

**KVALITET VRUĆE VALJANIH PLOČA OD LEGIRANIH  
VATROOTPORNIM ČELIKAMA 10CrMo9-10 I X11CrMo5**

**QUALITY OF HOT ROLLED PLATES FROM ALLOYED FIRE  
RESISTANT STEEL 10CrMo9-10 AND X11CrMo5**

**Aida Imamović, dr.sc.**  
**Mirsada Oruč, dr.sc.**  
**Milenko Rimac, dr.sc.**  
**Raza Sunulahpašić, dr.sc.**  
**Metalurško-tehnološki fakultet,**  
**Univerzitet u Zenici, BiH**

**Gorazd Kosec, dr.sc.**  
**SIJ Acroni, Jesenice, Slovenia**

**Amra Talić-Čikmiš, dr.sc.**  
**Mašinski fakultet,**  
**Univerzitet u Zenici, BiH**

**REZIME**

*Vatrootporni fino-zrnasti čelici oznaka SIQUAL 7362 i SIQUAL 7380, odnosno X11CrMo5 i 10CrMo9-10 (EN oznaka) su specijalni legirani konstrukcijski čelici otporni na visok pritisak i na dejstvo visokih temperatura, a koriste se za izradu vruće-valjanih ploča koje su namijenjene za određene proizvode u industriji. Vruće valjanje se provodi po standardnoj tehnologiji SIJ Acroni. Naknadna termička obrada primjenom normalizacije, kalenja i popuštanja odvija se u skladu sa tehnologijama koje se provode kod visoko-čvrstih, sitno-zrnastih konstrukcionih čelika, i usklađena je sa parametrima koji obezbjeđuju obrazovanje fine sitno-zrnaste mikrostrukture, koja utiče na ostvarenje propisanih mehaničkih i tehnoloških svojstava. Znači na kvalitet proizvoda i postizanje zahtijevanih mehaničkih svojstava najviše utiču mikrostruktura i veličina zrna. U ovom radu uz propisanu tehnologiju izrade prikazana je veličina zrna, mikrostruktura i dobijene vrijednosti udarnog rada loma (žilavosti) na sobnoj temperaturi.*

**Ključne riječi:** legirani čelici, mikrostruktura, veličina zrna, udarni rad loma

**ABSTRACT**

*Refractory fine-grained steels marked SIQUAL 7362 and SIQUAL 7380, i.e. X11CrMo5 and 10CrMo9-10 (EN mark) are special alloy structural steels resistant to high pressure and high temperatures, and are used for the production of hot-rolled plates that are intended for certain products in the industry. Hot rolling is carried out according to standard SIJ Acroni technology. The subsequent heat treatment using normalization, tempering and softening takes place in accordance with the technologies used for high-strength, fine-grained structural steels, and is harmonized with the parameters that ensure the formation of a fine fine-grained microstructure, which affects the realization of the prescribed mechanical and technological properties. This means that the quality of the product and the achievement of the required mechanical properties are mostly influenced by the microstructure and grain size. In this paper, along with the prescribed production technology, the grain size, microstructure and obtained values of the impact energy (toughness) at room temperature are presented.*

**Key words:** alloy steels, microstructure, grain size, impact energy

## 1. UVOD

Ploče od čelika koji imaju EN oznaku 10CrMo9-10 i oznaku X11CrMo5, tj. brojčanih EN oznaka 1.7380 i 1.7362 su čelici internih oznaka proizvođača SIQUAL 7380 i SIQUAL 7362 proizvedene su iz dvije taline prema standardu EN 10028-2:2017 [1, 2]. Standard propisuje hemijski sastav, mehanička svojstva na sobnim i povišenim temperaturama sa garantovanim žilavosti na sobnim i povišenim temperaturama u uzdužnom presjeku od 41 J.

Na pločama od čelika SIQUAL 7362 i SIQUAL 7380, ispitivanje žilavosti izvršeno je po propisanom standardu na temperaturi od +20°C, te su dodatno izvršena ispitivanja veličine zrna i mikrostrukture. Ispitivanja su izvršena po standardnim metodama u akreditovanom Mehničkom i Metalografskom laboratoriju Instituta "Kemal Kapetanović" Univerziteta u Zenici. Ispitivanje žilavosti na temperaturi od +20°C, veličine zrna i mikrostrukture provedeno je na uzorcima od jedne ploče od čelika SIQUAL 7362 i šest ploča od čelika SIQUAL 7380. Žilavost, veličina zrna i mikrostruktura su svojstva pored hemijskog sastava i mehaničkih svojstava na sobnim ali i povišenim temperaturama koja su važni pokazatelji kvaliteta proizvedenih ploča po standardima EN 10025-6:2019 i EN 10028-2:2017 i ona su uglavnom i sastavni dio Certifikata koji se izdaje kupcu u svrhu verifikacije kvaliteta.

