

УДК 621.774

Стасовский Ю. Н.
Гаврюшов А. А.**АНАЛИЗ УРОВНЯ ТЕХНИКИ И ТЕХНОЛОГИИ ДЛЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ
ХОЛОДНОДЕФОРМИРОВАННЫХ ТРУБ С ПРИМЕНЕНИЕМ ПРОЦЕССА
ВОЛОЧЕНИЯ НА КОРОТКОЙ ОПРАВКЕ**

На современном этапе развития традиционных и новых отраслей, которые являются потребителями трубной продукции, выдвигаются с каждым годом все более жесткие технические требования (по точности, чистоте наружной и внутренней поверхностей труб) как к освоенному сортаменту труб, так, зачастую, вынуждают производителей труб в короткие сроки осваивать новые типы (виды) труб из совершенно новых материалов с высокими потребительскими свойствами.

Многие технологии производства таких труб предусматривают использование процессов волочения. Особое место занимает способ волочения труб на короткой (закрепленной, удерживаемой, неподвижной) оправке.

Среди крупнейших производителей труб с использованием процессов волочения значатся страны с развитой металлургией, на долю которых приходится более 70 % выпуска таких труб – США, Япония, Германия, Великобритания, Китай, Южная Корея, Франция, Россия, Украина. В России и Украине трубы волочением изготавливают в основном с применением безоправочного волочения и волочения на короткой закрепленной оправке [1].

В Украине волочение труб на короткой оправке применяют на следующих предприятиях: ОАО «Интерпайп Нижнеднепровский трубопрокатный завод» (ТПЦ-3; специализированный участок по производству труб волочением на короткой оправке для ПЭДов, ПЭНов и др.), ПАО «Днепропетровский трубный завод» (два трубоволочильных цеха объединили в единый комплекс; производство труб из углеродистых сварных и бесшовных труб-заготовок с применением волочения на короткой оправке); ГП «Днепропетровский завод прецизионных труб» (трубы из различных материалов – коррозионностойкие сплавы с применением волочения, в т. ч. на короткой оправке); ЗАО «Сентравис Продакшн Юкрейн» (нержавеющие бесшовные трубы с применением волочения, в т. ч. планируют применение волочения на короткой оправке); ПАО «Артемовский завод по обработке цветных металлов» (производство медных и латунных труб с применением волочения, в т. ч. на короткой оправке) [2].

Целью данной работы является комплексный анализ техники и технологии при производстве холоднодеформированных труб с применением короткооправочного волочения для выявления резервов и определения приоритетных направлений развития.

Как известно, волочение – пластическая деформация металла, заключающаяся в протягивании заготовки через отверстие волоки, размеры которого меньше размеров поперечного сечения заготовки. Короткооправочное волочение (*plug drawing*) – волочение труб с обработкой внутренней поверхности заготовки короткой цилиндрической оправкой, удерживаемой в очаге деформации стержнем, закрепленным на станине волочильного стана. Традиционно принято, что допустимая относительная деформация трубы за один проход составляет не более $\varepsilon = 35\text{--}40\%$, при этом коэффициент вытяжки $\mu = 1,2\text{--}1,7$. Изменение толщины стенки не превышает 26 % при $\mu = 1,10\text{--}1,35$. Минимальный диаметр протягиваемых труб равен 8–10 мм и ограничен диаметром и длиной стержня, на котором крепится оправка. Длина труб не превышает 15 м [2].

Материалы труб. При производстве труб волочением на короткой закрепленной оправке в качестве материала используются: а) *черные металлы* – это качественные углеродистые стали с содержанием углерода до 1,0 % и сопутствующими примесями в виде марганца, кремния, серы, фосфора и др. Широкоприменяемыми представителями качественных углеродистых сталей являются: стали 05, 08, 10, 20, 25, 40, 45, 17ГС и др., также широкое применение получили коррозионностойкие стали; б) *цветные металлы* – это медь и ее сплавы и др. [1].

