

РЕЗЮМЕТА

НА ОСНОВНИТЕ РЕЗУЛТАТИ И НАУЧНИТЕ ПРИНОСИ

на

гл. ас. д-р инж. Росица Владислав Гаврилова
за участие в конкурс за академична длъжност „Доцент”
по научна специалност 5.9 Металургия (Металознание и термично
обработване на металите)

РЕЗЮМЕТА НА ОСНОВНИТЕ РЕЗУЛТАТИ

Постигнатите основни резултати в научно-изследователската работа на гл. ас. д-р Р. Гаврилова могат да бъдат представени в следните тематични направления:

1. Изследвания, свързани с технологични процеси в металургията

- 1.1.** Изследвания на процеса на затвърдяване на метали и сплави.
- 1.2.** Приложение на математичното моделиране към реални металургични процеси с цел оптимизиране на производството по получаване и допълнително обработване на метали и сплави.
- 1.3.** Изследвания по получаването на частици с наноразмери чрез плазмено топене. Металургичен плазмотрон.
- 1.4.** Инсталация за полунепрекъснато и противогравитационно леене на алуминиеви проводници.
- 1.5.** Други изследвания, свързани с металургични технологични процеси.

2. Изследвания върху структурата и свойствата на метални материали

- 2.1.** Изследвания върху структурата и свойствата на желязо-въглеродни сплави в лято състояние и след термично обработване.
- 2.2.** Изследвания за влиянието на легиращите елементи и модификаторите върху структурата и свойствата на желязо-въглеродни сплави, допълнително легирани и модифицирани.
- 2.3.** Изследвания за влиянието на легиращите елементи и модификаторите върху структурата и свойствата на цветни сплави.
- 2.4.** Изследвания върху структурата и свойствата на сплави с нестандартен химичен състав.

ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 1 ИЗСЛЕДВАНИЯ, СВЪРЗАНИ С ТЕХНОЛОГИЧНИ ПРОЦЕСИ В МЕТАЛУРГИЯТА

1.1. Изследвания на процеса на затвърдяване на метали и сплави с цел оптимизиране на производството по получаването им

Публикуваните по темата материали представят част от проект за изследване на затвърдяването на блокове от азотсъдържащи моделни сплави, произведени на инсталация за леене под налягане Leybold Heraeus. Апаратурата е собственост на ИМСТЦХ „Акад. А. Балевски” към БАН. Партидата от 14 метални блока с нестандартен химичен състав е отлята по поръчка на Korea Institute of Machinery & Materials по договор ВТД 04/04/04 „Изследване на моделни хром-азотни сплави”.

(B7) Савов Г., **P. Гаврилова**, В. Манолов, Повишаване на използваемостта на високоазотни стомани при леене под налягане в метален кокил, *Научни известия на ИТСМ*, година XIII, брой 3 (86), юни 2006, 195-199, ISSN 1310-3946.

(B8) **R. Gavrilova**, V. Manolov, Results from the technological improvements concerning the defects in the bulk volume of a nitrogen steel riser, *International Virtual Journal, “Machines, Technologies, Materials”*, Issue 3-4, 2009, pp. 43-46. http://www.mech-ing.com/journal/Archive/2009/3-4/2.Tehnologii/5_65_Gavrilova.pdf.

(A3) **Rositsa Gavrilova**, Valentin Manolov, Calculating the depth of the inner cavity resulting from shrinkage of molten metal, *Structural Integrity and Life*, 2010, vol. 10, No. 2, pp. 125-128, (IF 0.342).

Изследванията се базират на разработен математичен модел, решен в цифрова форма за затвърдяване на метала при различни варианти на технологичните параметри. В резултат са получени данни за температурното поле непосредствено под мъртвата глава, нарастването на твърдата фаза в тялото на блока и мъртвата глава, а също така за вида и разположението на дефектите от свиването на метала, позиционирани в обема на главата. Въз основа на изследвания върху цялата партида (получена при еднакви налягане и начална температура) и приблизителни пресмятания на дълбочината на откритата кухня от свиването на метала в мъртвата глава, е направена оценка на възможностите да бъдат подобрени условията за подхранване на метала в работния обем на инсталацията (A3).

Резултатите от класическата за тази инсталация методика (леене в пясъчна форма) бяха сравнени с тези, при които са приложени подобрения – понижаване топлопроводността на формата в зоната на

мъртвата глава и насочено охлаждане през дъното, както и допълнително подгряване на мъртвата глава.

Установено е, че:

- В резултат на замяната на традиционната пясъчна форма с метална, количеството на годния метал (съответно и неговата използваемост) се е повишило средно с 16%, (B7).
- Проиграването на голям брой варианти за допълнително подгряване на мъртвата глава и изолация на част от блока (B8) показва, че тялото на металния блок се подхранва активно и всмукнатината се изтегля на повърхността на мъртвата глава. Металът остава плътен и бездефектен. Най-малък обем кухината от свиване на метала има при използване на двуслойна набивна втулка от SiO₂ и перлит, и екзотермична смес, обхващаща ½ част от повърхността на блока. В този вариант, понижените възможности на формата в зоната на мъртвата глава да излъчи топлината, съдържаща се в течния метал, подобрява качеството на блока, отлят в инсталация за леене под налягане Leybold Heraeus.

1.2. Приложение на математичното моделиране и численото симулиране на металургични процеси. Верификация на теоретичните и реални данни за хода на процесите.

(D29) **R. Gavrilova**, V. Manolov, A. Yotova, L. Nenova, Mathematical model for the crystallization of steel ingot produced by installation of electroslag remelting under pressure (ESRP). *Book of proceedings of 10th National conference of metallurgy with international participation*, ISBN 978-954-92052-1-3, 2007, Varna, Bulgaria.

(D30) **R. Gavrilova**, V. Manolov, “Mathematical model for the crystallization of steel ingot produced by installation Leybold Heraeus operating under nitrogen pressure”, *Proceedings of 5th. Congress of the Society of Metallurgists of Macedonia*, 17-20 September, 2008, Ohrid, FYR of Macedonia, Сборник с доклади на CD.

(D31) **R. Gavrilova**, V. Manolov, Mathematical model of the temperature field during crystallization of a metal block, produced in Leybold Heraeus installation, *Book of proceedings of National conference of Metal science and novel materials '2008 with international participation*, Institute of Metal Science, Bulgarian Academy of Science, c. 277-280, 4-5 December 2008 г., Sofia, Bulgaria.

(D32) **R. Gavrilova**, V. Manolov, Numerical simulation results for the crystallization process in steel blocks, cast in a Leybold Heraeus installation, *Book of proceedings of National conference of Metal science and novel materials '2008*

with international participation, Institute of Metal Science, Bulgarian Academy of Science, c. 281-284, 4-5 December 2008 г., Sofia, Bulgaria.

В представените материали са описани резултати от експерименти, свързани с работата по дисертация на тема „Моделиране на структурата на азотни стомани при кристализация” на инж. Р. Гаврилова. Изследвано е влиянието на параметрите на двуфазната зона като локално време на кристализация и скорост на охлаждане върху размерите на клетките или върху разстоянието между вторичните оси на дендритите на инструментални стомани, съдържащи азот. Това са ст. 5Х3В3МФА2С и ст. Р6А2М5 получени на полупромишлена вертикална пневматична инсталация ВП-05; ст. 5Х3В3МФА2С, получена на агрегат за електрошлаково претопяване под налягане; 6Х3МНАФ, получена на лабораторна инсталация за работа под високо налягане Leybold Heraeus.

