

А. М. ГАЛУШКО, Б. А. КАЛЕДИН,
В. М. КОРОЛЕВ, БГПА

УДК 669.715

ВЛИЯНИЕ ПРОДУВКИ АЛЮМИНИЕВЫХ СПЛАВОВ ГАЗАМИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ И ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ОТЛИВОК

Свойства отливок из алюминиевых сплавов во многом определяются содержанием в них газов и неметаллических включений. Несмотря на возможность реагирования алюминия со многими газами, которые встречаются в условиях плавки и разлива, лишь водород и оксиды металлов находятся в металле в количествах, достаточных для заметного влияния на структуру и свойства алюминия.

Содержание H_2 в расплаве определяется химическим составом, условиями плавки и литья, качеством исходной шихты. По составу сплава можно судить о склонности его к газонасыщению.

Медь и кремний уменьшают растворимость водорода в алюминии, причем медь в большей степени, чем кремний. Легирование Ni (до 1%) повышает, а марганец (до 1,5%) понижает растворимость H_2 .

Железо (до 0,59%) и титан (до 0,9%) увеличивают растворимость H_2 в Al. При более высоком содержании этих элементов растворимость водорода понижается. Хром ведет себя по-разному: при $T = 700$ и 800 °C растворимость H_2 в расплаве до 0,3—1,0% C_T возрастает, а затем снижается. При $T = 900$ и 1000 °C он (до 0,3%) незначительно влияет на растворимость и в интервале 0,3—0,5% резко ее увеличивает.

Наиболее сильно повышают содержание водорода в Al гидрообразующие элементы Ti и Zn. Однако последние элементы, являясь поглотителями водорода, т.е. геттерами, снижают газовыделения при затвердевании отливок. Из неметаллических включений наиболее вредны пленки и макроскопические шлаковые включения, локально распределенные в объеме отливок. В местах нахождения их резко ослабевает сечение стенок отливок, снижаются прочностные и пластические свойства, появляются очаги коррозии и выкрашивания, а также трещины. В силу резкого отличия теплофизических свойств металла и неметаллических включений последние способствуют развитию в отливках усадочной рыхлости и пористости. Обладая высокой твердостью (12—20 ГПа), эти включения значительно затрудняют обработку отливок резанием, увеличивают износ режущего инструмента и ухудшают качество поверхности деталей.

Оксидные пленки снижают жидкотекучесть расплавов и затрудняют заполнение тонких полостей литейных форм.

Следует отметить, что высокодисперсные неметаллические включения повышают вязкость расплавов, уменьшают объем усадочной раковины, способствуют развитию усадочных рыхлот. Они задерживают диффузионное выделение H_2 из расплава и, образуя соединения (комплексы) с водородом, повышают его остаточное содержание в алюминиевых сплавах, усугубляя возникновение газовой пористости и снижая электропроводность. Поэтому их присутствие в алюминиевых расплавах также нежелательно, как и наличие крупных включений.

О степени очистки расплава следует судить не только по снижению содержания неметаллических примесей, но и по повышению плотности, механических и других свойств металла. Поэтому выбор тех или иных методов рафинирования должен определяться химическим составом и физико-химическими свойствами сплава, конструктивными особенностями литых деталей и условиями их работы.

Для рафинирования алюминиевых сплавов наряду с широко применяемым препаратом “Дегазер” и универсальными натрий-фтор-содержащими флюсами можно использовать самые различные газы и газовые смеси. Наиболее распространенными и экологически безопасными являются аргон и азот. Однако вследствие дефицитности первого в условиях литейного производства наиболее применим азот.

При использовании газов для рафинирования алюминиевых расплавов необходимо, во-первых, осушать газ, и, во-вторых, добиваться измельчения газовых пузырей, проходящих через расплав.

Для оптимизации процессов рафинирования алюминиевых сплавов АК7Ч и АК5М4, приготовленных с использованием в шихте 50% стружки, было проведено исследование с помощью методов математического планирования эксперимента. В качестве параметров оптимизации были выбраны характеристики механических и технологических свойств: предел прочности (σ_b), МПа, от-

носительное удлинение (δ), %, твердость (НВ), жидкотекучесть (λ), мм, H_2 ($\text{см}^3/100\text{г}$), количество частиц на 1 мм^2 (N), а в качестве факторов: марка сплава (АК7Ч и АК5М4) и рафинирующий газ (азот, аргон). Был выбран план 2×2 , где 2 — два уровня марки сплава и два уровня газа. Матрица плана 2×2 и результаты опытов приведены в таблице. В каждой строке матрицы проводили три параллельных опыта для определения дисперсии параметра оптимизации и ошибки воспроизводимости. Обработку результатов выполняли по методике [1].

