

# МЕТАЛЛУРГ

5·2016

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ПРОИЗВОДСТВО

ОБОРУДОВАНИЕ

ПОКРЫТИЯ

КОНФЕРЕНЦИИ

ИНФОРМАЦИОННЫЕ  
ТЕХНОЛОГИИ

ПРОКАТ ТРУБЫ

СВЯЗЬ

МЕДЬ

ЭКОНОМИКА

СТАЛЬ

ЧУГУН

АВТОМАТИЗАЦИЯ

СВЯЗЬ ШИХТОВЫЕ  
МАТЕРИАЛЫ

МЕДЬ

ТЕХНИКА

НАУКА

В ОТРАСЛИ

ПРОФЕССИОНАЛЬНАЯ

ИНТЕЛЛЕКТУАЛЬНАЯ

УПРАВЛЕНИЕ

СТАЛЬ

ПРЕЗЕНТАЦИЯ

МЕДЬ

Tube

Düsseldorf



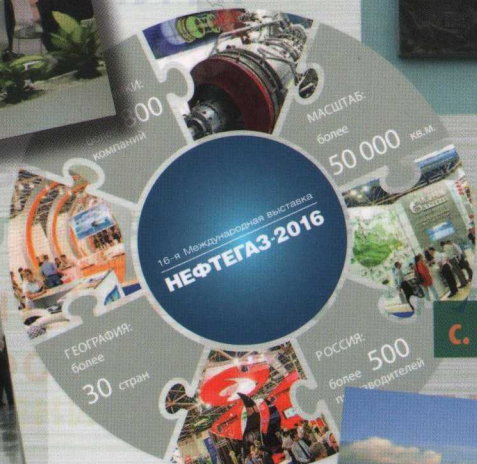
с. 4



с. 99



с. 86



с. 94



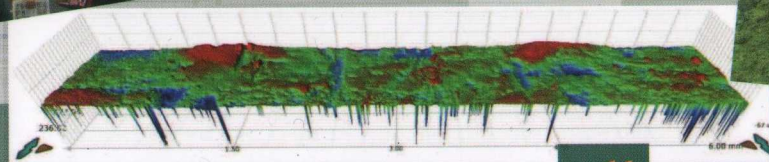
с. 55



с. 92



с. 24



с. 66

УДК621.791.03:621.9.04.

# ФИЛЬТРУЮЩИЕ ЭЛЕМЕНТЫ НОВОЙ КОНСТРУКЦИИ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИХ ПРОИЗВОДСТВА

© **Зубков Николай Николаевич**<sup>1</sup>, д-р техн. наук, проф.,

e-mail: zoubkovn@bmsu.ru;

**Васильев Владислав Александрович**<sup>2</sup>, почетный металлург, заведующий конструкторским отделом, e-mail: cmet@mail.ru, leistung11@mail.ru

<sup>1</sup> МГТУ им. Н.Э.Баумана. Россия, Москва

<sup>2</sup> ОАО «Институт «Цветметобработка». Россия, Москва

Статья поступила 17.11.2015 г.

Выполнен анализ существующих конструкций и технологий изготовления фильтров со щелевой структурой фильтрации. Предложен и описан способ получения щелевых фильтрующих труб методом деформирующего резания. Способ реализуется путем сквозного прорезания части окружности продольно-гофрированной сварной металлической трубы. Показаны варианты принципиального состава комплексов для производства щелевых фильтрующих труб.

**Ключевые слова:** фильтрация; щелевой фильтр; трубчатый фильтр; деформирующее резание; гофрированная лента; аргоно-дуговая сварка; трубы с продольным швом; сквозное прорезание.

**П**роблема фильтрации жидкостей и газов актуальна практически во всех отраслях промышленности – машиностроении, химической, пищевой, нефтехимической, горно-обогатительной, при добыче нефти и газа, а также в системах водоподготовки и водоочистки населенных пунктов и промышленных предприятий и т.д.

