



Techniques for Modification of the Weld Metal with Nanopowders (Review)

Christo KONDOV

Institute of Metal Science, Equipment, and Technologies with Hydro-
and Aerodynamics Centre “Acad. A. Balevski” at Bulgarian Academy of Sciences,
67 "Shipchenski prohod" St., Sofia 1574, Bulgaria,
e-mail: hriko61@gmail.com

Abstract

Techniques for modification of the weld metal with nanosized powder particles are reviewed and analyzed. The trends in their development are outlined and the summarized results of the welded or overlaywelded layers, modified with refractory nanopowders, are presented. In conclusion, the actuality of nano-modification and treatment of metals and alloys by friction stir welding and friction stir processing is justified.

Keywords: modification, weld metal, nanopowders, TIG welding, friction stir welding (FSW), (FSP)

Обзор на техники за модифициране на метала на заваръчния шев с нанопрахове

Христо КОНДОВ

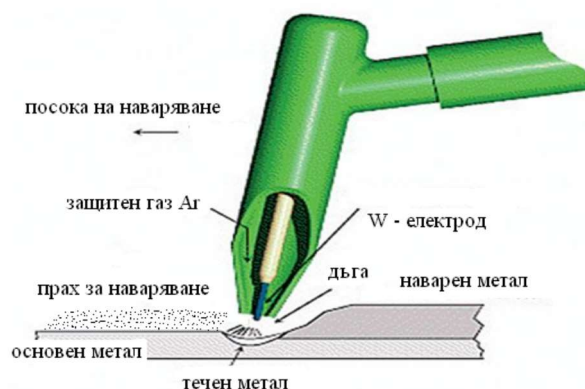
Процесите на обработка на метали и сплави, при които се преминава през течно състояние, често водят до образуване на несъвършенства – груба дендритна, едрозърнеста структура, пукнатини, отделения и др. и понижаване на механичните им характеристики. Един от начините да се предотвратят тези несъвършенства е чрез модифициране с наноразмерни прахове (НП) на труднотопими химични съединения. Високата им дисперсност и особените свойства произтичащи от наноразмера дават възможност да се постигне подобряване на качествата на метали и сплави при добавянето им в минимални количества при тяхното добиване или обработка.

Основен проблем при модифицирането с НП при използването на методи за заваряване и наваряване е трудното им диспергиране, постигане на равномерно хомогенизиране в целия обем и предотвратяване на тяхното разлагане под въздействието на високата температура и химическата активност на стопилката.

За да се преодолеят тези трудности, се използват специфични обработки за активиране: въвеждане чрез прахови смеси, обмазки, пасти; покриване по химичен път с метален слой от никел, хром или друг метал; набиване в други пластични метални частици или насечки посредством топкови, вибрационни и други мелници и технологии.

Модифициране на метала на шева се прилага при ръчното електродъгово заваряване и наваряване, ВИГ, МИГ-МАГ, електронно лъчево, лазерно заваряване, заваряването с триене и размесване (ЗТР), при повърхностната обработка с триене и размесване (ОТР) и др.

Внасяне на наноразмерни частици при ВИГ заваряване чрез нанасяне на слой от прах съдържащ наночастици фиг. 1 върху обработваната повърхност и последващо разтопяване е използвано за подобряване на повърхностните качества на стомана [1].



Фиг. 1. ВИГ-наваряване чрез стопяване на праховете [1]

Под въздействието на дъгата праховите частици влизат в течния метал и служат за модификатори в процеса на кристализация.

Създадена е технология за механично покриване с наночастици на насечки от алуминиева сплав фиг.2 и екструдирание във вид на тел за ВИГ заваряване [2,3].



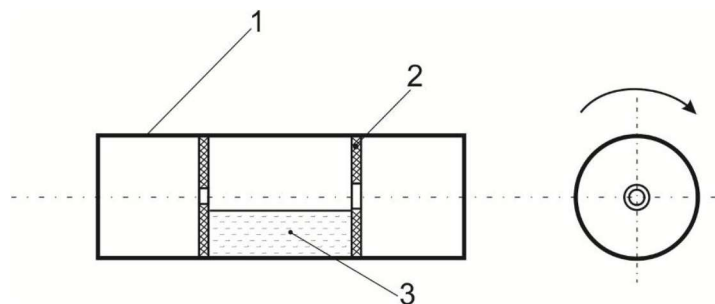
Фиг.2. Насечки от АМг5: а) преди обработка; б) след обработка с наномодификатор TiCN [2]

По този начин се постига по-добро смесване и усвояване на наночастиците в заваръчната вана и издребняване на структурата на заваръчния шев.

