

ПОЛУЧЕНИЕ ПОВЕРХНОСТНЫХ ПОКРЫТИЙ С ПОМОЩЬЮ ЛАЗЕРНОГО ИЗЛУЧЕНИЯ

Лазерное поверхностное легирование

Отличительные особенности процесса лазерного поверхностного легирования

С целью улучшения поверхностных свойств изделий проводят **лазерное поверхностное легирование.**

Его осуществляют путем введения в заданные участки поверхности различных компонентов, которые, смешиваясь с материалом основы, образуют сплавы или композиции требуемого состава. При этом обязательным условием является сохранение в обработанных лазером участках поверхности значительного количества атомов материала основы. Таким образом, принципиальное отличие легирования от закалки состоит в изменении химического состава поверхностного слоя материала.

Преимущества лазерного поверхностного легирования заключаются в следующем.

1. Хорошая воспроизводимость параметров и свойств поверхностного слоя.
2. Большая скорость процесса и достижение высокого качества поверхностного слоя.
3. Возможность получения узких локальных зон с заданным химическим составом.
4. Экономия дорогостоящего легирующего материала.
5. Отсутствие необходимости в последующей термообработке.
6. Экологическая чистота процесса легирования.

Образование легированных зон сопровождается по крайней мере тремя процессами, приводящими к перемешиванию легирующих добавок с расплавом матрицы: **массопереносом** на расстояния в несколько сот микрометров в результате конвективного перемешивания, **массопереносом** на расстояния в несколько микрометров вследствие диффузии в жидкой и твердой фазах и **массопереносом** в результате действия термокапиллярных сил.

Зона лазерного легирования имеет строение, аналогичное строению зоны после лазерной закалки с оплавлением. Отличие состоит в том, что в металл расплавленной ванны вводят легирующие элементы. Диффузия элементов из зоны оплавления в зону термического влияния обычно происходит на расстояния не более 10 мкм.

Отличие строения зон, легированных лазером, от строения диффузионных покрытий состоит в отсутствии слоистости. Вследствие конвективной перемешивания расплава все фазы в легированной зоне по глубине перемешаны примерно равномерно.

Присадочный материал может вводиться в зону как кусковой материал, фольга, проволока, прутки — которые легко наносится на поверхность подложки, но большая часть энергии излучения при этом теряется на отражение.

Использование порошкового присадочного материала позволяет несколько уменьшить отражение, однако в этом случае возникают проблемы закрепления порошка на поверхности и повышения коэффициента его использования. Подачу присадочных компонентов при легировании наиболее просто осуществлять из газовой или жидкой фазы.

Предварительное нанесение можно осуществлять газотермическим напылением, гальваническим и химическим осаждением, накаткой, диффузионным методом, электроискровым легированием, нанесением паст, насыпкой и др.

Лазерное легирование неметаллическими компонентами

Лазерное легирование неметаллическими компонентами — углеродом, азотом и бором — наибольшее распространение получило при использовании способа с нанесением на поверхность обмазок или паст и последующим оплавлением поверхности импульсным или непрерывным лазером (рис. 5.1). В этом случае технологические режимы лазерного легирования определяются параметрами лазерной обработки и толщиной слоя пасты. С повышением мощности излучения или энергии импульса, уменьшением скорости обработки и увеличением длительности импульса размеры легированных зон возрастают, а концентрация легирующих элементов в них снижается. С увеличением толщины слоя пасты размеры легированных зон уменьшаются, а концентрация легирующего элемента повышается. Для каждой толщины слоя имеются критические режимы, при которых энергия лазерного излучения расходуется только на нагрев поверхности до температуры плавления, легирования в этом случае не происходит. Отмечено, что при лазерном легировании с перекрытием зон обработки микротвердость в зонах повторного нагрева снижается значительно меньше, чем при термоупрочнении.

