

УДК 621.7.044

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ПО ОПРЕДЕЛЕНИЮ СУММАРНЫХ ОТНОСИТЕЛЬНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ В МЕРИДИОНАЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ

Я. М. Стирманов, Р. Г. Пузырь

Кременчугский национальный университет имени Михаила Остроградского

ул. Первомайская, 20, г. Кременчуг, 39600, Украина. E-mail: stirmanov.yaroslav@yandex.ru

Точный расчет размеров заготовок для колес является основой для создания наиболее современных технологических процессов изготовления ободьев наименьшей себестоимости и внедрение САПР на предприятиях. Но при этом возникает необходимость в достоверных данных. Роль эксперимента, как показывает практика, является определяющей в окончательных выводах о степени достоверности полученных результатов. Утонение металла заготовки обода колеса при профилировании, которое особо сильно проявляется в местах радиусных переходов, создает резерв для экономии материала. Также при экспериментальном определении размеров утонения можно прогнозировать появление опасных сечений или слабых мест изделия. При проведении экспериментальных исследований использовался метод делительных сеток как наиболее простой, и в тоже время, за счет применения современных программных продуктов, весьма точный метод.

Ключевые слова: деформация, заготовка, профилирование, утонение.

ЕКСПЕРИМЕНТАЛЬНІ ДОСЛІДЖЕННЯ ЩОДО ВИЗНАЧЕННЯ СУМАРНИХ ВІДНОСНИХ ДЕФОРМАЦІЙ У МЕРИДІОНАЛЬНОМУ НАПРЯМКУ

Я. М. Стірманов, Р. Г. Пузир

Кременчуцький національний університет імені Михайла Остроградського

вул. Першотравнева, 20, м. Кременчук, 39600, Україна. E-mail: stirmanov.yaroslav@yandex.ru

Точний розрахунок розмірів заготовок для коліс є основою для створення найбільш сучасних технологічних процесів виготовлення ободів найменшої собівартості і впровадження САПР на підприємствах. Але при цьому виникає необхідність у достовірних даних. Роль експерименту, як показує практика, є вирішальною в остаточних висновках про ступінь достовірності отриманих результатів. Стоншення металу заготовки обода колеса при профілюванні, яке особливо сильно проявляється в місцях радіусних переходів, створює резерв для економії матеріалу. Також при експериментальному визначенні розмірів стоншення можна прогнозувати появу небезпечних перерізів або слабких місць виробу. При проведенні експериментальних досліджень використовувався метод ділильних сіток як найбільш простий, і в той самий час, за рахунок застосування сучасних програмних продуктів, досить точний метод.

Ключові слова: деформація, заготовка, профілювання, стоншення.

АКТУАЛЬНОСТЬ РАБОТЫ. Для полного удовлетворения современных высоких требований, предъявляемых каждой отраслью машиностроения к конструкции и качеству изготовления колес, необходимо многообразие колес, отличающихся эксплуатационным назначением, дизайном и рядом других показателей, что обуславливает необходимость их разунификации. Это способствует увеличению роли мелкосерийного производства. Однако подобный подход потребует не только использования универсального производственного оборудования, но и автоматизации проектирования.

Одним из этапов автоматизированной разработки технологических процессов является определение формы и размеров заготовки [1]. Автоматизация расчетов заготовки должна обеспечивать не только быстроту расчетов, но и экономию материала.

Характерной особенностью деформации металла при профилировании колесных заготовок является существенная неравномерность деформации по толщине заготовки, как в осевом направлении, так и в радиальном. Актуальной проблемой отечественного производства колес является отсутствие методов расчета технологических параметров профилирования колес, обеспечивающих высокую точность прогноза формоизменения металла и силовых условий процесса [2].

Расчеты, представленные в работе [1], имеют обширную теоретическую основу, однако требуют

своего усовершенствования, особенно в области эмпирии, для создания точных специализированных программ проектирования.

Современные системы автоматизированного проектирования (САПР) и конечно-элементного моделирования [3–5], являются универсальными. Вместе с тем, они не имеют узкоспециализированных программных средств, поддерживающих решение проектных задач в области производства колес [6].

Но важнейшим фактором выступает качество и себестоимость изделия. Анализ себестоимости профилированных деталей показывает, что экономия материала на 10 % по эффективности равноценна увеличению производительности в три раза на всех операциях [1].