Решени са следните задачи:

- Разработена е методика за количествен металографски анализ на стоманени блокове. В изследваните стомани са констатирани два типа структури. Клетъчен тип структура имат ст. 5Х3В3МФА2С и ст. Р6А2М5, а дендритен тип структура има ст. 6Х3МНАФ. Пресметнати са данни за средния размер на клетките и разстоянието между вторичните оси на дендритите като функция от радиуса на металните блокове. Получени са аналитични зависимости за параметрите на микроструктурата (размер на клетките, разстояние между вторичните оси на дендритите) от местоположението на изследвания метал в обема на металния блок.
- Експериментално е изследвано влиянието на концентрацията на азот върху дендритната структура на образци от ст. 6Х3МНАФ, получени по метода за безтигелно топене под налягане до 5.0МПа.
- Разработени са математични модели за кристализацията на метални блокове, отляти в инсталации ВП-05, ЕШПН, Leybold Heraeus.
- Чрез математично моделиране са получени температурните полета, локалното време на кристализация и скоростта на охлаждане за метални блокове, отляти в споменатите по-горе инсталации. Построени са зависимости, свързващи параметрите на структурата с локалното време на кристализация $\Delta\tau$ и скоростта на охлаждане V в двуфазната зона.
- Създаден е математичен модел, който изследва възможностите за оптимизиране на прилаганите технологични мерки в процеса на кристализация, с цел намаляване на дефектите в обема на произведения метал. Математичният модел е решен по метода на крайните елементи. Данните от модела са сравнени с резултатите от реалния процес на кристализация.

Основните приноси от тези разработки са представени в автореферат на дисертационната работа на гл. ас д-р инж. Р. Гаврилова на тема: „Моделиране на структурата на азотни стомани при кристализация”.

1.3. Изследвания по получаването на частици с наноразмери чрез плазмено топене. Металургичен постояннотоков плазмотрон с кух графитен катод.

(A4) Viktor B. Hadzhiyski, Mihail K. Mihovsky, **Rositsa Vl. Gavrilova**, Plasma-arc reactor for production possibility of powdered nano-size materials, Journal of Physics: Conference Series 275 (2011) 012005. V Hadzhiyski *et al* 2011 *J. Phys.: Conf. Ser.* 275 012005 doi:10.1088/1742-6596/275/1/012005, Issue 1 (2011), (**SJR 0.211**).

Съвременната концепция за плазмен агрегат и технологии за преработване на дисперсни метални и оксидни материали стартира през 2009 година в лабораторията „ПЛАЗМАЛАБ” към ХТМУ–София и е получила практическа реализация с изработване на металургичен постояннотоков плазмотрон с кух графитен катод, работещ по схемата „прехвърлена” (зависима) дъга. **Работата по инсталацията е финансирана по проект «Високочестотна пилотна инсталация за получаване и изследване на плазмохимично синтезирани нови нанодисперсни материали и приложението им»** към научно-изследователски проект с вх. № **ТК02-91 (ТК_09_0706)** от 2009 г., от фонд „Научни изследвания”, конкурс „Насърчаване на научните изследвания в приоритетни области”, 2009 г. В резултат на извършената работа:

- Изчислени са основните геометрични и електрически параметри на ВЧИ-плазмотрон с широки технологични възможности.
- Конструкцията на плазмотрона е изпълнена без заваръчни съединения, като за уплътняване на газовите и водните съединения са вложени ”О” пръстени. Това конструктивно решение дава възможност обслужването на плазмотрона (разглобяване и сглобяване за смяна на реакционната тръба) да се извършва бързо, лесно и качествено.
- Оформеният в долната част на плазмотрона фланец позволява закрепването му към различен тип реакционни камери в зависимост от избрания технологичен процес.
- Оригинална част на конструкцията е сменяемата газоразпределителна втулка, чрез която подаването на плазмообразуващ газ в реакционната камера става тангенциално или аксиално. По този начин се разширяват технологичните възможности на ВЧИ-плазмотрона, което го прави максимално универсален, подходящ за експериментални лабораторни цели.

Конструираната, изработена и пуснатата в действие налична техника (инсталацията е разположена в специално пригодно хале към Институт по катализ – БАН, 140А) е основа за разкриването на ново направление по сфероидизацията на трудно-топими материали.

Определените параметри могат успешно да послужат при бъдещо проектиране на системи за закаляване и прахоулавяне; проектиране на затворена циркулационна система за водно охлаждане на инсталацията и др.

(B12) **Gavrilova, Rositsa**; Hadzhiyski, Viktor, Synthesis and spheroidization of disperse high-melting (refractory) powders in plasma discharge, *Academic Journal, Annals of the University Dunarea de Jos of Galati*: Fascicle IX, 2011, Vol. 29, Issue 3, pp. 66. SOURCE TYPE Academic Journal A, ISSN 1843- 5807.

В съвременната техника се използват методите за напластяване на покрития със специални свойства върху детайли с различно предназначение. Важно условие за получаване на качествен слой от материали (най-често с висока температура на топене в прахообразно състояние) е дисперсният материал да бъде със сфероидална форма на частиците и еднороден гранулометричен състав. Обикновено това са борида, нитриди, карбиди, силициди и техни смеси, които се получават в прахообразно състояние, след което се подлагат на допълнителна сфероидизация на частиците.

Един от перспективните методи за сфероидизация е използването на плазма, генерирана в дъгови и високочестотни индукционни плазмотрони. Използването им се определя от изискванията за чистотата на получавания материал, размерът на частиците и физичните свойства на материала. Двата типа плазмотрони се различават по постигнатия КПД и себестойността на получения материал след обработване. ВЧИ - плазмотрони се използват за постигане на чистота на обработвания материал. Производителността им е по-висока от тази на дъговите плазмотрони, а себестойността на получения прах е по-ниска.

Дъговите плазмотрони дават възможност за обединяване на метода на получаване на дисперсия материал и нанасянето му върху обработвания материал.

Публикацията (B12) коментира и сравнява процесите на сфероидизация на прахове от труднотопими материали в дъгова и ВЧ-плазма. При изброяването дори на част от тях личи безспорното предимство на последната спрямо недостатъците на сфероидизацията в дъговата плазма:

- Неравномерно нагриване на частиците;
- Прахоподаващи съоръжения със сложна конструкция;
- Ограничения във вида на плазмообразувания газ;

- Възможност за замърсяване на преработвания материал с елементи на електродите на дъговия плазмотрон, и др.

За сравнение при ВЧИ-плазма могат да бъдат изтъкнати следните предимства:

- Равномерно нагряване на частиците благодарение на лесното им въвеждане в обема на плазмата ;
- Възможност за нагряване на частиците с относително големи размери. Така например, частички от Al_2O_3 в дъгов плазмотрон не могат да надвишават размер от 60 до 70 μm , докато във ВЧИ-плазмотрон едрината им може да достигне от 600 до 800 μm ;
- Възможност за работа с различни газове - от неутрални до силно агресивни;
- Постигане на висока чистота на продукта, поради начина на генериране на ВЧИ- плазма.

Изброените факти водят до все по-широко използване предимно на ВЧИ-плазма за сфероидизация на прахове от труднотопими материали.

Създаването и възможностите за управление на такъв тип плазмена технология е предмет на друга публикация. (виж А4).

