

**НАУЧНЫЕ ОСНОВЫ РЕСУРСОСБЕРЕГАЮЩИХ ТЕХНОЛОГИЙ
ПРОИЗВОДСТВА ПРЕЦИЗИОННЫХ ТРУБ МАЛЫХ РАЗМЕРОВ
ПРИМЕНИТЕЛЬНО К УСЛОВИЯМ МИНИ-ПРОИЗВОДСТВ С
ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ТОНКОСТЕННОЙ СВАРНОЙ ЗАГОТОВКИ**

Розглянуто світові тенденції організації міні-виробництв прецизійних труб малих розмірів із використанням зварної заготовки. Проведено експериментальні дослідження наскрізних технологій. Запропоновано концепцію організації міні-виробництва в умовах України та розроблено наукові основи ресурсозберігаючої технології.

Рассмотрены мировые тенденции организации мини-производств прецизионных труб малых размеров с использованием сварной заготовки. Проведены экспериментальные исследования сквозных технологий. Предложена концепция организации мини-производства в условиях Украины и разработаны научные основы ресурсосберегающей технологии.

The world trends in organization of mini works for manufacturing small dimension precision tubes with using the welded billet had been considered. The experimental investigations of the through technologies had been carried out. Conception of mini works organization in condition of Ukraine had been offered and the scientific foundations of resource-saving technologies had been developed.

Введение

Развитие приоритетных отраслей промышленности: приборостроения, электроники, медицины, авиа- и судостроения и других обуславливает постоянно возрастающую потребность в *прецизионных трубах малых размеров*, требования по качеству к которым с каждым годом возрастают. Наиболее потребляемый в настоящее время сортament прецизионных холоднодеформированных труб: наружный диаметр менее 40 мм вплоть до 0,1 мм (с минимальной толщиной стенки до 0,017 мм) из широкого спектра материалов (чёрные и цветные металлы и сплавы) [1].

Основной мировой тенденцией при изготовлении таких труб является уменьшение объема холодной обработки за счет приближения размеров заготовки к готовому изделию (например, использование сварной тонкостенной трубной заготовки), интенсификация режимов холодной обработки, увеличение производительности труда в результате применения высокопроизводительных процессов волочения [2]. Сварные прецизионные трубы находят широкое применение как товарные в приоритетных отраслях, а также их используют в качестве передельной заготовки при изготовлении холоднодеформированных прецизионных труб малых размеров [3].

Проблема. Высокие цикличность и трудоемкость обуславливают высокую себестоимость прецизионных труб, изготавливаемых по традиционной технологии. На протяжении длительного времени в Украине проводились комплексные исследования, направленные на разработку оборудования и технологий для производства прецизионной передельной сварной трубной заготовки для изготовления прецизионных труб малых размеров. Несмотря на это, в Украине на данный момент отсутствует соответствующее современное мобильное ресурсосберегающее мини-производство [4].

Анализ исследований. При производстве сварных тонкостенных труб из широкого спектра материалов применяются современные способы сварки: *аргонно-дуговая (АДС), лазерная, микроплазменная и другие* [3].

В работе [4] подробно рассмотрены специфические особенности формовки и сварки тонкостенных труб из различных материалов: из чистой меди; технической меди и латуни; из алюминия и его сплавов; из титановых сплавов; из сплавов на никелевой основе.

Значительных успехов в разработке ресурсосберегающих технологий, производстве специализированного оборудования и собственно промышленном производстве качественных сварных труб из различных материалов, что заслуженно позволило занять лидирующее место в мире, добились ряд зарубежных фирм [3]. Так, фирмой «SMS» (ФРГ) оказывается широкий спектр услуг по планированию и проектированию комплексных установок и технических систем для изготовления сварных труб, строительству под «ключ» современных цехов и мини-заводов. Фирма «Я-ро» (Финляндия) достигла успехов в производстве сварных труб из титана и сплава системы 90Cu-10Ni. Фирма «Keller» (ФРГ) известна как разработчик и изготовитель высокопроизводительных трубосварочных агрегатов непрерывного типа с лазерной сваркой в среде аргона для производства труб размерами 17-114 x 1,0-4,0 мм. Фирма «W.F. Oppermann» (ФРГ) занимается разработкой и изготовлением оборудования для производства сварных труб с наружным диаметром от 6 до 273 мм и толщиной стенки от 0,2 до 8,0 мм; применяемые методы сварки: лазерная и др.; применение линии светлого отжига, интегрированного редуцирования и волочения сварных труб [3]. Этой же фирмой запатентована линия производства холоднодеформированных прецизионных труб максимальным диаметром 60 мм по сквозной технологии по схеме «расплав – непрерывная отливка слябов – прокатка полосы – раскрой полосы по ширине – формовка полосы в трубы – сварка труб – холодная деформация». Фирма «MAS Seuthe GmbH» (ФРГ) [3] изготавливает специализированные линии для производства сварных труб размерами 10-16x0,5-1,2 мм и длиной 3-7 м по схеме «разделка полосы - фор-

мовка - сварка- редуцирование-отделка» с последующим наматыванием холоднодеформированных труб малого диаметра (4,76-6,0 мм) на барабаны.