Матрица плана 2×2

N	x_1	x_2	$x_1 x_2$	y_1	y_2	y_3	y_4	y_5	y_6
1	-	-	+	217	3,15	65	235	0,18	28
2	+	-	-	185	1,11	95	220	0,19	29
3	-	+	-	212	3,20	63	245	0,16	26
4	+	+	+	192	1,20	97	225	0,21	27,5
Σ_1	-52	2	12	806	-	-	-	-	-
Σ_2	-4,04	0,14	0,04	-	8,66	-	-	-	-
Σ_3	64	0	4	-	-	320	-	-	-
Σ_4	-35	15	-5	-	-	-	925	-	-
Σ_5	0,06	0	0,04	-	-	-	-	0,74	-
Σ_6	2,5	-3,5	0,5	-	-	-	-	-	110,5

В таблице X_1 и X_2 — кодированные уровни факторов [АК7Ч(-1), АК5М4(+1); азот ($X_2 = -1$) и аргон ($X_2 = +1$)]; Y_1, Y_2, Y_3, Y_4, Y_5 и Y_6 — предел прочности, МПа; S_3 , %; НВ; λ , мм; H_2 , $\text{см}^3/100 \text{ г}$ и N , шт/мм 2 .

Ошибки воспроизводимости соответственно составили: $S_1 = 2$ МПа, $S_2 = 0,087\%$; $S_3 = 0,8$ НВ; $S_4 = 2,31$ мм; $S_5 = 0,007\%$ и $S_6 = 0,28$ шт/мм 2 . Это примерно 1% от среднего значения Y_i .

После обработки результатов эксперимента и проверки значимости коэффициентов уравнений получены адекватные модели типа:

$$Y_1 = 201,5 - 13X_1 + 3X_1X_2, \quad (1)$$

$$Y_2 = 2,165 - 1,01X_1 + 0,035X_2 + 0,01X_1X_2, \quad (2)$$

$$Y_3 = 80 + 16X_1, \quad (3)$$

$$Y_4 = 231,25 - 8,75X_1 + 3,75X_2, \quad (4)$$

$$Y_5 = 0,185 + 0,015X_1 + 0,01X_1X_2, \quad (5)$$

$$Y_6 = 27,625 + 0,625X_1 - 0,875X_2. \quad (6)$$

Анализ уравнений (1) и (3) показывает, что наибольшее влияние на предел прочности и твердость оказывает марка сплава (X_1), влияние вида газа (X_2) для твердости не существенно, а для прочности проявляется лишь во взаимодействии со сплавом (X_1X_2). Для получения максимальной величины предела прочности (Y_1) нужно оба фактора установить на нижних уровнях ($X_1 = -1$ и $X_2 = -1$), т.е. взять сплав АК7Ч и продуть расплав азотом.

Для получения более высокой твердости (Y_3), напротив, лучше использовать сплав АК5М4 ($X_1 = +1$) и продуть расплав любым газом (азотом или аргонном).

Зависимость относительного удлинения ($Y_2 = \delta$) от этих факторов выражается более сложным полиномом (2), из которого видно, что и в этом случае наибольшее влияние на δ оказывает марка сплава (X_1), влияние вида газа (X_2) почти в 25 раз меньше первого фактора.

Для получения максимальной величины $\delta = 3,2\%$ следует использовать сплав АК7Ч ($X_1 = -1$) и продувку аргонном ($X_2 = +1$).

Таким образом, механические свойства (σ_b , δ , НВ) определяются преимущественно маркой сплава (X_1), влияние газа продувки (X_2) в десятки раз меньше, поэтому лучше продувать расплав осушенным азотом ($X_2 = -1$).

Определенный интерес представляет выявление тесноты корреляционной связи между исследуемыми параметрами механических свойств (Y_1, Y_2 и Y_3).

С этой целью по формуле

$$r_{ij} = \frac{\sum \Delta Y_i \Delta Y_j}{\sqrt{\sum \Delta Y_i^2 \sum \Delta Y_j^2}}, \quad (7)$$

где ΔY_i и ΔY_j — разности между текущими и средними значениями i -го и j -го параметрами оптимизации, вычисляли коэффициенты парной корреляции $r_{1,2} = 0,977$, $r_{1,3} = -0,958$ и $r_{2,3} = -0,997$, что больше табличного $r_{кр} = 0,576$ (при $\alpha = 0,05$ и $j = 10$).