Особенности волочения труб на короткой оправке. Основным деформирующим инструментом при производстве труб волочением на короткой закрепленной оправке являются волоки и оправка. От качества изготовления волок в значительной степени зависит производительность волочильного оборудования и чистота (шероховатость) поверхностей протягиваемых труб. Качество изготовленных волок определяется правильным выбором материала, формы канала, тщательностью его изготовления в соответствии с заданными формой, а также размерами и чистотой обработки рабочих поверхностей канала волок. Канал волоки состоит из пяти основных зон: входная зона, смазочная зона; рабочая (обжимающая) зона; калибрующая зона; выходная зона.

Наиболее распространен конический профиль волоки с углом конусности $\alpha_в = 12-14^\circ$. Входной конус (распушка) предназначен для подачи смазки в рабочую часть, предупреждения задиrow трубы об острые кромки рабочей части волоки в процессе волочения, изготавливается по заданному радиусу с плавным сопряжением с рабочим конусом, в котором осуществляется основная деформация трубы.

Требования к технологическому инструменту. В процессе волочения инструмент испытывает большие нагрузки вследствие высоких нормальных напряжений и сил трения, возникающих в результате деформации металла трубы. Поэтому материал технологического инструмента для волочения труб должен обладать высокой твердостью, повышенной прочностью и износостойчивостью. Этим требованиям удовлетворяют стали трех групп, из которых изготавливают технологический инструмент для волочения труб [3].

1) Инструментальные углеродистые стали марок У8-У12 с 0,8–1,2 % С (для повышения стойкости на износ волоки подвергают термообработке с последующим хромированием);

2) Хромомолибденовые стали типа Х12М с 1,6 % С; 12 % Cr; 0,5 % Мо; 0,25 % V (волоки изготавливают из кованных полуфабрикатов без термообработки и хромирования, повышение стойкости на износ достигается упрочнением стенок в холодном состоянии);

3) Инструментальные легированные стали; хромистая ШХ15, хромо-титановая 40Х5Т; графитизированная сталь ЭП366 (1,4 % С; 0,4 % Mn; 1,1 % Si; 0,3 % Ti), повышение стойкости волок из этих сталей достигается термической обработкой.

Для изготовления волок применяют также стали с покрытием из твердых сплавов типа ВК, диоксида циркония, а недавно стало известно, что в США применяют на рабочих поверхностях волоки нанокристаллическое алмазное покрытие.

Для капиллярных труб используют алмазные волоки с наибольшим диаметром рабочего канала $d_{max} = 4$ мм.

Закрепленная (короткая) оправка чаще всего цилиндрическая, иногда ей придают коническую форму, что улучшает ее центровку в очаге деформации. Закрепленные оправки выполняются полыми для труб большого диаметра и сплошными для тонкостенных труб меньшего диаметра. Волочение на короткой закрепленной оправке применяют для уменьшения диаметра и толщины стенки трубы, а также для улучшения внутренней поверхности трубы (достигается минимальная шероховатость $R_a = 0,14$ мкм и менее) [4].

Использование конической короткой оправки при волочении труб в результате перемещения оправки вдоль оси волочения позволяет плавно изменять толщину стенки и внутренний диаметр трубы в диапазоне, определяемыми предельными допускаемыми отклонениями по толщине стенки и внутреннему диаметру в соответствии с требованиями стандартов, что дает возможность изменять длину трубы после волочения. Это имеет большое значение при волочении труб мерной длины из горячекатаных заготовок, имеющих концевые участки с утолщенной стенкой. Также использование конической оправки дает возможность осуществлять волочение на минусовом допуске по толщине стенки при соответствующем уменьшении длины горячекатаной заготовки. При этом расходный коэффициент металла может быть уменьшен на 4,0–4,5 % [5].

Цилиндрические оправки отличаются по диаметру на 0,1–0,3 мм, каждая из них используется для волочения труб с определенным внутренним диаметром. Применение конических оправок позволяет использовать одну оправку для волочения труб с разными внутренними диаметрами. В диапазоне диаметров коротких цилиндрических оправок 30–46 мм одна коническая оправка может заменить 5–8 цилиндрических. Унификация оправок позволяет значительно сократить расход твердых сплавов [5].

