

УДК 621.7

Применение лазерных технологий очистки, наплавки, термообработки ковочных штампов на основе технологической платформы роботов 3-го поколения

И.Р.Садиков, В.Д.Могилевец

ФГБОУ ВО «Казанский национальный исследовательский технический университет им.А.Н.Туполева-КАИ» г.Набережные Челны, Россия

Аннотация: В последнее время волоконные лазеры активно вытесняют традиционные лазеры из таких областей применения, как, например, лазерная резка и сварка материалов, маркировка и обработка поверхностей, передача данных. Универсальность лазерного излучения, как технологического инструмента, проявляется в том, что его можно применять для ведения различных технологических процессов – резки, сварки, термообработки, легирования, прошивки отверстий, абляции, наплавки и т.д. Экономические показатели применения высокопроизводительных технологий существенно ухудшаются при уменьшении степени загрузки оборудования и персонала. Роботы третьего поколения, способные быстро и гибко перенастраиваться с наплавки на закалку, с закалки на очистку, с очистки на абляцию, резку или сварку, создают гораздо более широкие возможности для загрузки.

Ключевые слова: лазерные технологии, роботы 3-го поколения

Свойства лазерного излучения, как универсального инструмента, проявляются в самых различных технологических возможностях обработки материалов – универсальности, гибкости, локальности обработки в пространстве и во времени, производительности, прецизионности, селективности, корпоративности, «безызносности».

Волоконные лазеры были разработаны сравнительно недавно, в 80-х годах прошлого столетия. В настоящее время известны модели волоконных технологических лазеров мощностью до 100 кВт. Эти устройства имеют невысокую стоимость, компактны, удобны для сопряжения с магистральным волокном при минимуме вносимых потерь. Сегодня эти устройства достигли уровня характеристик, в первую очередь, мощности, надежности, позволяющих с успехом использовать их для решения различных задач лазерной обработки материалов. Они представляют собой практически идеальные преобразователи световой энергии лазерных диодов накачки в лазерное излучение с рекордным КПД, по сравнению, например, с твердотельными Nd:YAG и газовыми CO₂-лазерами.

Получение высокопрочных, устойчивых к эксплуатационным воздействиям изделий из штамповых сталей является классической задачей металловедения, и существенных достижений в этой области нет уже длительное время. Перечень штамповых материалов устоялся и происходит медленное совершенствование традиционных методов их изготовления, улучшения их механических свойств. Перспективными и эффективными

методами следует считать применение различных видов обработки совместно с термообработкой без изменения состава используемых сложнолегированных материалов. Совершенствование технологии изготовления пресс-форм, применяемых для горячей штамповки, является комплексной задачей, для решения которой требуется синтез металлургических, технологических, конструктивных и эксплуатационных разработок.

Общеизвестны основные причины выхода горяче-штампового инструмента из строя:

- 1) аварийное разрушение инструмента в результате несоблюдения технических условий при его проектировании, изготовлении и эксплуатации;
- 2) истирание отдельных участков рабочей зоны;
- 3) разгар рабочей поверхности штампа;
- 4) деформация выступающих участков ручья и изменение основных размеров гравюры.

Для обеспечения требуемой точности необходимо постоянство размеров основных рабочих органов прессового инструмента – матриц и пуансонов, их надежность и стойкость. Условия их работы крайне тяжелы и характеризуются интенсивными температурно-силовыми нагрузками. Поверхность гравюры прессового инструмента испытывает удельные давления, приближающиеся к пределу прочности материала, из которого он изготовлен. В этих условиях особенно опасна концентрация напряжений, возникающая в инструменте, что требует особо тщательной отделки рабочей поверхности.

Наиболее распространено упрочнение поверхности горяче-прессового инструмента азотированием, в результате которого сталь приобретает высокую твердость на поверхности, не изменяющуюся при нагреве до 400–450°C, высокую сопротивляемость износу, высокие пределы выносливости, коррозионную стойкость. Структура, глубина и свойства азотированного слоя зависят от химического и фазового состава стали, а также от режимов азотирования, которые определяются методом, температурой и длительностью процесса.

Азотированный слой состоит из поверхностной нитридной зоны и диффузионного подслоя, который называют зоной внутреннего азотирования. Первая зона формируется нитридными и карбонитридными фазами, а зона внутреннего азотирования состоит из твердого раствора в α -фазе с включениями нитридов. Для штампов, работающих при повышенных температурах и больших удельных нагрузках, необходим азотированный слой с развитой зоной внутреннего азотирования.

