

## ПРАКТИКА ИСПОЛЬЗОВАНИЯ ОПРАВОК ПРОШИВНОГО СТАНА С ВНУТРЕННИМ ВОДЯНЫМ ОХЛАЖДЕНИЕМ

### EXPERIENCE OF INTERNAL WATER-COOLING MANDREL USING FOR SEAMLESS PIPE PIERCING MILL

Кутепов Вячеслав Александрович  
Открытое акционерное общество «Таганрогский металлургический завод»  
Российская Федерация, г. Таганрог  
[kutepov@tagmet.ru](mailto:kutepov@tagmet.ru); [v.kutepov@gmail.com](mailto:v.kutepov@gmail.com)

#### Abstract

*Piercing is a key process for production of seamless pipes and piercing mandrel is one of the most important tool that determines the quality of the pipe shell.*

*Unsatisfactory endurance of piercing mandrels is a typical problem for all piercing mills. The analysis of scientific, technical and patent literature shows that the using of internal water-cooling is a promising way to increase mandrels resilience.*

*In 2010–2013 JSC “Tagmet” (Russia, Taganrog) jointly with SMS MEER tested water-cooling mandrels for piercing mill. These tests are described in stages and show the trends of operating and technical characteristics of mandrels.*

Способ изготовления бесшовных труб с помощью поперечно-винтовой прокатки и применение для него прошивной оправки – изобретение 1885 года Макса и Рейнхарда Маннесманна.

Подобное оборудование вскоре получило широкое практическое применение, появилось множество модификаций. Например, в 1917 году Самуэль Дишер внедрил в стане вращающиеся диски

поддержки

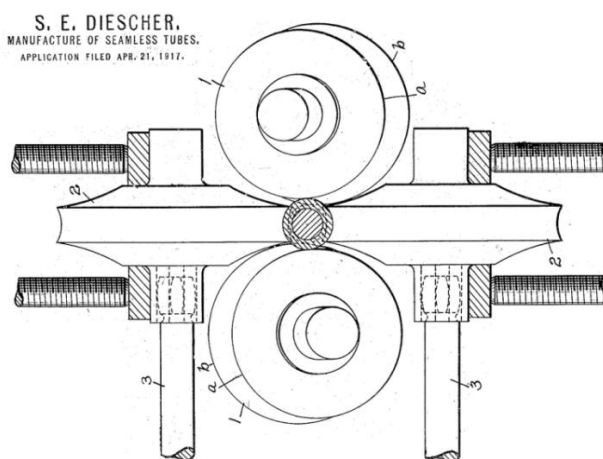
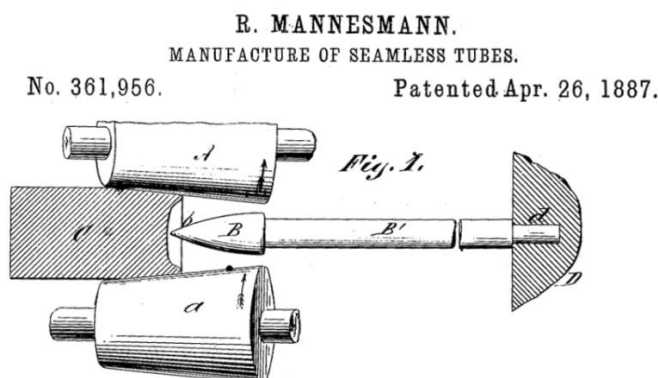


Рис. 1 – схема очагов деформации по изобретениям Р. Маннесманна (патент США № 361956 от 26.04.1887 г., начальный патент Германии 27.01.1885 г.) и С. Дишера (патент США № 1280683 от 8.10.1918 г.)

Примером современного развития науки и техники в производстве труб и продолжения идеи братьев Маннесманн, спустя 120 лет, является прошивной стан KSW 1150VD с грибовидными валками и дисками Дишера фирмы SMS MEER, пущенный в эксплуатацию в трубопрокатном цехе ОАО «ТАГМЕТ» (Таганрогский металлургический завод) с 2008 года.