Поэтому, наиболее важными шагами для снижения себестоимости и ускорения запуска в производство продукции является соединение автоматизации и оптимизации расчета заготовок для производства колес. Для осуществления данных шагов необходимо создание программ расчета заготовок на основе уже существующих программных продуктов с использованием экспериментально полученной информации, что позволит получать данные, с одной стороны быстро, а с другой максимально приближенно к реальным результатам.

Численные методы, несмотря на высокую эффективность при решении конкретных задач и распространение, не исключает необходимость приме-

нення експериментальних методів при дослідженні практичних задач.

Роль експеримента, як показує практика, являється визначальною в остаточних висновках о ступені достовірності отриманих результатів.

Так, наприклад, відомо, що при профілюванні обої зони полок отримують більшу деформацію порівняно з зонами центрального ручья і для рівномірного формоутворення вимагається варіювання геометрії заготовки при незмінних діаметрах роликів [7], але подібні факти рідко мають точні дані.

При дослідженні технологічних процесів профілювання найбільш інформативними є дослідження полів напружень і деформацій.

Експериментальне дослідження поля напружень і деформацій дозволяє, на основі вивчення векторного поля переміщень точок досліджуваного зразка, зробити достовірні висновки про розподіл напружень і деформацій в деформованому тілі і можливості переносу отриманої інформації на натурний зразок. Знаючи характер розподілу компонентів тензора напружень і деформацій, можна оцінити вплив технологічних елементів управління напружено-деформованим станом на якість готового виробу і визначити енергосилові параметри моделюваного технологічного процесу.

Сравнительний аналіз різних способів вимірювання деформацій показав, що найбільше розповсюдження отримали методи дільних сіток і метод вимірювання твердості, які дають можливість визначити деформоване, а по ньому і напружене стан тіла.

Застосовуваний при дослідженні метод дільних сіток є найбільш простим з оптичних методів. В ньому на досліджувану поверхню наноситься система точок, ліній або інших марок, зміна взаємного розташування і конфігурації яких дозволяє визначити переміщення, деформації, швидкості і інші досліджувані величини.

Вважається, що переваги методу полягають у простоті його реалізації і використовуваній апаратурі, недоліки – порівняно низька точність визначення величин, необхідність нанесення сіток на різні поверхні вимагає різних підходів і спеціального інструмента.

Однак з урахуванням досягнень сучасних інформаційних технологій, які суттєво спрощують реєстрацію і обробку даних і підвищують точність визначення досліджуваних величин, зазначені недоліки не є визначальними [8].

Метою роботи – аналіз деформації сітки і уточнення матеріалу в місцях впливу навантажень на заготовку.

МАТЕРІАЛ І РЕЗУЛЬТАТИ ДОСЛІДЖЕНЬ

Виходячи з цілей експериментального дослідження, були виготовлені масштабні моделі заготовок (рис. 1). Матеріалом експериментальних зразків є сталь 08 кп, масштаб моделі 1:4. Також спроектована і виготовлена технологічна оснастка (рис. 3).



Рисунок 1 – Комплект експериментальних зразків

Дільні сітки наносилися на площину зразка спеціальним пристосуванням, що складається з різця, жорсткої планки і основи. Різноманітність координатних ліній формувалося на поверхні заготовки координатну сітку з квадратними клітинками. Розміри квадратних клітинок склали 5×5 мм. Заготовка з нанесеною на неї координатною сіткою показана на рис. 2.

Процес деформації здійснювався в два етапи: на першому етапі вироблялася роздача заготовки з двох сторін (рис. 2); на другому – її обкатка на роликів (рис. 3).



Рисунок 2 – Заготовка з нанесеною на неї координатною сіткою в момент роздачі



Рисунок 3 – Ролики для обкатки заготовок

Після завершення всіх операцій і профілювання всіх заготовок було прийнято рішення використовувати для визначення деформації по ділянці профіля всі бездефектні вироби.

Так як вироби мають циліндричну форму, а метою експеримента є точне визначення

деформаций по участкам профиля, то из каждого изделия вырезались темплеты одинаковой ширины (рис. 4).



Рисунок 4 – Темплеты по переходам деформирования

Изучали деформацию в зоне центрального ручья, в местах радиусных закруглений и по всей длине образца. В качестве прикладных программ использованы КОМПАС и SolidWorks.

1. *Зона центрального ручья.* В этой зоне нужно проследить, насколько деформировалась сетка в сравнении с необработанным образцом. В этом случае использовали САД систему КОМПАС.

