

5. Коротаев Ю. А. Прогрессивный инструмент для формообразования зубьев многозаходных героторных ме-

ханизмов винтовых забойных двигателей и насосов. – М. : ВНИИОЭНГ, 2002. – 76 с.

Yu. A. Korotaev, Doctor of Technical Sciences, LLC “VNIIBT “Drilling Tools”
V. A. Ivanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Perm State Technical University
V. A. Shulepov, LLC “Kvadro”, Perm

Polishing of Multilobe Downhole Motor and Pump Rotors with Abrasive Rubber Bond Wheels

An application of downhole rotor gear finishing is described. The advantages and disadvantages of polishing with screw, globoidal and disc abrasive rubber bond wheels are demonstrated. The equipment used and methods of abrasive wheels profiling are described, and efficient modes of polishing are determined. Technology of rotor polishing allows increasing the downhole rotor power section life and its power characteristics.

Key words: downhole screw motor, rotor, polishing, abrasive wheel, surface roughness.

УДК 622.24.05/621.77

Ю. А. Коротаев, доктор технических наук, ООО «ВНИИБТ «Буровой инструмент», Пермь
В. А. Иванов, доктор технических наук, профессор, Пермский государственный технический университет
Д. А. Голдобин, ООО «ВНИИБТ «Буровой инструмент», Пермь

**ТЕХНОЛОГИЯ ИЗГОТОВЛЕНИЯ РАБОЧИХ ОРГАНОВ
ВИНТОВЫХ ЗАБОЙНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ
С ОБЛЕГЧЕННЫМИ РОТОРАМИ И АРМИРОВАННЫМИ СТАТОРАМИ**

Описана конструкция облегченного ротора и статора, армированного стальной тонкостенной винтовой оболочкой, технология, камера высокого давления и пресс-штамп для штамповки стальных тонкостенных оболочек с винтовыми зубьями жидкостью высокого давления. Установлено влияние погрешностей изготовления трубной заготовки, погрешностей изготовления сердечника пресс-штампа, остаточной деформации на точность геометрических параметров отштампованной оболочки.

Ключевые слова: винтовой забойный двигатель, статор, ротор, пресс-штамп, пресс-форма, винтовая оболочка, энергетические характеристики.

Винтовой забойный двигатель служит для бурения нефтяных и газовых скважин. Его силовым органом является секция рабочих органов, состоящая из ротора и статора. Ротор выполняется металлическим с наружными винтовыми зубьями, а статор – с внутренними зубьями, выполненными из эластомера. Количество зубьев статора на единицу больше количества зубьев ротора (рис. 1).

Вращение ротора в статоре осуществляется планетарно, вследствие чего на статор двигателя действуют поперечные низкочастотные колебания боль-

шой силы. Эти силы вызваны центробежной силой F_u ротора, вращающегося вокруг оси статора. Для двигателя габарита 106 мм частота колебаний составляет 12,5 Гц, поперечные силы для цельного ротора длиной 3 м достигают значения более 160 кг. Эти нагрузки приводят к быстрому износу деталей двигателя, особенно зубьев статора, а также могут оказать негативное влияние на обсадную колонну скважины. Для уменьшения влияния поперечных сил от вращения ротора последний выполняется максимально облегченным [1].

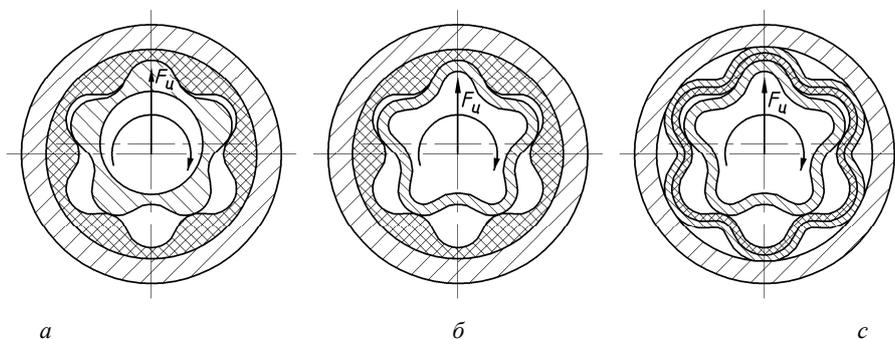


Рис. 1. Торцовое сечение секций рабочих органов винтового забойного двигателя: а – стандартный статор с полым ротором; б – стандартный статор с облегченным ротором; в – армированный статор с облегченным ротором