Рис. 2 – фото входной стороны прошивного стана KSW 1150 VD

Данный прошивной стан был установлен в линии ТПА с непрерывным станом PQF 10  $\frac{3}{4}$ " в

ходе реконструкции, проведённой по инвест-проекту ОАО «ТМК» (Трубная металлургическая компания).

Совокупность технических и технологических черт PQF, таких как конструкция прокатных клеток, система позиционирования валков, способ удержания раскатной оправки и др., определили его маркетинговую аббревиатуру. Расшифровка PQF (premium quality finishing) указывает на стремление к достижению более качественного, премиального конечного продукта.

Наследование множества базовых принципов прошлых типов раскатных станов (МРМ, ММ) позволило быстро подтвердить конкурентные преимущества нового оборудования, свидетельством чему является стремительное строительство новых PQF (16 станов PQF за 6 лет по всему миру). ОАО «ТАГМЕТ» стал третьим заводом в мире и первым в России, где был установлен непрерывный стан PQF.

Оптимальное использование PQF предполагает высокую производительность в совокупности с высоким качеством, что требует детального подхода к каждому этапу технологического процесса.

Процесс прошивки является одним из ключевых в производстве бесшовных труб, а используемая оправка в операции прошивки в станах поперечно-винтовой прокатки значительно влияет на качество получаемой гильзы.

Типичной для всех прошивных станов является проблема стойкости оправок. Выход из строя прошивных оправок обусловлен агрессивными условиями их работы во время прошивки (нахождение в очаге деформации под воздействием высоких температур), а тенденция к производству бесшовных труб из легированных сталей существенно усугубляет условия проката.

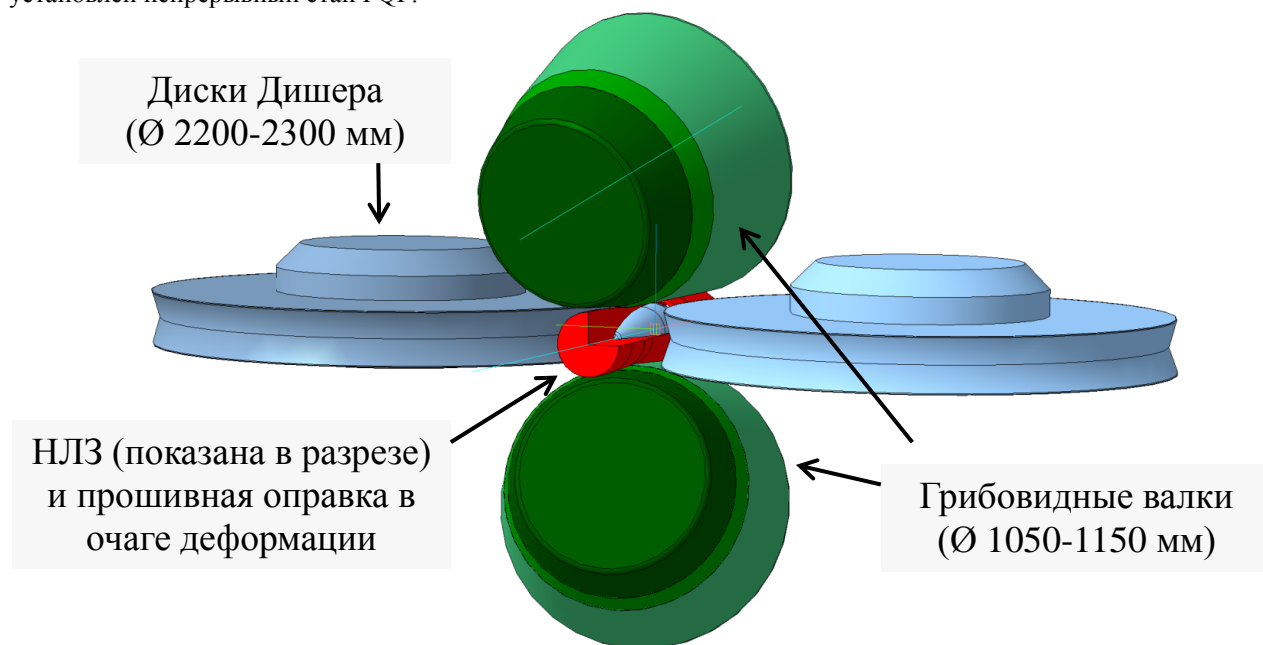


Рис. 3 – Схема очага деформации прошивного стана KSW 1150 VD



Рис. 4 – фото вышедших из строя оправок прошивного стана

Основные факторы, влияющие на износостойкость прошивных оправок:

– режим деформации (вытяжка, обжатие перед носком оправки, время прошивки и др.);

- свойства прокатного инструмента и прошиваемого материала (марка стали, твердость, режимы термообработки инструмента и др.);
- температурные условия работы, распределение температуры по объему инструмента;

Виды износа оправок:

- пластическая деформация носка и рабочей поверхности;
- местная выработка;
- истирание, задиры, приваривание и отрыв металла от тела оправки;
- трещины в виде сетки разгара, зональные трещины;
- оплавление рабочей части оправки.

Способы повышения износостойкости оправок:

- изменение режимов деформации;
- разработка новых конструкций и материалов оправок;
- совершенствование режимов охлаждения.

Совместно с технологическими и техническими службами ОАО «ТАГМЕТ» я

принимал участие в работах, связанных с прошивными оправками: расчёте и применении оптимальных режимов формоизменения, калибровок оправок, подбор оптимальных марок стали и режимов термообработки в собственном производстве оправок, выборе наилучших сторонних производителей оправок. Данные работы привели к ряду положительных результатов.

Однако, по мере освоения нового оборудования и увеличения объёмов производимой продукции, при общем снижении простоев технологические простои, связанные с необходимостью замены вышедших из строя прошивных оправок и потери на увеличение производственного цикла из-за их перегрева напротив возросли, в среднем достигнув 20-ти часов в месяц в 2012-2013 годах.

Причинами этого стало снижение производственных циклов (ускорение работы оборудования), увеличение кратности реза трубных заготовок на отдельных сортаментах, снижение простоев, получение гильзы оптимальной для раскатки в PQF.

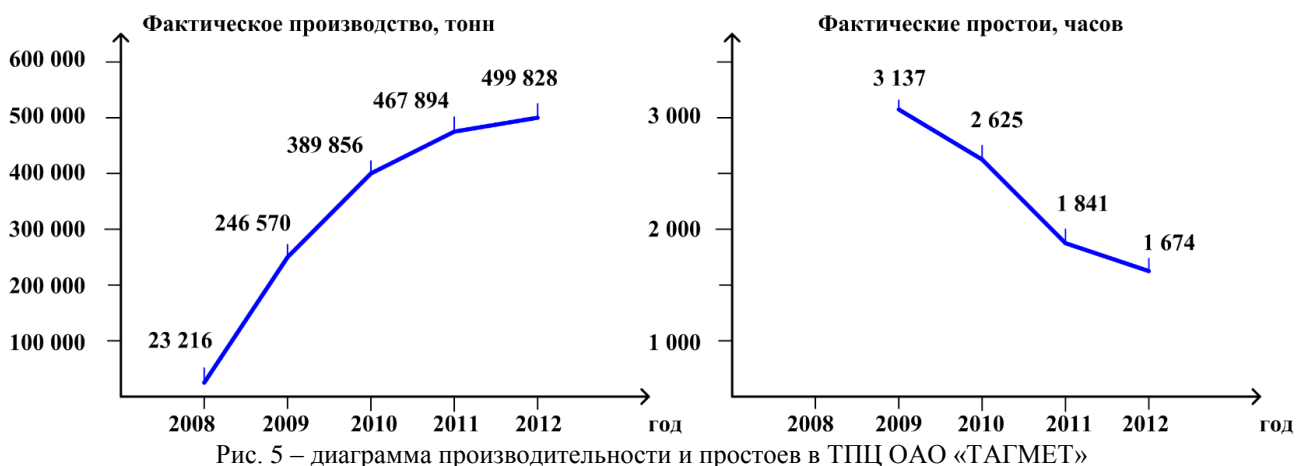


Рис. 6 – фото гильз на участке между прошивным и непрерывным станом (слева) и трубных заготовок на холодильнике (справа)

Одной из особенностей непрерывных станов является дороговизна раскатных оправок. Высокая цена обуславливается необходимостью использования высококачественной стали и сложностью изготовления данного прокатного инструмента, учитывая его значительные размеры, массу и при этом высокоточные допуски. Несоблюдение допусков на толщину стенки гильзы на прошивном стане с целью увеличения срока

службы прошивных оправок (в частности, уменьшение вытяжки и получение более толстой стенки гильзы) недопустимо не только по технологическим, но и по экономическим причинам – увеличивается нагрузка на непрерывном стане и значительно снижается стойкость существенно более дорогих раскатных оправок.

