

ОБЪЕДИНЕНИЕ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

С ПРОЦЕССОМ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

Технология формовки/штамповки материалов обычно характеризуется возможностью массового производства продукции высокого качества. Но она страдает отсутствием гибкости при необходимости разнообразить продукцию. Рынок, однако, требует производства все более разнообразной продукции для удовлетворения спроса отдельных потребителей. В публикуемой статье [1] описано, как можно удовлетворить этим требованиям, объединив лазерную обработку с процессом формообразования.

ВВЕДЕНИЕ

Объединение высокопродуктивного процесса и средств, формирующих геометрию детали (с высокой точностью воспроизведения ее формы) – основная характеристика процесса формовки/штамповки. Однако, учитывая большие затраты времени и средств на изготовление оснастки, требуемой для реализации этой технологии, ясно, что она не рассчитана на частую смену номенклатуры и числа выпускаемых изделий. Кроме того, потребитель все чаще заинтересован в продукте с характерной индивидуальностью, выраженной не только цветом, но и формой и функциональными возможностями. Это ведет к увеличению разнообразия продуктов даже одного функционального назначения, примером может быть автомобильная промышленность. Вследствие этого формовка изделия, декларируя свое лидерство, должна развиваться в направлении более гибкого удовлетворения требований рынка.

Лазер в этой ситуации – единственный инструмент, который может применяться во всех без исключения технологиях производства, соответствующих стандарту DIN 8580: от предварительной обработки, собственно формообразования, отрезания и соединения/сваривания до модификации свойств

и наружного покрытия материалов. Эти характеристики в комбинации с фактически безграничной свободой позиционирования и возможностью автоматизации делают лазер инструментом, наиболее гибким по отношению к смене процесса или объекта обработки и его серийности. Поэтому лазерный луч – это тот инновационный инструмент, назначение которого – предложить совершенно новые решения в области создания продуктов и технологий, используя эффект синергии от сочетания лазерной обработки с процессом формовки [2,3].

Принципиально существуют три различных варианта такого сочетания: использование лазерной обработки до, во время или после формовки [4]. В этой статье обсуждается только вариант использования лазерной обработки до процесса формообразования, учитывая, что такой вариант применения – наиболее обещающий как с точки зрения уменьшения времени выхода нового продукта на рынок и снижения его цены, так и с точки зрения увеличения гибкости процесса формовки. Использование лазера до процесса формообразования позволяет либо влиять на свойства формируемой детали (например раскромочной заготовки), либо уменьшить цену оснастки (примеры будут приведены в обоих случаях).

УМЕНЬШЕНИЕ СТОИМОСТИ ПОДГОТОВКИ ПРОИЗВОДСТВА

Для уменьшения времени подготовки изделия к выходу на рынок, а следовательно, стоимости нового продукта, нужно разработать новые процессы для быстрого изготовления опытного образца (быстрого прототипирования). Они дают возможность для быстрого и дешевого изготовления как прототипов, так и малой партии изделий. Существуют две стратегии быстрого изготовления прототипов.

Первая стратегия – изготовление прототипов без применения инструментов, зависящих от формы изделия. При этом можно использовать две технологии: формовку лазерным лучом или последовательную (инкрементную) формовку. В обоих случаях проблема в том, что свойства изготовленных таким образом деталей сильно отличаются от свойств деталей, изготовленных при серийном производстве. Создание прототипов, свойства которых будут такими же, как и при серийном производстве, возможно только при использовании второй стратегии, когда инструменты для формовки образца создаются с помощью лазерной технологии.

Сегодня инструменты изготавливаются, как правило, с использованием обычных операций механической обработки: токарной обработки, фрезерования на станке с ЧПУ и электроискровой обработки. Эти методы требуют много времени и средств и неоправданно дороги для изготовления экспериментальных образцов инструмента. На основе лазерной технологии были разработаны различные методы быстрой механической обработки.

Плавление и спекание образцов инструментов лазерным лучом

Благодаря возможности непосредственно производить функциональные опытные образцы, такие технологии, как прямое спекание и плавление металлических порошков с помощью лазерного луча (а также ряд других), могут рассматриваться в качестве ключевых на растущем рынке RP-технологий (технологий быстрого прототипирования).

