

**Структура поверхностного слоя титана после цементации с применением электролитно-плазменного нагрева**Алексеев Ю.Г.<sup>1</sup>, Королёв А.Ю.<sup>1</sup>, Калиниченко А.С.<sup>2</sup>, Будницкий А.С.<sup>1</sup>, Сенченко Г.М.<sup>1</sup><sup>1</sup>Белорусский национальный технический университет<sup>2</sup>Белорусский государственный технологический университет

В качестве альтернативы существующим методам упрочнения поверхности титана и титановых сплавов предложен метод электрохимико-термической обработки – электролитно-плазменный нагрев в азот- или углеродсодержащем электролите с последующей закалкой путем отключения рабочего напряжения. При подаче напряжения в диапазоне 100–300 В на электрохимическую ячейку, вокруг заготовки происходит локальное вскипание жидкости за счет выделения джоулева тепла. В этих условиях электролит вблизи поверхности заготовки разогревается до температуры кипения и обрабатываемая заготовка, оказываясь отделенной от основной массы электролита, разогревается до температур 400–1100 °С. Высокие температуры заготовки позволят проводить насыщение поверхности атомами легких элементов, содержащихся в веществах-донорах, растворенных в электролите. Наличие в электролите углеродсодержащих и азотсодержащих компонентов обуславливает определенный углеродный или азотный потенциал парогазовой оболочки, в результате чего становится возможной химико-термическая обработка. В условиях электролитно-плазменного нагрева интенсифицируются диффузионные процессы, что позволяет значительно сократить время химико-термической обработки до 5–10 мин [1].

Преимуществами такого метода перед другими существующими методами термической обработки является высокая скорость нагрева заготовки (до 250 °С/с), а также высокая скорость диффузионного насыщения (до 100 мкм/мин). Кроме того, применение электролитно-плазменного нагрева позволяет сформировать на поверхности защитный оксидный слой, обеспечивающий дополнительное повышение коррозионной стойкости [2].

В работе установлены закономерности формирования микроструктуры поверхностного слоя титана при цементации с применением электролитно-плазменного нагрева. Для исследований использовались цилиндрические образцы из титана ВТ1 диаметром 2 мм длиной 40 мм. В качестве основного компонента электролита, обеспечивающего его электропроводность, использовался раствор хлорида аммония концентрацией 10 %. В качестве донора углерода в электролит добавлялся глицерин (5–10%). Температура электролита поддерживалась в пределах 20±3 °С. Напряжение обработки составляло 150, 175 и 200 В. Продолжительность обработки образцов – 10 мин.

Микротвердость поверхностного слоя измерялась с помощью микротвердомера AFFRI-MVDM8. Металлографические исследования полученных образцов проводились на микроскопе Альтами МЕТ 1Т.

На рисунке 1 представлены зависимости, характеризующие распределение микротвердости  $HV_{0,1}$  в поверхностном слое образцов после цементации при различных значениях рабочего напряжения. При напряжении 150–175 В происходит незначительное увеличение микротвердости (на 30–100 HV). При напряжении 200 В увеличение микротвердости является более существенным. Так, при концентрации глицерина 10 % микротвердость на глубине 50 мкм от поверхности составила 512 HV. Причем упрочнение наблюдается по всей исследуемой глубине поверхностного слоя (до 500 мкм).

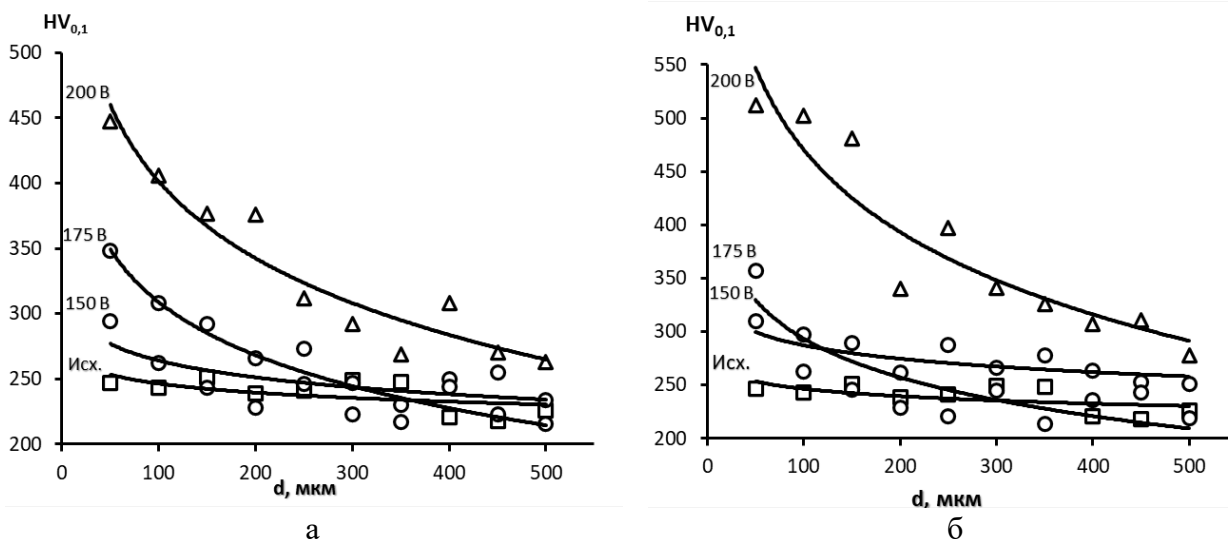


Рисунок 1 - Распределение микротвердости в поверхностном слое после цементации при концентрации глицерина 5% (а) и 10% (б)

