

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНОГО СЛОЯ И ВОССТАНОВЛЕНИЕ ПРЕЦИЗИОННЫХ ДЕТАЛЕЙ МЕТОДОМ КОМПЛЕКСНОЙ ВАКУУМНОЙ ДИФФУЗИОННОЙ МЕТАЛЛИЗАЦИИ: СТРУКТУРА И МЕТАЛЛОГРАФИЯ

Гусейнов А.Г.¹, Асадов Ш.А.¹, Гусейнзаде М.Б.², Мирзазаде Н.М.²

¹*Азербайджанский технический университет, Баку;*

²*Национальное аэрокосмическое агентство Азербайджана, Баку*

Ключевые слова: никелирование, бороникелирование, прецизионные детали, диффузионный слой, износостойкость, химико-термическая обработка, упрочнение поверхности.

Аннотация. В статье исследовано влияние процессов никелирования и вакуумного бороникелирования на упрочнение поверхностного слоя прецизионных деталей. Установлено формирование диффузионных боридно-никелевых слоев FeB и Fe₂B, обеспечивающих повышение микротвёрдости, износостойкости и коррозионной устойчивости. Показано, что последовательное бороникелирование формирует более плотные и стабильные защитные покрытия.

SURFACE LAYER STRENGTHENING AND RESTORATION OF PRECISION PARTS BY COMPLEX VACUUM DIFFUSION METALLIZATION: STRUCTURE AND METALLOGRAPHY

Huseynov A.G.¹, Asadov Sh.A.¹, Huseynzade M.B.², Mirzazade N.M.²

¹*Azerbaijan Technical University, Baku;*

²*Azerbaijan National Aerospace Agency, Baku*

Keywords: nickel plating, boron nickel plating, precision parts, diffusion layer, wear resistance, thermochemical treatment, surface hardening.

Abstract. This article examines the effects of nickel plating and vacuum boron nickel plating on surface layer hardening in precision components. The formation of diffusion boride-nickel layers of FeB and Fe₂B, which improve microhardness, wear resistance, and corrosion resistance, is established. Sequential boron nickel plating is shown to produce denser and more stable protective coatings.

Введение

В современных условиях развития машиностроения и приборостроения особое значение приобретает повышение надёжности и долговечности прецизионных деталей. Такие детали используются в механизмах и узлах, где требуется высокая точность размеров, стабильность геометрии и длительный срок эксплуатации. В процессе работы прецизионные детали подвергаются воздействию трения, износа, высоких температур и контактных напряжений, что приводит к ухудшению состояния их рабочих поверхностей.

Основной причиной снижения работоспособности таких деталей является износ поверхностного слоя. Даже незначительные изменения микрогеометрии поверхности могут привести к нарушению точности сопряжений и снижению эффективности работы механизма. Поэтому одной из актуальных задач современной технологии машиностроения является повышение износостойкости и прочности поверхностного слоя деталей.

Одним из эффективных способов повышения эксплуатационных свойств металлических деталей являются методы химико-термической обработки поверхности. Среди них особое место занимает процесс предварительного никелирования с последующим борированием в вакууме. Данный комбинированный процесс называется бороникелированием. Эти методы позволяют формировать на поверхности металла диффузионные слои с высокой твёрдостью и повышенной устойчивостью к износу и коррозии.

Целью настоящего исследования является изучение влияния процессов никелирования и бороникелирования на упрочнение поверхностного слоя прецизионных деталей. В работе также рассматривается процесс предварительного комплексного вакуумного бороникелирования и его влияние на повышение прочностных и эксплуатационных характеристик поверхностного слоя.

Методика исследования. Для упрочнения их поверхностного слоя предварительно применялся процесс никелирования с последующим борированием. В результате формировалось комплексное диффузионное покрытие – бороникелирование. Объектом исследования являлись прецизионные детали, изготовленные из различных конструкционных и инструментальных сталей. Для упрочнения их поверхностного слоя применялись процессы никелирования и последовательного бороникелирования [1].

Никелирование осуществлялось с использованием порошковой смеси, содержащей оксид никеля NiO , корунд и активатор. В результате обработки на поверхности образовывался тонкий никелевый слой, который выполнял роль промежуточного барьера при последующих диффузионных процессах. Процесс бороникелирования заключался в предварительном никелировании образцов с последующим борированием. Такой комбинированный метод позволял исследовать влияние никелевого слоя на процесс диффузии бора и формирование боридных фаз. Микроструктура полученных диффузионных слоев изучалась методом металлографического анализа. Определялась толщина сформированных слоев, их фазовый состав и морфология. Также проводился сравнительный анализ свойств полученных покрытий [2].

Результаты исследования

Проведённые исследования показали, что при комплексной вакуумной диффузионной металлзации на поверхности прецизионных деталей формируются диффузионные боридно-никелевые слои, состоящие преимущественно из фаз FeB и Fe_2B (рис. 1). Толщина этих слоёв зависит от температуры обработки и времени выдержки. С увеличением температуры и продолжительности процесса наблюдается рост толщины боридного слоя.

Боридные покрытия характеризуются высокой микротвёрдостью, что значительно повышает износостойкость поверхности. Однако при определённых условиях возможно образование хрупких участков, что может привести к появлению микротрещин.

