

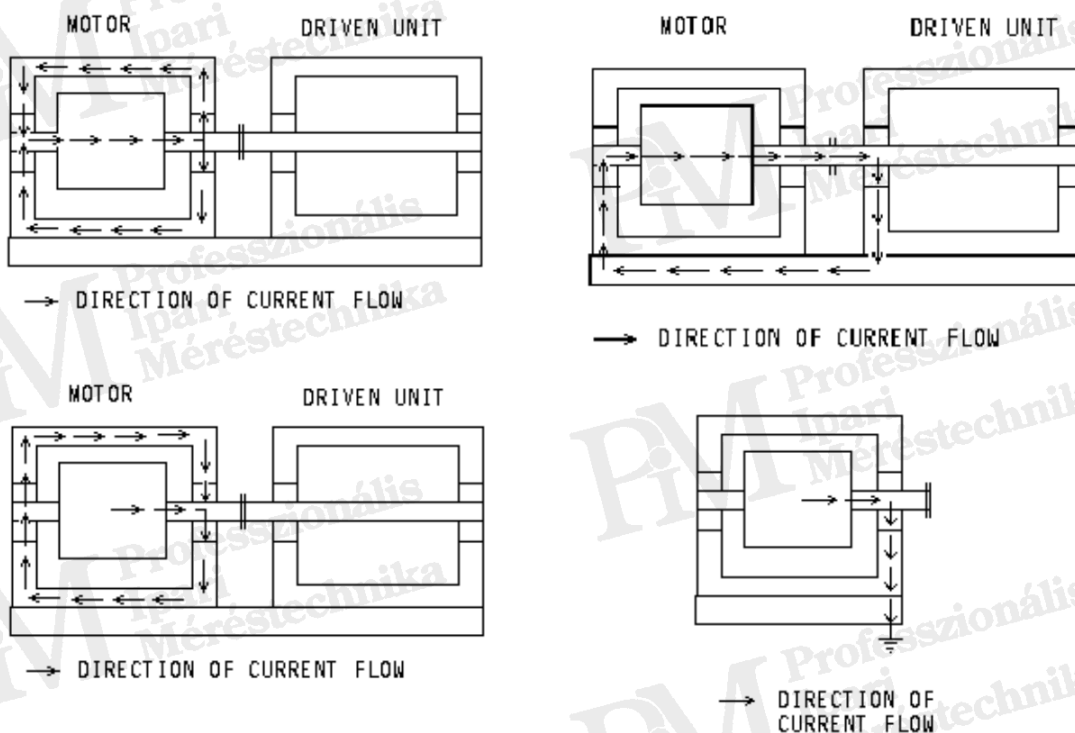
Csapágykárosodás kúszó áramok miatt

Szerző: Rahne Eric, okl. villasmérnök

Copyright © PIM Profeszionális Ipari Méréstechnika Kft.

Elsősorban a villanymotorok forgórészei hajlamosak normális üzem közben elektrosztatikus feltöltődésre. Annak ellenére, hogy ez a jelenség már régóta ismert, gyakran túl kevés figyelmet szentelnek neki. A villamos kisülés vagy átmeneti ill. kúszó áramok miatt bekövetkező csapágykárosodás **homályosítás, elektromos pitting (gödörösödés), barázdaképződés** vagy **ívkisüléses felületkárosodás** néven is ismeretes.

Ahhoz, hogy az áramátfolyás létrejöhön, feszültségpotenciál különbség jelenléte szükséges (pl. indukált feszültség és föld között). Az áram természeténél fogva a legkisebb ellenálláson keresztül folyik, ami többnyire a villanymotor csapágyain átvezetve valósul meg. De lehetséges az is, hogy az áramátfolyás valamelyik csatlakoztatott gépen ill. berendezésen keresztül folyik. Például közvetlenül felerősített tachométer-generátorokkal rendelkező villanymotorok esetén igen gyakori, hogy az átfolyó áram először a tachométer-generátor csapágyait károsítja, mivel méretük kisebb és ezért kisebb átmeneti ellenállást nyújtanak.



