

нения представлено на рис. 1. Из приведенных данных видно, что на закаленных образцах выше абсолютное значение микро-твердости, хотя относительное упрочнение выше для сырых образцов.

Для проверки эффективности лазерного упрочнения поверхностного слоя проведены сравнительные испытания на износостой-

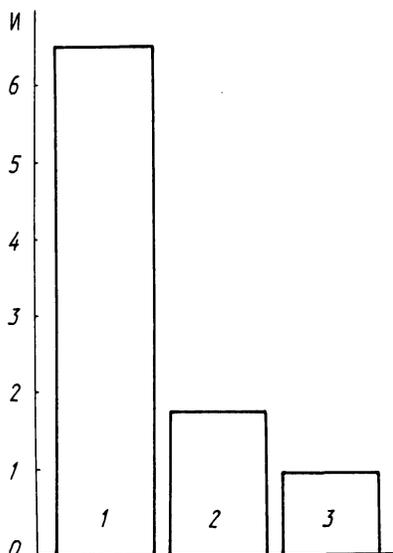


Рис. 2. Диаграмма сравнительной величины износа И для упрочненных и неупрочненных образцов из стали 40Х13: 1 – сырая сталь; 2 – закаленная сталь; 3 – закаленная, обработанная лазером сталь.

кость упрочненных и неупрочненных образцов. Диаграмма сравнительной величины износа И для различных видов обработки представлена на рис. 2. Из рисунка видно, что наибольшей износостойкостью обладают закаленные образцы с последующей обработкой излучением лазера.

УДК 621.378

Г.М.Яковлев, д-р техн. наук,  
В.А.Протасевич, М.А.Кардаполова (БПИ)

### НЕКОТОРЫЕ ВОПРОСЫ ИССЛЕДОВАНИЯ ВОЗДЕЙСТВИЯ ИЗЛУЧЕНИЯ ЛАЗЕРА НА МИКРОСТРУКТУРУ САМОФЛЮСУЮЩЕГОСЯ ТВЕРДОГО СПЛАВА

Широкое внедрение самофлюсующихся твердых сплавов в качестве защитных покрытий в машиностроении существенно сдерживается проблемой оплавления этих сплавов. В настоящей работе исследовали возможности оплавления лазерным излучением и изменения микроструктуры самофлюсующегося твердого сплава ПГ-СР4 ГОСТ 21448-75, который используется в машиностроении как износ- и коррозионностойкое покрытие.

В качестве источника лазерного излучения применяли  $\text{CO}_2$ -лазер непрерывного действия с мощностью излучения 900–1000 Вт "Катунь".

Исследования проводили на образцах из ст. 20, на поверхность которых наносился методом плазменной металлизации слой самофлюсующегося твердого сплава ПГ-СР4. Оплавление сплава производилось непрерывным излучением мощностью 750 Вт.

Плотность излучения составляла  $\sim 24 \cdot 10^3$  Вт/см<sup>2</sup>. Металлографический анализ проводился на оптическом металлографическом микроскопе МИМ-8М, микротвердость измерялась на приборе ПМТ-3.

Для сравнительной оценки эффективности оплавления лазерным излучением исследовались также образцы, оплавленные газовой горелкой.

При оплавлении лазерным излучением напыленного покрытия на поверхности образца образуется полоска оплавленного покрытия шириной 1,1 D фокусного пятна. В процессе перемещения лазерной головки по заданной программе с постоянной скоростью нами было получено твердосплавное покрытие, оплавленное лазерным излучением.

Для проведения исследований микроструктуры, микротвердости и глубины проплавления напыленного сплава образцы разрезали перпендикулярно оплавленной поверхности. Анализ составляющих микроструктуры показал заметное измельчение структуры сплава при лазерном оплавлении. След воздействия луча имеет характерную мелкодисперсную структуру, сферическую поверхность в плоскости, перпендикулярной плоскости шлифа, и три характерные зоны:

1) оплавленную и полученную в результате быстрого охлаждения из расплавленного сплава;

2) переходная зона с более укрупненной структурой, образовавшейся на границе взаимодействия расплава с напыленным покрытием;

3) зона с исходной структурой. Глубина проплавления колебалась от 0,2 до 1 мм в зависимости от скорости перемещения сфокусированного излучения по поверхности образца.

Измерения микротвердости показали некоторое увеличение значений по сравнению с микротвердостью образцов, оплавленных газовой горелкой. Характерной особенностью первой зоны оплавления является равномерное распределение по всей зоне значений микротвердости, равных  $H_\mu$  0,98 – 1,05 · 10<sup>4</sup> МПа.

В переходной зоне значения  $H_\mu$  снижаются до 0,89 – 0,95 · 10<sup>4</sup> МПа.

Микротвердость образцов, оплавленных газовой горелкой, равна  $H_{\mu}$  0,85–0,95·10<sup>4</sup> МПа.

Для выяснения причин изменений, происходящих в микроструктуре сплава ПГ–СР4 под воздействием лазерного излучения, рассмотрим условия формирования покрытия при оплавлении образцов.

Рассматриваемый сплав – шестикомпонентная многофазная система, состав и формирование структуры которой изменяются в зависимости от режима нагрева. Исследования формирования структуры сплава при различных режимах нагрева показали, что с увеличением скорости нагрева температурный интервал формирования мелкодисперсной структуры возрастает.

В нашем эксперименте на поверхности образца концентрировалось излучение плотностью  $\sim 24 \cdot 10^3$  Вт/см<sup>2</sup>, что практически приводило к мгновенному разогреву локального участка поверхности образца, а основная масса металла оставалась холодной. При перемещении излучения по поверхности образца нагретая поверхность охлаждается с высокой скоростью за счет теплопроводности, зависящей от состава материала образца. Высокая скорость нагрева и охлаждения вносит ряд изменений в процесс формирования структуры самофлюсующегося сплава: фиксируется неравновесная структура, не успевают образоваться крупные кристаллы карбидов. Полученная в результате микроструктура имеет мелкодисперсное распределение карбидов в мягкой матрице никеля.

Таким образом, при оплавлении лазерным излучением самофлюсующегося твердого сплава ПГ–СР4 улучшается качество покрытия, появляется возможность автоматизации процесса оплавления. Полученные результаты свидетельствуют о возможности использования лазерного оплавления напыленных покрытий крупногабаритных деталей без разогрева основной массы детали.