

Особенности технологии лазерной резки металлических материалов

А.А.Хакимзянова, И.А.Савин

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

Аннотация: В машиностроительных производствах, таких как ПАО «КАМАЗ», для разделения различных марок металла и получения из них заготовок применяются преимущественно механические методы. Привычные методы штамповки и резки достаточно разнообразны, однако, несмотря на многие достоинства традиционных способов резки материалов, существует множество проблем, связанных с невысокой производительностью, высокой стоимостью режущего инструмента и оснастки (пресс-форм и т.п.), их малой стойкостью, а также значительной сложностью разнофигурной резки по сложному криволинейному контуру. Рассмотрены особенности применения технологий лазерной резки в условиях действующего производства.

Ключевые слова: штамповка, лазерная резка, траектория инструмента, лазерное разделение.

Развитие современного производства обуславливает все возрастающее внедрение наукоемких технологий, поэтому необходимо разрабатывать и использовать новые методы обработки металлов. Одной из современных технологий разделения материалов является лазерная резка металла, обладающая множеством достоинств.

В машиностроительных производствах, таких как ПАО «КАМАЗ», для разделения различных марок металла и получения из них заготовок применяются преимущественно механические методы.

Лазерным разделением называется процесс достаточно быстрого локального нагрева, плавления и испарения материалов остросфокусированным лазерным излучением. С помощью лазерного излучения оказывается возможным довольно просто осуществлять операции разделения материалов – как сквозную резку или сверление отверстий, так и нанесение рисок, дорожек и пазов [1].

Такой способ резки не требует механического воздействия на обрабатываемый металл, что позволяет работать как с твердыми сплавами, так с хрупкими и легкодеформируемыми материалами и получать узкие толщины реза с минимальной зоной термического влияния. В процессе разделения металла, возникающие деформации незначительны, поэтому резка осуществляется с высокой степенью точностью и позволяющей вырезать детали разнообразной формы [2].

Одним из наиболее важных преимуществ лазерной резки является автоматизация процесса. Используемое на сегодняшний день оборудование дает возможность корректировать мощность лазера, глубину его проникновения. Это делает возможным без потери времени переходить с

одного типа деталей, независимо от сложности, на другой, что позволяет, в свою очередь, при переходе на другой вид продукции сократить затраты на изготовление специальных инструментов для переналадки линии.

Несмотря на большое количество преимуществ, лазерная резка материалов не является универсальным средством решающим все проблемы. Лазерные методы имеют существенные недостатки, с учетом постоянных совершенствований оборудования, различных новейших достижений в данной области, такие недостатки имеют временный характер. На данный момент лазерное оборудование имеет достаточно высокую стоимость, а лазерные установки - невысокий КПД.

В настоящее время в ПАО «КАМАЗ» все активнее применяются различные методы лазерного раскроя заготовок для производства автокомпонентов. Промышленным линиям производства выгоднее использовать листы металла для лазерной резки, чем необработанные детали большой толщины. При этом возможны экономия электроэнергии и применение видов лазерной резки листового металла с большей мощностью. Среди преимуществ лазерной резки листового металла перед другими видами обработки можно выделить:

- Высокую точность подачи и резки лазерного луча.
- Минимум загрязнений на поверхности детали.
- Малую вероятность нанесения деформации листу металла.
- Снижение энергетических затрат.
- Создание объемных сложных конструкций с большой скоростью и минимальной площадью обрабатываемого материала. [3]

Лазерное разделение материалов включает такие методы, как разделительная сквозная резка материалов для получения деталей готовых конфигураций; термораскалывание хрупких материалов путем создания в зоне облучения термонапряжений, превышающих предел прочности материала; скрайбирование – метод, применяемый для разделения полупроводниковых, керамических и ситалловых подложек на отдельные элементы.

Операции разделения подлежат классификации в зависимости от режима воздействия излучения. Термораскалывание и сквозная резка являются операциями, осуществляемыми при помощи лазеров непрерывного действия. Импульсные или импульсно-периодические лазеры используются при выполнении остальных операций.

На рис.1 представлена диаграмма использования лазеров для различных видов тепловой обработки.

Лазерное разделение материалов, возможно, единственный результативный способ резки композиционных материалов, при разделении слоистых пластиков данная резка охарактеризовала себя, как эффективный метод обработки. Поэтому для резки различных горных пород, полимерных пленок, бумаги и древесных пород можно успешно применять лазерное излучение.

