

УДК 621.7.044

Пузырь Р. Г.
Залесов М. Д.
Драгобецкий В. В.

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ МЕТОДИКИ РАСЧЕТА ПОТРЕБНОГО КРУТЯЩЕГО МОМЕНТА ПРИ ГОРИЗОНТАЛЬНОМ РАДИАЛЬНО-РОТАЦИОННОМ ПРОФИЛИРОВАНИИ ОБОДЬЕВ КОЛЕС

Анализ современного состояния устройств основного технологического оборудования, его конструкций и технических возможностей, анализ технологических схем производства ободьев колес автомобилей и тракторов, оснастки для их изготовления способом радиально-ротационного профилирования показал, что радиально-ротационное профилирование является прогрессивным и перспективным методом изготовления ободьев колес, обеспечивающим высокую производительность, высокое качество продукции, возможность полной автоматизации процесса [1, 2].

Используемое в настоящее время в СНГ конструкции профилировочных машин консольного и проходного типа морально, а в некоторых случаях, и физически устарели, являются фактически копиями, а в некоторых случаях и оригиналами зарубежной техники указанного срока давности, обладают рядом существенных недостатков, препятствующих реализации всех преимуществ способа радиально-ротационного профилирования ободьев колес [3].

Предложена горизонтальная компоновка машины, что позволяет решить двуединую задачу: облегчение доступа к модульной смене профилирующих роликов и удобство размещения средств механизации для подачи или уборки профилируемых ободьев колес (например, установку наклонного желоба).

Размещение двух двухступенчатых редукторов в стойках станины и использование стоек в качестве корпусов редукторов значительно упрощает конструкцию механизма вращения полувалов внутренних профилировочных роликов, уменьшает вес и габариты машины, за счет ухода от традиционных отдельно стоящих многоступенчатых редукторов, вынесенных за пределы станины машины и позволяет разделить механизмы вращения и механизмы осевого перемещения полувалов.

Принцип работы профилировочной машины с горизонтальным расположением валов аналогичен принципу работы проходных машин типа ИОА 130 и ИБО 130.

Главное различие заключается в том, что конструкция спроектированной машины позволяет осуществить быструю переналадку и переход на другой профиль. Для чего после остановки машины производят быстрое раскрепление съемной кассеты с наружными профилировочными роликами и подушек полувалов с внутренними профилировочными роликами (клинья или гидрозажимы), смену кассеты и подушек с помощью крана (автооператора).

Целью работы является разработка методики расчета необходимого крутящего момента горизонтальной профилировочной машины для использования в технологической подготовке производства. У ротационных машин расчетными являются энергетические – мощность электропривода и кинетическая энергия, запасаемая маховиком или инструментом; силовые – максимальный передаваемый муфтой крутящий момент и наибольшая сила, воспринимаемая станиной и валками (роликами, дисками), а также жесткостные параметры – упругое пружинение рабочих деталей. Методика их определения изложена в работах [4, 5]. Из технической литературы известно несколько методик расчета параметров именно профилировочных машин для изготовления ободьев колес. Методики разных авторов [6, 7] имеют принципиальные отличия в выборе исходных условий и в принятых в них допущениях. К последним относится пренебрежение величиной упругой деформации или же учет изменения толщины заготовки в очаге деформации и др. Результаты расчетов по различным методикам получаются различными, особенно расхождения велики при расчетах крутящего момента профилировочных машин, до 1,5–2 раз и более. При этом надо иметь в виду, что расчет

энергосиловых параметров процесса радиально-ротационного профилирования может быть только приближенным, так как не могут быть точно установлены исходные условия (колебания геометрических размеров заготовки и механических характеристик исходного материала). Ввиду этого нельзя принять полезным в методиках некоторых авторов [6] определение упругой деформации каждого ролика. Это приводит к необходимости проведения дополнительных кропотливых расчетов.

