

Для этого способа сварки проведен расчет режимов сварки. С целью обеспечения полного проплавления применена оптимальная подготовка свариваемых кромок и сборки сварного соединения.

Разработанная технология сборки и сварки трубной доски была использована в ООО «СМП-95» при изготовлении водогрейного жаротрубного стационарного котла номинальной теплопроизводительностью 800 кВт.

## **ЛАЗЕРНОЕ ВОЗДЕЙСТВИЕ НА ПОВЕРХНОСТЬ ПОКРЫТИЯ, ВЫПОЛНЕННОГО ПЛАЗМЕННОЙ НАПЛАВКОЙ ПОРОШКА ИЗ СТАЛИ Р6М5**

*Силантьев С.А.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Хайдарова А.А., к. т. н., доцент кафедры  
оборудование и технология сварочного производства*

Вопросы создания рабочих поверхностей деталей механизмов и машин с высокими механическими и триботехническими свойствами решаются различными способами: нанесением покрытий методами наплавки или напыления, термической обработкой, поверхностной обработкой высококонцентрированными источниками энергии: электронным лучом, концентрированной плазменной струей или лазером. Особое предпочтение отдается лазеру, как средству, позволяющему изменять структуру в приповерхностном слое металла с высокой скоростью и не требующего специальной защиты от окружающего воздуха, если обрабатываемый материал в этом не нуждается.

Наибольшая эффективность лазерной обработки достигается в случае её применения к сталям, которые способны закаляться и претерпевать аустенитно-мартенситные превращения [1]. В этой связи представляют интерес быстрорежущие стали типа Р6М5, Р18, Р12. Можно предположить, что дополнительная обработка импульсами лазера таких покрытий позволит существенно расширить область их применения за счет текстурирования поверхности, которое положительно зарекомендовало себя в работах [2,3].

В ходе исследовательской работы воздействие лазерным излучением осуществляли на предварительно отполированную до шероховатости Ra 0,08 мкм поверхность покрытия из стали Р6М5. Покрытие было предварительно выполнено методом плазменно-порошковой наплавки при силе тока ( $I_n$ ) 200 А и скорости наплавки ( $V_n$ )

0,17 см/с.

В качестве источника излучения использовали лазерную сварочную установку НТФ-50Т с алюмо-иттриевым твердотельным лазером.

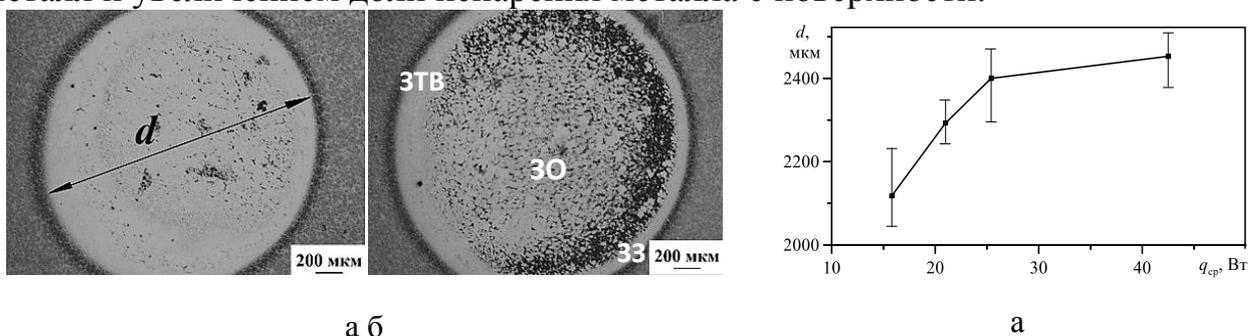
Режимы обработки поверхности отличались мощностью воздействия импульсов прямоугольной формы (таблица 1). Обработка лазерным излучением производилась на открытом воздухе, без защиты поверхности покрытия от окисления.

На рис. 1 представлена макроструктура поверхности единичных точек, полученная с помощью оптической металлографии после полировки и травления поверхности. Все точки имеют три характерных участка: зона оплавления (ЗО) – центральная часть пятна; зона закалки (ЗЗ) – неравномерно протравленная окружность, отличающаяся структурной неоднородностью; зона термического влияния (ЗТВ) – светлая окружность с примыкающей к ней темной, хорошо протравленной окружностью.

Таблица 1. Параметры режимов воздействия лазерным излучением на структуру и свойства наплавленного слоя из стали Р6М5

№ режима	Пиковая мощность, кВт	Средняя мощность, Вт	Энергия импульса, Дж	Длительность импульса, мс	Частота следования импульсов, Гц
1	1,50	15,8	10,5	7	Одиночный импульс
2	2,00	21,0	14		
3	2,42	25,4	16,94		
4	4,05	42,5	28,35		

Диаметр точек импульсного воздействия  $d$ , измеренный до хорошо протравленного участка зоны термического влияния, с ростом мощности ЛИ увеличивается (рис. 2,а). При этом заметно снижение темпа роста диаметра пятна при повышении мощности до 42,5 Вт, что в значительной степени связано с большим углублением луча лазера в металл и увеличением доли испарения металла с поверхности.



