

## ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ

Ново техничко решење (није комерцијализовано)

(M 85)

## ОСВАЈАЊЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ПРОИЗВОДЊЕ НИСКОЛЕГИРАНОГ БАКРА КАЛАЈЕМ И ТЕЛУРОМ

У Бору, 1.2.2024.

**Аутор:**

Др Александра Ивановић, виши научни сарадник  
Институт за рударство и металургију Бор

Датум: 1.2.2024.год.

## НАУЧНОМ ВЕЋУ ИНСТИТУТА ЗА РУДАРСТВО И МЕТАЛУРГИЈУ БОР

**Предмет:** Покретање поступка за валидацију и верификацију техничког решења

Према Правилнику о стицању истраживачких и научних звања („Службени гласник РС“, бр. 159 од 30. децембра 2020.) обраћам се Научном већу Института за рударство и металургију Бор са молбом да покрене поступак за валидацију и верификацију техничког решења **М-85** под називом:

### ТЕХНИЧКО РЕШЕЊЕ

(Ново техничко решење у фази реализације)

(М 85)

## ОСВАЈАЊЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ПРОИЗВОДЊЕ НИСКОЛЕГИРАНОГ БАКРА КАЛАЈЕМ И ТЕЛУРОМ

Установа / Аутори решења:

Др Александра Ивановић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор  
Др Силвана Димитријевић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор  
Др Рената Ковачевић, научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор  
Др Јасмина Петровић, асистент са докторатом, Технички факултет у Бору, Универзитет у Београду  
Др Стеван Димитријевић, виши научни сарадник, Иновациони центар ТМФ, Универзитет у Београду  
Др Сања Петровић, научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор  
Др Стефан Ђорђевић, научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор

Предложено техничко решење припада области: Материјали и хемијске технологије.

**Подносилац захтева:**

др Александра Ивановић, виши научни сарадник

**Пријава техничког решења садржи:**

- 1) име и презиме аутора решења;
- 2) назив техничког решења;
- 3) кључне речи;
- 4) за кога је решење рађено (правно лице или грана привреде);
- 5) годину када је решење комплетирано;
- 6) годину када је почело да се примењује и од кога;
- 7) област и научну дисциплину на коју се техничко решење односи;
- 8) проблем који се техничким решењем решава;
- 9) стање решености тог проблема у свету;
- 10) опис техничког решења;
- 11) техничку документацију (осим за генске пробе где је потребно доставити доказе да је проба регистрована на сајту NCBI, валидан доказ о примени техничког решења (потврда установе/компаније која га користи и др.), листу раније прихваћених техничких решења за сваког од аутора појединачно.

**1) име и презиме аутора решења;**

Др Александра Ивановић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор

Др Силвана Димитријевић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор

Др Рената Ковачевић, научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор

Др Јасмина Петровић, асистент са докторатом, Технички факултет у Бору, Универзитет у Београду

Др Стеван Димитријевић, виши научни сарадник, Иновациони центар ТМФ, Универзитет у Београду

Др Сања Петровић, научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор

Др Стефан Ђорђевић, научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор

**2) назив техничког решења;**

ОСВАЈАЊЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ПРОИЗВОДЊЕ НИСКО ЛЕГИРАНОГ БАКРА  
КАЛАЈЕМ И ТЕЛУРОМ

**3) кључне речи;**

ниско легирани бакар, калај, телур,

**4) за кога је решење рађено (правно лице или грана привреде);**

МЕТАЛУРГ Д.О.О.

ЛИВНИЦА ОБОЈЕНИХ МЕТАЛА

18400 Прокупље, улица Пећка б.б.

**5) годину када је решење комплетирано;**

2024.

**6) годину када је почело да се примењује и од кога;**

Ново техничко решење тестирано у Ливници „МЕТАЛУРГ” Прокупље и није комерцијализовано.

**7) област и научну дисциплину на коју се техничко решење односи;**

Техничко решење припада области:

- Материјали и хемијске технологије

Научна дисциплина: металуршко инжењерство.

## 8) проблем који се техничким решењем решава;

Легуре бакра са кадмијумом садрже 98 - 99% бакра и 0,1 - 1,5% кадмијума и понекад мање количине других материјала. Када се кадмијум дода бакру, материјал постаје отпорнији на омекшавање на повишеним температурама. Што се више кадмијума додаје, материјал постаје отпорнији на топлоту. Мали додаци кадмијума не утичу на топлотну и електричну проводљивост и механичка својства бакра на собној температури. Легуре бакра са кадмијумом се користе за најразличитије намене, а једна од њих јесте и за израду тролних водова, односно за електрификацију саобраћајних мрежа.

Међутим, токсичност кадмијума условила је потребу за развојем других еколошки прихватљивијих врста нисколегираног бакра, које би у потпуности могле да замене легуре система Cu-Cd. Легуре бакра са малим садржајем легирних елемената, где концентрација појединих елемената остаје испод 1 до 2 %, а укупно испод 5 %, означавају се као нисколегирани бакар (SRPS C.D1.006:1990 -повучен).

## 9) стање решености тог проблема у свету;

Висок ниво техничко - технолошког развоја, али и еколошке свести, условљава све већу потребу за новим материјалима чије би специјалне карактеристике испуњавале све сложеније захтеве савременог начина живота и пословања. У ову групу материјала убрајају се и нискоелегиране легуре на бази бакра које би у потпуности могле да замене легуре система Cu-Cd које се користе за израду тролних водова.

Наиме, додавање малих количина кадмијума (0,8-1,2%) у легурама на бази бакра повећава топлотну и електричну проводљивост, а уједно потискује електрични лук и побољшава отпорност на ерозију. Међутим, кадмијум може представљати опасност по животну средину, а многе земље су увеле законодавне мере које имају за циљ смањење употребе и каснијег ширења кадмијума у животну средину. Познато је да се кадмијум може гастроинтестинално апсорбовати, као и удисањем и уношењем у организам преко плућа. Елиминација кадмијума из организма је веома спора. Као резултат тога, кадмијум се акумулира у телу, а концентрације се повећавају са годинама и дужином излагања. На основу концентрације кадмијума, биолошки полуживот кадмијума код људи процењен је у распону од 7 до 30 година.

