

Повышение долговечности бурильных труб на основе моделирования и управления параметрами упрочняющей обработки резьбы

М.В. Песин

к.т.н., доцент¹, первый заместитель
директора по нефтепромысловому
оборудованию²

M.Pesin@mail.ru

¹ПНИПУ, Пермь, Россия

²ООО «ПКНМ», Пермь, Россия

Установлены взаимосвязи между конструктивными и технологическими параметрами процесса обкатывания резьбовой конической поверхности бурильной трубы (геометрией упрочняющего ролика, величиной нагрузки, радиусом впадины), величиной и характером распределения остаточных напряжений в резьбовой поверхности, на основе комплекса разработанных математических моделей и серии экспериментальных исследований НДС резьбы и усталостных испытаний.

Материалы и методы

Основные положения теории механики деформирования сплошных сред, технологии машиностроения, динамики машин и механизмов, теоретической механики, методики моделирования напряженно-деформированного состояния, теории поверхностно-пластической деформации. Результаты исследований фиксировались с помощью видеосъемки и аттестованных современных приборов, средств измерения. Визуализация и обработка результатов экспериментальных и теоретических исследований выполнена с помощью междисциплинарных инженерных пакетов на высокопроизводительном вычислительном комплексе с использованием программных комплексов ANSYS, ABAQUS и разработанной программы для ЭВМ ПКНМ Deep Roll Thread v 1.0 («Обкатка резьбы роликом ПКНМ версия 1.0»).

Ключевые слова

упрочнение, обкатывание резьбы, остаточные напряжения, поверхностное пластическое деформирование

Несмотря на кризис в мировой экономике, наблюдаемый в последнее время, разведка новых месторождений и добыча нефти и газа с каждым годом возрастает. В Российской Федерации (РФ) наблюдается постоянный рост объемов бурения нефтяных и газовых скважин, причем глубина бурения скважин достигает 3–5 км. Для осуществления процесса бурения и подачи энергоресурсов на поверхность применяются специальные буровые, обсадные и насосно-компрессорные трубы, соединенные в многокилометровые колонны с помощью резьбовых соединений в виде муфт и ниппелей со специальной конической резьбой. В процессе бурения и подачи энергоносителей на поверхность резьбовые соединения буровых труб испытывают значительные знакопеременные нагрузки от действия растягивающих сил, изгибающих моментов, химического и абразивного воздействий, что приводит к нередким случаям поломки резьбовых соединений и обрыву колонны в скважинах. С увеличением длины и глубины скважин, повышением пластовых давлений, внедрением наклонно направленного бурения необходимы более прочные и надежные конструкции резьбовых соединений с высокими техническими характеристиками. Анализ мест разрушения показал, что разрушение резьб носит усталостный характер, в основном, в зоне впадины резьбы, где начинается рост усталостных трещин.

Проанализировав разрушения бурильных труб, можно сделать вывод о том, что 60% всех случаев связаны с недостаточной прочностью и циклической недолговечностью ее соединительных резьбовых элементов. В связи с этим проблема повышения прочности резьбовых соединений при изготовлении на машиностроительных предприятиях бурильных труб является весьма важной народно-хозяйственной задачей.

Наиболее эффективным решением проблемы является повышение долговечности резьбовых соединений путем упрочнения поверхности дна впадины резьбы. Существуют различные методы упрочнения поверхностей, среди которых наиболее перспективным является поверхностная пластическая деформация, наиболее рациональным — обкатывание роликом [1].

Повышение долговечности и надежности резьбовых соединений возможно путем формирования рациональных сжимающих остаточных напряжений, повышения микротвердости и снижения шероховатости впадины резьбы под действием сил пластического деформирования [2]. При этом обеспечивается существенное повышение сопротивления усталостному разрушению резьбовых соединений.

Анализ научных исследований и опыта предприятий показал, что метод упрочнения обкатыванием роликами недостаточно

изучен, не установлены основные закономерности и взаимосвязи между режимами упрочнения и параметрами качества поверхностного слоя, отсутствует методология математического моделирования и практического применения технологического процесса обкатывания сложнопрофильных конических резьб роликами [3].

Отсутствуют результаты математического и численного моделирования величины и распределения остаточных напряжений при обкатывании впадины резьбы, позволяющие с научной позиции управлять процессом формирования напряженно-деформированного состояния (НДС) резьб. Отсутствует методика и научные исследования по установлению влияния режимов обкатывания на усталостную прочность резьбовых соединений. Не разработаны практические рекомендации для проведения такой обработки в условиях серийного производства бурильных труб на конкурентоспособной и импортозамещающей основе в РФ.

В известных технических требованиях не содержится научно-обоснованные рекомендации по выбору рациональных параметров процесса обкатывания.

Таким образом, разработка методологических основ технологического процесса, упрочняющего обкатывание впадин резьбовых соединений является актуальной научной задачей, а внедрение технологии упрочняющей обработки на современных машиностроительных предприятиях при изготовлении бурильных труб различного назначения имеет важную практическую значимость для народного хозяйства РФ [4].

Для решения данных задач было принято следующее:

1. На основе современных компьютерных технологий разработана комплексная методология математического моделирования процесса поверхностного пластического деформирования впадины резьбы, определяющая взаимосвязь режимов упрочняющей обработки с возможностью управления и формирования параметров качества поверхностного слоя для обеспечения рациональных по величине и распределению сжимающих остаточных напряжений.
2. Программа для ЭВМ ПКНМ Deep Roll Thread v 1.0 («Обкатка резьбы роликом ПКНМ версия 1.0») для расчета зависимости величины и характера распределения остаточных напряжений от режимов обкатывания (радиуса ролика, силы прижима и скорости) с целью управления этим процессом (патент №2014610774).
3. Методика проведения обкатывания конических резьб бурильных труб на рациональных режимах, обеспечивающих необходимую величину сжимающих остаточных напряжений.