1.4. Инсталация за полунепрекъснато, вертикално и противогравитационно леене на алуминиеви проводници

(A1) Mihail K. Mihovsky, Viktor B. Hadzhiyski, *Rositsa Vl. Gavrilova*, New mould, with combined - indirect and direct cooling, for vertical upwards continuous casting of aluminum wires, Structural Integrity and Life, Vol.10, No2, (2010), pp.117-124, UDC 621.744 621.746: 669.71-426, (IF 0.342).

В настоящата работа е показан метод, който представя затвърдяване на метал във вертикално направление, посока отдолу-нагоре спрямо топилната пещ. Методът е прилаган за непрекъснато леене на проводници (телове) от мед и медни сплави, като основното му предимство е едновременната работа на няколко кристализатора, потопени в течния метал и възможността за лесно спиране на всеки един, докато останалата част от системата функционира. Друго предимство на технологията е отсъствието на разливно устройство.

Повишеният интерес към производството на такъв тип продукти за промишлени цели, в последните години надхвърли възможностите на популярните методи за получаването им. По тази причина в ХТМУ е разработено и пуснато в действие пилотно оборудване за вертикално, противогравитационно непрекъснато леене на алуминий. Инсталацията е изградена от меден водоохлаждаем кристализатор и хидравличен механизъм за изтегляне. Спецификата на процеса е съобразена с факта, че скоростта на леене на меден продукт с кръгъл профил (до $\varnothing 14$ mm) достига над 2000 mm/min, докато скоростта на леене на алуминиев

профил с аналогичен размер е с порядък по-ниска. Отчетено е, че специфичния топлинен капацитет на алуминия при температурата на кристализация е 900 J/kgK, т.е. значително по-висок от този на медта (385 J/kgK). Предвид обстоятелството, че скритата топлина на кристализация на алуминия ($3.96 \cdot 10^5$ J/kg) е по-висока от тази на медта ($2.05 \cdot 10^5$ J/kg) и като цяло разликата в термофизичните параметри на двата материала е голяма, очаквано има различия в технологичните параметри при противогравитационното и непрекъснато леене на алуминий и мед, както и за техните сплави, което налага различен дизайн на апаратурата.

Варианти в монтирането на работната глава на кристализатора и чисто конструкционни решения (работна глава без графитено-шамотна чаша и топлоизолационна вата) допускат комбиниран тип охлаждане – директно и индиректно, като за целта са проведени серия от експерименти, при които основните технически параметри са запазени, а варира единствено разхода на охлаждащия агент съобразно скоростта на кристализация.

В резултат, кристализаторът с нова форма - с комбинирано пряко или косвено охлаждане, позволява скоростта на леене на алуминиев проводник (тел) с диаметър до 14 mm да бъде увеличена до 1000 mm/min, т.е. производителността му да е съизмерима с тази при леенето на мед и медни сплави. Реално, максималната достигната скорост на леене на алуминиев профил до Ø14 mm е 980 mm/min.

(A2) **Rositsa V. Gavrilova**, Viktor B. Hadzhiyski, Mihail K. Mihovsky, Structure and mechanical properties of vertical upwards continuous casted aluminum wires, Structural Integrity and Life, Vol.10, No 3 (2010), pp.219-223, (IF 0.342).

Изследвана е производителността на процеса на вертикално противогравитационно непрекъснато леене на алуминиев метален профил (виж A1) и неговата ефективност в зависимост от скоростта на охлаждане, като е направено сравнение с леенето в класически тип кристализатор.

Използван е 98%Al с примеси от Fe (1.32%), Mg и Si (до около 0.3%). Температурата на леене е 700°C. Изследвани са образци с диаметър 14 mm, получени по двете методики – в класически кристализатор (скорост на леене 180 mm/min) и в този с комбинирано охлаждане (скорост на леене 980 mm/min).

Проведен е микроструктурен анализ на образците на повърхността, в междинната област и осовата част от обема на летия метал.

Анализът показва следното:

- Повишаването на скоростта на леене в класически тип кристализатор на 250 mm/min води до появата на горещи пукнатини върху повърхността на метала. Те се образуват вследствие на това, че в алуминия се съдържат микро-примеси от изброените по-горе

елементи. При температура от 700°C те формират по границите на зърната от α -твърд разтвор на алуминий скелетообразна евтектика от типа $Al-FeAl_3$;

- Крехката интерметална фаза $FeAl_3$ понижава якостта, влошава пластичността на базовия метал и води до образуване на горещи пукнатини в процеса на леене. Вероятно е и отделянето на фаза от типа $Al-Si$, която също има негативен ефект върху корозионната устойчивост на метала. Оптималната скорост на леене за предотвратяване на подобен род дефекти е 230 mm/min;
- Установено е, че в новия тип кристализатор с комбинирано охлаждане е постижима скорост от 980 mm/min;
- Произведеният метал има гладка повърхност без пукнатини. В процеса на леене той се самоотвърща, което води до понижаване на механичната якост и съответно подобряване на пластичността, а високата скорост на процеса предотвратява отделянето по границите на зърната на допълнителни фази от евтектичен тип и образуване на горещи пукнатини. Формата на металните зърна е балансирана, равноосна;
- При определяне на скоростта при непрекъснатото, насочено нагоре леене на алуминий е постигнато оптималното съчетаване на желани механични показатели и продуктивност на процеса

1.5. Други технологични процеси и изследвания, свързани с тях

(B9) *Гаврилова Р. В.*, Жекова Л. Ц., Лазарова Р. Л., “Отстраняване на въглерода от въглероден фероманган и неговото последващо азотиране.”, *Научни известия на НТСМ*, година XVI, брой 1 (111), юни 2009, 143-148, ISSN 1310-3946.

Проведено е комплексно изследване на възможностите за оползотворяване на въглеродни фероманганови отсевки от феросплавното производство на завода в Синай, Египет (ситните фракции от производството на въглероден фероманган ($C > 6\%$) са доставени от феросплавните заводи в Синай). Част от изследванията са проведени съвместно със специалисти от „Централен металургичен институт за изследване и развитие” на Египетската инженерна академия, Кайро.

Разработена е технология за оползотворяване на ситните фракции. Целта е да бъде получен азотиран фероманган със съдържание на азот над 5%. Същият може да бъде използван за производството на стомани с повишено съдържание на азот.

Технологията за оползотворяване на отпадъците е разделена на два етапа, както следва:

- отстраняване на част от въглерода от феромангана до получаването на средновъглероден фероманган ($C < 1,5\%$);

- азотиране с газообразен азот на обезвъглеродения фероманган до получаването на продукт със съдържание на азот над 5%.

Двустадийната технология има параметри, при които се постига съдържание на азот над 5%. Те са: $T=900^{\circ}\text{C}$, $P=0.8\text{ MPa}$. Продължителност на процеса е 8 часа.

Едрината на частиците, азотирани в пневмовакуумна камера е в граници от 0.5 mm до 4 mm. Фракцията под 0.5 mm е подложена на азотиране в пещ с електротермичен въртящ се слой, като е постигнато съдържание на азот 5,8%.

Изследвана е микроструктурата на опитните образци. От направения рентгеноструктурен анализ е установено, че основните фази в метала са Mn_2N и Mn_4N . Получени са фазите и микроструктурните съставни. Определена е микротвърдостта на получения нитриден слой.

(B10) Лукарски Я. Б., Манолов В.К., Лазарова Р. Л., *Гаврилова Р. В.*, “Премахване на окалината от арматурна стомана преди нейното уякчаване.”, *Научни известия на ИТСМ*, година XVI, брой 1 (111), юни 2009, 149-155, ISSN 1310-3946.

