

ПЕРСПЕКТИВЫ КОМБИНИРОВАННОЙ ОБРАБОТКИ ЛАЗЕРНЫМ ИЗЛУЧЕНИЕМ И ПОВЕРХНОСТНЫМ ПЛАСТИЧЕСКИМ ДЕФОРМИРОВАНИЕМ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Методы лазерной термообработки аналогичны обычным методам термической обработки сплавов. Для осуществления лазерной закалки (термоупрочнения) локальный участок поверхности массивной детали нагревают с помощью излучения до сверхкритических температур, а после прекращения действия излучения этот участок охлаждается за счёт отвода теплоты во внутренние слои металла. Высокая скорость охлаждения приводит к образованию закалочных структур в сплавах и к высокой твёрдости поверхности.

Оплавление поверхности как технологическая операция начала развиваться с появлением лазерного излучения и другими методами практически не выполняется. При оплавлении для улучшения качества поверхности (уменьшения пористости или шероховатости) режимы обработки подбирают исходя из требований получения наилучшей микрогеометрии поверхности, а скорость охлаждения в этом случае, как правило, не регламентируется. При аморфизации скорость охлаждения должна быть максимальной для получения аморфного состояния, поэтому глубина оплавления не превышает 50 мкм

Методы получения поверхностных покрытий - легирование и наплавка - отличаются тем, что участок поверхности нагревается выше температуры плавления, в зону оплавления вводят легирующие компоненты, и в результате образуется поверхностный слой с химическим составом, отличным от основного металла. Вакуумно-лазерное напыление заключается в испарении материала участка поверхности под воздействием лазерного излучения в вакууме и конденсировании испарившихся продуктов на подложке.

Особенности фазовых переходов при лазерном нагреве железоуглеродистых сплавов:

Формирование структуры при лазерной термообработке является важным вопросом, поскольку разные сплавы и стали после одинаковых термических циклов имеют противоположные свойства, а именно: упрочняться и разупрочняться, имеют разную величину и знак остаточных напряжений и деформаций.

В результате лазерного нагрева в сталях формируется структура, особенности которой обусловлены степенью завершенности процесса аустенизации при нагреве. Завершенность процесса аустенизации определяется скоростью и температурой нагрева, временем взаимодействия исходной структуры.

При лазерной обработке различные слои нагреваются до разных температур, зоны лазерного воздействия имеют слоистое строение. По результатам измерения микротвёрдости и исследования микроструктуры по глубине зоны лазерного воздействия сталей можно видеть в общем случае три принципиально различных по природе фазовых превращений слоя:

первый слой - зона оплавления (ЗО), полученная при закалке из расплавленного состояния. В большинстве случаев первый слой имеет столбчатое строение, причём кристаллы вытянуты в направлении теплоотвода. Основная структурная составляющая - мартенсит. Карбиды при этом обычно растворяются. После лазерной закалки сталей в интервале реально применяемых на практике режимов в зоне обработки отсутствуют такие факторы, как кратеры, шлаковые включения, обезуглероженные зоны. При лазерной закалке без оплавления первый слой зоны обработки отсутствует.

второй слой - зона закалки из твёрдой фазы, получен при закалке из твёрдого состояния. Нижняя граница его определяется нагревом до точки АС1, т.е. в этом слое имеет место как полная, так и неполная закалка. Этот слой отличается большой неоднородностью по глубине: ближе к поверхности имеется мартенсит и остаточный аустенит, полученные при охлаждении из области гомогенного аустенита, а ниже – из области негомогенного аустенита при охлаждении. Поэтому здесь рядом с мартенситом имеются элементы исходной структуры: феррит в доэвтектоидной и цементит в заэвтектоидной стали.

третий слой - переходная зона, образуется при нагреве металла ниже точки АС1. При лазерной обработке предварительно закаленной или отпущенной стали в этом слое имеет место понижение микротвёрдости связанное с образованием структур отпуска - тростита или сорбита. Третий слой в этом случае называется зоной отпуска.

Второй и третий слой образуют зону термического влияния.

Принципиального различия в строении и в микроструктуре различных слоёв после лазерной обработки импульсными и непрерывными лазерами нет, имеются лишь отдельные особенности, обусловленные разным временем воздействия.

Свойства сплавов после лазерной закалки:

Основная цель лазерной закалки - повышение износостойкости деталей. Уменьшение износа деталей после лазерной закалки обусловлено рядом факторов: высокой твёрдостью поверхности, высокой дисперсностью структуры; увеличение несущих свойств поверхности; уменьшением коэффициента трения и др.

