

УДК 621.7.043

doi:10.20998/2413-4295.2017.07.01

УЧЕТ ВЛИЯНИЯ УПРОЧНЕНИЯ НА ПОЛЕ НАПРЯЖЕНИЙ ПРИ ПРОФИЛИРОВАНИИ И ВЫТЯЖКЕ ЛИСТОВОГО МЕТАЛЛА

Р. Г. АРГАТ, Р. Г. ПУЗЫРЬ, О. Н. ДОЛГИХ, Б. С. ГРИЦЕНКО*

кафедра технология машиностроения, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского, г. Кременчуг, УКРАИНА

* email: puzyruslan@gmail.com

АННОТАЦИЯ Приводятся результаты теоретических исследований, направленных на определение компонент тензора деформаций при радиально-ротационном способе получения ободьев колес. Сложность определения коэффициентов обжима и раздачи и, соответственно, деформаций, обусловлена одновременным действием на заготовку или полуфабрикат растягивающих и сжимающих напряжений, которые создаются вращающимся инструментом в тангенциальном направлении. Полученные зависимости позволяют определять операционные размеры заготовок по переходам профилирования, что дает возможность на этапе проектирования технологических процессов профилирования ободьев колес распределять равномерно деформации на каждой операции и учитывать упрочнение каждого участка профиля. Предложена линейная зависимость для приближенного расчета напряжений текучести в координатах интенсивность деформаций – относительная деформация.

Ключевые слова: обод; вытяжка; профилирование; обечайка; упрочнение; деформация; радиус

ACCOUNT OF INFLUENCE OF STRESSING ON THE FIELD OF STRESSES AT PROFILING AND EXHAUSTING SHEET METAL

R. ARHAT, R. PUZYR, O. DOLGIH, B. GRITSENKO

Chair of Technology of Mechanical Engineering, Kremenchuk National University named after Mikhail Ostrogradsky, Kremenchuk, UKRAINE

ABSTRACT. The results of theoretical studies aimed at determining the components of the strain tensor with a radial-rotational method for producing wheel rims are presented. The difficulty in determining the coefficients of crimping and distribution and, accordingly, deformation, is due to the simultaneous action of tensile and compressive stresses on the workpiece or semi-finished product, which are created by the rotating tool in the tangential direction. The obtained dependences make it possible to determine the operational dimensions of the blanks by the profiling transitions, which makes it possible, at the design stage of technological processes for profiling the wheel rims, to distribute the deformations uniformly on each operation and to take into account the hardening of each section of the profile. A linear dependence is proposed for the approximate calculation of yield stresses in coordinates. The strain rate is the relative deformation. The area a stream gets less compression and smaller, respectively, modulo tangential deformation compared to the distribution area. The value of the yield strength after the first transition profiling will decrease from the end of the semi-finished product to the main stream. For the effect of hardening on subsequent transitions profiling it is necessary to summarize the changes of the yield stress value obtained by the shell in the previous transition profiling, change stresses the fluidity of this transition.

Key words: rim; extract; profiling; shell; hardening; deformation; radius

Введение

В случае радиально-ротационного профилирования, как и в операциях листовой штамповки, разные точки очага деформации получают различные деформации и неодинаковое упрочнение. Напряжение текучести является функцией координат и при совместном решении уравнений равновесия и уравнения пластичности напряжение текучести следует считать переменным. Учет упрочнения при профилировании проводим, используя методику [1].

Решение задачи по отысканию поля напряжений с учетом упрочнения встречает значительные математические трудности. Наибольшие трудности создает взаимосвязь полей напряжений и полей деформаций. Точное решение указанной задачи может быть получено для данных

частных условий лишь методом численного интегрирования, если рассматривать процесс деформации во времени [1,2]. Но данный метод достаточно сложен и не позволяет получать замкнутые решения в виде аналитических функций, зависящих от конкретных условий деформирования.

Цель работы

Целью работы является решение задачи определения наибольших относительных деформаций заготовки в процессе радиально-ротационного профилирования ободьев колес и вытяжки цилиндрических деталей, а также обоснование и применение функциональных зависимостей кривой упрочнения в координатах напряжение текучести – относительная деформация первого вида для процесса радиально-ротационного профилирования.

