

УДК 621.791

ВЛИЯНИЕ ДЛИТЕЛЬНОСТИ ИМПУЛЬСОВ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ НА СВОЙСТВА НАПЛАВЛЯЕМЫХ ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

А. В. МАКСИМЕНКО, В. Н. МЫШКОВЕЦ, Г. А. БАЕВИЧ

*Учреждение образования «Гомельский государственный
университет имени Франциска Скорины»,
Республика Беларусь*

Введение

В настоящее время в ряде направлений промышленности, где используется лазерное технологическое оборудование, достигнуты производственно-экономические результаты, которые нельзя реализовать другими техническими средствами. Одно из таких направлений – лазерные технологии наплавки металлов для восстановления рабочих поверхностей деталей и узлов различных механизмов, штампов и инструмента, у которых во время изготовления или при их эксплуатации образуются дефекты в виде сколов, трещин, забоин, пор и раковин литейных отливок, а также дефекты, вызванные коррозионными поражениями или износом. Восстановленные детали с использованием лазерной наплавки имеют ресурс работы новых, а стоимость восстановления составляет 10–30 % от их стоимости [1]–[3].

Такие отрасли промышленности, как машиностроение, станкостроение, авиастроение и др., применяют широкий спектр деталей и узлов, изготовленных из легированных высокопрочных конструкционных сталей. Для восстановления таких деталей с сохранением эксплуатационных характеристик необходимо наносить покрытия с физико-механическими свойствами, равноценными свойствам основы.

Известные газотермические и лазерные (с применением излучения непрерывных лазеров) методы нанесения покрытий с использованием присадочных материалов в виде порошка не всегда могут быть использованы, потому что при нагреве происходит разупрочнение материала основы, а фазовые и структурные превращения в наплавляемых металлах приводят к высокому уровню остаточных напряжений и формированию микротрещин [4], [5]. Для получения покрытий со свойствами, близкими к свойствам основы, необходимо проводить дополнительную термическую обработку всей детали, которая может привести к изменению ее геометрических размеров, выходящих за поле допуска.

Так как высокопрочные стали – это материалы, прошедшие термическую обработку (закалка и низкотемпературный отпуск), то в процессе их наплавки вследствие неравномерного нагрева и охлаждения, в разных зонах наплавленного металла и основы происходят различные фазовые и структурные превращения. Это приводит к тому, что на одних участках образуются закалочные структуры, обладающие повышенной твердостью и хрупкостью, на других – металл подвергается отпуску и имеет пониженную твердость и прочность [6]–[8]. Этим обусловлены ограничения, накладываемые на режимы наплавки и условия проведения процесса, при которых обеспечивается реализация требуемых свойств наплавляемого металла.

Проблемы такого рода могут быть решены путем использования твердотельных импульсно-периодических лазеров с изменяемой во времени интенсивностью излучения и присадочных материалов в виде проволоки. Особенностью импульсной ла-

зерной наплавки является то, что за счет изменения энергетических и временных параметров импульсов излучения (соответственно, скорости нагрева и охлаждения наплавляемого металла и основы) возможно управлять структурными и фазовыми превращениями, а также физико-механическими свойствами металлов в зоне лазерного воздействия.

Целью данной работы являлось проведение экспериментальных исследований по определению влияния длительности импульсов лазерного излучения на физико-механические свойства наплавленного металла и основы.

Экспериментальная часть

Экспериментальные исследования проводились на образцах из низко- и среднелегированных высокопрочных сталей (30ХГСА, 30ХГСН2А), находящихся в термообработанном состоянии (закалка и низкотемпературный отпуск). Степень структурной неоднородности наплавленного металла и основы оценивалась по результатам измерения микротвердости.

В качестве присадочных материалов использовалась проволока Св-18ХМА ГОСТ 2246–70, а также Св-30ХГСА и 30ХГСН2А. Выбор проволоки Св-18ХМА обоснован тем, что она используется для проведения сварки высокопрочных сталей [8]. Диаметр присадочных материалов варьировался в диапазоне $(0,3–0,5)10^{-3}$ м. Наплавка проводилась в среде аргона (расход аргона 3–4 л/мин) с использованием лазерной установки, созданной на базе твердотельного импульсно-периодического лазера на алюмо-иттриевом гранате, длина волны излучения 1,06 мкм. Энергия излучения устанавливалась в диапазоне от 4,5 до 15 Дж. Форма импульсов излучения – треугольная с крутым передним фронтом и убывающим задним (рис. 1). Длительность импульсов изменялась в диапазоне от 2 до $20 \cdot 10^{-3}$ с при частоте следования 7 Гц.