В России ведутся работы по проектированию и изготовлению трубосварочных станков, разработке и освоению современных ресурсосберегающих технологий по изготовлению сварных труб. Значительных успехов достигли: ОАО «Институт Гипроцветметобработка», ОАО «ВНИИМетМаш, ОАО «ВИЛС» и др. Так, ОАО «Институт Гипроцветметобработка» спроектированы и изготовлены станы модели АДТС 8-25-1, на которых производят длинномерные тонкостенные трубы в бунтах из меди и латуни, а также стан ТЭСА 15-50 для сварки ТВЧ латунных труб диаметром до 50 мм. Институтами ОАО «ВНИИМетМаш» и ОАО «ВИЛС» также разработаны новые технологии сварки ТВЧ алюминиевых труб.

В Украине разработкой технологии и оборудования для изготовления сварных труб занимаются Институт электросварки им. Е.О.Патона НАНУ и другие организации.

Развитие лазерной сварки труб получило в странах Западной Европы, в Японии, США и других развитых странах [3]. Например, в ядерной энергетике США и Великобритании успешно применяют лазерную сварку реакторных элементов из коррозионностойких сталей, а в Японии и Германии лазерную сварку применяют при сварке труб из нержавеющей сталей ферритного класса.

В России и Украине проводились целевые работы по внедрению лазерной сварки при производстве труб [3, 4]. В работе [4] отмечается, что основные исследования были проведены в лабораторных и производственных условиях Украины - Государственное предприятие «Научно-исследовательский трубный институт» (ГП «НИТИ»), ОАО «Новомосковский трубный завод»; России - Научно-исследовательский центр «Технологические лазеры» РАН, ОАО «Московский трубный завод» (ныне - ОАО «ФИЛИТ»).

В Украине исследования проводились: в ГП «НИТИ» - с использованием лазера УЛГ 2,01 (мощность 2кВт) и стана типоразмером «6-15», а также с использованием твердотельного лазера ЛТН с опытным станом по производству сварных труб размером 3x0,25мм из коррозионностойких сталей; в условиях ОАО «Новомосковский трубный завод» на ТЭСА 20-76 были проведены опыты по лазерной сварке труб из стали 12X18H10T с использованием лазерной установки ЛТ 1-Б.

В России с 1990 г. в условиях ОАО «ФИЛИТ» применяют лазерную сварку труб размером 38x1,5 мм из стали марки 08X18H10T на ТЭСА «20-76».

Неисследованные вопросы. В настоящее время, несмотря на накопленный мировой опыт по производству сварных труб из чёрных и цветных металлов, усилия разработчиков многих фирм и предприятий направлены на создание новых и совершенствование существующих технологий и оборудования по производству прецизионных сварных труб.

Цель. На решение существующих в Украине проблем направлены исследования, результаты некоторых из них приведены в данной статье. Целью проводимых экспериментов в лабораторных и промышленных условиях являлось определение требований к заготовке, полученной различными способами сварки, выбор наиболее оптимального способа сварки для конкретного материала и сортамента изготавливаемых труб.

Результаты исследований. В условиях ГП «НИТИ» проводились исследования по изучению влияния способа сварки, формы и структуры шва, способа деформации (прокатка, оправочное и безопрочноное волочение) на точность, качество и равномерность свойств по сечению готовой трубы, а также оценка технико-экономических параметров разных способов получения труб малых размеров [4]. При этом изготавливали прецизионные трубы из заготовки полученной: АДС (на стане «АДСТ 6-30» ОАО «ФИЛИТ» получены трубы размерами 10x1,0 и 10x1,2 мм, длиной до 40 м), *микроплазменной сваркой* (на стане «6-10» ГП «НИТИ» получены трубы размерами 8,0 x 1,0-1,2 мм и длиной до 30 м), *лазерной сваркой* (на стане «6-15» ГП «НИТИ», а также на опытном стане изготовили трубы размером 3 x 0,25 мм из коррозионностойкой стали). Использовали также сварные трубы-заготовки, полученные: АДС из меди М1, латуни Л63, коррозионностойких сталей аустенитного класса; *микроплазменной и лазерной сваркой* из стали 12Х18Н10Т; *сваркой ТВЧ* из алюминиевого сплава АД1. Проведен комплексный сравнительный анализ: формы, макро- и микроструктуры шва сварных труб из стали 12Х18Н10Т, полученных тремя видами сварки: АДС (размером 12,0 x 1,0 мм), микроплазменной (размером 12,0 x 1,0 и 8,0 x 0,4 мм) и лазерной (размером 8,0 x 0,4 и 3,0 x 0,25 мм), а также их изменение при деформировании труб с радиальным обжатием стенки и при безопрочноном волочении.

