

## PORUŠOVÁNÍ JÍZDNÍ PLOCHY ŽELEZNIČNÍCH KOL

Jan KOUT, Rudolf KALOČ

Katedra provozní spolehlivosti, diagnostiky a mechaniky v dopravě

### 1. Prokázané skutečnosti

Pátráme-li po příčinách vzniku vad typu „vydrolenin“ na povrchu oběžné plochy železničního kola, lze s velkou jistotou vycházet z následujících pozorovaných, případně jinak prokázaných skutečností:

- a) Poruchy tohoto typu jsou lokální a při jejich výskytu jsou náhodně rozloženy na povrchu jízdní plochy v obvodovém pásmu kontaktu kola s kolejnicí.
- b) Vznik „vydrolenin“ je téměř výhradně zaznamenán u kol, která nejsou bržděna (případně jsou jen dobrždována) špalíkovými brzdami
- c) Rozvíjející se vada vesměs začíná u tzv. tvrdého místa (např. martenzit), přičemž podle dosavadních četných metalografických analýz se tento iniciátor (vesměs malých rozměrů) nachází v těsné blízkosti povrchu.
- d) Následná trhlina jako důsledek iniciace a všeobecného zatížení kola se šíří v povrchových vrstvách a v konečné fázi vyústí zpět napovrch, oddělujíc jistý objem materiálu (vydrolenin). U rozměrů oddělené části materiálu obvykle převládá rozměr ve směru obvodu kola. Hloubka porušení je determinovaná tvarem trhliny, přesněji řečeno trajektorií jejího čela, případně rozvětvenou trajektorií rozštěpené trhliny.
- e) Vznik tvrdého místa (martenzitu), který je při zvolené pracovní hypotéze pokládán za stěžejní příčinu vzniku poruchy, je podložen výpočtem možného vzniku povrchové teploty nad hodnotou  $A_{c_3}$  při reálných prokluzech kola, jehož důsledkem (podle [1]) je obvodové pronikání částic tenké povrchové vrstvy v prostředí tzv. kontaktní vrstvy jízdní plochy kola.
- f) Vznikající termický efekt je dějem periodickým v případě, že při odvalování kola dojde k opakovanému styku téže plošky, případně dějem neperiodickým, pokud k periodicitě styku (při obecnějším relativním pohybu kola vzhledem ke kolejnici) nedojde. Nelze vyloučit ani ojedinělý kontakt u téže plošky neopakovaný. Výše popsané alternativy shodně představují zdroj tepla, který po zániku plošky mizí a nastává nestacionární proces ochlazování v důsledku nestacionarity (nebo periodické změny). V důsledku malých zachvácených objemů materiálu budou rychlosti ochlazování podstatně větší nežli při kvazistatických (nevlnových) teplotních procesech šíření tepla v pevném prostředí. *Z hlediska tvorby základné struktury může být reálně dosaženo kritické ochlazovací rychlosti.*

- g) Nutno zdůraznit, že nelze vyloučit jiné druhy iniciátorů trhlin, jako lokální mechanické narušení povrchu, vměstkovité částice, případně tvrdé struktury vznikající v procesu obrábění jízdní plochy, kterýmžto procesem se utváří jistý stav mikrogeometrie povrchu (ten úzce souvisí s lokálními napěťovými stavy).

## 2. Vliv všeobecného zatížení v kontaktní ploše, na podmínky porušování povrchových objemů

Pokud jako pracovní metodu, pro posouzení porušení materiálu v kontaktní oblasti, použijeme smluvní model pro nějž je definována napjatost, je vhodné klasifikovat základní zatěžující děje takto:

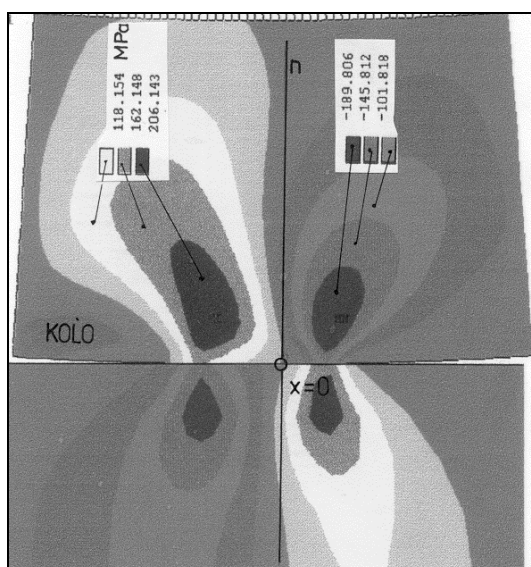
- zatížení statického charakteru
- zatížení impulzivní (ráz)
- zatížení cyklické (únavové)

