

ИЗСЛЕДВАНЕ ПОВЕДЕНИЕТО НА НЕСТАНДАРТНИ АЛУМИНИЙ-СИЛИЦИЕВИ СПЛАВИ AlSi11Cu5Mg И AlSi18Cu5Mg ПРИ КОМБИНИРАНИ НАТОВАРВАНИЯ

РАЙЧО РАЙЧЕВ¹, ИВАНКА ДЕЛОВА²

Технически Университет София - филиал Пловдив^{1,2}
rpraichev@tu-plovdiv.bg¹, ivankadelova@tu-plovdiv.bg²

Резюме: Алуминий-силициеви сплави с евтектичен и надевтектичен състав са легирани с мед и магнезий. Сплавите AlSi11Cu5Mg и AlSi18Cu5Mg са сложно модифицирани чрез използването на P, Ti, B и Be. Сплавите са подложени на термична обработка T6. С помощта на специализиран софтуер е изследвано поведението на така модифицираните и термично обработени сплави при сложно напрегнато състояние. Получените резултати са представени в графичен вид.

Ключови думи: алуминий-силициеви сплави, модифициране, специализиран софтуер, сложно напрегнато състояние

STUDY OF THE BEHAVIOR OF NON- STANDARD ALUMINUM-SILICON ALLOYS AlSi11Cu5Mg AND AlSi18Cu5Mg UNDER COMBINED LOADS

RAYCHO RAYCHEV¹, IVANKA DELOVA²

Technical University – Sofia, Branch Plovdiv^{1,2}
rpraichev@tu-plovdiv.bg¹, ivankadelova@tu-plovdiv.bg²

Abstract: Aluminum-silicon alloys with eutectic and hypereutectic composition are alloyed with copper and magnesium. AlSi11Cu5Mg and AlSi18Cu5Mg alloys are complexly modified using P, Ti, B and Be. The alloys are subjected to T6 heat treatment. The behavior of such modified and heat-treated alloys under complex stress conditions has been studied with the help of specialized software. The obtained results are presented in graphical form.

Key words: aluminum-silicon alloys, modification, specialized software, complex stress state

1. Въведение

Към сплавите от системата Al-Si предназначени за производство на детайли за автомобилостроенето като бутала, цилиндрови глави и др. са предявени редица изисквания поради, това че те работят в условията на високи динамични и термични натоварвания. Необходимо е да притежават висока огнеупорност, топлопроводност, корозионна устойчивост, износоустойчивост, стабилност на свойствата и размерите при високи температури. За подобряване на свойствата им те се легираат най-често с Cu, Mg, Ni. Легиращите елементи

образуват с алуминия и силиция различни интерметални съединения, които подобряват механичните свойства на сплавите както и тяхната износоустойчивост и огнеупорност.

Евтектичните алуминий-силициеви сплави кристализират при постоянна температура и поради това при тях се наблюдава образуване на концентрирани всмукнатини, а това от своя страна обуславя високата им херметичност. Тези сплави се характеризират с много добри леярски свойства, малък коефициент на линейно свиване, както и с понижена си склонност към образуване на пукнатини. Най-често използваните евтектични

алуминий-силициевы сплавы за изработване на бутала за двигателите с вътрешно горене от световните производители са от типа AlSi12Cu1MgNi и AlSi12Cu2MgNi.

Основното предимство на надевтектичните алуминий-силициевы сплавы пред подевтектичните и евтектичните силумини е, че те притежават малък коэффициент на линейно разширение при нагриване. Това ги прави предпочитан материал за изработване на бутала за ДВГ въпреки значително по-лошите им леярски свойства. Най-често използваните надевтектични алуминий-силициевы сплавы са AlSi18Cu2MgNi, AlSi21Cu2MgNi, A390, A393. Тези сплавы кристализират в широк температурен интервал и поради това при тях се наблюдава всмукнатинна порестост. Проблемът с получаване на плътни отливки от евтектични и надевтектични алуминий-силициевы сплавы е решен технологично, като за производство на бутала за двигатели с вътрешно горене се използват следните методи на леене: леене с ниско специфично налягане и полутечно шамповане [1, 2, 3, 4, 5].

2. Използвани материали

Химичният състав на изследваната алуминий-силициева сплав от евтектичен тип AlSi11Cu5Mg е показан в таблица 1, а състава на надевтектичният силумин AlSi18Cu5Mg е показан в таблица 2.