Традиционно применяемая отечественная азотированная сталь 4X5ФМС показывает значительное повышение величин микротвердости в поверхностном слое, но характеризуется резким уменьшением глубины диффузионного слоя, что обусловлено повышенным содержанием в стали 4X5МФС хрома, который увеличивает защитные свойства поверхностных оксидных пленок, препятствующих диффузии азота.

Существенным недостатком азотирования является большая длительность процесса - цикл азотирования длится от 20 часов до двух суток.

По результатам исследований, проведенных доцентом Таскиным В.Ю. из Сибирского федерального университета, можно увидеть, что основными причинами преждевременного разрушения штамповой оснастки являются:

- пониженная твердость инструмента;
- декорирование границ зерен выделениями карбидов в результате недостаточной скорости охлаждения инструмента при закалке и неудовлетворительное аустенитное зерно;
- большое количество неметаллических включений, что свидетельствует о низком качестве исходной заготовки для изготовления инструмента;
- недостаточная глубина азотированного слоя.

Добиться высокой стойкости штамповой оснастки и при этом исключить появление проблем, связанных со сложностями и длительностью процесса азотирования позволяет новый процесс – локального лазерное упрочнение металла

Технология лазерного упрочнения построена на общих принципах термообработки стали, а именно нагрев до температуры выше критических (Ас1 и Ас3), но не выше температуры плавления, при которой происходит превращение феррита в высокотемпературный аустенит и последующего резкого охлаждения. При этом происходит полиморфное превращение аустенита в феррит с выделением низкотемпературных закалочных структур (мартенсит, бейнит, троостит в зависимости от содержания углерода) в обрабатываемой стали. Если изделие имеет большие габариты, то охлаждение происходит за счет ухода тепла в основной металл без применения дополнительных средств охлаждения. Лазерная термообработка относится к поверхностному локальному виду термического упрочнения. В зависимости от технологического режима глубина термообработки находится в пределах до 1,5 мм. В обработанной зоне возникает мелкоигольчатая мартенситная структура на мягкой базовой основе, микротвердость может достигать 62 HRC. Такая структура, как показывает практика, значительно повышает износостойкость деталей.

К преимуществам лазерной термообработки относят:

- локальность нагрева, упрочняется только поверхностный слой, а сердцевина остается вязкой, что обуславливает повышенное сопротивление износу и усталости;
- малые остаточные напряжения, отсутствие поводок детали;
- сохранение макро и микрогеометрии;
- нет необходимости в последующей обработке поверхности.

Затраты на изготовление, эксплуатацию и ремонт штампов для горячей штамповки составляют значительную часть себестоимости производства поковок (до 20%, а иногда и более). Рациональное использование штампов, их правильное содержание, своевременность и высокое качество ремонта могут снизить себестоимость поковок.

Молотовые и горячештамповочные штампы являются быстроизнашивающейся оснасткой. Экономия расхода штампов достигается улучшением их конструкции, использованием износоустойчивых сталей, применением наиболее совершенных методов изготовления, и, в значительной степени, повышением стойкости за счет термообработки, своевременностью и высоким качеством ремонта.

Принцип лазерной газопорошковой наплавки заключается в локальном воздействии лазерного излучения на поверхность при одновременной подаче присадочного порошка с защитным газом (аргон). В итоге, происходит локальное плавление обрабатываемой поверхности и её послойное наращивание внедряемым в расплав порошком. Зона термического влияния после обработки лазером не превышает 0,2 мм. Ширина одной наплавленной дорожки зависит от мощности лазерного источника и варьируется от 2 до 20 мм, с высотой наплавленного слоя 0,5-3 мм за один проход. В соответствии с рисунком 1 количество наплавливаемых валиков, наплавленных друг на друга, практически ничем не ограничивается.

