

VASÚTI KERÉKEK PRÉSELÉSI FOLYAMATÁNAK VIZSGÁLATA FESZÜLTSGOPTIKAI ANALÍZIS SEGÍTSÉGÉVEL

INVESTIGATION OF THE PRESSING PROCESS OF RAILWAY WHEELS USING OPTICAL PHOTOSTRESS ANALYSIS

Dr. Ficzer Péter, egyetemi docens, ficzere.peter@kjk.bme.hu
BME Vasúti Járművek és Járműrendszeranalízis Tanszék
Dr. Borbás Lajos, címzetes egyetemi tanár, borbas.lajos@edutus.hu
EDUTUS Egyetem, Műszaki Intézet

ABSTRACT. In most cases, the wheels are joined to the axles by a pressing process. After the pressing process, the wheels may be run out impact, which affects the accuracy of the rim running. The main goal of our investigation was to monitor the surface deformation of the wheel pair during the pressing phase and to determine the magnitude of the deformation using photoelastic coating technique (photo-stress analysis).

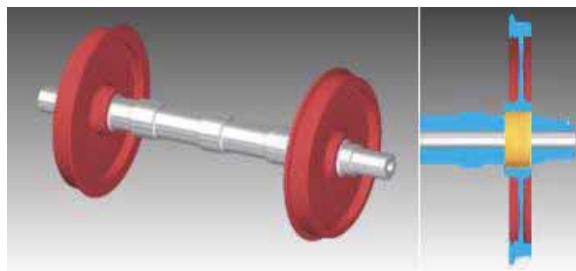
The task was to decide:

- the used method is suitable for the investigation of the surface deformation of railway wheels due to the pressing process,
- it is possible to measure the differences between the two wheel pressing processes by analysing the surface deformation,
- the surface deformation measured on the wheels can be related to the axial failure of the wheels measured after the pressing process.

1. BEVEZETÉS

A vizsgálat fő célja egy vasúti kerékpár felületi deformációjának ellenőrzése és meghatározása volt a préselési eljárás alatt, fotoelasztikus bevonati technikával (feszültségoptikai vizsgálat).

A szerelt vasúti kerékpár és az érintkezési felület látható az 1. ábrán.



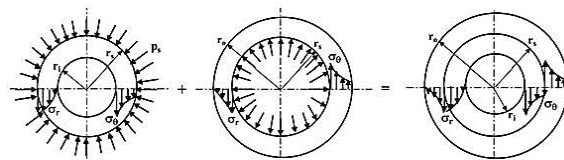
1. ábra Szerelt kerékpár és érintkező felület

A sajtolási eljárás során a deformáció és a feszültségi viszonyok nyomon követése rendkívül nehéz feladat. Még a legfejlettebb végeeselemes módszerek esetében is számos, többnyire megoldatlan kérdéssel kell szembenéznünk.

2. MÓDSZER

2.1 Fedés számítása a klasszikus mechanikai elmélet alapján

A zsugorkötésű tengely-agy illesztés során kapott feszültségeloszlás a belső és a külső hengerben lévő feszültségeloszlásból áll, és ezt mutatja az alábbi 2. ábra [1].



2. ábra Zsugorkötésű tengely-agy illesztés során kapott feszültségeloszlás [1]

A maradó feszültségek a belső hengerben $r=r_i$ esetén a maximális, amit a (1) ad meg.

$$\sigma_{\theta(max)} \Big|_{r=r_i} = -\frac{2p_s r_s^2}{r_s^2 - r_i^2} \quad (1)$$

A maradó feszültségek a külső hengerben $r=r_s$ esetén a maximális, amit a (2) ad meg.

$$\sigma_{\theta(max)} \Big|_{r=r_s} = -p_s \frac{r_0^2 + r_s^2}{r_0^2 - r_s^2} \quad (2)$$

A folyadéknyomásból adódó feszültségeket ehhez kell hozzáadni, hogy megtaláljuk a teljes feszültségeloszlást.

Annak érdekében, hogy meg tudjuk határozni a hengerfalak radiális elmozdulásait az

érintkezési területen, az alábbi gondolatmenetet vesszük figyelembe a (3) egyenletben:

$$\varepsilon_{\theta} = \frac{u}{r} = \frac{1}{E}(\sigma_{\theta} - \nu\sigma_r) . \quad (3)$$

Ez adja a külső henger belső falának sugárirányú elmozdulását a (4) egyenlet szerint:

$$u_{r1} = \frac{p_s r_s}{E} \left[\frac{r_0^2 + r_s^2}{r_0^2 - r_s^2} + \nu \right] \quad (4)$$