Због велике токсичности, будући да кадмијум има канцерогено дејство, да оштећује бубреге, изазива анемију и болести костију, појавила се потреба за развојем легура које у потпуности могу да замене легуре система Cu-Cd.

Стога је у ИРМ-у Бор освојена производња нисколегиране легуре бакра калајем и телуром, која у потпуности може да замени легуре система Cu-Cd (1-5). Овим техничким решењем се приказује технологија израде нисколегиране легура бакра калајем и телуром у облику жице оптималних физичко-механичких и структурних карактеристика које испуњавају потребне захтеве за израду тролних водова. Наиме, потребно је да легуре за израду тролних водова, код укупног степена деформације од 50%, имају затезну чврстоћу изнад  $400 \text{ N/mm}^2$  уз електропроводност изнад 50 S (86,21 IACS).

## 10) Опис техничког решења;

На основу литературних података као и сопствених истраживања утицаји калаја и телура на механичке и експлоатационе особине бакра (2,3,5), а сагледавајући стање у области решавања проблематике употребе кадмијума у легурама са багром, намеће се потреба за освајањем производње нисколегираног бакра калајем и телуром.

Из оквира тројног система Cu-Sn-Te изабране су легуре састава приказаних у Табели 1. од којих је припремљена шаржа за топљење. На основу упоредне анализе

њихових механичких и структурних особина, биће одабрана легура са оптималним саставом која у потпуности може да замени легуре система Cu-Cd.

Табела 1. Састави одабраних легура нисколегираног бакра

Ознака узорка	Sn (%)	Te (%)	Cu (%)
1.	0,058	0,0092	остатак
2.	0,580	0,0920	остатак
3.	0,130	0,04	остатак
4.	1,140	-	остатак
5.	0,066	-	остатак
6.	0,130	-	остатак

За експериментална истраживања коришћени су узорци добијени топљењем шарже која се састојала из следећих сировина:

- ✓ Бакар - квалитета OFHC у облику жице исечене на комаде дужине 5-6 cm
- ✓ Калај – у комаду
- ✓ Телур – предлегура Cu-Te са 90% Cu и 10% Te. за чију припрему се користи електролитички Cu-прах свеж, неоксидисан) и Te-прах (неоксидисан). Смеша ова два праха у односу 90:10 се уноси у мешач како би се извршила хомогенизација након чега је пресовање извршено у колаче цилиндричног облика притиском пресе од 26.5 KN.
- ✓ Фосфор – дезоксиданс растопа приликом ливења, коришћен као предлегура Cu-P са 10% P.

Процес производње легура одвијао се кроз следеће технолошке операције:

**10.1. Припрема шарже за топљење**

**10.2. Топљење и ливење**

**10.3. Пластична прерада (топла и хладна)**

Карактеризација добијених узорака обухватила је испитивања затезне чврстоће и издужења у зависности од укупног степена деформације, као и издужења на повишеним температурама..

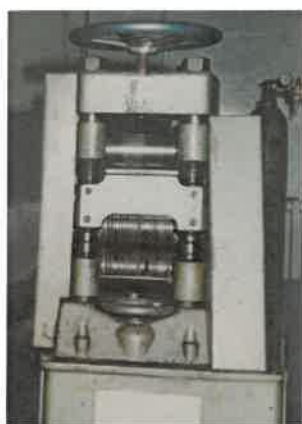
На слици 1 приказана је опрема коришћена за добијање узорака и њихову пластичну прераду, док је на слици 2 приказана опрема коришћења за карактеризацију добијених легура.



*Лабораторијска пламена пећ*



*Коморна пећ за загревање и жарење*



*Ваљачки стан са калибрисаним ваљцима*



*Вучна клупа*

*Слика 1. Добијање ливених узорака и њихова термомеханичка обрада*



*Уређај за испитивање затезањем*



*Уређај за испитивање електропроводности*

*Слика 2. Приказ опреме коришћене за карактеризацију узорака*  
**10.1 Припрема шарже за топљење**

Шаржа за топљење и припрему легура састојала се од:

- OFHC бабра у облику жице исечене на комаде дужине 5-6 cm
- Калаја у комаду
- Телура као предлегура Cu-Te са 90% Cu и 10%Te, за чију припрему је коришћен телур у праху и електролитички бакарни прах (свеж, неоксидисан). Након прорачуна потребних количина оба праха, извршено је њихово пресовање у колачиће цилиндричног облика ( $P=2,7 \text{ t/cm}^2$ )
- Фосфора као предлегура Cu-P са 10% P, за дезоксидацију растопа

### **10.2 Топљење и ливење**

Топљење шарже и легирање растопа извршено је у лабораторијској пламеној пећи, уз коришћење плина, у графитном лончићу под слојем ђумура, у слабооксидационој атмосфери.

Графитни лончић у који је убацивана шаржа најпре је загреван ради одсрањивања влаге. У графитни лончић су најпре стављени комади бакарне жице и калаја, који су прекривени слојем ђумура ради одржавања слабооксидационе атмосфере. Атмосфера у пећи праћена је визуелно – према боји пламена, а регулисана је контролом дотока ваздуха и горива у пећ. Због мале запремине лончића, бакарна жица је додавана у две серије; прва серија пре почетка топљења и друга серија након топљења претходне количине бабра. Пре другог убацивања у графитни лончић, комади бакарне жице су загревани ради одстарњивања влаге. Затим су изливени одливци легура система Cu-Sn и Cu-Te, док је код легура тројног сисема Cu-Sn-Te вршена дезоксидација растопа предлегуром Cu-P. Предлегура је уношена у растоп тако што је најпре увијена у бакарну фолију, а затим убацивана у растоп.

Припрема тројне легуре Cu-Sn-Te подразумевала је најпре топљење легуре Cu-Sn, а затим се додавао Te у облику предлегура Cu-Te. Ова предлегура је најпре увијена у бакарну фолију, а затим је уношена у растоп. На овај начин, спречава се одгоревање телура током легирања. Легирање је вршено у лончићу изван пећи за топљење уз непрекидно интензивно мешање растопа. Након легирања, површина растопа је посута графитним прахом и лончић је враћен у пећ.

