

УСОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ ОПРЕДЕЛЕНИЯ КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ПРИ ПРОФИЛИРОВАНИИ ОБОДЬЕВ КОЛЕС

Приведены теоретические исследования по усовершенствованию методики определения крутящего момента профилировочных машин при изготовлении ободьев колес методом радиально-ротационного профилирования, основанные на определении нижней границы усилия профилирования.

Ключевые слова: обод колеса, усилие, крутящий момент, профилирование.

Введение. Ободья колес транспортных средств, сельскохозяйственной техники, прицепов, тракторов изготавливаются в Украине на ОАО «Кременчугский колесный завод» и в условиях жесткой конкуренции с производителями Италии, Германии, Турции, Китая, России не всегда удовлетворяют запросам заказчика и не выдерживают ее. Поэтому снижение себестоимости колеса, основную часть которой составляет материал, из которого оно изготовлено, с улучшением эксплуатационных характеристик позволит улучшить положение на рынке и укрепить позиции отечественного производителя. Себестоимость изделия состоит из таких слагаемых как затраты на материалы, на изготовление, хранение, перевозку и сбыт и уменьшение одного из слагаемых обеспечит снижение себестоимости в целом [1]. Правильный расчет энергосиловых параметров профилировочных машин (усилий, крутящих моментов, мощности) позволит на стадии проектирования выбирать имеющееся оборудование оптимальной мощности, тем самым снизить технологическую себестоимость изготовления обода, путем экономии энергоресурсов.

Обзор последних источников исследований и публикаций. Методика расчета крутящих моментов машин для радиально-ротационного профилирования в работе [2] основывается на расчете усилия деформирования с учетом контакта заготовки с верхним и нижним профилировочным роликом и сводится к произведению усилия на плечо действия сил. Зависимость для расчета крутящего момента имеет вид

$$M_{кр} = 0,125 \left(\frac{\pi \alpha_B}{90^\circ} \right)^2 R_B^2 m t_{\min} \sigma_i, \quad (1)$$

где α_B – угол охвата ролика заготовкой; R_B – радиус внутреннего ролика; m – коэффициент, учитывающий неравномерность деформации; t_{\min} – толщина заготовки; σ_i – интенсивность напряжений.

Зависимость для расчета потребного крутящего момента в работе [3] основывается на учете изменения толщины заготовки в процессе деформирования и имеет вид

$$M_{кр} = kRR' \left[\left(\int q_i \varphi d\varphi \right) + \frac{q_i^+ h_3^+ - q_i^- h_3^-}{2R'} \right], \quad (2)$$

где k – коэффициент трения качения; R – радиус профилировочного ролика; R' – деформированный радиус вала;

$$R' = R \left[\frac{(1 + 2c \cdot q_i)}{(h^+ - h^-)} \right];$$

c – коэффициент жесткости (для стали $c = 0,04175 \text{ м} \cdot \text{Н}^{-1}$); q^+ , q^- , h_3^+ , h_3^- – толщины и давления на элемент заготовки на входе и выходе из очага деформации, т. е. за изменение радиу-

са заготовки при внедрении ролика в последнюю на величину подачи; φ – угол захвата заготовки роликом $\arccos \varphi = 1 - (\Delta h/d)$; Δh – обжатие заготовки; d – диаметр ролика.

Выделение нерешенных ранее частей общей проблемы. Обе зависимости позволяют с достаточной степенью точности вычислить крутящие моменты при профилировании и могут использоваться для предварительных расчетов при выборе оборудования. Для проверочного расчета крутящих моментов, на наш взгляд, необходимо учитывать локальность приложения нагрузки при получении ободьев колес.

Постановка задачи. Данное исследование направлено на уточнение ранее полученных методик расчета крутящих моментов профилировочных машин и получения аналитических зависимостей, пригодных для инженерных расчетов.

Заготовку обода колеса рассматривали как тонкую оболочку средней длины. Для анализа напряженно-деформированного состояния использовали положения и гипотезы технической теории тонких оболочек и полубезмоментной теории В.З. Власова [4].