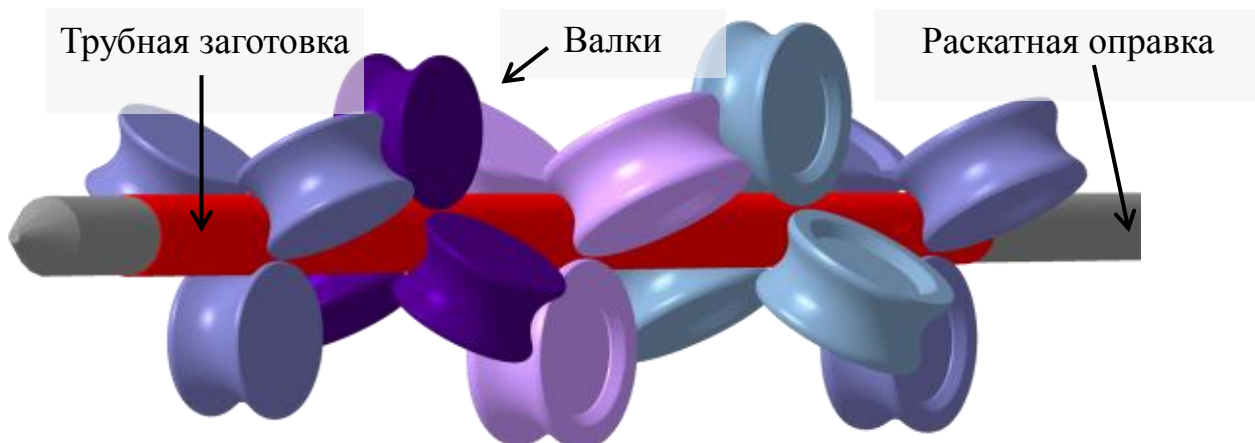


Рис. 7 – схема раскатки трубной заготовки в стане PQF

Система охлаждения прошивных оправок, изначально предложенная поставщиком оборудования, предусматривала использование трех оправок, попеременно работающих и охлаждаемых как снаружи, так и изнутри в специальной ёмкости с водой. Подвод воды внутрь оправки через прошивной стержень при этом предусмотрен не был.

Ненадёжность конструкции механизма автоматической смены оправок не позволила эффективно использовать эту систему (работа зависела от пружин и пальцев, подверженных ослабеванию и износу). Зачастую очередная оправка не одевалась или не фиксировалась на адаптере стержня, что приводило к её падению и последующей аварийной остановке.



Рис. 8 – фото выходной стороны прошивного стана KSW 1150 VD – общий вид (слева) и система смены и охлаждения оправок (справа)

