

места токоподводов, разъемов индуктора, а также неоднородность охлаждения. Однако вращение не приносит пользы, если деталь неправильно центрирована (рис. 13, б). В этом случае создаются условия, подобные нагреву эксцентрика. При вращении сторона, наиболее удаленная от центра вращения, будет всегда ближе к индуктору и прогреется на большую глубину, чем противоположная сторона (рис. 13, а). Это вызовет искривление оси детали выпуклостью в сторону слоя большей толщины (рис. 13, б). Смещение центра вращения наблюдается при неправильном креплении детали в центрах станка. Если исправить этот дефект не удастся, то целесообразнее проводить закалку без вращения, тщательно выверив зазор между индуктором и деталью. На время охлаждения вращение должно быть включено.

При закалке длинномерных изделий непрерывно-последовательным способом деформация накапливается постепенно и небольшой эксцентриситет в начале процесса вызовет некоторое искривление оси. Это искривление увеличит эксцентриситет, и закалка следующих зон вызовет дополнительную деформацию, что еще увеличит эксцентриситет. Так по мере продвижения зоны закалки будет увеличиваться коробление полуоси.

Асимметрия закаленного слоя при закалке полых валиков или цилиндров вызывает появление овальности. Тот же характер коробления наблюдается при разнотолщинности стенки полого валика; причем величина коробления в сильной степени зависит от соотношения наружного и внутреннего диаметров валика.

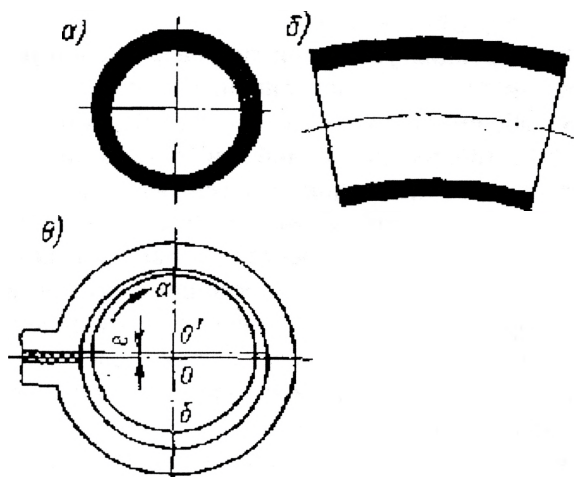


Рис. 13. Коробление валика с неравномерным по глубине закаленным слоем, вызываемое неправильной центровкой изделия:  $O$  – выточки на торцах валика для установки его в центрах станка;  $O'$  – геометрическая ось валика

**Заключение.** При индукционной термической обработке неизбежно происходят формоизменения геометрических размеров деталей. Это происходит из-за влияния огромного количества факторов. Часть факторов влияющих на коробление можно устранить, но исключить деформации при термической обработке невозможно. В настоящее время нет методики расчета изменения геометрических размеров деталей, по этому при разработке деталей необходимо учитывать фактор коробления при термообработке, а количественное выражение этого фактора определять опытным путем уже в процессе изготовления.

## ИНФОРМАЦИЯ О ВОДОАБРАЗИВНОЙ РЕЗКЕ

Новиков А.А.

Физико-технический институт НАН Беларуси

С технологической точки зрения, процесс резания материалов на *установках* для гидроабразивного резания компании «Water Jet Sweden» представляет собой следующее.

С помощью насоса высокого давления вода под давлением 4100 Бар через соединительные трубки подается к режущей головке, в которой установлена форсунка с очень малым проходным сечением (0,08–0,5 мм). Вода, проходя через форсунку, конвертирует высокое давление в кинетическую энергию струи. Скорость водяной струи на выходе сопла достигает 900 м/сек. Затем, струя

воды, проходя через камеру смешивания, захватывает абразивные частицы, поступающие из бункера. Образованная таким образом смесь воды и абразива направляется на поверхность материала и разрушает его.