## 2. VATROOTPORNI ČELICI 10CrMo9-10 I X11CrMo5

Vatrootporni fino-zrnasti čelici 10CrMo9-10 (SIQUAL 7380) i X11CrMo5 (SIQUAL 7362), su specijalni konstrukcijski čelici otporni na visoki pritisak i na dejstvo visokih temperatura, a koriste se za izradu vruće-valjanih ploča izrađenih po standardu EN 10028-2:2017 (Flat products of Steels pressure purposes-Part 2: Non-alloy steels with specified elevated temperature properties - Plosnati proizvodi izrađeni od čelika za rad pod pritiskom-Dio 2; Nelegirani i legirani čelici sa specifikiranim svojstvima na povišenoj temperaturi).

Čelici se uglavnom koriste u konstrukciji kotlova i pristroja za bubnjeve kotlova i posude pod pritiskom. Materijali su prikladni za upotrebu na temperaturi od 450°C do 600°C. Oni su legirani s kromom i molibdenom, koji su uglavnom nosioci fiziko-metalurških i tehnoloških svojstava u toku eksploatacije na povišenim temperaturama. Mikrostruktura je formirana u zavisnosti od primjenjene termičke obrade, a uglavnom se nakon vruće prerade vrši kaljenje i popuštanje, što utiče na vrijednosti mehaničkih svojstava na sobnim i povišenim temperaturama. Osnovni zadatak je da se mikrostruktura pri dugotrajnoj eksploataciji na povišenoj temperaturi održava stabilnom ili da se obezbijedi kontrolisana degradacija u toku eksploatacije. Krom i molibden utiču na povećanje čvrstoćnih svojstava, posebno na povišenim temperaturama, i otpornosti na puzanje. Njihovo djelovanje je uglavnom vezano sa kinetikom izlučivanja karbida u toku ojačavanja i naknadne termičke obrade. Krom također utiče na sprječavanje oksidacije na povišenim temperaturama [3]. Standard EN 10028-2:2017 propisuje vrijednosti za zatezne karakteristike i otpornost na puzanje, te otpornost na stvaranje pukotina uzrokovanih prisustvom vodonika što nije bilo predmet ispitivanja i analize u ovom radu [4].

## 3. TEHNOLOGIJA IZRADE

Vruće valjanje navedenih kvaliteta čelika je izvršeno po standardnoj tehnologiji SIJ Acroni. U tehnološkom procesu valjanja, materijal se ulaže u potisnu peć koja je zagrijana na temperaturu 1300°C, sa progrijavanjem u vremenu od jedan sat u peći. U određenim slučajevima to vrijeme se može produžiti, što svakako može uticati na mikrostrukturu i mehanička svojstva, a posebno na veličinu zrna. Također, temperatura završetka valjanja koja često varira, može imati uticaj na obrazovanu mikrostrukturu i veličinu zrna. Sve navedene pojave mogu proizvesti i određene nehomogenosti u mikrostrukturi.

Termička obrada primjenom normalizacije, kaljenja i popuštanja odvija se po tehnološkim postupcima SIJ Acroni (podatke zadržava kompanija), a u skladu sa tehnologijama koje se

provode kod visoko-čvrstih, sitno-zrnastih konstrukcionih čelika, i usklađene su sa parametrima koji obezbjeđuju obrazovanje fine sitno-zrnaste mikrostrukture, koja može ostvariti propisana mehanička i tehnološka svojstva.

#### 4. EKSPERIMENTALNA ISPITIVANJA

Standard EN 10028-2:2017 za isporuku ploča od navedenih vatrootpornih čelika propisuje hemijski sastav, zatezne karakteristike na sobnim i povišenim temperaturama, otpornost na puzanje, otpornost na nastanak pukotina uslijed prisustva vodonika, te žilavosti na uzdužnom presjeku na temperaturama: -20°C, 0°C i +20°C. U okviru ovog rada prikazana su provedena ispitivanja žilavosti na uzdužnom i poprečnom presjeku uzoraka ploča, samo na temperaturi +20°C te ispitivanje mikrostrukture i određivanje veličine zrna na poprečnom presjeku koje standard ne propisuje ali su značajni s aspekta kvaliteta materijala.

