

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ V LIBERCI

nositelka Řádu práce

Fakulta strojní

obor 23 - 07 - 8

strojírenská technologie

zaměření

tváření kovů a plastických hmot

Katedra tváření a plastů

TECHNOLOGICKÁ STUDIE VYUŽITÍ VYSOKOPEVNOSTNÍCH OCELOVÝCH
PLECHŮ PRO VOZY ŠKODA

Milan Svárovský

- 310 -

Vedoucí práce: Doc. Ing. Jaroslav Tměj, CSc., VŠST Liberec

Konzultant : Bohumil Bednář, AZNP Mladá Boleslav

Rozsah práce a příloh

Počet stran	:	88
Počet příloh	:	8
a tabulek	:	11
Počet obrázků	:	40
Počet výkresů	:	0
Počet modelů	:	
nebo jiných příloh	:	0

11. května 1987

Vysoká škola: **strojná a textilní** Fakulta: **strojná**
Katedra: **tváření a plasty** Školní rok: **1986/87**

ZADÁNÍ DIPLOMOVÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

pro **Milana Svárovského**
obor **strojirenská technologie**

Vedoucí katedry Vám ve smyslu nařízení vlády ČSSR č. 90/1980 Sb., o státních závěrečných zkouškách a státních rigorózních zkouškách, určuje tuto diplomovou práci:

Název tématu: **Technologická studie využití vysokopevnostních ocelových plechů pro vozy ŠKODA**

Zásady pro vypracování:

1. Proveďte rozbor využití vysokopevnostních plechů v zahraničí.
2. Charakterizujte vlastnosti zahraničních vysokopevnostních plechů a porovnejte s připravovanou výrobou VSŽ Košice.
3. Posuďte technologie lisevání vysokopevnostních plechů.
4. Proveďte návrh na využití vysokopevnostních plechů pro vozy ŠKODA 781.
5. Proveďte ekonomické hodnocení.

V 243/87 S

VYSOKÁ ŠKOLA STROJNÍ A TEXTILNÍ
Ústřední knihovna
LIBEREC 1, STUDENTSKÁ 8
PSČ 461 17

Rozsah grafických prací:

Rozsah průvodní zprávy:

40 - 50 stran

Seznam odborné literatury:

1. Prospekty zahraničních firem
2. Výrobní program, VZ, n.p. Košice, 1984
3. Zborník prednášok, Úspora kovov a zvýšenie kvality výrobkov z plechov VSZ, Košice, 1984
4. Rozvoj technológie tvárnenia v 7. SRP, ČSVTS, Košice, 1985

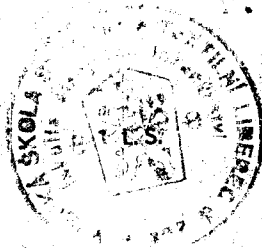
Vedoucí diplomové práce: **doc. Ing. Jaroslav Tměj, CSc.**

Datum zadání diplomové práce:

25. 9. 1986

Termín odevzdání diplomové práce:

11. 5. 1987



J. Tměj
doc. Ing. Jaroslav Tměj, CSc.

Vedoucí katedry

J. Alaxin
doc. Ing. Ján Alaxin, CSc.

Děkan

v Liberci

8. 9.

86

dne

19

"Místopřísežně prohlašuji, že jsem diplomovou práci
vypracoval samostatně s použitím uvedené literatury".

V Liberci dne 11. května 1987

.....*Milan Svárovský*.....
vlastnoruční podpis diplomanta

O B S A H

Seznam použitých zkratek a symbolů

1. Úvod
2. Rozbor využití plechů z vysokopevnostních ocelí v zahraničí
 - 2.1. Rozdělení vysokopevnostních ocelí
 - 2.2. Mechanismy zpevnování ocelí
 - 2.3. Využití plechů z vysokopevnostních ocelí v zahraničí
3. Charakteristiky vlastností zahraničních plechů z vysokopevnostních ocelí a porovnání s připravovanou výrobou VSŽ Košice
 - 3.1. Vlastnosti zahraničních plechů
 - 3.1.1. Zkoumané materiály
 - 3.1.2. Technika spojování
 - 3.1.2.1. Odporové bodové svařování
 - 3.1.2.2. Svařování v CO₂
 - 3.1.2.3. Drážkování
 - 3.1.2.4. Posouzení zkoušek spojování
 - 3.1.3. Pevnost
 - 3.1.3.1. Zkoušky při statickém namáhání
 - 3.1.3.2. Zkoušky plechů při dynamickém namáhání
 - 3.1.4. Pohlčení energie při plastické deformaci

