

Р. М. Король /к. т. н./, А. Ю. Мироненко,
М. А. Мироненко /к. т. н./

Государственное предприятие
«Научно-исследовательский и конструкторско-
технологический институт трубной
промышленности им. Я. Ю. Осады,
г. Днипро, Украина
e-mail: oezgti@gmail.com

Особенности технологии изготовления высококачественных прецизионных труб из зарубежного аналога молибденового сплава МЧВП

R. M. Korol /Cand. Sci. (Tech.),
A. Yu. Myronenko,
M. A. Myronenko /Cand. Sci. (Tech.)/

State Enterprise Ya. Ye. Osada Scientific
Research Tube Institute, Dnipro, Ukraine
e-mail: oezgti@gmail.com

Features of manufacture technology of high-quality precision pipes from molybdenum alloy MCHVP foreign analogue

Цель. Корректировка существующей технологии изготовления высококачественных прецизионных труб исходя из фактических показателей качества заготовки. Это позволит снизить расходный коэффициент металла и, как следствие, повысить конкурентоспособность отечественной продукции.

Методика. При формулировании рекомендаций к изменению существующей технологии использовались результаты анализа экспериментальных образцов трубной заготовки зарубежного происхождения, а также труб, изготовленных при различных параметрах процесса производства.

Результаты. В статье приведены анализ параметров качества зарубежной трубной заготовки, а также рекомендации по изменению параметров термической обработки трубы в процессе производства и корректирование максимально допустимой степени обжатия, которая используется при построении маршрута изготовления.

Научная новизна. Впервые проведен подробный анализ параметров трубной заготовки из сплава на основе молибдена зарубежного производства, а также установлены и экспериментально подтверждены особенности параметров технологии производства прецизионных труб из исследуемого материала.

Практическое значение. Применение данных изменений к существующей технологии производства прецизионных труб из сплавов на основе молибдена позволит снизить расходный коэффициент металла и повысить конкурентоспособность отечественной трубной продукции. (Ил. 3. Табл. 2. Библиогр.: 4 назв.)

Ключевые слова молибден, труба из сплава на основе молибдена, трубная заготовка, технология производства, технические условия.

Постановка проблемы. Трубы из сплавов на основе молибдена используются в качестве нагревателей, корпусов терморпар, а также в космической технике. С распадом СССР потребление данных труб резко сократилось в связи с падением спроса на данную продукцию со стороны ВПК. Последнее привело к фактическому исчезновению технологической цепочки «заготовка – готовая труба» на постсоветском пространстве. При этом только ряд стран в мире по своему развитию технологий могут позволить применение и изготовление высококачественных прецизионных труб из молибденовых сплавов, что обуславливает фактическое отсутствие их «сво-

бодного рынка». К таким странам относится и Украина. Прогнозируемое дальнейшее развитие «холодной войны», взаимные экономические санкции, гонка вооружений однозначно приведут к резкому росту потребления указанных труб и, как следствие, к их дефициту.

Государственный трубный институт (ранее носивший название ВНИТИ) был единственным разработчиком технологии и изготовителем высококачественных прецизионных труб из молибденовых сплавов на территории бывшего СССР. В этом направлении он тесно работал с Московским опытным заводом тугоплавких металлов и тугоплавких сплавов. Институту уда-

лось сохранить техническую документацию, оборудование и научные кадры для производства вышеуказанных труб. В настоящее время трубная заготовка или передельные трубы из молибденовых сплавов поступают из трех источников: переплавка лома; использование складских запасов времен СССР; а также из-за рубежа, преимущественно из Азии. Период длительного отсутствия внутреннего спроса и достаточно высокие цены на молибденовые сплавы за рубежом привели к тому, что первые два источника поступления заготовки не могут рассматриваться как надежные – лом и складские запасы практически все были вывезены. В ближайшей перспективе как основной должен рассматриваться только один источник – передельные трубы-заготовки зарубежного производства.