На рис.1 показан процесс лазерного спекания, характерный для обеих технологий. Изготавливаемая деталь формируется слой за слоем в порошковой ванне (постели) путем селективного распределения (укладки) этого порошка на основе информации о слое, взятой из трехмерной модели, разработанной в САПР. Как только закончено формирование одного слоя, платформа с ванной понижается на толщину одного слоя (обычно это около 100 мкм). Одновременно поднимается резервуар с порошком (см. рис.1, справа), чтобы обеспечить материалом следующий слой, который распределяется с помощью плоской щетки (скребка). Чтобы усилить прочность и качество поверхности, особенно в случае прямого лазерного спекания, этот этап может быть закончен

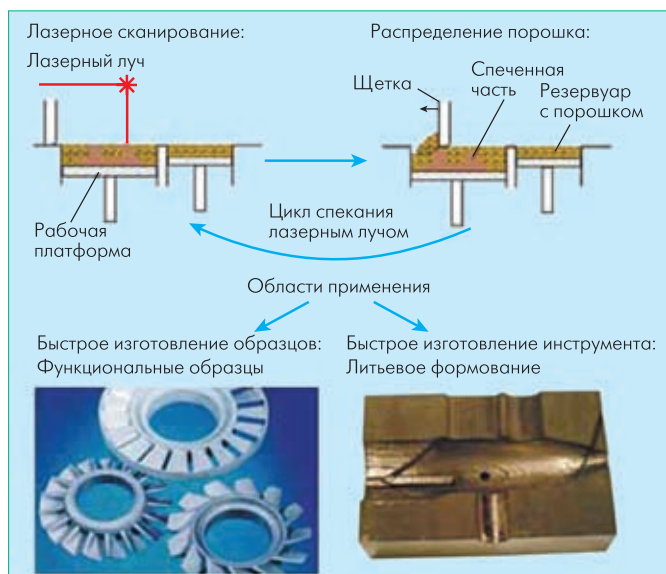


Рис.1 Схема процесса лазерного спекания и области его использования

напылением PVD-покрытия (основанного на термовакуумном осаждении из паровой фазы) [5]. Время изготовления образцов для обеих технологий определяется в основном объемом опытного образца, а не его сложностью.

В случае прямого лазерного спекания порошок состоит по крайней мере из двух фракций: малоразмерной и крупноразмерной. Малоразмерная плавящаяся фракция играет роль связующего материала, а другая (крупноразмерная) – роль структурной составляющей материала. При плавлении металла непосредственно с помощью лазера порошок состоит только из одной фракции – в общем случае это сталь, которая плавится с помощью лазерного луча. Прямое лазерное плавление в сравнении с лазерным спеканием имеет то преимущество, что можно применять порошок с высокой температурой плавления. Следовательно, температурная стабильность расплавленных лазером частей выше, что делает их более удобными для создания инструментов, используемых для литья легких металлов под давлением.

Основной недостаток обеих технологий в том, что они страдают от искажения формы, трещин и расслоения материала, что вызвано высоким градиентом температуры во время обработки. Детальное описание причин этого дано в работе [6]. Решение проблемы состоит в снижении градиента температуры при обработке. В ранее проведенных исследованиях [7] было показано, что можно снизить искажения частей/образцов, полученных лазерным спеканием, до уровня 40% от исходного путем предварительного и последующего нагрева, который может быть реализован вторым лазерным лучом, наложенным на первый. В дальнейших исследованиях эта стратегия, очевидно, будет оптимизирована с помощью уже упомянутого термомеханического FE-моделирования (моделирования на основе метода конечных элементов).

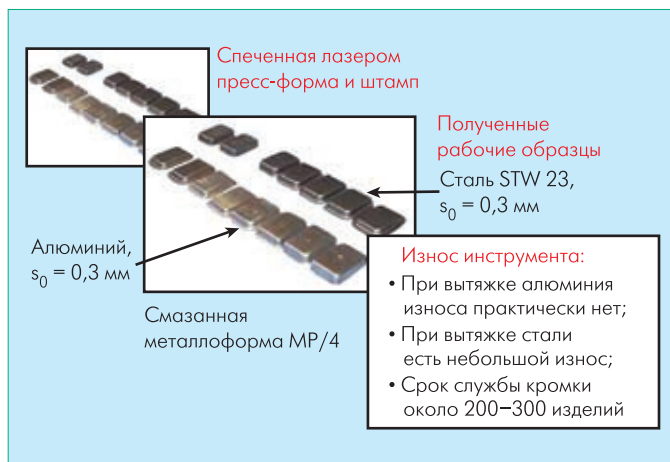


Рис. 2 Спеченные лазером пресс-формы и штампы для глубокой вытяжки и полученные образцы