В строителната индустрия все по-широко се използва арматурна стомана с подобрени геометрични и якостни параметри. С помоща на машини за студено изтегляне и оребряване арматурната стомана придобива по-високи експлоатационни свойства. Това позволява да се намали теглото на използвания материал при запазване и повишаване на изискванията за якост.

Настоящата разработка представя изследвания върху свойствата на арматурна стомана преди и след преминаване през блока за преддеформационна подготовка на машина за уякчаване на арматурна стомана. Етапите по извършената работа са следните:

- Предварителна обработка с цел пълно отстраняване на окалината. Методът включва периодично огъване на метала при преминаването му през система от ролки. След това той минава през система от бързовъртящи се четки от износоустойчива стомана;
- Определено е количеството на окалината чрез металографско изследване на опитни образци. В случая са взети 5 образеца на които е определена дебелината на слоя окалина чрез измерване в радиално и надлъжно направление при увеличение 500 пъти. Грешката при измерването е около 4,8%;
- Проведен е металографски анализ на слоя окалина до и след преддеформационното обработване;
- Направен е металографски анализ на образец от арматурна стомана, взет от блока за преддеформационна обработка и преди изтегляне през дюзата.

- Извършени са механични изпитанията на пробни тела от арматурна стомана в състояние на доставка (граница на провлачване средно около 340 МПа и якост на опън около 460 МПа). Относителното удължение е в границите от 29 до 31%. След преддеформационната обработка се наблюдава слабо повишаване на границата на провлачване и якостта на опън до стойности съответно от 360 до 370 МПа за границата на провлачване и 466 МПа за якостта на опън.

Металографският анализ показва, че преди преминаване през блока за преддеформационна обработка арматурната стомана има плътен слой окалина с дебелина до 40 μm . След преминаване през блока се наблюдават единични „петна“ от окалина с дебелина около 5 μm . Това по всяка вероятност се дължи на факта, че изследвания материал преминава през ролки, разположени в една плоскост. Ефектът от обработката може да се подобри, ако металът преминава през два комплекта ролки, които са в две взаимно перпендикулярни плоскости.

Установено е, че след преминаване през блока за преддеформационна обработка арматурната стомана повишава якостните си показатели в тесни граници – от 2 до 8%.

(B11) Yavor Lukarski, Jordan Georgiev, Lubomir Anestiev, **R. Gavrilo**va, Simona Bejan – Investigation of titanium hydride produced from titanium waste, *Academic Journal Annals of the University Dunarea de Jos of Galati*: Fascicle IX, ;2010, Vol. 28 Issue 4, pp. 84, ISSN 1453-083X, Bib Util ssib006362494.

Разработката е част от проект на МОН No БРС-11/18.12.2007 г., на тема „Комплексно оползотворяване на титанови отпадъци чрез обработка с водород за получаване на прах с нанометрични размери“. Тя представя оригинален метод за получаване на хидрид на титана чрез хидрогениране и дехидрогениране на титанови отпадъци в изработени специално за тази цел вакумни камери. В хода на експеримента са получени лабораторни количества от титанов хидрид чрез използването на LaNi_5 водород-акумулатор като източник на чист водород. Анализите са проведени в температурен диапазон от 680 до 1070K ($\approx 400\div 800^\circ\text{C}$).

- Изработена е лабораторна инсталация за получаване на TiH_2 чрез обработване на титанови отпадъци с водород;
- Добити са лабораторни количества хидрид, като за целта е приложен оригинален метод за подаване на водород от т.нар. водород-акумулатор;
- Определен е гранулометричният състав на получения титанов хидрид;
- Направен е рентгено-структурен анализ, който доказва присъствието на единствена фаза $\text{TiH}_{1,294}$;

- Чрез термичен анализ е определена енталпията на произведения титанов хидрид. Топлинния ефект, получен при експеримента е $H = -140 \text{ kJ/mol}$ и съвпада с получения от други автори;
- Въз основа на резултатите от термичния, термогравиметричния и мас-спектроскопски анализи на пробите се определи произведената енергия на активация при разлагане на титановия хидрид - $E = -135,5 \text{ kJ/mol}$.

Чрез изследванията по проекта могат да бъдат намерени варианти за оползотворяване на отпадък, който неизбежно замърсява околната среда. Разработената методика дава възможност за получаване на известно количество енергия, следователно притежава и икономическа целесъобразност.

(B13) Явор Лукарски, Атанас Байкушев, **Росица Гаврилова**, Влияние на пресовото налягане и температурния режим на спичане върху микроструктурата на твърда сплав WC-Co, *Научни известия на НТСМ*, година XX, брой 1(133), юни 2012, с. 212-215, ISSN 1310-3946.

В тази работа са представени резултати от изследване на структурата на сплав със състав 93% WC и 7% Co (BK 7) при различни параметри на получаване. Сплавта е предназначена за производство на дюзи за студено изтегляне на стоманени телове. Изследвани са пробни тела от WC-Co, получени чрез вариране на стойностите на пресовото налягане, температурата и продължителността на изотермично задържане;

- Определени са размерите, формата и разпределението на микроструктурните съставни. Измерванията са осъществени чрез металографски анализ и в съответствие с БДС EN 24505:2003. *Твърди сплави. Металографско определяне на порестост и свободен въглерод. (ISO4505:1978)*;
- Изследвана е структурата на карбидната (α) и свързващата (β) фази в пробните образци от WC-Co. Направена е статистическа оценка на размера на частиците въз основа на приетата класификация – основен размер и максимален размер;
- Установено е, че във всички изследвани пробни тела свързващата фаза е равномерно разпределена и се отнася към дефинирания β -фин клас (БДС EN 24505:2003);
- Показано е влиянието на температурата и продължителността на спичане върху размера на частиците от WC;
- Определено е влиянието на пресовото налягане при формиране на структурата на волфрам-карбидното тяло.

(B16) **Гаврилова Р. Вл.**, Петков Р. И., Серафимов Г., Изследване на възможностите за използване на дисперсен електроден графит като навъглеродител в процеса на твърдофазна цементация, *Научни известия на НТСМ*, Година XXII, Брой 1 (150), Юни 2014, с. 134-137, ISSN 1310-3946.

Електроден графит в дисперсно състояние отпада при изработване на тигли, кристализатори за непрекъснато леење, диспергиращи чаши за гранулиране на течен метал и др.производства, чрез механично обработване на графитови електроди.

Възможността за влагане на ситно-разпрашената фракция от електроден графит в процеса на цементация като навъглеродител, от една страна реализира оползотворяване на този материал, а от друга страна би довела до понижаване себестойността на процеса на цементация, като запази неговата ефективност. Подобна възможност е изследвана в работата (B16), защото процесите на твърдофазна цементация на нисковъглеродни стомани все още са най-масово прилаганите – поради достъпната реализация, използването на конвенционално, многоцелево оборудване и възможностите за серийно производство.

- В резултат на твърдофазното навъглеродяване на стомана 18ХГТ беше постигнато формиране на цементован слой върху повърхността на образците.
- Установено беше влиянието на различните времена на задържане за цементация върху дебелината на слоя.

Резултатите показват, че в условията на твърдофазна цементация, изпълнена по класически параметри, възможността за влагане на ситно-разпрашена фракция от електроден графит в процеса като навъглеродител е особено сполучлив способ, от гледна точка на ефективните резултати при формирането на цементован слой с оптимална дебелина, равномерност и твърдост; ниска себестойност; незамърсеност при взаимодействието в пещта, както и особено актуалната възможност за повторната употреба на този промишлен отпадък.