4. Методика стеновых усталостных испытаний образцов бурильных труб.
5. Доказанное положение, что применение обкатывания резьб с целью формирования рациональных сжимающих остаточных напряжений в поверхностном слое повышает усталостную прочность резьбового соединения в 3,4 раза.
6. Сравнение результатов численных и натурных экспериментов зависимости технологических параметров обкатывания и величины остаточных напряжений показывает сходимость 7–10%.

Новизну выполненных разработок подтверждают 2 патента РФ на изобретения №2482942, 2486994 и свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ №2014610774.

Данный подход позволил выполнить импортозамещение технологии упрочнения резьб и в значительной степени повысить долговечность бурового и нефтепромыслового оборудования. Работы по совершенствованию процесса продолжают совместно с Российским государственным университетом нефти и газа (НИУ) имени И.М. Губкина, Московским государственным

техническим университетом имени Н.Э. Баумана и Пермским национальным исследовательским политехническим университетом.

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

Применение обкатывания позволило снизить вероятность разрушения труб в 3 раза, получить значительный экономический эффект от увеличения их долговечности и повысить конкурентоспособность производства бурильных труб в России.

Список литературы

1. Песин М.В. Научные основы моделирования процесса упрочнения

впадины резьбы бурильных труб обкатыванием роликом // Экспозиция Нефть Газ. 2013. №5 (30). С. 68–70.

2. Pesin M.V. Simulation of the Technological Process of the Strengthened Treatment of the Drill Pipes Thread. Urgent Problems of Up-to-Date Mechanical Engineering: International conference. Yurga, Russia: UTI TPU, 2014. Durnten- Zurich: TTP, 2015. pp. 476–482.
3. Pesin M.V. Improving the Reliability of Threaded Pipe Joints // Russian Engineering Research. 2012. Vol. 32. №2. pp. 210–212.
4. Песин М. В. Теоретическое обоснование повышения долговечности комплекса бурильных труб на основе методологии моделирования и управления параметрами упрочняющей обработки резьбы. Современные тенденции в технологиях металлообработки и конструкциях металлообрабатывающих машин и комплектующих изделий. VII Всероссийская научно-техническая конференция, тезисы докладов. Уфа: УГАТУ, 2017. С. 158–162.

ENGLISH

PIPES

Increasing of drill-pipe endurance capability, based on modeling and controlling of thread burnishing parameters

UDC 621.643

Author:

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

¹Perm National Research Polytechnic University, Perm, Russian Federation

²PKNM Ltd., Perm, Russian Federation

Abstract

The correlations between constructive and technological process parameters of drill-pipe tapered surface thread burnishing (configuration of hardenable rolling element, load rate, root radius), magnitude of residual stress and stress distribution on the thread surface were interrelated. They are based upon the set of discovered mathematical models and experimental research of stressed-deformed state and fatigue tests.

Materials and methods

Test reports are based upon the theory of continuous media deformation, mechanical engineering, dynamics of vehicles and machinery, theoretical mechanics, modeling techniques of stressed-deformed state, the

theory of surface plastic deformation. The results of test reports were recorded, using video, certified modern instruments and measurement tools. Visualization and elaboration of test results were analyzed, using interdisciplinary engineering software suite by means of high-efficiency computer complex and software suite ANSYS, ABAQUS, and application software PKNM Deep Roll Thread v 1.0 (“Running thread roller PKNM version 1.0”).

Results

The correlations between process of hardening and quality parameters of the surface layer; the methodology for the static and dynamic mathematical modeling

and practical application of technological process, concerning with thread burnishing of hard-to-profile tapered threads with pressure rollers — the parameters were displayed as the result of laboratory tests.

Conclusions

Application of thread burnishing made it possible to reduce the pipe destruction by a factor of 3; to obtain the significant economic benefit by means of their durability increasing and to increase the competitiveness of drill pipes manufacturing in Russia.

Keywords

hardening, thread burnishing, residual stress, surface plastic deformation

References

1. Pesin M.V. Nauchnye osnovy modelirovaniya protsessa uprochneniya vpadiny rez'by buril'nykh trub obkatyvaniem rolikom [Scientific 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 (30), pp. 68–70.
2. Pesin M.V. Simulation of the Technological Process of the Strengthened Treatment of the Drill Pipes Thread. Urgent Problems of Up-to-Date Mechanical Engineering: International conference. Yurga, Russia: UTI TPU, 2014. Durnten-Zurich: TTP, 2015. pp. 476–482.
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. Teoreticheskoe obosnovanie povysheniya dolgovechnosti kompleksa buril'nykh trub na osnove metodologii modelirovaniya i upravleniya parametrami uprochnyayushchey obrabotki rez'by. Sovremennyye tendentsii v tekhnologiyakh metalloobrabotki i konstruksiyakh metalloobrabatyvayushchikh mashin i komplektuyushchikh izdeliy [Theoretical substantiation of increase of durability of a complex drill pipe based on simulation methodology and manage strengthening treatment threads. Current trends in technology, metalworking and metal constructions machinery and components]. VII Russian Scientific-Technical Conference. Ufa: UGSTU, 2017, pp. 158–162.