

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. **Теоретические** основы проектирования технологических комплексов / А.М. Русецкий, П.А. Витязь, М.Л. Хейфец [и др.] ; под общ. ред. А.М. Русецкого. – Минск: Беларус. навука, 2012. – 239 с.
2. **Технологические** основы управления качеством машин / А.С. Васильев, А.М. Дальский, С.А. Клименко [и др.]. – М.: Машиностроение, 2003. – 256 с.
3. **Ящерицын, П.И., Рыжов, Э.В., Аверченков, В.И.** Технологическая наследственность в машиностроении. – Минск: Наука и техника, 1977. – 256 с.
4. **Ящерицын, П.И., Скоринин, Ю.В.** Работоспособность узлов трения машин. – Минск: Наука и техника, 1984. – 288 с.
5. **Дальский, А.М.** Технологическое обеспечение надежности высокоточных деталей машин.– М.: Машиностроение, 1975. – 223 с.
6. **Combined** phisico-chemical treatment: synergetic aspects / A.I. Gordienko, M.L. Kheifetz, L.M. Kozhouro [et al.]. – Minsk: Technoprint, 2004. – 200 p.
7. **Хейфец, М.Л.** Проектирование процессов комбинированной обработки. – М.: Машиностроение, 2005. – 272 с.
8. **Васильев, А.С., Кондаков, А.И., Клименко, С.А., Хейфец, М.Л., Гайко, В.А.** Технологическое управление наследованием эксплуатационных показателей качества упрочненных поверхностей // Упрочняющие технологии и покрытия. – 2011. – № 1. – С. 32-38.
9. **Корешков, В.Н.** Менеджмент качества предприятий машиностроения / В.Н. Корешков, Н.А. Кусакин, Ж.А. Мрочек, М.Л. Хейфец. – Минск: Экономика и право, 2003. – 224 с.
10. **Кусакин, Н.А.** Менеджмент качества автотракторного ремонтного предприятия / Н.А. Кусакин, В.С. Точило, М.Л. Хейфец. – Новополоцк: Полоцк. гос. ун-т, 2009. – 180 с.

REFERENCES

1. *Theoretical Fundamentals of Technological Complex Design* / A.M. Rusetsky, P.A. Vityaz., M.L. Heifets [et al.]; under the general editorship of A.M. Rusetsky. – Minsk: Belorussian Science, 2012. – pp. 239.
2. *Technological Fundamentals of Machinery Quality Control* / A.S. Vasiliev, A.M. Dalsky, S.A. Klimenko [et al.]. – M.: Mechanical Engineering, 2003. – pp. 256.
3. Yashcheritsyn, P.I., Ryzhov, E.V., Averchenkov, V.I. Technological succession in mechanical engineering. – Minsk: *Science and Engineering*, 1977. – pp. 256.
4. Yashcheritsyn, P.I., Skorinin, Yu.V. Working capacity of machinery friction units. – Minsk: *Science and Engineering*, 1984. – pp. 288.
5. Dalsky, A.M. Technological Support of Machinery Units Precision. – M.: Mechanical Engineering, 1975. – pp. 233.
6. Combined phisico-chemical treatment: synergetic aspects / A.I. Gordienko, M.L. Kheifetz, L.M. Kozhouro [et al.]. – Minsk: Technoprint, 2004. – 200 p.
7. Heifets, M.L. *Design of Combined Processing*. – M.: Mechanical Engineering, 2005. – pp. 272.
8. Vasiliev, A.S., Kondakov, A.I., Klimenko, S.A., Heifets, M.L., Gaiko, V.A. Technological control of strengthened surface quality operation values succession // *Strengthening Technologies and Coatings*. – 2011. – No.1. – pp. 32-38.
9. Koreshkov, V.N. Quality management at engineering enterprises / V.N. Koreshkov, N.A. Kusakin, Zh.A. Mrochek, M.L. Heifets. – Minsk: *Economy and Law*, 2003. – pp. 224.
10. Kusakin, N.A. *Quality Management of Auto-Tractor Repair Company* / N.A. Kusakin, V.S. Tochilo, M.L. Heifets. – Novopolotsk: Polotsk State University, 2009. – pp. 180.