Использование инструментов лазерного спекания для формования листового металла было впервые продемонстрировано Лазерным центром в Ганновере в 1997 году [8]. За три шага был сделан штамп из сплава алюминия с бронзой, который сначала был получен лазерным спеканием, потом был спечен в обычной печи и затем окончательно пропитан оловянным припоем. Материал с прочностью и твердостью, как у алюминия, благодаря использованию PTFE-пленки для оптимизации смазывающих свойств, позволяет отформовать чашечки высокого качества.

В кооперации с европейскими партнерами из Бельгии, Венгрии, Словении и Германии автором было показано, что цепочку шагов при разработке трехмерных деталей из листового металла можно значительно сократить, используя инструменты, полученные лазерным спеканием. На рис.2 показаны прямоугольные чашечки, полученные с помощью пуансона и матрицы, изготовленных путем лазерного спекания.

Многослойные (ламинированные) инструменты

Другая возможность быстрого производства формовочных инструментов – создавать эти инструменты послойно из листов металла (рис.3) [9,10,11]. Предпочтительной технологией контурного раскроя листового металла является лазерная резка, так как она не привязана к определенной геометрии и позволяет вырезать практически любой контур. Более того, качество резки очень высокое, и вырезанные пластины можно соединять без последующей обработки, используя лазерную сварку, болтовое соединение или склеивание. Для реализации высокого уровня автоматизации и непрерывности производственных процессов был разработан модуль "тонколистовой" САПР, который автоматически сегментирует слои трехмерной модели такого инструмента, созданной в рамках системы САПР. Преимущество многослойных инструментов по сравнению с инструментами, полученными лазерным спеканием или в процессе плавки металла, – в увеличенной жесткости ее частей, которая приводит к высокой износостойкости инструмента.

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ЛАЗЕРОВ ДЛЯ ПОДГОТОВКИ ЗАГОТОВОК

Раскромочные заготовки

Вероятно, наиболее важным применением лазеров в процессе обработки материалов является производство предварительно раскромочных заготовок. Раскромочные заготовки – это заготовки, которые сварены вместе из нескольких листовых заготовок различной формы, качества и размера, имеющих или не имеющих поверхностное покрытие до начала этапа формования. Проектирование раскромочных заготовок можно оптимизировать с учетом этапов последующего формирования и общего веса конструкции. Для соединения заготовок используются две альтернативные технологии: лазерная сварка или точечная (контактная) сварка сопротивлением, так как в обоих случаях можно сформировать сварочный шов. Другие технологии сварки приводят либо к подводу большого количества тепла и, следовательно, к образованию большой зоны теплового влияния, либо работают очень медленно, либо обходятся дорого.

Технологию раскройки заготовок поддерживает постоянное желание сэкономить вес и уменьшить стоимость изделия, поэтому сегодня она востребована при проектировании кузова почти каждого автомобиля. По сравнению с обычной конструкцией экономить вес можно, например за счет исключения из нее усиливающих элементов, а также за счет уменьшения числа соединений внахлестку [12,13,14]. Некоторые части можно улучшить благодаря получаемой хорошей точности, снизив стоимость инструментальной обработки и используемого оборудования, и даже сэкономить на требуемой производственной площади. Более того, части, сделанные из раскромочных заготовок, обычно демонстрируют повышенную жесткость и меньше ломаются.

Использование раскромочных заготовок из стали стало уже реальностью в современном производстве кузовов автомобилей. Возможен даже более радикальный подход в снижении веса конструкций – использование раскромочных заготовок из легких или композитных материалов. Так, заготовки из алюминиевых сплавов были успешно исследованы в последние годы [15,16].



