

УДК 621.774

**А.В. Мищенко**, соискатель, e-mail: mishchenkooleksii@gmail.com

Национальная металлургическая академия Украины, Днепр, Украина

## Состояние и тенденции развития производства холоднокатаных труб из сплавов на основе титана

*Проанализировано состояние и тенденции развития производства холоднокатаных труб из сплавов на основе титана. Приведены современные стандарты, используемые на предприятиях и регламентирующие качество при производстве холоднодеформированных труб из сплавов титана. В ходе анализа проведено сравнение двух типов современных предприятий по выпуску холоднодеформированных труб из сплавов титана и выдвинуто предположение о тенденциях развития предприятий в будущем. Выявлены закономерности, а также сформулированы принципы построения маршрутов изготовления, основанные на особенностях труб из сплавов на основе титана. Показано влияние основных параметров технологии на эффективность производства и качество трубопрокатной готовой продукции. Рекомендован режим холодной пильгерной прокатки труб из сплавов на основе титана, которые способствуют уменьшению количества циклических прокаток, снижению расходного коэффициента металла, получению необходимого уровня механических свойств и достижению точности изготавливаемой продукции. Рассмотрены вопросы не только точности труб, но и трубной заготовки, применяемой в производстве холоднокатаных труб из титановых сплавов. Описаны особенности разностенности для каждого типа заготовок, применяемых на предприятиях в наши дни. Приведены рекомендации по глубине удаления поверхностного слоя окалины между прокатками. Проанализировано влияние таких параметров, как дробность деформации, суммарное обжатие поперечного сечения, подача и поворот трубы в процессе прокатки, выбор типа смазки и способа ее нанесения на трубы, температура в очаге деформации, газонасыщенность поверхности и их влияния на точность труб. Даны рекомендации по этим параметрам, способствующие повышению качества труб из сплавов титана, с описанием ограничений вызванных особенностями сплавов.*

**Ключевые слова:** трубы, титан, сплавы, холодная прокатка труб, технология, режимы.

**Х**олоднокатаные трубы из сплавов на основе титана предназначены для использования в установках энергетики, химического машиностроения, авиастроения, судостроения и в других сферах промышленности. Диапазон типоразмеров в сортаменте этой продукции довольно узкий по сравнению, например, с такой же продукцией из углеродистых и легированных сталей. Требования к качеству холоднокатаных труб из титана и его сплавов, в частности стандартов AMS 4945, AMS 4946, OCT1 90065-72, весьма жесткие, особенно в части точности размеров по диаметру и толщине стенки [1–7]. Анализ производства холоднокатаных труб из сплавов на основе титана позволяет раскрыть закономерности эволюции не только этого сектора трубопрокатной промышленности, а и отрасли в целом, что весьма важно с позиций определения стратегии развития экономики государства.

**Закономерности развития трубопрокатной отрасли.** Анализ современных тенденций развития теории и технологии производства холоднокатаных труб [7–10] приводит к выводу, что определение некоторых технических решений привязано к конкретному временному промежутку и обстоятельствам, побудившим их разработку и реализацию в промышленной практике. Подтверждением сказанному может служить всплеск исследований в области тепловой прокатки труб на станах холодной прокатки труб (ХПТ) в шестидесятых годах прошлого столетия [6], завершившийся широким внедрением этого процесса в производстве. Задача разработки и освоения технологии тепловой прокатки труб возникла из-за

дефицита холоднокатаных труб в государстве и необходимости немедленного увеличения объемов их производства на имеющихся мощностях трубопрокатных заводов. Усилиями ряда научных и заводских коллективов эта масштабная научно-техническая задача была решена.

Рассматриваемое, безусловно прогрессивное решение, потеряло свою актуальность и востребованность, как только сократилась потребность в трубах, изготавливаемых по технологии тепловой прокатки, которая более сложная, чем классическая технология холодной прокатки. Период обозначения процесса тепловой прокатки труб прогрессивным закончился. Однако результаты теоретических и экспериментальных исследований [6], полученные во время разработки и внедрения в промышленности этой технологии, сохраняют свою научную ценность и используются при решении многих научно-технических задач.

Производство холоднокатаных труб из сплавов на основе титана также развивается по подобному сценарию. Этап, когда стояла задача организовать промышленное производство холоднокатаных труб широкого сортамента из сплавов титана и любой ценой закрыть всю потребность в этой продукции, завершился. Теперь на повестке дня стоят вопросы улучшения качества и прежде всего точности таких труб, снижения себестоимости, что позволит расширить сферу их применения в различных отраслях промышленности. В этом заинтересованы одновременно и производители труб, и потребители. Трубные заводы будут иметь дополнительную прибыль от увеличения объемов производства. А потребители –

за счет расширения применения в своих изделиях труб из титановых сплавов. Накопленные в период освоения производства труб из титановых сплавов научные результаты и производственный опыт являются фундаментом, на котором будут найдены решения актуальных задач.

Предприятия по производству холоднодеформированных труб можно разделить на два типа. К первому типу относятся многопрофильные мощные заводы, способные выпускать в больших объемах горячекатаные и холоднокатаные трубы разнообразного сортамента как по маркам сталей и сплавов, так и по размерам труб. Такие предприятия были построены еще во времена СССР. Они имеют в своем составе широкий парк трубопрокатных и волочильных станков разных конструкций, нагревательных и термических печей, отделочного оборудования. Например, сортамент продукции такого завода включает трубы от минимальных размеров  $3 \times 0,1$  мм до максимального размера холоднокатаных труб  $126 \times 8-18$  мм. В этом ряду диаметр мелких труб изменяется через 2–3 мм, труб крупных размеров – через 6–8 мм. Отношение наружного диаметра  $D$  к толщине стенки труб  $S$  от 5 до 40. Для большей части сортамента отношение  $D/S$  находится в пределах 20–40.

Ко второму типу производств относятся узкопрофильные «мини-заводы» по производству труб специального назначения, в частности, из сплавов на основе титана. Эти производства возникли на базе отдельных цехов из состава разделенных на части гигантов трубной промышленности при их приватизации. Например, «Никопольского южнотрубного завода» или на новых площадках, выкупленных у обанкротившихся предприятий. Новосозданные мини-заводы в процессе определения их специализации в большинстве сохранили оборудование, необходимое для производства продукции выбранного сортамента и инфраструктуру приватизированных цехов. При этом мини-заводы доукомплектовались в разумных масштабах новыми прокатными и волочильными станами, термическими печами, травильными установками, отделочными агрегатами. В итоге были оптимизированы сортамент готовой продукции и применяемой заготовки, технологические схемы и маршруты производства труб, унифицирован рабочий инструмент холоднопрокатных и волочильных станков, численность и квалификация рабочего персонала. Результатом реализованных мероприятий явилось создание энерго- и ресурсо-малозатратных производств, обеспечивающих минимальную себестоимость продукции.

Мини-заводы специализируются в большинстве на выпуске труб двух-шести основных типоразмеров. Это позволяет им содержать сравнительно малый парк оборудования. Нередко такие заводы имеют по одному трубопрокатному стану наиболее востребованных типов (ХПТ-75, ХПТ-55, ХПТ-32); одну печь для вакуумного отжига и несколько ванн для травления, обезжиривания и промывки поверхности труб. Мини-заводы избегают больших затрат на содержание инфраструктуры, производственных площадей и

помещений, штата сотрудников и т. д.