- 3.1.4.1. Výsledky zkoušek u zkušebních těles
- 3.1.4.2. Zkoušky se skutečnými konstrukcemi
- 3.1.5. Technika oprav
 - 3.1.5.1. Spojování
 - 3.1.5.2. Zkoušky u oprav
- 3.1.6. Tuhost součástí karoserie
 - 3.1.6.1. Tuhost při vyboulení
 - 3.1.6.2. Tuhost konstrukce vozidla
 - 3.1.6.3. Posouzení tuhosti
- 3.1.7. Akustika
 - 3.1.7.1. Zvuk vedený pevným materiálem
 - 3.1.7.2. Zvuk šířený vzduchem
 - 3.1.7.3. Vnitřní hluk
 - 3.1.7.4. Hodnocení akustického chování
- 3.2. Plechy z vysokopevnostních ocelí výroby VSŽ a jejich porovnání se světovou produkcí
 - 3.2.1. Inovační program VSŽ Košice
 - 3.2.2. Porovnání mechanických vlastností plechů z vysokopevnostních ocelí výroby VSŽ Košice se světovou produkcí
 - 3.2.2.1. Plechy válcované za tepla
 - 3.2.2.2. Plechy válcované za studena
- 4. Lisovatelnost plechů z vysokopevnostních ocelí
 - 4.1. Charakteristika tvárnosti
 - 4.2. Technika tváření
 - 4.2.1. Předběžná šetření
 - 4.2.2. Výsledek tváření

- 4.2.3. Výsledky zkoušek tváření
- 4.3. Diagramy pro použití plechů z vysokopevnostních ocelí
- 4.4. Lisovací vlastnosti plechů z vysokopevnostních ocelí
 - 4.4.1. Tvarová stálost konstrukčních prvků

- 5. Návrh na využití plechů z vysokopevnostních ocelí pro nový vůz ŠKODA 781
 - 5.1. Současné materiály
 - 5.2. Nově vyvíjené materiály
 - 5.3. Vlastní návrh

- 6. Ekonomické hodnocení
 - 6.1. Situace ve vývoji cen
 - 6.2. Ekonomické hodnocení
 - 6.2.1. Přehled uspořené hmotnosti a nákladů

- 7. Závěr

Seznam použité literatury

S E Z N A M P O U Ž I T Ý C H Z K R A T E K
A S Y M B O L Ů

R _m	pevnost v tahu	/ MPa /
R _e	výrazná mez kluzu	/ MPa /
R _r	smluvní mez kluzu určená z trvalé deformace po odlehčení	/ MPa /
R _p	smluvní mez kluzu určená z trvalé deformace pod zatížením	/ MPa /
σ	skutečné napětí	/ MPa /
A	tažnost	/ % /
t	tloušťka plechu	/ mm /
r	koeficient normálové anizotropie	/ - /
n	exponent deformačního zpevnění	/ - /
x ₀	dráha kmitů	/ mm /
f ₀	rezonanční kmitočet	/ Hz /
d ₀	relativní tlumení	/ % /
λ	poměr rozšíření otvoru	/ - /
$\varphi_{1,2}$	hlavní logaritmické přetvoření	/ - /

1. Ú V O D

Na XVII. sjezdu KSČ byly schváleny Hlavní směry hospodářského a sociálního rozvoje ČSSR na léta 1986 - 1990 a výhled na období do roku 2000. Z nich mimo jiné vyplývá, že je nezbytné:

- snižovat energetickou náročnost národního hospodářství.
V letech 1986 - 1990 dosáhnout průměrného ročního poklesu spotřeby palivoenergetických zdrojů na jednotku vytvořeného hrubého národního důchodu o 2,9% ročně. Zabezpečit státním cílovým programem racionalizace spotřeby a využití paliv a energie v roce 1990 proti roku 1985 celkovou úsporu ve výši nejméně 15,4 milionu tun měrného paliva
- trvale snižovat spotřebu pohonných hmot na jednotku výkonů ve všech odvětvích národního hospodářství
- na všech úsecích národního hospodářství podstatně zlepšit hospodaření s kovy; dosáhnout v průběhu 8. pětiletky celkové relativní úspory přibližně 2,5 milionu tun železných kovů
- vědeckotechnický rozvoj zaměřit na vývoj nových druhů materiálů a osvojení jejich výroby výkonnými technologiemi.

Ve všech průmyslově vyspělých zemích patří vývoj a výroba nových materiálů k prioritním oblastem vědeckotechnického rozvoje. Jedním z významných odvětví, které počítá se širokým uplatněním netradičních materiálů je automobilový

průmysl.

Počátkem sedmdesátých let, v souvislosti s výrazným růstem cen ropy, věnovali výrobci velké úsilí snižování hmotnosti automobilů, aby zmenšili spotřebu pohonných hmot.

Snížení hmotnosti automobilu lze docílit:

- zmenšením jeho vnějších rozměrů při současném zachování rozměrů interiéru
- dokonalejším zpracováním struktury karoserie
- zmenšováním počtu a hmotnosti skupin
- uplatněním nových materiálů

Ještě před patnácti lety se za nejvhodnější řešení považovala náhrada oceli plasty a hliníkem.

V tab. I. je porovnání prognóz z roku 1978 o uplatnění nových materiálů v roce 1986 se skutečností a dnešní prognóza do roku 1990. /1/

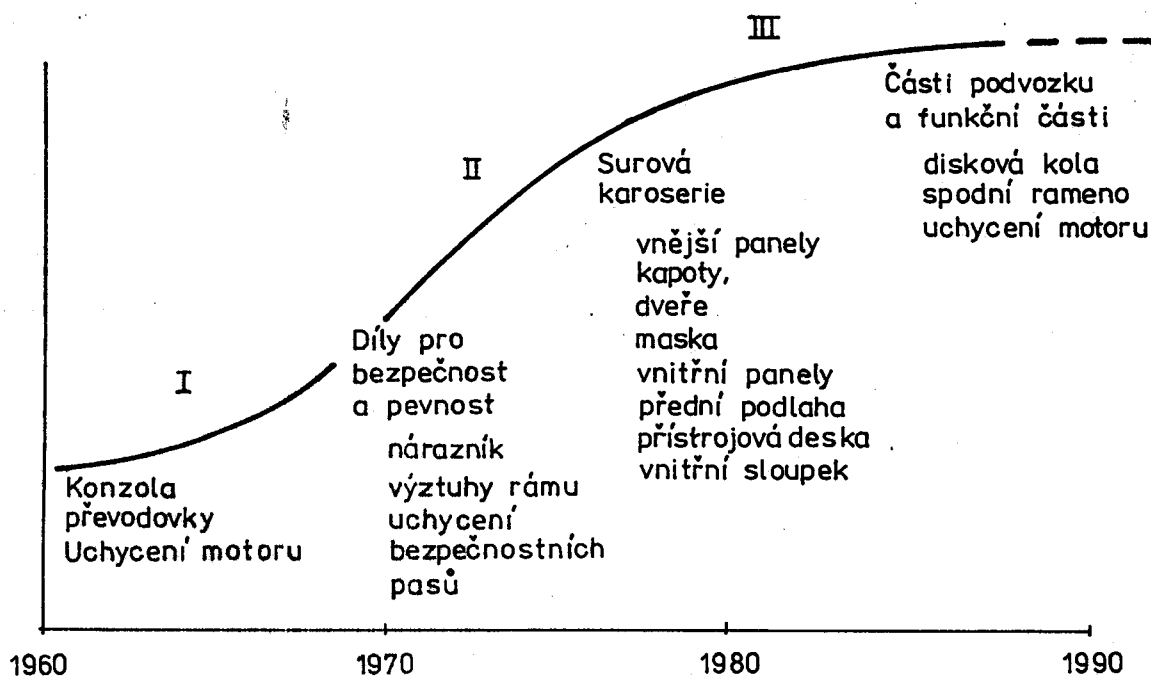
Tab. I. - Prognózy v uplatnění nových materiálů

