

ПОВЫШЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ ТРУБОЭЛЕКТРОСВАРОЧНЫХ АГРЕГАТОВ

Гузненков В.Н.

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)», Москва, e-mail: vn_bmstu@mail.ru

Описан технологический процесс производства прямошовных труб из высоколегированных сталей и сплавов на трубоэлектросварочных агрегатах аргонодуговой сварки труб. Показана необходимость дополнительного изучения технологии формовки трубной заготовки, ее напряженно-деформированного состояния в калибре валков опорно-сварочного узла и при выходе из него. Выведена формула расчета допустимой скорости производства труб на трубоэлектросварочных агрегатах с двухвалковой схемой опорно-сварочного узла. Правомерность полученной зависимости подтверждается экспериментальными данными, полученными на трубоэлектросварочных агрегатах аргонодуговой сварки труб «ТЭСА АДС 20-76», «ТЭСА АДС 8-25», «ТЭСА АДС 10-60». Изготавливали прямошовные трубы из стали марок 08X18H10T, 06X28MDT и ХН78Т. В работе показаны пути совершенствования технологического процесса производства труб с целью повышения производительности трубоэлектросварочных агрегатов. Разработана рациональная конструкция опорно-сварочного узла, включающая три пары вертикальных валков и установленные между ними в поворотных кассетах два горизонтальных валка, связанных приводом поворота с датчиком положения стыка кромок трубной заготовки. Первая пара валков обеспечивает обжатие трубной заготовки перед сваркой, вторая – сварочный калибр, третья пара – поддерживающие валки – обеспечивает удлиненную зону стабильной кристаллизации сварного шва. Промышленные испытания опорно-сварочного узла такой конструкции на «ТЭСА АДС 10-60» показали возможность усовершенствования технологии изготовления на повышенных скоростях труб из высоколегированных сталей и сплавов в соответствии с расчетами по указанной методике.

Ключевые слова: прямошовные трубы, трубоэлектросварочный агрегат, опорно-сварочный узел, скорость производства труб

INCREASING PRODUCTIVITY ELECTRIC-WELDED AGGREGATES

Guznenkov V.N.

Bauman Moscow State Technical University, Moscow, e-mail: vn_bmstu@mail.ru

The technological process for the production of longitudinally welded pipes of high-alloy steels and alloys at electric-welded aggregate of argon-arc welding of pipes is described. The necessity of additional study of the technology of forming a pipe billet, its stressed-deformed state in the caliber of the rolls of the support-welding aggregate and at its exit from it is shown. A formula is derived for calculating the permissible speed of pipe production at electric-welded pipe aggregate with a two-roll scheme of a support-welding aggregate. The validity of the obtained dependence is confirmed by experimental data obtained at the electric-welded pipe aggregate of argon-arc welding of pipes «TESA ADS 20-76», «TESA ADS 8-25», «TESA ADS 10-60». Produced longitudinally welded pipes of steel grades 08X18H10T, 06H28MDT and ХН78Т. The paper shows the ways of improving the technological process for the production of pipes in order to increase the productivity of electric-welded pipe aggregate. A rational design of a support-welding aggregate is developed, which includes three pairs of vertical rolls and two horizontal rolls installed between them in the rotary cassettes, connected by a rotation drive with a position sensor for the joint of the edges of the pipe billet. The first pair of rolls ensures the reduction of the tube perform before welding, the second – the welding caliber, the third pair – the supporting rolls – provides an elongated zone of stable crystallization of the welded seam. Industrial tests of a support-welding aggregate of this design on «TESA ADS 10-60» showed the possibility of improving the production technology at higher speeds of pipes from high-alloy steels and alloys in accordance with calculations by this method.

Keywords: longitudinally welded pipes, electric-welded pipe aggregate, support-welding aggregate, speed of pipe production

Объемы производства стальных труб ежегодно возрастают. При этом в наиболее развитых странах доля производства сварных труб составляет около 60% от всего сортамента труб и держится на стабильном уровне. Это объясняется технико-экономическими преимуществами сварных труб. Так доля расходов по переделу при изготовлении электросварных труб в 2–3 раза меньше, чем при изготовлении бесшовных.