Формулирование цели. Изготовление труб из заготовки зарубежного производства согласно технологии, разработанной специалистами ГП «НИТИ» в период существования СССР, не обеспечивало современные требования по качеству труб, а также сопровождалось повышенным расходным коэффициентом металла. Необходимо было корректирование существующей технологии для обеспечения качества, снижения себестоимости и повышения конкурентоспособности отечественной трубной продукции согласно современным требованиям.

Методика исследований. Основой для расчета изменений, вносимых в существующую технологию, служат всесторонние исследования свойств обрабатываемого материала. Поскольку поставляемая трубная заготовка ранее не подвергалась глубокому исследованию, необходимо было провести ряд мероприятий по проверке соответствия качества заготовки параметрам действующих Технических условий.

Фактический материал. Исходными данными для материала статьи явились исследования сотрудников ГП «НИТИ» последних лет.

Эта известная научно-исследовательская организация, имеющая почти восьмидесятилет-

ний опыт работы на рынке, является главным отраслевым институтом в Украине в области производства труб, контроля их качества и стандартизации. Институт аттестован как научная организация по научно-техническому направлению «Разработка новых материалов, технологий и оборудования для производства труб, баллонов и трубных заготовок».

Изложение основных результатов исследований. Для исследования использовали передельную трубу-заготовку, шедшую с паспортом-сертификатом качества российского изготовителя, в соответствии с которым она отвечала требованиям ТУ 48-19-251-94 «Трубы бесшовные тонкостенные из молибдена, сплавов на его основе и ниобия» [1]. По сертификату качества марка молибденового сплава – МЧВП, размер трубы 19×3×300 мм. Способ изготовления исходного материала молибденовой трубы в сертификате не указан. Химический состав материала труб проверялся рентгенофлуоресцентным анализом с обработкой полученных спектров с помощью специальной программы калибровки (количественной градуировки прибора). Калибровочная программа была предварительно создана с использованием стандартных образцов, чей элементный состав точно известен. Результаты рентгенофлуоресцентного анализа представлены в табл. 1.

Анализ данных, представленных в табл. 1, показывает, что фактический химический состав материала передельной трубы-заготовки не соответствует отечественной марке молибденового сплава МЧВП.

В технических условиях ТУ 48-19-251-94 на трубы отсутствует типоразмер 19×3 мм. Фактический обмер трубы производили: наружный диаметр с помощью микрометра МК-25, толщину стенки – микрометром трубным МТ-25. Наружный диаметр замеряли по концам и по середине трубы в двух плоскостях, толщину стенки – по концам трубы в шести точках. Результаты обмеров представлены в табл. 2.

Таблица 1

Результаты рентгенофлуоресцентного анализа

Проба	Mo	Fe	Ni	Cu	Zn	Zr	Nb
Требования по ТУ 48-19-251-94 для марки МЧВП, не более %	Основа	-	0,005	-	-	-	-
Труба 19×3×300мм, %	98,453	0,361	0,173	0,833	0,095	0,028	0,057

Таблица 2

Результаты обмеров трубы

Объект обмера	Передний конец	Середина	Задний конец
Наружный диаметр, мм	19,09; 19,09	19,09; 19,09	19,06; 19,06
Толщина стенки, мм	2,87; 2,95; 3,05; 3,17; 3,25; 3,32;	-	3,00; 3,02; 3,05; 3,06; 3,08; 3,10

Относительная поперечная разностенность изменяется от 3 до 15 % по длине трубы от одного ее конца до другого. Ее величина не превышает в относительных величинах предельных допусков по толщине стенки 2-го класса точности в соответствии с ТУ 48-19-251-94.

