

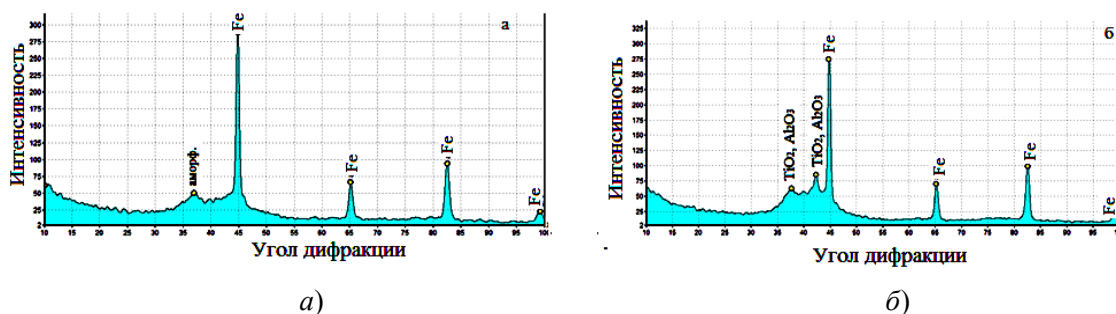


Рис. 3. Рентгеновские дифрактограммы оксикарбидных покрытий на основе системы Ti–Al–Cr–Ni, сформированных при различных давлениях CO_2 :
а – $P_{\text{CO}_2} = 0,5$ Па; б – $P_{\text{CO}_2} = 0,25$ Па

Тенденция к аморфизации пленок и покрытий на основе высокоэнтропийных соединений может быть связана с высокой энтропией смешения и большой разницей в размерах атомов. Высокая энтропия смешения повышает взаимную растворимость различных элементов в покрытиях и препятствует возникновению фазового разделения. Между тем большая разница в размерах атомов вызывает сильное искажение решетки и может способствовать формированию аморфной структуры. Снижение давления до 0,25 Па приводит к формированию пиков на дифрактограмме покрытий, которые могут соответствовать фазам TiO_2 , TiC , Al_2O_3 (рис. 3, б).

Литература

1. Microstructures and properties of high-entropy Alloys / Y. Zang [et al.] // Progress in Materials Science. – 2014. – Vol. 61. – P. 1–93.
2. Oxidation resistance and characterization of (AlCrMoTaTi)-Si_x-N coating deposited via magnetron sputtering / D.-C. Tsai, M.-J. Deng; Z.-C. Chang [et al.] // J. Alloys Compd. – 2015. – Vol. 647. – P. 179–188.
3. Synthesis of Al-Ti-Fe-Cr-Ni-N protective coatings by the method of vacuum-arc deposition from a separated vacuum flow / S. Latushkina, D. Kuis, O. Posylkina [et al.] // Materials Letters. – 2021. – Vol. 303. – P. 130527.
4. Многоэлементные покрытия (Zr–Ti–Al–Nb–Y)N, полученные вакуумно-дуговым осаждением / И. Н. Торьяник [и др.] // ФИП. – 2013. – Т. 11, № 4. – С. 420–426.

УДК 621.373.8

ВЛИЯНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ЗАКАЛКИ НА МОРФОЛОГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ПОВЕРХНОСТИ СТАЛИ

Е. Г. Акунец¹, И. В. Царенко¹, Е. Н. Волнянко²

¹Гомельский государственный технический университет
имени П. О. Сухого, Республика Беларусь

²ГНУ «Институт механики металлополимерных систем имени В. А. Белого
НАН Беларуси», г. Гомель

Технология лазерного упрочнения дает возможность повысить износостойкость и срок службы деталей без применения дорогостоящих расходных материалов, без необходимости трудоемких и энергоемких подготовительных и последующих доводочных операций, так как может производиться без нарушения макро- и микрогеометрии поверхности детали, отличается коротким технологическим циклом, оперативностью выполнения работ, относительно низкой удельной энерготрудома-

риалоемкостью и, соответственно, низкой стоимостью. А благодаря локальности воздействия может обрабатываться не вся деталь, а только ее быстроизнашивающиеся участки. Несмотря на большое количество исследований лазерной обработки стали 45 наличие большого количества противоречивых мнений (предположения о насыщении жидкого металла азотом, о влиянии азота атмосферы, о формировании микрообъемных зон нагрева чрезвычайно метастабильного состояния) говорит о многогранности характера лазерного упрочнения и перспективности его дальнейшего изучения.

