



It is shown that at using of profile (square) wire RML in conditions of RUP «BMZ» for production of pipes of high pressure their production is cheapened, what attracts interest of consumer.

Д. Г. САЧАВА, О. И. ИГНАТЕНКО, Е. В. ШАМАНОВСКАЯ, РУП «БМЗ»

УДК 669.

ИЗГОТОВЛЕНИЕ ПРОВОЛОКИ РМЛ КВАДРАТНОГО ПРОФИЛЯ В УСЛОВИЯХ БЕЛОРУССКОГО МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ЗАВОДА

Основными направлениями для снижения себестоимости рукавов высокого давления являются, в первую очередь, уменьшение толщины стенки шланга за счет использования проволоки повышенной прочности или за счет уменьшения диаметра проволок с повышенной частотой навивки.

В настоящее время направление развития производства рукавов высокого давления за счет использования проволоки более высокой прочности практически реализовано, так как достигло своего оптимального уровня. Дальнейшее увеличение прочностных показателей проволоки приведет к снижению ее пластических характеристик. При этом в результате усложнения технологии и модернизации существующего оборудования произойдет увеличение ее стоимости. В этом случае расчет на увеличение ресурса ходимости шлангов за счет снижения пластических характеристик проволоки может не оправдаться.

Остаться в этом секторе и занять лидирующие позиции можно, предлагая вместо обычной, изготавливаемой проволоки РМЛ круглого сечения, другие виды более эффективной для потребителя продукции, в частности, квадратную проволоку РМЛ.

Основные преимущества при использовании профильной (квадратной) проволоки РМЛ (рис. 1):

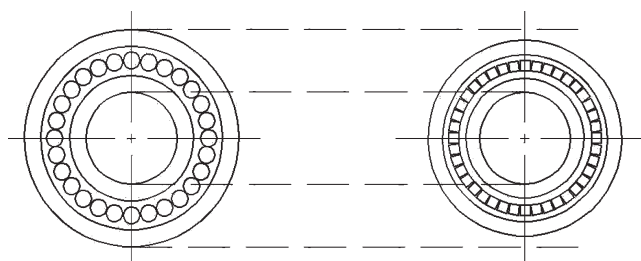


Рис. 1. Снижение толщины стенки рукава за счет использования профильной проволоки РМЛ

- высокие пластические характеристики (например, полное удлинение при разрыве выше в 1,5 раза, чем на круглой проволоке);

- возможность снижения толщины стенки рукавов высокого давления (экономия материалов);

- повышенная стойкость к разрушению армирующего слоя;

- снижение класса прочности проволоки, что ведет к снижению ее стоимости.

Используя эти преимущества профильной высокопрочной стальной проволоки для армирования рукавов высокого давления, можно выйти на следующий уровень по снижению себестоимости и заинтересовать потребителя.

Основным способом получения профильной проволоки является волочение с использованием профильных волок. Большой недостаток использования твердосплавных профильных волок (профиль-квадрат) различных производителей – их низкая стойкость. Время работы волоки до ее износа составляет не более 500 кг/волоку. При этом стоимость профильной волоки примерно в 40 раз выше обычной.

Вероятной причиной быстрого выхода волок из строя являются малые обжатия, которые применяются при волочении профиля, в результате чего рабочий конус волоки фактически не задействован. Попытка увеличить обжатия приводит к обрывам проволоки еще на стадии заправки ее в волоку.

Чтобы обеспечить хотя бы частичное заполнение конуса, необходимо применять низкопрочную (мягкую) проволоку, например медную или алюминиевую, и именно там эти волокна нашли широкое применение, а для получения проволоки РМЛ даже первой группы прочности (2150–2450 МПа) использовать их нерационально.