Прямошовные трубы из высоколегированных сталей и сплавов изготавливают сваркой в среде защитных газов. Такие тру-

бы обладают хорошими эксплуатационными свойствами, высокой геометрической точностью по диаметру и толщине стенки, хорошим качеством наружной и внутренней поверхности. Широкий сортамент электросварных труб, современные достижения в совершенствовании технологии производства позволяют изготавливать их близкими по качеству к бесшовным трубам [1].

Прямошовные трубы из высоколегированных сталей и сплавов изготавливают на трубоэлектросварочных агрегатах аргонодуговой сварки труб (ТЭСА АДС). Заготов-

кой является полоса или лента. Формовка полосы в трубную заготовку осуществляется в калибрах формовочных клеток. Сварка трубной заготовки в трубу происходит в опорно-сварочном узле. При изготовлении труб диаметром от 8 до 102 мм аргонодуговой сваркой наибольшее распространение получили двухвалковые опорно-сварочные узлы с вертикальными консольными валками. За опорно-сварочным узлом располагаются калибровочные клетки, в которых обеспечивается качество и геометрическая точность готовой трубы. Для обеспечения непрерывности работы ТЭСА АДС перед группой формовочных клеток расположены накопитель ленты и стыкосварочная машина. В накопителе создается запас ленты-заготовки, а на стыкосварочной машине сваривается задний конец рулона ленты с передним концом нового рулона. Пока происходит этот технологический процесс, непрерывная работа ТЭСА АДС осуществляется за счет запаса ленты-заготовки в ленточном накопителе. После калибровочных клеток установлены летучие пилы, которые осуществляют порезку труб на заданную длину [2].

Значительный вклад в развитие теории и практики производства электросварных труб внесли работы известных ученых: А.Г. Колесникова и О.В. Соколовой (технология и оборудование трубного производства) [3, 4], А.П. Коликова и В.Я. Осадчего (трубосварочное оборудование) [5, 6], А.П. Молчанова и В.И. Пунина (конструкции опорно-сварочных узлов) [7, 8]. Однако при попытках увеличения производительности ТЭСА АДС возникают трудности, обусловленные недостаточной изученностью некоторых вопросов технологии процесса формовки и сварки трубной заготовки, ее напряженно-деформированного состояния в калибре валков опорно-сварочного узла и при выходе из него [9, 10]. Необходимо дополнить теоретические представления и экспериментальные исследования этих процессов, что позволит создать оптимальную конструкцию оборудования и технологию для производства труб на повышенных скоростях.

В ТЭСА АДС при увеличении скорости металл шва не успевает полностью закристаллизоваться до выхода из зоны влияния валков опорно-сварочного узла, а действие тангенциальных растягивающих напряжений упругого пружинения в кромках трубной заготовки приводит к образованию горячих трещин – нарушению сплошности сварного шва. Трещины являются недопустимым дефектом, так как являются возможной причиной разрыва сварного шва,

хрупкого усталостного или коррозионного разрушения трубы [11, 12].

Существующие методики исследования процесса производства труб из высоколегированных сталей и сплавов недостаточно полно отражают изменения таких параметров, как наклеп материала заготовки в процессе его деформации в формовочных клетях, относительную толстостенность трубной заготовки и увеличение предела прочности расплавленного металла сварного шва по мере его кристаллизации.

В связи с этим в работе решались следующие задачи:

1. Исследовать наклеп материала трубной заготовки в результате деформации в клетях формовочного стана.

2. Исследовать процесс упругой деформации (пружинения) трубной заготовки при выходе из калибров валков формовочных клеток.

3. Определить напряженно-деформированное состояние трубной заготовки в калибре валков опорно-сварочного узла и при выходе из него.

4. Разработать и исследовать конструкцию опорно-сварочного узла с удлиненной зоной стабильной кристаллизации сварного шва.

Заготовкой для производства прямошовных сварных труб является полоса. В трубоформовочном стане (рис. 1), проходя между калиброванными валками горизонтальных и вертикальных клеток, полоса подвергается постепенному изгибу до цилиндрической трубной заготовки. Формоизменение полосы происходит в очаге деформации, который характеризуется непрерывным изменением радиуса кривизны заготовки (угла формовки). В очаге деформации полоса подвергается упругопластическому изгибу, при этом угол формовки монотонно увеличивается, а радиус кривизны уменьшается. При выходе из калибра валков, под действием внутренних напряжений, полоса упруго деформируется (разгибается). При этом угол формовки уменьшается, а радиус кривизны увеличивается. Упругая деформация характеризуется изменением радиуса нейтральной линии трубной заготовки и углом пружинения (определяется как разница между углом формовки, обеспечиваемым калибрами формирующих валков, и углом по окончании процесса пружинения).

