

УДК 621.378.8

В.Ф. Лабунец

ЛАЗЕРНАЯ ОБРАБОТКА ТРУЩИХСЯ ПОВЕРХНОСТЕЙ ДЕТАЛЕЙ МАШИН И ИНСТРУМЕНТА

Приведен анализ применения лазерной обработки для упрочения трущихся поверхностей деталей машин, механизмов и технологической оснастки. Показано влияние метода упрочения на структуру и триботехнические характеристики обрабатываемых изделий. Описаны примеры практического применения лазерной обработки для упрочения деталей машин и инструмента.

Достижение мирового уровня выпускаемых машин, оборудования и технической оснастки невозможно без применения наиболее прогрессивных технологий поверхностного упрочения, так как в большинстве случаев (85-90%) причиной выхода из строя машин, механизмов и инструмента является их износ [1]. К таким технологиям относятся методы обработки материалов, основанные на использовании высококонцентрированных источников энергии – электрического заряда, плазмы, электронного и лазерного луча и др. [2].

Применение лазерного луча наиболее перспективно для поверхностного упрочения трущихся поверхностей, так как при трении разрушение начинается с поверхностных слоев и, как было показано в работах Б.И. Костецкого и других исследователей, в процессе трения на рабочих поверхностях образуются структуры, физико-механические свойства которых являются определяющими в работоспособности пар трения.

Все виды лазерной обработки, находящиеся в настоящее время в арсенале технологов, можно разделить на пять групп:

- размерная обработка материалов;
- лазерная интенсификация механической обработки;
- процессы обработки с незначительным массопереносом;
- комбинированные процессы;
- упрочающая поверхностная обработка.

За последние двадцать лет проведен значительный объем исследований по воздействию лазерного излучения на обрабатываемые поверхности и внедрению этих результатов в производство. Результаты теоретических, экспериментальных и практических исследований лазерного поверхностного упрочения за 1975–1997 годы обобщены и проанализированы на основании многочисленных отечественных и зарубежных литературных источников, а также собственных исследований по применению лазерного излучения защитных покрытий триботехнического назначения.

В отличие от широко применяемых в промышленности методов поверхностного упрочения, таких, как термическая и химико-термическая обработка, нанесение газотермических покрытий, метод лазерной обработки обладает существенными преимуществами [3]:

- большой и широко варьируемой плотностью мощности (до 10 Вт/см);
- кратковременностью нагрева и охлаждения;
- возможностью регулировки временного режима нагрева;
- локальностью теплового воздействия, отсутствием поводок;
- обработкой в любой атмосфере;
- универсальностью;
- экономией легирующих элементов.

Благодаря высокой локальности лазерного воздействия на материал, обеспечению больших скоростей нагрева, энергетическим и временным параметрам излучения широкое распространение получили различные виды поверхностей упрочняющей лазерной обработки материалов [3]. Одним из таких методов является лазерная закалка, в результате которой в поверхностных слоях упрочняемой детали происходят структурные изменения, а следовательно, и изменения физико-механических свойств.

В большинстве случаев лазер применяется для закалки железоуглеродистых сплавов. Лазерная закалка может проводиться с оплавлением поверхности и без оплавления обрабатываемой детали. При этом образуются две зоны: зона оплавления и зона закалки из твердой фазы. Первая зона имеет столбчатое строение, в связи с тем, что сплав находится в жидком состоянии и переход в твердую фазу осуществляется при высоких скоростях охлаждения. К зоне оплавления примыкает закалка из твердой фазы, состоящая из мартенсита, переходящая в нижней части в тростит, а еще глубже в феррит (для доэвтектоидной стали).

Перспективным направлением в модернизации лазерной термообработки является создание комбинированных методов, где лазерное воздействие сочетается с воздействием полей другой физической природы либо технологический цикл лазерной закалки дополняется стадией механической обработки. К таким методам относится комбинированная лазерно-ударно-волновая обработка.

Результаты работ [3; 4], посвященных изучению триботехнических характеристик поверхностей, обработанных лазерным излучением, показали, что поверхности материалов, испытывающих фазовые превращения при термообработке, имеют большую износостойкость после лазерной обработки, чем после традиционной термической обработки.

Анализ литературных источников, а также результатов собственных исследований лазерного поверхностного упрочнения материалов триботехнического назначения показал, что лазерное легирование является наиболее перспективным процессом упрочнения трущихся поверхностей, так как наряду со всеми достоинствами лазерной обработки он имеет возможность создания на обрабатываемой поверхности неоднородной макроструктуры как по вертикали, т.е. вглубь материала, так и в горизонтальной поверхности с участками, отличающимися друг от друга физико-механическими свойствами.