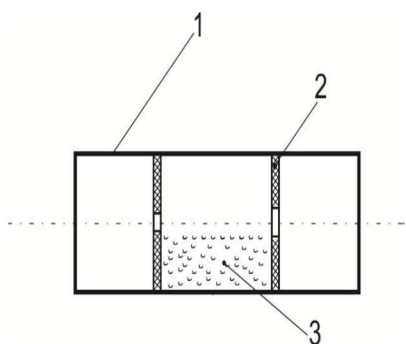
Друга технология за покриване на стоманен добавъчен тел за ВИГ заваряване [1] е осъществена с последователно преминаване на стоманената сърцевина в центъра на последователно разположени два въртящи се контейнери – Фиг. 3, 4 и 5.

В първия се нанася смес от колофон и ацетон, а във втория ултрадисперсен прах.

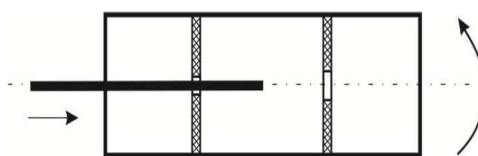
Технология за изработка на тръбен добавъчен тел за ВИГ заваряване [4], посредством която се извършва въвеждане на наноразмерен керамичен прах в наварения метал предлага добри възможности за провеждане на изследвания. Използваният наномодификатор се дозира в желаното съотношение с метален прах, хомогенизира се и се активира посредством вибрационна мелница. Напълва се и уплътнява в нарязани по размер метални тръбички чрез вибриране. Количеството на напълнената смес се контролира посредством аналитична везна. Пресоват се за да се намалят атмосферните газове в тръбния тел и за предотвратяване на спонтанното изтичане на част от праховата смес по време на работа. Добавянето на наноразмерни прахове към „мека“ матрица от карбонилно желязо се отразява незначително върху износоустойчивостта на получените наварени слоеве. Наварените слоеве при използването на „напрегната“ матрица от асталой показват значителна реакция по отношение на количеството на добавения модификатор като най-добри резултати при изследване на износоустойчивост се наблюдават при 2% Al_2O_3 .



Фиг. 3. Установка за нанасяне на смес от колофон и ацетон върху металните електроди.
1- контейнер; 2- уплътнение; 3- специална прилепваща смес.[1]



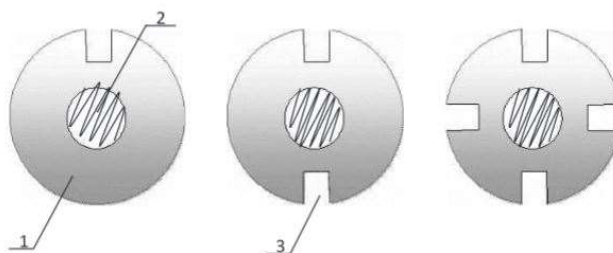
Фиг. 4. Установка за нанасяне на ултрадисперсни прахове [7] 1-контейнер; 2-уплътнения; 3-ултрадисперсен прах



Фиг. 5. Нанасяне на прахове върху стоманен електрод [7]

Наноразмерни частици се въвеждат в обмзката на електроди за ръчно електродъгово наваряване в процеса на производство им [5], на етапа на хомогенизацията на сместа, от която се пресова обмзката или във водното стъкло [6]. При горенето на електрическата дъга между електрода и изделието се образува вана разтопен метал, в която се извършва смесване на метала на електрода, компонентите на обмзката и част от базовия метал. В случая имаме отпадъчен продукт под формата на шлага, в който може да попадне част от въведеното количество нанопрах. Получените с тези електроди слоеве придобиват по-дребнозърнеста структура, по-висока твърдост и износоустойчивост [7].

Техника за въвеждане на наночастици в обмзката на електроди за процес 111 улеснява изследването на влиянието им върху свойствата на наварения метал [8]. Изрязаните в обмзката на електрода канали се запълват със смес от обмзката на електрода и модифициращ нанопрах Фиг.6.