Заметно увеличивается и износостойкость чугунов в условиях трения со скольжением после обработки непрерывным лазером. Повышение износостойкости чугунов после лазерной обработки обусловлено кроме вышеупомянутых факторов улучшением условий трения из-за сохранившегося в зоне лазерного воздействия графита. Повышается также и износостойкость сталей и некоторых других сплавов при трении в щелочной и кислотной средах.

Напряжённое состояние поверхностных слоёв после лазерной закалки. Формирование напряжений при охлаждении поверхности можно представить таким образом. После прекращения лазерного воздействия наиболее быстро охладится внутренний слой металла, лежащий возле непрогретого исходного слоя. Приповерхностный слой охлаждается и сжимается в последнюю очередь. Это приводит к большой неравномерности в распределении остаточных напряжений. Величина же и интервалы изменения напряжений при обработке зависит от режимов обработки, и прежде всего от мощности излучения.

Остаточные деформации, как правило увеличиваются при увеличении степени перекрытия пятен или полос упрочнения. Кроме того, размер деформации зависит от коэффициента перекрытия и координатной последовательности обработки. Оптимальные режимы с этой точки зрения - равномерное и симметричное заполнение поверхности пятнами или полосами упрочнения.

Лазерная термообработка материалов уже успешно применяется на предприятиях. Ниже будут приведены результаты исследования влияния лазерной закалки на изменение микротвёрдости поверхности на примере чугуна марки СЧ 35.

Металлографические исследования зон лазерного нагрева в чугуне СЧ35 показали высокую эффективность лазерного воздействия. Так, при скорости луча $v=0,6$ м/мин, диаметре $D=5$ мм и мощности $P=1$ кВт достигалась глубина закалки 0,5–0,6 мм при твердости 9000–9500 МПа. При увеличении скорости луча до 0,8 м/мин глубина закалки уменьшается до 0,3 мм, а твердость повышается на 5 %.

Лазерная обработка чугуна с оплавлением приводит к растворению графита и по этой причине в зоне оплавления формируется структура отбеленного чугуна с очень мелкими дендритами или ячейками аустенита. Пространство между ячейками аустенита представляет двухфазную составляющую — ледебурит, полностью состоящую из цементита, что и определяет высокую твердость этой зоны.

абразивной обработки существенно повысило микротвердость поверхности закаленных лазером конструкционных и инструментальных сталей 40, 45Х, 65Г, У8, 20ХН3А (цементированная), 80Ф1, 80М2, 80С2, 80Г2, ШХ15, 9ХС. Сравнительные данные о влиянии лазерной и комбинированной (лазер + пластическое деформирование) обработок на микротвердость поверхности ряда исследованных сталей приведены в таблице 1.

Таблица 1. Микротвердость поверхности сталей, ГПа

Марка стали	Лазерная закалка	Лазерная закалка + пластическое деформирование (ПД)	
		ПД трением	ПД абразивными частицами
40	7,4	10,5	8,4
45Х	8,0	10,8	8,9
65Г	9,2	11,5	11,1
У8	9,9	12,2	12,2
80Ф1	9,8	12,3	12,7
9ХС	9,5	11,5	12,1
ШХ15	9,3	11,8	12,3
20ХН3А (цемент.)	8,9	11,3	11,8

Уникальность использованной комбинированной обработки состоит в том, что достигнутый с ее помощью высокий уровень твердости поверхности сталей сохраняется и после нагрева до 350° С. Твердость же углеродистых сталей, подвергнутых лазерной или объемной закалкам, резко снижается при нагреве выше 150° С (рис. 2).

Таким образом, комбинированная обработка повышает теплостойкость простых углеродистых сталей до уровня теплостойкости легированных мартенситных сталей (типа 40Х13 и др.).

Высокие твердость и теплостойкость поверхностного слоя сталей, подвергнутых предлагаемой комбинированной обработке, обеспечивают исследуемым сталям большую износостойкость даже при трении с повышенными скоростями скольжения, когда имеет место интенсивный фрикционный нагрев, приводящий к термическому разрушению поверхности и, соответственно, к катастрофическому тепловому изнашиванию.

Металлографическое, рентгеновское и электронно-микроскопическое исследования показали, что структурное состояние, формирующееся в сталях под действием комбинированной обработки, характеризуется очень высокой степенью дисперсности кристаллов мартенсита. Интенсивная локальная пластическая деформация приводит к измельчению мартенситных кристаллов с образованием фрагментов размером 10-200 нм, характеризующихся значительной взаимной разориентировкой. При этом в мартенсите происходят процессы деформационного динамического старения, которые связаны с выходом атомов углерода из октопор ОЦТ кристаллической решетки в примесные атмосферы многочисленных ($\rho \approx 5 \times 10^{12}, \text{см}^{-2}$) дислокаций. Высокая энергия взаимодействия атомов углерода с дислокациями в α -мартенсите обуславливает сильное примесное закрепление дислокаций, которое обеспечивает большую прочность, теплостойкость и износостойкость сталей, подвергнутых комбинированной обработке.