Поэтому наибольший интерес при расчете силовых параметров профилировочных машин представляет расчет потребного крутящего момента для осуществления радиально-ротационного профилирования (РРП) обода колеса. И, несмотря на то, что к настоящему времени выполнен большой объем работ по расчету неустановившегося процесса упругопластического РРП ободьев колес для осесимметричного и плоского напряженного и деформированного состояния [1, 3, 6, 7], вопрос определения энергосиловых параметров профилировочных машин остается открытым. Проведенные ранее исследования по определению напряженно-деформированного состояния при профилировании полых цилиндрических заготовок [3, 7, 8] позволяют определить работу пластического деформирования без учета работы, затрачиваемой при качении профилировочного ролика по упруго-пластически деформируемой заготовке.

При радиально-ротационном профилировании заготовка устанавливается на вал и упруго-пластически деформируется профилировочными роликами, установленными на валу профилировочной машины. Расчетная схема процесса РРП с центральным ручьем представлена на рис. 1. В настоящее время различают две основные схемы РРП с центральным ручьем – гибку-формовку и гибку-отбортовку.

Усилия, необходимые для гибки-формовки элемента, определим из уравнения равновесия тонколистовой заготовки [9]:

при гибке-формовке

$$q_1 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sigma_{ri}}{R_{ei}} + \frac{\sigma_{\theta i}}{R_{ni}} \right) \cdot h_{обi}, \quad (1)$$

при гибке-отбортовке

$$q_2 = \sum_{i=1}^n \left(\frac{\sigma_{ri} + \Delta\sigma_{\theta i}}{R_{ei}} + \frac{\sigma_{\theta i}}{R_{ni}} \right) \cdot h_{обi}. \quad (2)$$

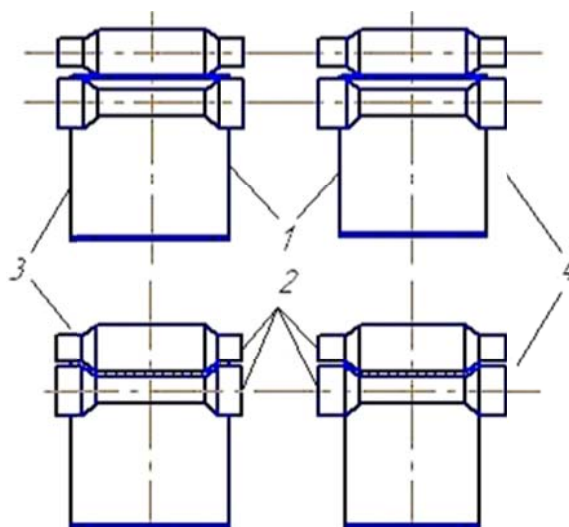


Рис. 1. Профилирование центрального ручья:

1–заготовка; 2–деформирующие ролики (верхний и нижний); 3– гибка-отбортовка; 4–гибка-формовка

В уравнениях (1), (2):

$$\sigma_{ri} = \sigma_s \frac{\arccos\left(1 - \frac{s_i}{R_{\theta i}}\right)}{2\pi} \left(\ln \frac{R_3^i}{R_{об}^i} + h_3(2r_3 + h_3)^{-1} \right) \exp \mu \alpha ,$$

$$\sigma_{\theta i} = 0,5\sigma_s - \sigma_{ri} ,$$

$$\Delta\sigma_{\theta i} = \sigma_s \frac{h_3}{2R_3} \exp \mu \alpha ,$$

где σ_{ri} и $\sigma_{\theta i}$ – главные напряжения, возникающие при формоизменении цилиндрической заготовки в обод; $\sigma_{ri} = \sigma_r + \sigma_u$;

$\sigma_u = \rho h_3 \omega^2 R_3$ – инерционная составляющая осевых напряжений, возникающая при горизонтальном расположении роликов;

$R_{\theta i}$ и $R_{\theta i}$ – радиусы кривизны формоизменяющих роликов;

σ_s – предел текучести материала обода колеса;

μ – коэффициент трения;

$R_{об}^i$ и R_3^i – радиусы элементов обода и заготовки;

h_3 – толщина элементов заготовки;

i – номер элемента обода и заготовки;

α – угол охвата материалом заготовки радиуса закругления роликов;

s_i – подача на оборот ролика;

$$\frac{\arccos\left(1 - \frac{s_i}{R_{\theta i}}\right)}{2\pi} = k_l - \text{коэффициент, учитывающий отношение длины дуги деформирования к длине окружности};$$

r_3 – радиус закругления деформирующего ролика.