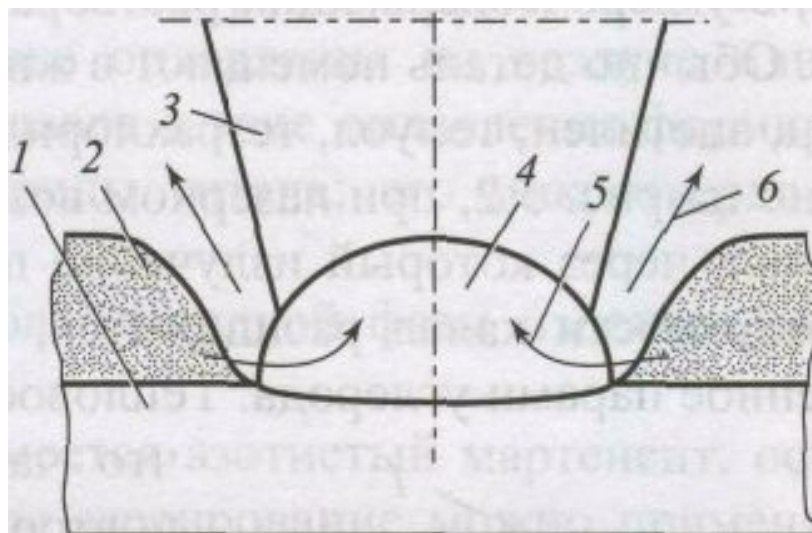


Рис. 5.1. Схема лазерного легирования с нанесением порошковой пасты на поверхность или формирования наплавленного валика при оплавлении шликерного покрытия: 1 — основной металл; 2 — шликер; 3 — лазерный луч; 4 — наплавленный металл; 5 — направление затягивания порошка в расплав; 6 — направление выброса продуктов выгорания связки

Средняя глубина образующихся легированных объемов при импульсной обработке в большинстве случаев составляет 0,3...0,4 мм, а при непрерывной — 0,3... ..1,0 мм. Необходимо учитывать, что, так как после легирования, как правило, высота наплывов равна 20... 100 мкм, при последующей обработке поверхности значительная часть поверхностного слоя должна быть сошлифована

Цементация.

В качестве паст или обмазок при лазерной цементации сталей можно применять растворы графита или сажи в ацетоне, спирте и других растворителях. Поскольку такие обмазки осыпаются с поверхности, часто используют растворы в различных лаках: бакелитовом, пековом каменноугольном и др. Кроме того, в состав паст добавляют активирующие добавки: буру, хлорид аммония и т. д., увеличивающие степень усвоения элемента металлом в результате активации диффузии, аналогично как и при использовании диффузионных методов получения поверхностных покрытий.

Процесс лазерной цементации из жидкой фазы, или гидролучевую обработку, в углеродсодержащих растворах технологически осуществить довольно просто. Обычно деталь помещают в жидкость, содержащую углерод, например в гексан, ацетилен, толуол, тетрахлорид углерода, минеральное масло и др. Как показано на рис. 5.2, при лазерном воздействии в жидкости образуется парогазовый канал, через который излучение попадает на поверхность изделия. Около этой поверхности канал расширяется, образуя куполообразное пространство, насыщенное парами углерода. Тепловое воздействие лазерного луча усиливается тем, что часть отраженного от поверхности излучения повторно фокусируется в зону лазерного воздействия стенками жидкости в куполообразном пространстве.

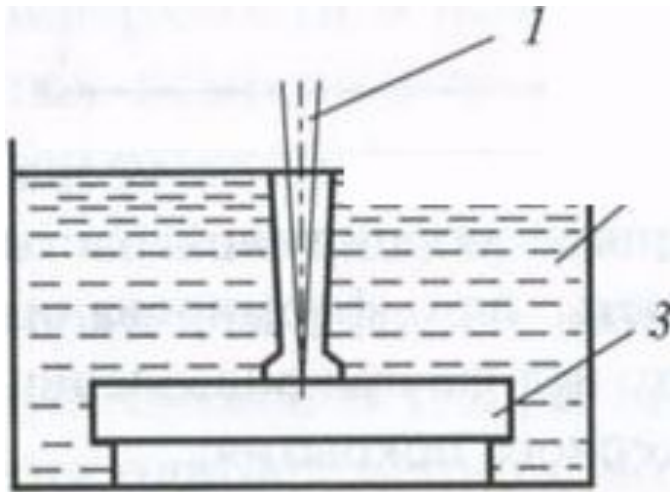


Рис. 5.2. Схема гидролучевой-обработки 1 — луч лазера; 2 — жидкость; 3 — изделие

В процесс легирования при режимах, обеспечивающих введения небольшого количества углерода в зону оплавления низко- или среднеуглеродистой стали, ее структура состоит из мартенсита и остаточного аустенита. Вследствие высокой насыщенности мартенсита микротвердость в этом случае достаточно велика и достигает 9000 Мпа. При увеличении графита в зоне оплавления количества аустенита может заметно увеличиться, а твердость будет колебаться от 4500 до 9000 Мпа. При дальнейшем повышении содержание углерода в зоне оплавления или при лазерной цементации высокоуглеродистых сталей в структуре легированных зон кроме аустенита и мартенсита образуются карбиты. С увеличением количества карбидной фазы микротвердость возрастает от 9000 до 14000 Мпа.

