

## РЕЗЮМЕТА

на научноизследователските трудове  
на гл. ас. д-р инж. Даниела Тодорова Спасова  
катедра „Материалознание и технология на материалите“, при Технически  
университет – Варна  
за участие в конкурс публикуван  
в Държавен вестник, **брой 2, 05.01.2024 г.**,  
за заемане на академична длъжност „**доцент**“,  
обявен в професионално направление „5.1. Машинно инженерство“,  
“Машинно- технологичен факултет, катедра „Материалознание и технология  
на материалите“, при Технически университет – Варна, по учебна дисциплина  
„Материалознание и технология на материалите“

За участие в конкурса са предложени 30 научни труда, разпределени  
както следва:

1.	Научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация	11 бр.
2.	Научни публикации в нереперирани списания с научно рецензиране или в редактирани колективни томове	19 бр.

**Първата група ( I ),** общо **10** публикации са обединени като равностойни на монографичен труд на тема:

**„ИЗСЛЕДВАНЕ НА МАТЕРИАЛИ И ТЕХНОЛОГИИ ПРИЛОЖИМИ ЗА СЪОРЪЖЕНИЯ В МОРСКАТА И ДОБИВНАТА ИНДУСТРИЯ“- В.4.1, В.4.2, В.4.3, В.4.4, В.4.5, В.4.6, В.4.7, В.4.8, В.4.9, В.4.10;**

**Втората група (II)** включва **20** публикации, систематизирани в тематични трудове, в следните области:

1. Разработване на нови и усъвършенстване на съществуващи методи и технологии за изработване на леярски форми и получаване на сложни нетехнологични отливки от различни сплави (5 публикации)- Г.8.1, Г.8.2, Г.8.3, Г.8.16, Г8.18
2. Провеждане на изследвания върху технологии за производство на композитни материали и оценка на качеството и свойствата им (5 публикации)- Г.8.5, Г.8.6, Г.8.7, Г.8.8, Г.8.14

3. Изследване приложението на софтуерни продукти за автоматизиране на обработката на данни и моделиране на топлинни процеси (2 публикации)- Г.7.1, Г.8.10
4. Повишаване на якостните и експлоатационни характеристики на конструкционни материали чрез допълнително приложени технологични процеси (5 публикации)- Г.8.4, Г.8.9, Г.8.11, Г.8.15, Г.8.17, Г.8.19
5. Провеждане на изследвания, контрол за качество и възстановителна дейност върху експлоатационното състояние на производствени обекти (2 публикации)- Г.8.12, Г.8.13

**Резюмета по показател В.4 - хабилитационен труд – научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация**

**B.4.1. Spasova D., Radev R., Atanasov N., Yankova R. (2019).** Investigation to obtain complex relief MMC with metal matrix Al and Cu reinforcement phase. *Advances in Materials and Processing Technologies*, ISSN: 2374-068X, 5(3), 394-400. <https://www.tandfonline.com/doi/abs/10.1080/2374068X.2019.1616417>

Основната цел на представената статия е свързана с изследването на възможностите за получаване на композитни материали с метална матрица (MMCs) и непроменяща се по време на процеса на получаване уякчаваща фаза. Проведени са експерименти за получаване на MMCs с метална матрица Al и усилваща метална фаза Cu от тип „in vitro“ и „hybrid“. Методът за получаване на композитните материали е подобен на метода „капилярно формоване“, т.е. обема на полученият композит предварително се запълва с уякчаващата фаза и след това металната матрица (стопилката) принудително се инфилтрира в нея с помощта на вакуумиране на пространството под разтопената алуминиева сплав (матрицата). При получените композити (MMCs) са установени области на взаимодействие между алуминия и медните частици. Разтворената мед в алуминия формира  $\alpha$ - преситен твърд разтвор, вследствие на което се отделя  $\Theta$ - фаза ( $\text{CuAl}_2$ ). При бавното охлаждане връзката между отделящата се  $\Theta$ -фаза и основната матрица е некохерентна, поради това, че се е формирало химично съединение, което води и до повишените резултати при измерената микротвърдост. При този тип композитни материали има възможност за термично стареене на основната матрица и значително повишаване на твърдостта.

На база гореизложеното могат да бъдат направени следните изводи:

- Използваната схема на капилярно формоване дава възможност за изграждане на иновационно нови многофазни композити с управляема геометрия на уякчаващата фаза и металната матрица, при които течната метална матрица взаимодейства с уякчаващата фаза, като се получава  $\alpha$ - преситен твърд разтвор на медта в алуминия и се отделя  $\Theta$ - фаза ( $\text{CuAl}_2$ ).
- Използваната технология за получаване на MMCs, води до получаване на иновативни материали с завишени механични свойства.
- В зависимост от степента на взаимодействие на течната метална матрица и уякчаващата фаза, се формират различни фази и структури, които при конвенционалните методи на леене не могат да бъдат получени. Така се получават композити, чийто синтез е при

температури, значително по-ниски от температурите на топене на елементите от уякчаващите фази.

**B.4.2. Spasova D.** (2019, October). Investigation of the abrasion resistance of stainless-steel composites with  $Al_2O_3$  reinforcement phase produced by using the capillary forming method. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering ISSN:1757-8981 (Vol. 564, No. 1, p. 012035). IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/564/1/012035/pdf>

В статията са изследвани устойчивостта на абразивно износване композити с метална матрица (MMCс), с матрица от неръждаема стомана AISI 304 и  $Al_2O_3$  уякчаваща фаза. Композитите от Fe- C сплави, подсилени с керамични частици като карбиди и оксиди, намират широко приложение за изработване на инструменти, използвани и в миннодобивната промишленост, износоустойчиви и корозоустойчиви изделия. Целта на проведените изследвания е да се определи устойчивостта на абразивно износване на MMCс, получен в циментови еднократни форми по иновативна технология базираща се на метода „капилярно формоване“, при който металната матрица (AISI 304) принудително се инфилтрирана в пространството между частиците на уякчаващата фаза ( $Al_2O_3$ ), чрез вакуумиране на капилярните пространства формиращи между тях. Използван е тегловен метод за определяне на износоустойчивостта чрез радиално натоварване в режим на течно и сухо триене. За по-точно оценяване на износването са анализирани следните критерии: структурни изменения, кинематика на износване, промяна на размерите и формата и промяна в теглото. Определена е динамиката на изменение на масата в процеса на износване и интензивността на износване и профила на износване на образците, на база геометричните параметри на широчината и дълбочината на износване.

От проведеното изследване могат да бъдат направени следните изводи:

- Използваната методика за получаване на сложнорелефни MMCс, осигурява добри резултати по отношение на инфилтрацията на стопилката (неръждаема стомана AISI 304) в капилярните пространства, образувани между частиците на армиращата фаза ( $Al_2O_3$ ), в резултат на което полученият композит е с изградена плътна структура.
- Измерената микротвърдост в зоната на матрицата на изследваните композити, след абразивно износване, показват завишение (100 – 150HV0.05) в сравнение с изходната, вследствие на полученото механично уякчаване в процеса на абразивно износване.
- Експериментално получените стойности на параметрите на износване  $E_{\text{еталон}} = 2500$  и  $E_{\text{MMC}} = 12500$ , определят полученият композит с клас на износоустойчивост (n) - 5, и показват, че устойчивостта на абразивно

износване, както и твърдостта на материала на матрицата, може да бъдат значително увеличени чрез добавяне на твърди керамични частици, което ги прави предпочитани материали, устойчиви на износване и корозия.

**B.4.3. Spasova D.,** Argirov Y., Mechkarova T. (2021). Comparative Analysis of the Mechanical Properties of Polymer Matrix Composites Reinforced with Fiberglass Fabric. TEM Journal, ISSN: 2217-8309 2021, 10(4), pp. 1745–175035, <https://doi.org/10.18421/TEM104-35>

Композитните материали все повече изместват традиционните и са най-широко използваните от всички групи инженерни материали. Най-голямо приложение имат композитните материали с полимерна матрица, които се използват за оборудване, работещо в морска среда и полимерни тръбни конструкции. Те имат много добра якост, устойчивост на корозия, ниско тегло, лесни за изработване и монтаж и имат висок жизнен цикъл, който често е над 30 години. В статията са разгледани и анализирани механичните свойства на шест вида композити с полимерна матрица, подсилени със различен вид стъклотъкани и стъкломат. За матрицата са използвани два вида смола – полиестерна смола и винилестерна смола. И двата вида матрици са подсилени с по три различни стъклотъкани – моноаксиална, биаксиална и триаксиална стъклотъкан и междинен слой от стъкломат. Изследваните композити са получени чрез механично пресоване под формата на шестслойни панели. Направен е сравнителен анализ на якост на опън ( $R_m$ ) и якост на огъване ( $R_{mb}$ ) на шестте вида изследвани композити и е избран най-подходящия вариант. Проведен е и фрактографски макроструктурен анализ в мястото на разрушаване на образците.

