

Uhlíkové kartáče — černá magie kouzla zbavená

Stat první:

Co je uhlíkový kartáč a k čemu ho vlastně potřebujeme

Setkáváme se s nimi denně, pozornost jim věnujeme málokdy — a nevíme o nich obvykle nic.

Uhlíkové kartáče, anebo nesprávně lidově uhlíky, jsou nezbytnou a velmi důležitou součástí každého elektrického stroje, který má komutátor nebo kroužky. Spolu s tímto komutátorem, nebo kroužky, vytváří uhlíkový kartáč útvar, kterému říkáme kluzný kontakt.

Kluzný kontakt je zatím jedinou praktickou možností, jak převést elektrický proud z pevné části elektrického stroje na otáčivou a naopak. Jiné druhy přenosu proudu se zatím technicky neprosadily.

Zatímco otáčivou kovovou část kluzného kontaktu, které říkáme souhrnně kolektor, tvoří snadno pochopitelný měděný komutátor, či ocelové, bronzové, nebo měděné kroužky, je druhý partner kluzného kontaktu — kartáč — součástí mnohem složitější, než se na první pohled zdá. Jeho vliv na klidnou práci stroje a klidný spánek obsluhy je často velmi značný. Co to tedy vlastně uhlíkový kartáč je?

Jeho jméno zavání technickou minulostí. Dříve, než byly pro tyto účely objeveny příznivé vlastnosti grafitu, převáděl se proud do kolektorů prostřednictvím svazků bronzových, nebo měděných drátků, které od podoby kartáčů příliš vzdáleny nebyly. Odtud tedy kartáč. Jméno sice zdůvodněné, ale naprosto ne výstižné. Dnešní kartáče už dávno kartáče nepřipomínají.

Ani druhé slovo v názvu plně nepostihuje materiál, ze kterého jsou kartáče vyrobeny. Uhlíkový kartáč nemusí být totiž vždycky jenom z uhlíku. Výchozím materiálem pro výrobu hmoty uhlíkových kartáčů může být jak přírodní grafit, získávaný těžbou (a známější pod pojmem tuha), tak i uměle, technicky vyrobený uhlík.

Právě výchozí suroviny, jejich vzájemný poměr a různé přísady dávají vzniknout celé škále několika set materiálů, ze kterých se pak vlastní uhlíkové kartáče vyrábějí.

Jednotlivé kvality uhlíkových materiálů, které se dnes používají v elektrotechnické praxi, lze rozdělit do šesti hlavních skupin, jejichž představitelé se vyznačují jistými vlastnostmi, žádanými pro určitý způsob provozu stroje. Skupiny uhlíkových materiálů řadíme podle důležitosti takto:

- elektrografitové kartáče,
- kovografitové kartáče,
- kartáče ze speciálního grafitu (bakelitografity),
- kartáče z tvrdého uhlíku,
- uhlografitové kartáče,
- kartáče z přírodního grafitu.

Elektrografit je elektricky i tepelně dobře vodivý. Podle smíšené výchozí suroviny vznikají kartáče nejrůznějších vlastností. Tak se mohou zdůraznit třeba faktory podporující komutační schopnost, je možné vyrobit zvláštní robustní, tuhé materiály pro železniční provoz nebo kvality s nejrůznějšími lešticími účinky. Obor použití je ve všech druzích elektrických strojů, hlavní těžiště však leží u strojů s komutátory s vysokými nároky na kartáče po stránce elektrické, tepelné i mechanické.

Kovografit je směsí grafitu a kovu. Jeho vlastnosti leží mezi kartáči z přírodního grafitu a kartáči z kovu, přičemž podle obsahu grafitu převládají buď mazací vlastnosti, nebo vodivost. Kontaktní a vnitřní odpor mají velmi malý. Z toho plyne oblast použití ve strojích, kde jsou velké nároky na zatížení kartáčů a žádné, nebo malé nároky na komutaci, tedy na kroužcích a u strojů s malým napětím. Vzhledem ke své malé pružnosti snesou obecně rychlosti do 30 m/s.

Speciální grafit (bakelitografit) má velmi velký kontaktní i vnitřní odpor. Tím tvoří skupinu protilehlou kovografitům. Má největší odolnost vůči opalům. Tyto vlastnosti předurčují speciální grafity pro stroje s vysokými komutačními nároky. Je ovšem nedostatkem, že velký kontaktní odpor zvětšuje i elektrické ztráty. Tím je dáno riziko, že se umělá pryskyřice, spojující hmotu kartáče, vytaví. Hlavní použití mají tedy u strojů, kde se vedle vysokých komutačních nároků předpokládá použití malých kartáčů s relativně malými podélnými proudy v kartáči. To jsou hlavně trojfázové komutátorové motory s prohloubenou izolací. Vlivem malé pružnosti je použití omezeno do 35 m/s.

Tvrdý uhlík má silnou lešticí schopnost (abrazivnost) a používá se jen tam, kde je tato vlastnost žádoucí. To jsou hlavně univerzální motorky s neprohloubenou izolací a už téměř vymřelé, málo využitě stejnosměrné stroje bez komutačních pólů. Je elektricky i tepelně málo zatížitelný a snáší rychlosti jen do 20 m/s.

Uhlografit zaujímá svými vlastnostmi střed mezi elektrografity a tvrdým uhlíkem. Jeho lešticí schopnost je větší a zatížitelnost menší, než u elektrografitu. Vlivem velkého kontaktního úbytku i dobře komutuje. Hlavní použití má v malých strojích s prořezanou izolací a ve střídavých komutátorových strojích.

Přírodní grafit má různé vlastnosti podle svého původu. Podle obsahu a druhu popela a zbytkových nečistot vznikají směsi, které spíše maží, nebo spíše leští. Jejich velká pružnost umožňuje použití za velmi vysokých rychlostí na ocelových kroužcích turbogenerátorů a u strojů v chemicky agresivní atmosféře. Příležitostně se tyto kartáče nasazují jako pomocné k elektrografitům a kovografitům ke zvýšení mazacího účinku.

Tímto úvodem se hned do počátků nauky o uhlíkových kartáčích vneslo mnoho nových pojmů a s nimi i mnoho nejasností.

Vezmeme-li do ruky firemní katalogy kteréhokoliv výrobce uhlíkových materiálů, zjistíme na první pohled veliký počet nabízených kvalit ve všech skupinách, které jsme vyjmenovali.

Jak vybrat a jak se rozhodnout — to je dodnes otázka, na kterou lze spolehlivě odpovědět jen složitým a dlouhodobým pokusem. Absolvujeme-li však řadu takových pokusů, můžeme na základě statistických a technických vyhodnocení výsledků vypracovat určité směrnice pro výběr kartáčových materiálů.