Hasonlóan a belső henger esetében a másik falnál fellépő radiális és kerületi feszültségek az (5) egyenlet alapján adhatók meg:

$$\begin{aligned} \sigma_r|_{r=r_s} &= -p_s \\ \sigma_{\theta}|_{r=r_s} &= -p_s \frac{r_s^2 + r_i^2}{r_s^2 - r_i^2} \end{aligned} \quad (5)$$

A fenti eljárást követően a belső henger érintkező felületének radiális elmozdulását a (6) egyenlet adja meg:

$$u_{r2} = -\frac{p_s r_s}{E} \left[\frac{r_s^2 + r_i^2}{r_s^2 - r_i^2} - \nu \right] \quad (6)$$

A teljes fedést a (7) összefüggés adja meg:

$$\delta = -\frac{p_s r_s}{E} \left[\frac{r_0^2 + r_s^2}{r_0^2 - r_s^2} + \frac{r_s^2 + r_i^2}{r_s^2 - r_i^2} - \nu \right] \quad (7)$$

Így megadhatjuk a kontakt nyomást az ismert változók függvényében (8):

$$p_s = \frac{E\delta}{r_s \left[\frac{r_0^2 + r_s^2}{r_0^2 - r_s^2} + \frac{r_s^2 + r_i^2}{r_s^2 - r_i^2} \right]} \quad (8)$$

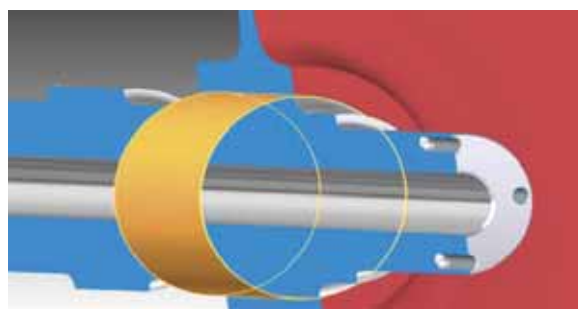
Az (1)...(8) egyenletekben:

- r_i : a tengely sugara,
- r_s : a tengely és a kerék sugara,
- σ_0 : tangenciális feszültség
- σ_r : radiális feszültség
- E : rugalmassági modulus,
- δ : teljes fedés az érintkező felületeknél

A fent bemutatott elmélet egy statikus állapotról ad képet, de nem tudja reprodukálni a préselési folyamat során bekövetkező változásokat.

2.2 A végeelemes számítás lehetőségei

A tengely/kerék csatlakozás érintkezési felülete - a 3. ábrán jelölve - valójában nem felület, hanem egy hengeres tér, a préselendő alkatrészek közötti átfedés.

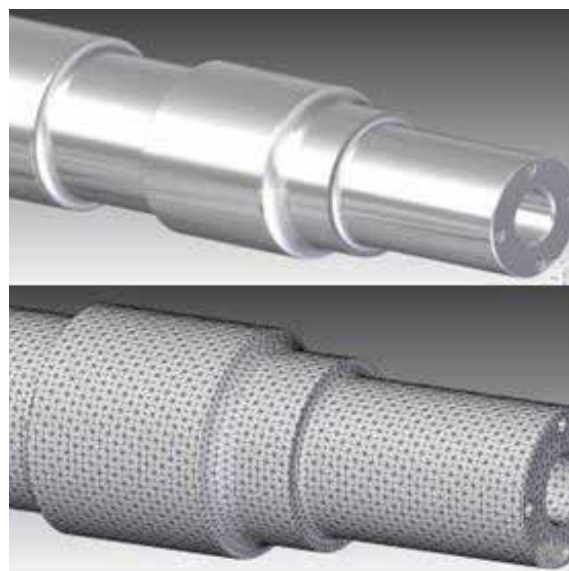


3. ábra A préselendő alkatrészek közötti átfedés

Jól megfigyelhető, hogy a numerikus szimulációban még nagy elemszám (kis hálóméret) esetén is megjelenik a poligonhatás, azaz a geometriát csak közelíti a háló.

Felmerül a henger-szimmetria alkalmazásának lehetősége, amivel a probléma síkelemekkel megoldható lenne. Sajnos azonban ezt a megoldást el kell vetni, mert bár a geometria hengeresen szimmetrikus, a terhelés nem az (C alakú prészsorszám).