Перед лазерным легированием открыты широкие технологические возможности, так как содержание вводимого элемента может в несколько раз превышать равновесные значения его концентрации, соответствующие диаграмме состояния. Например, концентрация бора в бинарной системе железо-бор доведена до 16% [4], что в пять-шесть раз превышает предельную концентрацию в такой системе для равновесных условий. Это объясняется специфическими условиями массопереноса в жидкой фазе под действием турбулентных процессов, возникающих при наличии гидродинамических сил и температурных градиентов.

Особый интерес представляют процессы лазерного поверхностного упрочнения металлов и сплавов посредством лазерного легирования с использованием многокомпонентных покрытий, так как спектр физико-механических свойств этих покрытий значительно шире, чем однокомпонентных.

В большинстве случаев лазерное легирование применяют для упрочнения железоуглеродистых сплавов. Однако оно может применяться и для других сплавов. Например, общеизвестные характеристики титановых сплавов могут быть повышены при воздействии лазерного излучения как за счет формирования метастабильных фаз в процессе закалки и последующего старения титановых сплавов, так и за счет легирования.

Определенные перспективы имеет лазерная обработка покрытий, полученных методами химико-термической обработки, газотермических, гальванических покрытий.

Исследования [5; 6] показали, что при оплавлении двухфазного боридного слоя лазерным лучом на поверхности стали образуется композиционный боридный слой систем же-

лезо-бор-углерод [5; 7], железо-бор-кремний-углерод [8], железо-бор-хром-углерод [6], обладающих высокими демпфирующими способностями и триботехническими характеристиками.

Многими исследователями подтверждается благоприятное влияние лазерной обработки на эксплуатационные характеристики газотермических покрытий – в определенной степени устраняются присущие этому виду напыления недостатки.

После лазерной обработки газотермических покрытий образовавшаяся композиция представляет собой эвтектику с фазами внедрения, ориентированными в направлении максимального теплоотвода. Наиболее износостойкими оказались структуры, образующиеся при полном оплавлении всей поверхности покрытия.

Оплавление плазменных покрытий из порошков сплава ПГ12Н-02 лазерным излучением способствует получению структур, имеющих в три-пять раз выше ударную вязкость и износостойкость по сравнению со свойствами структур, полученных газопламенным оплавлением плазменных покрытий. Снижение свойств объясняется более глубокой структурой покрытий и значительной пористостью оплавленного слоя.

Интересные возможности открываются при сочетании лазерного поверхностного упрочения с термоциклической обработкой, что подтверждается исследованиями [9]. Для улучшения триботехнических характеристик плазменных покрытий из композиционных порошков (сталь 12Х18Н9Т- TiB_2 -VC) предлагается наряду с лазерным оплавлением проводить термоциклическую обработку. Сочетание этих методов позволяет существенно улучшить триботехнические характеристики покрытий.

К перспективному направлению развития и совершенствования лазерного поверхностного упрочения следует отнести формирование макронеоднородной регулярной структуры на обрабатываемой поверхности изделия и микронеоднородной структуры по глубине покрытий с градиентом физико-механических свойств.

Метод создания макронеоднородной регулярной структуры был предложен Л.С. Малиновым как дифференцированная обработка, сущность которой заключалась в совмещении общего и локального воздействия на материал. В результате такого воздействия в различных участках изделия фазовые и структурные превращения протекают в разной степени, поэтому в материале возникают градиенты структурного состояния, соизмеримые с масштабами локального воздействия.

Подтверждением перспективности нанесения покрытий триботехнического назначения с макронеоднородной регулярной структурой являются результаты исследований [9]. Если износостойкость оплавленных лазерным лучом покрытий из порошков электрических сплавов систем 12Х18Н9Т- TiB_2 -VC и 12Х18Н9Т- TiB_2 -CrV повышается в два раза по сравнению с неоплавленными, то при оплавлении 15% поверхности она увеличивается в шесть раз.

Эффективность лазерного поверхностного упрочнения трущихся поверхностей бесспорна при совмещении ее с процессом самораспространяющегося высокотемпературного синтеза [10]. Совмещение этих двух операций позволяет не только снизить мощность лазерного излучения, но и восстановить изношенные детали на 0,5мм.

Лазерное легирование рекомендуется применять при восстановлении изношенных поверхностей в сочетании с гальваническим осаждением покрытий. Характерно, что лазерная термообработка гальванического покрытия позволяет увеличить прочность сцепления за счет протекания термодиффузионных процессов на границе с основой. Однако более высокие физико-механические свойства остального слоя позволяет лазерное легирование бором.

Новым шагом в развитии технологии лазерного поверхностного упрочения является формирование на рабочих поверхностях метастабильных аморфно-кристаллических ультрадисперсных структур.

Согласно фундаментальным положениям теории Б.И. Костецкого [1] в основе процессов минимального трения и изнашивания лежит универсальное явление структурной приспособляемости материалов при трении. Сущность этого явления заключается в том, что взаимодействие поверхностных слоев трущихся твердых тел и среды локализуется в тончайших слоях, названных Б.И. Костецким вторичными структурами и образующихся из исходных материалов вследствие их структурной перестройки и взаимодействия со средой. Причем эта вторичная структура представляет собой не чисто аморфный слой, а аморфно-кристаллический.