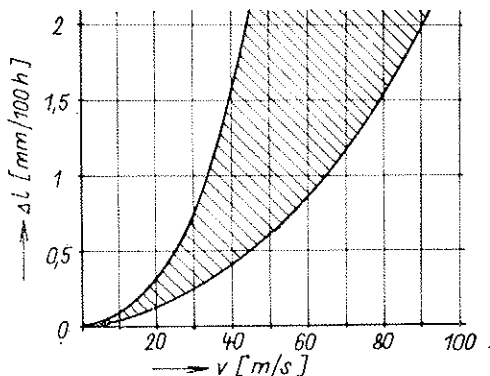
Aby bylo možné takové směrnice vůbec vypracovat, bylo nutné napřed vymežit podmínky, za kterých má kartáč podle představ tvůrce stroje pracovat. Pak je nutné si položit otázku, jaké kartáčové kvality mohou tyto požadavky splnit a nako-

nec je třeba se rozhodnout, kterou z položených podmínek je pro určitý typ stroje a druh provozu nutno vyzdvihnout a kterou je možné podřídit, aby bylo dosaženo žádaného optima. Taková úvaha je nutná proto, že požadavky na kartáč jsou často protichůdného charakteru, jak si ukážeme v dalším.

Co vlastně žádáme od uhlíkového kartáče?

- Co nejdelší životnost kartáčů při co nejmenším opotřebení kolektoru,
- dobrou komutační schopnost,
- malé ztráty,
- velkou elektrickou a tepelnou zatížitelnost,
- velkou mechanickou pevnost,
- co největší schopnost snášet podtížení a malou citlivost na atmosférické vlivy,
- co nejrovnoměrnější rozdělení proudu,
- dostatečnou lešticí schopnost k odstranění přečnávající izolace a nežádoucích vrstev na kolektoru.

Životnost kartáčů udržet co nejdelší, je logickým přáním všech uživatelů strojů. Životnost však nezávisí jen na uhlíkovém materiálu, ale i na konstrukci stroje a provozních podmínkách. Největší vliv na životnost má obvodová rychlost kolektoru, jeho okrouhlost, teplota, zatížení kartáčů, okolní atmosféra a její vlhkost.



Obr. 1. Opotřebení uhlíkového kartáče v závislosti na obvodové rychlosti komutátoru.
 $\Delta l = 0,5 \cdot 10^{-5} \cdot v^2$ [mm/100 h; m/s].

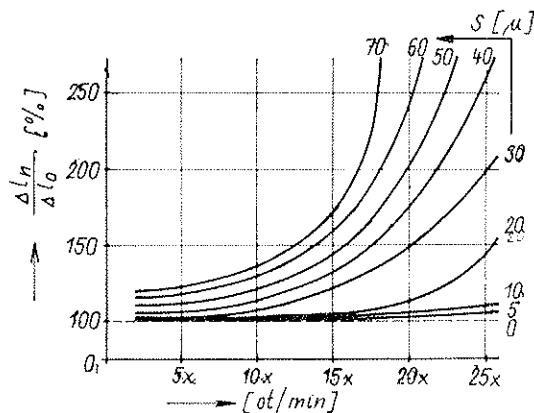
S rostoucí obvodovou rychlostí roste opotřebení kvadraticky (obr. 1), vlivem ostatních zmíněných veličin však může ve skutečnosti klesnout až na polovinu, nebo stoupnout až na dvojnásobek hodnoty, kterou udává křivka.

Vliv neokrouhlosti ukazuje empiricky obr. 2. Je-li v oblasti nad 10 000 otáček opotřebení kartáčů prudce stoupá, neměla by neokrouhlost takových kolektorů přesahovat 5 μm . U velkých strojů není tento faktor tak významný, pokud nevyčnívají z komutátoru jednotlivé lamely. U prosté eliptické neokrouhlosti připouštíme hodnoty do 60 μm , u vyčnívajících lamel však jen 20 až 30 μm .

Vliv teploty kolektoru se na opotřebení projevuje při teplotách nad 100 °C. V tom případě chybí potřebná vlhkost k vytváření spolehlivého filmu na kolektoru. Tím se ztrácí přirozená mazací schopnost kartáče. Vlivem rapidního nárůstu opotřebení mohou očekávané hodnoty vzrůst až na pětinásobek. Rovněž kolektor chladnější než 60 °C neprospívá životnosti kartáčů. Dochází obvykle k chřestění kartáčů, a tím i k jejich rychlejšímu opotřebení.

Závislost opotřebení kartáčů na proudových zatíženích lze vyšetřovat jen empiricky. Při různých

měřicích metodách dospějeme k mezním podmínkám, že se opotřebení se zatížením mění lineárně až kvadraticky. Neuděláme tedy chybu, budeme-li za realitu považovat střed mezi těmito mezními podmínkami.



Obr. 2. Opotřebení kartáče v závislosti na otáčkách a neokrouhlosti kolektoru (stanoveno měřením).
 Δl_n — opotřebení při ovalitě n ; Δl_o — opotřebení při dokonalé okrouhlosti; s — neokrouhlost.

Okolní atmosféra dodává kluznému kontaktu vlhkost, nezbytnou pro jeho hladký provoz. Vlhkost chybí např. ve velkých výškách, v příliš suchých nebo příliš mrazivých oblastech. Pak dochází k tzv. výškovému opotřebení kartáčů, při kterém jsou kartáče za velmi krátký čas provozu úplně zničeny. Kritická hodnota vlhkosti vzduchu leží asi při 0,4 g vody v 1 m³ vzduchu. Nárůst opotřebení lze však pozorovat už od hodnot menších než 4 g vody na 1 m³ vzduchu. Příliš velká vlhkost naopak vede k elektrolytickým jevům v kontaktu, k přenosu materiálu mezi oběma členy kontaktu, a tím k rychlému opotřebení kartáčů i kolektoru. Optimum vlhkosti leží mezi 10 a 15 g vody na 1 m³ vzduchu. Chemická znečištění atmosféry, např. sirovodíkem, sirouhlíkem, čpavkem a chlórem, mají za následek špatné vodivé filmy na kolektoru, a tím i velké mechanické opotřebení kartáčů.

Velmi záleží i na správném tlaku na kartáč. Jestliže je tlak příliš malý, dochází k uvolnění kontaktu, které způsobuje obloučky mezi kolektorem a kartáčem. Je-li tlak příliš velký, kartáč se opotřebovává mechanicky (obr. 3). Optimální tlak pro bod M není vždy z praktických důvodů možno nastavit, snažíme se mu však co nejvíce přiblížit s podmínkou, že tlak pro všechny kartáče ve stroji musí být stejný.

Komutační schopnost kartáče je vlastnost, sestávající z mnoha faktorů, více či méně se uplatňujících podle provozních podmínek. Podstatné podmínky jsou: odolnost proti jiskření, průběh a velikost dynamického přechodového odporu a tlumicí schopnost. Podle složení kartáčového materiálu lze ten či onen faktor podpořit či potlačit. Exaktní měřicí metody a veličiny k určení komutační schopnosti nejsou. Obecně však lze říci, že řídké, porézní a silně lešticí kartáče komutují lépe, než husté a slabě lešticí.