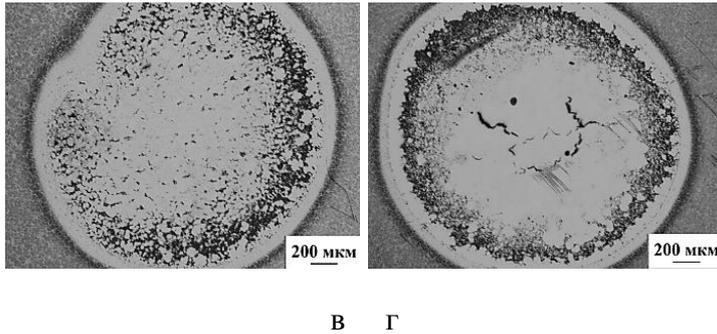


Рис. 1. Макроструктура поверхности точки, полученной при средней мощности ЛИ: а – 15,8 Вт, б – 21,0 Вт, в – 25,4 Вт, г – 42,5 Вт

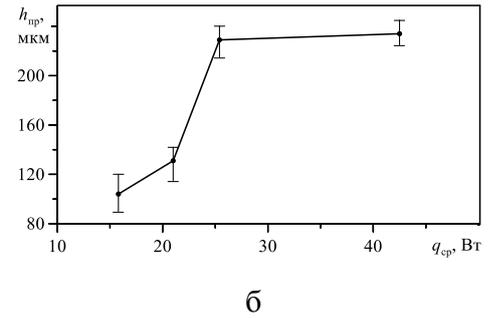


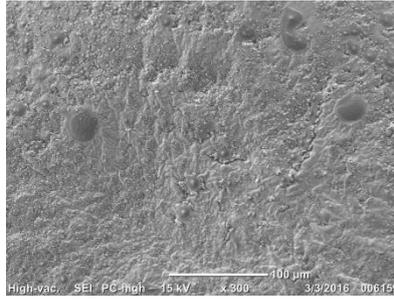
Рис. 2. График изменения диаметра пятна облучения (а) и глубины проплавления (б) при увеличении мощности лазерного излучения

Капиллярные и термокапиллярные явления, происходящие в точках расплава, наряду с мартенситными превращениями, приводят к деформации поверхности за счет изменения силы поверхностного натяжения и формированию трещин в центре пятна. При этом, чем больше коэффициент формы провара ( $k=h_{пр}/d$ ), который увеличивается с ростом мощности ЛИ, тем больше возникающие деформации и размеры трещин (рис. 1,г).

С увеличением мощности или энергии импульса глубина воздействия возрастает (рис. 2,б), однако ее изменение носит неравномерный характер. При лазерном импульсе средней мощности (15,8...21,0 Вт) глубина нагрева составляет 100...130 мкм. Дальнейшее увеличение мощности до 25,4 Вт приводит к скачкообразному повышению глубины до ~230 мкм с одновременным ростом слоя расплавленного металла на стенках парогазового канала, в результате чего происходит замедлению проплавления даже при увеличении мощности до 42,5 Вт.

В зоне оплавления за счет больших скоростей кристаллизации металла из жидкого состояния происходит значительное изменение исходной структуры стали Р6М5 (рис. 3,а). 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. С увеличением мощности лазерного излучения до 25,4 Вт наблюдается вытеснение кратеров к зоне закалки.

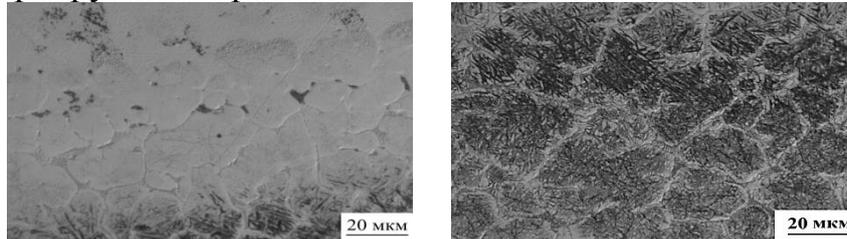


а

Рис. 3. Микроструктура зоны оплавления

Зона закалки представляет собою аустенитно-мартенситную матрицу с сеткой эвтектических карбидов, расположенных по границам зерен (рис. 4,а). В отличие от пластинчатой структуры эвтектических карбидов, находящихся в исходном состоянии в стали Р6М5, в зоне закалки карбиды представлены в виде диспергировавших образований, расположенных ближе к зоне оплавления, и стержней, расположенных ближе к зоне термического влияния.

Зона термического влияния имеет крупноогольчатое мартенситное строение с сеткой эвтектических карбидов по границам зерен (рис. 4,б). Ширина ЗТВ определенной зависимости от мощности луча лазера не имеет и варьируется в пределах от 80 до 110 мкм.



а б

Рис. 4. Микроструктура зоны закалки (а) и зоны термического влияния (б)

Уровень твердости в ЗТВ снижается на 25...30% по сравнению с твердостью основного материала, не подверженного обработке (рис. 5).