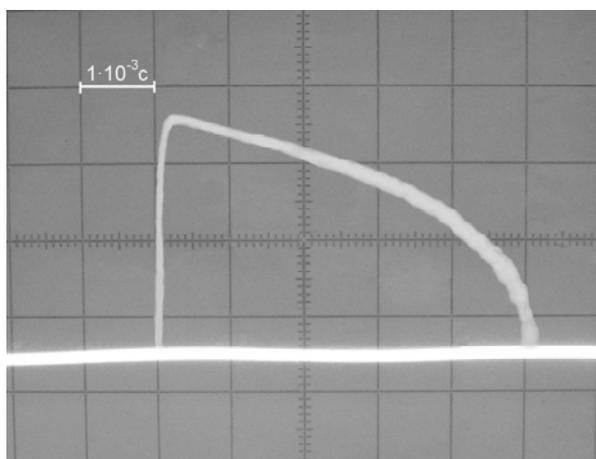


Рис. 1. Оциллограмма временного изменения потока энергии лазерного излучения

Пространственно-энергетические и временные параметры лазерного излучения выбирались в соответствии с диаметром присадочного материала, обеспечивающим однородный расплав присадочного материала и основы. Наплавка проводилась с коэффициентом перекрытия пятен 0,5–0,7.

При однослойной наплавке присадочными материалами Св-18ХМА и 30ХГСН2А ($d = 0,3 \cdot 10^{-3}$ м) на поверхность образцов из стали 30ХГСН2А при длительности импульса излучения $6 \cdot 10^{-3}$ с было установлено, что наплавленный металл не содержит трещин, пор и других дефектов. Характер распределения микротвердости по глубине с использованием присадочного материала Св-18ХМА (рис. 2) показал значительное повышение микротвердости в наплавленном металле, достигающей значений

7340–7850 МПа относительно микротвердости основы (4460 МПа). Как видно из рис. 2, при наплавке стали 30ХГСН2А микротвердость наплавленного металла увеличивается до 7000 МПа, а в зоне термического влияния (ЗТВ) – до 7150 МПа.

Результаты исследований показали, что снижения микротвердости основы (менее 4460 МПа) в зоне воздействия лазерного излучения не происходит.

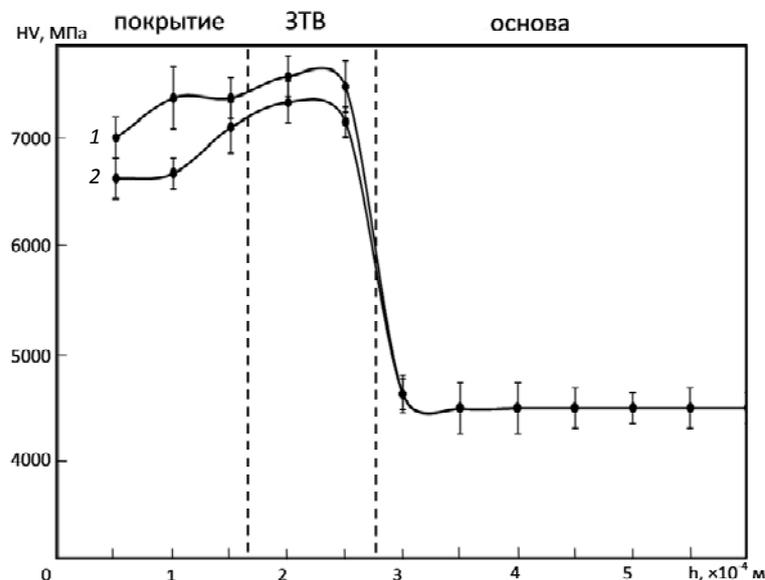


Рис. 2. Распределение микротвердости по глубине наплавленного слоя и основы в образце из стали 30ХГСН2А:
1 – присадочный материал сталь Св-18ХМА;
2 – присадочный материал сталь 30ХГСН2А

При наплавке на поверхность образцов из стали 30ХГСА присадочным материалом Св-30ХГСА (рис. 3) было установлено, что микротвердость металла в зонах наплавленного металла, ЗТВ и основы (рис. 4) различна. Микротвердость первого слоя (зона наплавленного металла), который в момент действия импульса находился в расплавленном состоянии, составляет 5100 МПа.