Рецензент д.т.н. А.А. Ситников

УДК 621.92

DOI: 10.30987/article_5cf7bd300bb206.32507323

В.Ф. Макаров, д.т.н.
 (Пермский национальный исследовательский политехнический университет,
 614090, Пермь, Комсомольский проспект, 29),
А.С. Горбунов, аспирант
 (АО «Редуктор-ПМ», г. Пермь, Комсомольский пр., 93)
 E-mail: makarovv@pstu.ru; gorbunov-as@reductor-pm.com

Применение различных методов локального ППД для снижения влияния технологического концентратора напряжений на профильных поверхностях деталей транспортных машин

Установлено, что в процессе механической обработки поверхностей сложного профиля деталей, работающих в эксплуатации при больших знакопеременных нагрузках, в критических переходных зонах сопряженных поверхностей профиля образуются локальные технологические концентраторы напряжений, способствующие зарождению, росту усталостных трещин и последующему разрушению деталей в эксплуатации. Разработаны и внедрены методы снижения величины таких концентраторов напряжений на основе применения различных методов локального поверхностно пластического деформирования.

Ключевые слова: технологические концентраторы напряжений; профильные поверхности; локальные переходные зоны; усталостные трещины; сопротивление усталости; резьба; шестерни; турбинные лопатки.

V.F. Makarov, Dr. Sc. Tech.

(Perm National Research Polytechnic University, 29, Komsomolsky Avenue, Perm, 614013),

A.S. Gorbunov, Post graduate student

(PC "Reducer-PM", 93, Komsomolsky Avenue, Perm)

Use of different methods of local SPD (surface plastic deformation) to reduce stress concentrator impact upon profile surfaces of transport machinery parts

It is defined that in the course of machining complex profile parts operating under heavy alternating loads, in critical transition areas of profile conjugated surfaces there are formed local technological stress concentrators promoting the formation and growth of fatigue cracks and further destruction of operating parts. There are developed and introduced methods to reduce the values of such stress concentrators on the basis of the application of different methods of local surface plastic deformation.

Keywords: technological stress concentrators; profile surface; local transition areas; fatigue cracks; fatigue resistance; thread; gears; turbine blades.

Введение

Производство современной транспортных машин – автомобилей, самолетов, морских и речных судов, сельхозмашин и другой техники связано, прежде всего, с требованиями безопасности и надежности выпускаемых изделий. Анализ причин аварий и разрушений деталей транспортных машин показывает, что часто причинами могут быть как конструкторские, так и технологические недоработки и нарушения. Прежде всего, это касается таких ответственных деталей, работающих при значительных знакопеременных нагрузках, как зубчатые колеса, коленчатые и ступенчатые валы, лопатки турбин, резьбовые соединения, цапфы колес и другие.

Особенностью большинства этих деталей является наличие конструктивного концентратора напряжений в зоне резкого изменения профиля и формы поверхности. Именно в этой переходной зоне чаще всего и зарождаются усталостные трещины при знакопеременных нагрузках в условиях эксплуатации, что приводит часто к разрушению деталей.

Для снижения неблагоприятного действия этих конструктивных концентраторов напряжений проводятся различные мероприятия по изменению конструкции и условий эксплуатации деталей машин. Однако здесь не учитывается неблагоприятное воздействие дополнительно возникающего технологического концентратора напряжений в процессе изготовления деталей.

В результате проведенного анализа для этих деталей установлена одна характерная особенность. Все эти детали имеют сложные профильные поверхности с присутствием кон-

структивного концентратора напряжений и обрабатываются часто по профильной схеме методом врезания профильным инструментом. В результате сопряженные поверхности обрабатываемого профиля имеют принципиальные отличия условий контакта и резания соответствующими поверхностями профильного режущего инструмента.

Вследствие этого на контактных поверхностях инструмента и детали создаются различные термодинамические условия резания и стружкообразования, что может вызвать появление значительной неоднородности параметров качества поверхностного слоя в переходной зоне – остаточных напряжений, микротвердости, шероховатости, структурной неоднородности.

