

Рисунок 1 – Технологическая схема установки

Перед запуском установки через отверстие в формообразующем инструменте 8 в металлопровод вводится затравка. Вокруг затравки начинается процесс кристаллизации расплава. Затравка с помощью бобины 9 протягивается через формообразующий инструмент. Скорость движения затравки определяется экспериментально. При этом температура расплава и его скорость вытягивания должны обеспечивать рост только одного кристалла. Возникновение зародышей новых кристаллов исключается.

Вытягиваемое монокристаллическое волокно подвергается охлаждению углекислым газом, распыляемой форсункой 10.

Установка работает в непрерывном режиме и одновременно формирует монокристаллические волокна разных размеров и форм поперечного сечения. Это обеспечивается составным формообразующим инструментом.

#### Список использованных источников

1. Волокна, используемые для армирования [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://metal-archive.ru/litye-materialy/99-volokna-ispoljzuemdye-dlya-armirovaniya.html>. – Дата доступа: 18.08.2020.
2. Гиваргизов, Е. И. Рост нитевидных и пластинчатых кристаллов из пара / Е. И. Гиваргизов. – Москва: Наука, 1977. – 304 с.
3. Сыркин, В. Г. Материалы будущего: О нитевидных кристаллах металлов / В. Г. Сыркин. – Москва: Наука, 1990. – 192 с.
4. Frommeyer, G., Rablbayer, R. High temperature materials based on the intermetallic compound NiAl reinforced by refractory metals for advanced energy conversion technologies // Steel Research International. – 2008. – №7.

УДК 677.023.77

## ТЕХНОЛОГИЯ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ГИДРОКРИОГЕННОЙ ОБРАБОТКИ МАТЕРИАЛОВ

**Клименков С.С., проф., д.т.н., Третьяков А.Ю., маг.**

*Витебский государственный технологический университет,  
г. Витебск, Республика Беларусь*

Реферат. В статье описан процесс гидрокриогенной резки. Представлена физическая сущность данной технологии; приведены конструкции режущей головки и установки.

Ключевые слова: гидрокриогенная обработка, сопло, жидкий азот, высокоскоростная обработка, гидроструя.

Большинство инновационных технологий основано на комбинации новых физических процессов. Одной из таких комбинаций является гидроабразивная обработка в условиях

пониженных температур. Этот вид обработки получил название гидрокриогенной обработки, сущность которой заключается в сочетании гидроабразивной обработки и обработки жидким азотом. Гидроабразивная струя способна обрабатывать двухмерные плоские и трёхмерные объёмные изделия широкого диапазона размеров. Обрабатываемым материалом являются абразивные зёрна, режущие кромки которых в процессе работы затупляются, а форма зёрен округляется. Периодически абразив необходимо обновлять. Снижение режущих возможностей абразивных зёрен в процессе работы является существенным недостатком процесса.

Задача заключается в непрерывном обновлении режущего материала. Эта задача решается путём охлаждения струи воды распылённым жидким азотом. В результате в струе воды образуются кристаллы льда, которые выполняют роль абразивных зёрен, а именно соударяются с обрабатываемой поверхностью и производят её разрушение. После обработки кристаллы льда растаивают и в сборник поступает чистая вода. Режущая способность кристаллов льда зависит не только от геометрических и механических характеристик ледяных частиц, но и от физических параметров, а именно от массы частиц и их скорости.

Массу кристаллических частиц можно значительно увеличивать, если предварительно в струю воды подавать порошковые частицы тяжёлых металлов, например, вольфрама. Порошковые частицы будут являться центрами кристаллизации при охлаждении струи воды распылённым азотом. Поверхность порошковых частиц будет покрыта ледяной оболочкой, выполняющей роль режущего материала. При этом масса образующихся частиц возрастает примерно в 20 раз, что положительно сказывается на производительности процесса. Скорость движения частиц будет определяться скоростью движения струи воды, которая может достигать 3–4 скорости звука.

Технологическая схема реализации процесса представлена на рисунке 1. С помощью режущей головки процессы реализуются в следующей последовательности. Чистая вода или суспензия воды и порошка подаются в отверстие корпуса 1, снаружи которого расположено устройство 2 для предварительного охлаждения. Охлаждённый до  $+2...+5$  °С жидкий компонент поступает в отверстие сопла 3, в котором формируется гидроструя. Давление гидроструи достигает 400 МПа, а скорость истечения может составлять 1000 м/с.

Гидроструя проходит через отверстие круговой форсунки 4. Жидкий азот при температуре  $-150...-170$  °С нагнетается в форсунку, выходит из неё через радиально расположенные отверстия и испаряется. В результате вокруг гидроструи образуется облако из газообразного азота. При этом происходит быстрое охлаждение гидроструи, которая в зависимости от скорости охлаждения может обратиться в сплошной ледяной стержень или смесь воды и образовавшихся, но не соединившихся, кристаллов льда, которые являются абразивным материалом. Объёмное содержание кристаллов в гидроструе будет определяться массой и температурой поступающего в форсунку жидкого азота.

