

5. Пористые материалы на основе полилактида: получение, особенности гидролитической деструкции и области применения / Е. С. Трофимчук, В. В. Поцелеева, М. А. Хавпачева [и др.] // Высокомолекулярные соединения. Серия С. – 2021. – Т. 63, № 2. – С. 190–211. – URL: <https://sciencejournals.ru/cgi/getPDF.pl?jid=vmse&year=2021&vol=63&iss=2&file=VMSC2102010Trofimchuk.pdf> (дата обращения: 22.03.2025).

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ НА ТРИБОТЕХНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛИ 45

В. Н. Панфилов, Е. Г. Акунец

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

Научные руководители: И. В. Царенко, Е. М. Акулова

Исследовано влияние технологических параметров лазерной обработки на триботехнические характеристики стали 45. Проведена оценка влияния технологических режимов лазерной обработки (тока накачки I , длительности импульса τ) на значения энергии в импульсе E , передаваемой на обрабатываемую поверхность. Изменение силы тока в диапазоне 60–120 А и времени импульса от 5 до 25 мс позволило получать изменение энергии в импульсе в пределах от 0,3 до 4,1 Дж. Установлено, что триботехнические свойства поверхности, обработанной одинаковой энергией, но различными режимами воздействия отличаются. Износостойкость образца оценивали по ширине дорожки трения. Определено, что при токе накачки 60 А минимальный коэффициент трения и максимальная износостойкость получены при длительности импульса 20 мс.

Ключевые слова: триботехнические характеристики, углеродистая сталь, лазерная обработка, энергия в импульсе, длительность импульса, ток накачки, упрочнение, износостойкость, коэффициент трения.

Технология локального лазерного упрочнения быстроизнашивающихся участков поверхностей деталей дает возможность повысить износостойкость и срок службы деталей без применения дорогостоящих расходных материалов, без необходимости трудоемких и энергоемких подготовительных и последующих доводочных операций [1]. Повышение износостойкости поверхности после лазерной закалки достигается за счет структурно-фазовых изменений поверхностного слоя на глубину 0,3–1,0 мм без оплавления поверхности, без нарушения макро- и микрогеометрии поверхности детали. В случае оплавления поверхности глубина структурно-фазовых изменений может достигать 3,0 мм. Такая возможность обеспечивается за счет заданного распределения плотности мощности в пятне излучения многолучевого лазера. Благодаря возможности локального упрочнения только быстроизнашивающихся участков (а не всей детали), высокой линейной скорости обработки и автоматизации управления технологическим процессом, лазерное поверхностное термоупрочнение отличается коротким технологическим циклом, оперативностью выполнения работ, относительно низкой удельной энерго-трудо-материалоемкостью и соответственно низкой стоимостью. Однако, несмотря на многолетние исследования в области лазерного упрочнения поверхности, и на сегодня остается актуальной задача оптимизации режимов лазерной обработки, изучения особенностей воздействия лазерного импульса на структуру поверхности и ее свойства.

Цель данной работы – оценить влияние технологических параметров процесса лазерной обработки поверхности стали на ее триботехнические характеристики.

Исследуемые образцы – сталь 45. Лазерную обработку проводили на экспериментальной лазерной технологической установке (разработка ГГУ им. Ф. Скорины,

г. Гомель [2]) на базе твердотельного лазера TL-400. Лазерное излучение в излучателе генерировалось в кристаллах алюмо-иттриевого граната АИГ : Nd^{+3} . Длина волны излучения – 1,064 мкм.

Триботехнические испытания проводились с помощью микротрибометра MTU-2K7 (разработка ИММС НАН Беларуси, г. Гомель [3]) по схеме возвратно-поступательного движения сферы-контртела относительно плоскости исследуемого образца. Прибор обеспечивает измерение сил (коэффициента) трения пары «сфера/плоскость» в автоматическом режиме под управлением специального программного обеспечения.

Условия проведения триботехнических испытаний образцов до и после лазерной обработки приведены в таблице.

Параметры триботехнических испытаний

Задаваемый параметр	Значение
Нормальная нагрузка P , мН	500
Длина хода, мм	5,0
Линейная скорость V , мм/с	2,5
Путь скольжения S , м	3,0
Количество циклов n	300,0

При проведении триботехнических испытаний оценивался коэффициент трения f и износостойкость образца по ширине дорожки трения H . Ширину дорожки трения H определяли прямым измерением на растровом электронном микроскопе. Для определения микротвердости использовали микротвердомер ПМТ-3М, который позволяет проводить измерение твердости по методу Виккерса. Измеренные результаты были конвертированы в шкалу Роквелла с использованием корреляции по стандарту ASTM E-140.

