

ВОССТАНОВЛЕНИЕ И УПРОЧНЕНИЕ ПОВЕРХНОСТЕЙ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ

Физико-механические свойства поверхностных слоев, упрочненных лазерным излучением, связаны с высокими скоростями нагрева и охлаждения. Сложные процессы приводят к возникновению мелкодисперсных приповерхностных структур. В статье приведены результаты металлографических исследований образцов, упрочненных излучением CO_2 -, твердотельных и волоконного лазеров.

При обработке поверхности лазерным лучом круглой формы в центре пятна время воздействия пропорционально его диаметру, а по краям оно падает до нуля. В результате при упрочнении поверхности детали по краям дорожки возникают значительные зоны отпуска и теряется до 40% энергии. Кроме того, распределение энергии внутри пятна неравномерно, что ведет к неравномерности физико-механических свойств упрочненного слоя. Для устранения этих недостатков разработаны сканирующие устройства. Колеблющиеся и вращающиеся с частотой 150–600 Гц зеркала позволяют получить на поверхности пятно прямоугольного или квадратного сечения с равномерным распределением мощности. При этом резко уменьшаются зоны отпуска, с 0,5–1,5 мм до 0,1–0,2 мм на границе упрочненный слой – основной материал. Опыт показал, что на оптимальных режимах производительность обработки в 2 раза выше, чем при упрочнении круглым расфокусированным лучом без высокочастотного сканирования.

ЛАЗЕРНОЕ УПРОЧНЕНИЕ

Разработанные лазерные технологии в зависимости от вариаций мощности установки и режимов обработки упрочняют образцы с шириной зоны 5–20 мм и глубиной 0,5–2,0 мм. Весомые преимущества лазерной обработки по сравнению с традиционными методами термической обработки мате-

риалов – это отсутствие дополнительных операций отпуска. Отпуск снимает внутренние напряжения, но при этом – снижает твердость обработанного слоя. Сравните: твердость стали 40X после термической обработки 48–52 HRC, а после упрочнения лазерным лучом 58–62 HRC.

В результате нагрева выше температуры плавления нормализованной стали 45 (рис.1) в верхнем слое глубиной 20–25 мкм наблюдается полное растворение ферритной сетки. Микротвердость в этой зоне 7500–8200 МПа. Ниже следует зона закалки из твердого состояния с микротвердостью 7200–8500 МПа. На месте бывших перлитных зерен образовался мартенсит с небольшим количеством остаточного

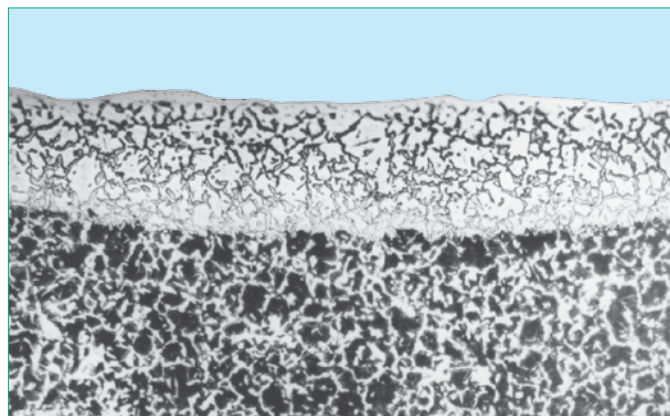


Рис.1 Микршлиф стали 45, упрочненной сканирующим лазерным лучом

Результаты металлографических исследований образцов стали 40X

№ образца	Мощность излучения, кВт	Скорость обработки, м/с	Ширина ЗТВ, мм	Глубина ЗТВ, мм
1	1,0	0,01	5,2	0,8
2	2,0	0,02	6,5	0,9
3	3,0	0,04	6,5	0,6
4	0,7	0,008	4,1	0,8
5	1,0	0,01	4,6	0,8
6	1,3	0,01	6,0	1,05

Примечание: обработка образцов 1, 2, 3 произведена на лазерной установке TRUMPF HL4006D, образцов 4, 5, 6 – на волоконном лазере ЛС-3

аустенита. Глубина зоны термического влияния (ЗТВ) составила 0,55–0,60 мм при ширине зоны 9,8 мм. Микротвердость ферритных зерен составляет 2800–3500 МПа при исходной твердости феррита 980–1100 МПа. Повышение микротвердости связано с фазовым наклепом. При закалке сталей, прошедших закалку и отпуск после лазерного упрочнения, за вторым слоем следует третий – зона отпуска. При лазерном упрочнении газовыми лазерами необходимо использовать поглощающие покрытия для металлов для уменьшения потерь энергии из-за отражения.

