

ПРИМЕНЕНИЕ МЕТОДОВ РАСЧЕТА ТЕОРИИ ОБОЛОЧЕК ПРИ ПРОФИЛИРОВАНИИ ЗАГОТОВОК ДЛЯ ОБОДЬЕВ КОЛЕС

Показано, що методи виробництва якісних ободів коліс різних транспортних засобів засновані на процесах холодного штампування і радіально-ротаційному профілюванні. Для отримання реальної картини розподілу напружень і деформацій за профілем одержуваного виробу потрібно розглядати заготовку як оболонку обертання і залучити добре розроблений математичний апарат теорії оболонок і пластин. Це дасть можливість врахувати більшу кількість факторів, що впливають на якість одержуваного виробу. Шляхом теоретичного аналізу встановлювати вплив внутрішніх моментів, що діють в меридіональному і тангенціальному напрямках, на напружено-деформований стан оболонок в процесі формозміни.

Показано, что методы производства качественных ободьев колес различных транспортных средств основаны на процессах холодной штамповки и радиально-ротационном профилировании. Для получения реальной картины распределения напряжений и деформаций по профилю получаемого изделия требуется рассматривать заготовку как оболочку вращения и привлечь хорошо разработанный математический аппарат теории оболочек и пластин. Это даст возможность учитывать большее количество факторов, влияющих на качество получаемого изделия. Путем теоретического анализа устанавливать влияние внутренних моментов, действующих в меридиональном и тангенциальном направлениях, на напряженно-деформированное состояние оболочки в процессе формозмещения.

It is shown that the methods of production-quality wheel rims of different vehicles based on the processes of cold pressing and rotating radial profiling. To get the real picture of the distribution of stresses and deformations in the profile obtained product is required to consider procurement as a shell of revolution and bring well-developed mathematical apparatus of the theory of shells and plates. This will provide an opportunity to consider more factors that affect the quality of the product. Through theoretical analysis to establish the influence of internal moments acting in the meridional and tangential directions, the stress-strain of states in the process of forming a shell.

Теоретические основы для определения напряженно-деформированного состояния в процессе профилирования цилиндрических обечеек при получении ободьев колес транспортных средств были заложены в работах [1,2]. Они основывались на решении уравнений равновесия в цилиндрических координатах для выделенного участка заготовки с использованием условия пластичности Треска-Сен-Венана. Так как радиально-ротационное профилирование представляет собой процесс локального деформирования, где заготовка получает требуемую форму между парой вращающихся роликов, имеющих определенный профиль, то, как показано в работах [3,4], пластический очаг деформации окружен упруго деформированными зонами, которые оказывают значительное влияние на распределение пластических деформаций по профилю заготовки. Так же при деформировании цилиндрических обечеек имеет

Заключение. Проведенные исследования показали, что разработанный инструмент для обработки хрупких материалов (хрусталя, стекла и др.), обеспечивает стабильный режим шлифования с высокой режущей способностью. Использование в алмазосодержащих композиционных материалов гранул на основе карбида бора и карбида кремния, повышает размерную стойкость инструмента, не влияя на режимы правки и чистки режущих поверхностей. Повышение плотности матричного материала, приводит к значительному повышению стойкости алмазосодержащего инструмента. Разработанные алмазосодержащие композиционные материалы имеют большую твердость и прочность, чем применяемые традиционно, однако они достаточно легко поддаются ручной правке абразивными брусками. Применяемые в качестве наполнителей матрицы гранулы композиционных материалов, несмотря на меньшую твердость, чем алмазные зерна, полностью не разрушаются при правке алмазобразивного инструмента и являются дополнительными режущими элементами.