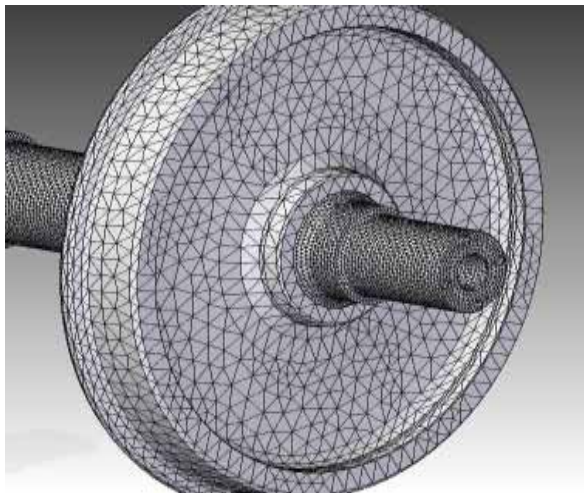
A tengely és a háló a 4. ábrán látható.



4. ábra A préselendő alkatrészek közötti átfedés

Az 5. ábrán látható az összeszerelt állapot végeelemes hálójával. Az ábrán is jól megfigyelhető, hogy ha a csomópontok egymáshoz képest nem ugyanabba a helyzetbe esnek, akkor nem hengeres érintkezést, hanem vonalas érintkezést várunk.

Ez sokkal magasabb feszültségértékeket eredményez, helyi csúcsok jönnek létre, ami a valós feszültségeloszláshoz képest hamis képet ad.



5. ábra Az összeszerelt állapot végelelemes hálójával

2.3 Optikai feszültségvizsgálat (feszültségoptikai bevonat)

A vizsgált minta felületi deformációjának és feszültségállapotának meghatározására alkalmazott mérési módszert a felületre ragasztott és polarizált fényben vizsgált optikailag aktív bevonat (ismert tulajdonságok) felhasználásával végezzük.

A jelen vizsgálat során a keréktárcsa mindkét felületét a kerékagy körül kb. 400 mm átmérőig fotoelasztikus bevonattal fedtük be. A gépelemek vizsgálatára szolgáló mérési módszer néhány lehetősége részletesebben megtalálható a [3], [4], [5], [6] szakirodalomban. A 6. ábra a szerelőasztalon tesztelt vasúti kerekeket mutatja.



6. ábra Vizsgálat alatt álló vasúti kerekek a szerelőasztalon

A bevonatok elkészítéséhez kétkomponensű epoxigyantát használtunk. Az epoxigyantát egy A4-es méretű tálcára öntöttük,

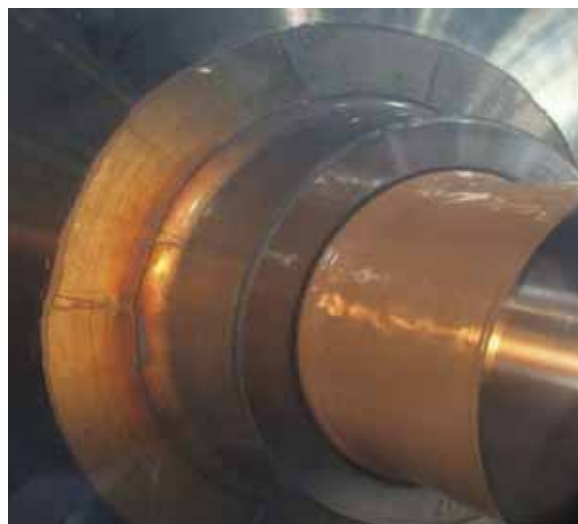
és félig polimerizált állapotban felvettük és a vizsgált felületre formáztuk. A kerekek mindkét felületét a kerékagyak körül bevontuk. A 7. ábrán látható a fotoelasztikus bevonattal történő vizsgálatra előkészített kerékpár, az eredmények kiértékelését szolgáló hálózattal együtt.



7. ábra A vizsgálatra előkészített kerékpár bevonattal és hálózattal

3. EREDMÉNYEK

A vizsgálati eredmények a mérési technika sávos eloszlásának értékelésén alapulnak. A 8. ábrán látható néhány eredmény a sávok eloszlásáról a préselési eljárás után,



8. ábra Színsávveloszlás keresztetett polarizációs állásban préselés után

A sávmintázat értékelése az alkalmazott fotoelasztikus bevonat érzékenységén alapul, amint az a következőkben szerepel:

A vasúti kerekeken végzett mérések eredményeinek értékelésekor a rögzített polarizációs képekből összerakott színsávveloszlásokat készítettünk. A színsávveloszlásból számítottuk ki a főnyúlások különbségét. A nyúlásértékek feszültségre való átalakítása során $E = 2,068$ [MPa] rugalmassági moduluszal és $\nu = 0,29$ Poisson tényező értékkel számítottuk a vizsgált anyag ismeretében. Így esetünkben az egységnyi

rendsámhoz ($m = 1$, ennek színe a a színsávábrán lila) az alábbi összefüggés érvényes (9):

