

Обработка металлов давлением. Технологии и машины обработки давлением

УДК 621.774.35

DOI: 10.14529/met210204

СМАЗОЧНО-ДЕЗОКСИДИРУЮЩИЕ МАТЕРИАЛЫ И ОБОРУДОВАНИЕ ДЛЯ ИХ ПОДАЧИ В ЛИНИЯХ ТПА С НЕПРЕРЫВНЫМИ СТАНАМИ

**В.И. Кузнецов¹, А.В. Красиков², А.В. Выдрин^{1, 3},
Е.Ю. Пашнина¹, Д.К. Соколов^{1, 3}, А.С. Жуков²**

¹ АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности»
(АО «РусНИТИ»), г. Челябинск, Россия,

² АО «Волжский трубный завод», г. Волжский, Россия,

³ Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск, Россия

Важнейшей задачей повышения эффективности производства труб является улучшение качества производимой продукции при соблюдении режима экономии и максимального использования имеющихся средств. В связи с этим дальнейшее развитие и совершенствование технологии процессов обработки металлов давлением в горячем состоянии непосредственно связаны с изучением условий контактного взаимодействия в паре «инструмент – деформируемый металл». Подробное изучение контактного взаимодействия необходимо в первую очередь для разработки более совершенных режимов деформации, расчёта прокатного оборудования на прочность, а также оценки эффективности того или иного процесса формоизменения с точки зрения затрат энергии и экологической безопасности. Использование современных смазочно-дезоксирующих материалов позволяет добиться гарантированного разделения контактных поверхностей, улучшения качества и эксплуатационной надёжности готовой продукции. В сфере горячей деформации металла производство труб ответственного назначения является важнейшим участком вследствие требований высокого качества на специфическом рынке. Это нефтяная, автомобильная промышленность, станкостроение и машиностроение. Высокая интенсивность износа прокатного инструмента не позволяет достигнуть требуемого качества выпускаемой продукции. Особенно ярко это проявляется в последнее время в связи с ужесточением температурно-деформационных условий при производстве тонкостенных труб из специальных сплавов и нержавеющей марок стали. Большое значение в решении поставленных выше задач имеют вопросы, относящиеся к выбору производства и применению смазочно-дезоксирующих материалов в процессах горячей обработки металлов давлением. Используя современные высокотехнологичные смазочно-дезоксирующие материалы и современное оборудование для их нанесения, можно получить значительное преимущество с точки зрения повышения качества готовых труб, снижения стоимости производства и интенсификации процессов деформирования.

Ключевые слова: производство бесшовных горячекатаных труб, смазочно-дезоксирующие материалы, качество внутренней поверхности, стойкость оправок, оборудование для обработки внутренней поверхности гильзы.

При производстве бесшовных горячедеформированных труб широко применяются трубопрокатные агрегаты с непрерывными раскатными станами. К качеству внутренней поверхности бесшовных труб, включая трубы из нержавеющей марок сталей, в настоящее время предъявляются повышенные требования, которые заключаются в полном отсутствии плен и трещин, вкатанной окалины, рако-

вин, расслоений, продольных и поперечных рисок глубиной более 5,0 % от номинальной толщины стенки и других несовершенств поверхности.

Для обеспечения этих требований положительный эффект дает вдувание внутрь гильзы специальных материалов, называемых смазочно-дезоксирующими материалами (далее – СДМ). Эти материалы при темпера-

турах прошивки вступают в химическое взаимодействие с окалиной, образующейся на внутренней поверхности гильзы, и преобразуют ее, создавая тем самым промежуточный защитный слой. Кроме этого создаваемый слой в определенной степени может выполнять роль смазки. СДМ, предназначенный для обработки внутренней поверхности нагретой гильзы, представляет собой высокотемпературное соединение, которое состоит из смеси фосфатных и боратных соединений [1].

Многочисленные исследования [2–6] эффективности применения таких материалов при горячей прокатке показали, что они обеспечивают существенное снижение величины износа технологического инструмента, повышение качества внутренней поверхности, а также снижение энергосиловых параметров в последующем процессе непрерывной раскатки гильзы на контролируемо-перемещаемой оправке. Кроме этого анализ научно-технической литературы показал, что для повышения качества внутренней поверхности горячекатаных бесшовных труб, в том числе из нержавеющей марки стали, обработку внутренней поверхности гильз необходимо производить с использованием комбинированного состава СДМ. В частности, предлагается материал, состоящий из неорганических плавких солевых смесей на основе щелочных фосфатов с боратными добавками, не содержащий графит [7, 8]. При этом равномерность нанесения материала, а значит, и качество внутренней поверхности готовых труб во многом зависит от способа подачи СДМ и режимов его вдувания.