Uplatnění nových materiálů	1978 skutečnost	1986		1990 dnešní prognóza
		prognóza z r. 1978	skutečnost	
celková hmotnost automobilu [kg]	1814	1542	1406	1130
podíl materiálů [%]				
ocel a litina	60	30-40	50-60	40-50
plasty	10-20	20-30	10-20	25-35
hliník	3-5	20-30	5-10	8-15

Z tabulky je zřejmé, že se hmotnost automobilů sice snížila

více než se předpokládalo, ale prognóza velkého snížení podílu v konstrukci automobilů se ukázala jako mylná. Předpokládalo se, že podíl klasických slitin v automobilech vyrobených v letech 1978 - 1986 by měl klesnout ze 60 na 30 %. Ocel si však pravděpodobně udrží své dominantní postavení zejména díky vývoji nízkolegovaných ocelí a technologií zinkování. V průběhu tohoto období se však zjistilo, že pro snižování spotřeby paliva mají větší význam příznivé aerodynamické vlastnosti, elektronické řízení funkce motoru, vhodnější pneumatiky a celkové zmenšení valivého odporu než pouhé snížení hmotnosti vozidla.

V současné době se jako nejvýhodnější nový materiál umožňující snížení hmotnosti jeví vysokopevnostní oceli. Počátky a současné směry v použití vysokopevnostních ocelí v automobilu ukazuje obr. 1 /2/.



Obr. 1 - Počátky a současné směry v použití vysokopevnostních ocelí v automobilu

V USA a Japonsku se plechy z vysokopevnostních ocelí hojně používají již řadu let, k jejich rozšíření v Evropě dochází v současné době.

V Československu dochází k jejich rozšíření jen zvolna. Používají je v Tatře Kopřivnice při výrobě těžkého nákladního automobilu TATRA 815 a v ČKD Slaný na výložníky autojeřábů. Jedná se o plechy z vysokopevnostních ocelí válcované za tepla jakosti E 460, E 490, E 700, E 760 a KH 42 E.

V souvislosti s přípravou výroby nového vozu ŠKODA 781 vznikla potřeba výroby plechů z vysokopevnostních ocelí válcovaných za studena, čímž by se mělo mimo jiné přispět k naplnění závěrů XVII. sjezdu KSČ.

2. ROZBOR VYUŽITÍ PLECHŮ Z VYSOKOPEVNOSTNÍCH OCELÍ V ZAHRANIČÍ

2.1. ROZDĚLENÍ VYSOKOPEVNOSTNÍCH OCELÍ

Podle /3/ jsou plechy z vysokopevnostních ocelí roz-
tříděny do následujících skupin:

a/ Nitridované plechy

Tato skupina plechů se rovněž nazývá plechy s kontrolova-
ným stárnutím. Mez kluzu se zvyšuje při vypalování laku
a může dosáhnout 400 MPa. Při dodání mají plechy chara-
kteristiky blízké klasickým plechům.

b/ Plechy částečně rekrytalizované

Jsou částečně žíhané a ponechávají si zbytkové zpevnění.
Mez kluzu může dosáhnout 700 MPa.

c/ Dispersoidní plechy

Jedná se o extrajemné mikrolegované oceli (Ti, Va, Nb).
Jejich mez kluzu může dosáhnout 400 MPa při válcování za
studena a přes 600 MPa při válcování za tepla.

d/ Plechy fosfornaté

Jedná se o klasické plechy s přídavkem fosforu v takové
míře, aby se docílilo zvýšení meze kluzu až na 340 MPa.

e/ Dvoufázové plechy

Tato skupina ocelí je odvozena z ocelí se smíšenou struk-
turou feriticko-martenzitickou. Plechy jsou charakteri-

stické poměrem R_e/R_m , který je velmi malý při dodávce plechu. Mez kluzu se zvyšuje zpevněním (po 7,5% zpevnění dosáhne 380 - 650 MPa).

f/ Plechy zpracované nepřetržitým žíháním

Síla plechu je omezena na 1,6 mm. Výhodou tohoto žíhání je větší homogenita materiálu, lepší čistota povrchu, lepší rovinnost, možnost vytvrzování vypalováním.