Одним из способов изготовления облегченного ротора является метод гидроштамповки [2, 3, 5, 6]. Проведенные в Пермском филиале ВНИИБТ исследования и широкая апробация технологического процесса гидроштамповки тонкостенных роторов (рис. 2) подтвердили значительные преимущества перед традиционной технологией зубофрезерования:

- снижение материалоемкости в 4–5 раз;
- повышение производительности труда в 5–10 раз за счет уменьшения машинного времени формообразования зубьев ротора;
- повышение качества роторов за счет высокой чистоты рабочих поверхностей зубьев, сохраняющих исходные параметры шероховатости трубной заготовки, которая вследствие простой геометрической формы может быть отполирована до любой требуемой чистоты перед штамповкой.

Сейчас метод гидроштамповки применяется также для создания вкладышей армированных статоров (рис. 3) [4]. Двигатели с армированными статорами отличаются улучшенными энергетическими и эксплуатационными характеристиками. Армированный статор получается методом установки винтовой оболочки внутрь корпуса и обрешивания. Секции рабочих органов может включать одновременно армированный статор и облегченный ротор (рис. 1).

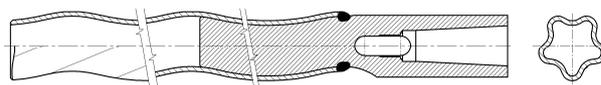


Рис. 2. Ротор винтового забойного двигателя

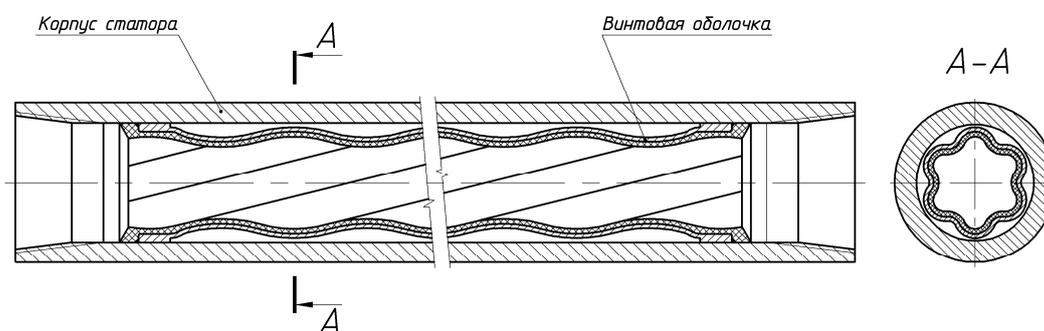


Рис. 3. Статор винтового забойного двигателя

Для изготовления винтовых оболочек используются усовершенствованные конструкции пресс-штампа и камеры высокого давления, гидрокомпрессор высокого давления и пускорегулирующая аппаратура.

Пресс-штамп представляет собой профильный сердечник, размещенный внутри трубной заготовки. Оболочка зафиксирована на сердечнике посредством торцевых втулок, закрепленных гайками. Пресс-штамп устанавливается в камеру высокого давления, к которой подводится магистраль от компрессора высокого давления. Масло, идущее от компрессора, заполняет полость между расточкой камеры и трубной заготовкой. Силы давления масла воздействуют на трубную заготовку, которая, пластически деформируясь, принимает форму профильного сердечника пресс-штампа. Воздух и излишки смазки из полости между сердечником и заготовкой вытесняются в атмосферу через зазоры между втулками и сердечником. При достижении давления 250 МПа процесс гидроштамповки прекращается, а пресс-штамп извлекается из камеры.

Камера высокого давления и ее резьбы при проектировании рассчитываются на прочность. Корпус камеры подвергается расчету на действие внутреннего давления 250 МПа, а резьбы рассчитываются на выдерживание осевой силы, возникающей от действия внутреннего давления. Эти силы могут достигать 200 и более тонн.