Požadavek malých ztrát je dán snahou po co nejlepším využití stroje za přiměřeného oteplení kolektoru. Ztráty jsou tím menší, čím je menší koeficient tření a úbytek napětí na kartáči. Obě tyto vlastnosti nelze ovšem libovolně zmenšovat; čím je menší koeficient tření, tím je kontakt nestabilnější. Klesne-li koeficient tření pod určitou

Uhlíkové kartáče - černá magie kouzla zbavená

Stať druhá:

Jak pracuje uhlíkový kartáč a jak lze jeho práci ovlivnit.

Od uhlíkových materiálů jsme dospěli k výrobku samému — k uhlíkovému kartáči. Abychom mohli o kartáčích mluvit jednotným jazykem a vyjadřovat se jednoznačně, začneme některými názvy.

Uhlíkový kartáč, jako geometrické těleso, je kvádrkem se třemi rozměry. Jeho osa může být k tečně kolektoru kolmá, pak jde o kartáč *r a d i á l n í* (kolmý), nebo šikmá, pak jde o kartáč *r e a k č n í* (při sklonu 35°), nebo *š i k m ý* (při sklonu 7 až 8°).

Podle platných norem následují rozměry kartáče za sebou v přesně stanoveném pořadí, které je vyjádřeno písmeny

$$t \times a \times r$$

Rozměr *t* (tangenciální) je kolmý na osu stroje ve směru tečny kolektoru a je šířkou kartáče.

Rozměr *a* (axiální) má směr osy stroje a je délkou kartáče.

Rozměr *r* (radiální) je výškou kartáče.

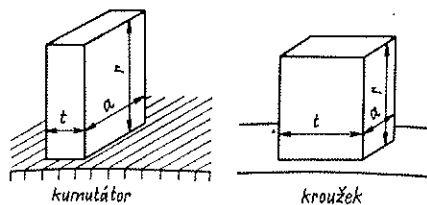
Kartáč se dotýká kolektoru plochou o rozměrech $t \times a$, která se nazývá dotykovou nebo kon-

taktní plochou, opačný konec se nazývá hlavou kartáče. Svislým stěnám říkáme souhrnně strany, případně přesněji boky a čela (obr. 1).

Na komutátorech bývá menším z rozměrů dotykové plochy rozměr *t* (šířka kartáče), větším rozměr *a* (délka). Na kroužcích bývá větším rozměrem *t*, zatímco *a* je menší. Rozměr *r* (výška kartáče) má v obou případech směr stejný.

Je tedy rozměry $t \times a$ dán průřez kartáče, který se udává v cm^2 .

Hustota činného proudu, protékajícího kartáčem ve směru *r*, se pak uvádí v A/cm^2 a je jednou ze



Obr. 1. Definice rozměrů kartáče na komutátoru a kroužku.

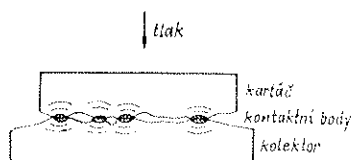
závažných směrodatných hodnot pro určování použití kartáčů.

Výrobce kartáčů předepisuje ve svém katalogu pro jednotlivé materiály směrnou proudovou hustotu, při které má kartáč optimálně pracovat; výrobce stroje zase nasazuje tolik kartáčů, aby kartáče pracovaly v optimálním oboru proudových hustot [při proměnlivém režimu stroje], protože ani maximum ani minimum proudové hustoty v kartáči není radno překročit.

Předpokládejme, že používáme kartáčový materiál se směrnou proudovou hustotou 10 A/cm^2 a že má kartáč rozměry $l \times a$ rovné 40×25 [mm], že má tedy kontaktní plochu rovnou právě 10 cm^2 . Po vynásobení plochy směrnou proudovou hustotou vyjde, že jde o kartáč pro zatížení 100 A.

Nyní se zabýváme realitou. Víme z předchozího, že uhlíkový kartáč je keramickým výrobkem, že jeho strukturou je — obecně řečeno — jakási kostra nebo mříž, ve které jsou uložena grafitová zrna. A protože nejde o krystal, je prostorové uspořádání částic v materiálu chaotické a z toho plynoucí vodivost v různých bodech průřezu je různá.

Činný (podélný) proud v kartáči není tedy rovnoměrně rozdělen po celém průřezu. Vychází z místa upevnění přívodního lanka a prochází několika více či méně spleťnými cestami kartáčem až do jeho dotykové plochy s kolektorem (pro jednoduchost řekněme kovovému partneru kluzného kontaktu „kolektor“ tam, kde není nutné rozlišit, zda jde o komutátor nebo kroužky).



Obr. 2. Kontaktní body v kluzném kontaktu.

Aby to nebylo vůbec jednoduché, musíme si k tomu ještě uvědomit skutečnost, že ani sebedokonalěji opracovaný povrch kolektoru není a ani nemůže být dokonale hladký a že u kartáče, jako zrnité keramické hmoty, nelze slova „hladký“ ani použít, dostáváme se ke skutečnosti, že se kartáč s kolektorem dotýkají navzájem v několika bodech, kterým říkáme kontaktní body a které nesou celé proudové zatížení (obr. 2).

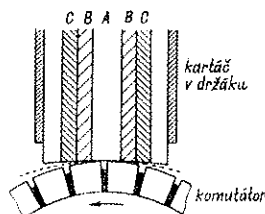
Tyto kontaktní body nejsou na dotykové ploše správně pracujícího kartáče nijak vázány na určité místo. Pohybují se po ploše, vznikají a zanikají. To je velmi důležité, a jsou pro to dva důvody: Jednak v samotné hmotě kartáče mění proudová vlákna svůj průběh tím, že oxidací, změnou teploty a vzájemnou změnou polohy mezi zrny materiálu se mění odpor jednotlivých vláken, jednak tím, že se zrnitý materiál kartáče mechanicky opotřebovává, oddroluje, dále tím, že otáčející se kolektor přivádí pod kartáč stále jinou plochu, a posléze tím, že se jednotlivé kontaktní body průchodem koncentrovaného proudu přehřívají, a tím likvidují, aby mohly neustále vznikat nové.

K teorii [praxí ověřené] přechodu proudu mezi kartáčem a kolektorem je nutné připojit ještě „pásmový“ výklad dotyku kartáče s kolektorem. Následkem nepřesnosti vedení kartáče v krabičce držáku není poloměr zakřivení dotykové plochy kartáče totožný s poloměrem zakřivení kolektoru.

Popsaná rychlá výměna kontaktních bodů se odehrává v pásmu A (viz obr. 3.) a představuje nej-

kratší a také nejvíce využitou cestu proudu. Jelikož je tato plocha v poměru k celé kontaktní ploše velmi malá, musí i při běžném měrném zatížení kartáče snášet mimořádně velké okamžité proudové hustoty. Z toho se dá vyvodit důsledek, že kartáč sám dovede likvidovat již „použité“ kontaktní body tím, že je pomocí procházejícího proudu rozřhává a odpálí, případně odpálí, a tím umožní nástup dalšího, čerstvého kontaktního bodu.

