



Investigating the Microstructure and Mechanical Properties of Cast Aluminium Alloys after Gaz Nitro-Carburizing

Siyana ZABUNOVA, Plamen PETROV, Desislava MINCHEVA

Technical university of Varna, Department of Material science and technology
e-mails: siyana.zabunova@gmail.com; petpl@abv.bg; desislavamincheva76@gmail.com

Abstract

The investigations of the microstructure and properties of aluminium alloys are through all the stages of the technological process. The aluminium alloys with Si and Cu have good castability and heat-resistance, but low corrosion resistance. The aluminium alloy containing Zn that is used in his scientific paper has age-hardened naturally in normal conditions and is very appropriate for application from technological, economical and ecological point of view. The purpose of the science for development of this light modern materials is connected with exploring and improving different conditions in order to make the technological process adequate to the contemporary requirements.

This investigation represents some results about experimental thermo-chemical treatment of hypoeutectic aluminium alloy AlSi9Cu3(Fe) and AlZn10Si8

Keywords: aluminium alloys, gaz nitro-carburizing, surface treatment, automotive, aluminium nitride,

Изследване на микроструктурата и механичните свойства на алуминиеви сплави след газово карбонитриране

Сияна ЗАБУНОВА, Пламен ПЕТРОВ, Десислава МИНЧЕВА

1. Увод

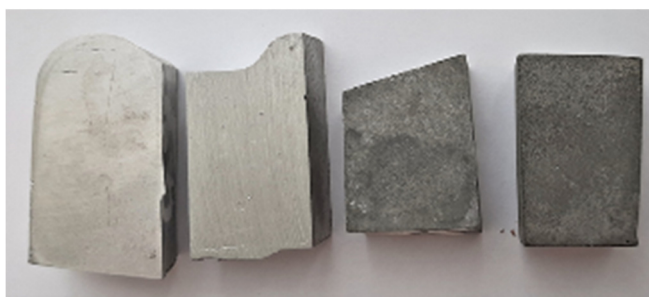
Алуминиевите сплави притежават висока топло и електропроводимост, пластичност, корозионна-устойчивост. Обработват се чрез леене, пластична деформация и рязане. Чистият, нелегиран алуминий се използва основно в електротехниката за кондензатори, електропроводници както и за производство на фолия, телове, листове, тръби, съдове и др, [1]. Поради технико - икономически и екологични фактори съществува непрекъснат стремеж на изследователите в тази област за търсене на по-добри решения по отношение на технологиите и използваните материали като само-уякчаващи се сплави, при които технологичния цикъл на термообработка е съкратен, [1]. От съществено значение е да се спомене фактът, че използваните сплави в индустриалното производство са вторичен, рециклиран материал, няколкократно претопяван, чийто свойства е редно да отговарят на изискванията за съответния детайл, [2,3,4].

Алуминиевите сплави, които се използват в зависимост от начина на производство се делят основно на деформируеми и леярски. Физико-химичния механизъм и влиянието на легиращите елементи, въпреки многогодишните интензивни индустриални и научни проучвания все още не са напълно и абсолютно доизучени и са предмет на експериментиране. Интерес за учените представлява проследяване на микроструктурните особености през всички етапи на технологичния процес от леенето до окончателната термична обработка, [5]. Сплавите от системата Al-Si-Cu са с добри

леярски свойства и голяма топлоустойчивост. В автомобилната индустрия за компоненти на двигатели (бутала, цилиндрични глави) се използват сплави със съдържание минимум 3% мед, $AlSi7Cu3Mg$, $AlSi8Cu3$, $AlSi9Cu1Mg$. Тяхната корозионна устойчивост е ниска, заради повишеното съдържание на мед, което намалява количеството на гама кристалите Al_2O_3 в зависимост от температурата. Експериментално е установено също, че при $475^{\circ}C$ плътността на оксида на алуминиева сплав със съдържание на цинк е по-ниска, в сравнение с плътността на оксида, образуван на повърхността на чист нелегиран алуминий, [6]. Сплави от системата Al-Si, които се използват за производство на бутала на двигатели в автомобилната индустрия обикновено са легирани с елемента никел за да се осигури високо ниво на якост при завишени температури и ниска стойност на коефициента на термично разширение.

