

УДК 621.777

## **ПЕРСПЕКТИВЫ ПРИМЕНЕНИЯ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МИКРОВОЛОКОН В ГОРНОМ ПРОИЗВОДСТВЕ**

**д.т.н. Сынков В.Г. (ИФГП НАНУ)**

*Приведений перелік напрямків та аналіз можливого застосування металевих мікрОВОЛОКОН в гірничому виробництві*

## **PROSPECTS OF APPLICATION OF METALIC MICROFIBRES FOR MINING PRODUCTION**

**Synkov V.G.**

*The list of direction and analisis of the possibility of application of the metallic micro-fibres for mining production are given*

### **Введение**

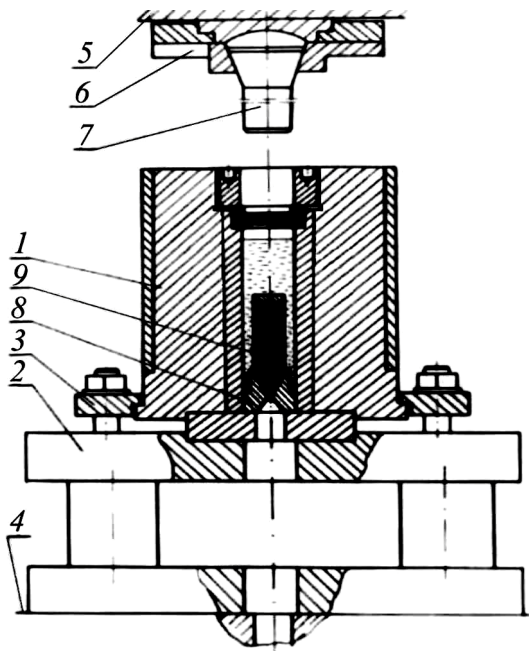
Материалы и изделия, созданные на основе металлических микро волокон являются одним из перспективных и наиболее успешных направлений использования нанотехнологий в современном промышленном производстве [1,2]. В горном производстве проведены широкие опытно-промышленные и шахтные испытания средств индивидуальной защиты, содержащих металловолокновые материалы и компоненты. Широкие возможности применения эти материалы могут найти в фильтроэлементах тонкой очистки шахтных респираторов, спецодежде, фильтрах защиты от пыли и электрических разрядов средств горной автоматики и телемеханики, в системах теплообменников, тепловых аккумуляторах, аэраторах, узлах трения машин и механизмов, при очистке сточных вод [3–5].

Металлические микроволокна получают, в основном, двумя способами: резкой тонкой волооченной проволоки или травлением в азотной кислоте композиционного провода, в котором нити из стали, никеля или титана разделены медной прослойкой. Этот способ реализуется горячим прессованием и много переходным волочением пакетным способом [6]. По данным [7] цена волокон диаметром 10 мкм, полученных волочением проволоки составляет 800–1000 долл./кг, при пакетном способе производства – 250–350 долл./кг.

Нами разработана альтернативная схема получения волокон, в которой пакетное прессование и волочение заменяется пакетной гидроэкструзией, а разделитель стальных нитей вводится в пакетную заготовку в виде термостойкой смазки, легко удаляемой с поверхности готовых волокон с помощью моющих средств [8–15].

### **Технологическая оснастка, оборудование и режимы получения металлических волокон**

В качестве основного оборудования использовали установку для гидроэкструзии металлов и сплавов на базе промышленных гидропрессов усилием



**Рис. 1.** Установка для гидроэкструзии металлических волокон: 1 – контейнер, 2 – плита, 3 – фланец, 4 – пресс, 5 – ползун пресса, 6 – подвеска, 7 – плунжер давления

волокна подвергался уплотнению путем редуцирования и последующей гидроэкструзии в несколько переходов до получения прутков  $\varnothing 5\text{--}12$  мм. После этого медный стакан удаляли механическим путем и производили контроль качества и размеров отдельных проволочных элементов (волокон). При необходимости получения волокон меньшего диаметра восстанавливали разделительную композицию, собирали новый пакет в медном стакане  $\varnothing 25\text{--}50$  мм и весь технологический цикл повторяли [14].