(B18) Кръстева, М. Й., *Гаврилова Р. Вл.*, Петков Р.И., Изследване на корозионната умора в лята стомана 18/8, *Научни известия на НТСМ*, Година XXIII, Брой 1 (164), Февруари 2015, с. 60-61, ISSN 1310-3946.

Разрушаването на материала в резултат на корозионни процеси е от особен интерес за металознанието. Една от най-разпространените и опасни видове корозия е тази, усилена от механични (статични и циклични) напрежения. Другият тип корозионно-механично разрушаване е корозионната умора под съвместното въздействие на периодично механично натоварване и агресивна среда. Работните условия на металните материали налагат постоянен контрол върху тяхната годност. В настоящата работа:

- Проследени са процесите на корозионна умора на образци от аустенитна, корозионно-устойчива стомана тип X18H9 в агресивна среда на Pb-Bi;

- Установено е както влиянието на допълнителното легиране с Мо, така и влиянието на структурата – след закаляване и фиксиране на чисто аустенитно състояние, устойчивостта на корозионна умора се повишава;
- По отношение на температурата на евтектичната сплав Pb-Bi 45/55, използвана като корозионна среда е установено, че при по-високата температура 160°C разрушаването на образците настъпва по-бързо.

(C23) J. Georgiev, L. Anestiev, E. Bendereva, Y. Lukarski, M. Selecká and **R. Gavrilova**, Study of the sintering process of iron powders coated with nanohydrocarbon and the resulting microstructure at temperatures up to 1200°C, *Advanced Materials and Technologies*, Volume 1, pp. 85-90, Oktober 22-23, 2009, ISSN 1843-5807.

Обект на проучването е разработване и изследване на нов, екологично чист и авангарден метод за въвеждане на въглерод по време на спичане на ниско легиран железен прах ASC 100.29. Методът се основава на използването на въгледородно покритие от т. нар. «зелен прах», което се превръща във въглеродни нано-наслоения между частиците на праха по време на процеса на спичане. Методът избягва използването на графит като съставен елемент и редуктор, и позволява по-добро хомогенизиране, по-малко порестост и общо повишаване на качеството на крайния синтерован продукт.

Представеното изследване е фокусирано върху процесите, свързани с плътността, течливостта и възможността за сгъстяване на праховото покритие, както и получената порестост след пресуване и спичане. Целта е да се определят оптималните условия за нанасяне на покритието, да се получат експериментални данни за основните процеси по време на синтероването и формиралата се микроструктура. Процесът на изпичане се следи на място чрез ДТА - анализ и измерване на налягането на отделените газове. Резултатите, получени до момента показват по-добри условия на работа за зеленото прахово покритие, в сравнение с това при класическия подход, както и по-висока хомогенност на спечените екземпляри при което се гарантира стабилност на размерите на заготовките след синтероване и постоянство на крайния комплекс от механични свойства.

Въз основа на получените резултати са направени следните изводи:

- Разработен е нов, по-малко опасен от екологична гледна точка метод за полимерно покритие на железни прахове;
- Чрез използваната технология се получава фина структура на пресования материал и намалява тенденцията за образуване конгломерати;

- Произведените по метода покрити частици притежават по-висока течливост на «зеления прах» при преминаване през товарната дюза и по-висока плътност на пресовката.
- Синтерованата пресовка показва хомогенност на микроструктурата и понижена порьозност. За изучавания специфичен случай при железният прах ASC 100.29 максимално уплътняване се постига при пресовка, уплътнена при 600 МПа.
- Анализът на получените криви за налягането на газа показват, че нискотемпературните пикове под 600°C се образуват поради напукване и разрушаване на полимерното покритие. Пиковете над 600°C се формират поради намаляване на оксидите в обема и на повърхността на образците.

ТЕМАТИЧНО НАПРАВЛЕНИЕ 2 ИЗСЛЕДВАНИЯ ВЪРХУ СТРУКТУРАТА И СВОЙСТВАТА НА МЕТАЛНИ МАТЕРИАЛИ

2.1. Изследвания върху структурата и твърдостта на желязо-въглеродни сплави в лято състояние и след термична обработка

(D33) **Rositsa Gavrilova**, Researches on the microstructure and hardness of 25LI, 45LI and 35HGSL steels, obtained after heat treatment, *Трета НКМУ "Металознание, хидро- и аеродинамика, национална сигурност '2013"*, 24-25 октомври, 2013 г., материали от конференцията на CD, отпечатани в сборник ISSN 1313-8308, с. 119-123.

(D34) **Rositsa Gavrilova**, Researches on the microstructure and hardness of 35HGSL, GS34CrMo4 and GS-42CrMo4 steels, obtained after heat treatment, *Трета НКМУ "Металознание, хидро- и аеродинамика, национална сигурност '2013"*, 24-25 октомври, 2013 г., сборник материали от конференцията на CD, отпечатани в сборник ISSN 1313-8308, с. 124-128.

Цел на представените работи (D33) и (D34) е изследването на образци от избрани марки стомани по заявка на металургичната компания "Metakom SCW Invest-AD", гр. Плевен. Сравнявани са конструкционни въглеродни стомани, които имат различно предназначение. 25LI и 45LI отговарят на BDS 3492-86 (DIN 1681) по химичен състав и се използват за производството на фланци, муфи и валове. Стомана 35HGSL по химичен състав отговаря на GOST 977-88 и има ограничена заваряемост. От нея се произвеждат части с добра износоустойчивост. Стомани GS34CrMo4 и GS42CrMo4 по химичен състав отговарят на DIN (1,7220) и (1,7225) съответно, използват се за конструкции от изковки, цилиндри, дискове, валове, тръби и др.

Интерес за компанията представляваха микроструктурата и свойствата на материалите в лято състояние и след термично обработване. Крайната цел на проекта изискваше за избраните материали да се получи база данни за анализ на структурата, формирана в процеса на леене и термично обработване и твърдостта, а въз основа на тях да бъде направена оценка за ефективността на прилаганото термично обработване.

Чрез металографски анализ е установен и анализиран вида на структурата преди и след термично обработване. Получени са съответни данни за изменението на твърдостта на пробните тела.

На основание на получените резултати е оценена ефективността на приложената термична обработка.

Стойностите на твърдостта за стомана 25LI, получени в лято състояние са по-високи от тези, получени след термичното обработване на пробните тела, т.е. проведеното допълнително обработване няма практическо значение за подобряване на механичните показатели и тази марка стомана може да се използва без следващо термично обработване или само след нормализация.

За всички останали марки стомани е получено, че в резултат на термичното обработване твърдостта е нараснала в границите на 5÷15%, като силно изразено е влиянието на термичното обработване върху образците от стомана 45LI и стомана GS42CrMo4, което най-вероятно се дължи на наличието и преразпределението на карбидните включения и легиращите елементи (ст. GS42CrMo4) в обема на металните зърна.

Може да се каже, че ако се вземат под внимание енергийните разходи, продължителността и по-сложната организация на процесите на допълнително термично обработване, тяхното прилагане е оправдано за стоманите 45LI, 35HGSL и GS35CrMo4.

2.2. Изследване на влиянието на легиращите елементи върху структурата и свойствата на желязо-въглеродни сплави

(A6) R. I. Petkov, **R. Vl. Gavrilova**, L. P. Atanasov, Investigation of the possibility to increase the mechanical properties of ferritic nodular cast iron, *Bulgarian Chemical Communications*, Volume 47, Number 1, pp. 197–200, 2015, ISSN 0861-9808 (IF 0.349).