2. Обект на изследване

Предмет на настоящото изследване представлява наблюдение в изменененията на микроструктурата на подевтектични алуминиево-силициеви сплави $AlSi9Cu3(Fe)$, $AlZn10Si8Mg$ след нискотемпературно газово карбонитриране.



Фигура 1. Образци от използваните алуминиеви сплави преди и след обработка

Проследено е влиянието на технологичните параметри на процеса и химичния състав (таблица 1, таблица 2) на образци от двете сплави (фиг. 1) върху микротвърдостта след проведената химико-термична обработка.

Таблица 1. Химичен състав на $AlSi9Mg(Fe)$

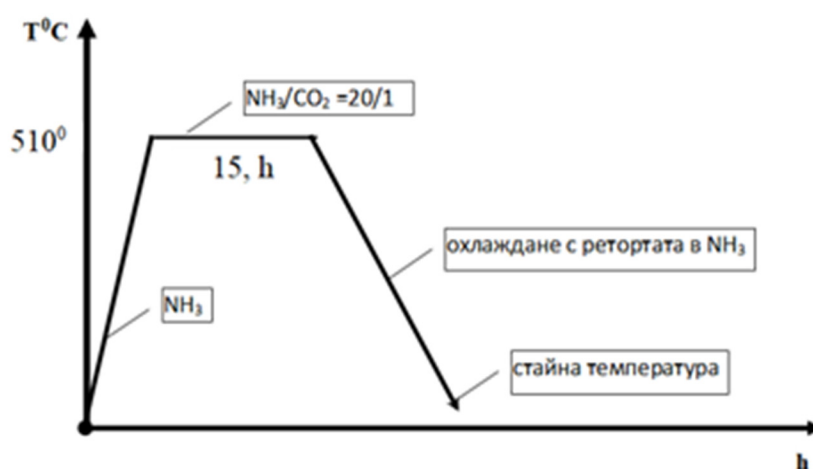
<i>Cu%</i>	<i>Mg%</i>	<i>Si%</i>	<i>Fe%</i>	<i>Mn%</i>	<i>Ni%</i>	<i>Zn%</i>	<i>Ti%</i>	<i>Pb%</i>	<i>Sn%</i>	<i>Al%</i>
2,33	0,51	8,84	0,67	0,23	0,06	1,12	0,05	0,08	0,04	86,01

Таблица 2. Химичен състав на $AlZn10Si8Mg$

<i>Cu%</i>	<i>Mg%</i>	<i>Si%</i>	<i>Fe%</i>	<i>Mn%</i>	<i>Ni%</i>	<i>Zn%</i>	<i>Ti%</i>	<i>Pb%</i>	<i>Sn%</i>	<i>Al%</i>
0,07	0,50	7,94	0,26	0,11	0,020	10,02	0,05	0,010	0,00	87,30

