

**ОПТИМИЗАЦИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК КОЛЕСНЫХ ДИСКОВ
В ООО «КиК»
Игнатова Д.С.**

**научный руководитель канд. хим. наук Серебрякова Л.И.
Сибирский федеральный университет**

ООО «КиК» – один из крупнейших производителей колесных дисков из алюминиевых сплавов по технологии литья под низким давлением. Предприятие занимает лидерские позиции в отрасли уже более 20 лет и сотрудничает со многими автозаводами, в том числе с зарубежными.

На предприятии разработана система менеджмента качества в соответствии с международным стандартом ISO/TS 16949:2009 (система менеджмента качества в автомобилестроении), что подтверждается наличием сертификата BUREAU VERITAS Certification.

Деятельность предприятия направлена на постоянные улучшения, предупреждение дефектов и снижение отклонений.

Каждый из автозаводов, сотрудничающих с ООО «КиК», устанавливает свои требования к качеству готовой продукции. Для удовлетворения требований всех потребителей необходимо сделать их более однозначными, приемлемыми для всех и воспроизводимыми. Поэтому одним из направлений совершенствования было выбрано улучшение прочностных характеристик колес, таких как предел прочности, предел текучести и относительное удлинение. В соответствии с этим было принято решение об оптимизации процесса термообработки колес с целью унификации получаемых характеристик с помощью классического варианта планирования эксперимента. В качестве параметра оптимизации были приняты прочностные характеристики колес.

Таким образом, целью данной работы стало определение наилучших условий процесса термообработки колес из сплава АК7.

Термообработка колесных дисков на ООО «КиК» осуществляется в печи конвейерного типа. После печи диски охлаждают водой, температура которой поддерживается на уровне $(80 \pm 10)^\circ\text{C}$, затем диски попадают в печь старения.

В процессе исследований термообработка проводилась в лабораторных печах. Объектами исследований стали образцы-свидетели в форме стандартных для механических испытаний гантелек, которые вырезались из разных зон (обода, ступицы и спицы) одного и того же колесного диска. Такой выбор был обусловлен тем, что после отливки эти зоны имели разную кристаллическую структуру.

В ходе предварительного изучения технологического процесса были выявлены следующие факторы, влияющие на прочностные характеристики колес:

- температура старения 1-ой ступени, $^\circ\text{C}$ (присвоено обозначение X_1);
- время старения 1-ой ступени, час (присвоено обозначение X_2);
- температура старения 2-ой ступени, $^\circ\text{C}$ (присвоено обозначение X_3);
- время закалки, час (присвоено обозначение X_4).

Поскольку априорной информации о взаимодействии факторов не было, было принято решение проводить полный факторный эксперимент с изменением каждого фактора на двух уровнях - ПФЭ 2^4 . Интервалы варьирования факторов были установлены, исходя из нормативной документации и требований потребителей.

В ходе проведения данной работы значения факторов поочередно изменялись в установленных интервалах, и подготовленные образцы партиями подвергались термообработке в различающихся условиях.

После термообработки образцы подвергались испытаниям на разрыв для определения значений прочностных характеристик.

По результатам экспериментов был рассчитан обобщенный параметр оптимизации. Его расчет производился с помощью стандарта PEUGEOT-CITROEN B 54 2110 Алюминиевые сплавы. Далее проводилась статистическая обработка результатов, состоящая из 4 частей.

1 Расчет коэффициентов регрессии и запись уравнения регрессии.

Данные расчеты для матриц по каждой зоне колеса были проведены для определения силы влияния факторов.

В результате расчетов получены следующие уравнения регрессии:

- для зоны спицы

$$y = 0,69 + 0,020x_1 + 0,0025x_2 - 0,0063x_3 + 0,010x_4$$

- для зоны обода

$$y = 0,90 + 0,020x_1 - 0,030x_2 - 0,013x_3 - 0,031x_4$$

- для зоны ступицы

$$y = 0,54 + 0,036x_1 - 0,080x_2 - 0,073x_3 - 0,106x_4$$

Проверка значимости коэффициентов показала, что коэффициенты регрессии в зоне спицы являются незначимыми. Это говорит о том, что при данных интервалах варьирования и ошибке воспроизводимости только температура старения первой ступени влияет на параметры оптимизации в зоне спицы. Остальные факторы влияют несущественно.

Для прочностных свойств в зонах обода и ступицы все коэффициенты регрессии оказались значимы. Следовательно, все анализируемые факторы влияют на оптимизируемые параметры.

Получается, что процесс термообработки оказывает разное влияние на свойства и структуру образцов каждой из зон.

2 Расчет дисперсии воспроизводимости и проверка однородности дисперсий.

Для уверенности в достоверности и воспроизводимости результатов опытов были осуществлены расчет дисперсии воспроизводимости по параллельным опытам и проверка однородности дисперсий с использованием критерия Кочрена. Результаты показали, что дисперсии однородны. Это означает, что можно усреднять дисперсии и рассчитывать обобщенную дисперсию воспроизводимости.

3 Расчет дисперсии адекватности и проверка гипотезы об адекватности модели.

Для проведения дальнейших расчетов было необходимо убедиться в адекватности модели. Для этого проводилась проверка гипотезы об адекватности с использованием F-критерия (критерия Фишера), которая показала, что расчетное значение F по каждой зоне меньше критического табличного. Следовательно, каждая из моделей является адекватной и можно рассчитывать крутое восхождение.

4 Расчет дисперсии коэффициента регрессии и проверка значимости коэффициентов.

Расчет дисперсии коэффициента регрессии и проверка значимости этих коэффициентов проводилась двумя способами: по доверительному интервалу и критерию Стьюдента. Расчеты показали, что в зоне спицы все коэффициенты незначимы, так как ни один коэффициент по своему модулю не превысил значения доверительного интервала, а расчетные значения критериев Стьюдента по каждому коэффициенту меньше табличных. В остальных зонах все коэффициенты регрессии являются значимыми.

По результатам статистической обработки было принято решение – движение по градиенту методом крутого восхождения. Крутое восхождение - это движение в направлении градиента функции параметра оптимизации. Градиент задается частными

производными, а частные производные функции оптимизируемого параметра оцениваются коэффициентами регрессии.

На основании расчета крутого восхождения был сделан вывод, что одновременно улучшить значения предела прочности, предела текучести и относительного удлинения нет возможности. Но достичь оптимального сочетания этих характеристик все же удалось. Был найден режим термообработки, который позволил это сделать.

Именно этот режим был использован для проведения эксперимента в масштабах производства. Промышленный эксперимент был поставлен на таких же образцах в цеховой печи термообработки.

Промышленный эксперимент подтвердил результаты лабораторных исследований. Эксперимент в масштабах производства позволил получить наилучшее сочетание прочностных характеристик по сравнению со значениями в исходной матрице. Результатом работы стал установленный режим, позволяющий достичь оптимальных значений прочностных характеристик. Данный режим был рекомендован к применению на предприятии при серийном производстве колесных дисков из сплава АК7.