

## ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГРАНУЛОМЕТРИЧЕСКОГО СОСТАВА СТЕКЛОСМАЗОК НА ПРОЦЕСС ПРЕССОВАНИЯ ТРУБ ИЗ СТАЛИ МАРКИ 20

*В.И. Кузнецов<sup>1</sup>, А.В. Выдрин<sup>1</sup>, А.В. Король<sup>1</sup>,  
Е.Ю. Пашнина<sup>1</sup>, А.С. Жуков<sup>2</sup>, А.М. Зубков<sup>2</sup>*

<sup>1</sup> ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск, Россия,

<sup>2</sup> АО «Волжский трубный завод», г. Волжский, Россия

Силы трения, возникающие на контакте прессового инструмента с деформируемым металлом, являются причиной износа прессового инструмента. Для снижения сил трения на контактных поверхностях используют стеклосмазки. Технологичность стеклосмазки характеризуется способностью образовывать смазочный слой, выдерживающий высокие нагрузки. В статье представлены результаты исследования влияния размера частиц стеклосмазок на образование эффективного смазочного слоя. Исследования проводили на контакте внутренней поверхности гильзы с иглой, на контакте наружной поверхности гильзы со стенками контейнера и на контакте наружной поверхности гильзы с матрицей. Анализ полученных данных позволил сделать вывод о том, что на каждой контактной поверхности требуется определенный гранулометрический состав стеклосмазки.

*Ключевые слова:* прессование, стеклосмазки, усилия прессования.

В процессе прессования труб силы трения, возникающие между деформируемым металлом и инструментом, приводят к высоким значениям деформирующих усилий, которые служат причиной снижения стойкости прессового инструмента. Снижение сил трения может достигаться за счет применения стеклосмазок, которые образуют теплоизолирующий разделительный смазочный слой.

Для процесса прессования характерны четыре зоны контактного взаимодействия деформируемого металла с инструментом: контакт внутренней поверхности гильзы с иглой; контакт наружной поверхности гильзы со стенками контейнера; контакт наружной поверхности гильзы с матрицей; контакт пресс-штемпеля с торцом гильзы. В зависимости от зоны контактного взаимодействия используют различные стеклосмазки. Так, например, в ТПЦ-2 АО «ВТЗ» для нанесения на внутреннюю поверхность гильзы и изготовления шайб для смазывания матриц применяют стеклосмазку марки Ф-1; для нанесения на наружную поверхность гильзы (прокатывание гильзы по столу со стеклосмазкой) применяют стеклосмазку марки Ф-2. На контактную поверхность пресс-штемпеля с торцом гильзы смазка не наносится, поэтому в дальнейшем

этот контакт не рассматривается. Важными показателями стеклосмазок являются вязкость и плавкость [1], которые характеризуют скорость размягчения стеклосмазки и величину сил контактного взаимодействия. Изменение размеров частиц стеклосмазки – один из способов влияния на данные физические свойства. Однако в научно-технической литературе [1, 2] по данному вопросу встречается мало информации, которая представлена в основном описанием экспериментов, частично охватывающих этот вопрос. В связи с этим были проведены экспериментальные исследования в условиях ТПЦ-2 АО «ВТЗ» по определению влияния гранулометрического состава стеклосмазок Ф-1 и Ф-2 на усилия прессования.

Перед проведением эксперимента были изготовлены три опытных состава стеклосмазки Ф-1 с размерами частиц из диапазонов 1,00–0,55 мм; 0,55–0,25 мм и 0,25–0,10 мм и три опытных состава стеклосмазки Ф-2 с размерами частиц из диапазонов 0,55–0,25 мм; 0,25–0,10 мм; < 0,063 мм. В табл. 1 и 2 представлены результаты ситового анализа образцов, отобранных от опытных составов, а также от партий стеклосмазок, соответствующих нормативной документации завода.

