

О ВЛИЯНИИ ДОРНОВЫХ СМАЗОК НА КАЧЕСТВО ПОГИБОВ ТРУБ

Ж. В. Гапиенко (АО «ПО «Севмаш», e-mail: smp@sevmash.ru), Н. В. Розов, В. В. Федоров (АО «ЦТСС»)

УДК 621.774.63:621.89.017

IMPACT OF MANDREL GREASES ON PIPE BENDING QUALITY

J. V. Gapienko (JSC PA "Sevmash"), N. V. Rozov, V. V. Fedorov (JSC SSTC)

Дорновая гибка труб используется для обеспечения качества погибов при отношении $R_{II}/d_T < 0,2 \cdot d_T/s$, где R_{II} – радиус погиба по осевой, d_T – наружный диаметр, s – толщина стенки трубы. Дорн вводится посредством штанги внутрь трубы к месту погиба с целью исключения образования овальности и гофров, а также обеспечения равномерности вытяжки стенки затылочной части погиба в процессе гибки трубы в холодном состоянии. В большинстве случаев относительная овальность не должна превышать $0,08d_T$, а высота складок на внутренней части погибов и прямолинейном участке после погиба – $0,03d_T$. Для особо ответственных трубопроводов (ядерной реакторной установки или работающих на наружное давление) складки на погибах не допускаются. Овальность, складки и утонение стенки изменяют поперечное сечение изогнутого участка трубы, что способствует возникновению концентраторов напряжений от воздействия внутренним или наружным давлением и ускорению коррозионных разрушений труб в процессе эксплуатации.

Форма дорна выбирается согласно стандарту [1] по графику (рис. 1). Также согласно указанному стандарту перед дорновой гибкой труб их внутренняя поверхность должна быть обильно смазана машинным маслом или мыльной эмульсией. При гибке труб из титановых сплавов используется состав, приготовленный из равных массовых частей касторового масла и талька, или мыльная эмульсия. При этом не допускается смазывание мыльной эмульсией труб из титановых сплавов и коррозионно-стойких сталей с электрохимической поверхностью при их гибке с использованием шарнирных дорнов. Указанные требования не пересматривались более 50 лет.

Дорновые смазки необходимы для повышения качества внутренней поверхности трубы (исключения задиров и царапин), предупреждения чрезмерного утонения затылочной части погиба, повышения ресурса дорна и снижения потерь мощности трубогибочного станка на трение. Также дорновые смазки не должны отрицательно влиять на последующие операции обработки (сварку, термическую обработку, гидравли-

ческие испытания и очистку). Кроме того, смазки должны обеспечивать удобство их нанесения, минимизировать возможность загрязнения технологического оборудования и подходить для всех типов материалов труб и дорнов.

С точки зрения экологической безопасности мыльная эмульсия в наибольшей степени отвечает стремлению исключить необходимость сбора и утилизации остатков смазок и химической очистки труб от зажирающих поверхность металла остатков масел и смазок. С точки зрения снижения трения, износа и повышения качества поверхности мыльная эмульсия значительно уступает нефтяным маслам и смазкам и не может быть использована при гибке толстостенных труб из твердых материалов или с малым радиусом погиба. Недостатком состава на основе касторового масла с тальком является его полужидкая консистенция, которая подходит только для нанесения методом пыжевания, что не совсем удобно. К недостаткам жидких смазок (индустриального масла и мыльной эмульсии) также относится то, что для их нанесения необходима специальная технологическая оснастка (наклонная опора и распылитель) и то, что они вытекают из внутренней поверхности трубы и загрязняют технологическое оборудование и рабочие места.

Для дорновой гибки труб необходимы преимущественно водорастворимые, гелеобразные, пастообразные или пластичные смазки, сочетающие экологичность мыльной эмульсии и эффективность нефтяных смазок. По указанной причине за рубежом были разработаны и уже долгое время применяются специализированные смазки для дорновой гибки труб. В последнее время в трубообрабатывающих производ-