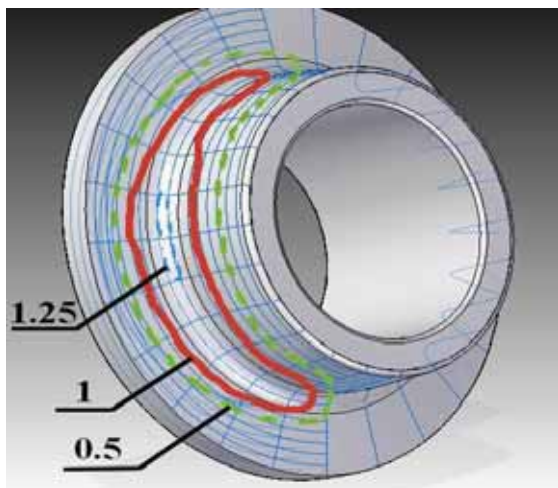
$$\sigma = \sigma_1 = \frac{k \cdot E}{1 + \nu} = \frac{0,68 \cdot 10^{-3} \cdot 2,068 \cdot 10^5}{1 + 0,29} = 109,01 \text{ MPa} \quad (9)$$

A kapcsolat az ε_1 és ε_2 főnyúlások valamint a σ_1 , és σ_2 főfeszültségek különbsége között a következő (10) összefüggés segítségével határozható meg:

$$\sigma_1 - \sigma_2 = \frac{E}{1 + \nu} (\varepsilon_1 - \varepsilon_2) = m \frac{kE}{1 + \nu} \quad (10)$$

ahol E a vizsgált felület anyagának rugalmassági modulusa, ν a Poisson-tényezője.

A bemutatott értékelés alapján a kerék külső felületén a feszültség szintet 115,0...125,0 MPa feszültségérték intervallumon határoztuk meg (lásd a 9. ábrát).



9. ábra A vizsgált felületen jelentkező összerajzolt rendszámeloszlások

4. ANALÍZIS

Az eredményeket megvizsgálva kijelenthető, hogy a fotoelasztikus mérési bevonati technika alkalmas eljárás a vasúti kerékpár felszíni deformációjának meghatározására, amely a préselés során fellépő asszimmetrikus nyomóerőből ered,

Megállapítható továbbá, hogy a vasúti keréken a sajtolási eljárásból származó, feszültségoptikai elemzéssel mért felületi deformáció asszimmetrikusan jelenik meg a felületen. A prészerszám nyitott részén (C alak) a deformáció lényegesen nagyobb, mint azon a területen, ahol a szerszám a kerékhez ér.

A feszültségoptikai elemzéssel mért felületi deformáció helye összekapcsolható a kerekek maximális axiális ütésének helyével. A kerekek tengelyirányú alakváltozásának maximuma a maximális feszültségterülettel szemben (180°) mérhető.

Az additív gyártástechnológiák terjedése töretlen, melynek köszönhetően egyre több felhasználási területe válik ismertté. Bizonyos területeken történő használata viszont sok elővigyázatosságot igényel. Gyakori kérdés, hogy egészségügyi-, mechanikai- vagy szilárdsági szempontból milyen anyagokat és milyen technológiát érdemes használni. Ugyanígy komoly kérdés, hogy gazdaságilag mely esetekben éri meg ez a gyártási eljárás, ha más módszerekkel is előállítható ugyanez a darab.

5. IRODALOM

- [1] Mechanical Engineer's Handbook 2nd Ed [Wiley 1998]
- [2] J.W. Dally, W.F. Riley: Experimental Stress Analysis, 3rd ed. McGraw-Hill, New York, 1991.
- [3] Borbás, L.: Fotoelasztikus rétegbevonatos mérési módszer használata gépalkat-részek vizsgálatánál és az eredmények értékelési lehetőségei (in Hungarian). Gép, 1986. nov. pp 359...363.
- [4] Thamm, F., Borbás, L.,: Application of photoelastic coating at connecting points of bus under-carriage. IMEKO Congress on Experimental Stress Analysis, and 4th Danubia-Adria-Symposion. May 25-29./1987. Plzen. Proceedings: pp 71...76.
- [5] Borbás, L. Zsáry, Á.,: Untersuchung von geschweisten Fahrgestell –Knotenpunkten mittels des Spannungsoptischen Oberflächensichtverfahren. Österreichische Ingenieur und Architekten Zeitschrift. (ÖIAZ) 1988. 133.évf. 7.szám. pp 362...365.
- [6] Thamm, F., Borbás, L.,: Investigation of the optimum design junctions with re-spect to the welding procedure. Österreichische Ingenieur und Architekten Zeitschrift. (ÖIAZ) 1989. 134.évf. 7/8.szám. pp 415...418. Lovas L.: Öntőforma készítés 3D nyomtatással, GÉP 67: 7-8 pp. 13-16, (2016)