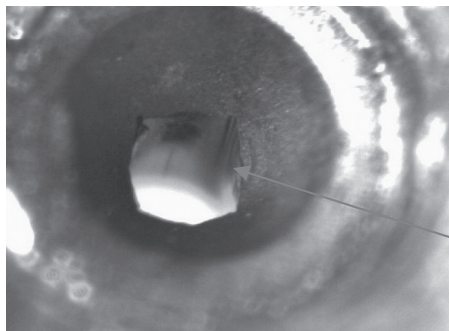


Рис. 2. Выкрашивание алмазной волокны после 6 ч работы

Решить проблему стойкости инструмента при производстве квадратной проволоки за счет использования алмазных профильных волок не удалось. Применение алмазных волок одной из ведущих фирм показало, что стойкость волокна до выхода размера проволоки за допуск 0,01 мм составила в среднем 6 ч (168 кг/волокно) (рис. 2). Канал волокна после наработки имел выкрашивание в разных местах, что также говорит о нецелесообразности их применения.

Одним из перспективных направлений метизной отрасли промышленности при волочении проволоки является применение роликовых кассет. Это обусловлено более благоприятными условиями трения в очаге деформации по сравнению с волочением в монолитных волокнах и позволяет более интенсивно формировать фасонные профили высокой точности.

Незначительные габаритные размеры роликовых кассет позволяют устанавливать их на существующие волочильные станы без реконструкции, что обеспечивает расширение технологических возможностей. Более высокие показатели жесткости и другие характеристики роликовых волок обеспечиваются конструктивными особенностями соединения осей, наличием охлаждения и смазки.

Роликовая микрокассета (рис. 3) оснащена системой, которая позволяет быстро производить радиальную регулировку одного ролика на модуле.

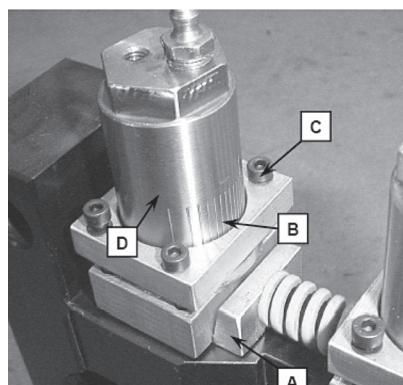


Рис. 4. Радиальная регулировка ролика

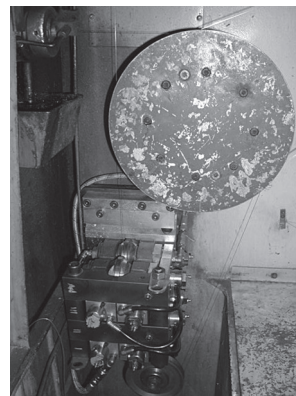


Рис. 3. Роликовая кассета, установленная на стане КНТ 25.6 для получения квадратной проволоки РМЛ

На рис. 4 показаны точки для выполнения радиальной регулировки роликов.

Регулируемый ролик – это ролик, оснащенный клином *A*, который позволяет проводить осевую регулировку, более того, он имеет ряд эталонных меток для настройки *B*.

Радиальная регулировка роликов производится за счет ослабления винтов с внутренним шестигранником в головке *M5 C* на фиксирующей пластине, оставляя минимальный зазор, возможный для поворота вала. Используя плоский ключ на 27 мм для вала эксцентрика *D*, поворачивают его на требуемый угол и затягивают фиксирующие винты *C*.

Следует учитывать, что эксцентриситет вызывает суммарный ход ролика в 0,4 мм, поэтому, если вал поворачивается на 90°, ролик либо поднимается, либо опускается на 0,2 мм. Более того, вал имеет эталонные метки, каждая из которых соответствует радиальному сдвигу ролика на 0,02 мм.

Кроме того, роликовая кассета оснащается системой, которая позволяет осуществлять простую подачу проволоки через ролики в начале рабочего цикла – вал держателя ролика *A*, (желтая головка) оснащается эксцентриком в 1 мм, который позволяет раздвинуть ролики максимум на 2 мм (рис. 5).