След проведения сравнителен анализ може да се заключи:

- Композитите с матрица от винилестерната смола, при всички анализирани образци показва по-добри якостни механични характеристики в сравнение с полиестерната смола, особено относно якостта на огъване.
- Значително по-голямо влияние върху механичните характеристики оказва уякчаващата фаза, като уякчените с моноаксиал образци са с най- високи механични характеристики  $R_{m_{пес}} = 330\text{MPa}$ ,  $R_{m_{вес}} = 350\text{MPa}$  и  $R_{mb_{пес}} = 265\text{MPa}$ ,  $R_{mb_{вес}} = 397\text{MPa}$ , като отново по- високите стойности са при композитите с матрица винилестерна смола.
- С най- ниски якостни механични характеристики е композита уякчен с биаксиална стъклотъка, но показва най- високи стойности на вертикално преместване (показател за пластичността на материала).
- В крайна сметка може да се заключи, че в зависимост от условията на експлоатацията, изградените шест вида композити могат да намерят

приложимост за изработване на съоръжения работещи в морска среда и тръбни конструкции, като се съобрази натоварването, на което ще бъдат подложени.

**B.4.4. Spasova D.,** Argirov Y., Mechkarova T., Atanasov N. (2021, February). Investigation of the suitability of fiber reinforced polymer matrix composites for facilities operating in marine environment. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering ISSN:1757-8981 (Vol. 1037, No. 1, p. 012029). IOP Publishing. <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1037/1/012029/pdf>

В тази изследователска работа е поставена задача да се установи пригодността на композитни материали с полимерна матрица, за изработване на съоръжения работещи в морска среда. Съществува широко разнообразие от композити с полимерна матрица (КПМ), използвани в тази сфера, поради възможността за комбинация от различни видове армиращи тъкани. За постигане на целите на изследването са създадени два вида КПМ уякчени със стъклени влакна с мрежеста форма, като са определени якост на опън, якост на огъване и относително тегло. Единият от изследваните композити е с матрица полиестерна смола и уякчаваща фаза шест слоя фибростъкло „Стъкломат“ (КПМ 1), а вторият е с матрица от винилестерна смола и уякчаваща фаза комбинация от три слоя фибростъкло „Стъкломат“ и три слоя „Biaxial“- стъклотъкан  $450 \text{ g/sm}^3$  (КПМ 2).

От направените изследвания за пригодност на изградените КПМ за изработване на съоръжения, работещи в морска среда, се установи че:

- Плътноста и на двата материала е с приблизително еднакви стойности, значително по-ниски от тези на традиционно използваните метални материали използвани за изработване на съоръжения, работещи в морска среда.
- КПМ 2 е с по-висока якост на опън и значително по-висока якост на огъване в сравнение с КПМ 1, което се дължи основно на това, че уякчаващата му фаза е съставена освен от фибростъкло и от биаксиална тъкан. Тоето се доказва от проведенният макроструктурен фрактографски анализ, където се вижда, че при КПМ 2 развитието на пукнатината е тангенциално, за разлика от КПМ 1, където развитието на пукнатината е линейно, перпендикулярно на силата на натоварване, а при тангенциално развитие на пукнатината е необходимо повече работа за разрушаване, в сравнение с разрушаване с линейно развитие на пукнатината.

- И двата композитни материала са пригодни за изработване на съоръжения, работещи в морска среда, но имайки се предвид, че съоръженията работещи в морска среда са напрегнати предимно на огъване то КПМ 2 би бил по- подходящият материал в сравнение с КПМ 1

**В.4.5. Spasova D.** (2021) Analysis of The Interface Between The Matrix and The Reinforcement Phase In Ceramic-Reinforced MMCs. International Journal of Modern Manufacturing Technologies, ISSN:2067-3604 2021, 13(1), pp. 193–199 [https://ijmmt.ro/vol13no12021/21\\_Daniela\\_Spasova.pdf](https://ijmmt.ro/vol13no12021/21_Daniela_Spasova.pdf)

Целта на настоящото изследване е да се анализира един основен проблем в производството на композитни материали с метална матрица (MMCs) –омокрянето на армиращите частици от металната матрица. Изследваните композити са тип “инвитро” с непроменяща се в процеса на изграждане на композита уякчаваща фаза, получени по неконвенционален метод, базиращ се на капилярния ефект. Като армираща фаза са използвани керамични частици  $\text{SiO}_2$ ,  $\text{Al}_2\text{O}_3$  и  $\text{SiC}$ , които са със сложен микрорелеф, който допринася за засилване на механична връзка която те се образуват металната матрица (Cu, алуминева сплав AlSi12, медна сплав CuZn38Pb2, стомана AISI 304). За да се получи здрава механична връзка трябва да се създаде близък контакт на основата на адхезия между течната матрица и частиците на уякчаващата фаза. В използваният метод за получаване на MMCs стопилката се инфилтрира принудително в капилярните пространства между керамичните частици на армиращата фаза. По този начин се осъществява много добра адхезия, т.к. принудителното инфилтриране на стопилката в капилярните пространства, спомага за преодоляване на повърхностното напрежение на стопилката и осигурява добро омокряне на частиците на уякчаващата фаза. Изследването на омокрянето на армиращите частици от металната матрица е осъществено посредством металографски анализ.

След проведения анализ могат да се направят следните по-важни изводи:

- Използваният метод за производство на MMCs, базиран на капилярния ефект, осигурява стабилна механична връзка между матрицата и армиращата фаза, тъй като принудителната инфилтрация на стопилката в капилярните пространства спомага за преодоляване на повърхностното напрежение на стопилката и осигурява добро омокряне на частиците на армиращата фаза.
- Едрината на използваните керамични частици не оказва влияние върху степента на омокряне, респективно механичната връзка между елементите на изследваните MMCs. Също така върху омокрянето и механичната връзка не

оказва влияние и видът на използваните метали и слави изграждащи матрицата, съответно различната им температурата на топене.

- Използването на повърхностно активни вещества при изграждането на MMCs не води до добри резултати. Наблюдават се дефекти от използвания флюс, който остава между компонента на металната матрица и армиращата фаза на композита.

**B.4.6.** Georgiev G., Argirov Y., Mechkarova T., **Spasova D.**, Stoyanova, A. (2021, February). Study of the durability of ferritic-austenitic steel samples after cyclical fatigue impact. In IOP Conference Series, ISSN:1757-8981 Materials Science and Engineering (Vol. 1037, No. 1, p. 012036). IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1037/1/012036 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1037/1/012036/pdf>

Целта на тази статия е да се изследват уморните процеси в устойчиви на корозия конструкции от ферито- аустенитни стомани, използвани в морски съоръжения. Изследвани са две групи проби от листова стомана- първата група еталонни образци, а втората заварени елементи. Тестовете за умора са проведени със специално разработено стенд с вибрационно оборудване. Проведено е симулационно изследване с програмен продукт Solidworks 3D с използване на инструмента – frequency(честота) и fatigue(умора), за да бъдат установени границите на работните режими на експерименталната установка (амплитуда, честота, вид на сигнала) и да се симулирана дълготрайността на изпитваните материали. Изчислена е резонансната честота на образците в диапазона 50- 60 Hz и е симулирана дълготрайността им. При проведения симулационен анализ с циклично натоварване от 700 МПа, дълготрайността на образеца е 4000 цикъла и натоварване от 700 МПа е прието като максимално за целите на изследването. Разрушените повърхности са изследвани чрез микроструктурен анализ, а фазовият състав чрез рентгеноструктурен анализ. Якостта на умора се оценява чрез броя на циклите, необходими за формиране на пукнатина при определено променливо натоварване. От проведеното изследване могат да бъдат направени следните изводи:

- Чрез симулационно изследване с програмен продукт Solidworks 3D са изчислени собствената резонансна честота на изпитваните образци и ориентировъчния брой цикли на натоварване, с цел определяне на работния режим и дълготрайността им при изпитвани на циклична умора.

- Въз основа на проведените изпитвания на циклична умора е съставена крива на умора за двата вида материали е установена граница под която не се наблюдава зараждане на пукнатини (за еталонния образец 480 МПа, а за заварените 340 МПа).

- Установено повишена дислокационна плътност и повърхностни вътрешни напрежения на  $\gamma$ -Fe(111), вследствие уширението на рентгеновата линия в зоната на разрушаване на пробата.



- В заварените образци рентгеновата линия е идентична с тази на незаварените проби, при запазване на съотношението между ферит и аустенит:  $\gamma$  - Fe (111) = 60% и  $\alpha$  - Fe (110) = 40%.
- Установено е, че развитието на уморната пукнатината в наварените образци има зигзагообразен характер за разлика от пукнатината, развиваща се в основния метал, която има линеен характер, която се дължи на дендридния характер на получена структурата в наварения метал, който определя развитието и движението на пукнатината.

**B.4.7.** Georgiev G., Argirov Y., Mechkarova T., Spasova D., Stoyanova A. (2021, February). Investigation of the occurrence and development of fatigue cracks after corrosion of welded samples of ferritic-austenitic steel. In IOP Conference Series: Materials Science and Engineering, ISSN:1757-8981 (Vol. 1037, No. 1, p. 012037). IOP Publishing doi:10.1088/1757-899X/1037/1/012037 <https://iopscience.iop.org/article/10.1088/1757-899X/1037/1/012037/pdf>

Статията разглежда възникването и развитието на пукнатини от умора в заварени образци от феритно-аустенитна стомана стомана SAF 2507, които преди това са подложени на корозия. За целите на изследването са подготвени две групи проби от листовата стомана: първата група са заварени образци от стомана SAF 2507, а втората група проби заварени и след това изложени в условията на корозия. Тестовите за корозия са извършени чрез потапяне на пробите в корозионна среда МАСК60 (100 ml вода, 1,5 ml HNO<sub>3</sub>, 8 ml HCl и 2 g NaCl) при температура 60°C. И двете групи проби са тествани със специално разработено вибриращо оборудване за умора, като цикличните изпитания са проведени в диапазона от 280 МПа до 470 МПа, а дълготрайността на образците в диапазон 10<sup>4</sup> - 10<sup>7</sup> цикъла. Дълготрайността на стомана SAF 2507 се оценява чрез броя на циклите, до получаване на пукнатина при определено променливо натоварване. За да се проследи формата и развитието на пукнатината в структурата на фероаустенитна стомана SAF 2507 след заваряване и корозия, е изследвана повърхността на разрушените образци чрез микроструктурен анализ.

