

НАНОМОДИФИЦИРАНЕ НА МЕТАЛА НА ШЕВА ПРИ ЗАВАРЯВАНЕ И НАВАРЯВАНЕНА АЛУМИНИЕВИ СПЛАВИ

Николай Алексиев

naleksiev@abv.bg

**ИМСТЦХ – БАН”Акад. А.Балевски”,
София 1574, ул. “Шипченски проход 67,
БЪЛГАРИЯ**

***Ключови думи:** електродъгово заваряване, наваряване, наномодификатори, наноразмерни прахове, деформируеми алуминиеви сплави*

***Резюме:** Направен е преглед на промяната на свойствата и механизмите на уякчаване на заваръчния шев, чрез въвеждането на нанодисперсни частици в заваръчната вана при електродъгово заваряване и наваряване. Отчетено е значително намаляване размера на зърната на метала шева, увеличаване на якостта на опъл, твърдостта и пластичността. Разгледани са различните начини на въвеждане на наночастиците в заваръчната вана и различни начини на повърхностна обработка на наночастиците с цел по-доброто им усвояване от течния метал. Предложена е оригинална технология за ефективно усвояване на нанопраха в допълнителния материал при заваряване и наваряване на деформируеми алуминиеви сплави. Показани са чрез металографско изследване и изследване с електронно сканиращ микроскоп разположението на наночастиците в насечките от АМг5.*

1. Въведение

Алуминият и алуминиевите сплави се явяват важен конструкционен материал в съвременната техника, благодарение на относително ниската му плътност и устойчивостта му на корозия, дължаща се на пасивирането чрез образуване на плътен повърхностен слой от оксиди. Алуминиевите сплави, получени по традиционните методи на легиране са достигнали границата на конструктивната си якост. Освен това при изработването на конструкции от алуминиеви сплави не винаги може да се постигне еднаква якост между основния метал и заваръчния шев. При конструкции изработени от АМгб и използване на добавъчен тел със същия състав, якостта на шева е около 10% по ниска. Причина за това е факта, че метала на шева се отличава от основният метал с по-едрите зърна на α -твърдия разтвор и по едрите β -фази (Al_3Mg_2), отделени по границите им.

Известно е, че физико-механичните и експлоатационни характеристики на изделията, изработени от различни материали, зависят не само от химическия състав на сплавите, от които са изработени, но и от степента на издребняване на структурните съставляващи. Колкото по дребна е структурата, толкова по-високи са механичните свойства.

2. Преглед на механизмът на уякчаване и въвеждане на нанопраховете в заваръчната вана

Издробенването на структурата на шева при заваряване и наваряване може да се постигне чрез модифициране на течната фаза с трудно топими наноразмерни прахове. Наноразмерни са частиците, на които геометричните размери в едно направление не надвишават 100 nm. Частици с такива размери се получават по различни технологии, например чрез саморазпостраняващ се високотемпературен синтез, чрез плазмохимичен метод [1] или чрез взривна технология (диамантени наночастици) [2]. Особен интерес при алуминиевите сплави представляват трудно топимите химически съединения с нано размери като TiN, TiCN, TiC, BN и LaB₆[3], тъй като те притежават уникални физико-химични и механични свойства, различаващи се от свойствата на обемни материали със същия химичен състав. Разликата в свойствата се обяснява с това, че в нано мащабите възникват качествено нови ефекти, свойства и процеси, определени със законите на квантовата механика в малки структури. От съществено значение е отношението повърхност - обем.

Нано частиците повишават якостта, пластичността, твърдота и износоустойчивостта [4]. Смята се, че универсалността на модифициращите ефекти на нано праховете на различни метали и сплави е свързано с качествата на нанопраховете. На първо място, те имат висока температура на топене, а от друга страна имат висока стабилност на утаяване в течности. Затова оказват двойно модифициращо въздействие: първо, те служат като кристализационни центрове и второ, блокират дифузията на съответните атоми към нововъзникващите и нарастващите кристали, като в крайна сметка спомагат за образуването на финна структура.

Въведени в заваръчната вана, те се разпределят в обема на метала и служат като хетерогенни зародиши за образуване на кристалната фаза. При това е установено, че намаляването на размера на въвежданите частици повишава ефективността на нанопраховете и степента на усвояването им от течната фаза. Нанопраховете променят процеса на зародишообразуването, който протича на границата на контакт (наночастица-зародиш-течната фаза) и рязко променят нарастването и размера (морфологията и дисперсността) на нарастващите зърна. Структурата на шева вместо иглено-дендритна, става квазистационарна и малко дисперсна. Намалява се размерът на неметалните включвания, съответно се повишават механичните характеристики (якост и пластичност) на метала на шева, нараства няколко пъти относителното удължение, границата на якост и границата на провлачване [5]. Уякчаващото действие на наночастиците се обяснява и с това, че те изкривяват матрицата на алуминия и възпрепятстват движението на дислокациите.