Список использованных источников: 1. Перерозин М.А. Справочник по алмазной обработке стекла. М.: Машиностроение, 1987. - 224с. 2. Патент 2006090527 ВОИС (WO) МПК 8В 24Д3/14. Шлифовальный круг на стекловидной связке и способ его изготовления. - № 05/024222; заявл. 27.12.2005; опубл. 31.08.2006. 3. Изобретение стран мира, вып. 19, № 8/2007. 3. Fielden J. H., Rubenstein C. The Grinding of Glass by a Fixed Abrasive// Glass Technology, Vol. 10, No. 3, 1969, p. 73. 4. Литов Ю. Н. Кинетика разрушения и упрочнения деформируемых твердых тел// Докл. АН УССР, 1979, 245, №4, с. 809 – 811. 5. Minář S. Základní poznatky učející směry řešení, intenzifikace presheho abrábní optického skla// Jemna mech. A opt. 1974, N10/12, S. 280 – 283. 6. Ваксер Д.В., Иванов В.А. и др. Алмазная обработка технической керамики / М.: Ленингр. отделение, Машиностроение, 1976. – 160 с. 7. Ардамацкий А.Л. Алмазная обработка оптических деталей / М.: Ленингр. отделение, Машиностроение, 1978. – 230 с. 8. Пащенко А.А., Емельянов Б.М., Рубан Ф.Г. Инструмент из сверхтвердых материалов на керамических связках / К.: Наукова думка, 1980. – 144 с.

Поступила в редакцию 15.06.2012

место действие моментов в тангенциальных и меридиональных направлениях, что не учитывалось в теоретических исследованиях проводившихся ранее.

Качественный результат по определению напряженно-деформированного состояния заготовки в процессе профилирования можно получить на основе достаточно хорошо разработанных моментной и безмоментной теорий деформирования оболочек вращения, где приводятся решения различного рода задач в упругой области [5]. Но для перехода в пластическую область данные теории выводят уравнения равновесия, которые не представляется возможным решить аналитическими методами и предлагаются только численные решения, что не дает в полной мере раскрыть сущность физических явлений, происходящих в очаге деформации при локальном формозмещении оболочек.

Целью данной работы является попытка упрощения аналитических расчетов при деформировании с переходом из упругой зоны в пластическую на примере определения изгибающих моментов при деформировании полосы.

Уравнение равновесия участка цилиндрической заготовки в упруго-пластической области при приведении внутренних моментов и усилий к перемещениям имеет вид [5]:

$$\text{где } D' = \left[\frac{ER^3}{12(1-\mu^2)} \right] - \text{цилиндрическая жесткость обечеек};$$

μ – коэффициент Пуассона (при пластической деформации $\mu = 0,5$, [4]);

$\varphi_c = \frac{E_c}{E}$, $\varphi_k = \frac{E_k}{E}$ – безразмерные величины;

E – модуль упругости для данного материала;

E_k – касательный модуль упругости;

$E_k = \frac{d\sigma}{d\varepsilon}$ – по диаграмме растяжения;

u – радиальное перемещение участка заготовки;

h – толщина заготовки;

Как известно [3], в процессах вытяжки, отбортовки, раздачи, формовки и т.д. упругими деформациями, ввиду больших пластических, можно пренебречь. К таким процессам можно отнести и радиально-ротационное профилирование.

В случае чистого изгиба, когда сечение заготовки обладает двумя осями симметрии (оси X и Y – оси симметрии поперечного сечения), и изгиб будет происходить в одной этих плоскостей, удовлетворяя условиям совместности деформаций, будем иметь выражения деформаций для всего сечения:

$$\begin{aligned} e_{zz} &= e_r = \chi', \\ e_{xx} &= e_{yy} = \frac{1}{2} e_{zz}, \\ e_{xy} &= e_{xz} = e_{yz} = 0, \end{aligned} \tag{1}$$

где χ – кривизна центральной оси полосы в результате изгиба.