Резкие изменения параметров качества поверхностного слоя вызывают возникновение технологических концентраторов напряжений (ТКН) в переходных зонах профиля, как раз в тех местах, где уже действуют обычные конструктивные концентраторы напряжений, связанные с резким изменением формы профиля детали. В результате возможно сложение технологического и конструктивного концентраторов напряжений, что приводит к ускоренному появлению и накоплению различных дефектов в поверхностном слое и, в конечном счете, к разрушению деталей при испытаниях и в эксплуатации.

Выдвинута гипотеза, что снижение величины ТКН и выравнивание напряженно деформированного состояния (НДС) в критической переходной зоне возможно путем введения дополнительной финишной операции упрочнения методом локальной упрочняющей об-

работки (ЛУО) методами ППД. Применение ЛУО способствует снижению величин градиентов основных параметров качества поверхностного слоя и формированию благоприятных сжимающих остаточных напряжений с необходимой величиной и распределением по глубине в области смежных поверхностей зуба. В результате, технологические сжимающие остаточные напряжения противодействуют изгибным напряжениям растяжения, возникающим при эксплуатационной нагрузке, что в свою очередь существенно повышает предел выносливости, сопротивление усталости и долговечность деталей машин.

Зубчатые колеса относятся к числу наиболее распространенных деталей современных транспортных машин и механизмов, применяемым в различных отраслях промышленности. Наиболее сложными и ответственными являются спирально-конические зубчатые колеса, применяемые в автомобилестроении и в современных наземных газоперекачивающих установках и перспективных газотурбинных двигателях (ГТД) ПС-90А2, ПД-14, ПД-35 и т.д. Зубья зубчатых колес испытывают высокие циклические контактные и изгибные напряжения, которые могут вызывать, в условиях эксплуатации и при испытании, образование микротрещин и последующее их разрушение. Анализ таких случаев показал, что разрушение зубьев зубчатых колес носит усталостный характер с очагом развития трещины в переходной зоне сопряжения поверхностей дна впадины и боковой поверхности зуба.

В результате проведенных расчетов с помощью программы ANSYS и математического моделирования возникающих циклических напряжений от действия на зубья изгибающих контактных сил P в процессе работы зацепления по схеме (рис. 1) установлено циклическое образование сжимающих и растягивающих напряжений. Наибольшее опасное значение растягивающих напряжений наблюдается в радиусе перехода от впадины к боковой поверхности зуба. Именно в этой зоне имеют место наибольшие растягивающие напряжения от действия изгибного момента в условиях эксплуатации.

В результате анализа технологического процесса изготовления зубчатых колес установлено, что эти опасные напряжения могут увеличиться в результате того, что в переходной зоне формируется дополнительный технологический концентратор напряжений (ТКН), обусловленный резким переходом растягивающих остаточных напряжений (от

+200 МПа) на боковой поверхности зуба до высоких сжимающих остаточных напряжений (-700 МПа) на дне впадины зуба (рис. 2). При циклическом воздействии изгибающего момента при эксплуатации этот технологический концентратор усиливает действие конструктивного концентратора, что и может служить источником зарождения первоначальных усталостных трещин и последующего разрушения деталей.

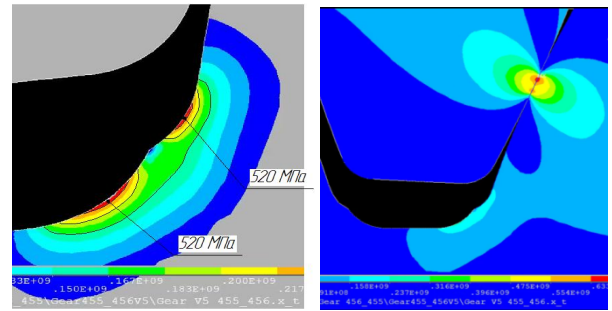


Рис. 1. Результаты моделирования образования циклических изгибных напряжений во впадине зубчатого колеса, возникающих на режиме пуска двигателя от действия сил в зацеплении