Ливење је вршено у претходно загреване графитне кокиле квадратног попречног пресека димензија 20x20x270 mm и 20x20x200 mm, а хлађење одливака је вршено на ваздуху.

Резултати хемијске анализе добијених одливака приказане су у Табели 1.

### **10.3 Пластична прерада**

Изливени одливци су подвргнути топлој и хладној пластичној преради ваљањем и извлачењем.

#### **10.1.1. Топла пластична прерада**

Изливени одливци су најпре ваљани на ваљачком стану са калибрисаним ваљцима до димензије 17x17 mm, након чега су узорци подвргнути жарењу на 850°C у трајању од 30 минута. Након жарења, узорци су „на топло“ ваљани до димензије 10x10 mm.

#### **10.1.2. Хладна пластична прерада**



Добијене шипке квадратног попречног пресека су након хлађења, жарене на температури од 600<sup>0</sup>С у трајању од 30 минута, затим су хлађене након чега је уследило ваљање „на хладно“ до димензије 4x4 mm.

Након ваљања шипка димензије 4x4 mm подвргавана је жарењу на температури од 600<sup>0</sup>С у трајању од 30 минута и хлађењу на ваздуху. Затим су шипке извучене у жицу на вучној клупи кроз серију матрица до  $\varnothing 2$  mm. План провлака дат је у Табели 2.

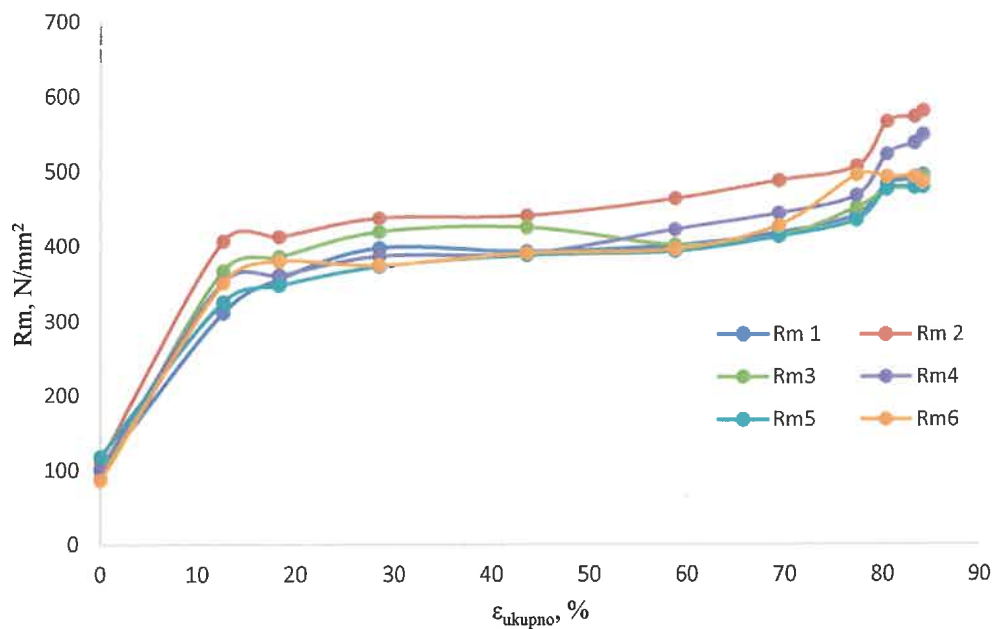
Табела 2. План провлака

Број провлака	Димензије жице (mm)	$\epsilon_{\text{појединачно}}$ (%)	$\epsilon_{\text{укупно}}$ (%)	F (mm <sup>2</sup> )
0	4x4	-	-	16,00
1	$\varnothing 4,50$	0,69	0,69	15,89
2	$\varnothing 4,22$	12,00	12,60	13,98
3	$\varnothing 3,82$	18,10	28,40	11,45
4	$\varnothing 3,39$	21,20	43,60	9,02
5	$\varnothing 2,90$	26,80	58,75	6,60
6	$\varnothing 2,50$	25,70	69,40	4,90
7	$\varnothing 2,15$	25,90	77,30	3,63
8	$\varnothing 2,00$	14,20	80,40	3,14

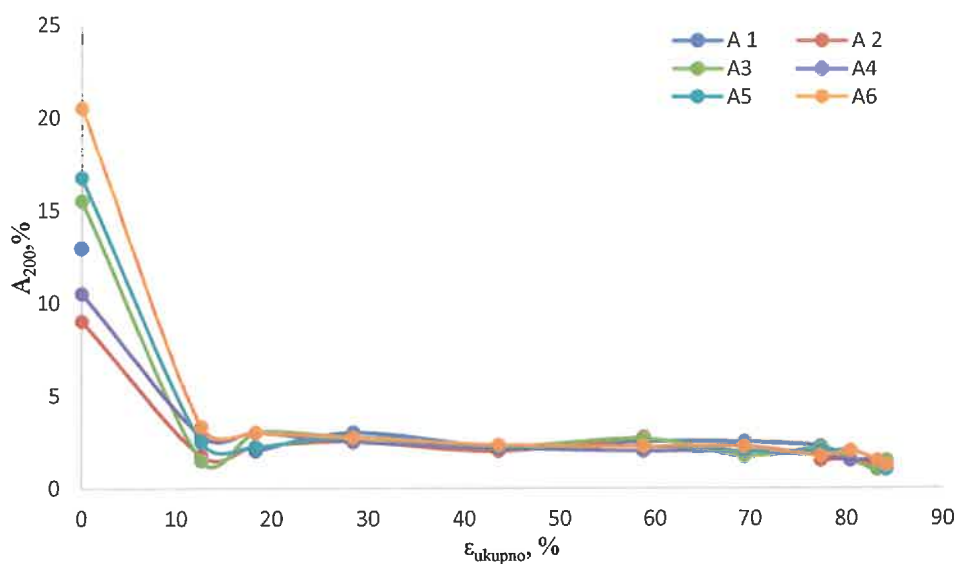
#### 10.4 Испитивања

Добијени узорци жица подвргнути су испитивању физичко-механичких особина на собној и на повишеним температурама, затим испитивању електропроводности хладно деформисаних узорака.

