

# „ZKROUCENÉ“ BRZDOVÉ KOTOUČE A DALŠÍ MÝTY O BRZDOVÉM SYSTÉMU

Carroll Smith  
translated by BRunner

## MÝTUS # 1 – CHVĚNÍ BRZD A VIBRACE JSOU ZPŮSOBENY KOTOUČI, KTERÉ SE ZKROUTILY V DŮSLEDKU VYSOKÝCH TEPLŮT.

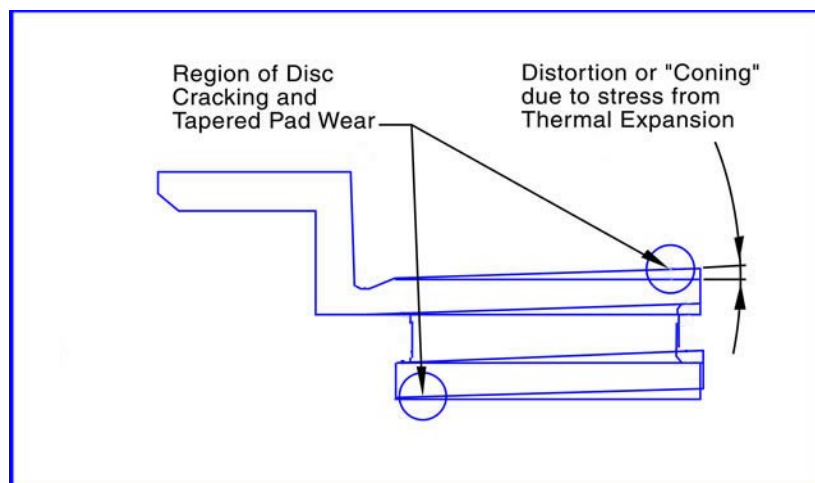
Termín „zvlněný/zkroucený brzdový kotouč“ byl obecně používán v motoristickém sportu po desetiletí. Když řidič při intenzivním brzdění zjistí vibrace, nezkušená obsluha po kontrole (a nenalezení) trhlin, většinou přisoudí vibrace „zvlněným kotoučům“. Poté změří tloušťku kotouče na různých místech, naleznou výrazné rozdíly a diagnóza je dána.

Když se na scéně objevili brzdové kotouče pro sportovní vozy začali jsme o „zkroucených kotoučích“ slyšet také u vozidel pohybujících se v běžném provozu. S touto samou analýzou a diagnózou. Typicky se problém odstraní srovnáním kotoučů na soustruhu a stejně typicky, po relativně krátkém čase, jsou nerovnosti a vibrace zpět. Nerovnost kotoučů způsobila, že značné množství vozidel bylo v rámci záruky vráceno výrobcí. Takto to chodí po desetiletí dodnes. A stejně jako většina věcí, které považujeme za dané, tato diagnóza je špatná.

S předpokladem, že náboj a příruba disku jsou rovné, v dobrém stavu a že šrouby nebo matka kola jsou v dobrém stavu, správně namontované a rovnoměrně utažené ve správném pořadí doporučeným utahovacím momentem, tak za 40 let profesionálního závodění, včetně Shelby/Fordů GT 40 (jeden z nejintenzivnějších programů vývoje brzd v historii vůbec), jsem se nikdy nesetkal se zkroucenými brzdovými kotouči. Viděl jsem mnoho prasklých kotoučů (obr. 1), kotouče lichoběžníkově zdeformované při pracovních teplotách, kvůli pevně uchyceným třmenům (obr. 2), několik, kde se brzdná plocha propadla mezi vnitřní výztuhy (obr. 3) a nesčetné množství kotoučů s materiálem destiček naneseným na brzdné ploše (obr. 4) – někdy viditelným, ale častěji ne.