Мы использовали лазерные установки TRUMPF HL4006D с ламповой накачкой мощностью излучения до 4000 Вт и волоконный лазер ЛС-3 мощностью до 3000 Вт, не нанося на образцы поглощающее покрытие. Лазерному упрочнению подвергали образцы стали 40X размером 15 20 70 мм с начальной твердостью НВ 260–280. Предварительное математическое планирование экспериментов [1] подсказало оптимальные режимы обработки [2]: мощность излучения – P (1–3 кВт), скорость перемещения луча – v (0,006–0,04 м/с), диаметр лазерного луча – d (3–9,5 мм).

На поверхность образца наносили три упрочненных дорожки длиной 20 мм, отмечая конец каждой дорожки остановкой лазерного луча на 0,5 секунды. Он оставлял след шириной более ЗТВ, заданной скоростью движения луча. Напри-



Рис. 2 Фрагмент лазерной наплавки порошковых покрытий

мер, луч с P = 3 кВт, d = 9,5 мм (на образце) и v = 0,04 м/с оставлял дорожку шириной 6,0 мм. Фактический диаметр луча больше, поскольку размер пятна измерен по результатам нагрева выше цветов побежалости. Контроль глубины лазерной закалки и микроструктуры проводили стандартным металлографическим методом по срезу, выполненному перпендикулярно движению луча. Для травления использовали 3%-раствор азотной кислоты в этиловом спирте, а для измерения микротвердости при нагрузке 0,98 Н использовали прибор ПМТ-3. Результаты металлографических исследований приведены в таблице. Оптимальные режимы обеспечили обработку поверхности без оплавления.

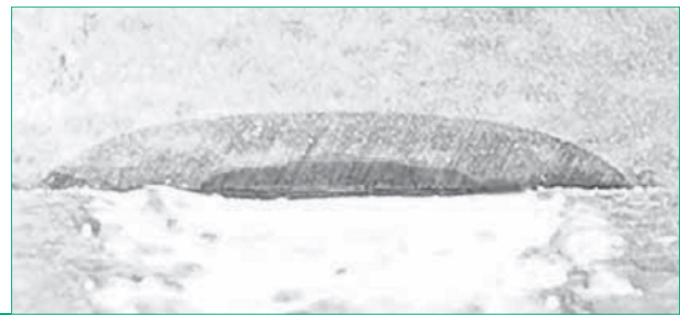


Рис. 3 Микршлиф поперечного сечения образца № 1

ЛАЗЕРНАЯ НАПЛАВКА

Лазерные технологии минимизируют оплавление поверхности материала основы. Поэтому свойства наплавленного слоя определяются свойствами порошкового материала и режимами лазерного воздействия. Результаты экспериментальной наплавки порошка на никелевой основе ПВ-Н70Ю30 с гранулометрическими размерами 20–60 мкм на титановый сплав ВТ4 показали, что микротвердость наплавленного слоя изменяется в пределах 7240–8600 МПа при средней твердости материала основы 3600 МПа. Ширина зоны – 6 мм при толщине наплавленного слоя 0,5–0,6 мм. Металлографические исследования проводили на приборе ПМТ-3 при нагрузке 0,98 Н. Связующее вещество в обмазке – водный раствор оксиэтилцеллюлозы. Наплавку производили при мощности излучения 1,5 кВт, частоте сканирования луча 225 Гц. Оплавление покрытия производили на воздухе, без использования защитных газов. Дефектов в виде отслоений, раковин или пор в наплавленном слое не обнаружено. На рис. 2 представлен фрагмент лазерной наплавки порошковых покрытий, где используется оптическая головка с металлическими зеркалами, установленными в устройства, сканирующие лазерный луч.