Второй слой – часть зоны нагрева (ЗТВ), где температура была выше верхней критической точки A_{c3} , но не превышала температуру плавления стали и постепенно снижалась по мере удаления от поверхности наплавки, характеризуется микротвердостью (5200–5800 МПа). Микротвердость основного металла – 3800 МПа. На границе ЗТВ – основа и далее вглубь основного металла снижения микротвердости не происходит.

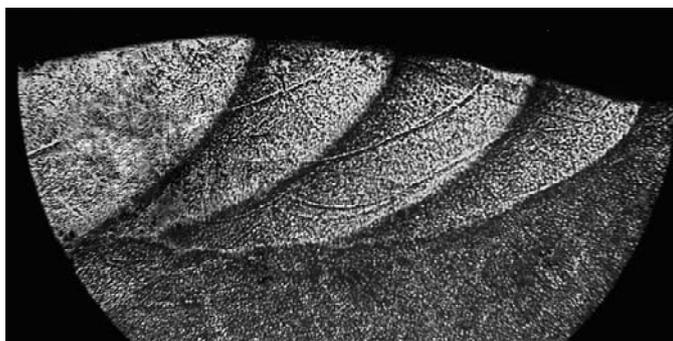


Рис. 3. Общий вид зоны лазерного воздействия в продольном сечении образца из стали 30ХГСА с однослойным покрытием (100×)

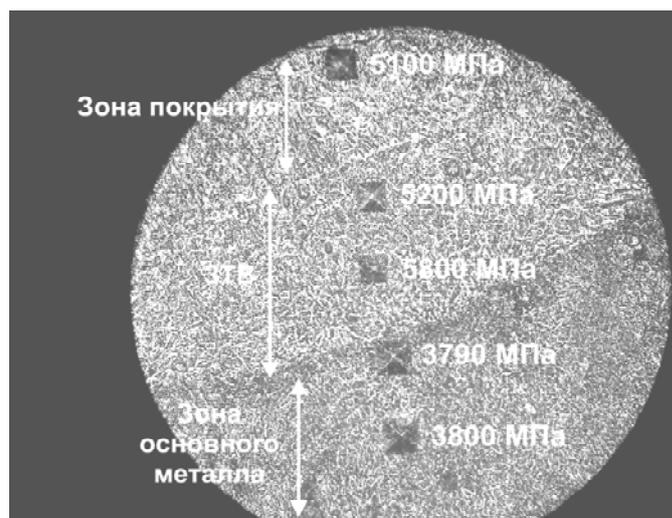


Рис. 4. Микроструктура и значения микротвердости в однослойном покрытии и основе из стали 30ХГСА (400×)

В ходе анализа структур полученных образцов выявлено, что в процессе обработки имеет место лазерная автозакалка металла из жидкой и твердой фаз. Зона покрытия представляет собой слой, в структуре которого выделяются крупноигольчатый мартенсит и остаточный аустенит. Твердость материала в покрытии ниже, чем в ЗТВ. Это может быть обусловлено тем, что количество остаточного аустенита уменьшается при удалении от поверхности наплавки вглубь и уже на глубине $0,5-0,6 \cdot 10^{-4}$ м не превышает его содержания в данной стали при ее обычной объемной закалке. Вместе с тем вследствие высокой степени легирования аустенита и его фазового наклепа материал наплавки по твердости превосходит исходный материал основы после его закалки и низкого отпуска. Кроме этого, в ЗТВ, особенно в нижней ее части, при микроструктурном анализе выявлен мелкоигольчатый мартенсит.

Ввиду того, что на формирование структур в основном и наплавляемом металлах существенное влияние оказывают скорость нагрева и охлаждения их в зоне воздействия, которые зависят от энергетических и временных параметров импульсов лазерного излучения. В работе проводились исследования по установлению влияния длительности импульсов лазерного излучения на распределение микротвердости в покрытиях и основе при заданном значении плотности мощности ($6,31 \cdot 10^9$ Вт/м²). Наплавка проводилась присадочным материалом в виде проволоки диаметром $0,5 \cdot 10^{-3}$ м из того же материала, что и материал основы.

Исследования показали, что при импульсной лазерной наплавке длительность импульсов оказывает влияние на микротвердость в различных зонах наплавляемого металла и основы (рис. 5). При построении графиков каждое значение микротвердости на определенной глубине рассчитывалось как среднее 10 измерений. Экспериментально выявлено, что при заданной плотности мощности значение микротвердости в зоне расплава и ЗТВ при наплавке сталей 30ХГСА и 30ХГСН2А уменьшается с увеличением длительности импульса; при этом значения микротвердости в ЗТВ больше, чем в зоне расплава.

