčí a mít aerodynamický tvar z důvodu snížení spotřeby paliva. [7]

2. Teoretický úvod

2.1. Oceli

Jedním z nejstarších materiálů používaných v konstrukci karoserie je ocel. Výroba oceli a její zpracování má staletou historii, ocel je také nejsnadněji recyklovatelná z technických materiálů.

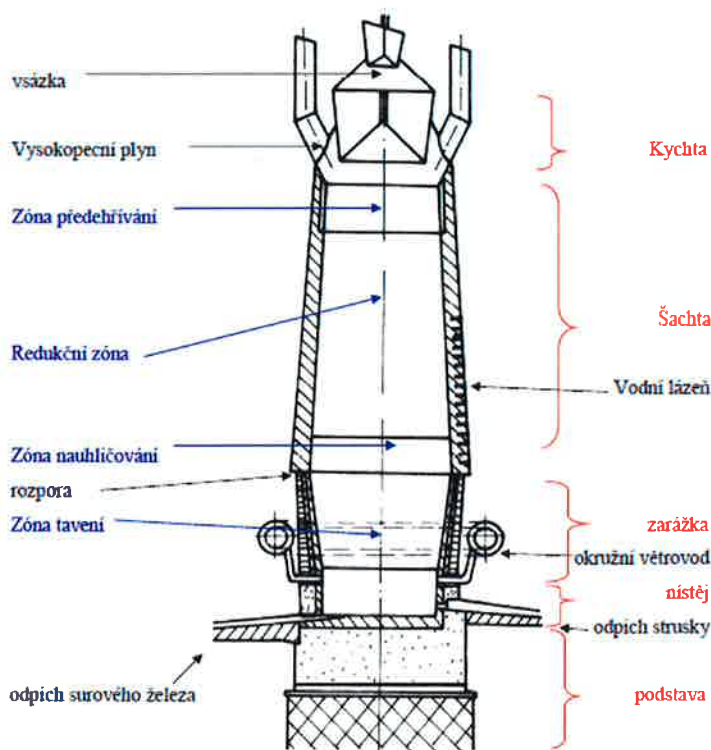
Pod pojmem ocel rozumíme slitinu železa s uhlíkem a dalšími prvky, která obsahuje uhlíku méně než 2 %. V různých zdrojích je možné najít jiné údaje (2,11 %; 2,14 % nebo 2,06 %).

2.1.1. Výroba oceli

Ocel se vyrábí ze surového železa. Surové železo se vyrábí ve vysoké peci.

Vysoká pec (obr. 2.) má výšku asi 25 až 30 m a průměr 10 m. Shora se pec neustále plní železnou rudou, koksem a struskotvornými přísadami (zejména vápencem nebo dolomitem). Do spodní části pece se ustavičně vhání horký vzduch obohacený kyslíkem. Uhlík se nejprve oxiduje kyslíkem na oxid uhelnatý (za teploty až 2000 °C). Oxid uhelnatý pak v redukčním pásmu postupně redukuje rudu (nepřímá redukce) na tuhé, pórovité surové železo. Ve spodní části pece probíhá přímá redukce oxidu železnatého uhlíkem. Surové železo stéká ke dnu vysoké pece, odkud se jednou za čtyři až šest hodin vypouští.

Struska, vznikající při redukcí rudy reakcí příměsí (hlušiny) se struskotvornými přísadami, se s železem nemísí, plave na něm a chrání železo před oxidací horkým vzduchem. Struska se vypouští horní výpustí. Používá se ve stavebnictví, např. při výrobě tvárnic. Plyny (kychtové plyny) odcházející z vysoké pece jsou stále bohaté na oxid uhelnatý, spalují se proto a získané teplo se využívá k předehřívání vzduchu vháněného do vysoké pece. [2]

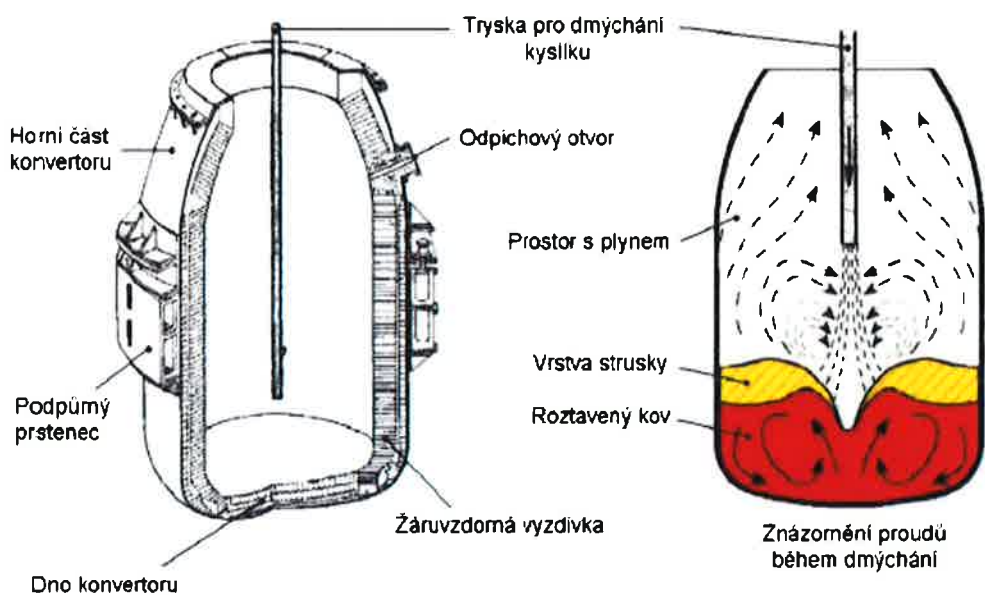


Obr. 2. Schéma vysoké pece [2]

Surové železo získané z vysoké pece obsahuje až 4% uhlíku. Je tvrdé, křehké a není kujné. Z něj se vyrábí litina a ocel. Výroba oceli spočívá hlavně ve snižování obsahu uhlíku vzdušným kyslíkem, snižování obsahu škodlivých prvků a zvyšování obsahu legovacích prvků.

Ocel se vyrábí v kyslíkových konvertorech (obr. 3.), v nístějových pecích nebo v elektrických pecích. [2]

Dále se ocel zpracovává vhodným tepelným zpracováním za účelem dosažení požadovaných vlastností.



Obr. 3. Kyslíkový konvertor [2]

2.1.2. Rozdělení

Oceli se rozdělují na tvářené oceli a oceli na odlitky.

Oceli tvářené se rozdělují na nelegované (uhlíkové) oceli a na legované oceli.

U uhlíkových ocelí je předepsán střední obsah legovacích prvků, u legovaných ocelí je střední obsah kteréhokoli legovacího prvku vyšší než hodnoty u uhlíkových ocelí. [1]

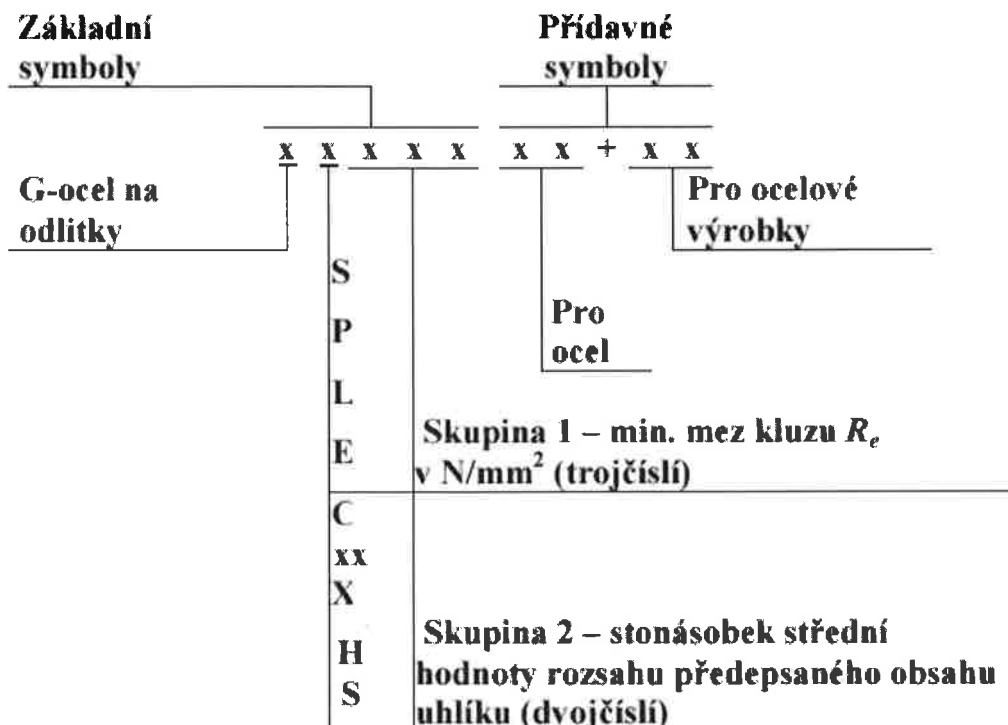
Přesnou definici a rozdělení ocelí udává norma ČSN EN 10020.