Изложение основного материала

Для аналитических решений необходимо иметь формальное выражение кривой упрочнения. Изменение напряжения текучести в процессе деформирования наиболее точно характеризует кривая упрочнения в координатах напряжение текучести – интенсивность деформации. Здесь напряжение текучести зависит от всех трех главных деформаций. Имеются решения для процесса радиально-ротационного профилирования, где напряжение текучести в процессе деформации как раз определяют исходя из интенсивности деформаций, аппроксимируя зависимость степенными функциями вида $\sigma_i = A(\varepsilon_i)^n, \sigma_i = A(e_i)^n, \sigma_i = A(\psi_i)^n$, где A и n – константы данного металла. Однако это приводит к большим математическим трудностям из-за нелинейности связи деформаций между собой.

Менее точные, хотя более простые, решения могут быть получены при использовании кривых упрочнения в координатах напряжение текучести – максимальная по модулю деформация. В процессе профилирования обод колеса получает наибольшие по модулю деформации во время раздачи и обжима в тангенциальном направлении, которые в несколько раз больше меридиональных и радиальных деформаций. Поэтому для учета упрочнения используем кривые первого вида в координатах напряжение текучести – относительная деформация с линейной аппроксимацией кривой упрочнения

$$\sigma_s = \sigma_{T0} + P\varepsilon,$$

где σ_{T0} – экстраполированный предел текучести; P – модуль упрочнения; ε – максимальная по модулю деформация [3,4,5].

Обсуждение результатов

В процессе деформирования в зависимости от геометрии инструмента краевые участки цилиндрической заготовки подвергаются тангенциальному растяжению, а элементы центрального ручья – тангенциальному сжатию, $R_n > R_o; R_p < R_o$, где R_o – радиус обечайки, R_n, R_p – радиусы полки и ручья соответственно.

В начальный момент зазор между контактными периферийными участками роликов в зоне деформации равен толщине t_3 заготовки, поэтому межосевое расстояние равно $A = R_g + R_n + t_3$, где R_g, R_n – наибольшие радиусы внутреннего и наружного роликов на участках контакта с заготовкой. При подъеме нижнего ролика на величину t_3 $A_1 = A - t_3 = R_g + R_n$. К этому моменту глубина профиля $h_i = t_3$, а величина перекрытия роликов $b = 0$. Следовательно, в конце процесса профилирования $b = h_k - t_3$; $A_k = A_1 - b = R_g + R_n - h_k + t_3$ [3,5,6].

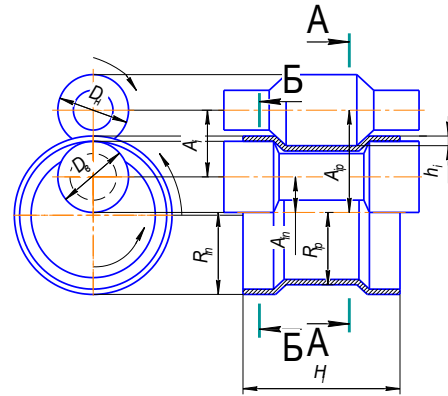


Рис. 1 – Формообразование полуфабриката формовочными роликами (H_i - высота полуфабриката на i обороте; A_i – расстояние между центрами инструмента)

Конечная глубина ручья достигается при непрерывной силовой подаче вала машины $h_k = A - A_k$. Глубина ручья и подача взаимосвязаны:

$$h_k = b + t_3 = s_{i1} + s_{i2} + \dots + s_{in} = \sum s_i, \quad (1)$$

где s_{i1}, s_{i2}, s_{in} – подача соответственно за первый, второй и i -й оборот ролика.

Профилировочными роликами вращающаяся заготовка последовательно перемещается в зону активной пластической деформации. При $h_i = 0$ углы захвата α_n и α_b ограничивают площадь контакта нижнего и верхнего роликов с обечайкой в состоянии покоя, при этом $\alpha_g \approx 0$. В процессе профилирования когда $A \rightarrow A_k$, после каждого оборота роликов радиус полки полуфабриката увеличивается на величину приращения s_{in} и радиус ручья уменьшается на величину s_{ip} , т.е. $s_i = s_{in} + s_{ip}$, тогда суммарные приращения $\sum s_{in} = h_1$ и $\sum s_{ip} = h_2$, где h_1 и h_2 – глубина полки и ручья соответственно. Окончательно получим:

$$h_k = h_1 + h_2. \quad (2)$$

Таким образом, конечная глубина ручья формируется из двух слагаемых, каждое из которых зависит от геометрических параметров деформирующего инструмента и заготовки. На практике стремятся обеспечить такое оптимальное соотношение этих слагаемых для одинаковой степени деформации участков ручья и полки, которое приводит к получению равнопрочного обода.