Obr. 1 – prasklý kotouč



Obr. 2 – deformace kotouče



Obr. 3 – propadlé brzdné plochy



Obr. 4 – nepravidelné nánosy materiálu destiček na kotouči

Ve skutečnosti, každý případ „zkroucených kotoučů“, který jsem zkoumal, ať již na závodním nebo normálním voze se ukázal být způsobený nerovnoměrně usazeným materiálem brzdové destičky na povrchu kotouče. Tento nerovnoměrný nános je důsledkem lokálního přehřívání, které nastává při zvýšených teplotách a je příčinou nepravidelné tloušťky nebo házení kotouče.

Abychom si mohli objasnit, co se vlastně děje, krátce prozkoumáme princip brzdných sil v systému kotoučových brzd.

## PRINCIP BRZDNÉHO TŘENÍ

Tření je mechanismus, který mění pohybovou energii na teplo. Stejně jako jsou dva druhy tření mezi pneumatikou a povrchem silnice (mechanická přilnavost nepravidelností silničního povrchu k pružné směsi a transientní molekulární adheze mezi gumou a silnicí, při které je guma přenášena do povrchu vozovky), tak zde jsou dva velice rozdílné druhy brzdného tření – abrazivní tření a adherentní tření. Abrazivní tření znamená, že jsou přerušeny krystalické vazby v materiálu destičky i v litině brzdového kotouče. Rozbíjení těchto vazeb generuje teplo vzniklé třením. U abrazivního tření jsou tedy krystalické vazby v materiálu destičky (a v menší míře materiálu kotouče) nevratně narušené. Tvrdší materiál obrušuje měkčí (předpokládáme, že kotouč obrušuje destičku). Destičky, které fungují primárně na abrazi se více zahřívají a mají tendenci vadnout při vysokých teplotách. Když tyto destičky překročí svůj použitelný teplotní limit, začnou náhodně a nepravidelně ukládat svůj materiál na povrch kotouče. Právě tento „přenos“ na povrch kotouče způsobuje jak nepravidelnou tloušťku naměřenou technikou, tak chvění a vibrace při brzdění, které hlásí jezdci.

S adherentním třením se část materiálu destičky rozptýlí na rozhraní mezi destičkou a kotoučem a vytvoří velice slabou, jednolitou vrstvu materiálu destičky na povrchu kotouče. Nyní mají třecí plochy kotouče a destičky v podstatě stejné složení, materiál se může přenášet v obou směrech a vazby se rozpadají a znovu formují. V podstatě, při adherentním tření mezi kotoučem a destičkou jsou vazby mezi destičkou a vrstvičkou materiálu destičky na kotouči přechodné – ustavičně se rozpadají a některé zase obnovují.

Při brzdění neexistuje něco jako čistě abrazivní nebo čistě adherentní tření. Materiál destiček musí být dostatečně abrazivní, aby udržel povrch kotouče hladký a čistý. Jak materiál přechází mezi destičkou a kotoučem, vrstva na kotouči se neustále obnovuje a udržuje jednodušnost – ovšem pouze za předpokladu, že destička i kotouč byly kompletně a správně zahořeny a nebyl překročen teplotní limit destičky. V druhém případě, pokud nebyla vytvořena jednolitá vrstvička na povrchu kotouče v průběhu formování nebo zahoření, se může během provozu při vysokých teplotách vyskytnout lokální nebo nekontrolovaný přenos materiálu. Organické a polokovové destičky používané v minulosti byly více abrazivní než adhezivní a byly silně teplotně limitované. Všechny závodní destičky současné „metalicko-uhlíkové“ generace využívají stejně jako mnoho destiček pro vyšší třídu běžných vozidel především adherentní technologii, a jsou tepelně stabilní v mnohem větším rozsahu teplot. Bohužel nic není zadarmo a závodní destičky pro extrémní teploty nejsou efektivní při teplotách nízkých, se kterými se setkáváme v běžném provozu.