Цель данной работы – оценить влияние технологических параметров процесса лазерной обработки на морфологические особенности поверхности стали.

Лазерной закалке подвергали образцы из стали 45. Обработку лазерным импульсом проводили на экспериментальной лазерной технологической установке на базе твердотельного лазера TL-400 [1]. Оптическая схема установки позволяет изменять диаметр пятна лазерного пучка в зоне обработки от 0,1 до $3 \cdot 10^{-3}$ м. Лазерное излучение в излучателе генерируется в кристаллах АИГ: Nd^{+3} . Длина волны излучения 1,064 мкм, максимальное значение средней мощности 400 Вт. Размер активных элементов $6,3 \times 130 \cdot 10^{-3}$ м. Диаметр лазерного пучка на выходе из резонатора $6 \cdot 10^{-3}$ м. Для обеспечения необходимого температурного режима работы активных элементов использовалось водяное охлаждение.

Топография поверхности изучалась с помощью растрового электронного микроскопа VEGA II LSH при увеличениях от 100 до 5000. Элементный анализ проводился методом EDX (энергодисперсионной рентгеновской спектроскопии) на этом же микроскопе с использованием приставки INCA X-act.

При кристаллизации из жидкого состояния металлы и сплавы чаще всего приобретают дендритную структуру. В условиях быстрого теплоотвода, характерного для охлаждения после лазерного нагрева, образуются столбчатые микрокристаллы, растущие перпендикулярно к границе между расплавившимся слоем и оставшейся в твердом состоянии основной массой изделия. Использование различных комбинаций технологических параметров дает возможность получения большого разнообразия структур. Всего в структурах обработанных лазерным излучением образцов можно выделить четыре типа основных структурных элементов, отраженных на рис. 1:

- зона без выраженных кристаллитов (рис. 1, а);
- зона роста дендритов (рис. 1, б);
- зона ярко выраженных кристаллитных структур (рис. 1, в);
- зона отслаиваемых образований (рис. 1, г).

Отслаиванию подвергаются аморфные области. Причем образование аморфных зон было отмечено на всех образцах. Подробный спектральный анализ этих образований указывает на повышенную в них концентрацию практически всех содержащихся в стали 45 химических элементов: кремния, марганца, хрома, серы. Причем концентрация этих элементов в этих образованиях несоизмеримо выше, чем их содержание в объеме металла. Очевидно, импульсное повышение температуры поверхности приводит к ускоренной диффузии этих элементов из объема металла на поверхность и сосредоточении в отдельные гетерогенные мультиэлементные области. Спектральный анализ кристаллитных структур вокруг этих областей показывает присутствие только двух элементов: железа и углерода, причем концентрация углерода в новообразованных кристаллитах несоизмеримо выше, чем в спектре необработанной лазером поверхности.

