



Obtaining a Modified Layer by Friction Stir Processing of Aluminum Alloy 5083 with Addition of Graphene

Radostina ZAEKOVA, Yasen HADJITODOROV, Plamen TASHEV

Institute of Metal science, Equipment and Technology with Centre of Hydro-aerodynamics “Acad. A. Balevski”
at the Bulgarian Academy of Sciences; Sofia, Bulgaria,
e-mail: rzaekova@ims.bas.bg, jason@ims.bas.bg, ptashev@ims.bas.bg

Abstract

Graphene modified layer is obtained using sheet material of aluminum alloy 5083 and friction stir processing. A special channel filled with graphene is made in the aluminum plate. The friction stir processing is performed in two stages using innovative technology with a suitable tool. Test specimens were prepared and metallographic analysis was performed. The microhardness on the surface of the modified layer was measured. An increase in microhardness was found

Keywords: Friction stir processing (FSP); graphene

Получаване на модифициран слой чрез обработка с триене и размесване на алуминиева сплав 5083 с добавяне на графен

Радостина ЗАЕКОВА, Ясен ХАДЖИТОДОРОВ, Пламен ТАШЕВ

1. Увод

Обработката чрез триене и размесване (ОТР) и в частност заваряването чрез триене и размесване (ЗТР) е успешен съвременен метод за модифициране на слоеве и за свързване на материали без стопяване. През последните десетилетия метода претърпя бурно развитие и навлезе в много отрасли като автомобилостроене, самолетостроене, машиностроене, корабостроене и др.[1] Също така посредством триене се получават телове и пръти с добри механични свойства, които се използват във всички сфери на индустрията. [2-4] За развитието на технологиите в тази област се провеждат мащабни проучвания, които успешно се внедряват в производството поради значителните предимства на метода на обработка. На ОТР се подлагат предимно пластични метали и сплави, като алуминий и сплавите му, мед, титан, магнезиеви сплави и др. Досегашни проучвания сочат, че при ОТР и ЗТР има подобряване на механичните свойства като якост на опън, твърдост, повишена пластичност и добра устойчивост на износване. [5] Също така се наблюдава и издребняване на зърната в зоната на въздействие, което обуславя и по-голяма здравина на заваръчния шев (ЗШ). [5-7] Голямо предимство на процеса е провеждането на заваряването при температура под точката на топене на материалите, което води до намаляване на възникващите напрежения и деформации в сравнение с тези при обработката чрез стопяване.[8] Добавянето на допълнителни материали в заваръчния шев подобрява свойствата на зоната на въздействие и позволява получаването на изделия с високо качество.[9,10] Предмет на настоящата работа е получаване на модифициран с графен слой от листов материал на алуминиева сплав 5083 по оригинална технология за добавянето на графена и обработка чрез

триене и размесване и оценка на промяната на микротвърдостта в зоната на въздействие.

За успешното извършване на експериментите е спомогнал придобитият опит от работата по проект № КП-06-Индия/10 по програма за двустранно сътрудничество с Индия с тема „Получаване и изследване на хибридни неравновесни композити, произведени чрез „обработка чрез триене и размесване““. [11-13]

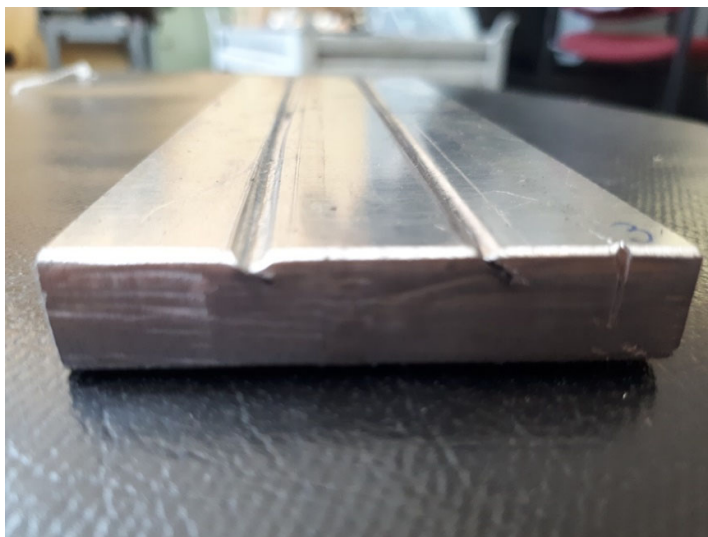
2. Експериментална част

За изработка на опитните образци е използван листов материал от алуминиева сплав А5083 с дебелина 10mm и със съдържание на алуминий минимум 95% ; съдържанието на другите химични елементи е както следва: магнезий (Mg) 4,0 – 4.9%, манган (Mn) 0,4 – 1,0%, силиций (Si) – до 0,4%, титан (Ti) – до 0,15%, цинк (Zn) – до 0,25%, желязо (Fe) – до 0,4%, мед (Cu) – до 0,1%, хром (Cr) 0,05 – 0,25% и други, общо до 0,15% (всеки не повече от 0,05%).