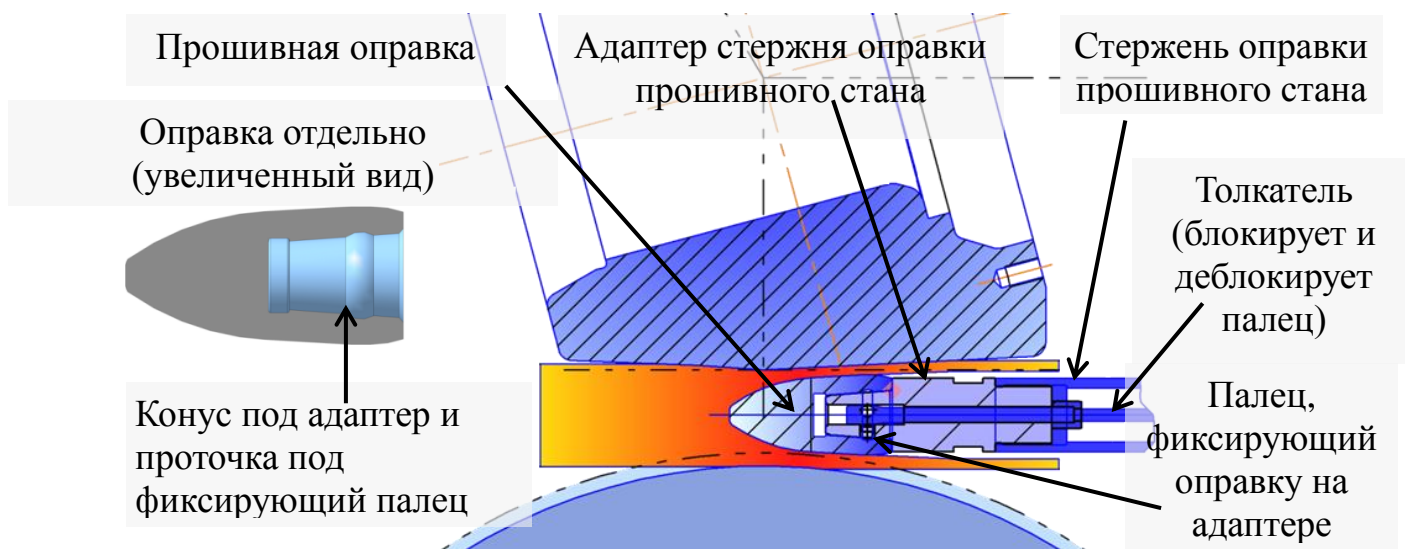


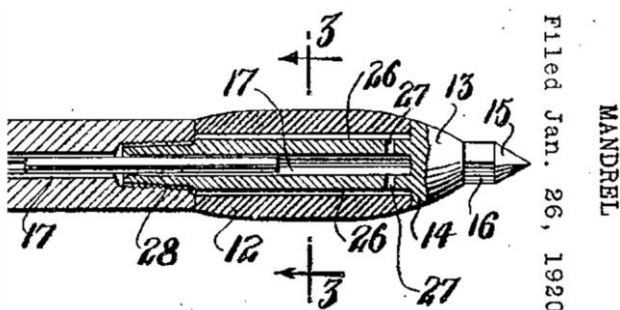
Рис. 9 – Схема очага деформации прошивного стана KSW 1150VD

В результате было принято решение отказаться от механизма автоматической смены оправок и работать на одной оправке с внешним охлаждением между циклами прошивки (не более 10 секунд на охлаждение).

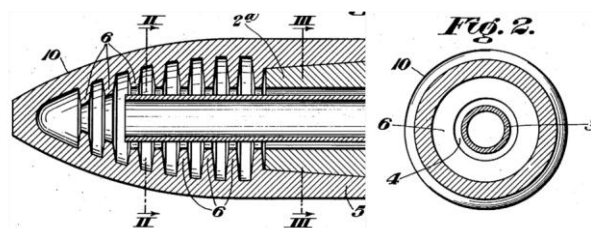
Оправки, используемые таким образом, преждевременно выходили из строя по причине возникновения трещин из-за теплового удара, а также преждевременного износа, ввиду недостаточного охлаждения. Проанализировав научно-техническую литературу и патентные издания и др. информационные материалы по данной тематике, видно, что за последнее столетие

изобретателями и практиками неоднократно рассматривались проблемы стойкости прошивных оправок и предлагались различные способы её увеличения, связанные с внутренним водоохлаждением.

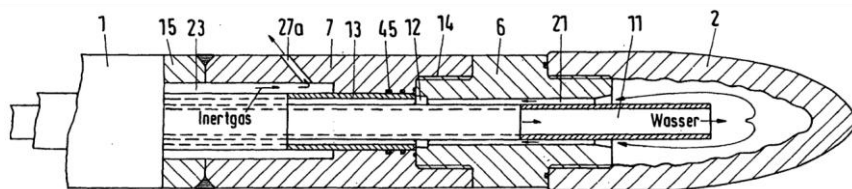
Примерами тому служит ряд патентов: US 1445139 от 26.01.1920 г., US 1455703 от 30.01.1923 г., US 1950938 от 23.02.1932 г., US 1951078 от 23.02.1932 г., US 3049947 от 05.05.1959 г., авторское свидетельство СССР 149079 от 01.01.1962 г., патент EP0787542 B1 от 02.02.1996 г. и др.



