

ОПТИМИЗАЦИЯ ТЕРМООБРАБОТКИ ОТЛИВОК ИЗ СПЛАВА А356.0Абалымов В.Р.^{1,2}, Клейменов Ю.А.¹, Дроздова Т.Н.², Серебрякова Л.И.²*ООО «ЛМЗ «СКАД», г. Дивногорск, Россия¹**ФГАОУ ВПО СФУ ИЦМиМ, г. Красноярск, Россия²*

Сплав А356.0 наиболее типичный силумин он относится к конструкционным сплавам системы Al-Si-Mg нашедшим широкое применение. В основном сплав предназначен для литья тонкостенных и сложных по конфигурации деталей, несущих средние по величине нагрузки. К преимуществам данного сплава можно отнести хорошие литейные свойства: высокая жидкотекучесть, минимальная линейная усадка, что позволяет получать тонкостенные отливки сложной конфигурации, малая склонность к образованию горячих трещин и высокая герметичность. Отливки из сплава имеют сравнительно высокую прочность, удовлетворительную пластичность и наибольшую стойкость в группе силуминов к общей коррозии.

Для повышения механических свойств отливок используют термообработку. Сокращение издержек на термообработку автомобильных дисков колес посредством повышения качества готовой продукции и коэффициента загрузки оборудования является одной из приоритетных задач современного предприятия.

Целью исследования являлось определение оптимального режима термообработки отливок из сплава А356.0, обеспечивающего требуемый уровень механических свойств и сокращение издержек на данном этапе производства.

В условиях ООО «ЛМЗ «СКАД» была отлита опытная партия колес из сплава А356.0. Для оптимизации режимов закалки и старения с целью получения максимальных значений прочности и пластичности образцов из сплава А356.0 построена матрица планирования полного факторного эксперимента (ПФЭ) 2³. В ходе эксперимента стояла задача, выбора основных факторов влияющих на временное сопротивление разрыву, предел текучести, относительное удлинение и твердость. Были выбраны следующие контролируемые и управляемые факторы, которые задавали при моделировании термической обработки. Контролируемые факторы варьировали на верхнем и нижнем пределе время закалки ($\tau_{\text{зак}}$) от 240 до 300 минут, температуру старения ($t_{\text{стар}}$) от 150 до 190 °С и время старения ($\tau_{\text{стар}}$) от 210 до 270 минут. Температуру закалки ($t_{\text{зак}}$) решено оставить постоянной, на уровне (538±3) °С.

Для планирования эксперимента по оптимизации режимов термической обработки использовали образцы, отобранные из двух зон, значительно отличающихся микроструктурой и свойствами: спица и внешняя бортовая закраина. Выбор именно этих зон колеса был обусловлен тем, что в соответствии со стандартом ESA-M2A123-A требования по механическим свойствам предъявляются к внешней бортовой закраине колеса, а спица является наиболее конструктивно важной зоной колеса.

Результаты показали, что после термической обработки по различным режимам практически все образцы удовлетворяют требованиям, предъявляемым к механическим свойствам. Далее было принято решение о том, что для поиска параметров оптимизации необходимо использовать обобщенный параметр оптимизации, так как показатели значений механических свойств взаимосвязаны. Один из наиболее удобных способов построения обобщенного отклика является общая функция желательности Харрингтона.

Для уравнения регрессии спицы (1) и внешней бортовой закраины (2) были рассчитаны коэффициенты регрессии b :

$$y=0,43-0,01\tau_{\text{зак}}+0,01 t_{\text{стар}}-0,04 \tau_{\text{стар}} \quad (1)$$

$$y=0,94-0,006 \tau_{\text{зак}}+0,03 t_{\text{стар}}+0,001 \tau_{\text{стар}} \quad (2)$$

По значениям коэффициентов регрессии можно сделать вывод о том, что наиболее сильное влияние оказывают факторы – время и температура старения, так как они имеют самые большие абсолютные значения коэффициентов. Менее значимым фактором является

время закалки, так как имеет меньшее абсолютное значение коэффициента. Необходимо стремиться к уменьшению продолжительности старения (1) и увеличению температуры старения (2).

Была проведена проверка однородности дисперсий и адекватности полученных моделей, результаты оказались положительными. Проверка значимости коэффициентов регрессии проводилась двумя способами – по доверительному интервалу и по критерию Стьюдента. Проверка показала, что в спице значимый коэффициент $t_{стар}$. Во внешней закраине значимым коэффициентом является только $t_{стар}$. Следовательно, только эти факторы оказывают влияние на оптимизируемые параметры.

В результате проверки значимости коэффициентов получены уточненные уравнения регрессии:

- для зоны спицы $y=0,43-0,04 t_{стар}$
- для зоны внешней закраины $y=0,94+0,03 t_{стар}$.

Такая разница между влияющими факторами объясняется тем, что в анализируемых зонах формируется разная микроструктура еще в процессе литья. При термообработке наследуется разница в микроструктуре, а процессы, протекающие при закалке и старении, более существенно влияют на различие механических свойств по сечению колеса.

Статистический анализ результатов эксперимента показал следующее: полученная модель адекватна; часть коэффициентов регрессии значима, часть незначима. С учетом результатов статистического анализа, было принято решение – движение по градиенту и продолжение исследований. Движение по градиенту было осуществлено методом крутого восхождения. Крутое восхождение должно позволить рассчитать условия дополнительных опытов, реализация которых на практике поможет достичь оптимальных условий процесса, добиться улучшения параметров оптимизации. Для оценки эффективности крутого восхождения необходимо сравнить значения полученных откликов в основной матрице и в матрице с «мысленными опытами». Если хотя бы одно значение мысленного отклика больше самого большого значения отклика исходной матрицы, то крутое восхождение считается эффективным.

В данном случае, крутое восхождение оказалось эффективным в зоне спицы. Это обосновывается тем, что полученные уравнения регрессии, являются симметричными. Поэтому, было принято решение реализовать данные «мысленные» опыты.

Также решено реализовать условия экспериментов с самыми большими показателями мысленных откликов для зоны внешняя закраина. При реализации дополнительных экспериментов, рассчитанных при крутом восхождении, образцы так же подвергались механическим испытаниям, в результате которых были установлены значения параметров оптимизации. Были установлены значения частных желательностей и рассчитан обобщенный отклик с применением шкалы желательности, табл. 1.

Таблица 1. Результаты дополнительных экспериментов опыта № 10

Зона	σ_b , МПа	$\sigma_{0,2}$, МПа	δ , %	Ψ , %	Твердость, НВ	d_1	d_2	d_3	$d_1 \cdot d_2 \cdot d_3$	D
Спица	245	196	4,3	5,9	78	0,82	1	0,25	0,205	0,59
Внеш. закр.	281	209	7,3	8,2	78	1	1	0,86	0,86	0,95

Из результатов проведенных дополнительных экспериментов был сделан вывод, что оптимальным режимом термообработки является режим, реализуемый в опыте №10, он позволил достичь высоких значений всех трех оптимизируемых параметров. Обобщенный параметр оптимизации в спице находится в интервале «удовлетворительно», а во внешней закраине – «очень хорошо».