Для определения наиболее эффективных способов нанесения материала в АО «РусНИТИ» и на предприятиях Группы «ТМК» были про-

ведены исследования с использованием методов термогравиметрии, дифференциальной сканирующей калориметрии, рентгеноспектрального анализа, которые позволили определить особенности химического взаимодействия вдуваемого СДМ и окислов на внутренней поверхности гильз [9].

В ходе исследований, проводимых в АО «РусНИТИ», были изготовлены образцы металла гильз из стали марок 13ХФА и 20. Полученные образцы нагревали в окислительной среде для получения слоя окалины, на которую затем наносили слой СДМ с различными составами. Полученные образцы исследовали методами термогравиметрии и дифференциальной сканирующей калориметрии (рис. 1 и 2).

Полученные результаты (см. рис. 1) свидетельствуют о том, что при температурах 600–700 °С наблюдается начало интенсивного прироста массы образцов с нанесенным слоем СДМ, при температурах 1200 °С прирост массы достигает 5,0 %. На ДСК-кривых (см. рис. 2) зафиксированы периодически повторяемые эндотермические пики, свидетельствующие о продолжающемся в процессе нагрева взаимодействии окислов с продуктами СДМ.

После нагрева образцов из стали марки 13ХФА до температур 900, 1100 и 1250 °С производился микрорентгеноспектральный анализ образованной окалины (рис. 3, таблица).

По результатам анализа (см. таблицу) выявлен рост содержания легирующих элементов на границе «сталь – окалина» при увеличении температуры нагрева образцов вследствие диффузии данных компонентов к поверхности. Выделение тонких частиц окислов в металлической фазе упрочняет поверхностный

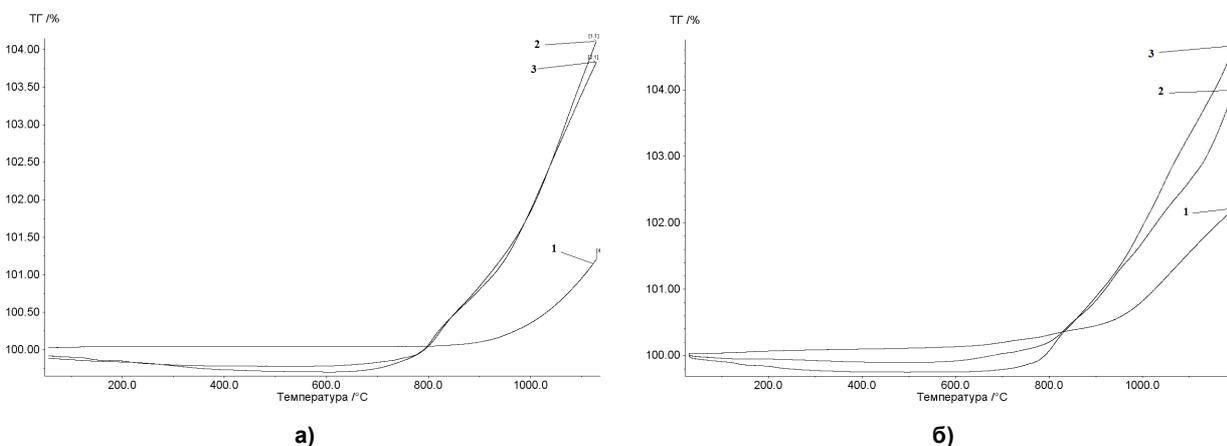


Рис. 1. ТГ-кривые при нагреве образцов из стали марок 13ХФА (а) и 20 (б): 1 – образцы, очищенные от окалины; 2, 3 – образцы с нанесенным слоем СДМ различных составов

Обработка металлов давлением...