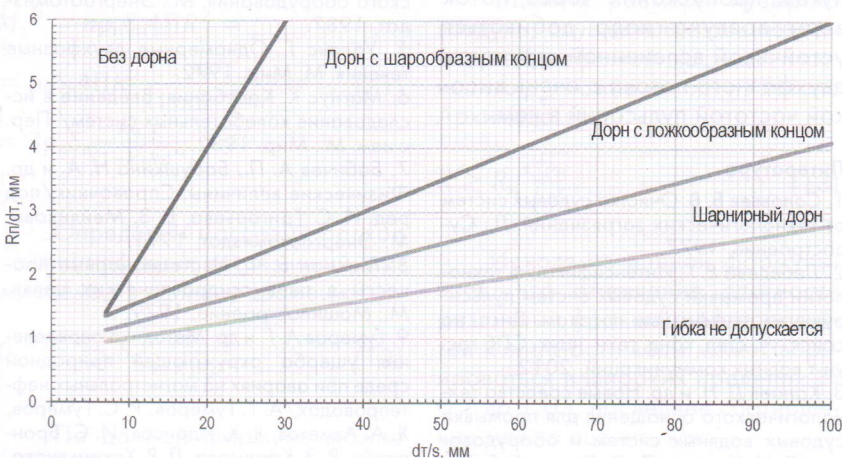


Рис. 1. Области возможной гибки труб с применением различных дорнов

ствах российских судостроительных предприятий (АО «Балтийский завод», ПАО СЗ «Северная верфь», АО «ПСЗ «Янтарь», АО «Адмиралтейские верфи» и др.) также стали внедряться иностранные безмасляные смазки для дорновой гибки труб типа IRMCO GEL 980 000 и IRMCO FLUIDS 980 020 [2], но из-за санкций их поставка в Россию прекратилась.

По запросу АО «ЦТСС» научно-техническим отделом ООО «Смазка.ру» был разработан ряд специализированных смазок для дорновой гибки труб, аналогичных иностранным [3]. Также смазки, пригодные для дорновой гибки труб, предлагают АО «НИИ полимеров», ООО «Альянс ПРО», ООО «ПКФ «РУСМА» и ООО «ЛЛК-Интернешнл».

С целью расширения номенклатуры смазок для дорновой гибки труб, повышения качества погибов, уменьшения износа технологической оснастки и минимизации загрязнений труб и технологического оборудования АО «ЦТСС» по заказу АО «ПО «Севмаш» были проведены экспериментальные исследования 3 смазок, установленных стандартом [1], и 14 современных высокоэффективных смазок (12 отечественных и 2 иностранные), пригодных для дорновой гибки труб:

- индустриальное масло марки И-40А по ГОСТ 20799-2022;
- мыльная эмульсия, приготовленная путём растворения 72 %-го хозяйственного мыла по ГОСТ 30266-2017 в воде с соотношением 100 г мыла на 1 л воды;
- состав, приготовленный из равных массовых частей рафинированного касторового масла по ГОСТ 6757-96 и талька марки ТРПН по ГОСТ 19729-74;

– водорастворимые смазки марок СИНЭРС-МФ, СИНЭРС-В и СИНЭРС-ВМ;

– водорастворимые смазочно-охлаждающие жидкости марок Лабрия GEL D-0 и Лабрия GEL F;

– экспандерное масло «РУСМА ЕР7»;

– смазка Лукойл Полифлекс ЕР 00-160;

– пластичная смазка МС 4613;

– пластичная смазка МС 4115-00/000;

– пластичные смазки ШГС-А, ШГС-Б и ШГС-К;

– гель LUBKA НК-010 (IRMCO 980000) и смазка LUBKA НК-040 (IRMCO 980020).

В процессе исследований были изогнуты 80 образцов труб: трубы по ГОСТ 9941-81 наружным диаметром 42 мм из коррозионно-стойкой стали марки 12Х18Н10Т с толщиной стенки 2 мм и марки 08Х18Н10Т с толщиной стенки 3 мм, а также трубы по ГОСТ 8731-74 наружным диаметром 60 мм из углеродистой стали марки В20 с толщиной стенки 4 и 5 мм. Гибка труб выполнялась на станке для холодной гибки труб методом «наматывания» с дорном модели ТГС-80РД (рис. 2), радиус гибочного диска для трубы 42 мм – 90 мм, для трубы 60 мм – 120 мм; угол погиба – 90°. Смазки наносились на внутреннюю поверхность трубы (распылением, набивкой в торец, пыжеванием) или на дорн (кистью). После гибки и резки труб проводились измере-

ния и расчёт показателей качества погибов согласно [1].