Таблица 1

Гранулометрический состав стеклосмазок Ф-1

Образец стеклосмазки	Гранулометрический состав, % по массе							Поддон
	Остаток на сите 1,0 мм	Остаток на сите 0,63 мм	Остаток на сите 0,5 мм	Остаток на сите 0,315 мм	Остаток на сите 0,25 мм	Остаток на сите 0,2 мм	Остаток на сите 0,1 мм	
Ф-1 (соответствующая НД)	–	32,0	31,0	21,3	8,2	5,2	1,1	1,2
Опытный состав 1,00–0,55 мм	–	48,9	46,8	–	–	–	–	4,3
Опытный состав 0,55–0,25 мм	–	–	–	61,3	33,8	–	–	4,9
Опытный состав 0,25–0,10 мм	–	–	–	–	–	3,8	74,7	21,5

Таблица 2

Гранулометрический состав стеклосмазок Ф-2

Образец стеклосмазки	Гранулометрический состав, % по массе							Поддон
	Остаток на сите 0,63 мм	Остаток на сите 0,5 мм	Остаток на сите 0,315 мм	Остаток на сите 0,25 мм	Остаток на сите 0,2 мм	Остаток на сите 0,1 мм	Остаток на сите 0,063 мм	
Ф-2 (соответствующая НД)	–	–	4,5	11,8	38,2	11,4	16,3	17,8
Опытный состав 0,55–0,25 мм	–	–	79,1	17,8	–	–	–	3,1
Опытный состав < 0,25 мм	–	–	–	–	13,2	60,7	11,7	14,4
Опытный состав < 0,063 мм	–	–	–	–	–	–	–	100

Опытно-промышленные испытания включали в себя три этапа, в которых рассматривалось влияние размера частиц стеклосмазок на условия каждого контактного взаимодействия деформируемого металла с инструментом:

I. Прессование с опытными составами Ф-1 для нанесения на внутреннюю поверхность гильзы.

II. Прессование с опытными составами Ф-2, используемого для нанесения на наружную поверхность гильзы. Следует отметить, что при применении Ф-2 с размером частиц < 0,063 мм на столе стеклосмазки происходило комкование и образование неравномерного по толщине слоя.

III. Прессование с использованием шайб из опытных составов Ф-1. Изготовление стеклосмазки из Ф-1 0,25–0,10 мм не представилось возможным, так как формирующая смесь при выдавливании ее воздухом не заполняла пресс-форму. Поэтому шайбу готовили из смеси, состоящей из частиц размером 0,55–0,25 мм и 0,25–0,10 мм в соотношении 1 : 1.

Во время проведения испытаний опытных составов стеклосмазок были зафиксированы значения температур гильз на столе стеклосмазки и диаграммы усилий, по которым определяли максимальное усилие в период заполнения очага деформации при прессовании (пиковое усилие), а также усредненное установившееся усилие.

Для определения характера и величины вероятностных значений усилий прессования были построены гистограммы статистического распределения наблюдаемых величин [3].

При построении гистограмм для каждого этапа испытаний все интервалы изменения усилий разбивали на частичные интервалы длиной  $n$ , определяемой по формуле

$$n = \frac{P_{\max} - P_{\min}}{k}, \quad (1)$$

где  $P_{\max}$  – максимальное усилие в исследуемом интервале изменения усилия;  $P_{\min}$  – минимальное усилие в исследуемом интервале изменения усилия;  $k$  – количество частичных интервалов.

Количество частичных интервалов определяли по выражению Брукса и Каррузера [3]:

$$k = 5 \cdot \lg N, \quad (2)$$

где  $N$  – количество испытаний.

По внешнему виду построенные гистограммы статистического распределения частот усилий (пикового и установившегося) не имели ярко выраженного купола, соответствующего нормальному распределению. Чаще всего полученные гистограммы имели распределения близкие к экспоненциальному, асимметричному нормальному, многомодальному и равномерному. Несоответствие типа гистограмм нормальному распределению говорит о высоком уровне рассеянности данных и свидетельствует о наличии неучтенных факторов. Данным неучтенным фактором была температура гильз.

Для подтверждения влияния температурного фактора на исследуемые значения усилий при прессовании был проведен корреляционный анализ [4]. Коэффициент корреляции определяли по формуле

$$r_{TP} = \frac{\left[ \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i P_i - \bar{T} \cdot \bar{P} \right]}{S_T S_P}, \quad (3)$$

где  $N$  – количество наблюдений;  $T_i$  – температура гильзы, °C;  $\bar{T}$  – среднее арифметическое значение температуры гильзы, °C;  $P_i$  – пиковое усилие прессования, т;  $\bar{P}$  – среднее арифметическое значение пикового усилия прессования, т;  $S_T$  и  $S_P$  – средние квадратичные отклонения по температуре гильз и пиковому усилию прессования, рассчитанные по формулам:

$$S_T = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N T_i^2 - \bar{T}^2};$$

(4)

$$S_P = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N P_i^2 - \bar{P}^2}. \quad (5)$$

Для оценки корреляции между значениями температуры и усилиями рассчитывали экспериментальный критерий Стьюдента:

$$t_{rTP} = |r_{TP}| \sqrt{N-2} / \sqrt{1-r_{TP}^2}. \quad (6)$$

При соблюдении условия  $t_{rTP} > t_{v,\alpha}$  ( $t_{v,\alpha}$  – табличное значение критерия Стьюдента) корреляция между температурой гильзы и усилием прессования считается значимой.