3. Методика

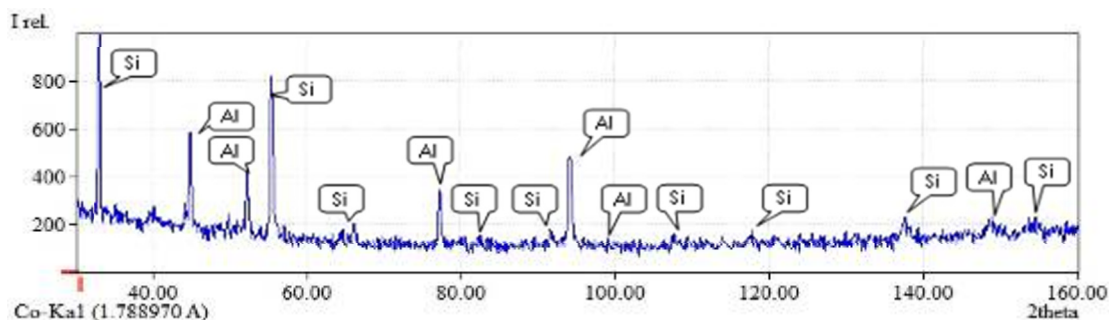
Образците и от двете марки сплави бяха подложени на ниско-температурно газово карбонитриране (НТГК) по метод “Карбонит“, който е разработен в Технически университет , гр. Варна. Технологичното оборудване, което е използвано е лабораторна пещ с обем на ретортата 2 литра. Насищането се осъществява в среда от амоняк (NH_3) и въглероден диоксид (CO_2). Температурата на нагряване от 510°C не преминава евтектичната за силумините 575°C , а времето на задържане е 15h (фиг.2). Проведени са металографски анализ и измерване на микротвърдост за двата вида алуминиеви сплави. Базирано на досегашни проучвания и публикации по темата, свързана с депасивирането на повърхността на алуминиевите сплави, т.е разрушаването на естествено формирация се защитен слой от Al_2O_3 с цел интензифициране на дифузионния процес на насищане по време на химико-термичната обработка в пещта са използвани депасивиращи агенти соли на магнезиев хлорид, [7,8,9,10,11]. Използван е и амониев хлорид (NH_4Cl), стандартно прилаган при химикотермична обработка на неръждаеми стомани.



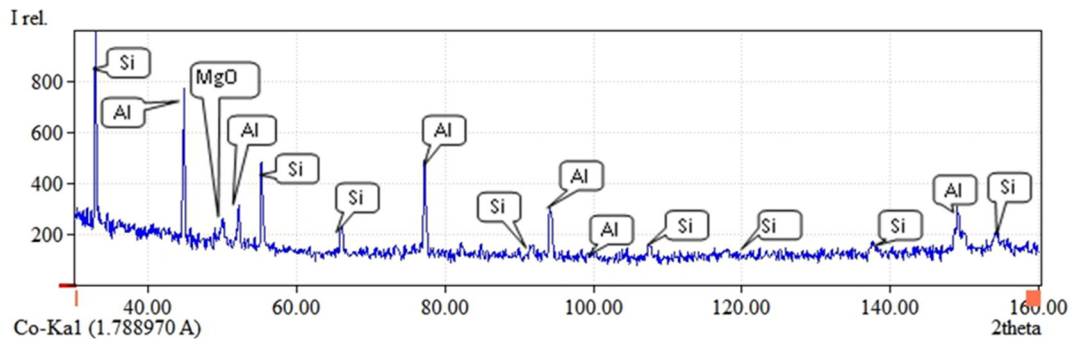
Фигура 2. Циклограма на технологичния процес

4. Резултати

Фазовия анализ на образците (фиг.3; фиг.4) е извършен с рентгеноструктурен дифрактометър в $\text{Co-K}\alpha 1$ излъчване преди и след като са подложени на НТГК.

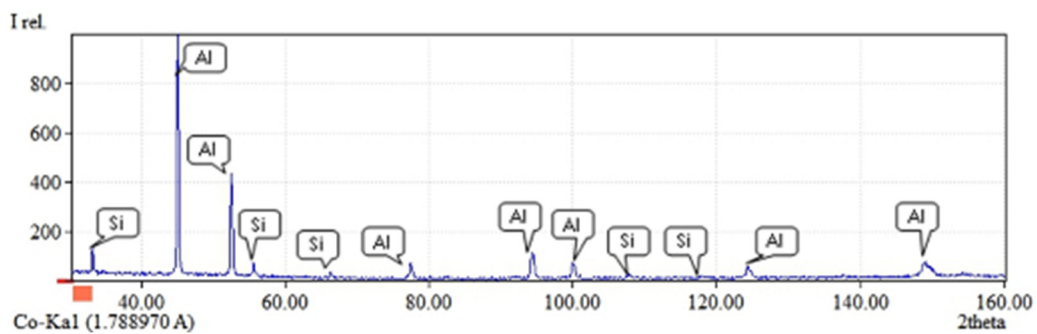


a)

