

СОФТУЕРНО ИЗСЛЕДВАНЕ НА МЕХАНИЧНИТЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ НА СПЛАВ AlSi18Cu3CrMn

РАЙЧО РАЙЧЕВ¹, ДЕСИСЛАВА ДИМОВА²

Технически Университет София - филиал Пловдив^{1,2}
rpraichev@tu-plovdiv.bg¹, desislava608738@gmail.com²

Резюме: Сложнолегирана надевтектична алуминий-силициева сплав AlSi18Cu3CrMn е модифицирана с фосфор в концентрация 0,04%. Сплавта е подложена на термична обработка T6. За провеждане процеса на закаляване е използвана охлаждаща среда вода с различна температура (20°C и 50°C). Последващото изкуствено стареене е проведено при различни работните параметри. С помощта на специализиран софтуер е изследвано влиянието на термичната обработка върху поведението на сплавта при сложно напрегнато състояние, както и върху нейната границата на умора. Получените резултати са представени в графичен вид.

Ключови думи: алуминий-силициева сплав, модифициране, специализиран софтуер, сложно напрегнато състояние, граница на умора.

SOFTWARE INVESTIGATION OF THE MECHANICAL CHARACTERISTICS OF AlSi18Cu3CrMn ALLOY

RAYCHO RAYCHEV¹, DESISLAVA DIMOVA²

Technical University – Sofia, Branch Plovdiv^{1,2}
rpraichev@tu-plovdiv.bg¹, desislava608738@gmail.com²

Abstract: Complex doped hypereutectic aluminum-silicon alloy AlSi18Cu3CrMn was modified with phosphorus at a concentration of 0.04%. The alloy is subjected to heat treatment T6. Cooling medium water with different temperature (20°C and 50°C) was used for the hardening process. Subsequent artificial aging was carried out at different operating parameters. With the help of specialized software the influence of the heat treatment on the behavior of the alloy in complex stress state, as well as on its fatigue limit has been studied. The obtained results are presented in graphical form.

Key words: aluminum-silicon alloy, modification, specialized software, complex stress state, limit of fatigue

1. Въведение

Структурата на надевтектичните алуминий-силициеви сплави е естествен композит, състоящ се от кристали първичен силиций разположени в евтектична матрица. За издребняване на кристалите първичен силиций се провежда модифицираща обработка. Това се прави с цел повишаване на механичните и експлоатационните свойства на сплавите. Фосфорът е модификаторът, който оказва най-благоприятно въздействие върху размерите, формата и разпределението на първичните

силициеви кристали в структурата на надевтектичните силумини. За повишаване на механичните свойства на този вид сплави е необходимо да се модифицират и силициевите кристали в състава на евтектиката [1, 2, 3].

Двуконпонентните алуминий-силициеви сплави не се използват за производство на детайли предназначени за различните клонове на промишлеността. С въвеждането на легиращи елементи в състава на алуминий-силициевите сплави се цели повишаване на механичните им

свойства, както и възможността на сплавите да бъдат подлагани на термична обработка.

2. Използвани материали

Обект на изследване е надевтектичната нестандартна алуминий-силициева сплав AlSi18Cu3CrMn с химичен състав показан в таблица 1. Сплавта е модифицирана с фосфор в концентрация 0,04%.

Таблица 1. Химичен състав на сплав AlSi18Cu3CrMn

Si	Cu	Cr	Mn	Fe	Al
18.5	3.1	0.9	0.71	0.25	rest

Експериментални отливки от изследваната сплав са подложени на термична обработка. За получаване на максимална якост, алуминиевите сплави се подлагат на термична обработка Т6 (закаляване и пълно изкуствено стареене). Време-температурният режим за закаляване е следния: нагряване до температура 510-515°C и задържане при тази температура 6 h и 30 min. Използваната охлаждащата среда за закаляване е вода с температура 20°C и 50°C. Изкуственото стареене е проведено при различни работни параметри:

- 210°C за 16h
- 250°C за 12h
- 330°C за 8h

Експериментално е установена якостта на опън на изследваната сплав AlSi18Cu3CrMn.