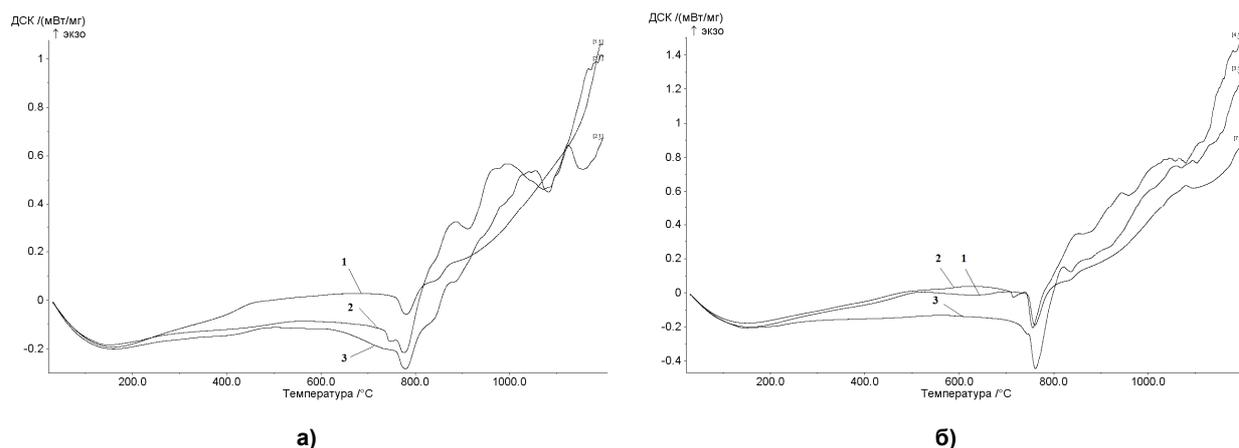


Рис. 2. ДСК-кривые при нагреве образцов из стали марок 13ХФА (а) и 20 (б): 1 – образцы, очищенные от окалины; 2, 3 – образцы с нанесенным слоем СДМ различных составов

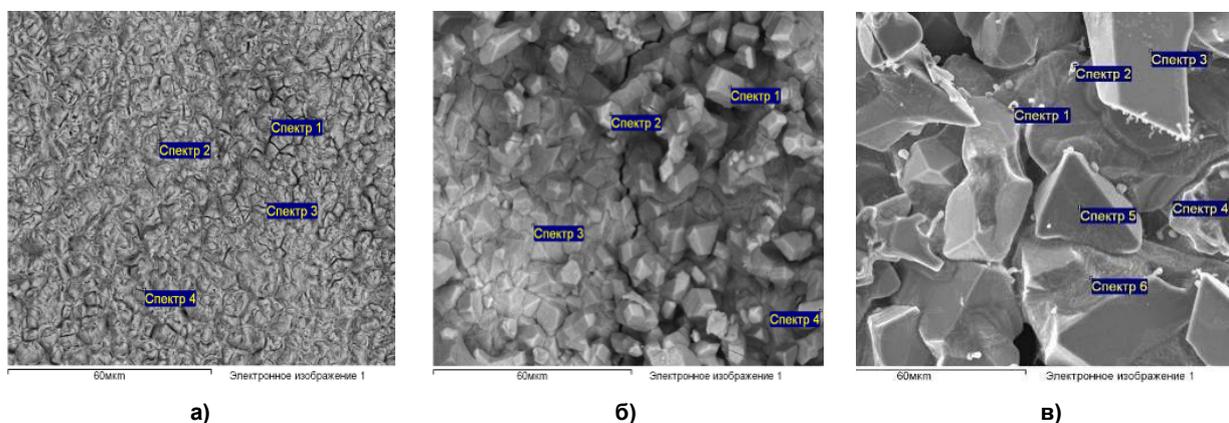


Рис. 3. Изображение окалины, образовавшейся на поверхности образцов из стали марки 13ХФА при их нагреве до различных температур: а – 900 °С; б – 1100 °С; в – 1250 °С

Результаты микрорентгеноспектрального анализа окалины, образованной на поверхности образцов из стали марки 13ХФА, нагретых до различных температур

Температура нагрева образца, °С	Спектр	Массовая доля элементов, %				
		О	Fe	Cr	Ni	Cu
900	1	57,49	42,51	–	–	–
	2	51,70	48,30	–	–	–
	3	64,12	35,88	–	–	–
	4	69,12	30,88	–	–	–
1100	1	29,90	69,13	0,97	–	–
	2	15,01	84,99	–	–	–
	3	58,74	40,27	0,99	–	–
	4	42,50	56,93	0,57	–	–
1250	1	23,23	46,52	0,60	2,69	26,96
	2	20,84	39,26	0,78	1,70	37,42
	3	31,28	67,10	1,62	–	–
	4	23,44	73,51	3,05	–	–
	5	28,03	69,16	2,81	–	–
	6	31,93	66,11	1,96	–	–

слой, улучшает сцепление окалины со сплавом [10], которая укореняется или заклинивается во впадинах шероховатостей поверхности гильз и прокатываемых труб.

