

УДК 621.7

**Калиниченко М.Л., Калиниченко В.А., Луцко Н.И.,
Лапковский А.С.**

*Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь*

ИССЛЕДОВАНИЕ СВОЙСТВ ПОВЕРХНОСТНЫХ СЛОЕВ X12МФ ПОСЛЕ ВЫСОКОЭНЕРГЕТИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

Статья рассматривает вопросы увеличения ресурса службы стали для холодной штамповки типа X12МФ с помощью высокоэнергетического воздействия на ее рабочую поверхность. Для реализации данной задачи были использованы перспективные лазеры. При выборе эффективного лазерного источника для упрочнения поверхностей необходимо учитывать не только влияние параметров лазерного луча, но и неоднородность структуры поверхностного слоя, наличие в нем карбидообразующих элементов. Далее рассмотрены вопросы изменения структуры штамповой стали после ее высокоэнергетической обработки.

Ключевые слова: *Штамповые стали, упрочнение поверхности, распределение элементов, структуры.*

Штамповые стали, как и все виды упрочненных сталей, имеют высокую степень неоднородности, что позволяет им сочетать в себе свойства твердости и пластичности [1-3]. Для рассмотрения ее состава был произведен химический анализ на площади 150мкм x150мкм. Для этого был выбран участок с типичной структурой. Исходя из рентгеноструктурного анализа максимальные пики [3] относятся к формообразующему железу и основному модификатору хрому. По анализу основных точек, являющихся формообразующими для данной структуры был проведен спектральный анализ основных элементов [4]. Анализируя точку 1, можно пронаблюдать высокое термическое воздействие лазерного излучения на материал (Рис.1). При этом следует отметить, что поверхность образца является достаточно ровной, соответствует требованиям шероховатости поверхности необходимой для готового изделия. При этом видно, что по дорожке проведенной лазером, произведена практически полная гомогенизация внутреннего слоя. На рис.1 представлено равномерное распределение хром содержащих частиц в зоне обработки (вверху), и крупные частицы (внизу) в зоне не попавшей в область термоудара.

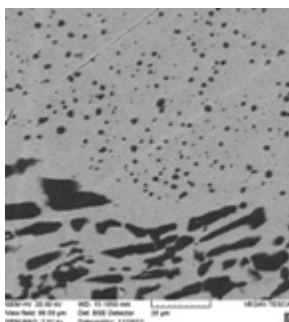


Рисунок 1. Матричная зона в основе по точке 1

Для подтверждения вопросов гомогенизации элементов был произведен анализ распределения элементов по сечению шлифа. Было выявлено, что распределение кремния, никеля, марганца, молибдена и меди практически не изменяются по сечению образца, в то время как основным легирующим элементом хром, показывает четкую систему гомогенизации, что может повлечь за собой повышение износостойкости и триботехнических свойств. Для удостоверения данных было проведено картирование по основным легирующим элементам ранее используемого образца (Рис.2). Для проверки условий по картированию линии 1 были сверены результаты на наименьшем отклонении (чистой дорожке) на том же образце. Как показали исследования в зоне меньшего излучения (край дорожки) наблюдается практически такая же картина. Для окончательной оценки воздействия лазерного излучения был проведен химический анализ по распределению элементов по поверхности шлифа при различных параметрах воздействия. На первом этапе был исследован образец с максимальным подводом энергии от оптоволоконного лазерного излучателя (параметры обработки $d=4\text{мм}$, $v=1000\text{мм/мин}$, $P=1,4\text{кВт}$). Для анализа его воздействия были выбраны 10 точек на обработанном образце (Рис.4). При выборе точек основной акцент делался на равномерность и типичность структуры присущей данной области образца. Выбранное количество пунктов измерения полностью соответствовало матрице и схеме измерений проведенной на исходном материале.

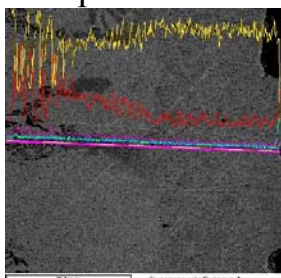


Рисунок 2. Сечение рентгеноструктурного анализа образца в точке 1

Из распределения элементов видно, что по матрице железо и по хрому спадают максимальные пики и идет усреднение структуры (Рис.3).