Společným bodem těchto plechů je vysoká mez kluzu a vysoká pevnost, vyšší než u klasických plechů. Průměrné charakteristiky plechů jsou: $R_e = 190$ MPa, $R_T = 320$ MPa.

Jiné dělení vysokopevnostních ocelí udává /4/:

1/ Vysokopevnostní oceli první generace

Jsou to nízkolegované oceli, uklidněné přísadou hliníku, které využívají mechanismy zpevnění precipitací a zjemňováním zrn. Přidáním Ti, V nebo Nb a přísnou kontrolou válcování lze docílit zlepšení typu oceli s dobrými znaky odolnosti proti únavě a tuhosti.

2/ Vysokopevnostní oceli druhé generace

Jsou to oceli s malým obsahem S a malou přítomností vměstků, mají nižší hodnoty než tradiční oceli nebo vysokopevnostní oceli první generace.

3/ Dvoufázové vysokopevnostní oceli

Jsou to oceli, sestávající ze dvou fází (obvykle 80 - 90 % feritu, 10 - 20 % martenzitu). Vyrábějí se válcováním za tepla nebo válcováním za studena.

Válcování za tepla

Výroba těchto ocelí vyžaduje přídatné operace (kontinuální žíhání) proti tradičnímu válcování za tepla. Kromě toho vyžadují mimo zvýšení obsahu manganu a křemíku přidání vanadia, což zvyšuje výrobní náklady z ekonomického hlediska asi o 60% ve srovnání s tradičními oceli válcovanými za tepla.

Aby se oddělil perlitický "nos" od nosu bainitického a aby se snížila kritická rychlost kalení, jsou tyto oceli legovány molybdenem (0,3%).

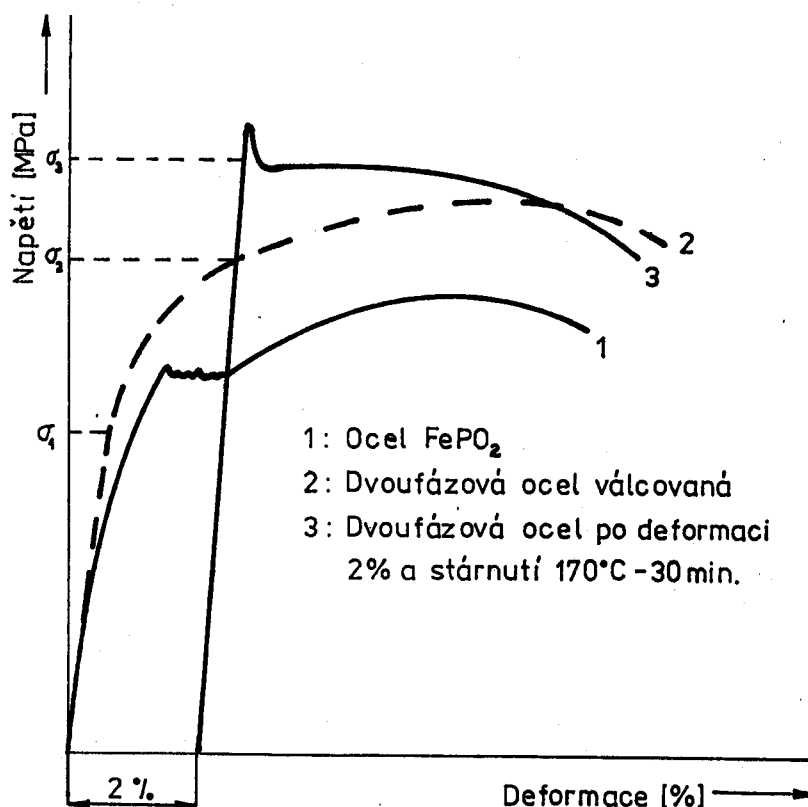
Oceli vyžadují opravdu velmi přísnou kontrolu všech parametrů, které se účastní výrobní a válcovací fáze, což ztěžuje výrobu. Nicméně vzhledem k vynikajícím mechanickým vlastnostem a výborné tvárnosti mají dobré vyhlídky pro budoucí použití.

