РАЗДЕЛ I. МАТЕМАТИКА

Летяго Д.А., Баранов Д.А.

Перспективы применения лазерной сварки «просвечиванием» деталей и узлов из термопластов

*Московский государственный технический университет
имени Николая Эрнестовича Баумана
(Россия, Москва)*

doi: 10.18411/lj-25-12-2017-01

idsp: 000001:lj-25-12-2017-01

Аннотация

В данной статье приведено сравнение современных методов соединения термопластических материалов. Показаны преимущества и недостатки альтернативных методов сварки по сравнению с лазерной сваркой просвечиванием. Проанализированы области применения метода лазерной сварки «просвечиванием» и перспективы применения. Приведены результаты экспериментальных исследований лазерной сварки «просвечиванием».

Ключевые слова: лазерная сварка, термопласты, полимеры, автомобилестроение, лазерные технологии, сварка пластиков, лазерный комплекс.

Развитие современных отраслей промышленности невозможно себе представить без внедрения новых материалов. Полимерные и композиционные материалы, способные заменить традиционные металлы и сплавы, в скором времени займут основную часть в машинах и комплексах. Так, например, применение полимерных материалов в автомобилестроении позволит снизить массу автомобиля, уменьшить трудоемкость производства, повысить надежность и безопасность, улучшить комфортабельность и повысить конкурентоспособность выпускаемых автомобилей. Тенденция развития и внедрения новых материалов ставит вопрос об их соединении. На сегодняшний день наиболее широкое применение получили такие методы соединения полимерных материалов, как:

- Сварка нагретым инструментом
- Ультразвуковая сварка
- Сварка трением
- Лазерная сварка

Сварка нагретым инструментом

Соединяемые элементы нагреваются в результате контакта с металлическими брусками, лентами, дисками, пластинками и другими инструментами. Нагретые детали спрессовывают, а затем охлаждают. Данная технологическая операция имеет ряд серьезных недостатков. Инструмент, оказывая давление на размягченный материал в зоне термического воздействия деформирует его. Это возможно уменьшить применяя ограничители хода инструмента или равномерно распределяя давление на зону, ширина которой превышает ширину зоны шва. Также важно учитывать свойства свариваемых материалов, в случае прилипания материала в зоне сварки к инструменту, данный метод применять нельзя. Эту проблему пытаются решить путем добавления разделительных прокладок из фторопласта – 4, целлофана и других.

Применение дополнительных материалов, серьезные механические нагрузки при сварке, не позволяют применять данный метод в медицинской сфере, электронной промышленности, в областях, где одним из главных требований является стерильность, миниатюризация изделий и высокая точность.

Ультразвуковая сварка

Способ основан на нагреве соединяемых поверхностей в результате превращения энергии механических ультразвуковых колебаний с частотой 15—50 кГц в тепловую. Соединяемые детали зажимают между концом инструмента и опорой. Сварка происходит в момент подачи ТВЧ от ультразвукового генератора на обмотку вибратора, выполненного из магнитострикционного или пьезокерамического материала. Продольные высокочастотные механические колебания, возникающие в этом материале вследствие магнитострикционного или пьезоэлектрического эффекта, передаются через стержневые волновод и инструмент в зону шва. Ультразвуковая сварка надежно закрепила свою позицию среди аналогичных методов соединения полимеров. Для данной операции характерны следующие особенности:

- высокая скорость образования шва и минимальное изменение свойств материала
- возможность сварки загрязненных поверхностей

Главным же недостатком является малые перспективы автоматизации и внедрения процесса в производственные линии. Несмотря на быстрое образование шва, ультразвуковая сварка не позволяет соединять элементы сложной конфигурации и занимает очень много времени при перенастройке станков с обработки одной единицы спецификации на другую.

Сварка трением

При использовании этого способа детали нагреваются в результате выделения теплоты при механических нагрузках. В зависимости от способа создания трения различают сварку вращением, инерционную сварку и сварку вибротрением.

При сварке вращением в контакт приводят соосно закрепленные детали, одна из которых неподвижна, а другая вращается. После достижения необходимой температуры (обычно через 3—25 секунд после начала вращения) деталь останавливают и охлаждают сварной шов под давлением. Сваркой вращением соединяют стержни и трубы, а также присоединяют цилиндрические детали к плоским и фасонным. Высокая скорость образования шва — основное достоинство этого метода. Прочность соединений, полученных при оптимальных режимах сварки, близка к прочности свариваемого материала. Станки для данной технологической операции просты в использовании и изготавливаются на базе токарных или сверлильных станков. Этот метод соединения полимерных материалов ограничен формой соединяемых изделий.

Лазерная сварка

Лазерная сварка основана на частичном поглощении энергии лазерного излучения верхним сварным элементом и полном поглощении излучения нижним сварным элементом. Схема процесса приведена на (рис.1).

Рис.1 Схема процесса лазерной сварки полимерных материалов

Используемые для сварки полимерных материалов лазеры работают в большинстве случаев в ближней ИК – области спектра оптического излучения. Из этого вытекает возможность соединения друг с другом деталей, которые являются непрозрачными в видимом диапазоне (рис.2).

Рис.2 Распределение различных вариантов комбинаций свариваемых компонентов по степени сложности.

Детали во время процесса соединения прижимаются друг к другу. В поверхностном слое нижней детали излучение поглощается и превращается в тепловую энергию, которая за счет теплопроводности на границе контакта передает часть энергии прозрачной детали, в результате оба материала на границе соприкосновения переходят в расплав.