Дальнейшие исследования показали, что с точки зрения использования СДМ основными факторами, влияющими на качество внутренней поверхности готовых труб и стойкость оправок, являются: применяемая рецептура, вязкость материала в рабочем интервале температур, размеры гранул, способ подачи материала и режимы его нанесения.

Влияние рецептуры заключается в том, что при недостаточном содержании (соотношении массовой доли преобразующих окислы веществ к общей массе вдуваемой дозы) в СДМ компонентов, отвечающих за дезоксидацию, окалина преобразуется не полностью. Это приводит к её вдавливанию в тело гильзы с образованием мелких раковин на внутренней поверхности готовых труб, что в конечном итоге снижает качество внутренней поверхности и стойкости оправок.

Высокая вязкость расплава СДМ ухудшает качество внутренней поверхности труб из-за вдавливания расплава во внутреннюю поверхность. С другой стороны, расплав с низкой вязкостью имеет тенденцию к стеканию со стенок гильзы, что приводит к образованию утолщений в виде наплывов. При этом ухудшается товарный вид и увеличивается вероятность появления браковочных признаков в результате выхода толщины стенки за пределы поля допуска. Слишком низкая вязкость приводит к выдавливанию смазки из очага деформации. Также следует отметить, что вязкость уменьшается с увеличением температуры. Проведенные исследования показали, что расплав СДМ должен иметь вязкость в

пределах 0,5–1,5 Па·с при температурах горячей прокатки.

Качество нанесения СДМ зависит от размеров его частиц (гранул). Крупные частицы СДМ, имеющие размеры свыше 500–1000 мкм, не успевают полностью расплавиться и прореагировать за время перемещения гильзы от прошивного стана к раскатному, поэтому реакция взаимодействия СДМ с окалиной продолжается и после деформации металла. В результате этого образуется рыхлость на внутренней поверхности трубы в виде оспин и «рябизны».

Способ подачи должен обеспечивать равномерность нанесения СДМ. Для этого применяют специальные устройства для вдувания (рис. 4).

Однако их конструкция не всегда позволяет обеспечить требуемое качество нанесения. В частности, на рис. 5 представлен пример неравномерного распределения СДМ по длине и периметру гильзы – типичный внешний вид половин гильзы, обработанной одним из образцов представленного оборудования с последовательно обозначенным метражом от начала к её концу.

При этом видно, что на первых 4 метрах гильзы максимальная толщина покрытия колеблется от 50 до 500 мкм, винтовой след от прокатного инструмента на этой части гильзы отсутствует. Начиная с 5-го метра и до конца гильзы, на внутренней поверхности наблюдается явно выраженная винтовая линия, толщина покрытия в этой части уменьшается и колеблется от 0 до 100 мкм, цвет гильзы в основном металлический. Некоторые участки (7, 8, 9 м) гильзы остались практически не обработанными СДМ, зафиксирована часть переднего конца гильзы не обработанного

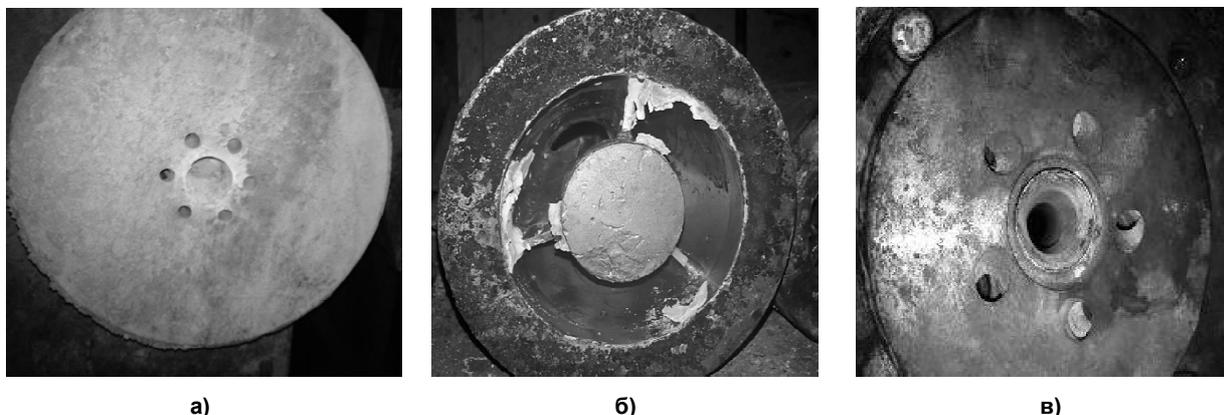


Рис. 4. Примеры конструкций форсунок для нанесения СДМ на внутреннюю поверхность нагретой гильзы