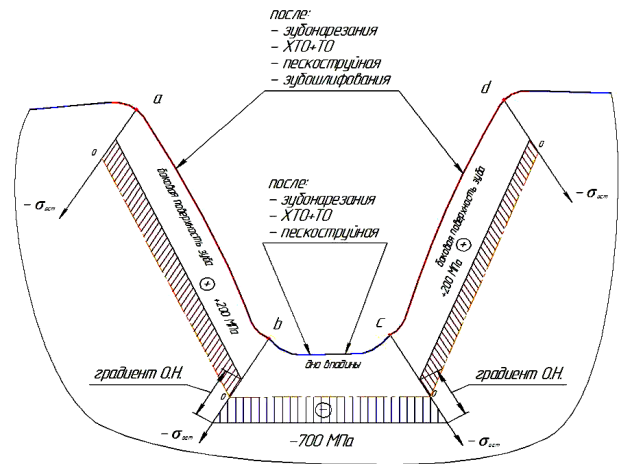


Рис. 2. Эпюры пооперационного формирования остаточных напряжений на боковых поверхностях и на дне впадины зуба шестерни

Для выравнивания НДС в критической переходной зоне предложено ввести операцию локального упрочнения впадины зуба наиболее рациональным методом обработки дробью. Применение обработки дробью способствует снижению величин градиентов основных параметров качества поверхностного слоя и формированию благоприятных сжимающих остаточных напряжений с необходимой величиной и распределением по глубине в области смежных поверхностей зуба. В результате, технологические сжимающие остаточные на-

пряжения противодействуют изгибным напряжениям растяжения, возникающим при эксплуатационной нагрузке, что, в свою очередь, существенно повышает предел выносливости, сопротивление усталости и долговечность шестерен.

Установлены эмпирические математические зависимости влияния технологических условий обработки на формирование величины и глубины остаточных напряжений для различных видов локальной упрочняющей обработки: пневмодробеструйная (ПДУ); дробеметная (ДУ); гидродробеструйная (ГДУ); пневмогидродробеструйная (ПГДУ); позволяющие направленно сформировать необходимые параметры качества поверхностного слоя во впадинах и на боковых поверхностях зубьев шестерен для снижения действия технологического концентратора напряжений. На основе сравнительных экспериментальных исследований выбран наиболее рациональный метод пневмогидродробеструйной (ПГДУ) упрочняющей обработки.

Теоретически и экспериментально доказано, что применение выбранного метода гидропневмодробеструйного упрочнения зубьев зубчатых колес на рациональном режиме позволяет сформировать остаточные напряжения сжатия и снизить действие технологического концентратора напряжений в переходной зоне боковой поверхности и дна впадины (рис.3). Определение предела выносливости проводилось на вибрационном электродинамическом стенде ВЭДС-400А при изгибных колебаниях по симметричному циклу напряжений с частотой основного тона на специальных образцах (рис. 3), вырезанных из обода конкретных шестерен с упрочнением и без упрочнения.

В результате проведенных усталостных испытаний установлено, что применение локального направленного упрочнения дробью переходных зон от впадины к боковой поверхности зубьев шестерен повышает предел выносливости на 20...25 % по сравнению с прежним серийным маршрутом обработки. Таким образом, благоприятное воздействие метода ППД и формирование высоких остаточных напряжений сжатия снижает вероятность появления усталостных трещин, и способствуют увеличению усталостной прочности шестерен ГТД.

Аналогичные исследования проведены при разработке методики назначения оптимальных режимов глубинного шлифования елочных профилей турбинных лопаток. Для выполнения елочного профиля на замке лопатки при-

меняется профильная схема врезного многопроходного глубинного шлифования с постепенным снятием припуска глубиной по первой впадине елочного профиля замка до 5...6 мм (рис. 4). Особенностью глубинного шлифования является увеличенная длина дуги контакта шлифовального круга с деталью, что приводит к возрастанию мощности и сил резания, общей тепловой напряженности в зоне резания.

