

## ИССЛЕДОВАНИЕ ГЛУБИНЫ ПРОПЛАВЛЕНИЯ И ИЗМЕНЕНИЯ СТРУКТУРЫ СТАЛИ Р6М5 ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ НА ПОВЕРХНОСТЬ ИМПУЛЬСНЫМ ЛАЗЕРНЫМ ОБЛУЧЕНИЕМ РАЗЛИЧНОЙ МОЩНОСТИ

М.С. Матрунчик, магистрантка

А.А. Хайдарова, кандидат технических наук

Томский государственный политехнический университет, Томск (Россия)

E-mail: [tpu@tpu.ru](mailto:tpu@tpu.ru)

**Ключевые слова:** лазер, лазерное излучение, плазменная наплавка, поверхностное упрочнение, твердость.

**Аннотация:** В работе представлены результаты экспериментальных исследований влияния мощности импульсного лазерного излучения на геометрию зоны оплавления стали Р6М5 и изменение структуры и микротвердости в области облучения.

### Введение

В настоящее время активно исследуются поверхности инструментальных сталей при облучении их концентрированными потоками энергии (КПЭ) [1-5]. Воздействие КПЭ на поверхность таких сталей в течение короткого промежутка времени за счет аустенитно-мартенситных превращений в приповерхностном объеме материала способствует повышению твердости, износостойкости, прочности и усталостной сопротивляемости поверхности.

За счет таких преимуществ, как быстрота воздействия, малая зона термического влияния, минимальные деформации, отсутствие вакуума и др. предпочтение отдается лазерному импульсному излучению в качестве поверхностной обработки металлов.

В связи с недостаточным количеством сведений по влиянию импульсного лазерного излучения на поверхность инструментальных сталей типа Р6М5 целью данной работы является исследование влияния параметров режима импульсного лазерного воздействия на структуру и микротвердость облученной поверхности стали Р6М5.

### МЕТОДИКА ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫХ ИССЛЕДОВАНИЙ

Воздействие лазерным излучением на поверхность стали Р6М5 осуществляли с помощью лазерной сварочной установки НТФ-50Т с использованием прямоугольных импульсов. Перед лазерной обработкой поверхность была зашлифована до шероховатости Ra 0,08 мкм. Для сравнительного анализа были выполнены восемь единичных зон обработки. Режимы обработки поверхности отличались мощностью воздействия импульсов и длительностью импульса (таблица 1). Обработка лазерным излучением производилась на открытом воздухе, без защиты поверхности покрытия от окисления.

Таблица 1. Параметры режимов воздействия лазерным излучением на

## структуру и свойства наплавленного слоя из стали Р6М5

№ режима	1	2	3	4	5	6	7	8
Пиковая мощность, ( $P_{и.мак}$ ) кВт	1,5	2,0	2,42	4,05	4,94	4,79	4,65	4,52
Средняя мощность, ( $P_{и.ср}$ ) Вт	15,8	21,0	25,4	42,5	43,2	47,9	41,8	45,2
Длительность импульса, ( $\tau_{и}$ ) мс	7,0	7,0	7,0	7,0	3,5	4,0	4,5	5,0

Оптическую металлографию осуществляли с помощью микроскопа OLYMPUS GX51. Электронную микроскопию – с помощью растрового электронного микроскопа Philips SEM 515, снабженного микроанализатором EDAX ECON IV.

Микротвердость измеряли на приборе HVS-1000 с шагом по глубине 100 мкм при нагрузке 5 Н.

## РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ

Процессы локального плавления и испарения под воздействием лазерного излучения приводят к реактивному давлению отдачи, последующему деформированию поверхности ванны и заглублению источника теплоты. Форма ванны расплава полученных в работе точек воздействия изменяется в зависимости от значения пиковой мощности и длительности импульса.

На рисунке 1 показана поверхность точек импульсного облучения.

