

# СРАВНИТЕЛЬНЫЙ АНАЛИЗ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ КОНТАКТНОГО ИЗНАШИВАНИЯ НИТРОЦЕМЕНТОВАННЫХ СЛОЕВ СТАЛИ Р6М5 ПОСЛЕ ИХ ЛАЗЕРНОЙ МОДИФИКАЦИИ

Ю. Н. Пешкун

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический  
университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научный руководитель Е. П. Поздняков

**Введение.** Лазерная обработка быстрорежущих сталей, являясь одним из способов улучшения работоспособности инструмента, требует тщательной отработки режимов для получения заданных свойств и структуры поверхностного слоя. Это связано с усилением легирования твердого раствора, которое способствует стабилизации аустенитной фазы. Увеличение доли метастабильной  $\gamma$ -фазы, с одной стороны, позволяет повысить вязкость материала, с другой – снижает твердость и увеличивает склонность к динамическому старению, что зачастую приводит к интенсивному зарождению внутренних дефектов, ухудшающих свойства поверхностного слоя. Отмеченные особенности делают актуальными исследования эксплуатационных характеристик модифициро-

ванных слоев быстрорежущих сталей после лазерной обработки, а также других операций, способных адаптировать окончательную структуру к внешнему воздействию.

**Объекты и методы исследований.** Объектом исследований являлись поверхностные слои инструментальной быстрорежущей стали Р6М5. Упрочнение образцов проводили в два этапа. На первом этапе предварительно закаленные образцы подвергали низкотемпературной нитроцементации в древесном угле с добавлением карбамида. Длительность процесса составляла 8 ч при температуре 560 °С. На втором этапе поверхностный слой модифицировали лазерным излучением. Применяли иттербиевый лазер с длиной волны излучения 1070 нм. Мощность излучения при обработке всех экспериментальных образцов составляла 1,3 кВт. В поперечном направлении сканирование лазерного пучка с частотой 220 Гц обеспечивало формирование зоны квазистационарного нагрева размером  $0,7 \times 6$  мм. Продольное перемещение по обрабатываемой поверхности образцов производили машинным способом со скоростью от 900 до 1200 мм/мин с шагом 150 мм/мин. После лазерной обработки все исследуемые образцы подвергали однократному отпуску при температуре 560 °С. Интенсивность накопления усталостных повреждений в поверхностном слое образцов при многократном контактном воздействии на материал исследовали на установке для испытаний на контактную усталость и износ [2]. Данная установка обеспечивает контактное нагружение торцевой поверхности плоской части образца за счет его прокатывания по рабочей поверхности подпружиненного дискового контртела. Испытания образцов проводились при амплитуде контактного нагружения 1230 МПа. Исследования микроструктуры осуществляли на оптическом микроскопе Метам РВ-22.

**Результаты исследования и их обсуждение.** На поверхности всех партий образцов сформирована диффузионная зона, представляющая собой азотистый аустенит с присутствием  $\gamma'$ -фазы (рис. 1). Ее глубина не зависит от изменения скорости поперечного сканирования и составляет около 50 мкм. При увеличении скорости в поверхностной зоне возрастают линии скольжения (рис. 1, в), что, вероятнее всего, означает старение аустенита. В данной зоне присутствуют нерастворенные первичные карбиды. У образцов, полученных при наименьшей скорости перемещения лазера (900 мм/мин), обнаружена переходная зона, распространяющаяся на глубину до 200 мкм (рис. 1, а). Ее морфологическое строение представлено азотистым мартенситом,  $\gamma'$ -фазой и первичными карбидными включениями. У остальных партий образцов данной зоны оптически не обнаружено (рис. 1, а, б).

