

УДК 621.7.044

### РАСЧЕТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ ПРОЦЕССА РАДИАЛЬНО-РОТАЦИОННОГО ПРОФИЛИРОВАНИЯ ОБОДЬЕВ КОЛЕС

**Р. В. Левченко**

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского  
ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: vldrag@polytech.poltava.ua

Технологическая подготовка производства на современном уровне развития промышленности занимает от 30 до 50 % рабочего времени инженеров, исходя из полной технической подготовки, включающей технологическую, конструкторскую и организационную формы. Разработанная методика расчета энергосиловых параметров процесса радиально-ротационного профилирования позволит сократить время технолога на подбор необходимого оборудования и позволит в дальнейшем автоматизировать этот процесс. Расчет усилий профилирования проводится с учетом арочной выпуклой формы очага деформации (учитывается коэффициентом отношения моментов сопротивления цилиндрической панели и плоской заготовки) по переходам с учетом всех этапов деформирования на каждом переходе: усилие одноугловой, двухугловой гибки; усилие гибки с вытяжкой; усилие при холодной прокатке по посадочным полкам.

**Ключевые слова:** заготовка, профилирование, обод, локальная деформация.

### РОЗРАХУНОК ЕНЕРГОСИЛОВИХ ПАРАМЕТРІВ ПРОЦЕСУ РАДІАЛЬНО-РОТАЦІЙНОГО ПРОФІЛЮВАННЯ ОБОДІВ КОЛІС

**Р. В. Левченко**

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського  
вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: vldrag@polytech.poltava.ua

Технологічна підготовка виробництва на сучасному рівні розвитку промисловості займає від 30 до 50 % робочого часу інженерів, виходячи з повної технічної підготовки, що включає технологічну, конструкторську та організаційну форми. Розроблена методика розрахунку енергосилових параметрів процесу радіально-ротационного профілювання дозволить скоротити час технолога на підбір необхідного обладнання і дозволить надалі автоматизувати цей процес. Розрахунок зусиль профілювання здійснюється з урахуванням арочної випуклої форми осередку деформації (враховується коефіцієнтом відношення моментів опору циліндричної панелі та плоскої заготовки) по переходах з урахуванням усіх етапів деформування на кожному переході: зусилля однокутового, двохкутового гнуттів; зусилля гнуття з витягуванням; зусилля при холодному прокатуванні по посадочних полках.

**Ключові слова:** заготовка, профілювання, обід, локальна деформація.

**АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ.** Для технологической подготовки производства и проектирования технологического процесса радиально-ротационного профилирования необходимо по известной конфигурации детали определить потребные энергосиловые параметры устойчивого формоизменения материала заготовки при ограничениях, накладываемых на процесс геометрическими, прочностными, технологическими и конструктивными факторами [1, 2]. Тщательный и корректный аналитический расчет энергосиловых параметров формоизменения позволяет разработать технологически рациональный и экономически эффективный вариант технологического процесса изготовления ободьев колес, подобрать оборудование требуемой мощности и сэкономить рабочее время технолога [3].

Цель работы – расчет энергосиловых параметров процесса радиально-ротационного профилирования ободьев колес.

**МАТЕРИАЛ И РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЙ.**

При разработке методики расчета энергосиловых параметров процесса радиально-ротационного профилирования ободьев колес из цилиндрической обечайки условно разделим ее на несколько стадий:

- гибка;
- гибка с вытяжкой;
- холодная прокатка посадочных полок с малыми обжатиями;

– холостая обкатка (вращение обечайки в валах без деформации при сомкнутых валах).

Вообще говоря, принятые конструкции ободьев колес при традиционной технологии проходят стадии: формирование ручья посадочных полок и наметка бортовых закраин в основном за счет гибки (I переход, корытообразный или конусообразный профиль в сечении); гибка с вытяжкой центрального ручья и окончательное формирование закраин (гибка), сопровождающееся вначале холодной прокаткой посадочных полок, а затем холостой обкаткой посадочных полок для получения требуемой формы обода по всей окружности (II–IV переход) [2–4].