Для стационарности процесса гидроэкструзии давление выдавливания пакетной заготовки не должно превышать 1,2–1,4 ГПа, что обеспечивается промежуточными отжигами заготовки при температуре 800–900°C. В процессе технологических исследований был проверен трехстадийный маршрут гидроэкструзии пакета с наружным диаметром 25 мм и двухстадийный маршрут с диаметром пакета 35 мм. В обоих маршрутах использовали проволочные элементы  $\varnothing 0,1$  мм из стали 03X18H9T-ВИ, что позволило получить волокна диаметром 8–10 мкм. Многостадийные маршруты на каждой из стадий используют новый чехол из меди. Кроме того, каждый раз необходимы трудозатраты по восстановлению разделительного слоя, герметизации и уплотнению пакета. Одностадийная технология примерно в 2 раза снижает себестоимость волокна  $\varnothing 10$  мкм, однако диаметр пакетной заготовки для этой цели должен превышать 50 мм, а пористость собранной заготовки составляет 40–50%. Необходимо уплотнение пакета редуцированием, которая часто заканчивается потерей устойчивости заготовок путем появления остаточного изгиба продольной оси, гофр на чехле и его овальности. При последующей гидроэкструзии такой за-

2,5–6,3 МН (рис. 1). Установка оснащена контейнерами высокого давления с рабочей полостью диаметром 30–80 мм и комплектом матриц, позволяющими деформировать пакетные заготовки с максимальным диаметром 78 мм и длиной 250 мм.

Наибольшее применение в горном производстве находят волокна из хромоникелевых сталей и сплавов  $\varnothing 8\text{--}12$  мкм. Высокая прочность, пластичность и коррозионная стойкость этих материалов общеизвестны. Проволочную заготовку  $\varnothing 0,1\text{--}0,2$  мм перематывали с катушек в бухты требуемых размеров, резали на мерные длины, наносили разделительную композицию и размещали в стаканы из меди, в которых пакет отрезков про-

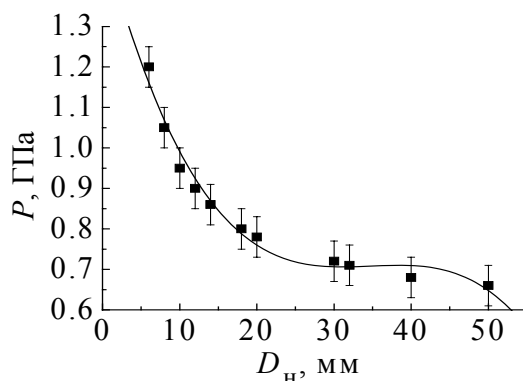
готовки из-за нарушения симметричности очага деформации возрастает давление деформирования, что приводит к нестационарности процесса выдавливания, разрывам волокон и чехла, нарушению поверхности матрицы. При этом примерно 1 кг волокна безвозвратно теряется.

Исследование режимов одностадийной технологии проводили по двум экспериментальным маршрутам:

1) гидроэкструзия заготовки с  $\varnothing 52$  на  $\varnothing 5,5$  мм за 5 технологических переходов с разовыми вытяжками  $\mu = D^2/d^2 = 2,1-3$  (где  $D, d$  – диаметр заготовки до и после деформирования в каждом технологическом переходе соответственно).

2) гидроэкструзия заготовки с  $\varnothing 52$  на  $\varnothing 5,5$  мм за 6 технологических переходов с разовыми вытяжками  $\mu = 1,6-2,7$ .

Максимальные значения вытяжек назначались в первом переходе, в котором из-за остаточной пористости пакета  $\Pi$  после редукиции ( $\Pi = 20-25\%$ ) фактическая вытяжка проволочных элементов на 20–30% ниже, чем определенная по изменению наружного диаметра пакета. Такая корректировка позволила ограничить максимальные давления в первом маршруте на уровне 1,4 ГПа, а во втором – 1,2 ГПа. Тем более, что из-за влияния масштабного



**Рис. 2.** Зависимость давления  $P$  гидроэкструзии пакетной заготовки ( $\mu = 2$ ) от ее наружного диаметра. Сплошная линия – аппроксимация экспериментальных данных формулой  $P = 1,5162 - 0,07191D + 0,0021D^2 - 2,02235 \cdot 10^{-5}D^3$