Когда заготовка совершит один оборот, вследствие изменения радиусов, размеры зоны контакта для полок и ручья тоже изменятся. Для принятых в колесном производстве коэффициентах раздачи и обжима 1,02–1,06 при определенном соотношении ширины ручья к его высоте, разница в

диаметрах полуфабриката после первого перехода профилирования не превышает 40–50 мм, и поэтому отношение размеров зон контакта практически не изменится. Разница в относительной ширине зоны контакта к получаемой за каждый оборот длине окружности уменьшается для ручья и увеличивается для полок, а в пределе стремится к единице. Таким образом, зоны полок получают большую деформацию по сравнению с зонами центрального ручья и для равномерного формообразования требуется варьирование геометрии заготовки при неизменных диаметрах роликов [6].

Среднее значение главной деформации в тангенциальном направлении на i -ом обороте обечайки может быть определено следующей зависимостью

– зона обжима

$$\varepsilon_{it} = \frac{A_{0p} - (A_{ip})}{A_{0p}} = \frac{(R_0 + R_n) - (R_0 + R_n - s_{ip})}{R_0 + R_n} = \frac{s_{ip}}{R_0 + R_n};$$

– зона раздачи

$$\varepsilon_{it} = \frac{A_{in} - A_{on}}{A_{on}} = \frac{(R_0 - R_g + s_{in}) - (R_0 - R_g)}{R_0 - R_g} = \frac{s_{in}}{R_0 - R_g},$$

где A_{0p} , A_{0n} – начальные расстояния между осями ролика и заготовки в зонах ручья и полки соответственно; R_0 , R_n , R_g – радиусы заготовки, наружного и внутреннего роликов соответственно.

Суммарную относительную деформацию заготовки, зависящую от сближения осей деформирующих роликов, можно выразить следующим образом

$$\varepsilon_{i\text{сум}} = \frac{(R_n + R_g) - (R_n + R_g - s_i)}{R_n + R_g} = \frac{s_i}{R_n + R_g}, \quad (3)$$

где s_i – суммарная подача, $s_i = s_{in} + s_{ip}$.

Тогда должно выполняться равенство

$$\varepsilon_{i\text{сум}} = \varepsilon_{i\text{обж}} + \varepsilon_{i\text{разд}} = \frac{s_i}{R_n + R_g} = \frac{s_{ip}}{R_0 + R_n} + \frac{s_{in}}{R_0 - R_g}.$$

Подставляя в это равенство значение подачи для зоны полки из условия суммирования и проведя несложные преобразования, будем иметь величину подачи для зоны ручья

$$s_{ip} = s_i \frac{(R_0 - R_g)^2}{(R_n + R_g)^2}, \quad (4)$$

отсюда для зоны полки

$$s_{in} = s_i \left(1 - \frac{(R_0 - R_g)^2}{(R_n + R_g)^2} \right). \quad (5)$$

Но данные выражения учитывают распределение подач приближенно, так как выведены из равенства относительных деформаций, которые можно суммировать лишь при малых пластических деформациях. Более точные решения можно получить, рассматривая истинные деформации, однако, они намного сложнее и их применение в технологических расчетах будет затруднено. Поэтому взаимосвязь истинных и относительных деформаций проведем на основании поправочных коэффициентов, которые были получены ранее [7,8,9].

Тогда (4) и (5) будут иметь вид

$$s_{ip} = 0,57 \frac{(R_0 - R_g)^2}{(R_n + R_g)^2} s_i, \quad (6)$$

$$s_{in} = s_i \left(1 - 0,57 \frac{(R_0 - R_g)^2}{(R_n + R_g)^2} \right). \quad (7)$$

Далее можно рассчитать конечные размеры полуфабриката, учитывая равенства $\sum s_{in} = h_1$ и $\sum s_{ip} = h_2$, где h_1 и h_2 – глубина полки и ручья соответственно, $h_k = h_1 + h_2$.

