



## **Wire for TIG Welding with Addition of Multidisperse Powders Ti-C, Al-Ti-C**

Plamen TASHEV, Nikolay ALEKSIEV, Boyko KRUSTEV, Radoslav MERDZHANOV

Bulgarian Academy of Science, Institute of Metal Science, Equipment, and Technologies  
with Center for Hydro- and Aerodynamics “Acad. A. Balevski”, Sofia, Bulgaria,  
e-mail: [ptashev@ims.bas.bg](mailto:ptashev@ims.bas.bg)

### **Abstract**

The aluminum alloys are an important structural material due to their relatively low density, high strength and corrosion resistance. Al-Mg alloys are used for manufacture of welded structures. The subject of the present work is to obtain wires for TIG welding of Al-Mg alloys modified with multi disperse powders. The powders were obtained by high-voltage electric discharge synthesis at the Institute of Pulse Processes and Technologies at the National Academy of Sciences of Ukraine. Metallographic studies are performed and the microhardness of sample bodies welded with the modified wire is measured. Other improvements observed are grain refinement and increased hardness of the overlay metal.

**Keywords:** aluminum alloys, modified wires, multi disperse powders, high voltage electric discharge synthesis, TIG welding, metallographic analysis, microhardness.

## **Тел за ВИГ заваряване с добавяне на мултидисперсни прахове Ti-C, Al-Ti-C**

Пламен ТАШЕВ, Николай АЛЕКСИЕВ, Бойко КРЪСТЕВ, Радослав МЕРДЖАНОВ

### **1. Въведение**

Алуминиевите сплави се важен конструкционен материал поради относително ниската си плътност, висока якост и устойчивост на корозия. За изработване на заварени конструкции се използват Al-Mg сплави (деформируеми не термоуячени алуминиеви сплави). В резултат на процеса заваряване, структурата на заваръчният шев е по-едра и груба и механичните показатели са по-ниски.

Физико-механичните и експлоатационните характеристики на конструкциите зависят не само от химическият състав на сплавите от които се изграждат, но и от степента на издребняване на структурата им. Издребняването на структурата в зоната на въздействие може да се постигне чрез модифициране на течната фаза с труднотопими мултидисперсни и наноразмерни прахове [1, 2, 3].

Въведени в течната фаза (заваръчната вана) и под въздействието на електрическата дъга, те се разпределят в обема на метала и служат като хетерогенни зародиши при кристализацията на заваръчният шев. Освен това натрупвайки се по границите на зърната възпрепятстват нарастването на кристалите и спомагат за получаване на финна структура на метала на шева.

Уякчаващото действие на наночастиците се обяснява и с това, че те изкривяват матрицата на алуминия и възпрепятстват движението на дислокациите [4].

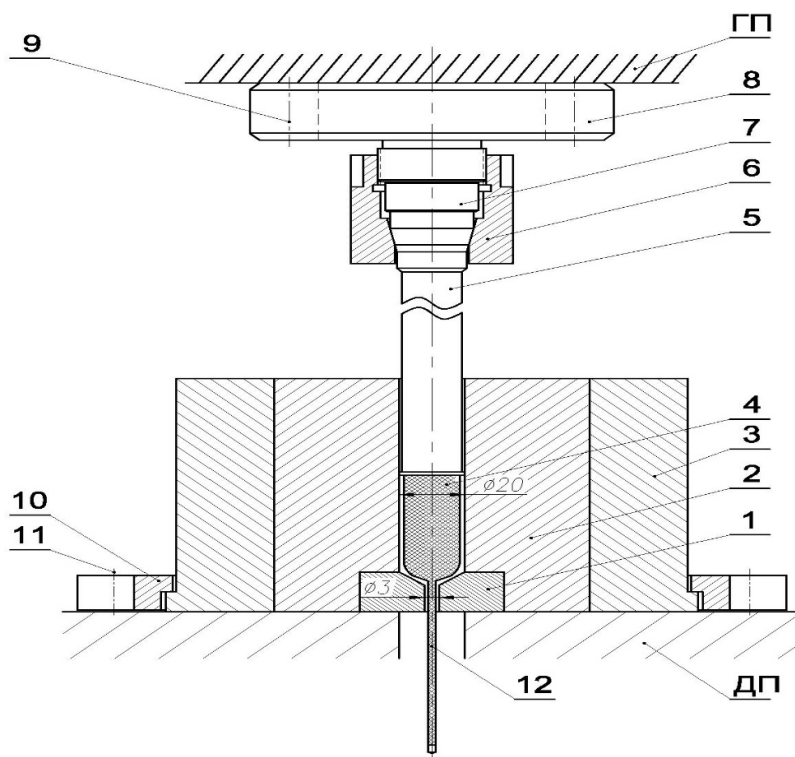
Мултидисперсните прахове съдържащи наночастици могат да бъдат въведени в заваръчната вана чрез заваръчния тел, обмачката на електрода за заваряване, чрез