В табл. 3 представлены рассчитанные значения коэффициента корреляции и рассчитанные значения коэффициента Стьюдента для каждого этапа экспериментальных исследований.

Как видно из табл. 3, во всех случаях  $t_{rTP} > t_{v,\alpha}$ , следовательно, корреляция между температурой и усилием значима. Кроме того, связь между температурой и усилиями прессования была оценена по шкале Чеддока. Рассчитанные значения коэффициентов корреляции имеют отрицательное значение (свидетельствует об обратной зависимости между температурой и усилием прессования) и говорят о средней или сильной связи между температурой гильзы и усилием прессования.

Поскольку на основе корреляционного анализа была показана значимость температурного фактора, то для корректного анализа влияния различного размера частиц стекло-смазок на усилие прессования была сделана

Таблица 3

Значения коэффициента корреляции и коэффициента Стьюдента

Расчетные значения	I. Опытные составы Ф-1 на внутреннюю поверхность гильзы		II. Опытные составы Ф-2 на наружную поверхность гильзы		III. Опытные составы Ф-1 на внутреннюю поверхность гильзы	
	Пиковое усилие	Установившееся усилие	Пиковое усилие	Установившееся усилие	Пиковое усилие	Установившееся усилие
Критерий Стьюдента $t_{rTP}$	4,3279	3,0002	4,1050	3,9352	6,1879	3,3072
Критерий Стьюдента $t_{v,\alpha}$	2,0518	2,0518	2,0452	2,0452	2,0484	2,0484
Коэффициент корреляции $r_{TP}$	-0,64	-0,50	-0,54	-0,59	-0,76	-0,53

выборка данных по температурным интервалам. Количество частичных температурных интервалов принимали таким, чтобы обеспечить попадание наибольшего значения усилий в каждый интервал.

Длину частичных интервалов рассчитывали по формуле

$$n = \frac{T_{\max} - T_{\min}}{k}, \quad (7)$$

где  $T_{\max}$  – максимальная температура гильзы в данном этапе исследований;  $T_{\min}$  – минимальная температура гильзы в данном этапе исследований;  $k$  – количество частичных интервалов.

Значения усилий были распределены по соответствию их к определенному температурному интервалу. В каждом температурном интервале было рассчитано среднее значение усилия для каждого опытного состава стеклосмазки.

По полученным данным были построены

диаграммы зависимости среднего значения усилия (пикового и установившегося) от применяемого состава Ф-1 и Ф-2.

На рис. 1 представлены диаграммы зависимости среднего значения усилия (пикового и установившегося) от размера частиц стеклосмазки Ф-1, наносимой на внутреннюю поверхность гильзы.

По диаграммам видно, что влияние размера частиц Ф-1 на пиковое усилие в обоих температурных интервалах имеет одинаковый характер: с уменьшением размера частиц происходит незначительное снижение пикового усилия. Это связано с тем, что мелкая фракция быстро размягчается и растекается по внутренней поверхности гильзы, образуя равномерный смазочный слой, тем самым снижая пиковое усилие. Для установившихся усилий наблюдается иная картина – наименьшее усилие получено с размером частиц 1,00–0,55 мм. Это можно объяснить тем, что в