Коэффициенты раздачи и обжима равны

$$k_{\text{разд}} = \frac{R_n}{R_0}, k_{\text{обж}} = \frac{R_0}{R_p}.$$

Относительная деформация через данные коэффициенты определяется как

$$\varepsilon_{i\text{разд}} = \frac{R_n}{R_0} - 1, \varepsilon_{i\text{обж}} = \frac{R_0}{R_p} - 1.$$

Приравнявая только что полученные формулы с выражениями для тангенциальной деформации (1) и (2), получим зависимости для определения размеров ручья и полки

$$R_p = \frac{R_0}{\left(\frac{s_{ip}}{R_0 + R_n} + 1 \right)},$$

$$R_n = \left(\frac{s_{in}}{R_0 - R_g} + 1 \right) R_0.$$

Учитывая зависимости (6) и (7), окончательно

$$R_p = \frac{R_0}{\left(0,57 \frac{(R_0 - R_g)^2}{(R_0 + R_n)(R_n + R_g)^2} h_k + 1 \right)}, \quad (8)$$

$$R_n = \left(h_k \left(\frac{1}{R_0 - R_g} - 0,57 \frac{(R_0 - R_g)}{(R_n + R_g)^2} \right) + 1 \right) R_0. \quad (9)$$

Подставим в формулы для относительной деформации значения радиуса ручья R_p и полки R_n , которые зависят от подачи и геометрии инструмента, проводя несложные преобразования, окончательно будем иметь

$$\varepsilon_{\text{обж}} = \frac{(R_0 + R_n)(R_n + R_g)^2}{0,57s_i(R_0 - R_g)^2 + (R_0 + R_n)(R_n + R_g)^2} - 1, \quad (10)$$

$$\varepsilon_{\text{разд}} = s_i \left(\frac{1}{R_0 - R_g} - 0,57 \frac{(R_0 - R_g)}{(R_n + R_g)^2} \right). \quad (11)$$

Тогда зависимость для расчета напряжений текучести, например, для участка раздачи примет вид

$$\sigma_s = \sigma_{T0} + \Pi s_i \left(\frac{1}{R_0 - R_g} - 0,57 \frac{(R_0 - R_g)}{(R_n + R_g)^2} \right).$$

Когда s_i равно нулю, то напряжение текучести равно $\sigma_{s \min} = \sigma_{T0}$. Максимальным напряжением текучести будет, когда зона полки оформится в посадочную полку, т.е. $\sum s_{in} = h_1$, где h_1 – высота полки

$$\sigma_s = \sigma_{T0} + \Pi h_1 \left(\frac{1}{R_0 - R_g} - 0,57 \frac{(R_0 - R_g)}{(R_n + R_g)^2} \right).$$

Принимаем, что изменение напряжения текучести в очаге деформации подчиняется линейной зависимости от s_i , тогда среднее для всего очага деформации в зоне раздачи значение напряжения текучести определяется как полусуммы минимального и максимального значений напряжения текучести на этом участке

$$\sigma_s = \sigma_{T0} + \frac{\Pi}{2} h_1 \left(\frac{1}{R_0 - R_g} - 0,57 \frac{(R_0 - R_g)}{(R_n + R_g)^2} \right). \quad (12)$$

Выводы

Как указывалось выше, зоны полуфабриката в процессе профилирования получают неоднородные деформации по ширине профиля. Зона ручья получает меньшие обжатия и соответственно меньшие по модулю тангенциальные деформации по сравнению с зоной раздачи. Поэтому величина предела текучести после первого перехода профилирования будет убывать от торца полуфабриката к центральному ручью.

Для учета влияния упрочнения на последующих переходах профилирования необходимо суммировать изменения напряжения текучести, полученные обечайкой на предыдущем переходе профилирования, с изменением напряжений

текучести данного перехода. Для приближенных расчетов можно использовать в качестве среднего, значения напряжения текучести, определяемые по формуле (12), подставляя для значения начального радиуса R_0 , радиус зоны ручья или полки предыдущего перехода [10].