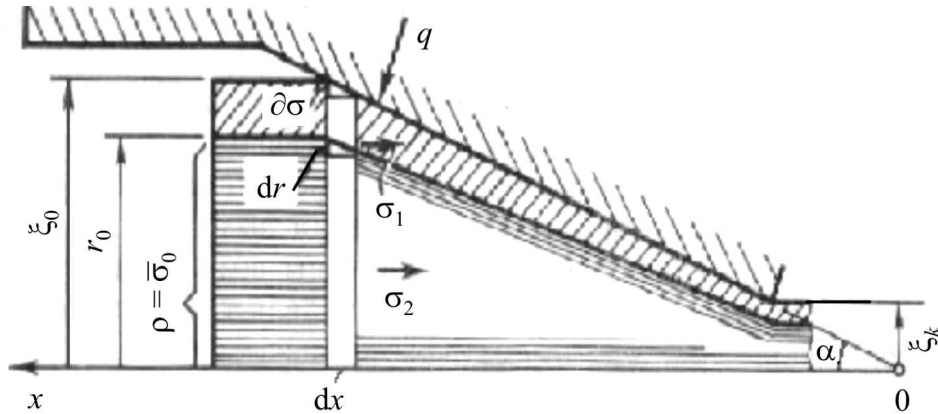
эффекта и увеличения вклада работы трения в общую работу деформирования на заключительных переходах даже при вытяжке  $\mu = 2$  рабочее давление выдавливания заготовки достигает 1,2 ГПа (рис. 2). С другой стороны, на начальных переходах маршрутов фиксируемое давление на пресс-штемпеле ниже расчетного. Сравнение двух маршрутов деформирования с точки зрения стационарности процесса на всех переходах, легкости разделения волокон после снятия чехла и их качества позволило сделать вывод о целесообразности использования второго варианта маршрута.

Снижение силового режима деформирования на 200–300 МПа также способствовало этому выбору, так как снижение удельных нагрузок на инструмент имеет существенное значение в повышении его долговечности.

### **Разработка математической модели гидроэкструзии проволочных элементов в оболочке**

Рассмотрим осесимметричную задачу выдавливания пакета [8], образованного проволочными элементами и помещенного в оболочку (рис. 3). Обозначим относительную плотность пакета до выдавливания  $\rho_0$ , предел

текучести материала проволочных элементов –  $\sigma_{1S}$ , предел текучести материала оболочки –  $\sigma_{2S}$ . Предположим, что материал оболочки несжимаемый, а компоненты напряжений, деформаций и плотность пакета  $\rho$  зависят только от координаты  $x$  и не зависят от расстояния до оси  $Ox$ . Приняли гипотезу кулоновского трения между оболочкой и матрицей.



**Рис. 3.** Схема гидроэкструзии пакетной заготовки

Условие пластичности оболочки записали согласно критерию Треска-Сен-Венана

$$\sigma_2 - q = \sigma_{2S}, \quad (1)$$

где  $\sigma_2$  и  $q$  – осевая и радиальная компоненты тензора напряжений в оболочке.

Для получения условия пластичности пористого пакета, сделали следующие предположения.

1. Пакет – ортотропное вдоль оси  $Ox$  пористое тело. Поверхность пластичности пакета преобразуется в поверхность пластичности изотропного пористого тела [16] при изменении масштаба по оси  $Ox$ :

$$\frac{\sigma^2}{\psi(\rho)} + \frac{\tau^2}{\varphi(\rho)} = \frac{2}{3} \rho \sigma_{1S}^2. \quad (2)$$

Здесь  $\sigma$  – шаровая компонента тензора напряжений;  $\tau$  – интенсивность девиатора напряжений;  $\psi(\rho) = \frac{2}{3} \frac{\rho^3}{(1-\rho)}$ ;  $\varphi(\rho) = \rho^2$ .

В случае осевой симметрии, когда главная ось тензора напряжений направлена вдоль оси пакета, а  $\sigma_2 = \sigma_3 = q$ , условие (2) приводится к виду:

$$(1+3\rho)\sigma_1^2 + 4(1-3\rho)\sigma_1 q + 4q^2 = 4\rho^4 \sigma_{1S}^2, \quad (3)$$

где  $\sigma_1$  – осевое напряжение.

2. При нагружении пакета лишь радиальными силами начало пластического течения определяется условием (2).

3. При нагружении пакета лишь в осевом направлении пластическое течение начинается при условии

$$\sigma_1 = \rho \sigma_{1S}. \quad (4)$$

В случае осевой симметрии предположения 1–3 удовлетворяются условием

$$\left(\frac{\sigma_1}{\rho}\right)^2 + \frac{2(1-3\rho)}{\sqrt{1+3\rho}} \left(\frac{\sigma_1}{\rho}\right) \left(\frac{q}{\rho^2}\right) + \left(\frac{q}{\rho^2}\right)^2 = \sigma_{1S}^2, \quad (5)$$

которое мы примем за условие пластичности пакета.

