



Study the Influence of the Limit Contents of Alloying Elements and Heat Treatment on the Mechanical Properties and Structure, in Characteristic Areas of Automobile Wheels from AlSi7Mg0.3 Alloy, Cast under Low Pressure

Lenko STANEV, Anna MANEVA, Sergey STANEV, Mihail GEORGIEV

Institute of Metal Science, Equipment and Technologies with Hydro- and Aerodynamics Center „Acad. A. Balevski“ at the Bulgarian Academy of Science, Sofia, Bulgaria

e-mails: stanev@ims.bas.bg, anna13@abv.bg, geo131@gmail.com, mngeorgiev@gmail.com

Abstract

The properties and structure, in characteristic areas, of castings for automotive wheels, cast under low-pressure from AlSi7Mg0.3 alloy was investigated. Alloy compositions have been with limit contents of alloying elements and have been undergone of T6 regime of heat treatment. It is shown the effect of alteration the contents of Si and Mg, within the standard limits, on the basic mechanical properties and some parameters of the structure, in characteristic zones, of the casting. It was found that, the change in the contents of Si and especially of Mg most substantially influences on the hardness and plasticity of the casting's material. Changes in the microstructure, shown by the changes in of SDAS values, mainly depend on the conditions of crystallization in the different zones and to a lesser extent on the content of the alloying elements.

Keywords: aluminum alloy wheels, low pressure casting, AlSi7Mg0.3

Изследване влиянието на граничните стойности на легиращите елементи и термичната обработка върху механичните свойства и структурата в характерни зони на автомобилни колела, отляти под ниско налягане от сплав AlSi7Mg0.3

Ленко СТАНЕВ, Анна МАНЕВА, Сергей СТАНЕВ, Михаил ГЕОРГИЕВ

1. Въведение

Производството на алуминиеви колела за леки автомобили, през последните 20-30 години, нараства непрекъснато и вече успешно конкурира производството на класическите стоманени джанти. Основен процес за производство на алуминиеви колела е леенето под ниско налягане. Значително по-рядко се използват леене с газово противоналягане, кокилно леене, полутечно шамповане и други леярски процеси [1,2]. Известно количество алуминиеви колела се произвеждат чрез пластична деформация (горещо шамповане, шанцоване, спининговане и други процеси). Делът на лятите, спрямо общия брой алуминиеви колела, надхвърля 80-85 % за Европа и 85-93% за САЩ и Япония [1].

Освен намалената маса водеща до намален разход на гориво и въглеродни емисии, лятите алуминиеви колела позволяват голяма свобода в дизайна на колелата. Леенето под ниско налягане е широко разпространен метод и при производството на алуминиеви колела осигурява висока производителност, точност на размерите, отлично качество на

повърхността, добри механични свойства и сравнително ниски разходи за екипировка [2,3].

При производството на ляти алуминиеви колела се използват сплави от системата Al-Si-Mg, като в 95 % от случаите това е сплав AlSi7Mg0.3, обработена по режим Т6 [4]. Сплав AlSi7Mg0.3 се е наложила в производството на ляти колела поради добрите си леярски свойства, добрите механични свойства в термообработено състояние, висока устойчивост срещу уморни натоварвания и не на последно място отлична корозионна устойчивост [2,3]. Конкретният режим на термообработка производителите избират в зависимост от конкретните условия – метод на производство, конструкция и маса на отливката, оборудване, изисквания и т.н [5]. По рядко се използват нетермообработваеми сплави от типа на AlSi12, AlSi11Mg.

Влиянието на основните легиращи елементи върху структурата и свойствата на моделни отливки с проста форма от сплав AlSi7Mg0.3 в термообработено състояние е добре известно [2,6,7], но слабо е изучено върху конкретни сложни по форма и произведени по различни методи отливки, което е и предмет на настоящата работа.

2. Експериментална процедура

В настоящата работа са изследвани структурата и свойствата на отливки за автомобилни колела, получени в промишлени условия, чрез леене под ниско налягане. Отливките са произведени от сплав AlSi7Mg0.3 със състав: Si 6.5÷7.5%; Mg 0.30÷0.45 %; Fe<0.12%; Cu<0.1%; Mn<0.05%; Ti<0.2% и термообработени по режим Т6. На изследване са подложени 4 плавки, с вариране на основните легиращи елементи в горна и долна граница в рамките на стандарта, Таблица 1.