На фотографиях каждого образца в местах предполагаемой деформации отмечаем расположение основных узлов на делительной сетке образца, как это показано на рис. 6, перед этим сделав это на необработанном образце и соединив эти узлы линиями, таким образом, вычертив сетку в масштабном коэффициенте 1:1 (рис. 5).

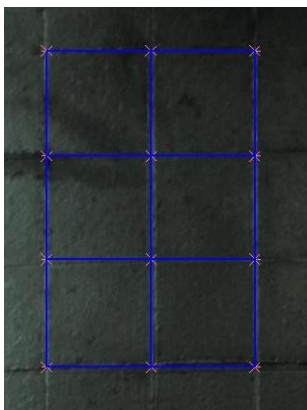


Рисунок 5 – Разметка узлов и вычерчивание сетки на необработанном образце



Рисунок 6 – Разметка узлов на образце № 2

После завершения расстановки переносим точки на вычерченную сетку и соединяем их вертикальными линиями. Вследствие этого получаем схемы деформации, показанные на рис. 7.

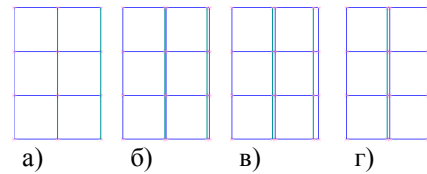


Рисунок 7 – Схемы деформации: а) образца № 1; б) образца № 2; в) образца № 3; г) схема деформации образца № 4

Измерив расстояния между точками и составив пропорции, можно найти средние процентные значения относительных деформаций в тангенциальном направлении.

Для образца № 1

$$100 - 0,85 \div 0,2943 = 2,89\% . \quad (1)$$

Аналогично рассчитываем для остальных образцов, и результаты заносим в табл. 1.

Таблица 1 – Результаты экспериментальных исследований

Название участка	Результат; %
Образец № 1	
Центральный ручей	–
Участок № 1	0,47
Участок № 1'	5
Общая длина	1,89
Образец № 2	
Центральный ручей	2,89
Участок № 1	15,7
Участок № 2	8,65
Участок № 1'	8,3
Участок № 2'	8,5
Общая длина	4,3
Образец № 3	
Центральный ручей	6,05
Участок № 1	18,74
Участок № 2	–13
Участок № 3	9,37
Образец № 3	
Участок № 1'	26,6
Участок № 2'	25,15
Участок № 3'	25,7
Общая длина	4,9
Образец № 4	
Центральный ручей	6,25
Участок № 1	6,5
Участок № 2	21,4
Участок № 1'	35,2
Участок № 2'	29,5
Общая длина	9,6

2. *Места радиусных закруглений.* В местах радиусных закруглений определяем утонение материала и удлинение сетки по сравнению с необработанным образцом. В качестве прикладной программы используем функции программного приложения SolidWorks [9].

Процесс, схожий с предыдущим, на фотографиях по границам сетки ставим точки, и с помощью инструмента «Сплайн» соединяем их (рис. 8–11). После этого, используя функцию «Измерить», меряем длины участков и сравниваем их с начальными данными. Так как на центральном ручье сетка дефор-

мировалась только по одному направлению, то с целью удобства примем ее как необработанную. Утонения будем измерять путем сравнения длин отрезков проведенных на деформированных и недеформированных участках по средней линии.