По сравнению с волочением на короткой цилиндрической оправке применение конической оправки позволяет уменьшить растяжение стержня, что уменьшает его «дрожжание» и вероятность обрыва.

Преимуществом конической оправки является также то, что ее использование позволяет путем небольшого изменения толщины стенки трубы (в пределах допускаемых отклонений) обойтись без ее замены, а в некоторых случаях и без замены волокна для компенсации износа оправки и калибрующего участка волокна.

Результаты исследований и практика работы показали, что коническая оправка является более эффективным и универсальным волочильным инструментом, чем короткая цилиндрическая. Особенно эффективно использование конической оправки при волочении труб мерной длины, тонкостенных и высокой точности по внутреннему диаметру [5].

Короткие оправки изготавливают из углеродистых сталей 35 и 45, низколегированных сталей типа 30ХГСА, твердых сплавов ВК15, ВК20, ВК25, ВК20КС, ВК25КС.

Применение коротких оправок из твердых сплавов в частности из сплава ВК-15, позволяет вести процесс холодного волочения труб с большими деформациями (до 42 %) при толщине стенки до 2,5 мм. Такие оправки обладают большей износостойкостью, чем углеродистые хромированные, что дает возможность получать трубы с лучшей чистотой поверхностей.

Волочильные станы [3]. Для волочения труб широкое распространение получили цепные волочильные станы. В настоящее время применяются механизированные труболоочильные станы следующих типов: одноцепные и двухцепные с волочением одной, двух и трех труб одновременно и др. Основным классификационным признаком для цепных волочильных станов является тяговое усилие. В странах СНГ распространены станы с усилием до 150 кН, на которых протягивают трубы длиной до 15 м со скоростью 0,75–2 м/с.

Волочильные станы изготавливают в странах СНГ: в РФ – прямолинейного типа – ОАО «Иркутский завод тяжелого машиностроения» (ИЗТМ), за рубежом: фирмы «Kieserling» (ФРГ), «Chevallier» (Франция), «Norton» (Великобритания), «Aetna Standard Engineering» (США) и «Кобэ сэйко» (Япония) и др. Сверхмощные труболоочильные станы с гидроприводом и цепным приводом работают в Японии и США: Япония (завод «СУМИТОМО», г. Агамасаки) – труболоочильный стан усилием 5 МН, применяют для волочения на короткой оправке и без оправки труб диаметром до 500 мм и длиной 7 м. Скорость волочения на стане плавно регулируется в диапазоне 0–0,16 м/с; США (завод «РИГАЛ ТЬЮБ», г. Чикаго) – труболоочильный стан усилием 3,62 МН, спроектирован и построен фирмой «Aetna Standard Engineering». Применяют для волочения на короткой оправке труб диаметром 102–305 мм со стенкой до 12,7 мм. Обжатие достигает 25 % [2].

Как сказано выше, что с каждым годом различные отрасли выдвигают очень жесткие технические требования к сортаменту труб (повышение качества труб). В связи с этим сотрудниками ОАО «Первоуральский новотрубный завод» был спроектирован волочильный стан [6], позволяющий исключить образование резонансных колебаний оправки при волочении, что обеспечивает повышение качества труб за счет устранения дефекта «кольцеватость» на внутренней поверхности труб, получаемых волочением на короткой закрепленной оправке, в частности труб из коррозионноустойчивых сталей аустенитного класса для тепловыделяющих элементов ядерных реакторов.

Технологические смазки. Для процесса волочения труб на короткой оправке определяющую роль играют применяемые технологические смазки. Эффективность технологической смазки при волочении зависит от химической активности, поверхностной адсорбции и вязкости ее составляющих, способа нанесения, условий процесса деформации, физико-химического состояния обрабатываемого металла и инструмента [7, 8].

За последние годы достигнут существенный прогресс в области создания и использования смазок (главным образом водосмешиваемых).

Процесс волочения должен обеспечить высокую размерную точность и высокое качество поверхности. Эти потребительские свойства изделий в большой степени достигаются применением эффективных технологических смазок.