To se ovšem může stát pouze za předpokladu, že kartáčem prochází proud. Pro spolehlivou likvidaci a obnovování kontaktních bodů platí zhruba pravidlo, že v kontaktní ploše kartáče musí vzniknout nejméně 40 W elektrických ztrát (bez ohledu na velikost kartáče). Jak se k této hodnotě dospěje, si můžeme ovšem vysvětlit až o něco později, až poznáme další souvislosti.



Obr. 3. Pásmový výklad přechodu proudu mezi kartáčem a komutátorem.

Pro převod proudu jsou podle obr. 3. k dispozici ještě dvě další cesty. V pásmu B jsou v prostoru mezi nerovnými plochami kartáče a kolektoru přítomny volné částice uhlíkové a kovového materiálu spolu s prachem, které se starají o převedení proudu přes mezeru v tomto pásmu. Třetí cestou je cesta drobných elektrických oblouků (pásmo C), kde proud dělá opravdové „skoky“ mezi kartáčem a kolektorem, které mohou být doprovázeny drobnými, zřídka viditelnými oblouky (jiskrami).

Tento výklad pravděpodobně narušuje dosavadní představy o přechodu proudu mezi kartáčem a kolektorem, je však skutečným obrazem dějů, doprovázejících práci kartáče.

Vraťme se ke kontaktu samému. Kartáč klouže po kolektoru, a toto klouzání zanechává na kolektoru stopy. Stopy po kartáčích viditelně zabarvují měď komutátoru nebo ocel kroužků, a protože jsou ve skutečnosti tenkou slupkou, vrstvou na povrchu kolektoru, nazýváme je filmem.

{Poznámka: ČSN 35 0820 stanoví pro tuto vrstvu název „film“. Je to název téměř ojedinělý, ve většině jazyků se tento film jmenuje „patina“.)

Film je nutnou a nezbytnou součástí kluzného kontaktu a je základem dobré spolupráce mezi kolektorem a kartáčem. Jeho složení není jednoduché. Základem filmu jsou kysličníky. U měděných komutátorů jsou to kysličníky mědi, zejména kysličník mědný a kysličník měďnatý. Tato oxidová vrstva je velice tenká, za maximum se považuje $5 \mu\text{m}$.

Částečně v této oxidové vrstvě a hlavně na ní jsou uložena grafitová zrna. Jejich četnost a rovnoměrnost uložení dávají filmu charakteristickou barvu. Na povrchu tohoto filmu i v jeho hmotě jsou obsaženy rovněž částice vody, par a plynů z ovzduší. Posléze jsou v mezeře mezi kartáčem a kolektorem již zmiňovaná grafitová zrna.

Film je tedy nezbytný pro spolehlivou a hlavně stabilní práci uhlíkového kartáče. Tato věta je přímo základem celé problematiky.

Abychom mohli provozovat jakýkoli stroj s kolektorem a kartáči, musíme se tedy především postarat o vytvoření solidního filmu. A k jeho vzniku je nezbytně nutná přítomnost kyslíku, vody a tepla.

Kyslík a vodu pro vznik filmu dodává okolní vzduch. Teplota musí vyrobít kartáč při práci na kolektoru sám. Dovede ho vytvořit dvojím způsobem: jednak je kontakt ohříván mechanickými ztrátami, vznikajícími třením kartáčů o kolektor, jednak vzniká teplo elektrickými ztrátami při průchodu proudem kluzným kontaktem.

Film se vytváří — podle materiálu kartáčů a druhu provozu — různě dlouhou dobu. Může být vytvořen za pět hodin, stejně jako za pět dnů. Po vytvoření žádoucího filmu je pak hlavní úlohou jej na kolektoru udržet.

Pro udržení filmu na kolektoru jsou pochopitelně nutné stejné podmínky, jako pro jeho vznik. Vyjme-li z úvah o filmu stroje, pracující v extrémních podmínkách (jako třeba elektrické stroje letadel ve velkých výškách, kde přece není ani voda, ani dostatek kyslíku), pak pro „přízemní“ podmínky zbývá celá řada možností, jak film, a tím i práci kartáčů regulovat.

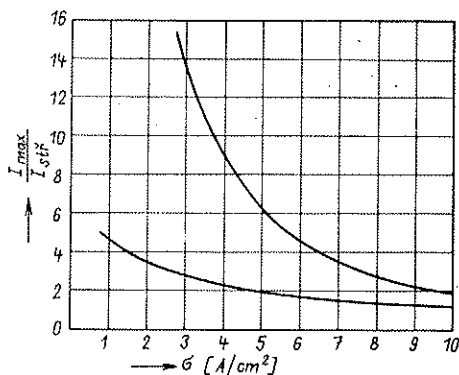
Film sám je spolehlivou ochranou kolektoru před odíráním, protože je mnohem tvrdší, než mateřský kov pod ním (to platí zejména o měděných komutátorech), protože má mnohem lepší kluzné vlastnosti, a posléze proto, že má výrazně polovodivý charakter a značný elektrický odpor.

Přechodový úbytek napětí mezi kartáčem a kovem kolektoru dosahuje podle materiálu kartáče a tloušťky filmu hodnot od 0,2 do 3 V. Z tohoto poznatku vychází jednoduchým výpočtem minimální nutný proud v kartáči, aby bylo k dispozici nezbytných 40 W ztrát pro likvidaci kontaktních bodů (viz předcházející výklad).

Existence filmu na kolektoru a nehomogenita materiálu kartáče má ovšem jeden velmi nepříznivý důsledek: mezi paralelně pracujícími kartáči téže polarity (jeden kartáč na polaritu mají jen drobné ruční strojky) se proud nerozděluje přísně aritmeticky. Proud v kartáčích se podle počtu kontaktních bodů a kvality kontaktu mění, dá se říci, že poměrně rytmicky pulsují. A dokud pulsují, je kontakt v pořádku.

Nerovnoměrnost rozdělení při jmenovitém katalogovém proudu činí podle zkušenosti asi 1 : 2,5 až 1 : 3. Při určité kvalitě kartáčů je rozdělení proudu závislé prakticky pouze na proudovém zatížení kartáčů (a v tomto případě na zatížení teoretickém, aritmetickém) a z toho plynoucí teplotě kontaktu.

Z obr. 4 je zřejmé, že u podtíženého kartáče s proudovou hustotou 3 A/cm² je pravděpodobnost rozdělení až 1 : 14!!



Obr. 4. Empirický diagram rozdělení proudu mezi kartáči.

Nerovnoměrnost rozdělení proudu mezi kartáči je velmi závažným problémem v práci kartáče. Podtížené kartáče, až nevedoucí, chřestí, lámou se a

rýhují kolektor, přetíženým se naopak pálí lanka a jejich stopy na kolektoru se silně opotřebovávají do hloubky.

