



European Commission

TEMPUS

The influence of iron content on optimum time of quenching and aging of the silumin AK8M3 was investigated.

И. П. ВОЛЧОК, Е. Л. СКУЙБЕДА, Запорожский национальный технический университет

УДК 621.74

ТЕРМИЧЕСКАЯ ОБРАБОТКА ЖЕЛЕЗОСОДЕРЖАЩИХ СИЛУМИНОВ

В настоящее время все более широкое применение в машиностроении находят вторичные алюминевые сплавы, отличительной особенностью которых является повышенное содержание в их составе железа и других примесей, образующих различные интерметаллидные фазы. Известно, что интерметаллиды имеют неблагоприятную форму, играют роль концентраторов напряжений в металле и являются основной причиной более низкого качества вторичных алюминиевых сплавов по сравнению с их первичными аналогами.

Термическая обработка силуминов, как правило, включает в себя закалку и старение, варьирование температуры и времени выдержки которых позволяет изменять фазовый состав, морфологические параметры структуры и соответственно механические и технологические свойства в заданном направлении. Закалка проводится с целью растворения избыточных фаз и получения максимальной пересыщенности твердого раствора. Старение предназначено для последующего выделения компактных интерметаллидов при распаде твердого раствора и упрочнения силуминов по дисперсионному механизму.

Исходя из того, что содержание интерметаллидных фаз во вторичных силуминах значительно выше, чем в первичных, можно предположить, что стандартные режимы термической обработки не являются оптимальными, а их корректировка может служить резервом повышения качества сплавов. ГОСТ 1583-93 предполагает возможность применения широкого ряда видов термической обработки, одинаковых как для первичных, так и вторичных алюминиевых сплавов (режимы Т1–Т8). Характерной чертой ГОСТ 1583-93 являются широкие временные интервалы закалки и старения. При этом сведения, объясняющие существенные разбеги в продолжительности термической обработки,

в стандарте не представлены. Соответственно в контексте использования вторичного сырья возникает задача определения оптимальной длительности термической обработки с учетом содержания в сплаве железа.

В связи с этим изучали влияние содержания железа, времени выдержки при закалке и старении на структуру и свойства сплава АК8МЗ, изготовленного из вторичного сырья. Стандартная термическая обработка по режиму Т6 предполагает закалку с 500 ± 10 °С, выдержку 5–7 ч, охлаждение в воде и старение при 180 ± 10 °С в течение 5–10 ч. Поскольку температуры термической обработки нормами четко регламентированы, при проведении эксперимента они оставались постоянными.

Исследования проводили согласно плану многофакторного эксперимента второго порядка 2^3 (табл. 1).

Таблица 1. Матрица планирования эксперимента второго порядка 2^3

Интервалы варьирования и уровни факторов		Изучаемые факторы		
		X_1 (Fe.%)	X_2 (τ_z , ч)	X_3 ($\tau_{ст}$, ч)
Нулевой уровень: $X_0 = 0$		0,85	6,0	7,0
Интервал варьирования	1,0	0,2	3,0	2,8
	1,682	0,14	2,0	4,2
Нижний уровень: $X = -1,0$		0,65	3,0	2,8
Верхний уровень: $X = +1,0$		1,05	9,0	11,2
Звездные точки	$X = -1,682$	0,51	1,0	0
	$X = +1,682$	1,19	11,0	14,0

В качестве независимых переменных принимали содержание железа в сплаве Fe, время закалки τ_z и время старения $\tau_{ст}$. Функциями отклика являлись предел прочности на растяжение σ_b , относительное удлинение δ и твердость HB, поскольку по этим показателям, согласно ГОСТ 1583-93, должно оцениваться качество отливок. Обработку жидкого металла проводили разработанными нами