Таким образом, можно считать, что отрасль сегодня развивается, ориентируясь в основном не на количественные, а на ценовые (экономические) показатели, на рыночные критерии оптимизации производства труб. Такой подход начал активно развиваться в конце предыдущего столетия. Допустимо ожидать, что такая тенденция развития трубопрокатной промышленности будет продолжаться. Причина снижения объемов производства в 90-х годах прошлого столетия состоит в том, что внутреннему рынку Украины не нужно было большого количества труб из сплавов на основе титана. Из-за падения в разы выпуска изделий во всех отраслях и подотраслях машиностроения, авиационной, судостроительной, оборонной промышленности, а также вследствие утраты значительной части рынка соседних стран, спрос на трубы существенно сократился. Поэтому в начале двухтысячных украинские трубопрокатные заводы предприняли меры по освоению рынков европейских государств и стран дальнего зарубежья. Падение спроса на трубы на внутреннем рынке оказалось менее болезненным для тех заводов, которые переориентировались на внешние рынки, прошли сертификацию на соответствие качества изготавливаемой продукции международным стандартам.

Производство труб из сплавов на основе титана является весьма трудоемким процессом и связано со многими технологическими сложностями, что часто делает их выпуск на больших заводах малорентабельным. Учитывая отмеченные преимущества узкоспециализированных трубопрокатных мини-заводов, для полного использования их потенциала необходимо решить ряд организационных и научно-технических задач, обусловленных спецификой сравнительно небольших производств. Прежде всего, в системе организации производства необходимо унифицировать технологии для использования при производстве труб различных размеров одного-двух технологических маршрутов. Такое решение позволит сократить до минимума парк рабочего инструмента прокатных и волочильных станков, в некоторых случаях до 30–60 %. Частота поломок и выход оборудования из строя при рациональной загрузке станков как по объемам производства, так и по интенсивности эксплуатации снизятся.

**Сортамент заготовки холоднокатаных труб из сплавов на основе титана.** Высокоточные холоднокатаные трубы ответственного назначения из сплавов на основе титана ныне рациональнее изготавливать на узкоспециализированных мини-заводах, что позволит оптимизировать технологию производства, обеспечить необходимый уровень качества труб при приемлемой себестоимости продукции. Для изготовления холоднокатаных труб указанного выше сортамента используют заготовку четырех размеров:  $79 \times 18$  мм,  $89 \times 15$  мм,  $112 \times 16$  мм и  $138 \times 22$  мм. Причем из заготовки  $79 \times 18$  мм изготавливают трубы размером не более  $54 \times 4-8$  мм. Из заготовки  $89 \times 15$  мм – трубы от  $48 \times 4-6$  мм до  $78 \times 6-12$  мм. Из  $112 \times 16$  мм – трубы от  $70 \times 5-10$  мм до  $98 \times 8-16$  мм.

Из 138x22 мм – трубы от 84x6–12 мм до 126x8–18 мм. Важно подчеркнуть, что холоднокатаные трубы размерами 48x4–6 мм и 54x4–8 мм можно изготавливать из заготовки первого и второго типоразмеров. Трубы 70x5–10 и 78x6–12 мм – из заготовки второго и третьего типоразмеров. Три размера толстостенных труб (84x6–12 мм; 92x6–14 мм; 98x8–16 мм) – из заготовки третьего и четвертого типоразмеров.

Эффективность указанных маршрутов производства холоднокатаных труб из сплавов титана подтверждена многолетней практикой многопрофильных заводов большой мощности. Разработанные ранее решения вполне пригодны также для использования на мини-заводах.

Характеризуя заготовку, используемую для производства холоднокатаных труб из титановых сплавов, необходимо заострить внимание на следующих аспектах. Заготовкой служит горячедеформированная гильза-труба, полученная прокаткой на прошивных станах или прессованием. В первом случае заготовка имеет высокую (10–20 %) поперечную разностенность. При этом разностенность на 70–85 % эксцентрическая. Заготовка, полученная прессованием, имеет сравнительно небольшую поперечную разностенность (до 7,5 %). Такая заготовка имеет эксцентрический тип разностенности в поперечных сечениях по всей длине.

Чем меньше диаметр готовых труб, тем по возможности меньшего диаметра должна быть заготовка для их производства. Однако с получением заготовки малого диаметра есть трудности, связанные с тем, что горячедеформированные трубы малых размеров нередко теряют устойчивость в поперечном сечении. На внутренней поверхности труб образуется гранённость квадратной или шестигранной формы в зависимости от стана, на котором прокатывалась труба [1].

При холодной прокатке труб из титановых сплавов безоправочная деформация заготовки должна быть по возможности минимальной, чтобы исключить возникновение складок и трещин на внутренней поверхности. Минимальное обжатие по диаметру заготовки на участке безоправочной деформации при холодной прокатке труб исключает или в значительной мере уменьшает образование микроскладок и грубой шероховатости на их внутренней поверхности [4–6].

При производстве холоднокатаных труб из сплавов на основе титана толщина стенки заготовки должна существенно превышать толщину стенки готовых труб. Различие в толщинах стенки исходной заготовки и готовой трубы, по возможности, не должно быть меньше 50 %. Это требование обусловлено необходимостью интенсивной проработки исходной структуры металла для обеспечения заданных требований к механическим свойствам труб. Такое условие сложно соблюсти при производстве толстостенных труб. Поэтому иногда требуется особо толстостенная заготовка, например, с толщиной стенки до 30 мм.

Пределы допускаемых стандартами отклонений по диаметру и толщине стенки для заготовки и готовых труб из сплавов титана существенно различаются. Так, допуск по диаметру трубной заготовки,

согласно ГОСТ 21945-76, составляет от -2 % до +1 %, по толщине стенки от -17 % до +15 %. Допуска, используемые для готовых труб, составляют от  $\pm 0,1$  % до  $\pm 0,5$  % по диаметру и от  $\pm 5$  % до  $\pm 10$  % по толщине стенки в зависимости от условий эксплуатации труб у потребителя. Предприятия периодически изготавливают холоднокатаные трубы из сплавов титана с так называемыми «нулевыми» допусками по диаметру и толщине стенки. Изготовление таких труб особо высокой точности требует применения дополнительных технологических операций, включая многочисленные шлифовки и травления. Также крайне сложно обеспечить высокую точность размеров на концевых участках труб.

Влияние размеров исходной заготовки на эффективность производства труб размерами 19x0,6 мм из титанового сплава рассмотрим на примере использования заготовок размерами 79x17 мм и 140x24 мм.

После обточки/расточки, заготовка меньшего диаметра будет иметь размеры 76x14 мм, заготовка большего диаметра – 137x21 мм. Чтобы получить трубу готового размера из заготовки 76x14 мм нам необходимо сделать пять циклов прокатки на станах ХПТ-55 и ХПТ-32 по маршруту: 76x14 мм → 58x8,5 мм → 45x5 мм → 34x2,6 мм → 26x1,2 мм → 19x0,6 мм. Суммарные деформации по проходам составляют 51,5 % → 52,5 % → 59,2 % → 63,5 % → 62,9 % соответственно. Расходный коэффициент металла при прокатке по такому маршруту будет составлять ~ 1,35. Для заготовки 140x24 мм нам необходимо сделать семь прокаток на станах ХПТ-120, ХПТ-90, ХПТ-75, ХПТ-55, ХПТ-32 по маршруту: 137x21 мм → 114x13 мм → 95x8 мм → 80x5 мм → 63x3 мм → 42x1,9 мм → 25x1,1 мм → 19x0,6 мм. Суммарные деформации по проходам составляют 46,1 % → 47 % → 46,1 % → 52 % → 57,7 % → 65,5 % → 58 % соответственно. Расходный коэффициент металла на таком технологическом маршруте ~ 1,55.