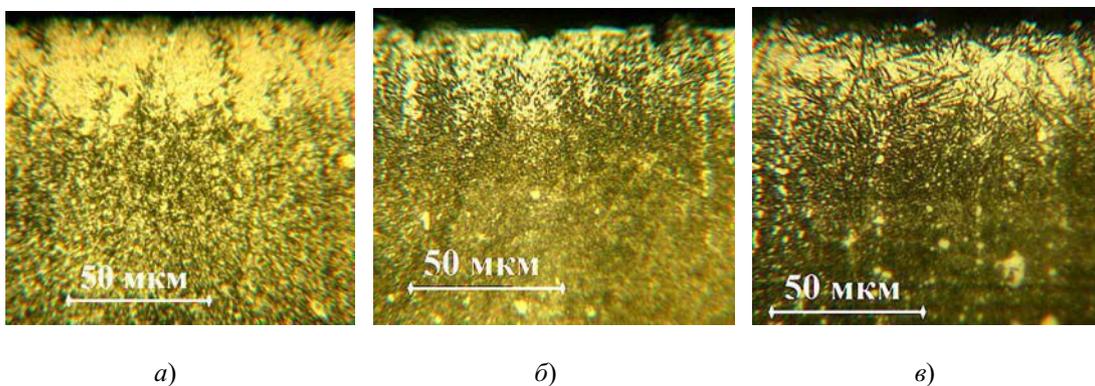


Рис. 1. Структура нитроцементованных слоев образцов стали Р6М5, подвергнутых лазерному воздействию и отпуску:  
 а – скорость сканирования 900 мм/мин; б – скорость сканирования 1050 мм/мин;  
 в – скорость сканирования 1020 мм/мин

Изучение графиков распределения микротвердости диффузионно-упрочненных слоев (рис. 2) показало, что их глубина значительно превышает видимые структурные изменения, обнаруженные при травлении. При скорости сканирования 900 мм/мин градиент микротвердости имеет плавный переход от поверхности к сердцевине, твердость которой составляет 7000–7200 МПа. На поверхности данный показатель достигает 9500 МПа. Общая глубина модифицированного слоя равна 700 мкм.

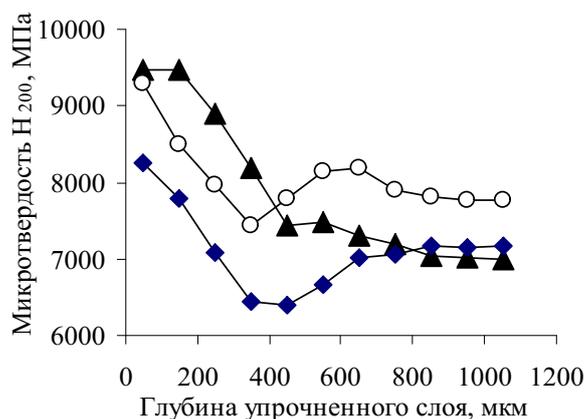


Рис. 2. Микротвердость упрочненных слоев стали Р6М5:

▲ – скорость сканирования 900 мм/мин; ◆ – скорость сканирования 1050 мм/мин;

○ – скорость сканирования 1200 мм/мин

При увеличении скорости сканирования на графиках распределения микротвердости происходит образование новых зон. Так, у образцов, модифицированных при перемещении лазера со скоростью 1050 мм/мин, отмечено снижение микротвердости диффузионно-упрочненного слоя с формированием двух зон. Поверхностная твердость образцов оказалась равной 8200 МПа. За ней, на глубине 200–700 мкм, находится зона пониженной твердости, минимальное значение которой составило 6500 МПа. У сердцевины этот показатель находится на уровне 7000 МПа. Для слоев, сформированных при скорости 1200 мм/мин, характерно наличие трех зон. Твердость поверхности достигает 9200 МПа с дальнейшим плавным снижением до 7500 МПа, отмеченной на глубине 400 мкм. На глубине 400–800 мкм формируется зона твердости, имеющей повышенное значение по отношению к сердцевине. Это связано с дисперсионным твердением высоколегированного сплава. Его максимальное значение достигает 8000 МПа при твердости сердцевины 7500 МПа.