В качестве абразива (режущего инструмента) в установках *гидроабразивной резки* используется гранатный песок, поставляемый на Российский рынок ЗАО «Р-Гарнет». Благодаря своему кристаллическому строению, гранат как минерал обладает высокой прочностью и плотностью (3,6–4,1, что почти в два раза выше, чем у обыкновен-

ного кварцевого песка).

Конструкция установок гидроабразивной резки состоит из следующих основных узлов:

- рабочий стол (от 1 до 18 метров) с установочной плитой, изготовленной в виде решетки;

- портал, имеющий запатентованную конструкцию с шарнирными соединениями, позволяющую избежать перекосов и заклинивания, с установленными на нем режущими головками. На портал могут быть установлены от одной до десяти режущих головок, а также сверлильное устройство, применяемое при гидроабразивной резке некоторых пластиков;

- станина с направляющими портала, расположенными на максимальном расстоянии от рабочей зоны, что предохраняет их от попадания абразива и грязи, а также от изменения линейных размеров червячного вала вследствие температурных перепадов;

- насос высокого давления. Во всех своих конструкциях гидроабразивных установок компания «Water Jet Sweden» применяет в качестве основного узла, связанного с созданием потока струи, насос высокого давления модели «StreamLine» серий «SL-IV» компании «КМТ»;

- режущая головка, имеющая запатентованную конструкцию, оснащается встроенным датчиком удара, позволяющим избежать столкновения режущей головки с поверхностью обрабатываемого материала в случае наличия неровностей на поверхности разрезаемого материала;

- бункер для хранения и подачи абразива;

- устройство для сбора отходов и отработанного абразива, и очистки воды;

- устройство ЧПУ, позволяющее вводить заданную геометрию детали, оптимально размещать её на поверхности заготовки, а также корректировать программу обработки;

- дополнительные устройства, позволяющие контролировать процесс разрезания материалов и облегчающих работу оператора, например: датчики наличия абразива в бункере, подающие предупреждающие сигналы оператору об окончании минимального запаса абразива и отключающую установку в случае полного его отсутствия; датчик контроля влажности абразива, отключающего подачи абразива в камеру смешивания в случае попадания воды в бункер и/или подающие трубки, и др.

Сравнивая установки для гидроабразивной резки с другими с традиционными методами резки, такими как плазменная и лазерная резка, системы гидроабразивной резки имеют ряд существенных

преимуществ:

- разрезаемый материал не подвергается термическому воздействию, т.е. не требует дополнительной термической обработки;

- отсутствие вредных пыли и газов;

- инструмент резки (струя воды или вода + абразив) не нуждается в переточке;

- низкое тангенциальное усилие резания на деталь, в отдельных случаях не требуется закрепления разрезаемого материала на столе;

- небольшая ширина реза, что сказывается на уменьшении отходов и на улучшении экономичности раскроя;

- высокая скорость резания любых материалов;

- возможность резки сложных контуров;

- быстрая переналадка.

#### **Лазерная резка, плазменная резка, гидроабразивная резка.**

#### **Преимущества и недостатки резки водой, сравнительные характеристики**

Технологии резки водой (гидрорезка, гидроабразивная резка), лазерная резка и плазменная резка материалов имеют одну область применения и являются конкурирующими технологиями.

Каждая из технологий резки имеет ряд достоинств и недостатков. Необходимо отметить, что лазерное излучение является широкоуниверсальным инструментом (резание, маркировка, упрочнение и т.п.). Область применения высоконапорной струи жидкости также не ограничивается только гидрорезанием.

Термические процессы, такие, как лазерная резка, часто служат причиной обгорания, оплавления на разрезаемых кромках. Лазерная и плазменная резки создают напряжения, микротрещины и структурные изменения в обрабатываемых материалах.

