

СПОСОБ СОЕДИНЕНИЯ НАСОСНЫХ ШТАНГ СВАРКОЙ ТРЕНИЕМ

METHOD FOR PUMPING ROD CONNECTION BY FRICTION WELDING

П. М. Тугунов
Pavel M. Tugunov

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

А. О. Борисов
Alexander O. Borisov

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

С. О. Сибирякова
Sofia O. Sibirykova

Уфимский государственный
нефтяной технический
университет,
г. Уфа, Российская Федерация

Ufa State Petroleum
Technological University,
Ufa, Russian Federation

Современный этап развития нефтяной промышленности России характеризуется переходом месторождений на позднюю стадию разработки, снижением темпов добычи нефти и увеличением доли малодебитных скважин, основным способом эксплуатации которых традиционно считается установка скважинного штангового насоса (УСШН). Одним из элементов УСШН, приводящим к частым отказам, являются насосные штанги. Наибольшее распространение получили кованные штанги, в которых головка формируется высокотемпературной высадкой. Недостатком данного способа является частое нарушение соосности в процессе высадки головки на тело штанги, что при работе штанговой колонны вызывает дополнительные колебания, приводящие к высоким изгибающим циклическим нагрузкам в галтельной части и, как следствие, поломке и обрыву штанг. Кроме того, в процессе высадки головки, сопровождаемой высокотемпературными воздействиями, изменяется микроструктура металла, и граница раздела структур, как правило – галтель, часто является местом обрыва из-за возникающего концентратора напряжений.

Задачей, рассматриваемой в статье, является совершенствование технологии изготовления штанг за счет исключения несоосности элементов, соединяемых сваркой трением, и повышения надежности сварного соединения путем увеличения площади свариваемых поверхностей. Поставленную задачу предлагается решать тем, что способ изготовления насосных штанг, включающий прокатку прутка, его механическую обработку, обработку на правильно-полировальной машине, изготовление отдельно резьбовой головки с накатанной на ней резьбой и соединение ее с телом штанги посредством сварки трением, подразумевает, что резьбовую головку и торец тела штанги выполняют конусообразной формы; выступающий усеченный конусообразный торец тела штанги вставляют в конусообразную выемку резьбовой головки, при этом длина усеченного конусообразного торца тела штанги должна быть меньше длины конусообразной выемки резьбовой головки.

В данной статье рассматривается способ соединения тела штанги и головки штанги сваркой трением, что позволяет избежать процесса высадки головки. Тем самым обеспечивается соосность насосной штанги, которой невозможно было достичь способом высадки головки, что позволяет минимизировать колебания в колонне и увеличить межремонтный период работы насосного оборудования. Кроме того, упрощается процесс их изготовления, который приводит к снижению себестоимости штанг.

Ключевые слова

сварка трением;
штанговая колонна;
конусообразная головка;
тело штанги;
внутренние напряжения

The current stage of development of the Russian oil industry is characterized by the transition of fields to a late stage of development, a decrease in the rate of oil production and an increase in the proportion of marginal wells, the main method of operation of which is traditionally the installation of a sucker rod pump (ISRP). One of the elements of the ISRP, leading to frequent failures, are the sucker rods. The most widespread are forged rods, in which the head is formed by high-temperature upsetting. The disadvantage of this method is the frequent misalignment in the process of planting the head on the rod body, which, when the rod string is operating, causes additional vibrations, leading to high bending cyclic loads in the fillet part and, as a consequence, failure and breakage of the rods. In addition, in the process of head upsetting, accompanied by high-temperature impacts, the microstructure of the metal changes, and the interface between the structures, as a rule, a fillet, is often a break point due to the emerging stress concentrator.

The objective considered in the article is to improve the technology for manufacturing rods by eliminating misalignment of elements connected by friction welding and increasing the reliability of the welded joint by increasing the area of the surfaces to be welded. The objective posed is proposed to be solved by the fact that the method of manufacturing sucker rods, including rolling a bar, its machining, processing on a straightening-polishing machine, manufacturing a separate threaded head with a rolled thread on it and connecting it to the rod body by friction welding, implies that the threaded the head and end of the rod body are tapered; the protruding truncated conical end of the rod body is inserted into the tapered recess of the threaded head, while the length of the truncated conical end of the rod body should be less than the length of the tapered recess of the threaded head.

