

ПЕРСПЕКТИВЫ ПРОМЫШЛЕННОГО ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИИ ЛАЗЕРНОЙ НАПЛАВКИ В КОНТЕКСТЕ СОВРЕМЕННОГО ИНЖЕНЕРНО-ТЕХНИЧЕСКОГО ОБРАЗОВАНИЯ

Каменев С. В., канд. техн. наук, Искандаров В. З.
Оренбургский государственный университет

Современное общество становится все более «экологичным», в связи с чем мы наблюдаем фундаментальные изменения в нашем отношении к использованию различных технологий. Большинство людей признает преимущества переработки и повторного использования различных ресурсов, средств воспроизводства и технических устройств при условии отсутствия в них потери исходного качества. В настоящее время инженеры должны создавать новые привлекательные для потребителя изделия с учетом возможности их эффективного повторного использования и ремонта. Из опыта прошлых лет, и в связи с экономическими трудностями в промышленно развитых регионах мира известно, что непоправимой роскошью является выбрасывание всего того, что имеет лишь незначительные повреждения. Однако коммерческая реклама и маркетинговые инструменты оказывает давление на людей по всему миру, принуждая их покупать новейшие продукты. Это является неотъемлемым атрибутом сложившегося и поддерживаемого потребительского общества, существующего в ущерб нашим природным ресурсам.

К счастью, здравомыслящие люди в обществе и производстве осознают, что человечество должно сокращать свои затраты путем использования технологий ремонта, восстановления и реконструкции существующих изделий. Как правило, в промышленности нет лишних денег на покупку новых машин, и на практике она больше нуждается в наличии технологий ремонта. И даже, если есть соответствующие ресурсы, ни один производственник не будет «выкидывать свои деньги на ветер». Благодаря этим изменениям в обществе, новому подходу и экономическому давлению, ремонтно-восстановительный сектор машиностроения сейчас находится на подъеме. Размер и потенциал этого рынка технологий ремонта и восстановления изделий просто огромен.

Для ремонта и восстановления изношенных и поврежденных машиностроительных изделий в настоящее время используются разнообразные технологии, такие как TIG/MIG/MAG наплавка, газотермические наплавка и напыление. Однако большинство таких традиционных технологий ремонта являются деструктивными из-за чрезвычайно высоких температур в зоне восстановления. Это приводит к возникновению температурных напряжений в металле, что снижает механические свойства и вызывает проблемы с качеством поверхности, такие как трещины и пористость, а также сокращает срок службы восстановленного изделия. В сравнении с этими традиционными технологиями более выгодным представляется использование для восстановления изделий технологии лазерной наплавки.

Она способна обеспечить намного более высокое качество восстановленной поверхности при минимальных изменениях и деформациях. Свойства материала восстановленной поверхности, полученной таким способом близки к свойствам исходного материала, а иногда даже превосходят их. В общем случае, достоинства лазерной наплавки заключаются в следующем:

- сокращенное технологическое время;
- улучшенный температурный контроль;
- возможность изготовления изделий с функционально градиентными свойствами;
- возможность изготовления изделий сложной геометрической формы.

Гибкость технологии лазерной наплавки признана промышленностью и спонсорами соответствующих исследований. Ее потенциал очень значителен, в связи с чем исследовательские группы по всему миру продолжают развивать эту технологию в рамках различных исследовательских программ, подготовки специалистов соответствующего профиля и внедрения ее в промышленность.

Основная область применения лазерной наплавки охватывает ремонт и восстановление дорогостоящих механических компонентов, таких как инструментальная оснастка, лопатки турбин, детали двигателей внутреннего сгорания и т.п., а также различные компоненты военной техники. В современной промышленности можно выделить три направления использования лазерной наплавки, которыми являются поверхностная наплавка, ремонтная сварка и аддитивное производство.

Лазерная наплавка представляет собой процесс плавления, в котором расплавляемый металлический материал, осаждаемый на субстрат, расплавляется с использованием лазерного луча (рисунок 1). Данная технология наплавки отличается высокой точностью, поскольку осажденный материал сплавляется с тонким слоем субстрата при помощи лазерного луча. Это гарантирует образование металлических связей между осажденным материалом и субстратом.