Общее потребное усилие гибки-формовки на участке контакта упругого вала с упругопластической заготовкой определяется из выражения [6]

$$P_0 = \int_F q_i dF , \quad (3)$$

где $F = \lambda L$ – фактическая площадь упругопластического контакта профилировочного ролика с заготовкой (рис. 1);

$$\lambda = mh_3 ;$$

$m = 1,05 - 1,09$ – коэффициент, учитывающий неравномерность толщины заготовки [10];

L – ширина участка контакта заготовки с роликом.

Необходимый для вращения каждого ролика крутящий момент выразим как произведение усилия P_0 на расстояние между направлением действия силы и осью роликов [7] (рис. 2).

$$M_k = P_0 A , \quad (4)$$

$$\text{где } A = R_6 \sin \frac{\phi}{2} .$$

Тогда крутящий момент с учетом выражения (1) при гибке-формовке запишем так:

$$M_{\kappa} = \left[\sigma_s \frac{\arccos \left(1 - \frac{s_i}{R_{\delta i}} \right)}{2\pi} \left(\ln \frac{R_3^i}{R_{об}^i} + h_3 (2r_3 + h_3)^{-1} \right) \left(\left(\frac{1}{R_{\delta i}} - \frac{1}{R_{\delta i}} \right) + \frac{1}{2} \right) \times \right. \\ \left. \times \exp \mu \alpha + \rho h_3 \omega R_3 \left(\frac{1}{R_{\delta i}} + \frac{1}{R_{\delta i}} \right) \right] \times \\ \times 0,017 m h_3^2 R_{\delta i}^2 \int_0^{\phi} \sin \frac{\phi}{2} d\phi. \quad (5)$$

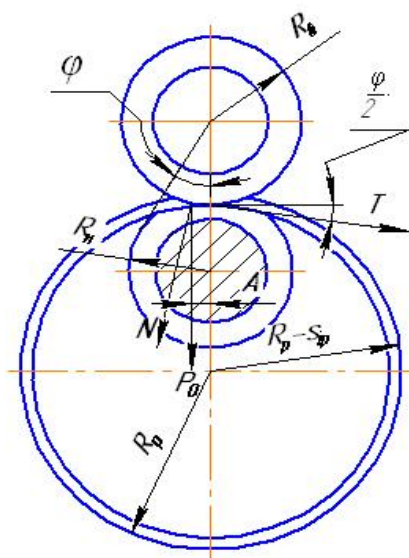


Рис. 2. Схема сил, действующих в очаге деформации

При гибке-отбортовке:

$$M_{\kappa} = \left[\sigma_s \frac{\arccos \left(1 - \frac{s_i}{R_{\delta i}} \right)}{2\pi} \left(\ln \frac{R_3^i}{R_{об}^i} + h_3 (2r_3 + h_3)^{-1} + \frac{h_3}{2R_3} \right) \times \right. \\ \left. \times \left(\left(\frac{1}{R_{\delta i}} - \frac{1}{R_{\delta i}} \right) + \frac{1}{2} \right) \exp \mu \alpha + \rho h_3 \omega R_3 \left(\frac{1}{R_{\delta i}} + \frac{1}{R_{\delta i}} \right) \right] \times \\ \times 0,017 m h_3^2 R_{\delta i}^2 \int_0^{\phi} \sin \frac{\phi}{2} d\phi. \quad (6)$$