Исходная микроструктура исследуемых образцов (рисунок 2) имеет два характерных морфологических признака: крупные полиэдрические зерна «превращенной»  $\beta$ -фазы, величина которых зависит от степени предшествующей деформации, температуры и длительности перегрева в  $\beta$ -области, и пластинчатый характер внутризеренной структуры, причем размеры пластин и фрагментов из параллельных пластин зависят только от скорости охлаждения [3].

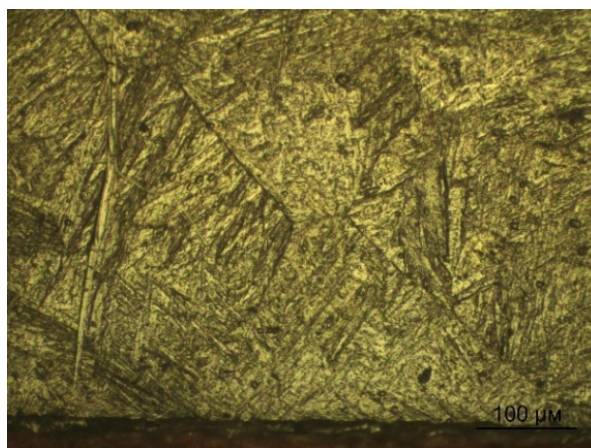


Рисунок 2 - Исходная микроструктура исследуемых образцов

На рисунке 3 представлены фотографии микроструктуры поверхностного слоя после цементации в электролите с содержанием глицерина 10%. Электролитная-плазменная модификация при напряжении 150–175 В приводит к формированию равноосной структуры, состоящей из  $\alpha$ -фазы. В поверхностном слое, наиболее насыщенном углеродом (толщиной около 50 мкм), наблюдается увеличение зёрен в 2–3 раза относительно основы. Увеличение напряжения до 200 В ведёт к формированию пластинчатой структуры, представляющей собой  $\alpha'$ -фазу – мартенсит, полученный после быстрого охлаждения титана ВТ1 с температуры, превышающей температуру полиморфного превращения.

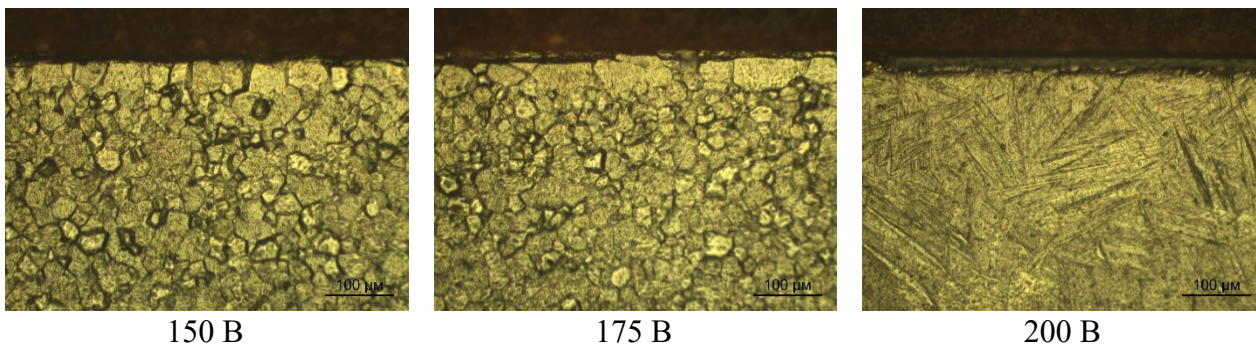


Рисунок 3 - Микроструктура образцов после цементации

### Литература

1. Особенности электролитно-плазменного нагрева при электрохимико-термической обработке стали / Ю.Г. Алексеев, В.С. Нисс, А.Ю. Королев, А.Э. Паршутто // Наука и техника. – 2013. – №6. – С. 20-24.
2. Плазменно-электролитическое модифицирование поверхности металлов и сплавов [Текст]: в 2-х томах / И. Суминов [и др.]; ред. И. Суминов. - М.: Техносфера, 2011. - (Мир материалов и технологий: VI). - Т.1. - 2011. - 463 с.: ил. - Библиогр.: с. 427-463. - ISBN 978-5-94836-267-0
3. Титановые сплавы в машиностроении / Б. Б. Чечулин [и др.]. – «Машиностроение», Ленингр. отд-ние, 1977. – 248 с.