В настоящее время для механического отделения твердых частиц наибольшее распространение получили металлические сетчатые и металлокерамические фильтры, а также бумажные и тканевые фильтроэлементы. При загрязнении фильтроэлемента необходима остановка работы фильтра. Высокая стоимость замены загрязненных фильтроэлементов обуславливает перспективность использования фильтров регенерируемых конструкций с их очисткой противотоком фильтруемой среды. Именно щелевая структура фильтрации обеспечивает низкое гидравлическое сопротивление и высокую эффективность очистки противотоком. Применение регенерации противотоком фильтруемой среды позволяет очищать фильтр без разборки конструкции и увеличивать эксплуатационный ресурс фильтроэлемента в 20 и более раз [1]. Однако современные

технологии получения щелевых фильтрующих перегородок имеют ряд существенных ограничений как по минимальной ширине получаемых щелей, так и по низкой производительности и, как следствие, высокой себестоимости их изготовления.

Классификация методов получения щелевых фильтрующих структур приведена на рис. 1.

Из механических методов получения щелевых фильтров наиболее распространены обработка давлением и резанием. Широкую номенклатуру щелевых сеток получают как методом штамповки щелей, так и методом одновременной просечки и вытяжки [2]. Существенный недостаток этих методов – ограничение по ширине получаемых щелей – не менее 500 мкм. Как правило, такие сетки применяются в качестве проницаемых защитных кожухов, служащих для защиты фильтроэлементов.

Прорезание сквозных щелей производится дисковыми фрезами. Получение сквозных щелей на трубной заготовке с внутренними продольными пазами может быть реализовано с помощью токарной обработки [3]. Существенными недостатками



Рис. 1. Методы получения щелевых фильтров

методов резания с удалением стружки являются низкие технологичность и производительность, а также невозможность получения щелей шириной менее 120 мкм [4]. Получение щелевых фильтрующих труб методом деформирующего резания (см. рис. 1) будет рассмотрено ниже.

Перспективным направлением в изготовлении щелевых фильтрующих перегородок является применение лазерной обработки [5]. В качестве заготовки могут использоваться листы или трубы различного профиля. Лазерная прошивка позволяет получать щели от 5 мкм и больше, что обуславливает применение этого способа для фильтров тонкой и средней очистки. К недостаткам следует отнести высокую стоимость оборудования и энергоёмкость процесса изготовления.

Электроэрозионная обработка также используется для получения щелевых фильтрующих структур [6], однако применение такой технологии ограничено низкой производительностью и сложностью изготовления электрода-инструмента.

Для получения щелевых фильтрующих структур на листовых материалах могут использоваться способы, основанные на методе электрохимической обработки с защитой от травления с помощью масок [7]. В качестве масок применяются различные типы фотополимеров. Метод электрохимической обработки позволяет получать щели размером от 60 мкм и выше. Такой метод целесообразно применять для получения щелевых листов малой толщины, поскольку ширина щели не может быть меньше толщины листа ввиду растравливания стенок отверстия под маской при большой толщине листа.

Получение щелевых сеток гальванопластикой на стеклянной подложке с шириной щелей от 6 мкм из меди, никеля и серебра предложено фирмой Buckbee-Mears Co. Inc. (США). Однако существенной проблемой оказалась низкая экологичность их производства и низкая производительность.

Наиболее распространены в настоящее время сборные конструкции щелевых фильтрующих структур на основе проволочных сеток. Щелевую структуру имеют тканые сетки с прямоугольными ячейками, галунные сетки и сварные проволочные конструкции, намотанные из проволоки. Минимальная ширина щелей тканых сеток ограничивается минимальным диаметром проволоки основы и утка и составляет от 20 мкм и выше (в России от 40 мкм). Сетка галунная

(полотняного плетения) состоит из более толстых проволок основы, которые переплетаются с тонкими проволоками утка, расположенными вплотную друг к другу, и имеют невысокую проницаемость, что является существенным недостатком.