директно впръскване или обмазване на заваряваните или наваряваните повърхнини [5, 6]. Най-ефективният път за въвеждането на праховете в заваръчната вана при ВИГ заваряване е чрез тела на електрода.

## 2. Получаване на модифицирани телове

Модифицираните с мултидисперсни прахове телове за ВИГ заваряване се получават чрез екструзия. Процесът на екструзия се осъществява посредством вертикална преса, чрез право пресоване при неподвижен контейнер и подвижен поансон.

За целта са проектирани и изработени допълнително специализирани приспособления (фиг.1), като са куплирани към преса РУЕ 250 SS.



**Фиг. 1. Приспособление за екструзия: 1-матрица, 2- контейнер, 3- бандаж, 4- Заготовка, 5- Поансон, 6-холендрова гайка, 7-подложка, 8-горен притискач, 9-болтове, 10-фланец, 11-болтове, 12-екструдирана тел**

Теловете са получени по разработената в ИМСТЦХ-БАН технология [7, 8], като са използвани следните материали :

– матрица AlMg5 (стандартен тел за заваряване) със състав табл.1

– мултидисперсни прахове (0,04% от състава на тела):

№1 - Системата Ti – C с примерен състав 80%Ti + 20%TiC;

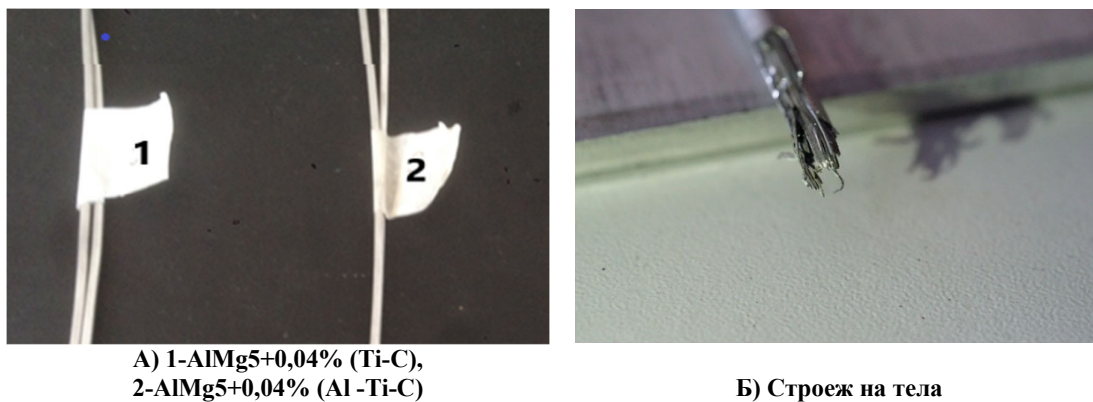
№2 - Системата Al - Ti – C с примерен състав 80%Ti + 15%Al3Ti + 5% TiC.

