

КОМБИНИРОВАННОЕ ФОРМООБРАЗОВАНИЕ СЛОЖНОПРОФИЛЬНОГО ВОЛНОВОДА С ЗАДАНЫМИ ПАРАМЕТРАМИ ТОЧНОСТИ И КАЧЕСТВА ПОВЕРХНОСТЕЙ

ДАЙ ВЭНЬЦИ

**Белорусский национальный технический университет,
г. Минск, Республика Беларусь**

Приводится описание процесса формообразования сложнопрофильных ступенчатых трубчатых концентраторов-волноводов СКВТТ для ультразвукового воздействия на кровеносные сосуды. Процесс включает применение комбинаций из различных методов как механической, так и физико-химической обработки, таких как: волочение, раздача и обжим, электрохимическая прошивка, химическая очистка и электролитно-плазменная обработка.

На основании расчетов, компьютерного числового моделирования и экспериментальных исследований разработана технология получения СКВТТ с высокими прочностными и акустическими характеристиками, включающая процесс формирования ступенчатой заготовки безоправочным волочением, процесс формообразования дистальной части методами раздачи, обжима, электрохимическую прошивку микроотверстий, процессы химической очистки внутренних и электролитно-плазменного полирования наружных поверхностей.

Волочение трубчатой заготовки из стали 12Х18Н9 обеспечивает формирование ступенчатых поверхностей переменного сечения диаметром D от 1,5 мм до 1,0 мм с одновременным упрочнением материала. Исходная заготовка: трубка с диаметром $D = 1,5$ мм, длиной $L = 700$ мм и толщиной стенки $s = 0,25$ мм. Маршрут волочения включал пять проходов (рисунок 1) с относительным обжатием за проход 0,08–0,12 и коэффициентом вытяжки за проход 1,09–1,13 [1].

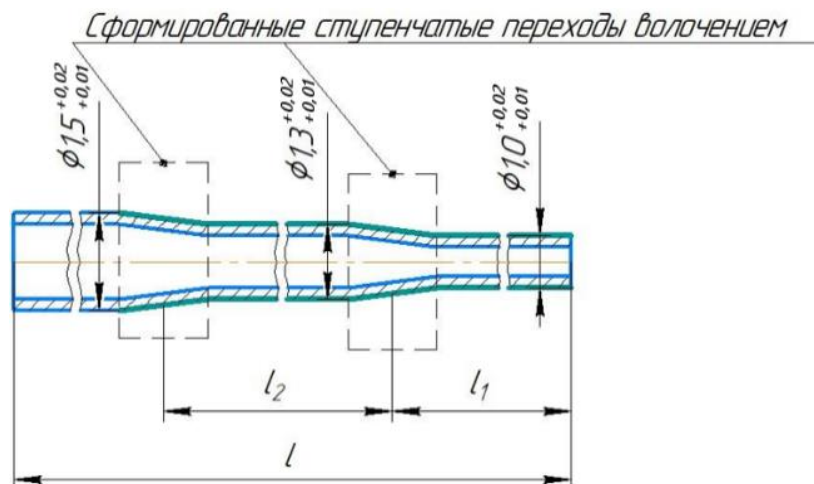


Рисунок 1. – Чертеж-схема формирования ступенчатой заготовки

После волочения длина трубной заготовки составила $L = 770$ мм. Для повышения пластичности материала между проходами проводилась закалка при температуре $T = 1150$ °С с последующим охлаждением в воде. Параметр шероховатости наружных поверхностей после волочения $Ra = 0,32$ мкм. Обеспечивается: повышение прочностных характеристик материала в 1,35 раза; получение заготовки с заданными размерами без изменения исходной толщины стенки трубки.

Формообразование сферической дистальной части СКВТТ проводилось методами раздачи и обжима, который включал в себя четыре перехода раздачи, один переход обжима (рисунок 2). После каждого перехода раздачи для разупрочнения исходных участков заготовки проводилась термообработка при температуре $T = 1150$ °С с последующим охлаждением в воде. Перемещение пуансона при раздаче составляла от 2 до 4 мм в зависимости от перехода с усилием от $Q = 35$ Н до $Q = 98$ Н, при этом максимальная относительная степень деформации в пределах 0,12 – 0,28. При обжиге перемещение матрицы – 1,5 мм с усилием $Q = 311$ Н и максимальная степень деформации 0,76 [2].