Рис. 5. Внешний вид двух половин гильзы

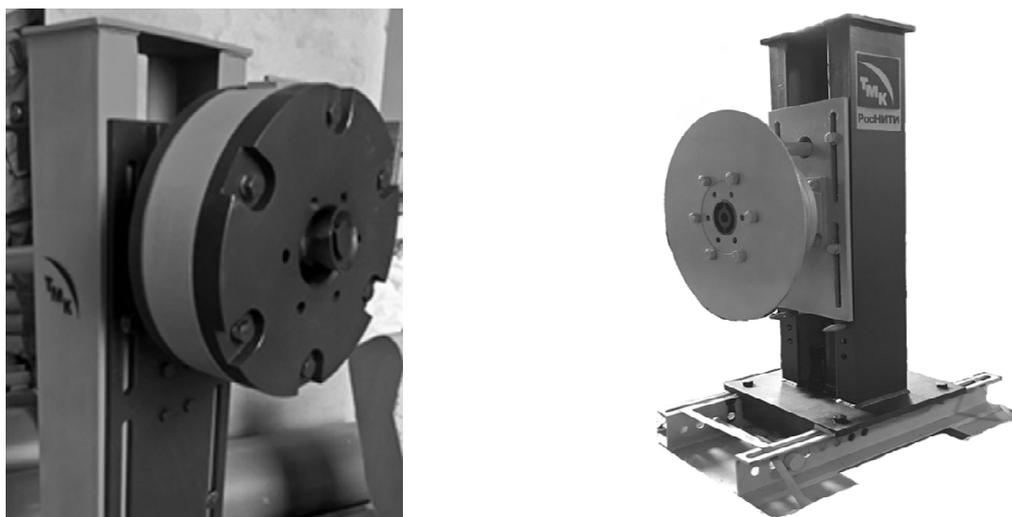


Рис. 6. Примеры оборудования для нанесения СДМ на внутреннюю поверхность гильзы

СДМ. На рис. 6 приведены примеры оборудования, позволяющего устранить вышеуказанные недостатки. Представленное оборудование реализует «Способ изготовления горячекатаных бесшовных труб» [11].

Использование данного оборудования позволяет повысить качество внутренней поверхности готовых труб, стойкость оправок непрерывного стана и снизить расход СДМ.

Обработка внутренней поверхности вращающейся гильзы производится путём вдувания порошкового СДМ потоком газа и подачи вихревого потока газа в направлении, противоположном направлению вращения гильзы. Перед вдуванием в гильзу СДМ раз-

деляют на два потока, которые подают одновременно, при этом один поток СДМ направляют вдоль продольной оси гильзы в виде пучка частиц, а другой поток распыляют по внутренней поверхности гильзы, и вместе с СДМ подают в гильзу вихревые потоки газа для равномерного распределения СДМ по внутренней поверхности гильзы.

Поток СДМ, направленный вдоль продольной оси гильзы в виде пучка частиц, обеспечивает обработку заднего конца гильзы. А поток СДМ, распылённый перед передним концом, в совокупности с вращением гильзы и вихревыми потоками газа обеспечивает интенсивную обработку переднего конца

гильзы. В целом при такой обработке на внутренней поверхности по всей длине гильзы не остаётся участков, не обработанных СДМ. Распределение частиц СДМ происходит дифференцированно. Передний конец обрабатывается больше. Далее идёт постепенное снижение подачи материала, что позволяет компенсировать неравномерное образование окалины по длине гильзы. Такое распределение материала позволяет повысить качество внутренней поверхности готовых труб и стойкость оправок непрерывного стана.

Кроме того, разделение СДМ на два разнонаправленных потока снижает интенсивность выдувания смазочного порошка с заднего конца гильзы. При этом происходит значительно снижение расхода СДМ.

Применение данного оборудования позволяет сбалансировать процесс нанесения СДМ по всей внутренней поверхности гильзы и таким образом уменьшить количество локальных утолщений СДМ, уменьшить коэффициент трения на контакте «оправка – де-

формируемый металл», снизить вероятность возникновения дефектов в виде рисок и вдавнов, повысить стойкость оправок непрерывного стана, снизить расход СДМ.

