



UNIVERZITET U ZENICI

UNIVERSITY OF ZENICA



METALURŠKI INSTITUT "*Kemal Kapetanović*" ZENICA

O. Beganović, K. Begović, M. Rimac, D. Mujagić, B. Fakić

ISTRAŽIVANJE I RAZVOJ SAVREMENIH METALNIH MATERIJALA ZA PRIMJENU U MODERNIM TEHNOLOGIJAMA

Unapređenje regionalne naučno-istraživačke saradnje između
Republike Slovenije i Bosne i Hercegovine
Zenica, 19.12.2012.

RAZVOJ MATERIJALA

- **Tehnološki i industrijski, a time i civilizacijski napredak, usko je povezan sa razvojem materijala.**
- **Upravo zbog toga pojedine epohe u razvoju civilizacije dobile su ime po materijalu čije korištenje ih je obilježilo (kameni, bakarno, bronzano i na kraju željezno doba koje još uvijek traje).**
- **Pod razvojem metalnih materijala podrazumijeva se razvoj potpuno novih materijala, prilagođenih odgovarajućim eksploatacionim uslovima, kao i unapređenje upotrebnih (eksploatacionih) karakteristika postojećih materijala kako bi odgovorili zahtjevnijim radnim uslovima.**
- **Razvoj novih materijala ili unapređenje upotrebnih karakteristika postojećih materijala zasniva se na korištenju stečenih znanja o ponašanju poznatih materijala u odgovarajućim eksploatacionim uslovima. Stoga navedena, stečena znanja, predstavljaju osnovu za dizajniranje novih materijala i predviđanje njihovih karakteristika.**

RAZVOJ MATERIJALA

- U suštini istraživanje i razvoj novih materijala svodi se na utvrđivanje **funkcionalne veze** između hemijskog sastava legure, njene mikrostrukture i eksploatacionih osobina.
- Odgovarajućim ispitivanjima utvrđena funkcionalna veza određuje **kvalitet** (klasu) proizvedenog materijala, odnosno konkretne legure.
- Mogućnost postizanja željenog kvaliteta legure određena je:
 - uslovima pod kojima se proizvodi, lije i očvršćava tečni metal
 - vrstom plastične prerade (vruća, topla, hladna) i stepenom prerade, ako se materijal plastično prerađuje
 - odabranim postupkom termomehaničke i/ili tremičke obrade
- Uslovi pod kojima se proizvodi tečni metal obuhvataju metalurške uticajne faktore (obloga lonca, troska, atmosfera) koji određuju kvalitet tečnog metala (hemijski sastav i čistoću)
- Uslovi livenja i očvršćavanja tečnog metala određuju strukturnu i hemijsku homogenost odlivka.

EKSPERIMENTALNA ISTRAŽIVANJA

- Institut raspolaže opremom za proizvodnju i plastičnu preradu eksperimentalnih talina (mase 2, 6, 20, 65, 80 ili 100kg) legura na bazi željeza, nikla, bakra i kobalta sa različitim sadržajima legirajućih elementa.

- Izborom odgovarajućeg uređaja za topljenje i/ili pretapanje moguće je eliminisati jedan ili više metalurških uticajnih faktora koji određuju kvalitet tečnog metala:

- obloga
- troska
- atmosfera



Otvorena indukcijska peć (65 kg)

Vakuumske indukcijske peći

- Topljenje u vakuumu ili pod inertnim plinom.
- Eliminisan uticaj **atmosfera i troske.**
- Postoji mogućnost odplinjavanja taline, kao i smanjanje sadržaja ugljika kroz proces vakuumske dezoksidacije.
(Navedeno osigurava dobivanje čistog metala)



Vakuum 10^{-3} Tora

Vakuumska indukcijska peć (20 kg)



Vakuumska indukcijska peć (100 kg)

Uređaji za pretapanje

Uređaji za pretapanje pod elektroprovodnom troskom

Nema uticaja obloge. Uticaj atmosfere može biti značajno smanjen pretapanjem pod argonom. Troska se bira prema efektu koji je potrebno stvoriti (uglavnom odsumporavanje).

Dobiveni ingot (60, 100, ili 250 kg) se karakteriše finom primarnom strukturom, hemijskom homogenošću i površinom bez grešaka. Ukljčci su sitni i fino distribuirani.



Vakuum (10^{-5} - 10^{-5})
Tora



Uređaji za pretapanje elektronskim snopom

Eliminisan uticaj

- obloge,
- troske,
- atmosfere.

