

6. Новиков И. И. Горячеломкость цветных металлов и сплавов. — М.: Наука, 1966. — 300 с.
7. Прохоров Н. Н. Физические процессы в металлах при сварке в 2-х томах. — М.: Металлургия, 1968. — Т. 1. — 695 с.
8. Макаров Э. Л., Коновалов А. В., Королев С. А. Инженерный программный комплекс «Свариваемость алюминиевых сплавов (горячие трещины)» // Компьютерные технологии в соединении материалов. 4-я Всероссийская научно-техническая конференция (с международным участием): Сб. тез. докл. — Тула: ТулГУ, 2003. — 156 с.
9. Королев С. А. Оценка склонности сварных швов алюминиевых сплавов к образованию горячих трещин // Образование через науку. Тезисы докладов Международной конференции. Москва, 2005 г. — М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2005. — 674 с.

621.91.01, 542.67

ПОЛУЧЕНИЕ МИКРОСЕТОК И ПРОНИЦАЕМЫХ ЩЕЛЕВЫХ ТРУБ МЕХАНИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКОЙ

Инж. Н.Н. ЗУБКОВ, студ. А.Д. СЛЕПЦОВ

Предложено использование метода деформирующего резания для получения металлических сеток и фильтрующих труб со щелевой структурой поверхности. Выполнен теоретический анализ взаимосвязей параметров обработки и получаемой фильтрующей структуры. Разработана методика управления процессом деформирующего резания при сквозном прорезании.

Method of straining shearing is offered under production of wire cloths and filtrating pipes with a slit-like surface structure. Theoretical analysis of correlations between production performance and produced filtrating structure is executed. The technique of control is developed by process of straining shearing at open proshearing.

Проблема фильтрации жидкостей и газов актуальна практически для всех отраслей машиностроения, химической и пищевой промышленности. Большая потребность в недорогих фильтрах существует для систем промышленного водоснабжения. Для станций аэрации очистки сточных вод необходимы мелкопузырчатые аэраторы.

Для механического отделения твердых частиц наибольшее распространение получили металлические сетчатые и металлокерамические фильтры, а также бумажные и тканевые фильтроэлементы. На рынке ограниченно присутствуют фильтры со щелевой структурой фильтрующей поверхности, в то время как именно щелевые структуры имеют повышенную проницаемость, а также возможна их регенерация противотоком фильтрующей среды.

Для изготовления фильтрующих систем используются и полимерные материалы, такие как полиэтилен, полипропилен, ПЭТ. К их преимуществам можно отнести низкую стоимость, небольшой удельный вес, высокую коррозионную стойкость.

Разрабатываемый в МГТУ им. Н.Э. Баумана метод деформирующего резания (ДР)* позволяет образовывать на поверхностях различных материалов щели с шириной от 10 микрометров при глубине до единиц миллиметров. Поэтому метод ДР можно использовать для изготовления фильтров тонкой, средней и грубой очистки, имеющих щелевую структуру фильтрующей поверхности. Реализация получения фильтров со щелевой структурой методом ДР возможна как на листовых, так и на трубных заготовках.

* Зубков Н.Н. Многофункциональная технология увеличения площади поверхности для повышения теплообменных и технологических свойств деталей // Полет (авиация, ракетная техника и космонавтика). — № 3. — 2003. — С. 41—46.

При использовании металлических или полимерных заготовок лист натягивается на цилиндрическую оправку, после чего последовательно обрабатывается методом ДР с двух сторон, причем оребрение со второй стороны производится перпендикулярно или под углом к направлению ребер с первой стороны. Глубину резания при обработке обеих сторон листа назначают больше половины его толщины, что обеспечивает соединение межреберных зазоров на противоположных сторонах листа. Структура сетки показана на рис. 1, *а*.

На токарном станке методом ДР из медных, алюминиевых, серебряных и титановых листов получены образцы сеток с квадратной и ромбической ячейкой от 15 мкм и выше при толщине сеток 0,3...0,6 мм (рис. 2, *а*). Предельно достигнутые показатели — это получение 1000 отверстий на квадратном миллиметре с производительностью 5000 отверстий в секунду.