Между прокатками необходимо выполнять дополнительные операции – термическую и другие обработки передельных труб (рисунок). При изготовлении труб из заготовки 137x21 мм необходимо выполнить два дополнительных цикла прокатки, термообработки, травления и других вспомогательных операций (см. рисунок). Это увеличивает затраты на производство, следовательно, и себестоимость готовой продукции. Различие в себестоимости будет составлять около 15–20 %.

При этом закупка партии заготовок с новым типоразмером трубы-заготовки будет стоить предприятию столько же, сколько и трубная заготовка стандартизированного большого размера. Это обусловлено тем, что заготовка закупается немерной длины, а ее стоимость определяется из расчета на килограмм.

При использовании заготовки большего размера предприятия сталкиваются с необходимостью содержания более широкого парка прокатных станов разных типов, что соответственно обуславливает дополнительные производственные затраты.

При проектировании маршрутов прокатки труб из титановых сплавов необходимо учитывать возможно-

сти уменьшения их разностенности на всех переделах производственного цикла. Для труб с высокими требованиями по точности желательнее, по возможности, использовать прессованную заготовку с низким уровнем разностенности взамен горячекатаной. При этом рекомендуется обязательно внедрить механизм управления производственными запасами заготовки различных типоразмеров, необходимой для изготовления планируемых объемов труб и сортамента.

Отмеченные особенности производства холоднокатаных труб из титановых сплавов имеют системный характер, несмотря на то, что приведенная информация о размерах заготовки и готовых труб в условиях конкретного завода может быть несколько иной, в зависимости от парка станков холодной прокатки труб (ХПТ), роликовых станков (ХПТР), а также другого оборудования.

**Базовая технология изготовления труб из титановых сплавов (рисунок).** В общем случае заготовкой для холоднодеформированных труб служат горячекатаные или горячепрессованные гильзы диаметром 78–136 мм с толщиной стенки 8–30 мм и длиной 1,2–6 м. Перед холодной прокаткой заготовку обтачивают снаружи и растачивают внутри для удаления «альфированного» слоя и поверхностных дефектов. Затем ее разрезают на мерные длины 0,8–3 м на специализированных станках. Масса одной заготовки после этого составляет 30–200 кг. Дальше заготовку подвергают нескольким, так называемым, «циклическим операциям». На начальном этапе цикла заготовку термически обрабатывают в проходной печи или печи с вакуумной защитной атмосферой. Продолжительность отжига как заготовки, так и холоднокатаных труб, прямо пропорциональна геометрическим размерам; степени наклепа металла и уровню механических свойств, необходимых для выполнения последующих операций. Окалину с поверхности труб, которая образовалась при отжиге в печах без защитной атмосферы, удаляют травлением в растворах соляной или серной кислот. После травления трубы промывают в ваннах с горячей и холодной водой. Следующий этап – сушка труб горячим воздухом.

На подготовленную таким образом поверхность заготовки или передельных труб наносят смазку,

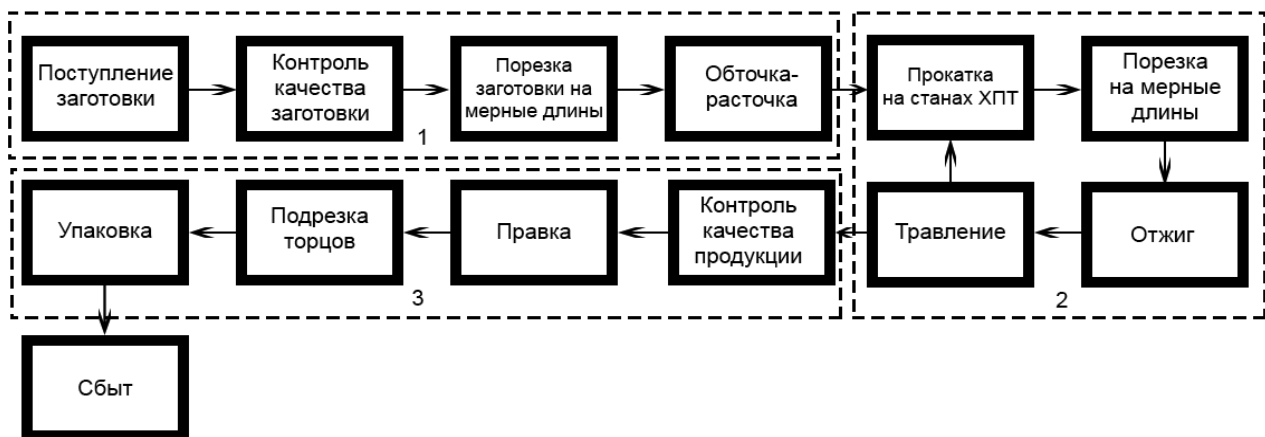
назначение которой уменьшить трение на контакте металл-валок в процессе холодной прокатки и избежать налипания частиц титана на деформирующий инструмент. Современная технология холодной прокатки труб из сплавов на основе титана предполагает также подачу смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в виде эмульсии в очаг деформации, о чем будет сказано далее.

Далее трубы прокатывают на станах ХПТ на передельный (передельный) или готовый размеры. Передельные холоднокатаные трубы повторно проходят подготовительные операции, начиная с термической обработки и заканчивая сушкой после промывки (см. рисунок). На промежуточных переделах изготовления труб нет необходимости в отжиге с длительными выдержками или при высоких температурах. Поэтому, для удешевления производства передельные трубы можно отжигать, с целью восстановления пластичности металла, в электропечах без защитной атмосферы.

На каждом переделе контролируется качество труб на предмет выявления дефектов, которые могли образоваться в процессе прокатки. При изготовлении труб особо ответственного назначения на всех промежуточных переделах рекомендуется проверять механические свойства передельных труб.

Производственный цикл повторяют столько раз, сколько необходимо для получения готовых труб заданного размера. Готовые трубы поступают на отделку. Оборудование для отделки труб на заводах стараются компоновать в виде поточных линий. Среди завершающих отделочных операций присутствуют торцовка, правка, шлифовка поверхности, струйное травление или пескоструйная обработка, пассивирование поверхности труб. После прохождения всех этапов готовые трубы направляют на маркировку и упаковку для дальнейшей транспортировки заказчику. Средний расходный коэффициент металла при производстве труб из сплавов на основе титана составляет ~1,45. Учитывая высокую стоимость титановых сплавов, актуальной задачей является поиск и реализация решений, направленных на уменьшение расходного коэффициента.

**Особенности производства холоднокатаных труб из сплавов на основе титана.** В работе



Технологическая схема производства холоднокатаных труб из сплавов на основе титана: 1 – этап подготовки заготовки к переработке; 2 – повторяющийся производственный цикл; 3 – этап отделки готовой продукции

[9] подчеркивается, что при производстве холоднокатаных труб из титановых сплавов маршруты прокатки предусматривают повышенные обжатия трубы по стенке сравнительно с маршрутами прокатки труб из углеродистых и коррозионностойких сталей. Однако даже такой подход не исключает возникновение микротрещин на внутренней поверхности холоднокатаных труб. Поэтому маршруты их производства должны по возможности минимизировать количество многоциклических переделов на пути от заготовки до готовых труб.