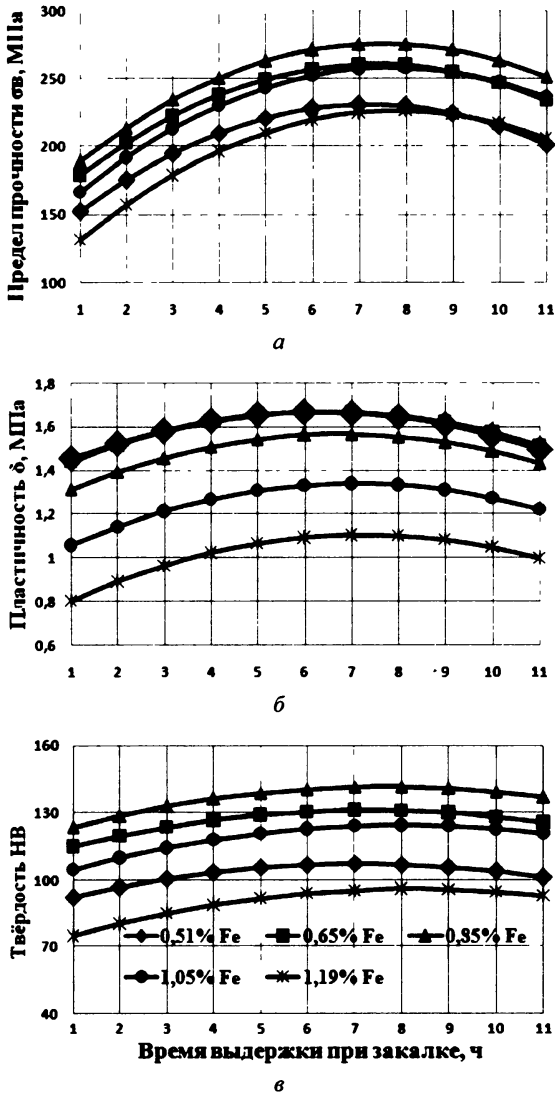


Рис. 1. Зависимость механических свойств силумина АК8МЗ от времени выдержки при закалке ($\tau_{\text{ст}} = 7$ ч)

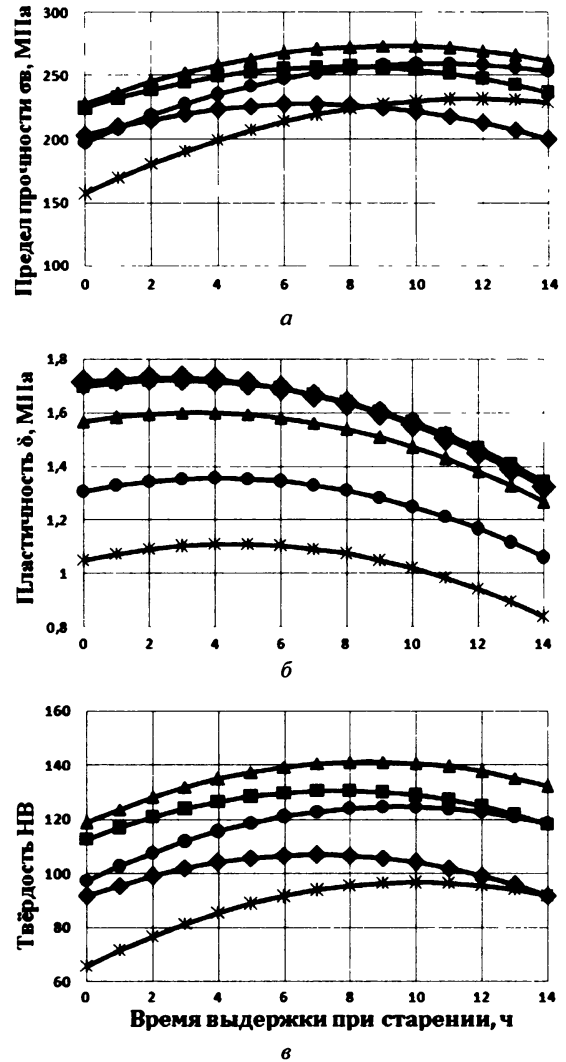


Рис. 2. Зависимость механических свойств силумина АК8МЗ от времени выдержки при старении ($\tau_z = 7$ ч)

флюсом [1] и модификатором [2] в количестве 1 и 0,1% от массы расплава соответственно.