Средневзвешенное для заготовки значение осевой компоненты тензора напряжений:

$$\bar{\sigma} = \sigma_1 \frac{r^2}{\xi^2} + \sigma_2 \left(1 - \frac{r^2}{\xi^2}\right), \quad (6)$$

где  $r$  и  $\xi$  – текущие радиусы пакета проволочных элементов и заготовки. Очевидно, что на входе в очаг деформации  $\bar{\sigma} = -p$ , где  $p$  – давление жидкости в камере высокого давления, а на выходе из очага  $\bar{\sigma} = 0$ .

Дифференциальное уравнение, которому удовлетворяет величина  $\bar{\sigma}$ :

$$\frac{d}{d\xi}(\bar{\sigma}\xi^2) = 2\xi q(1 + f \operatorname{ctg} \alpha), \quad (7)$$

где  $f$  – коэффициент трения. Уравнение для границы раздела пакета проволочных элементов с оболочкой из предположения независимости тензора деформации от расстояния до оси:

$$r = k\xi. \quad (8)$$

Дифференциальное уравнение изменения плотности пакета  $\rho$ :

$$\frac{d\rho}{d\xi} = 2 \frac{\rho}{\xi} \left( \frac{dq}{d\sigma_1} - 1 \right). \quad (9)$$

Система из дифференциально-алгебраических уравнений (1, 5–9) представляет собой математическую модель гидропрессования пакетной заготовки. Вместе с граничными условиями на входе в очаг деформации ( $\xi = \xi_0$ ,  $\rho = \rho_0$ ,  $\bar{\sigma} = -p$ ) и на выходе из очага ( $\xi = \xi_k$ ,  $\rho = \rho_k$ ,  $\bar{\sigma} = 0$ ) система позволяет решить поставленную задачу с помощью вычислительных методов.

На рис. 4 приведены расчетные значения характеристик НДС вдоль очага деформации: пористости пакета  $\Theta = 1 - \rho$ ,  $\bar{\sigma}$ ,  $\sigma_1$ ,  $\sigma_2$ ,  $q$ . Величина  $\xi$  нормирована на начальный радиус заготовки  $\xi_0$ , а характеристики напряженного состояния – на  $\sigma_{1S}$ . В расчетах принято, что  $\Theta_0 = 20\%$ ;  $\mu = 0,05$ ;  $\alpha = 20^\circ$ ;  $\sigma_{2S}/\sigma_{1S} = 0,5$ ;  $r_0/\xi_0 = 0,9$ ;  $\xi_k/\xi_0 = 0,57$ .

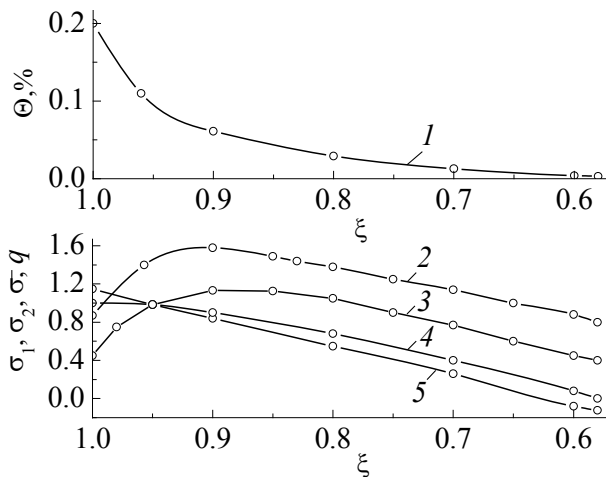


Рис. 4. Расчетные значения  $\Theta$  (1),  $q$  (2),  $\sigma_2$  (3),  $\bar{\sigma}$  (4),  $\sigma_1$  (5) вдоль очага деформации (напряжения сжатия нанесены со знаком +)