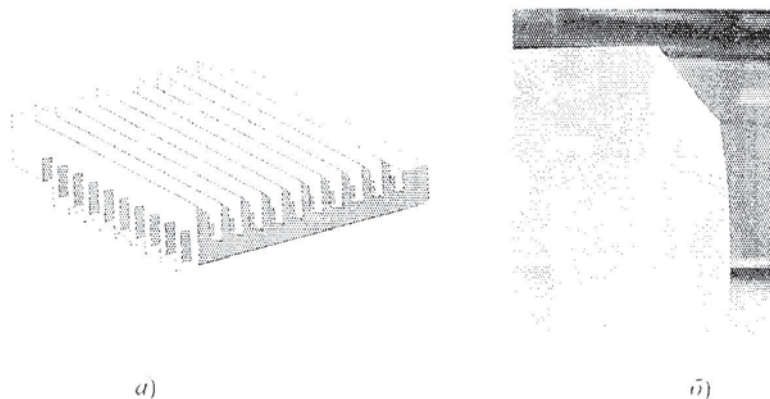


Рис. 1. Модель (*а*) и фотография (*б*) целевой сетки, полученной обработкой обеих сторон металлического листа методом деформирующего резания. Серебро, ширина щелей 80 мкм

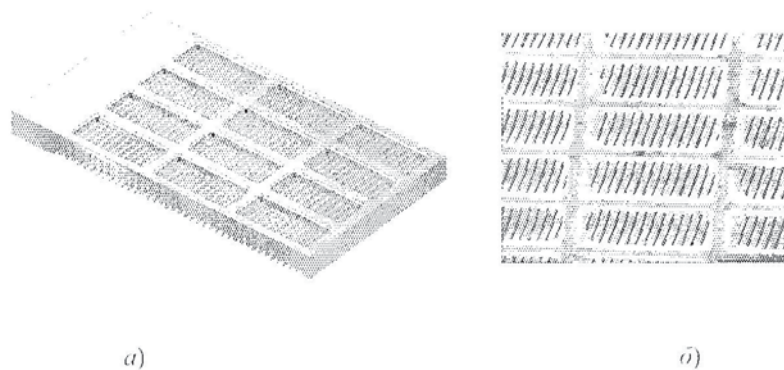


Рис. 2. Модель (*а*) и фотография целевой сетки (*б*), полученной обработкой одной стороны методом ДР, другой стороны — травлением. Титан ВТ1-0, ширина щелей 30 мкм

Возможна комбинация обработки методом ДР одной стороны листа и последующего травления или электроэрозионной обработки другой стороны с получением структуры, показанной на рис. 1, *б* и 2, *б*.

Изготовление металлических сеток методом ДР перспективно, в первую очередь, для таких материалов, которые не выпускаются в виде микропроволоки и поэтому не могут быть сотканы или сплетены. К таким материалам относятся титан, цирконий, алюминий и др. Поскольку площадь поверхности сеток, получаемых ДР, в несколько раз больше площади поверхности проволочных сеток, они также могут быть использованы как катализаторы или как основа для каталитических покрытий.

С точки зрения технологичности и производительности изготовления фильтрующих элементов значительно больший интерес представляет использование трубных заготовок стандартного или специального профиля при сквозном прорезании стенки трубы методом ДР (рис. 3).

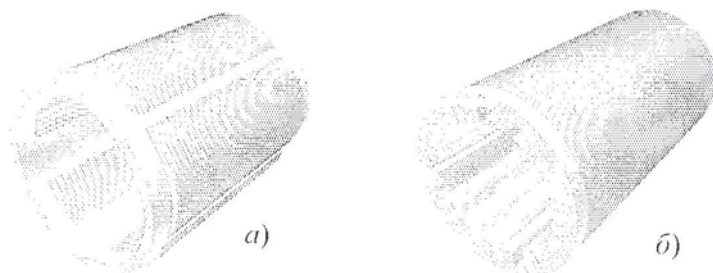


Рис. 3. Конструкция щелевой фильтрующей трубы, полученная: *a* — из стандартной трубной заготовки, *б* — из трубной заготовки специального профиля