Нанопраховете могат да бъдат въведени в заваръчната вана по няколко начина в зависимост от метода на заваряване и наваряване: чрез заваръчния тел, чрез обмазката на електрода, чрез директно впръскване или обмазване на заваряваните или наваряваните повърхнини [6].

В публикация [7] се представя нов подход за модифициране на повърхностни слоеве с наночастици от прахове на карбиди, нитриди, оксиди и др. Добавянето на частиците се осъществява при ВИГ и импулсно ВИГ наваряване чрез впръскване в нискотемпературната област на заваръчната вана, което предотвратява тяхното прегряване. Проведени са изследвания на структурата, микротвърдостта и износоустойчивостта на модифицирани с нанопраховете от Al₂O₃ и TiCN повърхностни слоеве, наварени по методи ВИГ и ИВИГ върху стомана S235. Максимална износоустойчивост показва образец, чиято повърхност е модифицирана с TiCN по метод ВИГ. Износоустойчивостта му се е повишила с 27.5% спрямо еталонния образец.

Регистрирано е издребняване на микроструктурата и повишаване на микротвърдостта на нанесения слой.

Представен е метод на внасяне на наночастици волфрамов карбид чрез обмазката на електроди за ръчно електроудгово заваряване УОНИ 13/55[8] и на внасяне на наноразмерен титанов нитрид при електроди за наваряване [9]. В процеса на заваряване наночастиците, чрез заваръчната дъга, попадат в заваръчната вана. В резултат се получава модифициране на наварения метал, повишаване на якостта и твърдостта на метала на шева.

В публикация [10] е представен метод на електрошлаково заваряване с въвеждането на наноструктурираните компоненти в заваръчната вана с помощта на тръбен електроден тел вътрешността, на който е запълнен с нано прахове от титанов карбонитрид TiCN. В резултат се получава издребняване на структурата на шева и повишаване на механичните показатели.

В следващата публикация [11] е представен метод на механизирано заваряване с топящ се електрод в защитна газова среда с нанасяне на нано структурирани частици на повърхността на стандартен заваръчен тел G4Si1. Обработката на повърхността на тела е проведена в електролит с ултра- и наночастици. Използвани са медни нанопрахове. Създаден е тел с микропозиционно покритие от ултра- и наноструктурирани прахове от халогени в медна матрица. В резултат се подобрява заваръчната дъга, формирането на шева и повишаване на производителността.

Наноразмерните труднотопими частици не се омекват (или трудно се омекват) от течните метали. Това възпрепятства равномерното им въвеждане в стопения метал и увеличава склоността им към образуване на клъстери, като по този начин се намалява ефекта от въвеждането им. Един от начините за получаване на активни нанопрахове е плакирането им по електрохимичен метод с подходящо метално покритие. Възможно е покриването на наночастиците по механичен начин чрез обработката им с плакиращи метали в центробежни планетарни мелници [12].

3. Механична обработка на наноразмерните прахове

Избираме именно такъв подход за обработка на нанопрах от TiCN. Приготвяме смес от насечки (0,5-1 mm) от стандартна тел АМг5 за ВИГ заваряване и нанопрах с различно процентно съдържание на TiCN.

Смесваме така приготвените състави в планетарна топкова мелница фиг.1 [13]. Тя се състои от 3 цилиндрични чаши, разположени върху планетарен диск и запълнени с определен брой стоманени сфери. Чашите се въртят около своите собствени оси, а планетарният диск се върти в противоположна посока. Сместа от наноразмерен прах и насечки от АМг5 протектор си взаимодействат в резултат на високо-енергетичните удари на сферите и в резултат на триенето между сферите и стените на чашите.