##### 4.1. Hemijski sastav

Hemijski sastav proizvedenih ploča od čelika SIQUAL 7362 i SIQUAL 7380 dat je u tabeli 1. Hemijski sastav talina za navedene kvalitete čelika u potpunosti zadovoljava propise iz standarda EN 10025-6 i EN 10028-2:2017 kako za osnovne elemente, tako i za sadržaj aluminija koji reguliše sadržaj azota i koji ga prevodi u stabilan mikrokonstituent. Taline su urađene s visokim stepenom čistoće u pogledu sadržaja sumpora i fosfora. Na osnovu toga može se zaključiti da ovakav hemijski sastav i čistoća kod ovih čelika omogućava da se izrade ploče koje ispunjavaju sva standardnom propisana fiziko-metalurška i tehnološka svojstva.

Tabela 1. Hemijski sastav proizvedenih talina

Talina	Sadržaj elemenata, %													
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Cu	Ni	Al	Mo	Ti	Nb	N	B
<b>Propis</b>	0,10-0,15	Max 0,50	0,4-0,80	Max 0,002	Max 0,005	4,0-6,0	Max 0,3	**	*	0,45-0,65	**	**	Max 0,012	Max 0,0001
<b>SIQUAL7362</b>	0,11	0,24	0,48	0,008	0,0006	4,13	0,18	0,32	0,019	0,50	0,002	0,0063	0,007	0,0001
<b>Propis</b>	0,08-0,14	Max 0,50	0,40-0,80	Max 0,002	Max 0,001	2,0-2,5	Max 0,3	**	*	0,90-1,10	**	**	Max 0,0012	Max 0,0001
<b>SIQUAL7380</b>	0,129	0,31	0,49	0,004	0,0003	2,05	0,17	0,23	0,019	0,94	0,0027	0,005	0,0074	0,0001

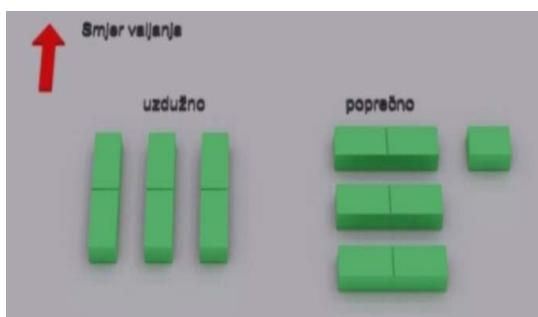
\* Po standardu se ne navodi sadržaj aluminija jer je u interakciji sa prisustvom azota,

\*\* Nije propisan sadržaj

Hemijski sastav, tehnologija prerade i termičke obrade normalizacijom, kalenjem i popuštanjem, preferiraju obrazovanje sitnozrnaste mikrostrukture (beinit, ferit i karbidi), karakterične za mikrostrukturu nakon kaljenja i popuštanja.

##### 4.2. Veličina zrna

Na slici 1. je šematski prikazana ispitna ploča, sa ucrtanim položajem epruveta za ispitivanje žilavosti (udarnog rada loma) na uzdužnom i poprečnom presjeku, kao i položaj uzorka za određivanje veličine zrna.



Slika 1. Položaj epruveta za ispitivanje žilavosti i uzoraka za određivanje veličine zrna

Ispitivanje veličine zrna izvršeno je u Metalografskom laboratoriju Instituta, po standardu ASTM E 412- Plate13 (Standardne metode ispitivanja veličine zrna- Standard Test Methods for Determining Average Grain Size) [5]. Rezultati ispitivanja veličine zrna, dati su u tabeli 2.