В конструкциях каркасно-проволочных сварных фильтров щелевая поверхность фильтрации образуется намоткой проволоки круглого или специального сечения на проницаемый каркас [8]. В качестве каркаса можно использовать, например, перфорированную обечайку со спиральными канавками (рис. 2, а). В эти канавки наматывается проволока и приваривается к каркасу роликовой сваркой. В другом варианте роль каркаса играют стрингеры из круглой или фасонной проволоки (рис. 2, б) [1]. Тонкость фильтрации и гидравлическое сопротивление определяются шагом спиральной канавки и толщиной проволоки. Конструкцию отличает повышенная жесткость и прочность фильтра.

Использование проволоки треугольного (рис. 2, в) или трапециевидального сечения позволяет снизить вероятность заклинивания частиц загрязнения вследствие расширения щелей в направлении пропускания фильтруемой среды. Такая технология позволяет получать щелевые фильтры с тонкостью фильтрации от 75 мкм. К несомненным достоинствам этих фильтров следует отнести их значительную жесткость и прочность, однако при ширине щелей менее 100 мкм коэффициент живого сечения (отношение площади щелей к площади фильтрующей поверхности) составляет всего 2–10%, что обуславливает высокое гидравлическое сопротивление; это – существенный недостаток. Кроме того, производительность их получения низкая и, как следствие, высокая стоимость фильтроэлемента.

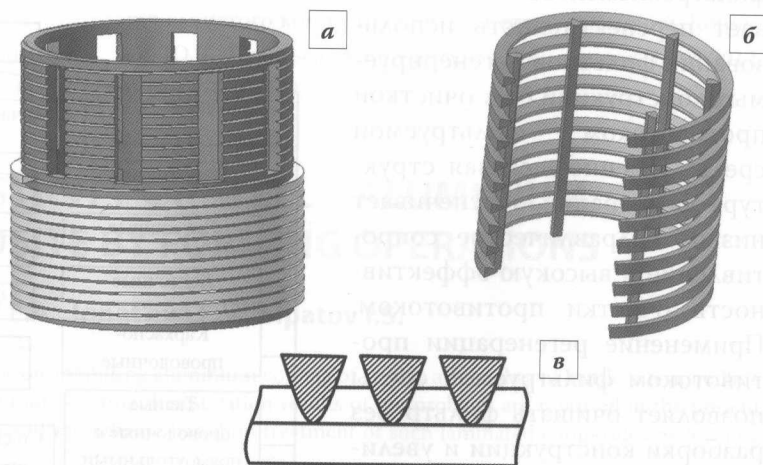


Рис. 2. Каркасно-проволочные сварные фильтры: а – корпусного типа; б – на основе стрингеров; в – вариант треугольной формы сечения проволоки

Принцип получения щелевой фильтрующей поверхности реализован также в *ленточных фильтрах*, в которых используется *гофрированная лента* [9]. Например, фильтроэлемент дренажных щелевых колпачков образован двумя спиральными лентами, одна из которых гофрированная, а другая плоская. Ленты навиваются виток к витку и привариваются, благодаря прямоугольным гофрам одной из лент формируются фильтрующие щели. Эта конструкция получила широкое распространение в дренажно-распределительных устройствах фильтрующих систем водоочистки для удержания фильтрующих материалов песчаных, угольных, ионитных фильтров с шириной щелей не менее 100 мкм, что является их недостатком.

*Пластинчатые фильтры* имеют щелевую фильтрующую поверхность, образованную набором пластин, которые собраны на оправке через прокладные шайбы, толщина которых определяет ширину щели. Пластинчатые фильтры обеспечивают тонкость фильтрации от 20 мкм и более, однако ширина фильтрующих щелей (тонкость фильтрации) нестабильна ввиду малой жесткости пластин (фольг). Такие фильтры нетехнологичны в изготовлении и конструктивно сложны. Достоинство пластинчатых фильтров – возможность их механической очистки скребками.