Рис.3 CAD-CAM последовательность этапов быстрого изготовления многослойных инструментов для формовки металлических листов

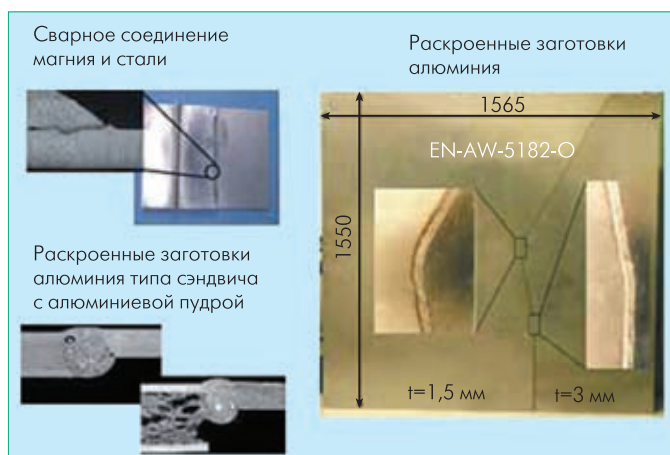


Рис.4 Раскроманные заготовки из легких материалов

Трудности использования раскроманных заготовок из алюминия обусловлены сварными швами, поведение которых отличается от поведения сварных швов из стали. Сварка сталей, полученных глубокой вытяжкой, приводит в общем случае к получению закаленного сварного шва. Следовательно, напряженные состояния, полученные при глубокой вытяжке, не локализируются в сварных швах, тогда как напряжения, полученные при вытягивании алюминиевых раскроманных заготовок, локализируются в сварных швах из-за ослабления материала в этой области. Благодаря тому, что этот эффект можно уменьшить (но нельзя полностью исключить при использовании дополнительного материала при сварке), положение сварного шва становится существенным в последующем процессе формования материала.

В упомянутых исследованиях отмечено, что необходимо позиционировать сварной шов параллельно основным напряжениям в процессе формования, чтобы избежать брака. На рис.4 справа показана раскроманная заготовка из алюминиевого сплава со сварным швом, который в результате получился нелинейным.

С помощью сварки лазерным лучом можно соединять не только заготовки из того же материала (например, алюминия), но и из разных материалов, например из алюминиевых сплавов и стали или из алюминиевых сплавов и алюминиевых сэндвичей (материалов, набранных из алюминиевых пластин). Так, Институт прикладной лазерной техники (Institut für angewandte Strahltechnik) в Бремене (Bremen) [17] успешно продемонстрировал соединение магния со сталью. Сварку алюминия и алюминиевых сэндвичей, состоящих из двух листов алюминия и слоя алюминиевой пены между ними, в то же время продемонстрировали на Кафедре технологии производства в Эрлангене (Erlangen). Первые результаты показали, что эти материалы соединять можно, но нужно улучшать качество сварного шва, для того чтобы достичь хорошего качества формообразования (см. рис.4, слева).

Технология раскроманных заготовок – одна из ключевых технологий в плане уменьшения веса и стоимости изготовления кузовов машин. За последние годы были проведены

интенсивные исследовательские работы по оптимизации этой технологии, однако она еще не исчерпала свой потенциал и продолжает привлекать исследователей.

Внутренне раскроманные заготовки

Другой подход, уменьшающий стоимость формования листового материала, – использование так называемых внутренне раскроманных заготовок. Такими заготовками называются заготовки из легких листовых материалов (например, алюминиевых сплавов, двухфазных сталей), которые имеют локально меняющиеся (по отношению к процессу формования) оптимизированные потоковые свойства [18]. Локальные потоковые свойства адаптируются с помощью лазерной тепловой обработки, которая приводит к изменению микроструктуры материала.

В принципе, можно следовать двум стратегиям, основанным на двух типах отказов, которые возникают при глубокой вытяжке: наличие трещины в основании колпачка и складки в районе фланца. Первая стратегия – снижение напряженного состояния во фланце, вторая – усиление прочности в основании колпачка. Первая стратегия в общем случае применима к алюминиевым сплавам. Например, предел текучести упрочняемых алюминиевых сплавов в твердом состоянии может быть снижен более чем на 50% путем растворения осажденных частиц под действием лазерного излучения [17]. Вторая стратегия может применяться в основном к сталям, где локальное лазерное упрочнение может значительно повысить прочность материала.