Таблица 1. Химичен състав на сплав AlSi11Cu5Mg

Si	Cu	Mg	Mn	Ni	Al
11.1	4.4	0.7	0.003	0.01	rest

Таблица 2. Химичен състав на сплав AlSi18Cu5Mg

Si	Cu	Mg	Mn	Ni	Al
19.2	5.1	1.5	0.02	0.02	rest

Двете сплавы са комплексно модифицирани с P, Ti, B и Be. Чрез комплексната модифицираща обработка се цели модифицирането на структурните съставляващи на сплавите. В таблица 3 са показани концентрациите на използваните модификатори за модифициране на евтектичната сплав AlSi11Cu5Mg, а в таблица 4 са показани

количествата на използваните модификатори за модифициране на сплавта с надевтектичен състав AlSi18Cu5Mg.

Таблица 3. Използвани модификатори за сплав AlSi11Cu5Mg

Модификатор	Концентрация
Фосфор (P)	0.04%
Титан (Ti)	0.02%
Бор (B)	0.004%
Берилий (Be)	0.007%

Таблица 4. Използвани модификатори за сплав AlSi18Cu5Mg

Модификатор	Концентрация
Фосфор (P)	0.04%
Титан (Ti)	0.02%
Бор (B)	0.004%
Берилий (Be)	0.007%

Експерименталните отливки от двата изследвани състава са подложени на термична обработка T6 (закаляване и изкуствено стареене). Температурата на нагриване за закаляване е 510-515°C, а времето на задържане при тази температура е 6 h и 30 min. За закаляване на сплавта AlSi11Cu5Mg е използвана охлаждащата среда вода с температура 20°C, а сплавта AlSi18Cu5Mg е закалена във вода с температура 50°C. Последващото изкуственото стареене на двете сплавы е проведено при температура 210°C, а времето за задържане при тази температура е 16h. След проведената термична обработка якостта на опън на евтектичната сплав AlSi11Cu5Mg е 204MPa, а на надевтектичната сплав AlSi18Cu5Mg е 173MPa.

3. Резултати

С помощта на вградения модул Static Structure, който е част от платформата ANSYS Workbench е изследвано влиянието на работните параметри на термичната обработка върху поведението на така модифицираната сплав при сложно напрегнато състояние.

Провеждането на инженерните анализи с ANSYS Workbench се разделя на следните етапи:

- Разработка на модела;

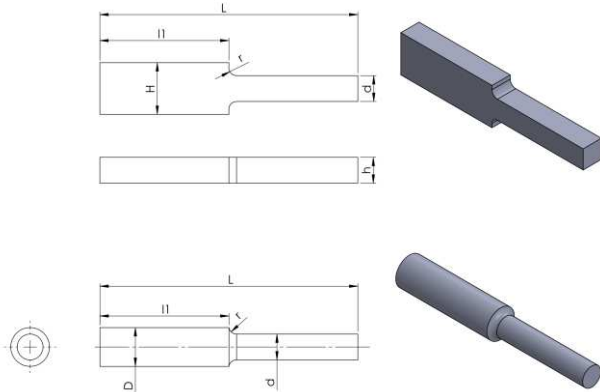
- Настройка на симулационния модел и получаване на решение;
 - Обработка на резултатите и тяхното визуализиране (графики, анимации и др.).

Обекти на настоящето изследване са:

- призматичен пробен образец;
- цилиндричен пробен образец;

Образците са подложени на комбинираните натоварвания „едновременно огъване и опън“, както и на „едновременно огъване и усукване“.

На фиг. 1 в графичен вид са представени обектите на изследване.



Фиг. 1. Изследвани образци

Геометричните размери на изследвания призматичен образец са следните: $L=100\text{mm}$, $H=50\text{mm}$, $H=20\text{mm}$, $h=10\text{mm}$. Осъществени са симулации при следните геометрични съотношения $r/d=0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3$.

Геометричните размери на изследвания цилиндричен стъпален вал са следните: $L=100\text{mm}$, $d=10\text{mm}$, $l_1=50\text{mm}$. Осъществени са симулации при следните геометрични съотношения $r/d=0,1; 0,15; 0,2; 0,25; 0,3$.

В таблица 4, таблица 5, таблица 6 и таблица 7 са представени получените резултати за еквивалентните стойности на нормалните напрежения, относителното удължение и деформацията за изследваните алуминий-силициеви сплави AlSi11Cu5Mg и AlSi18Cu5Mg .

Таблица 4.