Список литературы

- 1 Інтенсифікація формуютьоруючих процесів холодного листового штампування: Монографія / **О. В. Калюжний, В. Л. Калюжний**. – К.: ТОВ «Сік Груп Україна», 2015. – 292 с.
- 2 **Wang, X.** Effect of forming parameters on sheet metal stability during a rotary forming process for rim thickening / **X. Wang, L. Li, L. Deng, J. Jin, Y. Hu** // *Journal of Materials Processing Technology*. – 2015. – № 223. – P. 262–273. doi: 10.1016/j.jmatprotec. 2015.04.009.
- 3 **Guo, Y.Q.** Recent developments on the analysis and optimum design of sheet metal forming parts using a simplified inverse approach / **Y.Q. Guo** // *Comput. Struct.* – 2000. – № 78. – P. 133–148.
- 4 **Beretta, S.** Correlation between experiments and Strip Yield results on fatigue crack growth in a structural steel / **S. Beretta, M. Carboni, T. Machniewicz, M. Skorupa** // *Proceedings ECF*, Krakow. – 2002. – № 14. – P. 46–57.
- 5 **Conceicao Antonio, C.A.** Optimal design of beam reinforced composite structures under elasto-plastic loading conditions / **C.A. Conceicao Antonio, J. Trigo Barbosa, L. Simas Dinis**, *Struct. Multidis. Optim.* – 2000. – № 19. – P. 50–63. doi: 10.1007/s001580050085.
- 6 **Puzyr, R.** Distribution analysis of stresses across the stretching edge of die body and bending radius of deforming roll during profiling and drawing of cylindrical workpiece / **R. Puzyr, D. Savelov, R. Argat, A. Chernish** // *Metallurgical and Mining Industry*. – 2015. – No. 1. – P. 27–32.
- 7 **Currie, A.** Finite Element Analysis of an Automotive Wheel / **A. Currie** // *A Case Study, National Conference Publication, Institution of Mechanical Engineers, Australia*. – 2002. – P. 16–20.
- 8 **Mohan Raj, H.** Innovative Concept of Correlating Roll Forming Process with Pressing Simulation by using Altair HyperWorks / **H. Mohan Raj, A. Udayakumar, S. Selvarajan** // *Altair Tehnology Conference, India*. – 2013. – P. 1–9.
- 9 **Wagoner, R. H.** Metal forming analysis / **R. H. Wagoner, J. L. Chenot** // Cambridge University Press. – 2001. – 376 p.
- 10 **Puzyr, R.** Determining experimentally the stress-strained state in the radial rotary method of obtaining wheels rims / **R. Puzyr, T. Haikova, O. Trotsko, R. Argat** // *Astern-european of journal of enterprise technologies. Industrial and technology systems*. – 2016. – VOL. 4. – NO 1(82). – P. 52–60. doi: 10.15587/1729-4061.2016.76225.

Bibliography (transliterated)

- 1 **Kaliuzhnyi, O.V. Kaliuzhnyi, V.L.** Intensyfikatsiia formoutvoriuiuchykh protsesiv kholodnoho lystovoho shtampuvannia: Monohrafiia [Intensification a processes of cold forming sheet metal forming: a Monograph]. K, TOV «Sik Hrup Ukraina», 2015, 292.
- 2 **Wang, X., Li, L., Deng, L., Jin, J., Hu, Y.** Effect of forming parameters on sheet metal stability during a rotary

- forming process for rim thickening. *Journal of Materials Processing Technology*, 2015, **223**, 262–273. doi: 10.1016/j.jmatprotec.2015.04.009.
- 3 **Guo, Y.Q.**, et al. Recent developments on the analysis and optimum design of sheet metal forming parts using a simplified inverse approach, *Comput. Struct*, 2000, **78**, 133–148.
 - 4 **Beretta, S, Carboni, M, Machniewicz, T, Skorupa, M.** Correlation between experiments and Strip Yield results on fatigue crack growth in a structural steel, *Proceedings ECF*, 2002, **14**, Krakow, 46–57.
 - 5 **Conceicao Antonio, C.A., Trigo Barbosa, J., Simas Dinis, L.** Optimal design of beam reinforced composite structures under elasto-plastic loading conditions, *Struct. Multidis. Optim*, 2000, **19**, 50–63. – doi: 10.1007/s001580050085.
 - 6 **Puzyr, R., Savelov, D., Argat, R., Chernish, A.** Distribution analysis of stresses across the stretching edge of die body and bending radius of deforming roll during profiling and drawing of cylindrical workpiece, *Metallurgical and Mining Industry*, 2015, **1**, 27–32.
 - 7 **Currie, A.** Finite Element Analysis of an Automotive Wheel, A Case Study, *National Conference Publication, Institution of Mechanical Engineers, Australia*, 2002, 16–20.
 - 8 **Mohan Raj, H., Udayakumar, A., Selvarajan, S.** Innovative Concept of Correlating Roll Forming Process with Pressing Simulation by using Altair HyperWorks, *Altair Tehnology Conference, India*, 2013, 1–9.
 - 9 **Wagoner, R.H., Chenot, J.L.** Metal forming analysis, *Cambridge University Press*, 2001, 376.
 - 10 **Puzyr, R., Haikova, T., Trotsko, O., Argat, R.** Determining experimentally the stress-strained state in the radial rotary method of obtaining wheels rims, *Astern-european of journal of enterprise technologies. Industrial and technology systems*, 2016, **4**, 1(82), 52–60. – doi: 10.15587/1729-4061.2016.76225.