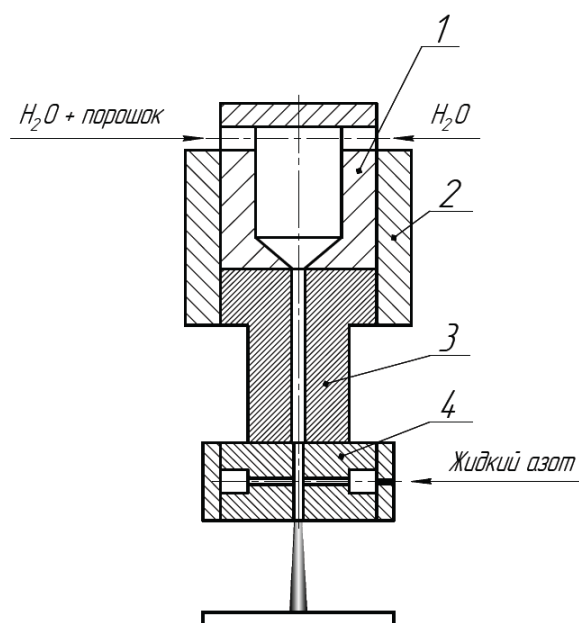


Рисунок 1 – Технологическая схема режущей головки для гидрокриогенной обработки

Аналогично протекают процессы при использовании порошковой суспензии. В этом случае на порошковых частицах образуется ледяная корка. В результате масса образующегося режущего материала возрастает пропорционально плотности порошковых частиц.

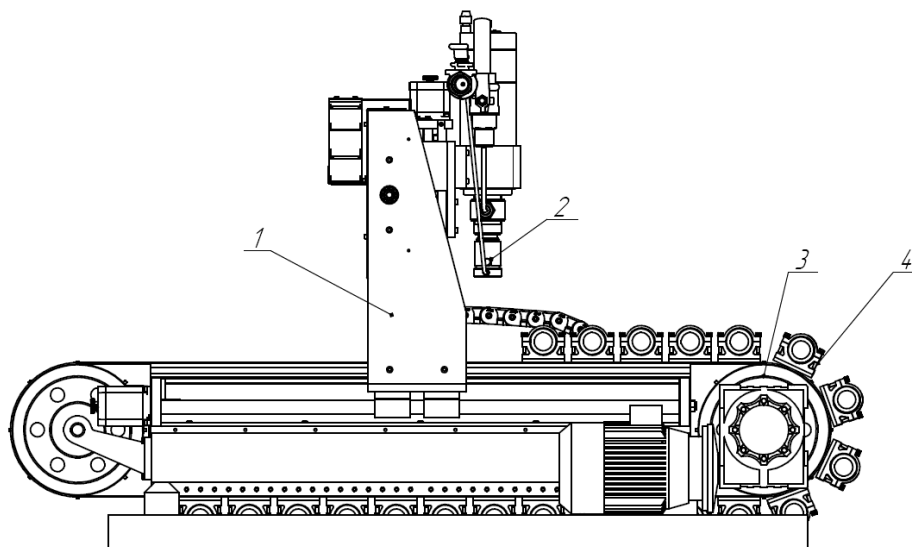


Рисунок 2 – Установка для гидрокриогенной резки

Для реализации процесса предложена установка, представленная на рисунке 2. Установка включает портал 1, обеспечивающий поперечные и поворотные движения режущей головки 2. Продольное перемещение обрабатываемых изделий осуществляется с помощью конвейера 3, с расположенными на нём крепёжными узлами 4. Установка снабжена системой ЧПУ.

Установка может работать в трёх режимах: гидрорезка, криогенная резка и комбинированная гидрокриогенная резка.

Разрабатываемая технология и оборудование обладают очень важным достоинством – гарантированная взрывобезопасность. Их естественное применение – утилизация боеприпасов.

В данной статье было приведено описание физической сущности процесса криогенной обработки, а также описание схемы установки для доставки криогенной жидкости к исполнительным элементам системы. На базе установки с ЧПУ была создана система конвейерной подачи объектов обработки в зону резания, в которой происходит их последующая ликвидация. Установка предназначена для использования в трёх режимах: гидрорезки, криогенной резки и комбинированной резки. Последние два процесса являются основополагающими в данной предметной области и описаны в статье. Стоит отметить, что данная технология в совокупности с разработанным оборудованием может найти применение в иных сферах: машиностроение, специализированная мехобработка, утилизация радиационно-опасных объектов, медицина и т. д.

#### Список использованных источников

1. Архаров, А. М. Криогенные системы. Том 2. Основы проектирования аппаратов, установок и систем / А. М. Архаров. – М.: Машиностроение, 1999. – 720 с.
2. Архаров, А. М., Марфенина И. В., Микулин Е. И. Криогенные системы. Том 1. Основы теории и расчета / А. М. Архаров, И. В. Марфенина, Е. И. Микулин. – М.: Машиностроение, 1996. – 576 с.
3. Банных, О. А., Ковнеристый, Ю. К. Стали для работы при низких температурах / О. А. Банных, Ю. К. Ковнеристый. – Москва: Металлургия, 1969. – 191 с.
4. Баранов, А. Ю., Соколова, Е. В. Хранение и транспортировка криогенных жидкостей: учебное пособие. Часть 1 / А. Ю. Баранов, Е. В. Соколова, – Санкт-Петербург: Университет ИТМО, 2017. – 95 с.