This article discusses a method of connecting the rod body and the rod head by friction welding, which avoids the head upsetting process. This ensures the alignment of the sucker rod, which could not be achieved by head upsetting, which minimizes vibrations in the string and increases the overhaul period of the pumping equipment. In addition, the process of their manufacture is simplified, which leads to a decrease in the prime cost of the rods.

Насосные штанги предназначены для передачи возвратно-поступательного движения плунжеру насоса. Изготавливаются в основном из легированных сталей круглого сечения длиной 8000 мм и укороченные: 1000, 1200, 1500, 2000 и 3000 мм, как для нормальных, так и для коррозионных условий эксплуатации.

Насосные штанги (рисунок 1) представляют собой стержень круглого поперечного сечения с высаженными концами, на которых располагаются участок квадратного сечения и

резьба. Резьба служит для соединения штанг с муфтами, а участок квадратного сечения используется для захвата штанги ключом при свинчивании и развинчивании резьбового соединения.

В XIX веке использовались деревянные насосные штанги (ДНШ) для добычи нефти. Первое время ДНШ изготавливали из дерева гикори, американского белого ясеня. Данные штанги применялись на малой глубине и даже сейчас их производят и используют в добыче

Keywords

friction welding; rod column;
cone head and rod body;
internal stresses



Рисунок 1. Насосные штанги

в водяных скважинах США, так как это дешевле и рациональнее металлических штанг. На штангу устанавливается металлический наконечник. Соединяются ДНШ завинчиванием.

С развитием общества, экономики, науки развивалась и нефтяная отрасль. Человечеству понадобилось больше нефти, и, причем, добывать её надо было с таких глубин, как 400–600 м. Как следствие, в 1880–1890 гг. стали использовать насосные штанги из металла более прочные и износостойчивые. Способы соединения и скрепления штанг изменились. Насосные штанги уже изготавливают с резьбовым соединением, а это трудоемкая технология. Для упрощения соединения стали применять сварку трением для цельнометаллических штанг и электродуговую сварку для полых насосных штанг.

Эксплуатация полых насосных штанг происходит совместно со специальным устьевым оборудованием. Применяют их для подачи ингибиторов коррозии и в скважинах с повышенным выносом песка, но не применяют для высокодебитных скважин.

Штанги, выполненные из стали, недостаточно эффективны из-за своего веса. Вес стальной штанговой колонны значителен, а это приводит к недопустимым напряжениям.

Для того, чтобы избежать обрыва штанговой колонны, использовали предварительно напряженные насосные штанги. Они изготавливаются из хромомолибденового сплава с термообработкой путем нормализации и отпуска. Данные штанги обладают высокой стойкостью к сульфидному растрескиванию.

Наиболее уязвимое звено в колонне — это область соединения «штанга — муфта». Для продления межремонтного периода эксплуатации скважины используют непрерывную колонну без муфт, то есть непрерывные штанги. Главное преимущество непрерывной колонны — отсутствие соединительных узлов; также она легче по весу, это уменьшает напряжение в штанге и нагрузку на привод, следовательно, растёт эффективность добычи нефти. Недостатки: требуется специальное оборудование для ремонта и обслуживания в полевых условиях; сварные швы, используемые при соединении штанг, могут спровоцировать разрушение из-за эксплуатации в защищенной от коррозии среде.

В 1960-е гг. разработан новый тип непрерывной насосной штанги из металлического

каната. Такая колонна в два раза легче колонны обыкновенных штанг, но имеет недостаточную жесткость каната и низкий предел усталостной прочности.

В 1975–1980 гг. запатентована и введена стеклопластиковая насосная штанга, состоящая из стержня и двух стальных наконечников. Данный вид штанг используют со стальными. Эффективное использование стеклопластиковых штанг достигается при минимальной длине хода и максимальной частоте качаний. Стеклопластиковые штанги дороже стальных, но они уменьшают энергозатраты на добычу и продлевают их срок службы из-за устойчивости к коррозии. В 1969 г. в США запатентована конструкция канатно-защитенной насосной штанги [1], её могут изготавливать из пластика, стали, стеклопластика. Она позволяет сохранить целостность при обрыве, а это, в свою очередь, облегчает процесс вылавливания остатка колонны при обрыве.

В 1989 г. США запатентовала сварную насосную штангу, в процессе изготовления используют сварку трением центрального тела штанги и головки [2].

Метод изготовления сварной насосной штанги в СССР — применение соединения сваркой трением по торцам высаженного утолщения стержня с заготовками головок.

