

О.А. Халтурин, А.В. Акилова

O.A. Khalturin, A.V. Akilova

Пермский национальный исследовательский политехнический университет
Perm National Research Polytechnic University

ВЫБОР ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА ОБКАТЫВАНИЯ КОНИЧЕСКОЙ ЗАМКОВОЙ РЕЗЬБЫ

SELECTION OF PROCESS PARAMETERS OF RUNNING TAPERED JOINT THREAD

Описано создание модели упрочнения резьбовых деталей методом обкатывания впадин резьбы. Приведены результаты исследования, посвященного поиску оптимальных параметров процесса обкатывания ниппеля замковых резьбовых соединений. Показано, что обкатывание роликами с радиусом, большим радиуса впадины резьбы, оказывает лучший эффект на структуру НДС, чем обкатывание роликами с радиусом, меньшим радиуса впадины резьбы.

Ключевые слова: коническая замковая резьба, упрочнение, обкатывание замковых резьбовых соединений, моделирование, НДС.

This paper describes the development of a model of hardening threaded parts by rolling the thread roots, the results of research dedicated to finding the optimum process parameters of rolling of pin end of tool joint, it is shown that the running rollers with a radius larger than the radius thread's root has a better effect on the structure of the stress-strain state than the rollers with a radius smaller than the radius of the root of the thread.

Keywords: tapered threads, strain hardening of thread, thread root cold rolling, modeling, stress-strain state.

Проблема повышения сопротивления усталости резьбовых соединений тяжело нагруженных деталей резьбового оборудования и инструмента остается актуальной до настоящего времени. Анализ статистических данных показывает, что около 60 % всех отказов и аварий замковых резьбовых соединений буровой колонны связано с недостаточной прочностью и циклической долговечностью ее соединительных элементов [1]. Замковые резьбовые соединения являются определяющими в обеспечении работоспособности элементов буровой колонны, таких как буровые и утяжеленные буровые трубы (УБТ), забойные двигатели и др.

Упрочнение металлов является перспективным направлением повышения надежности, долговечности с одновременным уменьшением металлоем-

кости и себестоимости деталей машин, приборов и оборудования, инструмента и технологической оснастки [2, 3]. Методы упрочнения металлов можно условно разделить на шесть основных классов [4, 5]: упрочнение созданием пленки на поверхности изделия, упрочнение изменением химического состава поверхностного слоя металла, упрочнение изменением структуры поверхностного слоя, упрочнение изменением энергетического запаса поверхностного слоя, упрочнение изменением шероховатости поверхности, упрочнение изменением структуры всего объема металла. Методами одного класса осуществляются процессы различных типов.

Обработка поверхностным пластическим деформированием (ППД) – это вид обработки давлением, при котором происходит тонкое пластическое деформирование поверхностного слоя. Широкое применение данных методов отделочно-упрочняющей обработки объясняется их техническими достоинствами: простотой реализации, сравнительно высокой производительностью, универсальностью, высокой стойкостью и надежностью используемого инструмента.

Отечественные и зарубежные стандарты в области нефтяного машиностроения в разделе технических требований к качеству резьбы содержат рекомендации по упрочнению впадин резьбы методом ППД, в частности обкатыванием профильным роликом. Использование обкатывания впадин замковой резьбы профильным роликом позволяет значительно (в 1,5–2 раза) повысить предел выносливости и срок службы замковых резьбовых соединений.

Отметим также, что исследования [6], посвященные проблеме повышения сопротивления усталости замковых резьбовых соединений методами ППД, показали эффективность упрочнения легированных сталей (18ХНВА, 15ГН4М и др.), дающих относительно больший по сравнению с углеродистыми сталями прирост предела выносливости при наклепе впадин резьбы. В настоящее время множество бурильных труб изготавливается именно из легированных сталей (40ХГМА, 40ХН2МА и др.), состав и свойства которых близки к исследованным.