Таким образом, **лазерную цементацию можно применять для повышения твердости углеродистых сталей.**

Азотирование.

При лазерном азотировании в качестве паст используют аммиачную соль, карбамид (Mg^2CO). Азотирование железоуглеродистых сплавов из газовой фазы проводят в азоте при высоком давлении в специальной камере. Поскольку ввести лазерный луч в такую камеру достаточно сложно, этот метод имеет ограниченное применение.

Наиболее просто проводится газовое азотирование таких металлов, как титан, цирконий, гафний и их сплавов. Для насыщения расплавленного металла в этом случае достаточно проведения лазерного оплавления на воздухе или в струе азота. При азотировании титановых сплавов в зоне оплавления формируется азотированный слой, содержащий нитриды титана; его микротвердость возрастает до 17000...20000 МПа

Лазерное азотирование можно применять для увеличения твердости, износостойкости и повышения теплостойкости деталей, поскольку азотистый мартенсит сохраняется при нагреве до высоких температур. Стойкость стали против каплеударной эрозии после лазерного азотирования по сравнению с соответствующим значением при лазерной закалке возрастает в 3 раза

Силицирование.

Этот процесс осуществляют либо с нанесением обмазок, содержащих порошок кремния, либо из жидкой фазы, например из суспензии силикагеля H_2SiO_3 . При концентрации кремния до 0,1 % в легированной зоне сталей структура представляет собой α -железо, очевидно, мартенсит

С повышением содержания кремния в зоне легирования железа или низкоуглеродистых сталей микротвердость возрастает
от 8000 до 14 000...15000 МПа.

После лазерного силицирования теплостойкость, износостойкость и коррозионная стойкость сталей значительно увеличиваются.

Борирование.

Чаще всего борирование применяют с нанесением обмазок, которые представляют собой смеси порошков бора

Отличием структуры борированных зон от азотированных и цементованных является отсутствие остаточного аустенита, что приводит к возрастанию твердости и износостойкости.

В большинстве случаев экспериментально установлено, что наибольшая износостойкость имеет место не при полном перекрытии пятен или полос, а при 60...90 %-ном заполнении упрочняемой поверхности

МЕТАЛЛУРГИЧЕСКИЕ ОСОБЕННОСТИ ЛАЗЕРНОГО ЛЕГИРОВАНИЯ

Процесс лазерного легирования требует совместного плавления легирующего компонента и основной матрицы и заключается в введении в тонкий поверхностный слой соответствующих легирующих компонентов. После совместного плавления предварительного нанесенного слоя и основы образуется модифицированный поверхностный слой с уникальными свойствами. Так, например, твердость стальной поверхности достигает значений твердости твердого сплава, значительно возрастает теплостойкость, а главное - данный слой возможно создать в локальном месте. Нет необходимости в объемном упрочнении всей детали, нет разогрева, поводок и короблений.

В зависимости от характера работы изделия можно создавать поверхностные слои глубиной до 1 мм с использованием стандартных лазеров небольшой мощности (до 1.5 кВт).

Легирование составами, содержащими бор и вольфрам.

Выбор определенных составов, как легирующих компонентов определяется диаграммами состояния, наличием интерметаллических и других фаз с железом, а также специфическими теплофизическими свойствами .

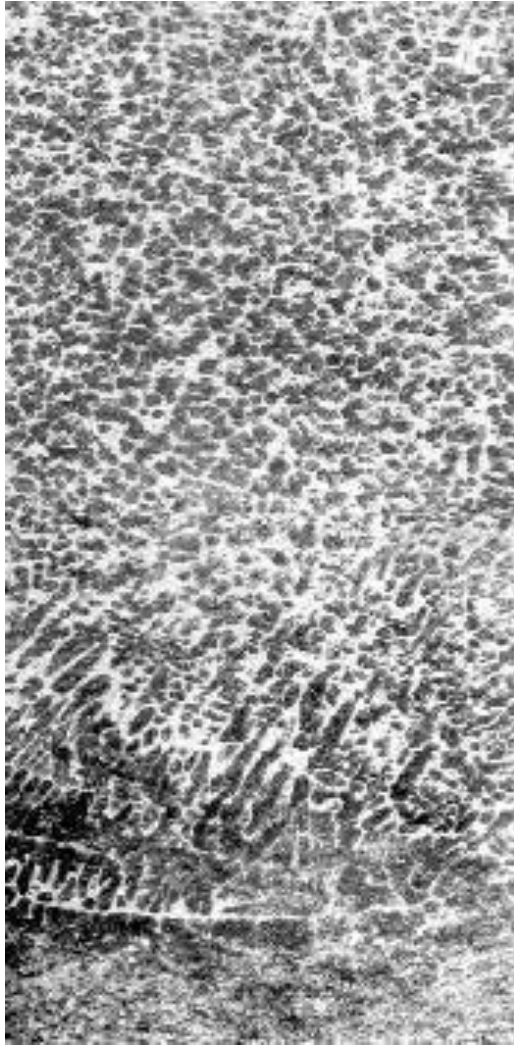
Вольфрам, как карбидообразующий элемент, **придает легированной поверхности значительную красностойкость**, а **бориды железа обладают значительной твердостью при нормальных и повышенных температурах и повышенной сопротивляемостью износу.**