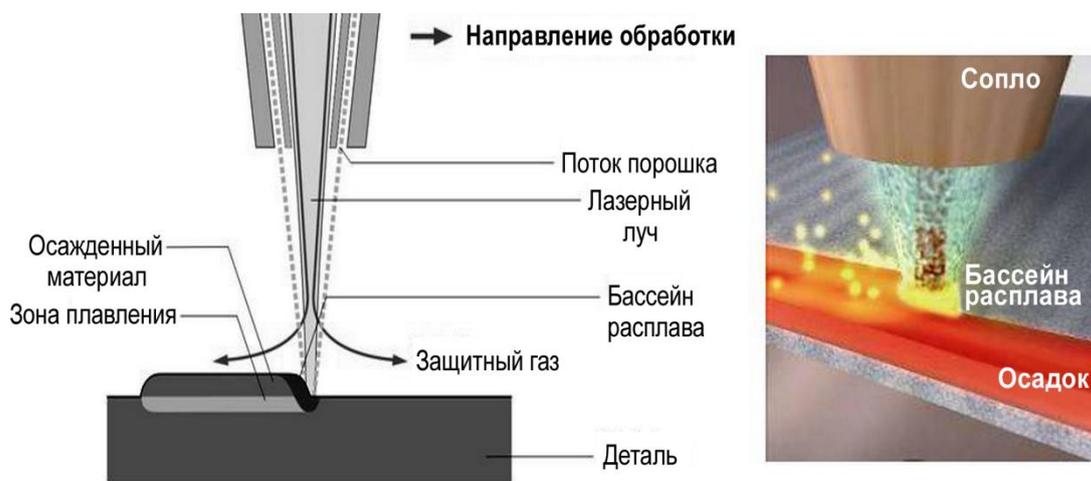


Рисунок 1 – Схема процесса лазерной наплавки (с подачей материала)

Осаждаемый металлический материал может вводиться в зону плавления различными способами либо до начала процесса, либо в его течение, т.е. он может быть нанесен на субстрат предварительно либо подаваться на него по месту. Предварительное нанесение материала, осуществляемое либо термическим напылением, либо гальваническим осаждением, является продолжительным и дорогостоящим, и поэтому эффективно только при необходимости наплавки по большим площадям поверхностей.

Подача по месту связана с введением осаждаемого материала в зону взаимодействия лазерного луча и субстрата в форме проволоки или порошка. Порошки являются более распространенным вариантом благодаря их фактически неограниченной возможности варьирования составом наплавляемого сплава. Порошки, используемые для лазерной наплавки, должны иметь размер частиц от 20 до 200 мкм. При этом наилучшие результаты достигаются, если частицы имеют сферическую форму. Поскольку при наплавке расплавляется лишь тонкий слой субстрата, создается покрытие с номинальным составом наплавляемого материала. Это позволяет адаптировать свойства поверхности к конкретной области применения путем выбора осаждаемого сплава с подходящими свойствами в отношении износа, окисления или коррозии. Расплавленный слой быстро отвердевает, формируя прочные металлические связи с субстратом. Для наплавки подходит большинство субстратов, допускающих лазерное плавление. Ими могут быть марганцовистые и нержавеющие стали, а также алюминиевые, титановые, магниевые, никелевые и медные сплавы.

Тип используемого лазера зависит от поверхности, на которую наносится покрытие, и сложности компонента. Углекислотные лазеры являются идеальным выбором для больших площадей при создании покрытий толщиной в несколько миллиметров на поверхностях с регулярной геометрией. Полупроводниковые лазеры больше подходят для точной обработки сложных трехмерных компонентов, требующих покрытий менее одного миллиметра толщиной. Независимо от своего типа лазер должен обеспечивать создание покрытия с нужными эксплуатационными свойствами, прочно связанного с субстратом при максимальной скорости нанесения и минимальных деформациях.

Удельная мощность лазерного луча составляет около 100 Вт/м^2 . Это примерно в десять раз больше, чем требуется для нагрева твердого тела, но немного меньше, чем необходимо для других процессов, основанных на расплавлении поверхности. Причиной этого является то, что наплавляемый материал вводится в зону плавления в форме порошка, проволоки или фольги, которые расплавляются легче, чем сплошная плоская поверхность из-за большего отношения площади поверхности к объему. На практике для эффективного создания покрытия минимальная мощность лазера должна составлять около 2 кВт.

Недостаточная мощность приводит к неполному расплавлению осаждаемого материала, в то время как, избыточная мощность приводит к чрезмерному расплавлению субстрата и нежелательному ослаблению покрытия. Время воздействия луча порядка 0,1 с обеспечивает смешивание и гомогенизацию

наплавляемого слоя при отверждении и остывании поверхности достаточно быстром для формирования хорошей микроструктуры с превосходными свойствами, которые сопоставимы с крупнозернистыми покрытиями, получаемыми традиционными технологиями наплавки. Покрытие отдельной области небольшого размера может быть выполнено за один проход, при котором ширина лазерного луча определяется требуемой шириной покрытия, а скорость его перемещения может достигать до 1 м/мин. При нанесении покрытий на большие площади преследуется цель максимизации скорости нанесения покрытия за счет использования ширины луча и скорости его перемещения, которые удовлетворяют требованиям удельной мощности и времени воздействия. В таких случаях часто требуются параллельные перекрывающиеся дорожки.