От проведеното изследване могат да бъдат направени следните изводи:

- Установено е, че силно корозиралите проби, формирали концентратор за развитие на пукнатина вследствие на междукристална корозия, издържат значително по-малко на циклично натоварване, а при образците със процентна загуба на тегло до 0,25%, вследствие корозионно въздействие, няма промяна на дълготрайността.
- Въз основа на проведените изпитвания на циклична умора е съставена крива на умора за двата вида материали е установена граница под която не се наблюдава зараждане на пукнатини (за заварените образци 340 МПа, а за подложените на корозионно въздействие 320 МПа).

- При образците подложени на корозия, развитието на уморната пукнатина в зоните с издребнена влакнестата структура, пукнатината преминава през зърната, в останалите случаи пукнатината преминава транскристално. Установено е, че при заварени образци след корозионно въздействие уморната пукнатина преминава през зоната на шева и има криволинеен характер, а впоследствие преминавайки през зоната на сплавяване и навлизайки в основния материал тя придобива линеен характер.

**B.4.8. Spasova D.,** Argirov Y., Atanasov N., Yankova R. (2022). Analysis of failure causes of S135 drill pipe. Materials Today: Proceedings, E-ISSN:2214-7853, 59, 1719-1725, doi: org/10.1016/j.matpr.2022.04.026

<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S221478532202140X>

Задачата на настоящата работа е да се изследва причината за преждевременното разрушаване на сондажни тръби от стомана S135 използвани в добивната промишленост за сондаж на нефт и природен газ, която се разрушава на около 4500 метра дълбочина преди допустимите цикли на натоварване. В долната част, където натоварването е на натиск най-често се наблюдават пукнатини по сондажните тръби, имащи уморен характер. Т.к. съвкупността от циклични натоварвания и корозия намалява живота на тръбите с няколко хиляди цикъла, за целите на изследването са проведени механични изпитвания на опън, ударно огъване и якост на умора на образци изработени от изследваната сондажна тръба. При работа на сондажната тръба освен режима на тежко натоварване, влияние оказва и корозионната среда, абразивно и питингово износване в зависимост от земния грунд, поради което са проведени макроструктурен анализ и микроструктурен анализ. Получените данни са анализирани и сравнени с техническите характеристики на стомана S135, дадени по спецификация. След направения анализ, въз основа на получените резултати можем да се заключи:

- След направения микроструктурен анализ на изследваната сондажна тръба е установено наличие на металургични дефекти, които значително намаляват качеството на стоманата и допринасят за създаването на концентратор за образуване на пукнатини. Наличието на микроконцентратор (пора или група от микропори) е предпоставка за възникване на пукнатини от умора, което води до намаляване на пределната якост на материала и обяснява получените занижени стойности.

- При проведения макроструктурен анализ след механичните изпитвания (якост на опън, ударно огъване и якост на умора), се установи наличието на макродефекти в зоната на разрушаване, причинени от питингова корозия поради взаимодействието на почвения грунд и външния повърхностен слой на тръбата в експлоатационен режим, което води до намаляване на пределната якост на материала. Активното взаимодействие на дисперсията почвен грунд с макропорите създава условия за развитие на огнище на пукнатини по външната повърхност и е

основна причина за преждевременната повреда на сондажните тръби от стомана S135.

- За някои проби механичните свойства са близки до тези на спецификацията на стоманата, от което можем да заключим, че разпространението на дефектите не е равномерно в целия обем на тръбата и този проблем може да бъде решен само на етапа на производство, т.е. да се прецизират технологичните параметри на леене на заготовките, от които се произвеждат сондажните тръби. Да се контролира химичният състав и по-специално химичните елементи (Cr, Mn), влияещи върху дезоксидацията на стоманената стопилка

**B.4.9. Spasova D.,** Argirov Y., Petrov P., Mechkarova T. (2023). Study of the Behavior and the Mechanical Properties of Adhesively Bonded Polymer Matrix Composites Under Mechanical Loading. TEM Journal, ISSN: 2217-8309, 12(1). doi: 10.18421/TEM121-05 [https://www.temjournal.com/content/121/TEMJournalFebruary2023\\_36\\_42.pdf](https://www.temjournal.com/content/121/TEMJournalFebruary2023_36_42.pdf)

Основната цел, поставена в изследването, е сведена до получаване на композити с полимерна матрица (PMCs), изработени чрез слепване на два композита с матрица от различни видове смола (винилестерна и епоксидна смола), с цел по- добра функционалност и производителност, и изследване на тяхното поведение при определяне на механичните им свойства. Проучванията са проведени с четири вида адхезивно свързани PMCs, изработени под формата на ламинати, произведени от комбинация от три вида смола (два вида винилов естер и един вид епоксидна смола) и подсилени с стъклотъкан biaxial. Целта е да се съчетаят липсата на свиване на епоксидната смола с по- добрите механични свойства и по- добрата производителност на винилестерната смола. За да се анализира якостта на свързаната повърхност и поведението на слепените PMCs под влияние на механично натоварване, и предвид спецификата на механизма на формиране и разпространение на пукнатината, се проведеха механични изпитвания определящи тяхната якост на срязване, якост на опън и якост на огъване. Проведен е макроструктурен фрактографски с цел изследване поведението на материала под влияние на механично натоварване.

След проведените изследвания и въз основа на получените резултати можем да се заключи:

- Създадената технология за адхезионно свързване на два вида PMCs с матрица, съставена от различни (три вида) смоли, води до положителни резултати и съответно до повишаване на комплексните свойства на стандартни PMCs.

- За всичките четири вида адхезионно слепени РМСs са получени почти идентични стойности за якост на опън и якост на огъване, подобни на стойностите на сходни РМСs получени без лепене, което показва, че зоната на залепване не влияе върху механичните свойства на изследваните РМСs.
- Резултатите от механичните тестове и направения макроструктурен анализ потвърждават, че в зоната на свързване на образците е образувана добра адхезионна връзка с висока кохезионна якост, която не е повлияла отрицателно върху якостта на адхезионно залепенения композит.

**B.4.10.** Petrov P., Mincheva D., Atanasov N., Spasova D. (2023, August). Analysis of the causes for destruction of mechanically reinforced low-carbon steel strips. In AIP Conference Proceedings (Vol. 2868, No. 1). AIP Publishing. E-ISSN:1551-7616, doi.org/10.1063/5.0165443 <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2868/1/020015/2906492/Analysis-of-the-causes-for-destruction-of?redirectedFrom=PDF>

Статията анализира резултатите от технически контрол на два вида нисковъглеродни и нисколегирани, стоманени пластини, от различни производители, с висока якост, широко използвани в транспортната, машиностроителната индустрия и в строителството, с цел установяване причините за разрушаване на серия от произведените пластини, и да се посочат вероятните причини за разрушаването. Извършен е контрол на химичния състав, посредством Спектрален искров анализатор/ Spark analyzer -SPECTROMAX M07, и е проведен сравнителен анализ на механичните характеристики при изпитване на опън (за определяне на якостта на опън Rm, границата на провлачане Rp0.2 и относително удължение A). Проведен е микроструктурен анализ, и е измерена микротвърдостта, повърхностна твърдост и грапавостта на повърхността на изследваните образци. Първия вид са сравнени, със използваните в тази област стомани (ленти, крепежни елементи и части и рамки на окачването на превозни средства) по стандарт, със стомана DC01 + C690 (EN 10139: 1997) и 08 пс или 08 кп (GOST 503-81). Вторият вид стомани са сравнени със стоманата S690Q (EN 10025-6: 2004 + A1: 2009) и 14G2 (GOST 17066-94). След проведеният анализ можем да се заключи:

- Структурата и при двете стомани е ферито –перлитна, силно текстурирана, което показва, че и двете стомани са механично уякчени, въпреки, че съгласно химичният им състав е възможно и уякчаване чрез термично обработване.
- Въпреки измерената малко по- висока твърдост, якостните характеристики на стомана-2 са с около 10% по-ниска якост на опън и с около 15% по-ниска условна граница на провлачане, спрямо стомана -1. Най-вероятна причина за

това е по-грубата повърхност на стомана-2 ( $Ra=3.25\mu m$ ,  $Rz=17,48\mu m$ ,  $Rq=3.9\mu m$ ) в сравнение с тази на стомана-1 ( $Ra=0.40\mu m$ ;  $Rz=4.22\mu m$ ;  $Rq=0.57\mu m$ ), като в подкрепа на това е установено негативно влияние на повишената грапавост съответно върху границата на умора и якостта на опън на стоманите.

- За да се избегне разрушаването на детайлите, изработени от тези стомани водещо до значителни икономически загуби и трудови злополуки, се препоръчва производителите да извършват периодичен контрол на грапавостта на произведените детайли, като е необходимо да се подберат експериментално, допустими стойности, при превишаването на които, следва да се предприемат действия за намаляването и.