Aby nebyly kartáče vystavovány zbytečným extrémům v zatížení, je pravidlem osazovat stroje jen tolika kartáči, aby proud v pracovním režimu stroje neklesal pod 75 % a nestoupal nad 125 % jmenovitého proudu kartáčů, což je chápáno trvale. U strojů s proměnlivým režimem, jako jsou stroje trakční, válcovací dynama apod., toto pravidlo ovšem dodržet nelze a stroje se musí osazovat takovými kartáči, které v době zatížení stroje vytvoří dostatečnou rezervu filmu pro dobu provozu naprázdno, kdy se film třením kartáčů opět spotřebovává.

Nerovnoměrné rozdělení proudu mezi kartáči, které je jejich „vrozenou“ vlastností, se může ještě podstatně zhoršit nesprávným a nestejným nastavením tlaků přítlačných pružin držáků, či nerovnoměrným chlazením sběrného ústrojí, třeba jen nevyčištěním filtrů chladicího okruhu.

Co je tedy třeba učinit, aby kartáče ve stroji vydržely co nejdéle (protože jsou drahé) a aby s nimi bylo co nejméně práce (protože je málo lidí k údržbě)?

V první řadě je třeba do stroje nasadit pouze takové kartáče, které výrobce pro stroj předepsal a které ve stroji vyzkoušel. Jenom v případě neprospěšnosti původních kartáčů, nebo v případě, že je stroj nasazen za takových podmínek, že v něm původní kartáče nevyhovují, je nutné přikročit k jejich náhradě.

Tomuto rozhodnutí musí ovšem předcházet důkladná konzultace s výrobcem stroje, případně odborníkem firmy, vyrábějící kartáče. Příslušný odborník musí vždy rozhodovat při dokonalé znalosti parametrů stroje, jeho pracovním režimu, prostředí a práce dosavadních kartáčů. „Střílení od boku“ a určování kartáčů na dálku se obvykle nevyplácí.

Než se kartáče do stroje nasadí vůbec, je třeba pečlivě přezkontrolovat celé sběrné ústrojí. Je nutné nastavit správné tlaky na kartáč v hodnotách, pro daný stroj příslušných a podle systému držáků je udržet v mezích $\pm 10\%$ od předepsané hodnoty.

Obvykle se navrhuje tlaky na kartáč asi v těchto mezích:

Stacionární stroje s komutátory	18 až 20 kPa
Malé stroje a strojky	25 až 30 kPa
Stroje s komutátory na pracovních strojích, jeřábech apod.	30 až 40 kPa
Trakční motory plně odpružené	28 až 38 kPa
Trakční motory částečně odpružené (tlapové)	30 až 40 kPa
Trakční generátory s dieslovým motorem	45 až 70 kPa
Kroužky turbogenerátorů hladké	20 až 25 kPa
Kroužky turbogenerátorů s drážkou	13 až 18 kPa
(10 kPa v soustavě SI je „lidově“ přibližně 100 g/cm ² .)	

Nový kartáč má kontaktní plochu rovinnou. Při tom má dosednout na válcovou plochu kolektoru. Kontaktní plochu je třeba přizpůsobit zabroušením. Pokud se na stroj nenasazují kartáče předem zabroušené, dodržujeme tuto zásadu: do 10 % nahrazovaných kartáčů není nutné kartáče zabrušovat, do 30 % se má předem připravit alespoň křídovým mařezáním nebo naškrábáním dosedací plochy tak, aby zvýšením místních tlaků na zbytečných původní plochy nastalo rychlé přizpůsobení plochy.

Přes toto množství je nutné všechny kartáče před uvedením do provozu zabrousit. (O praktických, s tím spojených, v dalším.)

Na tomto místě není zbytečně připomenout, že všechny kartáče ve stroji musí být téže kvality, musí tedy mít na sobě vyraženou stejnou značku a musí být stejného provedení. Výjimku z této zásady tvoří přísně speciální stroje s předepsaným smíšeným osazením.

Pak věnujeme pozornost kolektoru. Jeho plocha má být hladká, ne však vyleštěná, čistá, beze stop po cizích látkách, mazadlech apod. Osazuje-li se kolektor již použitý kartáči stejné kvality, vážíme si zachovaného filmu a nikdy jej neodstraňujeme!

Naproti tomu při změně kvality kartáčů je nutné původní a pro nový kartáč cizí film odstranit obroušením, popř. osmírkováním.

Nově osazené kartáče, zvláště tehdy, když byl kolektor zbaven filmu, je nutné zabíhat. Kartáče se považují za zaběhnuté, když se dosáhne kontaktu s kolektorem na 80 % doseďací plochy.

Kartáče se zabíhají zásadně s co největším proudem! Tedy při co největším možném zatížení stroje. Jenom tak dojde k vytváření správného filmu. Jakékoli zabíhání strojů naprázdno je vyloženě škodlivé, vede k rýhování kolektorů, lámání kartáčů, uvolňování lanek. Dokonce lze na měděných komutátorech, zabíhaných naprázdno, pozorovat strukturální přetváření povrchu lamel. To ovšem vede k trvalému, nenapravitelnému znehodnocení komutátoru.

Není-li stroj v provozu zatěžován podle štítkových údajů, nejsou-li tedy jeho kartáče zatíženy tak, jak bylo vpředu stanoveno, je v zájmu spolehlivého provozu nutné, stanovit denní nebo týdenní diagram provozu stroje. Získáme jej buď z nějakého registračního přístroje, nebo zapisováním hodnot proudu v pravidelných intervalech, třeba půlhodinových.

Z tohoto diagramu stanovíme střední proudové zatížení a podle něj stanovíme z katalogové hustoty proudu pro dané kartáče počet kartáčů, vhodný pro daný režim (potřebné údaje sdělí výrobce stroje nebo kartáče). Při výkyvech zatížení bereme v úvahu, že po dobu špičky, nepřesahující 15 sekund, snese kartáč bez škody přetížení 200 %, po dobu až pěti minut 150 %, trvale pak zmíněných 75 až

125 % a nesnese trvale pod 40 % zatížení jmenovitého. Obecně kartáči prospívá spíš lehké přetížení, než jakékoli podtížení.

Během provozu stroje má mít kolektor optimální teplotu těsně pod 100 °C, obvykle se udává 95 °C. Při teplotách nad 110 °C se ztrácí z kontaktu voda, roste silně koeficient tření a nastává velmi rychle opotřebenění kartáčů i kolektoru. Naopak při teplotách pod 60 °C se dostatečně neuplatňují impregnační činidla v kartáči, fixují se kontaktní body a nastává rychlé rýhování kolektoru a jeho opotřebenění. Rýhování je sice u strojů s pevnými ložisky hlavně vadou na kráse, avšak u strojů s možností axiálního posuvu rotoru je to životu stroje nebezpečná záležitost.