Таблица 1. Химичен състав на стандартен тел за заваряване

Марка/състав	Si %	Mn %	Al %	Fe %	Mg %
OK Tigrod 5356	0.25	0,15	93	0,4	5.0

Праховете са получени чрез високоволтов електроразряден синтез с три електрода в среда от керосин от колектив под ръководството на проф. Олга Сизоненко от Института за импулсни процеси и технологии към Национална академия на науките на Украйна [9, 10, 11.]

На фиг.2 са показани външният вид и строежа на екструдирани телове с диаметър  $\varnothing 3,2$  mm. Те се състоят от плътна обвивка и влакнестата вътрешност. Влакнестата структура на вътрешността на тела се обяснява с това, че повърхността на насечките от AlMg5 е покрита плътно с частици от праха и при екструзията насечките се деформират изолирано една от друга. Равномерното разпределение на частиците по повърхността на влакната гарантира равномерното им влагане в метала на заваръчния шев.



Фиг. 2. Екструдирани телове

### 3. Наваряване на пробните образци

Пробните образци са наварени по метода ВИГ (електродъгово наваряване в инертен газ с нетопящ се електрод). Образците представляват планки от AlMg6 с размери 100x150 mm и дебелина 4 mm. Повърхността на планките в зоната на заваряване се почиства механично с цел премахване на окисеният слой  $Al_2O_3$ , след което се обезмаслява с обезмаслител.

Наваряването е извършено с инверторен източник SEBORA SOUND AC-DC2240/M при следният режим:

- Заваръчен ток – 120 A
- Напрежение – 18 V
- Скорост на заваряване – 8,5 cm/min
- Честота на тока – 60 Hz
- Дебит на защитния газ ( Ar ) – 9 l/min

Наваряваме ивици от стандартен тел AlMg5 и от екструдирани модифицирани телове 1-AlMg5+0,04% (система Ti-C) и 2-AlMg5+0,04% (система Al-Ti-C).

Навареният шев е изпълнен на четири прехода (четири ивици) при един и същи режим, като се измерва температурата между отделните преходи и се следи да не

надвишава 60°C. За тази цел на планката е закрепена термодвойка, която да следи температурата по време на процеса на наваряване. Измерването се осъществява с използване на измервателна апаратура Spider 8-30 с 2 многоканални усилвателни модула от типа SR30 и SR01, преносим компютър с инсталиран DAQ Software Catman 6.03. Интерфейсът с Spider 8-30 се осъществява по паралелен LPT порт и Термодвойка Тип К (95% nickel, 2% manganese, 2% aluminum and 1% silicon), чувствителност 41  $\mu\text{V}/^\circ\text{C}$ , обхват -200  $^\circ\text{C}$  – +1350  $^\circ\text{C}$  (фиг. 3а). На фиг. 3.б са показани наварените планки.



Фиг. 3. Наваряване на образците

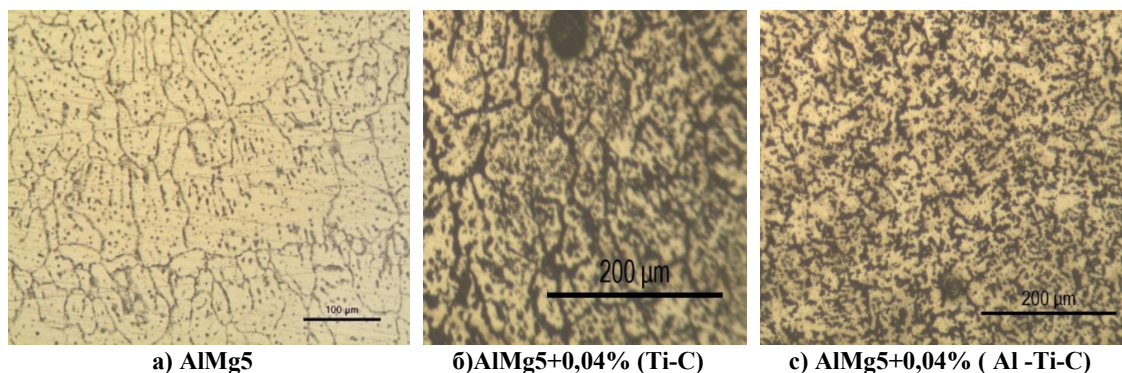
От наварените пробни образци са взети пробни тела за металографски анализ и микро твърдост на навареният метал.