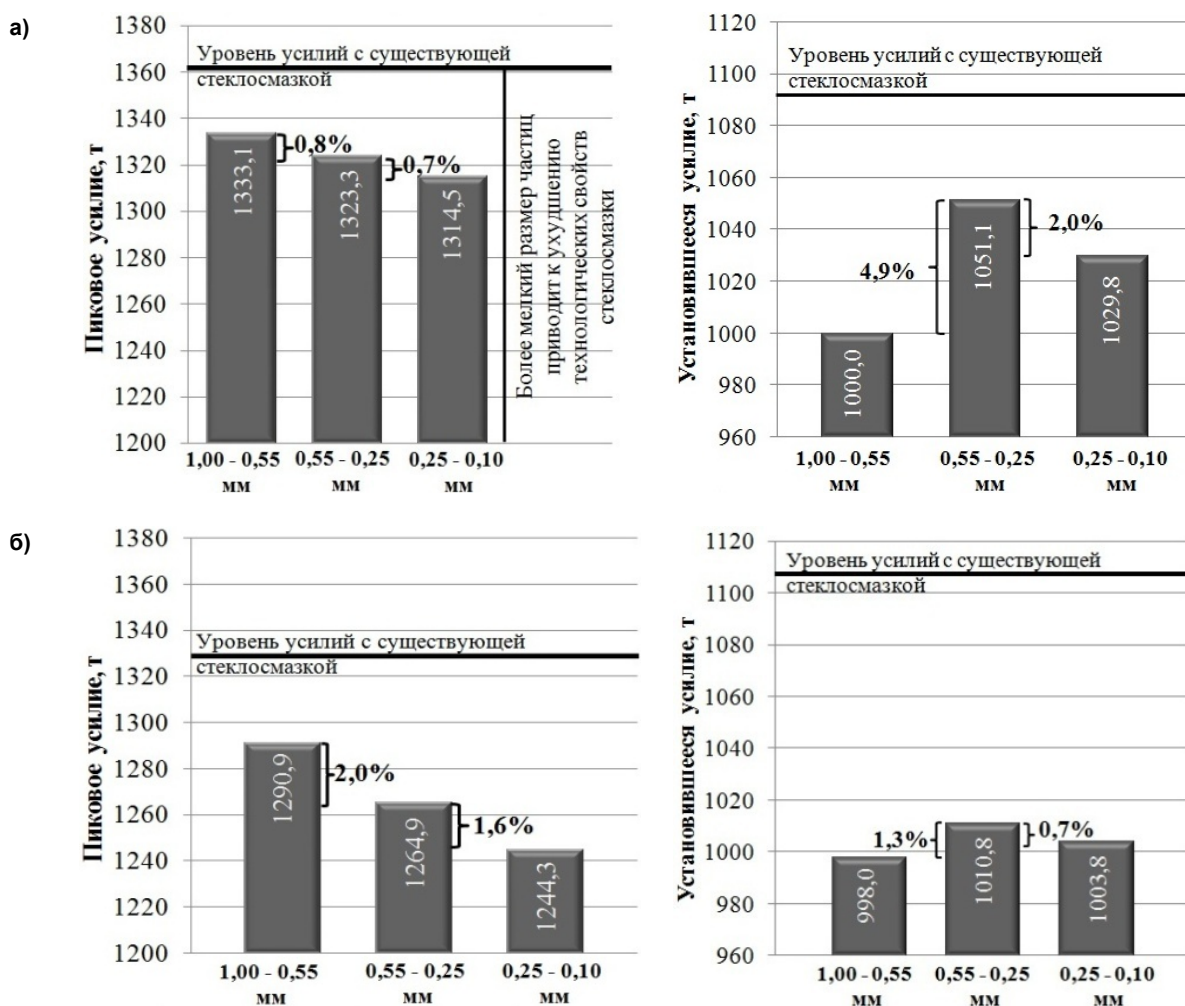


Рис. 1. Диаграммы зависимости среднего значения пикового и установившегося усилий от размера частиц стеклосмазки Ф-1 в температурных интервалах: а) 1137,0–1154,5 °С; б) 1154,5–1172,0 °С

## Обработка металлов давлением...

процессе прессования происходит повышение температуры, связанное с пластической деформацией металла, что приводит к снижению вязкости расплава и ухудшению его антифрикционных свойств. Крупной фракции, по сравнению с мелкой, нужно больше време-

ни для достижения значения вязкости, соответствующей температуре прессования. Поэтому в установившейся стадии основной вклад в образование эффективного смазочного слоя вносят крупные частицы стеклосмазки.

