

УДК 62-1/-9

**КОНСТРУКТИВНЫЕ ОСОБЕННОСТИ ОБОРУДОВАНИЯ
ДЛЯ ВОДОСТРУЙНОЙ ОБРАБОТКИ****З. КРАЙНИ***(Словацкий технический университет, Братислава);***М. ГОРВАТ***(Институт производственных систем, экологической техники
и управления качеством, Братислава, Словакия)*

Демонстрируются конструктивные особенности оборудования для водоструйной обработки. Показано, что тип оборудования с использованием водяной струи высокого давления зависит от его назначения. Анализируются технические возможности, области применения и преимущества отдельных конструктивных решений, которые являются предметом настоящего исследования. В результате анализа двух систем генерирования высокого давления с поршневыми насосами и гидроусилителем установлено, что эти системы имеют высокие рабочие характеристики; могут надежно работать длительное время, генерируя высокое рабочее давление при приемлемых эксплуатационных расходах.

Введение. В настоящее время в машиностроении и строительстве все больше применяют сложнолегированные и труднообрабатываемые материалы и сплавы. Для эффективной экологичной и высокопроизводительной обработки таких материалов необходимы специальные технологии. Сегодня, на пороге третьего тысячелетия, мы можем наблюдать буквально взрыв новых технологий, которые затрагивают самые разные области нашей жизни. С целью обработки специальных материалов применяют нетрадиционные технологии, которые основаны на иных принципах, чем классические. Нетрадиционные технологии обработки материалов используют электротермический, электрохимический, химический и механический принципы. Среди технологий, основанных на механическом принципе, самый большой коммерческий успех получила технология обработки водяной струей высокого давления. Обработка водяной струей (WJM – Water Jet Machining), благодаря ее высоким характеристикам, относится к самой распространенной технологии, базирующейся на эрозионном принципе. Диапазон применения этой технологии очень широкий [1].

Технология обработки водяной струей используется для различных целей: для резки, очистки, токарной и фрезерной обработки, для сверления и гидроразрушения материалов и др.

Принимая во внимание потребность реализации такого широкого спектра технологических операций, необходимо адекватное техническое обеспечение, т.е. высокопроизводительные генераторы высокого давления, технологические жидкости на основе воды.

В качестве генераторов высокого давления для применения WJM чаще используют усилители давления – гидравлический усилитель и поршневые насосы с прямым приводом коленчатого вала.

Конструкция генераторов высокого давления для WJM применения

Со времени первого промышленного применения резки материалов (1970) прошло уже более 40 лет. За этот период времени количество WJM применения значительно увеличилось и расширилось во многих отраслях промышленности. Водоструйная технология является не только «экзотической» или «дополнительной» к какой-то классической механической обработке. По количеству применения она относится к самостоятельному методу, используемому при обработке различных материалов во многих сферах деятельности человека. Технология водоструйной обработки имеет много преимуществ перед другими «конкурентными» технологиями.

Водоструйная технология нашла широкое применение во многих областях (строительстве, машиностроении, медицине, др.) благодаря улучшенной конструкции оборудования высокого давления и их комплексности, которые обеспечивают быстрый рост высокого давления, широкий диапазон рабочих параметров, высокую универсальность.

Генераторы высокого давления с низким конструкционным расходом называют гидравлическими усилителями. Они работают по принципу гидравлического усилителя давления. Недостатком данных систем является относительно «низкое» количество подаваемой жидкости. Принципиальная гидравлическая схема оборудования с гидроусилителем имеет простую конструкцию. Резка материалов водяной струей обычно осуществляется при рабочем давлении 400 МПа и расходе воды до 10 л/мин. При параллельной установке гидроусилителей (образуются системы Dual, Triple, Kvatro) со значительно большей входной мощностью (75 кВт) можно достигнуть расхода водонапорной жидкости 7,6 л/мин (рис. 3). На

сегодняшний день максимальное рабочее давление не превышает 620 МПа (90.000 PSI) с подаваемым количеством напорной жидкости 5,5 л/мин при мощности 93 кВт [2].