Ультрадисперсные структуры в поверхностных слоях трущихся пар могут быть получены при лазерной обработке покрытий вольфрамом и хромом, предварительно нанесенных на стали электронно-лучевым испарением. Стабилизация процессов трения обусловлена выделением высокодисперсных сложных карбидов (W, Cr, Fe, Mo) и взаимодействием их с кислородом и другими химическими элементами среды.

Новым шагом в развитии лазерной технологии поверхностного упрочнения станет создание адаптирующихся, самонастраивающихся "интеллектуальных" покрытий триботехнического назначения, способных к самовосстановлению при повторяющемся действии внешних воздействий.

Применение лазера в упрочняющей технологии с каждым годом расширяется. В настоящее время с помощью лазерной технологии упрочняются многие трущиеся детали машин, механизмов и технологической оснастки и, в частности, плунжеры топливных насосов, обкатные кулачковые ролики, распределительные валы двигателей внутреннего сгорания, рабочие поверхности игл топливной аппаратуры, головки штоков и седл выхлопных клапанов, золотники трубопроводной аппаратуры, диски осевых опор турбопроводов, рабочие кромки пуансонов и матриц, и многие другие.

Краткий анализ различных методов лазерной обработки материалов трущихся пар показывает, что лазерное излучение является эффективным методом поверхностного упрочнения этих материалов. Особенно интенсивно развиваются новые методы упрочнения, сочетающие как лазерную обработку, так и другие разработанные ранее технологии поверхностного упрочнения, что подтверждает перспективность метода лазерной обработки материалов триботехнического назначения.

Список литературы

1. *Поверхностная* прочность материалов при трении /Б.И. Костецкий, И.Г. Носовский, А.К. Караулов и др. -К.: Техніка, 1976. -296 с.
2. *Коваленко В.С.* Лазерная обработка материалов: возможности, перспективы // Порошкова металургія. -1993. - № 5. -С.14-18.
3. *Коваленко В.С., Головки Л.Ф., Черненко В.С.* Упрочнение и легирование деталей машин лучом лазера. -К.: Техніка, 1990. -192 с.
4. *Справочник по технологии лазерной обработки* /В.С. Коваленко, В.П. Котляров, В.П.Дятел, В.В. Романенко. - К.: Техніка, 1985. -167 с.
5. *Лабунец В.Ф., Свирид М.Н., Намисняк Ян.* Физико-механические свойства боридованных углеродистых сталей, обработанных лазерным лучом //Проблемы трения и изнашивания. -К.: Техніка, 1990. -С. 65-68.
6. А.с. 1773946. Способ обработки диффузионных боридных покрытий на стальных деталях / В.Ф. Лабунец, П.В. Назаренко, М.Н. Свирид, А.Б. Семенюк.-№ С23С8/70; Заяв. 16.01.91; Оpubл. 08.07.92, Бюл. № 41.
7. А.с. 1726555. Способ обработки диффузионных боридных покрытий на стальных деталях / В.Ф. Лабунец, П.В. Назаренко, М.Н. Свирид.-№ С23С 8/70; Заяв. 14.11.89; Оpubл. 15.04.92. Бюл. № 14.

8. *Лабунец В.Ф., Коваленко Н.Н.* Трибологические свойства композиционных боросилициловых покрытий, полученных при лазерной обработке // Проблемы трения и изнашивания. –К.: Техніка, 1990. –С. 65-68.

9. *Киндрачук М.В.* Влияние лазерной обработки и термоциклирование на термотехнические характеристики эвтектических плазменных покрытий на основе железа // Защитные покрытия на металлах. –1994. –Вып. 28. – С. 45-50.

10. *Об'єднання* в одному процесі лазерного поверхневого зміцнення металів та саморозповсюджувального високотемпературного синтезу /А.О.Жуков, Ю.Ю.Жегуц, О.П. Шиліна, Дж. Датта Мажумдар //МОМ. –1997. – № 1. – С. 51-55.

Стаття надійшла до редакції 1 березня 1997 року.



Василь Федорович Лабунець (1939) закінчив Київський інститут інженерів цивільного повітряного флоту в 1966 році. Кандидат технічних наук доцент кафедри “Технологія ремонту, виробництва літальних апаратів і авіаційного матеріалознавства” Київського міжнародного університету цивільної авіації. Член-кореспондент Української академії триботехніки. Автор понад 170 наукових праць в області тертя, зносу і змазування.

V.F. Labunets (b. 1939) graduated from the Kyiv Institute of Civil Air Fleet (1966). Reader of “Technology of repair, production of flying devices and aviation materials”. Corresponding member of the Ukrainian Academy of Tribology. Author of 5 monographs and more than 170 scientific publications in the field of friction, lubrication and wear.