Такие резьбовые головки позволяют соединять колонну штанг без промежуточных деталей, а также могут повысить прочность и соосность соединения штанги благодаря использованию высокопрочных материалов.

В настоящее время основной сложностью в соединении резьбовой головки с телом штанги сваркой трением является отсутствие соосности между телом штанги и резьбовой головкой, из-за чего в зоне сопряжения головки с телом штанги, в переходных зонах самой головки, в зоне термического влияния от нагрева концов штанги под посадку возникают концентраторы напряжений [3].

Стоит заметить, что поверхность элементов, свариваемых трением, мала и не обеспечивает должного уровня прочности, надежности долговечности соединения штанговых колонн в процессе эксплуатации. При эксплуатации возникают и распространяются трещины, зародившиеся в местах концентраторов напряжений, приводящие к разрушению (обрыву штанг). Поэтому одной из актуальных задач является повышение технологич-

ности производства высококачественных, долговечных и надежных в различных условиях эксплуатации насосных штанг [4].

В заявке на патент «Способ соединения насосных штанг» описывается способ изготовления штанги из трех составных элементов (тело и две головки), включающий прокатку прутка, его механическую обработку, обработку на правильно-полировальной машине, изготовление отдельно резьбовой головки с накатанной на ней резьбой и соединение ее с телом штанги посредством сварки трением [5].

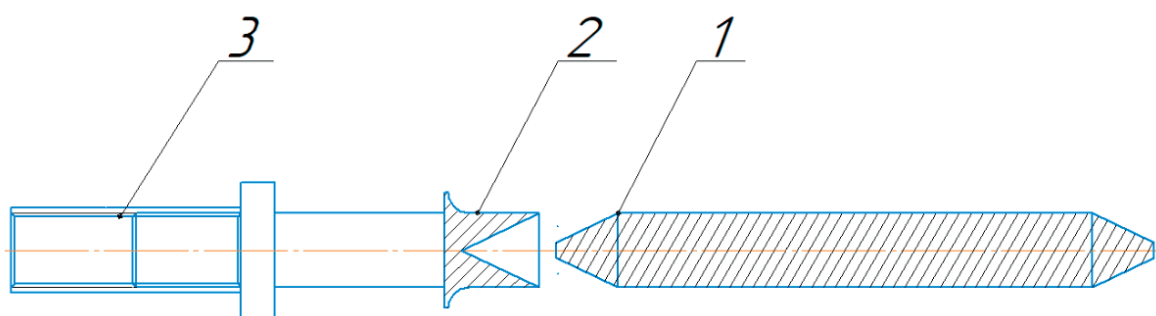
Данный способ подразумевает, что резьбовую головку и торец тела штанги выполняют конусообразной формы, выступающий усеченный конусообразный торец тела штанги

вставляют в конусообразную выемку резьбовой головки, при этом длина усеченного конусообразного торца тела штанги должна быть меньше длины конусообразной выемки резьбовой головки.

На рисунках 2–4 представлена реализация предлагаемого способа.

Описание технологии сварки трением

1. Раздельная термическая и механическая обработка заготовок соединения: тела штанги, резьбовых головок, что позволяет получать гарантированные показатели прочностных, пластических и эксплуатационных свойств за



1 — тело штанги с конусообразным торцом; 2 — резьбовая головка с конусообразной выемкой; 3 — соединительная муфта насосных штанг