В процессе работы также исследовались влияние смазок на материал трубы и дорна, методы нанесения смазок на внутреннюю поверхность трубы и дорн, методы очистки трубы и дорна от смазок и др.

В результате исследований установлено следующее:

– качество полученных погибов (относительная овальность трубы в месте погиба, утонение стенки на растянутой части погиба, высота складок на внутренней части погиба и глубина повреждений внутренней поверхности труб) соответствуют требованиям стандарта [1]. Таким образом, все смазки, участвовавшие в экспериментальных исследованиях, могут быть использованы при дорновой гибке труб судостроительного сортамента;

– на качество погибов оказывают влияние смазка, ее количество и метод нанесения. В зависимости от типоразмера и материала трубы, типа используемой смазки и метода её нанесения выявлены различные величины овальности (от 1,19 % до 6,67 % d_T), складок (от их отсутствия до почти 3 % d_T) (рис. 3) и утонения стенки (от его отсутствия до 23 % s), а также различные величины глубины повреждений от дорна внутренней поверхности трубы (от их отсутствия до почти предельных значений минусовых отклонений толщины стенки трубы);

– на качество погибов влияют предельные отклонения точности изготовления труб-заготовок по наружному диаметру и толщине стенки. По указанной

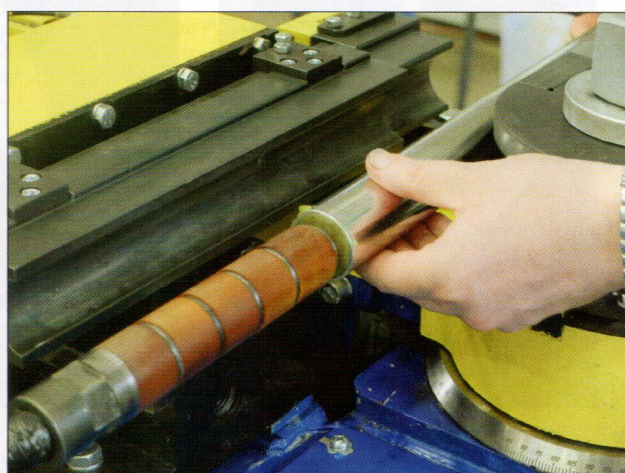
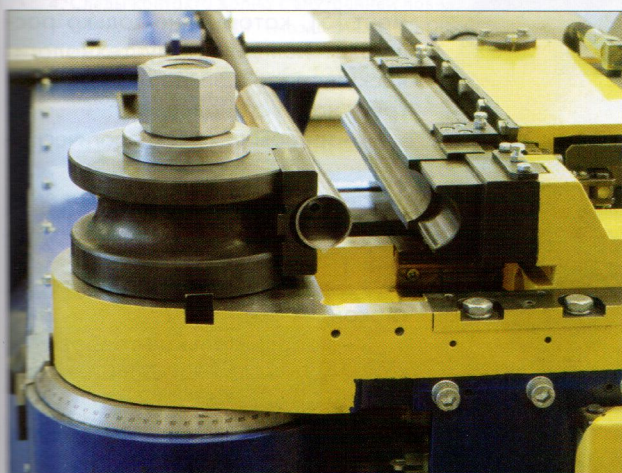


Рис. 2. Гибка образцов труб на станке ТГС-80РД

причине для снижения величины утонения стенки сложных погибов целесообразно отбирать трубы-заготовки с плюсовыми отклонениями по толщине стенки;

- на качество погибов влияет точность установки опережения дорна, значение которого выставляется, как правило, вручную, вследствие чего возможны ошибки. Кроме того, при отсутствии на дорне риски перехода сферической части дорна в цилиндрическую (или установочного шаблона) сделать это точно довольно проблематично;

- на внутренней поверхности прямых участков части изогнутых труб из углеродистой стали после погиба под углом 90° выявлены задиры, вызванные перекосом дорна (см. рис. 4, а, б). Указанное подтвердило необходимость увеличения значения скругления кромки тыльной торцевой поверхности дорна;

- на погибах из углеродистой стали, выполненных с применением мыльной эмульсии, выявлены следы коррозии в виде рыжих пятен (см. рис. 4, в);