Основные исследовательские работы позволили определить оптимальные параметры излучения таких заготовок как из стальных, так и алюминиевых сплавов [18,19]. На рис.5 показано улучшение предельного коэффициента вытяжки (LDR) для алюминиевого сплава EN AW-6181, который давал значение LDR, равное 2,1 для необработанной заготовки и

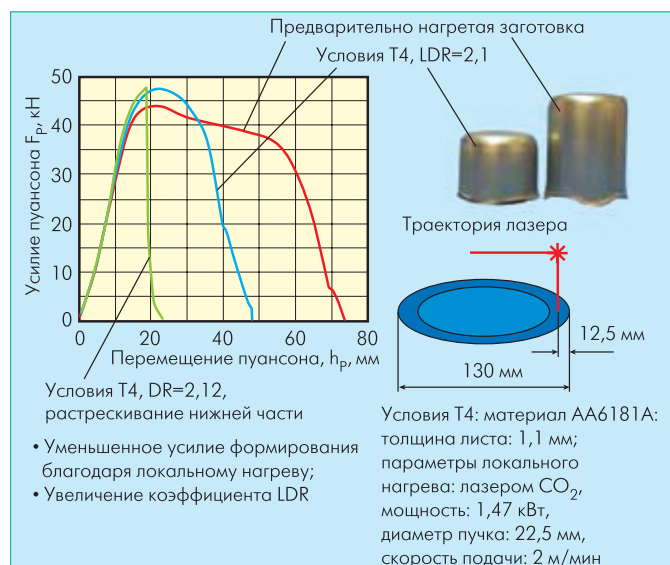


Рис.5 Улучшение предельного коэффициента вытяжки с помощью лазерной обработки фланцев

значение 2,6 для заготовки, фланцы которой были обработаны лазером. Этот пример продемонстрировал потенциальные возможности данной технологии по снижению стоимости изготовления малых партий. Путем использования локально оптимизированных заготовок число шагов процесса вытягивания можно уменьшить, что позволит уменьшить стоимость процесса. Другое преимущество данной технологии в том, что существующие инструменты, которые оптимизированы, например, для вытягивания стали (как инструмент в приведенном выше примере), могут быть также использованы для алюминиевых сплавов, если они будут подвергнуты тепловой обработке лазером. В этом случае можно сэкономить дополнительные средства, которые пришлось бы затратить для модернизации инструмента.

ВЫВОДЫ

Данная статья иллюстрирует синергию лазерной обработки материалов и формования металла при объединении обеих технологий. Лазерная обработка материала уже нашла много очень интересных и полезных приложений в случае ее использования до процесса формования.

Быстрое изготовление инструментов путем лазерного спекания и плавления или многослойных (ламинированных) инструментов – это только отдельные примеры быстрого развития технологий рассматриваемого направления, движущая сила которого – растущий интерес промышленности в сокращении этапов разработки и изготовления опытных образцов высокого качества. Лазер является таким инструментом, который выполняет требования, предъявляемые к гибким инструментам для быстрой механической обработки. Однако нужно еще провести ряд исследований и практических испытаний для улучшения качества изготавливаемых инструментов и поиска новых приложений.

Техника раскройки заготовок – это, возможно, та технология, где синергия лазерной обработки материалов и технологии формовки наиболее очевидна. Раскромленные заготовки дают новые возможности в области многолистовых металлических конструкций, рассчитанных на минимизацию веса и стоимости. Новые перспективные задачи по созданию исключительно легких конструкций диктуют использование легких материалов вместо стали, что уже стало нормой, или композиции различных материалов в одной раскромленной заготовке.

В этой статье рассмотрены только те процессы, в которых лазер используется перед формованием металла. Но существует много приложений, в которых лазерная обработка применяется во время или после формовки, например последовательность процессов резки лазерным лучом и соединения листовых металлических частей, полученных методом глубокой вытяжки.

Формовка металлов с помощью только лазерной обработки – это технология, которая тщательно исследуется пос-

ледние десять лет, но она пока еще только ищет адекватные промышленные приложения. Наиболее приемлемыми здесь являются приложения для автоматизированной подгонки микрокомпонентов [19] или для выправления искаженных металлических деталей.