Рисунок 2. Соединение тела штанги с резьбовой головкой

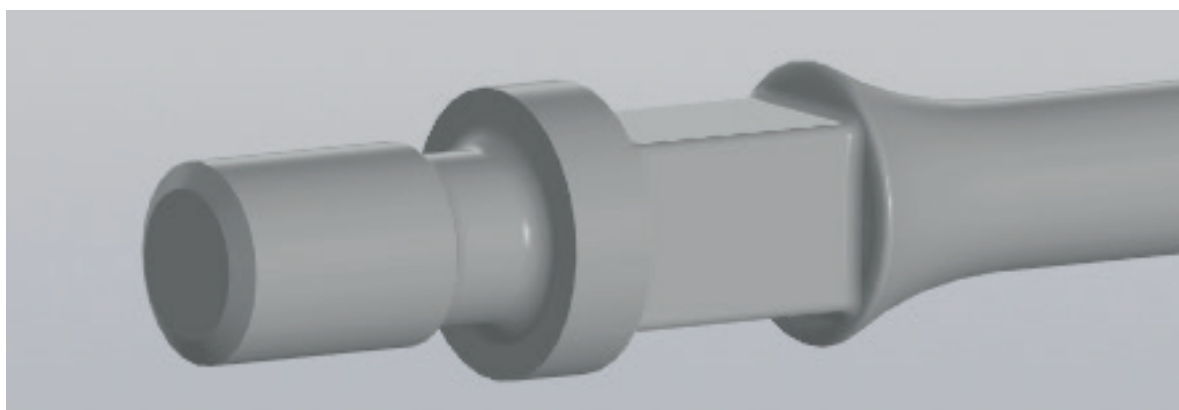


Рисунок 3. Общий вид соединения тела штанги с резьбовой головкой



Рисунок 4. Схема стыка конусообразного торца тела штанги с конусообразной выемкой резьбовой головки

счет расширения возможности подбора и реализации оптимальных режимов термообработки, использования различных приемов удаления дефектов металлургического характера и достижения высокой степени чистоты поверхности готовых штанг, их наклепа [4].

2. Тело штанги устанавливается неподвижно в зажимах приспособления.

3. Выполнение сварки трением тела штанги с резьбовыми головками (сначала с одной стороны, затем с другой).

4. Приваривание подготовленных головок к торцам штанги осуществляется на специальной машине сварки трением МАСТ-10С, позволяющей сваривать длинномерные детали диаметром от 8 до 30 мм с усилием проковки до 10 т.

5. Время сварки головки к телу штанги до 2 с. После приваривания головок к телу штанги удаляют механическим путем сварной облой (утолщение).

6. Контроль качества сварки визуально 100 % и ультразвуковым контролем — 15 % от партии.

7. Проверка прочности сварного соединения испытанием на разрыв натуральных образцов после сварки резьбовой головки с отрезком тела штанги длиной 200–300 мм.

8. Испытания на изгиб на натуральных образцах по месту сварки.

Исходные данные для расчетов

Штанги изготавливаются из материала 15Х2НМФ ГОСТ 13877-96.

Термообработка — закалка и высокий отпуск или нормализация и высокий отпуск.

Временное сопротивление разрыву $\sigma_B > 617$ МПа.

Предел текучести $\sigma_T > 686$ МПа.

Относительное удлинение $\delta > 16$ %.

Относительное сужение $\psi > 63$ %.

Твердость НВ < 255.

Разрушение штанги вне сварки при приложении растягивающей нагрузки происходит по минимальному сечению штанги.

Разрушающая растягивающая нагрузка РОС по основному телу штанги:

$$РОС = \sigma_B \cdot A,$$

где $\sigma_B = 617$ МПа — минимальное значение временного сопротивления разрыву;

A — минимальная площадь сечения штанги, мм².

$$A = \pi \cdot d^2 / 4,$$

где $d = 19$ мм — минимальный диаметр сечения штанги.

$$A = 283,4 \text{ мм}^2,$$

$$РОС = 617 \cdot 10^6 \cdot 283,4 = 174860 \cdot 10^6 \text{ Н}.$$

Расчет произведен по методике [5]:

$$РОС = \varphi \cdot \sigma_B \cdot A = 157370 \cdot 10^6 \text{ Н},$$

где $\varphi = 0,9$ — коэффициент прочности сварного шва по ГОСТ Р ИСО 857-1-2009 (сварка и родственные процессы).

Разрушение в месте перехода от штанги диаметром 19 мм к головке диаметром 19 мм возможно по минимальному диаметру 19 мм с разрушающим растягивающим усилием с учетом ослабления материала в сварном шве:

$$РОС = 157370 \cdot 10^6 \text{ Н}.$$

Для расчетов сварки трением значение коэффициента φ принято для стыкового шва с двусторонним сплошным проваром, выполняемым автоматической или полуавтоматической сваркой [7].

Вывод

Применение насосных штанг с головками, присоединяемыми сваркой трением, позволит устранить изгибные напряжения в галтельной части за счет обеспечения соосности головки и тела штанги и, как следствие, сократить аварийность из-за обрывов в этой части.

В предлагаемом способе метод сварки трением использован для соединения деталей длинномерного изделия из однородных материалов и обеспечения их эксплуатационной надежности за счет замедления коррозионных и вибрационных процессов, устранения несоосности головок и тела штанги.