Потребный крутящий момент для осуществления процесса гибки-формовки с учетом преодоления сил трения в подшипниках профилировочного ролика составит [5]:

$$M_{\kappa, \text{потр.}} = M_{\kappa} + P_0 (f + \mu_c d_u), \quad (7)$$

где d_u – 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 потребного крутящего момента для горизонтальной профилировочной машины состоит в следующем:

- 1) решаем уравнение равновесия на меридиональном направлении для осесимметричного деформирования тонколистовых оболочек, используя условия пластичности;
- 2) находим значения меридиональных и широтных напряжений;
- 3) из уравнения равновесия на нормаль к срединной поверхности (уравнение Лапласа) определяем составляющую контактного напряжения перпендикулярного к срединной поверхности;

4) определяем значение усилия;

5) определяем значение плеча действия сил;

6) определяем потребный крутящий момент;

7) сопоставляем значение момента вращения профилировочной машины с потребным.

Значение $M_{кр}$ на рабочих валках профилировочной машины в свою очередь должно не превышать значение:

$$M_{кр} \leq M_{вр} = i \cdot \eta_k \cdot \eta_z M_d, \quad (8)$$

где i – передаточное отношение редуктора;

η_k – к.п.д. клиноременной передачи ($\eta_k = 0,94$);

η_z – к.п.д. зубчатой передачи ($\eta_z = 0,97$);

M_d – момент на валу двигателя.

$$M_d = 9550 [N_a - (N_a - N_a \eta)] n_e^{-1}, \quad (9)$$

где N_a – активная мощность двигателя;

η – к.п.д. электрического двигателя (для А02-92-6 $\eta=0,925$).

ВЫВОДЫ

Приведенная методика определения крутящего момента профилировочной машины основывается на решении уравнений равновесия для осесимметричного напряженного состояния с учетом локального нагружения заготовки в процессе деформации, определении полного усилия, а затем и момента. Причем крутящий момент на валах профилировочной машины складывается из крутящих моментов, затрачиваемых на пластическую деформацию, на преодоление сопротивления трения качения роликов по заготовке и трения в подшипниках валов.

СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. Коноваленко А. Д. Разработка ресурсосберегающих технологических процессов профилирования ободьев колес / А. Д. Коноваленко // Сборник научных трудов. – Алчевск : ДГМИ. – Вып. 15 /2002. – С. 179 – 183.
2. Левченко Р. В. Кинематический анализ центроидного механизма профилировочных машин с целью усовершенствования их конструкций / Р. В. Левченко, Р. Г. Пузырь // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук : КрНУ, 2011. – Вип. 6 (71). – С. 131–133.
3. Драгобецкий В. В. Анализ нагружения заготовки при радиально-ротационном способе получения ободьев колес с измененной схемой внешнего воздействия / В. В. Драгобецкий, Р. В. Левченко, Р. Г. Пузырь // Обработка материалов давлением : сборник научных трудов. – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 1 (30). – С. 146–149.
4. Живов Л. И. Кузнечно-штамповочное оборудование: учебник для вузов / Л. И. Живов, А. Г. Овчинников, Е. Н. Складчиков под ред. Л. И. Живова. – М. : Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2006. – 560 с.
5. Мошин Е. Н. Гибка и правка на ротационных машинах : технология и оборудование / Е. Н. Мошин. – М. : Машиностроение, 1967. – 272 с.
6. Коноваленко А. Д. Исследование усилий при изготовлении широкопрофильных ободьев колес / А. Д. Коноваленко // Математичні проблеми технічної механіки : друга Всеукраїнська наук. конф., 3–5 лист. : тези допов. – Дніпродзержинськ : ДДТУ, 2002. – С. 70–71.
7. Потехушин Н. В. Выбор исходного оборудования для профилирования / Н. В. Потехушин, В. Ф. Троян, П. И. Штиро // Автомобильная промышленность. – 1976. – № 8. – С. 33–36.

