

# ВЛИЯНИЕ ТЕРМООБРАБОТКИ ТОКАМИ ВЫСОКОЙ ЧАСТОТЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА ГОФРИРОВАННЫХ НЕРЖАВЕЮЩИХ ТРУБ

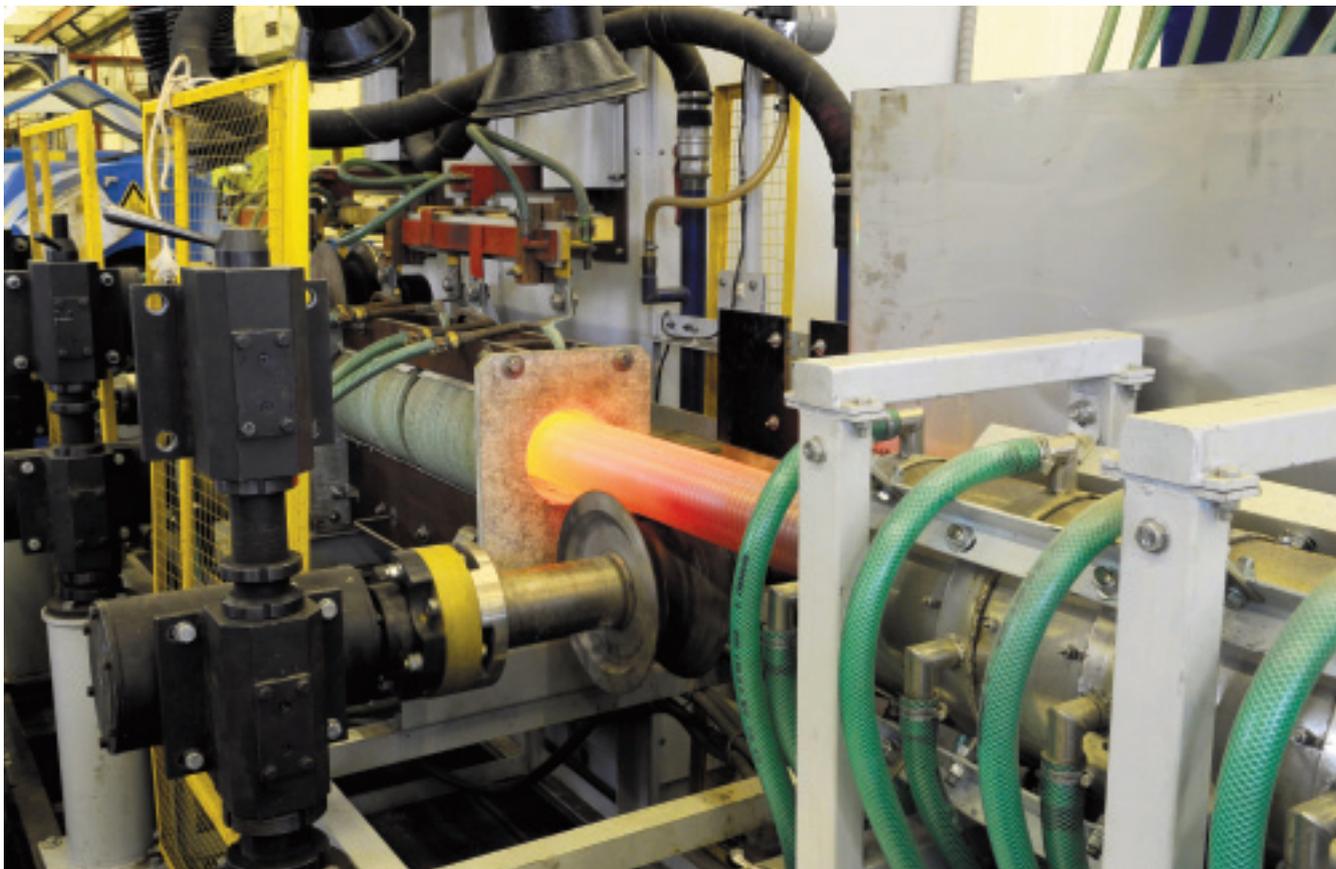
Ольга Кроткова

Группа ПОЛИМЕРТЕПЛО

В настоящее время в сетях горячего водоснабжения и отопления нашли широкое применение трубы КАСАФЛЕКС из хромоникелевой нержавеющей стали 1,4301. Трубы эксплуатируются при температуре теплоносителя до 135°C и давлении до 25 МПа. Высокое содержание хрома (до 19,5%) и достаточное содержа-

ние никеля (до 10,5%) обеспечивают химическую устойчивость стали по отношению к сухому и влажному воздуху, разбавленным растворам солей, слабым кислот и щелочей, а также достаточную прочность, деформируемость в холодном состоянии и свариваемость. Низкое содержание углерода в стали (<0,04%)

Рис. 1. Общий вид установки индукционного нагрева для термообработки гофрированной трубы КАСАФЛЕКС.