Для раздвижения роликов служит следующая процедура: слегка ослабляются винты с внутрен-

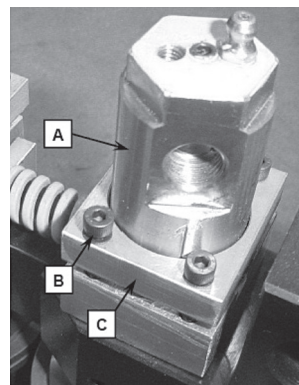


Рис. 5. Регулировка ролика для заправки проволоки

ним шестигранником в головке М5 В на фиксирующей пластине, оставляя минимальный зазор, возможный для поворота вала, и, используя плоский ключ на 27 мм для вала эксцентрика, поворачивают на 180° до концевого упора, что показывает на полностью раздвинутые ролики. Проволока пропускается между роликами и операция повторяется в обратном порядке.

Обязательным требованием, предъявляемым к проволоке квадратного сечения, является Fill Factor – коэффициент наполнения. Fill Factor (FF) – это отношение фактической площади квадратной проволоки к площади квадрата (рис. 6):

$$FF = F_{\phi} / a^2. \quad (1)$$

Приемлемый уровень Fill Factor 85–95%, при этом должно быть обеспечено постоянство в размерах и симметрии сечения проволоки.

Приоритетным размером в развитии проекта освоения производства квадратной проволоки с одной из ведущих фирм по производству рукавов высокого давления была определена проволока сечением 0,54×0,54 мм. Этот размер по расчетам фирмы-производителя позволит получить продукт, который можно будет использовать для замены проволоки РМЛ в гамме диаметров от 0,56НТ до 0,65НТ в зависимости от уровня коэффициента наполнения и полученного разрывного усилия.

Предварительный расчет показывает, что для производства квадратной проволоки размером 0,54×0,54 мм диаметр проволоки-заготовки должен быть 0,60 мм.

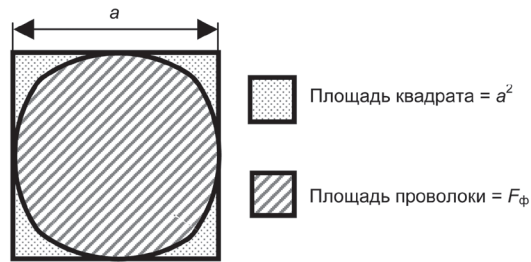


Рис. 6. Fill Factor – отношение площади проволоки к площади квадрата

В связи с необходимостью определения оптимальной степени вытяжки, а также оценки возможности применения самих кассет была произведена радиальная настройка зазоров для двух пар роликов (двух модулей) кассеты, расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях на размер 0,57×0,57 мм. Остальные модули не настраивались. Скорость волочения-профилирования была установлена в пределах 2 м/с.

Тонкое волочение до расчетного диаметра проволоки-заготовки под квадратную проволоку осуществляли на стане КНТ 25.6 № 346 по следующему маршруту волочения: [2650]-2455-2275-2110-1955-1821-1695-1580-1470-1368-1275-1188-1106-1030-960-895-834-777-725-676-631-599 мкм, где 2455 – волокни с диаметром оправки 43 мм; 631 – волокни с диаметром оправки 28 мм.

Механические характеристики тонкой проволоки-заготовки и квадратной проволоки при наработке приведены в табл. 1, 2.

Результаты пластических характеристик тонкой проволоки-заготовки диаметром 0,60 мм, та-

Таблица 1. Механические характеристики тонкой проволоки-заготовки диаметром 0,60 мм

| Значение | Диаметр, мм | P, Н | σ _в , МПа | σ _{0,2} , МПа | σ _{0,2} /σ _в , МПа | Agt, % | At, % | m _{рев} | m | Гибы |
|----------|-------------|--------|----------------------|------------------------|--|--------|-------|------------------|-----|------|
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| Среднее | 0,598 | 687,33 | 2447 | 2203 | 0,901 | 2,213 | 2,407 | 95 | 98 | 47 |
| СКО | 0,000 | 1,53 | 5 | 10 | 0,003 | 0,049 | 0,083 | 5 | 2 | 3 |
| Мин. | 0,598 | 686,00 | 2442 | 2192 | 0,898 | 2,180 | 2,340 | 90 | 96 | 43 |
| Макс. | 0,598 | 689,00 | 2452 | 2212 | 0,902 | 2,270 | 2,500 | 103 | 100 | 50 |

Примечание. P, H – разрывное усилие; σ_в – временное сопротивление разрыву; σ_{0,2} – предел текучести; Agt – удлинение при максимальной нагрузке; At – полное удлинение; m_{рев} – число реверсивных скручиваний; m – число односторонних скручиваний.