При волочении изделий из меди и латуни используют растительные и нефтяные масла или смеси этих продуктов, а также мыльно-масляные эмульсии.

В условиях ПАО «Артемковский завод по обработке цветных металлов» (ПАО «АЗОЦМ») при волочении медных труб для смазки внутренней поверхности применяют касторовое масло. Для смазки наружной поверхности применяют компрессорное масло марки К-19. При волочении латунных труб используют водные эмульсии хозяйственного твердого жидкого мыла с добавлением компрессорного масла либо эмульсии смазки ОПОЖ [9, 10]. Сотрудниками ВНИТИ (сейчас – ГП «НИТИ») разработана смазка ТС-МЛ для волочения труб из меди и медных сплавов на короткой оправке [11].

Также за рубежом и в отечественной практике применяют синтетические масла – сложные эфиры гликолей и карбоновых кислот [7].

С бурным развитием точного машиностроения, в частности автомобилестроения, возрастает потребность в холодноволокенных прецизионных трубах из углеродистых и низколегированных сталей с высоким качеством и чистотой внутренней поверхности. Сотрудниками ВНИТИ установлено, что одним из важных условий при производстве таких прецизионных труб является применение процесса короткооправочного волочения и специальных жидких технологических смазок, наносимых на поверхность труб без подсмазочного слоя и обеспечивающих необходимое качество внутренней поверхности [9].

Жидкие технологические смазки, наносимые непосредственно на трубы, кроме необходимой чистоты поверхности, должны также обеспечивать стабильность короткооправочного волочения, легко удаляться при обезжиривании, не требовать обработки в кислотных растворах.

За рубежом используют жидкие смазки: «Bonderlube RS-160» и «Bonderlube RS-400» (Германия) и «Reactobond» (Франция) с фосфатирующими присадками. Состав их представляет в основном систему органических и неорганических компонентов с кислой реакцией. В отличие от традиционной реакции фосфатирования, проходящей в кислой среде, в этом случае реакция проходит в масляной среде [9].

Технологические схемы изготовления труб с применением волочения на короткой оправке. При производстве труб волочением на закрепленной оправке применяют следующие технологические схемы [2]:

1) При изготовлении труб из *углеродистых сталей* применяют схемы:

а) «Горячая деформация заготовки (прошивка, прокатка) → холодная деформация (волочение) → отжиг в безокислительной атмосфере → отделка»;

б) «Формовка холоднодеформированной полосы → сварка труб → холодная деформация (волочение) → отжиг в безокислительной атмосфере → отделка».

2) При изготовлении труб из *коррозионностойких сталей и сплавов* применяют схемы:

а) «Горячая деформация заготовки (прошивка, прокатка) → холодная (теплая) деформация (волочение) → отжиг в безокислительной атмосфере → отделка»;

б) «Горячая деформация слитков (ковка) → горячая деформация (прошивка, прокатка) → холодная (теплая) деформация (волочение) → отжиг в безокислительной атмосфере → отделка»;

в) «Горячая деформация слитков (прессование) → холодная (теплая) деформация (волочение) → отжиг в безокислительной атмосфере → отделка»;

г) «Формовка холоднодеформированной полосы → сварка труб → холодная деформация (волочение) → отжиг в безокислительной атмосфере → отделка».

3) При изготовлении труб из *цветных металлов и сплавов* на их основе применяют схемы:

а) Медь, латунь: «Горячая деформация слитков (прессование) → охлаждение в воде → холодная деформация (волочение) → отжиг в безокислительной атмосфере → отделка».

б) «Формовка холоднодеформированной полосы → сварка труб → холодная деформация (волочение) → отжиг в безокислительной атмосфере → отделка».

Теоретические основы выбора режимов деформации. Известны два подхода к выбору допустимой разовой деформации:

1) Через напряжение волочения в конце выходного участка очага деформации по известным формулам (И. Л. Перлин, Ю. Ф. Шевакин, В. Х. Касьян и др.);

2) Из условия разрушения металла (В.Л. Колмогоров, В. И. Уральский и др.).