Зачастую в упомянутых технических требованиях не содержится конкретных рекомендаций по выбору параметров процесса обкатки. В [7] рассмотрен такой критерий упрочнения, как величина диаметральной деформации впадины резьбы. Отечественные производители самостоятельно разрабатывают схемы упрочнения и подбирают усилие и геометрию инструмента. Часто за радиус профиля ролика принимается радиус впадины резьбы или величина несколько меньшая. Однако стандарт DS1, являющийся дополнением к стандарту API Spec 7, содержит п. 3.33.6 «Холодное обкатывание», в котором даются развернутые рекомендации по параметрам обкатывания роликом [8]. В частности, радиус профиля ролика больше радиуса впадины резьбы.

На предприятии ЗАО «Пермская компания нефтяного машиностроения» для упрочнения впадин конической замковой резьбы разработано специальное оборудование собственного производства – стенд для упрочнения впадин резьб бурильных труб. Стенд имеет в своем составе две установки, одна из которых используется для обработки впадин наружной резьбы УБТ (ниппеля), другая – для обработки впадин внутренней резьбы УБТ (муфты).

Пластическое деформирование впадин наружной конической резьбы осуществляется с помощью двух самоустанавливающихся роликов при действии радиальной силы, передаваемой с помощью гидросистемы от гидростанции. Сила величиной 980–11 765 Н, необходимая для обкатывания резьбы детали, контролируется по манометру.

Перед специалистами компании встала задача выбора размеров инструмента и величины нагрузки. Изначально был назначен радиус ролика меньше радиуса впадины, а величина нагрузки определялась опытным путем. При изучении зарубежного опыта возникла необходимость сравнить эффективность формирования НДС роликами с разными радиусами профиля и подобрать величину нагрузки, так как отечественные буровые трубы изготавливаются из материала иной марки. Определение характеристик упрочненного слоя детали со сложной конфигурацией весьма затруднительно и вкуче с увеличением количества натурных экспериментов предполагает высокие финансовые затраты. В связи с этим было решено смоделировать НДС в приповерхностном слое впадины резьбы на ЭВМ.

Геометрическая модель конца бурильной трубы с наружной резьбой 3-86 по ГОСТ Р 50864–96 и соответствующий ей обкатной ролик представлены на рис. 1.

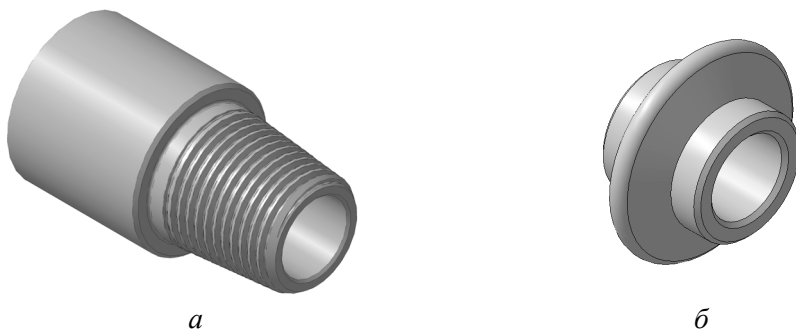
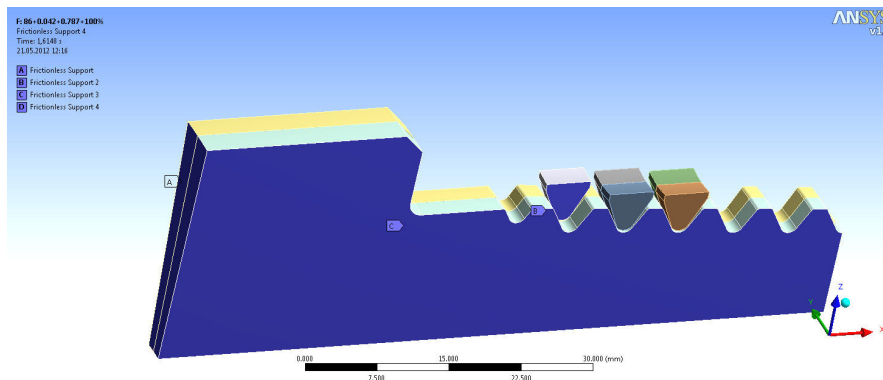


