

УДК 669.22

**ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДА МАТЕМАТИЧЕСКОГО ПЛАНИРОВАНИЯ ДЛЯ  
ПРОВЕДЕНИЯ ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ СТАЛИ В СТРУЖ-  
КАХ АЛЮМИНИЯ И СИЛУМИНА**

**Ковалева А.А., Аникина В.И., Лопатина Е.С.  
Научный руководитель – доцент Ковалева А.А.  
Сибирский федеральный университет**

Методы химико-термической обработки используют для повышения твердости, прочности износостойкости металлических изделий. Этот вид упрочнения материала является диффузионным процессом, который происходит при высоких температурах и в течение длительного времени, измеряемого часами или десятком часов

Обработка возможна в различных средах: твердых, жидких, газообразных, и т. д. Один из видов ХТО – алитирование происходит в 2 стадии – вначале образуется физический контакт, то есть соединение металлов путем межатомного взаимодействия за счет электростатического взаимодействия атомов на поверхности металла. Вторая стадия – это химическая реакция, в результате которой образуется прочное соединение. Процессы идут под действием тепловой энергии.

Алюминий и сталь различаются по своим физико-химическим свойствам: температуре плавления, коэффициентам линейного расширения, что способствует появлению значительных термических напряжений при переходе алюминий – сталь. К этому же приводит и различие теплоемкости и теплопроводности.

Нанесение алюминия на поверхность стальных изделий позволяет также повысить окалиностойкость, сопротивление атмосферной коррозии, жаростойкость. Диффузионное алитирование позволяет создать биметаллический слой состоящий из стали и алюминия. В зоне перехода алюминий- сталь повышается прочность и сохраняется высокая теплопроводность.

Использование в качестве состава для алитирования отходов производства в виде стружки позволит и упрочнять сталь, и избавляться от отходов при изготовлении деталей резкой.

В данной работе проведено алитирование и алюмосилицирование стали 45, с использованием в качестве насыщающей среды вторичного сырья в виде алюминиевой и силуминовой стружки.

Перед проведением эксперимента было проведено математическое планирование, которое позволило существенно сократить количество опытов (со 120 до 24) и с помощью регрессионного анализа данных рассчитать микротвердость сердцевины, переходной зоны и слоя, а также глубину переходной зоны и слоя при режимах, которые экспериментально не проводились.

Для оптимизации эксперимента была построена матрица, с помощью которой определяли количество опытов и их режимы. Температурные режимы выбирали по минимальной и максимальной величине, взятой из литературных источников и предварительной работы по алитированию.

Исходя из полученных в результате анализа данных, экспериментально было проведено по восемь опытов для алитирования и алюмосилицирования и, дополнительно, по четыре опыта для каждого из видов обработки на основном уровне, за который были выбраны режимы:  $T=850^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau=7\text{ ч}$  и состав смеси 30% Al с 70% (Al+Si).

Для определения оптимального режима алитирования и алюмосилицирования были проведены качественный и количественный металлографические анализы. Микроструктурный анализ проводили на оптико-компьютерной установке НЕОРНОТ, по-

звояющей изучать микроструктуру и снимать ее камерой, переводя на экран монитора.

В ходе металлографического анализа обнаружили изменение структуры стали на образцах, прошедших химико-термическую обработку при температуре  $950^{\circ}\text{C}$  по явление игольчатого строения сердцевины и переходного слоя (рис. 1). При 10 часовой выдержке для составов смеси 40 % Al игольчатая структура наблюдается по всему сечению образца, причем от края, вглубь образца размер игл увеличивается (рис.1).

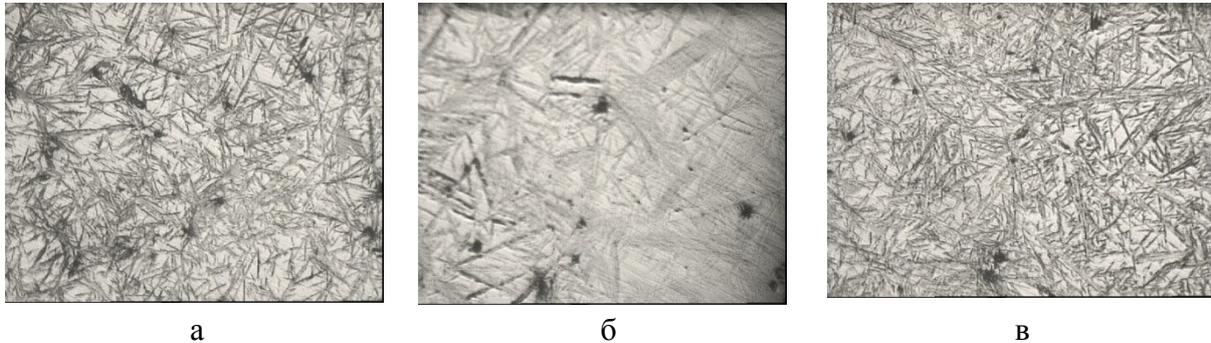


Рис. 1. Микроструктура различных зон при алитировании  $T=950^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau=10\text{ч}$ , в составе смеси, состоящей из 40% Al:  
а, б – переходные зоны, в - сердцевина

Образцы, подверженные при тех же условиях алюмосилицированию, имеют в своей структуре слой белого цвета с четкой полосой по всему сечению, отделяющей этот слой от переходной зоны (рис. 2).