Использование проволоки как альтернативы порошкам имеет ряд важных преимуществ. Например, в ее случае использование материала составляет 100% независимо от геометрии детали. Подача материала не подвержена влиянию гравитации. Процесс наплавки является чистым и более безопасным для оператора и используемого оборудования. Также проволока имеет меньшую удельную поверхность, что обеспечивает благоприятные условия для обработки материалов, склонных вступать в химические реакции с окружающей атмосферой, таких как титан и алюминий. Однако это требует сложной технологии подачи проволоки, независимой от направления наплавки. Поэтому восстановление трехмерных металлических конструкций сложной геометрической формы до сих пор остается прерогативой лазерных излучателей с ручным управлением. Они обладают достаточной эффективностью и гибкостью, но страдают от субъективных факторов, таких как квалификация оператора. Ограничениями также выступают пониженные скорости наплавки и габаритные размеры изделий.

Несмотря на свои очевидные достоинства, технология лазерной наплавки имеет и ряд недостатков. К ним следует отнести:

- относительно высокие стоимость оборудования и эксплуатационные расходы;
- недостаток информации о технологических и финансовых выгодах;
- сопротивление со стороны промышленности, вызванное негативным опытом использования ранних ненадежных образцов лазеров;
- негативное отношение промышленно-производственного персонала, обусловленное потенциальной угрозой сокращения рабочих мест за счет автоматизации ручного труда;
- отсутствие либо необходимость переподготовки специалистов;
- неизученные проблемы технического характера, которые могут иметь место при освоении технологии.

Как было отмечено выше, одним из недостатков перспективной технологии лазерной наплавки является отсутствие специалистов соответствующего профиля. Подготовка высококвалифицированных специалистов в этой области может сократить существующий технологический разрыв между передовым и традиционным секторами производства. К сожалению, современные образова-

тельные программы университетов, связанные с лазерной обработкой материалов, являются очень ограниченными, главным образом, по причине недостатка базы знаний и доступности мощного лазерного оборудования. Лишь немногие университеты по всему миру имеют в своем распоряжении высокоомощные лазеры, в связи с чем изучение технологий лазерной обработки материалов, в большинстве случаев, не подкреплено практической составляющей. Кроме того, данная область является междисциплинарной и включает в себя ряд областей научного знания, таких как оптика, теория автоматического управления, робототехника и материаловедение, что еще более осложняет подготовку соответствующих специалистов.

Однако на протяжении последних пятидесяти лет наблюдается экспоненциальный рост продаж лазерных систем. В период между 1980 и 1990 годами ежегодный рост продаж исчислялся двухзначными цифрами, и лишь немного умерился из-за экономических потрясений начала 90-х годов и последнего экономического кризиса. На начало нового тысячелетия было продано около 125000 промышленных лазеров. И если их продажи в последующие годы будут расти такими же темпами, то число лазерных систем, используемых в промышленности, будет удваиваться каждые пять лет.

По этой причине важность изучения предметной составляющей лазерной обработки материалов была признана лишь недавно. Количество часов, отводимых университетами на изучение данного предмета, относительно мало по сравнению с изучением традиционных технологий обработки, и их увеличение запаздывает по отношению к расширению использования лазерных технологий в промышленности. Например, магистрантам инженерно-технических направлений может отводиться всего лишь несколько часов на рассмотрение особенностей использования лазерных технологий в производстве и их технических преимуществ, что в контексте складывающейся ситуации недопустимо мало.

Решением отмеченной проблемы может служить объединение усилий промышленных предприятий и центров профессионально-технической подготовки по разработке соответствующих образовательных курсов, призванных удовлетворить растущую потребность в специалистах необходимой квалификации. При этом быстрые темпы изменений в промышленных лазерных технологиях означают, что квалификация этих специалистов должна постоянно повышаться. Кроме того, следует уделять внимание проведению конференций и промышленных семинаров, которые имеют первостепенное значение для распространения лазерных технологий в производстве между практикующими их производителями и заинтересованными в них сторонами, что позволит находить приемлемые инновационные решения производственных проблем.

Список литературы

1. Gedda, H. Laser Cladding: An Experimental and Theoretical Investigation: doctoral thesis / H. Gedda. – Lulea: University of Technology, 2004. – 90 p.

2. *Torims, T. The Application of Laser Cladding to Mechanical Component Repair, Renovation and Regeneration / T. Torims // DAAAM International Scientific Book. – 2013. – Vol. 12. – P. 587-608.*