Използвания в експериментите графен е с чистота 99,9+%, Size: 5nm, S.A: 170m²/g и Dia: 30µm

На опитен образец с размери 50x150 mm е нарязан канал под ъгъл 45° с ширина 0,5 mm и дълбочина 3 mm. Планката е механично почистена и обезмаслена с 5%-ен разтвор на ацетон. Канала е запълнен с графен, след което е запресован, за да се избегне загубата на материал при обработката, както е показано на фиг.1.

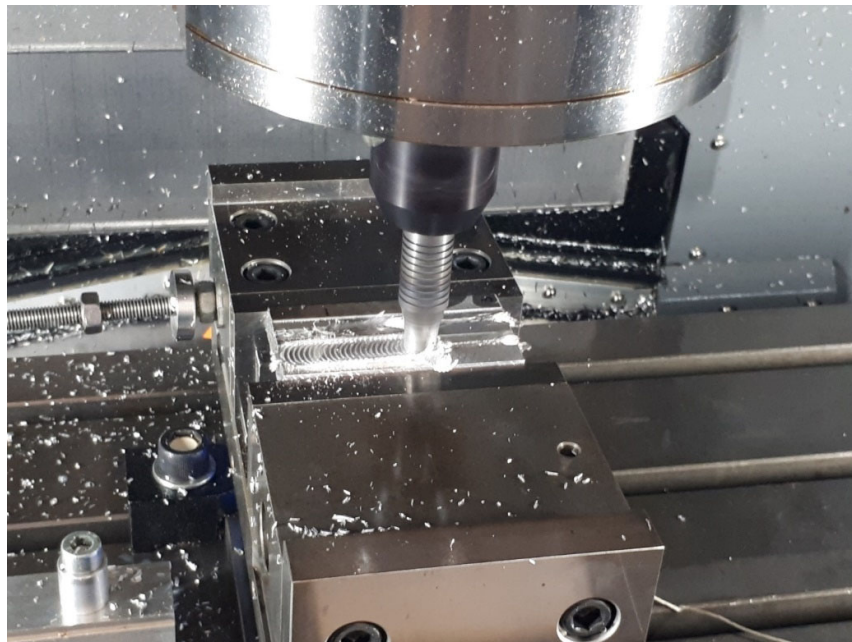
Обработката на образца от алуминиева сплав А 5083 е извършена на вертикален машинен център HURCO VMX30i.



Фиг. 1 Опитен образец

След това планката е подложена на обработка чрез триене и размесване (фиг.2). За целта на работната маса на машината с цифрово-програмно управление HURCO VMX30i е позиционирано приспособление за захващане на образците върху термоизолационна подложка. Инструмента за обработка на повърхността е изработен от топлоустойчива инструментална стомана 4X5МФС. Той е термообработен до твърдост 45 HRC. Работната му част е във формата на пресечен конус с дължина 4 mm, диаметър в основата 6mm и при върха диаметър 4 mm. По външната му част е изработена

винтова линия със стъпка 1 mm и три аксиални канала на 120°. Заглаждащото рамо е с диаметър 13 mm. С цел по-добро хомогенизиране на материала, въртенето на инструмента е в посока обратна на часовниковата стрелка, така че винтовата линия на работната част да избутва надолу обработвания метал, а не да го изтегля от зоната на въздействие. Обработката се извършва с постъпателно движение първо по права линия, а след това повторно по спираловидна траектория по посока на часовниковата стрелка, както е показано на фиг.2, като отклонението е 4 mm (по 2 mm вляво и вдясно от центъра). Спираловидната крива е с радиус 2 mm и стъпка 2 mm. Режим на обработка е: скорост на въртене 1300 rpm и постъпателна скорост 45 mm/min.