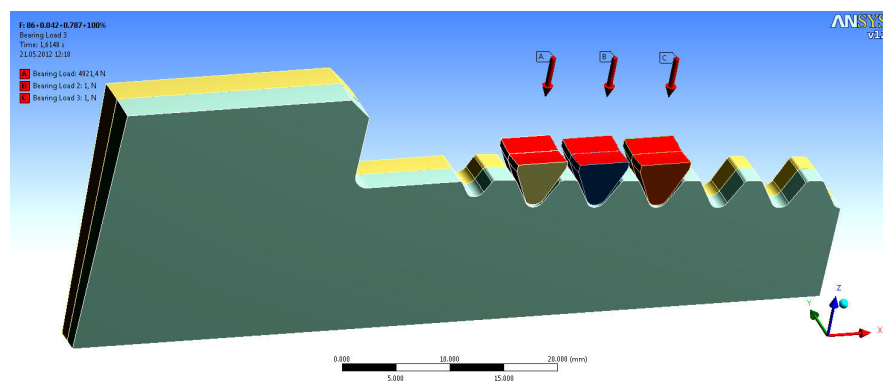
Рис. 1. Геометрические модели: *а* – nipple часть трубы с резьбой 3-86; *б* – профильный ролик для обкатывания впадины замковой резьбы

Геометрическая модель была перенесена в универсальную CAE-систему ANSYS и усечена. Материал обкатываемого изделия (сталь 40ХГМА) для моделирования остаточных напряжений был задан в виде билинейной модели

упрочнения. Отсеченные части деталей были заменены соответствующими заделками, а нагрузка, оказываемая на ролики осями, – давлением опоры (рис. 2). Была поставлена серия экспериментов с применением роликов двух радиусов профиля: 0,915 и 1,067 мм (радиус впадины резьбы 3-86 составляет 0,965 мм).



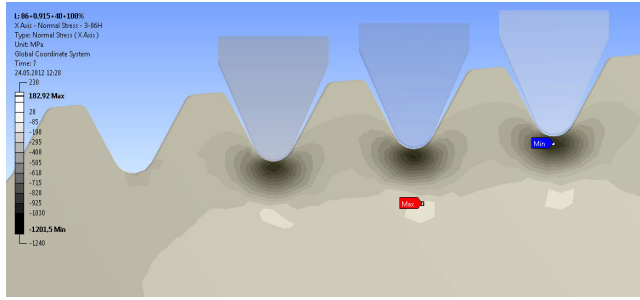
a



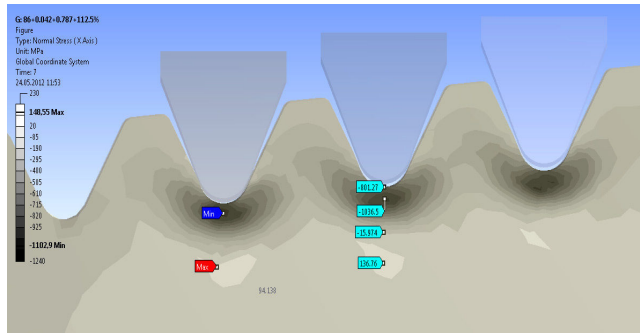
б

Рис. 2. Граничные условия модели обкатывания в программном комплексе ANSYS: *a* – ограничения перемещений; *б* – приложение давления опоры на цилиндрическую поверхность модели ролика

При изучении схем распределения остаточных нормальных напряжений в резьбовой части (рис. 3) было выявлено, что после обкатывания ролик с радиусом профиля $R_f = 0,915$ мм создает в резьбовой части более концентрированные напряжения, чем ролик с радиусом профиля $R_f = 1,067$ мм. Таким образом, от воздействия первого переход из области сжимающих в область растягивающих напряжений более резкий, что является условием для возникновения концентраторов напряжений в теле резьбовой части.