I před vlivem cizích nečistot, zejména prachů, jako je cement nebo železná ruda, je třeba kluzný kontakt chránit. Tady ochrání kolektor a kartáče před znečištěním jen uzavřený stroj se spolehlivými filtry, ovšem pravidelně čištěnými.

Zato před plyny, zejména chlórem, zplodinami hoření síry apod. není spolehlivě ochrana. Ani přívod chladicího vzduchu do uzavřeného stroje ze vzdáleného okolí, ani uzavřený chladicí okruh, nechrání zejména komutátory před tvořením cizích filmů — patin, převážně nevodivých. Tady pomáhá jen trpělivé a pravidelné čištění, smírkování, nebo nasazení speciálních abrazivních kartáčů.

Nakonec můžeme v malé míře ovlivnit i vlhkost vzduchu, přiváděného ke kluznému kontaktu. Do cesty vzduchu lze vložit odpařovací filtry, nebo prosté nádoby s vodou, které pomohou kartáči překlenout období nadměrného sucha a horka (nebo velkých mrazů). Stejně tak je možné chladicí vzduch vysoušet.

Z uvedených rad je zřejmé, že celá snaha po spolehlivé práci kluzného kontaktu je zaměřena jednak na správnou funkci kartáčů a držáků a jednak na rychlé a spolehlivé tvoření filmu, který je, jak jsme tvrdili již na začátku, nezbytnou podmínkou pro stabilní práci uhlíkového kartáče.

A protože tato práce, přes všechnu vynaloženou péči, nemusí být vždycky stabilní, poohlédneme se příště po příčinách nerovnoměrného opotřebenění kartáčů, kroužků a komutátorů.

Uhlíkové kartáče - černá magie kouzla zbavená

Stať třetí:

Nenormální opotřebení komutátorů a kroužků (druhá část — dokončení)

I když jsme se v předcházejícím výkladu seznámili jenom s částí příčin, vedoucích k nenormálnímu opotřebení kolektorů, je zřejmé, že toto opotřebení není záležitostí jednoduchou, a že dovede připravit provozovatelům strojů dostatek starostí. Proberme nyní ostatní příčiny, ať máme tuto temnou oblast uhlíkářského umění za sebou.

3. Napadení komutátorů jiskřením

V této kapitole se nebude pojednávat o jiskření, které je způsobeno nedokonalou komutací — i když takové jiskření má podobné následky. My však předpokládáme, že náš stroj je komutačně v pořádku.

Při synchronních strojích jsme si řekli, že anodický kroužek (záporný) se daleko více opotřebovává, než katodický (kladný). Totéž lze pozorovat na komutátorech stejnosměrných strojů, když kartáče různých polarit běží v oddělených stopách. V tom případě se opotřebovávají jen anodické stopy.

Příčinou tohoto opotřebení jsou (mezi jiným) jiskry, většinou sotva viditelné — a někdy dokonce neviditelné — které vznikají pod kartáčem. Tyto jiskry jsou způsobeny např. tepelnými průrazy příliš izolačního filmu, nebo průrazy, které nastanou, když se oddrobené částice tohoto cizího filmu, nebo nevodivé částice z okolního vzduchu, zaryjí do kontaktní plochy. Dále sem patří jiskry, vznikající při nadzdvížení kartáče nepravidelnostmi povrchu komutátoru, nevyvážky, rázy, vibracemi při tzv. chřestění kartáčů, posleze i jiskry z přenosového pásma C (viz první stať).

Tyto jiskry ionizují vzduch a vodu na povrchu komutátoru (a v tomto případě to platí i pro kroužky). Tím se obojí stává vodivým. Vzniká elektronový oblak, který naráží velkou rychlostí na anodický komutátor nebo kroužek a ohřívá ho bodově až k tavení a odpařování. To je vlastní příčinou tohoto jiskrového opotřebení komutátoru či kroužku, které je vlastně elektroerozí.

Nastane-li popsáný stav, jsou komutátory i kroužky velmi náchylné k přeskokům!

Podobné opotřebení najdeme na katodicky polarizovaném komutátoru či kroužku jen stěží. Byl by k tomu zapotřebí mnohem větší odstup obou členů kontaktu od sebe, aby mnohem větší a tím i pomalejší kladné ionty získaly dostatečnou energii, nutnou k odpaření nebo tavení katody. Takových podmínek by se dosáhlo např. při vyšších obvodových rychlostech (nad 40 až 50 m/s), při velkých neokrouhlostech nebo při nedostatečném tlaku na kartáč.

I když jsou tyto jiskry velmi malé a většinou sotva viditelné, sčítá se jejich účinek za provozu při každé otáčce. Stejně, jako u elektrolytických pochodů, se vliv tohoto jiskření z valné části stírá, běží-li za sebou ve stejné stopě kartáče obojí polarit. Úplně však tento jev nevymizí nikdy.

Odpomocí je odstranění nerovností osoustružením a vyvážením nebo úprava tlaku na kartáč.

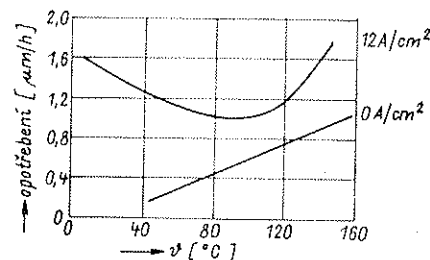
4. Rýhování za zvláštních atmosférických podmínek

Jak již bylo řečeno, je kolektor za normálních okolností pokryt tenkým vodním filmem. Podle vlhkosti vzduchu a teploty je tato vrstva různě tlustá. Její tloušťka leží mezi 5 a 15 mikrometry.

Tento vodní film je pro bezvadnou práci kartáče doslova existenční podmínkou. Jeho „mazací“ schopnost spočívá v tom, že vzdor své extrémně malé tloušťce od sebe oba členy kontaktu — kartáč a kolektor — do té míry odděluje, že mezi nimi nemožou působit intermolekulární síly. Jestliže tento film chybí, uplatní se tyto síly v plné míře, takže vzniká rychlé opotřebení kolektorů i kartáče. (Intermolekulární síly způsobují např. vzájemné lpení vyleštěných koncových měrek.)

Tento vodní film je na kolektoru i za provozní teploty stroje. Co se však stane, když teplota kolektoru překročí 100 °C, tedy když se změní v páru?

Při přesně 100 °C se neodpaří ještě všechna voda, vždy ještě zůstává absorbovaný zbytek. Kritická situace nastává teprve tehdy, když se tato teplota podstatně překročí. Na obr. 1 je zřejmé, že opotřebení kartáče prudce narůstá mezi 120 až 130 °C, i když koeficient tření někdy dále klesá.



Obr. 1. Charakteristický průběh opotřebení kartáče (mikrometry za hodinu) v závislosti na teplotě kolektoru ϑ_{kol} a na proudové hustotě.