Труба была поставлена после механической обработки – обточки расточки со следами от обрабатывающего инструмента, при этом на внутренней поверхности они имели вид сплошных расслоений. Определение величины шероховатости Ra , в мкм, как среднее арифметическое отклонение профиля на базовой длине равной 8 мм, на наружной и внутренней поверхностях проводили в соответствии с ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики» [2] на профилометре типа «Телисерф-5». На каждой поверхности проводили измерения не менее чем в пяти местах. Результаты измерений шероховатости следующие:

- на наружной поверхности – от 1,5 до 2,3 мкм;
- на внутренней поверхности – от 11,8 до 18,4 мкм.

В соответствии с ТУ 48-19-251-94 параметр шероховатости Ra по ГОСТ 2789-73 труб диаметром до 14,0 мм включительно должен быть не более 1,25 мкм для наружной поверхности и 2,5 мкм – для внутренней, при этом наличие расслоений на них не допускается.

Технические условия на трубы предусматривают прямые испытания на разрыв для определения механических свойств. Однако из-за высокой стоимости материала данные испытания не проводились. Измерения твердости проводили на наружной поверхности трубы по ее длине в соответствии с ГОСТ «Металлы и сплавы. Метод измерения твердости по Роквеллу» с помощью прибора типа ТК-2М по шкале HRB с применением стального закаленного шарика диаметром 1,588 мм и усилием 100 кгс. Результаты измерений показали различный уровень твердости по длине трубы. Значения твердости составляли от 100 единиц на одном конце трубы до 91 единицы на другом конце, что приблизительно соответствует прочности от 800 до 620 МПа. Значения прочности получены путем перевода значений твердости в значения прочности с использованием ASTM A 370 «Стандартные методы испытаний и определение механических свойств стальных изделий» [3]. При этом в соответствии с ТУ 48-19-251-94, временное сопротивление разрыву для труб диаметром 13,0 и 14,0 мм должно составлять не менее 686 МПа.

Для выявления макроструктуры материала труб был изготовлен и протравлен поперечный шлиф. Макроструктура исследуемой трубы плотная, однородная, мелкозернистая.

Микроструктуру материала трубы исследовали на продольном шлифе. Для выявления микроструктуры был использован стандартный травитель, исследование проводили с помощью металлографического микроскопа «Неофот-21». Фотографии микроструктуры материала трубы представлены на рис. 1 и 2.

По сечению стенки трубы структура равномерная. Зерна имеют неправильную форму и слабо ориентированы, преимущественно в продольном направлении. Размер некоторых зерен в продольном направлении в 2-3 раза больше, чем в поперечном. По причине вытянутости зерен в металле их величину условно оценивали по шкалам ГОСТ 21073.1-75 «Металлы цветные». Определение величины зерна методом сравне-



а)



б)



в)

Рис. 1. Микроструктура молибденовой передельной трубы-заготовки (в продольном направлении) размером 19×3×300 мм, ×100:
а) – у внутренней поверхности; б) – в середине стенки; в) – у наружной поверхности

ТРУБНОЕ ПРОИЗВОДСТВО

ния со шкалой микроструктур» [4]. В материале труб представлены зёрна преимущественно № 6, также присутствуют зерна № 5, 7, 8. Такая структура характерна для молибденовых сплавов, подвергнутых термической обработке после деформации.

Анализ результатов входного контроля дает основание для следующих выводов:

- представленный сплав близок по химическому составу к отечественному МЧВП. При этом заключение об их полной взаимозаменяемости может дать только конечный потребитель после проведения прямых исследований готового изделия;

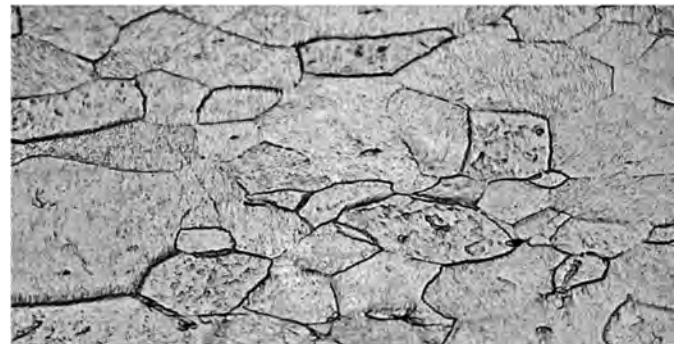
- фактические геометрические размеры, состояние поверхности, а также результаты исследования макро- и микроструктуры дают основание с уверенностью утверждать, что передельная труба-заготовка получена методом сверления катанного круга;

- механические свойства трубы-заготовки позволяют осуществить первую прокатку без ее предварительной термической обработки.

