

**УДК 621.785.5****Исследование упрочняющего эффекта при химико-термической обработке дуплексных сталей, легированных редкоземельными металлами и кобальтом**

Марина Олеговна Низиенко

*Студентка 1 курса магистратуры,  
кафедра «Материаловедение»**Московский государственный технический университет имени Н. Э. Баумана**Научный руководитель: А.Е.Смирнов,  
кандидат технических наук, доцент кафедры «Материаловедение»*

В настоящее время дуплексные стали находят широкое применение в машиностроении. Перспективной сталью из этой группы является новая дуплексная аустенитно-ферритная сталь с системой легирования Cr-Ni-Co-Be, микролегированная редкоземельными металлами (РЗМ).

Цель работы: получить данные о структуре и распределении микротвердости в новой дуплексной стали после ХТО, и тем самым оценить упрочняющий эффект.

Химико-термическую обработку (ХТО) проводили в универсальной вакуумной установке. Вакуумное азотирование (ВА) проводили в атмосфере аммиака при температуре 540 °С в течение 16 часов при давлении 10 кПа. Вакуумную цементацию (ВЦ) выполняли при температуре 920 °С и давлении 800 Па в течение 2 ч.

По данным микроструктуры образца после насыщения углеродом (рис. 1 а) видно, что максимальная толщина слоя оставляет 0,1 мкм. Результаты распределения микротвердости по сечению образца (рис. 2, кривая 1) показывают, что прирост микротвердости отсутствует, значение микротвердости в слое близко к значению микротвердости сердцевины (440-450 HV0,1). Такой результат дает возможность сделать предположение о том, что в матричной фазе –  $\delta$ -феррите, очень большое содержание легирующих элементов, из-за которых полностью блокирован массоперенос.

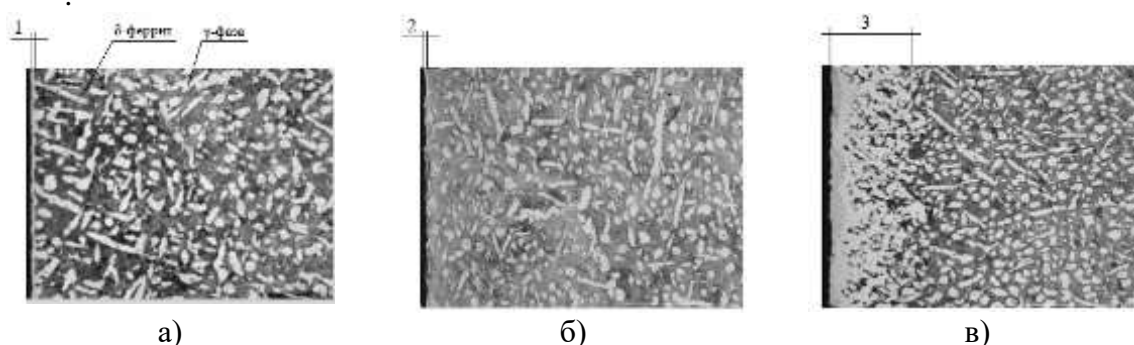


Рис. 1 Микроструктура диффузионного слоя образца с Co и со средним содержанием РЗМ а) после вакуумной цементации, б) после вакуумного азотирования, в) после вакуумного азотирования с последующей вакуумной цементацией: диффузионный слой после ВЦ (1), ВА (2) и ВЦ+ВА (3);  $\times 200$

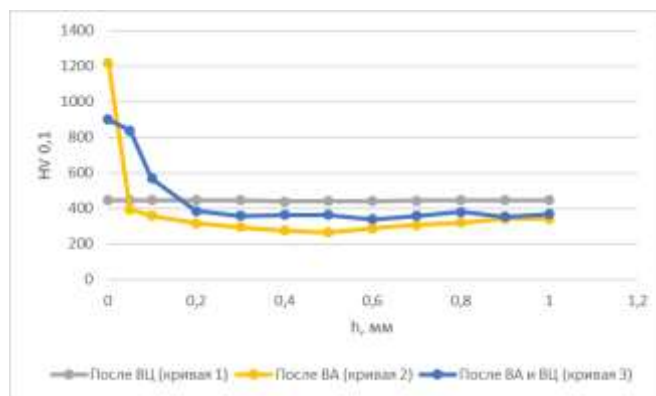


Рис. 2. Распределение микротвердости HV 0,1 по толщине  $h$  диффузионного слоя образца с Co и средним содержанием РЗМ после вакуумной цементации, вакуумного азотирования, вакуумного азотирования с последующей вакуумной цементацией

После ВА (рис. 1 б) наблюдается нитридный слой в тонком поверхностном слое толщиной до 0,1 мкм с нижележащим диффузионным слоем около 0,4 мм с повышенной твердостью и обогащенным азотом. Азот насыщает дельта-феррит и образуются нитриды, что подтверждает значение микротвердости на поверхности (рис. 2, кривая 2)  $1220 \pm 40$  HV0,01. При этом сильно уменьшается насыщенность  $\delta$ -феррита. Если после ВА провести последующую вакуумную цементацию, то можно получить диффузионный слой толщиной до 80 мкм (рис. 1 в), с максимальной микротвердостью в слое до 900 HV0,1 (рис. 2, кривая 3).

#### Выводы:

1. Анализ результатов насыщения образцов углеродом при ВЦ показывает, что из-за большой насыщенности легирующими элементами матричной фазы –  $\delta$ -феррита, диффузионный массоперенос углерода практически отсутствует, как следствие, нет прироста микротвердости. Максимальная толщина слоя составляет 0,1 мм. При этом твердость этого слоя сопоставима с твердостью сердцевины.
2. Данные, полученные после ВА свидетельствуют об образовании нитридной фазы в поверхностном слое с нижележащим диффузионным слоем, обогащенным азотом, что подтверждает значение твердости поверхности, равное 1160-1250 HV0,01, как следствие, уменьшается насыщенность матричной фазы легирующими элементами.
3. При проведении последующей вакуумной цементации диффузионный слой увеличивается до 80 мкм, микротвердость в слое достигает значения 900 HV0,1.

#### Литература:

1) Смирнов А.Е., Фахуртдинов Р.С., Семенов М.Ю., Громов В.И., Курпякова Н.А., Севальнёв Г.С. Применение комплексной химико-термической обработки для упрочнения высокопрочной дисперсионно-твердеющей теплостойкой стали, микролегированной РЗМ // *Металловедение и термическая обработка металлов.* - 2018. - №7. - С. 38-42.

2) Смирнов А.Е., Семенов М.Ю. Применение вакуумной термической и химико-термической обработки для упрочнения тяжело нагруженных деталей машин, приборов и инструмента. *Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн.* – 2014. – № 2. – DOI: 10.7463/0214.0700036 (дата обращения 15.05.2016).

3) Семенов М.Ю., Дин Кай Цзянь, Смирнов А.Е., Шевченко С.Ю., Александров В.А. Применение азотирования в тлеющем разряде для повышения твердости поверхности деталей подшипников из прецизионных никелевых сплавов // *Металловедение и термическая обработка металлов.* - 2019. - №3. - С. 33-38.