Таблица 1. Вариране на процентното съдържание на легиращите елементи

Плавка №	Химичен състав, %					
	Si	Mg	Fe	Mn	Sr	Ti
1	6.52	0.30	0.065	0.001	0.0015	0.027
2	6.43	0.46	0.070	0.002	0.0006	0.029
3	7.24	0.30	0.070	0.0003	0.0015	0.027
4	7.60	0.46	0.080	0.003	0.0006	0.03

Като първа стъпка за по-широко изследване, при настоящата работа сплавта не е подложена на обичайно прилаганото модифициране и издребняване на структурата. Основните технологични параметри при производството на алуминиеви джанти под ниско налягане са:

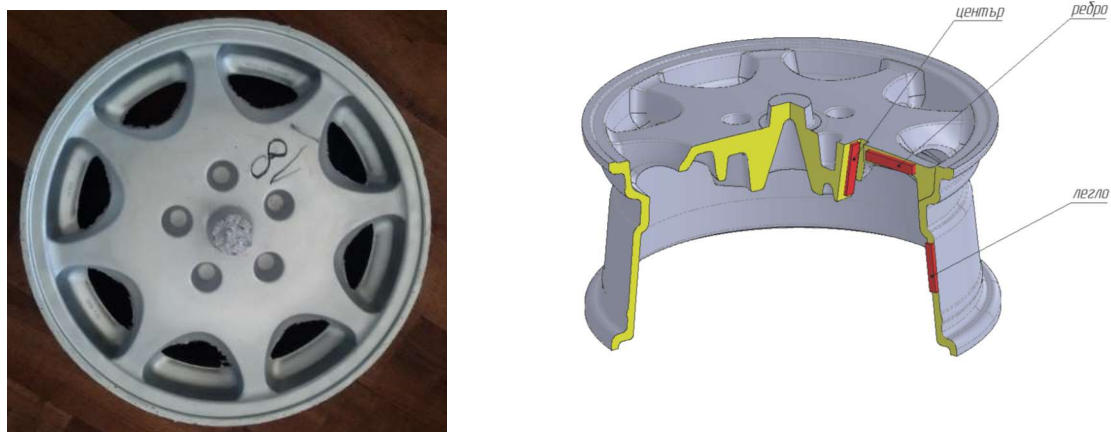
- Температура на метала -710±3°C;
- Начална температура на формата:
 - Горна полуформа.- 320-330°C;
 - Долна полуформа – 330-360°C;
 - Странични части на формата – 280-300°C
- Разликата в налягането (ΔP) се реализира на два етапа: първи етап – от 0 до 450 mbar за 30 s и втори – от 450 до 1200 mbar за 30 s.

Отливките са подложени на 100% рентгенов контрол и са обработени по два варианта на режим Т6 на термообработка, Таблица 2.

Таблица 2. Т6 режим на термична обработка

Режим	Хомогенизация	Изкуствено стареене
Режим I	535±3°C/6h, закаляване във вода (45÷50°C), не по-късно от 10s след изваждане от пещта; естествено стареене 10÷12h при стайна температура	145±3°C/5h; охлаждане на въздух
Режим II	535±3°C/6h, закаляване във вода (45÷50°C), не по-късно от 10s след изваждане от пещта; естествено стареене 10÷12h при стайна температура	170±3°C/3h; охлаждане на въздух

