

# VPLYV TEPLoty AUSTENITIZÁCIE NA VEĽKOSŤ ZRNA VYSOKOPEVNEJ OCELE WELDOX 700

## THE INFLUENCE AUSTENITIZATION TEMPERATURE ON GRAIN SIZE OF WELDOX 700 STEEL

Mária HUDÁKOVÁ

*Autor: Mária Hudáková, Ing., PhD.*

*Pracovisko: Katedra materiálového inžinierstva, Materiálovotechnologická fakulta STU*

*Adresa: J. Bottu 23, 917 24 Trnava, Slovensko*

*tel.: 0421 33 5521007kl.96, kl.60 fax. 0421 33 5521119,*

*e-mail: maria\_ [hudakova@stuba.sk](mailto:maria_hudakova@stuba.sk),*

### Abstract

*Cieľom experimentu bolo štúdium vplyvu teploty austenitizácie na veľkosť zrna ocele Weldom 700, s určením teploty, pri ktorej dôjde k intenzívnemu rastu zrna. Mikroštruktúra vzoriek sa sledovala na svetelnom mikroskope. Vyhodnotením údajov získaných z experimentu sa zistilo, že k intenzívnemu rastu zrna dochádza pri teplote austenitizácie 1100°C.*

*The intention of experiment was study influence austenitization temperature on grain size of Weldom 700 with intention of temperature, whereat occur the intensive grain growth. Microstructure of specimens were observed on optical microscope. The evaluation statements received from experiment was find out that to intensive grain growth occur at the austenitization temperature 1100°C.*

### Key words

*austenitizácia, mikroštruktúra, rast zrna, ocele vysokopevné*

*austenitization, microstructure, grain growth, high strength low alloyed*

### Úvod

Moderné vysokopevné ocele (HSLA – High strength low alloyed) sa chemickým zložením a stavbou výrazne odlišujú od klasických ocelí. Dosahujú vysokú metalurgickú čistotu čo dokazuje nízky obsah síry a fosforu (pod 0,005 %). Obsah uhlíka je tiež nízky (len pod 0,1%) i keď predtým sa považoval za hlavný prvok pri získavaní vysokej pevnosti ocele [1].

Na zvýšenie pevnosti sa v nich využívajú fyzikálne mechanizmy spevňovania. Je to spevnenie zjemnením zŕn, spevnenie zvýšením hustoty dislokácií, ktoré sa uskutoční termomechanickým valcovaním a precipitačné spevnenie karbidmi, alebo karbonitridmi mikrolegujúcich prvkov.

Weldox je vysokopevná konštrukčná oceľ, ktorej metalurgia je založená na kvalitnej železnej rude a modernom plynulom odlievaní. Oceľ má vysokú kvalitu brám s precíznym chemickým zložením a s veľmi nízkym obsahom nežiadúcich prvkov. Bramy sú jednotlivo ohrievané na 1200 °C a potom valcované na kvarto stolici presne na potrebnú hrúbku a mikroštruktúru, ktorá je najviac vhodná pre následný proces ochladzovania.

Plechý určené na kalenie a popúšťanie sú následne ochladené na vzduchu a prepravené do kaliarne. Prudké ochladenie plechu z teploty 900°C na izbovú teplotu sa koná v kaliacom lise. Po následnom popúšťaní na 580 – 650 °C majú plechy Weldox vysokú pevnosť - rovnakú na všetkých miestach plechu, dobrú húževnatosť a výbornú opracovateľnosť a technológičnosť. Štruktúra ocele Weldox je jemnozrná a je tvorená horným a dolným bainitom, pričom horný bainit prevažuje, ale vyskytujú sa tu aj zrná acikulárneho feritu.

Použitie ocelí Weldox vo zvaraných konštrukciách prinieslo zníženie hmotnosti plechu a z toho vyplývajúce aj nižšie náklady pri zvaraní. Vysokopevná oceľ Weldox sa podieľala na revolúcii v rozvoji pojazdných žeriavov. Využitím pevnosti týchto ocelí sa max. nosnosť žeriavov osemnásobne zvýšila bez zvýšenia hmotnosti [2].

Ďalšie uplatnenie našla táto oceľ pri výrobe podvalníkov pre ťažkú dopravu, pre privádzacie potrubia, zariadenia pre bane, korby áut, poľnohospodárske stroje, bankské výstuže, plášte ponoriek, mosty a ďalšie aplikácie.