#### 4. Резултати от изследванията на пробните образци.

Образците за металографски анализ са подготвени по стандартна процедура, като най-напред се изрязват механично и след това са мокро шлифовани на шкурки с номера 280, 400, 600 и 1200 и механично полирани. Проявени са с реактив на Keller /2ml HF, 3ml HCl, 5 ml HNO<sub>3</sub>, 190 ml H<sub>2</sub>O/. Наблюденията са извършени с металографски микроскоп PolyvarMet при увеличения до 200x. Микроструктурата на наварените образци със стандартен тел за заваряване AlMg5 и образци модифицирани със прах №1 AlMg5+0,04%(Ti-C) и прах №2 AlMg5+0,04%(Al-Ti-C) е показана на фиг. 4.

Микроструктурата на образца наварен със стандартен тел AlMg5 представлява равноосни окръглени зърна със среден диаметър на зърната 60,6  $\mu\text{m}$ , а на наварените образци с модифицирани телове се състои от полиедрични окръглени зърна и отделения в тях. Размерът на зърната и издребняването на зърната спрямо стандартният тел AlMg5, в зависимост от концентрацията и вида модификатора е показан в табл. 2. Средният диаметър е получен от 10 измервания за всяко поле, като за целта на измерването окръжности са вписани в зърната и са отчетени радиусите им.

Изчислява се среден радиус за всяко поле, след което се изчислява среден радиус от 3-те получени средни радиуса, и се умножава по две – за получаване на среден диаметър. Наблюдава се издребняване на структурата на модифицираните шевове спрямо този изпълнен със стандартен тел, №1 AlMg5+0,04% (Ti-C) с 15,33% и №2 AlMg5+0,04% (Al -Ti-C) с 31,07%.



Фиг. 4 Микроструктурата на образци:

Таблица 2. Размер на зърната и издребняването на зърната спрямо стандартният тел AlMg5, в зависимост от концентрацията и вида модификатора

Образец №	Състав	$D_{ave}$ , $\mu m$	Издребняване %
0	AlMg5	60,6	Базов образец
1	AlMg5+0,04%, Ti-C	51,31	15,33
2	AlMg5+0,04%, Al-Ti-C	41,77	31,07

Микротвърдостта е измерена с микротвърдомер Micro-Duromat 4000 (Reichert-Jung) на полирани шлифове при натоварване 10 g, време за достигане на натоварването 10 s и време за задържане под товар 10 s. Средната твърдост е получена след 10 измервания.

Таблица 3. Изменение на микротвърдостта в зависимост от концентрацията на НЧ

Образец №	Състав	$HV_{0,01}, kgf/mm^2$	$HV_{ave}, kgf/mm^2$	Изменение в %
0	AlMg5	65,6; 77; 81,1; 66,8; 66,8; 66,3; 68,3; 53,6; 56,5; 44,6; 59,9; 68,6; 65,5	64,66	AlMg5
1	AlMg5+0,04%, Ti-C	65,5; 65,5; 67,6; 66,3; 66,3; 66,2; 78,4; 95,7; 84,6; 67,5	72,4	11,9
2	AlMg5+0,04%, Al-Ti-C	68; 64,9; 65,1; 79; 79; 77,2; 79; 100,9; 100,8; 74,3	78,8	17,9

От таблица 3. се вижда че при образците наварени с модифицирани телове имаме повишаване на микротвърдостта спрямо образца наварен със стандартен тел AlMg5.

