

**В. Драгобецький**

Професор, д-р техн. наук

**Е. Клімов**

Інженер

**Р. Пузир**

Докторант

**А. Бєлкіна**

Аспірант

Кременчуцький державний  
політехнічний університет імені  
Михайла Остроградського,  
м. Кременчук

УДК 621.7.011

## НАСЛІДКИ ЕКСПЛУАТАЦІЇ ДИСКІВ КОЛІС

*Проведено аналіз технологічної спадковості й циклічних навантажень на метал дисків коліс при виготовленні й експлуатації. Проведено оцінку деформацій руйнування металу диска колеса при виправленні й наступній експлуатації.*

**обід, колесо, технологія, правлення, руйнування**

Твердість і якість ободів коліс впливають на безпеку руху й економічні показники роботи автомобіля, комфортабельність і стійкість при русі. Вимоги міцності й твердості, як правило, вступають у протиріччя з вимогами технологічності (оброблюваності) й економічності ободів коліс. Існуючий стан доріг в Україні і близькому зарубіжжі вкрай негативно впливає на умови експлуатації як автомобіля, так і обода колеса. Зокрема, на обод колеса, крім знакозмінних навантажень, діють і ударні. Останні призводять до локальних деформацій обода. Водії усвідомлюють пагубний вплив дефектів обода на маточину, пов'язаний з биттям і дисбалансом коліс, і намагаються кустарними методами рихтувати ободи. Однак наскільки небезпечна додаткова деформація обода колеса при відновленні його геометричних розмірів практично ніхто не замислюється, крім виробників коліс. Відновлення геометрії обода колеса при його деформації не викликає труднощів і не вимагає значних матеріальних витрат. Але наскільки це небезпечно для подальшої експлуатації автомобіля — невідомо.

Мета статті — провести якісний аналіз зміни міцності і твердості обода колеса в процесі експлуатації, розробити рекомендації зі створення технології, що забезпечує

прогнозування й керування міцністю і твердістю обода колеса, оцінити допустимість відновлення геометрії обода колеса при деформації його елементів у процесі експлуатації.

**Матеріал і результати дослідження.** При виготовленні й конструюванні сучасних автомобілів в автомобілебудуванні України назріла потреба у створенні безпечних конструкцій, які у процесі експлуатації захищають водія і пасажирів. Керованість міцністю і жорсткістю забезпечується параметрами технології оброблення тиском, тобто технологічною спадковістю. Параметри технології створюють «пам'ять матеріалу», що забезпечує потрібну міцність і жорсткість у процесі експлуатації при наїзді на перешкоди й т. п. Деякі елементи конструкції автомобіля деформується, тобто отримують додаткову пластичну деформацію і технологічну спадковість без порушення цілісності металу. Найбільше цьому піддаються ободи коліс. Викривлення геометрії обода призводить до дисбалансу з витікаючими звідси наслідками. Тому водії відновлюють геометрію обода, змінюючи технологічну спадковість металу. Розглянемо, що відбувається з металом обода колеса після технологічного оброблення й у процесі експлуатації.

Ободи коліс, що виготовляють на Кременчуцькому колісному заводі, виконуються з листового прокату методом радіально-ротаційного профілювання із застосуванням операцій холодного штампування (попереднє осаджування, розтиснення, обтиснення). Залежно від складності профілю обід профілюють за три, чотири і п'ять переходів. У процесі першої операції здійснюють профілювання бортових закраїн. Друга операція формує чорновий профіль, тобто профіль, у якому присутні усі його конструкційні елементи (борт, посадкові полки, центральний рівчак). На третьому етапі загинають бічні закраїни, кінцево обробляють посадкові полиці й доводять усі радіуси. Після профілювання [1, 2] обода на ділянці переходу від бортової закраїни до посадкової полиці відносні деформації складають: стоншення — 15...17 %, видовження — 2...3 %, поперечна деформація — 25...30 %. При переході від посадкової полиці до рівчака деформації перебувають у межах 3...4 %; 5...6 % і 10...12 % відповідно, а в місцях радіусних переходів центрального рівчака — 18...20 %; 12...14 %; 38...40 % у такому ж порядку. Інтенсивність деформацій складає 21...23 %, 6...8 % і 25...28 % відповідно. Максимальне відносне видовження матеріалів, використаних для виготовлення ободів коліс, лежить у межах 31...35 %.

Отже, технологічна спадковість обмежує ресурс пластичності обода колеса в межах 10...15 %. Максимальне потоншення в листах радіусних переходів від бічної стінки до середини центрального рівчака становить 0,6 мм (18 % товщини вихідного металу). Це свідчить про відсутність резервів пластичності металу для подальшої пластичної формозміни. Отже, відновлення обода з деформованими бічною стінкою і центральним рівчаком, що прилягають до радіуса переходу, методами холодного оброблення тиском, з точки зору подальшої експлуатації, надзвичайно небезпечно.