Кривые контактного изнашивания всех партий образцов, полученные при амплитуде 1230 МПа, имеют 3 этапа, характерные при усталостном изнашивании материалов. На первом этапе контактирующие поверхности образцов прирабатываются с дисковым контртелом. Во всех исследованных случаях его длительность не превысила 1000 циклов нагружения. За ним отмечена прецизионная стойкость слоев. Нарботка составила 10–12 тыс. циклов нагружения. При этом глубина лунки износа достигла 0,02–0,06 мм. Ее максимальное значение зарегистрировано у слоев, сформированных на образцах при скорости 1050 мм/мин. На данном этапе происходит структурное изменение слоя материала, находящегося в непосредственной близости к контактирующей поверхности образующейся лунки. Этот процесс сопровождается наклепом сплава, зарождением и ростом трещин контактной усталости. При достижении свыше 10 тыс. циклов нагружения трещины объединяются, образуя питтинги.

Удаление крупных объемов металла интенсифицирует процесс изнашивания, что отображается на кривых износа резким перепадом. Максимальная стойкость всех слоев, около 30 тысяч циклов, отмечена глубиной лунки износа на уровне 0,5 мм.

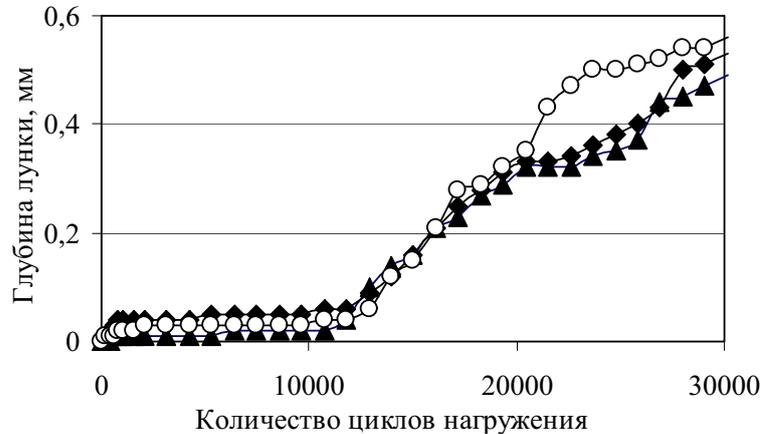


Рис. 3. Кривые, отражающие изнашивание слоев в процессе контактного нагружения при нагрузке 1230 МПа:

- ▲ — скорость сканирования 900 мм/мин; ◆ — скорость сканирования 1050 мм/мин;  
○ — скорость сканирования 1200 мм/мин

**Заключение.** Изучено влияние лазерного воздействия на структурные превращения и свойства нитроцементованных слоев стали Р6М5. Выявлено, что получение преимущественно мартенситной структуры твердого раствора композиционного материала способствует формированию периода прецизионной стойкости не менее 11 тыс. циклов при нагружении материала пульсирующим контактным напряжением 1230 МПа. Отмеченный эффект обеспечивает возможность применения исследованных режимов высокоэнергетического воздействия на нитроцементованный слой стали Р6М5 с целью повышения износоусталостных характеристик широкого спектра инструментов, изготовляемых из быстрорежущих сталей и применяемых в инструментальной промышленности.

#### Литература

1. Влияние лазерной модификации на эксплуатационные характеристики стали Р6М5 / И. Н. Степанкин [и др.] // Вестн. Гомел. гос. техн. ун-та им. П. О. Сухого. — 2015. — № 1. — С. 19–26.
2. Устройство для испытания на контактную усталость и износ : полезная модель 7093 U Респ. Беларусь, МПК G 01N 3/00 / И. Н. Степанкин, В. М. Кенько, И. А. Панкратов ; опубл. 28.02.2011.