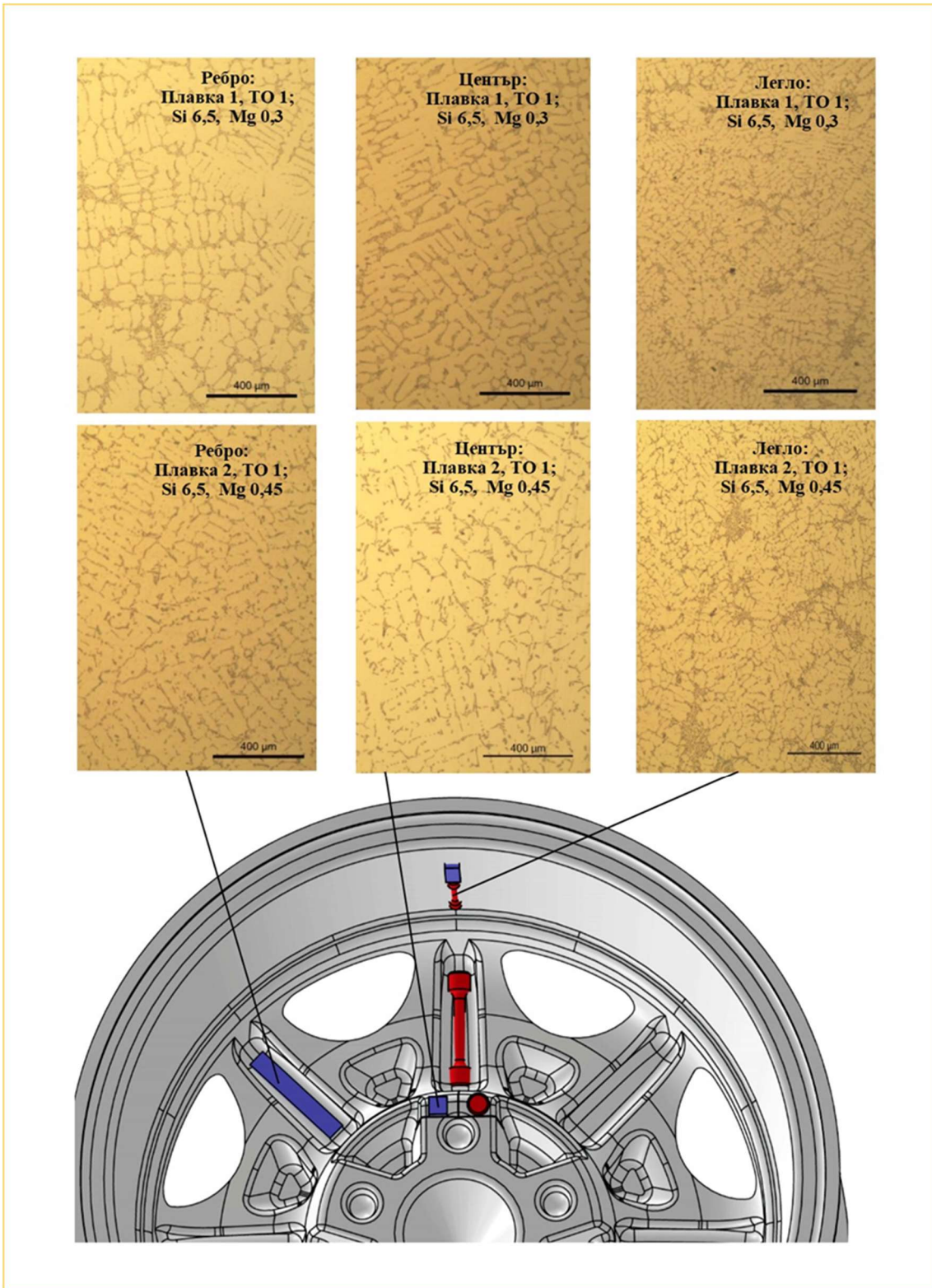
Структурата и механичните свойства на получените отливки са изследвани в 3 характерни области (център, ребро и легло на гумата), Фиг.1. От посочените области са изрязани проби за микроструктурен анализ и пробни тела за измерване на твърдостта и изпитване на опън (по 3 броя).



Фиг.1. Общ вид на получените отливки и схема на местата за вземане на проби за изследване

3. Резултати и обсъждане

На Фиг.2 са показани микроструктури на колела от плавки № 1 и 2 в трите изследвани области. Микроструктурата на изследваните отливки се състои от дендритен α - твърд разтвор и евтектика. Установено е наличието на микродефекти (микропори), дължащи се на обемен дефицит, незабележими при рентгеновия контрол, разположени предимно в областта на леглото на гумата и по-рядко в областта на центъра и ребрата. В областта на леглото на гумата се наблюдават и зони обогатени с евтектика. Може да се счита, че това е доказателство за ефективното действие на налягането, което се състои в запълване с нискотопима евтектика на образуващите се при затвърдяването дефекти от свиването.