Принимаем, что материал бруса изотропный и не упрочняющийся. Нагружение полосы будем считать простым. Тогда направляющие тензоры напряжений и деформаций в упруго-пластической области совпадают и в проекциях на оси X, Y, Z будут выражаться формулами [6]:

$$\begin{aligned} \sigma_x - \sigma &= \frac{2\sigma_i}{3e_i}(e_x - e), \sigma_{xy} = \frac{\sigma_i}{3e_i} e_{xy}, \\ \sigma_y - \sigma &= \frac{2\sigma_i}{3e_i}(e_y - e), \sigma_{yz} = \frac{\sigma_i}{3e_i} e_{yz}, \\ \sigma_z - \sigma &= \frac{2\sigma_i}{3e_i}(e_z - e), \sigma_{zx} = \frac{\sigma_i}{3e_i} e_{zx}, \end{aligned} \tag{2}$$

где σ – среднее напряжение;

e – средняя деформация;

σ_i – интенсивность напряжений;

e_i – интенсивность деформаций.

Интенсивность напряжений для каждого материала является вполне определенной и независимой от характера напряженного состояния функцией интенсивности деформаций

$$\sigma_i = \Phi(e_i),$$

или, выделяя упругую часть

$$\sigma_i = 3Ge_i(1 - \omega(e_i)), \tag{3}$$

где G – модуль сдвига;

$\omega(e_i)$ – функция деформаций, зависящая от рода материала.

Относительно задачи изгиба полосы на основании (1) имеем $e_i = |e_r|$ и поэтому из (2) находим:

$$\sigma_z = \sigma_1; \sigma_x = \sigma_y = \sigma_{xy} = \sigma_{yz} = \sigma_{zx} = 0; \sigma_i = |\sigma_1|.$$

Из (3) получаем зависимость для σ_1 и e_1 :

$$\sigma_1 = Ee_1(1 - \omega(e_1)). \tag{4}$$

Вследствие симметрии сечения продольная сила $\int_{-h/2}^{h/2} \sigma_1 e dy = 0$ в полосе

отсутствует. Значит, задача решается одним только соотношением между изгибающим моментом и кривизной, которое получается, если написать вы-

ражение момента внутренних напряжений и приравнять его изгибающему моменту [6]:

$$M = 2 \int_0^{h/2} \sigma_I b y dy, \quad (5)$$

где b – ширина сечения;
 h – высота сечения.

Это уравнение на основании (3) с учетом упругопластических деформаций запишется в виде:

$$M = EI \chi - \int_0^{h/2} \omega e_I b y dy, \quad (6)$$

где I – момент инерции сечения.

Упругие деформации необходимо учитывать при получении деталей операциями гибки, в других процессах обработки металлов давлением эти деформации очень малы по сравнению с пластическими деформациями и поэтому при расчетах формоизменения в пластической области ими пренебрегают. В связи с этим упрощим выражение для изгибающего момента, взяв только пластические деформации, из (3) получим:

$$\sigma_I = E e_I \omega(e_I), \quad (7)$$

тогда

$$M = \int_0^{h/2} E e_I \omega(e_I) b y dy. \quad (8)$$

В точке перехода от упругих напряжений к пластическим, они равны между собой и равны напряжению текучести (материал не упрочняющийся)

$$\sigma_{упр} = \sigma_s = \sigma_I. \text{ Отсюда } e_I = \frac{\sigma_s}{E}. \text{ Подставляя полученное выражение в (8) и,}$$

учитывая, что $\omega = I$ для идеально пластичного материала получим:

$$M = \int_0^{h/2} \sigma_s b y dy = \sigma_s b \frac{y^2}{2} \Big|_0^{h/2} = \sigma_s b \frac{h^2}{8}.$$

$$M = \int_{-h/2}^0 \sigma_s b y dy = \sigma_s b \frac{y^2}{2} \Big|_{-h/2}^0 = -\sigma_s b \frac{h^2}{8}.$$

$$M_{\Sigma} = \left| \sigma_s b \frac{h^2}{8} \right| + \left| -\sigma_s b \frac{h^2}{8} \right| = \sigma_s b \frac{h^2}{4}. \quad (9)$$

где σ_s – предел текучести материала.