Tabela 2. Rezultati ispitivanja veličine zrna

Čelik	D mm	Veličina zrna			
		P	Dmax	Dmin	Primjedba
SIQUAL 7362	10,44	8,0	-	-	Homogena
SIQUAL 7380	25,27	8,0	-	-	Homogena
SIQUAL 7380	25,29	8,0	-	-	Homogena
SIQUAL 7380	30,34	8,0	-	-	Homogena
SIQUAL 7380	30,30	8,0	-	-	Homogena
SIQUAL 7380	30,30	8,0	-	-	Homogena
SIQUAL 7380	30,32	8,0	-	-	Homogena

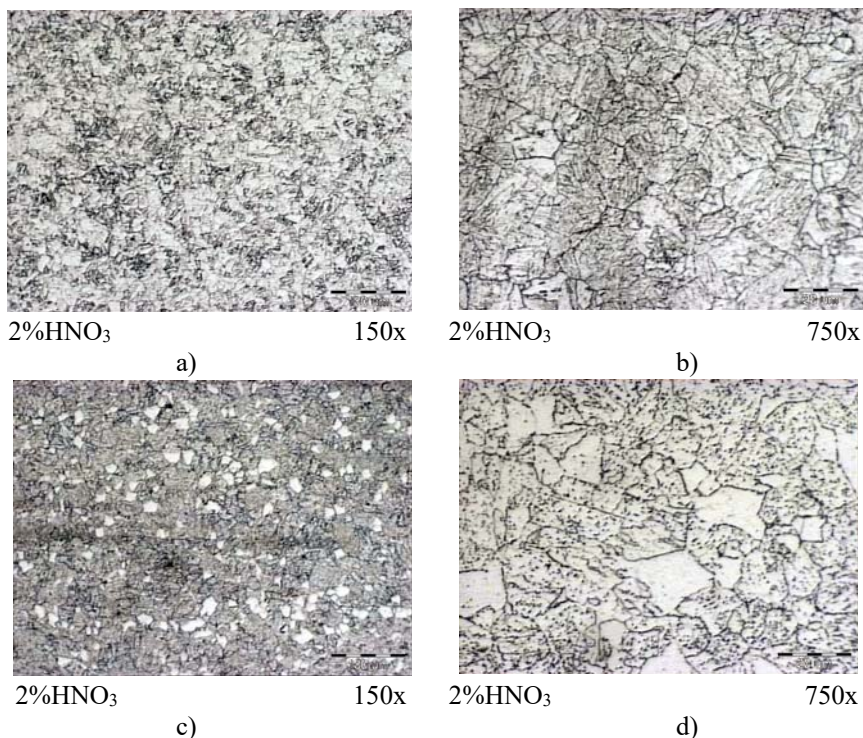
Legenda: D-debljina uzorka, P - Prosječna veličine zrna

Uzorci od ispitnih ploča proizvedenih od čelika SIQUAL 7362, i SIQUAL 7380, bez obzira na različitu debljinu, imaju također homogenu sitno-zrnastu strukturu prosječne veličine zrna 8,0.

Smanjene anizotropije kod vruće valjanih ploča je važan metalurški zadatak, pa se nastoji, da proizvedene ploče imaju što veću ujednačenost veličine zrna i mikrostrukture na uzdužnom i poprečnom presjeku, što je važno za mehanička svojstva, a posebno za žilavost na sniženim temperaturama.

#### 4.3. Ispitivanje mikrostrukture

Ispitivanje mikrostrukture izvršeno je u Metalografskom laboratoriju Instituta, po standardu ASTM E 407-07 (Upotstvo za nagrivanje metala i legura - Practice For Microetching Metals and Alloys). Ispitivanje je izvršeno nakon nagrivanja u 2% HNO<sub>3</sub> na povećanjima od 150x i 750x, na optičkom mikroskopu Olympus PMG 3 Software Analisis 5.1. Mikrostrukture uzoraka prikazane pod različitim povećanjima date su na slici 2. Ploče od navedenih čelika imaju homogenu beinitno-feritnu mikrostrukturu sa izdvojenim grubim karbidima koagulisano cementita, te karbida kroma i molibdena.



Slika 2: Mikrostrukture: a i b ploča od SQUAL 7362 (beinit, ferit i karbidi), c i d ploča od SQUAL 7380 (beinit, ferit i karbidi)

#### 4.4. Ispitvanje udarnog rada loma

Mehanička svojstva ovih čelika propisana su standardom EN 10028-2:2017 te su data u tabeli 3.

Tabela 3. Mehanička svojstva vruće valjanih ploča od čelika SQUAL 7362 I SQUAL 7380

Čelik	Stanje	$R_{eH}$ , Min.	$R_m$	$A$ , Min.	Udarni rad loma-Charpy, J, Min.	
		MPa	MPa	%	Uzdužno	Poprečno
SQUAL 7362	NT	320	510 - 690	20	40*	-
SQUAL7380	NT ili QT	310	480 - 630	18	31*	-

\*Udarni rad loma (žilavost), KV u J, na temperaturi od +20°C, QT - Kaljeno i popušteno (poboljšano); NT - Normalizovano i popušteno;  $R_{eH}$  - Gornji napon tečenja;  $R_m$  - Zatezna čvrstoća; A - Izduženje

Provedena ispitivanja udarnog rada loma data su u tabeli 4. za uzorke od jedne taline iz kvaliteta SQUAL 7362 i šest talina za kvalitet SQUAL 7380.