Извлечение сердечника из оболочки осуществляется на специальном прессе. Сердечник с отштампованной заготовкой устанавливается на станину прессы. Заготовка через опорное кольцо упирается в основание прессы, а сердечник вытягивается из оболочки при помощи гидроцилиндра. Усилие вытяжки составляет от 20 до 100 тонн в зависимости от типоразмера и длины заготовки.

Для облегчения извлечения сердечника из оболочки, а также для увеличения срока его службы применяются специальные смазки. Смазки наносятся на сердечник и на внутреннюю поверхность заготовки. Применяемые смазки должны обладать очень высокими противозадирными свойствами, а также хорошо удерживаться на деталях. В последнее время для смазки сердечников используется технологическая водорастворимая смазка «Синерс-МФ» производства ФГУП «НИИполимеров». Эта смазка обладает повышенными противозадирными свойствами и легко смывается водой, оставляя поверхности сердечника и заготовки чистыми. Опыт применения смазки «Синерс-МФ» показал, что ее использование значительно снижает износ сердечника пресс-штампа в отличие от применения консистентных нефтеполимерных смазок.

В связи с высоким давлением гидроштамповки, а также в связи с тем, что вытягивание сердечника из оболочки связано с повышенным трением, на поверхности сердечника появляются следы нагартовки

и наволакивания металла заготовки. Эти дефекты необходимо удалять шабером или напильником. Для повышения износостойкости и уменьшения контактного износа поверхность сердечника упрочняется. Одним из высокоэффективных способов упрочнения является ионное азотирование, что требует применения специальных марок сталей. Твердость поверхности сердечника составляет 900–1000 HV.

Точность получения винтового профиля заготовки зависит от точности размеров трубной заготовки и точности зубчатой поверхности сердечника пресс-штампа. Большое значение имеет соосность внутреннего и наружного диаметров заготовки (рис. 4). При эксцентрисичности наружного и внутреннего диаметров возникает разностенность заготовки, которая

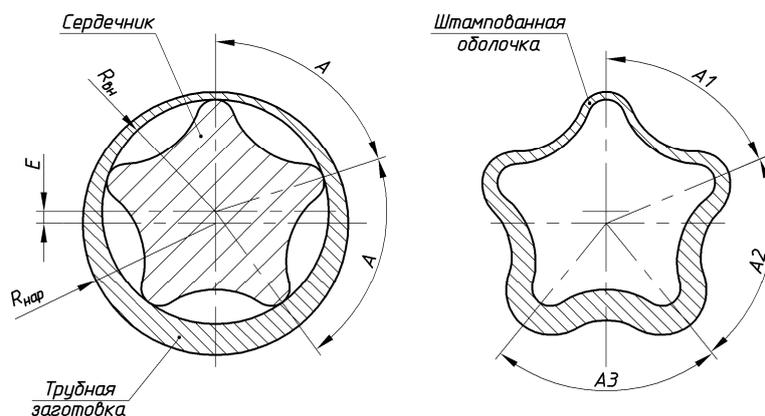


Рис. 4. Влияние разностенности заготовки на точность внешнего профиля

Еще одним из способов повышения точности трубной заготовки является метод калибровки. Заготовка подвергается гидроформованию на сердечнике круглого сечения. Эта операция применяется для заготовок, предназначенных для изготовления оболочек роторов ВЗД. Благодаря этому способу внутренняя поверхность заготовки приобретает очень точный диаметр, устраняется эллипсность и непрямолинейность. Чтобы обеспечить необходимый натяг штампованного ротора со статором, заготовка после калибровки обтачивается на требуемый размер и полируется, после чего производится гидроштамповка на винтовом сердечнике. Диаметр обточки заготовки рассчитывается по формуле

$$D_{\text{заг}} = D_{\text{рот}} + (D_{\text{вн}} - D_{\text{сер}});$$

где $D_{\text{рот}}$ – требуемый диаметр ротора по выступам с условием обеспечения натяга со статором; $D_{\text{вн}}$ – внутренний диаметр заготовки; $D_{\text{сер}}$ – диаметр формирующего сердечника по выступам.

