

## ПОЛУЧЕНИЕ И ОПЫТНО-ПРОМЫШЛЕННЫЕ ИСПЫТАНИЯ ФОСФАТНЫХ СМАЗОК ДЛЯ ПРОЦЕССОВ ГОРЯЧЕЙ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ ДАВЛЕНИЕМ

Черемисинова А.А., аспирантка,  
Сорока П.И., д-р техн. наук, профессор,  
Стеба В.К., канд. техн. наук, доцент,  
Степневская Я.В., канд. химич. наук, ассистент  
ГВУЗ «Украинский государственный химико-технологический университет»,  
г. Днепропетровск

*Разработана технологическая схема получения промышленных партий неорганических полимерных фосфатов и смазок на их основе для процессов горячей обработки металлов давлением. Представлены результаты опытно-промышленных испытаний разработанных смазок при прокатке стальных бесшовных труб различного сортамента на трубопрокатных агрегатах и результаты коррозионных испытаний смазок. Проведен сравнительный анализ поверхностей труб прокатанных с NaCl и разработанными смазками*

*There has been developed the technological scheme of obtaining the industrial batch of polymeric phosphates and lubricants for the process of hot metal forming by pressure. There has been presents the results of industrial-experimental tests the lubricant, which has been developed, for rolling seamless steel pipes of various assortment on the tube rolling aggregates and the results of corrosion tests of lubricants. The comparative analysis of the tubes surfaces, of pipes with which has been rolled with NaCl and developed lubricant was carried out*

**Ключевые слова:** полимерные фосфаты, высокотемпературные технологические смазки, промышленные испытания, коррозионное воздействие.

В настоящее время в мировой практике на станах горячей прокатки стальных бесшовных труб все большее применение получают технологические смазки на основе полимерных фосфатов щелочных металлов либо их комбинации со специальными добавками, например, графитом [1].

Основными преимуществами фосфатных смазок являются:

- относительно низкие температуры плавления (особенно эвтектических составов);
- высокая термостабильность;
- хорошая адгезия к инструменту и обрабатываемому металлу;
- высокие антифрикционные свойства.

В Европе основным производителем фосфатных смазок – фосфотермов является фирма Budenheim (Германия) [2].

Недостатком фосфотермов является их высокая стоимость и необходимость использования специального высокоточного оборудования для подачи смазок в очаг деформации.

При разработке фосфатных смазок для трубопрокатных агрегатов (ТПА–140) нами были сформулированы следующие основные требования, предъявляемые к таким смазкам:

- простота изготовления и невысокая стоимость;
- возможность подачи в гильзы и трубы инъекционным способом;
- высокие антифрикционные свойства и обеспечение удовлетворительной стойкости деформирующего прокатного инструмента (оправок) на станах продольной прокатки (СПП) и раскатных станах (РС).
- обеспечение противокоррозионной защиты внутренней поверхности труб при длительном хранении и транспортировке;
- отсутствие газовыделений при прокатке и экологическая безопасность для обслуживающего персонала;
- конкурентоспособность в сравнении с аналогами импортного производства.

В качестве сырья для получения фосфатных составляющих смазок мы использовали мононатрийфосфат (МНФ),  $\text{NaH}_2\text{PO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  – стабильный кристаллический продукт, получаемый в процессе нейтрализации фосфорной кислоты кальцинированной либо каустической содой [3].

При этом для получения технологических смазок для РС – станов на основе гексаметафосфата натрия высокотемпературную дегидратацию МНФ проводили при  $t=600\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а для получения смазок для СПП – станов на основе пиро- и триметофосфата натрия – при  $t=400\text{ }^{\circ}\text{C}$ .

Принципиальная технологическая схема опытно-промышленной установки для получения технологических смазок представлена на рис. 1.

Технология получения технологических смазок на основе полимерных фосфатов щелочных металлов включает следующие основные стадии:

- получение МНФ нейтрализацией фосфорной кислоты каустической либо кальцинированной содой;
- высокотемпературную дегидратацию МНФ с получением неорганических полифосфатов;
- измельчение полифосфатов с введением в состав солевой смеси антислеживающих и противокоррозионных добавок.