Čistoća legure izuzetno visoka. Dobiveni ingot (100 kg) se karakteriše finom primarnom strukturom, hemijskom homogenošću i površinom bez grešaka.

Vruća plastična prerada

Kovanje

Maksimalna težina uložka za presu oko 100 kg.

Dimenzije koje se mogu kovati na zračnom čekiću:
kvadrat: od 50 do 20 mm.



Hidraulična presa 200t



Zračni čekić 250kg

Vruća plastična prerada

Valjanje

- Šipke
- Profili
- Trake



SKET valjaonica $\Phi 370\text{mm}$

Maksimalna dimenzija polaznog profila za SKET valjaonicu: Φ ili kvadrat 70 mm

Dimenzije nakon valjanja:

Šipke: $\Phi 6$ mm i više

Trake: 2 mm i više, max. širine 100mm



Valjaonica $\Phi 230\text{mm}$

Hladna plastična prerada

Vučenje

- Šipke (vučna klupa)
- Žica (dvije vučne mašine)



Vučna klupa

Na vučnoj klupi se mogu vući šipke u području dimenzija od $\Phi 15$ do $\Phi 5$ mm

Na vučnim mašinama se mogu vući žice u području dimenzija od $\Phi 5$ do $\Phi 0,2$ mm



Vučna mašina

Hladna plastična prerada

Hladno valjanje traka

- Debljine traka: 1,5 do 0,05mm
- Širina traka: max. 100mm
- Na cirkularnim makazama moguće je vršiti razrezivanje traka na manje širine



Hladna valjaonica traka LOMA



Cirkularne makaze za rezanje traka

Uređaji za zagrijavanje i termičku obradu



Elektro komorna peć

Za termičku obradu u vakuumu, uglavnom hladno deformisanih proizvoda, na raspolaganju se dvije vakuumske peći od kojih je jedna sa Mo grijačem, a druga sa grijačima od grafita.

Zagrijavanje materijala pred toplu i vruću plastičnu deformaciju obavlja se u elektro komornim pećima sa gijačima od kantala ili SiC grijačima



Peć za termičku obradu u vakuumu

Kratki pregled nekih ranije osvojenih materijala

Tabela 1.

Hladno valjane trake debljine 0,35 do 0,05mm

Osnovne karakteristike magnetno mekih materijala

Oznaka materijala	Orijent. kem. sastav,	%	Magnetne karakteristike (orijentaciono)*		
			Maks. permeabilitet	Koercitivno polje (A/cm)	Statička indukcija (T)
50 Ni	Ni Fe	50 49	40000	0,15	1,25
79 Ni Mo	Ni Mo Fe	79 3,5 15	100000	0,016	0,76
76 Ni Cu	Ni Mo Cu Fe	76 3,5 3,5 15	110000	0,014	0,80
R Fe	Fe	99,5	—	0,80	1,5
R Si	Fe Si	97 3	10000—30000	0,12—0,16	2,1

*) Vrijednost magnetnih karakteristika bitno zavisi od oblika uzorka (trake, masivni komad i sl.)

Tabela 2.

Hemijski sastav i osobine čelika za medicinske namjene

Hladno vučeno ili hladno valjano

Čelik (oznaka po DIN-u)	Stanje isporuke	Dimen. mm	C	Hemijski sastav								R _T	Mehaničke osobine		
				Mn	Si	P	S	Cr	Ni	Mo	Ti		R _M N/mm	S N/mm	Z %
X30Cr13	Vučeno	∅ 12	0,31	0,43	0,35	0,015	0,07	13,0	0,18	—	—	750	830	15	62
X5CrNiMo1812	Vučeno	∅ 8	0,06	1,28	0,85	0,020	0,09	18,0	13,0	2,52	0,30	920	1050	12	67
X5CrNiMo1810	Hladnovaljano i gašeno	≠0,25 × 10	0,04	1,37	0,8	0,015	0,06	17,5	12,5	2,5	—	288	644	49	80

Tabela 3.