На улучшение технологических процессов разделения металлов положительно влияет разработка лазеров нового типа, на сегодняшний день широко применяются лазеры на рубине, Nd:YAG- и CO₂ – лазеры, азотные,

эксимерные и лазеры на парах меди. Для поиска более рациональных и продуктивных областей применения лазерной резки и разработки на их базе новых технологических процессов, требуется обладать знаниями основных физических закономерностей разрушения материала, условий обработки и иметь представление о свойствах формирования и передачи излучения. [4]



Рисунок 1. Использование лазеров для различных видов тепловой обработки материалов: I – испарение тонких пленок; II – скрайбирование, испарение пленок; III – сверление отверстий, перфорация; IV – точечная сварка, термообработка; V – глубокое проплавление, газолазерная резка, термообработка, термораскалывание. [4]

Механизмы лазерной резки материалов включают в себя испарение, плавление с удалением расплава из зоны обработки, термораскалывание, термохимическое воздействие.

Испарение определяется такими процессами, как поглощение излучения поверхностью и передача энергии твердому телу, возгонка материала, образование эрозийного факела, возникновение волн давления, экранировка поверхности, установление автоколебательного режима испарения. Данный механизм характеризуется большими удельными энергозатратами, проведение операций сверления отверстий, скрайбирования, гравирования осуществляется с помощью лазеров импульсного действия.

Процесс резки механизмом плавления материала определяется тем, что после поглощения лазерного луча поверхностью материала происходят испарение и формирование парогазового канала; под действием совокупности сил жидкий расплав удерживается на стенках канала; выплеском или выдуванием потоком вспомогательного газа происходит устранение из канала жидкого расплава. Данный режим чаще всего используют для горных пород, керамики и металлов и т.д. При лазерном разделении материала в режиме плавления и выдувания, в сравнении с режимом испарения, удельный энергозатрат значительно меньше.

Разделение материалов при помощи механизма термораскалывания применяют при облучении хрупких материалов, по причине того, что в объеме

образца появляются термоупругие напряжения, обусловленных присутствием градиентом температур. Разрушение материала, имеющее направленность растрескивания, происходит по причине превышения предела прочности напряжениями. Изменяя режимы лазерной обработки, можно получить управляемое распространение трещин вслед за лучом. Для разделения материалов с данным механизмом требуются минимальные энергозатраты и уровень мощности излучения.

В зависимости от интенсивности излучения в зоне резания, вида обрабатываемого материала, состава и давления газа для газонаполненных лазеров или характеристик реза для твердотельных либо оптоволоконных лазеров различают несколько видов лазерной резки. Например:

- лазерно-кислородная резка
- кислородная резка с поддержкой лазерным лучом
- лазерная резка в среде инертного газа
- лазерная испарительная резка
- оптоволоконная лазерная резка и т.д.

Технология лазерного раскроя металла эффективно используется как для резки больших партий однотипных деталей, так и для мелкосерийного широкономенклатурного производства. Оборудование для лазерной резки не требует, какого либо переоснащения или перенастройки при изменении конфигурации детали, что делает данный метод максимально гибким, и позволяет без остановки продолжать раскрой листа, лишь изменяя управляющие программы. [3]

Разделение разнообразных металлов и сплавов осуществляется с использованием сфокусированного лазерного излучения, обеспечивающего высокую концентрацию энергии, в тоже время возможно получение узких разрезов с минимальной зоной термического влияния.

Для данного процесса используют технологическое оборудование на базе твердотельных Nd: YAG- и газовых CO₂- лазеров, которые работают в непрерывном и импульсно-периодическом режимах излучения.

При газолазерной резке металлов определяют стационарный и нестационарный характер разрушения. Стационарный характер разрушения происходит в том случае, когда скорости плавления металла в направлении реза и удаления расплавленного металла в каждом сечении канала равны. Нестационарный характер разрушения, характеризуется циклическим выбросом расплавленного металла из зоны обработки и возникает при меньших скоростях резки металлов.