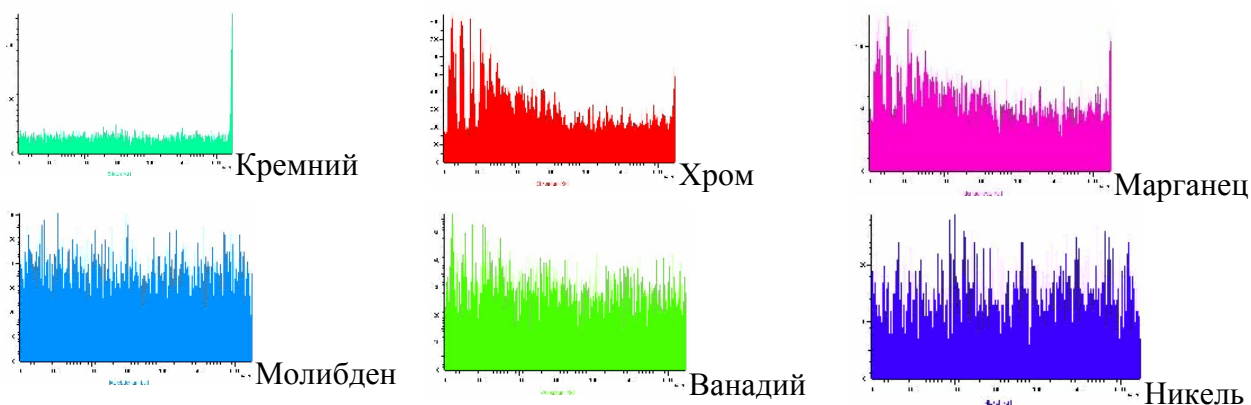


Рисунок 3. Рентгеноструктурный анализ по основным элементам по линии рис.2.

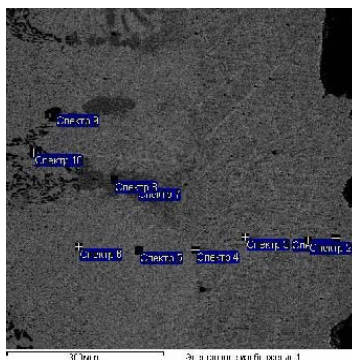


Рисунок 4. Химический состав по точкам образца обработанного оптоволоконным лазером

Из которой видно, значительное уменьшение хром содержащей фазы (до 18 % по среднему, что частично может объясняться его возможным выгоранием в процессе обработки), но с другой стороны видно проявление молибденовых пиков, что в соответствии с равномерным распределением хрома может повысить технологические свойства поверхности в 2 и более раза.

Однако, в ряде случаев, наблюдается неравномерность обработки поверхности и вспенивания материала основы. Данный аспект, возможно, объясняется резким испарением легкоплавких фаз или наличием в металле газо-содержащих примесей. Так как данный эффект не является типичным для рассматриваемого материала, то для анализа распределения элементов была выбрана линия с наиболее равномерной структурой (Рис.5).

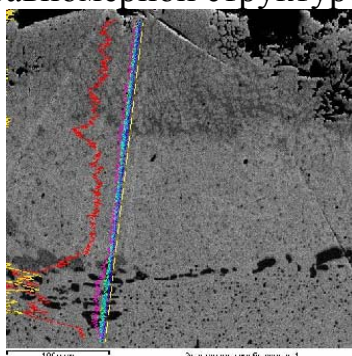


Рисунок 5. Линия анализа элементов после обработки оптоволоконным лазером (точка 2)

Как видно из рисунка глубина воздействия лазерного излучения заметно ниже, чем в первом случае и уступает ей порядка в 3-4 раза. Однако распределение элементов практически полностью повторяет первый режим обработки, что соответствует постулату о сходимости процессов протекающих при однотипных режимах обработки. Данный факт свидетельствует об одинаковом влиянии на материал основы. Стоит отметить, что при анализе элементов по поверхности шлифа (Рис.6) было выявлено, что молибден содержащие фазы практически не присутствуют в данном образце (Рис.7), что возможно можно объяснить неравномерным распределением элементов по сечению образца, либо результатом предварительного упрочнения (ковки).

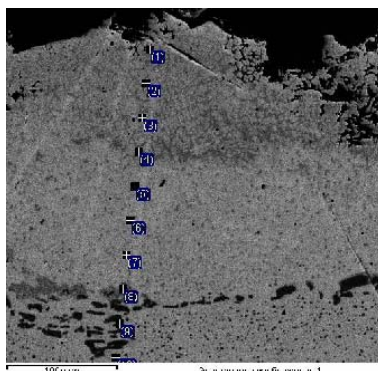


Рисунок 6. Контрольные точки для анализа распределения элементов при воздействии оптоволоконного лазера (точка 2)

Для удешевления обработки был использован CO_2 лазер, как самый распространенный на предприятиях Республики Беларусь. При его использовании было выявлено, что глубина структурных изменений ниже, чем при использовании оптоволоконного лазера и составляет около 50-70 мкм (Рис.8). При этом внешний вид обработанной поверхности соответствует случаям рассмотренным выше.