Proto tedy neexistuje nic jako ideální „všestranná“ brzdová destička. Třecí materiál, který je tichý a funguje při relativně nízkých teplotách po městě nezastaví vozidlo při agresivní jízdě. Pokud zkusíte agresivní jízdu s většinou vozidel s originálními destičkami, zažijete vadnutí destiček, přenos třecího materiálu a vaření brzdové kapaliny - bez diskuze. Skutečná závodní destička použitá v normálních podmínkách pak bude hlučná a nebude správně fungovat při nízkých teplotách.

Abychom neskončili se skřípajícími brzdami, které vůz téměř nezastaví při jízdě po městě nebo s uvádajícími destičkami na dráze, případně při rychlé jízdě z kopce, měli bychom

ideálně před tím než si dopřejeme energický automobilový zážitek, destičky měnit. To nikdo nedělá. Zůstává otázka, jaké destičky se mají používat u sportovních vozů – relativně nízkoteplotní běžné destičky nebo vysokoteplotní závodní destičky? Docela překvapivě, podle mého názoru, odpovědí jsou sportovní destičky s dobrými charakteristikami při nízkých teplotách. Důvod je jednoduchý: pokud jedeme opravdu agresivně a začneme se dostávat do problémů, ať už v důsledku vadnutí destiček nebo vařící se kapaliny (nebo obojího), podmínky se mění dostatečně pozvolně, aby nám dovolily jednoduše přizpůsobit styl jízdy a změny tak kompenzovat. Na druhou stranu, pokud se vyskytne nouzová situace když jsou brzdy studené, vysokoteplotní destičky auto prostě nezastaví. Jen pro příklad : v průběhu poloviny šedesátých let, jsme u Shelby American nepoužívali Mustangy GT 350 nebo GT 500 jako služební vozy jednoduše proto, že byly vybavené závodními destičkami Raybestos M-19 a žádná z našich žen, nedokázala sešlápnout brzdový pedál dostatečně silně, aby vůz zastavila v běžném provozu.

Bez ohledu na složení destiček, pokud nejsou kotouče a destičky správně zahořené, se přenos materiálu mezi nimi může odehrávat náhodně – následkem jsou nerovnoměrné nánosy a vibrace při brzdění. Podobně, i když jsou brzdy správně zaseté, pokud jsou velmi horké nebo po jednom dlouhém brzdění z vysoké rychlosti zůstanou aplikované i po úplném zastavení, může na kotouči zůstat usazenina, která vypadá jako obrys destičky. Tento druh usazeniny se nazývá otisk destičky (obr. 5) a vypadá jako by destička byla namočená do barvy jako razítko a přitisknutá na povrch kotouče. Můžeme vidět perfektní obrys destičky na disku.



Obr. 5 – Otisk brzdové destičky na kotouči

A bude hůř. Litina je slitina železa a křemíků s roztroušenými částicemi uhlíku. Při zvýšených teplotách se přítomné karbidy začnou formovat do mřížky. V případě brzdových kotoučů se každý nepravidelný nános – vyčnívající z povrchu kotouče – zahřívá víc než okolní kov. Pokaždé, když se čelní hrana některé usazeniny dostane rotací do kontaktu s destičkou, lokální teplota se zvýší. Když tato teplota dosáhne 650 - 700°C, litina pod usazeninou se začne měnit na cementit (karbid železa, ve kterém se tři atomy železa sloučí s jedním atomem uhlíku). Cementit je velmi tvrdý, velmi abrazivní a špatně odvádí teplo. Pokud toto nevhodné použití pokračuje, systém vstoupí do sebedestruktivní spirály – množství a hloubka cementitu se zvětšuje se zvyšující teplotou a stejně tak nerovnost kotouče. Čert aby to vzal!

