

## ТЕХНОЛОГИЧЕСКИЙ ВАРИАНТ ПРОИЗВОДСТВА БУРОВОЙ СТАЛИ И ОСОБОТОНКОСТЕННЫХ ТРУБ

Буркин С.П., Коршунов Е.А., Колесов А.Н., Брынских Я.А.

УГТУ-УПИ, ЗАО НПО «Уральские технологии», Екатеринбург, Россия, [ber.61@mail.ru](mailto:ber.61@mail.ru)

**Аннотация:** Обоснована эффективность применения прессования буровой стали и особо толстостенных труб из полых заготовок с внутренней поверхностью высокой чистоты, недостижимой ни при прессовой, ни при косовалковой прошивке, ни даже при сверлении.

**Ключевые слова:** *стальной сердечник, шестигранное сечение, буровая сталь, магнито-гидродинамическое вращение, кавитационностойкая сталь, коническая полость.*

## TECHNOLOGICAL VERSION OF PRODUCTION DRILLING STEEL AND SPECIAL THICK-WALLED PIPES

Burkin S. P., Korshunov E. A., Kolesov A. N., Brynskikh Ya. A.

Ural state technical University, JSC "Ural technology" Ekaterinburg, Russia

**Annotation:** *The efficiency of pressing drilling steel and specially thick-walled pipes made of hollow billets with an internal surface of high purity, which is not achievable either during pressing or drilling, or even during drilling, is proved.*

**Key words:** *steel core, hexagon section, drilling steel, magneto-hydrodynamic rotation, cavitation-resistant steel, conical cavity.*

Повышение качества и конкурентоспособности буровой стали, производимой в настоящее время способом горячей сортовой прокатки на деформируемом сердечнике, возможно лишь принципиальным изменением всей технологии – от изготовления пустотелых заготовок до получения готового профиля. В России буровая сталь производится на четырех металлургических предприятиях по ТУ 14-1-3567-85 «Сталь буровая пустотелая шестигранная и круглая с термомеханическим упрочнением», прокат марок У7, 55С2, 40Х2АФЕ, 28ХГНЗМ, 30ХГСФ, У7Ф и 95ХМ. Предполагается выпуск буровой стали в промышленных объемах из сталей марок 30ХГТ, 25Х2ГНТА и 35ХГСА по ГОСТ 4543-71.

На всех отечественных предприятиях принята с некоторыми модификациями одна технологическая схема. Буровые штанги диаметром до 24,5 мм шестигранного сечения и круглые штанги диаметром до 32 мм, как правило, изготавливают методом стержневой прокатки. При прокатке штанг подбирают стальную заготовку соответствующих размеров, в которой просверливают отверстие. После этого в отверстие вставляют смазанный стальной сердечник. Заготовку с сердечником прокатывают на стане в горячем состоянии до необходимых размеров. Стальной сердечник прокатывают одновременно с основным материалом, не сваривая с ним. После прокатки заготовку охлаждают на воздухе. Стальной сердечник вынимают. Буровые штанги диаметром более 32 мм изготавливают из полых заготовок по методу прокатки труб.

Прокатка пустотелой стали представляет собой прокатку биметалла. Заготовку квадратного сечения длиной около 1 м просверливают на всю длину и в полученное отверстие в холодной состоянии вставляют сердечник, диаметр которого на 0,5...1,0 мм меньше диаметра отверстия. Длина сердечника примерно на 100 мм больше длины заготовки. Сердечник обычно изготавливают из специальной стали аустенитного класса с содержанием около 14% Mn и около 3,5% Ni. Как известно, сечение образца из такой стали при растяжении равномерно уменьшается по всей длине, что обеспечивает возможность удаления сердечника из готовой шестигранной стали.

В настоящее время основным производителем бурового инструмента в Швеции является фирма «Сандвик Коромант», входящая в состав компании «Сандвик Стил Веркс». Фирма выполняет также значительные работы по усовершенствованию буровых сталей и выявлению

условий повышения предела выносливости. На заводах компании «Сандвик Стил Веркс» электрический способ получения стали обеспечивает хороший контроль процесса плавки. Относительно маленькие размеры слитков также помогают достигнуть высокого качества стали.