Zatížení ad a), vesměs založené na elementární teorii Hertzově, poskytuje orientaci pro popis stavu napjatosti deformačně zachváceného kontaktního objemu. Aplikace dynamické Hertzovy [1] teorie, může poskytnout základní informace o době trvání rázového děje. V žádném případě však nerespektuje odvalovací děj v kontaktu. Klasické pojetí cyklického zatížení, kdy k porušení dochází vlivem postupných účinků mnoha zatěžujících cyklů, nemusí vyhovovat reálnému stavu odvalujícího se kola, jelikož periodicita zatížení konkrétní stykové plošky není zaručena. Nicméně pro teoretické vysvětlení příčin porušování mají zásadní význam postupy založené na numerickém modelování kontaktu při respektování cykličnosti zatížení a s použitím cyklického zákona přetvoření, např. ve tvaru

$$\epsilon_a = \frac{\sigma_a}{E} + \left( \frac{\sigma_a}{K} \right)^{\frac{1}{n}} \quad (1)$$

Uvedený vztah mezi amplitudami elastického a plastického přetvoření se součinitelem cyklického zpevnění  $K$  a exponentem cyklického zpevnění  $n$  byl použit v práci [2], která je významná tím, že matematický model respektuje postupné odvalování, na rozdíl od vesměs používaných modelů kolmého přitlačení povrchů proti sobě. V citované práci [2] byl použit programový systém ANSYS 5.4, přičemž styk oblastí je zprostředkován kontaktními prvky CONTAC 48 [3].

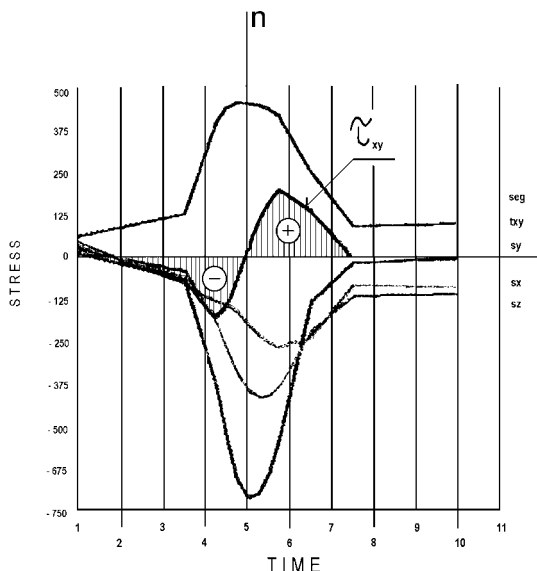
Výsledky studie [2] potvrzují známé závěry analytických řešení např. o existenci maximálního smykového napětí v podpovrchových vrstvách. Za klíčový poznatek však nutno považovat zjištění, že při odvalování dochází ke změně znaménka smykových napětí, takže jeho rozkmit je zhruba dvojnásobný proti stacionárnímu kontaktu.



**Obr.1** Izolinie smykového napětí  $\tau_{xy}$  (MPa)  
**Fig.1** The isoline of the shear stress  $\tau_{xy}$  (MPa)

Z podrobného rozboru ukázky výpočtů (obr. 1) plyne nesymetričnost deformační zóny kola vzhledem k normále  $n$ . Průběh napětí  $\tau_{xy}$  libovolného bodu v kontaktní oblasti, v závislosti na čase, má charakter uvedený na obr. 2.

Veškeré tyto výsledky podporují správnost představy o existenci tří základních pásem kontaktní zóny, tj. existenci pásma předstihu (P), přilnutí (L) a zpoždování (Z). Vzájemný poměr délek těchto tří pásem je pak proměnlivý a charakteristický pro kolo poháněné, brzděné a kolo prostě odvalované. V tomto smyslu by měly být revidovány představy o jednozonálních skluzových dějích.



**Obr. 2** Závislost smykového napětí  $\tau_{xy}$  na čase  $t$  (libovolného bodu v kontaktu)  
**Fig. 2** The shear stress-time relationship (of the arbitrary point in the contact area)

V pásmu (L) dochází ke změně znaménka smykového napětí, a je to zřejmě oblast obsahující extrémní hodnotu normálového tlaku  $p_{max}$ . V pásmu (P), nacházejícího se ve směru postupu kola, dochází k relativnímu pohybu částic ve směru postupu kola, v pásmu (Z) k pohybu částic proti směru postupu kola.

Představa tří zón v oblasti styku tvoří základ popisu fyzikálních jevů v kontaktní vrstvě, jelikož tomu musí odpovídat okrajové podmínky pro analytické úvahy, ze kterých lze odvodit vlivy jednotlivých parametrů na stav celé kontaktní oblasti. Později bude poukázáno např. na dominantní vliv délky pásma předstihu (P), na velikost součinitele tření, apod.