Ábra: A villanymotoron és a csatolt berendezésén keresztül folyó áram lehetséges útjai [forrás: CSI]

Döntő szerepe van a **csapágy kenésének** is. Szigetelési hatása révén a tengelyen kialakulhat a statikus feltöltés feszültségpotenciálja. Amikor ez a feszültség túlhaladja a csapágykenés átütési feszültségét, szikrázás formájában megfigyelhető kisülés keletkezik, a fémes alkatrészek felületeinek károsításával és a kenési anyag oxidálódásával járva. Ez a folyamat periodikusan ismétlődik meg újabb és újabb íves kisülések formájában. Az átütés feszültség szintje a kenési anyag típusától, állapotától, szennyezettségétől, a környezeti nedvességétől, hőmérsékletétől és a csapágyhézagától is függ.

Minden villamosan hajtott gép tengelyfeszültsége valamilyen váltó- és/vagy egyenáramú komponenssel rendelkezik, ami csak akkor válik problémássá, ha egy bizonyos mértéket túlhalad. Ha egyszer beindult a villamos károsítás, a mechanikus csapágykopás az ismétellen fellépő íves átütésektől erősen felgyorsul.

Az élettartam egy-két hónaptól több évig is eltarthat, de függ a tengelyfeszültségtől, a csapágyak típusától, átmeneti ellenállásától, hézagoktól és a kenéstől. Mindenképpen hangsúlyozandó viszont, hogy az élettartam így lényegesen megrövidül a csak mechanikus kopásnak kitett csapágyhoz képest.

A kúszóáramok keletkezését és átfolyását könnyítő körülmények

A tengelyfeszültség ill. –áram keletkezésének forrása lehet:

- elektromágneses jelenség
- elektrosztatikus feltöltődés
- külső feszültségek jelenléte

Elektromágneses feszültségek és áramok keletkeznek, ha van

- maradékmágnesezés mágneses tokozásban (excentrikus forgórész) vagy
- villamos aszimmetria a tekercselésben tekercsek közti eltérések ill. különböző fázisfeszültségek miatt
- állandó tekercsrövidzárlat vagy
- nyitott vagy törött forgórészrudak vagy
- más, egyenletlen elektromágneses térerőt eredményező körülmény

A feszültségtranszformáció miatt körbe folyó áram keletkezik, mely a motortengelytől indulva az egyik csapágyon keresztül a motorházon át, majd a másik csapágyon keresztül visszatérve folyik.

Elektrosztatikus feszültségek és áramok töltések felhalmozódásából származnak, melyet pl. gőzturbináknál, nedvesgáz-kompresszoroknál, szíjhajtásos gépeknél és papírgépeknél figyelhetünk meg. Itt a feszültség levezetése a motortengelyről valamelyik csapágyon keresztül a földpotenciálhoz vezet.

Külső feszültségeket általában a villanymotor gerjesztési ill. vezérlési berendezései okoznak, leggyakrabban barázdaképződést eredményeznek. Az áram keletkezésénél nagy szerepe van

- az alap konstrukciójának,
- a változtatható fordulatszám szabályozó hatáskarakterisztikájának,
- hosszú áramvezetékeknek is.

Külső feszültségek által keletkező barázdaképződés gyakran megfigyelhető

- váltófeszültségű villanymotorokon, amelyek gyakran kapcsolnak, változó frekvenciákkal és fordulatszámmal üzemelnek
- egyenáramú villanymotorokon, melyek – többnyire sok felharmonikust generáló - egyenirányítókkal üzemelnek
- olyan villanymotorokon, melyek környékén egyéb külső feszültségforrás található. Ha pl. ivhegesztés esetén a rendszernek nincs megfelelő földelése, a kívülről gerjesztett feszültségek ill. áramok a csapágyakon átfolyva fent említett károsodásokat okozhatnak.

Az áramátmenet észlelhetősége a csapágyakon

A vizuális észlelés a legfontosabb eszköz az áramátmenet jelenlétének eldöntésére. Gyakran olyan erős a csapágy sérülése, hogy a csapágy alkatrészei egymással összehegesztődtek. De akkor is érdemes minden kiserelt csapágyat átvizsgálni.

Az áramátmenet miatt bekövetkezett károsodás tipikus jelei:

- matt (nem fényes) tartományok a futófelületeken,
- pitting (gödrösödés),
- barázdaképződés és
- szikrák nyomai.

Ezek a jelenségek a csapágy külső és belső gyűrűjén, de a görgőkön is megtalálhatók. Leggyakrabban viszont a külső gyűrű érintett.