Hladno vučeno, žice od 2 do 6mm

Hemijski sastav materijala za izradu elektroda

Oznaka materijala	Sadržaj elemenata, %								
	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Fe
3 Cr Ni	0,03	0,3	1,5	0,018	0,018	19,0	9,5	0,03	ost.
5 Cr Ni	0,05	0,3	1,5	0,018	0,018	19,2	9,5	0,03	ost.
8 Cr Ni	0,06	0,6	0,8	0,017	0,016	19,5	9,2	1,2	ost.
10 Cr Ni	0,08	0,4	2,0	0,017	0,019	27,0	19,8	0,03	ost.
15 Ni	0,05	0,3	0,7	0,008	0,010	—	57,0	—	ost.
8 Ni	0,05	0,12	0,03	—	0,009	—	99,0	—	0,12

Tabela 4.

Hladno valjano, debljine oko 0,3 mm

Hemijski sastav termobimetala TB 1577

Oznaka materijala	C	Si	Mn	P	S	Ni	Fe
komp. A	max 0,06	max 0,30	6,20 6,80	max 0,010	max 0,010	19,0 20,0	ost.
komp. B	max. 0,04	max. 0,30	0,20 0,40	max. 0,010	max 0,010	34,0 36,0	ost.

Tabela 5.

Hemijski sastav legura za termoparove

Hladno vučeno $\Phi 3\text{mm}$

Oznaka legure	Sadržaj elemenata %							
	Ni	Cr	Mn	Si	Al	C	Fe	Cu
KROMEL	90	9,50	0,20	0,25	0,020	0,03	0,15	0,10
ALUMEL	94	0,10	2,50	1,50	1,80	0,02	0,15	0,10

Kovani, vruće valjani ili hladno vučeni u različitim dimenzijama

Grupa materijala	Materijal	Hemijski sastav, %								Zatezna čvrstoća		Mikrostruktura*
		C	Cr	Ni	Co	Ti	Al	Mo	Ostali	Rm, MPa	A, %	
Austenitni čelici	AISI316L N	0,03	17,5	12,5	-	-	-	2,5	N	700	40	A + K
	PH 17 7	0,08	16,5	7,5	-	-	1,2	-	-	1420	10	A+M+ic+K
Maraging čelici	18Ni (200)	0,01	-	18,0	8,5	0,2	0,1	3,3	-	1960	11	M _{Ni} + ic +K
	18Ni (350)	0,01	-	18,0	12,5	1,6	0,1	4,8	-	2450	10	M _{Ni} + ic +K
Superlegure na bazi Ni	Inco 713C	0,12	13,5	bal.	-	0,9	6,0	4,2	Nb, B	1110	30	A+ ic +K
	Nimonic C263	0,06	20,0	51,0	20	2,4	0,6	5,9	B	1100	40	A+ ic +K
	Nimonic 90	0,07	20,0	bal.	18,0	2,5	1,5	-	B	1200	35	A+ ic +K
Superlegure na bazi Co	HS 25	0,05	20,5	9,5	bal.	-	-	-	W	890	35	A+ ic +K

Napomena*A–austenit, M–martenzit, M_{Ni}–niklmartenzit, K–carbonitridi, ic–intermetalno jedinjenje Ni₃(M)

Ostali: konstrukcioni čelici, alatni čelici, čelici za kotrljajne ležajeve, čelici za opruge, čelici i drugi materijali za vojnu i avio industriju

Legure osvojene u okviru saradnje Instituta sa firmama čije je sjedište u Sloveniji

Nitronic 60

- Nitronic 60 je austenitni nehrđajući čelik koji ima odličnu otpornost prema visokotemperaturnoj oksidaciji, visoku otpornost prema trganju metalne površine pod djelovanjem visokog opterećenja između kontaktnih metalnih površina (galling resistant), te dobru otpornost prema habanju.
- Cilj istraživanja je bio utvrđivanje načina sprečavanje pojave δ ferita i definisanje optimalne tehnološke linije za proizvodnju ovoga čelika u vučenom stanju (Φ 3,2 mm)
- δ ferit u značajnijim iznosima smanjuje deformabilnost legure na svim temperaturama i povećava opasnost od izdvajanja krte sigma faze (FeCr).