През последните десетилетия производството на отливки от сферографитни чугуни непрекъснато нараства. Съчетанието от високи технологични и експлоатационни свойства, в частност механични показатели, които тези материали притежават, е причината те да бъдат конкурентни на въглеродните и нисколегирани стомани. Целта на настоящото изследване е в конвенционален сферографитен чугун чрез допълнително легиране да се осигури феритна структура на металната основа, твърдоразтворно уякчаване на ферита и от там да се получат

по-високи механични показатели. Принципно, на условията за твърдофазно уякчаване отговарят елементите силиций и алуминий, които имат гафитизиращо и твърдоразтворно уякчаващо действие. Съдържанието на елементи, стабилизиращи перлита – Ni, Mn, Cu, Sn и карбидообразуващи – Cr, Mo, V, Mn трябва да е ограничено.

Съобразно целта да се постигне по-висока марка сферографитен чугун при запазване на феритната структура на металната основа, като най-подходяща бе определена GGG500-7 (500MPa якост на опън и до 7% относително удължение). В класическия си вид тази марка СГЧ е с перлитно-феритна структура и за стандартните за чугунолеенето условия на охлаждане е с химичен състав $3.2 \div 3.7\%C$; $2.0 \div 2.5\%Si$; $0.3 \div 0.7\%Mn$, и въглероден еквивалент $C_{e4.125}$.

За изследване влиянието на химичния състав върху структурата, якостта на опън, твърдостта и относителното удължение бяха планирани и проведени експерименти със сплави със същия въглероден еквивалент, но със съдържание на манган до 0.15%, като съдържанието на силиций е променяно в границите от 2.0 до 4.5% през 0.5%, респ. съдържанието на въглерод в % маса за отделните сплави варира.

Анализът на получените резултати позволи да се направи извода, че при съдържание на силиций в рамките $3.5 \div 3.7\%$ и въглероден еквивалент около 4.2 може да се получи феритен сферографитен чугун, който удовлетворява изискванията за марка GGG500-7.

(D28). **R. Gavrilova**, R. Lazarova, V. Manolov, Influence of the nitrogen content on the 6Cr3MoNiV steel structure. *Book of proceedings of Fifth international congress "Mechanical engineering technologies-06"*, с. 80-83, Varna, Bulgaria.

В представената работа е изследвана разтворимостта на азот в течни метали и сплави, по-конкретно влиянието му върху структурата на стомана 6Х3МНФ. Опитни образци (10 бр., диаметър 8 mm, височина 7 mm) са получени на единствена по рода си инсталация за безтигелно топене при различни температури и под азотно налягане на газовата фаза до 5,0 MPa. Разтвореното количество азот при условията на всеки опит е фиксирано чрез бързо закаляване и е определено по метода на Келдал за несъдържащи V сплави, и чрез автоматичен анализатор Leco-TN-14.

Металографското изследване на структурата показва, че тя е изградена от дендрити. По стандартна методика са измерени нейни основни параметри. Микроструктурен и фазов анализ на образците е извършен с металографски микроскоп "Polyvar Met" при увеличения 100, 200, 500 и 1000х.

В резултат на проведения експеримент, на инсталация за безтигелно топене са получени образци от ст. 6Х3МНФ с тегло 2.0g и различно съдържание на азот. Чрез количествен металографски анализ е изследвана структурата на образците. Получена е зависимост за

разстоянието между дендритните оси от втори порядък от съдържанието на азот в тях. Разработената методика позволява да бъде изследвано влиянието на концентрацията на азота върху структурата на други стомани и сплави.

2.2.1 Изследване на влиянието на модификатори с нано-размери върху структурата на метални сплави

(B15) *Р. Гаврилова*, М. Манчев, В. Манолов, А. Черепанов, Изследование влияние модификаторов с наноразмерами на кристаллизационный процесс в сплавах на основе железа, *Научни известия на ИТСМ*, година XXI, брой 2 (139), юни 2013, с. 313-315, ISSN 1310-3946.

Представената работа е част от Научен проект ТК 01/ 076 към ФНИ 2008-2012 г., на тема: „Изследване приложението на нанопрахове за модифициране на метални сплави при леене и заваряване”. Разработката е представена в обстоен доклад на Выставка-семинар “Новейшие разработки Российских и Болгарских организаций в области нанотехнологий и наноматериалов” през 2009 година, МИСиС, Москва.

Идейната част на проекта се отнася до провеждането на комплексни изследвания – създаване на математични модели за прогнозиране структурата на метални сплави, модифицирани с НП, получаване на зависимости на структурните и механични характеристики (R_m , $R_{p0.2}$, твърдост и др.) от вида и концентрацията на НП, разработване на технология за въвеждане на НП в стопилката за конкретните условия на леене и заваряване и определяне на възможното подобряване на структурата и механичните характеристики на модифицираните сплави и изделията от тях.

Самата работа (B15) показва част от идеите, целите, етапите на проекта, възможностите за работа с уникална за България апаратура, собственост на ИМСТЦХА „Акад. А. Балевски” – БАН (инсталация за безтигелно топене, индукционна пещ Leybold Heraeus), методиките и данните за котлостроителна стомана 20К, от която са получени пет метални блока с еднаква геометрия и тегло 2,5 и 5 кг. Върху тях са направени първи опити да се повлияе структурообразуването, а оттам - и свойствата чрез добавяне на модифициращи прахове с наноразмери (TiN и TiCN) в процеса на леене.

Направено е сравнение между средния диаметър на металните зърна, изграждащи структурата $D_m[\mu m]$ и измерената микротвърдост $HV[kg/mm^2]$. Данните за образци, получени след модифициране са сравнени с резултатите за базовия състав. Регистриран е очакван ефект – издребняване на структурата и повишаване на микротвърдостта в резултат на модифицирането.

2.3. Изследвания върху структурата и свойствата на цветни сплави, допълнително легирани и модифицирани

(A5) **R. Gavrilova**, R. Petkov, Researches on the structure and properties of heat treated, nickel alloyed, molybdenum modified aluminum bronze, *Bulgarian Chemical Communications*, Volume 45, Number 4, pp. 644–648, 2013, ISSN 0861-9808 (IF 0.349).

(B14) Rumen Petkov and **Rositsa Gavrilova**, Experimental Investigation on the Structure and Properties of Copper-Aluminum Alloys Additionally Alloyed with Fe, Mn, Ni and Modified with Mo, *Journal of Materials Science and Technology*, 2013, Vol. 21, No. 1, pp. 14–21, ISSN 0861-9786.

(B17) Rumen Petkov, **Rositsa Gavrilova**, Stanislava Krasteva, Dimitar Krastev, Boyan Yordanov, Microstructure investigation of aluminum bronze, combine alloyed with Fe and Ni, *Научни известия на ИТМС*, Year XXI, Issue 2 (151), April 2014, pp. 48-50. ISSN 1310–3946.

(B21) Петков Р. И., **Гаврилова Р. В.**, Кръстева С. Й. Изследване влиянието на двойното комплексно легиране с Fe, Mn, Ni върху структурата и твърдостта на бронз тип CuAl9, *Научни известия на ИТМС*, Year XXIII, Issue 3 (166), April 2015, pp 16-19, ISSN 1310–3946.

(C25) **Rositsa Gavrilova**, Rumen Petkov, Study of bronze alloys and results on the microstructure and hardness changes after the thermal treatment, Сборник с доклади на Международна научна конференция МТФ`2012, 18-20 Октомври 2012, ТУ-София, България, с. 64-68, ISBN 978-954-438-994-9.