- при уменьшении толщины стенки увеличивается площадь контакта дорна с внутренней поверхностью трубы (см. рис. 4, г, д);

- на внутренней поверхности концевой участка растянутой части погиба тонкостенных труб обнаружены прерывистые следы контакта вершины сферической части дорна, вызванные волнистостью внутренней части погиба (см. рис. 4, е);

- при нанесении в торец внутреннего дорна поверхность трубы покрывается излишним слоем смазки (см. рис. 4, ж, з). При нанесении на дорн внутренняя поверхность трубы меньше загрязняется остатками смазки, однако в отдельных местах в зоне контакта дорна с внутренней поверхностью трубы выявлено отсутствие смазки (рис. 4, и);

- водорастворимые смазки, в отличие от нефтяных и минеральных, легко смываются с поверхностей труб и технологического оборудования с помощью теплой или горячей воды и не оказывают отрицательного влияния на последующие операции обработки труб [4];

- на прямолинейном участке после погиба выявлены складки, допускаемое значение высоты которых не установлено стандартом [1]. Между тем их высота в ряде случаев превышала высоту на внутренней части погиба (см. рис. 3);

- наибольший износ шарообразных дорнов возникает в месте перехода их сферической части в цилиндрическую, а также в месте их контакта со складками (рис. 5 и рис. 4, в).

Исследования подтвердили возможность замены обильного смазывания внутренней поверхности трубы на смазывание только поверхности дорна. Нанесенной на поверхность дорна смазки (за исключением жидкой) достаточно для обеспечения качества одного погиба под углом до 95° . Так как большая часть судовых труб имеет только один погиб, то такая возможность позволит значительно снизить расход смазок и сократить время очистки труб в случае применения неводорастворимых смазок.

Также в процессе гибки труб из коррозионно-стойкой стали был испытан дорн из текстолита марки ПТК по ГОСТ 5-78. Исследования подтвердили возможность применения указанной марки текстолита в дополнение к марке ЛТ по ГОСТ 2910-74.

По результатам проведенных исследований разработан документ [5], который не только расширяет номенклатуру технологических смазок для дорновой гибки труб, но и устанавливает:

- требования к технологической оснастке для нанесения смазок;
- дополнительные требования к конструкции дорнов;
- требования к подготовке поверхностей трубы и дорна перед гибкой;
- дополнительные требования к выбору и применению смазок в зависимости от типа материала и радиуса погиба трубы, мощности трубогибочного станка, назначения систем и методов нанесения смазки;