В эмалированный реактор – кристаллизатор 1 объемом  $0,4\text{ м}^3$ , снабженный якорной мешалкой, загружали расчетное количество 85 %-ной термической фосфорной кислоты и проводили ее нейтрализацию кальцинированной содой до  $\text{pH}=3,5\text{--}4,0$ . Кальцинированную соду вводили в реактор порциями по 3 – 5 кг при работающей мешалке реактора. После введения расчетного количества  $\text{Na}_2\text{CO}_3$  раствор продолжали перемешивать до полного прекращения выведения углекислого газа. При наличии в растворе нерастворенных комков соды, в реактор вводили фосфорную кислоту с последующей корректировкой кислотности раствора до  $\text{pH}=3,5\text{--}4,0$  каустической содой.

Полученный горячий раствор МНФ охлаждали путем пропускания охлаждающей воды в рубашку аппарата 1 и кристаллизовали  $\text{NaH}_2\text{PO}_4\cdot 2\text{H}_2\text{O}$  из раствора при  $t=20\text{--}30\text{ }^{\circ}\text{C}$  при работающей мешалке реактора – кристаллизатора.

Пульпу перекачивали в сборник пульпы 2 и отделяли кристаллы МНФ от маточного раствора на маятниковой центрифуге 3 с ручной верхней выгрузкой осадка (через борт, тип ФБН) с диаметром ротора 1,0 м и скоростью его вращения 980 об/мин.. Пульпу МНФ подавали порциями через специальный питатель в верхней крышке центрифуги. Осадок выгружали и направляли на сушку в барабанную сушилку 8, изготовленную из нержавеющей стали с диаметром барабана 0,35 м и длиной 3,5 м. Сушку МНФ проводили при  $t=32\text{--}36\text{ }^{\circ}\text{C}$  путем подачи горячего воздуха воздуходувкой 7 через электрокалорифер 6. Высушенный МНФ собирали в пластиковые контейнеры 10 и совместно с пылью, собранной в циклоне 9, направляли на термообработку.

Высокотемпературную дегидратацию МНФ проводили в камерной электрической печи 11 марки СДО 9.15.6/6 мощностью 61,5 кВт с точностью регулирования температуры в установившемся тепловом режиме  $\pm 2\text{ }^{\circ}\text{C}$ . Корпус печи содержал рабочую камеру из листовой жаростойкой стали 12Х18Н10Т с размером рабочего пространства  $900\times 1500\times 600$  мм. Для организации циркуляции воздуха в камере электропечи был оборудован циркуляционный вентилятор, а для удаления летучих веществ-предусмотрено рабочее отверстие с заслонкой. Для загрузки МНФ и выгрузки полимерных неорганических фосфатов предусмотрено рабочая тележка, зафутерованная шамотным кирпичом, движущаяся по рельсам.

МНФ загружали в титановые поддоны, которые в три яруса устанавливали на специальной металлической касете. Тележку с касетой по рельсам перемещали в рабочую камеру печи, закрывали дверь камеры специальным резьбовым зажимом и проводили термообработку МНФ в двух режимах:

- обезвоживания МНФ при  $t=160\text{ }^{\circ}\text{C}$  в течении 4-х часов;
- высокотемпературной дегидратации МНФ при  $t=400\text{ }^{\circ}\text{C}$  или  $t=600\text{ }^{\circ}\text{C}$  (в зависимости от марки получаемой смазки) в течении 4 – 5 часов.