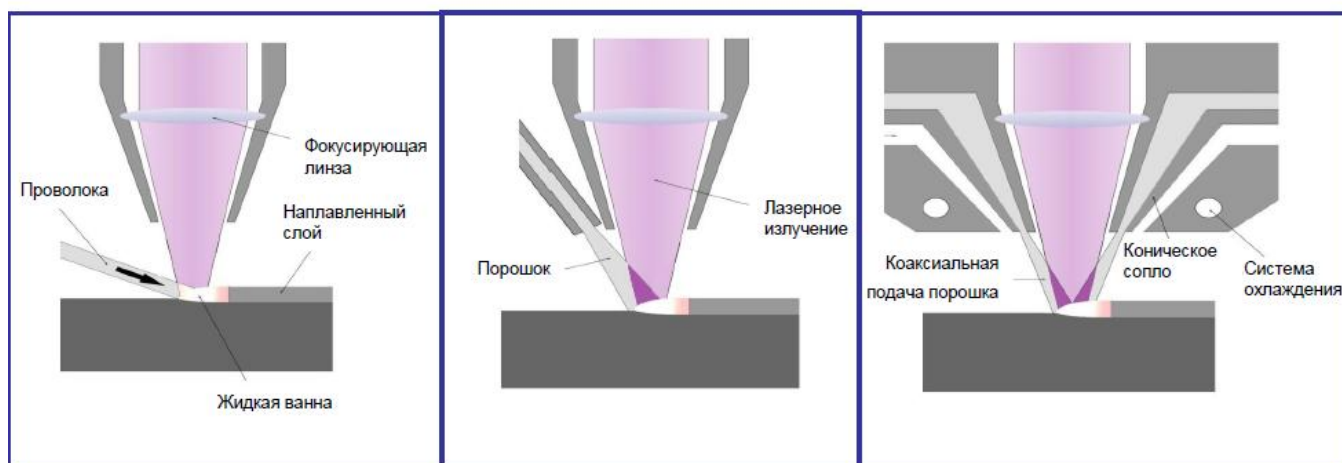


Рис. 1. Технология лазерной наплавки

В качестве присадочного порошка могут использоваться порошки на основе железа, никеля, кобальта с добавлением различных легирующих элементов, улучшающих физико-механические свойства наплавленного слоя. Состав порошка подбирается в зависимости от требуемых прочностных показателей наплавливаемой поверхности и видов последующего воздействия.

Благодаря высокой концентрации энергии в лазерном луче обеспечивается высокая скорость наплавки и малая зона термического влияния, которая минимизирует напряженное состояние и деформации в изделии. Величина адгезии, достигаемой при лазерной наплавке, легко достигает 400 МПа, что, как правило, превышает когезионные параметры материала самого изделия. Данное значение величины адгезии практически не зависит от размера наплавливаемого

участка. Это означает, что, отрыв наплавленного слоя возможен только по основному металлу.

Традиционно к преимуществам лазерной наплавки относят:

- обеспечение прочного и надежного сцепления основного и присадочного металлов;
- исключение образования пор и трещин;
- снижение остаточных напряжений и деформаций;
- уменьшение перемешивания основного материала (основы) с металлом наплавки;
- обеспечение ведения процесса с минимальной глубиной проплавления основы;
- не требуется термообработка перед наплавкой;
- увеличение коэффициента использования присадочного материала;
- снижение стоимости готового изделия за счет наплавки локальных зон.

Необходимо отметить, что роботизированные лазерные технологические комплексы [5] стимулируют не только рост производительности труда, но и повышение эффективности использования материалов, топлива, энергии и т.д. Но, при применении лазерной обработки, возможны следующие недостатки:

- недостаточная осведомленность технических специалистов предприятий о технологических возможностях имеющегося лазерного оборудования и технологий;
- отсутствие сертифицированных технологий;
- отсутствие специализированного оборудования;
- недостаток в высококвалифицированных кадрах;
- дороговизна обслуживания лазерного оборудования.

Современные волоконные и твердотельные лазеры с диодной накачкой, оснащенные оптоволоком, легко стыкуются с роботами и открывают новые технологические возможности в промышленности для очистки поверхности [4].

Лазерные технологические комплексы легко интегрируются в производство ремонтных работ взамен экологически проблемных традиционных технологий абразивной очистки.

Роботы третьего поколения (интегральные или адаптивные роботы) в отличие от роботов второго поколения должны быть способны самостоятельно обрабатывать информацию, получаемую от органов чувств (система компьютерного зрения). На базе программы распознавания геометрии объектов и технологии выбора разрешённых вмешательств - самостоятельно проводить технологические операции, в том числе - в сложных и изменяющихся условиях:

- очистка сложных фасонных деталей, а также простых от неравномерных загрязнений (пятна окалины, ржавчины, наросты краски);
- резка с компенсацией возникающих термических поворотов – например, деталей большого удлинения;

– резка деталей, которые могут внезапно отделиться или повернуться в процессе обработки; обрезка краёв и вырезка отверстий в деталях с нестабильными размерами, нежёстких, деформирующихся;