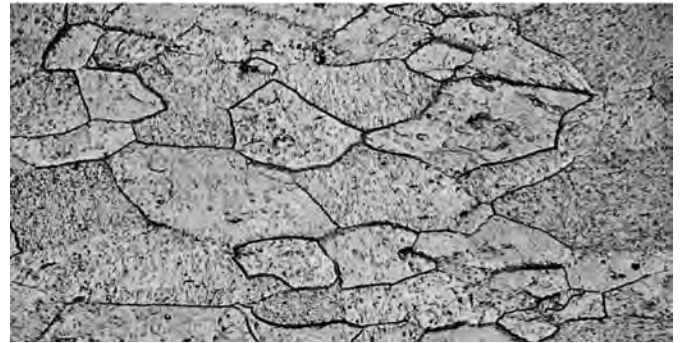
Поверхностные дефекты в виде расслоений не уходят при последующей пластической деформации и остаются на готовых трубах, что является забраковочным признаком. Существующая технология производства молибденовых труб предусматривает только вакуумную термическую обработку труб, что не позволяет использовать эффект стравливания, при последующей химической обработке – травлении – мелких поверхностных дефектов вместе с окалиной в случае термообработки с охлаждением на воздухе. Поэтому для подготовки заготовки к прокатке требуется операция по удалению расслоений с внутренней поверхности труб. Самым дешевым и наиболее эффективным способом улучшения поверхности является длительная пескоструйная обработка, которая позволяет удалить поверхностные дефекты глубиной до нескольких сотых миллиметра, а также сгладить острые края более глубоких дефектов, что позволяет их в последующем раскатать.

Из исследуемой молибденовой передельной трубы-заготовки размером 19×3 мм была изготовлена партия прецизионных труб размером 14×0,5 мм 1-го класса точности по диаметру и толщине стенки.

Технология производства труб размером 14×0,5 мм из трубной заготовки 19×3 мм предусматривала предпрокатную подготовку (порезка, торцовка, нанесение подмазочного слоя и технологической смазки), тёплую прокатку на стане ХПТР 8-15, подготовку к термообработке (пескоструйная обработка, осветление, травление), промежуточную и окончательную термо-



а)



б)



в)

Рис. 2. Микроструктура молибденовой передельной трубы-заготовки (в продольном направлении) размером 19×3×300 мм, ×500:
а) – у внутренней поверхности; б) – в середине стенки; в) – у наружной поверхности

обработку в вакууме не менее $3 \cdot 10^{-3}$ мм рт. ст., ремонт и зачистку дефектов по необходимости. Технологический процесс выполнялся в соответствии с Технологической инструкцией ТИ-3-ТР.ТБ-4-204-83 для производства бесшовных труб из молибденовых сплавов, разработанной специалистами ГП НИТИ (ВНИТИ) с некоторыми изменениями.

Ввиду несоответствия химсостава исследуемой трубы-заготовки 19×3 мм химсоставу сплава МЧВП было принято решение проводить прокатку с суммарной деформацией $e < 60$ % до проведения промежуточной термообработки, тогда как принято считать, что сплав МЧВП выдерживает суммарную деформацию до 85 %. Прокатка велась при начальной температуре

600–620 °С со снижением на выходе из зоны деформации до 480–500 °С, что в среднем на 50–70 °С выше, чем установленный существующей Технологической инструкцией. Такие изменения существующей технологии были вызваны тем, что первая труба-заготовка разрушилась в процессе прокатки.

