

# ОПРЕДЕЛЯНЕ ПУКНАТИНОУСТОЙЧИВОСТТА НА АЛУМИНИЙ-СИЛИЦИЕВА СПЛАВ ЧРЕЗ СПЕЦИАЛИЗИРАН СОФТУЕР

РАЙЧО РАЙЧЕВ<sup>1</sup>, ДЕСИСЛАВА ДИМОВА<sup>2</sup>

*Технически Университет София - филиал Пловдив*<sup>1,2</sup>  
[rpraichev@tu-plovdiv.bg](mailto:rpraichev@tu-plovdiv.bg)<sup>1</sup>, [desislava608738@gmail.com](mailto:desislava608738@gmail.com)<sup>2</sup>

**Резюме:** *Надевтектичната алуминий-силициева сплав AlSi18Cu3CrMn е подложена на модифицираща обработка както с фосфор, така и с комбинация от модификатори (P; Ti; B; Be). Сплавта е подложена на термична обработка T6, като за закаляване е използвана охлаждаща среда вода с различна температура. Изкуственото стареене след закаляване е проведено при различни работните параметри. Софтуерно е изследвано влиянието на модифициращата обработка и на проведената термична обработка върху пукнатиноустойчивостта на съставите. Получените резултати са представени в графичен вид.*

**Ключови думи:** *алуминий-силициева сплав, модифициране, термична обработка, софтуер, пукнатиноустойчивост*

## DETERMINATION OF CRACK RESISTANCE OF ALUMINUM-SILICON ALLOY THROUGH SPECIALIZED SOFTWARE

RAYCHO RAYCHEV<sup>1</sup>, DESISLAVA DIMOVA<sup>2</sup>

*Technical University – Sofia, Branch Plovdiv*<sup>1,2</sup>  
[rpraichev@tu-plovdiv.bg](mailto:rpraichev@tu-plovdiv.bg)<sup>1</sup>, [desislava608738@gmail.com](mailto:desislava608738@gmail.com)<sup>2</sup>

**Abstract:** *The hypereutectic aluminum-silicon alloy AlSi18Cu3CrMn has undergone a modifying treatment with both phosphorus and a combination of modifiers (P; Ti; B; Be). The alloy is subjected to heat treatment T6, using a cooling medium of water with different temperatures for hardening. Artificial aging after hardening was carried out at different operating parameters. The influence of the modifying treatment and the performed heat treatment on the crack resistance of the compositions has been studied by software. The obtained results are presented in graphical form.*

**Key words:** *aluminum-silicon alloy, modification, heat treatment, software, crack resistance*

### 1. Въведение

Кристалите първичен силиций в структурата на надевтектичните алуминий-силициеви сплави се модифицират с фосфор, а по-рядко и със сяра при провеждане на металургичната обработка на стопилките. За едновременното издребняване на първичният силиций, на силиция в състава на евтектиката и за създаване на условия за получаване на финодисперсни вторични уякчаващи фази след

термична обработка, се прилага комплексно модифициране на сплавите. Използват се модификатори от първи род, характерни за модифициращата обработка на структурните съставляващи на подевтектични и евтектични алуминий-силициеви сплави [1, 2].

За постигане на равномерно разпределение на отделящите се уякчаващи фази в структурата на силумините легирани с Mg, както и за издребняване на структурните им съставляващи, в състава им се въвеждат Ti и

Ве. Комбинация от тези два химични елемента в много малка концентрация подобряват механичните свойства на сплавите, което най-вероятно се дължи на факта, че тези добавки водят до повишаване концентрацията на вакантите при закаляване, т.е. ускоряват процесите на дифузия на Mg и Si при стареене. Това от своя страна облекчава образуване на зародиши на метастабилната  $\beta'$  фаза [3].

При използване на малки количества метали с високи температури на топене (титан и бор) за модифициране на надвектичните алуминиеви сплави, при взаимодействието им с алуминия се образуват огнеупорни интерметални съединения ( $TiAl_3$ ,  $TiB_2$ ), които се явяват като кристализационни центрове. Това води до издренбяване на зърната на сплавите. Съвместното използване на титан и бор има благоприятен ефект върху структурата на сплавите. Най-често въвеждането на Ti и B в състава на алуминий-силициевите сплави е чрез използване на лигатурата Al-Ti5-B1 [1, 2, 3].