В соответствии с поставленными задачами на опытном ТЭСА АДС «20-76» исследовались деформации в процессе формовки трубных заготовок. Исследованию подвергались трубные заготовки из стали 08X18H10T. После пропуска полосы через все настроенные клетки формовочного стана разводились валки, и заготовка с ха-

рактерным видом всего очага деформации извлекалась из формовочного стана. Были вырезаны участки заготовок с различными степенями деформации, соответствующие каждой клетки. При этом замерялись радиусы формовки, расстояния между кромками, углы и радиусы упругой деформации (пружинения), определялись деформации изгиба. Проводились механические испытания продольных образцов, вырезанных из трубной заготовки для определения изменения твердости и предела прочности материала заготовки в процессе ее деформации. Полученные данные использовались для определения модуля упругости.

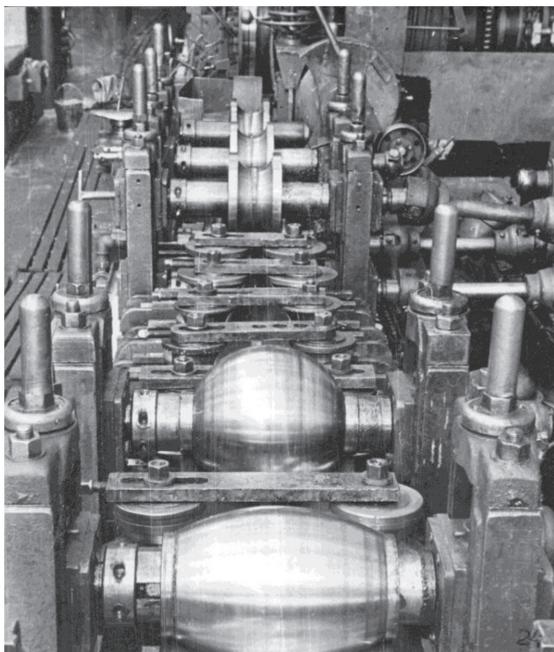


Рис. 1. Трубоформовочный стан ТЭСА АДС

Для определения напряженно-деформированного состояния трубной заготовки принимаем следующие допущения при установленном процессе формовки (трубная заготовка находится одновременно во всех клетях трубоэлектросварочного агрегата):

- влияние переднего и заднего концов полосы на очаг деформации несущественно;
- влиянием натяжения при формовке пренебрегаем;
- нейтральная поверхность изгиба геометрически совпадает с серединной поверхностью (рассматривается формовка труб с относительным радиусом кривизны больше 5);
- влияние сил трения несущественно, так как упругая деформация полосы протекает вне области контакта с валками;
- продольный изгиб ленты отсутствует.

Анализ напряженно-деформированного состояния трубной заготовки при выходе из калибра валков опорно-сварочного узла показал, что существует зона, в которой действие сжимающих напряжений на заготовку со стороны валков количественно превышает напряжения разгрузки.

Для определения допустимых скоростных режимов изготовления сварных труб необходимо учитывать увеличение предела прочности расплавленного металла сварного шва по мере его кристаллизации.

Таким образом, условие, при котором возможна сварка труб без разрывов сварного шва, выражается следующим неравенством:

$$|\sigma_{вр}| \geq |\sigma_p| - |\sigma_c|,$$

где $\sigma_{вр}$ – текущий предел прочности металла сварного шва по мере его кристаллизации; σ_p – напряжения разгрузки трубной заготовки; σ_c – сжимающие напряжения в трубной заготовке от воздействия валков опорно-сварочного узла.

Температурный интервал, в котором невозможно появление горячих трещин, можно определить на основе сравнительного анализа экспериментальных данных для исследуемой стали.

Принимая, что после сварки расплавленный металл сварного шва охлаждается главным образом за счет излучения, из условия

$$|\sigma_{вр}| > |\sigma_p|$$

с учетом закона Стефана – Больцмана, определяется время, необходимое для того, чтобы металл сварного шва достаточно застыл.