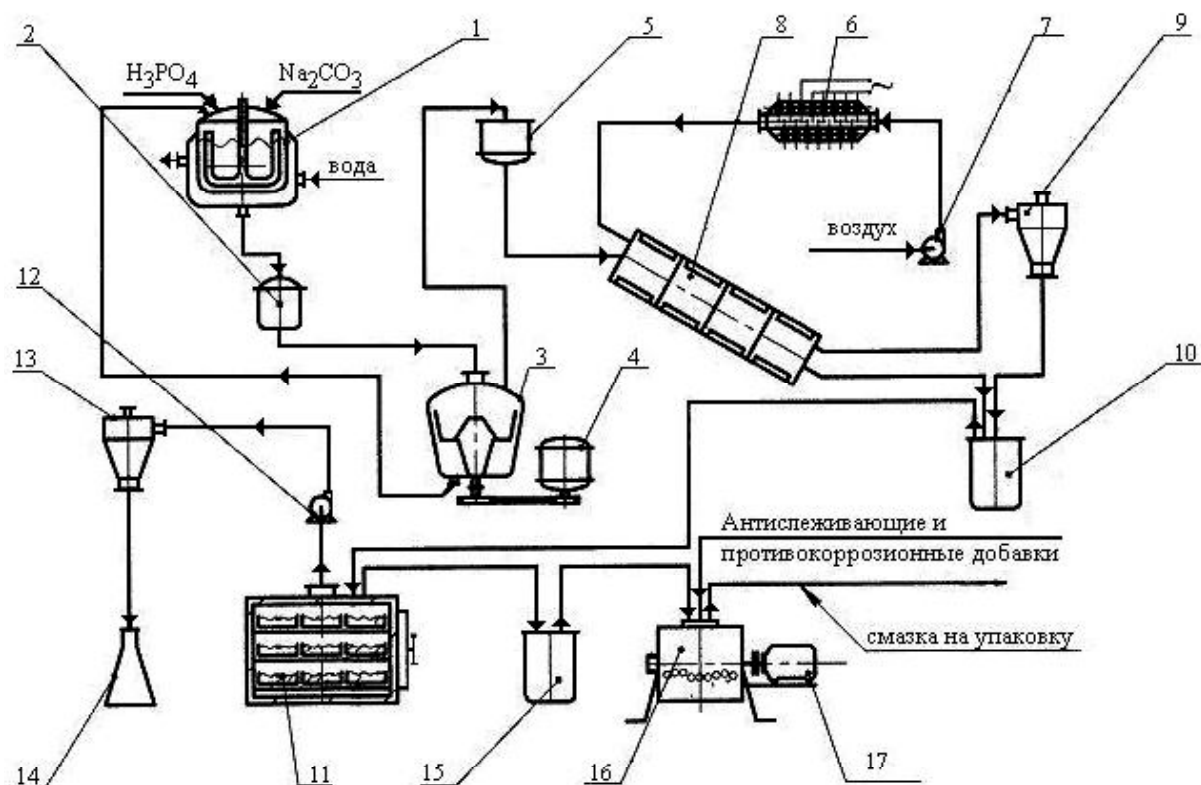
При этом, для получения смазки на основе пиро- и триметафосфата натрия для СПП-станов высокотемпературную дегидратацию проводили при  $t=400\text{ }^{\circ}\text{C}$ , а для получения смазки для РС - станов на основе гексаметафосфата натрия – при  $t=600\text{ }^{\circ}\text{C}$  [4].

После завершения высокотемпературной дегидратации тележку с поддонами выкатывали по рельсам из рабочей камеры печи и после охлаждения выгружали полимерные фосфаты натрия из титановых поддонов в сборник 15. Затем полимерные фосфаты из сборника 15 подавали на измельчение, которое проводили в шаровой мельнице 16 с объемом барабана  $0,6\text{ м}^3$  до достижения дисперсности 150 – 200 мкм.

В зависимости от марки получаемой высокотемпературной технологической смазки (ВТС) в мельницу вводили специальные добавки, обеспечивающие антикоррозионную защиту внутренней поверхности труб и снижающие слеживаемость и гигроскопичность смазок.

Состав смазок ВТС-1 для СПП-станов и ВТС-5 для РС-станов представлен в табл.1.

Смазка ВТС-1 разработана для дезоксидации внутренней поверхности гильзы и обеспечения оптимальных условий трения в очаге деформации при прокатке на короткой удерживаемой не вращающейся оправке в СПП-станах.



1 – реактор-кристаллизатор; 2 – сборник пульпы; 3 – центрифуга; 4, 17 – электродвигатель;  
5 – сборник влажного МНФ; 6 – электрокалорифер; 7, 12 – воздуходувка; 8 – барабанная сушилка;  
9, 13 – циклон; 10 – контейнер для сбора высушенного МНФ; 11 – печь;  
15 – сборник полимерных фосфатов после термообработки МНФ; 16 – шаровая мельница.