(C26) **Rositsa Gavrilova**, Rumen Petkov, Structure and properties after heat treatment on copper-aluminum alloys, additionally alloyed with Mn and modified with Mo, Сборник с доклади на Международна научна конференция МТФ`2012, 18-20 Октомври 2012, ТУ-София, България, с. 69-74, ISBN 978-954-438-994-9.

Известно е, че свойствата на металите и сплавите като якост, пластичност, корозионна устойчивост и др. са свързани със структурата им. Поради това, проблем в металолееенето е управлението на процеса на първична кристализация с оглед получаване на структура със зададени параметри. Огромна част от отливките са предназначени за изработване на конструкционни елементи и изискванията към тях касаят якостните им характеристики. Издребняването на първичната структура, стига да не е съпроводено с прекомерно увеличаване локализацията на примесите по границите на зърната, обикновено се разглежда като положително явление. В това отношение особен

интерес представлява поведението на най-често употребявания безкалаен бронз тип CuAl9.

В цяла поредица от експерименти е изследвано поведението на сплави от базовата система Cu-Al, допълнително легирани с елементите Fe, Mn, Ni, в различни комбинации и съотношения помежду им – т.е. реализирано е двойно или тройно комплексно легиране, а в част от случаите и опитно модифициране с Mo на базова сплав CuAl9 и е проследено влиянието върху микроструктурата и твърдостта на получените нови сплави. Успоредно с това е отчитано и влиянието на скоростта на охлаждане върху посочените параметри.

В показаните материали са публикувани по-съществените резултати (A5), (B14), (B17), (B21), (C25), (C26).

Мотив за избор на бронз тип CuAl9 като базова сплав са добрите му експлоатационни характеристики – износоустойчивост, кавитационна устойчивост и корозионна устойчивост, които правят широката му употреба оправдана. Особен интерес представлява балансирания комплекс от технологични свойства – изключителна тънколивкост, но голямо свиване, висока склонност към окисляване и разтваряне на газове (водород). Това е така, защото по отношение на първичната кристализация за двойните сплави Cu-Al при охлаждане в пясъчни леярски форми е характерно получаването на груба и крехка структура, поради процес на т.н. «самоотгряване». За подтискане на този процес в сплавите се въвеждат желязо, манган и никел поотделно или в комбинация между тях. Те повишават стабилността на β -фазата, задържат евтектоидното превръщане и запазват α - β' структурата. Върху структурата на сплавите от типа CuAl9 може да се въздейства и чрез допълнително модифициране. Като модификатори в този случай се използват труднотопимите метали Ti, V, Zr, W, Mo и B. Тази операция не е популярна и на практика в леярските предприятия рядко се прилага, но според литературните данни е твърде ефективна – позволява около десеткратно издребняване на структурата.

В поредицата от експерименти е възприет следния подход:

- Легиране на базовата сплав с един допълнителен елемент Ni и модификатор Mo – в работата (A5);
- Вариант легиране на базовата сплав с един допълнителен елемент Fe и модификатор Mo в работата (C25);
- Вариант легиране на базовата сплав с един допълнителен елемент Mn и модификатор Mo в работата (C26);
- Комплексно легиране на базовата сплав с два елемента Fe+ Ni и модификатор Mo в работата (B17);
- Комбинирано легиране на базовата сплав с три елемента Fe+Ni+Mn и модификатор Mo в работите (B14) и (B21) при еднакви условия на охлаждане при кристализация.

За сравнение в работите са показвани структурите, получени както при индивидуалното легиране с Fe, Mn и Ni и след съответното модифициране с Mo, така и комбинирани варианти.

Металографският им анализ показва, че:

- внасянето на желязо в базовата сплав CuAl9 води до съществено издребняване на структурата и значително повишаване на твърдостта;
- легирането с никел води до изменение на формата на кристалите на евтектоида – те са издължени и с почти иглообразна форма при пробата с най-голям диаметър, т.е. при най-ниската скорост на охлаждане;
- модифицирането на бронз CuAl9Fe3 с молибден води до промяна на формата на зърната на първичната структура от иглеста в окръглена; тази промяна е съпроводена и с минимално повишаване на твърдостта, но вероятно повишаването на пластичните свойства и най-вече ударната жилавост ще е значително (*това е предмет на бъдещи изследвания*).
- модифицирането на бронз CuAl9Ni3 с молибден показва, че се запазва иглестия характер на структурата, но тя видимо издребнява и намалява чувствителността ѝ към скоростта на охлаждане.
- комплексното легиране с желязо и никел води до силно издребняване на структурата, кристалите на евтектоида имат нишковидна форма. Влиянието на скоростта на охлаждане върху структурата на бронза намалява в сравнение с базовата сплав. При допълнителното модифициране с молибден структурата се трансформира в иглообразна, наблюдава се издребняване, но се запазва чувствителността ѝ към скоростта на охлаждане.

Във всички разработени теми от направление **2.3. Изследвания върху структурата и свойствата на цветни сплави, допълнително легирани и модифицирани** получените резултати показват, че както въвеждането на желязо и/или никел в двойните алуминиеви бронзове, така и вторичното им модифициране с молибден, или други труднотопими метали води до значително повишаване на механичните и експлоатационни показатели на сплавта.

- Резултатите от измерването на твърдостта на базовата сплав и изследваните легирани и модифицирани сплави показват, че при сплав CuAl9 с понижаване скоростта на охлаждане се наблюдава тенденция на повишаване на твърдостта. Това се дължи на частичното евтектоидно разпадане на получената при първичната кристализация β -фаза на евтектоид $\alpha+\gamma$, чиято твърдост и крехкост са по-високи.
- Комплексното легиране с желязо и никел води до чувствително повишаване на твърдостта в сравнение с базовата сплав, като с повишаване на скоростта на охлаждане твърдостта нараства.

Обяснението е, че желязото и никела, освен че задържат евтектоидното разпадане силно издребняват структурата, което води до общо повишаване на твърдостта.

Съществен резултат от експериментите е получаването на първоначални данни за сплави от системата Cu-Al, допълнително легирани с 3% Fe или 3%Ni. В достъпната литература липсват данни, които се отнасят за изследвания с такава насоченост.

Получената информация недвусмислено показва, че както въвеждането на желязо, манган и никел, поотделно или в комбинации в двойните алуминиеви бронзове, така и вторичното им модифициране с молибден (вероятно и други труднотопими метали) води до значително повишаване на механичните и експлоатационни показатели на сплавта.

Предстои нова серия експерименти, които да допълнят представените до моменти и да разширят базата първоначални данни.

(B20) Йорданова Р. М., Янкова С. Р., Атанасова Г. Б., *Гаврилова Р. Вл.*, Изследване на влиянието на химичния състав върху електропроводимостта и механичните свойства на високо електропроводима мед, *Научни известия на ИТСМ*, Година XXIII, Брой 1 (164), Февруари 2015, с. 79-82, ISSN 1310-3946.

Целта на работата е да се установи влиянието на химичния състав върху физичните и механичните свойства на високо електропроводима мед. Приложението на този материал е в електрониката и е от значение изделията да притежава отлична електропроводимост. Физичните свойства на материалите, в частност електропроводимостта, се влияят от химичния състав, а той оказва влияние и върху механичните свойства. В представената работа се търси състав, при който се получава валцуван плосък продукт с висока електропроводимост в съчетание с добра пластичност и якост.