Jelikož vodní film závisí na vlhkosti vzduchu, zhoršuje se situace, klesá-li vlhkost na extrémně nízké hodnoty. Rozhodující ovšem je absolutní obsah vody ve vzduchu. Optimem se ukázaly hodnoty mezi 10 až 15 g/m³. Opotřebení kartáčů roste s poklesem vlhkosti zhruba od 9 g/m³ a u 6 g/m³ přechází v rapidní opotřebení. S tím je samozřejmě spojeno i zvýšené opotřebení kolektorů.

Schopnost vzduchu jimat vodu značně závisí na teplotě. Při 20 °C může vzduch pojmout 22 g vody na krychlový metr při 100 % relativní vlhkosti. Kritického práhu 5 až 6 g/m³ je dosaženo při -5 °C. Nižší teploty pak působí potíže. Tím se vysvětlují výskyty rapidního opotřebení kartáčů za tuhých zim, které postihují hlavně SSSR, Kanadu a Skandinávii. I ve velkých výškách dochází u letadel ke známému „výškovému“ rozprášení kartáčů vlivem suchého chladu.

Ovšem i v oblasti normálních teplot může dojít k rapidnímu opotřebení, když je relativní vlhkost nízká. Při teplotě 20 °C a relativní vlhkosti 20 % je obsah vody ve vzduchu jen 4 g/m³, kritický práh je tedy překročen.

Nebezpečně nízká vlhkost vzduchu může vzniknout i v uzavřených strojích, které jsou herme-

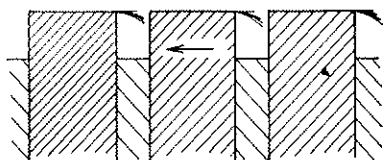
ticky odděleny od okolního vzduchu. Znamé jsou např. potíže, které byly s kroužky kompenzátorů pracujících ve vodíku. Aby se dosáhlo uspokojivé práce kartáčů, bylo nutné nejen nainstalovat speciální kartáče, ale i vodík nevysoušet, nebo dokonce vlhčit, aby vnitřek stroje obsahoval alespoň 10 g vody na m³.

Speciální kartáče pro tyto účely mají zvláštní impregnaci, která buď má jisté mazací schopnosti za sucha, nebo obsahuje krystalickou vodu.

Tolik tedy o rýhování komutátorů, zatím bez vedlejších průvodních jevů, lze tedy přejít k dalším závadám.

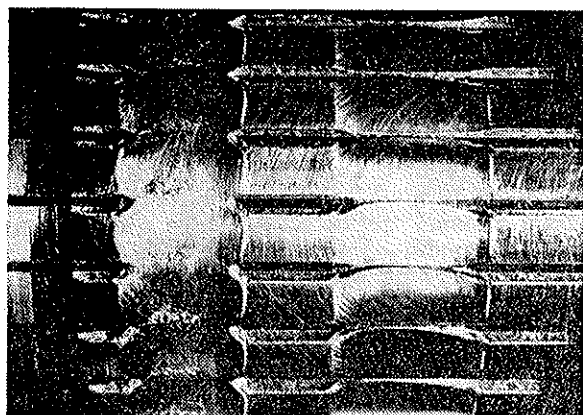
Posuv mědi

Jev, zvaný posuv mědi, přináší stále hodně potíží a starostí, především proto, že se ve většině případů vyskytuje naprosto překvapivě. Posuvem mědi rozumíme obecně tvoření drobných šupinek mědi na odběhových hranách lamel, u reverzních strojů na obou hranách. Obrázek 2 ukazuje sche-



Obr. 2. Schematické znázornění posuvu mědi.

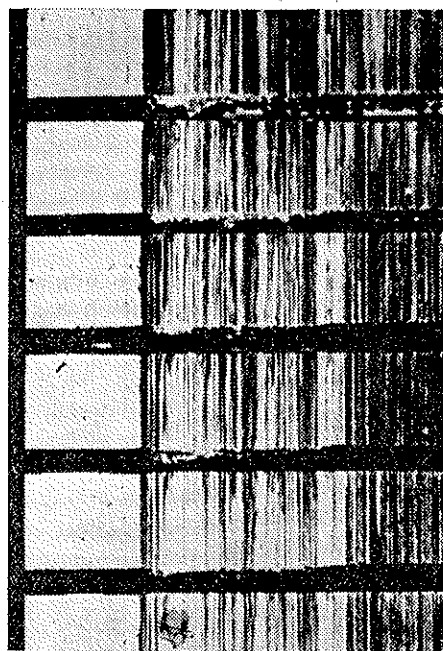
maticky, jak posuv mědi vypadá. Je vidět, že nad sebou leží několik vrstev šupinek, při čemž se spodní vrstva blíží k sousední lamelě. V tom spočívá hlavní nebezpečí posuvu mědi, že může podpořit sklony k přeskokům mezi lamelami, případně ke kruhovému ohni na komutátoru. Při zanedbání údržby stroje může dojít i k úplnému zkratu mezi lamelami (obr. 3). Obrázek však současně dokumentuje, že oxidy na lamelách od sebe lamely izolují, protože stroj na obrázku v době fotografování ještě pracoval.



Obr. 3. Posuvem mědi zkratované lamely komutátoru.

Šupiny bývají často jen 1 až 2 mm široké (ve směru osy komutátoru), vyskytují se však i širší i rozprostřené po celé délce stopy kartáčů. V tom případě mívají podobu několik centimetrů dlouhých záclonek. Při úzkých šupinách lze obvykle současně pozorovat v místě šupiny světlou dráhu bez filmu (obr. 4).

Posuv mědi lze vyprovokovat, obrábí-li se komutátor tupým nožem. Lamely přitom nejsou ořezá-



Obr. 4. Komutátor s rýhami, čistými drahami bez filmu a se šupinkovým posuvem mědi v nich.

vány, ale poddajný kov se vytlačuje přes hranu lamely.

Když se vyskytne posuv mědi na stroji v provozu, bývá zvykem jako okamžitou příčinu označit samozřejmě pouze kartáč, protože přece nic jiného do styku s komutátorovou mědí nepřichází. Obvykle se posuv mědi přičítá neklidnému chodu kartáčů a z toho vyplývajícímu „kovacímu“ efektu na povrchu lamel.

Tak, jako se po úderech kladiva na hlavici sekáče materiál ohýbá navenek, přesně týž proces nastává na lamelě pod vibrujícím kartáčem. Vlivem pohybu komutátoru pod kartáčem se pak materiál posouvá k odběhové hraně.

Za příčinu posuvu mědi můžeme tedy považovat vše, co je příčinou neklidného chodu kartáčů, jejich chvění a chřestění.

Na prvním (nejvýznamnějším) místě je nutné uvést nízkou teplotu komutátoru. V dalším bude doloženo, že koeficient tření leží u většiny uhlíkových materiálů při 30 °C o 100 % (nebo více) výše, než při 80 °C. To se musí samozřejmě projevit i na práci kartáče, což je dokázáno i skutečností, že se posuv mědi vyskytuje prakticky pouze na studených komutátorech.