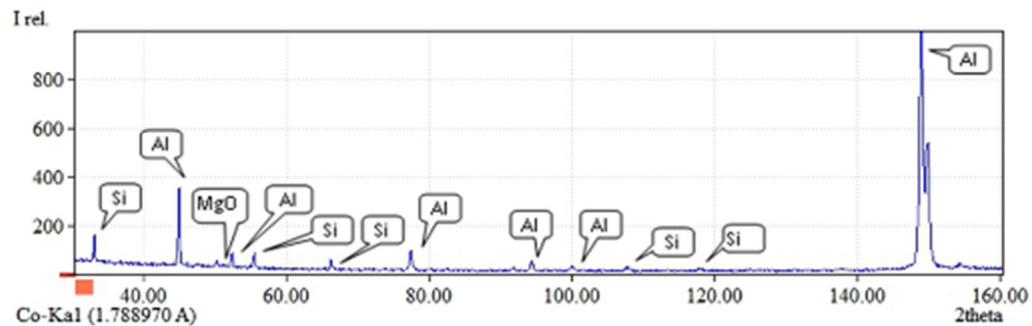


б)

Фигура 3. Рентгенов анализ на проба AlSi9Cu3(Fe) а) в сурово състояние; б) след обработка



а)

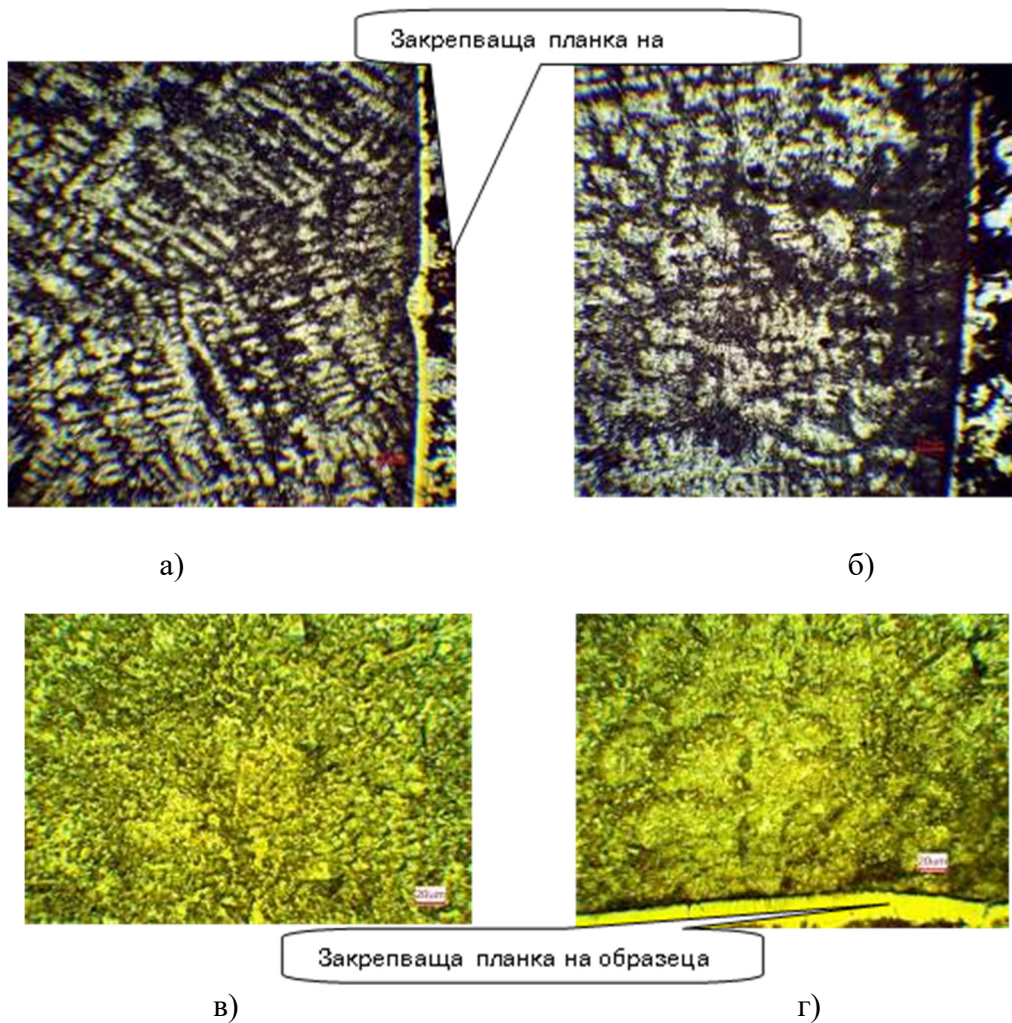


б)

Фигура 4. Рентгенов анализ на проба AlZn10Si8Mg а) в сурово състояние; б) след обработка

Обемна твърдост HV0,025 на AlZn10Si8Mg преди обработката										
72	70	86	78	63	56	110	88	82	78	средно 78,3
Обемна твърдост HV0,025 на AlSi9Cu3Mg преди обработката										
105	72	101	103	83	89	96	60	113	66	средно 88,8

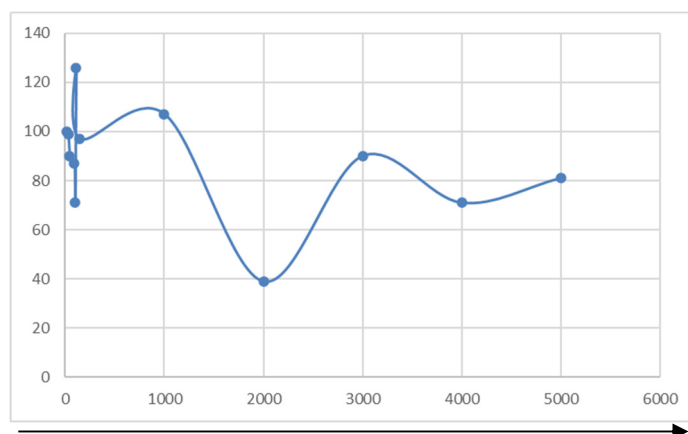
Фигура 5. Обемна твърдост на образците



Фигура 6. Микроструктурен анализ след НТГК: а) $AlSi9Cu3(Fe)$ (x100) б) $AlSi9Cu3(Fe)$ (x1000), в) $AlZn10Si8Mg$ (x400) г) $AlZn10Si8Mg$ x400



Фигура 7. Разпределение на микротвърдост на образец от $AlZn10Si8Mg$ от повърхността към сърцевината на сплавта след НТГКН



Дълбочина от повърхността към сърцевината, μm

Фигура 8. Разпределение на микротвърдост на образец от AlSi9Cu3(Fe) от повърхността към сърцевината на сплавта след НТГКН

4.1 Анализ на получените резултати

Анализът на рентгенографските изследвания показва намаляване на интензитетите на линиите, отговарящи за алуминия след провеждане на обработката, което означава, че е протекло дифузионно взаимодействие вследствие на което има зараждане на нова фаза или химично съединение на повърхността на материала. При сплавта AlSi9Cu3(Fe) това е по-силно изразено и кореспондира с металографските снимки, на които се вижда частично насищане на повърхността и поява на слой, неравномерен, с малка плътност и повишена твърдост в участъци, в които има изменение на размера и формата на силициевите зърна и формиране на SiN. От измерванията за обемна твърдост на самоуякчаващата се сплав, сравнено и с предишни получени резултати от други учени след провеждане на хомогенизиращо отгряване може да се направи заключение, че за сплавта AlZn10Si8Mg НТГК не дава резултат по отношение на формиране на плътен слой, но има увеличаване на твърдостта по целия обем, в следствие на изменение на формата и размерите на силициевите кристали, отделянето им по границите и формирането на различни интерметални съединения като Mg₂Si, [6].