При никелировании на поверхности образуется тонкий никелевый слой, который улучшает коррозионную стойкость и влияет на последующие диффузионные процессы. Экспериментальные данные показали, что оптимальные

условия никелирования позволяют получить плотный и малопористый слой, не ухудшающий качество последующего борирования.

Наиболее эффективные результаты были получены при применении последовательного бороникелирования. В этом случае формировался более однородный и плотный диффузионный слой. Полученные покрытия характеризовались меньшей пористостью и меньшей склонностью к растрескиванию по сравнению с обычными боридными слоями.

Также было установлено, что чрезмерная толщина никелевого слоя может замедлять процесс диффузии бора и уменьшать долю боридной фазы FeB. Поэтому выбор оптимальных технологических режимов имеет решающее значение для получения качественных покрытий.

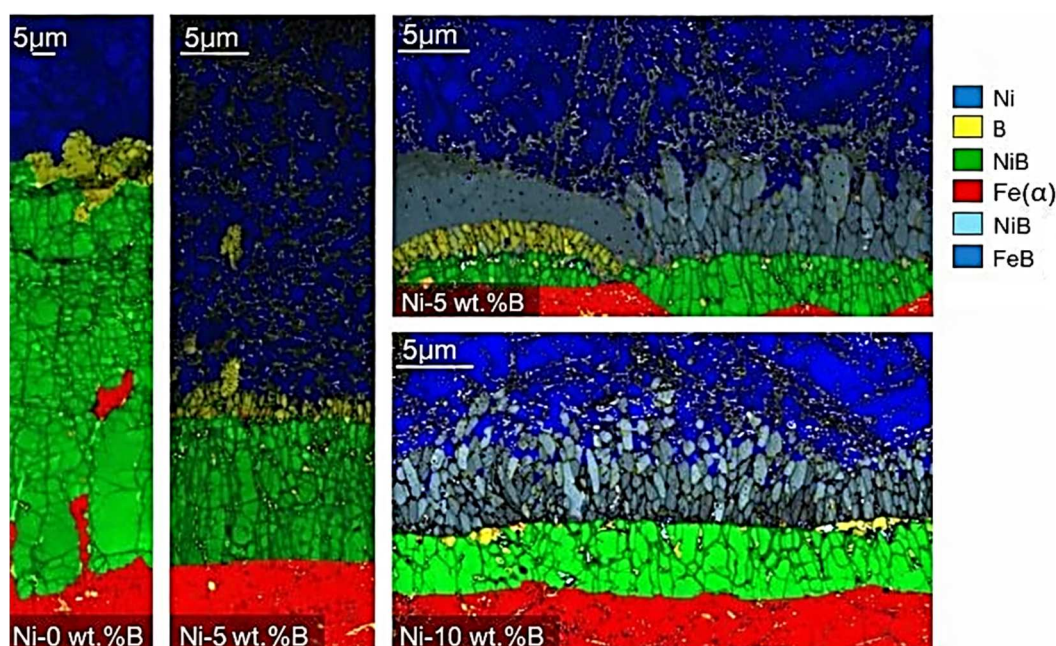


Рис. 1. Фазовый состав образцов при температуре 1150°C в течение пяти часов [3]

Выводы

1. В результате проведённого исследования установлено, что процессы бороникелирования являются эффективными методами упрочнения и восстановления поверхностного слоя прецизионных деталей. Бор обеспечивает формирование высокотвёрдых боридных фаз, значительно повышающих износостойкость поверхности.

2. Никель способствует повышению коррозионной стойкости и формированию промежуточного слоя, оказывающего влияние на последующие диффузионные процессы.

3. Наиболее эффективным методом упрочнения является последовательное бороникелирование, позволяющее получать более плотные и стабильные диффузионные покрытия.

4. Полученные результаты показывают, что применение комбинированных методов химико-термической обработки позволяет существенно повысить эксплуатационные характеристики прецизионных деталей, увеличить срок их службы и повысить надёжность работы механических систем.

Список литературы

4. Huseynov A.G., Asadov Sh.A., Nazarov I.A. Assessment of the wear of the working surface of the reactive thimble // Universum: Технические науки. – 2022. – №2(95). – С. 9-11.
5. Huseynov A.G., Asadov Sh.N., Huseynli F.S., Asadov Sh.A. Modeling of the thermo-deformation behavior in a laser-hardened “Plunger-Barrel” pair considering wear effects // Azərbaycan Mühəndislik Akademiyasının Xəbərləri. 2025, vol. 17, no. 4, pp. 42-50. <https://journal.ama.com.az/index.php/pub/article/view/325/299>.
6. Huseynov A., Huseynli F., Safarov M. Reliability Prediction of Precision Parts of Fuel Pumps with Enhanced Surface Hardness Achieved Through Laser Technology // Tribologia - Finnish Journal of Tribology. 2025, vol. 42(1-2), pp. 64-71. doi.org/10.30678/fjt.152491.

Сведения об авторах:

Гусейнов Алекпер Гюльяхмед оглы – д.т.н., профессор, заведующий кафедрой «Специальные технологии и оборудование»;

Асадов Шамхал Азер оглу – ассистент кафедры «Специальные технологии и оборудование»;

Гусейнзаде Микаил Бабек оглы – докторант;

Мирзазаде Нахид Мирза оглы – докторант.