

УДК 621.73:06-52

*к.т.н. Куберский С. В.,
к.т.н. Коваленко О. А.,
Мурга Е. В.,
Мурга С. В.
(ДонГТУ, г. Алчевск, ЛНР)*

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ ЛАЗЕРНОГО УПРОЧНЕНИЯ НА ИЗНОСОСТОЙКОСТЬ ИЗДЕЛИЙ ИЗ СТАЛИ И СПЛАВОВ

Приведены результаты экспериментальных исследований влияния технологических параметров процесса лазерного упрочнения конструкционных, инструментальных сталей и твёрдых сплавов на износостойкость. Показано, что использование лазерной обработки со сложным импульсом накачки приводит к улучшению эксплуатационных характеристик обрабатываемой поверхности по сравнению с существующими аналогами и позволяет повысить износостойкость режущего инструмента из различных материалов в 1,4–1,8 раза, а скорость резания — на 11–47 %, что подтверждает технологичность лазерной обработки и её эффективность.

***Ключевые слова:** упрочнение поверхности, лазерная обработка, режим питания лазера, импульс, гладкий, сложный, износостойкость, твёрдость.*

Проблема и её связь с научными и практическими задачами. Конкурентоспособность отечественной металлопродукции на мировом и внутреннем рынках в значительной степени определяется её себестоимостью и качеством, что необходимо учитывать на всех этапах металлургического передела от подготовки сырья до чистовой обработки металлов с целью получения готовых изделий.

Большую часть металлопродукции получают различными методами механической обработки и обработки давлением. При этом достаточно актуальным остаётся вопрос повышения стойкости металлообрабатывающего оборудования и инструмента, а также продления его ресурса на всех стадиях его жизненного цикла.

В настоящее время известно большое количество методов упрочнения инструментальных и конструкционных материалов. К таким методам можно отнести: нанесение покрытий, дробеструйную обработку, магнитно-импульсное упрочнение, термическую обработку и другие, позволяющие улучшать физико-механические свойства инструментальных и конструкционных материалов. Однако большинство традиционных мето-

дов, используемых для поверхностной обработки металлов и сплавов, являются энерго-, ресурсо- и трудоёмкими. Кроме того, следует отметить, что отдельные методы пригодны для упрочнения лишь ограниченного ассортимента материалов. Поэтому достаточно актуальной является разработка таких методов упрочнения, которые позволили бы улучшать физико-механические свойства широкого спектра инструментальных и конструкционных материалов при минимальных затратах на обработку.

В настоящее время наиболее эффективными и распространёнными способами упрочнения материалов являются методы поверхностного упрочнения [1], в том числе и лазерное упрочнение, рассматриваемое в данной работе.

Применительно к процессу лазерного упрочнения важной научно-практической задачей являются расширение технологических возможностей оборудования и разработка эффективных режимов обработки металлических поверхностей выбранным способом. Решение отмеченных задач представляется возможным при условии проведения всесторонних теоретических и экспериментальных исследований, на-

правленных на разработку рекомендаций по совершенствованию технологии и методов упрочнения.

Цель данной работы заключалась в оценке влияния технологических параметров процесса лазерного упрочнения на износостойкость изделий из конструкционных, инструментальных сталей и твёрдых сплавов.

Объект исследования: процесс упрочнения металлических изделий.

Предмет исследования: износостойкость металлических изделий, упрочнённых методом лазерной обработки.

Методы исследования: лабораторные эксперименты по упрочнению, стандартные методы термообработки, оценки твёрдости и износостойкости, статистическая обработка экспериментальных данных.

Изложение материала и его результаты. Для реализации поставленной задачи в работе были проведены эксперименты, позволяющие выявить некоторые особенности обработки материалов при питании лазера сложными импульсами накачки. Улучшение временных и энергетических параметров лазерных импульсов довольно сильно влияет на скорость обработки и её качество [2]. В значительной степени это проявляется при проведении технологических операций по упрочнению поверхности деталей из стали и сплавов.

В процессе исследований проводилась лазерная обработка кромок режущего инструмента и последующий анализ их твёрдости, а также испытания на износостойкость для оценки жизненного ресурса.

Сравнительная оценка качества обработанной поверхности при традиционном «гладком» режиме возбуждения и возбуждении «сложным» импульсом накачки производилась на установках с рубиновым активным элементом (установка «Корунд») и активным элементом из алюмоиттриевого граната, легированного неодимом (установка «Квант») [3].

Эффективность используемых режимов оценивалась по однородности структуры обрабатываемой поверхности, глубине уп-

рочнённого слоя, его механическим свойствам и износостойкости.

Стоит отметить, что традиционные методы упрочняющей термообработки (например, для стали Р6М5), заключающиеся в закалке от температуры 1200 °С и многократном отпуске или в сочетании с обработкой холодом, являются энерго- и трудоёмкими процессами и обеспечивают получение твёрдости не более 65 HRC.