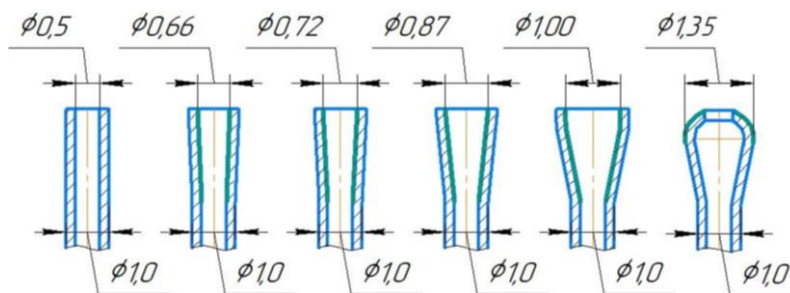


Рисунок 2. – Чертеж-схема формирования дистальной части СКВТТ

Формирование микроотверстий диаметром $d = 0,3 \pm 0,05$ мм в дистальной части СКВТТ проводилась методом электрохимической прошивки за три перехода: медный электрод $D_{эл.} = 0,07$ мм, напряжение $U = 15$ В, электролит – $NaNO_3$ 25 %, расход электролита $V = 60$ мл/мин, при этом происходит интенсивное удаление продуктов анодного растворения из межэлектродного промежутка и стабильное протекание процесса получения микроотверстий с требуемой точностью размеров ($\pm 0,05$ мм) и правильной формы (допуск цилиндричности $TFZ = 0,1$ мм) со сглаженными краями без острых кромок. (рисунок 3) [1].

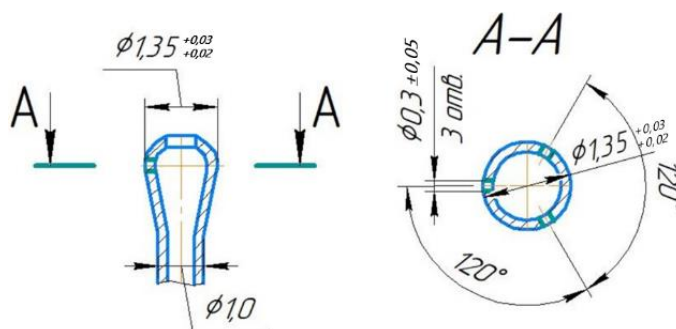


Рисунок 3. – Чертеж-схема прошивки микроотверстий

Операция очистки внутренних поверхностей от сплошного слоя окалины, сформированного по результатам нескольких стадий термообработки, выполненных на предыдущих этапах, проводилось методом химической обработки. Режимы химической очистки (с $Ra = 6$ мкм до $Ra = 0,32$ мкм) путем прокатки внутренних поверхностей СКВТТ (диаметром d от 0,5 до 1,0 мм): состав кислотного электролита (H_3PO_4 – 78 %, HNO_3 – 11 %, HCl – 11 %), температура $T = 25$ °С, расход электролита $V = 0,4$ мл/мин, время обработки $t = 10$ мин. Данные параметры обеспечивают качественное удаление окалины с отсутствием очагов питтинговой межкристаллитной коррозии, загрязнений зоны обработки продуктами растворения и закупоривания внутреннего канала.



Рисунок 4. – Чертеж-схема очистки внутренних поверхностей СКВТТ

Для внешних поверхностей: удаление окалины, снижение параметра шероховатости Ra , придание поверхности однородного блеска без существенного съема металла, с закруглёнными острыми кромками и удалёнными заусенцами, образованными на предыдущих стадиях изготовления, применялась электролитно-плазменная обработка (ЭПО) по следующим технологическим режимам: в солевом электролите (4% $(NH_4)_2SO_4$, при температуре $T = 90$ °С, время обработки $t = 240$ с [1].

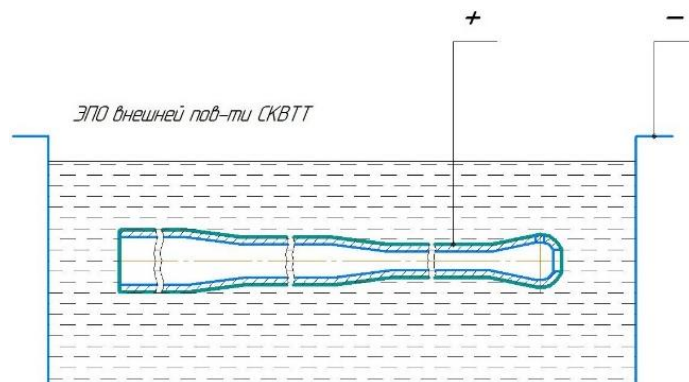


Рисунок 5. – Чертеж-схема ЭПО внешней поверхности СКВТТ

В результате ЭПО обеспечивается снижение параметра шероховатости до $Ra = 0,1$ мкм и получение 7 качества точности размеров наружных ступенчатых поверхностей (диаметров 1,5h7, 1,3h7 и 1,0h7 мм) и поверхности наконечника (диаметр 1,35k7).

ЛИТЕРАТУРА

1. Пластическое деформирование и электрофизикохимическая обработка трубчатых медицинских концентраторов-волноводов / Дай Вэньци, Ю.Г. Алексеев, А.Ю. Королёв, А.С. Будницкий // Наука и техника. – Минск: БНТУ, 2020. – Т. 19. – № 6. – С. 499–506.

2. Пластическое формообразование наконечника концентратора-волновода для ультразвуковой эндоваскулярной абляции / Дай Вэньци, Ю.Г. Алексеев, А.Ю. Королёв, А.С. Будницкий // Наука и техника. – Минск: БНТУ, 2021. – Т. 20. – № 2. – С. 101–108.