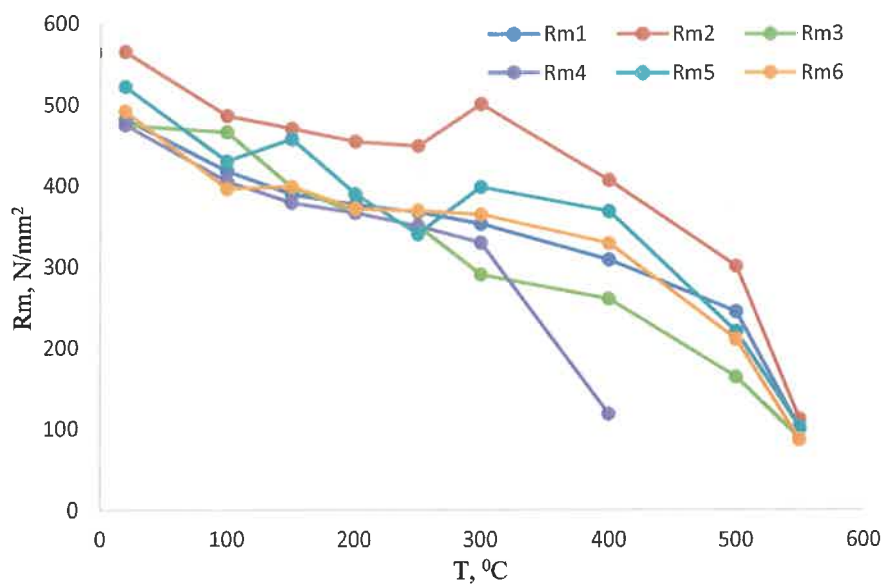
Пошто би легуре овог типа требало да послуже као замена за модификовани бакар, односно Cu-Cd легуру, од њих се тражи да код укупног степена деформације од 50% затезна чврстоћа буде изнад 400N/mm<sup>2</sup>, уз електропроводност изнад 50 SM ( 86,21% IACS) извршена су испитивања затезне чврстоће ( $R_m$ ) и издужења узорака ( $A_{200}$ ) у зависности од укупног степена деформације ( $\epsilon_{\text{укупно}}$ ) су приказани на сликама 3 и 4 респективно, док су резултати испитивања затезне чврстоће и издужења на повишеним температурама приказани на сликама 5 и 6.



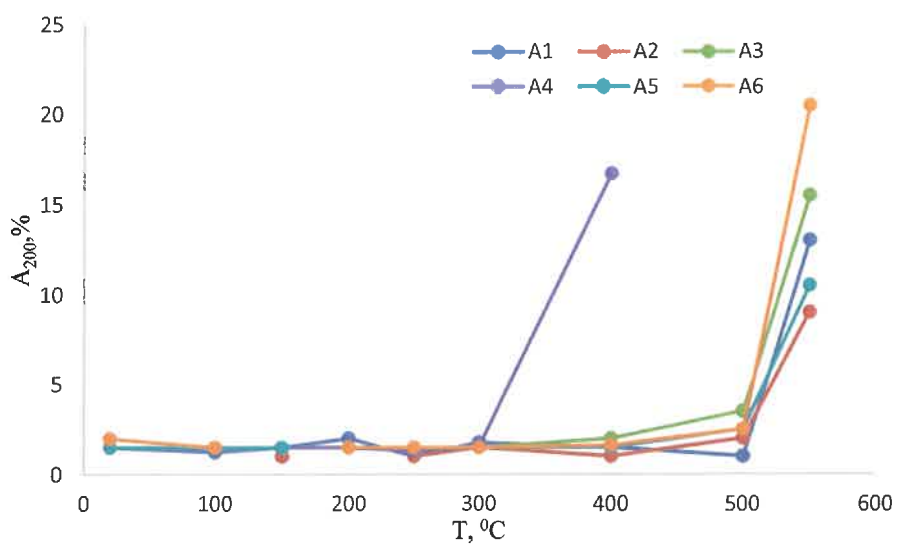
Слика 3: Зависност затезне чврстоће од укупног степена деформације



Слика 4: Зависност издужења од укупног степена деформације



Слика 5: Зависност затезне чврстоће од температуре



Слика 6: Зависност издужења од температуре

Са приказаних резултата испитивања утицаја степена деформације на механичке особине запажа се да код свих узорка са порастом степена хладне пластичне деформације, долази до пораста вредности оних механичких особина легура које изражавају отпорност деформацији ( $HV$  и  $Rm$ ) као и смањење вредности оних особина које су мера пластичности ( $A$ ), односно долази до ојачавања. Такође, уочава се следеће:

- Утицај легирних елемената Sn и Te на затезну чврстоћу је приметан . Тако је код узорка бр. 2 који у односу на узорак бр. 1 има десетоструко већу количину оба легирна елемента, приметнији пораст затезне чврстоће.
- Код узорка 4, 5 и 6 бележи се пораст затезне чврстоће са повећањем садржаја калаја.
- При садржајима Te приближно 1%, без присуства Sn, такође се уочава пораст затезне чврстоће.
- Из дијаграма зависности затезне чврстоће од укупног степена деформације (слика 3) уочавају се три подручја промене  $Rm=f(\epsilon)$ :
  - Прво подручје је окарактерисано знатним порастом затезне чврстоће. Простире се до приближно 20% укупног степена деформације.
  - Друго подручје је окарактерисано успоренијим растом затезне чврстоће. Простире се између 20% и 80% укупног степена деформације.
  - Треће подручје је окарактерисано поновним наглим порастом затезне чврстоће при укупном степену деформације  $>80\%$
- Упоредна анализа резултата испитивања узорка 1 и 2 указује да десетоструко повећање количине Sn и Te врло мало утиче на промену затезне чврстоће док се издужење, код узорка са већим садржајем Sn и Te, смањује.

Са приказаних резултата испитивања утицаја температуре на механичке особине запажа се да пад вредности затезне чврстоће, као и пораст вредности релативног издужења. Пад затезне чврстоће је последица напредовања процеса рекристализације и раста зрна што је регистровано металографским испитивањима. Код свих узорка металографским прегледом установљено је да узорци жице показују рекристалисану структуру са полиедарским зрнима карактеристичним за рекристалисани бакар.