Фиг.2. Микроструктури в характерни зони на отливки от плавка 1 и плавка 2

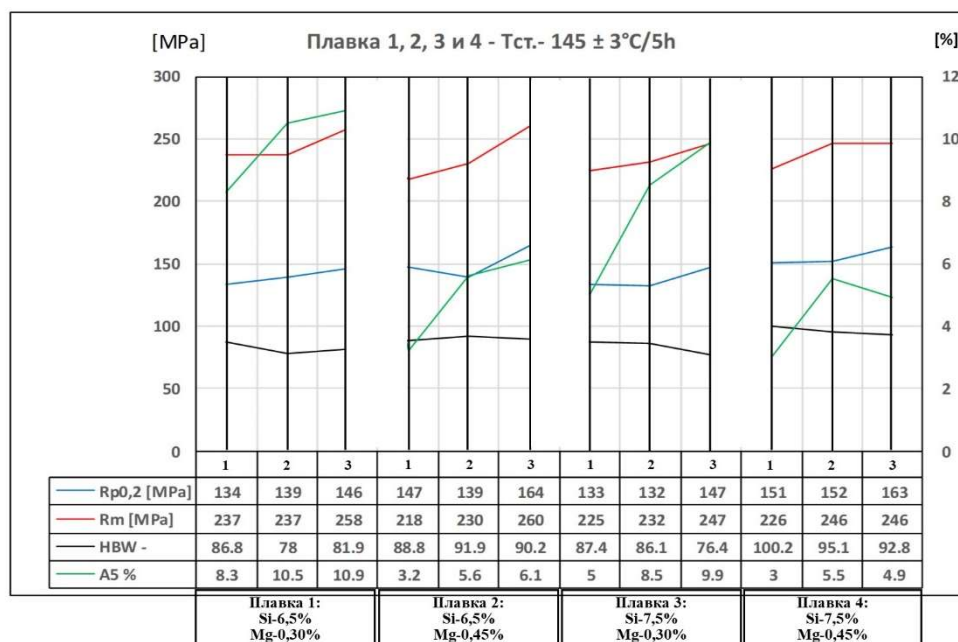
Разстоянието между вторичните дендритни оси (SDAS) е основна количествена характеристика на микроструктурата, показваща условията на затвърдяване на отливката и пряко свързана с механичните свойства на материала. Измерените стойности на SDAS за четирите плавки, в трите характерни области са показани в Таблица 3.

Таблица 3. Измерени стойности на SDAS

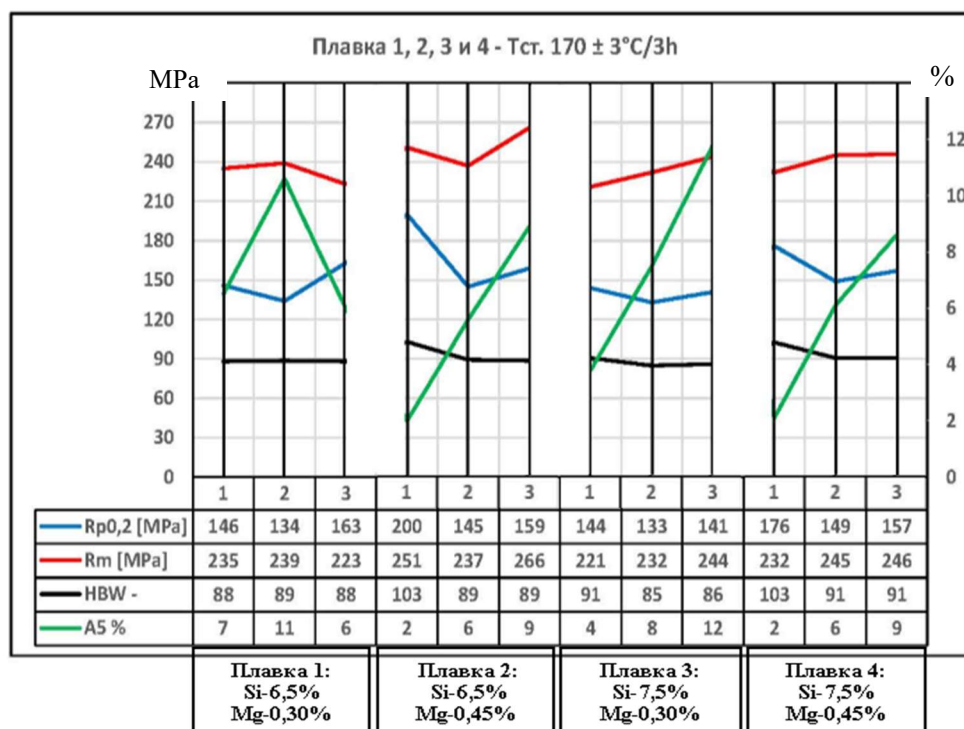
Плавка №	Режим на ТО	SDAS, μm		
		Център	Ребро	Легло
1	I (145°C/5h)	43.06	40.37	23.46
	II (170°C/3h)	41.55	40.58	16.85
2	I (145°C/5h)	47.98	46.87	25.24
	II (170°C/3h)	44.35	31.44	26.08
3	I (145°C/5h)	41.08	33.6	23.50
	II (170°C/3h)	42.89	46.33	21.90
4	I (145°C/5h)	48.50	31.90	24.90
	II (170°C/3h)	49.45	30.13	22.70

Резултатите показват закономерно намаляване на разстоянието между вторичните дендритни оси от центъра през ребрата към леглото на гумата и не зависят съществено от състава и термичната обработка, а основно от условията на затвърдяване, обусловени от дебелината на сечението и условията на леене.