Válcování za studena

Kontinuální žíhání, aplikované na tradiční uhlíkové oceli umožňuje získat výrobek s dobrými mechanickými charakteristikami, odvozenými ze struktury s velmi jemným zrnem a díky přítomnosti druhé fáze vedle feritické matrice. Pro tuto zvláštnost se dvoufázové oceli jasně odlišují od vysokopevnostních ocelí první a druhé generace. Výrobní náklady jsou téměř stejné jako náklady při tradičním válcování za studena, neboť postačí nahradit normální žíhání operací kontinuálního žíhání.

Hlavní charakteristika dvoufázových ocelí spočívá

ve schopnosti zvýšit výrazně mez kluzu po tváření a vypalování. Tento proces ukazuje obr. 2.



Obr. 2 - Závislost napětí - deformace znázorňující zpevnění po tváření a vypalování

Obrázek ukazuje superpozici křivky dvoufázové oceli (čárkovaná čára) s křivkou stejné oceli deformovanou 2 % a stárnutím při 170°C po dobu 30 minut. Deformaci simuluje tváření plechu a tepelné stárnutí simuluje vypalování.

2% deformace v laboratoři vyvolává vytvoření velkého počtu dislokací na dělicí ploše mezi feritickou fází a martenzitickou fází, což zabraňuje objevení se Luderova protažení (stává se u tradičních vysokopevnostních ocelí).

Graf napětí - deformace se kreslí bez přerušení (obr. 2 čárkovaná čára). Tento jev vzniku dislokací umožňuje místní zpevnění, které se projeví ve vyšší mezi kluzu ze σ_1 na σ_2 .

Zvýšení meze kluzu, které je relativně nízké u tradičních ocelí, je podstatně vyšší v důsledku právě popsaného mechanismu u ocelí dvoufázových. Např. jestliže deformace 2% vytváří v tradiční oceli zvýšení $(\sigma_2 - \sigma_1) = 50$ MPa, stejná deformace za stejných provozních podmínek u dvoufázového vzorku produkuje zvýšení $(\sigma_2 - \sigma_1) = 160$ MPa.

Stárnutí při 170°C po dobu 30 min. vyvolává nakonec precipitaci karbonitridů na dislokace s následným zvýšením meze kluzu z σ_2 na σ_3 . Podstata jevu je v tom, že při ochlazování oceli vysokou rychlostí se získá feritová matrice přesycená C.

Např. jestliže tradiční ocel má hodnotu $(\sigma_3 - \sigma_2) = 30$ MPa, za stejných podmínek dvoufázová ocel produkuje zvýšení 60 MPa. Výhoda dvoufázových ocelí je tedy v tom, že umožňují mimořádné zvýšení $\Delta\sigma = \sigma_3 - \sigma_1$ meze kluzu po tváření a vypalování, i když před těmito operacemi mají mez kluzu nepatrnou.

Proto jsou dvoufázové oceli výborně tvářitelné (pod Re, pod Re/Rm, vysoká hodnota protažení) a dosahují vysokou pevnost po tváření a vypalování.

Laboratoře firmy Fiat zkoušely pět druhů dvoufázových ocelí japonské výroby.

Chemické složení dvoufázových ocelí, které byly zkoušeny udává tab. II.