### **Резюмета по показател Г.7 - научни публикации в издания, които са реферирани и индексирани в световноизвестни бази данни с научна информация**

**Г.7.1.** Yankova R., Nikolaeva D., Spasova D. (2022). Engineering Software for Calculation of Pre-Insulated Bonded Pipe Systems for Heat Transmission Networks. U.P.B. Sci. Bull., Series C, Vol. 84, Iss. 4, 349-360

[https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev\\_docs\\_arhiva/rez05d\\_885660.pdf](https://www.scientificbulletin.upb.ro/rev_docs_arhiva/rez05d_885660.pdf)

В статията са представени алгоритъм за изчисляване и методика, която гарантира спазване на условията за гранично натоварване при експлоатация на предварително изолирани тръбни системи (PiPS), използвани в индустрията за транспортиране на топлинна енергия по топлопреносната мрежа. Софтуерният подход е свързан с изчисляване на напрежения и удължения в определен участък, като се отчита промяната в дължината, диаметъра на тръбата и дълбочината на полагане. Съществува методология за оразмеряване на тръбопроводи, която включва алгоритъм за разпределение на системи от предварително изолирани свързани тръби за топлоснабдяване. Въз основа на методологията е създаден инженерен софтуер, базиран на Design Patterns, който води до автоматизиране процеса на изчисляване, при проектиране, на напрежения и деформации в предварително изолирани свързани тръбни системи за топлопреносни мрежи, при промяна в диаметъра. Шаблоните за проектиране, които се използват в инженерния софтуер, са 4, за 4 вида функционалност: визуализация на изображения и графики (Abstract Factory), дефинирани данни и параметри на полета (Fluent Interface), база данни (Singleton), въвеждане и обработка на информация в реално време (Data картограф). В заключение може да се каже, че:

- Създаден е инженерен софтуер, базиран на DPs, за изчисляване на напрежения и деформации в предварително изолирани свързани тръбни системи за топлопреносни мрежи, който макар и елементарен, намалява усилията за проектиране, като води до автоматизиране на обработката на данни.
- Приноса в разработеният софтуер е свързан с разширяване на функционалността на софтуерната система чрез добавяне на: оразмеряване на компенсатори; линейни удължения в тройници; оразмеряване на броя и дължина на подложки, както и други изчисления.

### **Резюмета по показател Г.8 - научни публикации в нереферирани списания с научно рецензиране или в редактирани колективни тонове**

**Г.8.1.** Radev R., Atanasov N., Spasova D., Iliev S., 2002 “Vacuum Impulse Casting of sphere type thin- walled casts”, Meet Marind’2002 Proceedings, Varna, Bulgaria, 7-11.11, volume III, p. 163-166

В статията е представена разработена методика за получаване на тънкостенни отливки тип „сфера“, по стопяеми модели от месингова сплав CuSn5Zn5Pb5, чрез вакуумиране на леярската форма, чиято цел е да реши проблема с производството на отливки с малка дебелина на стената ( $\delta = 0,2$  мм). Основния недостатък на конвенционалното оборудването за вакуумно леење е, че топенето, както и леярската форма, в която ще се излива стопилката, са вградени в един корпус, което освен, че оскъпява процеса значително усложнява производството на отливки с по- големи габарити. В разработената методика сплавта се топи при атмосферни условия, а стопилката запълва кухината на леярската форма и кристализира в условия на вакуум. За целта е разработена е уредба, при която леярската форма, изработена от течно- наливна гипсова смес, се залива в условия на вакуум импулсно, т.к. работното пространство се изолира от атмосферата чрез метална мембрана, която се поставя между леяковата чаша и леярската форма. Изследвано е влиянието на степента на вакуумиране на кухината на леярската форма и дебелината на изолиращата мембрана, върху запълването н кухината на леярската форма.

От получените резултати може да се стигне до следните изводи:

- Разработената технология за вакуумно импулсно леење позволява производството на тънкостенни, плътни отливки със сложен релеф със значително намалени разходи за производство, в сравнение с конвенционалните технологии.

- Установено е, че използването на изолиращи мембрани с дебелина от 0,05 mm и 0,1 mm и максимална степен на вакуумиране на леярската форма, води до 100% запълване на формата.

- С увеличаване дебелината на металните мембрани чувствително се намалява запълването на леярската форма. Това в най общи линии е свързано със загубата на топлина от металната стопилка за стапяне на изолиращите мембрани.

**Г.8.2.** Спасова Д., Радев Р., Атанасов Н., Илиев С., 2003. „Изследване използването на неметални мембрани при вакуумно импулсно леење“, Машиностроителна техника и технологии, ISSN 1312-0859, Варна, стр. 44- 46

Изследването се извършва с помощта на специално разработена уредба за вакуумно импулсно леење на отливки от цветни сплави по стопяеми модели, с малка дебелина на стената. Основният момент е използването на неметални мембрани, които изолират леярската форма от атмосферата и предизвикват импулсно инфилтриране на стопилката в кухината на леярската форма. Обект на изследване са четири вида материала от органичен произход (полиетилен (оцветен), полиетилен(безцветен), пенополистирол, пенополистирол в комбинация с алуминиево фолио), използвани за производство на мембрани. Изследваните параметри за определяне на пригодността на материала на мембраната са: газотворната способност на материала, запълването на кухината на леярската форма, определено от дължината на отлята спирала (проба за тънколивкост); степен на вакуумиране на формата. За всеки материал е определена кинетиката на формиране на газовете в резултат на изгарянето на мембраната. Проведени са изследвания за определяне на дефекти от газов характер. От проведените експерименти може да се стигне до следните изводи:

- Разработена и изследвана е методика за получаване тънкостенни отливки без газови дефекти, в условията на вакуумно импулсно леење, чрез херметизиране на формите с няколко вида мембрани.

- Установено е, че използваните мембрани позволяват преди заливане формата да бъде практически максимално херметизирана, в съответствие на

възможностите, на използваната уредба, и в процеса на заливане практически тя не се разхерметизира.

- Разработената методика за херметизиране на формата и заливането ѝ с метал позволява да се увеличи степента на запълване на формата около два пъти.

- При използване на мембрана от пенополистирол, степента на вакуумиране на формата е малко по малка в сравнение с останалите, но по-ниската газотворна способност на пенополистирола води до повишаване на запълняемостта на леярската форма

- Установено е, че газотворната способност на мембраните влияе отрицателно върху запълняемостта на леярската формата, но в получените пробни тела не се получават дефекти от газов характер, което може да се смята за един от най-важните резултати.

**Г.8.3.** Илиев С., Радев Р., Атанасов Н., Спасова Д., 2003 „Електролитно формование на стопяеми модели“, АМТЕХ’, Машиностроителна техника и технологии , ISSN 1312-0859, Варна, стр. 40- 43, стр. 103-107

В статията са разгледани възможностите за получаването на керамични леярски форми с токонепроводими модели, изработени от восъчно-парафинова смес, по метода на електролитното формование. За целта е разработена методика за получаване на токопроводим слой върху токонепроводим модел, за да е възможно да се осъществи електролитно формование, чрез което се получават керамични форми. Представени са технологичните особености за приготвяне на сместа, необходима за получаване на форми на черупки с определена дебелина. Основния момент е създаване на електропроводим слой, чрез активиране на предварително нанесения керамичен слой с 4 % воден разтвор на HCl. Получените керамични черупки се изсушават и изпичат при 950°C, след което могат да се използват за направата на отливки. Изследвана е кинетиката за образуване на керамична обвивка при различни варианти на създаване на условия за електроотлагане на керамичната суспензия върху непроводимите модели.

Основните изводи които могат да се направят, относно качеството на керамичните черупки и пригодността на метода електролитно формование, са :

- Разработена е методика за получаване на керамична черупка върху електронепроводим восъчен модел, която дава възможност да се контролира дебелината на формиращата се черупка, в зависимост от технологичните изисквания към леярската форма.



- Проведеното изследване доказва, че формирането на обвивка с дебелина от 5 до 6 мм от изследваните керамични смеси, може да се получи за период от време 5 до 8 минути.
- Постигнато е точно копиране от черупката на моделния блок вследствие на химичния начин на създаване на електропроводим слой.
- По керамичната черупка не се наблюдават едри порести дефекти вследствие на вида на използваната шликерна суспензия (вид на огнеупорния пълнител и рН).

**Г.8.4.** Yankova R., Spasova D., Petrov P., 2017 „Abrasion of welded layers in dry friction“, „Научни известия“ ISSN 1310-3946, Година XXV/ Брой 1 (216), June/Юни, с.: с. 258-261 <https://www.ndt.net/article/NDTDays2017/papers/59.pdf>

В статията е отразено сравнително изследване на трибологичните характеристики на наварени слоеве с абразивно износоустойчиви електроди (EH550, OK Weartrode 60T, Abradur 64, Abradur 66) върху образци от средновъглеродна, нисколегирана стомана 40X. Целта на научното изследване е да се анализират свойствата на различни видове материали, които се използват за възстановяване на детайли, подложени на абразивно износване в земеделската и строителна техника, и да се определи влиянието на твърдостта и структурата на наварения слой, върху износоустойчивостта му. Извършено е многослойно наваряване с предварително подгриване на образците, като режима на наваряване е съобразен с предписанията на производителя. Абразивното износване на образците се изследва в условия на сухо триене по повърхнина с твърдо закрепени абразивни частици с триботестер „Палец диск“. Получени са експериментални резултати за масово износване, интензивност на износване и износоустойчивост на изследваните образци. Фазовият състав на наварения слой на образеца с най- висока износоустойчивост (наварен с Abradur 66) е определен преди и след абразивното износване чрез рентгеноструктурен фазов анализ.