В таблице представлены данные, полученные при анализе операции лазерного упрочнения режущего инструмента. Оценка твёрдости производилась по методу Роквелла (HRC). Изменение износостойкости оценивалось в процентах в сравнении с износостойкостью инструмента, обработанного традиционным методом закалки (для сталей ШХ15 и Р6М5), и без закалки для инструмента из сплавов Т5К10 и Т15К6.

Как видно из результатов, представленных в таблице, лазерное упрочнение кромок стальных резцов способствует повышению их твёрдости в 2,3–2,9 раза. Причём способ накачки практически не влияет на твёрдость обработанной поверхности, а эксплуатационные характеристики и в первую очередь износостойкость инструмента значительно улучшаются при обработке материала с использованием предложенного режима возбуждения лазера. Также необходимо отметить и тот факт, что более высокий жизненный ресурс инструмента был получен при больших значениях скорости резания, которая позитивно влияет на производительность технологического оборудования и процесса в целом. Наиболее сильное влияние способа накачки импульса на скорость резания отмечается при упрочнении твердосплавных материалов, для которых при использовании «сложного» режима возбуждения скорость резания возрастает на 29–47 %, тогда как для сталей это повышение составляет 11–12 %.

Улучшение эксплуатационных характеристик быстрорежущих и легированных сталей Р6М5 и ШХ15 обусловлено увеличением поверхностной твёрдости при сохранении пластичности изделия в целом.

Таблица

Значения твёрдости и износостойкости кромок режущего инструмента при их лазерном упрочнении с использованием гладкого и сложного режима накачки

Материал	Твёрдость, HRC		Максимальная скорость резания (мм/мин)	Повышение износостойкости, %
	до обработки	после обработки		
ШХ15 _(гл) *	22	62	50	+50
ШХ15 _(сл) **	22	64	56	+60
Р6М5 _(гл)	28	65	54	+40
Р6М5 _(сл)	28	65	60	+80
Т5К10 _(гл)	82	83	62	0
Т5К10 _(сл)	82	84	80	+50
Т15К6 _(гл)	90	89	68	0
Т15К6 _(сл)	90	88	100	+70

* — «гладкий» импульс накачки (гл); ** — «сложный» импульс накачки (сл).

Кроме того, в случае возбуждения лазерного излучения «сложным» импульсом накачки величина упрочнённого поверхностного слоя оказывается меньше (рис. 1), но имеет более однородную структуру.

Таким образом, результаты исследований показывают, что для увеличения глубины упрочнённого слоя вполне достаточно обеспечить соответствующие поверхностную плотность мощности падающего излучения и коэффициент перекрытия.

Оценка износостойкости и ресурса инструмента показала, что помимо поверхностной мощности немаловажное значение имеет равномерность распределения энергии в сечении лазерного пучка и её повторяемость. Увеличение максимальной скорости резания и повышение износостойкости обусловлено более равномерным распределением зон термического воздействия. Приведённые данные характеризуют целесообразность использования предложенного режима обработки.

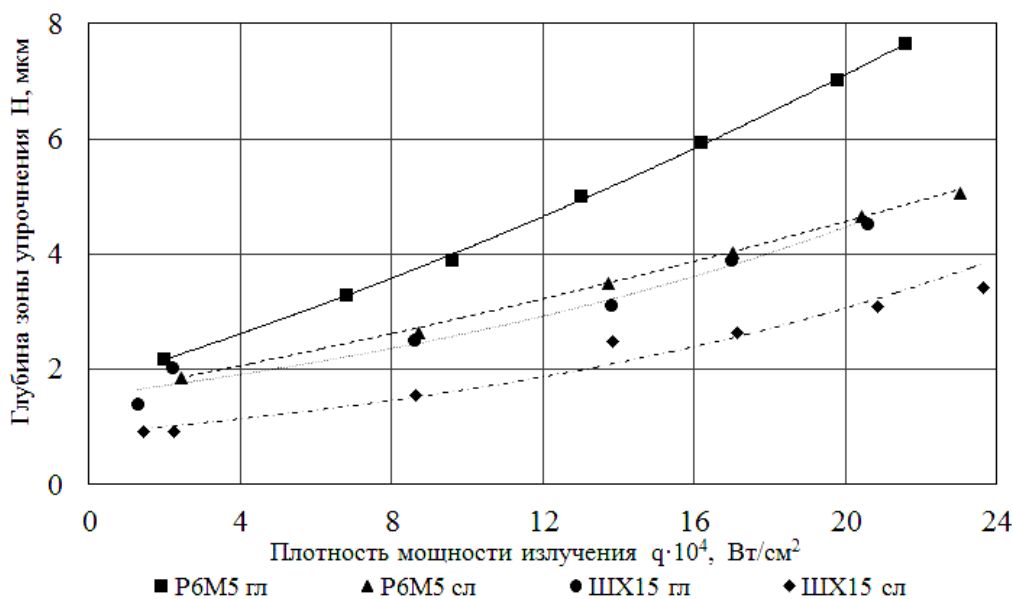


Рисунок 1 Изменение глубины упрочнения сталей Р6М5 и ШХ15 при различной плотности мощности падающего излучения и режимах питания лазера «гладким» и «сложным» импульсом