На рис. 2 представлены диаграммы зави-

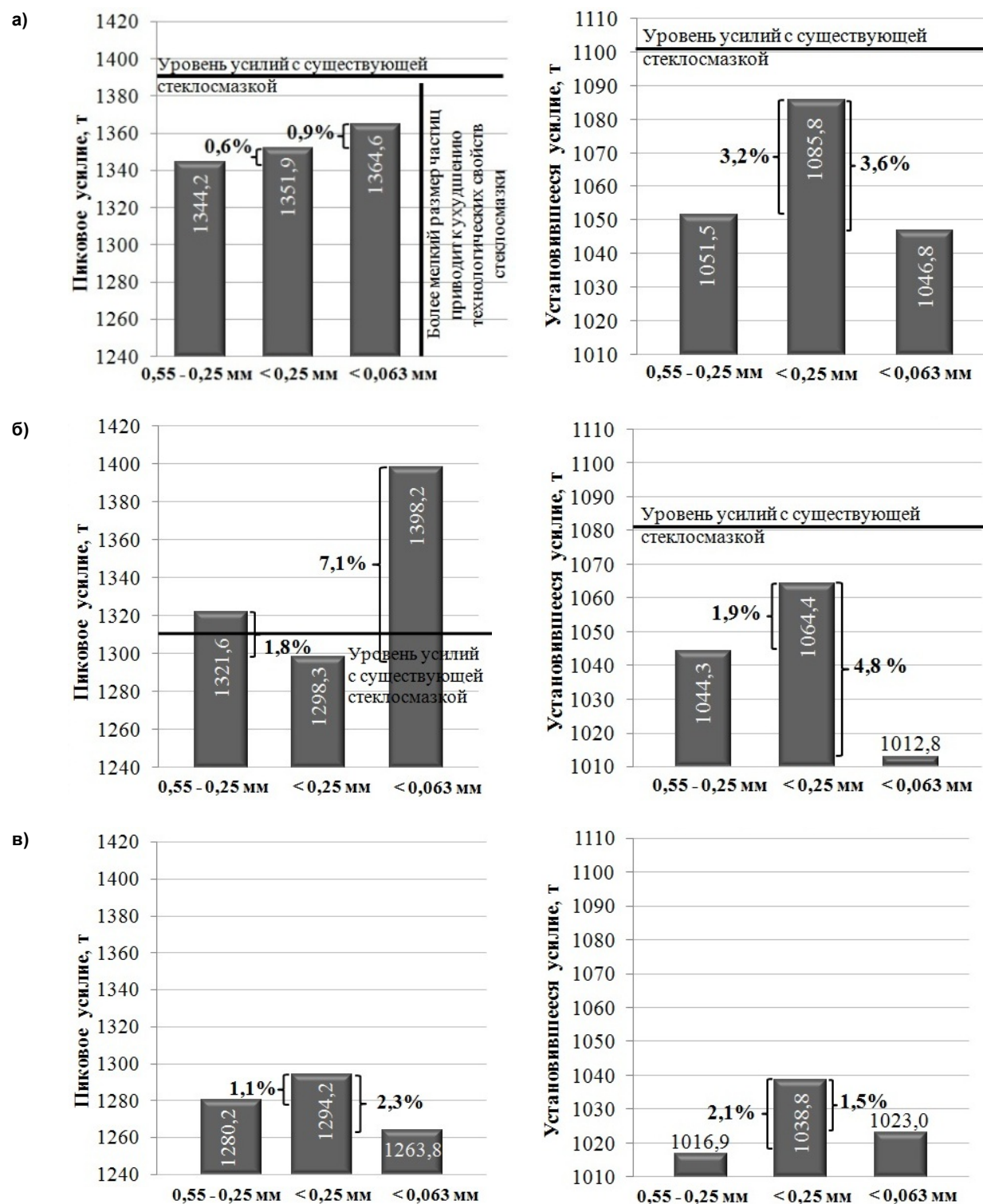


Рис. 2. Диаграммы зависимости среднего значения пикового и установившегося усилий от размера частиц стеклосмазки Ф-2 в температурных интервалах: а) 1129,0–1148,0 °С; б) 1148,0–1167,0 °С; в) 1167,0–1186,0 °С

симости среднего значения усилия (пикового и установившегося) от размера частиц Ф-2, используемой для нанесения на наружную поверхность гильзы.