Inženýrský výpočet velikostí složek tenzoru napětí na základě teorie rovinné pružnosti může vycházet ze vztahů pro polorovinu:

$$\left. \begin{aligned} \sigma_y^\tau &= -\frac{2}{\pi} y^2 \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\tau(\epsilon)(x-\epsilon)}{[(x-\epsilon)^2 + y^2]^2} d\epsilon \\ \sigma_x^\tau &= -\frac{2}{\pi} \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\tau(\epsilon)(x-\epsilon)^3}{[(x-\epsilon)^2 + y^2]^2} d\epsilon \\ \tau_{xy}^\tau &= -\frac{2}{\pi} y \int_{-\infty}^{+\infty} \frac{\tau(\epsilon)(x-\epsilon)^2}{[(x-\epsilon)^2 + y^2]^2} d\epsilon \end{aligned} \right\} \quad (2)$$

Horní index  $\tau$  u složek napětí symbolizuje, že funkce  $\tau(\epsilon)$  vyjadřuje jen rozložení smykového napětí v kontaktní oblasti, tj. podél osy  $x$  ohraničující polorovinu ( $y = 0$ ). Podobně lze napsat vztahy pro složky tenzoru napětí v libovolném bodě poloroviny  $(x, y)$  pro známou funkci  $p(\epsilon)$ , tj. při jistém rozložení specifických tlaků podél kontaktu (osa  $x$ ). Obě funkce  $p(\epsilon)$ ,  $\tau(\epsilon)$  jsou vzájemně vázané, což lze teoreticky popsat různým způsobem, nejčastěji pomocí Coulombova zákona tření nebo pomocí hydrodynamické teorie apod. V dalším se zaměříme na vliv rozložení napětí  $\tau$  a  $p$  na stykové plošce, při předpokládané existenci stálého součinitele tření  $f_0$ . Řešením rovnic typu (2) a při linearizovaném průběhu funkce  $\tau(\epsilon)$ , viz obr. 3, obdržíme závislost (3).

$$\frac{\tau_{\max}}{\rho_{\max}} = \frac{8}{\pi} f_0 \left[ \eta \operatorname{arctg} \frac{1}{\eta} - 2\eta \operatorname{arctg} \frac{0,5}{\eta} + \ln \frac{1+\eta^2}{0,25+\eta^2} \right] + \frac{1}{\pi} \eta \ln \frac{\eta^2+1}{\eta^2} \quad (3)$$

Vztah (3) platí pro:  $\xi = \frac{x}{b} = 0$  a  $\frac{L_p}{2b} = 0,5$

kde:

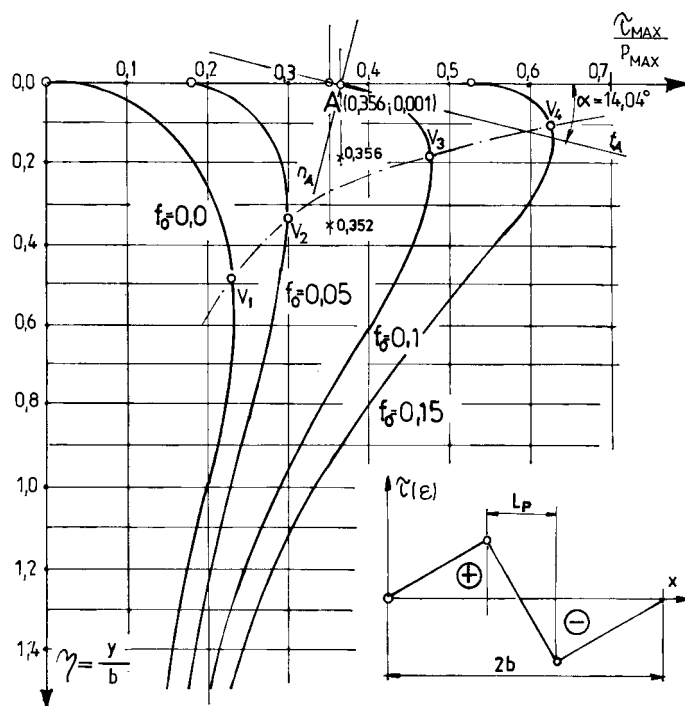
- 2b ..... délka dotykové oblasti ve směru tečném,
- $L_p$  ..... délka zóny L (pásmo přilnutí),
- $\eta$  ..... bezrozměrný faktor určující hloubku, ve které je  $\tau = \tau_{\max}$ .

Platí, že  $\eta = y/b$ , přičemž  $y$  je souřadnice ve směru normály k povrchu poloroviny ( $y \perp x$ ).

Grafická interpretace rovnice (3) je uvedena na obr. 3. Z průběhů křivek s parametrem  $f_0$  je zřetelně vidět, že se vzrůstající hodnotou součinitele  $f_0$  roste hodnota  $\tau_{\max}/\rho_{\max}$  a její extrém se přibližuje k povrchu ( $\eta \rightarrow 0$ ). Na základě provedeného řešení lze rovněž prokázat, že stejným efektem působí i zkracující se délka pásma přilnutí, tj. délka  $L_p$ .