При выборе маршрутов изготовления холоднокатаных труб из титановых сплавов определяющим фактором является величина допустимого относительного суммарного обжатия труб за передел. С точки зрения минимизации себестоимости производства готовых труб, желательна, чтобы деформация трубы-заготовки в каждом проходе (переделе) была максимальной. В этом случае сокращается количество циклов, а значит, существенно снижаются производственные затраты. Оптимизация величин суммарного обжатия передельных труб на каждом из этапов производства является первостепенной научной и технологической задачей.

Горячекатаная и горячепрессованная заготовка из титановых сплавов, используемая для изготовления холоднокатаных труб, имеет на поверхности под окалиной газонасыщенный слой, так называемый «альфированный», с повышенной твердостью и пониженной пластичностью. Этот поверхностный слой насыщается азотом и кислородом в основном путем диффузии. Согласно опубликованным данным [10, 11], альфированный слой состоит из густо расположенных зерен и удлиненных межзёренных включений, проникающих на значительную глубину. Обточка заготовки и травление после отжига передельных труб удаляют газонасыщенный слой с их поверхности. Использование заготовки и передельных труб, не прошедших этих процедур, приводит к возникновению микротрещин на внутренней поверхности труб [12] и дефектов на наружной поверхности.

Для предотвращения нарушений сплошности металла и возникновения трещин во время пластической деформации титановых сплавов необходимо при обточке или травлении заготовки и передельных труб удалять с их поверхности альфированный слой на полуторной-двойной глубине его сплошного залегания. В работе [11] отмечено, что снятие газонасыщенного слоя толщиной 1,2 мм с поверхности образцов достаточно для восстановления прочностных и пластических свойств сплавов ВТ-14, ВТ-3-1, ВТ-8. Для гарантированно полного восстановления прочностных и пластических свойств этих сплавов авторы названной работы рекомендуют удалять альфированный слой с включениями на глубину, в 5–6 раз превышающую его залегание. Для рассматриваемых условий это слой толщиной 2–3 мм.

На основании результатов собственных исследований применительно к производству холоднокатаных труб из сплавов на основе титана рекомендуется удалять поверхностный слой, равный ~ 3 %

толщины стенки передельных труб перед последующей холодной прокаткой. Толщину удаляемого слоя с поверхности заготовки рекомендуется выбирать в пределах ~ 4–7 %. При производстве толстостенных труб стравливать необходимо более толстый слой. Для тонкостенных труб возможности утонения стенки ограничены. Этот фактор следует учитывать при построении маршрутов холодной прокатки и отжига.

Степень газонасыщения поверхности передельных труб зависит от продолжительности и температуры их отжига [10]. На газонасыщение влияют – скорость нагрева труб до температуры выдержки, температура выдержки и продолжительность пребывания металла при этой температуре, скорость охлаждения. Для каждого титанового сплава параметры отжига разные. Например, передельные трубы из сплавов на основе титана рационально отжигать при температурах 450–700 °С. Продолжительность процесса термической обработки зависит от сплава титана, геометрических размеров труб и степени деформации, которую получили трубы при прокатке.

Влияние степени деформации, температуры и продолжительности отжига после холодной прокатки на механические свойства титановых сплавов рассмотрено, например, в работах [12–17]. Экспериментально установлено, что после отжига холоднокатаных труб при температурах 600–700 °С в течение 30 мин и последующего охлаждения на воздухе пластические и прочностные свойства сплава АТ-3 восстанавливаются до исходных значений [12]. В работе [13] рекомендовано отжигать холоднокатаную ленту из титановых сплавов АТ-3 и АТ-4 при температурах 680–750 °С. Для других сплавов и различных размеров холоднокатаных труб режимы отжига должны быть скорректированы, прежде всего, с учетом степени суммарной деформации при холодной прокатке, которая за один проход может достигать 70 %.

Окалину и газонасыщенный слой удаляют с поверхности термообработанных труб травлением. Однако полностью снять этот слой, обладающий низкой способностью к пластической деформации и приводящий к возникновению складок и трещин на внутренней поверхности труб при их холодной прокатке, практически невозможно. Поэтому чем реже передельные трубы из сплавов титана подвергают отжигу, тем меньше газонасыщенность их внутренней и наружной поверхностей, а значит, слабее склонность к дефектообразованию при прокатке. Прокатанные на готовый размер трубы из титановых сплавов обычно отжигают в вакууме.

Ограничением для применения высоких суммарных обжатий при холодной прокатке труб из титановых сплавов служит их интенсивное упрочнение при деформации [18]. В процессе холодной прокатки пластичность титановых сплавов может быстро исчерпаться, если обжатия были избыточными.

Обобщая производственный опыт, следует рекомендовать, что при изготовлении холоднокатаных труб из титановых сплавов степень суммарной деформации за один передел не должна превышать 70 %. При

этом режимы холодной прокатки на станах ХПТ труб из сплавов титана (величина подачи, скорость прокатки, зависящая от количества двойных ходов клетки в единицу времени, температура в очаге деформации и другие параметры процесса) должны определяться с учетом ранее описанных ограничений.

Сплавы на основе титана представляют собой дорогостоящий материал. Поэтому одним из главных критериев оптимизации маршрутов изготовления и режимов холодной прокатки труб является минимизация расходного коэффициента металла (РКМ). Общий РКМ зависит от потерь металла как на основных технологических операциях прокатки, термообработки, так и на названных выше вспомогательных переделах. Выбирая в качестве критерия оптимизации технологии производства труб из титановых сплавов расходный коэффициент металла, и, минимизируя его величину, необходимо, исходя из стоящей глобальной задачи, оптимизировать технологические режимы на каждом переделе. Причем на отдельных переделах производственного цикла нередко приходится ориентироваться на некоторые локальные критерии и ограничения.

При холодной прокатке труб из титановых сплавов технологические режимы следует рассматривать в совокупности, а не анализировать каждый параметр обособленно. Так, на температуру в очаге деформации влияют одновременно дробность деформации (число деформаций, выполняемых за двойной ход клетки, за которое исходное сечение заготовки деформируется в конечное сечение трубы) и скорость прокатки (количество двойных ходов клетки в единицу времени). Оба эти параметра влияют на температуру в очаге деформации прямо и косвенно через толщину смазочной пленки между контактирующими поверхностями рабочего инструмента (калибров, оправки) и прокатываемой трубы [6, 19–25], а значит – на коэффициент трения, воздействуя на энергосиловые параметры процесса прокатки, на упругую деформацию прокатной клетки, калибров и оправки и др. Это, в свою очередь, влияет на геометрические размеры прокатываемых труб. С увеличением температуры в очаге деформации уменьшается вязкость технологической смазки, а значит и толщина смазочного слоя между поверхностями рабочего инструмента и прокатываемого металла. Соответственно, коэффициент трения возрастает. Причем как уже отмечено выше, температура титанового сплава в очаге деформации при холодной прокатке труб влияет на насыщение газами наружной и внутренней поверхностей, и это крайне негативно отражается на качестве прокатываемых труб, поскольку из-за потери пластичности газонасыщенного слоя сплава возрастает склонность к образованию складок и трещин на их внутренней поверхности. Если речь идет лишь о микроскладках и микротрещинах, то они удаляются струйным травлением [6, 9, 26]. Однако вследствие этой операции расходный коэффициент металла возрастает. В крайних случаях, при неудачном выборе режимов холодной прокатки, трещины и складки могут ока-

заться настолько глубокими, что удалить их с внутренней поверхности труб невозможно.