Термичната обработка е технологичен процес осигуряващ необходимият комплекс от физико-механични свойства на детайли произведени от алуминиеви сплави [4, 5].

## 2. Използвани материали

Обект на настоящото изследване е надвектичната нестандартна алуминий-силициева сплав AlSi18Cu3CrMn. Проведени са експерименти, при които сплавта е модифицирана само с фосфор в концентрация 0,04%, както и чрез комплексно модифициране на стопилката с използването на фосфор, титан, бор и берилий (0,04% P; 0,2% Ti; 0,04% B; 0,007%Be).

Използваната термична обработка е T6. Експерименталните отливки са нагрети до температура 510-515°C, задържани са при тази температура 6 h и 30 min и са закалени във вода с температура 20°C и 50°C. Последващото изкуствено стареене на съставите е проведено при: 210°C за 16h; 250°C за 12h и 330°C за 8h.

Проведени са механични изпитвания за определяне якостта на опън на съставите. В таблици 1, 2, 3 и 4 са показани резултатите от проведените изпитвания. Получените резултати са необходими за провеждане на изследвания чрез използване на специализиран софтуер, за определяне влиянието на модификаторите и режимите на термичната обработка върху пукнатиноустойчивостта на сплавите.

**Таблица 1.** Резултати от механични изпитвания при вода с T°C - 20°C

сплав	T°C вода	Режим на изкуствено стареене	Rm, MPa
AlSi18Cu3CrMn + 0,04% P	20°C	210°C за 16h	230
AlSi18Cu3CrMn + 0,04% P	20°C	250°C за 12h	142
AlSi18Cu3CrMn + 0,04% P	20°C	330°C за 8h	139

**Таблица 2.** Резултати от механични изпитвания при вода с T°C - 50°C

сплав	T°C вода	Режим на изкуствено стареене	Rm, MPa
AlSi18Cu3CrMn + 0,04% P	50°C	210°C за 16h	185
AlSi18Cu3CrMn + 0,04% P	50°C	250°C за 12h	175
AlSi18Cu3CrMn + 0,04% P	50°C	330°C за 8h	165

**Таблица 3.** Резултати от механични изпитвания при вода с T°C - 20°C

сплав	T°C вода	Режим на изкуствено стареене	Rm, MPa
AlSi18Cu3CrMn+ 0,04% P; 0,2% Ti; 0,04% B; 0,007%Be	20°C	210°C за 16h	165
AlSi18Cu3CrMn+ 0,04% P; 0,2% Ti; 0,04% B; 0,007%Be	20°C	250°C за 12h	153
AlSi18Cu3CrMn+ 0,04% P; 0,2% Ti; 0,04% B; 0,007%Be	20°C	330°C за 8h	140

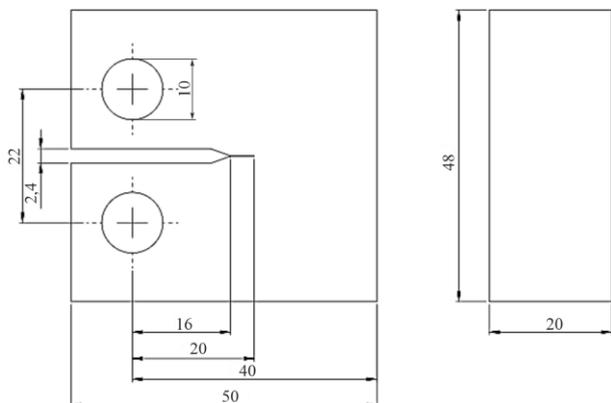
**Таблица 4.** Резултати от механични изпитвания при вода с  $T^{\circ}\text{C} - 50^{\circ}\text{C}$

сплав	$T^{\circ}\text{C}$ вода	Режим на изкуствено стареене	Rm, МПа
AlSi18Cu3CrMn+ 0,04% P; 0,2% Ti; 0,04% V; 0,007% Be	50 $^{\circ}\text{C}$	210 $^{\circ}\text{C}$ за 16h	176
AlSi18Cu3CrMn+ 0,04% P; 0,2% Ti; 0,04% V; 0,007% Be	50 $^{\circ}\text{C}$	250 $^{\circ}\text{C}$ за 12h	151
AlSi18Cu3CrMn+ 0,04% P; 0,2% Ti; 0,04% V; 0,007% Be	50 $^{\circ}\text{C}$	330 $^{\circ}\text{C}$ за 8h	150

### 3. Резултати

Чрез използването на функцията SMART Crack Growth, която е част от специализирания софтуер ANSYS е изследвано влиянието на модифициращата обработка и работните параметри на термичната обработка върху пукнатинуостойчивостта на изследваната сплав.