## PREVENCE

Existuje pouze jediná cesta jak se tomu vyhnout – dodržení vhodných zahořovacích procedur jak pro destičky, tak pro kotouče a použitím správných destiček pro vaše podmínky a způsob jízdy. Všechny sportovní destičky a kotouče od třetích výrobců by měly přijít s instalačními i zahořovacími pokyny. Postupy jsou mezi výrobci velmi podobné. S ohledem na destičky, musí být pojící pryskyřice vypalována relativně pomalu, aby se zabránilo jak vadnutí, tak nepravidelným usazeninám. Postup spočívá v několika zbrzděních se zvyšující se intenzitou s krátkou pauzou mezi nimi kvůli ochlazení. Pro sportovní destičky tuto práci typicky udělá deset stále intenzivnějších zbrzdění ze 100 km/h na 10 km/h s normálním zrychlením mezi nimi. Během zahořování destiček nebo kotoučů nedojde k úplnému zastavení vozu, takže si s ohledem na sebe a na bezpečnost ostatních naplánujte, kde budete tuto proceduru provádět. Pokud dojde k úplnému zastavení, dříve než je procedura dokončena, může dojít k nerovnoměrnému přenosu materiálu destiček nebo k otisku destičky a výsledkem je to čemu se celý tento postup snaží zabránit. Konec hry.

Pokud jde o intenzitu brzdění, k aktivaci ABS typicky dochází okolo 0,9G a výše v závislosti na vozidle. Co chcete je míra brzdění okolo 0,7 – 0,9G. To je decelerace těsně pod úrovní zablokování kol nebo zásahu ABS. Při pátém až sedmém zbrzdění by jste měli začít cítit destičky a pach by měl zeslábnout před posledním cyklem. Na hraně destičky by se měla objevit zaprášená šedá oblast (vlastně na hraně třecí části, která je v kontaktu s kotoučem – ne na podpůrné desce), kde se pálí barva a pojící pryskyřice destičky. Když je šedá oblast destiček hluboká asi 3mm, destička je zahořená.

Pro závodní destičky bude obvykle potřeba čtyř zbrzdění ze 130 km/h na 10 km/h a dvou ze 160 km/h na 10 km/h, kvůli zvednutí teploty do pracovního rozsahu pro který byl materiál destičky navržen v průběhu zahoření. Poté může vysokoteplotní materiál vytvořit svoji vrstvu na povrchu kotouče celistvě a rovnoměrně.

Naštěstí je tato procedura prospěšná také kotoučům a odstraní veškeré zbytkové tepelné napětí, které zbylo po procesu odlévání (všechny kotouče musí v závěru výroby projít procesem odstranění vnitřního tepelného pnutí) a přeneše hladkou vrstvu materiálu destiček na kotouč. Pokud je to možné, tak nové kotouče by měly být zahořené s použitými destičkami ze stejné směsi, jaké se bude používat i nadále. Opět, teplo se do systému musí přivádět postupně – zintenzivňující se zbrzdění s časem pro ochlazení. Principem je zabránit déletrvajícím kontaktu mezi destičkou a kotoučem. S abrazivními destičkami (které by se neměly používat na vysocevýkoných vozech) lze kotouč považovat za zahořený, pokud třecí plocha dosáhne jednolitého modrého zbarvení. S karbon-metalickým typem destiček je zahoření kompletní, když je třecí plocha kotouče jednolitě šedá nebo černá. V každém případě bude zbarvení úplně zahořeného kotouče homogenní.

V závislosti na třecí směsi může dlouhodobé abrazivní působení destiček při mírném používání brzd vést k odstranění nanesené vrstvy na kotouči. Pokud počítáme s ostřejší jízdou s vozidlem, u kterého nebyly brzdy po nějakou dobu příliš zatěžované, částečným procesem znovuzahoření zabráníme nerovnoměrným usazeninám.

Řidič cítí 10 $\mu$ m usazeninu nebo variabilitu v tloušťce kotouče. 25 $\mu$ m je obtěžující. Víc než to je už skutečné trápení. Pokud jsou v nepravidelných oblastech přítomné usazeniny, které vystupují z povrchu a zahřívají se mnohem víc, než jejich okolí, nevyhnutelně se formuje

cementit a charakteristiky otěru v těchto místech se mění, což vede k ještě větší variabilitě v tloušťce a nerovnostem.