На база проведените изследвания могат да се направят следните изводи:

- Наваряването с абразивно износоустойчиви електроди значително повишава износоустойчивостта. При конкретните условия на износване -

сухо триене по повърхнина с твърдо закрепени абразивни частици, най-висока износоустойчивост се получава при наварен слой с Abradur 66

- От проведеният рентгеноструктурен фазов анализ, е установено, че преди изпитване на абразивно износване в наварения слой се наблюдава аустенитна структура с карбидни включвания, които са запазили като метастабилна структура. В резултат на износването протичат структурни изменения, като аустенитът се трансформира в мартензит, вследствие наклепването на материала, което благоприятства износоустойчивостта.
- Анализът на резултатите от абразивно износване позволява да се предприемат мерки за повишаване на дълготрайността на машинните елементи, като се създадат подобрени повърхностни слоеве, които притежават високи експлоатационни свойства.

**Г.8.5. Spasova D., Atanasov N., Stoyanov P., Yankova R., 2017 „ Quality Evaluation of Complex Relief Metal Matrix Composite Produced by Using The Capillary Forming Method “, Научни известия“ ISSN 1310-3946, Година XXV/ Брой 1 (216), с.: 251-253**  
<https://www.ndt.net/article/NDTDays2017/papers/57.pdf>

Обекта на изследване в представената работа е сложнорелефен лят метален композит (MMC), т типа “in vitro” и „hibrid”, с матрица от медна сплав (CuZn38Pb2) и армираща фаза желязо, получен в еднократни леярски форми по метода „капиллярно формоване“. Характерното за метода е, че металната матрица (стопилката) принудително се инфилтрира в капилярните пространства на уякчаващата фаза, което принципно е новоразработена технология за получаването на MMCs. Целта на проведеното изследване е да се установи дали методът за получаване на MMCs е ефективен и води до получаване на плътни отливки, със цялостно запълване на капилярните пространства между елементите на уякчаващата фаза със стопилка (матрицата). Наличието, вида, големината и разположение на несъвършенствата (нецялостност) в полученият композит са изследвани посредством рентгенов радиографичен контрол (с рентгенов дефектоскоп XBM 160/225 YXLON), т.к. с ултразвуков безразрушителен контрол не могат да се регистрират дефекти с диаметър под 1 mm. Пролъчването на отливката се направи по две направления – първоначално по „x“ и впоследствие със завъртяна на 90° по направление „y“.

След проведеният качествен контрол и на база получените резултати, могат да бъдат направени следните по-важни изводи:

- От направения радиографичен контрол се установи, че полученият композит е с плътна структура, като в обема на композита са установени три групи пори с незначителни размери (диаметъра на най-голямата пора е под 0,1mm)
- От направената оценка на ниво на качество на отливка, съгласно БДС EN ISO 5579; БДС EN 12681; норма: ASTM E 272; ASTM E310; ASME BPVC Sec.VIII, Div. 2, AM-252.1, се установи, че полученият композит е с много малко несъвършенства и отговаря на поставеното изискване за високо качество на отливката- клас A1.
- Установеното от проведения радиографичен контрол високо качество на полученият сложнорелефен MMC, доказва че при разработената методика за получаването му, стопилката успешно се инфилтрира в капилярните пространства между частиците на уякчаващата фаза, като се получава плътна структура, без наличие на съществени дефекти.

**Г.8.6. Spasova D., Atanasov N., Radev R., 2017**“Investigation of the interaction between the CuZn38Pb2 matrix and the Fe reinforcement phase during the production of the complex relief MMCs”, Prace Instytutu Odlewnictwa, Vol. 57, no. 4, ISSN: 1899 - 2439 p. 315—319 DOI: 10.7356/iod.2017.31 <http://www.prace.iod.krakow.pl/praceio/1517831183de9522074.pdf>

В статията е изследвано взаимодействието между металната матрица от медна сплав (CuZn38Pb2) и усилващата фаза (Fe), по време на изграждане на ляти сложнорелефни композити с метална матрица (MMCс) тип “hybrid”. Използван е иновативен производствен метод (базиран на метода "капилярно формиране") за получаване на композити, с управляема геометрия на уякчаващата фаза и металната матрица, чрез пространствено вакуумиране на работната камера в три посоки и следващо принудително инфилтриране на металната матрица в капилярните пространства между елементите на уякчаващата фаза. Предимство е, че се получават икономически целесъобразно и единични заготовки, чрез използване на конвенционални методи за изработване на керамични леярски форми на гипсова или циментова основа. Предвид продължителният високотемпературния процес на получаване на сложнорелефни MMCс, е очаквано протичане на дифузионни процеси, водещи до взаимодействие между матрицата (CuZn38Pb2) и уякчаваща фаза (Fe). За изясняване на фазовия състав на MMCс и протичащите дифузионни процеси, са проведени микроструктурен и рентгеноструктурен фазов анализ. Също така е анализирана промяната в твърдостта на новообразуваните композитни фази.

На база проведените изследвания могат да се направят следните изводи:

- Разработената методика за получаване на сложнорелефни ляти композити (MMCс), в еднократни леярски форми (керамични, на гипсова или циментова основа, и др.), води до получаване на плътна структура в обема на

композита, като областите с обемни дефекти (пори, незапълвания) са сведени до минимум.

- От проведения рентгеноструктурен фазов анализ на ЛМК с матрица месинг CuZn38Pb2 и уякчаваща фаза желязо се установи наличието на дифузионни процеси водещи до получаване на химично съединение Fe<sub>3</sub>Zn<sub>10</sub> (фаза Г), отделящо се по границата на желязните частици, вследствие на дифузията на Zn от наситената на цинк α-Cu в кристалната решетка на Fe.
- Измерената твърдост в новополучената структура е значително по-висока от твърдостта на изходните материали. В областта на уякчаващата фаза Fe е измерената твърдост средно 150HV, със 100 единици повече от твърдостта на чистото желязо- 50HV, а в зоната на матрицата CuZn38Pb2 измерената твърдост е средно 120HV, за разлика от твърдостта в изходното състояние на сплавта-70-80HV, което също доказва протичането на дифузионни процеси по време на получаване на изследваните MMCs.

**Г.8.7. Spasova D.,** (2018) „Production of Metal Matrix Composite With Fibrous Reinforcement Phase of „In Vitro“ Type“, Известия – Варна, 1’2018, ISSN 1310-5833, стр. 24- 30 20

Целта на настоящата статия е да се изследват възможностите за получаване на ляти композити с метална матрица (MMCs) и влакнеста уякчаваща фаза тип „in vitro“. В този случай изследваните MMCs са с метална матрица сплав ZnAl4Cu1 (ЦАМ) и уякчаваща фаза на стъклени влакна. Изследванията относно методите за изграждане на MMCs са сведени до използване на различни схеми на вакуумиране на пространството за синтез на MMCs, като се използва идеята на метода „капилярно формование“. При класическия метод за получаване на ляти композити „in vitro“ се прилага механизъм на принудително внасяне на усилващата фаза в подготвената стопилка и следващо хомогенизиране на композитната структура, а в разглеждания първо във формата се поставя усилващата фаза (стъклени влакна), а след това металната матрица (ЦАМ) във вид на стопилка, се инфилтрира принудително в пространствата между елементите на уякчаващата фаза чрез вакуумиране. Получените MMCs са изпитани на ударно огъване и изследвани посредством макро- и микроструктурен анализ.

След проведените експерименти, на база получените резултати, могат да се обобщят следните по-важни изводи:

- Използваната схема на капилярно формование дава възможност за изграждане на иновационно нови ляти метални композити (MMCs) с неметална влакнеста уякчаваща фаза (стъклени влакна) и матрица ЦАМ (ZnAl4Cu1), чрез конвенционални методи за изработване на леярски форми (с

бързотвърдяващи се формовъчни смеси), за разлика от конвенционалните методи, където се използва скъпа метална екипировка.

- Отчетени са завишени стойности при изпитването на ударна жилавост ( $KCV = 50 \text{ J/cm}^2$ ), в сравнение с тези дадени по спецификацията за сплавта ( $ZnAl_4Cu_1$ ) изграждаща матрицата ( $KCV = 15 \div 30 \text{ J/cm}^2$ ), вследствие армирането и с влакнести усилващи елементи. Това е предпоставка за реализирането на технологията за получаване на MMCs в производството.
- Очакваните по-високи стойности за ударната жилавост, не се оправдаха, т.к. при проведения микроструктурен анализ, се установиха участъци с неомокряне на елементите на уякчаващата фаза и неравномерно разпределение на влакната в обема на композита, което е предпоставка за занижаване на механичните характеристики. Решението на проблема ще бъде обект на по-нататъшни изследвания.