Получили выражение для пластического изгибающего момента. Похожее выражение было получено в работах многих исследователей, так напри-

мер, в работе [3] при условии, что изгиб осуществляется по сравнительно большому радиусу, когда нейтральная поверхность совпадает с срединной поверхностью заготовки ($\rho_n = r + \frac{s}{2} = R - \frac{s}{2}$), деформирование происходит без упрочнения, толщина упругодеформированного слоя мала, то выражение для изгибающего момента для единичной ширины заготовки имело вид:

$$M = \int_{\rho_n}^R \sigma_s \rho d\rho + \int_r^{\rho_n} -\sigma_s \rho d\rho = \sigma_s \frac{R^2 - \rho_n^2 - \rho_n^2 + r^2}{2} =$$

$$= \sigma_s \frac{(R - \rho_n)(R + \rho_n) - (\rho_n - r)(\rho_n + r)}{2} = \sigma_s \frac{R + \rho_n - \rho_n - r}{4} = \sigma_s \frac{s^2}{4},$$

где R – радиус кривизны наружной поверхности;

r – радиус кривизны внутренней поверхности;

ρ_n – радиус кривизны нейтрального слоя.

Вывод. На примере теоретического анализа процесса упругопластического изгиба удалось упростить выражение для определения изгибающего момента в пластической области. Разработанный подход можно применить к теоретическому анализу процесса профилирования, который схематически представляет собой локальное деформирование оболочек вращения. Опираясь на хорошо разработанный математический аппарат теории оболочек и применяя его к анализу напряженно-деформированного состояния при профилировании ободьев колес, можно добиться учета большего количества факторов, влияющих на распределение деформаций по толщине оболочки, тем самым значительно повысить точность исследования и наметить пути усовершенствования процесса.

Список использованных источников: 1. Потекушин Н.В. Исследование процесса радиального профилирования // Н.В. Потекушин // Автомобильная промышленность. – 1976. – №4. – С. 31-35. 2. Потекушин Н.В. Экспериментальное исследование процесса формообразования профилированных ободьев // Н.В. Потекушин // Автомобильная промышленность. – 1977. – №1. – С. 33-36. 3. Попов Е.А. Основы теории листовой штамповки / Попов Е.А. – М.: Машиностроение, 1977. – 278 с. 4. Тимошенко С.П. Пластинки и оболочки [Текст] / С.П. Тимошенко, С. Войновский-Кригер. – М.: Наука, 1966. – 635 с. 5. Матвийчук В.А. Совершенствование процессов локальной ротационной обработки давлением на основе анализа деформируемости металлов: монография / В.А. Матвийчук, И.С. Алиев. – Краматорск: ДГ МА, 2009. – 268 с. 6. Ильишин А.А. Пластичность. Упругопластические деформации. Ч 1 / А.А. Ильишин. – М.: ОГИЗ, 1948. – 377 с.

Поступила в редакцию 11.05.2012

УДК 621.757

В.М. Липка, Мелитополь, Украина
Ю.Л. Рапацкий, канд. техн. наук, Севастополь, Украина

ПОВЫШЕНИЕ НАДЕЖНОСТИ РЕЗЬБОВЫХ СОЕДИНЕНИЙ ПРИ СБОРКЕ АВТОМОБИЛЬНЫХ СИЛОВЫХ АГРЕГАТОВ

Розглянути технологичні проблеми підвищення надійності різьбових з'єднань у автомобільних силових агрегатах. Аналізуються результати виробничого експерименту на Мелітопольському моторному заводі. Наведено рекомендації з підвищення надійності різьбових з'єднань технологічними методами.

Рассматриваются технологические проблемы повышения надежности резьбовых соединений в автомобильных силовых агрегатах. Анализируются результаты производственного эксперимента на Мелитопольском моторном заводе. Приводятся рекомендации по повышению надежности резьбовых соединений технологическими методами.

Technological problems of increasing of reliability of screw—thread junctions in motor-car power aggregate are considering. The results of production experiment on the Melitopol engine plant are analyzing. Recommendations of increasing of reliability of screw—thread junctions by technological methods are represented.