Учитывая малую величину подачи на один оборот при профилировании, узкую полоску очага деформации, относительно небольшую толщину обечайки, очаг деформации в первом приближении можно рассматривать как балку (полосу) на двух опорах. Тогда усилие в первых переходах профилирования можно рассчитывать по аналогии с расчетом усилия при гибке полосы на одноугловом штампе (в нашем случае конусообразный профилирующий ролик) и усилия при гибке полосы П-образной формы на двухугловом штампе (в нашем случае профилирование корытообразного профиля обода) [2–4].

Предложено усилие при профилировании определять с учетом арочной выпуклой формы очага деформации [4]:

$$P = \kappa \cdot w \cdot [\Sigma P_{o.y.} + \Sigma P_{d.y.}] + P_{z.e.} + P_{x.l.} \quad (1)$$

где  $P_{o.y.}$  – усилие одноугловой гибки;  $P_{d.y.}$  – усилие двухугловой гибки;  $P_{z.e.}$  – усилие гибки с вытяжкой;  $P_{x.l.}$  – усилие при холодной прокатке по посадочным полкам.

Введя значение длины очага деформации, получим усилие одноуглового профилирования с учетом глубины профилирования  $\Delta R$  (профилирование конусообразным роликом):

$$P_{o.y.} = 4 \frac{\sqrt{RDRh^2(1,5 + e_\epsilon)S_\epsilon}}{\delta l_x} \quad (2)$$

При этом наименьшее усилие будет в начале профилирования при  $l_x = l_o$ , наибольшее усилие получается в конце профилирования – при  $l_x = l_k = 2r_i \sin \gamma$ .

$$P_{o.y.} = 4 \frac{\sqrt{RDRh^2(1,5 + e_\epsilon)S_\epsilon}}{12r_i \sin \gamma_i / 2} \quad (3)$$

а с учетом сил трения при  $\mu = 0,3$  после преобразования получим

$$P_{o.y.max} = 4 \frac{\sqrt{RDRh^2(1,5 + e_\epsilon)S_\epsilon}}{r_i \sin \gamma_i / 2} \quad (4)$$

где  $\gamma_i$  – угол между конусными поверхностями ролика;  $e_\epsilon$  – относительное удлинение материала при растяжении в момент образования шейки;  $S_\epsilon$  – временное сопротивление разрыву;  $r_i$  – радиус закругления конуса ролика при вершине конуса;  $h$  – толщина обечайки;  $R_e$  – радиус ролика;  $\Delta R$  – деформация обечайки в радиальном направлении.

Если учесть, что в действительности в очаге деформации мы имеем дело не с полосой, а с цилиндрической панелью, то усилие профилирования будет больше в  $\kappa_w = W_a / W_n$ , где  $W_a$  – момент сопротивления цилиндрической панели (арки);  $W_n = \frac{bh^2}{6}$  – момент сопротивления полосы при упругом изгибе.

Тогда

$$P_{o.y.} = \kappa_w \frac{0,008R_e}{r_i \sin \gamma_i / 2} \times \frac{\arccos((R_e^2 n_\epsilon t - DRR_{00}60) / R_e^2 n_\epsilon t) (1,5 + e) S_\epsilon^2}{r_i \sin \gamma_i / 2} \quad (5)$$

где  $\tau$  – время профилирования.

По аналогии с двухголовой гибкой в штампах, с учетом ширины очага деформации, усилие профилирования корытообразного профиля из цилиндри-

ческой обечайки при любом положении профилирующих роликов:

$$P_{o.y.} = \frac{2\sqrt{RDRh^2(1,5 + e_\epsilon)S_\epsilon}}{6(h + ch + r_{bi}(1 - \sin g_{bi}) + r_{ni}(1 - \sin g_{ni}))} \quad (6)$$

где  $r_{bi}$  – радиус углового закругления верхнего ролика;  $r_{ni}$  – радиус углового закругления нижнего ролика.