Основной материал и результаты. Находим напряжение, которое вызывает пластическую деформацию заготовки при действии поверхностной нагрузки [5]. Давление деформирующего инструмента на цилиндрическую поверхность заготовки, учитывая локальность приложения нагрузки:

$$\text{при } -\varphi \leq \varphi \leq \varphi_0, \quad q = q_{\max} (\cos \varphi - \cos \varphi_0),$$

$$\text{при } \varphi_0 \leq \varphi \leq (2\pi - \varphi_0), \quad q = 0.$$

Разложим поверхностную нагрузку в ряд по φ :

$$q = q_0 + \sum_{k=1}^{k=\infty} \bar{q}_k \cos k\varphi. \quad (3)$$

Интегрируя правую и левую части равенства от 0 до 2π , найдем q_0 :

$$\int_{-\varphi_0}^{+\varphi_0} q_{\max} (\cos \varphi - \cos \varphi_0) d\varphi = q_0 2\pi,$$

$$q_0 = \frac{q_{\max}}{2\pi} [2 \sin \varphi_0 - 2\varphi_0 \cos \varphi_0].$$

Для определения коэффициента q_k произвольного члена ряда умножим правую и левую части равенства (2) на $\cos k\varphi$ и проинтегрируем от 0 до 2π :

$$\int_{-\varphi_0}^{+\varphi_0} q_{\max} (\cos \varphi - \cos \varphi_0) \cos k\varphi d\varphi = \int_0^{2\pi} \bar{q}_k \cos^2 k\varphi d\varphi,$$

$$\bar{q}_k = \frac{2q_{\max}}{\pi} w_k,$$

$$\text{где при } k \neq 1 \quad w_k = \frac{\sin[(k+1)\varphi_0]}{2(k+1)} + \frac{\sin[(k-1)\varphi_0]}{2(k-1)} - \frac{\sin k\varphi_0 \cos k\varphi_0}{k}; \quad \text{при } k=1 \quad w_k = \frac{\varphi_0}{2} - \frac{1}{4} \sin 2\varphi_0.$$

Определим q_{\max} , которое необходимо для создания локальной пластической деформации заготовки. Для этого используем уравнения равновесия тонкой цилиндрической оболочки [6]

$$\frac{\partial^2 M_x}{\partial x^2} + 2 \frac{\partial^2 H}{\partial x \partial y} + \frac{\partial^2 M_y}{\partial y^2} - \left(\sigma_x \frac{\partial^2 w}{\partial x^2} + \sigma_y \frac{\partial^2 w}{\partial y^2} + 2\tau \frac{\partial^2 w}{\partial x \partial y} + \frac{\delta \sigma_y}{R} \right) h = 0, \quad (4)$$

где M_x , M_y , H – изгибающие и крутящий моменты; σ_x , σ_y – нормальные напряжения, действующие в направлении OX и OY ; τ – касательное напряжение, действующее в плоскости XOY ; w – прогиб оболочки в направлении радиуса; $\delta \sigma_y$ – приращение нормальных напряжений; R , h – радиус и толщина стенки заготовки.

Принимая для w выражение

$$w = A \sin \frac{m\pi x}{L} \sin \frac{ny}{R} \quad (5)$$

и вводя функцию напряжений

$$\Phi = B \sin \frac{m\pi x}{L} \sin \frac{ny}{R} \quad (6)$$

в работе [5] было получено выражение для расчета напряжений σ_y , вызывающих пластическую деформацию заготовки

$$\sigma_y = \frac{2}{3} \frac{\pi^2 E_c h R}{L^2}. \quad (7)$$

где R – радиус заготовки; L – длина заготовки; h – толщина заготовки; E_c – секущий модуль соответствующий применяемому материалу.

Тогда усилие, соответствующее распределенной нагрузке

$$P = q \frac{\pi R}{2} = \frac{\pi^2 E_c h^2 R^2}{4L^2} [2 \sin \varphi_0 - 2\varphi_0 \cos \varphi_0] + \sum_{k=1}^{k=\infty} \frac{2}{3} \frac{\pi^2 E_c h^2 R^2}{L^2} w_k \cos k\varphi. \quad (8)$$

Первое слагаемое мало по сравнению со вторым в выражении (8) и его можно не учитывать, тогда формула для расчета крутящего момента с учетом плеча действия сил

$A = R_b \sin \frac{\varphi}{2}$ будет иметь вид

$$M_k = \sum_{k=1}^{k=\infty} \frac{2}{3} \frac{\pi^2 E_c h^2 R^2}{L^2} w_k \cos k\varphi R_b \sin \frac{\varphi}{2}. \quad (9)$$

Потребный крутящий момент для осуществления процесса с учетом преодоления сил трения в подшипниках профилировочного ролика составил в соответствии с рекомендациями [7]

$$M_{кр.потр} = M_k + P(f + \mu_c d_{ш}), \quad (10)$$

где $d_{ш}$ – диаметр шейки профилировочного ролика; μ_c – коэффициент трения скольжения в опорах роликов профилировочной машины; f – коэффициент трения качения роликов по заготовке.