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 (рис. 5, а-в). Средний уровень твердости данных зон сравним с твердостью стали Р6М5 в состоянии после наплавки (~790...800НВ).

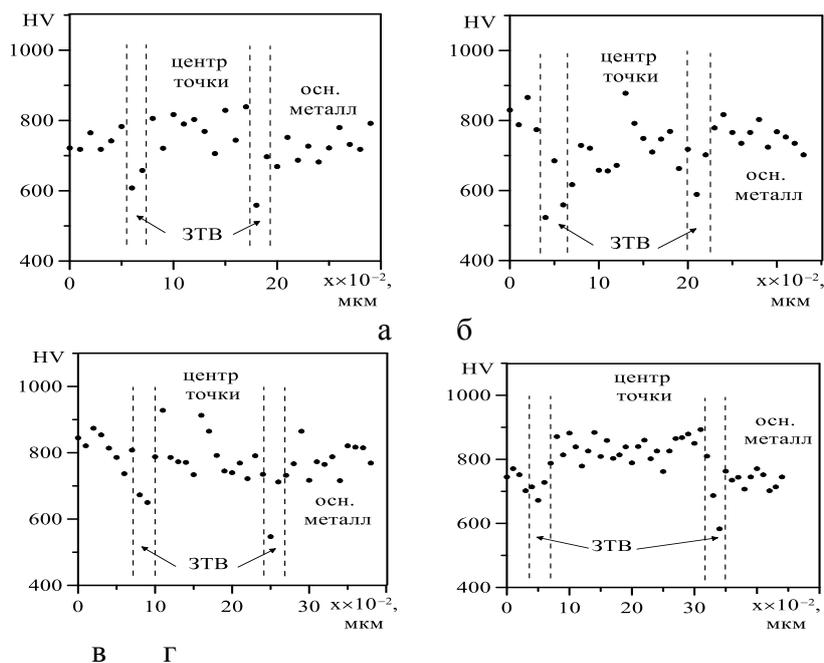


Рис. 5. Распределение микротвердости в продольном направлении поверх точек лазерного воздействия

### Выводы:

Увеличение средней мощности импульсов лазера от 15,8 Вт до 25,4 Вт приводит к росту глубины лазерного воздействия на покрытие из стали Р6М5 в 2 раза. Формирование трех зон при импульсной лазерной обработке способствует неравномерному распределению микротвердости на поверхности обработанного материала. При обработке стали Р6М5 одиночными импульсами лазерного излучения мощностью от 15,8 до 25,4 Вт существенного упрочнения поверхности не происходит.

### Список информационных источников

1. Ho Jun Shin, Young Tae Yoo. Microstructural and hardness investigation of hot-work tool steels by laser surface treatment. Journal of materials processing technology 201(2008) 342–347.
2. A. Dunn, K.L. Wlodarczyk, J.V. Carstensen, E.B. Hansen, J. Gabzdyl, P.M. Harrison, J.D. Shephard, D.P. Hand. Laser surface texturing for high friction contacts. Applied Surface Science 357 (2015) 2313–2319
3. S.Razi, Kh.Madanipour, M. Mollabashi. Laser surface texturing of 316L stainless steel in air and water: A method for increasing hydrophilicity via direct creation of microstructures. Optics&LaserTechnology80(2016)237–246.

4. 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.

## **ОСОБЕННОСТИ ТЕПЛООВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ ОДИНОЧНЫХ ИМПУЛЬСОВ ТОКА ПРИ АРГОНОДУГОВОЙ СВАРКЕ НЕПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ**

*Скрипко С.И.*

*Томский политехнический университет, г. Томск*

*Научный руководитель: Гордынец А.С., к.т.н., ассистент кафедры оборудования и технологии сварочного производства*

Для соединения деталей малых толщин и размеров широко применяются микроплазменная, электроннолучевая, лазерная и дуговая сварка неплавящимся электродом. Однако, к недостаткам перечисленных способов относятся высокие затраты на приобретение и эксплуатацию оборудования.

В настоящее время для сварки деталей малой толщины наметилась тенденция применения дуговой сварки неплавящимся электродом в среде инертных газов одиночными кратковременными униполярными импульсами тока. Широкому применению подобного способа сварки препятствует отсутствие рекомендаций по выбору технологических параметров.

Для экспериментальных исследований влияния параметров импульса сварочного тока на геометрические размеры точки расплавления была разработана специализированная установка. Опыты производили при его фиксированной амплитуде равной 150 А. Аналогичное влияние амплитуды импульса изучали при его длительности 40 мс.

Из анализа внешнего вида точек расплавления изделия следует, что зона плавления металла имеет форму окружности, в центре которой формируется возвышенность

Анализ результатов эксперимента показал, что диаметр точки расплавления возрастает с повышением амплитуды импульса тока, при этом его длительность оказывает аналогичное влияние но в меньшей степени. Глубина проплавления растёт с увеличением длительности импульса, в то время как амплитуда импульса тока показывает схожее, но более слабое воздействие