а)



б)

Фиг.1. Планетарна мелница: а) общ вид и б) схема на принципа на работа

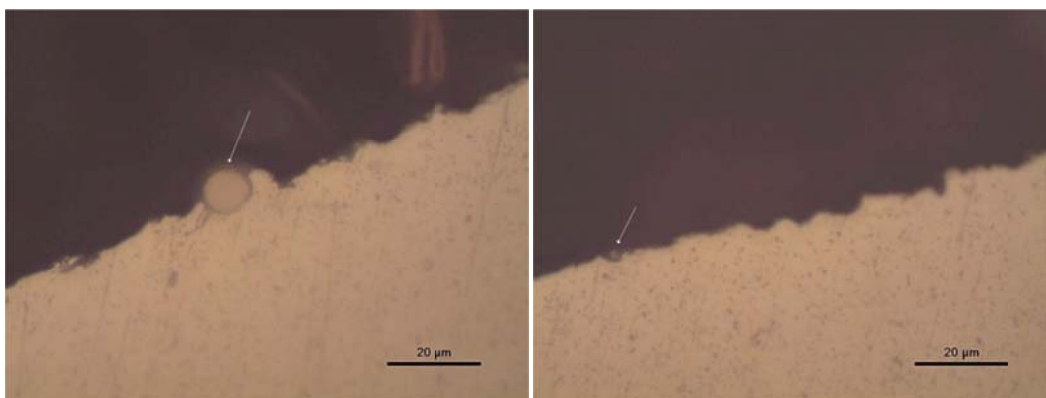
По време на работа на мелницата ускорението на сферите достига 100 пъти g . В определена точка по-високата центробежна сила на планетарния диск води до откъсване на обработваните материали и сферите от вътрешната повърхност на чашата. Сферите се движат с голяма скорост през пространството на чашата и удрят обработвания нанопрах към насечките и противоположната стена на чашата. Това позволява ефективно впиване на наночастиците в метала и добро плакиране на наноразмерните частици.

Сместа е подложена на механична обработка в планетарна мелница в продължение на 20 min до пълно усвояване на наночастиците. На фиг.2 са показани насечки преди и след обработката с TiCN.



Фиг.2 Насечки от AlMg5: а) преди обработка; б) след обработка с наномодификатор TiCN

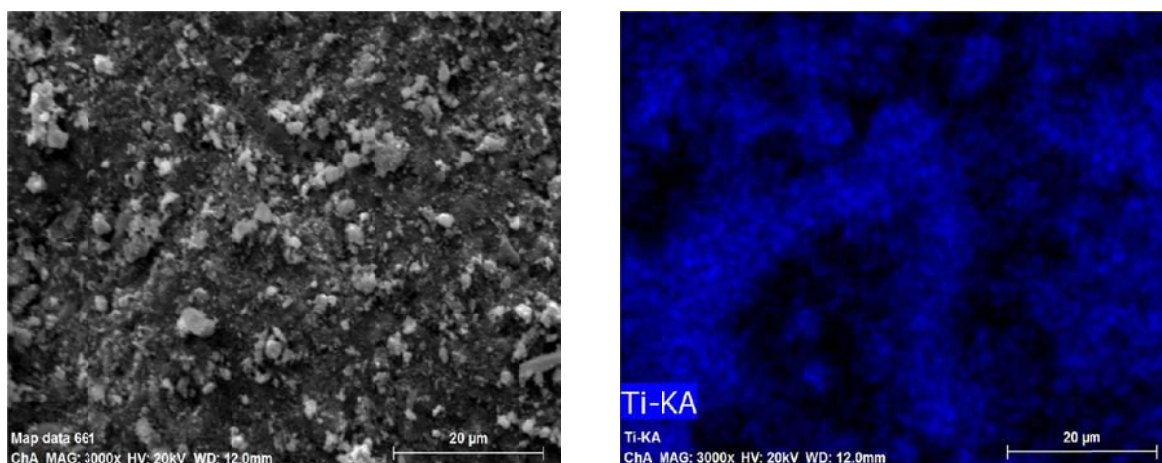
На фиг.3. са показани резултатите от металографския анализ на обработените насечки. Анализът е проведен по стандартна процедура, като металографските шлифове най-напред се обработват с шкурки за мокро шлифование с номера 280, 400, 600 и 1200 и след това се полиратмеханично. Проявени са с реактив на Keller /2ml HF, 3ml HCl, 5 ml HNO₃, 190 ml H₂O/. Наблюденията са извършени с металографски микроскоп PolyvarMet при увеличения до 200x.



Фиг.3.Микроструктура на насечка от AlMg5 сплав

Направена е електронна микроскопия на повърхността на насечките с помощта на сканиращ електронен микроскоп с рентгенов микроанализатор (SEM – РМА), JСХА 733 на фирмата JEOL. Наблюденията са извършени в режим на вторични електрони, проведен е и рентгенов микроанализ. При наблюденията със SEM и РМА върху

наблюдаваната повърхност се установяват частици, в които се регистрира наличието на Ti. (фиг.4).



x3000, СЕМ

x3000,Разпределение понаблюдаваната площ на характерно рентгеново лъчение TiCN

Фиг. 4. Резултати от СЕМ и РМА от повърхността на насечките

Така подготвените материали се уплътняват в тънкостенна капсула от АМг5 и впоследствие се екструдират във вид на тел с диаметър 3,2 mm.