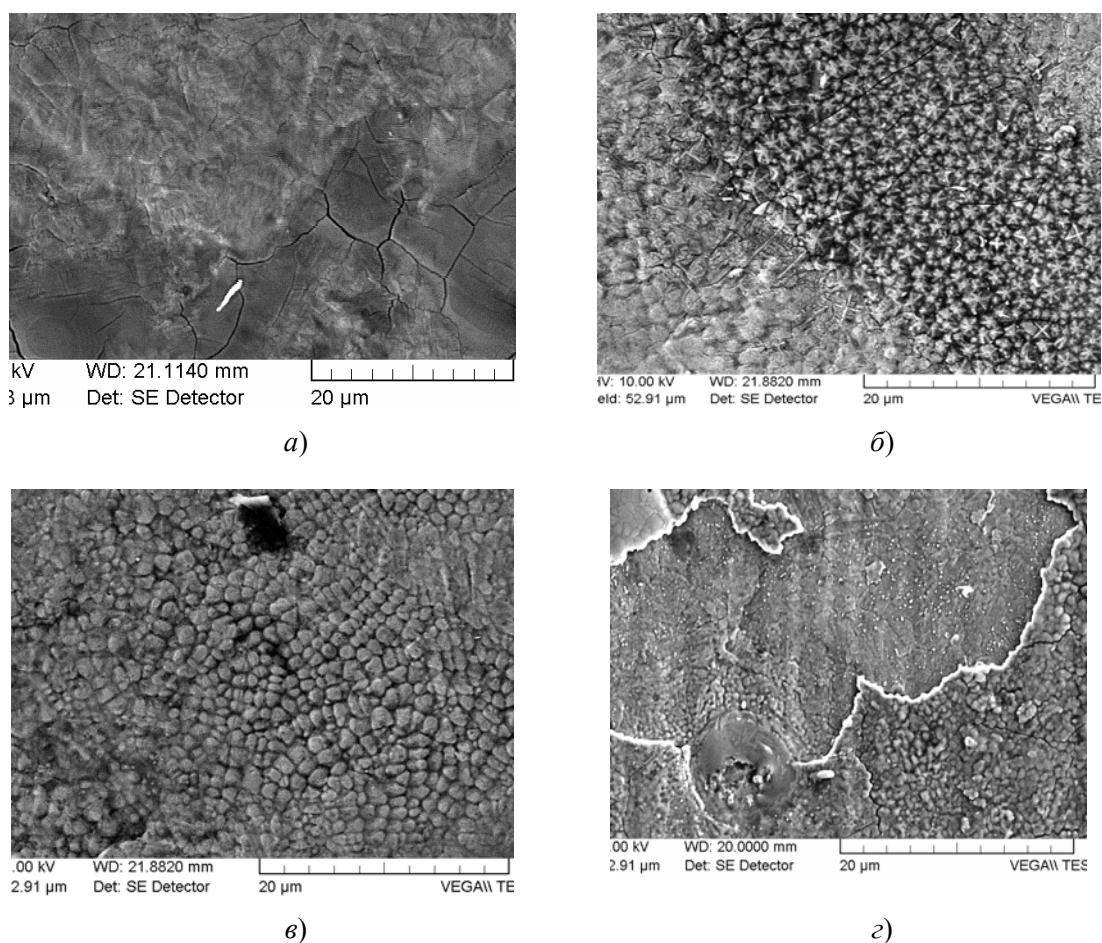


Рис. 1. Основные структурные элементы:

а – зона аморфная, без выраженных кристаллитов; б – зона роста дендритов;
в – зона ярко выраженных кристаллитных структур; г – зона отслаиваемых образований

Было отмечено, что энергия в импульсе влияет на интенсивность образования мультиэлементных зон: чем выше энергия, тем больший объем металла подвергается тепловому воздействию и тем интенсивнее процесс образования этих зон. Как указывалось выше, энергию в импульсе определяют сила тока накачки и время импульса. Но влияние этих технологических факторов на свойства мультиэлементных зон неоднозначно. Увеличение силы тока способствует росту мультиэлементных зон, тогда как увеличение времени импульса способствует их отслаиванию.

Литература

1. Оборудование для лазерной технологии обработки материалов / В. Н. Мышковец, А. В. Максименко, Г. А. Баевич, В. В. Грищенко // Белорусский промышленный форум 2006, Технологии, Оборудование Качество : тез. 9-й Междунар. симп. – Минск, 16–19 мая 2006 г.