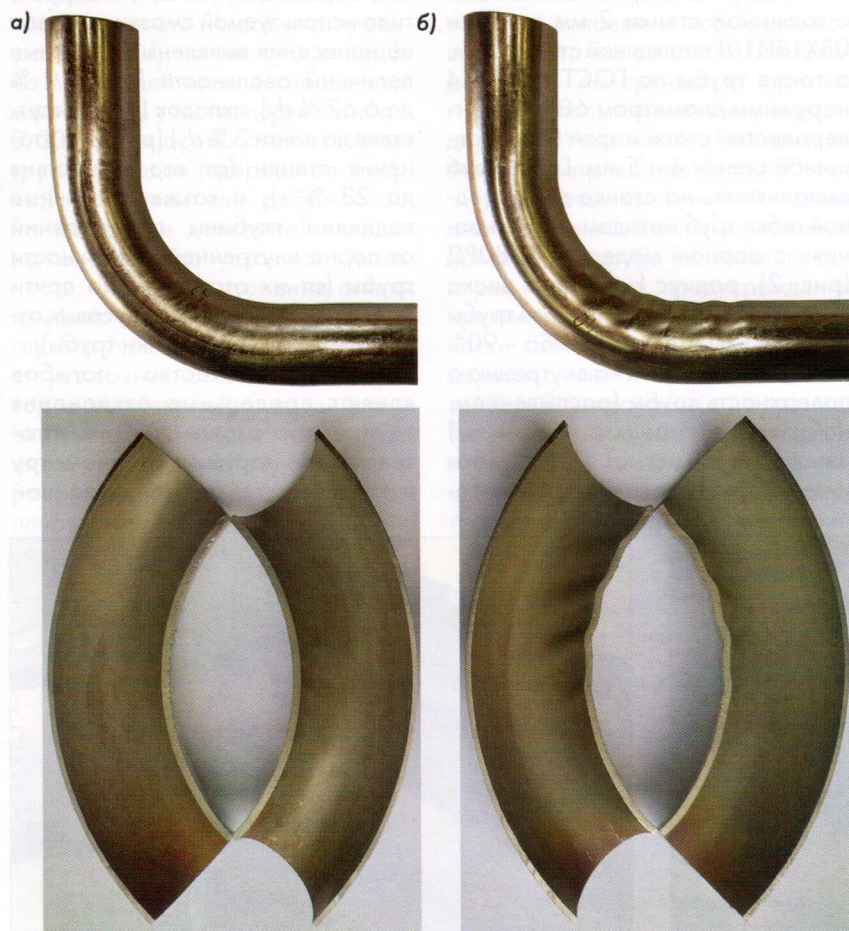


Рис. 3. Влияние смазки на качество погибов труб:

а – погиб трубы 42х2, выполненный с применением смазки МС 4613, нанесённой на дорн; б – погиб трубы 42х2, выполненный с применением касторового масла с тальком, нанесённого методом пыжевания



Рис. 4. Следы контакта дорна с внутренней поверхностью трубы:

а – труба В20 60Ч4, смазка МС 4115-00/000 (набивка); б – труба В20 60Ч5, масло РУСМА ЕР7 (распыление); в – труба В20 60х4, мыльная эмульсия (распыление); г – труба 12Х18Н10Т 42х2, смазка СИНЭРС-ВМ (кисть); д – труба 08Х18Н10Т 42х3, гель LUBKA НК-010 (кисть); е – труба 12Х18Н10Т 42х2, смазка Полифлекс ЕР 00-160 (набивка); ж – труба В20 60Ч4, смазка МС 4115-00/000 (набивка); з – труба В20 60х4, смазка СИНЭРС-МФ (набивка); и – труба В20 60х5, смазка LUBKA НК-040 (кисть)

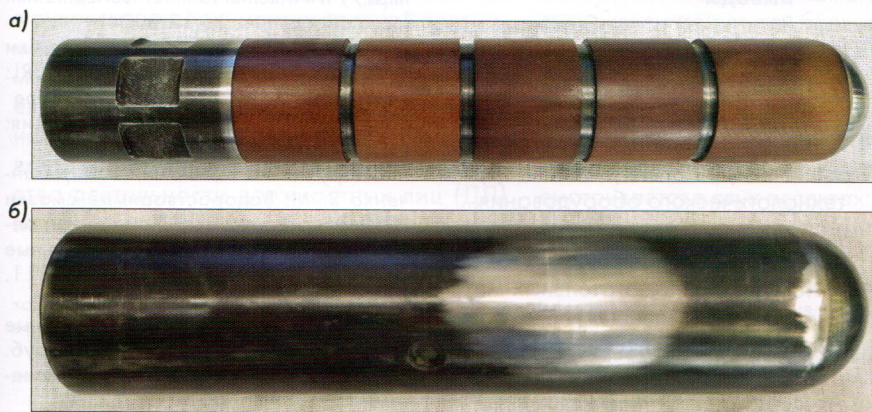


Рис. 5. Места износа дорнов:
а – дорн из текстолита со стальным сердечником; б – стальной дорн

Требования по выбору смазок			
Наименование смазки	Тип материала и качество внутренней поверхности трубы		
	Углеродистые, низколегированные и неэлектрохимполированные коррозионно-стойкие стали, медь, медно-никелевые сплавы, латунь, алюминиевые сплавы	Коррозионно-стойкие стали с электрохимполированной внутренней поверхностью	Титановые сплавы ПТ-1М, ПТ-7М и ПТ-3В
Мыльная эмульсия	Рекомендуется при радиусе погиба свыше $2d_T$ ¹	Допускается при радиусе погиба свыше $2d_T$ ¹	
Индустриальное масло И-30А, И-40А, И-50А	Допускается ² при радиусе погиба $2d_T$ и менее ^{2,3}		Не допускается
Состав на основе касторового масла и талька	Допускается ^{3,4}		
Смазка СИНЭРС-МФ, СИНЭРС-В и СИНЭРС-ВМ	Рекомендуется		
Жидкость Лабрия GEL D-0 и Лабрия GEL F	Рекомендуется		
Масло экспандерное «РУСМА EP7»	Допускается		
Смазка Лукойл Полифлекс EP 00-160	Допускается при радиусе погиба $2d_T$ и менее ^{2,3}		Не допускается
Смазка MC 4613	Рекомендуется при радиусе погиба $2d_T$ и менее ^{2,3}		Не допускается
Смазка MC 4115-00/000	Допускается при радиусе погиба $2d_T$ и менее ^{2,3}		Не допускается
Смазка ШГС-А, ШГС-Б, ШГС-К	Допускается при радиусе погиба $2d_T$ и менее ^{2,3,4}		Не допускается