- И Sn и Te утичу на промену температуре рекристализације  $C_u$  и то тако да се температура рекристализације легура са Sn и Te у односу на температуру рекристализације чистог бакра повећава. Повећање садржаја Sn у легури условљава пораст температуре рекристализације а и рекристалисано зрно укрупњава са растућим садржајем Sn у легури.
- Упоредном анализом узорка 1 и 2 примећује се да десетоструко повећање садржаја Sn и Te врло мало утиче на промену затезне чврстоће, док се издужење код узорка 2 са већим садржајем Sn и Te смањује.
- Вредности затезне чврстоће код узорка 1, 3 и 4, опадају константно са порастом температуре што је у складу са очекиваним. Код узорка 2 и 5 долази у одређеном температурном интервалу до појаве пика на дијаграму

$R_m=f(T)$  било да су само са додатком Sn или оба елемента, што је последица таложења оксида Sn и Te.

- Вредности релативног издужења расту са порастом температуре, што је последица напредовања процеса рекристализације.

Електропроводност је измерена на узорцима жице  $\varnothing 2\text{mm}$  и то у жареном и нежареном стању, а резултати испитивања су приказани у табели 3.

Табела 3. Резултати мерења електропроводности

Број узорка	Електропроводност (% IACS)	
	Нежарено стање	Жарено стање
1	95,60	95,86
2	62,20	62,24
3	95,27	98,08
4	80,70	79,48
5	97,29	98,65
6	93,01	96,68

На основу вредности електропроводности (табела 3.) уочава се да је она незнатно већа код жица у жареном у односу на жице у нежареном стању. Код узорака бр. 2 и 4 електропроводност је незадовољавајућа док је код узорака бр.1, 3, 5 и 6 добра.

Пошто би легуре овог типа требало да послуже као замена за модификовани бакар, односно Cu-Cd легуру [5], за електрификацију саобраћајних мрежа, од њих се тражи да код укупног степена деформације од 50% затезна чврстоћа буде изнад  $400\text{ N/mm}^2$ , уз електропроводност изнад 50 SM ( 86,21% IACS)[6], испитиване легуре на ове захтеве одговарају на следећи начин:

- ❖ Узорци 2. и 4. задовољавају захтев затезне чврстоће али не и захтев електропроводности
- ❖ Узорци 1, 5. и 6. задовољавају захтев електропроводности, али им је затезна чврстоћа мала.
- ❖ Узорак бр. 3.( 0,13% Sn 0,04% Те остатак Cu) задовољава захтеве затезне чврстоће и електропроводности, а величина рекристалисаног зрна је задовољавајућа.

### 10.5 Закључак

Приказаним техничким решењем показано је да се овом технологијом израде легура система Cu-Sn-Te може добити легура састава 0,13% Sn 0,04% Те остатак Cu која је адекватна замена за модификовани бакар, односно Cu-Cd легуру, која се користи за електрификацију саобраћајних мрежа.

### 10.6 Литература

1. J.P. Tardent, B. Demestral, New copper alloys for electrical, electronic and mechanical applications, Wire Industry, **68**, 173-176(2001).
2. Aleksandra Ivanovic, Vesna Marjanovic, Silvana Dimitrijevic, Miroslav Ignjatovic, Vlastimir Trujic, Miroslav R. Ignjatovic, Development of environmental copper-based alloys, technics technologies education management, Volume 7 / Number 2 / 2012, p. 572-579, ISSN 1840-1503

3. A. Ivanović, B. Čadenović, E. Požega, S. Ivanović, Modifikovani bakar: Ekološka alternativa za Cu-Cd leguru, Inovacije i razvoj, (2008)2, 13-25
4. Wang, W.; Feng, W.; Ding, T.; Yang, Q. Phosphine-free synthesis and characterization of cubic-phase Cu<sub>2</sub>SnTe<sub>3</sub> nanocrystals with optical and optoelectronic properties, Chem. Mater., 2015, 27, 6181–6184.
5. A. Mitić - Ivanović, Graduation Thesis, Testing the Effect of Tin and Tellurium Content on Temperature of Copper Recrystallization, Technical Faculty, Bor (1997) (in Serbian).
6. Yin, D.; Dun, C.; Zhang, H.; Fu, Z.; Gao, X.; Wang, X.; Singh, D.J.; Carroll, D.L.; Liu, Y.; Swihart, M.T. Binary and ternary colloidal Cu-Sn-Te nanocrystals for thermoelectric thin films, Small, 2021, 17, 2006729.
7. M. Hansen, K. Anderko, Constitution of Binary Alloys, Second Edition, Me Graw-Hill Book Company, New York, Toronto, London (1958).
8. A. S. Pashinkin and L. M. Pavlova, p-T Phase Diagram of the Cu-Te System, Inorg. Mater., 41(9), 939–944 (2005).
9. J.S. Smart, A.A. Smith, Effect of Phosphorus, Arsenic, Sulphur and Selenium on Some Properties of High-purity Copper, Metals technology, American institute of mining and metallurgical engineers, 12, 1807 (1945).

**11) техничка документацију (осим за генске пробе где је потребно доставити доказе да је проба регистрована на сајту NCBI), валидан доказ о примени техничког решења (потврда установе/компаније која га користи и др.), листу раније прихваћених техничких решења за сваког аутора појединачно**

**Листа раније прихваћених техничких решења за сваког од аутора појединачно.**

1. Др Александра Ивановић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор
2. Др Силвана Димитријевић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор
3. Др Рената Ковачевић, научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор
4. Др Јасмина Петровић, асистент са докторатом, Технички факултет у Бору, Универзитет у Београду
5. Др Стеван Димитријевић, виши научни сарадник, Иновациони центар ТМФ, Универзитет у Београду
6. Др Сања Петровић, научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор

**1. Др Александра Ивановић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор**

1. Б. Трумић, С.Марјановић, С. Димитријевић, Л. Гомицеловић, А. Ивановић, Освајање технологије производње Pd катализатора-хватача, Институт за рударство и металургију Бор, 2011., ТР34029, (M82)
2. С. Димитријевић, С. Драгуловић, З. Станојевић-Шимшић, А. Ивановић, В. Гардић, Р. Марковић, Б. Трумић, Електролитичка рафинација бакарних анода са нестандрдним обликом електрода, Институт за рударство и металургију Бор, 2012., ТР34024, (M82)
3. **Александра Ивановић**, Бисерка Трумић, Весна Крстић, Светлана Иванов, Саша Марјановић, Силвана Димитријевић, Весна Марјановић, Побољшање механичких својстава легуре састава PdNi5 оптимизацијом термомеханичког режима прераде, Техничко решење, ТР 34029, (M82)
4. Бисерка Трумић, Драшко Станковић, **Александра Ивановић**, Саша Марјановић, Силвана Димитријевић, Освајање технологије производње Pd-Аулегуре за катализаторе-хватаче, ИРМ Бор, 2015., ТР34029, (M82)
5. В. Крстић, Б. Трумић, Л. Гомицеловић, М. Бугарин, А. Ивановић, З. Петровић, С. Ђорђијевски, Нови материјал смеше CRM (бензоеве киселине) и SiO<sub>2</sub> ради испитивања контроле целог мерног опсега калориметра, ИРМ Бор, 2014., ТР34029, (M82)
6. Радмила Марковић, Силвана Димитријевић, Сузана Драгуловић, Оливер Димитријевић, Зоран Илић, **Александра Ивановић**, Ново полуиндустријско постројење за електролитичку прераду бакарних анода нестандарног хемијског састава, ИРМ Бор Бор, 2011., ТР34024, (M83)
7. Сузана Драгуловић, Силвана Димитријевић, Бисерка Трумић Мирјана Штехарник, Зденка Станојевић-Шимшић, Весна Цонић, **Александра Ивановић**, Сузана Величковић, Добијање сребро-јодида из сребра добијеног рециклажом секундарних сировина, ИРМ Бор 2015., ТР34024, (M83)

**2. Др Силвана Димитријевић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор**

1. Сузана Драгуловић, **Силвана Димитријевић**, Зорица Љубомировић, Радмила Марковић, Бисерка Трумић, Драгана Божић, Милан Горгијевски, Добијање родијума високе чистоће (мин. 99,95%) из секундарних сировина поступком солвентне екстракције, Институт за рударство и металургију Бор, 2011., ТР34024, (M82)
2. Цветковски Владимир, Цонић Весна, Драгуловић Сузана, **Димитријевић Силвана**, Станојевић-Шимшић Зденка, Нова производна линија за производњу катодног бакра из концентрата биохемијским лужењем, солвентном екстракцијом и електролизом, 2010., ТР34004, (M82)
3. Б. Трумић, С.Марјановић, С. Димитријевић, Л. Гомиджеловић, А. Ивановић, Освајање технологије производње Pd катализатора-хватача, Институт за рударство и металургију Бор, 2011., ТР34029, (M82)

4. **С. Димитријевић, С. Драгуловић, З. Станојевић-Шимшић, А. Ивановић, В. Гардић, Р. Марковић, Б. Трумић, Електролитичка рафинација бакарних анода са нестрандрним обликом електрода, Институт за рударство и металургију Бор, 2012., ТР34024, (М82)**
5. Цветковски Владимир, Цонић Весна, Драгуловић Сузана, Станојевић-Шимшић Зденка, Пешовски Бранка, Симоновић Данијела, **Димитријевић Силвана, Љубомировић Зорица, Нова производна линија за производњу бакра солвентном екстракцијом рудничких вода, 2012., ТР34004, (М82)**
6. Александра Ивановић, Бисерка Трумић, Весна Крстић, Светлана Иванов, Саша Марјановић, **Силвана Димитријевић, Весна Марјановић, Побољшање механичких својстава легуре састава PdNi5 оптимизацијом термомеханичког режима прераде, Техничко решење, ТР 34029, (М82)**
7. Бисерка Трумић, Драшко Станковић, Александра Ивановић, Саша Марјановић, **Силвана Димитријевић, Освајање технологије производње Pd-Au легуре за катализаторе-хватаче, ИРМ Бор, 2015., ТР34029, (М83)**
8. Властимир Трујић, **Силвана Димитријевић, Сузана Драгуловић, Дејан Трифуновић, Мирјана Рајчић - Вујасиновић, Мирко Вукмировић, Декоративна позлата из нецијанидног електролита на бази органског комплекса злата са меркаптотриазолом, Институт за рударство и металургију Бор, 2010., ТР19036, (М83)**
9. Властимир Трујић, **Силвана Димитријевић, Сузана Драгуловић, Дејан Трифуновић, Мирјана Рајчић–Вујасиновић, Мирко Вукмировић, Тврда позлата из нецијанидног електролита на бази органског комплекса злата са меркаптотриазолом, Институт за рударство и металургију Бор, 2010., ТР19036, (М83)**
10. Радмила Марковић, **Силвана Димитријевић, Сузана Драгуловић, Оливер Димитријевић, Зоран Илић, Александра Ивановић, Ново полуиндустријско постројење за електролитичку прераду бакроних анода нестандарног хемијског састава, Институт за рударство и металургију Бор, 2011., ТР34024, (М83)**
11. **С. Димитријевић, В. Трујић, С. Драгуловић, Р. Марковић, В. Цонић, Б. Мадић, З. Станојевић-Шимшић, Рециклажа бакра и сребра из посребрених месинганих кућишта комбинацијом пирометалуршких, електрометалуршких и хемијских поступака, Институт за рударство и металургију Бор, 2012. , ТР34024, (М83)**
12. **С. Димитријевић, Р. Марковић, М. Бугарин, Ј. Стевановић, Б. Југовић, Л. Аврамовић, С. Драгуловић, Увећано лабораторијско постројење за електрохемијска истраживања, Институт за рударство и металургију Бор, 2012., ТР34024 и ТР37001, (М83)**
13. Сузана Драгуловић, **Силвана Димитријевић, Бисерка Трумић Мирјана Штехарник, Зденка Станојевић-Шимшић, Весна Цонић, Александра Ивановић, Сузана Величковић, Добијање сребро-јодида из сребра добијеног рециклажом секундарних сировина, ИРМ Бор 2015., ТР34024, (М83)**
14. Сузана Драгуловић, **Силвана Димитријевић, Бисерка Трумић, Радмила Марковић, Драгана Божић, Милан Горгиевски, Слађана Алагић, Електрохемијско добијање калијум златног цијанида, ИРМ Бор 2015., ТР34024, (М83)**