Длина зоны преобладающего действия сжимающих напряжений в кромках трубной заготовки над растягивающими (зона стабильной кристаллизации сварного шва) зависит в первую очередь от конструкции опорно-сварочного узла.

Скорость производства труб на ТЭСА АДС с двухвалковой схемой опорно-сварочного узла может быть рассчитана по формуле [13]:

$$V = \frac{6 \times 10^{-6} \times \sigma_{0,02} \times l \times B \times K \times C}{c \times \gamma \times S \left(\frac{1}{T^3} - \frac{1}{T_{II}^3} \right)},$$

где $\sigma_{0,02}$ – предел упругости материала трубной заготовки;

l – длина зоны контакта трубной заготовки со сварочными валками;

B – коэффициент, учитывающий смещение равнодействующей эпюры нормальных напряжений при движении трубной заготовки; C – коэффициент теплового излучения металла сварного шва;

c – средняя теплоемкость металла сварного шва;
 γ – плотность металла участка сварного шва;
 S – толщина полосы (толщина стенки трубной заготовки);

T – температура, ниже которой при данных условиях не возникают горячие трещины;

T_{II} – температура плавления металла трубной заготовки;

K – коэффициент формы:

$$K = \frac{1}{2} \times \frac{R+r}{R-r} \times \ln \frac{R}{r} - 1,$$

где R и r – соответственно наружный и внутренний радиусы трубной заготовки.

Правомерность полученной формулы подтверждается экспериментальными данными, полученными на трубоэлектросварочных агрегатах аргодуговой сварки труб «ТЭСА АДС 20-76», «ТЭСА АДС 8-25», «ТЭСА АДС 10-60» при производстве прямошовных труб из стали марок 08X18H10T, 06X28MДТ и ХН78Т.

Полученную зависимость возможно использовать при определении допустимых скоростей производства прямошовных труб различного сортамента из высоколегированных и других марок сталей и сплавов аргодуговой, плазменной, лазерной, многоэлектродной и другими способами сварки [14].

Анализ результатов проведенных исследований показывает, что для интенсификации процесса производства труб необходимо усовершенствование калибровки валков трубоформовочного стана и создание рациональной конструкции опорно-сварочного узла, т.е. необходимо снизить напряжения разгрузки трубной заготовки и увеличить зону сжимающих напряжений в калибре опорно-сварочного узла.

Для удлинения зоны стабильной кристаллизации сварного шва необходимо, во-первых, увеличить катающий диаметр валков опорно-сварочного узла, во-вторых, установить дополнительные (поддерживающие) валки. Условием правильного расположения дополнительных валков является требование, чтобы суммарные сжимающие напряжения от воздействия рабочего инструмента были не меньше растягивающих во всей зоне стабильной кристаллизации сварного шва, т.е. должно сохраняться условие $|\sigma_c| \geq |\sigma_p|$ на участке между сварочными и дополнительными валками. Таким образом расстояние между осями сварочных и дополнительных валков должно быть равно

$$L_B = \frac{10^2 \times \sigma_{0,02} \times K}{\sigma_p} (l \times B + l^n),$$

где l^n – длина зоны контакта трубной заготовки с дополнительными валками.

В результате работы разработана рациональная конструкция опорно-сварочного узла (рис. 2), включающая три пары вертикальных валков и установленные между ними в поворотных кассетах два горизонтальных валка, связанных приводом поворота с датчиком положения стыка кромок трубной заготовки [15]. Первая пара валков обеспечивает обжатие трубной заготовки перед сваркой, вторая – сварочный калибр, третья пара – поддерживающие валки – обеспечивает удлиненную зону стабильной кристаллизации сварного шва.

