

УДК 621.785:539.43

В. Ф. ГАХРАМАНОВ<sup>1</sup>, Э. А. АСЛАНОВ<sup>2</sup><sup>1</sup>Бакинский инженерный университет, Хырдалан, Азербайджан<sup>2</sup>Азербайджанский технический университет, Баку, Азербайджан**АНАЛИЗ ХАРАКТЕРИСТИК ЛЕГИРОВАННЫХ СТАЛЕЙ ПОСЛЕ ХРОМОАЛИТИРОВАНИЯ**

Выполнен экспериментальный анализ характеристик сталей 3Х2В8Ф и 4Х5В2ФС, поверхностный слой которых насыщался хромом и алюминием газовым методом в порошках. Приведено сравнение размеров аустенитного зерна, полученного при разной длительности термообработки, и жаростойкости при температурах от 800 до 1000 °С. Показано, что хромоалитирование позволяет значительно улучшить характеристики поверхностного слоя обрабатываемого изделия.

**Ключевые слова:** легированная сталь, хромоалитирование, размер зерна, жаростойкость.

Штампы, используемые для горячего деформирования, работают в условиях переменного многократного нагрева и охлаждения рабочего слоя. Повышенные температуры и динамические нагрузки становятся причиной образования и развития термических трещин. Для обеспечения высокой долговечности инструмента, стали, из которых он изготавливается, должны обладать высокой теплостойкостью, твёрдостью, достаточной устойчивостью против разгара [1]. В числе материалов, которые наиболее часто применяются для штампов горячего деформирования, легированные стали типа 3Х2В8Ф, 4Х5В2ФС [2, 3].

Сталь 3Х2В8Ф применяется при обработке легированных конструкционных сталей и жаропрочных сплавов, в пресс-формах литья под давлением медных сплавов. Ее западноевропейские аналоги – Х30WCrV9-3, ВН21, Z30WCV9 и др. [4–6]. Сталь 4Х5В2ФС, зарубежным аналогом которой является сталь Х40CrMoV5-1 [7], используется в пресс-формах литья под давлением цинковых, алюминиевых и магниевых сплавов, для горячего деформирования конструкционных сталей и жаропрочных материалов.

В таблице 1 представлен химический состав данных сталей (содержание серы, фосфора и меди не превышает 0,3 %). В таблице 2 приведены их механические характеристики.

Таблица 1 – Химический состав рассматриваемых сталей

В процентах

Сталь	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	V
3Х2В8Ф	0,3–0,4	0,15–0,4	0,15–0,4	< 0,35	2,2–2,7	7,5–8,5	0,2–0,5
4Х5В2ФС	0,35–0,45	0,8–1,2	0,15–0,45	< 0,4	4,5–5,5	1,6–2,2	0,6–0,9

Таблица 2 – Механические характеристики сталей при температуре 20 °С

Сталь	Предел текучести $\sigma_t$ , МПа	Предел прочности $\sigma_b$ , МПа	Относительное удлинение при разрыве, %	Относительное сужение, %	Ударная вязкость КСУ, кДж/м <sup>2</sup>
3Х2В8Ф	1530	1390	12	36	200
4Х5В2ФС	1690	1760	–	–	300

Одним из способов, позволяющих повысить долговечность изделий из рассматриваемых сталей, является хромоалитирование [8, 9]. Оно представляет собой процесс химико-термической обработки металлов, при котором осуществляется одновременное насыщение их поверхностного слоя хромом и алюминием и проводится с целью придания обработанному изделию повышенной, по сравнению с хромированными деталями, эрозийной стойкости, окислительной стойкости и жаростойкости. Чтобы удовлетворить требования, предъявляемые к обрабатываемому изделию, изменяют состав насыщающей среды. При этом удается получить поверхностные слои с различными соотношениями концентраций диффундирующих элементов.

Представленная работа продолжает ранее выполненные исследования, связанные с анализом характеристик сталей, поверхность которых подвергается химико-термической обработке [10, 11]. Ее цель состоит в определении влияния хромоалитирования на физические характеристики изделий из рассматриваемых сталей.

Исследование проводилось на цилиндрических образцах сталей 3Х2В8Ф и 4Х5В2ФС. Образцы цилиндрические высотой 10 мм и диаметром 9 мм. Хромоалитирование осуществлялось газовым методом в порошках, составы которых аналогичны приведенным в работе [10]: 1) 65 % Cr, 34 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 1 % NH<sub>4</sub>J; 2) 50 % Cr, 43 % Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, 7 % NH<sub>4</sub>Cl. После нагревания и выдержки при высокой температуре образцы закаливали, после чего осуществляли отпуск.

