

следует выбирать смоделированные круги обеспечивающие оптимальную длину затылования зуба.

Проведенный анализ геометрии шлифовальных кругов для затылования стандартных дисковых модульных фрез подтверждает необходимость учета при выборе диаметра круга не только окружного шага и диаметра затачиваемой фрезы, но и высоты профиля зуба с углом межзубой впадины.

1. Фельдштейн, Е.А. Металлорежущие инструменты: справочник конструктора / Е.А. Фельдштейн, М.А. Корниевич. – Минск: Новое знание, 2009. – 1039 с.
2. Хайруллин А.В., Шапарев А.В. Особенности затылования режущего клина сложнопрофильного инструмента // Научно-методический электронный журнал «Концепт». – 2017. – Т. 39. – С. 1166–1170. – URL: <http://e-koncept.ru/2017/970560.htm>.
3. Палей, М.М. Технология шлифования и заточки режущего инструмента / М.М. Палей, Л.Г. Дибнер, М.Д. Флид. – М.: Машиностроение, 1988. – 288 с.
4. Ажар А.В., Минасян Г.О., Кошевой А.Н. Оптимизация операции заточки затылованных дисковых фасонных фрез методами компьютерного 3D моделирования. Научное издание «НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ-2020». Сборник материалов VII Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума 17–18 ноября 2020 года. Том 1, г. Минск, БНТУ, 2020. – 252 с.
5. Ажар А.В., Осадчий Е.Н., Ишкуло П.Ю. 3D моделирование оптимального затылования дисковых модульных фрез. Научное издание «НОВЫЕ ГОРИЗОНТЫ-2021». Сборник материалов VIII Белорусско-Китайского молодежного инновационного форума 11–12 ноября 2021 года. ТОМ 1, г. Минск, БНТУ, 2021. – 188 с.

УДК 621.785

УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТИ ТИТАНА С ПРИМЕНЕНИЕМ ЭЛЕКТРОЛИТНО-ПЛАЗМЕННОГО НАГРЕВА

**Нисс В.С.¹, Алексеев Ю.Г.¹, Королёв А.Ю.¹, Калиниченко А.С.²,
Будницкий А.С.¹, Сенченко Г.М.¹**

1) Белорусский национальный технический университет,
Минск, Республика Беларусь

2) Белорусский государственный технологический университет,
Минск, Республика Беларусь

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 позволяют 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 позволит значительно сократить время химико-термической обработки до 5–10 мин.

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.

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.

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).

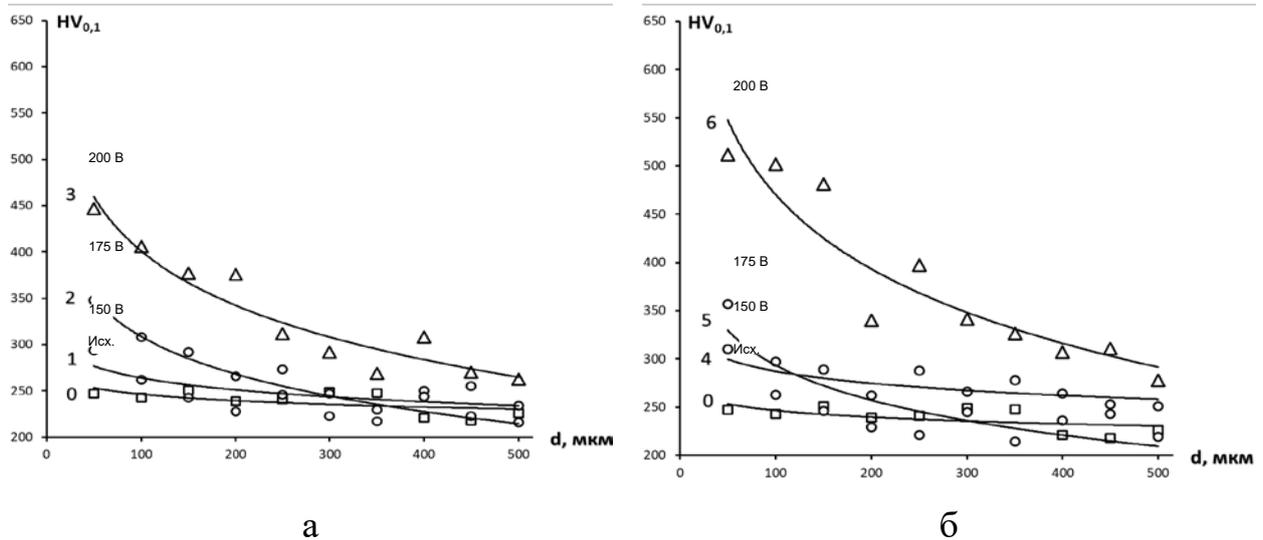


Рисунок 1 – Распределение микротвердости в поверхностном слое после цементации при концентрации глицерина 5% (а) и 10% (б)

На рисунке 2 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 α -фазы. В поверхностном слое, наиболее насыщенном углеродом (толщиной около 50 μm), наблюдается увеличение зёрен в 2–3 раза относительно основы. Увеличение напряжения до 200 В ведёт к формированию пластинчатой структуры, представляющей собой α' -фазу – мартенсит, полученный после быстрого охлаждения титана ВТ1 с температуры, превышающей температуру полиморфного превращения.

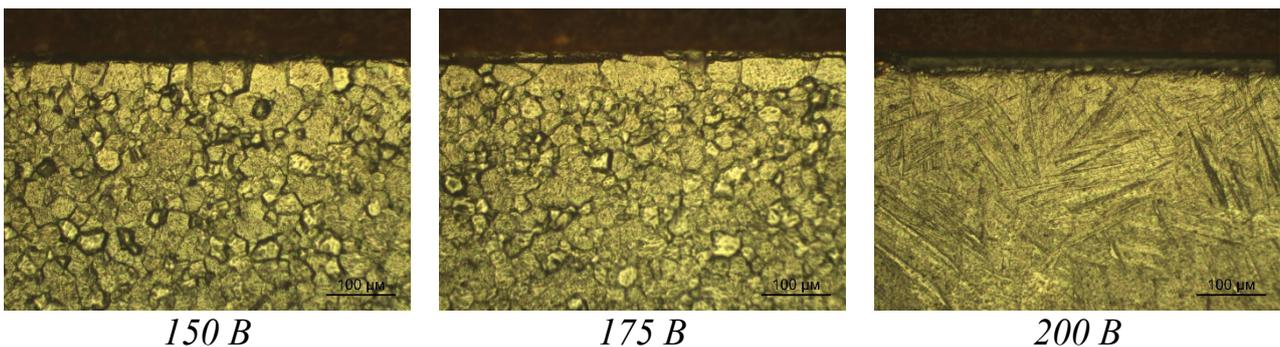


Рисунок 2 – Микроструктура образцов после цементации