

– отпуск 390 °С:

$\sigma_{\text{пл}} = 1510$ МПа; $\sigma_{0,2} = 1630$ МПа; $\sigma_{\text{в}} = 1860$ МПа;
 $\psi = 40$ %; КСУ = 0,3 МДж/м²;

– отпуск 500 °С:

$\sigma_{\text{пл}} = 1269$ МПа; $\sigma_{0,2} = 1360$ МПа; $\sigma_{\text{в}} = 1540$ МПа;
 $\psi = 43$ %; КСУ = 0,32 МДж/м².

Одной из возможных причин, объясняющих различия в свойствах образцов, отпущенных при печном нагреве и нагреве ТПЧ, является различие во времени выдержки при температуре отпуска. Поэтому для сравнения проводили печной отпуск при такой же выдержке, что и при отпуске с нагревом ТПЧ (7 мин). Свойства стали при этом оказались следующие:

$\sigma_{\text{пл}} = 1320$ МПа; $\sigma_{0,2} = 1460$ МПа; $\sigma_{\text{в}} = 1620$ МПа;
 $\psi = 55$ %; КСУ = 0,32 МДж/м².

Они отличаются от свойств после отпуска с нагревом ТПЧ, поэтому только сокращение времени выдержки – не единственная причина различия в свойствах, и, очевидно, нужно учитывать различную кинетику процессов, происходящих при отпуске в стали (распад мартенсита, перераспределение плотности дислокаций, образование и рост карбидов). Это, очевидно, может быть предметом дальнейших

исследований, а сопоставление полученных свойств показывает, что указанный отпуск ТПЧ близок по своим результатам к печному отпуску при температурах, близких к 200 °С.

Библиографические ссылки

1. Бернштейн М. Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов. – М. : Металлургия, 1968.
2. Шаврин О. И. Технология и оборудование термомеханической обработки деталей машин. – М. : Машиностроение, 1983.
3. Дементьев В. Б., Спичкин Н. А. Перспективы применения совмещенных процессов термической и пластической обработки в производстве стволь // Проблемы термодинамики и прочности : Сб. ст. – Ижевск : Изд-во ИПМ УрО РАН, 2005. – С. 270–279.
4. Дементьев В. Б., Спичкин Н. А., Сухих А. А. Создание изделий машиностроения с учетом новых технологических решений // Тр. XXIV Рос. школы «Наука и технологии». – Т. 1. – Москва, 2004. – С. 352–358.
5. Dementyev V., Spichkin N. About a new approach to the structure of the technological process of the manufacture of the machine components with thermomechanical strengthening / The 10-th China-Russian Symposium on Advanced Materials and Technologies. Rare Metals. – Vol. 28. – P. 757–760.

V. B. Dementyev, Doctor of Technical Sciences, Institute of Applied Mechanics, UB of RAS, Izhevsk

N. A. Spichkin, Candidate of Technical Sciences, Institute of Applied Mechanics, UB of RAS, Izhevsk

A. A. Sukhikh, Institute of Applied Mechanics, UB of RAS, Izhevsk

On Influence of Thermodeformation Modes of Prototype Schemes of Strengthening Processing on Structure and Properties of Steel 38ХНЗМФА

The influence of thermodeformation modes of prototype technological schemes of strengthening processing, including high-temperature thermomechanical processing, on structure and mechanical properties of steel 38ХНЗМФА is considered. It is shown that the setting ratio increase from 2,0 to 6,6 completely excludes dendritic structure formation in the sample, raises yield stress by 20 per cent and strength limit by 11 per cent. The tempering temperature influence on mechanical properties depends upon a heating method – furnace or induction.

Key words: thermodeformation modes, structure, mechanical properties.

УДК 621.9.02.04/622.24

Ю. А. Коротаев, доктор технических наук, ООО «ВНИИБТ «Буровой инструмент», Пермь

В. А. Иванов, доктор технических наук, профессор, Пермский государственный технический университет

В. А. Шулепов, ООО «Квадр», Пермь

ПОЛИРОВАНИЕ РОТОРОВ МНОГОЗАХОДНЫХ ВИНТОВЫХ ЗАБОЙНЫХ ДВИГАТЕЛЕЙ И НАСОСОВ АБРАЗИВНЫМИ КРУГАМИ НА ВУЛКАНИТОВОЙ СВЯЗКЕ

Описано назначение чистовой зубообработки роторов винтовых забойных двигателей. Показаны преимущества и недостатки полирования роторов червячными и дисковыми абразивными кругами на вулканитовой связке. Описаны устройства для работы данными кругами и способы профилирования абразивных кругов, установлены рациональные режимы полирования.