В ходе испытаний установлено (рисунок 1), что у менее легированной стали 4Х5В2ФС выдержка в течение 4 ч в случае нагрева до 1035 °С привела к росту зерна до 9-го балла, при нагреве до 1090 °С – до 8-го балла. Дальнейшее увеличение выдержки не приводило к изменению размера зерна. При температуре 1120 °С замедление роста размера зерна наблюдалось только после 8 ч нагрева, а балл зерна оказался близким к 4.

При термообработке более легированной стали 3Х2В8Ф, которая содержит 8 % W, размер зерна не увеличился выше балла 9 даже в случае выдержки 10 ч и нагреве до 1120 °С (рисунок 1).

Проведенный анализ структуры поверхностного слоя показал, что на поверхности изделий из стали 4Х5В2ФС карбидный слой сразу переходит в основную структуру, как это показано на рисунке 2, а. С другой стороны, в стали 3Х2В8Ф под карбидным слоем образуется безуглероденная зона (рисунок 2, б). Исследования показали, что данный дефект устраняется при повторном

нагреве до температуры 1080 °С и выдержке в течение одного часа. Твердость поверхностного слоя стали 4Х5В2ФС, содержащей больше хрома, на HV 50–90 выше, чем твердость аналогичного слоя на стали 3Х2В8Ф, имеющей в 1,5–2 раза больше карбидной фазы.

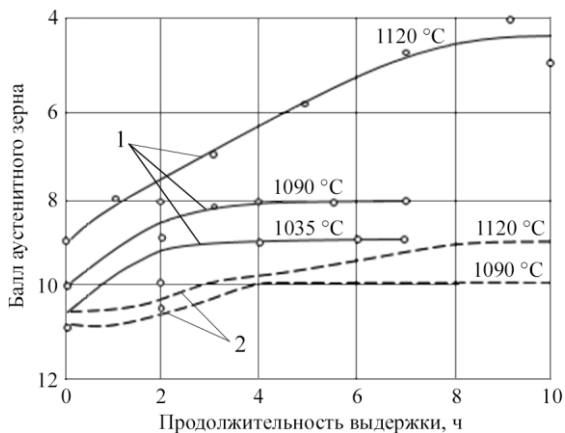


Рисунок 1 – Влияние температуры и продолжительности выдержки на размер аустенитного зерна (1 – сталь 4Х5В2ФС; 2 – сталь 3Х2В8Ф)

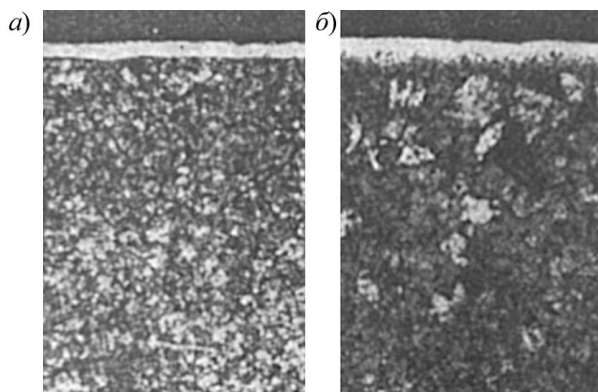


Рисунок 2 – Структура поверхностного слоя, полученного при температуре нагрева 1040 °С и выдержке 6 ч:  
а – сталь 3Х2В8Ф; б – сталь 4Х5В2ФС

Для определения жаростойкости термообработанные образцы размерами 25×15×3 мм нагревали в воздушной электрической печи до 800–1000 °С. Жаростойкость оценивалась по увеличению массы  $\mu = \frac{\Delta m}{A}$ , где  $\Delta m$  – привес, кг;  $A$  – площадь поверхности образца, м<sup>2</sup>.

Окисление необработанных образцов оказалось значительным (рисунок 3, *а*), причем стойкость против окисления у стали 3Х2В8Ф при 800 °С оказалась выше, чем у стали 4Х5В2ФС. При более высоких температурах (900 и 1000 °С) ситуация изменилась на противоположную, что связано с влиянием хрома, содержание которого в стали 4Х5В2ФС выше.

Поверхность хромоалитированных образцов окисляется в несколько раз медленнее, что видно из рисунка 3, *б*.