На рис. 7 показан процесс вдувания СДМ на внутреннюю поверхность гильзы с помощью данного оборудования.

Выполненный анализ показал, что повысить качество нанесения СДМ можно за счет обработки внутренней поверхности вращающейся гильзы путём вдувания порошкового СДМ потоком газа и одновременной подачей вихревого потока газа в направлении, противоположном направлению вращения гильзы. Такое распределение СДМ позволяет повысить качество внутренней поверхности готовых труб, как это видно на рис. 8, и стойкость оправок непрерывного стана.

Из рис. 8 видно, что СДМ по периметру поперечного сечения переднего и заднего концов гильзы распределен равномерно. При этом на переднем конце гильзы количество продуктов химического взаимодействия СДМ

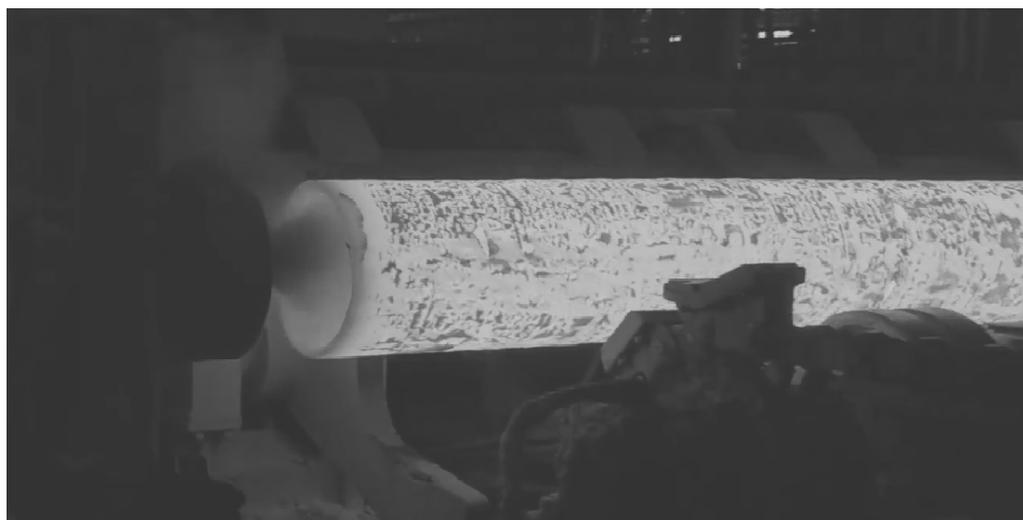


Рис. 7. Процесс вдувания СДМ на внутреннюю поверхность гильзы с помощью оборудования, реализующего «Способ изготовления горячекатаных бесшовных труб» [11]



а)



б)

Рис. 8. Внутренняя поверхность гильзы после остывания: а – передний конец; б – задний конец

с окалиной больше, чем на заднем конце, что подтверждает дифференцированный характер обработки гильзы.

На рис. 9 показана внутренняя поверхность готовой трубы, обработанная СДМ с помощью способа [11].



Рис. 9. Внутренняя поверхность готовой трубы

Из рис. 9 видно, что внутренняя поверхность готовой трубы чистая, без раковин и рисок, дезоксидирующее покрытие однослойное, продольные дорожки в виде смеси окалины и расплава СДМ отсутствуют. Всё

это, вместе взятое, говорит о высокой эффективности предложенного способа [11] и оборудования, представленного на рис. 6, с помощью которого он реализуется.

Кроме способа подачи большое влияние на равномерность нанесения оказывают режимы нанесения, к которым относятся расход материала, давление вдувания, время вдувания.

Заключение

Выполненный комплекс исследований показал, что для обеспечения высокого качества обработки внутренней поверхности стальных гильз, в том числе из нержавеющей марок сталей, а также высокой стойкости оправок раскатного стана СДМ должен удовлетворять следующим основным требованиям:

- иметь плавкий комбинированный состав, состоящий из неорганических плавких солевых смесей на основе щелочных фосфатов с боратными добавками и не содержащий графит;
- быть равномерно распределённым по внутренней поверхности гильзы, например, распылением;
- быть плавким в интервале рабочих температур проката труб;
- иметь размеры гранул не более 1000 мкм;
- иметь вязкость в пределах 0,5–1,5 Па·с.