Таким образом, методика определения крутящего момента состоит в следующем:

1. Определяем угол охвата ролика заготовкой: $\arccos \varphi = 1 - (\Delta h/D)$, где Δh – обжатие заготовки (определяется как отношение подачи силового вала на оборот обечайки к диаметру заготовки); D – диаметр ролика.

2. Вычисляем коэффициент w_k .

3. Все данные подставляем в формулу (10) и вычисляем потребный крутящий момент.

4. Сравниваем полученное значение момента с паспортными данными профилировочной машины, должно выполняться неравенство $M_{кр.потр} \leq M_{пасп.}$

Отличие полученной зависимости (10) от предложенных ранее (1) и (2) состоит в том, что крутящий момент зависит от квадрата длины контакта заготовки с инструментом, что соответствует физической сущности явлений, происходящих в очаге деформации. И чем больше длина контакта, тем меньше потребный крутящий момент. Это подтверждается экспериментальными исследованиями.

Выводы. Таким образом, проведенные теоретические исследования позволили установить зависимость крутящего момента профилировочной машины от конструктивных параметров инструмента, геометрии заготовки и технологических параметров радиально-

ротационного профилирования (подачи силового вала), что позволило уточнить полученные ранее исследования и упростить методику его определения.

Литература

1. Економіка та організація виробництва [Текст]: підручник / За ред. В.Г. Герасимчука, А.Е. Розенплентнера. – К.: Знання, 2007. – 678 с.
2. Потекушин, Н.В. Исследование процесса радиального профилирования [Текст] / Н.В. Потекушин. // Автомобильная промышленность. – 1976. – № 4. – С. 31–35.
3. Мосъпан, Д.В. Определение потребного крутящего момента при радиально-ротационном профилировании ободьев колес [Текст] / Д.В. Мосъпан, В.В. Драгобецкий, Р.Г. Пузырь // Вісник Кременчуцького держ. політехн. ун-ту ім. Михайла Остроградського – Кременчук: КДПУ, 2008. – Вип. 6 (53), част. 2 – С. 64–66.
4. Власов, В.З. Избранные труды [Текст] / В.З. Власов. – М.: Изд-во АН СССР, 1962. – Т. 1. – 528 с.
5. Пузырь, Р.Г. Определение поверхностной нагрузки, вызывающей пластическую деформацию цилиндрической заготовки [Текст] / Р.Г. Пузырь // Обработка материалов давлением: сб. науч. тр. – Краматорск: ДГМА, 2013. – № 2 (35). – С. 99–105.
6. Вольмир, А.С. Устойчивость деформируемых систем [Текст] / А.С. Вольмир. – М.: Наука, 1967. – 984 с.
7. Мошнин, Е.Н. Гибка и правка на ротационных машинах: Технология и оборудование [Текст] / Е.Н. Мошнин. – М.: Машиностроение, 1967. – 272 с.

© Р.Г. Пузырь

Р.Г. Пузырь, к.т.н., доц.

Кременчуцький національний університет ім. Михайла Остроградського

УДОСКОНАЛЕННЯ МЕТОДИКИ ВИЗНАЧЕННЯ КРУТНОГО МОМЕНТУ ПРИ ПРОФІЛЮВАННІ ОБОДІВ КОЛІС

Наведено теоретичні дослідження з удосконалення методики визначення крутного моменту профілювальних машин при виготовленні ободів коліс методом радіально-ротацийного профілювання, засновані на визначенні нижньої межі зусилля профілювання.

Ключові слова: обід колеса, зусилля, крутний момент, профілювання.

R.G. Puzyr, Ph.D., Associate Professor

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

IMPROVEMENT OF METHODS FOR DETERMINING THE TWISTING MOMENT PROFILING WHEEL RIM

Theoretical studies on the improvement of methods for determining the twisting moment machines in the manufacture of wheel rims by radial rotary profiling, based on the definition of the lower boundary of the efforts of profiling.

Keywords: rim, force, twisting moment, profiling.