5. Изводи

Получените данни от металографски, рентгенографски анализ и стойностите за микротвърдостта показват, че при сплавта, съдържаща Mg и Cu има частично насищане на повърхността. Данните за повърхностната твърдост не показват линейно нарастване, по-скоро има вероятност за формиране на по-твърди интерметални съединения. За сплавта с цинк, която има склонност към самоуякчаване не се потвърди насищане на повърхността, но има нарастване на обемната твърдост. Нужни са допълнителни изследвания, които да анализират характера на протеклите процеси.

Литература

1. Varshney D., K. Kumar, Application and use of different aluminium alloys with respect to workability, strength and welding parameter optimization, *Ain Shams Engineering Journal*, Volume 12, Issue 1, 2021, Pages 1143-1152, ISSN 2090-4479, <https://doi.org/10.1016/j.asej.2020.05.013>.
2. Tillová E., M. Chalupová, L. Hurtalová, J. Belan, Impact Properties of Self-Hardening Aluminium Alloy (AlZn10Si8Mg) at Elevated Temperatures, September 2015, Vol. 15, No. 4, *Manufacturing Technology*, ISSN 1213–2489
3. Medvecka D, E. Tilova, L. Kucharikova, M. Chalupova, D. Zavodska, A. Vasko, Influence of iron content on mechanical properties of secondary AlZn10Si8Mg cast alloy, 36 th Danubia-Adria Symposium on Advances in Experimental Mechanics 24-27.09.2019, Plzeň, Czech Republic
4. Tillová E., E. Ďuriníková, M. Chalupová, Structural Analysis of Secondary AlZn10Si8Mg Cast Alloy, *Acta Metallurgica Slovaca*, Vol. 17, 2011, No. 1, p. 4-10
5. Bolibruchová D., M. Matejka, Analysis of Microstructure Changes for AlSi9Cu3 Alloy Caused by Remelting, December 2018, Vol. 18, No. 6 *Manufacturing Technology*, ISSN 1213–2489
6. Dziubinska, A. The New Technology of Die Forging of Automotive Connecting Rods from EN AB-71100 Aluminium Alloy Cast Preforms. *Materials* 2023, 16, 2856. <https://doi.org/10.3390/ma16072856>
7. Vargel Ch., The oxide film and passivity of aluminium, Chapter B.3 in *Corrosion of Aluminium* (Second Edition), Elsevier, 2020, Pages 91-111, ISBN 9780080999258, <https://doi.org/10.1016/B978-0-08-099925-8.00010-7>.
8. Yoshida M., T. Zhou., N. Utsumi. Formation of Aluminium Nitride Films by Gas Nitriding. *Key engineering materials*; 2014, Vol. 625, pp 651-656., <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.625.651>
9. Chen H., H. Stock., P Mayr, Plasma nitriding of Al 99.5, *Journal de Physique IV Proceedings*, EDP Sciences, 1993, 03 (C7), pp.C7-971-C7-979. [ff10.1051/jp4:19937150ff](https://doi.org/10.1051/jp4:19937150ff). [ffjpa-00251773](https://doi.org/10.1051/jp4:19937150ff)
10. Buchwalder A., J. Böcker, E. Hegelmann, V. Klemm, Investigations on the Microstructure of an Aluminium Nitride Layer and Its Interface with the Aluminium Substrate (Part I), 2022, <https://doi.org/10.3390/coatings12050618>
11. Pieczonka T., Disruption of an Alumina layer during sintering of aluminium in nitrogen. *Archives of Metallurgy and Materials*, 2017, Vol. 62, 2B, pp 987-992 DOI: 10.1515/amm-2017-0139, ISSN 1733-3490
12. Yoshida M., T. Zhou, N. Utsumi, Formation of Aluminium Nitride Films by Gas Nitriding. *Key engineering materials*, 2014, Vol. 625, pp. 651-656, <https://doi.org/10.4028/www.scientific.net/kem.625.651>