OCELI					
oceli k tváření					
uhlíkové (nelegované)			legované		
nízko-uhlíkové	středně-uhlíkové	vysoko-uhlíkové	nízko- legované	středně- legované	vysoko- legované
obsah uhlíku do 0,25 %	obsah uhlíku 0,25 až 0,6 %	obsah uhlíku nad 0,6 %	obsah legur do 5 %	obsah legur 5 až 10 %	obsah legur nad 10 %

Tab. 1. Rozdělení ocelí

2.1.3. Označování ocelí

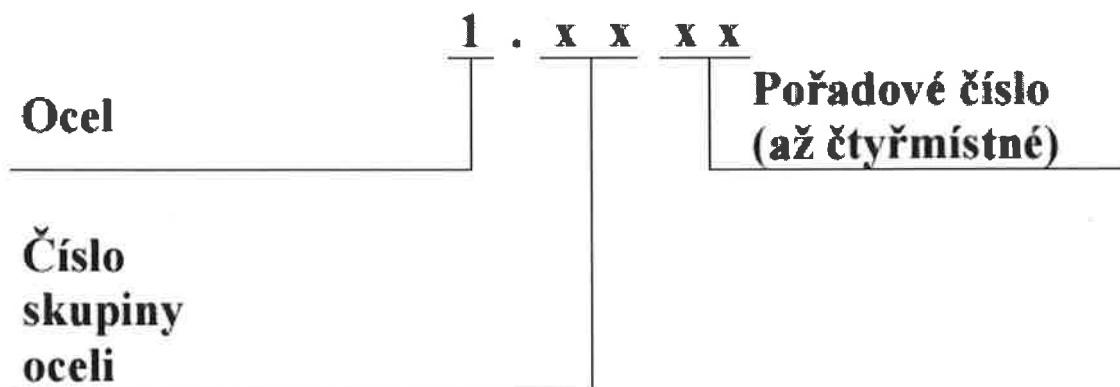
Zkrácené označování – ČSN EN 10027 – 1 [17]



Obr. 4. Zkrácené označování ocelí [17]

Legenda:

- S – oceli pro ocelové konstrukce
- P – oceli pro tlakové nádoby
- L – oceli pro potrubí
- E – oceli pro strojní součásti
- C – nelegované oceli (s výjimkou automatových) se středním obsahem Mn < 1 %
- xx – nelegované oceli se středním obsahem Mn > 1 %, nelegované automatové oceli a legované oceli (kromě rychlořezných) s obsahy jednotlivých legujících prvků < 5 % - dvojčíslí odpovídajícího stonásobku střední hodnoty rozsahu předepsaného pro obsah uhlíku
- X – legované oceli (kromě rychlořezných) s obsahem minimálně jednoho legujícího prvku > 5 %
- HS – rychlořezné oceli



Obr. 5. Číselné označování ocelí [17]

Číslo skupiny oceli (výběr):

Oceli nelegované

Oceli jakostní

00 – oceli obvyklých jakostí

01 – konstrukční oceli pro všeobecné použití s $R_m < 500$ MPa

02 – ostatní konstrukční oceli neurčené k tepelnému zpracování s $R_m < 500$ MPa

03 – oceli s průměrným % C < 0,12 nebo $R_m < 400$ MPa

Oceli ušlechtilé

11 – konstrukční oceli na strojní součásti s < 0,5 % C

12 – konstrukční oceli na strojní součásti s > 0,5 % C

13 – konstrukční oceli, oceli na strojní součásti, tlakové nádoby a oceli se zvláštními požadavky

Oceli legované

Oceli jakostní

08 – oceli se zvláštními fyzikálními vlastnostmi

09 – oceli pro různé oblasti použití

Oceli ušlechtilé

35 – oceli na valivá ložiska

37 – materiály se zvláštními magnetickými vlastnostmi bez C

40 – nerezavějící oceli s < 2,5 % Ni bez Mo, Nb a Ti

43 – nerezavějící oceli s $\geq 2,5$ % Ni bez Mo, Nb a Ti

44 – nerezavějící oceli s $\geq 2,5$ % Ni s Mo, Nb a Ti

46 – chemicky odolné oceli a žárovevné slitiny Ni

89 – vysoce pevné, svařitelné oceli

2.2. Charakteristika vysokopevných ocelí

Vysokopevné oceli jsou charakterizovány tzv. vysokopevnostními parametry:

$$R_m \geq \frac{E}{150} \left[\frac{\text{Nm}}{\text{kg}} \right] \quad \frac{R_m}{\rho} \geq 0,2 \left[\frac{\text{Nm}}{\text{kg}} \right] \quad [3]$$

Hustota oceli je přibližně $7\,800 \text{ kg}\cdot\text{m}^{-3}$ a modul pružnosti v tahu E je přibližně $2,1 \cdot 10^5 \text{ MPa}$. To znamená pro oceli požadavek $R_m \geq 1\,500 \text{ MPa}$.

Ne vždy tento požadavek znamená vysoký obsah legovacích prvků v oceli, například u oceli 22MnB5.

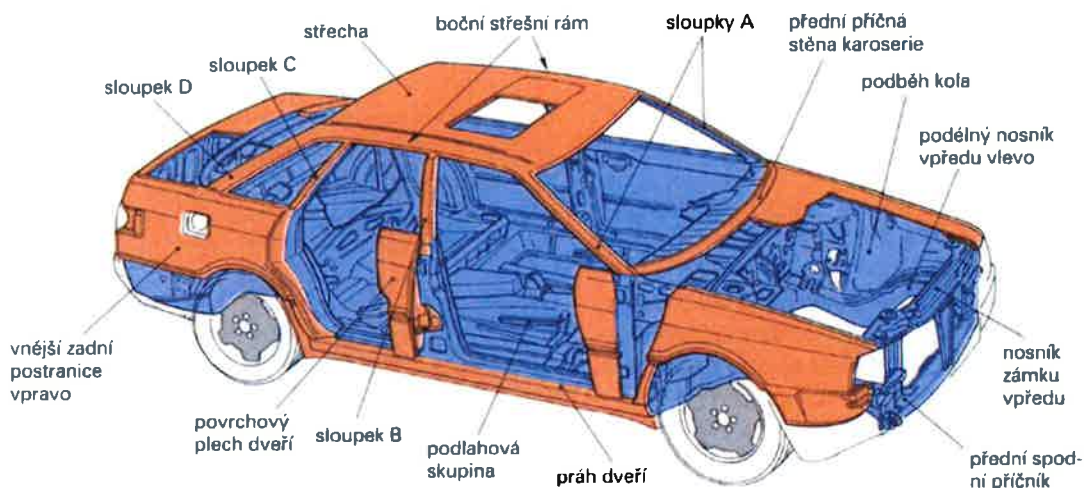
Produkce vysokopevných ocelí není rozsáhlá, ale uplatnění je velice významné.

2.3. Karoserie automobilu

Karoserii lze rozdělit na několik základních částí, podle funkce a podle použité oceli. K základním prvkům karoserie patří příčníky, sloupky a kryty (např. kapota).

Karoserie je část vozidla, která nezahrnuje jen nosnou konstrukci vozidla, ale i dveře, střechu, kapotu a dveře od zavazadlového prostoru. Jde o základní stavební prvek automobilu. [7]

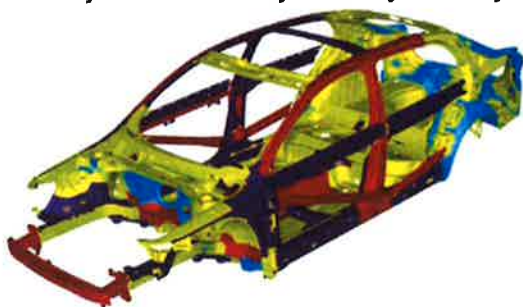
Popis jednotlivých dílů karoserie je zobrazen na obr. 6.