Проведена исследовательская работа по лазерной наплавке материалов для почвообрабатывающих орудий. Эксперименты проводились на образцах стали 65Г на лазерной установке "Комета-М", для пространственного управления лазерным лучом использовали сканер [3]. На поверхность

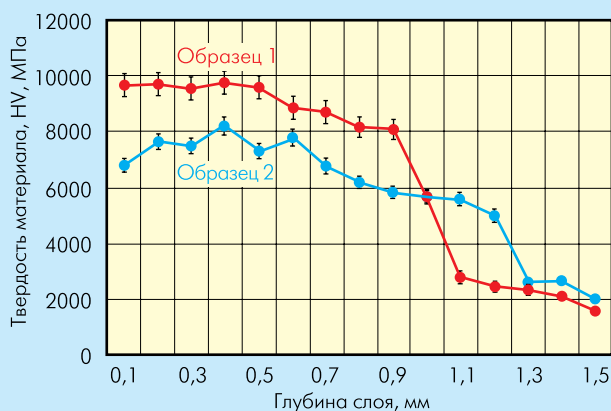


Рис. 4 Зависимость микротвердости от глубины зоны лазерного воздействия



Рис. 5 Микрошлиф поперечного сечения образца № 2

образцов с размерами 25 80 10 мм наносилась обзаска на водной основе оксиэтилцеллюлозы с порошком ФБХ6-2. При нагревании лазерным излучением оксиэтилцеллюлоза выгорает с выделением дополнительной теплоты. На рис.3. представлен микрошлиф поперечного сечения образца, а результаты исследования его микротвердости приведены на рис.4.

Средняя твердость материала основы образцов составляла 2200 МПа. При воздействии на поверхность лазерным лучом $P = 1400$ Вт, при частоте сканирования 200–225 Гц, был получен видоизмененный слой, геометрические параметры которого составляют: ширина зоны термического влияния – 7 мм при глубине 1,1 мм, ширина легированного слоя – 4,5 мм. Глубина зоны закалки из твердого состояния – 0,6 мм, а легированного слоя 0,3 мм. Присутствует небольшой слой наплавленного порошка толщиной 0,2–0,3 мм, ширина которого не совпадает с шириной легированного слоя, полученного перемешиванием расплавленных частиц порошка в жидкой ванне материала основы, она больше на 1,0–1,8 мм.

Для образца № 2 (рис.5) геометрические параметры зоны термического влияния составили: ширина зоны – 8,1 мм, ширина легированного слоя – 5 мм, общая глубина зон закалки, легирования и наплавки – 1,35 мм, в том числе легированного слоя – 0,5 мм и наплавленного слоя 0,3–0,35 мм. В этом образце имел место более глубокий переплав, поэтому скорость охлаждения материала была ниже. Минимальный слой наплавленного металла при лазерной наплавке в последнем случае обусловлен требованием сохранения геометрии поверхности. В результате обработки, по первому режиму (образец №1) наблюдается незначительное изменение геометрических размеров. Это важное замечание для обработки реальных деталей: например, при наплавке режущей кромки почвообрабатывающих орудий геометрия рабочей поверхности не должна изменяться.

Толщины слоев (наплавленного, легированного и закаленного), полученных лазерными методами, достаточны для снижения коррозионного и абразивного изнашивания повер-

ности инструментов. В сравнении с закалкой образцов тока-ми высокой частоты эти результаты выше в 3–5 раз, а в сравнении с индукционной наплавкой такого же порошка – выше в 3–4 раза. Отметим, что получение высоких физико-механических свойств поверхностных слоев связано с высокими скоростями нагрева и охлаждения, которые составляют 10^4 – 10^6 °C/с.

ЛИТЕРАТУРА

1. Евдокимов Ю., Колесников В., Тетерин А. Планирование и анализ экспериментов при решении задач трения и износа. – М.: Наука 1982.
2. Бирюков В., Белых А. Применение мощных твердотельных лазеров для упрочнения поверхностей трения: Сборник научных трудов и инженерных разработок. – М.: ИМАШ РАН, 2007.
3. Бирюков В. Промышленное применение CO₂ лазеров для наплавки, упрочнения и точного раскроя листового материала. – Тяжелое машиностроение. 2006, №4.

Инновационные технологии и экономика в машиностроении

В конце мая в Сибири, в г. Юрга Кемеровской области, прошла VII Всероссийская научно-практическая конференция с международным участием "Инновационные технологии и экономика в машиностроении". Организаторами научной встречи выступили Томский политехнический университет, Юргинский технологический институт (филиал Томского политехнического университета), Департамент образования и науки Кемеровской области, Администрация г. Юрги и Юргинский машиностроительный завод.

На конференции обсуждались инновационные технологии получения неразъемных соединений, упрочнения поверхностей деталей и машин в машиностроении. Промышленное развитие области, связанное с активной разработкой недр, выдвигает на первый план проблему обеспечения надежности технических объектов. Рассмотренные на конференции разработки предназначены для внедрения в машиностроительное производство. Участники конференции предложили свои решения для задач инвестирования инновационных проектов.
Секретарь конференции: Е.Фисоченко
E-mail: utiscience@rambler.ru