Сведения об авторах (About authors)

Аргат Роман Григорьевич – старший преподаватель, кафедра технология машиностроения, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского; г. Кременчуг, Украина; e-mail: argat@ua.fm.

Roman Arhat – Senior Lecturer, Chair of Technology of Mechanical Engineering, Kremenchug National University named after Mikhail Ostrogradsky, Kremenchuk, Ukraine; e-mail: argat@ua.fm.

Пузырь Руслан Григорьевич – кандидат технических наук, доцент, кафедра технология машиностроения, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского; г. Кременчуг, Украина; e-mail: puzyruslan@gmail.com.

Ruslan Puzyr – Candidate of Technical Sciences (Ph. D.), Docent, Associate Professor, Chair of Technology of Mechanical Engineering, Kremenchug National University named after Mikhail Ostrogradsky, Kremenchuk, Ukraine; e-mail: puzyruslan@gmail.com.

Долгих Ольга Николаевна – магистрант, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского; г. Кременчуг, Украина.

Olga Dolgih – Graduate student, Kremenchug National University named after Mikhail Ostrogradsky, Kremenchuk, Ukraine.

Гриценко Богдан Сергеевич – магистр, Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского; г. Кременчуг, Украина.

Bogdan Gritsenko – master's degree, Kremenchug National University named after Mikhail Ostrogradsky, Kremenchuk, Ukraine.

Пожалуйста, ссылайтесь на эту статью следующим образом:

Аргат, Р. Г. Учет влияния упрочнения на поле напряжений при профилировании и вытяжке листового металла / **Р. Г. Аргат, Р. Г. Пузырь, О. Н. Долгих, Б.С. Гриценко** // *Вестник НТУ «ХПИ», Серия: Новые решения в современных технологиях.* – Харьков: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 7 (1229). – С. 5-9. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.01.

Please cite this article as:

Arhat, R., Puzyr, R., Dolgih, O., Gritsenko, B. Account of influence of stressing on the field of stresses at profiling and exhausting sheet metal. *Bulletin of NTU "KhPI". Series: New solutions in modern technologies.* – Kharkiv: NTU "KhPI", 2017, **7** (1229), 5–9, doi:10.20998/2413-4295.2017.07.01.

Будь ласка, посилайтеся на цю статтю наступним чином:

Аргат, Р. Г. Врахування впливу зміцнення на поле напружень при профілювання і витягці листового металу / **Р. Г. Аргат, Р. Г. Пузырь, О. М. Долгих, Б.С. Гриценко** // *Вісник НТУ «ХПИ», Серія: Нові рішення в сучасних технологіях.* – Харків: НТУ «ХПИ». – 2017. – № 7 (1229). – С. 5-9. – doi:10.20998/2413-4295.2017.07.01.

АНОТАЦІЯ Наводяться результати теоретичних досліджень, спрямованих на визначення компонент тензора деформацій при радіально-ротаційному способі отримання ободів коліс. Складність визначення коефіцієнтів обтиску і роздачі і, відповідно, деформацій, обумовлена одночасною дією на заготовку або напівфабрикат напруг, що розтягують і стискають, які створюються обертовим інструментом в тангенціальному напрямку. Отримані залежності дозволяють визначити операційні розміри заготовок по переходах профілювання, що дає можливість на етапі проектування технологічних процесів профілювання ободів коліс розподіляти рівномірно деформації на кожній операції і враховувати зміцнення кожної ділянки профілю. Запропонована лінійна залежність для наближеного розрахунку напруг плинності в координатах: інтенсивність деформацій – відносна деформація.

Ключові слова: обід; витяжка; профілювання; обичайка; зміцнення; деформація; радіус

Поступила (received) 12.03.2017