Основным параметром, определяющим тонкость фильтрации таких проницаемых труб, является ширина щелей b . Ее величину в зависимости от технологических параметров обработки можно определить из схемы обработки при виде в плане на зону деформирующего резания (рис. 4). На схеме показано прорезание трубной заготовки, имеющей внутренние продольные пазы (рис. 3, *б*) с толщиной стенки трубы Δ . Положения инструмента через один оборот заготовки обозначены на схеме римскими цифрами I и II. За один оборот детали инструмент подрезает слой материала трубной заготовки с сечением $ABCD$. Подрезанный слой перетекает инструмент по передней поверхности и занимает положение $A_1B_1C_1D_1$, определяющееся проекцией деформирующей кромки на основную плоскость. Как видно из схемы, ширина щелей b зависит от величины главного угла инструмента в плане φ , вспомогательного угла инструмента в плане φ_1 и величины подачи инструмента за один оборот детали S_0 :

$$b = S_0(\sin\varphi_1 - \sin\varphi).$$

Видим, что при равных главном φ и вспомогательном φ_1 углах инструмента в плане можно получить щели с нулевой шириной, что означает отсутствие для метода ДР теоретических ограничений на получение минимальной ширины щелей. На практике минимальный достижимый зазор между ребрами будет определяться величиной шероховатости боковых сторон ребра.

Если для металлов наклон щелей однозначно определяется вспомогательным углом инструмента в плане φ_1 , то для термопластичных полимерных материалов ребра после прохода инструмента для ДР стремятся возвратиться в исходное положение. Это необходимо учитывать при назначении геометрических параметров инструмента, уменьшая вспомогательный угол инструмента в плане φ_1 на угол пружинения ребра.

В случае использования заготовок с внутренними продольными пазами возможны два варианта сквозного прорезания стенки трубы. Первый вариант основан на использовании стандартной схемы точения и реализуется на токарно-винторезном станке с минимальными затратами на подготовку производства. Во втором варианте применяется кинематическая схема вихревого резания при вращательном движении одного или нескольких инструментов для ДР и поступательном движении заготовки вдоль оси. Реализация данного варианта

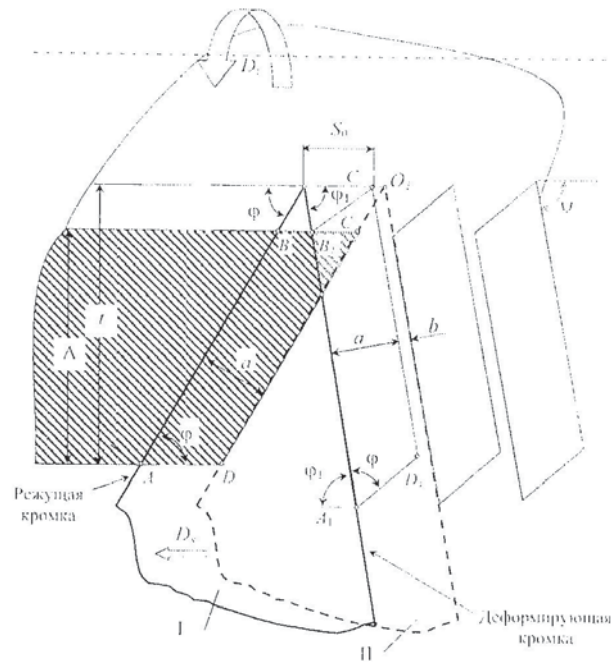


Рис. 4. Схема формирования щелевой структуры методом деформирующего резания

требует установки инструмента для ДР на кулачках автоматического патрона токарного станка, а также устройства подачи трубы. Данная схема допускает использование трех инструментов с возможностью их перемещения на глубину резания в процессе вращения патрона. Важнейшим преимуществом этой схемы является ее производительность, составляющая до 6 погонных метров фильтрующей полимерной трубы в минуту. Продольный срез щелевой структуры фильтрующей трубы из полипропилена, полученной из заготовки с внутренними пазами, показан на рис. 5.

Для получения фильтрующих труб может быть использована также продольно-гофрированная заготовка (рис. 6). Получены медные и латунные образцы фильтрующих труб с шириной щелей 30 мкм при сквозном прорезании вершин гофр методом ДР.