**Г.8.8. Spasova D.,** Atanasov N., 2018“Investigation of The Production Of „In Vitro“ Tipe Metal Matrix Composite with Low Melting Alloys Matrix”, XXV International Scientific and Technical Conference, 18-20 April, Pleven, Bulgaria, Year II, ISSUE 1 (2) ISSN 2535-017X (Print), ISSN 2535-0188 (Online), p. 32- 35 <https://metallcasting.eu/sbornik/2018.pdf>

Целта на проведените изследвания е да се изследват възможностите за получаване на принципно нови многофазни композити тип „in vitro“ с метална матрица (MMCс), с ниска температура на топене – цинкова сплав ЦАМ 4-1 ( $ZnAl_4Cu_1$ ) и калай (Sn) и уякчаваща фаза  $Cu, Al_2O_3, SiC$ . Използвани са два различни метода за омокряне на уякчаващата фаза от металната матрица в комбинация с вакуумиране на обема на леярската форма, като се използва идеята на метода „капилярно формоване“. При първият вариант леярската форма заедно с елементите на уякчаващата фаза ( $Cu, Al_2O_3$  или  $SiC$ ), се поставя в уредбата и се нагрива до температурата на заливане на матрицата, след което се залива с разтопената сплав, която самохерметизира системата и се инфилтрира в капилярните пространства между елементите на уякчаващата фаза. При втория вариант металната матрица се изгражда на два етапа – първо в кухината на леярската форма се насипват елементите на уякчаващата фаза (прахови частици  $Cu, Al_2O_3$ , или  $SiC$ ) в количество около 60% заедно с метален прах от материала на матрицата в количество около 10%, поставят се в уредбата и се нагрива до температурата на заливане на матрицата, при което частиците от материала на матрицата се стопяват и омокрят уякчаващата фаза. Следващият етап е, вече омокрената уякчаваща фаза да се залее с предварително подготвената стопилка (30%) от материала на матрицата, вследствие на което се получава допълнителното притискане на изграждащият се композит от стопилката и следваща инфилтрация на същата в незапълнените пространства между елементите на уякчаващата фаза.

От проведеният металографски анализ върху получаване на MMCs могат да се направят следните изводи:

- Използваната методика за получаване на MMCs дава възможност за изграждане на плътни композити с матрица от сплави със сравнително ниска температура на топене, които могат да намерят приложение за получаване на плъзгащи лагери, работещи при специфично налягане, статично и ударно натоварване и др.
- От разработените две методики за получаване на MMCs (със и без предварително смесване на елементи на уякчаващата фаза с метален прах от матрицата, и следващо заливане със стопилка, изграждаща матрицата) по-добро омокряне на уякчаващата фаза и съответно по-плътна структура се получава в случаите, когато предварително се смесват елементите на уякчаващата фаза с метален прах от матрицата и се нагряват да пълно стопяване на последната.
- Получените по изследвания метод MMCs се отличават със значително по-високо съдържание на уякчаваща фаза от тези, получени чрез принудително внасяне на последната в предварително стопената метална матрица.

**Г.8.9. Spasova D.**, (2018) „Investigation of the Structural Improvements after Heat Treatment of the Aluminium AlSi7Mg Alloy Wheels“, International Journal “NDT Days”, ISSN: 2603-4018, Volume I / Issue 1 pages 526-531

<https://www.ndt.net/article/NDTDays2018/papers/JNDTD-v1-n4-a14.pdf>

В тази статия са изследвани структурните дефекти, определящи механичните свойства на ляти алуминиеви джанти от сплав AlSi7Mg, получени чрез леене под ниско налягане. Тази сплав притежава много добри леярски свойства, особено по отношение на запълване на леярската форма и минималното свиване. Другото преимущество е, че е термично уякчаема, което позволява да се увеличи допълнително якостта на детайла. За уякчаване на лятите джанти е използваната термична обработка стандартизираната като „Т6“ – закаляване при температура от 515 до 540 °C и следващо изкуствено стареене при 170 °C, с време на задържане 8 часа. Целта на настоящата работата е да се изследват структурните промени на ляти алуминиеви джанти от сплав AlSi7Mg, преди и след допълнителна термична обработка с режим „Т6“, с цел промените в структурата, съответно в свойствата на изследваните обекти. От горепосочените отливки са изработени пробни тела за макро- и микроструктурен анализ с цел установяване на промените в структурата. Макроструктурният анализ е проведен върху образци които, предварително са изпитани на опън. От проведените структурни изследвания могат да се направят следните по-важни заключения:

- След направеният макроструктурен анализ се установи, че при термообработената проба структурата както се очаква е по дребнозърнеста и с транскристално разрушаване, в сравнение с изходната, съответно и по-добри механични свойства.
- Големината и разпределението на порите в отделните зони при двата вида образци е идентична, т.е. не се наблюдава увеличаване на обема на порите след термична обработка.
- От проведеният микроструктурен анализ се вижда, че при термично обработените проби част от Si от евтектиката  $Eв(\alpha+Si)$  се разтваря в  $\alpha$  твърдия разтвор, т.к. при повторно нагриване на  $\alpha$  преситения разтвор се отделят дисперсни зони които са кохерентно свързани с матрицата. Евтектиката се разпада и коагулиралите силициеви кристали се подреждат по границите на  $\alpha$  твърдия разтвор, което е причината за уякчаване на материала.
- Избраният режим на термичната обработка „Т6“ на алуминиеви джанги от сплав AlSi7Mg, проведена с цел повишаване на механичните свойства, не води до нарастване обема на дефектите (порите), а се получава единствено подобрене на структурата, съответно и на механичните свойства.

**Г.8.10. Spasova D., Yordanov K., (2018)** „Mathematical model of the heat interaction between the metal matrix and the reinforcement phase during the production of Metal Matrix Composites“, ANNUAL JOURNAL OF TECHNICAL UNIVERSITY OF VARNA, e-ISSN: 2603-316X, BULGARIA, 2(1), June 30, 2018, p. 1 - 8. <http://dspace.tu-varna.bg/handle/123456789/55>

Статията е свързан със създаване на математическия модел на топлинното взаимодействие между металната матрица (течна фаза)- Cu и уякчаващата (твърда) фаза- Fe, по време на изграждане на композити с метална матрица (MMCs) по метода „капиларно формоване“. В случая се замества топлинен обект с математически модел, съставен и обоснован за изследване поведението и свойствата на оригинала, като се изясняват температурните полета в телата. Създадената симулация изяснява температурните полета и следствената връзка между матрицата и уякчаващата фаза при формирането на макро- и микроструктурата в момент на изграждане на MMCs. Процеса леене със симулация е утвърден инструмент за оптимизиране на методите на леярските технологии. Представени са основните възможности, идеология и структура на софтуерен продукт “MATLAB FEA” (Finite Element Analysis) за симулиране на леярските технологии. Възможностите на продукта са илюстрирани с резултати, получени при компютърна симулация на технологичния процес на получаване на MMCs. Процеса на изследванията, е съпроводен със измерване на температурата в работната камера, на базата които е създаден математически модел на взаимодействие на металната матрица и уякчаващата фаза. Съобразена

е температурата на фазово превръщане от твърдо в течно състояние и поведението на двете фази една спрямо друга (уякчаващата фаза Fe и матрица Cu).

След проведените анализ са направени следните изводи:

- На база измерените температури при получаването на сложнорелефните MMCs, е демонстрирано използването на мезоскално фазово поле за създаване на математичен модел на поведението на течната фаза (стопилка- Cu) спрямо уякчаващата фаза (Fe).

- Създадена е симулация изясняваща температурните полета и следствената връзка между матрицата и уякчаващата фаза в момент на изграждане на сложнорелефни MMCs по метода на капилярното формование.

- Създаденият математически модел предоставя възможност за изясняване на взаимодействието между течната и твърдата фаза, въз основа на температурното поле, като по този начин се допринася за изясняване на омокрянето на уякчаващата фаза.

- Установено е, че изграждането на сложнорелефни MMCs, по метода „капилярното формование“, се очертава като нова технология за производство на топологически комплекс от металокомпозитни структури със свръхвисока междуфазова област и други уникални качества.

**Г.8.11. Spasova D.** (2019). Investigation of the structure and the properties of 18XГТ (1.2162) Steel Gear-Wheel Surface Hardened by Vacuum Carburizing. Int. J.“NDTDays”,ISSN: 2603-4018, 2, 569-75. <https://www.bg-s-ndt.org/journal/vol2/JNDTD-v2-n5.pdf#page=69>

Задачата на настоящото изследване е да се уточнят технологичните особености при вакуумна цементация на зъбни колела от стомана 18XГТ (1.2162). За целта е изследвана е структурата на повърхността на зъбно колело от стомана 18XГТ (1.2162), закалена чрез вакуумна цементация в индустриални условия. Технологията за вакуумна а цементация позволява получаването на повърхност без окиси и хомогенно разпределение на фазата на насищане. Посредством микроструктурен анализ и рентгеноструктурен фазов анализ са изследвани структурите на навъглеродения повърхностен слой, както и структурата в дълбочина. Също така е измерена микротвърдостта в дълбочина на закаления слой.

От проведените изследвания може да се направят следните изводи относно технологичния режим на вакуумна цементация:

- Използвания режим на цементация и разгледаните структури ни дават основание да смятаме, че може да се занижи температурата на цементация с 10 градуса.



- Използваните междинни времена на нагриване са завишени особено при по- високите температури, тъй като скоростта на нагриване е изключително малка.
- Възможно е снижаване на въглеродния потенциал, с цел намаляване количеството на остатъчният аустенит в повърхностния слой, като се снижи броя на впръскванията на ацетилен (C<sub>2</sub>H<sub>2</sub>).
- Избраният режим на вакуумната цементация позволява получаването на безокислителна повърхност, което се доказва от проведенният макроструктурен анализ, при който не се наблюдава окисляване на повърхността.
- На- общо може да се заключи, че избраната методика за вакуумна цементация ускорява технологичния процес, в сравнение с конвенционалните методи за цементация.