С использованием этих заготовок были изготовлены трубы размером 1,5 x 0,3 мм, которые имели более высокую точность по толщине стенки (почти в 2 раза) по сравнению с трубами, *изготовленными* из бесшовной заготовки. Трубы размером 12,0 x 1,0 мм подвергали прокатке (суммарный коэффициент вытяжки $\mu = 3 - 4$), волочению на подвижной оправке ($\mu = 2 - 2,5$) и без оправки ($\mu = 1,2 - 1,5$).

Трубы размером 8,0 x 0,4 мм подвергали волочению на оправке ($\mu = 2 - 2,5$) и без оправки ($\mu = 1,2 - 1,5$). Трубы размером 3,0 x 0,25 мм подвергали только волочению без оправки ($\mu = 1,3 - 1,5$).

От труб-заготовок и от передельных труб после каждого цикла деформации отбирали образцы для контроля: геометрических размеров по сечению трубы; чистоты наружной и внутренней поверхностей; макро- и микроструктуры металла в поперечном сечении трубы. Как показали исследования труб-заготовок, полученных различными способами сварки, макроструктура шва плотная, без пор и раковин; на наружной поверхности труб грат отсутствует. Форма и высота грата на внутренней поверхности труб существенно зависит от способа сварки. На трубах, полученных лазерной сваркой, шов узкий и грат отсутствует. Трубы после микроплазменной сварки имеют большую ширину шва и высоту грата. Наибольшая высота грата и ширина шва наблюдается на трубах, полученных АДС. Соотношение высоты грата после лазерной, микроплазменной и АДС сварок соответственно составляет 1:1,5:2,8. Также были проведены опыты по изготовлению длиномерных (до 50 м) капиллярных труб из стали 12X18H10T с использованием сварной заготовки, полученной методами АДС и микроплазменной сварки. Сразу выявились преимущества лазерной сварки при получении тонкостенных трубных заготовок. Сравнительный анализ показал, что наилучшие показатели качества (чистота поверхности, ширина шва, форма грата) имеют трубы, полученные лазерной сваркой.

Полученные готовые трубы размером 1,5 x 0,3 мм из сварной трубной заготовки, полученной различными способами сварки, были подвергнуты комплексному контролю. Результаты контроля показали, что точность геометрических размеров труб, полученных из разных заготовок практически не отличается (разностенность в пределах 0,03 мм), но в 2 раза ниже по сравнению с требованиями ГОСТ 14262-85. Применение сварной заготовки позволяет сократить расходный коэффициент металла с 5,5 до 2,1, снизить при этом трудоемкость и цикличность в 5–8 раз.

На основании проведенных исследований разработана концепция [2] организации мини-производств по изготовлению сварных прецизионных товарных и передельных труб унифицированных размеров [5] из черных и цветных металлов с применением современных способов сварки. Реализацию новой концепции необходимо осуществлять комплексно по нескольким направлениям.

Первым направлением является создание оборудования для получения прецизионных сварных труб унифицированных размеров.

Вторым направлением является создание оборудования для холодной деформации сварных труб-заготовок в трубы малых размеров.

Третьим направлением является разработка новых жидких эффективных технологических смазок.

Четвертым направлением является комплексный подход к определению сортамента, технологий и оборудования, позволяющий гибко реагировать на требования рынка, соответственно при минимальных затратах времени на перестройку.

Была также предложена концепция [4] целесообразности применения современных методов сварки, в первую очередь лазерной сварки, при производстве прецизионных тонкостенных труб малых размеров, которая заключается в следующем.

Основопологающим условием при организации производства прецизионных труб малых размеров является разработка и освоение сквозной ресурсосберегающей технологии, основная цель которой - гарантированное обеспечение конкурентоспособности продукции [1]. Это должно достигаться за счет: использования высококачественной исходной заготовки (штрипс, лента); применения надежного и высокопроизводительного, простого в обслуживании ресурсосберегающих оборудования и оснастки. Технологический инструмент (волоки, оправки) для холодного волочения должен обеспечивать необходимую точность труб, а технологические смазки призваны обеспечить высокую чистоту поверхности труб и легко удаляться после деформации не ухудшая экологическую ситуацию.