Oznaka	Sadržaj elementa, wt %								Cr _{ekv} ¹	Ni _{ekv} ²	δ ferita ³
	C	Mn	Si	P	S	Cr	Ni	N			
Propis ASTM A 276	max. 0,10	7,0- 9,0	3,5-4,5	max 0,06	max. 0,03	16,0- 18,0	8,0- 9,0	0,08- 0,18	-	-	-
Talina 1	0,06	7,0	3,6	0,002	0,015	16,5	8,1	0,113	21,9	16,8	3
Talina 2	0,07	7,8	4,2	0,002	0,012	18,0	9,0	0,109	24,3	18,3	8
Talina 3	0,08	7,8	3,6	0,001	0,012	16,8	9,0	0,178	22,2	20,6	0

Napomena: 1. Cr_{ekv} = %Cr+1,5(%Si)

2. Ni_{ekv} = %Ni+30(%C)+30(%N)+0,5(%Mn)

3. Prema revidiranom Schaeffler diagramu [3].

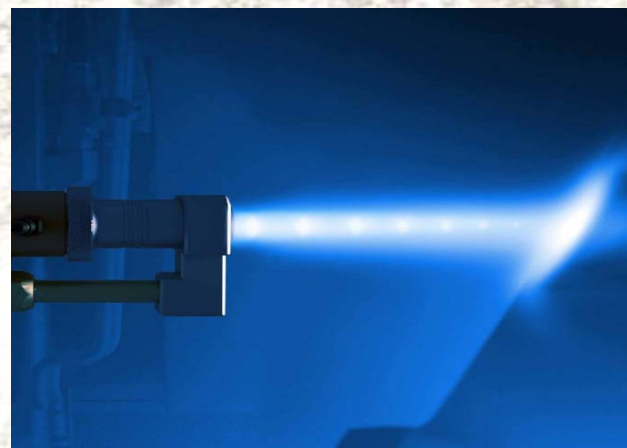
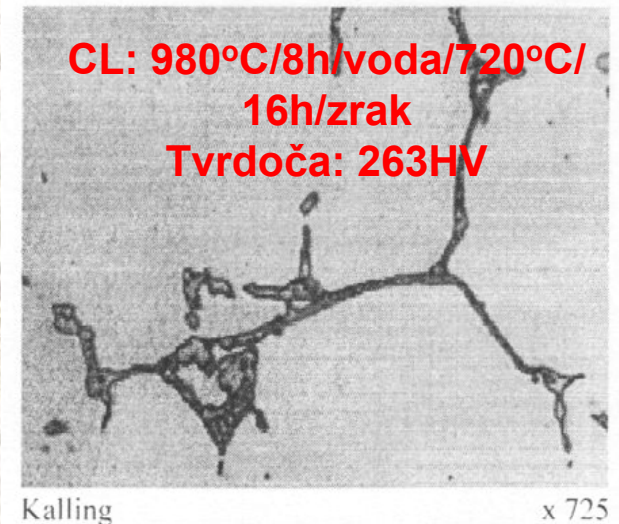
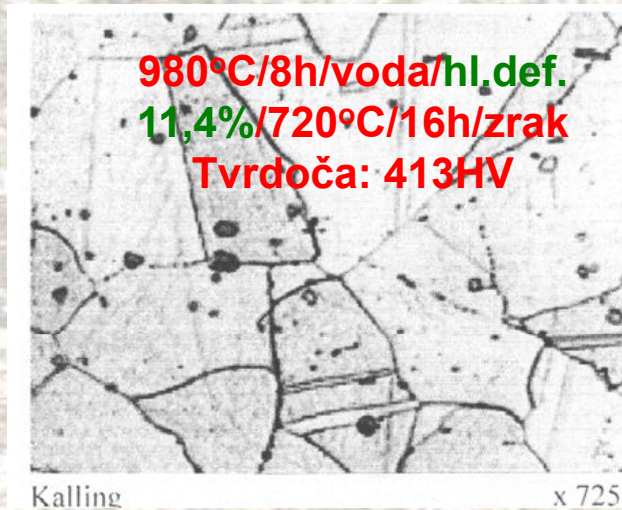
Superlegura na bazi željeza A286

Granice	Sadržaj elemenata, wt. %										
	C	Cr	Si	Mn	Ni	Mo	S	P	Ti	Al	Fe
Min.	-	13,6	-	-	24,0	1.0	-	-	1,90	-	Balance
Max.	0.08	16,0	1,0	2,0	27,0	1.5	0,03	0.04	2.35	0,35	