**Рис. 1 – Технологическая схема процесса получения фосфатных смазок**

**Таблица 1 – Физико-химические свойства и состав смазок ВТС**

Наименование показателя	ВТС-1	ВТС-5
1. Внешний вид	Порошок от белого до серого цвета без механических включений	
2. Массовая доля фосфатов в пересчете на P <sub>2</sub> O <sub>5</sub> , %, в пределах	45,0-50,0	40,0-45,0
3. Массовая доля щелочных металлов (Na+K), %, в пределах	30,0-40,0	30,0-40,0
4. Водородный показатель, (рН) 0,1 % раствора, в пределах	8,5-9,5	8,5-9,5
5. Температура плавления, °С, в пределах	400-500	450-550

Смазка ВТС-5 разработана для обеспечения оптимальных условий трения на контакте «оправка - деформируемый металл» и ингибирования коррозионных процессов на внутренней поверхности труб в процессе деформации в 3-х валковых РС-станах при прокатке на короткой оправке.

Эффективность фосфатных смазок изучали на промышленном трубопрокатном агрегате ТПА-140. Подачу смазки ВТС-1 в движущуюся гильзу перед СПП-1 осуществляли под углом 15-20 град к её оси при помощи специального устройства. Это обеспечивало оплаиваемость смазки в гильзе и её взаимодействие с вторичной окалиной до начала деформации.

Подача смазки ВТС-5 в трубу осуществлялась в момент её нахождения на дозаторе непосредственно перед задачей в 3-х валковый стан.

Такая подача смазок ВТС-1 и ВТС-5 обеспечивала процесс дезоксидации её внутренней поверхности, протекающий с растворением вторичной окалины и образованием расплава полимерных фосфатов

железа, обладающего удовлетворительными антифрикционными свойствами, что подтверждается минимальным износом оправок (табл. 2).

**Таблица 2 – Динамика износа оправок раскатных станов ТПА-140 с применением смазок ВТС-1 и ВТС-5**

Стан	Смазка	Размер труб, мм	Марка стали	Количество прокатанных труб, шт	Диаметр оправки, мм
РС-1	ВТС-5	73.0×9.5	GrB42	0	112.0
				37	111.8
				154	111.5
				215	111.5
				430	111.5
РС-1	ВТС-1	146.1×7.7	D	0	136.0
				43	136.0
				170	135.0
				230	135.0
				363	135.0
РС-2	ВТС-1	146.1×7.7	D	0	136.0
				53	136.0
				115	136.0
				173	136.0
				317	136.0

Результаты промышленных испытаний смазок на станах ТПА-140 приведены в табл.3.

**Таблица 3 – Результаты промышленных испытаний смазок ВТС-1 и ВТС-5 на станах ТПА-140**

Стан	Смазка	Размер труб, мм	Марка стали	Количество прокатанных труб	Расход оправок, шт	Расход смазки, г/трубу
СПП-1	ВТС-1	168.3×11.0	15Г	1637	9	30-40
		159.0×12.0	13ХФА	484	6	
		168.0×7.3	D	360	1	
		146×7.0	D	200	1	
		121×5.0	Ст.20	262	1	
		114×8.0	Ст.20	198	1	
Всего				3141	19	112 кг
РС-1 РС-2	ВТС-5	168.3×11.0	15Г	1637	7	50-80
		159.0×12.0	13ХФА	484	8	
		140.0×9.0	Ст.20	331	2	
		140.0×12.0	Ст.20	360	2	
		121.0×5.0	Ст.20	328	2	
73.0×9.5	GrB42	860	2			
Всего				4000	23	312 кг

Данные табл. 3 свидетельствуют об удовлетворительных антифрикционных свойствах технологических смазок ВТС.

Коррозионную стойкость труб, прокатанных с использованием смазок ВТС, определяли в ходе атмосферных и лабораторных испытаний в сравнении с трубами, прокатанными с использованием в качестве технологической смазки NaCl.

В процессе атмосферных испытаний, проводимых по ГОСТ 9.028-74, для определения коррозионной стойкости внутренней поверхности опытных труб были отобраны 2 комплекта образцов (от трубы, прокатанной с NaCl и от трубы, прокатанной с ВТС-5) в виде прямоугольных сегментов размером 50×60 мм. Результаты испытаний приведены в табл.4.