Фиг.6 Напречно сечение на тествания електрод, в обмзката на който са изрязани каналчета: 1 – обмзка, 2 – метална сърцевина на електродът, 3 – каналче (зона с частично премахната обмзка) [8].

При модифициране повърхността на алуминиева сплав по електронно лъчев способ с наноразмерен керамичен прах от TiCN се постига повишаване на твърдостта до 1150 HV0.02 [9].

Наночастици от Al₂O₃ отложени чрез плазмено наваряване по повърхността на сплав на Ni основа води до повишаване на износоустойчивостта [10].

Процес за заваряване чрез триене и размесване (ЗТР) (FSW –Friction Stir Welding) [11] открива нови възможности за модифициране на заваръчния шев.



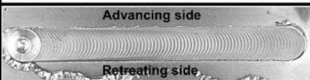
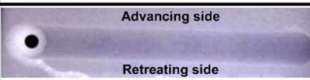
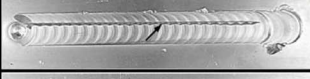
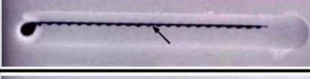

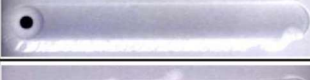
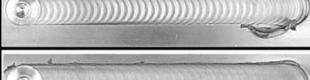





Фиг. 7 Челно заваряване с триене и размесване

Отделената от триенето топлина се използва за повишаване на температурата в зоната на обработка до стойности, при които метала става пластичен и се реализира заваряване или подобряване на повърхността. Избягва се преминаването през течно състояние, с което се избягват характерните за леенето несъвършенства. В сравнение с някои методи за заваряване като ВИГ и МАГ, ЗТР осигурява заварени съединения с по-малко количество енергия и високо качество на наварения метал [12].

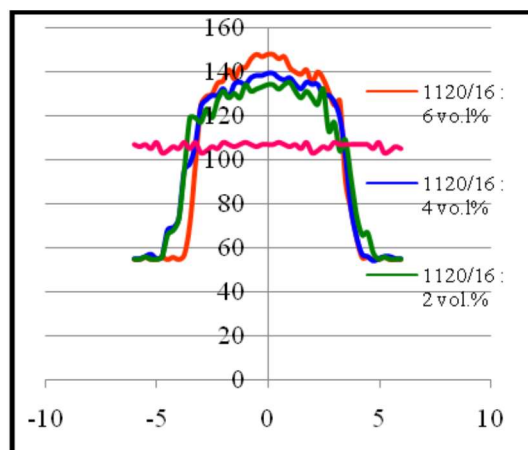
На базата на ЗТР е създадена разновидност – процес за повърхностна обработка чрез триене и размесване (ОТР) на метали и сплави (FSP – Friction Stir Processing). Процесът ОТР е обект на непрекъснато усъвършенстване и обхваща все повече материали. В зависимост от скоростта на въртене на инструмента и линейната скорост на обработка Фиг.8 се получава различна структура и механични качества на обработвания слой [13].

Въвеждането на модификатор под формата на прах от Al₂O₃ с наноразмерни частици при ОТР на алуминиева сплав АА 6061-Т6 води до повишаване на твърдостта и намаляване на якостта и пластичността на обработената зона Фиг.8 [14].

В алуминиева сплав А 6061-Т65 са внесени наночастици от Al₂O₃ и SiC с ОТР техника [15]. В резултат е намалено износването с 40%. След проведена термична обработка износването намалява допълнително. Чрез трансмисионен електронен микроскоп е установена повишена плътност на дислокациите спрямо изходния материал.

Rotation speed, rpm	Welding speed, mm/min	Surface appearance	X-ray photograph
500	500		
	1500		
1000	500		
	2000		
1500	500		
	2000		

Фиг. 8. Външен вид на повърхността и рентгенограми на образци от месинг 60% Cu – 40% след ОТР [13]



Фиг. 8 Микротвърдост при 2,6 и 6 обемни % при 1120 грм [14]

Изводи

Модифицирането на метала на заваръчните шевове с НП подобрява качеството на наварения метал посредством издребняване и окръгляване на зърната. Намаляват се и размерите на неметалните включения за сметка на по-равномерното им разпределение в обработената зона. Оптималното количество на въведения модификатор варира зависимост от конкретния случай от няколко стотни от процента до няколко десетки процента.