Анализ опубликованных теоретических и экспериментальных результатов, обобщение известного производственного опыта изготовления труб из сплавов титана, данные собственных исследований автора данной статьи приводят к выводу, что режимы деформации при холодной прокатке должны быть рационально распределены по технологическим этапам. Безусловно, решающую роль в условиях конкретного завода играет загрузка и парк прокатных станов, но некоторые однозначные решения могут быть рекомендованы для большинства предприятий. Так, на первом переделе при холодной прокатке на станах ХПТ-75 обточенной горячекатаной или горячепрессованной заготовки суммарная деформация не должна быть максимально допустимой, исходя из технологических предпосылок, и составлять менее 60 %. Величину количества двойных ходов клетки в единицу времени следует устанавливать на уровне 30–60 в минуту. Ограничительными факторами являются разогрев прокатываемых труб и стабильность процесса. Температура в очаге деформации не должна превышать 250 °С, поскольку при более высоких температурах поверхность начинает активно насыщаться азотом и кислородом, что ведет к снижению механических свойств труб [10–12].

На последующих переделах при прокатке труб на станах ХПТ-55 суммарная деформация должна равняться деформации при предыдущей прокатке на станах ХПТ-75. Ограничение по температуре прокатки, как было упомянуто ранее, не должно превышать 250 °С, а количество двойных ходов клетки должно находиться в диапазоне 45–75 двойных ходов в минуту. При прокатке труб на станах ХПТ-32 желательно, чтобы суммарная деформация была больше или равной деформациям на предыдущем переделе, но менее 70 %. Особо важно соблюдать эту рекомендацию при холодной прокатке труб готового размера на завершающем этапе их производства.

Согласно материалам, представленным в статье [27], при холодной прокатке осеботоростенных труб (в частности размером 55×7 мм из заготовки 93×14 мм) из нержавеющей сталей типа Х18Н9 степень деформации на участке редуцирования не должна превышать 6–8 % [24]. На основании обобщения результатов работ [26] и материалов собственных исследований производства холоднокатаных труб из сталей 09Х18Н9, Х18Н10Т, 12Х18Н9 и титановых сплавов, имеющих отношение толщины стенки к диаметру 0,05–0,12, можно заключить, что деформация на участке редуцирования не должна превышать 4–5 %.

Конкретных рекомендаций относительно выбора дробности деформации при пильгерной холодной прокатке труб из титановых сплавов в технической литературе нет. Применительно к прокатке труб из нержавеющей сталей отмечено [26], что уменьшение дробности деформации (за счет увеличения подачи) улучшает качество внутренней поверхности труб, поскольку в этом случае на участке редуцирования стенка утолщается в меньшей степени, а возникаю-

щие складки имеют меньшую глубину. Однако дробность деформации влияет на температуру прокатываемых труб и их разностенность [28]. Кроме того, проявляется влияние скорости прокатки. Следовательно, результирующий эффект этого фактора неоднозначный. Результаты исследований, выполненных автором этой статьи, позволяют рекомендовать в процессе холодной прокатки на станах ХПТ труб из титановых сплавов сравнительно высокую (45–120 двойных ходов клетки) дробность деформации и устанавливать ее в зависимости от марки сплава и требований к точности размеров труб.

**Вопросы точности холоднокатаных труб из сплавов на основе титана.** Заготовки для производства холоднокатаных труб из титановых сплавов после обточки наружной и расточки внутренней поверхностей имеют существенную продольную (в направлении длины) и поперечную (в поперечных сечениях) разностенность. Причем, поперечная разностенность, как правило, отличается несимметричностью. Например, на одном из заводов поперечная разностенность заготовки размером 126×16 мм составляет 12–20 %. Задача снижения разностенности (особенно несимметричной) труб в процессе холодной прокатки весьма сложная и требует специального анализа и поиска путей решения. Но рассмотрение этой темы выходит за рамки данной статьи. Отметим лишь, что в процессе холодной прокатки труб с асимметрией поперечной разностенности, необходимо для ее уменьшения прокатываемые трубы проворачивать в переднем и заднем положениях прокатной клетки [28]. Угол поворота должен исключать возможность периодического совпадения одной и той же ориентации сечений по отношению к калибрам и оправке. То есть, угол поворота прокатываемых труб не должен быть равным 45 или 90 градусам, при которых периодически происходит знакопеременный изгиб в поперечных сечениях одних и тех же участков трубы. С точки зрения предупреждения образования складок и трещин на внутренней поверхности прокатываемых труб, рекомендуется проворачивать их на ~ 35–40 или на ~ 50–55 градусов.

Одним из главных вопросов в технологии производства высокоточных труб из титановых сплавов является также выбор эффективных профилировок калибров и оправок станов ХПТ. Рассмотрению этого вопроса посвящено много работ, выполненных на разных этапах развития теории и технологии прокатки [3–6, 29–35 и др.]. Проанализировать результаты всех исследований, выводы и рекомендации в данной статье не представляется возможным из-за ограничений по объему текста. Поэтому отметим лишь рекомендации, не вызывающие возражений с теоретической точки зрения и подтвержденные производственной практикой.

В первую очередь подчеркнем, что профилировка рабочего инструмента (калибров, оправок) должна предусматривать минимально возможное редуцирование по диаметру прокатываемых труб в свободном состоянии, без обжатия по толщине стенки.

Для этого рекомендуется проектировать зазор между внутренней поверхностью трубы – заготовки и оправкой минимальным, с учетом допусков к внутреннему диаметру заготовки. При прокатке труб из титановых сплавов на станах ХПТ-75 величину зазора между внутренней поверхностью заготовки и оправкой следует принимать в пределах 1 мм. То есть, ~ 3 % от внутреннего диаметра заготовки. На станах ХПТ-55 и ХПТ-32 этот зазор в абсолютных величинах должен быть соответственно меньшим, а в относительных – примерно на том же уровне.

Второе условие состоит в том, что профили калибров и оправки должны предусматривать максимальное обжатие прокатываемой трубы одновременно по диаметру и толщине стенки. При этом для уменьшения разностенности труб необходимо в рабочей зоне очага деформации, по возможности, увеличивать длину калибрующего участка. При сравнительно длинном калибрующем участке легче обеспечить заданную точность прокатываемых труб. Такое условие достигается в значительной мере применением оправок с криволинейной образующей профиля. Заметим, что чем длиннее калибрующий участок в очаге деформации, тем большей может быть подача в процессе холодной прокатки труб. То есть, калибровка рабочего инструмента станов ХПТ должна проектироваться с учетом планируемых режимов прокатки труб. И наоборот, если при изготовлении труб используют имеющиеся калибры и оправки, то режимы проката следует подбирать под уже выполненные калибровки.

Величину подачи при прокатке следует выбирать, исходя из соотношения  $S/D$  прокатываемых труб. Чем выше это отношение, тем большую подачу можно применять в процессе прокатки. Так при прокатке труб, характеризуемых отношением  $S/D \geq 0,05$ , следует применять подачу 5 мм, а при  $S/D \leq 0,05$  – 3 мм.

**Влияние технологической смазки и способа ее подачи в очаг деформации.** При холодной прокатке труб из сплавов на основе титана эффективность технологической смазки определяется степенью снижения коэффициента трения в очаге деформации и способностью предупредить налипание частичек титана на калибры. Величины коэффициента трения при холодной прокатке труб из титановых сплавов составляют: при использовании в качестве технологической смазки хлопкового масла ~ 0,039; касторового масла ~ 0,047; пальмового масла ~ 0,055; эмульсии на основе минерального масла ~ 0,079.