– резка литников, прибылей и облоя отливок сложной конфигурации, которые трудно или невозможно точно ориентировать;

– сварка деталей с большими допусками, влияющими на размеры и положение стыка, или широкой номенклатуры деталей на одной позиции;

– ремонтная наплавка, термообработка и модификация (азотирование) деталей со сложной и неповторяющейся формой, в т.ч. многослойная;

– контрольно-измерительные операции с меняющейся логикой в зависимости от особенностей геометрии измеряемых изделий;

– скоростное манипулирование деталями, например, установка заготовок и съём поковок, нестабильно позиционируемых при открытии штампа с целью работы в максимальном темпе пресса, без включения тормоза.

– разнообразные операции с большой номенклатурой деталей, с переналадкой «в одно касание» или без участия человека.

Роботизированный комплекс третьего поколения с волоконным лазером по упрочнению рабочих частей штамповой оснастки может быть адаптирован к автоматизации процессов по ремонтной наплавке. Технологический режим наплавки (восстановления штампов) осуществляется за счет смены лазерной головки Комплекса, установкой дополнительного периферийного оборудования, такого как дозатор, а также добавлением новых алгоритмов работы программного обеспечения.

Общая структурная компоновка роботизированного комплекса третьего поколения с волоконным лазером по упрочнению рабочих частей штамповой оснастки показана на рисунке 2.

– рабочее место оператора (пульт управления Комплексом) (4);

– проводное упрощенное мобильное рабочее место оператора;

– кабина Комплекса (2);

– стол Комплекса (3);

– робот - манипулятор;

– ограниченная зона под периферийные узлы (1);

– крепежный переходной адаптер для крепления инструментов на рабочем фланце робота-манипулятора (5).

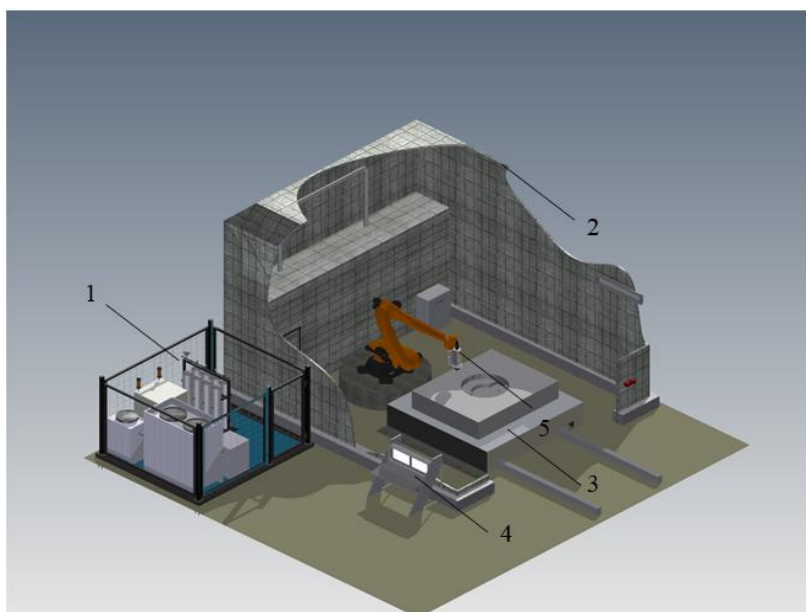


Рис. 2. Общая структурная компоновка роботизированного комплекса

Роботизированный комплекс третьего поколения с волоконным лазером по упрочнению рабочих частей штамповой предназначен для автоматизации технологических процессов по упрочнению штампов, а также автоматизации сопутствующих процессов: создание трехмерных моделей обрабатываемых штампов, измерение и исследование поверхностей штампов, и распознавание мест, требующих упрочнения, с применением лазерных технологий и волоконного лазера.

Система измерения поверхности представляет собой компьютерное зрение, включающее в себя методы получения, обработки, анализа и распознавания изображений, в общем случае, многомерных данных, для получения из них числовых или символьных данных, реализованное на основе сканирующего устройства, которое необходимо для получения точного рельефа обрабатываемой поверхности с целью его дальнейшего анализа.