ЗТР създава възможност да се заваряват метали и сплави, при които това е невъзможно по класическите методи на заваряване както и допълнително да се модифицира заваръчния шев с прахови частици.

При ОТР зърната образувани в зоните на обработка показват различна плътност на дислокациите. В следствие на рекристализацията плътността на дислокациите намалява.

Литература

1. Ташев Р., Т. Петров, Я. Лукарски, Г. Стефанов, Технологии за внасяне на наноразмерни частици в заваръчния шев при процесите на наваряване, Инженерни науки, год. L, 2013 N3, стр.82-93, ISSN 1312-5702
2. Алексиев Н., Б. Кръстев, Р. Димитрова, В. Манолов, Технология за екструдирани на тел съдържащи наночастици, Пета национална конференция с международно участие Металознание, хидро- и аеродинамика, национална сигурност'2015, сборник доклади с. 149-153.
3. Ташев П., Н. Алексиев, В. Манолов, А.Н. Черепанов, Наномодифицирование в процессах сварки и наплавки, Научный журнал Исследования наукограда, № 1 (19) том 1 2017, Новые материалы и технологии в космической технике, стр. 16-21, УДК 621.791.725, ISSN 2225-9449
4. Tashev P., H. Kondov, M. Kandeва, E. Tasheva, Wear resistance study of nano-modified coatings by TIG surfacing process SERBIATRIB'15, Belgrade, Serbia, 13 – 15 May 2015.
5. Ташев П., Х. Кондов, А. Тасев, Технологични свойства на наномодифицирани електроди за ръчно електродъгово наваряване, Сборник Доклади, Четвърта национална конференция с международно участие „Металознание, хидро- и аеродинамика, национална сигурност '2014“, 23 – 24 октомври 2014 г., София стр. 75-79, ISSN 1313-8308.
6. Tashev P., H. Kondov, E. Tasheva, M. Kandeва, Study on hardness and wear resistance of layers overlaid using electrodes with nano-modified coating, International Journal of Engineering and Applied Sciences (EAAS); Islamabad, Pakistan, Vol 06. No. 04, 2015; pp 01 – 06, ISSN 2305-8269.
7. Makarov S., S. Sapozhkov, Use of Complex Nanopowder (Al₂O₃, Si, Ni, Ti, W) in Production of Electrodes for Manual Arc Welding
8. Tashev P., Method of Preliminary Evaluating the Possibility of Modifying the Coating of Electrodes with Nanosized Particles in Process 111, Journal of engineering sciences September 2018, LV(3):52-60 DOI: 10.7546
9. Valkov S., R. Bezdushny, R. Lazarova, R. Dimitrova, P. Petrov, Surface modification of Al substrate with TiCN nanopowder by electron-beam treatment, Conference Paper in AIP Conference Proceedings, February 2019, DOI: 10.1063/1.5091344
10. Hou Q.Y., Z. Huang, J.T. Wang, Influence of nano-Al₂O₃ particles on the microstructure and wear resistance of the nickel-based alloy coating deposited by plasma transferred arc overlay welding. Surface and Coatings Technology. 2011. Vol. 206. I. 8–9. P. 2806–2812.
11. Thomas W., E. Nicholas, J. Needham, M. Murch, P. Temple-Smith, C. Dawes, Friction-stir butt welding, GB Patent No. 9125978.8, Int. patent appl. No. PCT/GB92/02203, (1991)
12. Kumar A., M. Milton, A Comparison of Welding Techniques of Aluminium Alloys, IJSRSET 2016, Volume 2, Issue 3, pp. 173-175
13. Park K., T. Kimura, T. Murakami, Y. Naganod, M. Ushio, Microstructures and mechanical properties of friction stir welds of 60% Cu–40% Zn copper alloy, Materials Science and Engineering A 371 (2004) 160–169
14. Naresh P., A. Kumar, M. Krishna Kishore, Influence of nano reinforcement volume, percentage on fabrication of surface nano composite by FSP, Material Science forum, Vol.1879, pp.1369-1374
15. Qu J., H. Xu, Z. Feng, Improving the tribological characteristics of aluminum 6061 alloy by surface compositing with sub-micro-size ceramic particles via friction stir processing, J. Wear, 2010.11.046