На первом этапе исследований была проведена оценка влияния параметров технологических режимов лазерной обработки (тока накачки I , длительности импульса τ) на значения энергии в импульсе E , передаваемой на обрабатываемую поверхность. Изменение силы тока в диапазоне 60–120 А и времени импульса от 5 до 25 мс позволило получать изменение энергии в импульсе в пределах от 0,3 до 4,1 Дж. Согласно полученным результатам, одну и ту же энергию можно передать поверхности с помощью различных комбинаций значений I/τ . Так, например, энергетический импульс в 0,8 Дж поверхность может получить при ее обработке либо током 60 А в течение 15 мс, либо током 120 А – в течение 5 мс.

Сравнение характеристик поверхностей, обработанных одинаковой энергией, но разными режимами I/τ дало возможность сделать вывод о неоднозначности влияния энергии в импульсе на характеристики получаемой после обработки поверхности. Так, например, поверхности образцов 3 и 6 (нумерация образцов по табл. 2) получены при обработке поверхности энергией 0,8 Дж, но токами 60 и 120 А – в течение 15 и 5 мс соответственно. Поверхность, полученная после обработки в режиме 60А/15 мс, характеризуется более высокой микротвердостью, более низкими значениями коэффициентов трения f . Таким образом, можно сделать вывод, что ключевым фактором образования износостойкой структуры на поверхности является время импульса: 5 мс обработки недостаточно для образования износостойкой структуры. Этот же вывод подтверждает

сравнение характеристик образцов 4 и 7 (табл. 2). Несмотря на более низкую энергию обработки образца 4 (1 Дж) по сравнению с энергией обработки образца 7 (1,4 Дж), коэффициент трения f для образца 4 меньше, значение ширины дорожки трения H – ниже. Объяснить такую разницу можно все тем же более длительным временем обработки (20 мс против 10 мс).

Согласно результатам проведенных исследований, наилучшими триботехническими характеристиками: низким коэффициентом трения, высокой твердостью, низкой износостойкостью – обладают образцы, полученные после лазерной обработки током накачки 60 А в течение 20 мс.

Таблица 2

Влияние параметров лазерной обработки на триботехнические характеристики образцов

Номер	Параметры лазерной обработки			f	HRC	H , мкм
	I , А	τ , мс	E , Дж			
0	0	0	0	0,75	35	511
1	60	5	0,3	0,75	45	493
2	60	10	0,5	0,73	57	487
3	60	15	0,8	0,64	66	458
4	60	20	1,0	0,20	75	390
5	60	25	1,2	0,30	67	451
6	120	5	0,8	0,75	53	472
7	120	10	1,4	0,72	63	462

Структурные изменения, происходящие при лазерной закалке стали 45, достаточно хорошо изучены [4]. Как правило, ее исходная равновесная структура состоит из примерно одинакового количества феррита и перлита. В момент импульса лазерного излучения происходит полная фазовая перекристаллизация с образованием аустенита. Но степень его гомогенизации зависит от времени теплового воздействия. Наиболее вероятно, что с увеличением времени обработки создаются более благоприятные условия для завершения фазовой перекристаллизации.

Л и т е р а т у р а

1. Григорьянц А. Г. Технологические процессы лазерной обработки : учеб. пособие / А. Г. Григорьянц, И. Н. Шиганов, А. И. Мисюров ; под ред. А. Г. Григорьянца. – М. : МГТУ им. Баумана, 2006.
2. Лазерная установка с оптоволоконной приставкой и процессы сварки изделий из нержавеющей стали / В. Н. Мышковец, А. В. Максименко, С. В. Шалупаев, С. Н. Юркевич // Материалы. Технологии. Инструменты. – 2003. – № 4 (8). – С. 84–87.
3. Возвратно-поступательный миллитрибометр МТУ-2К7 / А. Я. Григорьев, Д. М. Гуцев, А. П. Зозуля [и др.] // Трение и износ. – 2014. – № 6 (35). – С. 664–669.
4. Коваленко, В. С. Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера / В. С. Коваленко, Л. Ф. Головкин, В. С. Черненко. – Киев : Техника, 1990.