Для изготовления гидроштампованных оболочек рабочих органов ВГМ применяются стали, обладающие хорошей штампуемостью. Это, например, стали 10, 15, 20. Величина относительного удлинения этих сталей составляет 25–30 %. Для изготовления роторов используются нержавеющие стали марок 12X18H10T и т. п. Относительное удлинение этих сталей достигает до 50 %. Чтобы определить возможность штампования, рассчитывают длину

оказывает влияние на изменение внешнего профиля оболочки. Нарушение профиля оболочки связано с изменением углов при вершинах зубьев и с изменением высоты зубьев оболочки. Так, например, при разностенности трубы 0,5 мм погрешность высоты зубьев внешнего профиля достигает $\pm 0,13$ мм. Поэтому в качестве заготовок для роторов ВЗД в основном применяются калиброванные трубы повышенной точности. Для изготовления винтовых вкладышей статоров точность заготовки не имеет большого значения, так как рабочей является внутренняя поверхность оболочки. В связи с этим трубные заготовки вкладышей выполняются из обычных труб или с помощью расточки и обточки на требуемые диаметры.

контура поперечного сечения формирующего элемента (сердечника) и внутреннего диаметра заготовки. Оптимальным соотношением длин контуров является величина 0,9–1,05. Профили с оптимальным соотношением контуров имеют как правило количество зубьев 5–6. При уменьшенной длине контура сердечника относительно контура заготовки (4 и менее зубьев) возможность точного формообразования зубьев нарушается. В этом случае штамповка должна осуществляться в два приема на двух сердечниках, причем наружный диаметр сердечника для предварительного штампования должен быть на 0,5–1,0 мм выше диаметра сердечника для окончательного штампования.

При длине контура сердечника превышающего требуемое соотношение (7 и более зубьев) возникают повышенные пластические деформации заготовки, связанные с растяжением. Здесь имеет место нарушение геометрии профиля, связанной с увеличением осевого шага зубьев оболочки. Чтобы оболочка после формования имела заданный шаг, вводится корректирующая величина для осевого шага сердечника пресс-штампа.

Особенности расчета профиля сердечника пресс-штампа заключаются в следующем. Вначале расчетами определяются координаты профилей зубьев статора и ротора. Затем, учитывая толщину стенки трубной заготовки, строится профиль сердечника. При расчете профиля сердечника принимается во

внимание факт остаточной упругой деформации оболочки после снятия нагрузки от давления жидкости. Для разных профилей этот параметр имеет разное значение, зависящее от соотношения контуров сердечника и заготовки. Например, для числа зубьев 5 величина остаточной упругой деформации составляет 0,3 мм, для профилей с числом зубьев 7 этот параметр может достигать 0,5–0,8 мм в зависимости от высоты зубьев и диаметров заготовок. Упругая деформация для разных профилей рассчитывается опытным путем, методом пробных штамповок на экспериментальных сердечниках уменьшенной длины. С помощью современных расчетных методов количество опытных работ сводится к минимуму.

Конструкция тонкостенного ротора и вкладыша статора должна обладать необходимой прочностью и надежностью. Расчет прочности тонкостенных обечаек производится на первых этапах проектирования рабочих органов ВГМ. Так, для обеспечения достаточной прочности конструкции целесообразно увеличение толщины стенки оболочки, однако при этом толщина зубьев формообразующего сердечника снижается, что приводит к уменьшению долговечности сердечника, а также может привести к невозможности штамповки требуемого профиля. В связи с тем, что извлечение сердечника из оболочки связано с выпрессовкой на прессе продольной силой, осевой шаг зубьев оболочки должен обеспечивать вза-

имное скольжение оболочки и сердечника. Расчет тонкостенных винтовых конструкций целесообразно производить современными способами, основанными на методах конечных элементов. Например, для обеспечения выдерживания рабочей нагрузки 2 кН·м с необходимым запасом прочности толщина стенки оболочки ротора ВЗД диаметром 106 мм должна составлять не менее 4,5 мм.