Pro další úvahy je nezbytné si povšimnout, že nejrychlejší nárůst napětí  $\tau_{\max}$  je pro  $\eta = 0$ , tj. na povrchu a je v podstatě nezávislý na hodnotě  $f_0$ . V oblasti poklesu hodnoty  $\tau_{\max}$ , tj. pod spojnicí vrcholů  $V_{1,2,3,\dots}$ , je pokles podstatně mírnější a všechny křivky směřují k limitní hodnotě  $\tau_{\max}$ .

Je zřejmé, že průběh popisovaných závislostí bude ovlivněn dalšími faktory, zejména průběhem samotných funkcí  $\tau(\epsilon)$  a  $p(\epsilon)$ . Nicméně numerickým řešením bylo prokázáno, že charakter závislostí  $\tau_{\max}/\rho_{\max}$  zůstává zachován.



**Obr. 3** Průběh závislostí  $\tau_{\max}/\rho_{\max} = f(\eta)$  pro různé hodnoty parametru  $f_0$   
**Fig. 3** The  $\tau_{\max}/\rho_{\max} = f(\eta)$  relationship for the various value of the parameter  $f_0$

### 3. Kontaktní vrstva

Z fyzikálního hlediska je zřejmé, že tenká kontaktní vrstva je prostředím, jehož vlastnosti mohou rozhodujícím způsobem ovlivnit životnost jízdní plochy kola. Zplastizovaná, a v důsledku toho, zpevněná kontaktní vrstva prokazatelně vykazuje různé hodnoty pevnostních vlastností. Tyto značně rozptýlené vlastnosti,

kvantifikované např. mikrotvrdoostí, jsou vesměs vysvětlovány vadami krystalické struktury, které podle [6] jsou z makroskopického hlediska nazývány „prioritními defekty“. V podstatě jde o jemné trhlinky, vyskytující se na povrchu [7], které po odstranění znamenají podstatné zvýšení odolnosti povrchu proti poškození (viz např. experimenty podle Joffeho [6] s krystalem kamenné soli). Významný vliv na pevnost materiálu má také přítomnost povrchově aktivních látek v okolním prostředí, které jsou schopné absorpce, což vyvolává značné snížení povrchové energie (Griffithova představa). Povrchové částice pronikají stále hlouběji do povrchových vrstev a tak vytvářejí systém vlasových trhlin. Jedná se o iniciátory vad, které lze odstranit relativně snadno. Komplikovaněji působí iniciátory typu vměstků, nehomogenity materiálové a nehomogenity geometrické (faktory obrábění). Mezi materiálové nehomogenity nutno zařadit zejména „tvrdá místa“, např. malé objemy martenzitických struktur; takové struktury byly na povrchu provozovaných kol bezpečně prokázány. Je vážnou otázkou, zda preventivní odstranění těchto iniciátorů nebylo u železničních kol potlačeno odstraněním špalíkového brzdění.

V kontaktní vrstvě se tedy zákonitě vytváří soubor defektů, čímž vzniká značná materiálová nehomogenita. V této souvislosti stojí za poznámku, že pokusy o numerické modelování styku kolo-kolejnice, zejména prosazované v úvahách o opotřebení, jsou problematické; např. i volba speciálních typů kontaktních elementů při použití metody MKP je zavádějící, jelikož jev kontaktu je popisován vlastnostmi prvků, nikoli vlastnostmi skutečných struktur materiálu.

Podle teorií lomové mechaniky se předpokládá existence fenoménu nejnebezpečnějšího defektu, přičemž je problém zpracováván statisticky, z důvodů stochastického rozdělení defektů. U plastických materiálů je situace složitější ve srovnání s představami vzniku křehkého porušení. V procesu plastizace totiž dochází zákonitě ke změně velikosti defektů a jejich orientaci, takže individuální objemové elementy povrchové vrstvy se stávají vzájemně závislé.

Z pragmatických důvodů dále přistoupíme k inženýrské úvaze o existenci kontaktní vrstvy, tj. budeme ji charakterizovat její tloušťkou  $h_{pl}$  s představou, že se jedná o tzv. „primární plastizaci“. Tímto způsobem bude vytvořen model pro představu prostředí iniciátorů trhlin, které se dále šíří do podpovrchových oblastí věnce kola.

Nechť je rozměr kontaktní plošky ve směru osy  $x$  dán hodnotou  $2b$ . Uvažujeme-li rovnováhu sil ve směru osy  $x$ , pak lze pro interval  $-b \leq x \leq +b$ , a za předpokladu existence zmíněné tenké kontaktní vrstvy ( $h_{pl}$ ), přijmout předpoklad, že  $dy \approx dx$  ( $y \perp x$ ).