За рубежом проводились эксперименты по сравнению эффективности метода гидроабразивной резки с традиционными технологиями, к которым относятся резка алмазными пилами, лазерная, ультразвуковая и плазменная резки. В качестве «сильнейшего конкурента» была выбрана лазерная резка, как технология, имеющая большую эффективность и производительность, чем плазменное, механическое или ультразвуковое разрушение. Резке двумя сравниваемыми способами был подвержен пакет из металлических пластин толщиной 0,3 мм каждая. В результате испытаний было установлено, что при толщине разрушаемого пакета пластин менее 6 мм более эффективным по энергоёмкости и скорости оказался метод лазерной резки, а при толщине пакета

свыше 6 мм абсолютно лидирует метод гидроабразивной резки.

Интересные результаты, подтверждающие превосходство этого метода над остальными, получены и в отечественных научно-исследовательских учреждениях.

Какие преимущества и недостатки имеет технология гидрорезания по сравнению с другими возможными процессами?

Важнейшим преимуществом технологии водоструйной резки перед другими видами обработки является отсутствие нагрева разрезаемых заготовок, т.е. отсутствие термического воздействия на материал что исключает термические напряжения и деформации обрабатываемого материала. Также это предотвращает упрочнение, деформирование, стекание шлака или амальгамирование, а также загрязнение такими элементами, как вредные испарения и газы, присущие другим видам резания при обработке пластмасс, композиционных материалов и т.п., нет запылённости. Эти эффекты часто имеют место при лазерной резке искусственных материалов и, как правило, должны подавляться.

Для листового металла, ламинированного пластиком, технология резки водой часто является единственным решением, которое не оказывает негативного влияния на внешнюю поверхность покрытия.

Кроме того, определенные материалы, прежде всего большой толщины, не позволяют осуществлять эффективную резку с использованием термических процессов.

Технология гидроабразивной резки также является единственным возможным вариантом для резки стекла (кроме традиционных механических методов). Так, лазерная резка вообще не позволяет работать со стеклом, потому что лазерный луч проходит прозрачный материал насквозь, не разрушая его. Скорость гидроабразивной резки стекла — 276 см в минуту.

Гидрорезка несомненно не уступает алмазной резке, даже когда делаются только прямые резы, но никакая другая технология, кроме водоабразивной резки, не позволяет получать сложные контуры.

Также некоторые материалы не могут быть разрезаны лазером по причине явления отражения, к примеру — медь. Гидроабразивная резка меди успешно осуществляется.

Кроме того, определенные материалы, прежде всего большой толщины, тоже не позволяют

осуществлять эффективное резание с использованием термических процессов. Такие материалы, как титан, нержавеющая сталь (нержавейка), медь и алюминий, создают свои собственные проблемы для всех, кто использует технологию лазерной резки. При обработке композиционных оптических волокон или минералов когерентный световой пучок и вовсе не может быть использован.

Струя воды не создает прямого давления на поверхность материала. Механическое воздействие происходит лишь на микроскопическом уровне. Таким образом, несмотря на большую кинетическую энергию струи воды, отсутствует какая-либо деформация материала и высокоточная резка выполняется без появления неровностей кромки. Результатом являются резы поразительно высокого качества, не требующие последующей доработки.

Технология резки водой имеет еще одно неоспоримое преимущество — тонкая, как волос, струя, создает существенно меньшие потери материала по сравнению с традиционными процессами.

Требования к современному производству включают не только высокую производительность и качество изделий, но и возможность обработки очень сложных форм без ограничений по толщине и материалу. Резы любой сложной формы, острые углы, скошенные кромки, минимальные внутренние радиусы; возможность начать процесс резки в любой момент, непосредственное врезание в материал — все это достигается при помощи гидроабразивной резки с несравнимой гибкостью для широчайшего диапазона материалов.

Немаловажным аспектом является высокая степень экологической безопасности процесса. Гидроабразивная обработка не создает какой-либо пыли или крошки, стружки или химических загрязнителей воздуха.

Также, преимуществом гидроабразивной резки перед лазерной резкой является отсутствие области термовлияния на кромках обработанных деталей. Гидроабразивная резка позволяет вырезать детали со сложными профилями без дополнительной обработки поверхности реза и достаточно высокой производительностью.