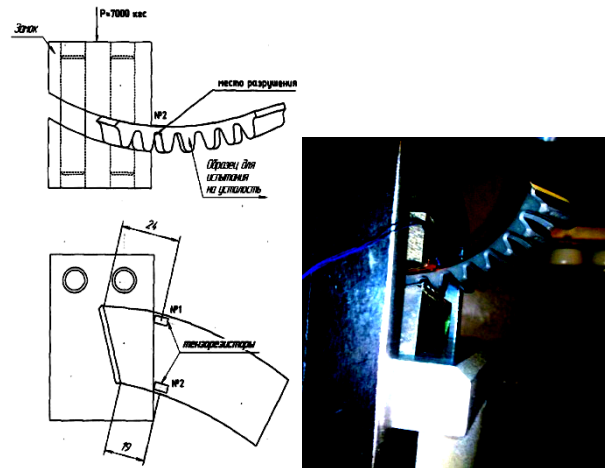


Рис. 3. Схема наклейки тензорезисторов с базой 5 мм на образцах и установки образцов для усталостных испытаний на вибрационном электродинамическом стенде типа ВЭДС-400А

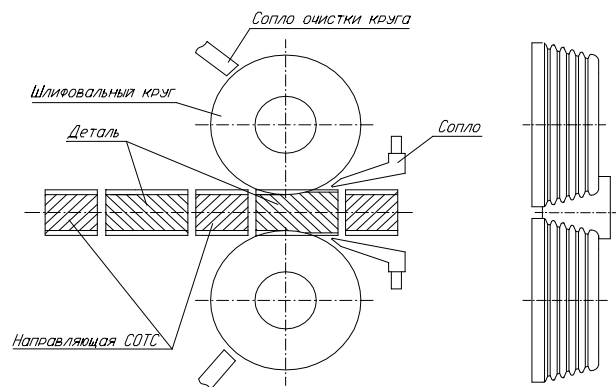


Рис. 4. Схема обработки «елочного» профиля хвостовиков лопаток методом врезного профильного глубинного шлифования

При внедрении процесса глубинного шлифования вместо фрезерования установлено снижение сопротивления усталости елочного хвостовика турбинных лопаток. Требуемый предел выносливости, установленный для елочных замков лопаток из различных сплавов: ЖС6К, ЖС6У-ВИ – 140 МПа; ЖС26-ВИ, ЧС-70, ЖС36 – 110 МПа в начальный период перехода от фрезерования к глубинному шли-

фованию елочных замков на рекомендованных НИИДом режимах не был обеспечен. Проблема решалась путем уменьшения глубины резания и увеличения числа проходов с трех до четырнадцати и даже до 20. При этом время обработки одной лопатки значительно увеличилось от 3 до 8 мин.

В принятой схеме врезного глубинного шлифования контура сложной елочной формы одновременно обрабатывается несколько смежных поверхностей (рис. 5, а). При этом на смежных поверхностях реализуются различные кинематические схемы шлифования с различными величинами глубины резания и снимаемыми припусками, с различной длиной дуги и пятном контакта шлифовального круга с заготовкой. Это приводит к различию сил резания, действующих на абразивное зерно; упругих и динамических деформаций; величины съема; температур в зоне контакта, которые определяют размерную точность и качество поверхностного слоя, возникновение трещин (рис. 5, б, в). Такой процесс вызывает большее увеличение температуры шлифования на торцевых поверхностях, чем на дне впадины и соответствующий рост растягивающих остаточных напряжений.

Возникает технологический концентратор напряжений в переходной радиусной зоне. При действии знакопеременных нагрузок в условиях эксплуатации такой концентратор напряжений складывается с циклически возникающим конструктивным геометрическим концентратором напряжений и создает условия для образования усталостных трещин в критической радиусной переходной зоне и разрушения лопаток турбины.

Для снижения действия технологического концентратора напряжений и повышения сопротивления усталости после обработки глубинным шлифованием предложено применять процесс локального упрочнения профиля хвостовика микрошариками на пневмодробеструйной установке. Обработка деталей равномерным потоком микрошариков фракции 0,10...0,35 мм со скоростью 50...80 м/с создаст на поверхности неориентированный микрошерельеф, параметр шероховатости $Ra = 1,25...2,5$ мкм; остаточные напряжения сжатия и наклеп – 15...30 %.

В результате проведения дробеструйного упрочнения микрошариками «елочного» профиля хвостовика и последующих усталостных испытаний турбинных лопаток и образцов-имитаторов «елочного» хвостовика при нормальной (20 °С) и рабочей температуре

(650...700 °С) установлено, что предел выносливости после упрочнения повышается соответственно на 20...25 % и на 60 %.