Резултати от симулациите за призматичен образец при едновременно огъване и опън						
Алуминиева сплав	Геометрични размери	Осева сила	Огъващ момент	Напрежение (фон Мизес)	Относително удължение (фон Мизес)	Деформация
AlSi11Cu5Mg	0.1	5000	5	142.84	1.6842	1.4491
	0.15			133.68	1.5766	1.4394
	0.2			130.27	1.5434	1.4295
	0.25			129.73	1.5281	1.4192
	0.3			123.11	1.4491	1.4087
AlSi18Cu5Mg	0.1	5000	5	142.84	1.3255	1.1405
	0.15			133.68	1.2409	1.1329
	0.2			130.27	1.2341	1.125
	0.25			129.73	1.2027	1.1169
	0.3			123.11	1.1405	1.1087

Таблица 5.

Резултати от симулациите за призматичен образец при едновременно огъване и усукване						
Алуминиева сплав	Геометрични размери	Усукващ момент	Огъващ момент	Напрежение (фон Мизес)	Относително удължение (фон Мизес)	Деформация
AlSi11Cu5Mg	0.1	8	8	136.14	1.6163	2.7185
	0.15			134.69	1.5913	2.7014
	0.2			120.67	1.4214	2.6834
	0.25			114.95	1.3540	2.6649
	0.3			106.92	1.2587	2.6459
AlSi18Cu5Mg	0.1	8	8	136.14	1.2721	2.1396
	0.15			134.69	1.2524	2.1261
	0.2			120.67	1.1187	2.112
	0.25			114.95	1.0656	2.0973
	0.3			106.92	0.9907	2.0825

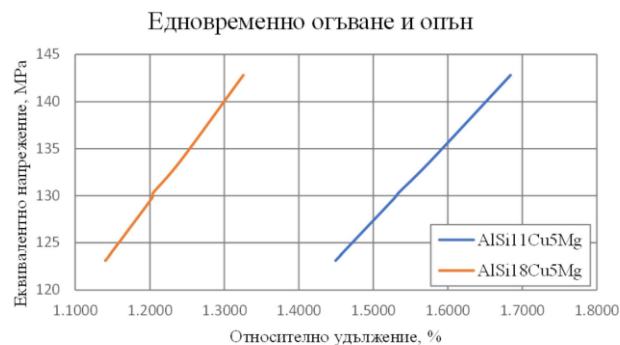
Таблица 6.

Резултати от симулациите за цилиндричен образец при едновременно огъване и опън						
Алуминиева сплав	Геометрични размери	Осева сила	Огъващ момент	Напрежение (фон Мизес)	Относително удължение (фон Мизес)	Деформация
AlSi11Cu5Mg	0.1	5000	5	189.47	2.234	2.040
	0.15			161.85	1.910	2.022
	0.2			147.99	1.742	2.004
	0.25			146.27	1.723	1.985
	0.3			142.66	1.680	1.965
AlSi18Cu5Mg	0.1	5000	5	189.47	1.758	1.606
	0.15			161.85	1.503	1.592
	0.2			147.99	1.371	1.577
	0.25			146.27	1.356	1.562
	0.3			142.66	1.322	1.547

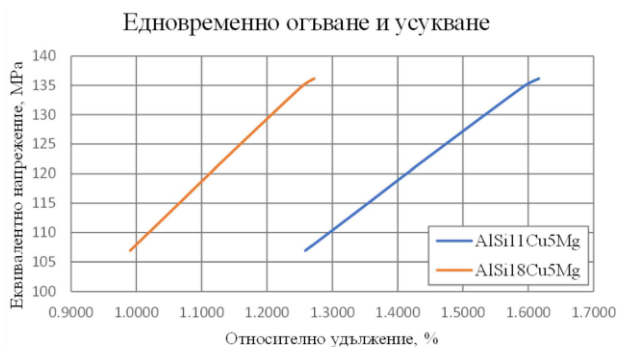
Таблица 7.

Резултати от симулациите за цилиндричен образец при едновременно огъване и усукване						
Алуминиева сплав	Геометрични размери	Усукващ момент	Огъващ момент	Напрежение (фон Мизес)	Относително удължение (фон Мизес)	Деформация
AlSi11Cu5Mg	0.1	8	8	150.28	1.772	3.651
	0.15			133.10	1.567	3.619
	0.2			128.24	1.509	3.586
	0.25			124.93	1.471	3.552
	0.3			121.39	1.429	3.517
AlSi18Cu5Mg	0.1	8	8	150.28	1.395	2.873
	0.15			133.10	1.234	2.848
	0.2			128.24	1.188	2.822
	0.25			124.93	1.157	2.795
	0.3			121.39	1.125	2.768