Анализ результатов вычислений показывает, что пористость пакета быстро уменьшается уже в первой четверти высоты очага деформации, а на выходе из него не превышает 1%. Экспериментальные исследования подтвердили указанные закономерности. Радиальная устойчивость пористой заготовки при гидропрессовании не позволяет существенно снижать толщину стенки; экспериментально установленный диапазон оптимальной толщины соответствует  $(r_0/\xi_0) = 0,88-0,92$ . Кривая распределения контактного напряжения  $q$  вдоль очага деформации (рис. 4, кривая 2) позволила установить, что максимум эпюры контактного напряжения примерно в 1,5 раза превышает предел текучести материала проволоки, а также что он сдвинут на 10–25% высоты очага деформации от входа в него. На выходе из очага деформации контактное напряжение находится на уровне  $0,9\sigma_{1S}$ , несмотря на то, что  $\bar{\sigma} = p = 0$ . Таким образом, при проектировании матриц для пакетной гидроэкструзии эпюру нагружения можно схематизировать трапецией, длина основания которой – высота очага деформации, ее высота на входе и выходе  $\sigma_{1S}$ .

#### Регенерируемые фильтроматериалы и фильтроэлементы шахтных респираторов из металлических волокон

Применяемая в промышленности технологическая схема получения фильтроматериала с заданными геометрическими и структурными характеристиками включает операции войлокования коротких отрезков (5–20 мм) проволоки, спекания и деформационной обработки спеченной заготовки прокаткой в валках [3].

Металлические волокна, получаемые методом пакетной гидроэкструзии характеризуются более развитым рельефом поверхности, что дает им эксплуатационные преимущества при использовании в фильтровальных материалах [14], а также экономическую эффективность из-за существенно меньшей цены при диаметрах 5–20 мкм.

Новые экономические условия работы горнорудных предприятий предъявляют повышенные требования к средствам защиты персонала от техно-

генной пыли, так как стоимость годового комплекта стандартных фильтроэлементов (ФЭ) из нетканого материала (ткани Петрянова) для одного работающего составляет 200 грн, а для 250 тыс. горнорабочих Украины 50 млн. грн. в год. Высокая эффективность защиты органов дыхания от пыли с помощью ФЭ из ткани Петрянова быстро снижается в сырой атмосфере угольных шахт. Деградация защитных характеристик этого фильтроматериала объясняется существенным превышением пылевой нагрузки против нормативной ( $0,2 \text{ мг/см}^2$  при влажности 80%), а также нарушением однородности структуры материала после механического встряхивания ФЭ, осуществляемого рабочими при повышении сопротивления дыханию.

Противостоять нарушению однородности при встряхивании может только спеченная в вакууме волокновая структура из металла, которая после прокатки до пористости 40–60% и последующего дополнительного спекания обеспечивает прочность материала при разрыве 5–20 МПа. Высокая теплостойкость и коррозионная стойкость этого материала создают предпосылки для применения различных методов регенерации (продувки сжатым воздухом, промывки в моющих растворах с наложением ультразвуковых колебаний), а также санитарно-гигиенической обработки. В течение 1996–1999 годов по заказу Госнадзорохрантруда Украины нами с помощью инновационной компании «Синтра» (г. Донецк) изготовлены и проверены на стенде НПО «Респиратор» (г. Донецк) и в производственных условиях шахт г. Донецка три опытные партии металловолоконных фильтроэлементов МВФЭ-1 (1500 шт.) к шахтному респиратору типа РПА-1 (ТУ У 1354938.003-97). При площади фильтрования  $300 \text{ см}^2$  МВФЭ-1 обеспечивает эффективность защиты от пыли не ниже 99%, сопротивление воздушному потоку не более 35 Па и время защитного действия 300 мин атмосфере с запыленностью  $500 \text{ мг/м}^3$ . Ресурс МВФЭ-1 с промежуточными регенерациями между сменами продувкой сжатым воздухом не менее 250 смен, масса – не более 70 г [17]. Опытная партия МВФЭ-1 успешно прошла приемочные испытания и принята межведомственной комиссией Госнадзорохрантруда.

### **Ткань для взрывобезопасной износостойкой спецодежды шахтеров**

Повышение уровня защиты горняков от механических повреждений, загрязнений и вредных воздействий электро-магнитных полей выдвигает качественно новые требования к материалам, используемым в спецодежде. Особую роль в этих требованиях играют факторы долговечности, комфортности и минимизации электризуемости одежды при носке в подземных условиях. Одно из основных значений в факторе комфортности имеет малый вес комплекта, определяемый поверхностной плотностью ткани, что входит в противоречие с механической прочностью, износостойкостью и электризуемостью материала. Высокие прочностные свойства тканей обеспечиваются введением в их структуру полимерных волокон и нитей, но с другой стороны, это повышает их электризуемость.