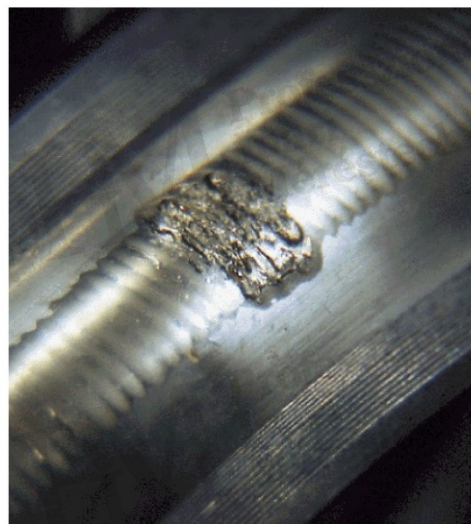
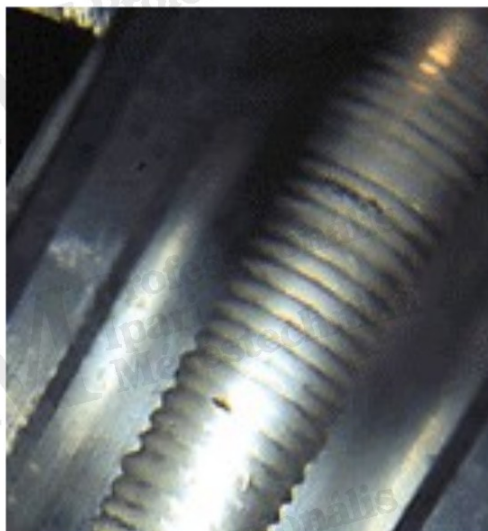
A matt felületek szimmetrikus homokszórásra vagy forgácsolási megmunkálásra hasonlító képet mutatnak. A 15-ös kép mutat egy ilyen károsodással rendelkező külső csapágygyűrűt. Mikroszkóp alatt láthatjuk, hogy a felület tele van kis kráterekkel, mely fényes kinézete a villamos kisülés miatt bekövetkezett olvasztást mutatja. Időnként ez a jelenséget tévesen vegyi károsodásként ismerik fel: ilyenkor viszont kisebb kráterek lennének, melyeknek matt a felülete.

Radiális csapágyak gyakran szikrák nyomait mutatják, amelyek karcokként jelennek meg a csapágy felületén. A elégtelen kenés hibaképével ellentétesen ezek a sérülések irregulárisan és a forgásirányhoz ferdén lépnek föl. Mikroszkóppal a karcok alján is olvasztási nyomokat láthatunk.



Külső csapágygyűrű „matt” tartományokkal a futófelületén

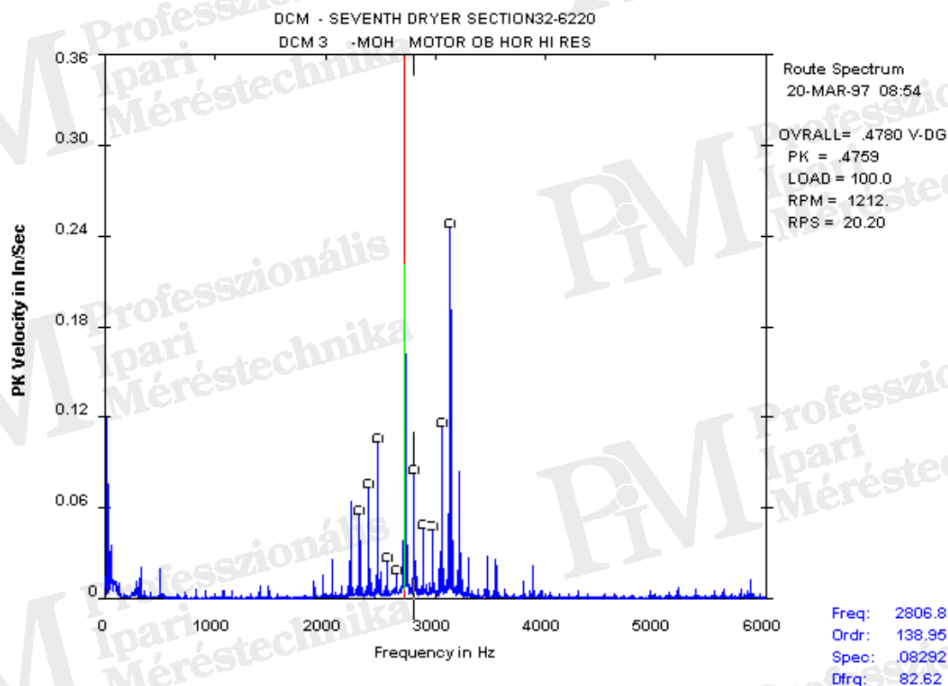
A következő képeken látható barázdaképződés forgácsolási megmunkálás benyomását kelti, s ezért legkönnyebben áramátmenet által okozott károsodásként ismerhető fel. Az érintett felületek nagyon keskenyek és egyértelműen körülhatárolhatók.