Tabela 4. Udarni rad loma na uzdužnom i poprečnom presjeku ploča na temperaturi +20°C

Čelik	D	Udarni rad loma (Charpy V), J							
		Uzdužno				Poprečno			
		1	2	3	P	1	2	3	P
SIQUAL7362	10,44	255	257	277	263	292	284	280	285
SIQUAL7380	25,27	257	261	257	258	271	267	267	268
SIQUAL7380	25,29	249	264	260	258	242	257	269	256
SIQUAL7380	30,34	257	251	253	253	253	269	257	260
SIQUAL7380	30,30	261	250	235	249	249	277	264	271
SIQUAL7380	30,30	273	259	249	260	253	257	257	256
SIQUAL7380	30,32	245	269	232	249	259	257	261	259

Svih sedam ispitnih ploča, i to jedna od čelika SIQUAL 7362, i ostalih šest od čelika SIQUAL7380, imaju sve pojedinačne i srednje vrijednosti (P) na uzdužnom i poprečnom presjeku, značajno iznad propisane donje granice za žilavost na temperaturi od +20°C. Svi uzorci ploča od dvije vrste čelika, imaju ujednačene vrijednosti žilavosti na uzdužnom i poprečnom presjeku, a zapaža se da su vrijednosti žilavosti kod nekih veće na poprečnom, u odnosu na uzdužni presjek, što se može pripisati i veličini zrna te mikrostrukтури s prisustvom karbida različitog sastava. Ostvarena mikrostruktura i veličine zrna kod ispitanih uzoraka ploča, su svakako uticali na ostvarene izuzetno visoke vrijednosti rezultata udarnog rada loma (žilavosti).

## 5. ZAKLJUČAK

Hemijski sastav proizvedenih ploča od čelika SIQUAL.7362 i SIQUAL7380, u potpunosti zadovoljava propise iz standarda EN 10025-6 i EN 10028-2 kako za osnovne elemente, tako i za sadržaj aluminija koji reguliše sadržaj azota.

Termička obrada primjenom normalizacije, kaljenja i popuštanja odvija se u skladu sa tehnologijama koje se provode kod visoko-čvrstih, sitno-zrnastih konstrukcionih čelika, koji obezbjeđuju obrazovanje fine sitno-zrnaste mikrostrukture. Ispitane ploče, i to jedna od čelika SIQUAL7362, i ostalih šest od čelika SIQUAL 7380, imaju sve pojedinačne i srednje vrijednosti na uzdužnom i poprečnom presjeku, znatno iznad propisane donje granice za žilavost ispitanoj na temperaturi od +20°C. Čelici SIQUAL 7362 i SIQUAL 7380, koji također bez obzira na debljinu imaju homogenu sitnozrnastu strukturu prosječne veličine zrna od 8,0. Ploče od navedenog čelika imaju homogenu beinitno-feritnu mikrostrukturu sa izdvojenim grubim karbidima modificiranog cementita, te karbida kroma i molibdena.

Iz rezultata ispitivanja se može samo zaključiti o vezi između veličine zrna i mikrostrukture te udarnog rada loma a također može se utvrditi da je propisana tehnologija proizvodnje čelika, tehnologija plastične i termičke obrade to omogućila.

## 6. LITERATURA

- [1] SIQUAL 7380 Steel (Mat.No. 1.7380, DIN 10CrMo9-10, AISI ...) <https://steelselector.sij.si/data>
- [2] SIQUAL 7362 Steel (Mat.No. 1.7362, DIN 12CrMo195, AISI ...) <https://steelselector.sij.si/steels>
- [3] Oruč M., Sunulahpašić R., Hadžalić M.: Ispitivanje materijala visokozahtjevnih komponenti, Fakultet za metalurgiju i materijale, Univerzitet u Zenici, Zenica 2016, pp.2-8, ISBN 978-9958-785-39-9
- [4] EN 10028-2:2017
- [5] ASTM E 412- Plate13