

Прогрессивные технологии изготовления труб для бурения нефтяных и газовых скважин

DOI: 10.24411/2076-6785-2019-10053

М.В. Песин

д.т.н., профессор¹, первый заместитель директора по нефтепромысловому оборудованию²
M.Pesin@mail.ru

В.Ф. Макаров

д.т.н., профессор, заместитель заведующего³

¹Кафедра «Инновационные технологии машиностроения» ПНИПУ, Пермь, Россия
²ООО «ПКНМ», Пермь, Россия

Представлены взаимосвязи между конструктивными и технологическими параметрами процесса упрочнения резьбовой конической поверхности бурильной трубы, величиной и характером распределения остаточных напряжений в резьбовой поверхности, на основе комплекса разработанных математических моделей и серии экспериментальных исследований напряженно-деформированного состояния резьбы и усталостных испытаний резьбового соединения.

Ключевые слова

цифровые технологии, резьба, упрочнение, обкатывание резьбы, остаточные напряжения, поверхностное пластическое деформирование

Изготовление труб для бурения нефтяных и газовых скважин в Российской Федерации постоянно увеличивается, что связано с ростом добычи углеводородов и разведкой новых месторождений.

Установлено, что в процессе эксплуатации бурильных труб и бурового инструмента резьбовые соединения испытывают значительные знакопеременные нагрузки от действия растягивающих сил, изгибающих моментов, приводящих к нередким случаям разрушения резьбовых соединений и обрыву колонны в скважинах. В результате анализа характера разрушения бурильных труб определено, что 60% отказов связаны с недостаточной прочностью и циклической долговечностью ее резьбовых элементов. Известно, что обрыв труб при бурении и эксплуатации скважин по резьбовым соединениям является основной технической проблемой, ведущей к значительным экономическим затратам, измеряемым десятками млн. руб. на одну аварию. В связи с этим повышение качества, надежности и долговечности бурильных труб является актуальной задачей современного машиностроительного производства.

Разрушение резьбы носит преимущественно усталостный характер, в основном, в зоне впадины резьбы, где зарождаются трещины и в процессе работы при знакопеременных нагрузках приводят к разрушению и обрыву труб, поэтому при изготовлении данных высоконагруженных используются прогрессивные технологии. Решение этой задачи возможно путем введения дополнительной операции упрочняющей обработки наружной и внутренней резьбы бурильных труб.

Конструкторско-технологические требования к резьбовым поверхностям бурильных труб при изготовлении достаточно высокие

и выполняются согласно ГОСТ Р.50864-96, при этом шероховатость резьбы должна быть не более Ra 3,2 мкм, а точность шага резьбы $\pm 0,04$ мм.

Вопросы повышения долговечности деталей машин при упрочняющей обработке рассмотрены в работах таких ученых, как Афонин А.Н., Бабичев А.П., Блюменштейн В.Ю., Гуров Р.В., Дрозд М.С., Евсин Е.А., Киричек А.В., Козлов А.М., Копылов Ю.Р., Кудрявцев И.В., Кузнецов В.П., Макаров В.Ф., Матвиенко В.П., Мокроносов Е.Д., Няшин Ю.И., Поздеев А.А., Попов М.Е., Прокофьев А.Н., Прокофьев А.Н., Семин В.И., Сидякин Ю.И., Смелянский В.М., Соловьев Д.Л., Сулов А.Г., Тамаркин М.А., Торбило В.М., Трусов П.В., Хостиков М.З., Шнейдер Ю.Г., Щербюк Н.Д., Patrick de Baets, Wim de Waele, Jan de Pauw и др. Анализ результатов исследований показал, что применение поверхностного пластического деформирования (ППД) приводит к образованию в поверхностном слое сжимающих остаточных напряжений, упрочнению поверхности, что способствует повышению сопротивления усталости и долговечности деталей машин.

При рассмотрении современных методов математического моделирования напряженно-деформированного состояния при проведении упрочняющих процессов обработки установлено, что сложная геометрия моделируемой конической замковой резьбы бурильных труб исключает возможность использования аналитических методов для решения подобной задачи. В данном случае, применительно к теории механики деформируемого твердого тела рассматривается трехмерная нестационарная контактная задача упругопластического деформирования. Решение этой задачи возможно на основе применения компьютерного конечно-элементного моделирования как современного инструментария для инженерного и научного анализа численного математического моделирования.