Значительные проблемы в транспортном машиностроении возникают при эксплуатации сложных резьбовых соединений деталей и узлов машин. Так для осуществления процесса транспортировки углеводородов и полезных ископаемых на поверхность применяется большая номенклатура специальных буровых, обсадных и насосно-компрессорных труб, соединенных в многокилометровые колонны с помощью резьбовых соединений в виде муфт и ниппелей со специальной конической резьбой.

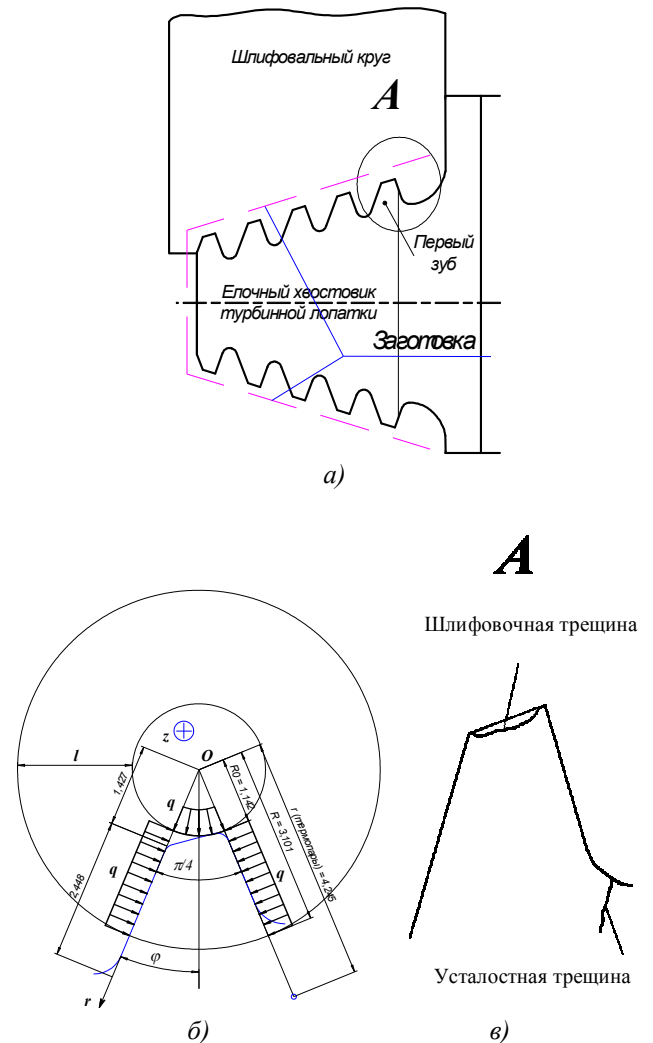


Рис. 5. Схема врезного глубинного шлифования елочного хвостовика (а), схема действия тепловых источников при глубинном шлифовании первой впадины елочного профиля хвостовика турбинной лопатки (б), трещины на первом зубе хвостовика (в)

В процессе бурения и подачи энергоносителей на поверхность резьбовые соединения буровых труб испытывают значительные знакопеременные нагрузки от действия растяги-

вающих сил, изгибающих моментов, химического и абразивного воздействий, что приводит к нередким случаям разрушения труб по резьбовым соединениям и обрыву многотонной колонны в скважинах. Анализ показал, что разрушение резьб носит усталостный характер и в основном в зоне впадины резьбы, где начинается рост усталостных трещин (рис. 6).