Еще одной особенностью применения в забойном двигателе тонкостенного ротора является способность восстановления характеристик двигателя после износа рабочих органов и продление эксплуатационного периода на 50–70 %. Метод восстановления характеристик заключается в протаскивании внутри ротора дорна, диаметр которого на 0,5–0,8 мм выше внутреннего диаметра ротора по впадинам (рис. 5). При этом уменьшается высота зубьев ротора, что приводит к увеличению диаметрального натяга. Такой метод позволяет восстановить характеристику секции рабочих органов до 70 % от первоначальной. Способ отличается простотой и скоростью. Для его осуществления необходим пресс, обеспечивающий осевое усилие до 50 тонн. Протаскивание дорна осуществляется в 2-3 прохода с последующим увеличением диаметра дорна на 0,2–0,3 мм. Данный метод успешно применялся в Кунгурском УРБ ПО «Пермнефть» при испытаниях ВЗД диаметром 195 мм.

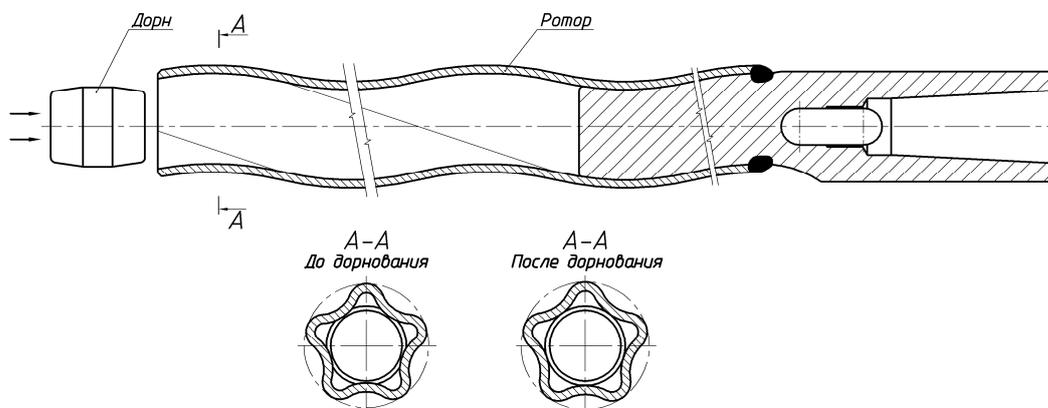


Рис. 5. Восстановление характеристик ВЗД дорнованием ротора

В настоящее время роторы из тонкостенных гидроштампованных винтовых оболочек применяются в серийных двигателях Д1-88 и Д1-106. Успешно прошли промысловые испытания в объединении «Оренбургнефть» секции рабочих органов двигателя Д-95 со статором, армированным тонкостенной гидроштампованной винтовой оболочкой. Секция рабочих органов отработала без ремонта 585 часов. Опыт изготовления тонкостенных стальных винтовых оболочек в ООО «ВНИИБТ «Буровой инструмент» показывает, что использование технологии гидроштамповки при производстве секций рабочих органов винтовых забойных двигателей позволяет значительно повысить их эффективность.

Библиографические ссылки

1. Кочнев А. М., Голдобин В. Б. Винтовой забойный двигатель с облегченным ротором // Нефть. хоз-во. – 1989. – № 9. – С. 14–16.
2. Пат. 1575607, МКИ E21B 4/02. Устройство для изготовления трубчатой оболочки ротора винтового забойного двигателя / Кочнев А. М., Голдобин В. Б., Вшивков А. Н., Политов В. Д. Опубл. 10.07.2000 г.
3. Пат. № 1218740, МКИ E21B 4/02. Способ изготовления трубчатой оболочки ротора винтового забойного двигателя и устройство для его осуществления / Кочнев А. М., Вшивков А. Н., Голдобин В. Б., Никомаров С. С. Опубл. 20.01.2000 г.
4. Новые конструкции статоров винтовых забойных двигателей производства ООО «ВНИИБТ «Буровой инструмент» / О. И. Фуфачев [и др.] // Бурение & Нефть. – 2010. – № 6. – С. 48–50.

5. Балденко Д. Ф., Балденко Ф. Д., Гноевых А. Н. Винтовые забойные двигатели. – М. : Недра, 1999.

6. Коротаев Ю. А. Технологическое обеспечение долговечности многозаходных винтовых героторных механизмов гидравлических забойных двигателей. – М. : ОАО «ВНИИОЭНГ», 2003. – 260 с.

