

УДК 535.211

**ИССЛЕДОВАНИЕ ФИЗИЧЕСКИХ МЕХАНИЗМОВ ЛАЗЕРНОЙ ОЧИСТКИ  
ПОВЕРХНОСТИ ГОРЯЧЕКАТАНОГО МЕТАЛЛОПРОКАТА ОТ ОКАЛИНЫ ПРИ  
ВОЗДЕЙСТВИИ НЕПРЕРЫВНОГО ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ С ДЛИНОЙ ВОЛНЫ  
1,06 МКМ**

**Журба Д.В.** (Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»)

**Научный руководитель – кандидат технических наук, Самохвалов А.А.**  
(Федеральное государственное автономное образовательное учреждение высшего образования «Национальный исследовательский университет ИТМО»)

Проведено поисковое исследование возможности неиспарительной лазерной очистки поверхности стали от прокатной окалины излучением непрерывного иттербиевого волоконного лазера. Были обнаружены ранее неисследованные механизмы разрушения и удаления окалины, которые являются более энергоэффективными по сравнению с испарительными механизмами лазерной очистки. Предварительные результаты исследования показывают высокую перспективность исследуемого подхода к рассматриваемой задаче.

**Введение.** Удаление оксидных слоев с поверхности металлов — актуальная проблема для современного производства. Наиболее востребованной задачей в данном направлении является удаление оксидных слоев с поверхности горячекатаных углеродистых сталей (прокатной окалины).

В последнее время все большее распространение получает лазерная очистка. Традиционный подход к лазерной очистке основан на испарении материала загрязнения короткими (обычно наносекундными) импульсами. Однако испарение оксидных слоев — энергоемкий процесс. Поэтому импульсная лазерная очистка прокатной окалины с поверхности горячекатаной стали характеризуется крайне низкой производительностью. В настоящий момент задача эффективной лазерной очистки прокатной окалины слоев является не решенной.

**Основная часть.** Прокатная окалина в основном состоит из оксидов железа и продуктов распада окиси железа: смеси магнетита и металлического железа. Данные составляющие являются тугоплавкими, и их удаление — энергозатратный и трудоемкий процесс.

Толщина прокатной окалины составляет ~ 30 мкм. Лазерный импульс иттербиевого волоконного лазера (длина волны 1,06 мкм) с длительностью ~ 100 нс и энергией 1 мДж при диаметре пятна ~ 60 мкм позволяет удалить слой окалины толщиной всего ~ 3 мкм. Поэтому для импульсной лазерной очистки окалины требуется более 10 воздействий в одну область. Производительность импульсного лазера средней мощностью 100 Вт в данном случае составляет около 0,15 м<sup>2</sup>/ч. Увеличение средней мощности лазерного источника приводит к кратному увеличению производительности. Увеличение энергии в импульсе, вероятно, не оказывает существенного увеличения производительности и энергоэффективности.

Можно заключить, что испарительный механизм (с применением импульсных волоконных лазеров) не позволит решить задачу эффективной и высокопроизводительной очистки окалины.

В данной работе выполняется поиск и исследование более эффективных механизмов разрушения и удаления окалины, основанных на действии лазерного нагрева. Предложено использование непрерывного иттербиевого волоконного лазерного источника, со сканирующей системой, обеспечивающей диапазон длительностей воздействия 1 – 1000 мкс. При длительности воздействия порядка 100 мкс обеспечивается прогрев окалины на всю толщину, а также приповерхностного слоя стали. В результате нагрева окалины свыше 600 °С в ней интенсивно протекают химические реакции, приводящие к модификации

фазового состава окалины. Высокие градиенты температур при циклах нагрева и охлаждения и различные линейные коэффициенты расширения фаз окалины и стали формируют напряжения в слое окалины. В результате совокупность физико-химических и термомеханических механизмов при обработке непрерывным лазером позволяет разрушить и удалить исходный слой окалины.

Была найдена область параметров воздействия (длительность  $\sim 130$  мкс, плотность энергии одного воздействия  $\sim 12$  Дж/см<sup>2</sup>), в которой осуществляется удаление окалины в твердом фазовом состоянии, т.е. без вклада испарения. Эффект носит накопительный характер и для удаления окалины толщиной 30 мкм требуется от 10 до 16 воздействий. Одной из особенностей рассматриваемого процесса является удаление исходной окалины в виде отдельных фрагментов толщиной приблизительно равной толщине исходной окалины, при этом на поверхности стали остается тонкий мягкий модифицированный слой окалины, толщиной менее 5 мкм. Остаточный слой может быть легко удален импульсным лазером за одно воздействие. На данный момент для комбинированной обработки непрерывным и импульсным лазерами уже получена очистка окалины с плотность энергии 188 Дж/см<sup>2</sup>: 174 Дж/см<sup>2</sup> (непрерывный лазер) и 14 Дж/см<sup>2</sup> (импульсный лазер), что более чем в 2 раза меньше, чем необходимо для обычной импульсной лазерной очистки (460 Дж/см<sup>2</sup>). Применение непрерывного лазера вместо импульсного снижает стоимость оборудования практически на порядок (при той же средней мощности лазерных источников).

Развитие данного направления позволит создать востребованную, экологически чистую и конкурентоспособную технологию очистки горячекатаного металлопроката от окалины. Немаловажным является научный задел по применению непрерывного лазера для очистки оксидных слоев металлов. В дальнейшем результаты данного исследования будут использоваться для решения задач удаления толстых слоев ржавчины и оксидных слоев других металлов.

**Выводы.** Дальнейшее исследование более эффективных физических механизмов очистки прокатной окалины непрерывным лазерным излучением позволит разработать новую востребованную промышленную технологию удаления прокатной окалины и создать научно-технический задел в области лазерной очистки толстых оксидных слоев металлов. Применение более дешевых непрерывных волоконных лазеров большой мощности совместно с надежными и дешевыми сканирующими устройствами позволяет создать высокопроизводительные установки для очистки окалины, которые могут быть внедрены на металлообрабатывающие производства.