От проведените експерименти, при които за закаляване на сплавта е използвана вода с температура 20°C най-висока стойност на якост на опън притежава сплавта подложена на изкуствено стареене при температура 210°C за 16h. При провеждане на изкуствено стареене при по-високи температури якостта на опън на сплавта значително намалява (таблица 2).

Таблица 2. Резултати от механични изпитвания при вода с T°C - 20°C

сплав	T°C вода	Режим на изкуствено стареене	Rm, МПа
AlSi18Cu3CrMn	20°C	210°C за 16h	230
AlSi18Cu3CrMn	20°C	250°C за 12h	142
AlSi18Cu3CrMn	20°C	330°C за 8h	139

При закаляване във вода с температура 50°C якостта на опън на сплавта след изкуствено стареене проведено при различни време-температурни параметри е в диапазона 165МПа-185МПа (таблица 3). При температура на стареене 210°C и задържане при тази температура 16h е регистрирана най-висока стойност на Rm на изследваната сплав. С увеличаване на температурата на изкуствено стареене, якостта на опън на сплавта постепенно намалява, за разлика от сплавта закалена във вода с температура 20°C, при която е установено рязко намаляване на стойностите на Rm.

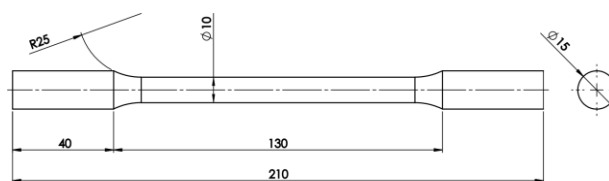
Таблица 3. Резултати от механични изпитвания при вода с T°C - 50°C

сплав	T°C вода	Режим на изкуствено стареене	Rm, МПа
AlSi18Cu3CrMn	50°C	210°C за 16h	185
AlSi18Cu3CrMn	50°C	250°C за 12h	175
AlSi18Cu3CrMn	50°C	330°C за 8h	165

3. Резултати

С помощта на специализирания софтуер ANSYS 19.1 е изследвано влиянието на работните параметри на термичната обработка върху поведението на така модифицираната сплав при сложно напрегнато състояние и е определена нейната границата на умора.

На фиг. 1 е представена схемата и геометричните размери на опитния образец използван за осъществяване на симулациите.



Фиг. 1. Схема на опитния образец.

В таблица 4 са показани резултатите от софтуерната симулация при сложно напрегнато състояние „едновременно опън и огъване“ на изследваната сплав.

Получените резултати показват, че най-високи стойности на деформация и относителното удължение (фон Мизес) са установени при сплавта подложена на изкуствено стареене при 210°C за 16h и използвана охлаждаща среда за закаляване вода

с температура 20°C. При сплавите подложени на изкуствено стареене при по-високи температури стойностите на деформация и удължение са пониски.

Таблица 4. Резултати от симулациите при огъване и опън.

Резултати от симулациите при едновременно огъване и опън за AISi18Cu3CrMn+0,04%P						
Температура на закаляване	Температура на стареене	Осева сила	Огъващ момент	Напрежение (фон Мизес)	Относително удължение (фон Мизес)	Деформация
T, [°C]	T, [°C]	F, [N]	M, [N.m]	σ_{max} , [MPa]	ϵ_{max} , [%]	u, [mm]
20	210	5000	5	118.79	1.8797	3.0316
	250				0.8485	1.3685
	330				0.8365	1.3493
50	210				1.1601	1.8711
	250				1.0702	1.7261
	330				0.1006	1.6237

В таблица 5 и таблица 6 са представени резултатите от комбинираните натоварвания „едновременно огъване и усукване“ и „едновременно опън и усукване“ на изследваната сплав.

Таблица 5. Резултати от симулациите при огъване и усукване.