Tab. II. - Chemické složení zkoumaných dvoufázových ocelí

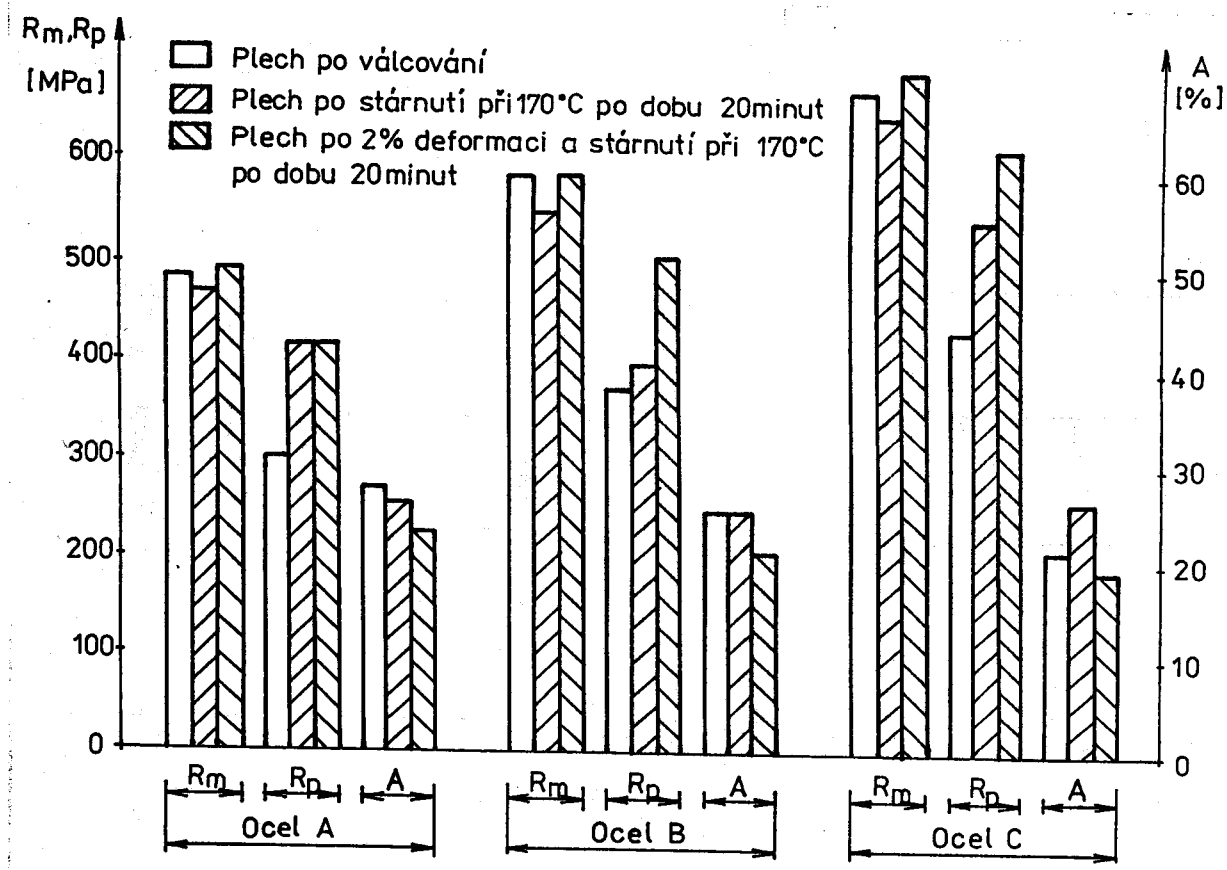
Ocel	C[%]	S[%]	P [%]	Si[%]	Mn[%]	Al[%]
A	0,05	0,015	0,017	0,047	0,31	0,059
B	0,05	0,005	0,075	0,22	0,31	0,037
C	0,06	0,003	0,077	0,71	0,35	0,01
D	0,042	0,01	0,012	0,068	1,35	0,036
E	0,115	0,011	0,012	0,26	1,41	0,039

Mechanické charakteristiky udává tab. III.

Tab. III. - Mechanické charakteristiky zkoumaných dvoufázových ocelí

Ocel	Rm[MPa]	Rp[MPa]	Rp/Rm	A ₈₀ [%]	f	Δr	n̄
A	488	312	0,64	27,5	1,32	0,21	0,19
B	594	375	0,63	25	1,25	0,18	0,18
C	683	432	0,63	21,25	1,22	0,15	0,17
D	455	231	0,51	33,13	0,893	0,409	0,244
E	648	298	0,46	37,66	0,753	0,269	0,201
FePO ₄	317	201	0,64	34,8	1,26	0,31	0,19

Zvýšení mechanických vlastností stárnutím a deformací je znázorněno na obr. 3.