Таблица 2. Механические характеристики квадратной проволоки размером 0,57х0,57 мм после изготовления

| Номер образца | a, мм | b, мм | F _φ , мм ² | FF, % | P, Н | σ _{0,2} /σ _в , МПа | σ _в , МПа | σ _{0,2} , МПа | Agt, % | At, % | m _{рев} | m | Гибы |
|---------------|-------|-------|----------------------------------|-------|------|--|----------------------|------------------------|--------|-------|------------------|----|------|
| 1 | 0,57 | 0,57 | 0,29 | 90 | 653 | 0,87 | 2233 | 1932 | 3,03 | 3,88 | 97 | 96 | 43 |
| 2 | 0,57 | 0,57 | 0,29 | 90 | 655 | 0,86 | 2240 | 1925 | 2,99 | 3,82 | 94 | 92 | 42 |
| 3 | 0,57 | 0,57 | 0,29 | 90 | 654 | 0,84 | 2237 | 1878 | 2,97 | 3,72 | 92 | 95 | 40 |
| | | | | | | | | | | | 92 | 94 | 44 |
| Значение | | | | | | | | | | | 90 | 92 | 43 |
| N | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 5 | 5 | 5 |
| Среднее | 0,570 | 0,570 | 0,292 | 90 | 654 | 0,855 | 2237 | 1912 | 3,00 | 3,81 | 93 | 94 | 42 |
| СКО | 0,000 | 0,000 | 0,00 | 00 | 1 | 0,014 | 3 | 30 | 0,03 | 0,08 | 3 | 2 | 2 |
| Мин. | 0,570 | 0,570 | 0,292 | 90 | 653 | 0,839 | 2233 | 1878 | 2,97 | 3,72 | 90 | 92 | 40 |
| Макс. | 0,570 | 0,570 | 0,292 | 90 | 655 | 0,865 | 2240 | 1932 | 3,03 | 3,88 | 97 | 96 | 44 |

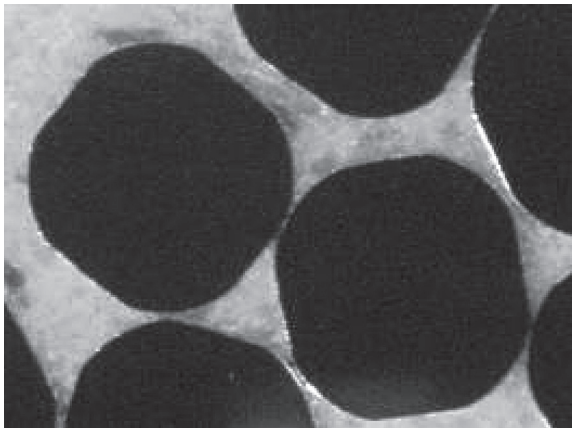


Рис. 7. Сечение квадратной проволоки размером 0,57×0,57 мм. ×53

кие, как число реверсивных скручиваний, простых скручиваний и гибов, имеют высокий уровень, что обеспечит безобрывное получение квадратной проволоки.

Временное сопротивление разрыву квадратной проволоки, полученной на скорости 2 м/с, ниже на 210 МПа, чем круглой, что обусловлено эффектом Баушингера. Повышение скорости волочения-профилирования должно снизить эту разницу в среднем до 100–150 МПа за счет эффекта динамического старения.

При испытании на пластические характеристики (реверсивные скручивания, односторонние скручивания и гибы) квадратная проволока демонстрирует высокое их число, которое сопоставимо с исходной круглой проволокой-заготовкой, с той разницей, что полное удлинение при разрыве выросло в среднем в 1,58 раза, что собственно и отличает профильную проволоку от проволоки круглого сечения.

Поперечное сечение квадратной проволоки размером 0,57×0,57 мм приведено на рис. 7.