Кроме состава и свойств смазки, важную роль играет метод нанесения ее на трубы перед прокаткой и непосредственно при подаче эмульсии смазочно-охлаждающей жидкости (СОЖ) в очаг деформации при прокатке. Титановые сплавы обладают высокой склонностью налипать на калибры и оправки станов ХПТ [5], этот фактор следует учитывать при выборе технологической смазки.

Теория поступления смазки в очаг деформации при холодной пильгерной прокатке труб из титановых сплавов требует существенного развития, поскольку

в рассматриваемом случае следует решать более сложную задачу, чем при листовой прокатке [19–23]. В частности, учитывать фактор двухслойной смазки. Анализ влияния технологической смазки на процесс холодной прокатки труб осложняется необходимостью принимать во внимание эффект несимметричности очага деформации в круглом калибре, вызванной разностенностью труб и упругим сплющиванием калибров и оправки. Усложняет ситуацию и то, что толщина смазочной пленки и коэффициент трения в очаге деформации непостоянные как по его длине, так и в поперечных сечениях рабочего конуса.

На современных станах холодной прокатки труб СОЖ может подаваться в очаг деформации при помощи форсунок или маслораспылителей, самотеком или под давлением. Изменяя расход СОЖ, подаваемой в очаг деформации, можно эффективно влиять на температурный режим процесса прокатки.

**Влияние температуры.** Режимы холодной прокатки труб существенно влияют на температуру в очаге деформации. Поэтому при комплексном подходе к выбору рациональной технологии производства холоднодеформированных труб температура в очаге деформации может служить критерием оптимизации процесса.

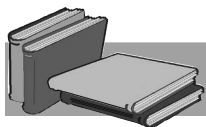
При холодной прокатке труб (без использования СОЖ) с суммарными обжатиями до 50 % температу-

ра в очаге деформации, как правило, не превышает 200 °С, что соответствует граничной температуре для холодной прокатки титановых сплавов. Как уже отмечено выше, такая рекомендация обусловлена тем, что сплавы на основе титана восприимчивы к взаимодействию с кислородом, водородом и другими газами при нагреве [10].

Важным параметром, который влияет на эффективность производства и качество труб из титановых сплавов является распределение обжатий вдоль очага деформации, определяемое калибровкой валков и оправки. Наиболее рациональным решением является использование на предприятии одного типа калибровок. В комплексе со стремлением ограничить количество типоразмеров труб это позволяет снизить парк рабочего инструмента.

Этот вопрос настолько широкий, что требует дополнительного специального рассмотрения.

Завершая анализ, следует заключить, что изготовление холоднокатаных труб из сплавов на основе титана является высокочрезвычайно затратным производством. Поэтому даже небольшое удешевление технологического процесса при обеспечении требуемого уровня качества продукции способно значительно улучшить экономические показатели предприятия.



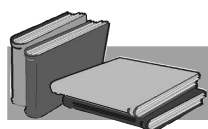
## ЛИТЕРАТУРА

1. Орро П.И., Осада Я.Е. Производство стальных тонкостенных труб: Монография. М. Харьков: Metallurgizdat, 1951. 416 с.
2. Кофф З.А. Холодная прокатка труб. Свердловск: Metallurgizdat, 1962. 300 с.
3. Столетний М.Ф., Клемперт Е.Д. Точность труб. М.: Metallurgiya, 1975. 239 с.
4. Орлов Г.А. Основы теории точности труб. Екатеринбург: УГТУ-УПИ, 2001. 105 с.
5. Данченко В.Н., Коликов А.П., Романцев Б.А. и др. Технология трубного производства: Учебник. М.: Интермет Инжиниринг, 2002. 638 с.
6. Фролов В.Ф., Данченко В.Н., Фролов Я.В. Холодная пильгерная прокатка труб. Днепропетровск: Пороги, 2005. 255 с.
7. Кузнецов Е.Д. Развитие теории и практики производства прецизионных стальных труб. *Системные технологии. Научные труды под ред. В.Н. Данченко*. Днепропетровск, 2005. С. 232–259.
8. Попов М.В., Атанасов С.В., Беликов Ю.М. Совершенствование процесса периодической прокатки труб. Днепропетровск: «Дива», 2008. 192 с.
9. Анализ основных технологий производства холоднодеформированных труб. URL: <http://metalat.ru/analytcs/70-analiz-osnovnyh-tehnologiy-proizvodstva-holodnodeformirovannyh-trub.html>
10. Галицкий Б.А., Абелев М.М., Шварц Г.Л., Шевелкин Б.Н. Титан и его сплавы. М.: Машиностроение, 1968. 340 с.
11. Гликман Л.А., Дерябина В.И., Колгатин Н.Н. и др. Влияние газонасыщенного слоя на прочностные и пластические свойства сплавов титана. *Сборник Титан и его сплавы. Выпуск X. Исследования титановых сплавов*. М.: АН СССР, 1963. С. 116–130.
12. Остренко В.Я., Богоявленская Н.В., Бобриков Л.Д. и др. Разработка технологии производства труб из титанового сплава АТ-3. *Сборник Титан и его сплавы. Выпуск X. Исследование титановых сплавов*. М.: АН СССР, 1963. С. 254–261.
13. Шелест А.Е., Фалалеева З.С., Павлов И.М. Изменение механических свойств сплава АТ-3 после холодной деформации и отжига. *Сборник Титан и его сплавы. Выпуск X. Исследование титановых сплавов*. М.: АН СССР, 1963. С. 245–250.
14. Шилов В.И., Корж В.П., Одинокоева Л.И. Исследование холодной прокатки ленты из сплавов титана. *Сборник Титан и его сплавы. Выпуск X. Исследование титановых сплавов*. М.: АН СССР, 1963. С. 265–276.
15. Остренко В.Я., Акимова Е.П., Ильвовская Л.А. Исследование свойств титанового сплава АТ-4 применительно к условиям трубного производства. *Сборник Титан и его сплавы. Выпуск X. Исследование титановых сплавов*. М.: АН СССР, 1963. С. 357–361.