8. Потекушин Н. В. Исследование процесса профилирования обечаек / Н. В. Потекушин // Пластическая деформация металлов и сплавов. – Уфа, 1973. – Вып. 47. – С. 27–32.
9. Попов Е. А. Основы теории листовой штамповки / Е. А. Попов. – М. : Машиностроение, 1977. – 278 с.
10. Потекушин Н. В. Исследование напряженно-деформированного состояния при профилировании полых цилиндрических заготовок / Н. В. Потекушин // Исследование машин и технологии ОМД. – Ижевск, 1970. – Вып. 4. – С. 34–38.

REFERENCES

1. Konovalenko A. D. *Razrobotka resursosberegajushhiih tehnologicheskikh processov profilirovanija obod'ev koles* / A. D. Konovalenko // *Sbornik nauchnyh trudov. – Alchevsk : DGMI. – Vyp. 15 /2002. – S. 179 – 183.*
2. Levchenko R. V. *Kinematicheskij analiz centroidnogo mehanizma profilirovochnyh mashin s cel'ju usovershenstvovanija ih konstrukcij* / R. V. Levchenko, R. G. Puzyr' // *Visnik Kremenčuc'kogo nacional'nogo universitetu imeni Mihajla Ostrograds'kogo. – Kremenčuk : KrNU, 2011. – Vip. 6 (71). – S. 131–133.*
3. Dragobeckij V. V. *Analiz nagruženija zagotovki pri radial'no-rotacionnom sposobe poluchenija obod'ev koles s izmenennoj shemoj vneshnego vozdeystvija* / V. V. Dragobeckij, R. V. Levchenko, R. G. Puzyr' // *Obrabotka mate-riyalov davleniem : sbornik nauchnyh trudov. – Kramatorsk : DGMA, 2012. – № 1 (30). – S. 146–149.*
4. Zhivov L. I. *Kuznečno-shtampovochnoe oborudovanie: uchebnik dlja vuzov* / L. I. Zhivov, A. G. Ovchinnikov, E. N. Skladchikov pod red. L. I. Zhivova. – М. : Izd-vo MGTU im. N. Je. Baumana, 2006. – 560 s.
5. Moshnin E. N. *Gibka i pravka na rotacionnyh mashinah : tehnologija i oborudovanie* / E. N. Moshnin. – М. : Mashinostroenie, 1967. – 272 s.
6. Konovalenko A. D. *Issledovanie usilij pri izgotovlenii shirokoprofil'nyh obod'ev koles* / A. D. Konovalenko // *Matematichni problemi tehničnoi mehaniki : druga Vseukraїns'ka nauk. konf., 3–5 list. : tezi dopov. – Dniprodzeržyn's'k : DDTU, 2002. – S. 70–71.*
7. Potekushin N. V. *Vybor ishodnogo oborudovanija dlja profilirovanija* / N. V. Potekushin, V. F. Trojan, P. I. Shpiro // *Avtomobil'naja promyshlennost'. – 1976. – № 8. – S. 33–36.*
8. Potekushin N. V. *Issledovanie processa profilirovanija obechaek* / N. V. Potekushin // *Plasticheskaja deformacija metallov i splavov. – Ufa, 1973. – Vyp. 47. – S. 27–32.*
9. Popov E. A. *Osnovy teorii listovoj shtampovki* / E. A. Popov. – М. : Mashinostroenie, 1977. – 278 s.
10. Potekushin N. V. *Issledovanie naprjazhenno-deformirovannogo sostojanija pri profilirovanii polyh cilindricheskikh zagotovok* / N. V. Potekushin // *Issledovanie mashin i tehnologii OMD. – Izhevsk, 1970. – Vyp. 4. – S. 34–38.*

Пузырь Р. Г. – канд. техн. наук, доц. КрНУ
Залесов М. Д. – канд. техн. наук, доц. КрНУ
Драгобецкий В. В. – д-р техн. наук, проф. КрНУ

КрНУ – Кременчугский национальный университет, г. Кременчуг.

E – mail: puzyruslan@gmail.com, vldrag@kdu.edu.ua, vldrag@kdu.edu.ua.