Najčastejšie sa oceľ Weldox 700 zvara a preto pri zisťovaní vlastností zvarových spojov je nutné poznať jej termickú stabilitu.

### Experimentálny materiál

Na experimenty bola použitá vysokopevná oceľ zo švédskej produkcie firmy SSAB Oxelösund - Weldox 700. Chemické zloženie tejto ocele je v tabuľke 1 a jej základné mechanické vlastnosti uvádza tabuľka 2 a 3.

CHEMICKÉ ZLOŽENIE OCELE WELDOX 700

Tabuľka 1

hmot.%	C	Si	Mn	P	S	B	Nb	Cr	V	Cu	Ti	Al	Mo	Ni	N
WELDOX 700	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	max.	min.	max.	max.	max.
	0,20	0,60	1,60	0,020	0,010	0,005	0,04	0,70	0,09	0,30	0,04	0,015	0,70	2,0	0,015

Uhlíkový ekvivalent je vypočítaný podľa IIW (Internationale Institute of Welding) :  
 oceľ Weldox 700 má pri hrúbke  $t = 4$  až 130 mm  $CE = 0,39 - 0,64$

MECHANICKÉ VLASTNOSTI OCELE WELDOX 700

Tabuľka 2

Weldox	Hrúbka plechu	Medza sklzu [MPa]	Medza pevnosti [MPa]	Ťažnosť		Tvrdosť HB
				A <sub>5</sub> [%]	A <sub>50</sub>	
700	4 - 50	700	780 - 930	14	18	260
	50 - 100	650	780 - 930	14	18	
	100 - 130	630	710 - 900	14	18	

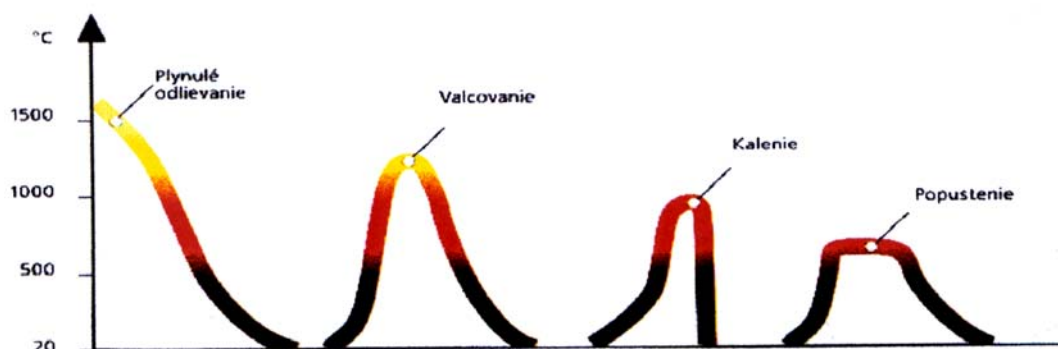
Číslo v názve oceli znamená medzu sklzu  $R_{p\ 0,2}$  [ $N \cdot mm^{-2}$ ]. Oceľ sa dodáva v troch prevedeniach [1]. **D** - rázová húževnatosť sa testuje pri  $-20\ ^\circ C$ , **E** - rázová húževnatosť sa testuje pri  $-40\ ^\circ C$ , **F** - rázová húževnatosť sa testuje pri  $-60\ ^\circ C$ .

NÁRAZOVÁ PRÁCA PRE SKÚŠKU RÁZOVEJ  
HÚŽEVNATOSTI OCELE WELDOX700

Tabuľka 3

Weldox	Minimálna hodnota nárazovej práce [J] pri danej teplote			
	0° C	-20° C	-40° C	-60° C
<b>700D</b>	30	27	-	-
<b>700E</b>	35	30	27	-
<b>700F</b>	40	35	30	27

Ocele Weldox nie sú vhodné pre aplikácie vyžadujúce prácu pri teplotách nad  $580\ ^\circ C$ , pretože materiál stráca svoje dobré vlastnosti dané mechanickým a tepelným spracovaním, ktoré je znázornené na obrázku 1.