Obr. 6. Struktura karoserie [10]

V současné době, kdy je požadována nízká hmotnost a velká pevnost karoserie, vyrábí někteří výrobci karoserii se stále větším podílem slitin hliníku. Přesto i oceli jsou hojně používané, stejně jako vysokopevné oceli, jak ukazuje následující obr. 7.

Na obr. 7. jsou červeně vyznačeny části vyrobené z vysokopevných ocelí.



Obr. 7. Konstrukce karoserie automobilu [8]

2.3.1. Přední příčník

Přední příčník (obr. 8.) je podporou hnacího ústrojí a je důležitý při absorpci deformační energie. Při nárazu dojde ke zborcení příčníku a tím k absorbování energie, která vznikla při nárazu automobilu. Tím udrží příčník energii z dosahu cestujících a je snížena pravděpodobnost vážného zranění cestujících.

Dnes se vyrábí většinou z AHSS oceli. [7]



Obr. 8. Umístění předního příčníku na karoserii automobilu [7]

2.3.2. Sloupky

Sloupky jsou konstrukční prvky spojující střechu s tělem automobilu (obr. 9). Jsou označovány abecedně od přídě vozu k jeho zádi.

Každý sloupek se skládá z vnitřního a vnějšího panelu a mezi nimi je umístěna výztuha. Vyrábí se metodou kalení lisováním (kalení v lise) z AHSS oceli. [7]



Obr. 9. Sloupek B v karoserii automobilu [7]

2.3.3. Boční panel vozidla

Jedná se o postranní část karoserie složenou z pěti přesných dílů, které značně snižují počet dílů a díky tomu klesá cena výroby vozidla. Na tento panel se používají jak klasické HSS oceli, tak AHSS oceli. Jednotlivé díly panelu jsou výlisky různých tloušťkách a pevnostech a díky technologii přesného svařování vzrostla efektivita výroby a hmotnost této části karoserie byla zredukována. [7]



Obr. 10. Postranní panel automobilu [7]

2.3.4. Kryty

Mezi kryty patří dveře, střecha, kapota a dveře od zavazadlového prostoru. U těchto částí je důležitý použitý design a materiál kvůli snadné zapamatovatelnosti a rozlišitelnosti vozidla. Také je dbán důraz na vysokou kvalitu povrchu z důvodu následné aplikace laku. Dále je důležitá odolnost vůči škrábancům nebo rýhám, která musí být co největší.

Na výrobu těchto dílů se používají dvoufázové oceli, nebo i BH oceli. [7]



Obr. 11. Vnější prvky karoserie [7]

3. Oceli používané v automobilovém průmyslu

3.1. Přehled ocelí používaných v automobilovém průmyslu

V praxi se oceli dělí podle mnoha hledisek – podle metalurgie, podle pevnosti ocelí nebo podle posuzování mechanických vlastností. [6]

Podle metalurgie se dělí oceli na:

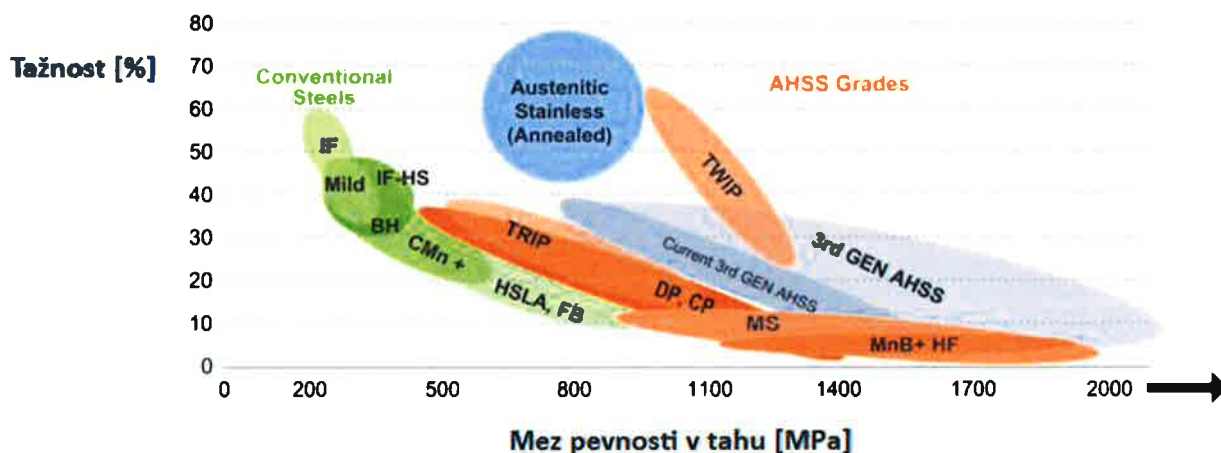
- **nízkopevné** (IF, Mild oceli)
- **klasické HSS oceli** (IF-HS, BH, HSLA oceli)
- **AHSS** (DC, CP, TRIP, TWIP a MS)

Na obr. 12. je toto rozdělení zobrazeno.

Hlavní rozdíl mezi klasickými HSS a AHSS spočívá v mikrostruktuře. U klasických HSS se jedná o jednofázové feritické oceli. Naproti tomu u AHSS jsou vícefázové oceli, obsahují tedy více fází než jen ferit nebo perlit. Jde například o martenzit, bainit nebo zbytkový austenit.

Podle pevnosti ocelí dělíme oceli na dvě skupiny, na HSS a na UHSS. HSS mají mez kluzu v rozmezí 210-550 MPa a mez pevnosti v tahu mezi 270-770 MPa. U skupiny UHSS je mez kluzu vyšší než 550 MPa a mez pevnosti v tahu vyšší než 770 MPa.

Třetí metoda klasifikace ocelí je založena na posuzování mechanických vlastností ocelí a jejich parametry tváření jako je například celková průtažnost, zpevnění a roztažnost materiálu. [6]



Obr. 12. Přehled ocelí používaných v automobilovém průmyslu [5]

3.2. Nízkopevné oceli

3.2.1. Běžná uhlíková ocel (Mild steel)

Běžné uhlíkové oceli byly dříve používány v konstrukci osobních automobilů, dnes se už tak často nepoužívají. Jejich struktura je feritická. [7]

Mechanické vlastnosti: kluzu max. 200 MPa, tažnost 40-50 %.

Chemické složení: C 0,07-0,9 %. [7]

3.2.2. Nízkopevná ocel bez intersticií (IF)

IF oceli obsahují malé množství uhlíku (méně než 0,005 %). Díky tomu mají nižší mez kluzu a větší tažnost, proto se používají pro hluboké tažení. [7]

Mechanické vlastnosti: kluzu max. 180-260 MPa, tažnost 35-45 %.

Chemické složení: C max. 0,01 %, Mn 0,7-1 %, Si 0,25-0,50 %. [7]

3.3. Klasické vysokopevné oceli (HSS)

Tyto oceli se nazývají HSS (High Strength Steels), což znamená vysokopevné oceli, ale svými mechanickými vlastnostmi nepatří do vysokopevných ocelí.

3.3.1. Nízkouhlíková ocel bez intersticiálního zpevnění (IFHS steel)

Jde o oceli obsahující malé množství uhlíku. Tyto oceli mají nízkou mez kluzu a vysoké deformační zpevnění. Některé druhy jsou pro zvýšení pevnosti posílené zjemněním zrna, precipitáty karbidů nebo nitridů, popřípadě kombinací prvků pro pevné roztoky. Vyšší pevnostní třídy IF-HS ocelí jsou hojně používány.

Strukturu ocelí IFHS tvoří čistý ferit.

Tažnost těchto ocelí se pohybuje v rozmezí 30-40 %, z toho důvodu se také používají pro hluboké tažení a na výrobu tvarově složitých karosářských výlisků. [6] [7]

Mechanické vlastnosti: mez kluzu 260-340 MPa, tažnost 30-40 %.

Chemické složení: C max. 0,01 %, Mn max. 1 %, Si max. 0,5 %. [7]

3.3.2. Vysokopevná ocel zpevněná speciálním výrobním procesem (BH)

Základem BH ocelí je feritická mikrostruktura. Před lisováním mají tyto oceli nízkou mez kluzu a vysokou plasticitu. Velmi důležitá je povrchová úprava, lakování (mimo jiné). Při vypalování laku dochází k deformačně-tepelnému stárnutí a zvyšuje se mez kluzu až o 70 MPa. Výrobky z BH ocelí snesou větší maximální zatížení a mají vyšší odolnost vůči škrábancům, rýhám a otlacení. Často se používají na výrobu viditelných dílů karoserie, jako je například kapota, dveře nebo střecha.