15. Весна Цонић, **Силвана Димитријевић**, Драган Милановић, Радмила Марковић, Сузана Драгуловић, Сања Бугариновић, Ивана Јовановић, Издвајање селена из процеса електролитичке рафинације бакра, ИРМ Бор 2015. , ТР34004, (М83)
16. **С. Димитријевић**, В. Трујић, Р. Марковић, С. Драгуловић, О. Димитријевић, С. Алагић, Б. Трумић, Полиндустијско постројење за електролитичку прераду бакра, месинга и сребра, Институт за рударство и металургију Бор, 2013., ТР34024, (М83)
17. Зоран Стевић, Мирјана Рајчић-Вујасиновић, Стеван Димитријевић, **Силвана Димитријевић**, Зоран Стојиљковић, Пулсно-реверзни извор напајања за примену у галванотехници, Технички факултет у Бору – АД Метал ДОО Бор, 2017. (М85)
18. Зоран Стевић, Стеван Димитријевић, **Силвана Димитријевић**, Санде Лековски, Развој хардвера и софтвера за енергетски ефикасне рачунаром вођене пећи за синтеровање, Технички факултет у Бору – АД Метал ДОО Бор, 2021. (М85)
19. Зоран Стевић, Стеван Димитријевић, **Силвана Димитријевић**, Миша Стевић, Драган Миленковић, Предраг Столић, Развој инвертора индукционе пећи за каљење, Технички факултет у Бору – ЕЛЕНЕС Д.О.О. Бор , 2022. (М85)

**3. Др Рената Ковачевић, научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор**

1. Радмила Марковић, Јасмина Стевановић, Радојка Јонових, Љиљана Аврамовић, Миле Димитријевић, **Рената Ковачевић**, Војка Гардић, Издвајање бакра из отпадних сумпорно-киселих раствора електролитичком рафинацијом бакарних анода нестандардног хемијског састава, 2013. год., (М82)

**4. Др Стеван Димитријевић, виши научни сарадник, Иновациони центар ТМФ, Универзитет у Београду**

1. Зоран Стевић, Мирјана Рајчић-Вујасиновић, **Стеван Димитријевић**, Силвана Димитријевић, Зоран Стојиљковић, Пулсно-реверзни извор напајања за примену у галванотехници, Технички факултет у Бору – АД Метал ДОО Бор, 2017. (М85)
2. Зоран Стевић, **Стеван Димитријевић**, Силвана Димитријевић, Санде Лековски, Развој хардвера и софтвера за енергетски ефикасне рачунаром вођене пећи за синтеровање, Технички факултет у Бору – АД Метал ДОО Бор, 2021. (М85)
3. Зоран Стевић, **Стеван Димитријевић**, Силвана Димитријевић, Миша Стевић, Драган Миленковић, Предраг Столић, Развој инвертора индукционе пећи за каљење, Технички факултет у Бору – ЕЛЕНЕС Д.О.О. Бор , 2022. (М85)

**5. Др Сања Петровић, научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор**

1. Ивана Јовановић, **Сања Петровић**, Драган Милановић, Бојан Дробњаковић, Миомир Микић, Даниела Урошевић, Лидија Ђурђевац-Игњатовић, 2015. Имплементација нове линије основног флотирања минерала бакра из лежишта "Церово" у флотацији Велики Кривељ. ИРМ, Пројекат ТР 33023 МПНТР Републике Србије – нова технологија уведена у производњу. (M82)
2. Даниел Кржановић, Драган Милановић, Даниела Урошевић, Миленко Љубојев, Ивана Јовановић, Бојан Дробњаковић, Сања Петровић, 2018. Ново техничко решење процеса припреме (дробљење и просејавање) руде бакра у Руднику бакра Мајданпек у циљу повећања капацитета прераде. Архива ИРМ, Одлука XIII/5, од 15.11.2018. год. (M82)
3. Ивана Јовановић, Даниел Кржановић, **Сања Петровић**, Драган Милановић, Миленко Љубојев, Даниела Урошевић, Весна Цонић, 2019. Битно побољшано техничко решење процеса млевења и класирања у Руднику бакра Мајданпек у циљу повећања капацитета прераде. Архива ИРМ, Одлука XX/3.2, од 10.10.2019. (M84)
4. Милан Чекеревац, **Сања Бугариновић**, Војка Гардић, Љиљана Николић-Бујановић, Младен Здравковић, 2013. Поступак уклањања јона теских метала из вода електролитицке рафинације бакра применом ферата(VI). Пројекат ТР 34025 МПНТР Републике Србије– битно побољшан технолошки поступак. Архива ИРМ, Одлука XIV/4, од. 14.05.2013. (M84)

**„МЕТАЛУРГ“ Д.О.О.  
ПРОКУПЉЕ УЛ. ПЕЋКА Б.Б.**

ТЕЛ/ФАКС 027 8421 584  
ПИБ 100414487  
Матични број 06618456  
Шифра делатности 2454

Foundry of non-ferrous metals  
Buntmetall gieserei  
Livnica Obojenih Metala

  
SERBIA  
www.livnica-metalurg.com  
office@livnica-metalurg.com  
metalurgpk@open.telekom.rs

15.01.2024.