Таким образом, реализация изготовления штанги из трех составных элементов (тела штанги с конусообразными торцами и двух резьбовых головок с конусообразными выемками), соединенных между собой методом сварки трением, позволит обеспечить следующие преимущества:

- надежный контакт тела штанги с резьбовой головкой благодаря увеличению площади контакта;
- упрощение и гибкость технологического процесса;
- устранение несоосности по оси резьбы головок и штанги.

СПИСОК ИСПОЛЬЗУЕМЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Patent 3486557 USA. Sucker-Rod / R.W. Harrison. 1969.
2. Patent 4796799 USA. Method for Making Sucker Rods / A.T.O. Rasi-Zade, N.G.O. Kurbanov, P.M. Sutovsky, T.M.O. Shikhlinisky, Kh.T. Kakhramanov, A.M. Rabinovich, I.K.O. Karaev, V.I. Timofeev, O.I.O. Ibragimov. 1987.
3. Копей Б.В., Федорович Я.Т. Устранение технологических и эксплуатационных дефектов насосных штанг с одновременным их упрочнением. М.: ВНИИОЭНГ, 1987. 38 с.
4. ГОСТ 13877-80. Штанги насосные и муфты к ним. Технические условия. М.: Издательство стандартов, 1993. 33 с.
5. Пат. 2748194 РФ, МПК В 23 Р 15/00. Способ изготовления насосных штанг / А.М. Файрушин, А.О. Борисов. 2020132786, Заявлено 05.10.2020; Опубл. 20.05.2021. Бюл. 14.
6. Вилль В.И. Сварка металлов трением. Л.: Машиностроение, 1970. 175 с.
7. Биргер И.А., Шорр Б.Ф., Шнейдерович Р.М. Расчет на прочность деталей машин: Справочник. М.: Машиностроение, 1993. 639 с.

REFERENCES

1. Harrison R.W. *Sucker-Rod*. Patent USA, No. 3486557, 1969.
2. Rasi-Zade A.T.O., Kurbanov N.G.O., Sutovsky P.M., Shikhlinisky T.M.O., Kakhramanov Kh.T., Rabinovich A.M., Karaev I.K.O., Timofeev V.I., Ibragimov O.I.O. *Method for Making Sucker Rods*. Patent USA, No. 4796799, 1987.
3. Kopei B.V., Fedorovich Ya.T. *Ustranenie tekhnologicheskikh i ekspluatatsionnykh defektov nasosnykh shtang s odnovremennym ikh uprochneniem* [Elimination of Technological and Operational Defects of Sucker Rods with Their Simultaneous Hardening]. Moscow, VNIIOENG Publ., 1987. 38 p. [in Russian].
4. *GOST 13877-80. Shtangi nasosnye i mufty k nim. Tekhnicheskie usloviya* [State Standard 13877-80. Sucker Rods and Couplings. Specifications]. Moscow, Izdatel'stvo standartov Publ., 1993. 33 p. [in Russian].
5. Fairushin A.M., Borisov A.O. *Sposob izgotovleniya nasosnykh shtang* [Method of Manufacturing Sucker Rods]. Patent RF, No. 2748194, 2021. [in Russian].
6. Vill V.I. *Svarka metallov treniem* [Friction Welding of Metals]. Leningrad, Mashinostroenie Publ., 1970. 175 p. [in Russian].
7. Birger I.A., Shorr B.F., Shneiderovich R.M. *Raschet na prochnost' detalei mashin: Spravochnik* [Strength Calculation of Machine Parts: Handbook]. Moscow, Mashinostroenie Publ., 1993. 639 p. [in Russian].

СВЕДЕНИЯ ОБ АВТОРАХ
ABOUT THE AUTHOURS

Тугунов Павел Михайлович, ассистент кафедры «Машины и оборудование нефтегазовых промыслов», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Pavel M. Tugunov, Assistant of Oil and Gas Field Machinery and Equipment Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: PavelTugunov@gmail.com

Борисов Александр Олегович, студент кафедры «Оборудование и технологии сварки и контроля», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Alexander O. Borisov, Student of Equipment and Technologies of Welding and Control Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: wot_bax_bax@mail.ru

Сибирякова Софья Олеговна, студент кафедры «Оборудование и технологии сварки и контроля», УГНТУ, г. Уфа, Российская Федерация

Sofia O. Sibiryakova, Student of Equipment and Technologies of Welding and Control Department, USPTU, Ufa, Russian Federation

e-mail: sofia-sib@mail.ru