Ключевые слова: винтовой забойный двигатель, ротор, полирование, абразивный круг, шероховатость поверхности.

Многозаходные винтовые забойные двигатели используются для бурения нефтяных и газовых скважин, а насосы – для перекачивания нефти, растворов и сыпучих материалов.

Основной частью двигателя и насоса является винтовая пара внутреннего зацепления, состоящая из ротора и охватывающего его статора с числом зубьев (заходов), отличающимися на единицу. Такие пары

называются героторными механизмами [1, 2]. Зубья этих механизмов имеют циклоидообразные профили, благодаря чему все зубья ротора контактируют со всеми зубьями статора одновременно, образуя замкнутые винтообразные каналы. Статор в работе неподвижен, а ротор при прокачивании через механизм рабочей жидкости совершает планетарное движение, с эксцентриситетом равным расстоянию между осями ротора и статора. Ротор изготавливают из конструкционной или нержавеющей стали. Зубья ротора нарезаются фасонными червячными фрезами и подвергаются упрочнению азотированием, гальваническим хромированием или напылением твердым сплавом. Статор изготавливают из металлической трубы, внутри которой формируется прессованием зубчатая обкладка из резины с помощью металлического сердечника, закрепленного в корпусе статора. После формирования зубьев статор подвергается вулканизации. Сердечник по конструкции подобен ротору.

Необходимость применения чистовых методов обработки зубьев роторов объясняется двумя главными причинами: повышением долговечности героторного механизма и улучшением энергетической характеристики двигателя и насоса.

После формообразования зубьев роторов по методу обката фасонными червячными фрезами шероховатость поверхности зубьев составляет R_{z20} . Экспериментальные исследования показали, что снижение величины шероховатости R_{z20} до $R_{a1,25}$ позволяет на 20–30 % повысить долговечность героторных механизмов и на 8–10 % – коэффициент полезного действия двигателей и насосов. В Пермском филиале ВНИИБТ и на Кунгурском машиностроительном заводе при изготовлении винтовых забойных двигателей были исследованы различные методы чистовой обработки зубьев роторов: шлифование бесконечной лентой, полирование лепестковыми и войлочными кругами, полирование абразивными кругами на вулканитовой связке [3]. На основании экспериментальных исследований был сделан вывод, что наиболее предпочтительным является полирование абразивными кругами на вулканитовой связке.

Разработаны и исследованы два способа полирования роторов абразивными кругами на вулканитовой связке:

- 1) полирование цилиндрическим червячным кругом;
- 2) полирование дисковым фасонным кругом.

Полирование червячными абразивными кругами производится на токарном станке с использованием специального устройства. Схема устройства представлена на рис. 1. Оно включает верхнюю 1 и нижнюю 2 плиты.

Нижняя плита 2 закрепляется неподвижно на поперечных салазках 3 суппорта станка вместо резцедержателя. Верхняя плита 1 подвижная и может поворачиваться вокруг оси 4. На подвижной плите 1 установлен и закреплен электродвигатель 5 типа А02-12-4 с частотой вращения 1450 об/мин и мощно-

стью 0,8 кВт. С электродвигателем жестко связан планетарный редуктор 6 с передаточным отношением $i = 0,138$, на выходном валу которого установлен червячный абразивный круг 7. Для регулирования положения червячного круга 7 относительно оси ротора и создания усилия прижатия круга к ротору предусмотрен винт 8 и пружина 9. Ротор устанавливается во вращающихся центрах передней 10 и задней 11 бабок станка. Угол скрещивания γ осей ротора и червячного круга определяется по формуле

$$\gamma = \beta_p + \beta_{\text{ч}},$$

где β_p – угол наклона зубьев ротора; $\beta_{\text{ч}}$ – угол подъема витков червячного круга.

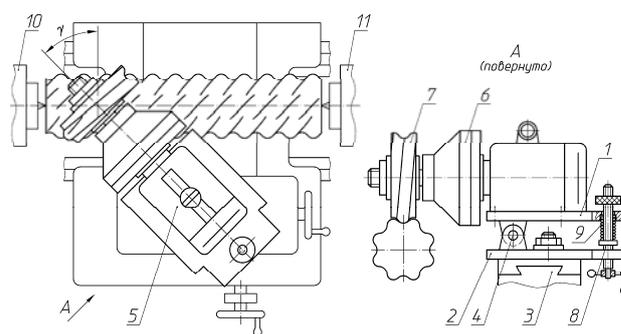


Рис. 1. Схема устройства для полирования роторов абразивным червяком

Знак «+» принимается при одноименном направлении винтовых линий круга ротора и червячного круга, знак «-» – при разноименном.