Külső csapágygyűrű erős barázdákkal (bal oldali kép), barázdákkal és első kitörésekkel (jobb oldali felvétel) [forrás: CSI]

A barázdaképződés identifikálása rezgésanalízissel

Áramátmenet miatt bekövetkezett csapágykárosodások nagyfelbontású spektrummal ismerhetők fel. Ez a hibatípus jelentkezik nagyfrekvenciás modulált rezgések formájában rezgésamplitúdók „hegye”-ként a spektrum 2000 ... 4000 Hz-es frekvenciatartományában.



Barázdaképződést mutató csapággal rendelkező villanymotor rezgésspektruma [forrás: CSI]

Az amplitúdóhegyben vagy a külső ill. belső gyűrű vagy a kettő kombinációjából adódó modulációs frekvenciájú oldalsávok találhatóak. Többnyire a külső gyűrű frekvenciájának modulációja van jelen.

Ahogy a fenti ábrán is látható, e hiba korai stádiumában még nem láthatók a szokásos csapágyhiba-frekvenciák a spektrum alacsony frekvenciatartományában. Csak romló csapágyállapot esetén – amikor már a csapágy általános kopása is megerősödik – jelennek meg a csapágyhiba frekvenciái is.

Várható, hogy a kezdetleges károsodások már nagyon korán is felfedezhetők a burkológörbe-demodulációs spektrumokban.

A rezgésanalízis tehát csak az áramátmenet által bekövetkezett csapágykárosodást igazolhatja, a kritikus feszültségpotenciálok ill. kúszóáramok károsításának bekövetkezése előtti felderítésére viszont nem alkalmas. Más elektromágneses jelenségek, amelyek kúszóáramokhoz vezethetnek – pl. az aszimmetrikus térerő, a felharmonikusok által okozott problémák – viszont a rezgésanalízissel felderíthetők.

Aramátmenetek identifikálása áram- és feszültségmérésekkel

Az áramátmenet révén képződő barázdák kialakulása előtt - a rezgésdiagnózisnál eredményesebben – alkalmazható módszer az aktuális tengelyfeszültség és a fellépő kúszóáram mérése. Ez lehetőleg közel a csapágyakhoz történjen közvetlenül a tengellyel érintkező kefével vagy más csúszóérintkezővel.

A barázdaképződés valószínűségének minél biztonságosabb megítéléséhez a következő áramok és feszültségek mérendők meg:

- 1) váltófeszültség
- 2) egyenfeszültség
- 3) rövid idejű feszültségcsúcsok
- 4) váltóáram
- 5) egyenáram

Ezek az adatok együtt adnak képet a rendszerben lezajló folyamatokról.

A mérés általában a tengely és a föld (motorház, alapcsavar stb.) között végzendő. Egyes gépdiaosztikával foglalkozó cégek a rezgésdiagnosztikai kéziműszerekhez is kínálnak tengelyfeszültségek és kúszóáramok mérésére alkalmas mérőfejeket.



Tengelyáramok és –feszültségek vizsgálatára szolgáló mérőfej (CSI 348SP)

A mérés két lépésből áll: Először mérjük meg a feszültségesést egy $R = 1$ Ohm értékű ellenálláson keresztül. Ezután ismétljük meg a mérést egy $R = 10$ Ohm-os sorba kapcsolt ellenálláson keresztül.

Figyelembe kell venni, hogy amíg a csapágyon keresztül van más áramút is, akkor a mérőfejjel mért érték nem képviseli a tengelyen átfolyó áram teljes egészét !