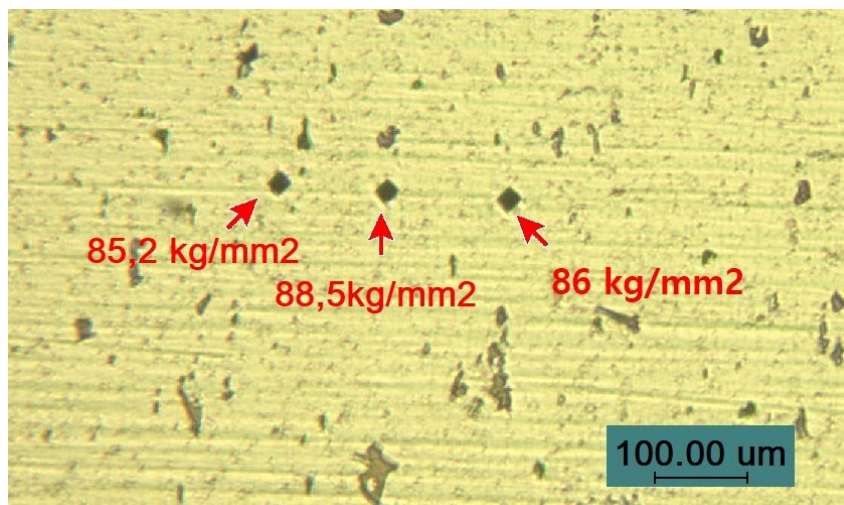


Фиг. 2 Обработката чрез триене и размесване на опитния образец

3. МеталогRAFия и измерване на микротвърдост

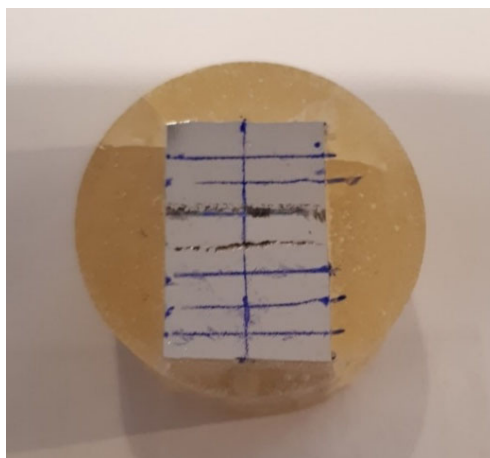
От обработената планка са изрязани образци, които са подготвени за металогRAFия по стандартна методика – мокро шлифоване с шкурки от номер 400 до номер 2400. Проявени са чрез потапяне във воден разтвор на 0,5% флуоро-водородна (HF) киселина. Наблюденията са извършени с металогRAFски микроскоп „PolyvarMet”. Микроструктурата е заснета с помощта на цифрова камера ProgRes CT3 USB и лицензиран програмен продукт ProgResCapturePro. Температурата, при която е проведено изследването е 24°C. Микротвърдостта е измерена с микротвърдомер MicroDuromat 4000 при товар 10 kg, време за достигане на товара 10 s и време на задържане на товара 10 s.

Изследвана е микротвърдостта на основния материал A5083 (фиг.3) на образец с размери 10x10x10 mm. Измерванията са направени по три точки. Получените стойности са: 85,2 kg/mm², 88,5 kg/mm² и 86,0 kg/mm². Средноаритметичната стойност е 86,6 kg/mm².



Фиг. 3 Микротвърдост на основния материал

След обработката чрез триене и размесване е измерена микротвърдостта в обработената зона. Измерванията са направени по седем успоредни линии, разположени през 2,2 mm в посока перпендикулярна на посоката на движение. Микротвърдостта е измерена в три точки от всяка линия (фиг.4).



Фиг. 4 Образец за измерване на микротвърдост

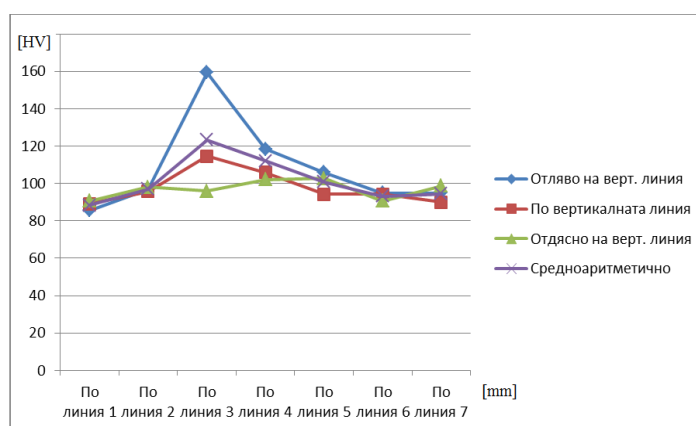
4. Резултати и анализ

Получените стойности за микротвърдостта на основния материал A5083 (фиг.3) са: 85,2 kg/mm², 88,5 kg/mm² и 86,0 kg/mm². Средноаритметичната стойност е 86,6 kg/mm².