После выплавки сталь подвергают горячей прокатке на блюминге, получая болванки четырехугольного сечения, передаваемые по транспортеру для дальнейшей обработки.

Существенным недостатком буровой стали, полученной прокаткой на деформируемом сердечнике, является малый выход годного, низкая производительность (из-за операции сверления заготовок) и низкая стойкость штанг перфораторов из-за внецентренности внутреннего канала. Последняя возникает достаточно часто при прокатке вследствие неоднородности свойств стали и неравномерности нагрева заготовок, а также из-за малой пригодности применяемых систем калибров, которые проектируются, как правило, для прокатки сплошных монометаллических профилей.

В качестве альтернативного технологического варианта изготовления буровых штанг может быть рассмотрен следующий. Выплавка стали осуществляется в специальной электропечи, снабженной устройством магнито-гидродинамического вращения расплава и камерой разлива металла. Формирование литой заготовки осуществляется намораживанием на водоохлаждаемый трубчатый кристаллизатор при циклическом движении расплава вдоль фронта кристаллизации. Отлитая полая заготовка в горячем состоянии подвергается токарной обработке и резке на мерные длины. После подогрева в проходной печи заготовки подаются к горизонтальному гидравлическому прессу. Прессование шестигранного полого профиля осуществляется со скоростью 300...400 мм/с обратным способом с применением конических оправок. Горячее прессование проводится с регламентированным передним натяжением, что исключает необходимость последующей правки. Не представляет затруднений изготовление буровых профилей с двумя и более отверстиями. Предлагаемый способ формирования литой заготовки дает возможность выпускать буровую сталь с плакированным каналом. В этом случае в качестве кристаллизатора используется труба из нержавеющей кавитационностойкой стали. Заготовки труб для кристаллизаторов могут изготавливаться на том же прессе.

Основными особенностями предлагаемого техпроцесса получения пустотелой буровой стали против действующего в настоящее время на заводе, призванными решить проблему существенного улучшения конкурентоспособности и повышения потребительских свойств буровой стали, являются следующие:

1. Создание специализированного, предметно-замкнутого, быстро и гибко переналаживаемого комплекса по производству буровой стали широкого сортамента на базе передовых реально осуществимых и необходимых технических решений в составе плавильного, литейного и прессового подкомплексов.
2. Решение проблемы получения литьем в составе литейного подкомплекса точной полой заготовки с хорошими наружной и внутренней поверхностями и главное – с точным расположением осевого отверстия, что в дальнейшем решает проблему разнотолщинности пустотелой буровой стали и повышения стойкости на продольный изгиб, которая должна возрасти примерно в семь раз против существующей.
3. Исключение из технологии получения буровой стали трудоемкой и затратной операции сверления исходных заготовок для получения буровой стали.
4. Замена прокатки буровой стали на деформируемом сердечнике-стержне операцией горячего прессования в составе прессового подкомплекса.
5. Получение точных прессованных профилей буровой стали точного марочного состава, аналогичного зарубежным сталям, и с точной геометрией поперечного сечения, допуск на разнотолщинность которого будет в пределах 0,15 мм.
6. Обеспечение возможности получения буровой стали с двумя отверстиями, что недостижимо при прокатке, а также с коррозионной и кавитационной защитой внутренних каналов, что существенно повышает потребительские свойства и конкурентоспособность такой буровой стали.
7. Существенное, примерно в 1,5 раза, снижение расхода металла за счет исключения операции сверления в заготовках осевых отверстий и исключение применения стержневой дорогостоящей стали, а также резкое снижение потерь металла от объема брака в литейном переделе.
8. Максимальное использование для литья заготовок и горячего прессования остаточного тепла плавильного передела.

9. Надежное удаление горячей обдиркой поверхностных дефектов на наружной поверхности исходных заготовок перед прессованием.
10. Обеспечение за счет полной унификации размеров исходных заготовок легкой и быстрой переналадки комплекса на выпуск различного сортамента профилей, в том числе малотоннажных объемов, так как переналадки сводится только к замене матриц на одном лишь прессе и регулировке на нем же положения иглы.

Прессование характеризуется благоприятной схемой напряженного состояния, обеспечением условий устранения разностенности прессуемых полых профилей и возможностью формирования концевых пробок, герметизирующих и оберегающих от окисления внутренние поверхности. Последнее обстоятельство важно с точки зрения снижения кавитационного износа буровых штанг и буров перфораторов.