Червячный абразивный круг (рис. 2) состоит из отдельных абразивных дисковых кругов 1 марки ПП 300–40–127 14А20НГСВ₆Б, которые устанавливаются на втулке и соединяются между собой при помощи болтов и гаек.

Устройство работает следующим образом. Абразивный червячный круг вводится в зацепление с ротором и прижимается к нему с усилием 20–30 кгс при помощи винта 8 и пружины 9. От вала электродвигателя 5 через планетарный редуктор 6 вращение передается на круг 7, который вращает ротор. В процессе полирования суппорт с устройством для полирования перемещается вдоль оси ротора при помощи ходового винта станка. Таким образом, без кинематической связи между червячным абразивным кругом и ротором осуществляется процесс полирования по методу обката. В процессе полирования червячный абразивный круг изнашивается и постепенно принимает форму огибающей поверхности ротора. Пружина постоянно прижимает круг к ротору, выбирая зазоры в зацеплении. Профилирование цилиндрического абразивного червяка на вулканитовой связке выполняется на токарно-затыловочном станке сначала резцом, а затем дисковым абразивным кругом, как при затыловании червячных фрез, при отключенной кинематической цепи затылования (без вращения затыловочного кулачка). Профиль дискового шлифовального круга рассчитывается по мето-

дике, изложенной в работе [4]. При расчете параметр затылования принимается равным нулю.

Отработана технология полирования червячными абразивными кругами. Установлены оптимальный диаметр червячного круга 250 мм и режимы резания: частота вращения червячного круга 200 об/мин; продольная подача 35–40 мм/мин; число проходов 2. На втором проходе вращение червячного круга меняется на противоположное. В качестве смазочно-охлаждающей жидкости используется 10%-я эмульсия НГЛ-205. Шероховатость поверхности зубьев ротора из стали 40Х, 20Х13 твердостью НВ260-320 после полирования получается R_a 1,25–2,50 мкм. Стойкость червячного абразивного круга на вулканитовой связке составляет 120–180 мин, после чего появляется радиальное биение рабочей поверхности круга. Кроме того, круг засаливается, в результате чего ухудшается качество обработанной поверхности.

Основным недостатком полирования цилиндрическими червячными абразивными кругами на вулканитовой связке является отсутствие кинематической связи между инструментом и ротором. Это приводит к неравномерному износу червячного круга и возникновению погрешностей профиля зубьев ротора. Червячный абразивный круг ведет ротор прерывисто, что объясняется недостаточным коэффициентом перекрытия в процессе зацепления.

Полирование дисковым фасонным абразивным кругом не имеет вышеуказанных недостатков, поэтому оно получило в последние годы широкое применение в технологии изготовления роторов и сердечников пресс-форм статоров [2, 3, 5].

Схема устройства для полирования роторов дисковым абразивным кругом на вулканитовой связке показана на рис. 2.

Устройство имеет станину 11 с передней 1 и задней 8 бабками. В передней и задней бабках закреплены вращающиеся центры 2, 7, между которыми устанавливается деталь 3 (ротор или сердечник пресс-формы). На станине смонтирован суппорт 6, имеющий возможность продольного возвратно-поступательного движения вдоль оси детали. На суппорте расположен привод 4 абразивного круга (абразивный круг находится на выходном валу привода) и два направляющих упора 9, 10. Они располагаются справа и слева от зоны контакта абразивного круга 5 с обрабатываемой деталью, а их концы входят во впадины обрабатываемой детали. При настройке устройства направляющие упоры могут перемещаться относительно суппорта, фиксироваться и закрепляться на суппорте в требуемом положении. Устройство работает следующим образом.

Абразивный круг вводят в одну из впадин обрабатываемых деталей и прижимают к ней усилием 3–5 кН. Затем включают привод вращения круга и продольную подачу. Суппорт с закрепленным на нем приводом, абразивным кругом и направляющими упорами перемещается вдоль детали. Направляющие упоры, скользя по впадинам детали, обеспечивают согласованное поступательное движение абразивного круга с вращательным движением дета-

ли. После обработки одной впадины суппорт отводится в крайнее положение так, чтобы оба направляющих упора вышли из контакта с деталью. Затем производится деление и продолжается обработка следующей впадины.