*Obr. 1 Tepelné spracovanie ocele Weldox 700*

**Dosiahnuté výsledky a diskusia**

Vzorky boli austenitizované pri teplotách  $900\ ^\circ C$  až  $1300\ ^\circ C$  po  $50\ ^\circ C$  (9 teplôt) 30 minút v peci bez ochrannej atmosféry. Následne boli ochladené na vzduchu. Vzorky 1 – 7 sa ohrievali v elektrickej komorovej peci typu LM 212. 1 a vzorky 8 a 9 sa ohrievali v rúrkovej peci s ochrannou atmosférou argónu. Ohrev ocele je sprevádzaný povrchovou oxidáciou, ktorá býva pri vyšších teplotách sprevádzaná oduhlíčením povrchových vrstiev. Ochrana vzoriek pred oxidáciou bola zabezpečená ich uzavretím do ocelových rúrok o priemere 25 mm a s hrúbkou steny 3 mm. Voľné konce sa hermeticky uzavreli zvaráním v  $CO_2$ . Skúška tesnosti sa urobila v nádobe s vodou. Teplota vzoriek bola sledovaná termočlánkom, ktorý bol umiestnený na vzorkách. Po ochladení boli vzorky z rúrok vybrané. Aby sme mohli stanoviť veľkosť zrna, museli sme vzorky štandardne metalograficky pripraviť. Po metalografickej príprave sa vyvolali fotografie na svetelnom mikroskope NEOPHOT 32 pri rôznych

zváženiach. Na stanovenie veľkosti zrna ocele Weldox 700 sme použili lineárnu metódu [3], pomocou ktorej bol vypočítaný stredný rozmer zrna.

$$\text{Stredný rozmer zrna } d_{st} = \frac{\sum L}{z \cdot n} \quad [\text{mm}]$$

kde  $z$  je zväčšenie,  $n$  je celkový počet zŕn preťatých úsečkami a  $\sum L$  je celková dĺžka úsečiek v mm.

$$\text{Stredný počet zŕn } N_{st} = \frac{1}{d_{st}^2} \quad [\text{mm}^{-2}]$$

Merná dĺžka hraníc plošného zrna  $P_L$  a merný povrch zŕn  $S_V$ :

$$P_L = \frac{n}{L} \quad [\text{mm}^{-1}]$$

$$S_V = 2 \cdot P_L \quad [\text{mm}^{-2}]$$

Chyba merania sa určí zo vzťahu :

$$\varepsilon = \frac{K \cdot t}{\sqrt{n}} \cdot 100\% \quad [\%]$$

kde  $K$  je koeficient súvisiaci s typom štruktúry,  $t$  je smerodajná odchýlka a  $n$  je počet bodov v meraní.

Na každú štruktúru boli položené úsečky o dĺžke 5635 mm, započítavali sa zrná preťaté úsečkami. Hodnoty vypočítaných veličín aj s chybou merania  $\varepsilon$  sú uvedené v tabuľke 4.

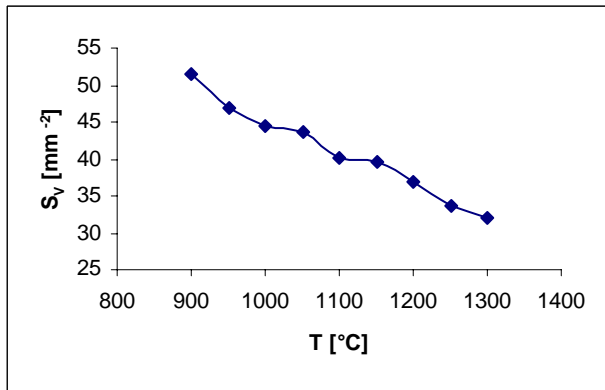
#### VPLYV TEPLoty AUSTENITIZÁCIE NA VEĽKOSŤ ZRNA OCELE WELDOX 700

Tabuľka 4

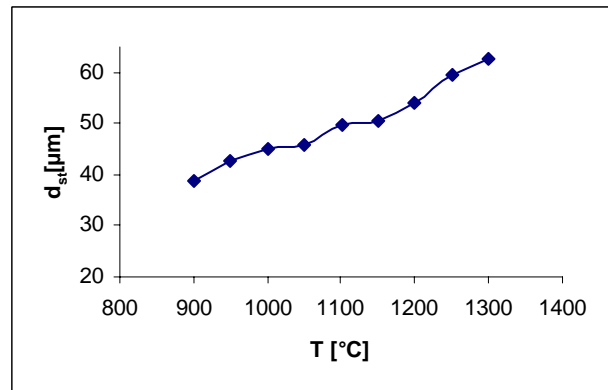
T [°C]	$P_L$ [mm <sup>-1</sup> ]	$S_V$ [mm <sup>-2</sup> ]	$d_{st}$ [μm]	$N_{st}$ [mm <sup>-2</sup> ]	$\varepsilon$ [%]
900	25,7	51,3	38,9	660,9	6,3
950	23,4	46,8	42,7	548,5	6,6
1000	22,2	44,5	44,9	494,5	6,7
1050	21,8	43,6	45,8	476,1	6,8
1100	20,1	40,1	49,9	402,1	7,1
1150	19,8	39,6	50,5	392,1	7,1
1200	18,5	36,9	54,1	341,3	7,4
1250	16,8	33,6	59,5	282,8	7,8
1300	15,9	31,9	62,7	254,5	8,0