**Г.8.12. Spasova D., Argirov Y., MECHKAROVA T. (2020) Investigation of The Strength and Elastic Characteristics of Elastic Rope Used in Safety Equipment. International Journal “NDT Days”, ISSN: 2603-4018, Volume III, Issue 5, ISSN: 2603-4018, p. 569- 575 <https://www.bg-s-ndt.org/journal/vol2/JNDTD-v2-n5.pdf#page=69>**

В статията е изследвана пригодността на еластично въже, използвано за изработване на обезопасително оборудване в корабната индустрия. Изследваният обект- еластично въже с кръгло сечение 25,5 мм, продукт на немската компания JUMBO-Textil, е изработен по иновативна технология, различна от познатата досега. Въжето се състои от гумено ядро, състоящо се от 300 гумени влакна и две външни плетени обвивки от полиамидна тъкан, чиято цел е да предпазват гумените влакна от външно влияние. Особеността на изработването на този вид обвивка е, че нишките не са преплетени под прав ъгъл една спрямо друга, а се пресичат. За целите на изследването е проведено изпитване на опън и са определени механичните характеристики на изследваното еластично въже, за да се установи до какво натоварване ще издържи при използването му в спасителни съоръжения. Също така е извършен макроструктурен анализ.

От проведеното изследване може да се направят следните изводи:

- Изследваният обект еластично въже е изработен по иновативна технология, различна от познатата досега, т.к. е изградено от гумена сърцевина и двойна външна обвивка от висококачествена полиамидна тъкан, с високи якостни и еластични характеристики.
- Първата обвивка загубва максималния си ресурс при натоварване 2800 N, а относително удължение достига стойности  $A = 867\%$  ( $L_0 = 70 \text{ mm}$ ,  $L_u = 677 \text{ mm}$ ). Разрушаване на втората обвивка започва при натоварване  $F_m = 2850 \text{ N}$ , а стойността на относителното удължение се завишава двойно  $A = 1738 \%$  ( $L_0 = 40 \text{ mm}$ ,  $L_u = 735 \text{ mm}$ ). Това обстоятелство доказва, че този вид еластично въже има двойна защита, което от своя страна дава възможност за съвременна намеса при случай на инцидент още при наличие на разкъсване на външния слой, и гарантира безопасност, т.к. втория слой е с по- високи механични характеристики.
- От проведените изследвания се установи, че изследваният обект – еластично въже продукт на немската компания JUMBO-Textil, е подходящо за използване при произвеждане на спасителни съоръжения използвани в корабната индустрия.

**Г.8.13.** Tatyana MECHKAROVA, Yaroslav ARGIROV, Nikolay ATANASOV, Daniela SPASOVA, (2021). Technology and Equipment for Annealing on a Welded Strip from GS- 50CrV4, International Journal “NDT Days”, ISSN: 2603-4018, Volume IV, Issue 4, p. 238- 242 <https://www.bg-s-ndt.org/journal/vol4/JNDTD-v4-n4-a04.pdf>

Настоящата статия изследва ремонтно- възстановителна дейност на шини от пружинна стомана GS50CrV4 с размери: ширина 50mm, дължина 15000mm и дебелина 3mm, подложени на силно променливи опънови напрежения. Силното опъново натоварване и високите температури (между 100 и 200 градуса), в режим на работа на изследваните детайли, водят до периодично им разрушаване. Целта на изследването е да се създаде икономична и надеждна технология за ремонтно възстановяване на тези детайли във вътре цехови условия, без да се налага неговата цялостна подмяна или транспортиране до външна ремонтна фирма. Най-често ремонтната дейност се състои в заваръчни дейности с преносимо оборудване или металорежещи операции. Детайлите, които са подложени на заваръчни дейности са с химичен състав, който налага задължителна термообработка, поради факта, че трябва да отговаря на определени зададени механични

характеристики (твърдост, якост и др.). Контрола на технологичния процес се извършва посредством измерване на твърдост в различните зони на детайла.

Резултатите от изследването могат да бъдат обобщени в следните изводи:

- Разработена е технология за ремонтно възстановителна дейност в работна среда на шини от пружинна стомана GS50CrV4 в следната последователност: 1- Електродьгово заваряване (ВИГ) в разрушената област, с добавъчен материал; 2- Следващо газопламъчно закаляване със специално изработена медна горелка, с нагряване до 980°C; 3- Скоростно охлаждане между алуминиеви плочи с вода; 4- Отвърщане на 200°C в специално изработена според работните условия електросъпротивителна пещ;
- Извършеният контрол доказва, че разработената технология за ремонтно- възстановителна дейност в работна среда, на шини от пружинна стомана GS-50CrV4 (SEW 835), води до положителни резултати, като едновременно с това е и икономически целесъобразна (спестяват се време и разход на средства).

**Г.8.14. Daniela SPASOVA, Yaroslav ARGIROV, Radostina YANKOVA, Nikolai ATANASOV, (2021). Study of Tensile Strength and Cyclic Fatigue of Polymer Matrix Composite Materials. International Journal “NDT Days”, ISSN: 2603-4018, Volume IV, Issue 2, p. 140- 147 <https://www.bg-s-ndt.org/journal/vol4/JNDTD-v4-n2-a10.pdf>**

Статията е свързана с изследване на якостните характеристики на уякчени с влакна композити с полимерна матрица (PMCs), подходящи като материали използвани за изработване на съоръжения и оборудване, работещи в морска среда. Работната среда налага тези композити да притежават висока якостни свойства, особено относно якостта на умора. Умората е най-често срещаната причина за разрушаване, т.к. натоварванията се получават като динамични поради честотите на трептенията, които пораждаат двигателите и винтовете по време на работа. Този факт определи и целта на настоящата работа, а именно да се определят якостта на опън и якостта на циклична умора на изследваните композитни материали, за да се оцени тяхната пригодност за производствени съоръжения и оборудване, работещи в морска среда. Проведен е и макроструктурен анализ в зоната на разрушаване на

образците. Изследваните материали са четирислойни полимеро-матрични композити (PMCs), с матрица полиестерна смола и уякчаваща фаза стъкломат  $300 \text{ g/sm}^3$  и мрежа от фибростъкло  $145 \text{ g/m}^2$ . Единият от тях е изработен изцяло с четири слоя уякчаваща фаза стъкломат, а при другите два уякчаващата фаза е съставена от стъкломат и мрежа от фибростъкло с различна ориентация на влакната.

От проведените изследвания може да се направят следните изводи:

- По-добри механични характеристики, определени след изпитване на опън, се наблюдават при PMCs с уякчаваща фаза само от стъкломат, т.к. стъклените влакна са хаотично разпределени, което от своя страна води до изотропност (идентични свойства независимо от ориентацията на уякчаващата фаза). При композитите с армиращ материал мрежа от фибростъкло се наблюдават анизотропни свойства, т.е. съществува зависимост от посоката на ориентация на влакната в обема на композита.
- Наблюдава се повишаване на пластичните свойства при композита с уякчаващата фаза мрежа от фибростъкло, ориентирана под ъгъл от  $45^\circ$ .
- Симулативно са установени максималното напрежение и максималния брой цикли за разрушаване на разглеждания материал.
- След проведените уморни изпитвания е установено, че трите композита имат приблизително еднаква уморна якост.

**Г.8.15.** МЕЧКАРОВА Т., АРГИРОВ У., СПАСОВ Д., СТОЯНОВА А. (2021). STRUCTURAL CHANGES OF NITROGEN FERRITE AFTER AGING IN TEMPERATURE INTERVAL UP TO 100 C. Annals of the University Dunarea de Jos of Galati: ISSN L 2067-2071, Fascicle IX, Metallurgy & Materials Science, 39(1)  
<https://www.gup.ugal.ro/ugaljournals/index.php/mms/article/view/4319>

Изследването в представената статия има за цел да определи до каква степен протича стареене на азотистия ферит под  $100^\circ\text{C}$ , след газово карбонитриране и последващо закаляване на техническо чисто желязо (Armco). Образците от Armco желязо предварително са деформирани чрез опън тестова машина, със степен на деформация  $\varepsilon=16\%$ , а след това рекристализационно отгряти при температура  $700^\circ\text{C}$  и продължителност 2 часа, с което се постига едрозърнеста феритна структура със среден размер на феритното зърно  $\bar{I}=105\mu\text{m}$ . След газово карбонитриране с нискотемпературно насищане при  $t=570^\circ\text{C}$  и охлаждане във вода се получава азотист ферит. За да може да се проведат рентгеноструктурни изследвания на феритната фаза, чрез електрохимично разяждане е премахната карбонитриданата зона, състояща се

от  $\epsilon$ -карбонитрид, в повърхностния слой. Стареенето се провежда в лабораторна камерна пещ с вентилатор за протичане на конвективен топлообмен в обема на камерата до температура  $100^{\circ}\text{C}$ . С цел да се установи до какви структурни, съответно и якостни изменения, води процеса стареене е изследвана микротвърдостта в отделното зърно и е проведен рентгеноструктурен анализ.

В заключение следва да се отбележи:

- Формирания преситен азотист ферит след нискотемпературно газово карбонитриране има склонност към стареене, като в най-голяма степен се уякчава в температурен интервал  $80-90^{\circ}\text{C}$  и задържан при тези температури от 80 до 100 минути. Измерените единици микротвърдост са  $460-465\text{HV}$ , за сравнение изходната твърдост в дифузионната зона на азотистият ферит е в границите  $250-320\text{HV}$ .
- В режима на стареене тези интервали от оптимални температури и продължителност се оказват твърде тесни, което се дължи на високата чувствителност в кохерентното взаимодействие между нитридната фаза ( $\alpha''$ ) и феритната матрица ( $\alpha$ ).