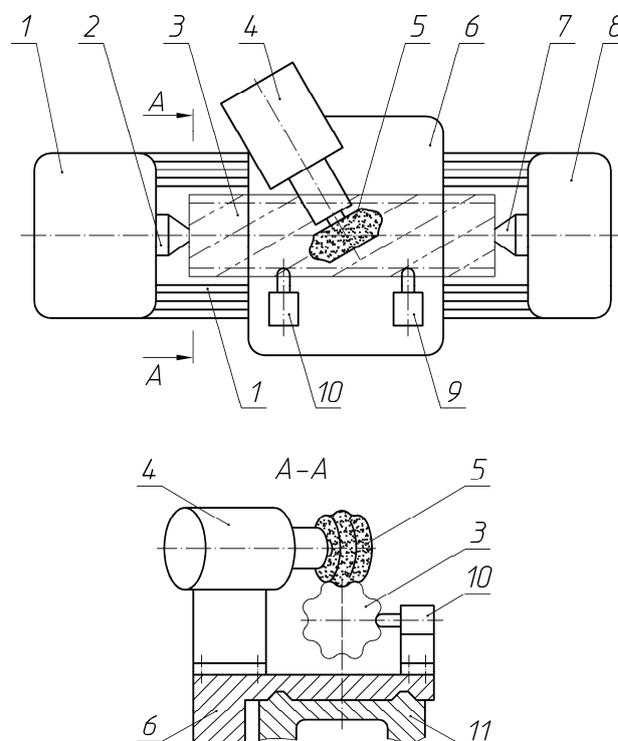


Рис. 2. Схема устройства для полирования роторов дисковым абразивным кругом

Полирование ведется абразивным кругом диаметром 350 мм, число оборотов круга 250–350 об/мин, продольная подача 700–1300 мм/мин. Стойкость круга составляет 60–100 мин, шероховатость обработанной поверхности R_a 2,5.

В настоящее время все роторы выпускаются в научно-производственном объединении ООО «ВНИИБТ «Буровой инструмент» и на Кунгурском машзаводе, полируются абразивными дисковыми кругами на вулканитовой связке 14A20НГСВ₆Б с использованием описанного устройства.

Библиографические ссылки

1. Коротаев Ю. А., Цепков А. В., Кочнев А. М. Расчет основных геометрических параметров многозаходного героторного механизма винтового забойного двигателя // Химическое и нефтяное машиностроение. – 1989. – № 12. – С. 10–12.
2. Коротаев Ю. А., Балденко Д. Ф., Бобров М. Г. Винтовые забойные двигатели // Буровые комплексы. Современные технологии и оборудование. – Екатеринбург, 2002. – С. 163–176.
3. Шулепов В. А., Коротаев Ю. А. Методы чистовой зубообработки роторов винтовых гидродвигателей // Совершенствование процессов абразивно-алмазной и упрочняющей обработки в машиностроении: межвуз. сб. науч. тр. – Пермь, 1998. – С. 195–198.
4. Цепков А. В. Профилирование затылованных инструментов. – М.: Машиностроение, 1979. – 150 с.

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].

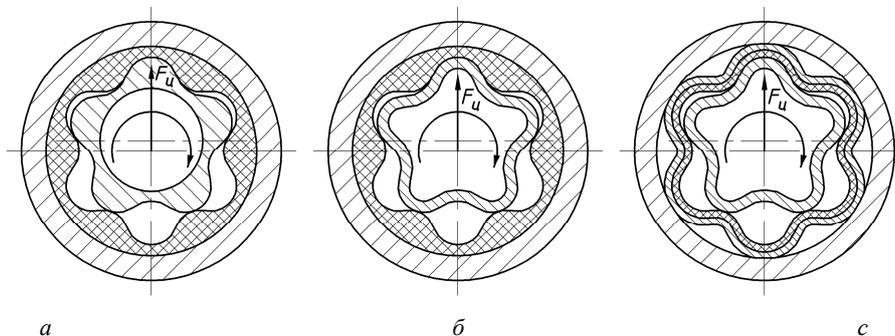


Рис. 1. Торцовое сечение секций рабочих органов винтового забойного двигателя: а – стандартный статор с полым ротором; б – стандартный статор с облегченным ротором; в – армированный статор с облегченным ротором