Rovnice rovnováhy

$$\frac{\partial \sigma_x}{\partial x} + \frac{\partial \tau_{xy}}{\partial y} = 0$$

dává podle [5] možnost odvodit vztah

$$\sigma_y = p_{\max} \left(1 - \xi^2\right)^{2f_{stř}} \frac{b}{h_{pl}} \quad (4)$$

Na základě pokusů, ověřených fotoelasticimetrickými modely, byla odvozena empirická rovnice

$$\frac{p_{\max}}{p_{stř}} = 1 + 5,34f_{stř} \quad (5)$$

V rovnicích (4) a (5) jsou  $p_{\max}$  a  $p_{stř}$  specifické tlaky ve styku,  $f_{stř}$  je střední hodnota součinitele tření a  $\xi = x / b$ . V intervalu  $-b \leq x \leq +b$  lze rovnici (4) linearizovat tvarem

$$\frac{p_{\max}}{p_{stř}} = 1 + 0,835f_{stř} \frac{b}{h_{pl}} \quad (6)$$

Z rovnic (5) a (6) vyplyne elementární podmínka

$$h_{pl} = 0,156 \cdot b \quad (7)$$

Hodnotu  $b$  můžeme orientačně stanovit podle [8] pomocí vztahu

$$b = \left[ \left( 5,5 + 8 \ln \frac{b_{\max}}{p_{stř}} \right) \frac{p_{stř}}{E} \frac{2(1-\mu^2)}{\pi} \right] R \quad (8)$$

Pro  $\mu = 0,3$ ;  $E = 2,1 \cdot 10^{11}$  Pa;  $p_{\max} / p_{\text{stř}} = 1,6$ ;  $p_{\text{stř}} = 6,0 \cdot 10^8$  Pa;  $R = 0,46$  m obdržíme dle (8) hodnotu  $b = 7,1 \cdot 10^{-3}$  m a konečně dle (7) hodnotu  $h_{\text{pl}} = 1,108 \cdot 10^{-3}$  m.

#### 4. Prognóza o charakteru šíření trhliny ve věnci kola

Na základě předpovědi tloušťky tzv. kontaktní vrstvy lze vymezit oblast iniciace a oblast šíření trhliny. Zkušenosti ukazují, že rozvíjející se trhlina má vždy tendenci orientovat svůj směr pod malým úhlem vzhledem k povrchu kola a v jisté hloubce neproniká radiálně. Další šíření ve směru obvodovém je vesměs přerušeno vylomením jisté objemové části materiálu a vzniká tak vada nazývaná „vydrolenina“.

Podle dislokační teorie je známo, že se, při definované hodnotě tenzoru napětí v daném bodě, dají explicitně určit hodnoty síly pro každou kombinaci hnacího účinku trhliny v příslušné kluzové rovině. Potom kombinace obsahující nejintenzivnější pole napětí, bude určovat systém, kterým se nejpravděpodobněji realizuje plastická deformace jakožto základní podmínka šíření trhliny. Extrémní hodnota tenzoru napětí bude zřejmě prezentována hodnotou  $\tau_{\max}$ . Podle obr. 3 odpovídají této hodnotě napětí body  $V_{1,2,3,\dots}$ , ležící na čáře, která odděluje oblast nárůstu hodnoty  $\tau_{\max}$  od oblasti podstatně mírnějšího poklesu hodnoty  $\tau_{\max}$ . Charakter průběhů je v podstatě invariantní k parametru  $f_0$  ( $f_0 \equiv f_{\text{stř}}$ ).

Sledujeme-li např. průběh s hodnotou  $f_0 = 0,1$  má  $\eta$ , odpovídající bodu  $V_3$ , hodnotu 0,21. Při  $b = 7,1$  mm (podle vztahu (8)) je maximální hodnoty  $\tau_{\max}$  dosaženo v hloubce  $y = b \cdot \eta = 1,49$  mm. Při srovnání s vypočtenou hodnotou  $h_{\text{pl}} = 1,108$  mm zjišťujeme, že se trhlina šíří pod kontaktní vrstvou. Při větších hodnotách  $L_p$  (délka zóny přilnutí), budou souřadnice bodů  $V_{1,2,3,\dots}$  dosahovat větších hodnot. Nicméně, nelze ovšem vyloučit ani šíření trhliny v menších hloubkách, zejména při větších hodnotách součinitele tření  $f_0$ .

Důvod, proč šířící se trhlina nemá tendenci trvale směřovat šikmo pod povrch, můžeme spatřovat v tom, že pod body  $V_{1,2,3,\dots}$ , (obr. 3) je gradient napětí  $\tau_{\max} = f(\eta)$  podstatně menší. Naproti tomu v oblasti povrchu, kde  $\eta \rightarrow 0$ , je hodnota gradientu napětí největší (obr. 3). Fyzikálně je tedy velmi pravděpodobné, že hodnota gradientu  $\tau_{\max} = f(\eta)$  je co do směru *kritériem hnacího účinku trhliny*. Extrémní hodnota gradientu v blízkosti povrchu je potom určujícím parametrem počátečního směru šíření trhliny. Např. podle (3) pro  $\eta = 0,001$  (povrchová oblast) a pro  $f_0 = 0,1$ , svírá normála funkce  $\tau_{\max} = f(\eta)$  v bodě  $A(0,356; 0,001)$  s normálou  $n$  k povrchu kola, úhel

$$\alpha = \arctg \frac{0,001}{0,004} = 14,04^\circ$$

Tato teoretická úvaha vede ke tvrzení, že by sklon trhliny v počátku jejího šíření měl odpovídat hodnotě  $\alpha$ .