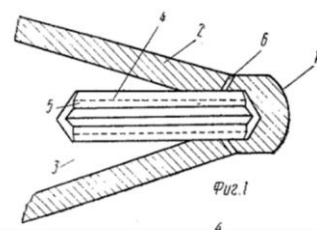
Циркуляция жидкости к оправке через охлаждающую трубу и обратно через стержень



Сложные формы внутренней поверхности оправки для оптимизации охлаждения



Отвод пара назад от очага деформации



Медный стержень в носке оправки, отводящий тепло и разделяющий потоки жидкости

Рис. 10 – иллюстрации водоохлаждаемых оправок из патентов

Использование оправок с внутренним водяным охлаждением было характерно для советских ТПА (исключение составляли ТПА с пилигримовыми станами). Актуальны и в наше

время, находят применение в станах зарубежного производства.

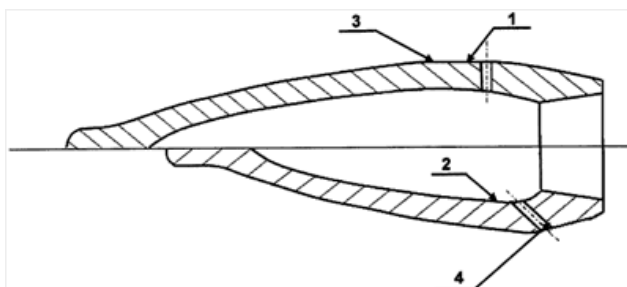
В качестве примера предприятий, применяющих водоохлаждаемые оправки, можно привести ПАО «ДТЗ» (ТПА 80 с непрерывным

[illegible]

Fig. 3

После пуска в ТПЦ-1 ОАО «СТЗ» прошивного стана ТПА-450 производства ОАО «ЭЗТМ» (2007-й год) было запатентовано решение о применении внутреннего охлаждения оправок прошивного стана.

на пильгерстане. Причиной отказа от этого изобретения стало образование другого дефекта – закалочных трещин. Впоследствии на пилигримовых станах были установлены ванны механизированной смазки дорнов, которые решили проблему «внутренних раковин».



С 2010 года по настоящее время (осень 2013 года) на ОАО «ТАГМЕТ» проводятся испытания оправок с внутренним водяным охлаждением. Основным поставщиком оборудования и оправок для испытания стала фирма-поставщик стана –

При использовании водоохлаждаемых оправок на ОАО «ТАГМЕТ» применяется стержень, обеспечивающий внутреннее охлаждение

с давлением 5 – 25 бар, на который устанавливается полая внутри оправка. Оправка работает до

появления трещины, сильной деформации носка или тела оправки.

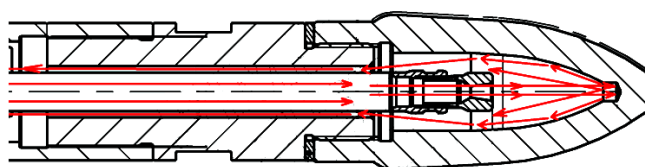
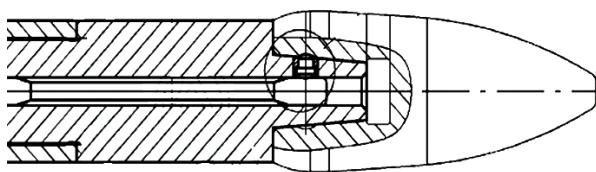


Рис. 14 – схема неводоохлаждаемой (слева) и водоохлаждаемой (справа) оправок прошивного стана используемых на ОАО «ТАГМЕТ»

Несмотря на повышение стойкости, оправки часто снимались из эксплуатации по

причине образования трещин, в том числе из-за аварийных случаев раскола оправок.