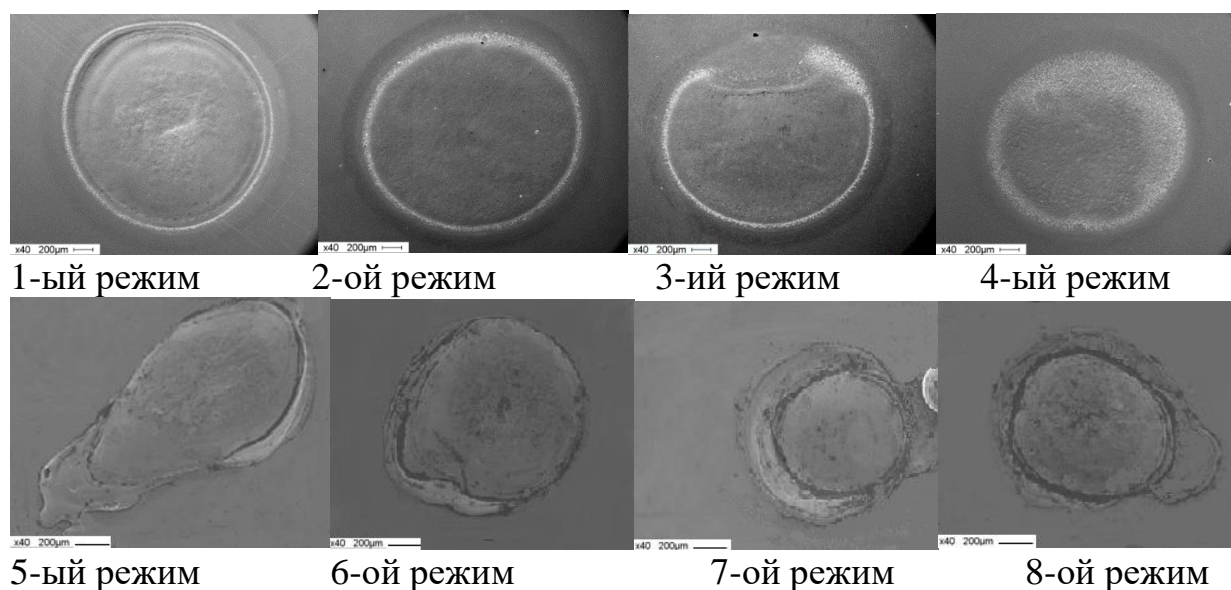


Рисунок 1 – Поверхность точек облучения

При лазерном оплавлении поверхности на режимах с малыми значениями пиковой мощности наблюдается формирование округлой точки оплавления без значительного выплеска металла.

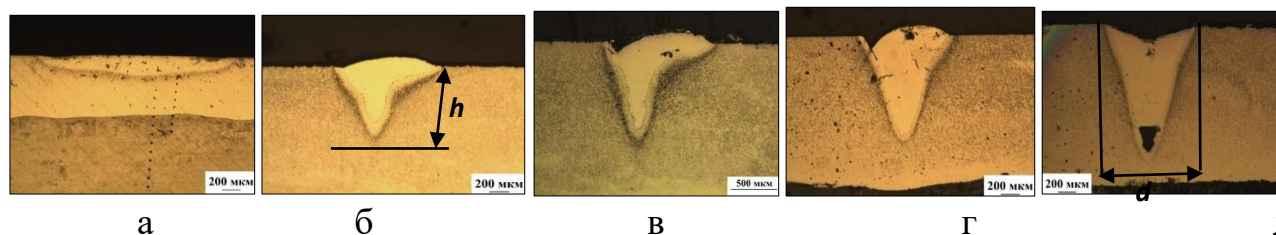


Рисунок 2 - Поперечное сечение точек воздействия ЛИ на поверхность стали Р6М5 при пиковой мощности ЛИ: а – 2,0 кВт, б – 4,52кВт, в – 4,65 кВт, г – 4,79 кВт, д – 4,94 кВт

При увеличении длительности импульса в два раза, происходит значительный рост диаметра пятна и уменьшение глубины проплавления.