Генерируемое в процессе резания тепло практически мгновенно уносится водой. В результате не происходит заметного повышения температуры в заготовке. Эта характеристика является решающей при обработке особо чувствительных к нагреву материалов. Небольшая сила (1–100 Н) и температура (60–90°C) в зоне резания исключают

деформацию заготовки, оплавление и пригорание материала в прилегающей зоне. Ни одна технология, кроме гидроабразивной резки, не может обеспечить отсутствие термического влияния на металл вблизи пропила.

Текстиль, эластомеры, волокнистые материалы, тонкий пластик, продукты питания, бумага, термопласты и др. материалы режутся струей чистой воды, достигающей скорости до 200 м/мин.

Резка с использованием абразива применяется для плотных и твердых материалов, таких, как все металлы, крепкие породы, пуленепробиваемое стекло, керамика и т.д.

К недостаткам гидрорезания относят: конструктивные трудности, возникающие при создании высокого давления жидкости, высокая стойкость сопла и сложность его изготовления.

В конечном счёте, области применения лазерной, плазменной и гидротехнологии будут разделены их технологическими и экономическими данными. Однако непреложным фактом является то, что на сегодняшнем уровне развития объём применения процесса гидрорезания расширяется и он постепенно занимает свою нишу.

## **ПРОГНОЗНАЯ ОЦЕНКА ТЕХНИЧЕСКОЙ РЕАЛИЗУЕМОСТИ БАЗОВОГО ВАРИАНТА КОМПЛЕКСА ВИДЕО НАБЛЮДЕНИЯ НА ОСНОВЕ БЕСПИЛОТНОЙ ЛЕТАТЕЛЬНОЙ ПЛАТФОРМЫ**

*Пальцев А.Н., к.т.н., доцент, Яцына Ю.Ф., к.т.н., доцент, Щавлев А.А., к.т.н.*

*Оценивается возможность технической реализуемости предложенной концепции построения комплекса видео наблюдения.*

Анализ концепции построения беспилотных авиационных комплексов в военных целях [1] показывает, что данная концепция, в силу специфики решаемых задач, не может быть распространена на другие области народного хозяйства.

Учеными НАН Беларуси в интересах МЧС, МВД, Министерства охраны окружающей среды, Министерства лесного хозяйства, Министерства сельского хозяйства и продовольствия предлагается использовать базовый вариант комплекса видео наблюдения и контроля местности на основе беспилотной летательной платформы [2] для решения следующих задач:

- мониторинг нефтепроводов, городских инфраструктур, лесов, водных объектов;
- наблюдение в районах катастроф;
- поисковые работы;
- мониторинг промышленных зон;
- аэрофотосъемка;
- обнаружение районов лесных пожаров;
- наблюдение за водными акваториями и береговыми линиями;
- наблюдение за нефтегазопроводами, линиями электропередач и транспортными магистралями;
- наблюдение за районами стихийных бедствий;

- определение координат наземных объектов;
- получение информации о состоянии земной поверхности и др.

Концептуально вариант такого комплекса, например, в интересах МЧС может включать следующие элементы:

1. Автоматизированное рабочее место (АРМ) в составе ноутбука, отдельного видеомонитора и специального программного обеспечения для управления полетом БЛА, обработки, отображения и регистрации информации от ТВ и ИК оборудования.

2. Модуль приемо-передающей аппаратуры типа 1 (МППА). Наземный и бортовой комплекты, обеспечивающие передачу данных (команд управления и видеосигналов) на расстояние до 15 км.

3. Модуль приемо-передающей аппаратуры типа 2 (МППА). Наземный и бортовой комплекты, обеспечивающие передачу данных (команд управления и видеосигналов) на расстояние до 70 км.

4. Модуль ТВ и ИК оборудования. Базовый вариант состоит из видеокамеры с разрешением не хуже 550 ТВЛ и ИК камеры диапазона 7–14 мкм, общей массой до 0,5 кг.

5. Мини БЛА типа 1. Оснащается базовым мо-