Для генерирования водяной струи высокого давления с целью очистки и резки материалов используют оборудование (рис. 1) на базе трехпоршневых гидрогенераторов (насосов). Стандартное рабочее давление находится на уровне 320 МПа при гидравлической мощности 180 кВт [3]. Для данного высоконапорного оборудования максимальный уровень давления составляет 380 МПа (3800 бар) [4]. Это оборудование может успешно конкурировать с классическими системами на базе гидроусилителей. В таких областях, как строительство, где необходимо использовать системы outdoor (т.е. передвижное оборудование) и требуется независимый привод, эти системы обладают преимуществом. Они предназначены для резки габаритных и твердых строительных материалов. Такое оборудование можно использовать для очистки стен, когда системы с гидроусилителями имеют небольшой водяной поток.

Трехпоршневые агрегаты высокого давления

Для обработки материалов водяной струей высокого давления немецкая фирма URACA производит оборудование с рабочим давлением до 320 МПа при подаче воды 38,5 л/мин, когда гидравлическая мощность оборудования достигает более 180 кВт. Указанное оборудование фирмы URACA Pumpenfabrik GmbH & Co.KG. используется для санации бетона, удаления краски, а при добавлении в водяную струю абразива – для «мокрой» обработки песком, резки стали, материалов из нержавеющей стали, бетона, гранита, мрамора, применяемых в строительстве, угольной промышленности и др.

Конструкция высоконапорного трехпоршневого насоса с интегрированным приводом (рис. 1) гарантирует низкие и средние скорости поршня, т.е. более долгий срок службы уплотнений и поршней.



Рис. 1. Агрегат высокого давления с приводным электродвигателем
($P = 3200$ бар и $Q = 38,5$ л/мин)

Улучшенная конструкция и специальные материалы оборудования, обеспечивающие нужное качество воды, когда используются комбинированные уплотнения из PTFE, керамическое покрытие поршней с качеством поверхности менее 0,2 мкм и карбидные седла клапанов, фильтры обратной промывки на насосах с металлической сеткой и системой индикации засорения фильтров, делают работу трехпоршневых насосов безопасной и долговечной с крайне высоким рабочим давлением.

Из-за высокого рабочего давления водяной струи при эксплуатации оборудования учитывается изнашивание и расход материалов для водяных и абразивных сопел. Современное высоконапорное оборудование работает с непрерывной водяной струей, которая характеризуется постоянным энергетическим уровнем во время резки. По этой причине для фиксированного закрепления заготовки нужна относительно низкая прижимная сила, и для этих целей часто достаточно собственного веса изделия.

Высоконапорное оборудование с приводным дизельным двигателем (рис. 2) применяется вне помещения (outdoor применение). Его преимущества: отсутствие зависимости от электрической сети; большая мощность и простота регулирования рабочих параметров.

Оборудование с гидроусилителем

Электродвигатель приводит в движение гидростатический насос, который подает рабочую жидкость в гидравлический контур. Распределитель попеременно направляет жидкость в обе низконапорные секции гидроусилителя. При движении поршня гидроусилителя вправо жидкость попадает в левую камеру высоконапорной части гидроусилителя. Перед входом в гидроусилитель жидкость проходит через фильтр. При движении поршня гидроусилителя влево закрывается всасывающий клапан и открывается выпускной клапан, через который высоконапорная жидкость идет в аккумулятор и затем в режущее сопло. Задача аккумулятора в контуре – выравнивание давления, возникающего при изменении направле-

ния движения поршня. При движении поршня влево жидкость попадает в правую камеру высоконапорной части гидросилителя, затем цикл повторяется.