Elvileg a csapágy átmeneti ellenállása – átlagos kenőfilmet feltételezve – ne legyen kisebb 1 Ohm-nál. Ha viszont áramátmenetek miatt összeomlott a kenés, több áram is folyhat át a csapágyon. Ezért a mérőfejjel mért értékek rendszerint kisebbek a valódi áramoknál.

Amennyiben a mért áramértékek aránya 10:1-nél nagyobb (a fent említett 1 ill. 10 Ohm ellenállások alkalmazása esetén), akkor – változatlan fordulatszám és terhelés mellett – hibára utaló adatokat rögzítettünk.

Mivel minden villanymotornak valamilyen – akár nagyon kis értékű - tengelyfeszültsége és kúszóárama van, feltevődik a kérdés, hogy hol húzódik meg a kritikus határ. Erről az irodalomban viszont különböző adatok vannak, ami valószínűleg más és más mérési módszerekre, felszerelésekre, csapágytípusokra, kenéstípusokra, csapágyházagokra, fordulatszámokra, légnedvességre és még sok minden másra vezethetők vissza.

Amíg újabb és pontosabb tapasztalati adatok nincsenek, a lenti táblázatban összefoglalt, az elfogadható áramokra és feszültségre vonatkozó határértékek tekinthetők irányadónak.

Irányadatok			
Mérés	Amplitúdók		
	alacsony	megvizsgálandó	magas
Effektívérték vagy egyenfeszültség [V]	< 1	1 – 3	>3
Effektívérték vagy egyenáram [mA]	Nincs adat	Nincs adat	Nincs adat
Csúcsfeszültség [V]	< 3	3 – 10	> 10

A táblázatban használt jelölések értelmezése:

alacsony kicsi a károsítás valószínűsége
megvizsgálandó korrekciós intézkedések szükségesek, ha az érintett gépen már kúszóáram által okozott károk voltak
magas az adatok rendkívülinek tekintendők, a károsítás valószínűsége igen magas

(Viszont volt már arra is példa, hogy áramátmeneti károkat találtak olyan gépen, amelyen soha az alacsony szintnél nagyobb áramok vagy feszültségek nem voltak mérhetőek.)

Ahol jelenleg még nem adható meg határérték, sok mérésből definiálandó az érték, mely első tapasztalatok alapján állandó fordulatszámú forgó aszinkronmotor esetén tipikusan kisebb 1mA-nál.

A fenti táblázatban megadott irányadatoknál több segítséget nyújt a feszültség- és áramértékek trendje:

- Növekedés és csökkenés is jelezheti az állapot romlását vagy valamilyen károsodást, amelynek eredményeképpen tengelyfeszültség és kúszóáramok keletkeznek.
- Változások hiányos földelésre is figyelmeztethetnek.
- Minél nagyobbak az adatok, annál magasabb az áramátmenet révén történő csapágykárosodás valószínűsége.
- A csapágy bizonyos károsítása után a feszültség szintje újra csökkenhet.

A feszültség- és áramértékek periodikus ellenőrzése a következő – kritikusnak ítélt – gépeken ajánlott:

- Egyenáramú és váltóáramú motorok változtatható frekvenciákkal és fordulatszámokkal
- 500 kW-nál nagyobb teljesítményű villanymotorok
- több esetben megmagyarázhatatlan ill. áramátmenet miatti csapágyhibákat mutató motorok
- felszerelt földelési rendszerrel rendelkező motorok
- vertikálisan elhelyezett motorok

Áramátmenet miatt bekövetkező csapágykárok megelőzése

Mindenképpen ajánlatos megelőző intézkedéseket végrehajtani, ha a tengelyfeszültség és a kúszóáramok értékei előbb-utóbb valamilyen csapágykárosítás bekövetkezését valószínűsítik.

Amennyiben a közvetlen ok megszüntetése nem lehetséges, akkor vagy az áram elvezetését kell megoldanunk egy földelési rendszer felszerelésével vagy az áramutat megszüntetni a tengelykapcsoló ill. a csapágyak villamos szigetelésével. Földelésnél biztosítandó, hogy az összes a rendszerben lévő elem amelyen keresztül folyhat áram (pl. csövek, érzékelők stb.) szintén szigetelve legyen.