В *пружинных фильтрах* навитая пружина сжимается до конца, и витки прижимаются друг к другу. Фильтрующая поверхность образуется благодаря использованию насечек по длине проволоки, выступы которых формируют фильтрующий зазор [10]. Такие фильтры могут раскрываться для последующей очистки противотоком фильтруемой среды, что является их достоинством. Разновидность пружинных – регулируемые фильтры [11], когда ширина щели определяется степенью сжатия пружины. Это позволяет настраивать ширину щели от 10 мкм и более, а также увеличивать ширину щели при промывке противотоком. Основной недостаток данных фильтров – низкий коэффициент живого сечения.

*Метод деформирующего резания (ДР)* для получения щелевых фильтрующих труб основан на подрезании и пластическом деформировании подрезанных слоев с формированием макрорельефа в виде оребрения (рис. 3) [12, 13]. Особенность безотходного метода ДР – возможность формирования узких межреберных зазоров с шириной от 10 мкм при глубине зазоров до единиц миллиметров. При сквозном прорезании участка стенки заготовки возможно получение проницаемой перегородки, что позволяет предложить использование метода ДР для изготовления фильтров тонкой, средней и грубой очистки, имеющих щелевую структуру фильтрующей поверхности.

В области фильтрации метод ДР использовался для получения металлических микросеток и полимерных фильтрующих труб [14, 15]. В статье рассматривается использование метода ДР для получения металлических фильтрующих труб со щелевой структурой фильтрации.

Для получения металлических щелевых фильтрующих труб предлагается использование продольно-гофрированных заготовок (рис. 4, а) со сквозным прорезанием вершин гофр методом ДР. Материал заготовки внутри окружности диаметром  $D_2$  (рис. 4, б) не подвергается воздействию резца, что обеспечивает конструктивную прочность фильтрующей трубы.

Окружной шаг гофр и толщина  $\delta$  стенки трубной заготовки определяются технологическими ограничениями метода ДР, зависящими от пластичности и прочности материала

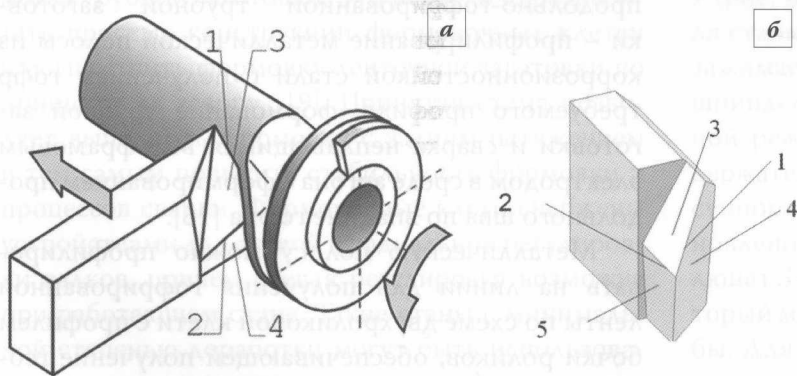


Рис. 3. Схема оребрения труб по методу ДР (а) и инструмент для его реализации (б): 1 – режущая кромка; 2 – деформирующая кромка; 3 – передняя поверхность; 4 и 5 – главная задняя и вспомогательная задняя поверхности

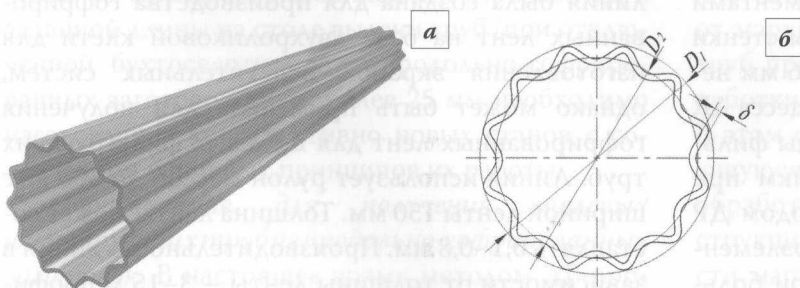


Рис. 4. Продольно-гофрированная заготовка для получения щелевых фильтрующих труб методом ДР (а), профиль сечения продольно-гофрированной трубной заготовки (б)