Постановка проблемы. Конкуреноспособность сложных изделий машиностроения, таких, как силовые агрегаты (СА) для легковых автомобилей, существенно зависит от их надежности, которая, в свою очередь, в значительной мере определяется технологией изготовления деталей и качеством сборки готовой продукции. По разным оценкам, до 15-20% отказов СА в процессе эксплуатации прямо либо косвенно обусловлены низкой надежностью резьбовых соединений (РС), обеспечить стабильное высокое качество сборки которых в условиях крупносерийного производства крайне сложно. Примером такого производства является изготовление СА для автомобилей «Сенс» и «Ланос», на хозрасчетном предприятии (ХРП) «АвтоЗА3-Мотор» (г. Мелитополь), где выпускается более 75000 шт. в год СА различных модификаций. Собранный СА включает в себя инжекторный двигатель рабочим объемом 1,3 либо 1,4 литра в сборе с механизмом сцепления, коробку передач, а также систему впрыска топлива, стартер, генератор, насос системы охлаждения и ряд других узлов. Подавляющее большинство разъемных соединений в СА являются резьбовыми, более 80% из которых непосредственно влияют на работоспособность готового изделия при эксплуатации его на автомобиле.

Восстановление работоспособности СА после отказа, вызванного неисправностью РС, в большинстве случаев требует существенных материальных затрат, а в гарантийный период ведет к прямым убыткам для производителя.

Вопросам автоматизированной сборки РС посвящены многие отечественные и зарубежные публикации, но в них недостаточно внимания уделено анализу факторов, вызывающих отказы изделий с РС при эксплуатации. Про-

блема повышения надежности РС на этапе их изготовления, т.е. технологическими методами, остается актуальной.

Целью статьи является исследование влияния совместного влияния различных факторов на причины возникновения отказов РС, а также анализ способов повышения надежности изделий машиностроения с такими соединениями.

Анализ результатов исследований. В соответствии с технической документацией на СА, для большинства РС конструктивно заданы посадки 6H/6h либо 5H/6h, точное соблюдение которых в целом позволяет обеспечить необходимый уровень качества сборки. Вместе с тем, в реальных производственных условиях ХРП «АвтоЗА3-Мотор», при невозможности сплошного контроля геометрических и точностных параметров всей номенклатуры болтов и шпилек, программа выпуска которых составляет по каждому наименованию от 75 до 750 тысяч в год, а также параметров гаек и резьбовых отверстий в корпусных деталях, соблюдение указанных посадок не всегда возможно обеспечить и возникает вероятность отказа изделий в процессе эксплуатации. [2,3,4]

При свинчивании и затяжке РС в технологическом процессе автоматизированной сборки применяются различные методы и способы приложения крутящего момента к ключу. При этом необходимо отметить, что чем выше требования к точности затяжки, тем ниже производительность технологического процесса, что повышает издержки предприятия и снижает экономическую эффективность его деятельности. Кроме того, каждый способ затяжки, осуществляемый с помощью специализированного оборудования, требует индивидуального подхода к выбору метода контроля качества сборки РС. Поскольку наиболее важным параметром является величина натяжения болта, контролировать которую в ходе автоматизированной сборки практически невозможно, то точность процесса затяжки зависит от корректности установления функциональной связи между фактическим усилием натяжения болта и контролируемым параметром, в роли которого может выступать крутящий момент, угол поворота головки болта либо гайки, удлинение стержня болта, деформация прокладки и т.д. Наименее точным, вместе с тем самым высокопроизводительным и наиболее распространенным является метод приложения контролируемого значения крутящего момента. При этом крутящий момент $M_{КЛ}$, прикладываемый к ключу, уравнивается суммой двух моментов [2,3]:

$$M_{КЛ} = M_P + M_T, \quad (1)$$

где $M_{КЛ}$ - крутящий момент на ключе; M_P - момент в резьбе; M_T - момент сил трения по торцу головки болта либо гайки. При автоматизированной сборке закручивание и затяжка резьбовых соединений производится, как правило, с помощью приспособлений, заранее отрегулированных на оп-