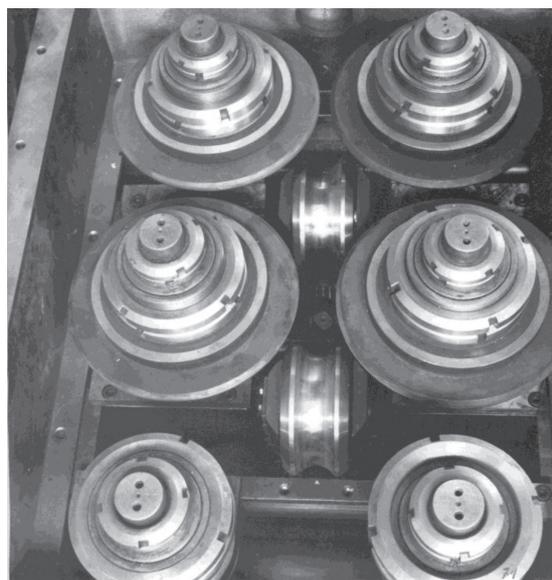


Рис. 2. Внешний вид опорно-сварочного узла ТЭСА АДС

Промышленные испытания опорно-сварочного узла такой конструкции на «ТЭСА АДС 10-60» показали возможность усовершенствования технологии изготовления на повышенных скоростях труб из высоколегированных сталей и сплавов в соответствии с расчетами по указанной методике.

Список литературы

1. Калинин О.И. Российская трубная промышленность: достижения, вызовы и перспективы / О.И. Калинин, П.В. Родин, В.Я. Осадчий // *Металлург.* – 2014. – № 2. – С. 4–10.
2. Трубное производство / Б.А. Романцев, А.В. Гончарук, Н.М. Вавилкин, С.В. Самусев. – М.: Изд-во НИТУ МИСиС, 2011. – 970 с.
3. Колесников А.Г. Технологическое оборудование прокатного производства / А.Г. Колесников, Р.А. Яковлев, А.А. Мальцев. – М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. – 158 с.
4. Соколова О.В. Анализ калибровки валкового инструмента при непрерывной валковой формовке труб / О.В. Соколова, А.Е. Лепестов, Д.Н. Новокшенов // *Производство проката.* – 2016. – № 5. – С. 25–27.

5. Shinkin V.N., Kolikov A.P. Simulation of the shaping of blanks for large-diameter pipe. *Steel in Translation*. – 2011. – Т. 41, № 1. – С. 61–66.
6. Применение сварки токами высокой частоты при производстве труб малого диаметра из коррозионностойких марок сталей / С.А. Кулютин, В.Я. Осадчий, В.Д. Дмитриев, С.А. Субботин // *Производство проката*. – 2015. – № 11. – С. 32–35.
7. Guznenkov V.N., Krichevskij E.M., Lamin A.B., Molchanov A.P., Poklonov G.G. Effect of strip steel spring-back on electric-weld tube quality. *Steel in Translation*. – 1994. – № 3. – С. 53–54.
8. Пунин В.И. Особенности формовки трубной заготовки из коррозионностойкой стали / В.И. Пунин // *Технология металлов*. – 2014. – № 11. – С. 14–19.
9. Poklonov G.G., Guznenkov V.N., Krichevskij E.M. Improvement of roll pass design in tube-welding machine. *Steel in Translation*. – 1995. – № 7. – С. 51–52.
10. Guznenkov V.N., Dozortsev Y.K., Krichevskij E.M., Lamin A.B., Molchanov A.P., Poklonov G.G. Improvement of argon arc tube welding. *Steel in Translation*. – 1994. – № 5. – С. 60–62.
11. Шинкин В.Н. Критерий разрушения труб большого диаметра при несплавлении сварного соединения и внутреннем давлении / В.Н. Шинкин, А.П. Коликов, В.И. Мокроусов // *Производство проката*. – 2012. – № 2. – С. 14–16.
12. Соколова О.В. Развитие технологии производства сварных труб большого диаметра в отечественной металлургии / О.В. Соколова, Д.С. Черепанов // *Производство проката*. – 2015. – № 4. – С. 17–20.
13. Гузненков В.Н. Определение скорости производства прямошовных труб из высоколегированных сталей / В.Н. Гузненков // *Альманах современной науки и образования*. – 2017. – № 3(117). – С. 27–29.
14. Родин П.В. Новые технологии при производстве сварных коррозионностойких труб малого диаметра / П.В. Родин, В.Я. Осадчий, В.Д. Дмитриев // *Производство проката*. – 2015. – № 12. – С. 14–18.
15. Патент 2041753 РФ, МКИ В 21 С 37/08 // В 23 К 101:06. Способ изготовления сварных труб / Молчанов А.П., Бобылев Ю.Н., Кричевский Е.М. [и др.]. – № 5043850/08; Заявл. 22.04.92; Оpubл. 20.08.95, Бюл. № 18. – 3 с.