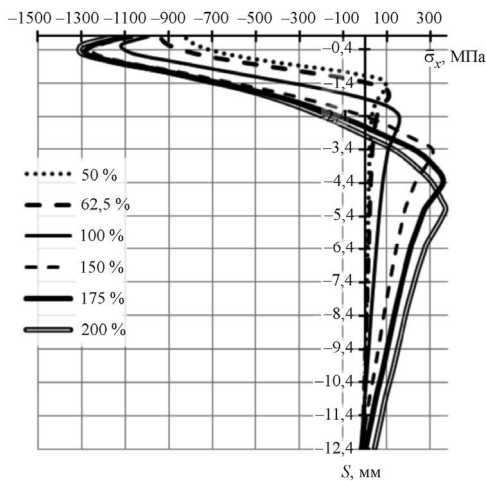


a

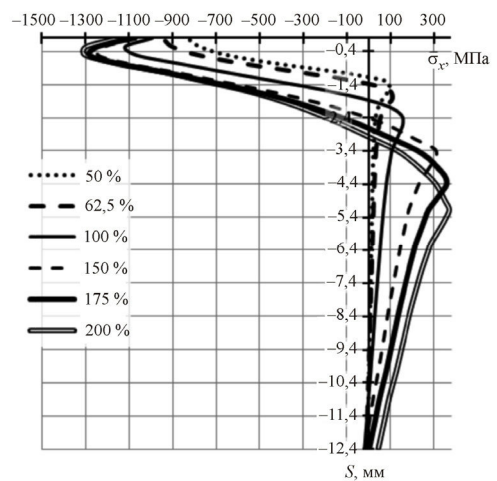


б

Рис. 3. Распределение остаточных нормальных напряжений в программном комплексе ANSYS:
a – $R_r = 0,915$ мм; *б* – $R_r = 1,067$ мм



a



б

Рис. 4. Изменение осевых остаточных напряжений (σ_x) по глубине поперечного сечения (S) для разных уровней нагрузки: *a* – $R_r = 0,915$ мм; *б* – $R_r = 1,067$ мм

По графику остаточных напряжений по глубине (рис. 4) видно, что вредные сжимающие остаточные напряжения при обкатке роликом с $R_r = 1,067$ мм хоть и несколько выше, но залегают значительно ниже от поверхности, тем самым меньше способствуют трещинообразованию.

Список литературы

1. Сароян А.Е. Бурильные колонны в глубоком бурении. – М.: Недра, 1979. – 231 с.
2. Кудрявцев И.В., Тимонин В.М. Влияние технологии изготовления и условий сборки на усталостную прочность резьбовых соединений // Тр. ЦНИИТмаш. – Кн. 112. – 1972.
3. Кудрявцев И.В., Щербюк Н.Д., Газанчан Ю.И. Повышение усталостной прочности резьбовых соединений утяжеленных буровых труб // Машины и нефтяное оборудование. – 1970. – С. 19–21.
4. Полевой С.Н., Евдокимов В.Д. Упрочнение машиностроительных материалов: справочник. – 2-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1994. – 495 с.
5. ГОСТ 18296–72. Обработка поверхностным пластическим деформированием. Термины и определения / Госстандарт СССР. – М., 1972. – 13 с.
6. Сёмин В.И. Современные методы проектирования резьбовых соединений труб нефтегазового сортамента для строительства скважин: дис. ... д-ра техн. наук / ВНИИБТ. – М., 2005. – 332 с.
7. ОСТ 39-226–91. Соединения резьбовые конические для забойных двигателей. Технические требования / Госстандарт СССР. – М., 1991. – 48 с.
8. Standard DS-1. Vol. 3. Drill Stem Inspection TH Hill Associates, Inc., Houston, 1998 (DEA Project 74).

Получено 15.02.2013

Халтурин Олег Александрович – старший преподаватель, ПНИПУ, МТФ, e-mail: oleg-x@pstu.ru.

Акилова Анна Викторовна – магистр, ПНИПУ, МТФ, e-mail: anny89perm@mail.ru.