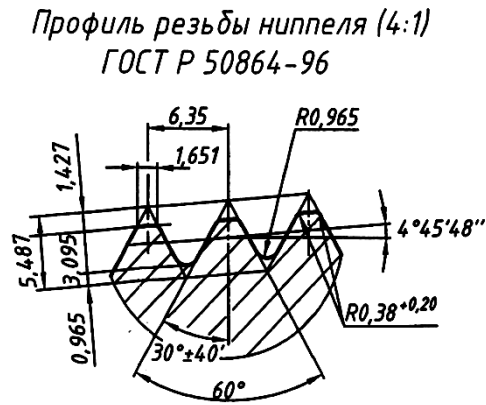


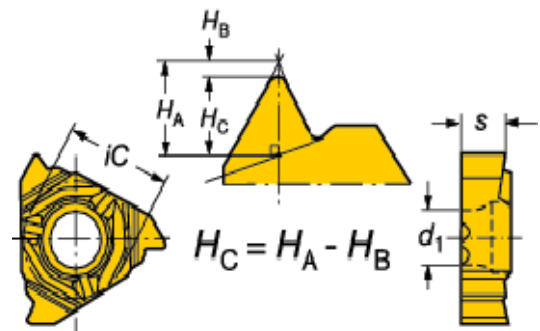
Рис. 6. Конструктивные особенности профиля резьбы буровых труб

При анализе технологического процесса установлено, что изготовление сложно профильной конической резьбы проводится методом врезного профильного многопроходного нарезания на токарно-винторезном станке SCT 22100 с ЧПУ сборными резцами с механическим креплением специальных трехгранных профильных резьбовых пластинок фирмы Sandvik (рис.7).

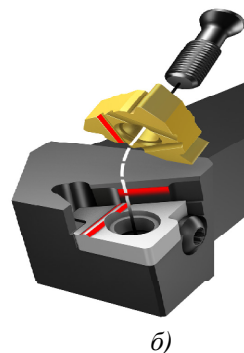
В результате анализа износа и образующейся стружки на боковых режущих кромках и на вершине выявлено значительное отличие температурных и деформационных явлений, что связано с различной кинематикой резания. Несвободное резание радиусной вершиной резца происходит в сложных условиях трехстороннего сжатия с формированием дна впадины резьбы методом поперечного врезного точения канавок. При этом образуется деформированная вытянутая корытообразная стружка сине-зеленого цвета, что свидетельствует о высокой, порядка 500..600 °С температуре резания. Процесс обработки режущими кромками резца является свободным резанием с образованием широкой плоской спиральной стружки светлого цвета, что свидетельствует о значительно меньшей деформации и температуре – 250...300 °С.

Полученные результаты свидетельствуют о том, что в процессе нарезания резьбы в поверхностном слое дна впадины и на боковых поверхностях резьбы формируются различные

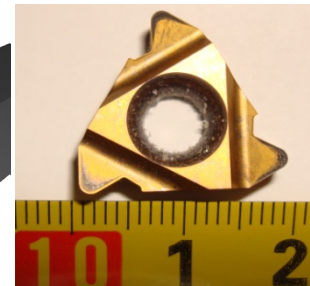
параметры качества: шероховатость, остаточные напряжения и наклеп. Установлено, что на дне впадин наблюдаются более глубокие риски от режущего инструмента, чем на боковых поверхностях нарезанной резьбы. Таким образом, можно констатировать факт образования технологического концентратора напряжений в переходной зоне от дна впадины к боковой поверхности, что в условиях действия изгибных знакопеременных нагрузок и при наличии конструктивного геометрического концентратора напряжений может усиливать вероятность образования усталостных трещин и последующего разрушения резьбы.



а)



б)



в)

Рис. 7. Конструкция специальных трехгранных профильных резьбовых пластинок (а), схема крепления (б) и характер износа режущих кромок (в)

Для снижения действия технологического концентратора напряжений предложено ввести поверхностно-пластическую деформационную обработку путем обкатки предварительно нарезанной резьбы роликом.

В результате упрочнения повышаются твердость и прочность поверхностного слоя, формируются благоприятные остаточные напряжения сжатия, уменьшается параметр шероховатости Ra , увеличиваются радиусы закругления вершин, относительная опорная длина профиля и т.п.

Испытания на сопротивление усталости при знакопеременном изгибе резьбового соединения проводились на стендовых установках при плоском или круговом изгибе по со-

гласованной методике. При анализе сравнительных усталостных испытаний установлено увеличение наработки обкатанного резьбового соединения над неупрочненным в 2,7–3,7 раза, с 700 тыс. циклов до 3900 тыс. циклов. Таким образом, применение разработанной технологии упрочняющей обработки повышает усталостную прочность и надежность буровых труб более чем в 3 раза.