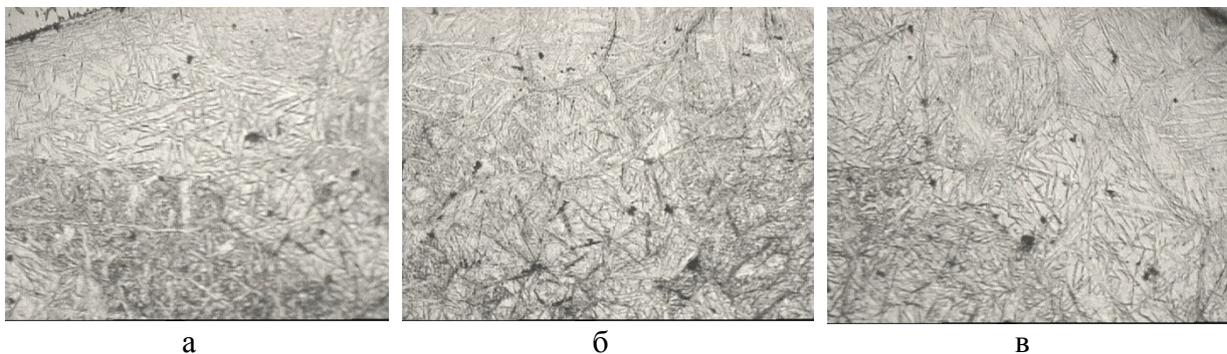


Рис. 2. Микроструктура различных зон при алюмосилицировании  $T=950^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau=10\text{ч}$ , 40 % (Al+Si):  
а - слой + переходная зона, б - сердцевина + переходная зона,  
в - сердцевина + переходная зона +слой

Для образцов прошедших термообработку при  $950^{\circ}\text{C}$  с выдержкой 4 часа структура идентична при всех исследуемых составах смесей.

Для образцов прошедших обработку при  $750^{\circ}\text{C}$  характерна зернистая структура сердцевины. Переходная зона представляет собой твердый раствор алюминия в железе. Слой – узкая полоса пористого светлого твердого раствора, равномерно распределенного по всему сечению. При 10 часовой выдержке слой имеет четкую границу с переходной зоной (рис. 3, а, б), при 4 часовой выдержке слой плавно переходит в переходную зону (рис. 3, в).

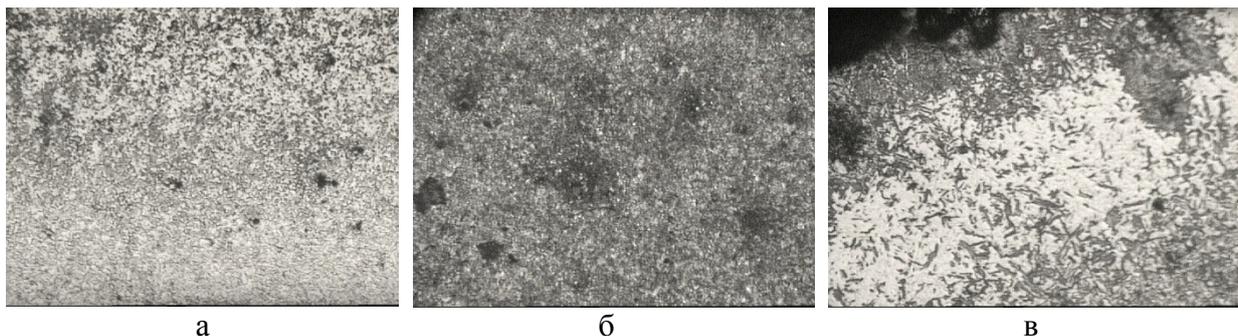


Рис. 3. Микроструктура различных зон при алитировании:  $T=750^{\circ}\text{C}$ , в составе смеси, состоящей из 40% Al: а, б  $\tau=10\text{ч}$ , в  $\tau=4\text{ч}$ , а - слой+переходная зона, б – сердцевина, в - слой + переходная зона + сердцевина

При температуре обработки  $850^{\circ}\text{C}$  и времени выдержки 7 часов структура характерна зернистым строением сердцевины. Переходная зона – твердый раствор алюминия в железе. Образцы, подверженные алитированию в смеси с 30 % Al, имеют по краю белый слой твердого раствора. Этот слой достаточно широкий, но прерывистый и отличается от других слоев наличием четкой волнообразной границы. Для образцов, прошедших обработку при данном режиме в смеси с 30% (Al+Si), слой представляет собой узкую зону растущих белых зерен твердого раствора силумина в железе (рис.4).



Рис. 4. Микроструктура различных зон при алитировании:  $T=850^{\circ}\text{C}$ ,  $\tau=7\text{ч}$ , в составе смеси, состоящей из 30% Al: а - слой, б – слой+переходная зона,

Для того чтобы определить, какой из режимов алитирования наиболее приемлем, было проведено исследование изменения микротвердости.

На каждом образце были замерены значения микротвердости в 10-15 точках в сердцевине образца, в слое (после алитирования и алюмосилицирования), и переходной зоне, а также определена ширина слоя и переходной зоны.

Проведенные исследования показали, что при использовании вторичного сырья (алюминиевой и силуминовой стружки) можно получить равномерное покрытие с достаточно высокой твердостью ( $HV \sim 3700\text{ кгс/мм}^2$ ) и прочностью на значительную глубину ( $\sim 60\text{ мкм}$ ). Определен оптимальный режим алитирования и алюмосилицирования:  $750^{\circ}\text{C}$  с 10 часовой выдержкой. Наилучший состав смеси: для алитирования- 40 % (20 %) алюминиевой стружки и 40 % (Al+Si).