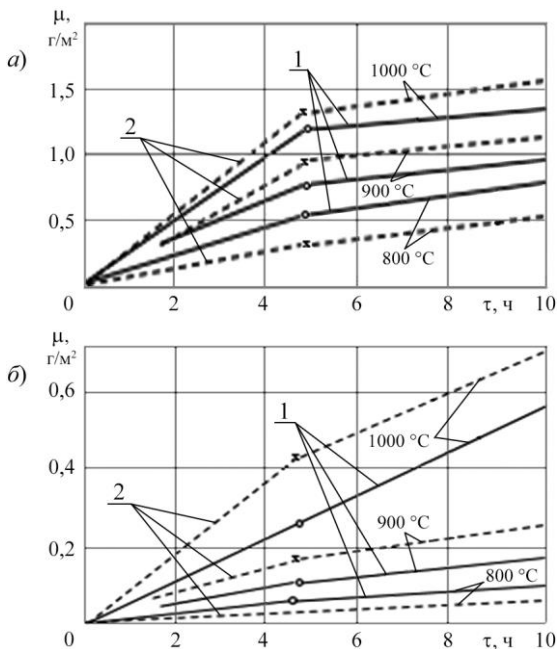


Рисунок 3 – Жаростойкость нехромоалитированных (*а*) и хромоалитированных (*б*) образцов (1 – сталь 4Х5В2ФС; 2 – сталь 3Х2В8Ф)

Таким образом, в ходе проведенных экспериментов установлено, что хромоалитирование позволяет существенно улучшить свойства поверхностного слоя обоих рассмотренных сталей. Анализ структуры такого слоя показал, что даже при температуре выдержки 1120 °С размер зерна стали 3Х2В8Ф остается небольшим (его балл составляет 9 и более). В то же время для стали 4Х5В2ФС, если при температурах до 1100 °С размер зерна тоже невелик (8 баллов и более), то при больших температурах он существенно увеличивается и может достигать 4 баллов при 1120 °С. С другой стороны, твердость поверхностного слоя стали 4Х5В2ФС на HV 50–90 выше, стали 3Х2В8Ф. Кроме того, в результате хромоалитирования значительно повышается жаростойкость сталей.

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1 Влияние комплексного легирования на структуру и стойкость низколегированных штамповых сталей / С. В. Бобырь [и др.] // Фундаментальные и прикладные проблемы черной металлургии. – 2010. – Вып. 22. – С. 213–220.

2 Геллер, Ю. А. Инструментальные стали / Ю. А. Геллер. – М. : Металлургия, 1975. – 584 с.

3 Резинкина, Г. П. Особенности термической обработки штамповых сталей и сталей для литья под давлением на предприятиях Крыма / Г. П. Резинкина, Э. С. Гордеева // Вісник СевНТУ. – Сер. «Машиноприладобудування та транспорт». – 2014. – Вип. 150. – С. 128–132.

4 Zumbilev, A. About the influence of heat treatment over the resistance against fragile destruction of BH21 steel / A. Zumbilev // Annals of Faculty Engineering Hunedoara : International Journal of Engineering. – 2010. – Т. VIII, f. 1. – P. 21–24.

5 Processing and wear of cast MMCs with cemented carbide scrap / H. Rojacz [et al.] // Journal of Materials Processing Technology. – 2014. – Vol. 214, is. 6. – P. 1285–1292.

6 Fatigue thermique des aciers à outils pour travail à chaud / D. Rousseau [et al.] // Revue de métallurgie. – 1975. – Vol. 72, no. 12. – P. 875–890.

7 Multi-scale hot working tool damage (X40CrMoV5-1) analysis in relation to the forging process / A. Alimi [et al.] // Engineering Failure Analysis. – 2016. – Vol. 62. – P. 142–155.

8 Панков, В. П. Исследование диффузионных покрытий, нанесенных методом хромоалитирования в вакууме / В. П. Панков, В. Д. Ковалев // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2020. – Т. 16, № 2 (182). – С. 85–92.

9 Многокомпонентные диффузионные покрытия / Л. С. Ляхович [и др.]. – Минск : Наука и техника, 1974. – 286 с.

10 Гахраманов, В. Ф. Диффузионное хромирование и карбохромирование штамповых сталей / В. Ф. Гахраманов // Нефтегазовое дело. – 2021. – Т. 19, № 3. – С. 121–127.

11 Гахраманов, В. Ф. Влияние предварительного окисления на процесс азотирования сплавов железа / В. Ф. Гахраманов, Э. А. Асланов // Механика машин, механизмов и материалов. – 2021. – № 2 (55). – С. 54–59.

V. F. GAKHRAMANOV<sup>1</sup>, E. A. ASLANOV<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Baku Engineering University, Khirdalan city, Azerbaijan

<sup>2</sup>Azerbaijan Technical University, Baku, Azerbaijan

## ANALYSIS OF CHARACTERISTICS OF ALLOYED STEELS AFTER CHROMOALITATION

There is performed an experimental analysis of the characteristics of steels 3Kh2V8F and 4Kh5V2FS with the surface layer saturated with chromium and aluminum by the gas method in powders. A comparison of the sizes of austenite grains obtained at different heat treatment durations and heat resistance at temperatures from 800 to 1000 °C is carried out. It is shown that chromoalizing can significantly improve the characteristics of the surface layer of the processed product.

**Keywords:** alloy steel, chromium aluminizing, grain size, heat resistance.

Получено 18.04.2023