Как видно из данных табл.4 первые точечные следы коррозии на трубах из стали 20 с разработанной смазкой появлялись через 30, а с NaCl через 7 суток. При этом площадь коррозионного поражения прокатанных труб через 30 суток составляют 2 % и 74 %, а через 60 суток – 3,5 % и 100 % соответственно.

Таблиця 4 – Результати натурних испытаний

Условия	Тип образца	
	NaCl	ВТС
Время выдерживания образца в натуральных условиях до появления первых очагов коррозии, сутки	7	30
Площадь коррозионного поражения металла через 30 суток от начала испытаний, %	74	2
Площадь коррозионного поражения металла через 60 суток от начала испытаний, %	100	3,5

В ходе лабораторных испытаний, проведенных согласно ГОСТ 9.905-82, определяли коррозионное воздействие насыщенных паров и эмульсии, используемой для гидроиспытаний, на качество внутренней поверхности труб.

Коррозионное воздействие насыщенных паров проводили в герметичных камерах над 5 %-ным раствором NaCl.

Проведенные лабораторные испытания образцов, вырезанных из труб, прокатанных с применением фосфатных смазок (ВТС-5, ВТС-1) и NaCl показали, что на образцах, прокатанных с применением ВТС-1, первые очаги коррозионного поражения появлялись на их внутренней поверхности после 2-х циклов испытаний. При этом, наибольшее поражение коррозией наблюдалось на образцах, вырезанных с переднего и заднего концов труб.

Коррозионные испытания образцов, вырезанных из труб, прокатанных с применением смазки ВТС-5, показали что после 15 циклов коррозионное поражение поверхности выявлено только на 2 – 3 % у образцов, вырезанных с заднего конца трубы. На образцах, вырезанных с переднего конца трубы и ее середины, следов коррозии не обнаружено.

Коррозионное воздействие эмульсии на образцы, отобранные от труб, прокатанных с применением ВТС-5 на участке гидропрессовки ТПП-5 проводили при их полном погружении и выдерживании в течении 5 мин в эмульсии.

В результате таких испытаний следов коррозионного поражения образцов не было обнаружено.

Параллельно приведенные коррозионные испытания образцов, отобранных из труб, прокатанных с NaCl, подтвердили полное отсутствие противокоррозионной защиты их внутренней поверхности – после 2-х циклов испытаний на 70-80 % площади поверхности каждого из образцов обнаружены очаги коррозионного поражения.

Установлено что, специальные неорганические добавки, содержащиеся в составе смазки ВТС-5, обеспечивают противокоррозионную защиту внутренней поверхности труб. Применение этих добавок обусловлено их комплексным действием, за счет значительной буферной емкости, позволяющей поддерживать кислотность технологической смазки на уровне pH = 8,5-9,5. Полифосфаты щелочных металлов в присутствии специальных добавок ингибируют протекание анодных реакций и, как следствие, ингибирует процессы коррозии на внутренней поверхности труб.

Установлено, что ингибирующее действие специальных добавок сохраняется даже в присутствии хлорида натрия. Это позволяет, в некоторых случаях, использовать высокотемпературную смазку ВТС-5 на РС-станках в возможной комбинации с хлоридом натрия на одном из СПП-станков.

Важнейшей характеристикой высокотемпературных технологических смазок ВТС, определяющей возможность их промышленного применения при горячей прокатке труб, является экологическая безопасность.

Проведенные специальные исследования на станках ТПА-140 ОАО «Интерпайп НТЗ» не показали превышений ПДК вредных веществ на рабочих местах вальцовщиков и в воздухе рабочей зоны при прокатке труб с использованием смазок ВТС.

Смазки ВТС-1 и ВТС-5 прошли промышленную апробацию на ТПА-140 и внедрены при прокатке труб всего сортамента, в т.ч. и коррозионностойких труб.

Фосфатные смазки ВТС-1 и ВТС-5 обеспечивают гарантированное качество продукции, ликвидацию дальнейшего разрушения оборудования и строительных металлоконструкций продуктами разложения NaCl и их соединениями, повышение стойкости инструмента и снижения загазованности атмосферы цеха аэрозоли натрия хлорида.