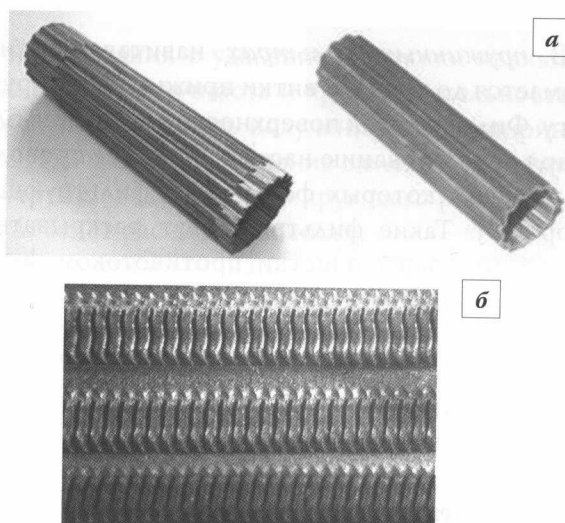


Рис. 5. Латунная и медная щелевые фильтрующие трубы (а), вид на щелевую фильтрующую поверхность (б)

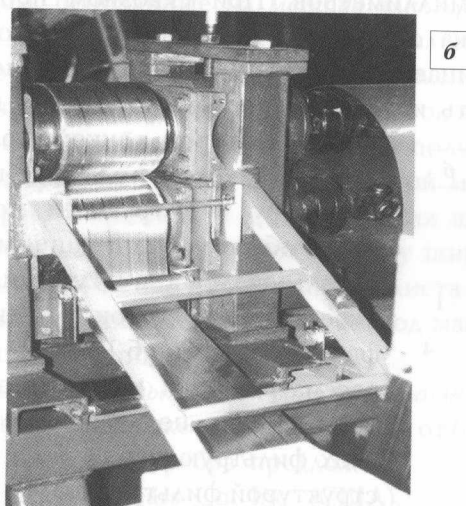
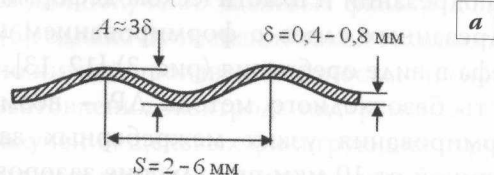


Рис. 6. Профиль гофр (а), линия для получения гофрированной заготовки (б)

заготовки. Предварительными экспериментами установлено, что использование толщины стенки  $d > 1,0$  мм и окружного шага гофр более 6 мм нецелесообразно ввиду нестабильности процесса ДР.

Получены медные и латунные образцы фильтрующих труб с шириной щелей 30 мкм при сквозном прорезании вершин гофр методом ДР (рис. 5). Трубчатая конструкция фильтроэлемента обеспечивает возможность работы при больших перепадах давления.

Оборудование для производства заготовок щелевых фильтрующих труб. Предполагаемы-

ми потребителями разработанных фильтрующих труб являются предприятия-изготовители нефтедобывающей промышленности, предприятия по водоподготовке и водоочистке бытовых и промышленных стоков. Большие объемы потенциального потребления требуют разработки высокопроизводительного оборудования для производства щелевых фильтров. Ниже приведены параметры щелевых фильтрующих труб, которые будут востребованы на рынке и которые используются для составления технического задания на разработку оборудования:

Материал труб	Коррозионностойкая сталь аустенитного класса типа 08Х18Н10Т
Диаметр фильтрующих труб, мм	14–70
Длина фильтрующих труб, мм	100–4000
Ширина щелей (тонкость фильтрации), мкм	30–200
Толщина стенки трубы, мм	0,4–0,8

Ключевыми моментами изготовления щелевых фильтрующих труб являются получение продольно-гофрированной трубной заготовки и реализация сквозного прорезания вершин гофр методом ДР.

Наиболее рациональный метод получения продольно-гофрированной трубной заготовки – профилирование металлической полосы из коррозионностойкой стали с получением гофрируемого профиля, формование трубной заготовки и сварка неплавящимся вольфрамовым электродом в среде аргона с формированием продольного шва по впадине гофра [16].