К тому же технологическое применение [3] закалки, наплавки и, в дальнейшем, очистки поверхности, имеет целый ряд технических особенностей и свойств:

- Уникальный ресурс новых излучателей (более 100 тысяч часов с возможностью продления ресурса при сравнительно небольших затратах) и почти нулевые эксплуатационные затраты. С учетом фактического изъятия части амортизации через НДС и ЕСН в существующей налоговой системе это может быть весьма важным экономическим фактором (часть амортизации не используется и остается в распоряжении предприятия).

- Минимальные время и затраты на подготовку помещений и пусконаладку (инсталляцию).

- Универсальность лазерного источника. Волоконный лазер является образцом источника «чистой лучевой» энергии, и в нем самом почти нет технологической специфики, т. е. он может быть переориентирован с

выполнения одного технологического процесса на другой при диверсификации или иной перестройке производства.

- Возможность наращивания мощности. К примеру, при приобретении лазера с мощностью 700 Вт можно просто докупить блоки накачки и увеличить мощность до 2400 Вт, практически ничего не меняя в производственной системе (операция установки дополнительных блоков длится не более 2–3 часов), что позволит существенно уменьшить начальные капитальные вложения и нарастить производительность точно в тот момент, когда это нужно производству.

- Транспортировка излучения по оптическому кабелю длиной от 10 до 100 м существенно упрощает проектирование и компоновку технологических систем. Можно использовать огромный ассортимент серийной промышленной робототехники. Для некоторых задач требуется только три компонента: лазер, технологическая головка и промышленный робот.

- Возможность организации на базе волоконных лазеров многоцелевых и многофункциональных технологических участков для максимизации загрузки лазерного источника.

- Волоконные лазеры избавляют от необходимости содержать целый штат специалистов. Ничего этого не требуется для эксплуатации, обучение специалиста оператора занимает время не более недели. Вполне можно задействовать имеющийся персонал и заодно получить другой, более качественный уровень производительности.

Применение лазерных технологий восстановления ковочных штампов упрочнением и наплавкой на основе технологической платформы роботов 3-го поколения в условиях ПАО «КАМАЗ» позволит повысить эффективность производства за счет:

- увеличения срока службы штампов, что существенно снижает эксплуатационные затраты;

- повышения качества производимых изделий;

- ускорения процесса возврата штампа в производственный процесс;

- увеличения энергоэффективности процесса упрочнения и наплавки.

Экономические показатели применения высокопроизводительных технологий существенно ухудшаются при уменьшении степени загрузки оборудования и персонала. Если для реальных производств характерна значительно меньшая серийность, для стандартных робототехнических комплексов может возникать проблема загрузки оборудования. Роботы третьего поколения, способные быстро и гибко перенастраиваться с наплавки на закалку, с закалки на очистку, с очистки на абляцию, резку или сварку, создают гораздо более широкие возможности для загрузки.

Библиографический список:

1. [http:// www.emag.com/machines/laser-welding-machines](http://www.emag.com/machines/laser-welding-machines), Проект 122111-1 «Развитие проекта восстановления штамповой оснастки круглых в плане методом наплавки» ОАО «КАМАЗ» апрель 2011.

2. Вейко В.П., Смирнов В.Н., Чирков А.М., Шахно Е.А. Лазерная очистка в машиностроении и приборостроении. – СПб: НИУ ИТМО, 2013. – С.29.

3. Савин И.А., Марков В.В. Нищенков А.В. Плохов С.В. Методика теоретического расчета поверхностного натяжения металлических расплавов на основе физической модели энергетического состояния жидкости // "Справочник. Инженерный журнал" (с приложением) М.-2014. -№ 5. с.48-52

4. Гавариев Р.В., Леушин И.О., Савин И.А. Анализ влияния теплового баланса на показатель эксплуатационной стойкости пресс-форм для литья под давлением // Заготовительные производства в машиностроении. М. 2016. №1. С.7-9

5. Savin I.A. Los rasgos las elecciones del material de la parte que corta del instrumento al diseñado del tratamiento por el corte [Текст] // Modern scientific researches and innovations. 2015. №1 p.222-225 [Electronic journal]. URL: <http://web.snauka.ru/en/issues/2015/01/46088>

6. Лазерные технологии обработки материалов: современные проблемы фундаментальных исследований и прикладных разработок / Под ред. В.Я. Панченко. - М.: ФИЗМАТЛИТ, 2009 г., 664 с. – ISBN 978-5-9221-10235..

7. Смирнов В.Н., Скрипченко А.И., Медвецкий В.М. Очистка лазерным излучением // РИТМ, май, 2008. С. 64-66.