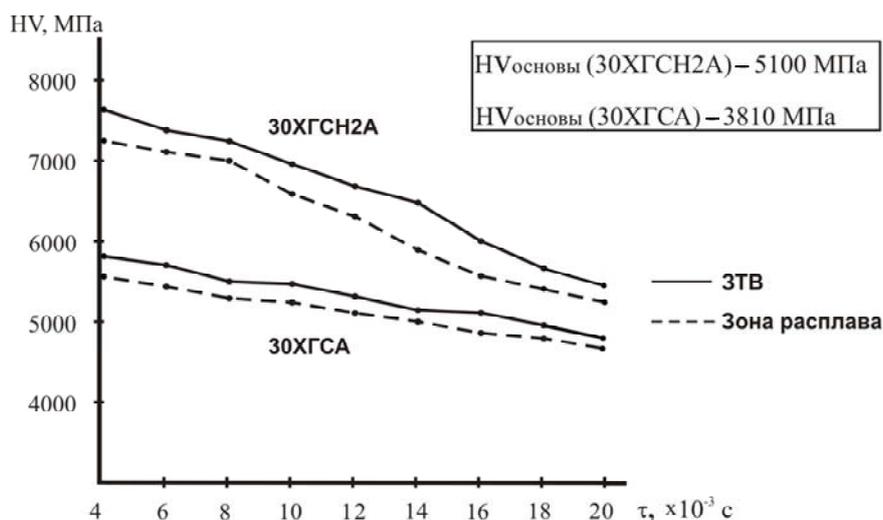


Рис. 5. Зависимость микротвердости металла в зоне расплава и ЗТВ от длительности импульса лазерного излучения

Для исследованных сталей микротвердость в зонах наплавки и термического влияния уменьшается (для стали 30ХГСА до – 4800 МПа относительно микротвердости основы 3800 МПа, а для стали 30ХГСН2А – до 5500 МПа с микротвердостью основы 5100 МПа) при длительности импульсов лазерного излучения $20 \cdot 10^{-3}$ с.

Заключение

При однослойной наплавке имеет место лазерная автозакалка металла из жидкой и твердой фаз. Покрытие представляет собой слой, в структуре которого присутствуют крупноигльчатый мартенсит и остаточный аустенит. Микротвердость металла в покрытии в 1,5–2 раза выше микротвердости основы.

На границе ЗТВ основа снижения микротвердости основного металла не происходит.

Изменение микротвердости высокопрочных сталей в зоне наплавки и ЗТВ при воздействии импульсов с заданным значением плотности мощности возможно посредством изменения длительности импульсов лазерного излучения.

Приведенные в настоящей работе данные могут быть полезными при выборе и оптимизации технологических режимов импульсной лазерной наплавки высокопрочных сталей.

Литература

1. Гофман, Я. Восстановление сменных деталей с помощью лазерных технологий / Я. Гофман // Автомат. сварка. – 2001. – № 12. – С. 37–38.
2. Иванов, Н. Л. Технологические лазеры и их применение в машиностроении / Н. Л. Иванов, В. С. Гаврилюк, А. М. Жилкин // Технология металлов. – 2000. – № 1. – С. 39–45.
3. Технология лазерной обработки конструкционных и инструментальных материалов в авиадвигателестроении / Р. Р. Латыпов [и др.] ; под общ. ред. В. Ф. Безьязычного. – М. : Машиностроение, 2007. – 234 с.
4. Григорьянц, А. Г. Формирование наплавленных слоев с использованием лазерного импульсно-периодического излучения / А. Г. Григорьянц, А. И. Мисуров, Чжан Цин // Свароч. пр-во. – 2007. – № 8. – С. 18–21.

5. Грезев, А. Н. Трещинообразование сплавов, наплавление с помощью лазера / А. Н. Грезев, А. Н. Сафонов // Свароч. пр-во. – 1986. – № 3. – С. 6–8.
6. Справочник по конструкционным материалам / Б. Н. Арзамасов [и др.] ; под ред. Б. Н. Арзамасова, Т. В. Соловьевой. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2005. – 640 с.
7. Грабин, В. М. Материаловедение сварки низко- и среднелегированных сталей / В. М. Грабин, А. В. Денисенко. – К. : Наукова думка, 1978. – 272 с.
8. Технология и оборудование сварки плавлением / Г. Д. Никифоров [и др.]. – М. : Машиностроение, 1987. – 327 с.

Получено 03.04.2013 г.