Непосредственно после схода прокатанной трубы с оправки она помещалась в трубчатую муфельную печь, разогретую до температуры 250–280 °С. После окончания прокатки всей партии труб печь с партией труб остывала в течение 12 часов. Тем самым удалось избежать продольного растрескивания труб вследствие повышенных остаточных напряжений после деформации. На рис. 3 представлен образец трещин, которые могут возникать при интенсивном остывании труб после деформации.



Рис. 3. Трещины, возникающие при повышенных остаточных напряжениях

Обмер трубы в процессе передела производили: наружный диаметр с помощью микрометра МК-25, толщину стенки – микрометром трубным МТ-25 ГОСТ 6507-90. Температуру нагрева контролировали при помощи термоэлектрического преобразователя типа ТХА гост 3044-84 совместно с прибором типа А-565.

По своим характеристикам (за исключением химического состава) готовые трубы, изготовленные по уточненной технологии, полностью отвечали требованиям ТУ 48-19-251-94 «Трубы бесшовные тонкостенные из молибдена, сплавов на его основе и ниобия» и были приняты заказчиком.

Выводы и перспективы дальнейших исследований

Применение передельных труб-заготовок зарубежного производства для изготовления высококачественных прецизионных труб из молибденовых сплавов требует тщательного входного контроля, дополнительных операций по улучшению качества их поверхности, а также корректировки существующей технологии производства в части: уменьшения допустимой суммарной деформации до 65 %, повышения температуры прокатки на 50–70 °С, а также медленного охлаждения труб после прокатки вместе с печью.

Промышленное производство трубной заготовки из молибденовых сплавов может быть налажено на базе научно-исследовательских институтов и предприятий Украины при участии ГП «НИТИ» из сырья Республики Армения. Это

позволит полностью закрыть прогнозируемый дефицит молибденовой металлопродукции на постсоветском пространстве.

Библиографический список / References

1. ТУ 48-19-251-94 «Трубы бесшовные тонкостенные из молибдена, сплавов на его основе и ниобия».

TU 48-19-251-94 Molybdenum, alloys based on molybdenum and niobium seamless thin-walled pipes.

2. ГОСТ 2789-73 «Шероховатость поверхности. Параметры и характеристики» МКС 01.040.25 Дата введения 1975-01-01.

GOST 2789-73 The surface roughness. Parameters and characteristics. MKS 01.040.25 dated 1975-01-01.

3. ASTM A 370 Standard Test Methods and Definitions for Mechanical Testing of Steel Products.

4. ГОСТ 21073.1-75 «Металлы цветные. Определение величины зерна методом сравнения со шкалой микроструктур».

GOST 21073.1-75 Non-ferrous metals. Determination of grain size by comparison with a scale of microstructures.

Purpose. Correction of the existing technology of manufacturing high-quality precision pipes based on the actual quality indicators of the billet. This will reduce the consumption factor of metal and increase the competitiveness of domestic products as a result.

Methodology. While formulating recommendations for changing the existing technology we used the results of analysis of experimental samples of foreign-made pipe billets as well as pipes manufactured at various parameters of the production process.

Findings. The article analyzes the quality parameters of foreign pipe billets as well as recommendations for changing the parameters of the pipe heat treatment in the production process and correcting the maximum permissible compression ratio used in the manufacturing routing.

Originality. It was the first time detailed analysis of the parameters of the pipe billet from the foreign production alloy based on molybdenum, and it was defined and experimentally confirmed the features of the parameters of the production technology of precision pipes from the material explored.

Practical value. The application of these changes to the existing production technology of precision molybdenum-based alloy pipes will reduce the metal consumption factor and increase the competitiveness of domestic pipe products.

Key words: molybdenum, molybdenum-based alloy pipe, pipe billet, production technology, technical specifications.

Рекомендована к публикации
к. т. н. Р. Н. Королем

Поступила 04.04.2017