Качественно физические основы нестационарного разрушения представлены на рис 2. После удаления очередной массы жидкой ванны из канала реза в нижней его части вновь возникает расплав, так как из-за расширения сфокусированного лазерного излучения нижняя часть канала непрерывно находится в поле лазерного излучения (рис.2а). При последующем перемещении материала относительно лазерного излучения оно попадает на зоны, расположенные выше канала, в результате чего они подплавляются (рис. 2б). При этом удаление образованной ванны расплава не происходит,

поскольку динамическое воздействие дополнительного потока газа оказывается недостаточным. Затем в результате плавления металла объем ванны увеличивается и по достижении его определенной величины расплав из зоны обработки удаляется (рис.2в). Процессы разрушения металла далее повторяются, вследствие чего на боковой поверхности кромок реза образуются бороздки[1]. В газолазерной резке сталей и сплавов также используют вспомогательный газ - кислород, который выполняет различные функции, позволяющие получить более качественный рез.

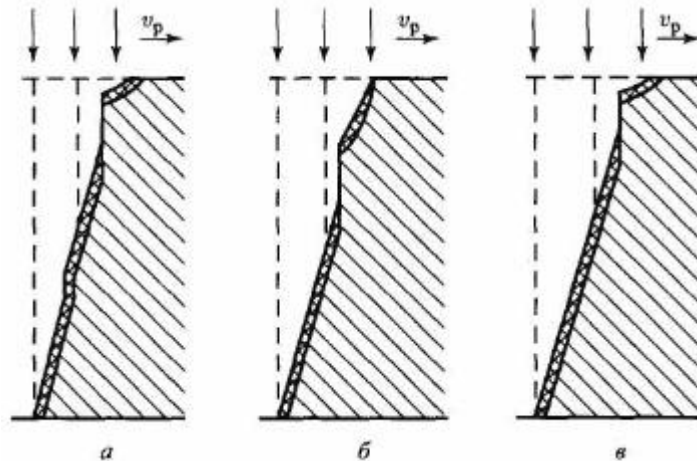


Рисунок 2. Стадии разрушения в процессе резки металлов непрерывным излучением при низких скоростях (нестационарный механизм) [1].

При резке металла по изогнутому контуру скорость перемещения деталей, изменится, приближаясь к нулевым значениям, поэтому качество обработки существенно снизится. Профиль реза изменится, увеличится шероховатость поверхности и ширина реза, наряду с этим время разрушения материала увеличится. Поэтому чтобы изготовление деталей по криволинейному контуру было точным и качественным нужно выполнять управление параметрами режима резки металлов. Импульсно-периодический режим излучения имеет большие возможности в этом отношении.

Вероятны две схемы формообразования реза по глубине материала, обуславливаемые соотношением толщины металлического материала, скоростью резки и энергетическими характеристиками излучения.

Первую схему используют для обработки тонколистового металла. В процессе воздействия каждого следующего импульса в материале возникает элементарное отверстие, в данном воздействии участвует только часть сфокусированного лазерного луча, определяемая шагом обработки S .

Вторая используется при обработке деталей больших толщин, схема представлена на рис.3. В данной схеме, образуется очередное элементарное отверстие, после перемещения лазерного луча в направлении реза на величину шага обработки под действием переднего края светового пятна, попадающего на верхнюю кромку детали. В тоже время под действием оставшейся части сфокусированного лазерного пучка происходит последующее углубление

прежде созданных элементарных отверстий, впоследствии чего возникают поверхности разрушения ступенчатого характера.

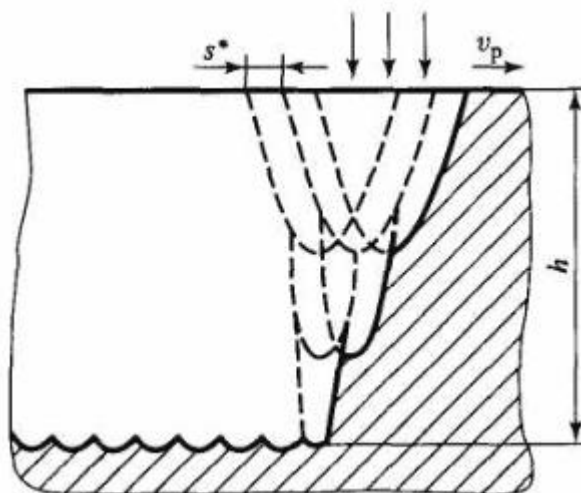


Рисунок 3. Схема процесса резки импульсно-периодическим излучением материалов большой толщины. [1].

Таким образом, при разработке технологии лазерной резки материалов, важно учитывать ряд особенностей. Для поиска более рациональных и продуктивных областей применения лазерной резки и разработки на их базе новых технологических процессов, требуется обладать знаниями основных физических закономерностей разрушения материала, условий обработки и иметь представление о свойствах формирования и передачи излучения.