Решением практических проблем повышения надежности бурового оборудования занимаются специалисты таких предприятий в Российской Федерации как: ООО «ПКНМ», ООО «ПКНМ-Урал», ОАО «Мотовилихинские заводы», ОАО «ТМК-Премиум Сервис», ООО «ВНИИБТ-Буровой инструмент» и др. Анализ производственного опыта показал, что, по мнению Прокофьева А.Н., Прокофьева А.Н., Сулова А.Г., возможной причиной поломки резьбы может быть коррозионное разрушение, и предлагается для повышения долговечности бурильных труб применять термодиффузионное цинкование, азотирование, фосфатирование и др.

Однако, проведенные научные исследования и производственный опыт в области упрочнения резьбы являются недостаточными и не в полной мере обеспечивают долговечность труб.

Из рассмотренных методов упрочнения применительно к резьбовой поверхности наиболее рациональным выбран метод обкатывания роликом.

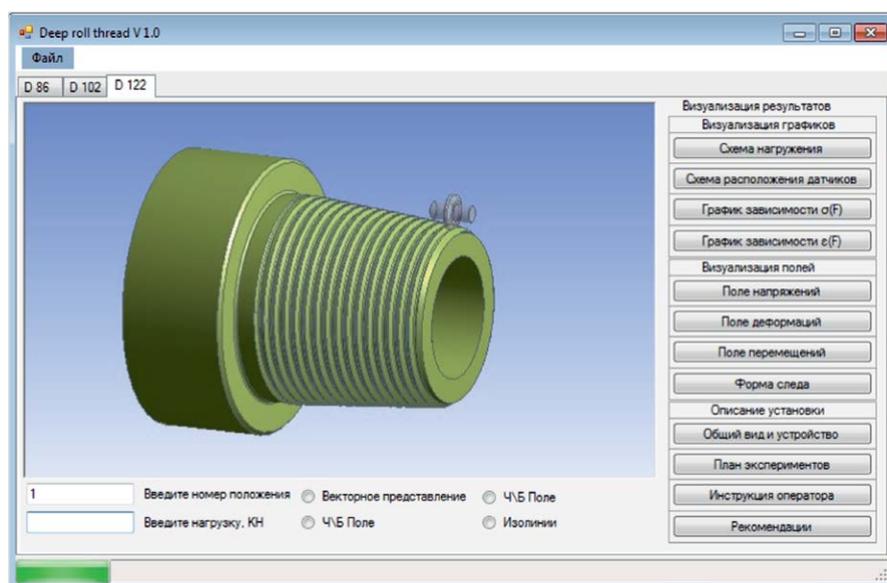


Рис. — Общий вид полной твердотельной модели
Fig. – General view of the complete solid mode

Изучение остаточных напряжений во впадине резьбы теоретически и экспериментально затруднено, т.к. профиль резьбовой конической поверхности весьма сложен. В связи с этим, исследование такой резьбы возможно преимущественно методами математического моделирования характера и величины распределения остаточных напряжений, возникающих после обкатывания. Анализ технических требований по точности и допусков на резьбу показал, что основным показателем и критерием выбора допустимой максимальной величины силы прижима ролика с целью формирования рациональной величины остаточных сжимающих напряжений, обеспечивающих повышение сопротивления усталости, является изменение глубины впадины. Превышение этого допустимого параметра не обеспечивает требуемое качество соединения резьбы труб.

Анализ научных работ и опыта предприятий показал, что не полностью изучены и не представлены в комплексе научные и методологические основы технологического процесса упрочнения резьбовых соединений обкатыванием роликом, направленные на повышение надежности буровых труб, отсутствуют математические модели процесса деформирования впадины резьбы, нет численных решений этой задачи, определяющей взаимосвязь режимов упрочняющей обработки с основными параметрами качества поверхностного упрочненного слоя, а именно: величина и характер распределения остаточных напряжений, шероховатости, микротвердости, наклепа и микроструктуры; отсутствует промышленная установка для обкатывания резьб буровых труб. Выдвинута гипотеза о формировании сжимающих напряжений рациональной величины, обеспечивающих повышение сопротивления усталости резьбой поверхности, обкатанной роликом, при взаимодействии его с дном впадины резьбы, расположенного ниже среднего диаметра резьбы.