Mimo správného zahoření, jak bylo uvedeno výše, nikdy nenechávejte nohu na brzdovém pedálu, poté co jste intenzivně brzdili. To obvykle není problém na normálních silnicích, protože za běžných podmínek mají brzdy čas se ochladit před tím než zastavíte (pokud, jako já, nebydlíte na úpatí dlouhého strmého kopce). Je to však klíčové ve všech typech automobilového sportu, včetně autokrosu a „otevřených dní“ na okruhu. Bez ohledu na třecí materiál, sevření destiček na horký stojící kotouč vede k přenosu materiálu a znatelné „hrbolatosti brzd“. Co je horší, destička zanechá usvědčující otisk nebo obrys na kotouči, takže váš prohrěšek bude viditelný všem ostatním.

Nyní se nabízí otázka, zda existuje „lék“ pro kotouče s nepravidelnými usazeninami třecího materiálu? Odpovědí je podmíněčné ano. Pokud vibrace teprve začaly, je šance, že teplota nikdy nedosáhla hodnoty, kdy se začíná formovat cementit. V takovém případě jednoduše namontujeme sadu dobrých polokovových destiček a (po zahoření) se intenzivním brzděním odstraní nánosy a systém se obnoví do normální funkce. Ale nadále je už nutné používat ony lepší destičky.

Pokud se přeneslo jen malé množství materiálu, tj. vibrace teprve začínají, odstraníme usazeniny pečlivým očištění jemným brusným papírem. Protože spousta usazenin není viditelná, obrušte důkladně celou třecí plochu. Nepoužívejte obyčejný brusný nebo smirkový papír nebo plátno protože abrazivní oxid hliníku pronikne do litinového povrchu a stav ještě zhorší. Z toho samého důvodu kotouče nepískujte ani neotryskávejte.

Jediný možnost jak odstranit rozsáhlé nerovnoměrné nánosy je odmontování kotoučů a jejich stočení na soustruhu. Není to drahé, ale přinejlepším nejisté. Stočené kotouče potřebují projít stejným procesem zahoření, jako nové kotouče. Potíž s tímto postupem je, že pokud se opracováním neodstraní veškeré usazeniny cementitu, tak jak se kotouč opotřebovává, tvrdší cementit zůstává vystouplý z povrchu relativně měkkého kotouče a tepelná spirála začíná znova. Naneštěstí není cementit viditelný pouhým okem.

Čas věnovaný správnému zahoření vašeho brzdového systému se bohatě vyplatí, ovšem jako vždy, opakování špatných návyků, které problém způsobily, jej vrátí zpět.

## **MÝTUS # 2 – ZÁVODNÍ BRZDOVÉ KOTOUČE JSOU VYROBENÉ Z OCELI**

Na chvíli odbočíme, „ocelové kotouče“ je špatné označení často používané lidmi, kteří by to měli vědět nejlépe. Do této skupiny spadají televizní komentátoři a závodní jezdci dávající interview. Mimo některé motocykly a motokáry, všechny kovové kotouče jsou vyrobeny z litiny – pro tento účel skvělého materiálu. Přestože ocel má vyšší pevnost v tahu, litina je stále několikrát pevnější, než je potřeba u brzdových kotoučů. Její teplovodivé vlastnosti jsou však výrazně lepší než u oceli, takže teplo generované na rozhraní destičky a kotouče je efektivně přenášeno z třecí plochy na vnitřní plochy kotouče a odtud je vyzářeno do proudu vzduchu. Litina má také menší roztažnost při vyšších teplotách než ocel a je lepší chladič – takže už nám nic neříkejte o „ocelových“ brzdových kotoučích.