Описанное выше эффективное положительное влияние комбинированной обработки на прочность, теплостойкость и износостойкость имеет место при реализации различных режимов лазерной обработки (закалка с оплавлением поверхности и без

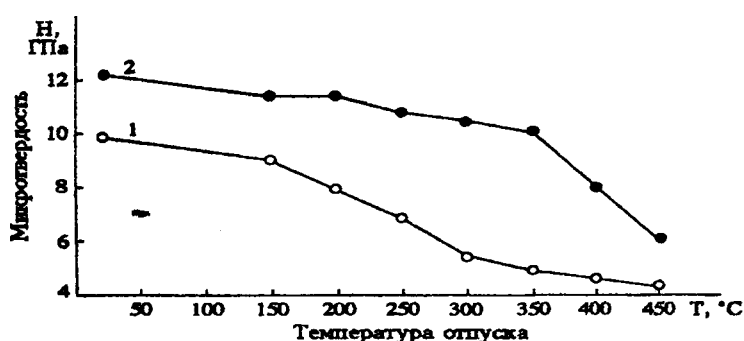


Рисунок 2- Влияние температуры отпуска на микротвердость поверхности стали У8. 1 - закалка; 2 - закалка, пластическое деформирование трением

оплавления; в среде аргона, гелия, воздуха; при использовании газового CO₂ - лазера и твердотельного ИАГ - лазера; различной мощности излучения и др.), а также разных схем поверхностного пластического деформирования (фрикционное нагружение твердосплавным сферическим индентором, воздействие абразивных частиц).

Показана высокая эффективность применения предложенной комбинированной обработки (лазерная закалка + поверхностное пластическое деформирование) для повышения прочности, теплостойкости и износостойкости сталей различного класса. Дополнительное поверхностное деформирование существенно улучшает прочностные и служебные свойства сталей, закаленных лазером.

Положительное влияние комбинированной обработки на прочность, теплостойкость и износостойкость сталей связано с формированием в их поверхностном слое ультрадисперсной структуры α -мартенсита, претерпевшего деформационное динамическое старение.

Предложенная обработка, не требующая значительных дополнительных материальных и энергозатрат по сравнению с лазерной закалкой, может быть использована для повышения служебных свойств стальных изделий самого широкого профиля.

Для расширения возможностей практического применения предлагаемой обработки целесообразно продолжить исследования в направлении изучения эффективности влияния комбинированной обработки на прочность, теплостойкость и износостойкость деталей из различных материалов.

ЛИТЕРАТУРА

1. А.Г.Григорьянц, А.Н.Сафонов. Лазерная техника и технология: В 7кн. – Кн. 3 Методы поверхностной лазерной обработки: Учебн.пос. для вузов. М.: Высш.шк., 1987 – 191с.
2. А.М. Гаджиев Поверхностное термическое упрочнение серых чугунов лазерным излучением. Вестник машиностроения. 2000 №4 С.48 – 49.
3. В.М.Ходаковский. Особенности лазерного упрочнения чугунных деталей судовых технических средств. Новые материалы и технологии производства. 2003. №4 С.26 – 29.
4. В.М.Счастливец рук, Л.Г.Коршунов, исп.А.В.Макаров, И.Л.Солодова Использование комбинированной обработки (лазерная закалка и последующее деформационное старение) для повышения износостойкости и теплостойкости стальных поверхностей. Региональная наука, Свердловская обл. 2004.
5. Е.И.Тескер, В.А.Гурьев, С.Е.Тескер, Е.Н.Кондратьев Перспективы применения лазерных технологий для повышения эксплуатационных свойств деталей машин и оборудования. Упрочняющие технологии и покрытия. 2005. №1 С.35 – 38

УДК 621.771.63

Исаевич Л.А., Малекян М.М.

АНАЛИЗ И СРАВНЕНИЕ РАЗЛИЧНЫХ УСТРОЙСТВ И СПОСОБОВ ПРОКАТКИ ПОЛОС ПЕРЕМЕННОЙ ПО ДЛИНЕ ТОЛЩИНЫ

*Белорусский национальный технический университет
Минск, Беларусь*

Введение

Различные устройства для получения полос переменной по длине толщины применяются в ряде фирм разных стран. Эти устройства можно разделить на четыре группы: 1)