При прессовании широко используют фасонные оправки (иглы), с помощью которых по длине пресс-изделия легко формируют полости нескольких диаметров (законцовки, пробки, утолщения и др.). Каждая ступень оправки при управлении с помощью независимой прошивной системы формирует конкретный диаметр отверстия. Однако ступенчатая оправка не может обеспечить формирование например слабо-конических полостей. Кроме того, проблемными являются надежное управление фасонной оправкой, позиционирование относительно калибрующей части матрицы, поскольку при инструментальной наладке трудно определить надежную базу отсчета, а при управлении движением оправки – учесть люфты и упругие деформации прессового инструмента и его приводов.

Когда требуется прессовать толстостенные трубные заготовки и профили с каналами малого сечения, то препятствием выступает малая прочность тонких игл, которые ломаются при малейшем налипании металла на рабочую поверхность. Особенно это распространено при прессовании специальных сталей и сплавов на никелевой основе, обладающих повышенной адгезионной активностью к стальному инструменту.

Перечисленные проблемы можно решить при использовании оправок с конической концевой рабочей частью. Оправка, воспринимающая при прессовании растягивающие напряжения, имеет достаточно большой диаметр и, следовательно, прочность, а ее коническая рабочая часть – весь набор диаметров для формирования полостей в изделии (рис. 1). Прессование может быть как с прямым, так и с обратным истечением металла. Прошитая заготовка помещается в контейнер 3 и впрессовывается в зазор между матрицей 5 и оправкой 1, формируя трубу 6. Коническую часть оправки вводят в рабочий канал матрицы, определяя его сечение для истечения металла. Диаметр оправки  $d_H$  больше диаметра калибрующего пояса матрицы  $D_M$ , поэтому в крайнем переднем положении она будет упираться в матрицу. Прижим оправки к матрице с регламентированным осевым усилием обеспечивает надежную отсчетную базу для ввода осевой координаты  $X$  рабочего положения иглы.

Если оправку выводят из полости матрицы, то возможно прессование сплошного профиля. Движение оправки вперед изменяет диаметр полости до величины, близкой к  $D_M$ , которая определяется предельным усилием прессования, поскольку по мере утонения стенки трубы (при увеличении  $d$ ) вытяжка и усилие прессования растут до бесконечности.

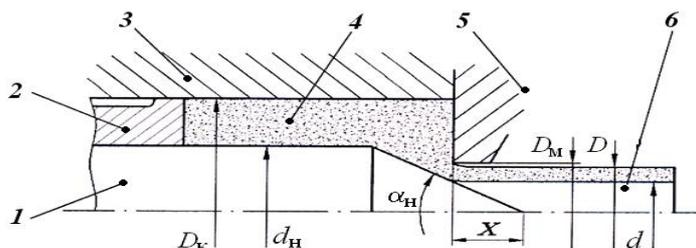


Рис. 1. Схема процесса прямого прессования с использованием

конической пресс-иглы: 1 – коническая пресс-игла; 2 – пресс-штемпель; 3 – контейнер; 4 – исходная заготовка; 5 – матрица; 6 – отпрессованная труба

В результате обработки экспериментальных данных для всех варьируемых параметров были получены графики зависимости относительных наружного и внутреннего диаметров прессуемой трубы от относительного положения иглы. На рис. 2 приведены примеры полученных зависимостей при прямом прессовании через коническую матрицу. Уменьшение наружного диаметра профиля с ростом относительного положения иглы объясняется внеконтактной деформацией и утяжкой профиля при малой несущей способности относительно тонкой стенки трубы. Как видно из рисунка, полученные зависимости достаточно близки к линейным. В результате линейной аппроксимации (см. таблицу) коэффициент корреляции, характеризующий тесноту линейной связи между рассматриваемыми величинами, составил величину не менее 0,99 и 0,96 для относительного внутреннего и наружного диаметров соответственно.