Металлическую полосу можно профилировать на линии для получения гофрированной ленты по схеме двухроликковой клетки с профилем бочки роликов, обеспечивающей получение геометрии гофра, показанной на рис. 6, а.

Прототип линии для получения гофрированной ленты показан на рис. 6, б. Изначально эта линия была создана для производства гофрированных лент на базе двухроликковой клетки для изготовления экранов осветительных систем, однако может быть применена для получения гофрированных лент для щелевых фильтрующих труб. Линия использует рулон массой до 500 кг с шириной ленты 150 мм. Толщина ленты может составлять 0,1–0,8 мм. Производительность линии в зависимости от толщины ленты – 3–15 м профилированной полосы в минуту, свернутой в рулон.

Окончательным этапом изготовления гофрированной трубной заготовки является формовка

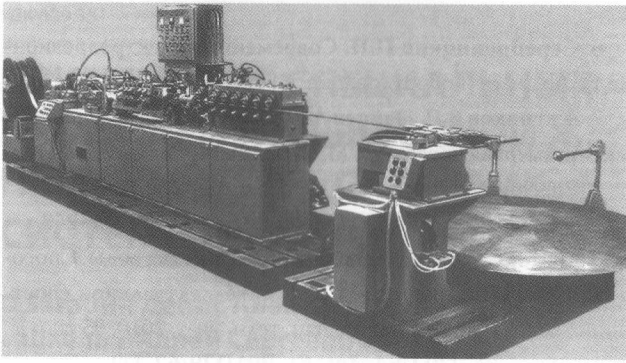


Рис. 7. Стан аргонодуговой сварки труб АДСТ5–25-1М

ленты в трубную заготовку и сварка продольным швом краев ленты. В ОАО «Институт «Цветметобработка» имеется опыт успешных разработок по проектированию, промышленному освоению и внедрению, в том числе за рубежом, станов аргонодуговой сварки труб (АДСТ) (рис. 7) [17, 18].

В состав стана входят: узел стыковой сварки для соединения концов лент при окончании и начале следующего рулона; дисковые ножницы для обрезки кромок ленты с двух сторон; формовочное устройство; узел продольной сварки; блок охлаждения; тянущее устройство и бухтосвертка с обрезкой трубной заготовки [18]. Основное принципиальное решение, принятое за основу при создании станом типа АДСТ, – неприводная формовка трубной заготовки. Это позволило разработать простые конструкции формовочных клетей и осуществить формовку ленточной заготовки по принципу «в зазор» [19]. Принятая схема позволяет выполнить формовку с задним натяжением и тем самым повысить стабильность формовки и процессов сварки. Формовочные клетки снабжены устройствами для осевой и радиальной регулировки валков, причем осевая регулировка возможна при работающем стане. Такие станы с минимальной степенью доработки могут быть использованы для производства продольно-гофрированных трубных заготовок диам. 5–25 мм. Для этого потребуется второе отрезное устройство для получения не бухты, а прямолинейных отрезков труб заданной длины на столе выдачи труб (при отключенной бухтосвертке). Для продольно-гофрированных заготовок диам. более 25 мм необходимо изготовление конструктивно новых станом с сохранением основных принципов их работы.

Оборудование для получения щелевых фильтрующих труб из продольно-гофрированных заготовок. В настоящее время методом ДР производится оребрение труб теплообменных аппаратов при минимальной модернизации токарно-винторезного станка [20]. Данный принцип