## 5. Изводи

При наваряване на слоеве с екструдирани телове, модифицирани с мултидисперсни прахове(получени чрез високоволтов електроразряден синтез) се наблюдава издребняване на структурата на навареният метал. По-голямо издребняване се получава при модифициране на тела с прах от системата Al-Ti-C.

При наваряване на слоеве с екструдирани телове, модифицирани с мултидисперсни прахове(получени чрез високоволтов електроразряден синтез) се наблюдава повишаване на твърдостта на наварения метал. По-голяма твърдост се получава при модифициране на тела с прах от системата Al-Ti-C.

This work was supported by the European Regional Development Fund within the OP "Science and Education for Smart Growth 2014 - 2020", Project CoE "National center of mechatronics and clean technologies", № BG05M2OP001-1.001-0008-C08.

## References

1. Крушенко Г.Г., Мишин А.С. Сварка листов из сплава АМг6 прутком, содержащим ультрадисперсные порошки// Сварочное производство.- 1995.- № 1.- С. 2-Сабуров В.П., Черепанов А.Н., Жуков М.Ф., Галевский Г.В., Крушенко Г.Г., Борисов В.Т.
2. Оришич А.М., Черепанов А.Н., Шапеев В.П., Пугачева Н. Б. Наномодифицирование сварных соединений при лазерной сварке металлов и сплавов, Новосибирск, Изд-во СО РАН, 2014г., 252стр. ISBN 978-5-7692-1379-3.
3. Крушенко Г. Г. Нанопорошки химических соединений – средство повышения качества металлоизделий и конструкционной прочности // Заводская лаборатория. 1999. Т. 65, № 11. С. 42–50.
4. Морохов И.Д., Трусов Л.И., Чижик С.П. Ультрадисперсные металлические среды. М.: Атомиздат, 1977.
5. Ташев П., Кондов Х., Лукарски Я., Ташева Е., Разработване на наномодифицирани електроди за ръчноелектродъгово наваряване, твърдост на наварения слой, Инженерни науки, год.ЛП, 2015, № 3, научно списание „Инженерни науки” към Българска академия на науките, стр. 71, ISSN 1312-5702
6. Патент РФ № 2429958 Способ изготовления электродной проволоки для сварки алюминиевых сплавов.
7. Алексиев Н, Б. Кръстев, Р. Димитрова, В. Манолов „Технология за екструдиране на тел съдържащ наночастици”, Пета национална конференция с международно участие Металознание, хидро- и аеродинамика, национална сигурнос’2015, сборник доклади с. 149-153.
8. Aleksiev N., Darzhanova D., Tashev P., Investigation on Some Physical Properties of AlMg6 Wire Nano-Modified by TiCN, Journal of Materials Science and Technology 2017, Vol. 25, No. 4, pp. 225–237,ISSN0861-978.
9. Effect of Ti-C and Ti-Al-C system master alloy high energy synthesis on efficiency of ni based superalloy inoculation. Syzonenko O., Lypian Ye., Torpakov A., Zaichenko A., Prystash M. XXIV INTERNATIONAL SCIENTIFIC CONFERENCE FPEPM 2019
10. The influence of high-voltage electrical discharge on dispersion and structure of B4C powder / Syzonenko, O.M., Loboda, P.I., Zaichenko, A.D., Solodkiy Ye.V., Torpkov A.S., Prystash, M.S., Trehub, V.O. // Journal of Superhard Materials, 2017, 39(4), P. 243–250.
11. Electric discharge method of synthesis of carbon and metal-carbon nanomaterials / N.I. Kuskova, O.M. Syzonenko, A.S. Torpakov // High Temperature Materials and Processes. – 2020. – Vol. 39, Issue 1. – P. 357-367.