Усилия, воспринимаемые стенками контейнера, меньше, чем на других контактных поверхностях, поэтому влияние гранулометрического состава выражено в меньшей степени. В связи с этим исследование влияния размера частиц Ф-2, наносимого на наружную поверхность гильзы, не дало ясной картины. Влияние размера частиц на пиковое усилие в каждом температурном интервале имеет различный характер: в температурных интервалах 1129,0–1148,0 °С и 1167,0–1186,0 °С усилие с фракцией 0,55–0,25 мм меньше, чем при использовании фракции < 0,25 мм, а в интервале 1148,0–1167,0 °С наблюдается обратный характер. Также противоречивые результаты получены при использовании фракции < 0,063 мм: в интервалах 1129,0–1148,0 °С и 1148,0–

1167,0 °С получено наибольшее усилие, а в интервале 1167,0–1186,0 °С – наименьшее усилие. Возможно, это связано с особенностями способа нанесения, когда гильза прокатывается по столу со слоем стеклосмазочного порошка. В данном способе нанесения количество стеклосмазки на наружной поверхности гильзы зависит от таких факторов, как качество поверхности гильзы и толщины слоя стеклосмазки на столе. Уменьшение размера частиц приводило к комкованию стеклосмазки на столе и образованию неравномерного слоя.

В установившейся стадии получено максимальное усилие с фракцией < 0,25 мм в каждом температурном интервале.

На рис. 3 представлены диаграммы зависимости среднего значения усилия (пикового и установившегося) от размера частиц Ф-1, используемой для изготовления шайб.