Механизмы лазерной резки материалов включают в себя испарение, плавление с удалением расплава из зоны обработки, термораскалывание, термохимическое воздействие, так при воздействии лазерного излучения на металлы возможны два механизма резки, такие как плавление и испарение.

Чтобы изготовление деталей по криволинейному контуру было точным и качественным нужно выполнять управление параметрами режима резки металлов. Импульсно-периодический режим излучения имеет большие возможности в этом отношении. Вероятны две схемы формообразования реза по глубине материала, обуславливаемые соотношением толщины металлического материала, скоростью резки и энергетическими характеристиками излучения. Одна схема предназначена для обработки тонколистового металла, вторая для обработки деталей больших толщин.

Следовательно, развитие современного производства невозможно без внедрения наукоемких технологий, по этой причине необходимо разрабатывать и использовать новые методы обработки металлов, одной из таких технологий является лазерная резка материалов, которая имеет ряд преимуществ в отличие от других методов разделения материалов.

Лазерные установки для резки металла состоят из:

1. Специального излучателя (твердотельный или газовый лазер). Должен обладать соответствующими энергетическими и оптическими параметрами.

2. Системы транспортировки и формирования луча и газа. Отвечает за передачу луча от источника излучения к детали, которая подвергается обработке, и изменение характеристик поступающего к точке реза рабочего газа.

3. Устройство перемещения (координации) как самого металла, так и действующего на него лазерного луча. Дополнительно содержит исполнительный механизм, привод и двигатель.

4. АСУ (автоматизированная система управления). Контролирует лазер и управляет координатным устройством и системой транспортировки и формирования луча и газа. Оснащена различными датчиками и подсистемами.



Рисунок 4. Станок для лазерной резки листовых металлов. [3]

Современный станок лазерной резки металла способен выполнять любые сложные задачи, даже лазерную художественную резку металла. Их производством занимаются как российские компании, так и зарубежные представители (например, немецкая компания “Trumpf”). [5]

Заключение: Применение лазерной резки имеет множество преимуществ перед другими видами обработки металла. Поэтому все больше предприятий используют в своем производстве именно лазерную обработку металла. Лазерная резка металла - это передовое решение позволяющее добиться максимальной эффективности обработки тонко- и среднелистового металла.

Основные преимущества, достигнутые в ПАО «КАМАЗ» и дочерних предприятиях при применении технологии лазерного раскроя и резки заготовок для автокомпонентов являются:

- высокое качество обработки. Лазерная резка позволили получать наиболее высокое качество обработки, недостижимое при помощи плазменной и газоплазменной резки.
- высокая производительность. Оборудование для лазерной резки позволило достичь высокой производительности обработки.
- высокая точность обработки. Применяемое лазерное оборудование позволяет получать точность обработки порядка 0.005 мм.
- высокая надежность и стабильность систем. Применение волоконного лазерного источника в совокупности с прецизионными системами движения на линейном приводе позволило существенно повысить надежность применяемого

оборудования и практически устранило необходимость специального сервисного обслуживания.

- лазерная резка стали производится в кислородной среде и позволяет получить высокое качество детали в совокупности с высочайшей производительностью процесса.

- особенностью лазерной резки нержавеющей стали является необходимость достижения кромки реза без окисленной поверхности. В данном случае используется азотная среда, что позволяет исключить горение материала в процессе резки.

- раскрой алюминия является достаточно сложной задачей для термических методов обработки материалов вследствие высокой теплопроводности данного металла. Данная проблема решается применением современных волоконных лазеров позволяющих получать максимальное качество при лазерной резке алюминия, без образования окалины и наплывов.

Библиографический список:

1. Технологические процессы лазерной обработки: Учеб. пособие для вузов / Григорьянц А.Г., Шиганов И.Н., Мисюров А.И. Под ред. А.Г. Григорьянца. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2006.-664с.

2. 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

3. <http://metallmaster.org>

4. Основы лазерной обработки материалов / Григорьянц А.Г. / М.: Машиностроение, 1989. – 304с.

5. Технологические лазеры: Справочник: в 2 т., т. 1: Расчет, проектирование и эксплуатация/ Абильситов Г.А., Голубев В.С., Гонтарь В.Г. и др.; Под общ. ред. Абильситова Г.А.. - М.: Машиностроение, 1991. - 432 с.: ил.