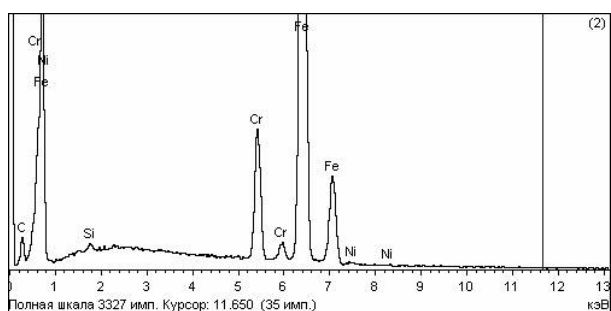


Рисунок 7. Рентгеноструктурный анализ образца обработанного оптоволоконным лазером в точке 2 на химический состав

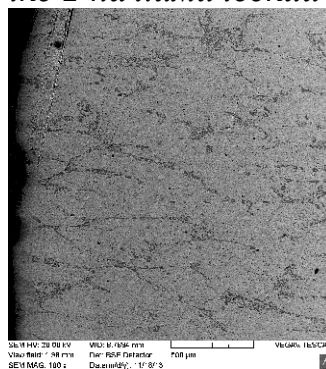


Рисунок 8. Внешний вид обработанного слоя после воздействия излучения CO_2 лазера (режим $d=4\text{мм}$, $v=1000\text{мм/мин}$)

В качестве положительного момента данного типа обработки следует отметить, что она практически не вносит изменения в шероховатость поверхности (Рис.8), оставляя ее исходной шероховатости исходного образца. При этом, как и при обработке на оптоволоконном лазере, влияния термополей и напряжений на материал основы не наблюдалось, что оставляет за собой все ударопоглощающие свойства, свойственные инструментальным ста-

лям. Оценка изменений качества поверхности при CO_2 обработке проводилась по линии максимальной нахождения хрома, так как изменение феррохромидов и карбидов хрома может привести к кардинальным изменениям и свойствам стали. И показала более высокую гомогенизацию по легирующим элементам, таким как хром, марганец и ванадий в отличие от оптоволоконного лазера, что возможно связано с большей активностью излучения в поверхностных слоях.

По анализу распределения элементов было выявлено, что CO_2 лазер хоть и не обладает высокой проникающей способностью, зато практически не изменяет исходный состав элементов, что было показано и в предыдущих работах [3, 4].

Заключение.

В штамповых сталях, к которой относится X12MФ, высокие прочностные свойства достигаются за счет карбидной составляющей, состоящей из сложных карбидов (Cr, Fe, V, M) C, которая является неоднородной. Повышение поверхностной твердости может быть достигнуто получением равномерной мелкозернистой структуры, с включениями карбидо-содержащих фаз, равномерно распределенных в железосодержащей матрице.

По результатам проведенных исследований было выявлено, что данный материал при тех или иных условиях склонен к лазерному упрочнению. Однако, следует учитывать, наличие крупных хром содержащих включений, что может повлечь за собой низкую трещиностойкость и изменение геометрии при обработке длинномерных образцов. Проведенные исследования показали, что достаточно сложно получить упрочненный слой после лазерной обработки на поверхностном уровне, что возможно связано с выжиганием легирующих элементов. Поэтому после проплавления поверхности и получения гомогенного слоя глубиной 0,1-1,0 мм была предложена либо полировка поверхности до зоны максимального упрочнения (в зависимости от требуемой точности изделия), либо проведение отпуска в зонах высокого проникновения лазерного упрочнения.

Список использованных источников:

1. Григорьянц А.Г. Технологические процессы лазерной обработки. Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. М. Изд. МГУим. Баумана. - 2008г., 663с.
2. W. Amende: Härten von Werkstoffen und Bauteilen des Maschinenbaus mit dem Hochleistungslaser, VDI-Verlag, Düsseldorf, 1985
3. М.Л. Калиниченко, В.А. Калиниченко, С.В. Григорьев, М.С. Кардаполова. Металлографический анализ стали типа X12MФ после закалки лазерным излучением. Литье и металлургия. №1. 2014. с.88-92
4. В.А. Калиниченко, М.Л. Калиниченко, М.С. Кардаполова, П.В. Веримей. Анализ ряда свойств стали X12MФ после высокоэнергетической обработки. Литье и металлургия. №2. 2014. с.81-85