[6] [7]

Mechanické vlastnosti: mez kluzu 200-300 MPa, tažnost 30-41 %.

Chemické složení: C 0,04-0,1 %, Mn max. 0,7 %, Si max. 0,5 %. [7]

3.3.3. Vysokopevná ocel s nízkým obsahem příměsí (HSLA)

HSLA oceli jsou, už jak napovídá název, nízkolegované nebo mikrolegované oceli. Obsah legujících prvků nepřekračuje 0,1 % a nejčastěji se jedná o Mn (může být až 2 %), Cr, Ni, Mo, V, Ti a jiné. Mez kluzu HSLA ocelí, která je v rozmezí 345 do 620 MPa, je dosažena kombinací zjemnění zrna při řízeném válcování a precipitačním zpevněním vlivem legujících prvků.

Výhodou HSLA ocelí je nízká cena a zároveň dobrá obrobiteľnosť a svařitelnost. Používají se na tvarově složitě a dynamicky namáhané součásti. [6] [7]

Mechanické vlastnosti: mez kluzu 350-550 MPa, tažnost 20-30 %.

Chemické složení: C 0,08-0,14 %, Mn 0,5-1,75 %, Si 0,03-0,4 %. [7]

3.4. Vývojové vysokopevné oceli (AHSS)

3.4.1. Dvoufázová ocel (DP)

Dvoufázové oceli se skládají ze základní jemnozrnné feritické matrice a z tvrdé martenzitické fáze, martenzitická fáze je ve formě ostrůvků, viz. obr. 13. Tato kombinace dodává materiálu velkou tvrdost, odolnost proti únavě, houževnatost a zároveň zůstane zachována dobrá tvařitelnost a svařitelnost.

Výroba DP ocelí spočívá v řízeném zchlazování z austenitické fáze nebo dvoufázové feritické a austenitické fáze. Část austenitu se přemění na ferit a při rychlém ochlazení se zbytkový austenitu přeměňuje na martenzit.

Důležité vlastnosti DP ocelí jsou výrazná mez kluzu a vysoká mez pevnosti, vysoké deformační zpevnění při zachování vysoké plasticity a tvařitelnosti. Mez pevnosti těchto ocelí je v rozmezí 500-1200 MPa.

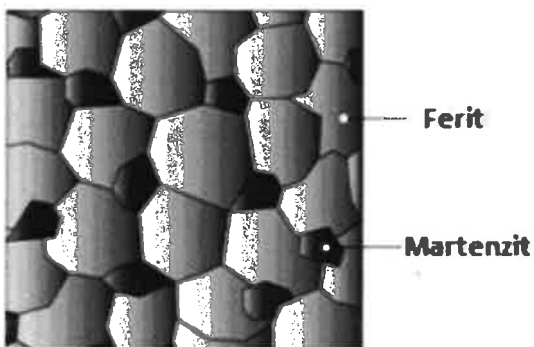
Struktura DP ocelí se skládá ze 70 až 90 % z feritu a z 10 až 30 % z martenzitu a platí, že s rostoucím obsahem martenzitu roste i pevnost oceli.

Za účelem zvýšení prokalitelnosti se přidávají do DP zvlášť nebo v kombinaci mangan, chrom, molybden, vanad a nikl. [6] [7]

Dvoufázové oceli jsou hodně používané v automobilovém průmyslu.

Mechanické vlastnosti: mez kluzu 300-500 MPa, tažnost 15-35 %.

Chemické složení: C 0,08-0,18 %, Mn 1-2,9 %, Si 0,25-0,7 %. [7]



Obr. 13. Mikrostruktura DP oceli [6]

3.4.2. Vícefázová ocel (CP)

Mikrostruktura komplexně fázových ocelí se skládá z malého množství martenzitu, zbytkového austenitu a perlitu ve feriticko – bainitické matrici. Pomalou rekrytalizací lze dosáhnout velmi zjemněného zrna. Stejněho efektu lze nabýt i precipitací mikrolegujících prvků (např. Ti nebo Co). Mez pevnosti je v rozmezí 800-1 000 MPa.

CP vynikají vysokou adsorpcí energie a zbytkovou deformační energií. V porovnání s DP ocelí mají CP vyšší mez kluzu při stejné mezi pevnosti v tahu. [6] [7]

Vícefázové oceli se používají na bezpečnostní části vozu nebo jako komponenty zavěšení náprav automobilu. [7]

Mechanické vlastnosti: mez kluzu 500-1 000 MPa, tažnost 8-14 %.

Chemické složení: C 0,1-0,25 %, Mn 1,4-2,4 %, Si 0,25-0,6 %. [7]



Obr. 14. Struktura CP oceli [6]

3.4.3. Ocel s transformačně indukovanou plasticitou (TRIP)

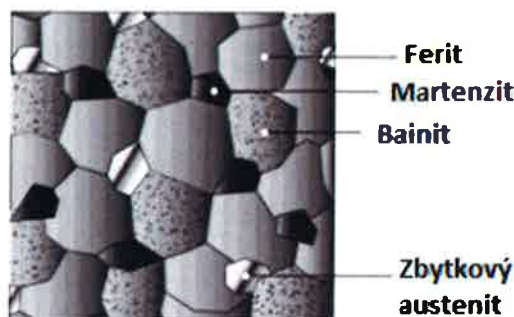
Mikrostruktura ocelí s transformačně indukovanou plasticitou je tvořena martenzitem, bainitem a zbytkovým austenitem (min. 5 %) v základní feritické matici (viz. obr. 15.). Množství zbytkového austenitu je ovlivněno vyšším obsahem křemíku a uhlíku. Ovšem křemík má negativní vliv na požadovanou kvalitu povrchu. Křemík a hliník se používají z důvodu potlačení tvorby karbidů v oblasti bainitu a také urychlují přeměnu feritu na bainit.

TRIP oceli mají vysokou hodnotu meze kluzu, velké deformační zpevnění a vysokou schopnost absorpce energie při nárazu vozidla. Mez pevnosti je maximálně 1 050 MPa.

Dobrá schopnost absorbovat energii a odolnost vůči únavě materiálu jsou základní vlastnosti při návrhu použití TRIP ocelí. Používají se, podobně jako dvoufázové oceli, na nosné a bezpečnostní prvky karoserie (podélné nosníky, výztuhy B-sloupků nebo výztuhy nárazníků). [6] [7]

Mechanické vlastnosti: mez kluzu 400-800 MPa, tažnost 20-35 %.

Chemické složení: C 0,175-0,25 %, Mn max. 2 %, Si max. 2 %. [7]



Obr. 15. Mikrostruktura TRIP oceli [6]

3.4.4. Ocel s plasticitou indukovanou dvojčatěním (TWIP)

Oceli TWIP mají mikrostrukturu při pokojové teplotě zcela austenitickou, hlavně díky vysokému obsahu manganu (17-24 %). U těchto ocelí se uplatňuje princip deformace dvojčatěním, jak vyplývá z názvu oceli.

TWIP oceli mají extrémně vysokou pevnost v kombinaci s velmi vysokou tažností. Mez pevnosti v tahu je větší než 1 000 MPa a celkové prodloužení až okolo 50 %. [6] [7]

Mechanické vlastnosti: mez kluzu max. 400 MPa, tažnost 50-55 %.

Chemické složení: C max. 1,5 %, Mn 17-24 %, Si + Al max. 3 %. [7]

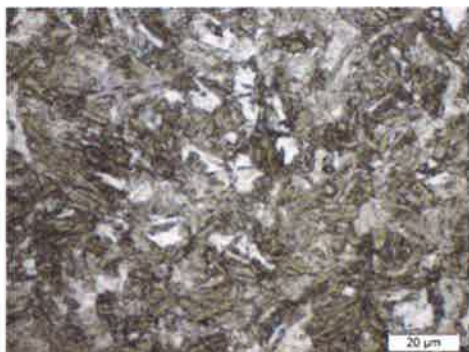
3.4.5. Martenzitická ocel (MS)

Mikrostrukturu martenzitických ocelí tvoří martenzitická matrice s malým množstvím feritu nebo bainitu. V rámci AHSS (vícefázových ocelí) disponují MS nejvyšší pevností v tahu, která dosahuje až 1700 MPa. Často jsou MS z důvodu zvýšení tvárnosti vystaveny temperování, proto mohou mít dobrou tvárnost při zachování vysoké pevnosti.