Рис. 2. Мобильный агрегат URACA тип Jet Power 125 кВт с рабочим давлением 280 МПа

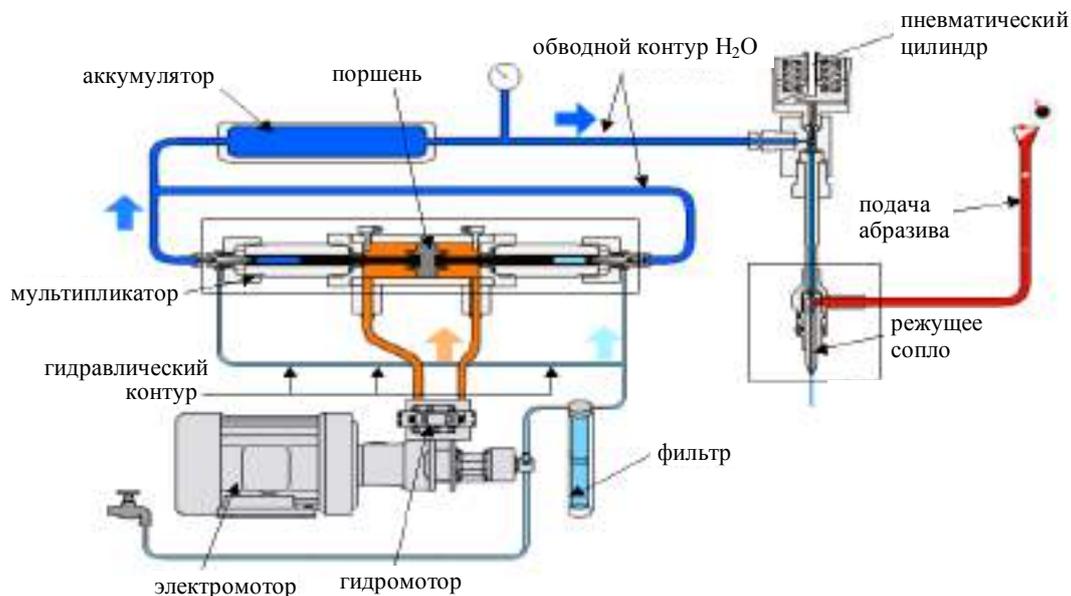


Рис. 3. Схема оборудования для резки AWJM

Генератор высокого давления с гидросилителем – это компактное оборудование с продуманным дизайном, содержащее все необходимые компоненты для эксплуатации (рис. 4); в основном используется для резки высокоскоростной водяной струей. С 1980 года для этих целей используется не только струя из чистой воды, но и водоабразивная струя.

Сравнение конструкций гидросилителя и поршневых насосов для WJM применения

Использование высококачественных конструкционных материалов позволяет повышать параметры оборудования для генерирования высоконапорной водяной струи. В настоящее время оборудование с гидросилителем создает рабочее давление 620 МПа, а оборудование с поршневыми насосами – до 400 МПа. Еще несколько лет назад достижение такого высокого давления было лишь мечтой. Дальнейшее увеличение максимального давления открывает новые возможности применения технологии WJM.

Для резки материалов необходимы высокое давление и небольшой расход технологической жидкости, для очистки, наоборот, – более низкое давление и большее количество жидкости. Принимая во внимание, что требования к скорости и качеству обработки материалов постоянно растут, очень важно совмещать возможности оборудования для резки и очистки водяной струей, хотя оба типа оборудования работают на разных принципах генерирования высокого давления. Основная задача стоит в подаче различного количества жидкости к месту выполнения работы. Главным преимуществом агрегатов и оборудования с трехпоршневыми насосами является их высокий коэффициент полезного действия (95 %), что значительно экономит электроэнергию.



Рис. 4. Высокоточное оборудование для резки AWJM

Преимущества поршневых насосов:

- высокий КПД поршневых насосов (95 %), что снижает расход электроэнергии;
- простота конструкции поршневых насосов;
- использование прямого привода насоса от двигателя (электрического или дизельного);
- поршневые насосы с прямым приводом генерируют максимальное рабочее давление струи,
- возможность использования в насосах не только трех-, но и четырех-, пяти-, шести- или семи-поршней.
- высокое качество поверхности среза за счет равномерной подачи жидкости в сопле;
- регулярное техобслуживание и диагностика поршневых насосов предотвращают непредвиденные простои и поломки насосов;
- вариация скорости поршня, равномерность и стабильность хода насоса;
- малое изнашивание и более низкие расходы на эксплуатацию за счет более низкой скорости движения поршней;
- высокая мобильность оборудования с дизельным приводом.