С помощью метода регрессионного анализа получили систему уравнений второго порядка:

$$\sigma_0.2 = 271,154 - 2,427\text{Fe} + 18,652\tau_3 + 10,305\tau_{\text{ст}} + 2,201\text{Fe}\tau_3 + 6,624\text{Fe}\tau_{\text{ст}} + 1,949\tau_3\tau_{\text{ст}} - 16,437\text{Fe}^2 - 18,294\tau_3^2 - 9,559\tau_{\text{ст}}^2, r = 0,96; \quad (1)$$

$$\delta = 1,562 - 0,169\text{Fe} + 0,035\tau_3 - 0,09\tau_{\text{ст}} + 0,014\text{Fe}\tau_3 + 0,016\text{Fe}\tau_{\text{ст}} + 0,004\tau_3\tau_{\text{ст}} - 0,064\text{Fe}^2 - 0,069\tau_3^2 - 0,053\tau_{\text{ст}}^2, r = 0,89; \quad (2)$$

$$\text{НВ} = 140,477 - 3,811\text{Fe} + 3,997\tau_3 + 3,997\tau_{\text{ст}} + 0,813\text{Fe}\tau_3 + 2,313\text{Fe}\tau_{\text{ст}} + 0,188\tau_3\tau_{\text{ст}} - 13,915\text{Fe}^2 - 3,66\tau_3^2 - 5,428\tau_{\text{ст}}^2, r = 0,9. \quad (3)$$

Для облегчения интерпретации аналитических уравнений (1)–(3) были построены зависимости, позволяющие проследить как влияние каждого фактора в отдельности, так и их взаимосвязь (рис. 1, 2).

Зависимости предела прочности от времени выдержки при закалке в виде кривых с максимумами связаны с процессами твердорастворного упрочнения на стадии увеличения прочности и разупрочнения вследствие исчезновения межфазных границ при растворении избыточных фаз на стадии снижения прочности материала. Максимальные значения прочности на растяжение характерны для образцов, содержащих железо на уровне 0,85%. Это связано с протеканием процессов дисперсионного упрочнения железосодержащими интерметаллидами, являющимися препятствиями для движения дислокаций. Дальнейшее увеличение содержания железа в сплаве приводит к увеличению количества железосодержащих фаз, которые некогерентны с матрицей и играют роль концентраторов напряжений при пластической деформации и разрушении.

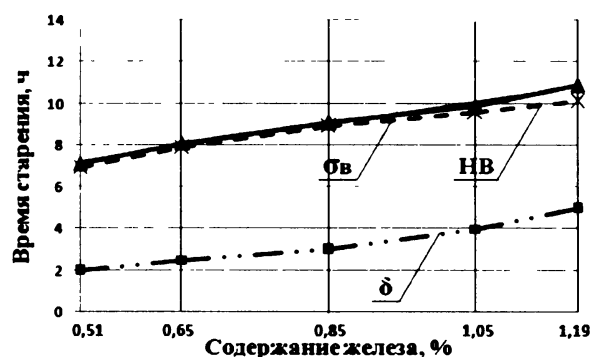
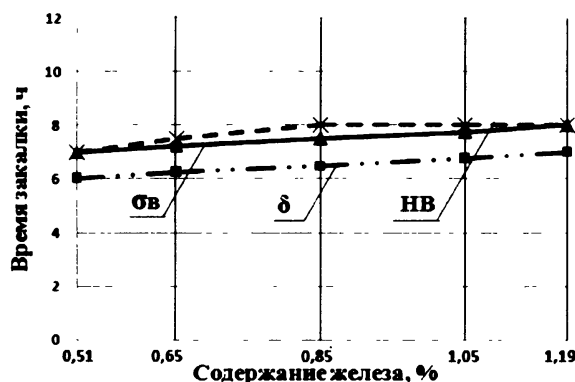


Рис. 3. Зависимость времени закалки и старения, обеспечивающая максимальный уровень механических свойств, от содержания железа в силумине

Общий вид зависимостей пластичности от времени выдержки при закалке связан с измельчением и дифференциацией частиц эвтектического кремния, а также растворением избыточных фаз. Некоторое снижение пластичности при длительных выдержках может быть объяснено коагуляцией и огрублением кремниевой эвтектики, а также значительным упрочнением твердого раствора. Наибольшие значения относительного удлинения соответствуют содержанию в сплаве 0,51–0,65% Fe, наименьшие – 1,19% Fe, что хорошо согласуется с литературными данными о вредном влиянии этого элемента на пластичность силуминов.