На рисунках 2 и 3 представлено изменение величины износа инструмента из легированных и быстрорежущих сталей при различных скоростях резания. Критерием износа являлось изменение величины линейного размера инструмента, которая определялась на режущих поверхностях через определённые фиксированные промежутки времени.

Обработка двухкарбидных твёрдых сплавов Т5К10 и Т15К6 с использованием предложенного метода показала, что изменения поверхностной твёрдости инструмента из этих материалов практически не наблюдается.

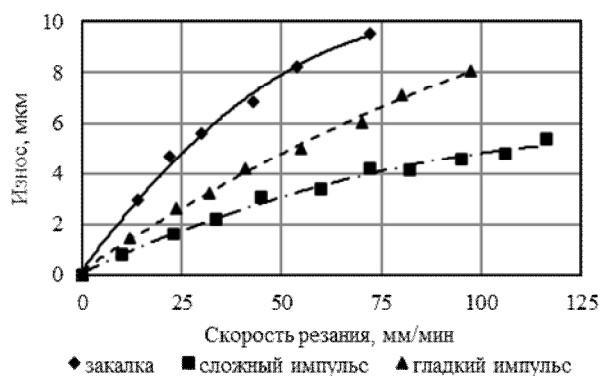


Рисунок 2 Изменение износостойкости реза из стали Р6М5, подвергнутого закалке и лазерной обработке с различным импульсом накачки, при различных скоростях резания

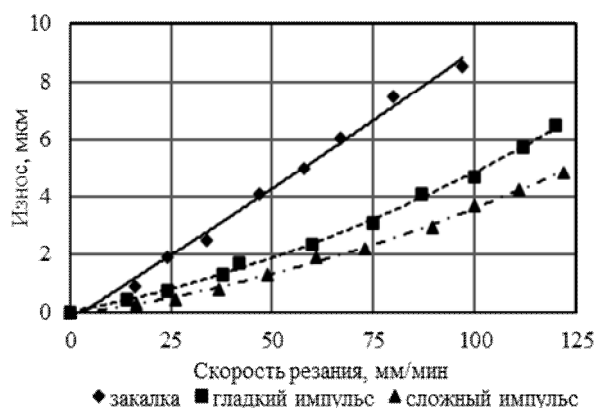


Рисунок 3 Изменение износостойкости реза из стали ШХ15, подвергнутого закалке и лазерной обработке с различным импульсом накачки, при различных скоростях резания

Тем не менее представленные в таблице данные свидетельствуют о том, что износостойкость, а следовательно, и жизненный ресурс инструмента после лазерной поверхностной обработки с использованием предложенного способа накачки лазера существенно возрастает.

Полученные результаты позволяют сделать вывод, что область применения такого вида лазерной поверхностной обработки может быть распространена и на твердосплавные материалы. Эффект, полученный при обработке двухкарбидных материалов, как показали исследования, можно объяснить спеканием гранул твердотельного материала в слое, подвергнутом лазерной обработке, что приводит к улучшению его пластических свойств без существенного изменения поверхностной твёрдости материала. В конечном итоге это позитивно сказывается на повышении износостойкости и увеличении жизненного ресурса инструмента. Данные, приведённые на рисунке 1, свидетельствуют о том, что улучшение эксплуатационных свойств изделий, подвергнутых обработке лазерным излучением со «сложным» импульсом накачки, получено не за счёт увеличения твёрдости поверхности, а в основном за счёт улучшения структуры поверхности.

Это объясняется тем, что при возбуждении активной среды «сложным импульсом» накачки, как показали исследования с использованием лазеров на рубине и гранате, улучшается пространственное распределение интенсивности излучения. При этом выравнивание интенсивности излучения позволяет улучшить качество обработанной поверхности [2]. Кроме того, наблюдается уменьшение расходимости генерируемого излучения и более равномерное распределение интенсивности в поле излучения лазера при сложнопериодическом возбуждении активной среды. Данное свойство излучения при накачке «сложным» импульсом успешно используется при обработке поверхности материалов, а именно позволяет производить не

полную, а точечную обработку инструмента (мелкие и труднодоступные детали).

Это позволяет применять один и тот же источник излучения для различных технологических операций, связанных с нагревом, плавлением и испарением материалов.