Благодаря вышеуказанным преимуществам поршневые насосы, генерирующие водяную струю высокого давления, находят все более широкое распространение в промышленности.

Водоструйное оборудование с гидравлическим усилителем, в сравнении с оборудованием на базе поршневых насосов, конструктивно сложнее. Оборудование состоит из двух отдельных гидравлических контуров – водяной контур и масляный контур привода. В гидроусилителе из-за высокого рабочего давления используются качественные материалы и продуманная конструкция. Причем негерметичность

системы может вызвать неисправимое повреждение компонентов. Из-за высокого рабочего давления система имеет высокие требования к качеству, чистоте и обработке воды.

С точки зрения техобслуживания обоих типов генераторов высокого давления есть несколько различий между насосами с прямым приводом и усилителем давления. Усилители давления не требуют сложного техобслуживания, а именно достаточно 45-минутного техобслуживания через каждые 400...1200 эксплуатационных часов. А насосы с прямым приводом требуют регулярного техобслуживания через каждые 200...600 часов. Это означает, что пользователи гидроусилителей выполняют техобслуживание реже. Однако техобслуживание насосов обычно менее сложное из-за легкого доступа к отдельным узлам конструкции. Поршни гидроусилителя двигаются с меньшей скоростью (70...90 движений в минуту), чем поршни в насосах с прямым приводом (600...2200 движений в минуту).

Техобслуживание обоих типов генераторов давления является простым, их узлы – нетяжелые, не требуются специальные инструменты.

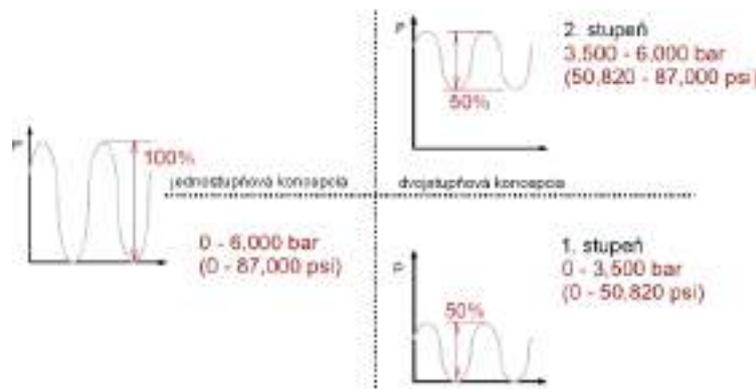


Рис. 5. Подача жидкости мультипликаторов двойного действия

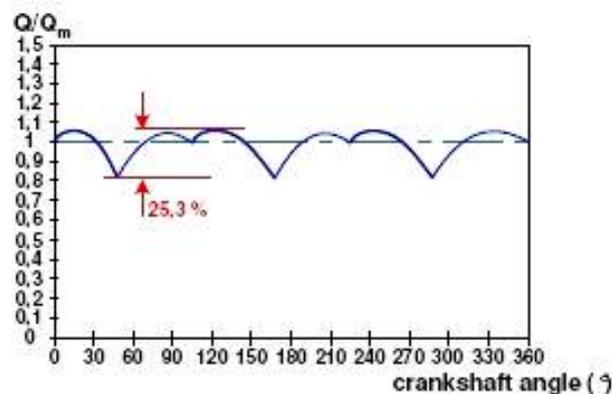


Рис. 6. Подача жидкости поршневых гидрогенераторов

Сравнение гидроусилителей и поршневых насосов для WJM

Как указано выше, существуют значительные различия между обоими типами генераторов высокого давления. Применимость каждой системы зависит от конкретного случая её использования, марки обрабатываемого материала, производительности, качества работ.