Измерените стойности за микротвърдост по Викерс (HV) в обработената зона чрез триене и размесване с добавяне на графен са показани в табл. 1:

Таблица 1. Измерена микротвърдост по Викерс (HV)

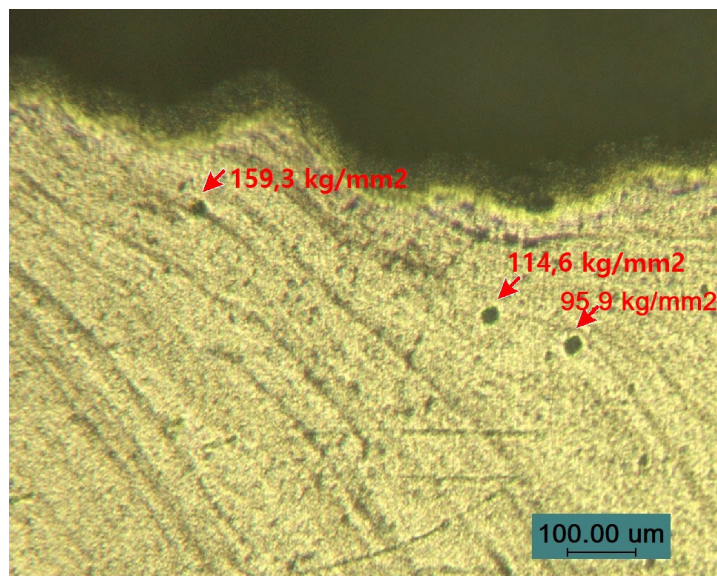
	Отляво на вертикалната линия	По вертикалната линия	Отдясно на вертикалната линия	Средноаритметична стойност
1	85,5	89,1	90,7	88,4
2	97,1	95,7	98,0	96,9
3	159,3	114,6	95,9	123,3
4	128,4	105,9	101,1	112,1
5	105,9	94,2	102,7	100,9
6	94,8	94,2	90,7	99,2
7	94,8	90,0	98,6	94,5



Фиг.5 Графичен вид на резултатите от измерването на микротвърдост

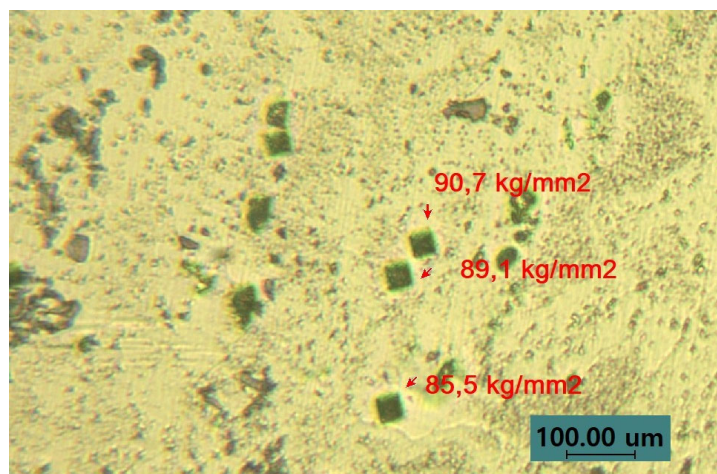
Микротвърдостта нараства в посока на центъра на обработената зона т.е. по посока на мястото на влагане на графена (фиг.5).

Микроструктурата на изследвания образец е показана на фиг.6. Ясно се наблюдават участъците с висока концентрация на графен под формата на по-тъмни концентрични дъги. С помощта на отпечатъците от измерването на микротвърдостта и въз основа на отчетените стойности установихме, че областите с по-голяма концентрация на графен имат по-голяма твърдост, а в областите с по-малка концентрация твърдостта намалява. От фиг.6 се вижда, че най-високата твърдост (159,3 HV) е измерена в област, където сондата е попаднала в ивица с висока концентрация на графен.