На Фиг. 3 и 4 в графичен и табличен вид са показани осреднените резултати от изпитването на основните механични свойства в изследваните области в зависимост от състава и термичната обработка на отливките от плавки с №№ 1÷4, за двата варианта на режим Т6 на термообработка.



Фиг.3 Режим I на термообработка (1-център; 2- ребро; 3-легло на гумата)



Фиг. 4. Режим II на термообработка (1-център; 2- ребро; 3-легло на гумата)

От резултатите се вижда, че увеличаването на съдържанието на Mg на горна граница на стандарта, при съдържание на Si 6.5%, най-общо води до известно увеличаване на границата на провлачане R_{p02} и незначително на якостта на опън R_m , като същевременно нараства съотношението R_{p02}/R_m . Основният ефект от увеличаване съдържанието на Mg се изразява в съществено намаляване на показателя на пластичността A_5 .

При съдържание на Si на горна граница на стандарта (7.5%), увеличаването съдържанието на Mg води до по-съществено увеличаване на границата на провлачане R_{p02} , твърдостта, както и на съотношението R_{p02}/R_m , за сметка на запазване на якостта на опън R_m . Пластичността, както и в първия случай намалява значително.

Същият ефект се наблюдава и при втория вариант на T6 режим на термообработка.

При едно и също съдържание на Mg, увеличаването на Si от долна на горна граница не води до осезаем ефект върху механичните свойства и при двата режима на термична обработка.

Увеличаването на температурата на изкуствено стареене при едновременно намаляване времето на стареене води до изравняване на механичните свойства на отливките при двата режима на термообработка.

4. Заключение

Въз основа на проведеното изследване на автомобилни колела, ляти под ниско налягане в промишлени условия от сплав AlSi7Mg0.3 и термообработени по режим T6 е установено:

- Изменението на съдържанието на основните легиращи елементи Si и Mg в рамките на границите на стандарта не води до съществено изменение на структурата в характерните зони на отливките;

- Разстоянието между вторичните оси на дендритите SDAS зависи в по-голяма степен от условията на кристализация отколкото от състава и термичната обработка;
- Изменението на съдържанието на Mg от долна в горна граница, при едно и също съдържание на Si, води до незначително нарастване на якостта на опън Rm, по-забележително нарастване на границата на провлачане Rp02 и съотношението Rp02/Rm, като същевременно показателят на пластичността A5 намалява значително.
- Увеличаването на съдържанието на Si от долна на горна граница при едно и също съдържание на Mg, не води до осезаем ефект върху механичните свойства и при двата режима на термична обработка.

Литература

1. Weeks G. Aluminium alloy wheels manufacturing process, materials and design, 16th July 2012. <https://www.engineeringclicks.com/aluminium-car-wheels/>
2. Applications – Chassis & Suspension – Wheels, Version 2011, European Aluminium Association (auto@eaa.be) <https://www.european-aluminium.eu/media/1563/aam-applications-chassis-suspension-3-wheels.pdf>
3. Çetinel M., Investigation and Development of the Quality Control of Al-Wheel Rim Production Process. Dissertation submitted to the Graduate School in Partial Fulfillment of the requirements for the degree of Master of Science, Mechanical Engineering Department, İzmir Institute of Technology, İzmir, Turkey, October, 2001.
4. Aluminum Alloy A356 T6 https://www.newarctech.com/cm/dpl/downloads/content/69/A356_Aluminum_Wheel_Facts.pdf
5. Frost F. F., A Study of Heat Treatment of Aluminium Wheel Castings. Thesis submitted as a requirement for the completion of Master of Engineering Science Degree in Manufacturing Engineering. University of Tasmania, July, 1997.
6. Aluminum and Aluminum alloys, ASM Specialty Handbook, 1994.
7. Kaufman G. J., L. R. Elwin, Aluminum Alloy Castings: Properties, Processes, and Applications, ASM International, 2004.