Z tabuľky 4 boli urobené grafické závislosti, ktoré na obrázku 2 a 3. Na obr. 2 je zobrazená grafická závislosť merného povrchu zŕn a stredného rozmeru zrna od teploty austenitizácie. Merný povrch zŕn rovnomerne klesá s teplotou. Stredný rozmer zrna s teplotou austenitizácie rovnomerne rastie až po teplotu 1100 °C, kedy dôjde k intenzívnemu rastu zrna. Hodnoty

stredného rozmeru zrna sa pohybovali od 38,9  $\mu\text{m}$  pri teplote 900  $^{\circ}\text{C}$  až do 62,7  $\mu\text{m}$  pri teplote 1300  $^{\circ}\text{C}$ .



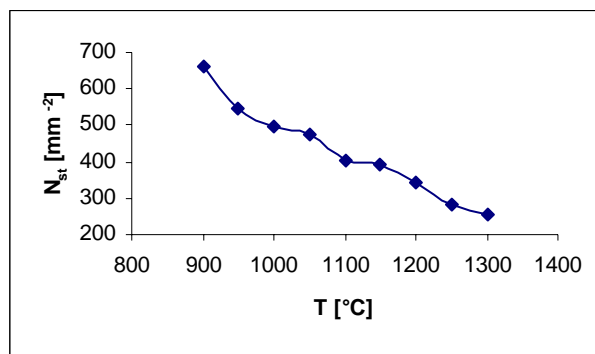
a)



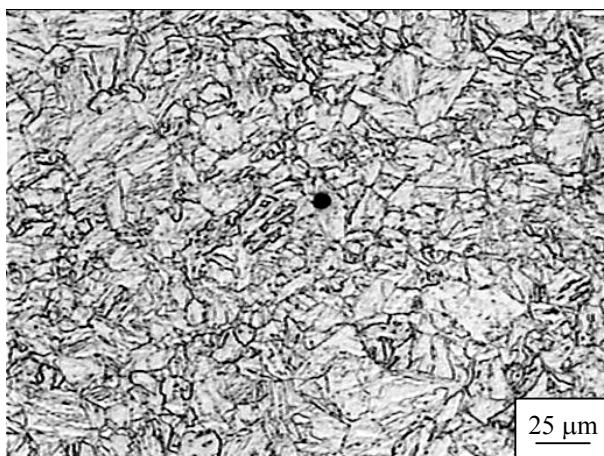
b)

*Obr. 2 Závislosť merného povrchu zrn (a) a stredného rozmeru zrna (b) od teploty austenitizácie*

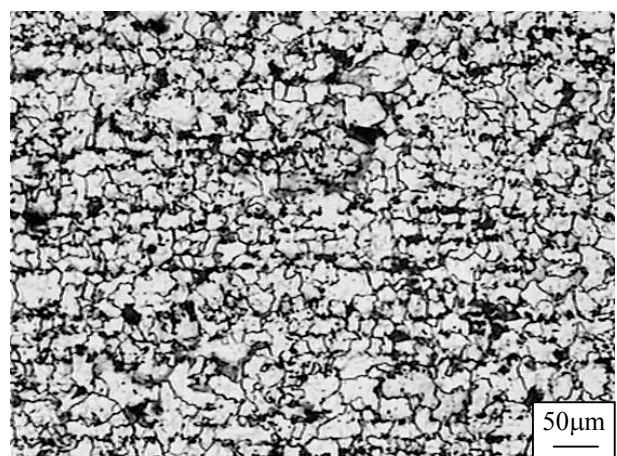
Na obr. 3 je zobrazená závislosť stredného počtu zrn od teploty austenitizácie. Stredný počet zrn so stúpajúcou teplotou nerovnomerne klesá, pohybuje sa v rozmedzí od 660,9  $\text{mm}^{-2}$  až do 254,5  $\text{mm}^{-2}$ . Pri teplote 1100  $^{\circ}\text{C}$  dochádza k výraznému poklesu v počte zrn.