Фиг.6 Участъци с висока концентрация на графен под формата на по-тъмни концентрични дъги; отпечатъци от измерването на микротвърдост

В крайните зони на обработка, близки до основния метал, се забелязват точкови включвания на графен (фиг.7), които са сравнително равномерно разпределени. В тази област твърдостта намалява поради по-ниската концентрация на графен.



Фиг. 7 Микротвърдост в крайните зони на обработка, близки до основния метал

5. Изводи

Максимално измерената микротвърдост е 1,8 пъти по-висока от максимално измерената на основния метал преди обработка. В зоната близка до мястото на влагане на графена отчетената микротвърдост е по-голяма с повече от 20% от тази на основния метал, което ни дава основания да продължим експериментите и изследователската работа по отношение на влиянието на графена върху структурата и свойствата на метала.

Целите на по-нататъшните изследвания са свързани както с подобряване на технологията за постигане на по-хомогенно разпределение на графена, така и за оптимизиране на неговото количество.

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.

Литература

1. Xiangchen Meng, Yongxian Huang, Jian Cao, Junjun Shen, Jorge F. dos Santos, Recent progress on control strategies for inherent issues in friction stir welding, ScienceDirect 2021, journal homepage: www.elsevier.com/locate/pmatsci
2. Nuray Hasan, and Deyan Gradinarov, Defining parameters for control of extruding wire by friction process, MATEC Web Conf. Volume 287, 2019, 6th Int. BAPT Conference "Power Transmissions 2019" <https://doi.org/10.1051/mateconf/201928706003>
3. Деян Градинаров, Нурай Хасан, Стоил Тодоров, Юри Бижев, Оптимизация на хидравлична преса за дискретна екструзия ПХДЕ4000/1000 чрез пирометър IL-92, International Journal "NDT Days", Volume III, Issue 4, Year 2020, 213-217
4. Deyan Gradinarov, Nuray Hasan, Modelling of wire extrusion process, International Scientific Journal "Mathematical Modeling", 91-92
5. Omar S. Salih *, Hengan Ou*, W. Sun, D.G. McCartney A review of friction stir welding of aluminium matrix composites. Materials and Design 86 (2015), 61–71
6. Ma ZY. Friction stir processing technology: a review. Metall Mater Trans A 2008;39:642–58. <https://doi.org/10.1007/s11661-007-9459-0>.
7. Wang BB, Chen FF, Liu F, Wang WG, Xue P, Ma ZY. Enhanced mechanical properties of friction stir welded 5083Al-H19 joints with additional water cooling. JMater Sci Technol 2017;33:1009–14. <https://doi.org/10.1016/j.jmst.2017.01.016>.
8. Ajay Kumar, Mohammad Shahal Milton, A Comparison of Welding Techniques of Aluminium Alloys, A Literature Review, USRSET2016, Volume 2, Issue 3, ISSN 2394-4099
9. Abhishek Sharma, Vyas Mani Sharma, Agam Gugaliy, Pragya Rai, Surjya Kanta Pal, and Jinu Paul, Friction stir lap welding of AA6061 aluminium alloy with a graphene interlayer. Materials and Manufacturing Processes, 2020
10. Naseer, A.; Ahmad, F.; Aslam, M.; Guan, B. H.; Harun, W. S. W.; Muhamad, N.; Raza, M. R.; German, R. M., A review of processing techniques for graphene-reinforced metal matrix composites. Mater. Manuf. Process. 2019, 34, 957–985.
11. Christo Kondoff, Radostina Zaekova, Marina Manilova, Aluminum Based Composites Obtained by FSP, Proceedings of the 13th International Scientific and Practical Conference, 2021, Volume 3, 148-153, ISSN 2256-070X, <https://doi.org/10.17770/etr2021vol3.6640>
12. Christo Kondoff, Vanya Dykova, Rositza Dimitrova, Yassen Hadjitodorov, Radostina Zaekova, A Layer Formation on 6061 Aluminum Alloy after FSP, International Journal "NDT Days" 2021, Volume IV, ISSN 2603-4018.
13. P. Naresh, Adepu Kumar, M. Krishna Kishore, Influence of Nano Reinforcement Volume Percentage on Fabrication of Surface Nanocomposite by FSP, Materials Science Forum Online: 2016-11-15, ISSN: 1662-9752, Vol. 879, pp 1369-1374