Выводы

1. В процессе профильной механической обработки поверхностей сложного профиля деталей, работающих в эксплуатации при больших знакопеременных нагрузках, в критических переходных зонах сопряженных поверхностей профиля образуются локальные технологические концентраторы напряжений, способствующие зарождению, росту усталостных трещин и последующему разрушению деталей в эксплуатации.

2. Разработаны и внедрены методы снижения величины таких концентраторов напряжений на основе применения различных методов локального поверхностно-пластического деформирования поверхностного слоя переходных зон профилей.

3. Разработанные технологии позволили сократить вероятность образования усталостных трещин, и существенно повысить сопротивление усталости обработанных деталей.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Макаров, В.Ф. Разработка и применение новых инновационных технологий при производстве современных газотурбинных двигателей // *Научно-технические технологии в машиностроении*. – 2017. – № 7(73). – С. 35-40
2. Макаров, В.Ф., Горбунов, А.С., Ворожцова, Н.А. Формирование параметров качества поверхностного слоя зубьев спирально-конических шестерен с учетом влияния технологической наследственности // *Научно-технические технологии в машиностроении*. – 2015. – № 4(46). – С. 40-47.
3. Горбунов, А.С., Макаров, В.Ф. Влияние последова-

тельности обработки спирально-конических шестерен на распределение остаточных напряжений и величину наклепа поверхностного слоя зубьев // *Технология машиностроения*. – 2012. – №3. – С. 9-12.

4. Полетаев, В. А., Волков, Д.И. Глубинное шлифование лопаток турбин: Библиотека технолога. – М.: Машиностроение, 2009. – 272 с.

5. Макаров, В.Ф., Никитин, С.П. Влияние условий формообразования на качество поверхностного слоя лопатки при глубинном профильном шлифовании // *Научно-технические технологии в машиностроении*. – 2015. – №8(50). – С. 38-44.

6. Макаров, В.Ф., Никитин, С.П. Повышение качества и производительности при профильном глубинном шлифовании турбинных лопаток // *Научно-технические технологии в машиностроении*. – 2016. – №5(59). – С. 17-24.

REFERENCES

1. Makarov, V.F. New innovation technologies development and application at modern gas turbine engine manufacturing // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2017. – No.7(73). – pp. 35-40.

2. Makarov, V.F., Gorbunov, A.S., Vorozhtsova, N.A. Quality parameter formation in teeth surface layer of spiral bevel gears taking into account technological succession impact // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2015. – No.4(46). – pp. 40-47.

3. Gorbunov, A.S., Makarov, V.F. Spiral bevel gear machining sequence impact upon residual stress distribution and cold work value on teeth surface layer // *Engineering Technique*. – 2012. – No.3. – pp. 9-12.

4. Poletaev, V.A., Volkov, D.I. Deep grinding of turbine blades: *Technologist's Library*. – М.: Mechanical Engineering, 2009. – pp. 272.

5. Makarov, V.F., Nikitin, S.P. Shaping condition impact upon blade surface layer quality at deep profile grinding // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2015. – No.8(50). – pp. 38-44.

6. Makarov, V.F., Nikitin, S.P. Quality and productivity increase at turbine blade profile deep grinding // *Science Intensive Technologies in Mechanical Engineering*. – 2016. – No.5(59). – pp. 17-24.

Рецензент д.т.н. Е.Д. Мокронос

Учредитель: Федеральное государственное бюджетное образовательное учреждение высшего образования "Брянский государственный технический университет"

Адрес редакции и издателя: 241035, Брянская область, г. Брянск, бульвар 50 лет Октября, 7
ФГБОУ ВО «Брянский государственный технический университет»

Телефон редакции журнала: 8-903-592-87-39. E-mail: naukatm@yandex.ru
Вёрстка А.А. Алисов. Технический редактор А.А. Алисов. Корректор Н.В. Дюбова.

Сдано в набор 30.04.2019. Выход в свет 28.06.2019.

Формат 60 × 88 1/8. Бумага офсетная. Усл. печ. л. 5,88.

Тираж 500 экз. Свободная цена.

12+

Отпечатано в лаборатории оперативной полиграфии
Федерального государственного бюджетного образовательного учреждения высшего образования
"Брянский государственный технический университет"
241035, Брянская область, г. Брянск, ул. Институтская, 16