Таким образом, проведенный анализ научно-технической литературы и опыта предприятий показал, что разработка методологических основ и практических рекомендаций технологического процесса упрочняющей обработки впадин резьбовых соединений является весьма актуальной научной и производственной задачей.

Разработанная методология теоретических численных исследований включает создание физических и математических моделей для расчета остаточных напряжений, упругих и пластических деформаций резьбы в статической и динамической постановках. Решение поставленных задач моделирования предусматривает следующие этапы: построение физической модели деформирования, выбор типа конечного элемента, определение механических параметров исследуемого материала, назначение граничных и определение начальных условий в физической модели, построение конечно-элементной сетки и уплотнение ее в зоне контакта, приложение граничных и начальных условий к модели, задание параметров расчета, выполнение блока решателя и анализ результатов расчета. Результаты расчетов и анализ представляются в виде графиков и визуализаций величины и характера распределения остаточных напряжений, позволяющих на этапе проектирования

технологии обкатывания резьбы назначать рациональные режимы упрочнения резьбы.

При создании высокоэффективного машиностроительного производства неотъемлемой его частью является использование цифровых технологий. Так в высокопроизводительных предприятиях Российской Федерации нашло широкое использование программы, разработанные на основе конечно-элементного моделирования технологических процессов.

Применение данных программных продуктов позволит обеспечить улучшение качества обработки деталей, и тем самым, значительно повысить их долговечность.

В случае изготовления специальных буровых, обсадных и насосно-компрессорных труб, а также других высоконагруженных деталей нефтепромыслового и бурового оборудования, важным является выполнение технологических требований и прогнозирование выходных параметров процесса.

Опыт эксплуатации высоконагруженного оборудования показал, что разрушение резьб носит преимущественно усталостный характер, в основном в зоне впадины резьбы. На современном этапе развития технологий наклонно-направленного и горизонтального бурения нефтяных и газовых скважин с применением повышенного пластового давления и высоких температур требуются более прочные и надежные с высокими техническими характеристиками изделия.

Наиболее эффективным решением проблемы является повышение долговечности резьбовых соединений путем упрочнения поверхности дна впадины резьбы. Среди рассмотренных различных методов упрочнения поверхностей наиболее перспективным является метод поверхностной пластической деформации на основе обкатывания резьбы специальным профильным роликом [1, 3].

Предполагается, что при обкатывании резьбы роликом повышается долговечность и надежность резьбовых соединений путем формирования рациональных сжимающих остаточных напряжений, увеличивается микротвердость и снижается шероховатость впадины резьбы [2].

Разработанная методика и проведенные научные исследования по установлению влияния режимов обкатывания на повышение сопротивления усталости сложных резьбовых конических соединений буровых труб показывают важную роль цифровых технологий в машиностроении, блок программы показан на рисунке [4].

Представлены результаты проведенных экспериментальных исследований повышения надежности резьбового соединения на основе сравнительных усталостных испытаний образцов труб с упрочнением резьбы и без упрочнения на специальном стенде.

Таким образом, разработка теоретических основ технологического процесса, упрочняющего обкатывания впадин резьбовых соединений является актуальной научной задачей, а внедрение программы определения остаточных напряжений при изготовлении буровых труб различного назначения имеет важную практическую значимость для народного хозяйства Российской Федерации.

Результаты

1. С использованием компьютерного конечно-элементного моделирования разработана методология математического

моделирования формирования напряженно-деформированного состояния материала резьбы при поверхностной пластической деформации буровых труб обкатыванием роликом.

2. На основе разработанных математических моделей, выполненных расчетов и визуализации результатов установить взаимосвязи и закономерности влияния контактных нагрузок и геометрии деформирующего ролика на величину и характер распределения остаточных напряжений в поверхностном слое при напряженно-деформированном состоянии материала резьбы с целью возможности управления их формированием для дальнейшего обеспечения повышения сопротивления усталости и долговечности резьбовых соединений.

3. Проведение сравнительных исследований сопротивления усталости образцов буровых труб с упрочненной и неупрочненной резьбой в зависимости от режимов процесса обкатывания и режимов циклического нагружения позволило прогнозировать долговечность деталей с резьбой.

4. Комплексный подход к технологическому процессу упрочнения позволил разработать технологические рекомендации по внедрению цифровых подходов и определения рациональных режимов обкатывания в цеховых условиях, обеспечивающих формирование благоприятных сжимающих напряжений и повышение сопротивления усталости резьбовых соединений.