Выводы и направление дальнейших исследований. Экспериментально исследовано влияние способа возбуждения лазера на качество обрабатываемой поверхности и эксплуатационные свойства изделий из твердосплавных материалов, конструкционных и быстрорежущих сталей. Проанализировано изменение твердости, глубины упрочнённого слоя и износостойкости при различных методах упрочняющей обработки и режимах питания лазера.

Произведена сравнительная оценка износостойкости и ресурса инструмента при обработке его лазером с различными режимами питания. Показано, что предложенный режим питания позволяет повысить износостойкость инструмента из различных материалов в 1,4–1,8 раза.

Установлено, что применение разработанного режима питания лазера приводит к улучшению эксплуатационных характеристик обрабатываемой поверхности по сравнению с другими методами обработки, что позволяет распространить электротермические методы упрочнения, в частности лазерную поверхностную обработку, даже на те изделия, для которых подобные операции ранее не применялись из-за их низкой эффективности. Обработка изделий из двухкарбидных материалов позволяет увеличить ресурс инструмента из твердосплавных материалов в среднем в 1,6 раза при достаточно высоких скоростях резания.

Полученные результаты экспериментальных исследований подтверждают технологичность лазерной обработки и её эффективность.

Целью дальнейших исследований являются алгоритмизация предложенного режима лазерного упрочнения и разработка технологии обработки инструмента при использовании предложенного режима питания лазера.

Библиографический список

1. Луценко, В. А. Выбор метода упрочнения разделительных штампов [Текст] / В. А. Луценко, О. А. Коваленко, П. В. Боровик // Сб. научн. тр. Донбасского государственного технического университета. — Алчевск : ДонГТУ, 2008. — Вып. 27. — С. 171–179.
2. Мурга, В. В. Влияние режима возбуждения лазера на пространственные характеристики излучения [Текст] / В. В. Мурга, В. Г. Колобродов, И. И. Антропов, Д. К. Гамазин // Вопросы атомной науки и техники (ВАНТ). Серия : Физика радиационных повреждений и явлений в твёрдых телах. — 2015. — № 2 (96). — С. 166–170.
3. Мурга, В. В. Экспериментальный лазерный комплекс для обработки поверхности материалов [Текст] / В. В. Мурга, Е. В. Мурга // Застосування комп'ютерних технологій у навчальному процесі і науково-дослідній роботі : матеріали конференції. — Алчевськ, 1999. — С. 74–75.

© Куберский С. В.

© Коваленко О. А.

© Мурга Е. В.

© Мурга С. В.

Рекомендована к печати к.т.н., доц. каф. МЧМ ДонГТУ Должиковым В. В., ст. мастером участка разливки стали ККЦ Филиала № 12 ЗАО «ВНЕШТОРГСЕРВИС» Максаевым Е. Н.

Статья поступила в редакцию 28.02.20.

к.т.н. Куберський С. В., к.т.н. Коваленко О. О., Мурга О. В., Мурга С. В. (ДонДТУ, м. Алчевськ, ЛНР)

ВПЛИВ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ ЛАЗЕРНОГО ЗМІЦНЕННЯ НА ЗНОСОСТІЙКІСТЬ ВИРОБІВ ЗІ СТАЛІ ТА СПЛАВІВ

Наведено результати експериментальних досліджень впливу технологічних параметрів процесу лазерного зміцнення конструкційних, інструментальних сталей і твердих сплавів на зносостійкість. Показано, що використання лазерної обробки зі складним імпульсом накачки забезпечує поліпшення експлуатаційних характеристик оброблюваної поверхні в порівнянні з існуючими аналогами та дозволяє підвищити зносостійкість ріжучого інструменту з різних матеріалів в 1,4–1,8 рази, а швидкість різання — на 11–47 %, що підтверджує технологічність лазерної обробки та її ефективність.

Ключові слова: зміцнення поверхні, лазерна обробка, режим живлення лазера, імпульс, гладкий, складний, зносостійкість, твердість.

PhD in Engineering Kuberskiy S. V., PhD in Engineering Kovalenko O. A., Murga E. V., Murga S. V. (DonSTU, Alchevsk, LPR)

INFLUENCE OF TECHNOLOGICAL PARAMETERS OF LASER HARDENING ON WEAR RESISTANCE OF STEEL AND ALLOY PRODUCTS

There have been given the experimental results of influence of technological parameters of laser hardening the structural, tool steel and hard alloys on wear resistance. It is shown that the use of laser processing with a complex pump pulse leads to an improvement in the performance characteristics of the processed surface compared to existing analogues and allows to increase the wear resistance of cutting tools made of various materials by 1,4–1,8 times, and the cutting rate by 11–47 %, which confirms the processibility of laser processing and its efficiency.

Key words: surface hardening, laser processing, laser power mode, pulse, smooth, complex, wear resistance, hardness.