При использовании стандартных трубных заготовок проницаемость стенки трубы можно достичь, формируя сквозные щели на части длины окружности трубы, т.е. формируя ряды со сквозными рядами. Проведен анализ возможных кинематических схем, позволяющих реализовать получение рядов оребрения как на длиномерных трубных заготовках, так и на мерных отрезках труб небольшой длины. На наш взгляд, наиболее перспективен вариант реализации метода сквозного прорезания стенки трубы при синхронном вращении инструмента для ДР и заготовки. Прорезание стенки трубы не по всей длине окружности, а участками, с формированием рядов щелей, достигается именно за счет кратного соотношения частот вращения инструмента и заготовки. Этот вариант можно реализовать на обычном токарном станке, оснащенном дополнительным устройством для вращения одного или нескольких инструментов. Количество рядов сквозных щелей, параллельных оси трубы, определяется из выражения

$$i = \frac{n_{ин} z}{n_{тр}}$$

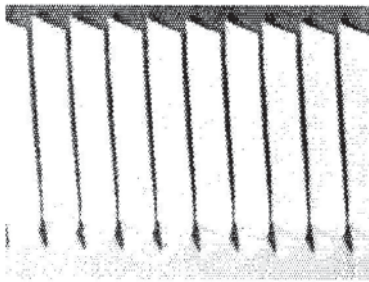


Рис. 5. Продольный срез фильтрующей трубы, ширина сквозных щелей 20 мкм

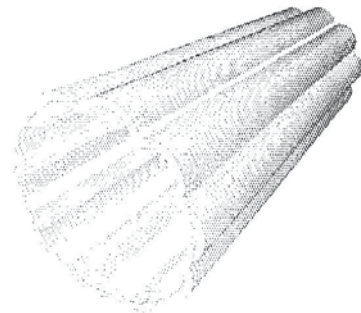


Рис. 6. Фильтрующая труба, получаемая из продольно-гофрированной металлической заготовки



Рис. 7. Фильтрующая труба с винтовыми рядами сквозных щелей

где $n_{ин}$ — частота вращения инструментов, $n_{тр}$ — частота вращения трубной заготовки, z — количество инструментов для ДР.

Особый интерес представляет фильтрующая труба с винтовыми рядами сквозных щелей (рис. 7), которые можно получить при незначительной рассинхронизации частот вращения инструментов и заготовки. Такая труба, как аналог пружины, имеет возможность значительных упругих деформаций вдоль своей оси. При растяжении или сжатии трубы, которые легко организовать в конструкции фильтра, сквозные щели будут увеличивать или уменьшать свою ширину вплоть до нулевой. Изменение длины трубы на ΔL приводит к изменению ширины щелевого зазора на величину Δb ,

$$\Delta b = \frac{\Delta L p}{L},$$

где L — длина участка со сквозными щелями, p — шаг щелей.

Настройка ширины щелей может быть достаточно точной. Например, для фильтра с щелевым рядом (измеренным вдоль оси трубы) длиной 100 мм с шагом щелей 0,5 мм изменение длины фильтра на 1 мм вызовет изменение ширины щелей на 5 мкм.

Нежесткая в осевом направлении фильтрующая труба может быть использована также в конструкции раскрывающего фильтра, полное раскрытие которого производится при его очистке. Этот принцип был реализован в фильтрующем модуле, разработанном совместно с ООО «Новомет-Пермь» для фильтрации пластовых вод от пропанта, применяемого при гидроразрыве пластов. Модуль состоит из 14 фильтрующих полиэтиленовых труб диаметром 50 мм и длиной 500 мм.

Жесткостью трубы легко управлять, поскольку она зависит от угла ω подъема рядов щелей, который определяется из выражения.

$$\omega = \arctan \left[\frac{\pi D}{S_0} \left(i - \frac{n_{ин}}{n_{тр}} \right) \right],$$

где D — наружный диаметр трубной заготовки, S_0 — шаг

получаемых щелей, $n_{ин}$ — частота вращения инструмента, $n_{тр}$ — частота вращения трубы, i — количество рядов сквозных щелей.

В целом метод ДР позволяет обрабатывать полимерные трубы с наружным диаметром от 6 до 160 мм при толщине стенки от 1 до 6 мм и получать сквозные щели шириной от 0,01 до 0,5 мм.