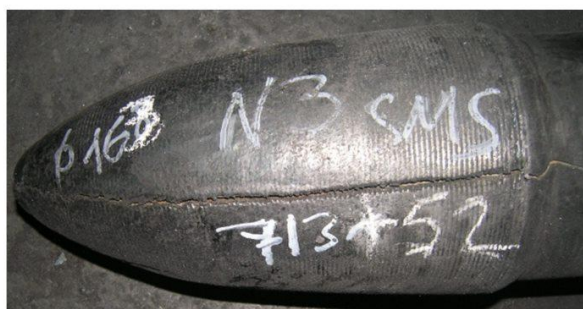


Рис. 15 – фото водоохлаждаемых оправок вышедших из строя по причине образования трещин, раскола

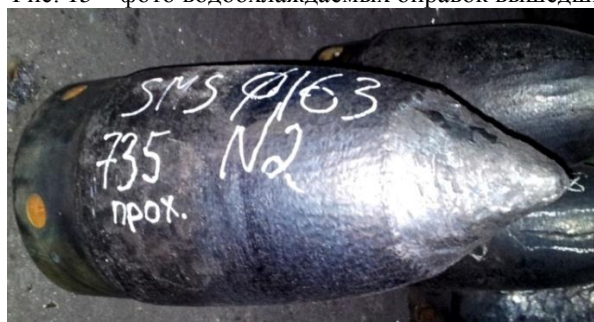


Рис. 16 – фото водоохлаждаемых оправок с изношенной рабочей поверхностью

Из двух вариантов крепления оправок на адаптере стержня (резьбовое и штифтовое соединения) по результатам испытаний был выбран

штифтовой – замена оправок производилась легче и быстрее.

Отверстия под  
штифты



Рис. 17 – фото использованной водоохлаждаемой оправки «PQSC» (производства фирмы SMS MEER) с штифтовым креплением

Результатом последовательных испытаний водоохлаждаемых прошивных оправок на ОАО «ТАГМЕТ» стало:

1. изменение внутренней геометрии оправки. Полый цилиндр в носке оправки заменен на скругленный участок радиусом 20 мм, что позволило снять термоциклические напряжения и улучшить охлаждение носка оправки;

2. повышение твердости оправок с 33 до 41 HRC;

3. тип соединения заменен с резьбового на штифтовое, что позволило снизить время на замену

оправок с 20 – 30 минут до 3 – 5 минут и значительно снизить трудоёмкость этой операции;

4. изменены толщина (с 0 до 5,8 мм) и участки покрытия поверхности оправки упрочняющим слоем (по ноу-хау SMS MEER);

5. давление воды внутреннего охлаждения увеличено с 9 до 25 бар;

6. средняя стойкость оправок возросла с 109 до 786 проходов;

7. исключено раскалывание оправок.

Из таблицы 1 виден процесс улучшения эксплуатационных качеств водоохлаждаемых оправок по этапам испытаний.

Таблица 1

Технические характеристики водоохлаждаемых оправок по этапам испытаний

Параметр	1-й вариант 2010 год	2-й вариант 2011-2012	3-й вариант Сентябрь 2012	3-й вариант (тип I) Январь 2013	3-й вариант (тип II) Март 2013
Оксидное покрытие, мм	нет	0,7 половина оправки	1,5 вся оправка	2,5 вся оправка	5,8 вся оправка
Внутренняя геометрия	постоянный радиус с цилиндром в носке оправки	постоянный радиус с цилиндром в носке оправки	постоянный радиус с цилиндром в носке оправки	постоянный радиус с R = 20 мм в носке оправки	постоянный радиус с R = 20 мм в носке оправки
Тип соединения	резьбовое	резьбовое	штифтовое	штифтовое	штифтовое
Внешнее охлаждение, с	5 – 10 вода	5 – 7 вода	0 – 5 вода / воздух	2,5 вода	0 – 5 вода / воздух
Внутреннее охлаждение, бар	5	5	5 – 6	5 – 9	9 – 25
Диаметр оправки, мм	158, 163, 168	158, 163, 168	158, 163	163, 168	<b>163, 168</b>
Среднее количество прошивок, шт	109; 474; 591	668; 819; 831	343; 560	412; 500	<b>594; 706</b>