Степень электризации текстильных материалов, т.е. их способность накапливать и сохранять на своей поверхности электрические заряды, зависит от электрической проводимости ткани и способности компонентов ее структуры либо обеспечивать перетекание зарядов от участков с высоким потенциалом к менее напряженным зонам, либо осуществлять релаксацию зарядов путем появления коронарных разрядов между отдельными участками или между участками ткани, окружающей средой или заземленным оборудованием. Вполне понятно, что определенную роль в облегчении или торможении этих процессов играют характеристики окружающей среды (влажность, запыленность, склонность к образованию заряженных аэрозолей, турбулентность воздушных потоков и др.).

Наиболее важное положительное влияние на релаксацию зарядов оказывает модификация текстильного материала специальными добавками, вводимыми в структуру волокон, нитей или тканей на различных этапах их производства. В качестве таких модификаторов используют твердые проводящие частицы – наполнители химических волокон, электропроводящие покрытия на волокнах, нитях и тканях, металлические проволочные элементы, добавляемые в штапельную пряжу или используемые как монопить при производстве ткани. Введение в штапельную нить металлических микроволокон позволяет наиболее полно использовать оба механизма релаксации зарядов (электронный и ионный), т.к. протяженные отрезки проводников при относительно малой массовой доле ввода в ткань (до 3%) обеспечивают не только разветвленную проводящую цепь, но и создают сетку концентраторов электрического поля, образуемых концами элементарных волокон и огранкой их поверхности. Порошковые наполнители, вводимые в химические волокна и проводящая сетка, образованная монопитью или напылением не имеет концентраторов поля такой эффективности. Кроме того, высокая механическая и коррозионная стойкость волокон позволяет тканям выдерживать многократные стирки без потери электрофизических характеристик. Особое значение для обеспечения условий релаксации зарядов путем коронирования в окружающую среду имеют случаи, когда по условиям горного производства нельзя обеспечить постоянное и надежное заземление работника [18,19].

Тестирование электрофизических характеристик текстильных материалов и спецодежды должно наиболее полно отражать все возможности накопления и релаксации зарядов.

1. Накопление зарядов электризацией: трением об уголь и горную породу различной степени метаморфизма; при ходьбе и выполнении работ в различных горных условиях; при одевании и раздевании различных элементов костюма.

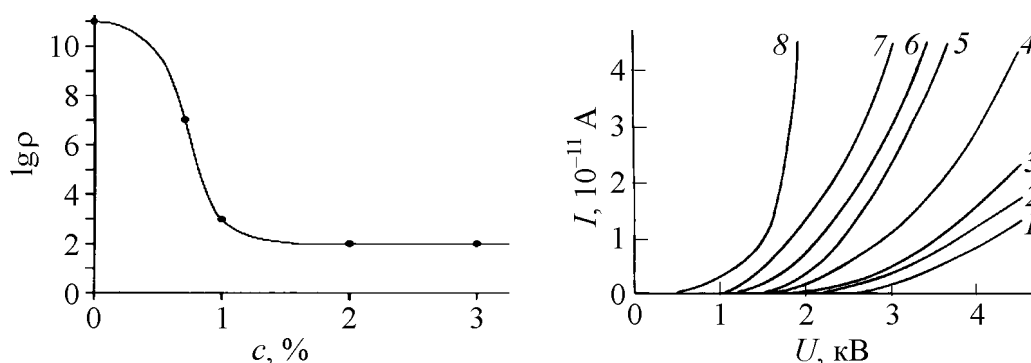
2. Релаксация зарядов статического электричества растеканием и коронированием: интенсификацией растекания зарядов по поверхности материала за счет снижения электросопротивления ткани электрическому току введе-



нием электронных носителей; ограничением предельной величины накопленных зарядов стимуляцией ионной проводимости концентраторами электрического поля.