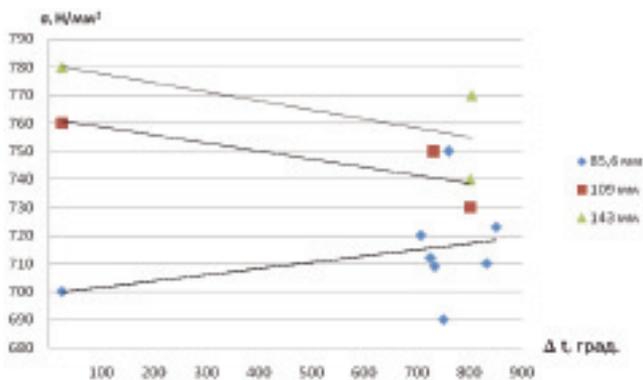


Рис. 2. Влияние температуры термообработки на временное сопротивление образцов труб диаметром 85,6, 109 и 143 мм

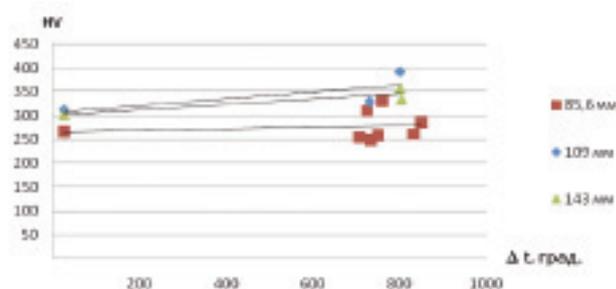


Рис. 3. Влияние температуры термообработки на твердость образцов по Виккерсу

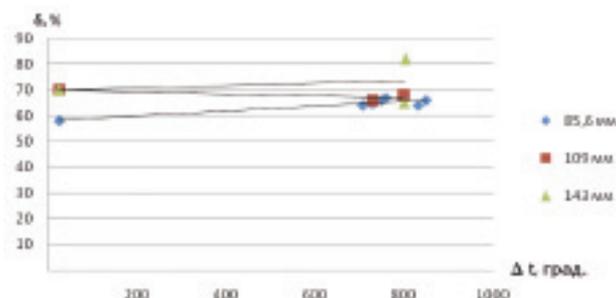


Рис. 4. Зависимость коэффициента относительного удлинения образцов от температуры термообработки

исключает ее восприимчивость к межкристаллитной и питтинговой коррозии.

Одним из самых больших преимуществ этих труб является их гибкость при сохранении прочности и термостойкости. Гибкость обеспечивается гофрированием исходной гладкой стальной трубы методом холодного формования. При нанесении гофра на напорную трубу, являющуюся несущим элементом труб КАСАФЛЕКС, возможно изменение структуры стали: дополнительно к аустениту могут появляться фазы феррита и мартенсита. Но наиболее существенным моментом пластической деформации при гофрировании является появление растягивающих и сжимающих напряжений, которые сохраняются в металле труб после прекращения воздействий.

Поскольку используемый в трубах КАСАФЛЕКС теплоноситель при определенных условиях может действовать как коррозионно-активная среда (в частности, в открытых системах теплоснабжения), создающая опасность межкристаллитной коррозии или коррозионного растрескивания под напряжением (КРН), необходимо снизить уровень остаточных напряжений в металле.

Для их устранения гофрированную трубу целесообразно подвергнуть термообработке (отжигу). Поскольку для достижения наибольшей стойкости стали против межкристаллитной коррозии (МКК) следует стремиться к сокращению продолжительности нагрева и необходимо исключить диапазон провоцирующих МКК температур, решено было использовать технологию индукционной термообработки труб токами высокой частоты.

Основными параметрами режима отжига являются температура и скорость нагрева, время выдержки в нагретом состоянии, скорость охлаждения. Примененный для термообработки сквозной индукционный нагрев, генерируя тепловую энергию непосредственно в толщу металла, обеспечивает высокую скорость нагрева, равномерный прогрев по длине трубы и по высоте гофра. При этом отсутствуют напряжения в металле, вызванные температурными перепадами. При малом времени выдержки сохраняется фазовая однородность стали, не происходит роста зерна аустенита.