Изследвани са проби от 7 медни блока високо електропроводима мед (ЕТР), получени с различни концентрации на примесните елементи - кислород, цинк, фосфор и сребро, с цел да се установи влиянието на примесите в медта върху физичните и механични свойства. След отливането блоковете са подложени на валцуване до получаването на плосък продукт с дебелина $0,70 \text{ mm} \pm 0,02 \text{ mm}$. Приложени са режими на горещо и студено валцуване с последващо термично обработване, описани в материала. От получените плоски продукти са изработени образци за микроструктурен анализ, механични изпитвания на статичен опън и твърдост, както и за изследвания проведени с цел установяване на електропроводимостта на крайните продукти.

От средните стойности на изследваните якостни и пластични характеристики може да се заключи, че при образците с високо съдържание на фосфор се наблюдава най-ниска електропроводимост. Същото се наблюдава и при образците с високо съдържание на цинк. В образец, при който тези два елемента липсват, ясно се вижда най-

висока електропроводимост. Поради концентрация на кислород над 0,020% се наблюдават ниски концентрации на фосфор и цинк, (Кислородът се свързва с цинка под формата на ZnO). Кислородът от своя страна не влияе върху електропроводимостта, но при концентрации над 0,025%, медта губи част от своята пластичност и при огъване има вероятност от поява на пукнатини, които да доведат до разрушаване на материала.

Получените резултати показват, че е необходимо стриктно контролиране в производствения процес на:

- концентрацията на кислород в границите от 0,0195 до 0,0250%, достатъчна, за да се намали съдържанието на вредните примеси.
- концентрацията на цинк да не надвишава 0,0009%, за да се предотврати свързването на кислорода с цел постигане на много добра електропроводимост и повишаване на механичните свойства;
- концентрацията на фосфор да не надвишава 0,0009%, тъй като фосфорът има най-неблагоприятно влияние върху електропроводимостта.

Установено е, че блокове със състав 1 и 5 след горещо и студено валцуване до дебелина на лентата 0,7 mm и последващо отгряване имат оптимален химичен състав, в резултат на което се получава продукт с много добра електропроводимост в съчетание с високи механични свойства.

2.4. Изследвания върху структурата и свойствата на сплави с неконвенционален химичен състав

Търсенето на сплави с високи механични показатели и оптимални качества в условията на експлоатация налага изследвания по отношение на термичната стабилност, износоустойчивостта, немагнитността и корозионната им устойчивост. Интерес представляват материали, в които дефицитния и скъп Ni е частично или напълно заменен с Mn, каквито са например сплавите от системите Fe-Cr-Mn-C или Fe-Cr-Mn-Ni. За изграждане на точна представа относно структурните особености, свойствата и поведението им в условията на експлоатация са осъществени изследвания, представени в работите (B19) и (B22).

(B19) *Гаврилова, Р. Вл., Янкова, С. Р., Йорданова Р. М., Лазарова Цв. И.,* Проучване на сплави на желязна основа с високо съдържание на манган и хром при различни режими на термично обработване, *Научни известия на ИТСМ*, Година XXIII, Брой 1 (164), Февруари 2015, с. 62-65, ISSN 1310-3946.

(B22) **Gavrilova, R. VI.**, Petkov R. I., Koleva E. M., Study the influence of alloying elements on the structure of iron-based alloys with high content of carbon, manganese and chromium in modes of heat treatment, International Journal Materials Science, Non-equilibrium Phase Transformations, ISSUE 2/2016 YEAR II, pp. 13-16, ISSN 2367-749X.

Обект на двете публикации са изследвания върху лети образци с повишена концентрация на С и постоянно съдържание на Cr и Mn като изходен състав (за работата B19), както и такива с допълнително добавени V и Ni (за работата B22), което е новост, защото механизмите на структурообразуване при леене и промените след нагряване и охлаждане на този тип сплави все още съдържат неизвестни и е желателно да бъдат цялостно изследвани.

Термичното обработване е проведено на няколко етапа - хомогенизация и стареене по различни режими. Твърдостта след ТО е измерена по стандартна методика на Роквел при товар 1471 N. В резултат на рентгено-структурен анализ са получени данни за разпределението на елементите в изследваните сплави под формата на различни фази и съединения. Микрофотографии показват промените в структурата в резултат на ТО.

Установено е, че при еднакво изходно съдържание на основните компоненти – Mn, Cr, C, N, влиянието на ЛЕ върху структурообразуването и механичните показатели в процеса на стареене, е:

Микроструктурата на сплавите с променливо съдържание на аустенито- и феритообразуващи елементи след хомогенизация се състои от аустенит, пределно количество неразтворена карбидна фаза от евтектичен тип от вида Me_3C , $Me_{23}C_6$ и самостоятелни ванадиеви карбиди за сплавта, съдържаща ванадий. Данните от металографския анализ са аналогични с тези от рентгеноструктурния анализ.

Установени са закономерности за кинетиката на процесите, формата и разпределението на отделящата се втора фаза, в зависимост от химичния състав на сплавите, а именно:

- Стареенето протича най-интензивно при 500 и 700°C и е съпроводено с отделяне на най-голямо количество втора фаза с различни форма и разпределение.
- При около 700°C настъпва разпадане на твърдия разтвор с отделяне на перлитоподобни колонии. Отделянията са в най-голям обем при тази температура.
- При 900°C във всички изследвани състави процесът протича по посока на обратното разтваряне на втората фаза в аустенитната матрица. Тенденцията е най-силно изразена в сплавта, съдържаща никел.

От проведените изследвания на сплави на желязна основа с високо съдържание на манган и хром и, и съответно 0,43%C за сплав 1

и 1,88%С за сплав 2 е ясно, че оптималния режим за термично обработване на този тип материали е стареене при температура 500°C и време на задържане 5 часа.

От изследванията в работата (B22) става ясно, че процесите на стареене оказват влияние върху измерената макротвърдост на сплавите (сплав 1, която е базова система, несъдържаща ванадий и никел; сплав 2, съдържаща V и сплав 3, която съдържа само Ni).

- Влиянието на ванадия се изразява в повишаване на HRc с изместване на максимума към 700 и 900°C при продължително задържане.
- В сплавта, съдържаща само никел (B22, сплав 3) се наблюдава разуякчаване при 900°C, вследствие на регистрирания процес на обратно разтваряне на аустенита.
- Стойностите на HRc при всички температури на стареене и продължително задържане (10 и особено 20 часа) се понижават или остават по-ниски от тези в хомогенизирано състояние на сплавта. Този извод е важен от гледна точка на приложимостта на сплав 3.

(C27) Rositsa Gavrilova, Prognostication of main parameters during casting under pressure and crystallization of metal alloys - an assessment of technological improvements and benefits, *International Conference on Metallurgy and Materials, ICMM*, September 26-28, 2016, приета за печат в *Journal of Chemical Technology and Metallurgy* (ISSN 1314-7471).

Работата е продължение на (B7) и (B8) и описва оптимизиране процеса на леене в лабораторна инсталация Leybold Heraeus, Германия. В хода на изследването е разработена методика за експериментално измерване на температурата в тялото на слитъка по време на кристализация и са получени зависимости на температурите от времето. Направена е проверка за адекватност на модела и резултатите са оценени като добри. Максималното отклонение на измерените и изчислени величини е 2.17% за средата и 4.69% за дъното на слитъка.

В резултат на прогнозирането на основните характеристики на процеса и направените подобрения има повишаване на рандемана при тази технология