Найденные значения коэффициентов парной корреляции позволили установить связь между параметрами в виде корреляционных уравнений:

$$Y_2 = 0,074 - 12,73 Y_1, \quad (8)$$

$$Y_3 = 311,74 - 1,15 Y_1, \quad (9)$$

$$Y_3 = 14,23 - 15,81 Y_2. \quad (10)$$

Эти уравнения позволяют, зная величину одного из параметров, например НВ, рассчитать значения остальных параметров σ_b и δ .

Анализ уравнений (4) и (5) показывает, что на жидкотекучесть (Y_4) и содержание H_2 (Y_5) в сплаве наибольшее влияние также оказывает марка сплава (X_1).

Применение сплава АК7Ч ($X_1 = -1$) и продувка аргонном ($X_2 = +1$) повышают жидкотекучесть (Y_5) и снижают содержание H_2 в сплаве. На количество неметаллических включений в 1 мм^2 (Y_6) большее влияние оказывает продувка газом (X_2), хотя и в этом случае влияние марки сплава (X_1) тоже достаточно велико. Для минимизации этого параметра следует применять сплав АК7Ч ($X_1 = -1$) и продувку аргонном ($X_2 = +1$).

Для технологических параметров также были определены коэффициенты парной корреляции. Они оказались равны: $r_{4,5} = 0,832$, $r_{4,6} = 0,857$ и $r_{5,6} = 0,417$, $r_{кр} = 0,576$.

Следовательно, между жидкотекучестью, содержанием водорода и количеством неметаллических включений также существует тесная корреляционная связь, которая может быть количественно выражена в виде следующих корреляционных уравнений:

$$Y_5 = 0,546 - 0,0016 Y_4, \quad (11)$$

$$Y_6 = 49,97 - 0,097 Y_4. \quad (12)$$

Корреляционное уравнение, устанавливающее связь между содержанием водорода и количеством неметаллических включений, выражается в виде параболы

$$Y_6 = 1169,43 Y_5^2 - 3055,5 Y_5 - 82,89 \quad (13)$$

с точкой перегиба $Y_5 = 0,19$, в которой $Y_6 = 29$ шт/мм 2 .

Выводы

1. Характеристики механических свойств рафинированных сплавов зависят в первую очередь от марки сплава (у АК7Ч предел прочности и относительное удлинение несколько выше, чем у сплава АК5М4). Твердость сплава АК5М4 больше твердости сплава АК7Ч.

2. Для получения более высоких значений предела прочности и твердости у обоих сплавов продувку лучше осуществлять азотом.

3. Между механическими свойствами обоих сплавов существует тесная корреляционная связь, которая может быть выражена в виде корреляционных уравнений, позволяющих по одному из параметров оптимизации рассчитать значения двух других.

Литература

1. Адлер Ю. П., Маркова Е. В., Грановский Ю. В. Планирование эксперимента при поиске оптимальных условий. М.: Наука, 1976.

TRADE CENTER KIELCE
invites to the
6th INTERNATIONAL FAIR FOR FOUNDRY
2000

*The greatest international fair for foundry
in Poland*

At the fair the following products and services
will be presented:

- Machinery and equipment for foundry.
- Advanced sand-mix technologies.
- Castings and casting products.
- Binders, raw and ancillary materials applied in the foundry practice.
- Foundry furnaces.
- Refractories.
- Measuring technology and material evaluation technology.
- Computerisation in foundries.
- Worker's safety equipment.
- Casting and artistic products.
- Heat treatment technology, equipment control, research methods:
 - casting heating and cooling practice,
 - heat treatment practice programming with the use of computer simulation of heat processes and hardness field on casting section,
 - furnaces and equipment for casting heating,
 - computer control of the process,
 - testing and control equipment,
 - research methods of heat treatment processes,
 - monitoring of heat treatment effects.

Year	Number of Exhibitors
1995	~75
1996	~160
1997	~165
1998	~220
1999	~230

INFORMATION
The Fair: Trade Center Kielce
Secretary of the fair
Mr Piotr Pawelec
phone (+4841) 365-12-20

Representative office
in Warsaw,
phone (+4822) 618-38-31
(+4822) 618-99-18