В качестве первых *базовых* были предложены технологии, учитывающие следующие подходы:

- *геометрические параметры* сварной трубы-заготовки выбираются таким образом, что бы при дальнейшем холодном волочении можно получить готовую трубу с необходимыми точностью, чистотой поверхности и механическими свойствами;

- *исходной заготовкой* для производства сварных труб служит высококачественная лента с расчетными размерами и точностью;

- *изготовление сварной трубы-заготовки* - пластические свойства металла сварного шва должны обеспечивать проведение холодной деформации (волочение или прокатка) без промежуточных отжигов (лазерная сварка), либо волочение или прокатку на оправке для достаточной проработки металла сварного шва при других методах сварки;

- *регламентированные* деформационно-скоростные параметры при волочении, с целью разупрочнения металла и исключения (или

максимального сокращения) промежуточных отжигов, а так же обеспечение высоких механических свойств;

- *применение способов волочения на оправке (подвижной, закрепленной и самоустанавливающейся);*

- *сварные трубы-заготовки в бунтах целесообразно применять диаметром от 20,0 до 2,0 мм и толщиной стенки от 1,0 до 0,1 мм;*

- *для получения необходимой толщины стенки трубы в регламентированном допуске (от +/- 0,005 до +/-0,02 мм) волочением целесообразно применять *безправочное волочение* через несколько волок (2-3) с варьированием деформацией (комбинация с большими и малыми обжатыми) для управления изменением стенки в пределах 5-10% от ее толщины, *волочение на длинной подвижной оправке* для осуществления значительной деформации по толщине стенке ($\mu \leq 4,0$), *волочение на короткой закрепленной оправке* (в т.ч. с использованием усиленных оправок, а также сборных оправок с алмазной составляющей [2,4]) при производстве прецизионных труб с повышенным качеством поверхности и для финишного волочения готовых труб, *волочение на самоустанавливающейся оправке* для бухтового волочения труб из цветных сплавов и коррозионностойких сталей;*

- *разрабатываемое оборудование должно отвечать следующим требованиям: невысокая первичная и восстановительная стоимость оборудования; минимальная энерго- и металлоемкость; минимальное использование энергоносителей (электроэнергия, вода, сжатый воздух, пар); минимальное воздействие на окружающую среду; минимальное время на ремонт и восстановление; простота в обслуживании; многофункциональность; возможность быстрой (мобильной) перенастройки и перехода с одного вида продукции на другой; возможность использования различных видов исходной заготовки.*

Новое мини-производство может быть оснащено следующим оборудованием [4]:

- универсальный линейный волочильный стан, работающий со всеми способами волочения;

- барабанный волочильный стан.

Кроме перечисленного основного технологического оборудования, современный производственный участок комплектуется вспомогательным оборудованием: машина для забивки головок на трубах, печь для светлого отжига (в вакууме или защитной газовой среде), правильная машина, ванны для промывки готовых труб и др.

Перспективные направления исследований. Разработчики ведущих зарубежных фирм идут по пути дальнейшего повышения качества сварного шва труб на основе оснащения трубоэлектросварных станков современными системами контроля качества, такими как ультразвуковые толщиномеры и дефектоскопы, оптикоэлектронные системы определения ширины шва, термоэлектрические системы, радиографический и лазерный контроль.

Выводы

Предложены научно обоснованные и экспериментально подтвержденные концепция организации мини-производства и ресурсосберегающая технология по изготовлению прецизионных труб малых размеров из широкого спектра материалов с использованием прецизионной сварной тонкостенной заготовки, которые отвечают современным мировым требованиям и тенденциям.

ЛИТЕРАТУРА

1. Стасовский Ю.Н. Прецизионные трубы // *Металл и литье Украины.* - 2008. - №1. - С.47-51.
2. Стасовский Ю.Н., Верещагин А.А. Прогрессивные ресурсосберегающие экологически безопасные технологии производства прецизионных труб малых размеров // *Сталь.* - 2000. - №7. - С.51-56.
3. Стасовский Ю.Н. Современный уровень технологии и оборудования производства товарных и передельных сварных труб из цветных металлов и перспектива развития их производства // *Цветные металлы.* - 2001. - №3. - С.68-71.
4. Стасовский Ю.Н. Точная настройка Ресурсосберегающие технологии производства прецизионных труб в условиях мини-производств с использованием сварной заготовки // *Металл Бюллетень. Украина.* - 2007. - №7 (121). - С.96-109.
5. Стасовский Ю.Н. Выбор критериев определения унифицированных размеров трубной заготовки для производства прецизионных труб // *Металлургическая и горнорудная промышленность,* 2000, №8-9, С.351-352.