4. Изводи

Създадена е технология за механично покриване на наночастиците с алуминиева сплав и екструдиране във вид на тел за ВИГ заваряване. По този начин се постига по-добро смесване и усвояване на наночастиците в заваръчната вана и издребняване на структурата на заваръчния шев.

Литература:

[1] Сабуров В.П., Черепанов А.Н., Жуков М.Ф., Галевский Г.В., Крушенко Г.Г., Борисов В.Т., Плазмохимический синтез ультрадисперсных порошков и их применение для модифицирования металлов и сплавов,. Новосибирск: Наука. 1996. 312 с.

[2.] Patent US005353708A, Oct.11, 1994. Method for production of ultradispersed diamond, S. Stavrev et al.

[3.] Крушенко Г.Г., Мишин А.С.Сварка листов из сплава АМг6 прутком, содержащим ультрадисперсные порошки// Сварочное производство.- 1995.- № 1.- С. 2-3.

[4.] Новые материалы / Под ред. Ю.С. Карабасова. М.:МИСИС. - 2002. - 736с.

[5.] Наночастицы в каждый самолет // Наука и жизнь. 2008.- № 4.- С. 8.

[6.] Ташев П., Петров Т., Лукарски Я., Стефанов Г., Технологии за внасяне на наноразмерни частици в заваръчния шев при процеси на наваряване, Инженерни науки, год. L, 2013, № 3, списание на отделение „Инженерни науки” към Българска Академия на Науките, стр. 82-93,ISSN 1312-5702.

[7.] Petrov T., Tashev P., Kandeва M., Wear resistance of surface layers modified with Al₂O₃ and TiCNnanopowders weld overlaid using TIG and ITIG methods, Journal of the Balkan Tribological Association 2016, SciBulCom Ltd., vol. 22, №1, Статия №1136, ISSN 1310-4772.

[8.] Соколов Г.Н., Трошков А.С., Лысак И.В., Са-мохин А.В., Благовещенский Ю.В., Алексеев А.Н., Цветков Ю.В. Влияние нанодисперстных карбидовWC и никеля

на структура и свойства наплавленногo металла. // Сварка и диагностика. – 2011. – №3. – с. 36-38.

[9.] Ташев П., Кондов Х., Лукарски Я., Ташева Е., Разработване на наномодифицирани електроди за ръчноелектродьгово наваряване, твърдост на наварения слой, Инженерни науки, год. LII, 2015, № 3, научно списание „Инженерни науки” към Българска Академия на Науките, стр. 71, ISSN 1312-5702

[10.] Еремин Е.Н. Применение наночастиц тугоплавких соединений для повышения качества сварных соединений из жаропрочных сплавов. // Омский научный вестник. – 2009. - №3. – с. 63-67.

[11.] Паршин С.Г. MIG-сварка стали с применением наноструктурированных электродных материалов. // Сварочное производство. – 2011 - №10. - С.27-31.

[12.] Патент РФ № 2429958 Способ изготовления электродной проволоки для сварки алюминиевых сплавов.

[13.] Н. Алексиев, Б. Кръстев, Р. Димитрова, В. Манолов „Технология за екструдирание на тел съдържащ наночастици”, Пета национална конференция с международно участие Металознание, хидро- и аеродинамика, национална сигурност 2015, сборник доклади с. 149-153.

NANOMODIFICATION OF THE SEAM DURING WELDING AND OVERLAY OF ALUMINIUM ALLOYS

Nikolay Aleksiev
naleksiev@abv.bg

**IMSETCH – BAS”AKAD. A.Balevsky”,
Sofia, 1574, Shipchenskiy prohod 67 Str,
BULGARIA**

Key words: arc welding, overlay welding, Nano modifiers, Nanosized powders, deformable aluminum alloys.

Abstract: A review has been performed of the change in the properties and mechanisms of strengthening of the welding seam by introducing nano-dispersed particles into the welding pool during arc welding and overlay welding. Considered significantly reduce the grain size of the metal seam, increases in tensile strength, hardness and ductility. Various ways of introducing nanoparticles into the welding pool and various ways of nanoparticles surface treatment are reviewed and tested. An original technology for effective absorption of nano-powder from the complementary material during welding and overlay welding of deformable aluminum alloys is proposed. The location of the nanoparticles in the AMG incisions is shown by using a metallograph study and a research with scanning electron microscope.