*Obr. 3 Závislosť stredného počtu zrn od teploty austenitizácie*



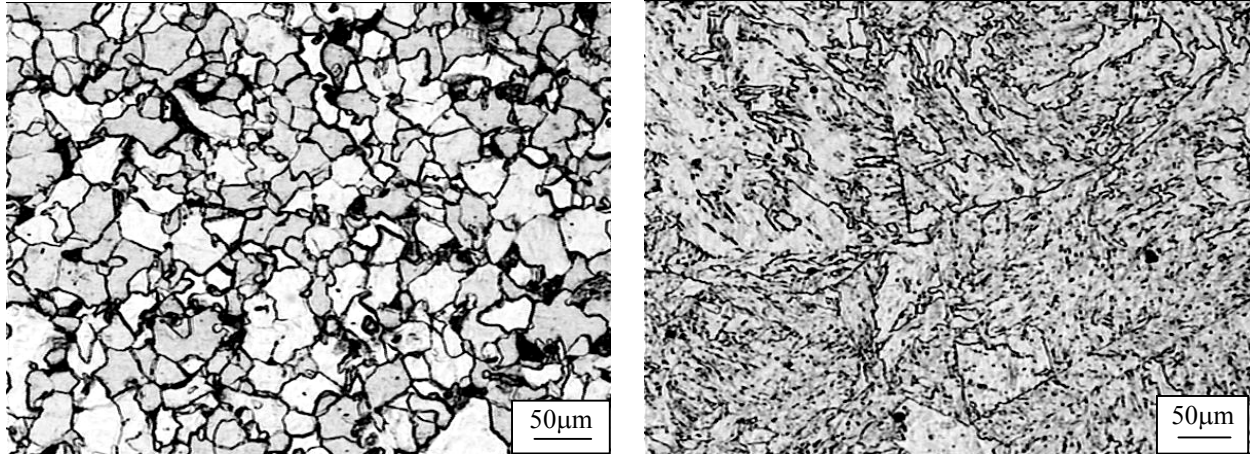
a) východiskový stav, ferit a bainit



b) austenitizovaná pri teplote 900 $^{\circ}\text{C}$ /30 minút

**Obr. 4** Mikroštruktúra ocele Weldox 700

Príklady mikroštruktúr znázorňuje obrázok 4 a 5. Východisková mikroštruktúra ocele Weldox 700 (obr. 4a) je tvorená feritom a bainitom. Vzorka austenitizovaná pri teplote 900°C (obr.4b) má pomerne malú veľkosť zrna v porovnaní s mikroštruktúrou ocele, ktorá bola austenitizovaná pri kritickej teplote rastu zrna 1100°C (obr.5a). Maximálny nárast zrna pri teplote austenitizácie 1300°C je uvedený na obrázku 5b.



a) austenitizovaná pri teplote 1100°C/30 minút      b) austenitizovaná pri teplote 1300°C/30 minút

**Obr. 5** Mikroštruktúra ocele Weldox 700

Vyhodnotením údajov sa zistilo, že k intenzívnemu rastu zrna dochádza od teploty austenitizácie 1100 °C, kedy je stredný rozmer zrna  $d_{st} = 49,9 \mu\text{m}$ . Pri tejto teplote nastal aj intenzívny pokles stredného počtu zrn,  $N_{st} = 402,1\text{mm}^{-2}$ .

Pri zváraní ocelí Weldox 700 nie je problém pevnosť zvarového spoja, ale rázová húževnatosť v teplom ovplyvnenej oblasti. Pri raste zrna v oceli vplyvom teplotného cyklu pri zváraní, dochádza ku vzniku nepriaznivých krehkolomných štruktúr (napr. horný bainit), čo znižuje rázovú húževnatosť zvarového spoja. Pre oceľ Weldox 700 je kritickou teplotou rastu zrna teplota 1100 °C, čo treba zohľadniť pri návrhu metódy zvárania a parametrov zvárania.

#### Zoznam bibliografických odkazov:

- [1] HRIVŇÁK,I., JANÁK, G. Výskum zvariteľnosti vysokopevných ocelí. In *Zváranie*, 1997, 46, 1.
- [2] Katalóg firmy SSAB Oxelösund: Hardox, Weldox svařování.
- [3] Norma STN 420462, *Stanovenie veľkosti zrna ocelí a neželezných kovov*.