

# ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ ПРИ ВАКУУМНОМ ДИФфуЗИОННОМ БОРИРОВАНИИ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

**С. А. Земляков, А. М. Гурьев, С. Г. Иванов**

Алтайский государственный технический университет им. И. И. Ползунова,  
г. Барнаул, Россия

При текущем уровне развития технологий особенно актуальной является проблема повышения стойкости деталей машин и инструмента. Наиболее часто применимой операцией для решения проблемы является нанесение покрытий. Одним из направлений нанесения покрытий является химико-термическая обработка (ХТО) с нанесением покрытий из различных элементов путем диффузии. Новейшим направлением в термической и химико-термической обработке является вакуумная обработка, которая обладает явными преимуществами по сравнению с обработкой в окислительной воздушной среде: в условиях вакуума поверхность изделия практически полностью избавляется от абсорбированных атомов и, соответственно, обладает большей адсорбционной активностью; не происходит окисления и обезуглероживания поверхности деталей, характерных для процессов в условиях воздушной среды; скорость нагрева в условиях вакуума в 1,5–10 раз превышает скорость нагрева на воздухе, так как отсутствуют конвекционные потоки.

При ХТО в вакууме в качестве поставщиков диффузионно-активных атомов, как правило, применяются чистые элементы: бор, хром, алюминий и т. д., так как в условиях вакуума процессы испарения атомов начинаются при более низких температурах ввиду отсутствия других газов с более высокими парциальными давлениями. Процесс химико-термической обработки в условиях вакуума значительно (в 2–5 раз) ускоряется по сравнению с атмосферным процессом при прочих равных условиях. Однако чистые вещества, как правило, имеют более высокую стоимость по сравнению с соединениями этих же элементов, которые применяются при традиционной ХТО. В условиях вакуума эти соединения не применяются по различным причинам: высокая скорость сублимации; распад соединений на составляющие, обладающие низкой реакционной и диффузионной активностью.

В настоящей работе были исследованы микроструктуры диффузионных слоев при химико-термической и химико-термоциклической обработке углеродистых сталей в условиях вакуума. В качестве насыщающей среды была разработана специальная смесь для процессов одновременного комплексного борохромирования в условиях вакуума, обладающая высокой устойчивостью к процессам диссоциации и сублимации в условиях вакуума на основе карбида бора и бориды хрома, активированных добавками галогенсодержащих соединений на основе фтора и хлора. Для вакуумной ХТО использовалась двухкамерная вакуумная печь, имеющая нагревательную камеру и камеру охлаждения, герметичной разделенных подвижной шторкой и с независимыми системами откачки из каждой камеры. Максимальная рабочая температура до 1600 °С и минимальное остаточное давление до  $1 \cdot 10^{-3}$  Па. Параметры режима для изотермической ХТО были выбраны в следующих пределах: остаточное давление 1–3 Па, температура 1050 °С, время 3 ч. Химико-термоциклическая вакуумная обработка велась по следующему режиму: остаточное давление 1–3 Па, количество циклов – 3, общее время процесса насыщения – 3 часа, время выдержки при верхней температуре цикла – 50 мин, верхняя температура цикла 1050 °С, нижняя температура цикла 550 °С без выдержки при этой температуре.

На приведенных на рисунках 1 и 2 фотографиях микроструктуры видно, что химико-термоциклическая обработка углеродистых сталей в условиях вакуума в 2–3 раза увеличивает толщину диффузионного слоя. Также в режиме ХТЦО по сравнению с изотермическим режимом, уменьшается размер зерна, особенно на низкоуглеродистых сталях.

Установлено, что в режиме изотермической ХТО в условиях вакуума в приповерхностных слоях углеродистых сталей заметно повышенное содержание углерода, причем, на сталях с меньшим содержанием углерода эффект более заметен. Это требует дальнейшего изучения и обоснования.