Рисунок 8 – Расположение сплавов и линий на образце № 1

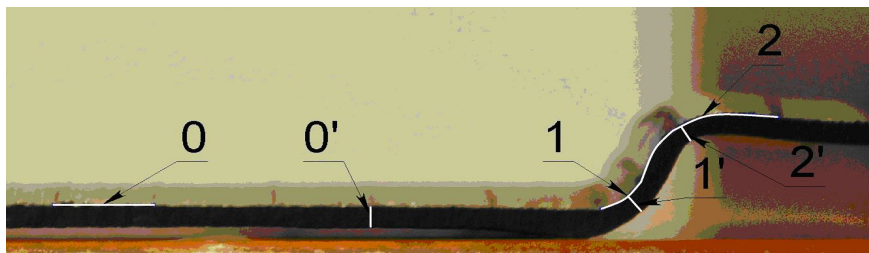


Рисунок 9 – Расположение сплавов и линий на образце № 2

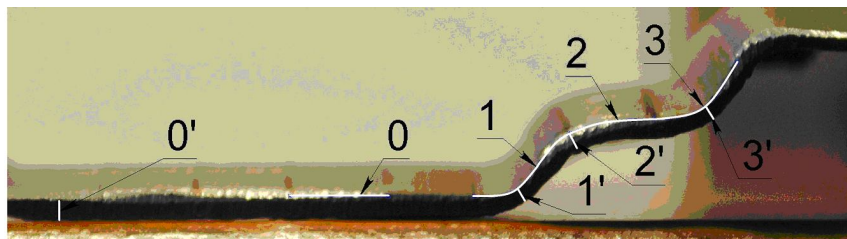


Рисунок 10 – Расположение сплавов и линий на образце № 3

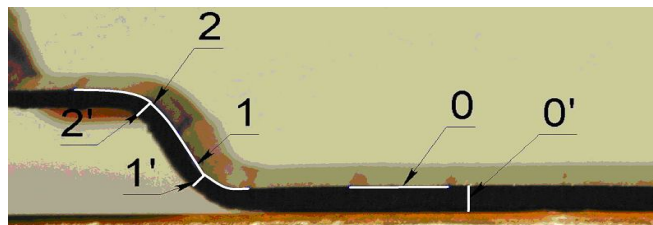


Рисунок 11 – Расположение сплавов и линий на образце № 4

После замера всех участков и сравнив их с начальными, получили следующие значения:

образец № 1 –
участок № 1

$$100 - 14,74 \div 0,1481 = 0,47 \% ; \quad (2)$$

участок № 1'

$$100 - 3,42 \div 0,036 = 5 \% , \quad (3)$$

Аналогично рассчитываем для остальных образцов и результаты заносим в табл. 1.

3. *Общая длина образцов.* Общую длину образцов находим аналогично выше изложенному методу, сравнив величины отрезков, проведенных по всей длине (рис. 12, 13). В качестве прикладной программы используем SolidWorks.

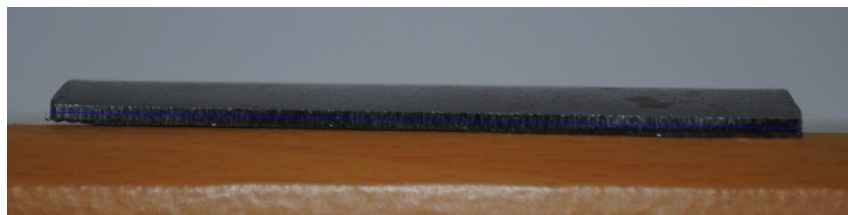


Рисунок 12 – Построение линии по всей длине необработанного образца



Рисунок 13 – Построение линии по всей длине образца №1

Проведя все отрезки и сделав замеры, получили следующие результаты:

образец № 1 –

$$100 - 201,02 \div 2,0489 = 1,89 \% \quad (4)$$

Аналогично рассчитываем для остальных образцов, и результаты заносим в табл. 1.

ВЫВОДЫ. Для проведения экспериментальных исследований при радиально-ротационном профилировании применяли геометрическое и физическое моделирование с масштабом [1:4]. Полученные результаты могут быть использованы при создании автоматического программного модуля для расчета размеров заготовки. Использование экспериментальных результатов позволяет более точно прогнозировать растяжения металла в меридиональном направлении при профилировании заготовки и соответственно учитывать возможность появления опасных сечений в детали, а также позволит экономить материал за счет уменьшения размеров используемого листового материала.

ЛИТЕРАТУРА

1. Пузырь Р.Г., Левченко Р.В. Расчет размеров листовой заготовки для ободьев колес транспортных средств // Вісник Національного технічного університету «ХПІ»: збір. наук. праць. Тематичний випуск: Нові рішення в сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ», 2011. – № 46. – С. 97–103.
2. Снитко С.А. Экспериментально-теоретический метод расчета условий контактного трения при прокатке заготовок железнодорожных колес // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут». Серія «Машинобудування». – К.: КПІ, 2010. – Вип. 60. – С. 208–211.

3. Соломонов К.Н. Автоматизированное проектирование инструмента и технологий объемной штамповки (обзор) // Кузнечно-штамповочное производство. – 2003. – № 8. – С. 42–48.

4. Голышков Р., Латаев А., Харламов А. Оптимизация технологических процессов колесопроточного производства с помощью программного комплекса DEFORM // САПР и графика. – 2006. – № 7. – С. 73–75.

5. Биба Н.В., Стебунов С.А. // Сучасні проблеми металургії: наукові вісті. – Дніпропетровськ: Системні технології, 2002. – Т. 5. Пластична деформація металів. – С. 221–226.