Временное сопротивление разрыву фасонной (квадратной) проволоки рассчитывали через FF .

Расчет Fill Factor (табл. 2) проводили в следующей последовательности:

1) замер стороны $a = 0,570$ мм;

2) замер стороны $b = 0,570$ мм;

3) замер фактической длины диагонали – 0,626 мм;

4) определение диагонали для квадрата с замеренными значениями a и b :

$$C_p = \sqrt{a^2 + b^2} = \sqrt{0,570^2 + 0,570^2} = 0,806 \text{ мм}; \quad (2)$$

5) определение поправки по диагонали:

$$C_n = C_p - C = 0,806 - 0,626 = 0,18 \text{ мм}; \quad (3)$$

6) определение поправки по площади:

$$F_n = C_n^2 = 0,18^2 = 0,0324 \text{ мм}; \quad (4)$$

7) определение фактической площади проволоки:

$$F_\phi = ab - F_n = 0,570 \cdot 0,570 - 0,0324 = 0,2925 \text{ мм}; \quad (5)$$

8) определение Fill Factor:

$$FF = (F_\phi / a^2) \cdot 100 = (0,2925 / 0,570^2) \cdot 100 = (0,2925 / 0,3249) \cdot 100 = 90; \quad (6)$$

9) определение временного сопротивления разрыву образцов № 1–3 через Fill Factor:

$$\sigma_B = P / abFF; \quad (7)$$

$$\sigma_{B1} = 653 / 0,570 \cdot 0,570 \cdot 0,90 = 2223 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{B2} = 655 / 0,570 \cdot 0,570 \cdot 0,90 = 2240 \text{ МПа};$$

$$\sigma_{B3} = 654 / 0,570 \cdot 0,570 \cdot 0,90 = 2237 \text{ МПа},$$

где P – разрывное усилие проволоки квадратного сечения.

Отработка технологии изготовления квадратной проволоки размером 0,57×0,57 мм на стане КНТ 25.6 подтвердила правильный выбор исходных решений и показала, что:

- изготавливать квадратную проволоку РМЛ в линии стана возможно;

- на квадратной проволоке размером 0,57×0,57 мм Fill Factor составил 90%;

- при изготовлении проволоки достаточно использовать два модуля кассеты, расположенных в двух взаимно перпендикулярных плоскостях;

- для производства проволоки размером 0,54×0,54 мм, учитывая требования по Fill Factor, необходимо уменьшать диаметр тонкой проволоки-заготовки.

При изготовлении квадратной проволоки РМЛ была проведена оценка степени вытяжки проволоки-заготовки, которая в среднем составила 1,5%. С учетом вытяжки был произведен расчет необходимого диаметра тонкой проволоки-заготовки, который приведен в табл. 3.

Таблица 3. Расчетные характеристики квадратной проволоки РМЛ размером 0,54×0,54 мм

| | |
|-------------------------------------|--------|
| Высота проволоки, мкм | 540 |
| FF , % | 90,0 |
| Площадь квадрата, мкм | 291600 |
| Площадь квадратной проволоки, мкм | 262440 |
| Диагональ квадрата, мкм | 764 |
| Диагональ квадратной проволоки, мкм | 593 |
| Приведенный диаметр, мкм | 570 |

Исходя из расчетов, оптимальный диаметр проволоки-заготовки для изготовления проволоки размером 0,54×0,54 мм должен быть на уровне 0,57 мм, чтобы обеспечить получение значения Fill Factor 90±3%.

Для того чтобы получить квадратную проволоку размером 0,54×0,54 мм второй группы прочности (2450–2750 МПа), использовали латунированную заготовку диаметром 2,55 мм, сталь марки 80.

Тонкое волочение до расчетного диаметра проволоки-заготовки под квадратную проволоку осуществляли на стане КНТ 25.6 № 346 по следующему маршруту волочения:

[2550]-2390-2210-2045-1890-1760-1640-1525-1418-1320-1227-1143-1064-991-923-859-800-745-694-646-601-568 мкм, где 2210 – волокни с диаметром оправки 43 мм; 601 – волокни с диаметром оправки 28 мм.