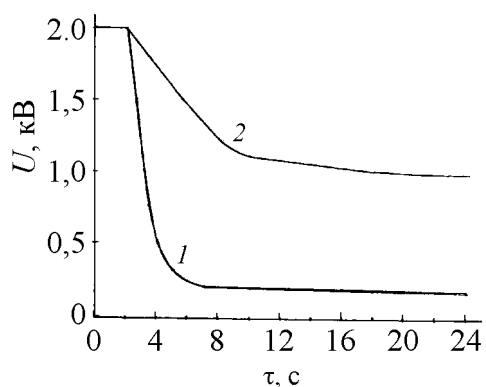
Механические характеристики ткани для спецодежды шахтеров (сопротивление истиранию, разрыву, раздиру и др.) регламентируется стандартами, однако контроль электрофизических характеристик тканей, содержащих электропроводящие компоненты (удельное электрическое сопротивление  $\rho$ , максимальный потенциал электризации –  $U_m$ , время снижения максимального потенциала электризации до безопасной величины –  $\tau$ ) до сих пор не нормирован, сертифицированные лаборатории, оборудование и методики измерений отсутствуют [18].

Для измерения удельного электрического сопротивления нами использовано решение, содержащееся в DIN 54345, р. 5 [20], с помощью которого получена зависимость поверхностного электрического сопротивления  $\rho$  от весовой (%) доли содержания металлических волокон в ткани  $c$  (рис. 5). Использовано волокно из нержавеющей стали, длина резки  $50 \pm 2$  мм. Расстояние между электродами  $s = 80$  мм. Уже при вложении 1% волокон удельное электросопротивление  $\lg \rho$  от весовой доли содержания металлических волокон в ткани по сравнению с базовой полиэфирной снижается на 8 порядков. Таким образом, для релаксации зарядов с высокими потенциалами путем растекания по поверхности ткани создаются очень благоприятные условия. Для исследования способности ткани нейтрализовать электростатические заряды коронированием необходимо контролировать вольт-амперные характеристики материала. Нами разработано устройство, с помощью которого проведены сравнительные испытания хлопко-полиэфирной ткани (рис. 6) без вложения металлического волокна (кривые 1, 3, 5, 7) и ткани с той же основой, но с дополнительным введением 2% металлического волокна (кривые 2, 4, 6, 8) при расстоянии между электродами 20 мм (кривые 1, 2), 15 мм (кривые 3, 4), 10 мм (кривые 5, 6), 5 мм (кривые 7, 8).



**Рис 5.** Зависимость электросопротивления ткани  $\lg \rho$  от весовой доли содержания металла  $c$

**Рис. 6.** Вольтамперные характеристики тканей, содержащих металлические волокна (кривые 2, 4, 6, 8) и не содержащих металла (кривые 1, 3, 5, 7)



**Рис. 7.** Кинетика релаксации электростатического потенциала с ткани: 1 – с металлическим волокном, 2 – без металлического волокна

$U = f(\tau)$  для полиэфирных тканей, содержащих 2% металлического волокна (кривая 1) и не содержащих его (кривая 2). Видно, что для релаксации заряда от 2 кВ до 1,5 кВ ткань, содержащая металлическое волокно затрачивает в 2,2 раза меньше времени, чем не содержащая его, а при снижении потенциала на ткани от 2 кВ до 1 кВ это различие достигает 6 раз. Поскольку продолжительность индукционного периода возгорания метана при температуре источника тепла 650–1000°C может сокращаться в несколько раз, методика изучения кинетики релаксации заряда дает важную информацию о пригодности материала спецодежды для безопасной работы.

### Выводы

Разработаны основы теории и технологии получения металлических микроволокон из коррозионностойких сталей, пористых фильтроматериалов и композиционных металлизированных нитей для средств индивидуальной защиты органов дыхания и использования в тканях для спецодежды шахтеров. Материалы обеспечивают эффективную защиту работников от пыли и статического электричества, снижают вероятность возникновения взрывоопасных ситуаций, стимулируют снижение весовых показателей одежды и затрат на фильтроэлементы респираторов, улучшают условия труда.

### СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Rittner M.N. Nanostructured Materials: A Technical Market Analysis // Proc. of the 1st Conference on Fine, Ultrafine and Nano Powder. – Business Communication Company. – New York: 1998. – P. 13–18.
2. Нанотехнология в ближайшем десятилетии. Прогноз направлений исследований / Под ред. М.К. Роко, Р.С. Уильямса и П. Аливисатоса / Пер. с англ. А.В. Хачояна / Под ред. Р.А. Андриевского. – М.: Мир, 2002. – 292с.
3. Косторнов А.Г. Проницаемые металлические волоконные материалы. – К.: Техника, 1983. – 128 с.