Предварительное нанесение порошкового состава осуществляется методом обмазки на спиртовом связующем. Лазерное оплавление покрытий проводится в защитной среде аргона, Основные параметры процесса, обеспечивающие стабильность результатов являются: $P = 0.9 - 1.0$ кВт, скорость перемещения 160-200 мм/мин, диаметр пятна фокусировки - 1.5 мм.

Предпочтительное фокусное расстояние объектива лежит в диапазонах 150-300 мм и требует заглубления фокуса под поверхность нанесенного покрытия на 1-1.5 мм.

Структурные исследования показывают на образование в тонком поверхностном слое глубиной 0.3-0.5 мм сложной микроструктуры, состоящей из пересыщенной α - фазы, мелкодисперсных боридов вольфрама (W_2B_5) а также боридов железа (Fe_2B), (Fe_3B) с микротвердостью порядка 13000 МПа. При данных режимах обработки распределение элементов в легированном слое достаточно равномерно.

В результате данной обработки, теплостойкость данных групп сталей может быть значительно повышена. Микротвердость в зоне оплавления составляет 12000 - 14000 МПа. При температуре отпуска до 6500 С не происходит значительного снижения микротвердости в зоне легирования, после 4-х часового отпуска при 7500 С микротвердость падает до 7000 МПа. Исследования на жаростойкость показывают тот факт что интегральная микротвердость упрочненного слоя сохраняется до 600-650 С, высокая микротвердость отдельных структурных составляющих сохраняется и до более высоких температур. Износостойкость при повышенных температурах измерить весьма сложно, так как требует специального оборудования, однако износ при комнатной температуре иногда невозможно правильно оценить из-за его очень небольшой величины.

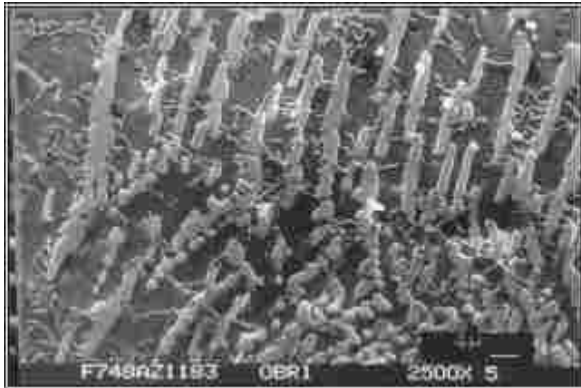


Изучение микроструктуры легированных слоев показали, что снижение микротвердости зависит от количества остаточного аустенита, которое можно уменьшить последующим низкотемпературным отпуском или обработкой холодом. В пределах субструктуры (дендритной, ячеисто-дендритной) остаточный аустенит частично трансформируется в мартенсит. В результате микротвердость повышается до $(15-20)10^3$ Мпа, а последующий низкотемпературный отпуск с быстрым охлаждением предотвращает хрупкость легированных слоев

Модифицирование алюминиевых сплавов

Сотрудниками *Лаборатории лазерной обработки ФТИ НАН Б* разработаны способы и методы **модифицирования, упрочнения и восстановления** рабочих поверхностей из алюминиевых сплавов (*деформируемых и литейных*) с использованием излучения импульсных и непрерывных лазерных источников.