Изменение пикового усилия в зависимо-

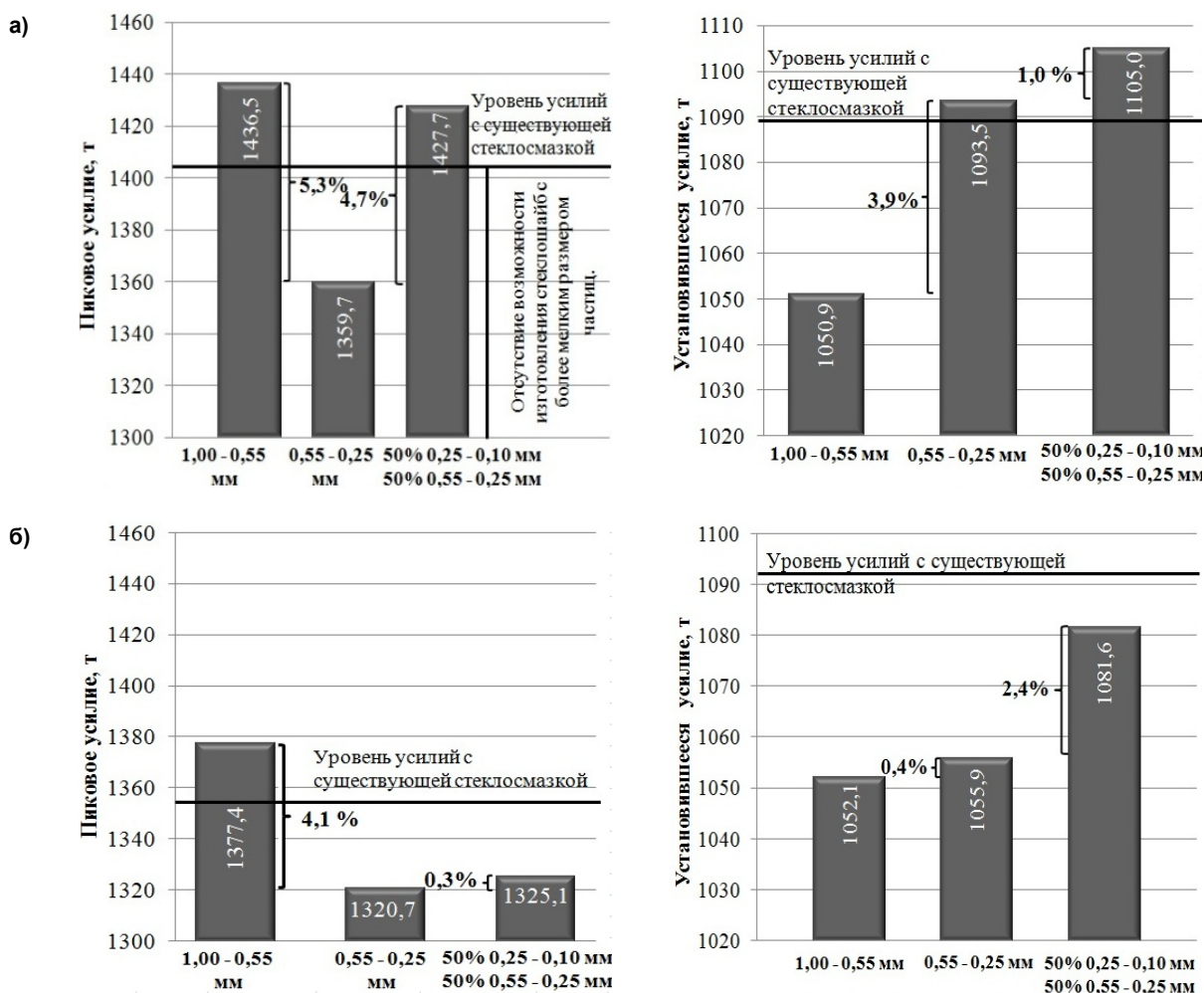


Рис. 3. Диаграммы зависимости среднего значения пикового и установившегося усилий от размера частиц стеклосмазки Ф-1 в температурных интервалах: а) 1122,0–1140,0 °С; б) 1140,0–1158,0 °С

сти от размера частиц Ф-1 в обоих температурных интервалах имеет различный характер. Однако в данных интервалах минимальное усилие получено при использовании фракции 0,55–0,25 мм, что более очевидно в интервале низких температур. Также можно отметить, что в обоих температурных интервалах использование шайб из крупной фракции приводит к повышению пикового усилия.

Снижение установившихся усилий наблюдается при увеличении размера частиц и наименьшее значение получено при использовании фракции 1,00–0,55 мм, что также более очевидно в интервале низких температур. В данном случае ситуация аналогична с экспериментом, где исследовали влияние гранулометрического состава Ф-1, наносимого на внутреннюю поверхность гильзы. Мелкая фракция на шайбе быстро размягчается и при этом образуется большое количество расплава, которое выносится из очага деформации и приводит к нарушению сплошности смазочного слоя. В результате происходит контакт деформируемого металла с матрицей и наблюдается рост установившихся усилий. При использовании крупной фракции в установившейся стадии процесса в очаг деформации поступает уже достаточное количество смазки для экранирования металла гильзы и инструмента.

### Выводы

Проведенные исследования по влиянию гранулометрического состава стеклосмазок на усилия прессования показали следующее:

1. Влияние размера частиц стеклосмазки Ф-1, наносимой на внутреннюю поверхность гильзы, на пиковое усилие в обоих температурных интервалах имеет одинаковый характер: с уменьшением размера частиц происходит незначительное снижение пикового усилия. Наименьшее установившееся усилие получено с крупной фракцией 1,00–0,55 мм.

2. Исследование влияния размера частиц Ф-2, наносимого на наружную поверхность гильзы, не дало ясной картины. Влияние размера частиц на пиковое усилие в каждом температурном интервале имеет различный характер. В установившейся стадии получено максимальное усилие с размером частиц < 0,25 мм в каждом температурном интервале. Это связано с комкованием порошка Ф-2 при уменьшении размером его частиц, что приводило к неравномерному его нанесению.

3. Изменение пикового усилия в зависимости от применяемой для изготовления шайб опытной партии Ф-1 в обоих температурных интервалах имеет различный характер. Однако в данных интервалах минимальное усилие получено при использовании партии 0,55–0,25 мм, что более очевидно в интервале низких температур. Также можно отметить, что в обоих температурных интервалах использование шайб из крупной фракции приводит к повышению пикового усилия. Снижение установившихся усилий наблюдается при увеличении размера частиц и наименьшее значение получено при использовании фракции 1,00–0,55 мм, что также более очевидно в интервале низких температур.

### Литература

1. Манегин, Ю.В. *Стеклосмазки и защитные и покрытия для горячей обработки металлов давлением* / Ю.В. Манегин, И.В. Анисимова. – М., 1978. – 224 с.
2. Прозоров, Л.В. *Прессование стали и тугоплавких сплавов* / Л.В. Прозоров. – М., 1969. – 244 с.
3. Шторм, Р. *Теория вероятностей. Математическая статистика. Статистический контроль качества* / Р. Шторм. – М.: Мир, 1970. – 368 с.
4. Крайнов, В.И. *Оборудование, методика, результаты пластометрических исследований: учеб. пособие* / В.И. Крайнов. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 1995. – 98 с.

**Кузнецов Владимир Иванович**, начальник отдела разработки новой продукции, сопутствующих технологий и материалов, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск; kuznetcovvi@rosniti.ru.