Квадратная проволока была получена на скорости 10 м/с, для сравнения была отобрана круглая проволока-заготовка диаметром 0,570 мм, полученная на этой же скорости (табл. 4).

Из таблицы видно, что тонкая проволока-заготовка диаметром 0,57 мм по временному сопротивлению разрыву соответствует верхнему пределу проволоки РМЛ второй группы прочности, что вполне приемлемо, учитывая снижение прочности при профилировании, что должно обеспечить получение квадратной проволоки РМЛ второй группы прочности с временным сопротивлением разрыву чуть ниже среднего значения.

Результаты пластических характеристик тонкой проволоки диаметром 0,57 мм, такие, как число реверсивных скручиваний, простых скручиваний и гибов, имеют достаточно высокий уровень, что обеспечит безобрывное получение квадратной

проволоки с высокими пластическими характеристиками.

Для оценки влияния температурного фактора на свойства квадратной проволоки волочение-профилирование осуществляли на скорости 5 и 10 м/с. Механические характеристики квадратной проволоки РМЛ размером 0,54×0,54 мм, полученной на разных скоростях, приведены в табл. 5.

Как следует из таблицы, Fill Factor полученной квадратной проволоки не достиг расчетного значения 90% по причине того, что диаметр проволоки-заготовки находился на нижнем пределе, но имеет достаточно высокий уровень – 87,8%. Временное сопротивление разрыву квадратной проволоки снизилось в процессе волочения-профилирования в зависимости от скорости волочения-профилирования в среднем на 200 МПа на скорости 5 м/с и на 180 МПа на скорости 10 м/с.

Пластические характеристики полученной квадратной проволоки оценивались по числу реверсивных скручиваний, простых скручиваний, гибов и удлинения. Удлинение при максимальной нагрузке и полное удлинение выросло в сравнении с круглой проволокой-заготовкой в зависимости от скорости волочения-профилирования соответственно на 43 и 28%. При этом отмечено, что увеличение скорости волочения-профилирования влияет на уменьшение полного удлинения.

Поперечное сечение квадратной проволоки размером 0,54×0,54 мм, полученной из заготовки диаметром 0,570 мм, приведено на рис. 8.

Т а б л и ц а 4. Механические характеристики тонкой проволоки-заготовки диаметром 0,57 мм

| Значение | Диаметр, мм | $P, Н$ | $\sigma_B, МПа$ | $\sigma_{0,2}, МПа$ | $\sigma_{0,2}/\sigma_B, МПа$ | $Agt, \%$ | $At, \%$ | $m_{рев}$ | m | Гибы |
|----------|-------------|--------|-----------------|---------------------|------------------------------|-----------|----------|-----------|-----|------|
| N | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Среднее | 0,566 | 678,80 | 2698 | 2445 | 0,906 | 2,27 | 2,48 | 69 | 86 | 54 |
| СКО | 0,000 | 0,84 | 3 | 51 | 0,019 | 0,05 | 0,16 | 3 | 4 | 4 |
| Мин. | 0,566 | 678,00 | 2696 | 2377 | 0,881 | 2,23 | 2,27 | 67 | 80 | 48 |
| Макс. | 0,566 | 680,00 | 2703 | 2515 | 0,933 | 2,34 | 2,63 | 74 | 89 | 58 |

Т а б л и ц а 5. Механические характеристики квадратной проволоки размером 0,54×0,54 мм после изготовления