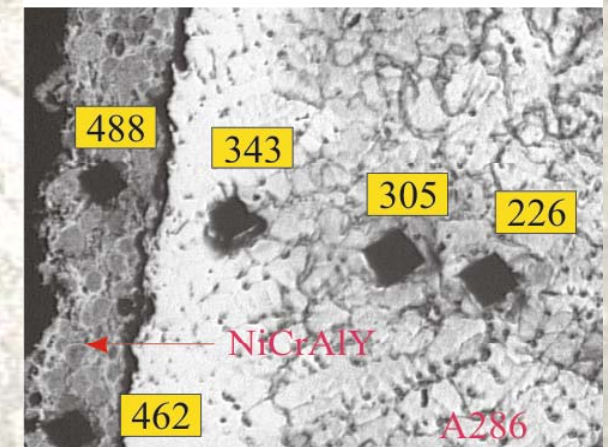
Cilj istraživanja:
 utvrđivanje
 mogućnosti zamjene
 prstenova koji se
 dobiju isjecanjem iz
 hladnovaljanih limova
 sa prstenovima
 isječenim iz
 centrifugalno livenih
 cijevi.

Uslov – postizanje
 tvrdoće između 370 i
 400 HV

Trvdoća legure bez
 hladne deformacije:
 250 do 300 HV10



Formiranje presvlake tipa NiCrAlY



1080°C/8h/voda/740°C/ 8h/zrak

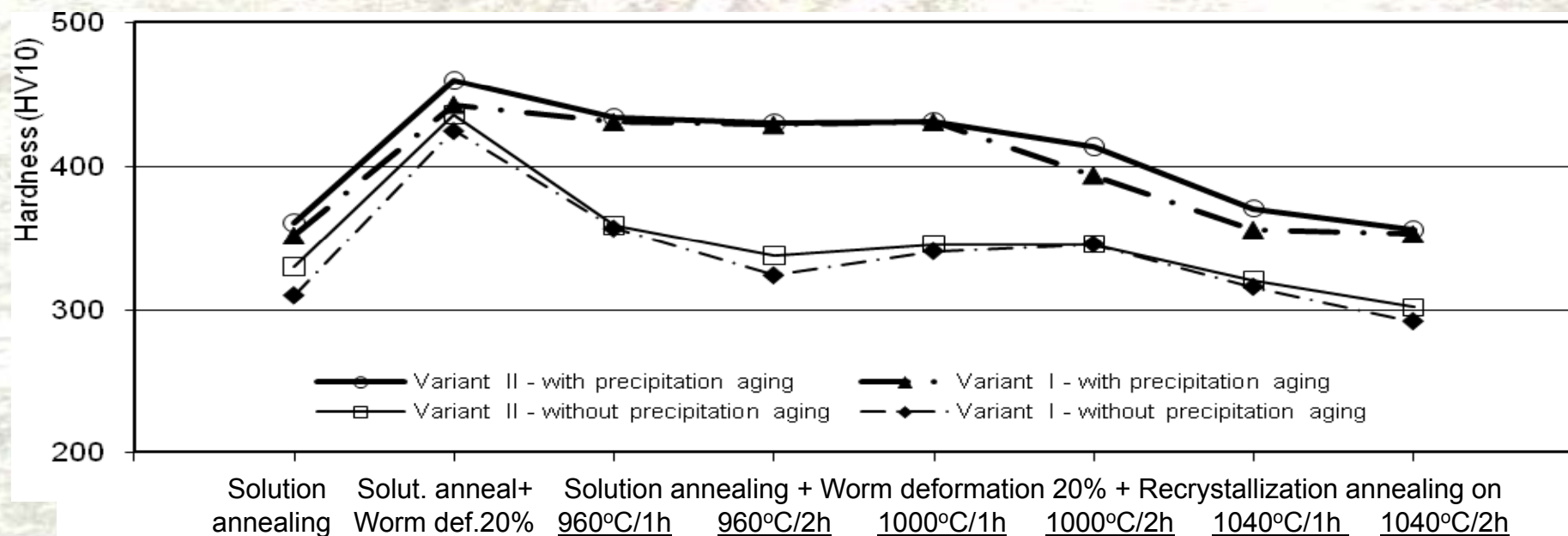
Superlegura na bazi nikla Nimonic 80A

Cilj istraživanja: utvrđivanje mogućnosti proizvodnje šipke Φ 10mm sa tvrdoćom 380 do 440 HV10, te definisanje optimalne proizvodne linije.

Maksimalna tvrdoća superlegure Nimonic 80A koja se može postići u stanju standardne termičke obrade **1080°C/8h/700°C/ 16h** je 360 HV10.

Deformaciono ojačanje je jedini mogući mehanizam dodatnog ojačavanja .