16. Космацкий Я.И., Фокин Н.В., Филяева Е.А., Боричко Б.В. Исследование деформационной способности трубной заготовки из титанового сплава марки ПТ-1М. Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». 2017. Т. 17. № 4. С. 83–91.
17. Сериков С.В., Устинов И.К., Чуркин И.Д. О пике пластичности титановых сплавов. Вестник МГТУ им. Н.Э. Баумана. Серия «Машиностроение». 2011. С. 201–209.
18. Третьяков А.В., Зюзин В.И. Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением. М: Metallurgiya, 1973. 224 с.
19. Мазур В.Л., Тимошенко В.И. Теория и технология прокатки (гидродинамические эффекты смазки и микрорельеф поверхности. Киев: ИД «АДЕФУкраина», 2018. 560 с.
20. Mazur V.L., Nogovitsyn A.V. Theory and technology of sheet rolling (Numerical Analysis and Applications). CRS Press, Taylor and Francis Group, 2019. 479 p.
21. Мазур С.В. Постановка задачи и закономерности течения смазки в очаг деформации при прокатке труб. *Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Пластична деформація металів*. Дніпропетровськ: «Системні технології». 2005. Том 8. С. 447–452.
22. Мазур С.В. Закономерности поступления смазки в очаг деформации при прокатке труб. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2005. № 4. С. 59–65.
23. Мазур В.Л., Ноговицын А.В. Теория и технология тонколистовой прокатки (численный анализ и технические приложения). Днепропетровск: РВА «Дніпро-VAL», 2010. 500 с.
24. Кузнецов Д.Е. Влияние трения на качество поверхности холоднодеформированных труб. *Сталь*. 2012. № 5. С. 42–46.
25. Данченко В.Н., Фролов Я.В., Фролов В.Ф. Холодная пильгерная прокатка труб. Днепропетровск: Пороги, 2005. 255 с.
26. Кучеренко В.Р., Хаустов Г.И., Коробочкин И.Ю., Кекух С.Н. Влияние редуцирования на качество внутренней поверхности труб при холодной прокатке. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1979. № 2. С. 19–20.
27. Семенов О.А., Пляцковский О.А., Попов М.В. и др. О допустимой степени редуцирования при прокатке особотолсто-стенных труб. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 1974. № 5. С. 27–28.
28. Пилипенко С.В. Исследование изменения разностенности труб в ходе прокатки на стане ХПТ. *Сталь*. 2016. № 3. С. 32–37.
29. Фролов Я.В., Дехтярев В.С. Развитие методов калибровки станов ХПТ. *Металлургическая и горнорудная промышленность*. 2009. № 2. С. 52–54.
30. Григоренко В.У., Пилипенко С.В., Головченко О.П. Розвиток методу розрахунку параметрів процесу холодної пильгерної прокатки труб і калібровки інструмента. Монографія. Дніпропетровськ: Пороги, 2015. 128 с.
31. Мищенко А.В., Григоренко В.У. Развитие метода прогнозирования изменения поперечной разностенности при много-проходной прокатке труб из сплавов на основе титана на станах холодной прокатки. *Сборник «Обработка материалов давлением»*. Краматорск: 2016. № 1(42). С. 199–202.
32. Григоренко В.У., Клименко П.Л., Ханин М.И. Расчеты калибровки и усилий в станах холодной прокатки труб с применением ЭВМ: Учебное пособие. Днепропетровск: НМетАУ, 2000. 22 с.
33. Шевакин Ю.Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб. М.: Metallurgizdat, 1963. 269 с.
34. Коробочкин И.Ю. Некоторые вопросы калибровки инструмента станов холодной периодической прокатки труб. *Проблеми і перспективи одержання конкурентоздатної продукції в гірничо-металургійному комплексі України: тематич. зб. наук. праць*. Дніпропетровськ: НМетАУ, 2001. С. 515–528.
35. Григоренко В.У., Пилипенко С.В., Головченко О.П. Розвиток методу розрахунку параметрів процесу холодної пильгерної прокатки труб і калібровки інструмента: Монографія. Дніпропетровськ: Пороги, 2015. 120 с.

Поступила 05.06.2019



## REFERENCES

1. Orro, P.I., Osada, Ya. E. (1951). Production of steel thin-walled pipes. Moscow, Khar'kov: Metallurgizdat, 416 p. [in Russian].
2. Koff, Z.A. (1962). Cold pipe rolling. Sverdlovsk: Metallurgizdat, 300 p. [in Russian].
3. Stoletniy, M.F., Klempert, E.D. (1975). Precision of tubes. Moscow: Metallurgiya, 239 p. [in Russian].
4. Orlov, G.A. (2001). Fundamentals of the theory of pipe accuracy. Ekaterinburg: UGTU-UPI, 105 p. [in Russian].
5. Danchenko, V.N., Kolikov, A.P., Romantsev, B.A. et al. (2002). Pipe production technology. Moscow: Internet Inzheniring, 638 p. [in Russian].
6. Frolov, V.F., Danchenko, V.N., Frolov, Ya.V. (2005). Cold pilger tube rolling. Dnepropetrovsk: Porogi, 255 p. [in Russian].
7. Kuznetsov, Ye.D. (2005). Development of the theory and practice of production of precision steel pipes. *Sistemnye tekhnologii. Nauchnyye trudy pod red. V.N. Danchenko*. Dnepropetrovsk, pp. 232–259 [in Russian].
8. Popov, M.V., Atanasov, S.V., Belikov, Yu.M. (2008). Improving the process of periodic rolling tubes. Dnepropetrovsk: "Diva", 192 p. [in Russian].
9. Analysis of the main production technologies of cold-formed pipes. URL: <http://metalat.ru/analvtics/70-analiz-osnovnyh-tehnologiy-proizvodstva-holodnodeformirovannyh-trub.html> [in Russian].
10. Galitskiy, B.A., Abelev, M.M., Shvarts, G.L., Shevelkin, B.N. (1968). Titanium and its alloys. Moscow: Mashinostroenie, 340 p. [in Russian].
11. Glikman, L.A., Deryabina, V.I., Kolgatin, N.N. et al. (1963). The effect of the gas-saturated layer on the strength and plastic properties of titanium alloys. *Sbornik: Titan i ego splavy. Vypusk X. Issledovanie titanovykh splavov*. Moscow: AN SSSR, pp.116–130 [in Russian].