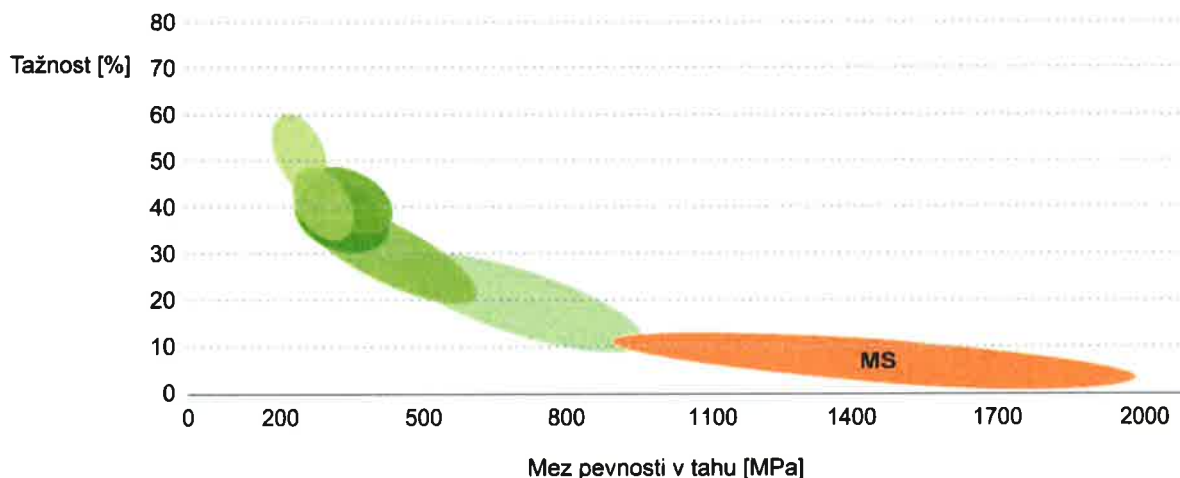
Z důvodu zvýšení prokalitelnosti a posílení martenzitu se přidává uhlík do MS a uhlík zároveň posiluje martenzit. Mimo uhlík se přidává pro zvýšení prokalitelnosti mangan, křemík, bór, chrom, molybden, vanad a nikl a to buď zvlášť, nebo v kombinaci. [6] [7]

Mechanické vlastnosti: mez kluzu 950-1 250 MPa, tažnost 3-7 %.

Chemické složení: C max. 0,2 %, Cr 11,5-18 %. [7]



Obr. 16. Mikrostruktura MS oceli [5]



Obr. 17. Zobrazení rozsahu mechanických vlastností martenzitických ocelí [5]

Na obr. 17. je vidět, že mez pevnosti v tahu martenzitických ocelí po tepelném zpracování překonává hodnotu 1 500 MPa, jejich tažnost ale klesá pod 10 %.

4. Martenzitické vysokopevné oceli

4.1. Ocel 22MnB5

Ocel 22MnB5 vyniká vysokou pevností, které dosahuje díky martenzitické struktuře. Martenzitickou strukturu získá ocel 22MnB5 po zpracování technologií Hot Stamping, český název je kalení lisováním. Metoda Hot Stamping patří mezi termomechanické zpracování.

Vysoká pevnost je také způsobena přidáním malého množství boru (0,005 %), proto tato ocel bývá označována jako „borová“.

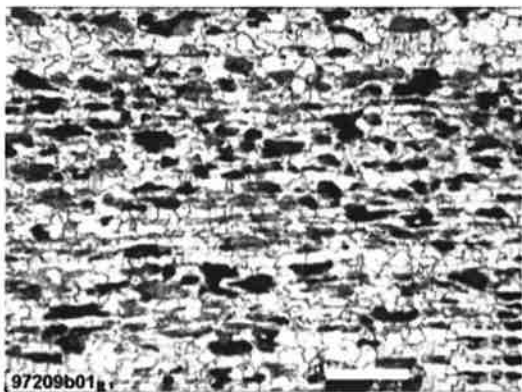
Vzhledem k vysoké pevnosti lze ušetřit až 50 % hmotnosti oproti klasickým HSS. Díky kombinaci tvárnosti a popustitelnosti se velmi často používá v automobilovém průmyslu na výrobu nosných částí vozu a dílů spojených s ochranou posádky vozu. [6] [7]

	min [%]	max [%]
C	0,21	0,25
Si	0,15	0,10
Mn	1,10	1,35
P		0,023
S		0,010
Al		0,080
N		0,010
Cr	0,10	0,25
Ti	0,015	0,045
B	0,015	0,0040

Tab. 2. Chemické složení oceli 22MnB5 [11]

Někteří výrobci používají různé povrchové úpravy, například povrchová vrstva x-tex (NANO-X GmbH), Zn (voestalpine) nebo povrchová vrstva Al-Si, kterou používá výrobce ArcelorMittal nebo Thyssenkrupp Steel Europe AG.

Ocel s ochrannou povrchovou vrstvou od ArcelorMittal se nazývá USIBOR® 1500-AS. U společnosti Thyssenkrupp Steel Europe AG ji najdeme pod názvem MBW® 1500+AS150. [9] [12]



Obr. 18. Struktura oceli USIBOR® 1500 od ArcelorMittal [9]

Obr. 18. ukazuje strukturu oceli USIBOR® 1500 od ArcelorMittal před termomechanickým zpracováním, struktura je feriticko-perlitická.

4.2. Technologie výroby

4.2.1. Povrchová úprava

Výrobce ArcelorMittal a Thyssenkrupp Steel Europe AG používají ochrannou vrstvu Al-Si. Součást je opatřena ochrannou vrstvou ještě před tepelným zpracováním a tato ochranná vrstva chrání povrch součásti při ohřívání na austenizační teplotu (900 až 950 °C), kdy dochází při reakci se vzduchem k oxidaci a oduhličení.

Povlak Al-Si sice ochrání součást před znehodnocením povrchu při ohřevu při tepelném zpracování, ale později je problematické svařování součástí s tímto ochranným povlakem.

Ochranná vrstva je vyráběna metodou žárového pokovování.

Žárové pokovování spočívá v ponoření dané součásti do lázně roztaveného kovu (v tomto případě roztavených kovů). Někdy se také provádí nástřikem roztaveného kovu na pokovovaný materiál.

Po vytažení z lázně, zůstane na povrchu součásti ochranná vrstva, která se skládá z více subvrstev. Tyto subvrstvy se podílí na zajištění dostatečné adheze k pokovovanému materiálu. Nevýhodou je, že subvrstvy zhoršují celkové mechanické vlastnosti povlaku.

Při žárovém pokovování je nutné, aby pokovovaný kov měl vyšší teplotu tání než kovy, kterými se pokovuje. [15]



Obr. 19. Příčný řez součástí z oceli USIBOR® 1500-AS [9]

Na obr. 19. vlevo je zobrazen detail povrchové vrstvy Al-Si před tepelným zpracováním, vpravo je stav po tepelném zpracování.

Tloušťka ochranné vrstvy Al-Si se pohybuje v rozmezí 19 až 33 μm (0,019 až 0,033 mm). [12]

Na obr. 20. je vidět (zřetelněji na vzorku vpravo) zbarvení oceli. Toto zbarvení je způsobeno povlakem Al-Si.



Obr. 20. Vzorky oceli USIBOR® 1500-AS

4.2.2 Technologie kalení lisováním

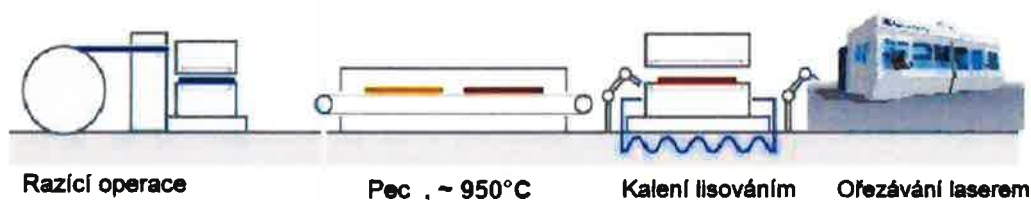
Tato relativně nová technologie spojuje výhodu tvarování za tepla s martenzitickým kalením, jedná se o termomechanické zpracování. Tvarování za tepla dovoluje vyrábět hlubokotažné díly bez většího zpětného odpružení materiálu. Martenzitické kalení je známá metoda, která zvyšuje pevnost ocelových materiálů.