¹ Кроме гибки с использованием шарнирного дорна.
² Следует использовать при невозможности обеспечения качества погибов с применением других (безмасляных) смазок, а также для снижения трения в случае, если мощность трубогибочного станка не позволяет согнуть трубу с использованием других (безмасляных) смазок (при значительном увеличении давления в системе гидравлики трубогибочного станка или появлении «толчков» в процессе гибки трубы).
³ Кроме систем сжатого воздуха с рабочим давлением 40 МПа (400 кгс/см²).
⁴ Кроме трубопроводов систем гидравлики, а также трубопроводов других систем, транспортирующих специальные среды, к чистоте которых предъявляются повышенные требования.

– требования к выбору методов нанесения смазок на внутреннюю поверхность трубы, возможность нанесения высокоэффективных смазок на дорн, а также нормы расхода смазок;
 – требования к процессу гибки;
 – требования по очистке дорна и трубы после гибки;
 – методы контроля: качества поверхности трубы и дорна перед нанесением смазки, качества нанесения смазки, качества погибов в дополнение к требованиям стандарта [1] и др.

В целях унификации смазок документом [5] рекомендовано преимущественное применение водорастворимых смазок марок СИНЭРС-МФ, СИНЭРС-В и СИНЭРС-ВМ и водорастворимых смазочно-охлаждающих жидкостей марок Лабрия GEL D-0 и Лабрия GEL-F.

Требования по выбору смазок в зависимости от типа материала трубы, качества внутренней поверхности трубы, радиуса погиба и назначения системы представлены в таблице.

Выводы

Внедрение разработанных требований по применению смазок для дорновой гибки труб позволит повысить качество погибов, уменьшить износ технологической оснастки и минимизировать загрязнение труб и технологического оборудования.

Целесообразно проведение дальнейших исследований по замене основных и вспомогательных материалов, установленных [1], на более технологичные, а также по корректировке требований к технологическому оборудованию и оснастке.

Литература

- ОСТ5Р.95057-90. Системы судовые и системы судовых энергетических установок. Типовой технологический процесс изготовления и монтажа трубопроводов.
- Безмасляные смазки для гибки труб [Электронный ресурс]. URL: <https://www.kemet-form.ru/lubricant2.htm> (дата обращения: 16.12.2024).
- Смазки для дорновой гибки труб [Электронный ресурс]. URL: https://smazka.ru.com/newspages/pipe_bending.html (дата обращения: 16.12.2024).
- Петрухин И. В., Фомин В. А., Панченко В. М. Водорастворимые смазки «СИНЭРС» для холодной обработки металлов давлением // Заготовительные производства в машиностроении. 2011. № 8.
- ГКЛИ.3310-255-2024. Смазочные материалы для дорновой гибки труб. Технические требования по применению.

МАШИНОСТРОЕНИЕ

Издается с 1898 г.

НАУЧНО-ТЕХНИЧЕСКИЙ И ПРОИЗВОДСТВЕННЫЙ ЖУРНАЛ

ISSN 0039-4580

ПРОЕКТИРОВАНИЕ СУДОВ

№ 1

2025

январь-февраль

**ВОЕННОЕ
КОРАБЛЕСТРОЕНИЕ**

**СУДОВОЕ
ОБОРУДОВАНИЕ**

**ТЕХНОЛОГИЯ
СУДОСТРОЕНИЯ**

**СУДОВАЯ
ЭНЕРГЕТИКА**