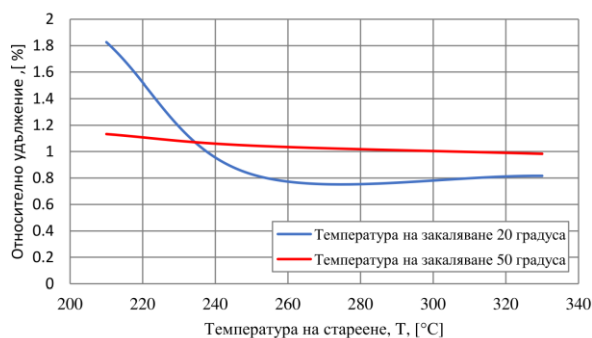
Резултати от симулациите при едновременно огъване и усукване за AISi18Cu3CrMn+0,04%P						
Температура на закаляване	Температура на стареене	Огъващ момент	Усукващ момент	Напрежение (фон Мизес)	Относително удължение (фон Мизес)	Деформация
T, [°C]	T, [°C]	M, [N.m]	T, [N.m]	σ_{max} , [MPa]	ϵ_{max} , [%]	u, [mm]
20	210	8	8	110.09	1.742	2.4534
	250				0.7863	1.1075
	330				0.7752	1.0919
50	210				1.0751	1.5142
	250				0.99182	1.3969
	330				0.93298	1.314

Таблица 6. Резултати от симулациите при опън и усукване.

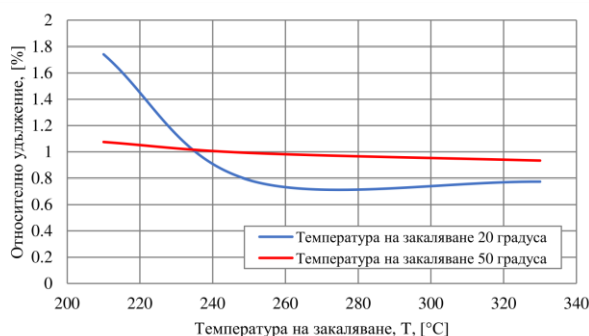
Резултати от симулациите при едновременно усукване и опън за AISi18Cu3CrMn+0,04%P						
Температура на закаляване	Температура на стареене	Осева сила	Усукващ момент	Напрежение (фон Мизес)	Относително удължение (фон Мизес)	Деформация
T, [°C]	T, [°C]	F, [N]	T, [N.m]	σ_{max} , [MPa]	ϵ_{max} , [%]	u, [mm]
20	210	8000	5	116.03	1.8259	2.3261
	250				0.8287	1.0501
	330				0.8171	1.0353
50	210				1.1331	1.4356
	250				1.0453	1.3244
	330				0.9833	1.2458

Получените резултати от софтуерната симулация при сложно напрегнати състояния „огъване-усукване“ и „опън-усукване“ отново показват най-високи стойности на деформация и относително удължение при сплавта закалена в охлаждаща среда вода с температура 20°C и подложена на изкуствено стареене при най-ниската температура (210°C) за най-дълъг период от време (16h).

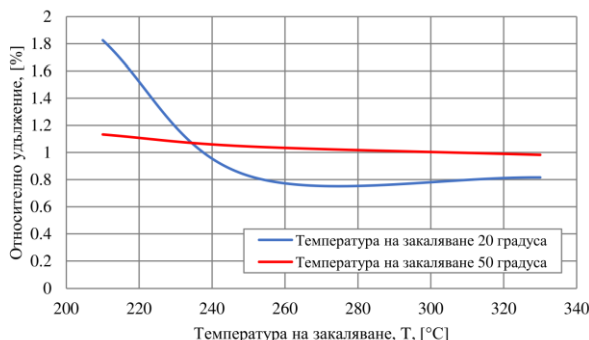
На фиг. 2, фиг. 3 и фиг. 4 в графичен вид са представени зависимостите на относителното удължение във функция от температурата на стареене.



Фиг. 2. Резултати от симулациите при огъване и опън.



Фиг. 3. Резултати от симулациите при огъване и усукване.

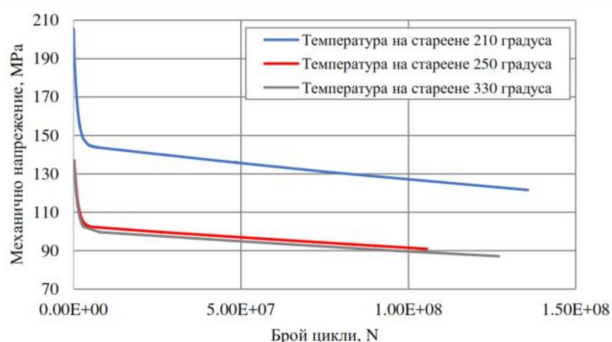


Фиг. 4. Резултати от симулациите при опън и усукване.