Martenzitické kalení spočívá v ohřevu nad teplotu A_{c3} , aby se změnila struktura na austenitickou, a v následném prudkém ochlazení součásti na teplotu M_s , a tím dojde k přeměně austenitu na martenzit. [6]

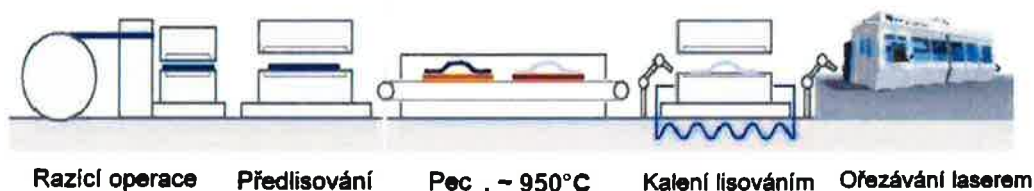
Na obr. 21. je zobrazena metoda technologie kalení lisováním, anglicky Hot Stamping, obě varianty. První varianta je přímé lisování (přímá metoda), která je pro materiály bez povrchové úpravy. Druhá varianta (nepřímá metoda) se používá pro materiály s povrchovou úpravou, před austenitizací je zařazeno předlisování za studena. [13]

Ocel 22MnB5 se zpracovává přímou metodou, protože u tváření za studena (předlisování) by byly potřebné síly příliš velké.

► Přímá metoda



► Nepřímá metoda



Obr. 21. Technologie Hot Stamping [6]

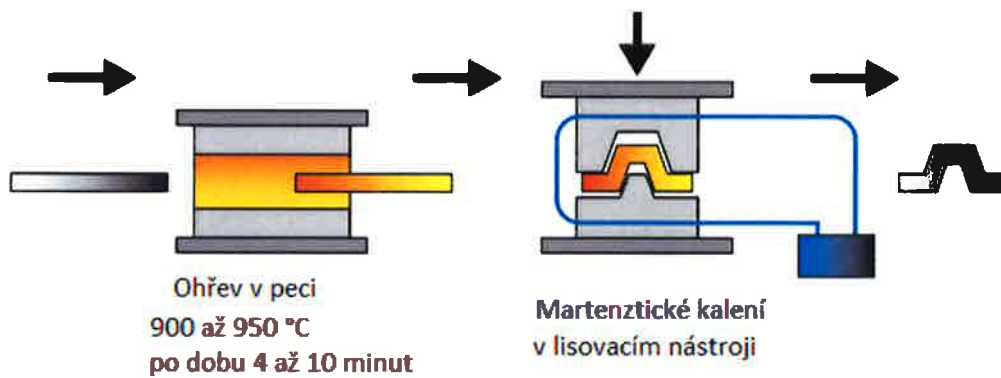
Technologie Hot Stamping se někdy také nazývá Hot Forming. Součást se při této technologii ohřeje na teplotu 900 až 950 °C. Doba a teplota ohřevu jsou závislé na tloušťce materiálu, ale většinou se doba ohřevu pohybuje v rozmezí 4 až 10 minut a teplota mezi 900 a 950 °C. Původní struktura oceli 22MnB5, která je feriticko-perlitická se změní na austenitickou. Během ohřevu chrání povrch součásti ochranná vrstva Al-Si před oxidací. [9]

Během přemístění součásti dochází k chladnutí materiálu, tepelná ztráta je přibližně 20 °C/s pro plech o tloušťce 1,5 mm. Proto je potřeba ohřát materiál o 100 °C více, pokud přesun z pece do lisu netrvá déle než 7 sekund. [13]

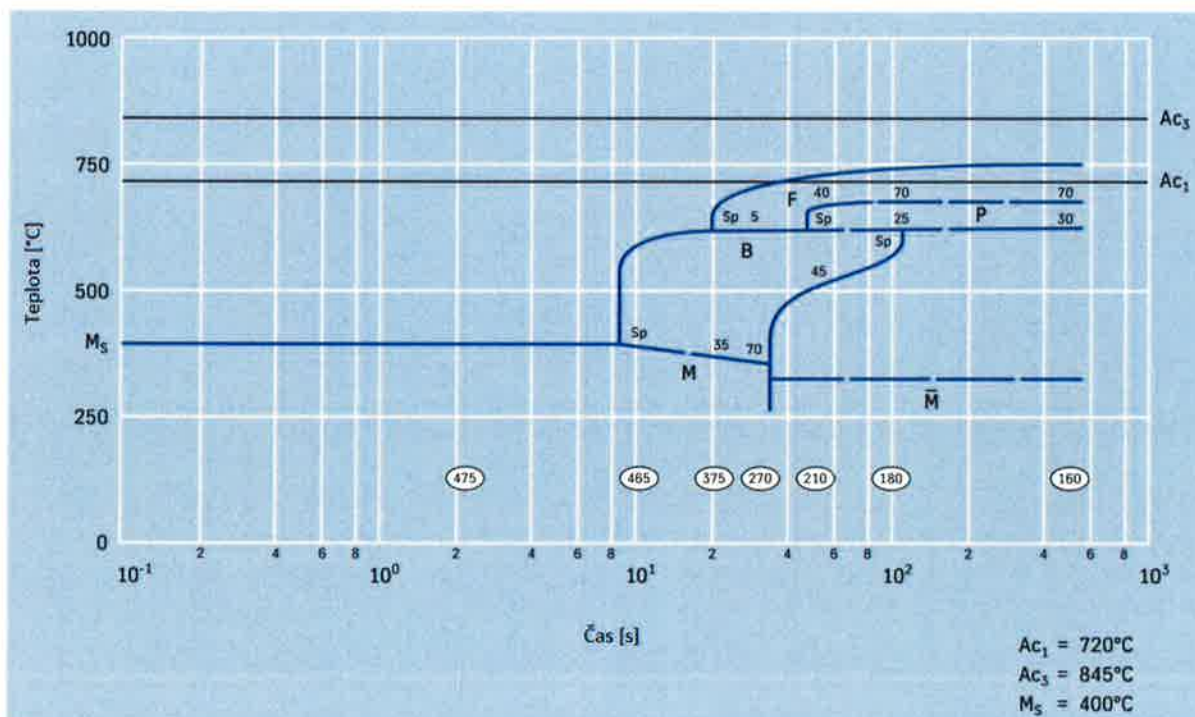
Z pece je součást přesunuta do hlubokotažného lisu. Zavřením nástroje dojde nejdříve k vytvarování dílu a potom v zavřeném nástroji k zakalení. Tváření probíhá vysokou rychlostí, až 300 m/s. [7]

Následné zakalení spočívá v prudkém ochlazení, díky kterému proběhne úplná přeměna austenitu v martenzit. Ochlazení musí být prudké, musí být překročena minimální kritická rychlost, která je pro ocel 22MnB5 27 °C/s. Moderní lisovací nástroje chlazené vodou jsou schopny dosáhnout rychlosti až 100 °C/s. [6]

Termomechanické zpracování oceli USIBOR® 1500 je zobrazeno na obr. 22.