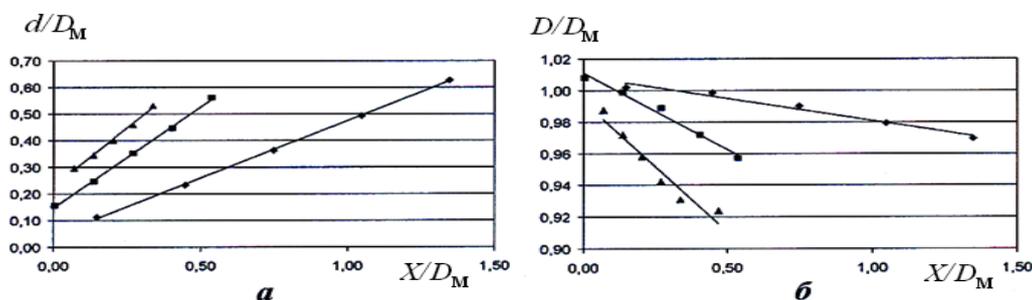


Рис. 2. Графики зависимости относительного внутреннего (а) и наружного (б) диаметров трубы от относительного положения иглы при прямом прессовании на плоскоконической матрице и оправках с углом конусности  $\alpha_H$ :  $\blacklozenge$  –  $30^\circ$ ,  $\blacksquare$  –  $60^\circ$  и  $\blacktriangle$  –  $90^\circ$

#### ЛИНЕЙНОЕ ОПИСАНИЕ ЗАВИСИМОСТИ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ВНУТРЕННЕГО И НАРУЖНОГО ДИАМЕТРОВ ТРУБЫ ОТ УСЛОВИЙ ПРЕССОВАНИЯ

Номер	Вид прессования	Конусность иглы	Вид матрицы	Уравнение аппроксимации $\frac{d}{D_M} \left( \frac{X}{D_M} \right)$	Коэфф. коррел.	Уравнение аппроксимации $\frac{D}{D_M} \left( \frac{X}{D_M} \right)$	Коэфф. коррел.
1	обратное	$\alpha_{и}=30^\circ$	плоская	$\frac{d}{D_M} = 0,456 \frac{X}{D_M} + 0,122$	0,999	$\frac{D}{D_M} = -0,025 \frac{X}{D_M} + 0,998$	0,982
2	обратное	$\alpha_{и}=60^\circ$	плоская	$\frac{d}{D_M} = 0,806 \frac{X}{D_M} + 0,109$	0,999	$\frac{D}{D_M} = -0,117 \frac{X}{D_M} + 0,999$	0,996
3	обратное	$\alpha_{и}=90^\circ$	плоская	$\frac{d}{D_M} = 0,988 \frac{X}{D_M} + 0,253$	0,997	$\frac{D}{D_M} = -0,253 \frac{X}{D_M} + 0,976$	0,996
4	обратное	$\alpha_{и}=30^\circ$	плоско-коническая	$\frac{d}{D_M} = 0,449 \frac{X}{D_M} + 0,061$	0,999	$\frac{D}{D_M} = -0,026 \frac{X}{D_M} + 1,003$	0,985
5	обратное	$\alpha_{и}=60^\circ$	плоско-коническая	$\frac{d}{D_M} = 0,792 \frac{X}{D_M} + 0,107$	0,998	$\frac{D}{D_M} = -0,127 \frac{X}{D_M} + 1,011$	0,988
6	обратное	$\alpha_{и}=90^\circ$	плоско-коническая	$\frac{d}{D_M} = 1,002 \frac{X}{D_M} + 0,260$	0,999	$\frac{D}{D_M} = -0,182 \frac{X}{D_M} + 0,973$	0,990
7	прямое	$\alpha_{и}=30^\circ$	плоская	$\frac{d}{D_M} = 0,455 \frac{X}{D_M} + 0,051$	0,999	$\frac{D}{D_M} = -0,027 \frac{X}{D_M} + 1,001$	0,963
8	прямое	$\alpha_{и}=60^\circ$	плоская	$\frac{d}{D_M} = 0,784 \frac{X}{D_M} + 0,129$	0,999	$\frac{D}{D_M} = -0,111 \frac{X}{D_M} + 0,999$	0,992
9	прямое	$\alpha_{и}=30^\circ$	плоско-коническая	$\frac{d}{D_M} = 0,431 \frac{X}{D_M} + 0,044$	1,000	$\frac{D}{D_M} = -0,028 \frac{X}{D_M} + 1,009$	0,986
10	прямое	$\alpha_{и}=60^\circ$	плоско-коническая	$\frac{d}{D_M} = 0,760 \frac{X}{D_M} + 0,147$	0,999	$\frac{D}{D_M} = -0,097 \frac{X}{D_M} + 1,011$	0,991