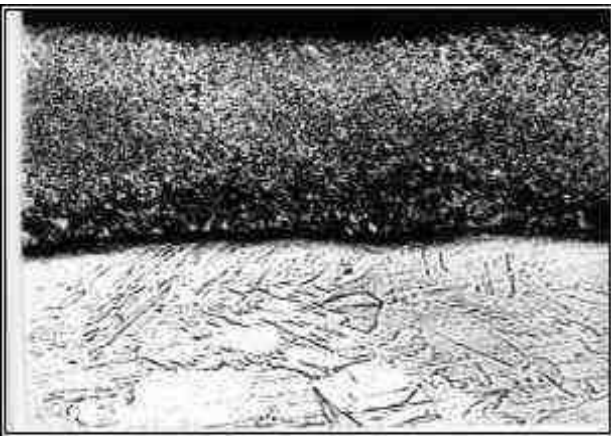
Метод лазерного упрочнения основан на введении в расплавленный тонкий поверхностный слой легирующих компонентов с использованием лазерного излучения.



Структура
поверхностного слоя
сплава Д16, с
мелкодисперсными
упрочняющими фазами

Структура легированного слоя при этом состоит из *мелкодисперсных интерметаллидов, дополнительных упрочняющих фаз, частично аморфизированного твердого раствора на основе алюминия.*

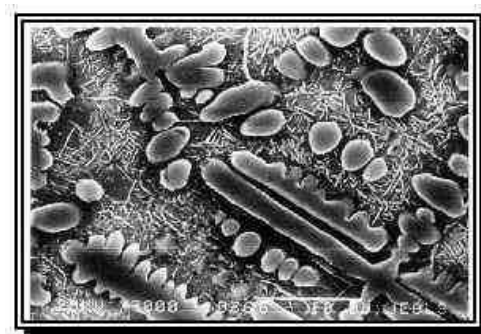
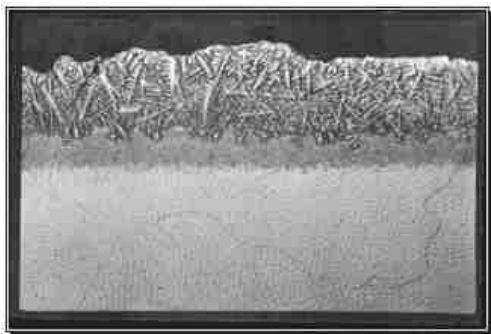
При этом **интегральная микротвердость** слоев глубиной до **1 мм** может достигать **4000-5000 мПа** (35-40 HRC). **Коэффициент трения** в паре со сталью снижается с величины 0.56 до 0.15-0.17.



Структура наплавленного слоя и поршни двигателей после лазерного легирования

Метод лазерного восстановления основан на наплавке высоколегированных порошков на алюминиевой основе с использованием лазерного излучения. Метод обеспечивает восстановление локальных выработок на алюминиевых изделиях с одновременным повышением механических свойств поверхности.

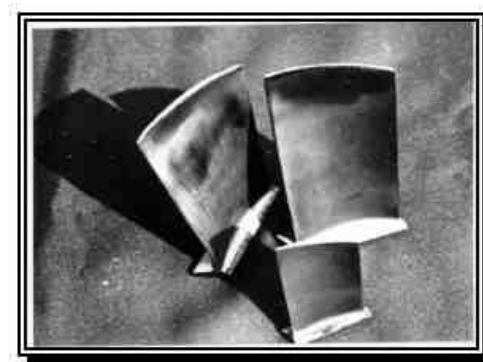
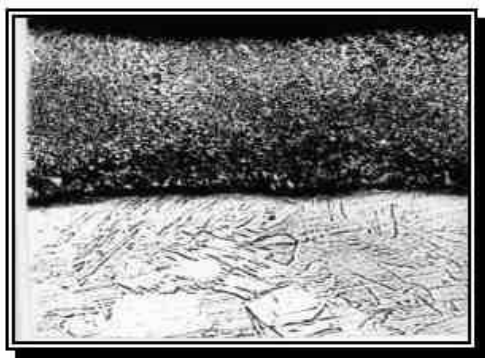
Лазерное азотирование титана



Общий вид азотированного слоя и мелкодисперсные дендриты TiN

Лазерное легирование титановых сплавов позволяет создавать на поверхности слои глубиной до 0.5 мм с микротвердостью до 13000 мПа (до 70 HRC) с высокой прочностью и коррозионной стойкостью.

Лазерное восстановление титановых изделий предусматривает широкую гамму наплавочных составов для конкретного изделия и конкретных условий эксплуатации (*высокая твердость, высокая адгезионная прочность или высокая коррозионная стойкость или термостойкость*).



Общий вид наплавленного слоя и
восстановленные лопатки ГТД