Ход кривых зависимости твердости сплава от времени выдержки при закалке определяется тем, что на начальных этапах процесса основной вклад вносит дисперсионное упрочнение частичками избыточных фаз, а на завершающих этапах основная роль отведена твердорастворному упрочнению. Возрастание твердости с увеличением содержания железа связано с наличием в структуре железосодержащих интерметаллидов, твердость которых выше твердости основного металла приблизительно в 7 раз (7500–8500 МН/м² по сравнению с 1100–1200 МН/м² соответственно).

Повышение предела прочности сплава при старении (рис. 2) происходит вследствие выделения из твердого раствора мелкодисперсных, когерентных или полукogerентных к матрице частиц интерметаллидных фаз. Потеря когерентности на границе раздела между матрицей и интерметаллидами, а также значительное ослабление твердорастворного упрочнения вызывают снижение прочности при дальнейшем увеличении времени выдержки при старении. Для сплавов, содержащих 0,51–0,65% Fe, оптимальной при старении является выдержка в течение 7–8 ч, а для сплавов, содержащих 1,05–1,19% Fe, – в течение 11–12 ч.

Снижение пластичности силумина АК8МЗ при старении можно объяснить выделением сначала

когерентных и полукogerентных, затем некогерентных интерметаллидных частиц, являющихся эффективными препятствиями для движения дислокаций в материале. Более высокие значения относительного удлинения свойственны сплавам с низким содержанием железа (Fe = 0,51–0,65%), так как повышение его содержания приводит к затруднению процессов пластической деформации в материале и развитию охрупчивания вследствие существования большого количества концентраторов напряжения в виде железосодержащих интерметаллидов.

Увеличение твердости при протекании процессов старения объясняется явлением дисперсионного упрочнения, а дальнейшее ее снижение – разупрочнением твердого раствора, т. е. на определенных этапах старения один вид упрочнения преобладает над другим, что и определяет общий вид графических зависимостей. Увеличение твердости для образцов, содержащих железо в высоких концентрациях, происходит замедленно.

На кривых зависимостей механических свойств силумина от времени выдержки при закалке и старении наблюдается смещение оптимумов предела прочности, пластичности и твердости при увеличении содержания железа. Представленные на рис. 3 зависимости, которые были построены по данным рис. 1, 2, свидетельствуют о необходимости увеличения времени выдержки при закалке и особенно при старении с ростом содержания железа в сплаве.

Так, применение стандартной выдержки (5–7 ч) при закалке сплавов с 0,51–0,85% Fe позволяет получить достаточно высокий уровень свойств. Для сплавов с высоким содержанием железа требуется увеличить время выдержки до 8 ч, что связано с пониженной скоростью прохождения диффузионных процессов.

Старение происходит при более низких температурах, чем закалка, вследствие чего зависи-

мость времени выдержки при старении от содержания железа в сплаве выражена ярче, так как на процесс оптимизации структуры в этом случае требуется больше времени. Общеизвестно, что пластичность при старении сплавов имеет тенденцию к снижению, поэтому представляет интерес лишь общий вид кривой зависимости относительного удлинения от времени старения и содержания железа, а не конкретные числовые значения. Исходя из рис. 3, на каждые 0,1% Fe при его содержании в сплаве свыше 0,51% необходимо

предусматривать дополнительно 0,5 ч выдержки при старении.

Таким образом, возникает необходимость в корректировке режимов термической обработки вторичных силуминов исходя из содержания наиболее вредной примеси – железа. Это связано со значительным количеством железосодержащих интерметаллидов, их неблагоприятной формой и большими размерами, а соответственно и более длительным временем, необходимым для протекания диффузионных процессов.

Литература

1. Пат 44463 Україна; МПК (2009) C22B 1/00 C22B 9/00. Флюс для оброблення алюмінієвих сплавів / Волчок І. П., Мітяєв О. А., Островська А. Є., Скуйбіда О. Л.; власник Запорізьк. нац. техн. ун-т. № u200902450; заявл. 19. 03. 2009; опубл. 12. 10. 2009, Бюл. № 19.
2. Пат 42653 Україна; МПК (2009) C22C 1/00. Модифікатор алюмінієвих сплавів / Волчок І. П., Мітяєв О. А., Островська А. Є., Скуйбіда О. Л.; власник Запорізьк. нац. техн. ун-т. № u200902454; заявл. 19. 03. 2009; опубл. 10. 07. 2009, Бюл. № 13.