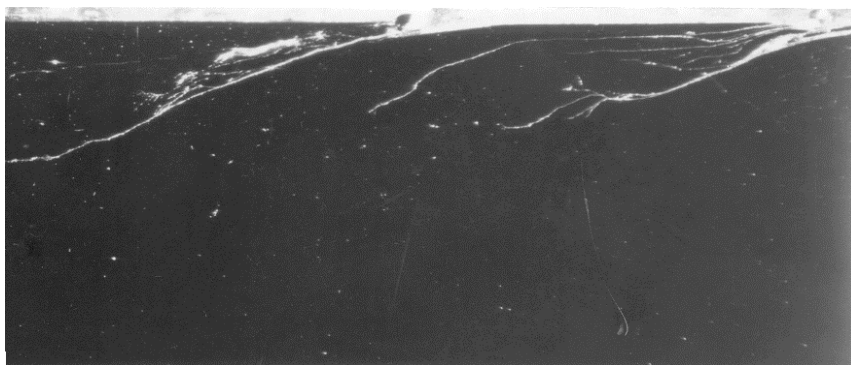
Obrat trhliny směrem vzhůru (k povrchu kola) po dosažení maximální hloubky zřejmě odpovídá procesu následného vydrolení objemu materiálu při kontaktním únavovém procesu, který vzniká cyklickým zatížením trhlinou narušeného povrchu, kolovou silou. Morfologii povrchu lomové plochy po tomto vylomení lze stěžejně na skutečných kolech z provozu studovat, jelikož jsou vesměs jistou dobu provozována i po vzniku vydroleniny.

#### 5. Metalografické posouzení porušeného železničního kola

Obruč železničního kola, z materiálu B5T dle vyhlášky UIC 810 – 1, provozovaná cca 200.000 km, byla podrobena metalografickému posouzení, za účelem stanovení pravděpodobných příčin vzniku porušení jízdní plochy vydrolením. Metalografické výbrusy byly zhotoveny z podélného výřezu obruče kola.

Na obr. 4 je makrosnímek podélného (obvodového) řezu, na němž jsou dokumentovány rozvinuté trhliny, iniciované na povrchu jízdní plochy. Jak je z obrázku patrné, všechny sledované trhliny vychází z míst povrchu, který je porušen, resp. z míst v nichž jsou „vydroleniny“. Hloubka levé magistrální trhliny činí cca 2,5 mm, pravé magistrální trhliny asi 1,8 mm. Úhly normál směru šíření magistrálních trhlín na jejich počátku, s normálami k povrchu jízdní plochy, nabývají hodnot  $\alpha = 10\text{--}12^\circ$ , což velmi dobře koresponduje s vypočtenou hodnotou úhlu  $\alpha$  (viz kap. 4).

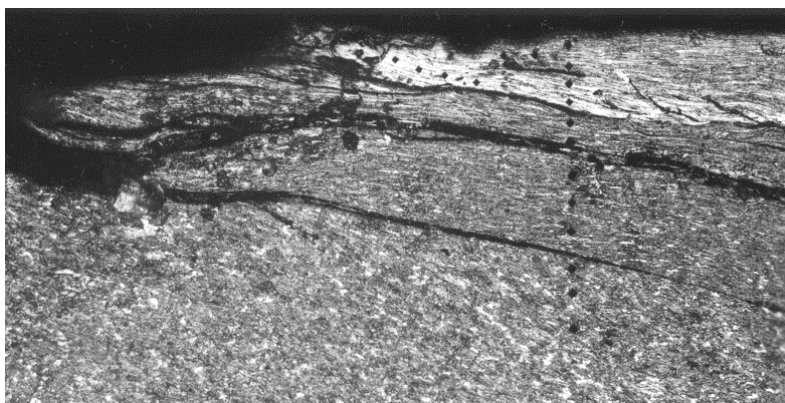
Pozornosti čtenáře by neměla uniknout ani oblast konců magistrálních trhlín, která pro tento konkrétní případ odpovídá, s největší pravděpodobností, okamžiku, kdy se magistrální trhliny začínají „obracet“ zpátky k povrchu kola. Nutno však důrazně upozornit na to, že další šíření do materiálu kola nebo rozvětvení magistrálních trhlín je rovněž pravděpodobné.