Различия между обоими генераторами высокого давления:

1. Эксплуатационные расходы

- расходы на приобретение системы с поршневыми насосами ниже, чем на приобретение генераторов с гидроусилителями;
- благодаря высокой эффективности поршневых насосов эксплуатационные расходы на энергию поршневых насосов ниже;
- гидроусилители требуют высоких расходов на ход охлаждающей системы оборудования, что повышает расходы на его эксплуатацию;
- системы с гидроусилителем имеют более длительный сервисный интервал, поэтому более низкие расходы на их эксплуатацию;
- скорость движения поршня в насосах более высокая (0,75 м/с), чем в гидроусилителе (0,15 м/с).

2. Редукция шума

- оборудование с поршневыми насосами при работе производит меньше шума, чем оборудование гидравлической системы;

- однако в случае оборудования с гидроусилителем меры для снижения шума отличаются простотой – изолирование шкафа генератора высокого давления.

3. Техобслуживание оборудования

- техобслуживание поршневых насосов проще и требует меньше времени, так как отдельные узлы более доступны;

- техобслуживание гидроусилителя проводится реже;

- поршневые насосы конструктивно проще и более широко используются.

4. Эффективность переноса энергии

- поршневые насосы имеют коэффициент полезного действия 92...95 %,

- коэффициент полезного действия гидравлических усилителей достигает 65...72 %, что вызвано потерей тепла в масляной системе;

- поршневые насосы подают на 25 % больше воды, чем гидравлические усилители, при одинаковой входной мощности обеих систем.

5. Переменная и постоянная подача жидкости в рабочий объем

- гидравлические усилители работают как переменные объемные насосы, т.е. генерируют столько рабочей жидкости, сколько расходуют;

- поршневые насосы работают как насосы с постоянным геометрическим объемом, т.е. они генерируют постоянный объем жидкости, а неизрасходованная вода выводится из системы;

- генераторы высокого давления с поршневыми насосами используют качественные комбинированные регулиционные, пропускные и предохранительные клапаны, которые обеспечивают немедленное изменение рабочего давления;

- гидроусилители лучше подходят для резки материалов чистой водой с небольшим потреблением воды, а поршневые насосы больше подходят для абразивной резки с большим расходом воды.

Заключение. В результате анализа двух систем генерирования высокого давления с поршневыми насосами и гидроусилителем установлено, что эти системы имеют высокие рабочие характеристики. Они могут надежно работать длительное время, генерируя высокое рабочее давление при приемлемых эксплуатационных расходах.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крайни, З. Водяная струя в практике / З. Крайни. – Братислава: EPOS, 1998. – 384 с.
2. Корпоративная литература: KMT GmbH., Germany, 2008.
3. Корпоративная литература: URACA Pumpenfabrik GmbH. + Co. KG. Германия, 2009.
4. Корпоративная литература: FLOW International Corporation, 2008.
5. Крайни, З. Гидравлическое оборудование, генерирующее водяную струю для промышленного использования / З. Крайни // ВУНУМ, ГИДРАВЛИКА. – 1990. – № 56.
6. Крайни, З. Высоконапорная водяная струя – WJM / З. Крайни. – Братислава: STU, 2011. – 172 р.

Поступила 21.01.2013

DESIGN FEATURES OF HIGH-PRESSURE DEVICE FOR WATER JET MACHINING

Z. KRAJNÝ, M. HORVÁT

Constructional peculiarities of the device for water jet machining are demonstrated. It is shown, that the type of a high-pressure device for water jet machining depends on its purpose. Technical potential, application areas and the advantages of some constructive decisions are analyzed, which are the object of the given research. As a result of the analysis of two systems of high pressure generation with piston pumps and a hydraulic booster it has been found out that these systems have high operational characteristics, they can work safely for a long period of time, generating high working pressure at acceptable operating costs.