В процессе термообработки улучшаются коррозионные свойства стали, ее механические свойства также изменяются.

В настоящей работе исследовано изменение механических свойств гибких стальных нержавеющей труб в результате их термообработки после гофрирования. Испытания проводились совместно с ЦНИИчермет им. И.П. Бардина.

## Методика проведения испытаний

Для испытаний были взяты образцы стенок гофрированных стальных труб диаметров 85,6 мм, 109 мм и 143 мм из стали марки 1.4301. Перед отбором образцов трубы подвергались двухступенчатой термообработке. Внутренняя поверхность трубы во время нагрева защищалась от окалинообразования атмосферой аргона.

Испытания на растяжение проводились согласно ГОСТ 10006-80 с применением универсальной испытательной машины FPZ 100. Твердость по Виккерсу измерялась твердомером «Виккерс» по ГОСТ 2999-75.

## Результаты испытаний

На рис. 2 представлены результаты измерений временного сопротивления образцов труб диаметром 85,6, 109, 143 мм с толщиной стенки 0,6, 0,8, 0,9 мм соответственно. Как можно видеть из диаграммы, исходные образцы труб, не прошедших термообработку, имеют значения временного сопротивления от 700 до 780 Н/мм<sup>2</sup>. В результате термообработки у двух образцов большего диаметра временное сопро-

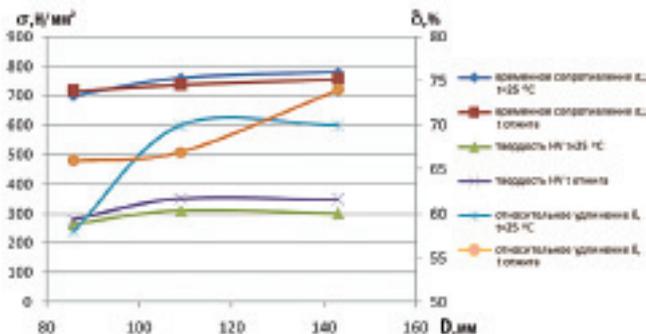


Рис. 5. Изменение механических свойств в зависимости от диаметра образца

тивление снижается на 2,7–3%. Для образца диаметром 85,6 мм этот показатель возрастает на 1,1%. И в том, и в другом случае значение величины временного сопротивления после термообработки лежит далеко от нижней границы стандарта в нормируемых по EN 10088-2:2005 для стали этой марки пределах ( $\delta = 540-750 \text{ Н/мм}^2$ ).

Изменение твердости по Виккерсу образцов труб, прошедших термообработку, показано на рис. 2. Твердость всех образцов повышается линейно в зависимости от диаметра на 5,2–13,2%. Это может быть связано с явлением наклепа, возникающего при действии эксцентрика на трубу во время ее гофрирования.

В то же время нагрев образцов трубы диаметром 85,6 и 143 мм до заданных температур в течение 40–60 с приводит к небольшому возрастанию коэффициента относительного удлинения (5,7 и 13,8% соответственно). Коэффициент относительного удлинения образца диаметром 109 мм падает на 4,7%. (рис. 3).

Рис. 5 показывает, как изменяются механические свойства образцов различного диаметра. Данные приведены для комнатной температуры и температуры отжига.

**Выводы**

- 1) В результате термообработки механические свойства стальной нержавеющей гофрированной трубы изменяются в незначительной степени и остаются в пределах требований стандарта к стали марки 1,4301.
- 2) Временное сопротивление образцов диаметром 109 и 143 мм понижается на 2,7–3,0%, образца диаметром 85,6 мм возрастает на 1,1%.
- 3) Твердость возрастает на 5,7–13% для всех диаметров труб.
- 4) В целом кратковременный нагрев труб при термообработке не приводит к ухудшению механических свойств труб, одновременно улучшая ее коррозионные свойства.

# Мы несем вам тепло!

## Гибкие теплоизолированные трубы для ГВС и отопления:

- Обеспечивают эффективную подачу горячей воды по тепловым сетям;
- Снижают тепловые потери к минимуму;
- Не подвержены коррозии;
- Поставляются длинномерными отрезками;
- Обеспечивают длительную и безаварийную работу теплообменного оборудования.

**ГРУППА ПОЛИМЕРТЕПЛО**

Россия, 119530, Москва, Ул. Генерала Дорохова, 14  
 Тел.: (495) 745-68-57 Факс: (495) 737-75-67  
[www.polymerteplo.ru](http://www.polymerteplo.ru)