ОСОБЕННОСТИ МИКРОСТРУКТУРЫ  
ПРИ ВАКУУМНОМ ДИФфуЗИОННОМ БОРИРОВАНИИ УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ

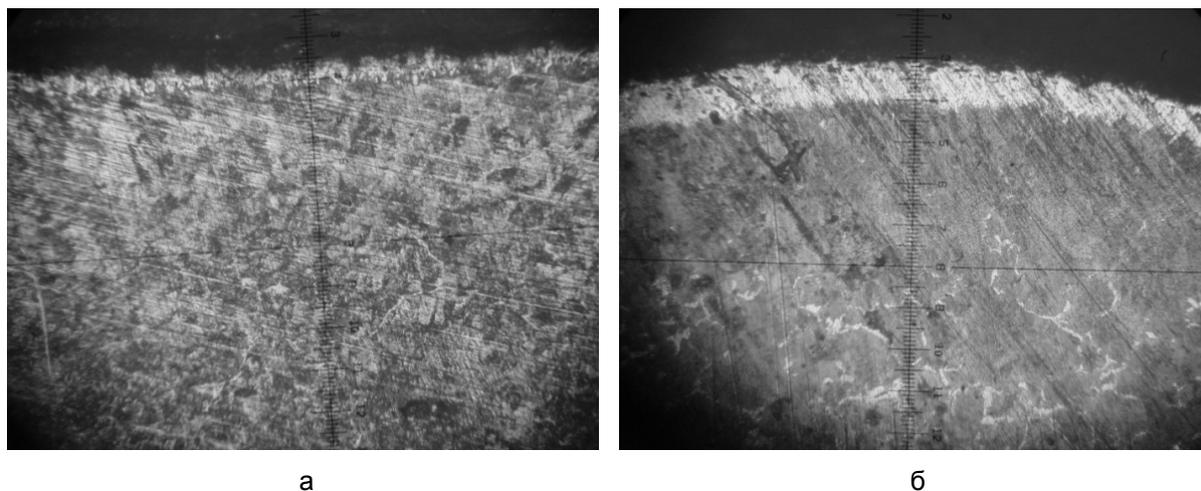


Рисунок 1 – Химико-термоциклическая обработка в вакууме: а) сталь 45, б) сталь У8

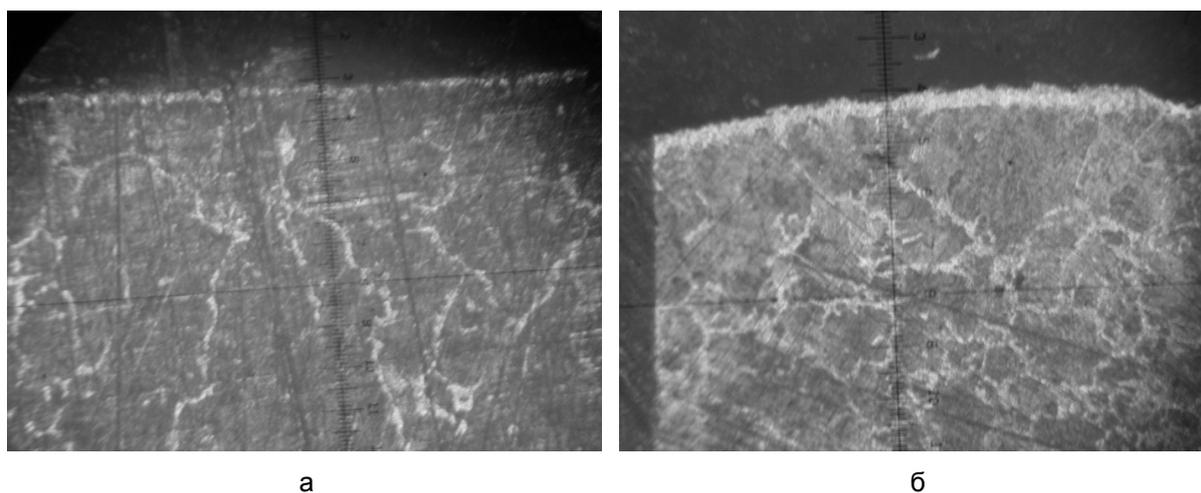


Рисунок 2 – Химико-термическая обработка в вакууме: а) сталь 45, б) сталь У8