**Г.8.16. Spasova D.,** (2023), Study of the formation of a surface layer of castings between two liquid phases, Machines Technologies Materials 2023, Volume III, ISSN 2535-0021, p. 295- 299 <https://mtmcongress.com/winter/sbornik/3-2023.pdf>

Представената статия е свързана с изследване върху формирането на повърхностен слой на отливки между две течни фази, т.е. едната течна фаза е стопилката, а другата противоположната обмазка на леярската форма, която е с температура на топене по-ниска от температурата на кристализация на използваната сплав. За целта стопилката се прегрява, така че след заливането на леярската форма да се задържи известно време в течно състояние, преди да започне да се втвърдява, за да се осигури стопяването и на обмазката на леярската форма, като по този начин повърхността на отливката да се формира между две течни фази (стопила- обмазка). Анализирани са температурното поле в момента на взаимодействие на двете течни фази. Разгледано е влиянието на различни видове нискотопими обмазки (на базата на сярна и нискотопима фрита) върху плътността и грапавостта на повърхността на отливки от алуминиеви и медни сплави. Първоначално са получени отрицателни резултати, свързани с образуването на механичен и химичен пригар на повърхността на отливката,

както и с наличието на газови дефекти в обема на отливките. За да се предотврати образуването на пригар и дефекти в отливките е приложено вакуумиране на леярската форма, по време на заливането ѝ със стопилка, с ниска степен на вакуумиране на формата (- 0,2 ÷ -0,3 Bar). Проведен е микроструктурен анализ и е измерена грапавостта на изследваните образци по стандартни методики – БДС [ISO] 4287/17, ISO 4288.

На база проведените изследвания, може да се направи следното заключение:

- Създадената методика за формиране на повърхностен слой на отливки между две течни фази (обмазка на леярската форма- стопилка) води до положителни резултати и е подходяща за получаване на отливки от алуминиеви и медни сплави. Формираното температурно поле осигурява контакт на стопилката с обmazка докато и двете са в течно състояние, като по този начин повърхност на отливката се формира върху течна фаза, осигурявайки по- ниска грапавост.
- Обмазките със сяра не водят до положителни резултати, но обмазките на основата на нискотопима фрита са особено подходящи за реализиране на поставената задача.
- Създадената технология води до получаване на отливки с ниска грапавост съответстваща на 1 степен на точност за повърхност на отливка, а сравнявайки получената грапавост с грапавостта след механична обработка, получената повърхност на пробните отливки съответства на повърхности получени след фино стругуване и грубо шлифване.

**Г.8.17. Spasova D.,** (2023), Determining the Simultaneous Influence of Several Factors on Abrasive Wear After Layer Welding, International Conference "NDT Days" 2023 June 12-16, 2023, Sozopol, Bulgaria-

Наваряването с износоустойчиви електроди е често използван метод, който се използва при възстановяването на детайли, работещи в условия на контактно триене. Стоманата 40X, една от често използваните конструкционни стомани, е средно въглеродна, нисколегирана стомана и с ниска износоустойчивост. Износоустойчивостта може да се увеличи чрез наваряване на контактната повърхност с износоустойчиви електроди. В настоящата статия са изследвани 5 типа образци, 4 от тях са наварени с износоустойчиви електроди (EN550; Abradur 64; Abradur 66; OK Weartrode 60T;), а петият образец е еталон за сравнение, изработена от стомана 40X. Проведени са трибологични изследвания на наварените образци в режим на сухо триене и е изследвано влиянието на въглеродния еквивалент и хромовия

еквивалент върху твърдостта и износоустойчивостта (промяната в масата на образеца) на наварените повърхности. Измерена е макротвърдостта по дълбочината на наварения слой и е извършен металографски структурен анализ.

На база проведените изследвания може да се направят следните изводи:

- Разработената технология за наваряване с абразивно износоустойчиви електроди значително повишава износоустойчивостта в режим на сухо триене. Най-висока износоустойчивост се получава при наваряване на основния материал с електрод „Abradur 66“, който е комплексно легиран, с висока твърдост, определена от високото съдържание на въглерод и карбидни включения, а най-ниска износоустойчивост се наблюдава при наваряване с електрод „ЕН 550“, което се дължи на по-ниското хромово и въглеродно съдържание.

- Установено е, че не винаги високата твърдост води до висока износоустойчивост, както при наварения образец с ОК Weartrode 60T. Материалите с висока твърдост са крехки и създават предпоставка за изронване на частици, които водят до преминаване в режим на абразивно износване на три тела, и съответно до намаляване на износоустойчивостта.

- От интерполираните пространствени графичните зависимости, между отделните параметри в режим на сухо триене, може да се направи извод, че износената маса спада значително при стойност на хромовия еквивалент над 10% и твърдост над 500 HV, както и при стойност на въглеродния еквивалент над 4% и твърдост над 450 HV.

**Г.8.18. Spasova D.,** (2023), Investigation of The Effect of Non-Stick Coatings Based on Corundum, Zircon and Graphite on The Formation of The Surface of Complex Relief Castings in Combination with The "Capillary Molding" Method, International Conference "NDT Days" 2023 June 12-16, 2023, Sozopol, Bulgaria

Настоящата работа е свързана с изследване на възможността за получаване на сложно-релефни отливки по стопяеми модели в условия на леене във вакуум, в съчетание с метода „Капилярно формование“ и използване на обмазки гарантиращи ниска грапавост на повърхнините. Характерното за метода е, че приготвянето на формовъчната смес се осъществява в самата леярска каса и формирането на необходимия слой свързващо вещество около пясъчните зърна, т.е. получаването на формовъчната смес, се осъществява без прилагане на механично въздействие върху компонентите. Свързващото вещество прониква в капилярните пространства между пясъчните зърна, като ги омокря по цялата им повърхност, вследствие

вакуумиране на леярската форма. Предимството е, че леярската форма не се изпича, както е в класическите технологии за получаване на сложнорелефни отливки по стопяеми модели, а само се изсушава до 150-200 °С. При създаденият метод за капилярно формование се осъществява много добра връзка между използваните обмазки, на основата на корунд, циркон и графит, и опорната част на формата, т.к. в обмазките като свързващо вещество са използвани карбофенова смола и водно стъкло, както и при изработването на опорната част на леярските форми.

Въз основа на получените резултати може да се заключи:

- Чрез използване на метода „Капилярно формование“ се осъществява много добра връзка между използваните обмазки и опорната част на формата по цялата повърхност.
- За разлика от конвенционалния метод за леене по стопяеми модели, в използвания метод нагряването на формата се понижава с няколко стотин градуса, което води до по-ниска енергоемкост на процеса и също така до получаване на форма без пукнатини.
- Влиянието на използваните обмазки (на основата на корунд, циркон и графит и свързващо вещество водно стъкло) върху формирането на повърхността на сложнорелефни отливки е значимо, т.к. обмазаните повърхнини се получават с ниска грапавост ( $Ra = 1.2 \div 1.5$ ), съответстваща на грапавостта на обмазката.
- Също така в обема на отливката липсват газови дефекти, което показва, че газовете, формирани вследствие на взаимодействие на стопилката пропиват в порите на леярската форма, вследствие нейното вакуумиране.
- При използването на обмазки на основата на корунд, циркон и графит и свързващо вещество карбофенова смола, повърхността също се получава с ниска грапавост  $Ra = 1.8 \div 2.2$ , но в близост до повърхностния слой се наблюдават газови дефекти.

**Г.8.19.** Petrov P., Nicolova R. **Spasova D.**, (2023) Effect of gas nitrocarburising on the structure and properties of welded joints of corrosion-resistant steel, International Conference "NDT Days" 2023 June 12-16, 2023, Sozopol, Bulgaria

В настоящата работа поставената цел е да се изследват възможностите за подобряване на свойствата на заварени съединения от аустенитни и дуплексни корозионноустойчиви стомани, чрез химико-термично обработване-газово карбонитриране. Изследваните образци са заваръчни съединения от два вида корозионно-устойчиви стомани –аустенитна (316L) и дуплексни (S31803; S32205). След премахване на корена на заваръчните шевове и шлифване на повърхностите (операции извършвани преди



механичните изпитвания на заварени съединения или за наварени изделия), заваръчните съединения са подложени на химико-термично обработване в среда от амоняк и въглероден двуокис, по нискотемпературен режим на газово карбонитриране, водещ до формирането на “s” –фаза на повърхността. Счита се, че наличието на “s” –фаза на повърхността на стоманите, води до равна или дори по-добра корозионна от тази на неръждаемите стомани. След заваряването на стоманени листи от избраните стомани и следващото им химико-термично обработване е проследено изменението на твърдостта по зони и е проведен микроструктурен анализ.

На база проведените изследвания може да се направят следните изводи:

- От проведеният микроструктурен анализ е установено, че изследваните заваръчни съединения са с добро качество, без наличие на дефекти от типа пори, пукнатини, непровари, подрези.
- Нискотемпературното газово карбонитриране водещо до формиране на “s”-фаза, значително уякчава отделните зони на завареното съединение от аустенитна стомана 316L. Максимална степен на уякчаване се постига в зоната на термично влияние, което е особено благоприятен факт, тъй като точно там се очаква влошаване на механичните показатели след заваряване.
- По отношение на дуплексната стомана следва да се предложи ревизия на избора на електрод за заваряване, тъй като е установена доста сериозна разлика по отношение възможността за насищане на основния материал и заваръчния шев.