6. Яковченко А.В., Снитко С.А., Ивлева Н.И. Пути совершенствования компьютерных программ проектирования калибровок инструмента деформации для производства штамповано-катаных железнодорожных колес // Металл и литье Украины. – 2003. – № 6. – С. 30–35.

7. Пузырь Р.Г. Определение геометрических параметров цилиндрической заготовки для обеспечения функционально-ориентированной технологии профилирования // Вісник Кременчуцького національного університету імені Михайла Остроградського. – Кременчук: КрНУ, 2013. – Вип. 1/2013(78). – С. 99–101.

8. Каргин В.Р., Каргин Б.В. Экспериментальное исследование процессов деформации при обработке давлением: электронное учебное пособие по лекционному курсу – Самара.: Самарский государственный аэрокосмический университет, 2010. – 49 с.

9. Дударева, Н.Ю. Загайко С.А. SolidWorks 2007. Наиболее полное руководство. – СПб.: БХВ-Петербург, 2007. – 1328 с.

RESEARCHES ON DEFINITION OF THE TOTAL RELATIVE DEFORMATION IN THE MERIDIONAL DIRECTION

Y. Stirmanov, R. Puzyr

Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University

vul. Pershotravneva, 20, Kremenchuk, 39600, Ukraine. E-mail: stirmanov.yaroslav@yandex.ru

The exact calculation of the size of billets for wheels is the basis for creating the most modern technological processes of manufacturing rims with lower the cost and implementation of CAD in companies. But this raises a need for the reliable data. The role of the experiment, as practice shows, is decisive in the final conclusions about the degree of reliability of the results. Thinning of the metal rim of workpiece at profiling, which is particularly pronounced in places of curved transitions, provides an allowance for material savings. As well as the experimental determination of the size of the thinning can predict the appearance of dangerous cross sections or weaknesses of the product. The method of

dividing nets was used for experimental research - as the most simple and at the same time, through the use of modern software, is very accurate method.

Key words: deformation, workpiece, shaping, thinning.

REFERENCES

1. Puzyr, R.G., and Levchenko, R.V. (2011), "Calculating the size of the slab for the wheel rims of vehicles", *Visnik Nacionalnogo tehichnogo universitetu "Kharkiv Polytechnic Institute". Zbirnyk naukovykh prac. Tematykh vypusk: Novi rishennj v sushasnysh teshnologijah*, no. 46, pp. 97–103.
2. Snitko, S.A. (2010), "Experimental and theoretical method of calculating the conditions of contact friction when rolling billets railway wheels", *Visnik nacionalnogo tehichnogo universitetu Ukrainy "Kyiv Polytechnic Institute". Ser. Mashunobyduvannya*, vol. 60, pp. 208–211.
3. Solomonov, K.N. (2003), "Computer-aided design tools and technologies forging (overview)", *Kuznechno-shtampovochnoe proizvodstvo*, no. 8, pp. 42–48.
4. Golyshkov, R., Lataev, A., and Harlamov, A. (2006), "Process optimization Wheel-produc", *SAPR i grafika*, no. 7, pp. 73–75.
5. Biba, N.V., and Stebunov, S.A. (2002), "Application program QFORM 2D/3D for the development of low-waste technology stamping", *Schasni problemy metalurgiji. Naukovi visti. Plastycha deformacija metaliv. Systemni tehnologiji*, vol. 5, pp. 221–226.
6. Jakovchenko, A.V., Snitko, S.A., and Ivleva, N.I. (2003), "Ways to improve software design tool strain gauges for the production of stamped-rolled railway wheels", *Metall i litye Ukrainy*, no. 6, pp. 30–35.
7. Puzyr, R.G. (2013), "The definition of geometrical parameters of cylindrical material for functional-oriented profiling technology", *Transactions of Kremenchuk Mykhailo Ostrohradskyi National University*, vol. 1(78), pp. 99–101.
8. Kargin, V.R., and Kargin, B.R. (2010), *Eksperimental'noe issledovanie processov deformacii pri obrabotke davleniem: Elektronnoe ushebnoe posobie po lekcyonnomu kursu* [Experimental Study of deformation under pressure treatment; Electronic manuals on the lecture course], Samara State Aerospace University, Samara, Russia.
9. Dudareva, N. Ju. and Zagajko, S.A. (2007), *Solid Works 2007. Naibolee polnoe rukovodstvo* [SolidWorks 2007. Most Full Guide], BHV Petersburg, Saint Petersburg, Russia.

Стаття надійшла 13.06.2015.