11	прямое	$\alpha_{и}=90^0$	плоско-коническая	$\frac{d}{D_M} = 0,878 \frac{X}{D_M} + 0,230$	0,997	$\frac{D}{D_M} = -0,165 \frac{X}{D_M} + 0,993$	0,968
----	--------	-------------------	-------------------	---	-------	--	-------

При анализе разностенности отпрессованных труб было отмечено, что относительная максимальная разностенность, полученная при прессовании на плоско-конической матрице, приблизительно в два раза меньше, чем при прессовании на плоской матрице. Данный факт объясняется большей величиной центрирующих иглу напряжений, возникающих в зазоре между конусом иглы и конусом матрицы, позволяя получать трубы с меньшей величиной разностенности за счет самоцентрирования оправки. По сравнению с существующими способами прессования на цилиндрической и бутылочной оправках конические оправки имеют более высокую стойкость. Наличие более жесткого тела иглы и отсутствие калибрующего хвостовика, отрыв которого является основной причиной выхода бутылочных оправок из строя, позволяют использовать их при жестких температурных и напряженных условиях, например при прессовании стальных буровых штанг. Применение в данном процессе конических оправок с двумя коническими наконечниками может обеспечить, например, получение буровых штанг с двумя каналами, в том числе закрученными по спирали. Одним из преимуществ конических пресс-игл также является простота реставрации рабочей поверхности конических оправок простой переточкой рабочего конуса.

Для реализации способа обратного прессования буровой стали с использованием оправок с коническим наконечником спроектирована опытно-промышленная прессовая установка, конструкция которой показана на рис. 3.

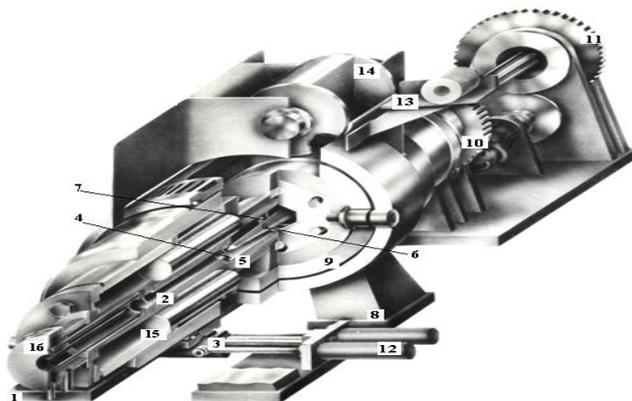


Рис. 3. Конструкция горизонтальной прессовой установки обратного прессования с конической оправкой:

1 – станина пресса; 2 – пресс-штемпель; 3 – привод механизма затвора контейнера; 4 – матрица; 5 – контейнер; 6 – игла независимой прошивной системы; 7 – затвор контейнера; 8 – опора станины; 9 – блок рабочих цилиндров; 10 – гидромеханический привод перемещения иглы; 11 – гидромеханический привод поворота иглы; 12 – гидроцилиндры привода затвора контейнера; 13 – стол подачи литых заготовок; 14 – загрузочное устройство; 15 – блок возвратных цилиндров; 16 – устройство охлаждения

Рассмотренный технологический вариант производства буровой стали дает возможность устранить недостатки известной и широко применяемой технологии прокатки. В первую очередь гарантируется отсутствие смещения осевого канала, что снижает усталостный износ буров перфораторов. Кроме того, появляется простая возможность изготавливать буровую сталь с внутренней плакировкой из коррозионно- и кавитационностойкой стали. Предлагаемое здесь техническое решение предусматривается к реализации в рамках «Комплексной программы по разработке новых технологий и прогрессивного отечественного оборудования в области обработки металлов давлением, как базового оборудования для технического переоснащения предприятий Российской Федерации» предприятиями ЗАО НПО «Уральские технологии» и КР ОсОО «Компания ИнМехМаш».