Повторне циклічне навантаження обода колеса в процесі експлуатації позначається як на опорі металу деформації, так і на фізико-механічних властивостях обода. Встановлено [2, 3], що циклічне прикладення сили дає зниження напруження плинності. Крім цього, при циклічному навантаженні змінюється характер зміцнення металу при утворенні широких і коротких смуг ковзання. Внаслідок періодичного руху дислокацій у будь-якій площині ковзання частина з них виявляється загальмованою, і вони своїми силовими полями впливають на джерела дислокацій, розташовані у сусідній площині ковзання. При новому навантаженні ковзання перекидається на цю площину й спостерігається при більш низьких напруженнях, про що свідчить статична межа текучості. Циклічний вплив послабляє міжатомні зв'язки, руйнує монокристали й міжкристалічні включення. У металі обода технологічна спадковість і умови експлуатації сприяють утворенню дрібнозернистої та однорідної структури. З цього виходить, що у процесі експлуатації міцність і жорсткість обода колеса знижується. Це потребуватиме заміни дисків коліс, або їх зміцнювального оброблення, наприклад, методом обкатування на такому ж профілювальному устаткуванні. Крім цього, виникає потреба в розробленні заходів щодо виявлення моменту настання гранично припустимого зменшення обода колеса або обмеження

їх ресурсу. Найпростіше це здійснити при використанні прозорих лакофарбових покриттів. При виготовленні обода колеса методами оброблення тиском у холодному стані на бічній стінці й радіусних переходах залишаються сліди ліній ковзання. У процесі експлуатації відбувається переорієнтування дислокацій, і сліди ліній ковзання зникають разом з міцністю й жорсткістю.

Важливо також наголосити на безперспективності виготовлення дисків коліс методами лиття й об'ємного штампування. Їх експлуатація може призвести до так званого реологічного вибуху й спонтанного руйнування диска під час руху.

Розглянемо, що відбувається з металом обода при його деформуванні в процесі експлуатації і наступному відновленні геометрії обода. При деформації обода виникають локальні напруження розтягу в поздовжньому й поперечному напрямках. Навантаження металу відбувається за діаграмою інтенсивності напруження — інтенсивності деформацій. Крива розвантаження ABC (рис. 1) пов'язана з технологічною спадковістю обода. При повторному навантаженні CDE майже паралельна первісній кривій пружного навантаження OA, лінію CD можна вважати прямою до досягнення межі плинності  $\sigma'_s$  (напруження плинності  $\sigma'_s$  більше за первісну межу плинності  $\sigma_s$ ). Крива S'E фактично продовжує лінію SA. Розвантаження відбувається по кривій EF. Залишкова деформація становить OF. Для відновлення геометрії обода потрібна зміна знаку напружень (реверс). При пластичній неоднорідній деформації і реверсивному прикладенні напружень (виправлення обода)  $\sigma'_s > \sigma''_s$  (ефект Баушингера). Стиснення (виправлення) відбувається по кривій FS'. Розвантаження пройде по кривій S''C до відновлення вихідної залишкової деформації OC. Наступне розтягування приводить до зменшення межі плинності  $\sigma''_s > \sigma^{i+1}_s$  (I — етап навантаження) і т. д. (рис. 1).

Технологія виготовлення обода, його експлуатація і виправлення після деформації пов'язані з реверсом напружень і витікаючим звідси зниженням межі плинності матеріалу. Критерієм оцінювання переходу матеріалу в другий граничний стан (розрив металу обода) при виправленні (стисканні) є поява на його поверхні першої тріщини, що виявляється візуально.

Чи призведе виправлення обода колеса до неприпустимого зниження міцності й жорсткості колеса? Відповіді на це запитання можна з використанням теорії граничної формозміни й деформівності [2, 3]. Задача форму-

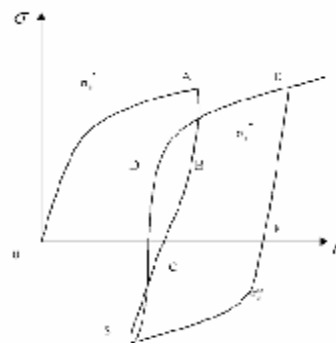


Рис. 1. Відхилення від діаграми напруження — деформація

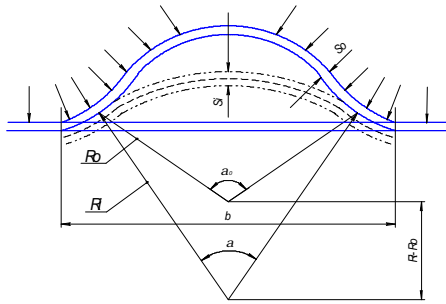


Рис. 2. Розправлення вм'ятини під дією розподіленого навантаження

люється так: задано деформований обід, для якого визначені тензори напружень і деформацій  $T_\sigma$ ,  $T_\epsilon$ . Слід обчислити ступінь деформації зсуву  $\lambda$ , порівняти її з гранично допустимою  $\lambda_p$  і встановити ступінь використання ресурсу пластичності  $\psi$  для найнебезпечнішої точки обода:

$$\psi = \int_0^\lambda (1 + \alpha \Phi) \frac{\lambda^{\alpha \Phi} d\lambda}{\lambda_p^{1 + \alpha \Phi}} < 1, \quad (1)$$

де  $\Phi$  — функція зміни показника схеми напруженого стану;  $\alpha$  — константа.