Предмет: Доказ о верификацији техничког решења под називом:

**„ОСВАЈАЊЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ПРОИЗВОДЊЕ НИСКОЛЕГИРАНОГ БАКРА  
КАЛАЈЕМ И ТЕЛУРОМ“**

Институт за рударство и металургију Бор, за потребе фирме Ливница „МЕТАЛУРГ“ Прокупље израдио је техничко решење:

**„ОСВАЈАЊЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ПРОИЗВОДЊЕ НИСКОЛЕГИРАНОГ БАКРА  
КАЛАЈЕМ И ТЕЛУРОМ“**

Аутора:

Др Александра Ивановић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор  
Др Силвана Димитријевић, виши научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор  
Др Рената Ковачевић, научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор  
Др Јасмина Петровић, асистент са докторатом, Технички факултет у Бору, Универзитет у Београду  
Др Стеван Димитријевић, виши научни сарадник, Иновациони центар ТМФ, Универзитет у Београду  
Др Сања Петровић, научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор  
Др Стефан Ђорђевић, научни сарадник, Институт за рударство и металургију Бор

**ПРОТОКОЛ О ТЕСТИРАЊУ  
(Ливница „МЕТАЛУРГ“ Прокупље)**

Сагледавајући стање у области проблематике употребе кадмијума у легурама са бавром, намеће се потреба за освајањем производње нисколегираног бакра калајем и телуром.

Лабораторијска истраживања тројног система Cu-Sn-Te у Институту за рударство и металургију Бор обухватила су легуре састава приказаних у Табели 1. На основу упоредне анализе њихових механичких, електричних и структурних особина, одабрана је легура састава 0,13% Sn 0,04% Te остатак Cu која у потпуности може да замени легуре система Cu-Cd.

Топљење је изведено у лабораторијској пламеној лончастој пећи, у редукционој атмосфери регулисаној на гротлу пећи плавим редукционим пламеном и зазором на растоњу анхидрованим дрвеним угљем. Бакар је дезоксидисан фосфор-бавром пре легирања, а пред само ливење извршено је продувавање растопа инертним гасом. Температура ливења је 1158 °C.

Табела 1. Састави одабраних легура нисколегираног бакра

Ознака узорка	Sn (%)	Te (%)	Cu (%)
1.	0,058	0,0092	остатак
2.	0,580	0,0920	остатак
3.	0,130	0,04	остатак
4.	1,140	-	остатак
5.	0,066	-	остатак
6.	0,130	-	остатак

Легура овог састава изливена је у количини од 50 kg у Ливници „МЕТАЛУРГ“ Прокупље у циљу тестирања и потврде резулта добијених у току лабораторијских истраживања у Институту Бор.

Кроз тестирања изливене легуре, потврђене су све механичке и електричне особине ове легуре, чиме је потврђена могућност примене ове легуре као адекватне замене за модификовани бакар, односно Cu-Cd легуру, која се користи за електрификацију саобраћајних мрежа.

На основу претходно наведеног, може се закључити да се техничко решење:

**„ОСВАЈАЊЕ ТЕХНОЛОГИЈЕ ПРОИЗВОДЊЕ НИСКОЛЕГИРАНОГ БАКРА  
КАЛАЈЕМ И ТЕЛУРОМ“**

може сврстати у категорију M85 -ново техничко решење у фази реализације, тестирано у Ливници „МЕТАЛУРГ“ Прокупље (доказ- протокол о тестирању), у складу са захтевима дефинисаним у оквиру „Правилника о стицању истраживачких и научних звања“, („Сл. гласник РС“, бр. 159 од 30. децембра 2020.)

  
Ливница „МЕТАЛУРГ“ Прокупље  
Генерални менаџер  
Милован Станковић с.р.

	NAZIV ZAPISA: <b>ОДЛУКА НАУЧНОГ ВЕЋА</b>	MATIČNI DOKUMENT/ BROJ PRILOGA:	Oznaka: <b>P031.-501.24.XXXVI/3.</b>
---	---	------------------------------------	---

ИНСТИТУТ ЗА РУДАРСТВО  
И МЕТАЛУРГИЈУ БОР  
НАУЧНО ВЕЋЕ  
Број: XXXVI/3.  
Од 07.02.2024. године

На основу Правилника о стицању истраживачких и научних звања („Сл. гласник РС“ 159/20 и 14/2023), Научно веће Института за рударство и металургију Бор је на XXXVI-ој седници одржаној дана 07.02.2024. године донело:

**ОДЛУКУ**  
**о покретању поступка за валидацијом и верификацијом техничког решења**

На захтев др Александре Ивановић, вишег научног сарадника Института за рударство и металургију Бор, Научно веће је донело Одлуку о покретању поступка за валидацијом и верификацијом техничког решења под називом:

„Освајање технологије производње нисколегираног бакра калајем и телуром“

аутори: др Александра Ивановић, др Силвана Димитријевић, др Рената Ковачевић, др Јасмина Петровић, др Стеван Димитријевић, др Сања Петровић, др Стефан Ђорђевић.

Наведено техничко решење се упућује МНО-у за материјале и хемијске технологије на даље поступање и доношење коначне одлуке.



**ПРЕДСЕДНИК НАУЧНОГ ВЕЋА**

др Ана Костов, дипл.инж.мет.  
Научни саветник

Институт за рударство и металургију Бор  
Председнику Научног већа  
Датум: 21.03.2024. године

Поштовани,

На основу Вашег захтева број XXXVI/3 од 07.02.2024. године за потврду категорије техничких решења под називом „**Освајање технологије производње нисколегираног бакра калајем и телуром**“ аутори Александра Ивановић, Силвана Димитријевић, Рената Ковачевић, Јасмина Петровић, Стеван Димитријевић, Сања Петровић, Стефан Ђорђевић из 2023. Године,

Обавештавам Вас следеће:

Након прибављених мишљења о наведеном техничком решењу, чланови МНО за материјале и хемијске технологије су га, на седници одржаној 21.03.2024. године разматрали и сачинили предлог да техничко решење под називом „**Освајање технологије производње нисколегираног бакра калајем и телуром**“ аутори Александра Ивановић, Силвана Димитријевић, Рената Ковачевић, Јасмина Петровић, Стеван Димитријевић, Сања Петровић, Стефан Ђорђевић из 2023. године, **ИСПУЊАВА** све услове предвиђене *Правилником о стицању истраживачких и научних звања* („Службени гласник РС“, број 159/20 и 14/2023) за доделу категорије **M85 - Ново техничко решење (није комерцијализовано)**.

Предлог се доставља Министарству науке, технолошког развоја и иновација РС ради процене и прихватања истог.

Председник МНО  
за материјале и хемијске технологије

Др Јасна Стајић Трошић