| Значение | $a, мм$ | $b, мм$ | Диагональ, мм | $FF, \%$ | $P, Н$ | $\sigma_B, МПа$ | $\sigma_{0,2}, МПа$ | $\sigma_{0,2}/\sigma_B, МПа$ | $Agt, \%$ | $At, \%$ | $m_{рев}$ | m | Гибы |
|---|---------|---------|---------------|----------|--------|-----------------|---------------------|------------------------------|-----------|----------|-----------|-----|------|
| <i>Квадратная проволока, изготовленная на скорости 5 м/с</i> | | | | | | | | | | | | | |
| N | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Среднее | 0,540 | 0,540 | 0,575 | 87,8 | 639 | 2497 | 2203 | 0,882 | 2,91 | 3,56 | 83 | 84 | 50 |
| СКО | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 21 | 0 | 0,066 | 0,08 | 5,26 | 6 | 4 | 4 |
| Мин. | 0,540 | 0,540 | 0,575 | 87,8 | 638 | 2492 | 2172 | 0,870 | 2,83 | 3,45 | 75 | 77 | 47 |
| Макс. | 0,540 | 0,540 | 0,575 | 87,8 | 640 | 2500 | 2219 | 0,889 | 3,00 | 3,66 | 88 | 90 | 55 |
| <i>Квадратная проволока, изготовленная на скорости 10 м/с</i> | | | | | | | | | | | | | |
| N | 1 | 1 | 1 | 1 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 | 5 |
| Среднее | 0,540 | 0,540 | 0,575 | 87,8 | 645 | 2520 | 2244 | 0,891 | 2,73 | 3,22 | 74 | 77 | 45 |
| СКО | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 3 | 29 | 0,011 | 0,04 | 0,15 | 3 | 7 | 4 |
| Мин. | 0,540 | 0,540 | 0,575 | 87,8 | 644 | 2515 | 2211 | 0,879 | 2,68 | 2,96 | 70 | 66 | 41 |
| Макс. | 0,540 | 0,540 | 0,575 | 87,8 | 646 | 2523 | 2277 | 0,902 | 2,80 | 3,31 | 78 | 84 | 50 |

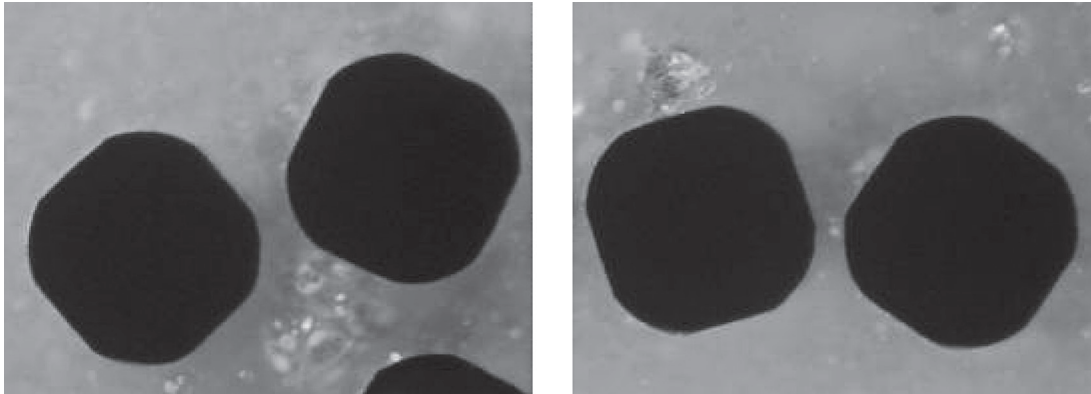


Рис. 8. Поперечное сечение квадратной проволоки размером 0,54×0,54 мм, изготовленной с проволочной заготовки диаметром 0,57 мм. ×53

Наработанная проволока отправлена для тестирования одному из потребителей, где на данном этапе проходят ее испытания.

Выводы

1. При изготовлении квадратной проволоки с применением роликовых кассет достаточно использовать два модуля, расположенных во взаимно перпендикулярных плоскостях.

2. Для определения временного сопротивления разрыву квадратной проволоки следует использовать показатель Fill Factor (отношение фактической площади квадратной проволоки к пло-

щади квадрата), который учитывает геометрические размеры проволоки.

3. Отмечено, что профилирование приводит к снижению прочности квадратной проволоки на 150–200 МПа.

4. Диаметр проволоки-заготовки при производстве квадратной проволоки размером 0,54×0,54 мм должен быть 0,57 мм, что обеспечит получение *FF* на уровне 90±3%.

5. Изготовление квадратной проволоки РМЛ второй группы прочности проводить через диаметр 2,55 мм, сталь марки 80К, скорость волочения-профилирования 10 м/с.