### **MÝTUS 3 – „MĚKKÝ“ BRZDOVÝ PEDÁL JE DŮSLEDEK VADNUTÍ DESTIČEK**

Všem známý „rozbředlý“ brzdový pedál je způsobený přehřátím brzdové kapaliny, ne přehřátými destičkami. Opakované intenzivní použití brzd může vést k jejich „vadnutí“. Existují dva různé druhy vadnutí brzd:

A) Pokud teplota na rozhraní destičky a kotouče překročí tepelnou kapacitu destičky, ta ztratí díky odpařování pojících činitelů směsi schopnost tření. Brzdový pedál zůstane pevný, ale vozidlo nezastaví. Prvním příznakem je výrazný a nepříjemný pach, který má sloužit jako varování pro zvolnění.

B) pokud se v brzdovém třmenu začne vařit brzdová kapalina, tvoří se v ní bublinky. A jelikož je vzduch stlačitelný, brzdový pedál změkne a „rozbředne“ a prodlouží se cesta pedálu. Pravděpodobně dokážete zastavit vozidlo napumpováním pedálu, ale efektivní dávkování je pryč. Toto je postupný proces s mnoha varovnými signály.

### **MÝTUS # 4 – UVAŘENÁ BRZDOVÁ KAPALINA JE, PO VYSTYDNUTÍ, ZNOVU POUŽITELNÁ**

Jakmile se brzdová kapalina ve třmenu vařila, výrazně se snížil její původní bod varu a musí být vyměněna. Není nutné vypustit všechnu kapalinu ze systému. Stačí nechat odtéct, dokud se neobjeví čistá kapalina.

### **MÝTUS # 5 – PROTOŽE NEPŘIJÍMAJÍ VLHKOST, JSOU BRZDOVÉ KAPALINY ZALOŽENÉ NA SILIKÁTECH VHODNÉ PRO POUŽITÍ VE SPORTOVNÍCH VOZECH**

Brzdové kapaliny DOT 3 a DOT4 jsou založené na éteru a jsou hydrofobické – tj. absorbují vlhkost. A jelikož brzdový systém není úplně vzduchotěsný, v průběhu roku může absorbovat značné množství vody. 3% podíl vody v brzdové kapalině snižuje bod varu až na 76°C. Brzdová kapalina by se tedy měla každoročně měnit.

Kapaliny DOT 5 jsou založené na silikátech a neabsorbují vlhkost, což je dobré, ale vysokofrekvenční vibrace způsobují tvorbu pěny, která pak způsobí měknutí pedálu. Měkčí pedály nemusí být problém u obyčejných vozidel (ve skutečnosti většina řidičů bere měkčí brzdový pedál jako normální), ale nejsou akceptovatelné v situaci, kdy řidič potřebuje dávkovat brzdový účinek větší silou.

### **MÝT # 6 – NÁDRŽKA BRZDOVÉ KAPALINY MÁ BÝT DOLÉVÁNA V PRŮBĚHU PRAVIDELNÝCH KONTROL.**

Ve většině moderních osobních vozů je nádržka brzdové kapaliny navržena pro určitý objem a vybavena vnitřním plovákem. Obsah odpovídá množství brzdové kapaliny, která ubude, když se destičky opotřebují natolik, že je třeba je vyměnit – s určitou rezervou.

Když se destičky natolik opotřebují, klesající plovák sepne elektrický obvod a na palubní desce se rozsvítí výstražná kontrolka, která upozorní řidiče, že je nutná výměna. Pokud je brzdová kapalina dolita do maxima, prvním varováním opotřebovaných destiček bude skřípění nosného ocelového podkladu destiček o kotouč. A to bude nejen nepříjemné, ale i drahé.

COPYRIGHT © 2004 STOPTECH LLC

[http://www.stoptech.com/tech\\_info/wp\\_warped\\_brakedisk.shtml](http://www.stoptech.com/tech_info/wp_warped_brakedisk.shtml)