12. Ostrenko, V.Ya., Bogoyavlenskaya, N.V., Bobrikov, L.D. et al. (1963). Development of production technology for pipes from titanium alloy AT-3. *Sbornik: Titan i ego splavy. Vypusk X. Issledovanie titanovykh splavov*. Moscow: AN SSSR, pp. 254–261 [in Russian].
13. Shelest, A.E., Falaleyeva, Z.S., Pavlov I.M. (1963). Change in mechanical properties of AT-3 alloy after cold deformation and annealing. *Sbornik: Titan i ego splavy. Vypusk X. Issledovanie titanovykh splavov*. Moscow: AN SSSR, pp. 245–250 [in Russian].
14. Shilov, V.I., Korzh, V.P., Odinkova, L.I. (1963). Study of cold rolling strip of titanium alloys. *Sbornik: Titan i ego splavy. Vypusk X. Issledovanie titanovykh splavov*. Moscow: AN SSSR, pp.265–276 [in Russian].
15. Ostrenko, V.Ya., Akimova, Ye.P., Il'vovskaya, L.A. (1963). The study of the properties of titanium alloy AT-4 in relation to the conditions of pipe production. *Sbornik: Titan i ego splavy. Vypusk X. Issledovanie titanovykh splavov*. Moscow: AN SSSR, pp. 357–361 [in Russian].
16. Kosmatskiy, Ya.I., Fokin, N.V., Filyayeva, E.A., Borichko, B.V. (2017). Investigation of the deformation capacity of a tubular billet of titanium alloy grade PT-1M. *Vestnik YuUrGU. Seriya "Metallurgiya"*. Vol. 17, no. 4, pp. 83–91 [in Russian].
17. Serikov, S.V., Ustinov, I.K., Churkin, I.D. (2011). About the peak plasticity of titanium alloys. *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Seriya "Mashinostroenie"*, pp. 201–209 [in Russian].
18. Tretyakov, A.V., Zyuzin, V.I. (1973). Mechanical properties of metals and alloys during pressure treatment. Moscow: Metallurgiya, 224 p. [in Russian].
19. Mazur, V.L., Timoshenko, V.I. (2018). Theory and technology of rolling hydrodynamic effects of lubrication and surface microrelief. Kyiv: ID "ADEFUkraine", 560 p. [in Russian].
20. Mazur V.L., Nogovitsyn A.V. (2019). Theory and Technology of Sheet Rolling (Numerical Analysis and Applications). CRS Press, Taylor and Francis Group, 479 p [in English].
21. Mazur, S.V. (2005). Statement of the problem and the regularity of the lubricant flow in the deformation zone during pipe rolling. *Suchasni problemy metalurgii, Naukovi visti, Vol. 8, Plastichna deformatsiya metaliv*, Dnipropetrovs'k: "Sistemni tekhnologii", pp. 447–452 [in Russian].
22. Mazur, S.V. (2005). Patterns of receipt of lubricant in the deformation zone during pipe rolling. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*, no. 4, pp. 59–65 [in Russian].
23. Mazur, V.L., Nogovitsyn, A.V. (2010). Theory and technology of sheet rolling (numerical analysis and technical applications). Dnepropetrovsk: RVA "Dnipro-VAL", 500 p. [in Russian].
24. Kuznetsov, D.E. (2012). The influence of friction on the surface quality of cold-formed pipes. *Stal'*, no. 5, pp. 42–46 [in Russian].
25. Danchenko, V.N., Frolov, Ya.V., Frolov, V.F. (2005). Cold pilger tube rolling. Dnepropetrovsk: Porogi, 255 p. [in Russian].
26. Kucherenko, V.R., Khaustov, G.I., Korobochkin, I.Yu., Kekukh, S.N. (1979). The effect of reduction on the quality of the inner surface of pipes during cold rolling. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*, no. 2, pp. 19–20 [in Russian].
27. Semenov, O.A., Plyatskovskiy, O.A., Popov, M.V. et al. (1974). On the permissible degree of reduction when rolling extra thick-walled pipes. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*, no. 5, pp. 27–28 [in Russian].
28. Pilipenko, S.V. (2016). Investigation of changes in pipe pipe razgneseniya during rolling on the HPT. *Stal'*, no. 3, pp. 32–37 [in Russian].
29. Frolov, Ya.V., Dekhtyarev, V.S. (2009). Development of calibration methods for HPT mills. *Metallurgicheskaya i gornorudnaya promyshlennost'*, no. 2, pp. 52–54 [in Russian].
30. Grigorenko, V.U., Pilipenko, S.V., Golovchenko, O.P. (2015). Development of the method of calculating the parameters of the process of cold rolling mill rolling and instrument calibration. Dnipropetrovs'k: Porogi, 128 p. [in Ukrainian].
31. Mishchenko, A.B., Grigorenko, V.U. (2016). Development of a method for predicting changes in the cross-fractions with multi-pass rolling of pipes from titanium-based alloys on cold rolling mills. *Sbornik "Obrabotka materialov davleniem"*, Kramatorsk, no. 1(42), pp. 199–202 [in Russian].
32. Grigorenko, V.U., Klimenko, P.L., Khanin, M.I. (2000). Calibration and effort calculations in cold rolling mills using a computer. Dnepropetrovsk: NMetAU, 22 p [in Russian].
33. Shevakin, Yu.F. (1963). Calibration and forces in Cold Rolling. Moscow: Metallurgizdat, 269 p. [in Russian].
34. Korobochkin, I.Yu. (2001). Some issues calibration tool mills cold periodic rolling tubes. *Problemy i perspektyvy odezhanaya konkurentozdatnoi produktsii v girnicho-metalurgiyomu kompleksii Ukrainy: tematykh. zb. nauk. Prats'*, Dnipropetrovs'k: NMetAU, pp. 515–528 [in Russian].
35. Grigorenko, V.U., Pilipenko, S.V., Golovchenko, O.P. (2015). Development of the method of calculation of parameters of the process of cold rolling mill rolling and tool calibration. Dnipropetrovs'k: Porogi, 120 p. [in Ukrainian].

Received 05.06.2019

**Анотація**

О.В. Міщенко, здобувач, e-mail: mishchenkooleksii@gmail.com

Національна металургійна академія України, Дніпро, Україна

**Стан і тенденції розвитку виробництва холодної прокатки труб зі сплавів на основі титану**

Проаналізовано стан і тенденції розвитку виробництва холоднокатаних труб зі сплавів на основі титану. Наведено сучасні стандарти, що використовуються на підприємствах і які регламентують якість при виробництві холоднодеформованих труб зі сплавів на основі титану. В ході аналізу проведено порівняння двох типів сучасних підприємств з випуску холоднодеформованих труб зі сплавів титану і висунуто припущення про тенденції розвитку підприємств у майбутньому. Виявлено закономірності, а також сформульовано принципи побудови маршрутів виготовлення, заснованих на особливостях труб зі сплавів на основі титану. Показано вплив основних параметрів технології на ефективність виробництва і якість трубопрокатної готової продукції. Рекомендовано режим холодної пільгерної прокатки труб зі сплавів на основі титану, який сприяє зменшенню кількості циклічних прокаток, зниженню витратного коефіцієнта металу, отриманню необхідного рівня механічних властивостей і досягненню регламентованої точності продукції. Розглянуто питання не тільки точності труб, але і трубної заготовки, яка застосовується у виробництві холоднокатаних труб з титанових сплавів. Описано особливості різностінності для кожного типу заготовок, які застосовуються на підприємствах в нашій країні. Наведено рекомендації щодо глибини видалення поверхневого шару окалини між прокатками. Проаналізовано вплив таких параметрів, як дрібність деформації, сумарне обтиснення поперечного перерізу, подача і поворот труби в процесі прокатки, вибір типу мастила і способу його нанесення на труби, температура в осередку деформації, газонасиченість поверхні і їх впливу на точність труб. Дано рекомендації по цих параметрах, що сприяють підвищенню якості труб зі сплавів титану з описом обмежень, викликаних особливостями сплавів.

**Ключові слова**

Труби, титан, сплави, холодна прокатка труб, технологія, режими.

**Summary**

O.V. Mishchenko, Applicant, e-mail: mishchenkooleksii@gmail.com

National Metallurgical Academy of Ukraine, Dnipro, Ukraine

**Status and trends of development of the production of cold-rolled tubes from titanium alloys**

Status and trends in the development of the production of cold-rolled pipes from titanium-based alloys are analyzed. The modern standards used at the enterprises in the production of cold-formed pipes from titanium alloys are given. In the course of analyses, a comparison of the two types of modern enterprises for the production of cold-deformed pipes from titanium alloys was made and an assumption was made about the trends of development of enterprises in the future. The regularities are revealed and the principles of development of manufacturing routes based on the features of pipes from titanium-based alloys are formulated. The influence of the main parameters of the technology on the production efficiency and quality of the finished pipe products is shown. The mode of cold pilger rolling tubes of titanium-based alloys is recommended that contribute to reducing the number of cyclic rolling, reducing the expenditure ratio of the metal, obtaining the required level of mechanical properties and receiving the required level the accuracy of the manufactured products. The issues of not only the accuracy of the pipes, but also the billet used in the manufacture of cold-rolled pipes from titanium alloys are considered. The features of the wall thickness variations for each type of billet used in enterprises are described. The recommendations on the depth of removal of the surface layer of scale between rolling are given. The influence of such parameters as divisibility of deformation, total reduction of the cross-section, move and rotation of a pipe in the rolling process, the choice a lubricant and method of its application on the pipe, the temperature at a deformation zone, the gas saturation of the surface and their influence on pipe accuracy are analyzed. Recommendations on these parameters are given to improve the quality of pipes made of titanium alloys with a description of the limitations caused by the characteristics of the alloys.

**Keywords**

Pipes, titanium, alloys, cold rolling of pipes, technology, modes.