Литература

1. Graue, G. *Schmierung bei der Warmumformung von Metallen* / G. Graue, W. Lückerrath, G. Gebauer // *Schmieretechnik*. – 1962. – Bd. 9. – S. 245–253.
2. Грудев, А.П. *Технологические смазки в прокатном производстве* / А.П. Грудев, В.Т. Тилик. – М.: *Металлургия*, 1975. – 366 с.
3. Грудев, А.П. *Внешнее трение при прокатке* / А.П. Грудев. – М.: *Металлургия*, 1973. – 228 с.
4. Чертавских, А.К. *Трение и технологическая смазка при обработке металлов давлением* / А.К. Чертавских, В.К. Белосевич. – М.: *Металлургия*, 1968. – 362 с.
5. Вейлер, С.Я. *Действие смазок при обработке металлов давлением* / С.Я. Вейлер, И.В. Лихтман. – М.: *Изд-во АН СССР*, 1960. – 230 с.
6. Манегин, Ю.В. *Стеклопасты и защитные покрытия для горячей обработки металлов давлением* / Ю.В. Манегин, И.В. Анисимова. – М.: *Металлургия*, 1978. – 222 с.
7. Патент РФ № 2458111, С10М 169/04. *Безграфитовая высокотемпературная смазка* / Штеффен Бугнер, Ральф Гисков, Бернд Шнайдер. – Оpubл. 10.08.2012.
8. Патент РФ № 2536820 С1. *Продукт для горячей обработки металлов давлением* / В.И. Кузнецов, Н.П. Самкова, И.Ю. Пышминцев и др. – Оpubл. 27.12.2014.
9. *Минимизация образования окалины на внутренней поверхности бесшовных горячекатаных труб* / А.В. Емельянов, И.И. Лубе, В.И. Кузнецов, Д.А. Левченко // *Сталь*. – 2020. – № 05. – С. 31–37.
10. Гольдштейн, М.И. *Специальные стали* / М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, Ю.Г. Векслер. – М.: *Металлургия*, 1985. – 408 с.
11. Патент РФ № 2745011 С1. *Способ изготовления горячекатаных бесшовных труб* / В.И. Кузнецов, И.Ю. Пышминцев, А.А. Кривошеев и др. – Оpubл. 18.03.2021.

Кузнецов Владимир Иванович, технический директор, начальник отдела разработки новой продукции, сопутствующих технологий и материалов, заведующий лабораторией разработки и испытаний прокатного инструмента, смазок и покрытий, АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ»), г. Челябинск; kuznetsovvi@rosniti.ru.

Красиков Андрей Владимирович, канд. техн. наук, главный прокатчик, АО «Волжский трубный завод», г. Волжский; krasikovAV@vtz.ru.

Выдрин Александр Владимирович, д-р техн. наук, заместитель генерального директора по научной работе, заведующий отделом бесшовных труб, АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ»); профессор кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет; г. Челябинск; VydrinAV@tmk-group.com.

Пашнина Елена Юрьевна, научный сотрудник лаборатории разработки и испытаний прокатного инструмента, смазок и покрытий, АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ»), г. Челябинск; pashnina@rosniti.ru.

Соколов Дмитрий Константинович, младший научный сотрудник лаборатории разработки и испытаний прокатного инструмента, смазок и покрытий, АО «Русский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (АО «РусНИТИ»); аспирант кафедры процессов и машин обработки металлов давлением, Южно-Уральский государственный университет, г. Челябинск; sokolov@rosniti.ru.

Жуков Александр Сергеевич, директор по качеству, АО «Волжский трубный завод», г. Волжский; ZhukovAS@tmk-group.com.

Поступила в редакцию 15 марта 2021 г.

DOI: 10.14529/met210204

LUBRICATING & DEOXIDIZING MATERIALS AND EQUIPMENT FOR THEIR INJECTION IN PIPE-ROLLING PLANT EQUIPPED WITH CONTINUOUS MILLS

V.I. Kuznetsov¹, kuznetsovvi@rosniti.ru,
A.V. Krasikov², krasikovAV@vtz.ru,
A.V. Vydrin^{1,3}, VydrinAV@tmk-group.com,
E.Yu. Pashnina¹, pashnina@rosniti.ru,
D.K. Sokolov^{1,3}, sokolov@rosniti.ru,
A.S. Zhukov², ZhukovAS@tmk-group.com

¹ The Russian Research Institute of the Tube & Pipe Industries, Joint Stock Company (RusNITI JSC), Chelyabinsk, Russian Federation,