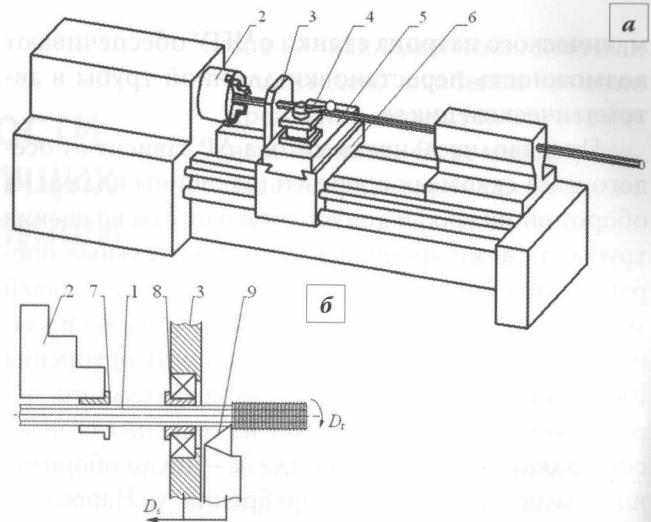


Рис. 8. Получение сквозных щелей на токарном станке из продольно-гофрированной трубной заготовки: а – общая схема компоновки; б – схема обработки

обработки апробирован при получении фильтрующих труб. Использование токарных станков позволяет легко перенастраиваться для сквозного прорезания методом ДР продольно-гофрированной трубной заготовки различных типоразмеров на заготовках диам. 6–60 мм (диаметр заготовки ограничен диаметром отверстия шпинделя используемого станка).

Продольно-гофрированная трубная заготовка 1 (рис. 8) пропускается через отверстие шпинделя станка и через подвижный люнет 3, после чего зажимается через разрезную втулку 7 в патроне 2 шпинделя станка. Державка резца с твердосплавной режущей пластиной 9 зажимается в резцедержателе 4 и может перемещаться поперечным суппортом 5 в радиальном направлении для установления заданной глубины резания. Подвижный люнет 3 закреплен на продольном суппорте 6, который может перемещаться только вдоль оси трубы. Для снижения трения вращающейся трубы о подвижный люнет 3 применяется подшипник качения с запрессованной втулкой 8. Максимальная длина обрабатываемого участка трубы определяется ходом продольного суппорта 6 и зависит от марки токарного станка. Оребрение длинных труб производится путем последовательной обработки участков трубы с ее перезакреплением. В этом случае необходимо поддерживать вращающуюся трубу слева от станка и справа от зоны обработки. Поддержки могут быть любой конструкции, удовлетворяющей технике безопасности, например в виде разъемной трубы.

Для реализации процесса ДР могут быть использованы токарные станки как с ручным, так и с программным управлением. При наличии авто-

матического патрона станки с ЧПУ обеспечивают возможность перестановки длинной трубы в автоматическом цикле.

Производительность метода ДР зависит от осевого шага сквозных прорезей (величины подачи на оборот шпинделя) и допустимой частоты вращения трубы, а также времени на вспомогательные операции. При обработке коррозионностойких сталей методом ДР рекомендуется скорость резания в диапазоне 0,7–1,0 м/с. Производительность оребрения (без учета подготовительно-заключительного периода времени) при обработке на токарных станках составляет  $Q = NS_0$ , м/мин, где  $N$  – число оборотов шпинделя, мин<sup>-1</sup>;  $S_0$  – шаг оребрения, м. Например, при частоте вращения шпинделя 1200 мин<sup>-1</sup> и шаге сквозных прорезей 0,4 мм производительность составит 0,48 пог. м фильтрующей трубы в минуту.

**Заключение.** На основе запатентованного метода деформирующего резания предложена конструкция жестких и прочных металлических трубчатых фильтроэлементов со щелевой структурой фильтрации, обеспечивающей возможность их регенерации противотоком фильтруемой среды. Предложены конкретные технические решения по высокопроизводительному изготовлению фильтрующих труб с использованием продольно-гофрированных трубчатых заготовок, получаемых на станах аргонодуговой сварки.