Інтегрування можна замінити підсумовуванням приростів інтенсивності деформацій зсуву  $\Delta\lambda_{ij}$ :

$$\psi = \sum \frac{\Delta\lambda_{ij}}{\lambda_p (P_\sigma)}, \quad (2)$$

де  $P_\sigma$  — показник жорсткості схеми напруженого стану  $P = (\sigma_1 + \sigma_2 + \sigma_3) / \sigma_i$ ;  $\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3$  — головні напруження;  $\sigma_i$  — інтенсивність напружень.

Розглянемо процес розправлення вм'ятини на бортовій закраїні під дією рівномірно розподіленого навантаження. Аналіз умов розправлення («посадки») вм'ятини конічної поверхні зводиться до розгляду задачі про пластичне деформування конічної або циліндричної поверхні під дією внутрішнього рівномірно розподіленого навантаження  $q_c$  (рис. 2). У цих умовах поточна деформація стиснення

$$\epsilon_1 = \alpha_i R_i \alpha_0^{-1} R_0^{-1} - 1. \quad (3)$$

Значення середньої товщини заготовки на ділянці деформації визначимо з умови сталості об'єму:

$$s_i = R_0 \alpha_0 S_0 b^{-1}. \quad (4)$$

Напруження стиску в будь-який момент деформації

$$\sigma_1 = \frac{qb^2}{R_0 S_0 \alpha_0}. \quad (5)$$

Значення  $\alpha_p(P_\sigma)$  можна обчислити за лінійною апроксимувальною функцією:

$$\alpha_p(P_\sigma) = \sigma_0 + B \left( \frac{b}{R_0 \alpha_0} - 1 \right). \quad (6)$$

Для сталі 10 кП  $\sigma_0 = 1,9$ ;  $B = -1,1$ . Для обчислення  $\Delta\alpha_{ij}$  використовуємо такі залежності:

$$\alpha = \sqrt{3} \int_0^t \mathbf{1}_i \cdot dt, \quad \Delta\lambda \approx d\lambda = \sqrt{3} \mathbf{1}_i \cdot dt. \quad (7)$$

Враховуючи, що

$$\mathbf{1}_i = \frac{b}{\alpha_0 R_0} - 1, \quad R_i - R_0 = V_0 dt, \quad (8)$$

де  $V_0$  — швидкість руху правлячого інструмента.

Умову деформованості без руйнування  $\lambda < \lambda_p$  з урахуванням спільного розв'язання рівнянь (3) — (8) отримуємо при відношенні висоти вм'ятини до товщини металу обода  $h / S_0 \leq 2,5$ . Варто врахувати, що місце виправлення має знижену міцність і жорсткість, і при експлуатації деформація обода локалізується в місці виправлення. Тому після виправлення обода потрібно його термічно обробити: відпалювання+загартування+відпуск. Витрати на термічне оброблення приблизно збігаються з вартістю нового диска. Усунути наслідки виправлення за умови деформації обода без руйнування можна, засувавши зміцнювальні методи оброблення металів пластичним деформуванням, особливо ефективним є віброобкачування роликками.

**Висновок.** Технологічна спадковість і умови тривалої експлуатації дисків коліс призводять до зниження межі плинності й погіршення структури металу дисків. Потрібно проводити періодичне поверхнєве зміцнення металу обода, або обмежити термін експлуатації дисків до виникнення дрібнодисперсної структури металу. Візуально оцінити зміну структури металу дисків можна використовуючи прозорі лакофарбові покриття або методи неруйнівного контролю (фото контактний метод). Виправлення дисків коліс приводить до зниження жорсткості й межі плинності металу обода і є вкрай небажаним.

## Література

1. Чигиринский В.В., Мазур В.Л., Бергеман Г.В. и др. Производство высокоэффективного металлопроката: Монография. — Днепропетровськ: РВА «Дніпро-ВАЛ», 2006. — 262 с.
2. Огородников В.А., Киселев В.Б., Сивак И.О. Энергия. Деформация. Разрушение (задачи авто технической экспертизы). Монография. — Вінниця: УНИВЕРСАМ. — Вінниця, 2005. — 204 с.
3. Огородников В.А. Деформируемость и разрушение металлов при пластическом формоизменении: Учеб. пособие. — К.: УМК ВО, 1989. — 152 с.

Отримана 29.07.09.

V. Dragobetskij, E. Klimov, R. Pyzur, A. Belkina  
**Consequences of wheel disks exploitation**  
*Kremenchuk State Polytechnic University named after Muhajjo Ostrogradskij*

The analysis of the technological heredity and cyclic load on metal wheel disks during their manufacturing and operation is given. The assessment of failure deformation of wheel disk metal under dressing and following operation is made.