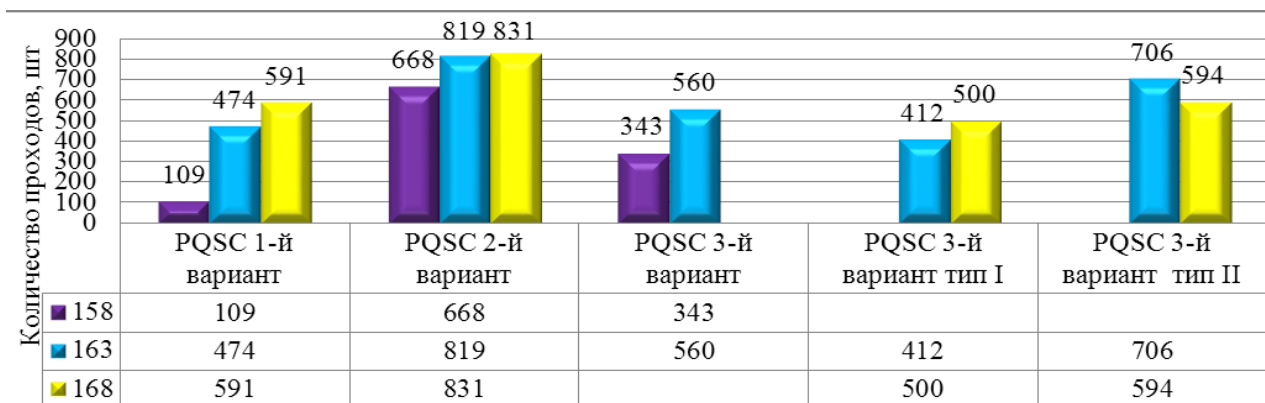


Рис. 18 – Достигнутые результаты стойкости при испытаниях водоохлаждаемых оправок на ОАО «ТАГМЕТ»

Использование водоохлаждаемых оправок позволило работать на больших развесах НЛЗ без снижения цикла связанного с перегревом оправок прошивного стана.

Так в ТПЦ ОАО «ТАГМЕТ» при использовании водоохлаждаемых оправок при прошивке НЛЗ диаметром 210 мм массой 800 – 900 кг удалось снизить цикл проката по сравнению с контрактным и фактическим (34 с) на 3 с (31 с). При массе НЛЗ более 900 кг удалось снизить цикл проката по сравнению с контрактным (38 с) и фактическим (40 с) уже на 4 – 6 с (34 с).

Из расчёта по количеству фактически прокатанных труб в 2012 году, предполагаемая годовая экономия за счёт возможного увеличения производительности с использованием оправок с внутренним водяным охлаждением составляет 130-ть часов в год.

Возможно и снижение простоев, связанных с заменой вышедших из строя оправок, за счёт применения водоохлаждаемых оправок, обладающих большей стойкостью. В настоящее время, такие простои ТПЦ ОАО «ТАГМЕТ» составляют в среднем 13,9 часов в месяц.

Таблица 2

Диаметр оправки, мм	Средняя стойкость оправок прошивного стана KSW 1150 VD	
	Средняя стойкость оправок, шт	
	Водоохлаждаемые (PQSC тип II)	Неводоохлаждаемые (Gandossi)
163	706	553
168	594	556

Более высокая стойкость водоохлаждаемых оправок, для испытанных диаметров оправок 163 и 168 мм, позволит сократить количество перевалок, и снизить простои на них на 14,4 часов в год.

Так же, как показал расчёт, возможна экономия на приобретении прокатного инструмента при использовании водоохлаждаемых оправок, за счет более высокой их стойкости.

В настоящее время мероприятия по дальнейшему улучшению эксплуатационных свойств и снижению себестоимости водоохлаждаемых оправок продолжаются.

В октябре 2013 запланирован финальный этап испытаний оправок PQSC фирмы SMS MEER.

В дальнейшем планируется испытание водоохлаждаемых оправок сторонних изготовителей по чертежам ОАО «ТАГМЕТ», водоохлаждаемых оправок собственного производства.