Наименьшее усилие будет при горизонтальном положении полосы в начале профилирования (при  $l_{bmax} = r_{bi}h + c \cdot h + r_{hi}$ ), наибольшее – в конце, когда угол  $\gamma_i$  будет приближаться к углу  $90^\circ$  и  $\sin \gamma = 1$  (при  $l_{bmax} = h + ch$ ).

Тогда

$$P_{o.y.} = 0,43 \frac{\sqrt{RDRh^2(1,5 + e_\epsilon)S_\epsilon}}{h + ch} \quad (7)$$

с учетом арочной выпуклой формы очага деформации

$$P_{o.y.} = \kappa_w \frac{0,0007R_e}{h + ch + r_{bi}(1 - \sin g_{bi}) + r_{hi}(1 - \sin g_{hi})} \times \frac{\arccos((R_e^2 n_\epsilon t - DRR_{00}60) / R_e^2 n_\epsilon t) (1,5 + e) S_\epsilon^2}{h + ch + r_{bi}(1 - \sin g_{bi}) + r_{hi}(1 - \sin g_{hi})} \quad (8)$$

Как уже отмечалось ранее, при дальнейшем профилировании (II и т.д. переходы) обода колеса из цилиндрической обечайки имеет место, наряду с гибкой профиля, его вытяжка.

Трансформировав математическое выражение для вытяжки в штампах с учетом расчета параметров очага деформации, будем иметь для расчета усилия профилирования ободьев колес с вытяжкой центрального ручья

$$P_{z.e.} = (b_{u.p.} + \pi h) \cdot h \cdot \sigma_{pmax},$$

$$P_{o.y.} = (b_{u.c.} + \pi h) h \left( S_s l_n \frac{b}{r_{bi}} + \frac{2mQ}{bh} + \frac{h}{2r_{ni+h}} S_b \right) (1 + 1,6m),$$

а с учетом постепенного проталкивания заготовки в центральный ручей усилие, видимо, можно определять как

$$P_{z.e.} = 1,25(b_{u.c.} + \pi h) \times h \left( S_s l_n \frac{b}{r_{bi}} + \frac{2mQ}{l_\delta h} + \frac{h}{2r_{ni+h}} S_b \right) (1 + 1,6m) \quad (9)$$

где  $b_{u.p.}$  – ширина центрального ручья (суммарная длина поперечного сечения);  $b$  – ширина исходной заготовки (обечайки);  $Q$  – усилие прижима.

По принятой в настоящее время технологии профилирование осуществляют без прижимов полосы, однако можно спроектировать устройство профилирующих роликов с прижимом по посадочным полкам.

В первом случае слагаемое  $\frac{2mQ}{l_\delta h}$  не учитывают, а во втором – его необходимо учитывать.

В конце процесса профилирования ободьев колес на П-м и последующих переходах фактически происходит холодная прокатка посадочных полок с небольшими обжатиями. При этом, как показывает практика, усилия профилирования резко возрастают и могут быть в первом приближении рассчитаны по методике расчета усилий при холодной прокатке [2]. Здесь натяжение отсутствует, а необходимость учета упругой деформации может быть показана лишь при сравнении расчетных и практических данных по усилиям профилирования с учетом холодной прокатки по посадочным полкам.

В соответствии с предлагаемой методикой рассчитывают параметры:

1. Абсолютное обжатие, мм,  $\Delta h = h_n - h_{n-1}$ .

2. Относительное обжатие, %,  $e_n = \frac{\Delta h}{h_n} \cdot 100$  %.

3. Длина дуги захвата без учета упругой деформации профилировочных роликов, мм,  $l = V \cdot R_{mn} \cdot \Delta h$ , где  $R_{mn}$  – средний радиус роликов по посадочным полкам.

4. Отношение дуги захвата к средней высоте очага деформации  $\frac{l}{h_{cp}} = \frac{2l}{h_n + h_{n+1}}$ .

5. По графику [2] в зависимости от  $s = 2m \frac{l}{Dh}$  и  $\varepsilon$  находим  $n_s = f(e, s)$  – коэффициент влияния внешнего трения на усилие прокатки, здесь  $\mu$  – коэффициент внешнего трения ( $\mu = 0,08$ ).