При изучении микроструктуры оплавленного металла, выявлено, что все точки имеют три характерных участка: литая зона (ЛЗ) – центральная часть пятна; зона закалки (ЗО) или зона оплавления и зона термического влияния (ЗТВ).

В зоне оплавления за счет больших скоростей кристаллизации металла из жидкого состояния происходит значительное изменение исходной структуры стали Р6М5. Центральная часть имеет дендритное строение, исчезает характерная для стали Р6М5 сетка эвтектических карбидов в процессе их растворения. В результате вскипания расплава на локальном участке поверхности происходит образование кратеров.

Зона термического влияния представляет собой наиболее разупрочненную область точек лазерного воздействия. Уровень твердости в ЗТВ снижается на 25...30% по сравнению с твердостью основного материала, не подверженного обработке (рисунок3). Это связано с отпуском мартенситной границы близкорасположенной к зоне закалки, что происходит за очень короткое время в случае нагрева метастабильной структуры [1].

В центральной части точек и в зоне закалки в результате формирования структурной неоднородности наблюдается неравномерное распределение микротвердости, что особенно проявляется при обработке лучом лазера мощностью от 15,8 до 25,4 Вт. Средний уровень твердости данных зон сравним с твердостью стали Р6М5 в состоянии после наплавки (~790...800HV). При увеличении мощности лазерного излучения до 42,5 Вт средний уровень твердости обработанного металла увеличивается на 10...15% в основном за счет увеличения ширины зоны закалки, содержащей большое количество эвтектических и вторичных карбидов

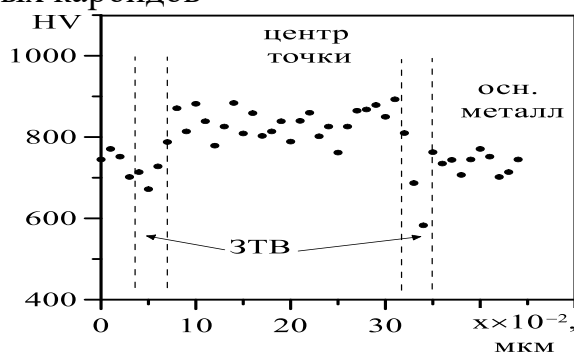


Рисунок 3- Распределение микротвердости в поперечном сечении точек лазерного воздействия: при пиковой мощности 4,52 кВт средняя твердость составляет 990...1010HV

### ВЫВОДЫ

В результате проведенных исследований выяснили, что на всех точках, полученных при лазерном воздействии на образец происходит формирование

трех структурных участков – зоны оплавления, зоны закалки и зоны термического влияния, что способствует неравномерному распределению микротвердости на поверхности обработанного материала. Режим со средней мощностью 42,5 Вт и энергией импульса 28,35 Дж является наилучшим с точки зрения формирования структуры, изменения твердости и глубины воздействия лазера.

#### **Список использованных источников**

1. Akhtar S.S., Yilbas B.S. Laser Treatment of Steel Surfaces: Numerical and Experimental Investigations of Temperature and Stress Fields // *Comprehensive Materials Processing*. – 2014. - №9. – P. 25-46
2. Ki M.L., Andreas A.P. Wear of conventional pearlitic and improved bainitic rail steels // *Wear*. – 2005. - № 259. – P.391–399.
3. Hernandez F.C.R., Demas N.G., Davis D.D. Mechanical properties and wear performance of premium rail steels // *Wear*. – 2007. - №263. – P.766–772.
4. Таран Ю.Н., Мазур В.И. Структура эвтектических сплавов □ Москва: Металлургия, 1978. — 312 с.
5. Лисовский А.Л., Плетенов И.В. Лазерное упрочнение штампового инструмента // *Вестник Белорусско-Российского университета*. – 2008. - №3. – С. 90-100.