**Obr. 4** Trhliny v materiálu kola (zvět. 10x)

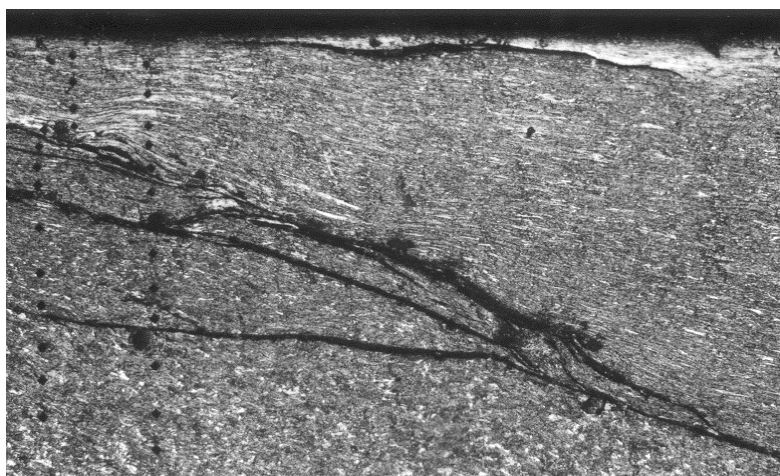
**Fig. 4** The cracks in the material of the wheel (blow up 10 times)

Na obr. 5 je dokumentován detail porušení jízdni plochy (vydrolenina v levém horním rohu). Z tohoto místa prvotního porušení se šíří trhliny pod povrch kola. Výrazně světlá část mikrostruktury (pravá horní část snímku), vykazující markantní plastickou deformaci v podélném směru (vzhledem ke kolu, ve směru obvodovém), má hodnoty mikrotvrlosti HV 0,05, které odpovídají mikrostruktuře tvořené listovým martenzitem. V této souvislosti je třeba poznamenat, že základní struktura materiálu obruče po jejím tepelném zpracování je tvořena z perlitické hmoty; perlit je lamelární, středně hrubý. Vyloučený ferit v základní hmotě tvoří slabé, neúplné síťoví, které náznakově uzavírá nestejněměrné perlitické útvary. Velikost zrna odpovídá ze 60 % č. 7 a zbytek č. 8. *Nejedná se tedy, a priori, o ocel tepelně zpracovanou na tvrdou strukturu.*



**Obr. 5** Šíření trhlin v materiálu kola (zvět. 125 x)

**Fig. 5** The cracks propagation in the material of the wheel (blow up 125 times)



**Obr. 6** Šíření trhlin v materiálu kola, pokračování obr. 5 (zvět. 125 x)

**Fig. 6** The cracks propagation in the material of the wheel, continue of Fig. 5 (blow up 125 t.)

Na obr. 6, který je (v obvodovém směru) pokračováním obr. 5, stojí za pozornost „tvrdé místo“ na povrchu obruče, které bylo iniciátorem rozvíjející se trhliny. „Tvrdé místo“ zasahuje oblast o délce cca 0,18 mm a hloubce asi 0,012 mm. Střední část obrázku, z hlediska geneze porušování, představuje místo sloučení dříve rozvětvených trhlín, do pokračující magistrální trhliny.

## 6. Shrnutí

Z dosavadních, provedených metalografických pozorování je zřejmé, že iniciátorem, resp. prvotní příčinou, vzniku poškození jízdní plochy železničních kol, jsou martenzitické struktury vzniklé v malých objemech materiálu kola.

Co se týče potlačení tohoto jevu, je z provozních hledisek nezbytné zamezit vzniku martenzitických struktur (problémy skluzů) nebo dát jednoznačnou odpověď na eventuální pozitivní účinek tepla, které vzniká třecím účinkem špalíků brzd, a které zhoršuje podmínky vzniku martenzitických zárodků v jejich samém počátku.

Otázky materiálové v předkládaném příspěvku neprobíráme, neboť materiál kol a obručí je v současné době předepsán vyhláškou UIC. Nicméně lze říci, že i v této oblasti nejsou vývoj a opatření u konce.

K samotnému fenoménu šíření vzniklých trhlín v materiálu železničního kola je třeba říci, že ve většině případů nemusí hrozit akutní nebezpečí pokračujícího šíření trhlín do podpovrchových oblastí jízdní plochy, a že popisované vady budou převážně vadami typu „vydrolenin“. Nelze však vyloučit, že v jisté fázi proniknutí trhliny do podpovrchových vrstev nedojde, vlivem **dalšího nového iniciátoru**, k pokračujícímu šíření, i např. magistrální trhliny, v radiálním směru; (tento jev je zřejmě podstatně méně pravděpodobnější, nicméně fyzikálně možný).