Рассмотрим распределение энергии лазерного излучения в наиболее общем случае установившегося режима проплавления (рис.3). Связь между основными источниками энергии и различными видами энергозатрат может быть установлена с помощью следующих уравнений баланса:

$$Q=Q_1+Q_2+Q'; Q' = q_3 + q_4 + q_5[1],$$

Где Q – энергия лазерного излучения, Q_1 – энергия лазерного луча, отраженная от поверхности прозрачного материала, Q_2 – энергия, поглощенная прозрачным элементом, Q' – энергия, поглощенная нижним элементом, q_3 – энергия, идущая на нагрев нижнего ПМ, q_4 – энергия, отводимая вглубь основного и переплавленного материала, q_5 – энергия, отводимая к прозрачному элементу вследствие теплопроводности.

Рис.3 Схема энергозатрат в установившемся режиме проплавления ПМ сфокусированным лазерным излучением: 1 – поглощающий материал; 2 – прозрачный материал; 3 – лазерное излучение (1,07 мкм).

При проведении экспериментов была взята Лазерная установка VOTANW-Compact (рис.4) с 140 W волоконным лазером и 6-ти координатным роботом. Максимальный размер обрабатываемых деталей 500x500x400 мм. Скорость сварки 10-50 мм/сек. Рабочая длина волны 1,07 мкм.

Рис.4. Лазерная установка VOTANW-Compact

Образцы под лазерную сварку были изготовлены из полистирола (PS). Полистирол и материалы на его основе относятся к конструкционным полимерным материалам. Они характеризуются достаточно высокой прочностью, жесткостью, высокой размерной стабильностью, отличными декоративными свойствами, устойчивостью к агрессивным средам.

Во время испытания свариваемости использовались образцы оптически непрозрачные в видимом диапазоне, красного и черного цвета.

Порог интенсивности, при котором начинается разрушаться полистирол черного цвета на порядок выше порога разрушения красного, при заданном режиме составил $I = 14 \text{ Вт/мм}^2$.

Лазерная сварка осуществлялась при мощности $P = 25 \text{ W}$.

Скорость сварки и высота фокуса над поверхностью поглощающего материала (черного PS), были основными варьруемыми параметрами.

В результате экспериментов был получен сварной шов (рис.5) имеющий ряд недостатков.

Вследствие недостаточно полного соблюдения условия плотного прижатия свариваемых образцов, в шве образовались поры.

Рис.5 Внешний вид шва.

Полученные образцы были подвержены механическим испытаниям на универсальной разрывной машине Zwick 1464. Скорость нагружения составляла 10 мм/мин.

В результате механических испытаний прочность полученного сварного соединения оказалась выше предела прочности используемого материала полистирола.

Проведенные эксперименты позволили реализовать процесс лазерной сварки просвечиванием для двух непрозрачных в оптическом диапазоне элементов. Были выявлены ряд устранимых недостатков, несмотря на которые, прочность соединения оказалась выше предела прочности используемого материала. Определены технологические параметры для лазерной сварки полистирола.

1. Григорьянц А.Г., Соколов А.А. Кн.4 Лазерная обработка неметаллических материалов. М.: Высшая школа, 1998.-191с.
2. Журнал «Полимерные материалы. Изделия, оборудование, технологии»/ Ф. Бруннекер, М. Зибен, М.: Издательство Полимерные Материалы, 2011. – 118 с.
3. Корсаков В.С. Основы технологии машиностроения.М.: Высшая школа, 1974.

Филиппов В.Е., Крылатова С.Р., Яковлев Б.В., Лебедев И.Ф.

Математическое моделирование вероятности положения частицы на рабочей поверхности винтового пневмосепаратора

*Федеральное государственное бюджетное учреждение науки Институт горного дела Севера им.Н.В. Черского Сибирского отделения Российской академии наук, Северо-Восточный Федеральный университет
(Россия, Якутск)*

doi: 10.18411/lj-25-12-2017-02

idsp: 000001:lj-25-12-2017-02

Аннотация

При математическом моделировании процессов происходящих в устройствах обогащения полезных ископаемых появляются задачи определения вероятности местонахождения частицы на рабочих поверхностях устройств. В настоящей работе для решения подобной задачи предлагается статистический подход, а именно, при определении вероятности используется идея метода Гиббса. Разработаны математическая модель винтовой поверхности пневмосепаратора, модель движения частицы и потока невзаимодействующих частиц по рабочей поверхности сепаратора, и алгоритм определения концентрации потока частиц. Рассчитанное распределение концентрации невзаимодействующих частиц на рабочей поверхности устройства отождествляется с распределением вероятности местонахождения одной частицы.

Ключевые слова: винтовой сепаратор, концентрация, статистический метод, уравнение движения, поток частиц, обогащение, математическая модель.

Одним из эффективных устройств для обогащения золотосодержащих руд является винтовой пневмосепаратор, разработанный в ИГДС СО РАН [1]. В отличие от других винтовых сепараторов, пневмосепаратор продувается воздухом с нижней части устройства, и из-за наклона рабочей поверхности тяжелая частица смещается в центральную часть сепаратора и отделяется. Частицы песка, под действием потока воздуха совершая вращательное движение, уходят вверх и выбрасываются из сепаратора. Для усовершенствования пневмосепараторов необходимы теоретические исследования движения частиц на рабочей поверхности сепаратора [2]. В работах [3-5] представлены математические модели движения частицы в винтовом сепараторе. В [6] исследованы процессы сепарации в винтовом сепараторе методом дискретных элементов.