Yu. A. Korotaev, Doctor of Technical Sciences, LLC “VNIIBT “Drilling Tools”
V. A. Ivanov, Doctor of Technical Sciences, Professor, Perm State Technical University
D. A. Goldobin, LLC “VNIIBT “Drilling Tools”

Technology of Production of Downhole Screw Motor Power Sections Containing Light Rotors and Reinforced Stators

The design of light rotor and stator reinforced with thin-walled steel screw casing, their manufacturing techniques, high pressure chamber and die to punch thin-walled steel casings with screw teeth using high pressure liquid are described. An effect of inaccuracies of tube blank and die core manufacturing and residual deformation on accuracy of the punched casing geometrical parameters is determined. New methods of thin-walled tube gaging and die core teeth profile calculation are developed.

Key words: downhole screw motor, stator, rotor, die, mold, screw casing, power characteristic.

УДК 622.3.621.453/457+536.79+355.014.1

Л. Л. Хименко, кандидат технических наук, доцент, Научно-исследовательский институт полимерных материалов, Пермь
А. В. Кочергин, Научно-исследовательский институт полимерных материалов, Пермь
А. Н. Козлов, кандидат технических наук, доцент, Пермская государственная сельскохозяйственная академия
Н. А. Рыбаков, кандидат технических наук, Пермский государственный технический университет
А. П. Рыбаков, доктор физико-математических наук, профессор, Пермский государственный технический университет

ИЗМЕРЕНИЕ ТЕПЛОЕМКОСТИ ПОЛИМЕРНОГО СОСТАВА ПОСЛЕ ВОЗДЕЙСТВИЯ СВЧ-ИЗЛУЧЕНИЯ

Приводятся результаты измерения теплоемкости СВЧ-облученного конденсированного полимерного состава. Обсуждаются некоторые аспекты СВЧ-воздействия на полимерные составы.

Ключевые слова: энергетический полимерный состав, СВЧ-излучение, реакция состава на СВЧ-излучение, теплоемкость.

Данная работа является продолжением теоретико-экспериментальных частично опубликованных [1–5] исследований по изучению различных аспектов воздействия СВЧ-излучения на конденсированные высокоэнергетические полимерные составы. В экспериментах исследован высокоэнергетический полимерный состав на основе полидивинилового эпоксиуретанового каучука с плотностью $1,8 \cdot 10^3$ кг/м³ и модулем Юнга 2 МПа. Использованы образцы данного состава массами 0,12–0,15 г. Облучение образцов произведено с помощью СВЧ-генератора с параметрами: частота излучения 2,45 ГГц, мощность излучения 600 Вт. Генератор размещался на открытой площадке, размеры которой исключали влияние отраженного от окружающих предметов СВЧ-излучения на образцы. Использован контейнер в виде пенопластовой коробки с размерами 150×90×60 мм с плотно закрывающейся крышкой. Внутри контейнер разделен на секции, в которые помещались образцы таким образом, чтобы не затенять друг друга от СВЧ-излучения. Пенопластовый контейнер является прозрачным для СВЧ-излучения и исключает влияние посторонних внешних факторов. Расстояние между образцами и рупором генератора равно 40 мм. Три партии по

три образца в каждой подвергались облучению длительностью 0; 35 и 60 мин., что и отражено в табл. 1. Расчет плотности поглощенной энергии и скорости ввода энергии произведен так же, как и в работе [3].

Через сутки после облучения произведено измерение теплоемкости этих образцов с помощью дифференциального сканирующего калориметра ДСК-111. Образцы помещены в открытые керамические тигли и испытаны в динамическом режиме со скоростью нагрева $\nu = 5$ К/мин в температурном диапазоне 30–130 °С. Тигель с исследуемым веществом помещен в измерительную часть канала калориметра, во второй канал помещен тигель с эталонным веществом Al₂O₃. В процессе измерения основная часть теплового потока проходит в исследуемый образец через блок последовательно соединенных термопар, окружающих каналы. При этом суммарная термоЭДС, образующаяся на выходе термопар, пропорциональна разности тепловых потоков к образцу и эталону. Удельная теплоемкость описывается соотношением

$$C_p = \frac{\left(\frac{\partial Q}{\partial t}\right)_p}{m},$$