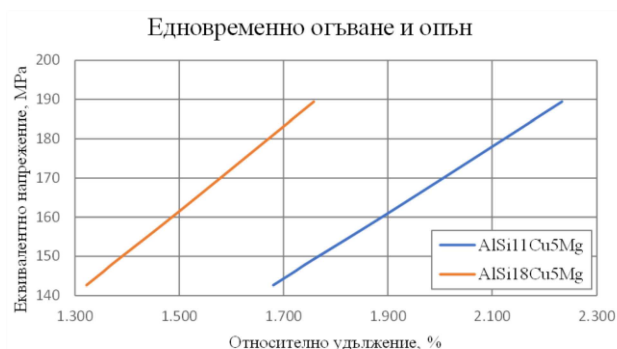
На фиг. 2, фиг. 3, фиг. 4 и фиг. 5 са представени зависимостите между еквивалентните стойности на напреженията и относителното удължение за изследваните сплави.



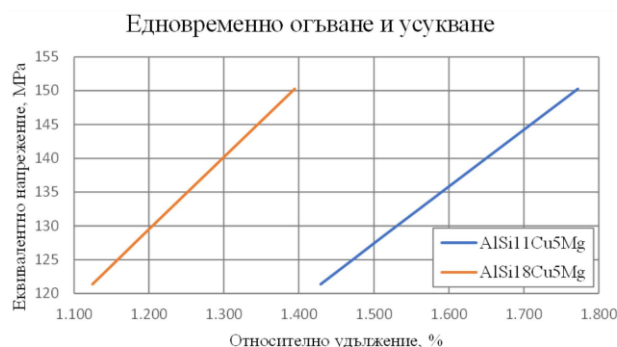
Фиг. 2. Резултати от едновременно огъване и опън при призматичен образец.



Фиг. 3. Резултати от едновременно огъване и усукване при призматичен образец.



Фиг. 4. Резултати от едновременно огъване и опън при цилиндричен образец.



Фиг. 5. Резултати от едновременно огъване и усукване при цилиндричен образец.

Резултатите от проведените софтуерни симулации показват, че сплавта от евтектичен тип (AlSi11Cu5Mg) притежава по-високи стойности на относително удължение и деформации спрямо сплавта с надевтектичен състав. Получените стойности на относителното удължение на двата състава са значително по-високи от изискуемите към този тип стандартизирани бутални сплави. Това показва, че легирането с мед и магнезий е целесъобразно, а използваните модификатори P, Ti, В и Ве в съответните концентрации са адекватно подбрани. При така проведената термична обработка изследваните сплави притежават

значително високи стойности на якост на опън при повишена пластичност.

4. Заключение

Сплавта с надевтектичен състав AlSi18Cu5Mg притежава по-ниски стойности на якост на опън, относително удължение и деформация спрямо сплавта от евтектичен тип AlSi11Cu5Mg. Това се дължи на значително голямото количество ($\approx 6\%$) свободен силиций в нейната структура.

Нестандартно легираните и модифицирани сплави AlSi11Cu5Mg и AlSi18Cu5Mg след термична обработка притежават такива стойности на Rm и относително удължение при сложно напрегнато състояние, които правят изследваните сплави алтернативен материал за изработване на детайли участващи в трибологични двойки.

Използването на специализирания софтуер осигурява възможност за получаване на информация за поведението на изследваните материали в случаи, когато възможностите за провеждането на реални експерименти са ограничени.

Авторите изказват благодарност към проекта BG05M2OP001-1.002-0023 – Център за компетентност „Интелигентни мехатронни, еко- и енергоспестяващи системи и технологии“ на ТУ-София, филиал Пловдив, за финансовата подкрепа на настоящата разработка.

ЛИТЕРАТУРА

1. Славов Р. М. Манолов, В. Атанасова. Наръчник по леене на цветни метали и сплави. София, Техника, 1976.
2. Стоянов Н., Технология на леярството. София 1987г.
3. Строганов Г.Б., В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман, Сплавы алюминия с кремнием. М., Металлургия, 1977
4. Великов А.М., Станев С. Н., Манева А. С., Ангелов Р. Д. „Газовое прессование“ („ГП“) - метод получения поршней для двигателей внутреннего сгорания. Материалы III Научно-образовательной конференции „Машиностроение-традиции и иновации“ (МТИ-2010), (ISBN 978-5-94057-216), Москва, ноябрь-декабрь, 2010, 53-55
5. Velikov A., Bushev S., Foundry-Gas Pressing Method. Bulgarian Society for NDT International Journal “NDT Days”, Volume II, Issue 2, 2019, ISSN:ISSN: 2603-4018, eISSN: 2603-4646, 224-229