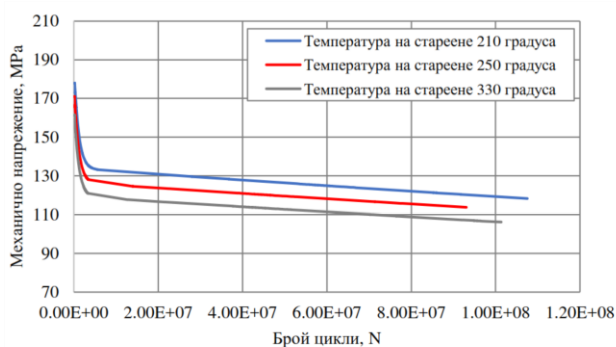
С помощта на допълнителния модул nCode DesignLife към софтуера ANSYS е определена якостта на умора на изследваната сплав, при различните работни параметри на стареене (температура и време) както и от температурата на използваната охлаждащата среда за закаляване.

Ansys nCode DesignLife работи с вградения модул Ansys Mechanical, за да оцени надеждно границата на умора при изследваните детайли, като използва резултатите от анализа на крайните елементи (FEA). По този начин потребителя може да направи бърза оценка за ефектите от въвеждането на различни материали и алтернативни геометрии.

На фиг. 5 и фиг. 6 са представени резултатите от осъществените симулации.



Фиг. 5. Резултати за границата на умора при температура на закаляване 20°C.



Фиг. 6. Резултати за границата на умора при температура на закаляване 50°C.

Сплавта AlSi18Cu3CrMn модифицирана с фосфор в количество 0,04%, закалена във вода с температура 20°C и подложена на последващо дисперсионно твърдеене при температура 210°C за 16h притежава най-висока стойност на якост на опън. Софтуерните изследвания показват, че същият състав притежава най-високи стойности на деформация и относително удължение при сложно напрегнато състояние. При така проведената термична обработка сплавта притежава и най-високи стойности на граница на умора. Получените резултати ни дават основание да предположим, че е получен максимално преситен α -твърд разтвор с използване на охлаждаща среда с по-ниска температура 20°C, а избраната по-ниска температура на изкуствено стареене (210°C) и по-дългият период от време за задържане при нея (16h) създават необходимите условия за отделяне на максимално количество уякчаващи фази от α -твърдият разтвор, които са равномерно разпределени по границата на зърната. Това предполага, че α -фазата в състава на евтектиката на сплавта е достатъчно пластична, което от своя страна допринася за по-високите стойности на изследваните характеристики на сплавта AlSi18Cu3CrMn.

4. Заключение

Експериментално е установено, че изследваната сплав AlSi18Cu3CrMn закалена в охлаждаща среда с по-ниска температура и подложена на последващо изкуствено стареене при по-ниска температура за по-дълъг период от време притежава най-висока стойност на якост на опън.

Софтуерните симулации показват, че същият състав притежава най-високи стойности на деформация и относително удължение при сложно напрегнато състояние, както и най-високи стойности на граница на умора.

Сплавта AlSi18Cu3CrMn закалена във вода с температура 50°C и подложена на последващо дисперсионно твърдеене при температура 210°C за 16h и при 250°C за 12h притежава стойности на Rm отговарящи на предписаните за този вид сплави. С цел повишаване на стойностите на якостните и пластичните свойства на сплавта са предвидени бъдещи изследвания на така закалената сплав с променени параметри (време и температура) на изкуствено стареене.

Предложен е режим на термична обработка, при който нестандартно легираната сплав AlSi18Cu3CrMn притежава такива стойности на якостните и пластичните си свойства, които я правят конкурентна на стандартизираните бутални надевтектични сплави.

Предвидени са бъдещи изследвания на термично обработената сплав AlSi18Cu3CrMn с цел изследване на корозионното и поведение в различни среди, както и поведението и в трибологична двойка.

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 лелярството. София 1987г.
3. Строганов Г.Б., В.А. Ротенберг, Г.Б. Гершман, Сплавы алюминия с кремнием. М., Металлургия, 1977