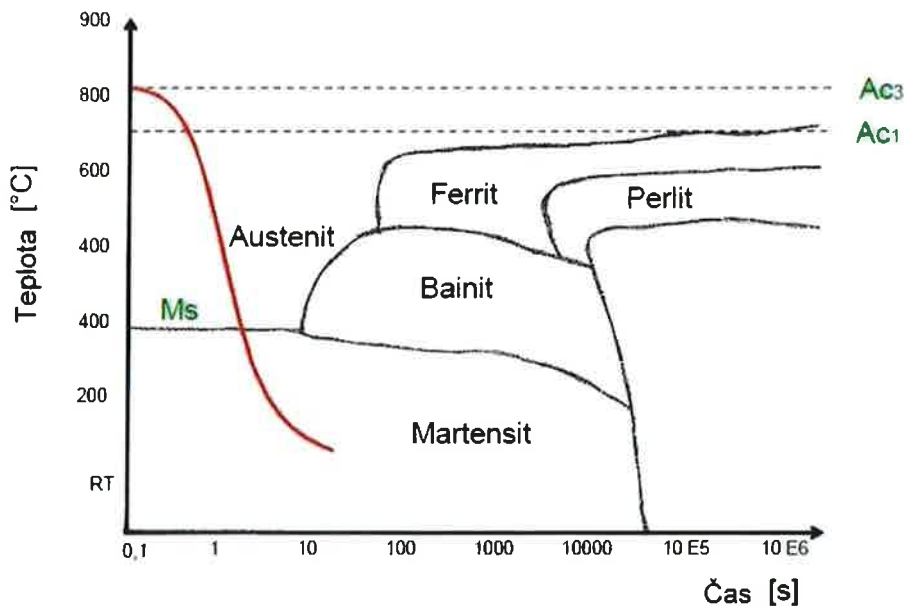


Obr. 22. Technologie zpracování oceli USIBOR® 1500 (ArcelorMittal) [9]



Obr. 23. ARA diagram pro ocel MBW® 1500+AS150 od Thyssenkrupp Steel Europe AG [12]

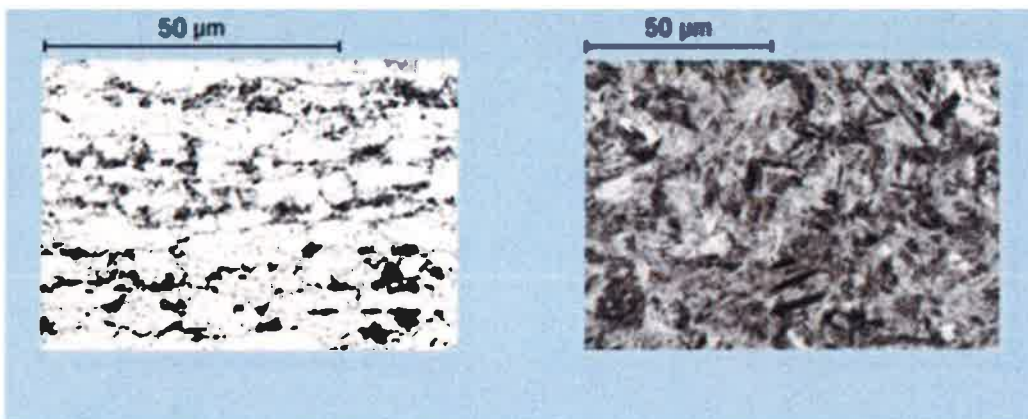
Na obr. 23. je diagram ARA, podle kterého probíhá kalení oceli MBW® 1500+AS150. Součást musí být ochlazena prudce, aby se změnila austenitická struktura na martenzitickou. Kdyby byla rychlost ochlazování nízká, může vzniknout struktura feritická, bainitická nebo perlitická.



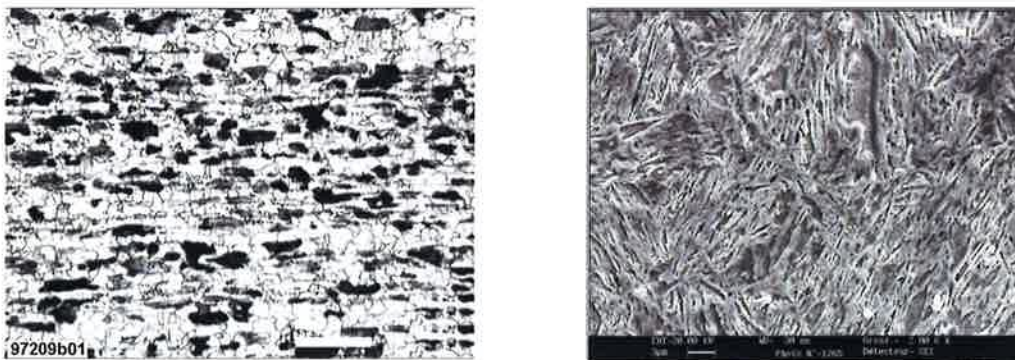
Obr. 24. ARA diagram pro ocel 22MnB5 se znázorněnou křivkou ochlazování [6]

Na obr. 24. je vidět, že kdyby bylo ochlazování pomalejší než minimální kritická rychlost pro ocel 22MnB5, mohla by být struktura součásti bainitická a martenzická, nebo by se v ní mohl vyskytnout také ferit.

Celkový čas ochlazování je 18-20 sekund. [6]

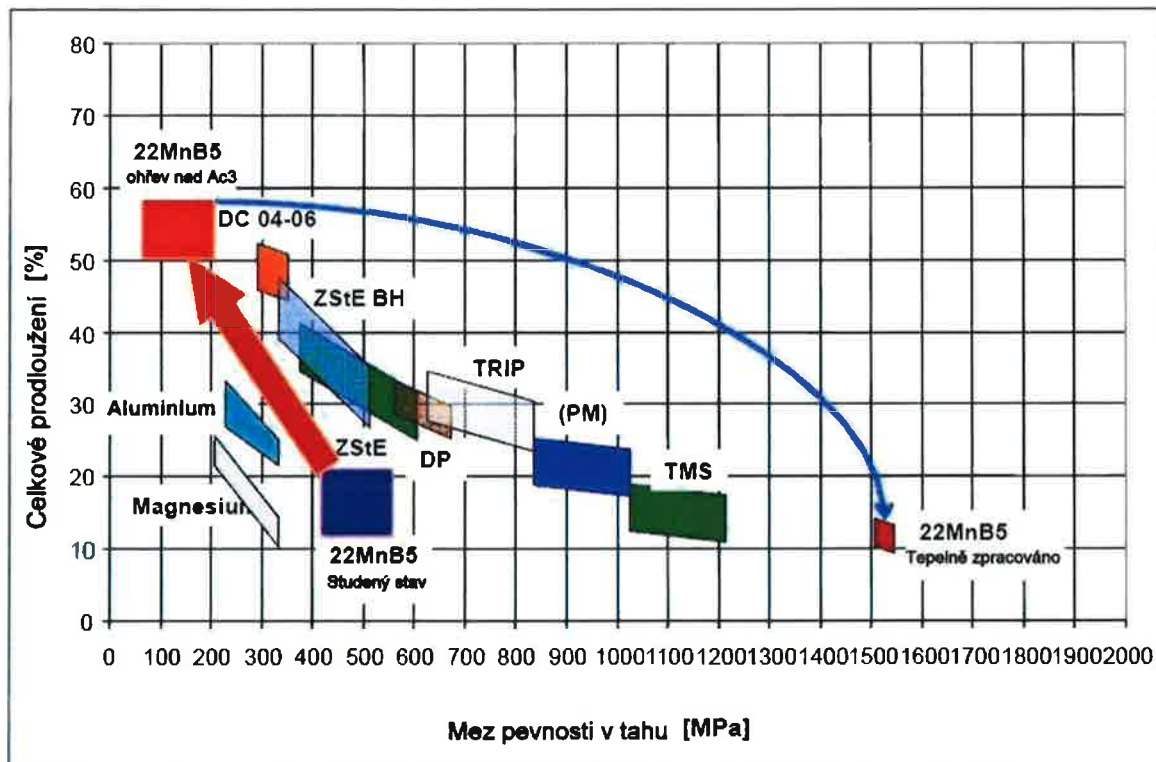


Obr. 25. Struktura oceli MBW® 1500+AS150 [12]



Obr. 26. Struktura oceli USIBOR® 1500 [9]

Na obr. 25. a obr. 26. je porovnání struktury oceli MBW® 1500+AS150 od Thyssenkrupp Steel Europe AG a struktura oceli USIBOR® 1500 od ArcelorMittal, vlevo před tepelným zpracováním je feriticko-perlitická, vpravo po tepelném zpracování je martenzitická. [9]



Obr. 27. Změna mechanických vlastností oceli 22MnB5 před a po tepelném zpracování [6]

Na obr. 27. je znázorněna změna mechanických vlastností oceli 22MnB5. Před termomechanickým zpracováním je struktura oceli feriticko-perlitická, mez pevnosti se pohybuje v rozmezí 500-750 MPa, mez kluzu je min. 350 MPa a tažnost větší než 10 %. [6]

Po termomechanickém zpracování je výsledná struktura čistě martenzitická, mez pevnosti dosahuje až 1 700 MPa, mez kluzu je min. 1010 MPa a tažnost je přibližně 6 %. [13]

4.3. Svařování vysokopevných ocelí

Velká většina svarových spojů u oceli USIBOR® 1500 v karoserii se provádí metodou bodového odporového svařování.