4. Сынков В.Г. Регенерируемые фильтроэлементы шахтных респираторов на основе спеченных металлических микроволокон // Физико-технические проблемы горного производства. Сб. научн. тр. / Под ред. А.Д. Алексеева. – Донецк: ИФГП НАНУ, 2004. – Вып. 7. – С. 204–207.
5. Дорошев В.Д., Сынков В.Г., Транковская Л.Д. Пути реализации современных требований к износостойкой и взрывобезопасной спецодежде шахтеров // Физико-технические проблемы горного производства. Сб. научн. тр. / Под ред. А.Д. Алексеева. – Донецк: ИФГП НАНУ, 2003. – Вып. 6. – С. 138–145.
6. Muller P. Verfahren zum Herstellen von Metallfasern // Neue Hutte. – 1976. – Bd. 21. – №8. – P. 461–463.
7. Goodfellow Metals Ltd. – 1977/1978. – Katalog №5. – 4 p.
8. Математическая модель процесса гидроэкструзии волокнистого материала в оболочке / В.Г. Сынков, О.Е. Глауберман, Я.Е. Бейгельзимер и др. // Порошковая металлургия. – 1990. – №6. – С. 19–22.
9. Заготовка для гидростатического прессования и способ ее изготовления: А. с. 1332623 СССР, МКИ 4В 21 С 23/01 / Г.А. Раханский, Н.И. Матросов В.Г. Сынков (СССР). – №3968815/31-27; Заявл. 16. 09. 85; Зарегистр. ГРИ СССР 22.04.87.
10. Способ изготовления волокон: А. с. 1417295 СССР, МКИ 4В 21 J 5/04 / Б.И. Береснев, Н.И. Матросов В.Г. Сынков и др. (СССР). – №4121344/31-27; Заявл. 22.09.86; Зарегистр. ГРИ СССР 15.04.88.
11. Способ изготовления волокон: А. с. 1472170 СССР, МКИ 4В 21 J 5/04 / С.Г. Сынков, Н.И. Матросов В.Г. Сынков и др. (СССР), №4238536/31-27; Заявл. 23.03.87; Оpubл. 15.04.89, Бюл. №. 14. – 3 с.
12. Способ изготовления металлических волокон: А. с. 1579619 СССР, МКИ 5В 21 J 5/04 / С.Г. Сынков, Н.И. Матросов, В.Г. Сынков и др. (СССР). – №4068648/31-27; Заявл. 21.05.86; Оpubл. 23.07.90, Бюл. №. 27. – 3 с.
13. Устройство для удаления оболочки: А. с. 1609523 СССР, В 21 С 1/00 / С.Г. Сынков, Н.И. Матросов В.Г. Сынков и др. (СССР). – №3993867/31-02; Заявл. 20.12.85; Оpubл. 30.11.90, Бюл. № 44. – 3 с.
14. Сынков С.Г., Сынков В. Г., Сапронов А. Н. Пакетная гидроэкструзия волокон из хромоникелевых сталей / Физика и техника высоких давлений. – 1996. – Т. 6. – № 2. – С. 141–145.
15. Береснев Б.И., Сынков С.Г., Матросов Н.И. и др. Оценка качества совместно деформированных гидропрессованием волокон // Вопросы авиационной науки и техники. Серия «Технология легких сплавов». – Вып. 6. – 1987. – С. 20–22.
16. Штерн М.Б. Определяющие уравнения для уплотняемых пластичных пористых тел // Порошковая металлургия. – 1981. – №4. – С. 17–23.
17. Сынков В.Г., Нифонтов В.А., Аксельрод И.М., Николенко В.Г. Металловолоконные фильтроэлементы противопылевых респираторов // Охрана труда. – №12. – 1997. – С. 56–57.
18. Алексеев А.Д., Сынков В.Г., Транковская Л.Д. Электризуемость спецодежды шахтеров и взрывобезопасность // Уголь Украины. – 2003. – №11. – С. 46–48.
19. Алексеев А.Д., Сынков В.Г., Транковская Л.Д. Электростатическая искробезопасность текстильного материала спецодежды шахтеров // Охрана труда. – 2003. – №10. – С. 35–36.
20. DIN54345, p. 5. Elektrostatisches Verhalten. Bestimmung des elektrischen Widerstandes an Streifen aus textilen Flachengebilden Deutsche Norm. Juli 1985.