Обект на изследване е правоъгълен компактен образец, формата и геометричните размери на който са представени на фиг. 1.



**Фиг. 1.** Схематичен вид на правоъгълния компактен образец.

Характерно за SMART Crack Growth е, че чрез нея могат да бъдат определени коефициента на интензивност на напрежението  $K_I$ , уморните цикли на изследваните обекти, както и посоката на развитие на пукнатината.

Функцията е базирана на закона на Парис, който дава връзката между скоростта на развитие на пукнатината при циклично

натоварване и параметрите на механиката на разрушение:

$$\frac{da}{dN} = C\Delta K_I^m ; \quad (1)$$

където:  $\frac{da}{dN}$  е скоростта на нарастване на пукнатината за един цикъл;

$\Delta K_I$  е диапазона на коефициента на интензивност на напрежението (базиран на миминалните и максималните стойности на напреженията);

$C, m$  са коефициенти, които зависят от материала на изследвания обект и се определят експериментално.

Като резултат от провеждането на симулациите могат да бъдат изведени коефициента на пукнатинуостойчивост, функцията на нарастването на пукнатината, както и циклите на натоварване.

За провеждане на симулацията, обекта на изследване е подложен на нецентричен опън, като приложената опънова сила се определя от зависимостта:

$$P_{\max} \geq 0,2(b-l)t(\sigma_{0,2} + \sigma_B) \quad (2)$$

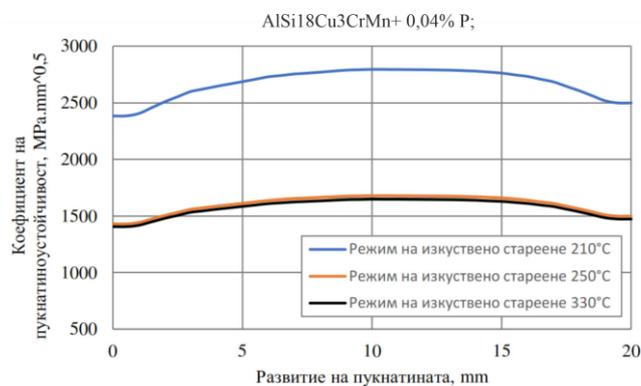
където:

$b, l, t$  са геометрични размери на образца;

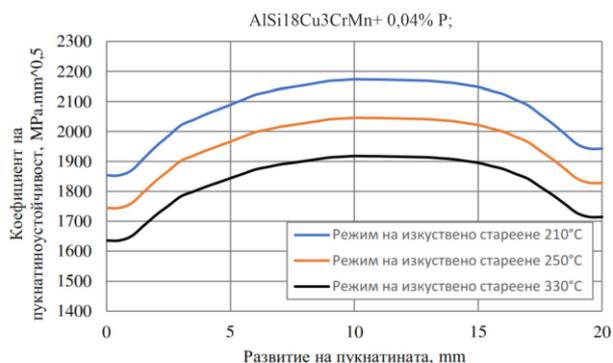
$\sigma_{0,2}$  - условна граница на провлачване;

$\sigma_B$  - якост на опън.

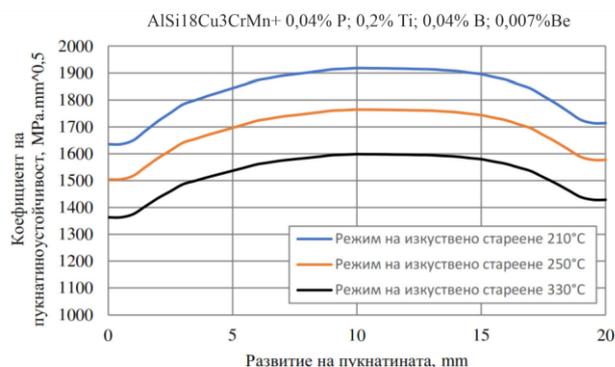
На фиг. 2, фиг. 3, фиг. 4 и фиг. 5 са представени графиките на коефициента на пукнатинуостойчивост във функция от размерите на пукнатината при изследваните сплави.