6. Контактное давление без учета натяжения и упругой деформации роликов, кгс/мм<sup>2</sup>,  $P = n_s 2t_s$ ;

$$t_s = \frac{1,15s \sigma_{m,n} + s_{m+1}}{2},$$

где  $\sigma_{m,n}$  и  $\sigma_{m+1}$  – соответственно предел текучести до и после прокатки;

7. Контактная площадь, мм<sup>2</sup>:

$$F = 2b_{n,n}l = 2b_{n,n}\sqrt{R_{n,n}Dh}, \quad (10)$$

где  $b_{n,n}$  – ширина посадочной полки, мм.

8. Усилие прокатки без учета натяжения и упругой деформации валков

$$P_{x,n..} + pF = 4n_d t_s b_{n,n} \sqrt{RDh}. \quad (11)$$

**ВЫВОДЫ.** Таким образом, теоретический анализ процесса профилирования ободьев колес позволил получить аналитические зависимости для расчета усилий на всех стадиях профилирования, которые дают хорошее совпадение с экспериментальными данными. Разработанная методика расчета позволит сократить время технологической подготовки производства.

#### ЛИТЕРАТУРА

1. Производство высокоэффективного металлопроката: монография / В.В. Чигиринский, В.Л. Мазур, Г.В. Бергеман и др.; под ред. В.В. Чигиринского. – Днепропетровск: РВА „Дніпро-ВАЛ”, 2006. – 262 с.

2. Потекушин Н.В. Исследование процесса профилирования обечаек // Пластическая деформация металлов и сплавов. – 1973. – Вып. 47. – С. 27–32.

3. Учет влияния изменения толщины листового заготовки в процессе деформирования / В.В. Драгобецкий, А.А. Зюков, А.Д. Коноваленко // Вісник Кременчуцького державного політехнічного університету. – Кременчук: КДПУ, 2005. – Вип. 2 (31). – С. 61–62.

4. Бучин В.Г. Исследование ободьев колес методом ротационной раздачи // Автомобильная промышленность. – 1979. – № 8. – С. 31–32.

#### THE POWER PARAMETERS CALCULATION OF RADIAL-ROTARY PROFILING OF WHEEL RIMS

R. Levchenko

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: vldrag@polytech.poltava.ua

The preproduction engineering with up-to-date development of industry takes from 30 to 50% of worktime of engineers, coming from complete technical preparation, which plugs in the technological, design, and organizational forms. The developed method of calculation of power parameters of radial-rotary profiling allows saving technologist's worktime in selecting of needful equipment and allows for further automation of this procedure. The calculation of profiling efforts takes into account the arched and convex shape of deformation zone (the torques correlation coefficient for cylindrical panel and flat workpiece is factored in) and it is performed by transitions taking into account all stages of deformation on each transition: single-angle bending force; two-angle bending force; stretch forming force; landing shelves cold rolling force.

**Keywords:** workpiece, profiling, rim, local deformation.

#### REFERENCES

1. *Production of high-efficiency metal-rolling*: monograph / V.V. Chigirinsky, V.L. Mazur, G.V. Bergeman and others; ed. V.V. Chigirinsky. – Dnipropetrovsk: PBA "Dnipro-VAL", 2006. – 262 p. [in Russian]

2. Potekushin N.V. Research of wheels profiling / N.V. Potekushin // *Flowage of metals and alloys*. – Ufa, 1973. – Vol. 47. – PP. 27–32. [in Russian]

3. Account of influence of change of thickness of sheet workpiece during deformation / V.V. Dragobetsky,

A.A. Zyukov, A.D. Konovalenko // *Transactions of Kremenchuk State Polytechnic University*. – Kremenchuk: KDPU, 2005. – Iss. 2 (31). – PP. 61–62. [in Russian]

4. Study of wheel rims by the method of rotary distribution / V.G. Beech // *Motor industry*. – 1979. – № 8. – PP. 31–32. [in Russian]

Стаття надійшла 25.06.2012.

Рекомендовано до друку д.т.н., проф. Драгобецьким В.В.