## 7. Připravovaný experimentální výzkum

S ohledem na, v předchozích kapitolách, vyjádřený pohled na problematiku porušování jízdních ploch železničních kol docházíme k těmto závěrům:

- 1) stěží lze očekávat další upřesnění celého děje porušování cestou provozního sledování. Je totiž téměř vyloučeno studovat tímto způsobem otázky geneze porušení.
- 2) jelikož se jedná o jevy v povrchových vrstvách materiálu kol, kde je značná materiálová nehomogenita, je nezbytné realizovat experimenty na skutečných površích zatěžovaných reálnými silami a za existence reálných skluzových poměrů; toto přesvědčení autorů příspěvku, vedlo k projektu a realizaci nového typu zkušebního zařízení, na kterém se modeluje proces kontaktu odvalujícího se kola, oscilačním principem, při nastavených všeobecných skluzových podmínkách (příčný skluz, podélný skluz, spinová rotace). Další a ještě ucelenější studium geneze porušování jízdního povrchu kol, bude možno realizovat až po dobudování rotačního zkušebního zařízení v laboratořích DFJP.
- 3) problémy odstraňování iniciátorů ve formě lokálních tvrdých struktur, budou experimentálně ověřovány na vzorcích vložených do speciálního zařízení s tzv. *tepelnými sondami*, za účelem studia rozpadu nestabilních tvrdých struktur v podmínkách nestacionárního teplotního děje, kterým je modelován periodický účinek tepla od brzdění špalíkovou brzdou

Lektoroval: Doc. Ing. Vladimír Humen, CSc.

Předloženo v květnu 2001.

## Literatura

- [1] Brepta, R., Prokopec, M.: Šíření napěťových vln a rázy v tělesech, Academia Praha, 1972.
- [2] Petruška, J.: Deformačně-napěťové poměry v kontaktu železničního kola a kolejnice, Zpráva o řešení úkolu pro ŽDB Bohumín, Brno, prosinec 1998.
- [3] ANSYS – Structural Nonlinearities, Rev. 5s, Swanson Analysis Systems, 1992.
- [4] Durelli, A., Phillips, A., Tsao, G.: Introduction to the Theoretical and Experimental Analysis of Stress and Strain, Mc Graw-Hill Book Company, Inc., New York, 1958.
- [5] Polužin, V. a kol.: Naděžnost' i dolgověčnost' valkov cholodnoj prokatki, Metalurgija, Moskva, 1971.



- [6] Mazanec, K.: Mechanické vlastnosti kovů, Skripta VŠB Ostrava, duben 1968.  
[7] Kaloč, R.: Ověřování vlastností železničních kol, Hutnické aktuality, roč.22, č.6 VÚHŽ Dobrá, 1981.

### Resumé

#### **PORUŠOVÁNÍ JÍZDNÍ PLOCHY ŽELEZNIČNÍCH KOL VYDROLOVÁNÍM**

Jan KOUT, Rudolf KALOČ

Systematickým sledováním bylo zjištěno, že počáteční iniciace trhlin na oběžné ploše kol je způsobena různými iniciátory. Tyto jsou rozprostřeny podél obvodu jízdní plochy kol. Směr trhlin odpovídá liniím skluzů, které korespondují se stavem kontaktního zatížení mezi kolem a kolejnicí. Na základě metalografického průzkumu lze říci, že velká část počátečních trhlin je indikována malými objemy martenzitu, které vznikají v povrchové vrstvě jako důsledek skluzových dějů. Předložený článek předkládá zjednodušenou teorii umožňující vyslovit názor na predikci rozvoje poruch, zvláště poruch typu vydrolenina.

### Résumé

#### **LES DÉFAUTS SUPERFICIELLES DES ROUES DE CHEMINE DE FER NOMMÉS LES ÉCAILLAGES**

Jan KOUT, Rudolf KALOČ

Les observations courant montrent que la fissuration initiale dans la surface portante des roues de chemine de fer est initiée par les indicateurs hétérogènes. Celui-ci sont disloquées sur toute la circonférence des roues. La direction des fissures correspond aux lignes de glissement sous la charge entre les roues roulantes et la voie. Par les observations métallographies on peut dire que la plupart des fissures est indiquée par les indicateurs en forme de martensite qui se produit dans la surface superficielle des roues comme conséquence de glissement. Cet article présente la hypothèse simplificatrice en ce qui concerne de la prédiction de propagations des défauts superficielles, surtout les écaillages.

### Summary

#### **THE DAMAGE TO RAILWAY WHEEL RUNNING SURFACE BY CRUMBLING**

Jan KOUT, Rudolf KALOČ

The purpose of the article is to acquaint the technologically oriented public with the causes and laws governing the occurrence and development of defects which appear in the form of crumbled spots on the running surface of railway wheels. These defects most likely occur as a result of the existence of initiators in the upper layer of the running surface. The propagation of these defects in the form of oblique cracks is influenced especially by the general force effects in the wheel-rail contact area. The slids accompanying this action may be the cause of local martensitic structures (hard spots). Initiators of this type along the circumference of wheel running surface have been metallographically proven. Based upon a numeric calculation, we can presume a strong impact of shear forces in the contact area. As a result of the process of rolling, these forces change the plus-minus sign along contact and cause the asymmetric character of radial load related to the contact normal. This proves the incorrectness of the idea of so called single zone slid range. Based upon the analysis of stress, provided the formation of plastificated and hardened contact layer, the opinion was uttered on the laws which govern the considered defect propagation. In the conclusion, the article underlines the necessity of ongoing experiments which have been prepared in the Czech Republic with the help of specifically developed testing equipment.