Obr. 3 - Zvýšení mechanických charakteristik stárnutím a deformací dvoufázových ocelí

Náklady na výrobu vysokopevnostních ocelí první a druhé generace jsou obvykle o 20 % vyšší ve srovnání s uhlíkovými oceli. Tyto oceli jsou ve velké míře k dispozici na evropském trhu.

Dvoufázové oceli dosud na trhu v Evropě nejsou; odhaduje se, že zvýšení výrobních cen ve srovnání s uhlíkovými oceli je okolo 35 %.

Rozdělení vysokopevnostních ocelí dle /5/ je uvedeno v kapitole 3.2.2.

2.2. MECHANISMY ZPEVNŮVÁNÍ OCELÍ /4/

Lze je obecně klasifikovat do těchto čtyř typů:

a/ Zpevnění tuhého roztoku

Známe, že prvky jako N, Si, P, Mn, B a sám C jsou schopny tvořit substituční tuhé roztoky ve feritové matici oceli. Protože se rozměry atomu železa liší od rozměrů atomu rozpuštěné látky, dochází k narušení krystalické mřížky v důsledku vzniku elastických sil kolem atomů rozpuštěné látky. Zpevňovací účinek vzniká tím, že dislokace potřebují dodatečnou energii k překonání těchto překážek.

b/ Precipitační zpevnění

Vzniká v důsledku jemného rozložení precipitovaných prvků (obvykle karbonitridy Ti, V, Nb a pod.) uvnitř matrice oceli. Přítomnost precipitovaných látek způsobuje porušení krystalové mřížky matrice a tudíž i vznik vnitřních sil, které se staví na odpor průběhu dislokací během plastické deformace. Precipitované částice jsou obzvláště tvrdé, dislokace je nemohou prorazit, ale jsou nuceny je obejít, čímž vytvářejí kolem nich nové dislokace na úkor hlavní energie.

c/ Zpevnění zjemněním zrna

Pokaždé, když dislokace způsobí porušení mřížky, potřebuje více energie k překonání překážky. Zjemnění zrna

vyvolává zvýšení odporových charakteristik materiálu.

Kromě zjemnění zrna stoupá nejen hodnota meze kluzu, ale i hodnota přechodové teploty tažný - křehký.

d/ Zpevnění přítomností druhé fáze ve feritové matici

Dosáhne se jí obvykle pomocí kontinuálního žíhání po válcování při mezikritické teplotě. Zatím co dochází k rekrystalizaci zrn, karbidy přítomné obvykle na jejich okrajích rozšiřují uhlík v okolní matici a současně se objeví austenitická fáze. Rychlým ochlazením proudy vody nebo studeného vzduchu se austenit mění na částečně tuhou fázi (martenzit nebo bainit) a částečně na ferity. Získaná struktura je strukturou dvojí fáze; oceli jsou známé jako "dvoufázové oceli". Procentový podíl a typ druhé fáze závisí na obsahu uhlíku a legujících prvků, na rychlosti ochlazení, na teplotě žíhání a době pobytu.

Obvykle tvoří druhou fázi martenzit: obsah martenzitu nesmí překročit 20 %, aby nedošlo k příliš prudkému snížení tažnosti a k následnému zhoršení tvárnosti materiálu.

2.3. VYUŽITÍ PLECHŮ Z VYSOKOPEVNOSTNÍCH OCELÍ V ZAHRANIČÍ

Od roku 1980 bylo pro výrobu každého japonského a amerického automobilu použita několik desítek kilogramů ocelových plechů s vysokou pevností a jejich poměr k váze okované karoserie (Karoserie bez jakékoliv povrchové ochrany, nelakovaná, bez nánosu těsnících a tlumících materiálů, se zavěšenými dveřmi, víkem zavazadlového a motorového prostoru)