Итоги

В результате научных исследований и опыта работы в упрочнении резьб установлены основные закономерности и взаимосвязи между режимами упрочнения и параметрами качества поверхностного слоя, методология статического и динамического математического моделирования и практического применения технологического процесса обкатывания сложнопрофильных конических резьб роликами.

Выводы

Использование технологии упрочнения поверхности обкатыванием позволило снизить разрушение резьбы труб в 3,7 раза, получить значительный экономический эффект от увеличения долговечности буровых труб и повысить конкурентоспособность производства буровых труб в России.

Литература

1. Песин М.В. Научные основы моделирования процесса упрочнения впадины резьбы буровых труб обкатыванием роликом // Экспозиция Нефть Газ, 2013. №5. С. 68–70.
2. M.V. Pesin. Simulation of the Technological Process of the Strengthened Treatment of the Drill Pipes Thread. Urgent Problems of Up-to-Date Mechanical Engineering: Intern. Conf., UTI TPU, 2014, Yurga, Russia. Durnten-Zurich: TTP, 2015, pp. 476–482. (Applied Mechanics and Materials; vol. 770).
3. Pesin M.V. Improving the Reliability of Threaded Pipe Joints. Russian Engineering Research 2012, vol. 32, issue 2, pp. 210–212.
4. Песин М.В., Макаров В.Ф. Развитие цифровых технологий в исследовании остаточных напряжений // Экспозиция Нефть Газ. 2019. №1. С. 53–55.

Progressive technologies for the drilling of oil and gas wells

Authors

Mikhail V. Pesin — Sc.D., professor¹, deputy director²; M.Pesin@mail.ru

Vladimir F. Makarov — Sc.D., professor, deputy head¹

¹Department "Innovative manufacturing engineering" Perm national research polytechnic university, Perm, Russian Federation

²PKNM LLC, Perm, Russian Federation

Abstract

Showing the relationship between the constructive and technological process of hardening threaded conical surface drill pipe (geometry of a strengthening of the movie, the size of the load, radius of hollow), magnitude and distribution of residual stresses in a threaded surface based on complex mathematical models developed and a series of pilot studies stress-strain state threads and fatigue tests.

Keywords

digital technology, carving, hardening, deep roll thread, residual stresses, surface plastic deformation

Results

As a result of research and experience in strengthening the main thread patterns and the relationship between reinforcement and quality parameters of the surface layer, the methodology of static and dynamic mathematical modeling and practical application of the technological process of

deep roll hard-to-profile tapered threads with rollers.

Conclusions

Application technology of deep roll made it possible to reduce the likelihood of destruction pipe thread 3,7 times, to obtain significant economic benefit from increasing durability drill pipes and increase the competitiveness of the production of drill pipes in Russia.

References

1. Pesin M.V. *Nauchnye osnovy modelirovaniya protsessa uprochneniya vpadiny rez'by buril'nykh trub obkatyvaniem rolikom* [Scientific the bases of the simulation of the process of strengthening the bottom of thread of drill pipes by deep roll]. Exposition Oil Gas, 2013, issue 5, pp. 68–70.
2. M.V. Pesin. Simulation of the Technological Process of the Strengthened Treatment of the Drill Pipes Thread. Urgent Problems of Up-to-Date Mechanical Engineering: Intern. Conf., UTI TPU, 2014, Yurga, Russia. Durten-Zurich: TTP, 2015, pp. 476–482. (Applied Mechanics and Materials; vol. 770).
3. Pesin M.V. Improving the Reliability of Threaded Pipe Joints. Russian Engineering Research 2012, vol. 32, issue 2, pp. 210–212.
4. Pesin M.V., Makarov V.F. *Razvitie tsifrovyykh tekhnologiy v issledovanii ostatochnykh napryazheniy* [The development of digital technologies in the study of residual stresses]. Exposition Oil Gas, 2019, issue 1, pp. 53–55.



XVI СПЕЦИАЛИЗИРОВАННАЯ •ВЫСТАВКА• НЕФТЬ. ГАЗ. ЭНЕРГО



НЕФТЬ
ГАЗ
ЭНЕРГО 2020

25 - 27
МАРТА

- Добыча нефти и газа (технологии и оборудование)
- Геология, геофизика
- Сейсмическое оборудование и услуги
- Транспортировка, переработка и хранение нефти, нефтепродуктов и газа
- Трубы и трубопроводы, инструменты и др.