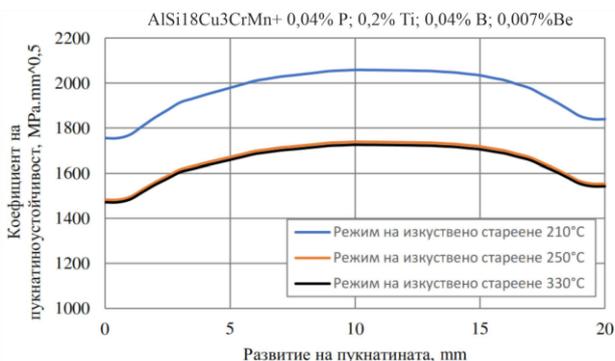
**Фиг. 2.** Зависимост между коефициента  $K_I$  и нарастването на пукнатината при закаляване във вода с температура 20 $^{\circ}\text{C}$ .



**Фиг. 3.** Зависимост между коефициента  $K_I$  и нарастването на пукнатината при закаляване във вода с температура 50°C.



**Фиг. 4.** Зависимост между коефициента  $K_I$  и нарастването на пукнатината при закаляване във вода с температура 20°C.



**Фиг. 5.** Зависимост между коефициента  $K_I$  и нарастването на пукнатината при закаляване във вода с температура 50°C.

Сплавта AISi18Cu3CrMn модифицирана с фосфор в количество 0,04%, закалена във вода с температура 20°C и подложена на последващо изкуствено стареене при температура 210°C за 16h притежава най-висока стойност на коефициента на пукнатиноустойчивост от всички състави. При използване за закаляване на охлаждаща среда с температура 50°C и при

същият време-температурен режим на изкуствено стареене (210°C за 16h) се наблюдава значително понижаване на  $K_I$  на този състав. При закаляване в среда с по-ниска температура и провеждане на дисперсионното твърдеене при избраната по-ниска работна температура (210°C) и по-продължително време за задържане при нея (16h) са създадени условия за отделяне на максимално количество вторични фази от  $\alpha$ -твърдият разтвор, което от своя страна води до повишаване на пластичността на  $\alpha$ -фазата в състава на евтектиката на сплавта. Отделените финно-дисперсни уякчаващи фази и пластичната евтектична матрица на така модифицираната и термично обработена сплав са предпоставка за получаването на максимални стойности на  $R_m$  и  $K_I$  на състава.

При модифициране на алуминий-силициевы сплави с Ti и Be се цели не само модифицирането на структурните съставляващи на сплавите, но и създаване на условия благоприятстващи образуването и отделянето на уякчаващите фази при изкуствено стареене след закаляване [3]. Размерите на кристалите първичен и евтектичен силиций в структурата на комплексно модифицираната сплав са съизмерими със същите на сплавта модифицирана с 0,04%P, но след проведената термична обработка модифицираната с P, Ti, B и Be сплав AISi18Cu3CrMn притежава по-ниски стойности на  $R_m$  и  $K_I$  спрямо модифицираната само с фосфор сплав. Най-вероятно атоми на използваните модификатори (Ti, B и Be) участват в  $\alpha$ -твърдият разтвор, което води до повишаване на неговата якост т.е. понижава се пластичността му. Най-вероятно това е причината за по-ниските стойности на  $R_m$  и  $K_I$  на комплексно модифицираната сплав.

#### 4. Заключение

При проведените софтуерни симулации е установено, че модифицираната с 0,04% P сплав AISi18Cu3CrMn закалена във вода с температура 20°C и подложена на дисперсионно твърдеене при температура 210°C за 16h притежава най-висока стойност на коефициента на пукнатиноустойчивост от всички състави.

За получаване на повишена якост на опън  $R_m$  и по-високи стойности на коефициента на пукнатиноустойчивост  $K_I$  на изследваните сплави, след модифициране и термична обработка е необходимо кристалите първичен силиций да бъдат издребнени, с правилна форма и равномерно разпределени в структурата на сплавта и евтектичната матрица да бъде уякчена до степен, при която тя не губи своята пластичност.

*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. Колачев Б.А., Елагин В.И., Ливанов В.А. „Металловедение и термическая обработка цветных металлов и сплавов” Москва „Металургия”
5. Гогачев И. и колектив “Ръководство за лабораторни упражнения по материалознание и термична обработка на металите”, София „Техника” 1987.