От редакции. Публикуя данную статью, редакция надеется, что ее материал актуален и сегодня. Для читателя, желающего расширить познания в этой области, приводим ссылку [20] на отечественное издание интересной и полезной книги о технологических процессах лазерной обработки, которая также рассматривает вопросы, затронутые в этой статье.

Перевод с англ. с согласия журнала LaserOpto (Германия)

ЛИТЕРАТУРА

1. **Otto A.** Combinations of Laser Material Processing and Metal Forming. – LaserOpto, 2001, n.1, p.46–49.
2. **Geiger M.** Synergy of Laser Material Processing and Metal Forming. – Annals of the CIRP, 1994, v.43(2), p.563–570.
3. **Geiger M., Kreis O., Vahl M.** Laser assisted tooling in manufacturing. – In: Proc. of the 2. Intern. Conf. on Industrial Tools (ICIT) 1999; Ljubljana/Maribor, Slovenia, 18–22.04.99, p.3–14.
4. **Geiger M., Hein P.** Innovationen in der Blechbearbeitung durch Integration der Lasertechnik in der Blechumformung. – Proc. zum Aachener Kolloquium für Lasertechnik, 1995.
5. **Hoffmann P., Bergmann H.** Lasergestuetztes Rapid Tooling. In: Vortraege des 12. Intern. Kongresses Laser 95. Fachkongress Fertigungstechnik. Schlüsseltechnologie Laser: Herausforderung an die Fabrik, 2000, s.135–149.
6. **Niebling F., Otto A., Geiger M.** FE-Simulation des selektiven Laserstrahlsinterns von Metallpulvern. – LaserOpto, 2000, n.12, s.68–71.
7. **Coremans A.** Direktes Laserstrahlsintern von Metallpulvern – Prozessmodellierung, Systemtechnik, Eigenschaften laserstrahlgesinterter metallischer Werkstoffe. – Meisenbach, Bamberg, 1999.
8. **Haferkamp H.** et al. Laserstrahlsintern zur Herstellung von Blechumformwerkzeugen. Blech, Rohre, Profile, 1996, 43(6), s.317–319.
9. **Geiger M.** et al. Lamellierte Aktiv-Werkzeugelemente in flexiblen Blechumformwerkzeugen. – Blech, Rohre, Profile 1–2, 1999.
10. **Kuzmann K.** et. al. Laser cut sheets – one of the basic elements of low cost tooling systems in sheet metal forming tools. – In: Proc. of LANE'94, Erlangen 1994, p.871–882.
11. **Geiger M., Franke V.** Biegewerkzeuge aus lasergeschnittenen Lamellen. – Blech, Rohre, Profile, 1994, 41 (9), 509–513.
12. **Schneider C., Prange W.** Tailored Blanks – a material for new ways of design. – Thyssen Technische Berichte, 1992, 24(1), 97–106.
13. **Nakagawa T.** Recent developments in auto-body panel forming technology. – Annals of the CIRP, 1993, v.42(2), p.717–722.
14. **Knabe E.** Drawing of sheet metal parts made out of welded blanks of different gages and qualities ("Tailored Blanks") (in German). – In: Neuere Entwicklungen in der Blechumformung, s.357–403.
15. **Pohl T., Schultz M.** Laser beam welding of aluminium alloys for light weight structures using CO₂- and Nd:YAG-laser systems. – In: Proc. of LANE'94, Erlangen 1994, p.181–192.
16. **Hofmann A., Pohl T., Geiger M.** Deep drawing of locally optimized aluminium blanks. – In: Advanced Technology of Plasticity, Proc. of the 6th Intern. Conf. on Technology of Plasticity ICTP. – Berlin, Springer 1999, p.1043–1050.
17. **Franz T.** et al. Potentials of laser beam welding for light weight constructions. – In: Proc. of LANE'94, Erlangen 1994, p.169–180.
18. **Hofmann A., Vollertsen F.** Deep drawing of locally heat treated blanks. – In: Proc. of LANE'94, Erlangen 1994, p.719–732.
19. **Geiger M., Huber A., Mueller B.** Basic actuator geometries for the laser adjustment process. – In: Precision Engineering Nanotechnology, Bremen, 1999, p.526–529.
20. **Григорьянц А., Шиганов И., Мисюров А.** Технологические процессы лазерной обработки. – М.: Изд. МГТУ им. Н.Баумана, 2006. – 664с.