Как правило, для значительного большинства труб, величина разовой максимально допустимой деформации ограничивается прочностью протягиваемой трубы на выходе ее из очага деформации, т. е. максимальное напряжение волочения должно быть меньше предела прочности протягиваемого металла при выходе из очага деформации.

При волочении на закрепленной оправке задается внутренний диаметр трубы, т. е. $d_n - d_k \geq 2$, при назначении размеров заготовки по заданному размеру трубы, а также и при заданных размерах заготовки и готовой трубы следует учитывать зависимость между μ_F , μ_D , μ_S ; рекомендуется в первых переходах принимать больше μ_S ; по известным формулам определяются: напряжение волочения, сила волочения, коэффициент запаса, критическая величина деформации при волочении в зависимости от материала трубы; определение числа переходов и вытяжек за переход с учетом допусков; определяются максимальные размеры готовой трубы; минимальный коэффициент μ для получения необходимых механических свойств; определяются минимальные размеры готовой трубы; выбирают минимальную трубную заготовку (унифицированных размеров); максимальный коэффициент вытяжки (μ); количество переходов; средний коэффициент μ_F , μ_D , μ_S ; проверка первого перехода; уточняют коэффициент запаса.

Современные проблемы. Производство труб с применением процессов волочения (в т. ч. короткооправочного) является многопроходным процессом, цикличность которого определяется размерами готовой трубы и исходной заготовки. При изготовлении труб волочением имеют место ряд многочисленных вспомогательных технологических операций (термообработка, травление, обезжиривание, промывка, сушка, нанесение подмазочных покрытий и смазки, правки, обрезка головок и порезка на необходимые длины, формовка головок, нанесение консервационных покрытий и др.) [2].

К заготовке для волочения предъявляют повышенные требования, так как большинство дефектов переходит на готовые трубы. Заготовку для безрисочных труб подвергают расточке и последующему неразрушаемому контролю.

Важным фактором, определяющим качество труб, является применение высокоэффективных технологических смазок, которые должны либо легко удаляться после деформации, либо полностью возгораться при термической обработке.

Отжиг труб с особо тонкими стенками следует производить в защитной атмосфере, либо вакууме, так как толщина слоя образующейся окалины соизмерима с допусками на геометрические размеры трубы. Величина допустимой вытяжки за проход ограничивается еще и наличием различного рода дефектов (наружных дефектов, несплошностей, нарушений кристаллической решетки и т. п.).

Постоянно возникает необходимость освоения производства новых наукоемких видов холоднодеформированных прецизионных труб. Существующие технологии не всегда обеспечивают требуемое качество. Зачастую управление технологическим процессом осуществляется в «ручном» режиме. Обеспечение технических требований к трубам выполняется отдельно на каждом цикле из-за отсутствия тесной оперативной технологической связи между основными производственными блоками (модулями) по причине отсутствия сквозных технологий.

Исходя из современных условий производства конкурентоспособных труб с применением волочения на короткой оправке, можно выделить основные проблемы, которые подлежат рассмотрению и определены пути их решения [2].

1. Развитие волочения на короткой оправке проходит параллельно с развитием холодной прокатки на станах ХПТ и ХПТР при производстве холоднодеформированных труб широкого сортамента из углеродистых и низколегированных марок стали. Это определяется: высокой скоростью процесса (в сравнении со скоростью при холодной прокатке), простотой обслуживания станов при настройке и переходе на другой размер, получение высокой точности размеров труб (D и S) и чистоты внутренней поверхности труб (R_a), возможностью изготовления профильных труб при относительной простоте инструмента. Однако, повышенное число проходов при короткооправочном волочении, что обусловлено ограничением разовых деформаций по сравнению с прокаткой труб широкого сортамента, увеличение расходного коэффициента металла (р.к.м.) – всё это делает его экономически нецелесообразным при производстве труб общего назначения.