### Выводы

1. Разработана технологическая схема опытно-промышленной установки для получения высокотемпературных технологических смазок на основе полимерных фосфатов, модифицированных неорганическими добавками, улучшающих коррозионную стойкость внутренней поверхности труб, снижающих гистероскопичность и слеживаемость смазок.

2. Представлены результаты промышленных испытаний разработанных технологических смазок.

3. Проведен сравнительный анализ коррозионной стойкости поверхностей труб, прошедших промышленные испытания со смазками ВТС и NaCl. Установлено, что смазки ВТС обеспечивают защиту внутренней поверхности труб от коррозионного поражения, обладают антифрикционными свойствами и повышают стойкость прокатного инструмента.

### Литература

1. Иванов К.А., Чуев А.В., Панасенко С.А., Корольков С.И., Стеба В.К. Новые технологические смазки для горячей деформации бесшовных труб // Металл клуб. – 2008. - №2. – С. 18-20.
2. Кузнецов В.И. Решение трибологических проблем при горячей деформации – эффективный путь повышения качества и снижения стоимости производства. – М.: Черная металлургия, 2007.-№ 2.- С.53-57.
3. Черемисинова А.А., Сорока П.И., Стеба В.К., Степневская Я.В. Кинетика изотермического процесса получения полимерных фосфатов из однозамещенного ортофосфата натрия // Вопросы Химии и химической технологии. – 2011. - №2. – С. 100-104.
4. Пат. 50819 Україна, МПК G01N 30/00. Спосіб кількісного визначення суміші орто-, піро-, триполі та метафосфатів // Панасенко С.П., Степневська Я.В., Черемисинова А.О., Стеба В.К., Сорока П.І.; заявник та патентовласник ДВНЗ «УДХТУ», - Н. у 2009 13306 заявл. 21.12.2009; опубл. 25.06.2010. Бюл. №12

УДК 66.081.63

## ФІЗИЧНЕ МОДЕЛЮВАННЯ ПРОЦЕСУ ЗВОРОТНОГО ОСМОСУ

Корнієнко Я.М., д.т.н, проф., Заграй Я.М., д.х.н., проф., Гулієнко С.В.

Національний технічний університет України «Київський політехнічний інститут», м. Київ  
Державний інженерно-екологічний комплекс Київського університету будівництва та архітектури,  
м Київ.

*Наведено короткий огляд проблем забезпечення питною водою та шляхів її вирішення. Обґрунтовано механізм переносу речовини через асиметричну зворотноосмотичну мембрану та запропонована фізична модель процесу з врахуванням сучасних уявлень про воду як структуру водних розчинів. Наведена робоча гіпотеза щодо розробки математичної моделі.*

*The brief review of drinking water supply problems and methods of its solving are represented. The mechanism of matters transport across asymmetric reverse osmosis membrane is proved and physical model of process which takes into account the modern concepts of water structure is proposed. The working hypothesis of mathematical model development is represented.*

**Ключові слова:** питна вода, зворотній осмос, мембрана, перенос, вільна енергія.

Водні розчини - вода відіграють вирішальну роль в багатьох процесах, що протікають в природі, особливо у вирішенні найгострішою проблеми сучасності – екобезпеки життєдіяльності та здоров'я людини. Загальна кількість природної води на Землі за даними UNESCO на 1999 була оцінена в 1386 млн. км<sup>3</sup>. Понад 97,5 відсотків припадає на солоні води. Кількість прісної води – 35 млн. км<sup>3</sup>. Крім того, значна частина прісної води є важкодоступною, оскільки вона в основному знаходиться в полярних льодовиках і водоносних шарах під землею. Загальний об'єм споживання питної води в світі оцінюється в 3900 млрд. м<sup>3</sup>/рік [1].

Забруднення річок, озер та підземних вод промисловими та побутовими відходами, кліматичні зміни та інші фактори призвели до того, що кількість джерел питної води постійно зменшується. Міжнародним інститутом водокористування був даний аналіз глобальної нестачі води на 2025 рік, згідно якого незначна нестача питної води прогнозується навіть в найрозвиненіших країнах Західної Європи, Північної Америки, Центральної Азії та декількох інших. В решті держав прогнозується нестача обумовлена економіч-