#### Библиографический список

1. Sutherland K. Filters and filtration handbook. Oxford : Elsevier Science Ltd, 2008. 520 p.
2. Гаврилко В.М., Алексеев В.С. Фильтры буровых скважин. М. : Недра, 1976. 345 с.
3. Пат. 2102110 РФ, МПК В23Д29/44. Скважинный фильтр и способ его изготовления / Коноплев В.Н., Коноплева Ю.В., Радченко А.А. – заявл. 09.04.96, опубл. 20.01.1998, Бюл. № 2. 1998.
4. Matanovic D., Cikes M., Moslavac B. Sand Control in Well Construction and Operation, Springer, Verlag Berlin Heidelberg, 2012. P. 38–49.
5. Вакс Е.Д., Миленский М.Н., Сапрыкин А.Г. Практика прецизионной лазерной обработки. М. : Техносфера, 2013. 695 с.

6. Серебrenицкий П.П. Современные электроэрозионные технологии и оборудование. СПб. : Лань, 2013. 351 с.

7. Житников В.П., Зайцев А.Н. Импульсная электрохимическая размерная обработка. М. : Машиностроение, 2008. 413 с.

8. Purchas D., Sutherland K. Handbook of Filter Media, 2<sup>nd</sup> ed. Oxford: Elsevier Advanced Technology, 2002. P. 245–250.

9. Майоров П.М., Пятыйкин Г.Г. Очистка воды. Способы и устройства: справоч. № 2 по интеллектуальной собственности. Донецк : Донецкий нац. техн. ун-т, 2010. 95 с.

10. Pat. 5207930 USA, Int. Cl. B01D29/62. Filtration system with helical filter cartridge / Raghavachari K.; Crane Co. App. No. 738152, 1993.

11. Пат. 2035202 РФ, МПК В01Д29/62. Фильтр / Колесников Б.И. – заявл. 10.09.90, опубл. 20.05.1995, Бюл. № 14.

12. Pat. EP 0727269, МКИ В23С 3/00. Method of producing a surface with alternating ridges and depressions and a tool for carrying out the said method / Zubkov N.N., Ovchinnikov A.I. – заявл. 27.04.94; опубл. 21.08.96.

13. Зубков Н.Н. Особенности реализации метода деформирующего резания // Технология машиностроения. 2001. № 1. С. 19–26.

14. Zubkov N.N., Slepcev A.D. Production of Slotted Polymer Tubes by Deformational Cutting // Russian Engineering Research. 2010. Vol. 30, No. 12. P. 1231–1233.

15. Зубков Н.Н., Слепцов А.Д. Получение микросеток и проницаемых щелевых труб механической обработкой // Изв. вузов. Машиностроение. 2007. № 3. С. 56–60.

16. Паршин С.В. Процессы и машины для изготовления профильных труб. Екатеринбург : ГОУ ВПО УГТУ-УПИ, 2006. 356 с.

17. Васильев В.А. Трубосварочное оборудование для изготовления труб из меди и ее сплавов // Сварщик в России. 2014. № 4. С. 13–16.

18. Dobkin I.I., Vasilyev V.A. Welding mills ADST 5...25-1: high efficiency of argon-arc welding of thin-walled tubes // VO Machinexport. 1992. № 32–92. С. 12–15.

19. Пат. 2050996 РФ, МПК В21С37/08. Рабочая клетка трубоформовочного стана / Донской Е.М., Васильев В.А., Сидорова Н.В. – заявл. 23.12.1992; опубл. 27.12.1995. Бюл. № 36.

20. Зубков Н.Н. Оребрение труб теплообменных аппаратов подрезанием и отгибкой поверхностных слоев // Новости теплоснабжения. 2005. № 4. С. 51–53.

## FILTERING ELEMENTS OF NEW DESIGN AND EQUIPMENT FOR THEIR PRODUCTION

© Zubkov N.N., Vasilyev V.A.

Analysis of existing designs and manufacturing techniques of filters with slot-hole structure has been made. Method for producing slotted filter tubes by deformational cutting has been proposed. The method has been realized by through wall slotting of longitudinally corrugated welded metal pipe. Options of basic structure of complexes for production of the slot-hole filtering pipes are shown.

**Keywords:** filtration; slot-hole filter; screen pipe; deformational cutting; corrugated metal band; TIG welding; pipes with a longitudinal seam; through wall slotting.