2. Применение инструмента оптимальной формы из материалов с низким коэффициентом трения приведет не только к снижению расхода энергии, но и к возможности увеличения разовых деформаций трубы за проход, а, следовательно, к снижению цикличности, расхода инструмента и др. Схема напряженного состояния оказывает существенное влияние на степень деформации, поэтому снижение противодействующих сил трения на границе контакта «металл-инструмент» является важным фактором при снижении цикличности.

3. С целью снижения коэффициента трения и износа технологического инструмента (волоки, оправки) целесообразно применять нанопокртия на рабочей (контактирующей) поверхности.

4. С целью снижения цикличности целесообразно использовать в качестве исходной заготовки тонкостенную сварную заготовку размером, максимально приближающимся к размеру готовой трубы.

ВЫВОДЫ

Рассмотрено современное состояние техники и технологий для производства труб с применением процесса волочения на короткой оправке, приведены основные технологические схемы изготовления труб из различных материалов, варианты процесса волочения труб на короткой закрепленной оправке в части видоизменения и оптимизации конструкции собственно закрепленной оправки с одновременным применением высокоэффективных жидких технологических смазок. Также рассмотрено новое современное оборудование, позволяющее повысить как точность, так и качество готовых холоднотянутых труб на закрепленной оправке.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Стасовский Ю. Н. *Прецизионные трубы* / Ю. Н. Стасовский // *Металл и литье Украины*. – 2008. – № 1–2. – С. 24–28; № 3–4. – С. 35–39; № 5. – С. 49–52.
2. Стасовский Ю. Н. *Особенности деформирования, мировой опыт, современные проблемы и приоритетные направления развития технологий производства труб с применением процессов волочения* / Ю. Н. Стасовский // *Обработка материалов давлением : сб. науч. трудов*. – Краматорск : ДГМА, 2011. – № 3 (28). С. 195–201.
3. *Технология трубного производства : учебник для вузов* / В. Н. Данченко, А. П. Коликов, Б. А. Романцев, С. В. Самусев. – М. : Интермет Инжиниринг, 2002. – 634 с.
4. Стасовский Ю. Н. *Механика изменения шероховатости поверхностей труб* / Ю. Н. Стасовский // *Цветные металлы*. – 2002. – № 1. – С. 113–117.
5. *Освоение технологии волочения труб на конических оправках* / А. В. Аранович и др. // *Сталь*. – 1985. – № 11. – С. 52–54.
6. А. с. 2378069 (Россия). *Стан для волочения труб на закрепленной оправке* / А. В. Серебряков, С. П. Буркин и др. (Россия). – № 2008125287/02 ; заявл. 24.06.2008 ; опубл. 10.01.2010.
7. Стасовский Ю. Н. *Совершенствование процесса волочения прецизионных труб на закрепленной оправке* / Ю. Н. Стасовский // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 1999. – № 5. – С. 82–86.
8. *Эффективность смазок при волочении труб* / В. В. Котов, В. И. Бояркин [и др.] // *Цветные металлы*. – 1975. – № 1. – С. 58.
9. *Жидкие технологические смазки для волочения на короткой оправке прецизионных стальных труб* / В. Д. Носарь, В. П. Сокуренько [и др.] // *Сталь*. – 1993. – № 8. – С. 56–58.
10. *Новая универсальная смазка для холодного волочения изделий высокого качества из меди и латуни* / Ю. Н. Стасовский, В. Д. Носарь, И. Г. Турянчик, Р. Ф. Кочирко // *Цветные металлы*, 2000. – № 5. – С. 99–101.
11. Пат. 21973А України (UA), С10М 169/00, С10М105/32. *Масило для холодної деформації виробів з міді та її сплавів* / Носар В. Д., Турянчик І. Г., Стасовський Ю. М., Кочирко Б. Ф. (Україна). – Заявл. 10.03.95; опубл. 30.04.98, Бюл. № 2. – 8 с.

Стасовский Ю. Н. – д-р техн. наук, проф. НМетАУ;

Гаврюшов А. А. – магистр НМетАУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.

E-mail: alegat2011@yandex.ru

Статья поступила в редакцию 14.03.2012 г.