Ocel USIBOR® 1500 disponuje dobrou svařitelností metodou bodového odporového svařování, to platí pro homogenní svarové spoje (pro součásti ze stejné oceli) i pro heterogenní svarové spoje (součásti z různých druhů oceli). Zároveň je svařitelnost oceli USIBOR® 1500 srovnatelná se svařitelností uhlíkové oceli s podobným chemickým složením. [9]



Obr. 28. Detail homogenního svarového spoje oceli USIBOR® 1500 [9]



Obr. 29. Detail heterogenního svarového spoje oceli USIBOR® 1500 s vícevrstvou ocelí s trojnásobnou tloušťkou [9]

Další metodou svařování je metoda svařování v ochranné atmosféře tavící se elektrodou – MIG resp. MAG, a pak ještě laserové svařování.



Obr. 30. Detail svarového spoje metodou MAG [9]

Svařování plechů z martenzitických ocelí je problematické a to zejména kvůli povlaku Al-Si, jehož hlavní funkce je ochrana povrchu součástí před oxidací při ohřívání během termomechanického zpracování.

Procesy svařování nejsou ještě úplně poznány stejně jako vliv povlaků Al-Si na jejich svařitelnost.

4.4. Příklady použití oceli 22MnB5

Ocel 22MnB5 se používá kvůli své pevnosti na výrobu nosných částí vozu – to jsou různé výztuhy a sloupky, a také na díly spojené s ochrannou posádky.



Obr. 31. Oranžově zvýrazněné jsou součásti z oceli USIBOR® 1500 od ArcelorMittal [18]

Na obr. 31. jsou oranžově vyznačeny části karoserie z oceli USIBOR® 1500, šedivě jsou vyznačeny součásti z oceli Ductibor® 500, která je spojena laserovým svařováním s ocelí USIBOR® 1500.



Obr. 33. B – sloupek [9]



Obr. 32. A - sloupek [9]



Obr. 34. Výztuha nárazníku [9]



Obr. 35. Výztuha dveří [9]

5. Závěrečné shrnutí

Bakalářská práce obsahuje rozdělení ocelí používaných v automobilovém průmyslu a jejich popis. Podrobnější popis je věnován oceli 22MnB5, která je hlavní ocel používaná v automobilovém průmyslu.

Ocel je hlavní materiál v automobilovém průmyslu už desítky let, i když v současnosti je kladen důraz na stále nižší hmotnost automobilu a pronikají do automobilového průmyslu neželezné kovy a nekovové materiály, tak se ocel nikdy zcela nenahradí v karoserii osobního automobilu.

Kvůli snaze o snižování hmotnosti automobilu současnému zvyšování bezpečnosti, je potřeba vyvíjet nové materiály a technologie. Martenzitické vysokopevné oceli jsou perspektivní možností ke snižování hmotnosti a zvýšení bezpečnosti, díky svojí vysoké pevnosti.

Technologie Hot Stamping, kterou se tyto oceli zpracovávají, umožňuje snížit počet dílů karoserie, protože je možné touto technologií vyrobit díly složitějších tvarů. Ale je potřeba nějakým způsobem chránit povrch součásti proti oxidaci při ohřevu do vysokých teplot (až 950 °C) při termomechanickém zpracování. V současné době se součásti chrání povlakem Al-Si, který ale působí potíže při svařování těchto součástí a není z tohoto hlediska úplně prozkoumán.

Seznam použité literatury

- [1] MACEK, Karel a Petr ZUNA. *Strojírenské materiály*. Vyd. 1. Praha: Vydavatelství ČVUT, 2003, 204 s. ISBN 80-01-02798-8.
- [2] *Výroba surového železa a oceli v učivu středních škol*. Vysokoškolské kvalifikační práce [online]. 2009 [cit. 2016-03-26]. Dostupné z: <http://theses.cz/id/fpdckm/79965-294759569.pdf>
- [3] *Vysokopevné a vysokolegované oceli, superslitiny*. UMI ČVUT [online]. [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: http://umi.fs.cvut.cz/wp-content/uploads/2014/10/01_pm_vyskopevne_a_vysokolegovane_oceli_a_slitiny_ni_a_co.pdf
- [4] *Vysoce pevné a vysokolegované oceli, superslitiny*. ODDĚLENÍ POVRCHOVÉHO INŽENÝRSTVÍ ZČU [online]. [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: <http://www.ateam.zcu.cz/download/03Vysoce%20pevne%20a%20vysokolegovane%20oceli.pdf>
- [5] *Steel Basics*. WorldAutoSteel [online]. [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: <http://www.worldautosteel.org/steel-basics/>
- [6] LICHOROBIEC, Vojtěch. *Vliv vodíku na pevnost a svařitelnost vysokopevných martenzitických ocelí pro automobilové aplikace* [online]. Pardubice, 2010 [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: http://dspace.upce.cz/bitstream/handle/10195/37122/LichorobiecV_Vodikvysokopevneoceli_ES_2010.pdf?sequence=1
- [7] WOJCIK, Rudolf. *Porovnání ocelí a technologií při výrobě automobilové karoserie* [online]. Brno, 2011 [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: http://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=40077
- [8] *Roomster karoserie*. HAVEX-auto s.r.o. [online]. <http://www.havex.cz> [cit. 2016-02-28]. Dostupné z: http://www.havex.cz/img/_skoda-model-roomster-popis/roomster-karoserie.jpg
- [9] *ArcelorMittal Automotive Worldwide*. ArcelorMittal [online]. [cit. 2016-01-16]. Dostupné z: <http://automotive.arcelormittal.com/europe/products/EN>
- [10] KNEBL, Vladimír. *VYHODNOCENÍ DOPLŇKOVÉ VÝBAVY KAROSERÍ VOZIDEL Z POHLEDU LEGISLATIVY* [online]. Brno, 2012 [cit. 2016-01-16]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=53324
- [11] *Salzgitter Flachstahl GmbH*: Borlegierte Vergütungsstähle. Salzgitter Flachstahl GmbH: Ein Unternehmen der Salzgitter Gruppe [online]. [cit. 2016-03-07]. Dostupné z: http://www.salzgitter-flachstahl.de/fileadmin/mediadb/szfg/informationssysteme/produktinformationen/warmgewalzte_produkte/deu/22mnb5.pdf

[12] *Manganese-boron steels MBW. Thyssenkrupp Steel Europe* [online]. [cit. 2016-03-05]. Dostupné z: <https://www.thyssenkrupp-steel.com/download?p=497872A2A1336C33BB2485AA205A71E30634C75A178E1C0C2D89F3E13E54BDF9A1821B368D2B2B4A241395EA64F55474AD633D414D39A1B2F3F86EF45835268FB85FB5AECC87EFCBFE103F522B1F6D6C>

[13] BOGAR, Radek. *SVAROVÁNÍ OCELI USIBOR 1500 VLÁKNOVÝM YBYAG LASEREM*. VUT v Brně [online]. Brno, 2013 [cit. 2016-03-30]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=64915

[14] KARBASIAN, H. a A.E. TEKKAYA. *A review on hot stamping. Journal of Materials Processing Technology* [online]. 2010, 2010(210), 16 [cit. 2016-01-17]. Dostupné z: <http://www.elsevier.com/locate/jmatpro/2010/210/16>

[15] *Studium ochranné vrstvy na bázi Al-Si po degradaci*. VUT v Brně [online]. Brno: Vysoké učení technické v Brně, Fakulta strojního inženýrství, 2012 [cit. 2016-04-20]. Dostupné z: https://www.vutbr.cz/www_base/zav_prace_soubor_verejne.php?file_id=54195

[16] *Innovative door ring concept*. ArcelorMittal [online]. [cit. 2016-05-11]. Dostupné z: http://www.european-business.com/media/inhalt/portraits/european_business_online/34500_arcelormittal/innovation_continues_the_new_door_ring_a_breakthrough_concept_in_welded_blanks_to_reduce_weight_and_improve_crash_performance.jpg

[17] *Nové evropské normy oceli v konstrukční dokumentaci*. Ústav konstruování [online]. [cit. 2016-06-28]. Dostupné z: http://old.uk.fme.vutbr.cz/zobraz_souborec28.pdf?id=106

[18] *ArcelorMittals - Voitures*. ArcelorMittal - Home [online]. [cit. 2016-08-08]. Dostupné z: <http://luxembourg.arcelormittal.com/Innovation/Solutions-en-acier/Voitures/>