Variant	Content of elements, wt. %										
	C	Cr	Si	Mn	Fe	Co	S	P	Ti	Al	Ni
Variant I	0.05	19.7	0.25	0.03	2.10	1.25	0,007	0.005	2.52	1.32	Balance
Variant II	0.04	20.8	0.23	0.16	1.48	1.30	0,006	0.005	2.68	1.44	



Austenitni nehrđajći čelik X15CrNiSi 20-12

Cilj istraživanja: utvrđivanje mogućnosti proizvodnje čelika iz povratnog materijala (**recikliranje**) nastalog mašinskom obradom istog čelika.

Također, neophodno je bilo definisati optimalnu tehnološku liniju za proizvodnju vruće valjanih šipki kvadrat 36mm ili $\Phi 40$ mm.

Hemijski sastav (%)		
Element	min.	mak.
Ugljik	-	0,20
Silicij	1,50	2,50
Mangan	-	2,00
Krom	19,00	21,0
Nikl	11,00	13,0
Fosfor	-	0,045
Sumpor	-	0,030
Dušik	-	0,11
Ostali pojedinačno	-	0,20
Ostali ukupno	-	2,00
Željezo	Ostatak	

Uslov je bio da se za proizvodnju tečnog metala koristi otvorena indukcijska peć kojom naručilac raspolaže.

Uzorak	Nemetalni uključci ASTM E 45							
	Sulfidi		Silikati		Aluminati		Oksidi	
	Tan-ki	De-beli	Tan-ki	Deb-eli	Tan-ki	Deb-eli	Tan-ki	Deb-eli
Šipka $\Phi 32$	1/2	-	-	-	-	-	1	-
Ingot $\Phi 96$	1	-	-	-	1	-	1 1/2	1
Ingot $\Phi 125$	1	-	-	-	1 1/2	-	1 1/2	1
Ingot kv.140	1/2	-	-	-	1 1/2	2	1 1/2	1
Ingot $\Phi 190$	2 1/2	1 1/2	-	-	1	1 1/2	1	1

	Čelik	NLVČ	X8CrNiS 18-9			Inkas
S a d r ž a j e l e m e n a t a %	C	0,26	0,05	0,05	0,45	0,54
	Si	0,45	0,50	0,50	0,40	1,40
	Mn	0,85	1,60	1,60	1,55	0,65
	P	0,012	0,03	0,03	0,03	0,008
	S	0,004	0,25	0,25	0,33	0,003
	Cr	0,7	17,4	17,4	17,4	1,00
	Ni	1,55	8,35	8,35	8,40	2,70
	Mo	0,40	0,35	0,35	0,35	0,40
	Cu	0,20	0,50	0,50	0,60	0,10
	Al	0,06	-	-	-	0,05
	Ti	-	-	-	-	0,003
	Nb	-	-	-	-	0,006
	V	-	-	-	-	0,035
	W	-	-	-	-	0,008
	B	0,003	0,004	0,004	-	0,003
	Zr	-	0,12	0,12	-	-
Co	-	-	-	-	0,013	
N	-	0,04	0,04	0,04	0,54	
Te		0,015	-	-	-	

Legure osvojene u okviru saradnje Institut - Acroni



**Vruće valjani uzorci debljine
40, 31, 22, 16, 12 i 8 mm**

**• Uzorci niskolegiranog čelika
visoke čvrstoće:**

**Vruće valjane trake debljine
40, 33, 25, 20, 13, 10,
8, 6, 5 i 4,3 mm**

**• Uzorci od čelika Inkas 8.0:
Vruće valjane trake širine 100mm
i debljine 8,0 i 9,2 mm**

ZAKLJUČAK

- Institut raspolaže odgovarajućom opremom, znanjima i iskustvima u području proizvodnje i prerade različitih metalnih materijala.
- U zavisnosti od zahtjevanog kvaliteta i uslova isporuke u mogućnosti smo propisati odgovarajuću tehnologiju izrade, prerade i termičke obrade konkretne legure u laboratorijskim i poluindustrijskim uslovima, te izvršiti transfer tehnologije u industrijske uslove.
- Institut raspolaže ispitnom opremom za utvrđivanje pojedinih karakteristika metalnih materijala. Međutim, očit je nedostatak savremene ispitne opreme, što će se u budućnosti rješavati ili nabavkom nove opreme ili korištenjem resursa kojima raspolažu institucije u našem okruženju.