² Volzhsky Pipe Plant, Joint Stock Company, Volzhsky, Russian Federation,

³ South Ural State University, Chelyabinsk, Russian Federation

The most important task of increasing the pipe production efficiency is improving the quality of manufactured products along with keeping an economy regime and maximizing the use of available funds. In this regard, further development and improvement of hot metal working processes are directly related to the study of contact interaction conditions of “tool-deformable metal”. First of all, a detailed study of the contact interaction is necessary for developing advanced deformation modes, calculating the strength of rolling equipment, as well as assessing the effectiveness of a particular deforming process in terms of energy consumption and environmental safety. Modern lubricating and deoxidizing materials separate contact surfaces, improve the quality and operational reliability of finished products. Producing pipes of crucial function is the key task for the hot metal deformation

sphere because of the high quality requirements in specific markets. The markets are the oil, automotive, machine tool and mechanical engineering industries. The high wear rate of the rolling tool does not ensure the required quality of the products. This problem has become more significant recently due to hardening temperature and deformation conditions in the production of thin-walled pipes from special alloys and stainless steels. The production and use of the lubricating and deoxidizing materials in the hot metal working processes may contribute a lot in finding solutions for the tasks above. Significant advantage can be made in pipe quality, production cost reducing, intensifying deformation processes if the modern high-technological lubricating and deoxidizing materials and modern equipment for their injection are used.

Keywords: production of seamless hot-rolled pipes, lubricating & deoxidizing materials, quality of inner surface, mandrel durability, equipment for processing the inner surface of a hollow shell.

References

1. Graue G., Lückerrath W., Gebauer G. Schmierung bei der Warmumformung von Metallen. *Schmiertechnik*, 1962, Bd. 9, S. 245–253.
2. Grudev A.P., Tilik V.T. *Tekhnologicheskie smazki v prokatnom proizvodstve* [Technological lubricants in rolling production]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1975. 366 p.
3. Grudev A.P. *Vneshnee trenie pri prokatke* [External friction during rolling]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1973. 228 p.
4. Chertavskih A.K., Belosevich V.K. *Trenie i tekhnologicheskaya smazka pri obrabotke metallov davleniem* [Friction and technological lubrication in the processing of metals by pressure]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1968. 362 p.
5. Veyler S.Ya., Likhtman I.V. *Deystviye smazok pri obrabotke metallov davleniyem* [The action of lubricants in the processing of metals by pressure]. Moscow, AS USSR Publ., 1960. 230 p.
6. Manegin Yu.V., Anisimova I.V. *Steklosmazki i zashchitnye pokrytiya dlya goryachej obrabotki metallov davleniem* [Glass lubricants and protective coatings for hot metal forming]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 222 p.
7. Bugner Shteffen, Giskov Ral'f, Shnajder Bernd. *Bezgrafitovaya vysokotemperaturnaya smazka* [Graphiteless high-temperature lubricant]. Patent RF, no. 2458111, 2012.
8. Kuznetsov V.I., Samkova N.P., Pyshmintsev I.Yu. et al. *Produkt dlya goryachey obrabotki metallov davleniyem* [Product for hot pressure treatment of metals]. Patent RF, no 2536820, 2014.
9. Emel'yanov A.V., Lube I.I., Kuznecov V.I., Levchenko D.A. [Minimization of scale formation on the inner surface of seamless hot rolled pipes]. *Steel*, 2020, no. 05, pp. 31–37. (in Russ.)
10. Gol'dshteyn M.I., Grachev S.V., Veksler Yu.G. *Special'nye stali* [Special steels]. Moscow, Metallurgiya Publ., 1985. 408 p.
11. Kuznetsov V.I., Pyshmintsev I.Yu., Krivosheyev A.A. et al. *Sposob izgotovleniya goryachekatanых besshovnyh trub* [Hot-rolled seamless pipes manufacturing method]. Patent RF, no. 2745011, 2021.

Received 15 March 2021

ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Смазочно-дезоксидирующие материалы и оборудование для их подачи в линиях ТПА с непрерывными станами / В.И. Кузнецов, А.В. Красиков, А.В. Выдрин и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2021. – Т. 21, № 2. – С. 42–50. DOI: 10.14529/met210204

FOR CITATION

Kuznetsov V.I., Krasikov A.V., Vydrin A.V., Pashnina E.Yu., Sokolov D.K., Zhukov A.S. Lubricating & Deoxidizing Materials and Equipment for Their Injection in Pipe-Rolling Plant Equipped with Continuous Mills. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2021, vol. 21, no. 2, pp. 42–50. (in Russ.) DOI: 10.14529/met210204