**Выдрин Александр Владимирович**, д-р техн. наук, заместитель генерального директора по научной работе, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск; vydrinav@rosniti.ru.

**Король Алексей Валентинович**, канд. техн. наук, старший научный сотрудник лаборатории разработки и испытаний прокатного инструмента, смазок и покрытий, ОАО «Российский научно-исследовательский институт трубной промышленности» (ОАО «РосНИТИ»), г. Челябинск; korol@rosniti.ru.

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

**Жуков Александр Сергеевич**, директор по качеству, АО «Волжский трубный завод», г. Волжский; ZhukovAS@vtz.ru.

**Зубков Андрей Михайлович**, ведущий инженер ЦЗЛ, АО «Волжский трубный завод», г. Волжский; ZubkovAM@vtz.ru.

*Поступила в редакцию 14 сентября 2017 г.*

DOI: 10.14529/met170408

## RESEARCHING OF THE INFLUENCE OF GRANULOMETRIC COMPOSITION OF GLASS-LUBRICANTS ON THE PROCESS OF PRESSING PIPES OF STEEL 20

*V.I. Kuznetcov<sup>1</sup>, kuznetcovvi@rosniti.ru,*

*A.V. Vydrin<sup>1</sup>, vydrinAV@rosniti.ru,*

*A.V. Korol<sup>1</sup>, korol@rosniti.ru,*

*E.Yu. Pashnina<sup>1</sup>, pashnina@rosniti.ru,*

*A.S. Zhukov<sup>2</sup>, ZhukovAS@vtz.ru,*

*A.M. Zubkov<sup>2</sup>, ZubkovAM@vtz.ru*

<sup>1</sup> JSC "Russian Research Institute for the Tube and Pipe Industries" (JSC "RosNITI"), Chelyabinsk, Russian Federation,

<sup>2</sup> JSC "Volzhsky Pipe Plant", Volzhsky, Russian Federation

The frictional forces arising on the contact of press tool with deformed metal are causes of press tool wear. Glass lubricants are used to reduce frictional forces on contact surfaces. The technological properties of glass lubricants are characterized by ability to form a lubricating layer that can withstand high loads. The article presents the results of investigation of effect of glass lubricants particle size on effective lubricating layer formation. The investigations were carried out on contact of shell inner surface with needle, on contact shell outer surface with container walls, and on contact between shell outer surface and matrix. Obtained data analysis allows to conclude that on each contact surface a certain granulometric composition of glass lubricant is required.

*Keywords: extrusion, glass, pressing force.*



### References

1. Manegin Yu.V. and Anisimova I.V., *Steklosmazki i zashchitnye pokrytiya dlya goryachey obrabotki metallov* [Glass Lubricants and Protective Coatings for Heat Treatment of Metals], Moscow, Metallurgiya Publ., 1978. 224 p.
2. Prozorov L.V. *Pressovanie stali i tugoplavkikh splavov* [Pressing of Steel and High-Melting Alloys], Moscow, Metallurgiya Publ., 1969. 244 p.
3. Shtorm R. *Teoriya veroyatnostey. Matematicheskaya statistika. Statisticheskiy kontrol' kachestva* [Probability Theory. Mathematical Statistics. Statistical Quality Control], Moscow, Mir Publ., 1970. 368 p.
4. Kraynov V.I. *Oborudovanie, metodika, rezul'taty plastometricheskikh issledovaniy*. [Tools, Methods, Results of Plastometric Research]. Chelyabinsk, South Ural St. Univ. Publ., 1998. 98 p.

*Received 14 September 2017*

---

### ОБРАЗЕЦ ЦИТИРОВАНИЯ

Исследование влияния гранулометрического состава стеклосмазок на процесс прессования труб из стали марки 20 / В.И. Кузнецов, А.В. Выдрин, А.В. Король и др. // Вестник ЮУрГУ. Серия «Металлургия». – 2017. – Т. 17, № 4. – С. 74–82. DOI: 10.14529/met170408

### FOR CITATION

Kuznetsov V.I., Vydrin A.V., Korol' A.V., Pashnina E.Yu., Zhukov A.S., Zubkov A.M. Researching of the Influence of Granulometric Composition of Glass-Lubricants on the Process of Pressing Pipes of Steel 20. *Bulletin of the South Ural State University. Ser. Metallurgy*, 2017, vol. 17, no. 4, pp. 74–82. (in Russ.) DOI: 10.14529/met170408