Podobnou příčinou je příliš suchý vzduch. Existuje mnoho příkladů na to, že se posuv mědi vyskytuje jen „sezónně“, zejména za tuhých zim. Ke skutečnosti, že při suché zimě obsahuje vzduch sám o sobě již málo vlhkosti, přichází jako zhoršující faktor to, že při nízkých teplotách i při 100 % relativní vlhkosti jsou absolutní hodnoty vlhkosti příliš nízké.

Stejným způsobem, jako nahoře popsané důvody, působí i velké podtížení a běh naprázdno. Při takovém provozu bývají komutátory obecně chladné, protože ztráty třením většinou nestačí samy k tomu, aby komutátor dosáhl příznivé teploty nad 60 °C. Zde obvykle mnoho nepomáhá redukování počtu kartáčů. Sice se tím proudová hustota a tedy i elektrické ztráty podle charakteristiky poněkud zvětší, toto zvětšení však při příliš malém zatížení obvykle ani nestačí vyrovnat snížení ztrát třením,

kteře klesly proporcionálně se zmenšením počtu kartáčů, natož ztráty a tím i teplotu dokonce zvýšit.

Klidný chod kartáčů je také ovlivněn abrazivním prachem (stavební prach, u trakčních motorů prach z trati a z brzdových zdrží) a agresivními plyny a parami. Je logické, že se tyto vlivy na klouzání kartáče projeví negativně.

V této souvislosti nelze opominout ani čistě mechanické příčiny neklidného chodu kartáčů, které mohou v určitých případech hrát dokonce rozhodující roli. Různé rázy, vibrace, kmitání ložisek a nevyvážky nutí kartáče k radiálním pohybům, zvláště tehdy, vyskytují-li se periodicky, tedy s konstantní frekvencí. Tyto vlivy jsou ještě zesilovány labilním sběrným ústrojím, nepřiměřeným tlakem na kartáč, nebo nedokonalým držákem.

Dále se nesmí zapomenout na to, že různé kvality uhlíkového materiálu mají větší nebo menší sklon k posuvu mědi. Při tom předem vylučme nekvalitní nebo nekompaktní materiál. Je zřejmé, že „tvrdý“ sazový materiál s velkým odporem, bude k posuvu mědi při podtížení a nízké teplotě náchylnější, než „měkký“ materiál koksový (sazové materiály ovšem potřebujeme pro komutaci!).

V případech, ve kterých se posuv mědi vyskytuje bez shora uvedených příčin, je nutné poradit se s výrobcí kartáčů. Pak lze dosáhnout zlepšení třeba jen jednoduchou změnou impregnace kartáče.

Nakonec je třeba se zmínit o komutátorové mědi. Ta musí mít určitou tvrdost, aby bylo opotřebení komutátoru co nejmenší a aby tomuto opotřebení i posuvu mědi kladla co největší odpor. Podle průzkumu u evropských výrobců elektrických strojů by neměla být Brinellova tvrdost nikdy menší než 90, ještě lepší jsou však hodnoty kolem 100.

Co je tedy třeba podniknout, aby se posuv mědi odstranil, nebo ve tvrdších případech alespoň zmenšil na snesitelnou a bezpečnou míru?

Odpověď zní: odstranit všechny ty různé, shora popsané příčiny, které k posuvu mědi vedou.

U příliš studených strojů je nutné zredukovat chlazení. U strojů s vlastním chlazením lze kanály částečně, nebo úplně uzavřít. U strojů s cizím chlazením konstruktéři leckdy s takovou možností počítají a do stroje připraví regulaci chlazení. Pokud tomu tak není, zůstane škrcení chlazení na obsluze, která však takové zásahy většinou odmítá. Ne snad proto, že jde o práci navíc, ale hlavně z obavy, že se stroj přehřeje a tím poškodí. Tato obava je neopodstatněná, jak bylo mnohokrát prakticky dokázáno na stacionárních strojích i na lokomotivách.

Jako příklad: válcovské pohony měly při teplotě okolí 15 °C teplotu komutátoru jen 30 °C. Po zmenšení vstupu vzduchu o celých 20 % stoupla teplota komutátoru jen o 5 °C, tedy téměř vůbec ne! K dalšímu seškrčení se však provozovatel stroje neodhodlal.

U strojů podtížených, nebo často pracujících naprázdno, je nutné vedle škrcení chlazení redukovat i počet kartáčů. Při tom se musí ovšem pečlivým výpočtem respektovat proudové špičky stroje. A ovšem při redukování počtu kartáčů respektovat vpředu zdůrazněnou ztrátu teploty od zmenšeného tření!

Je-li v chladicím vzduchu prach nebo písek, je nutné chladicí vzduch lépe filtrovat, pokud není tento stav jen přechodný. Více námahy dá odstranění škodlivých plynů a par. Obvykle je nutné nasávat chladicí vzduch mimo postižený prostor.

Pokud má posuv mědi mechanické příčiny, je nutné učinit pokus k jejich odstranění. U opotřebeného ložiska nebo u nevyvážky je to snadné. Jde-li však o rázy nebo kmitání, které přicházejí zvenčí (např. od poháněného zařízení, od převodovky, nebo u trakčních motorů od kolejnic), je často dobrá rada drahá.

Často se i v literatuře doporučuje zvýšení tlaku na kartáč. Zvýšením tlaku se ovšem dosáhne jistějšího kontaktu a ztlíží se zvedání kartáče od komutátoru. Takové opatření je však dvousečnou zbraní. Zvýšení tlaku na kartáč totiž úplně mění poměry tření na komutátoru, takže tento dobře míněný a logicky zdůvodněný zásah může teprve posuv mědi masově nastartovat. Je tedy nutné experimentovat opatrně.

Samozřejmě obecně platí — nehledě na problém posuvu mědi — že tlak na kartáč musí být tím větší, čím je neklidnější provoz.

Z praxe je známé, že při výskytu posuvu mědi je snadou hledat příčinu vždy v kartáči. Ať už je to pro názor, že výrobce dodal špatnou kvalitu (to bývá v případech, kdy používaná kvalita pracovala léta bez závad a zhoršení nastalo náhle), nebo že dojde k přesvědčení, že se používaná kvalita pro stroj, nebo pro nové pracovní podmínky nehodí.

Pro výrobce kartáčů a pro odborníky bývá často velmi obtížné, najít přijatelné vysvětlení a řešení. Většinou se nenajde ani po velmi pečlivé chemické a hmotové analýze žádná materiálová závada, ani rozdíl proti dříve dodávaným materiálům, se kterými byla spokojenost. Ještě zmatenější je situace, když posuv mědi bez rozeznatelné příčiny zase sám od sebe zmizí. Ani tento případ se nevyskytuje zřídka! To je právě důkaz pro to, že jsou ve hře ještě i jiné faktory, než samotný kartáč. V každém případě je však dobré, okamžitě vyzkoušet na postiženém stroji jednak kartáče ze stejného materiálu, ale z jiné dodávky a jednak jinou kvalitu. Tím se třeba podaří některý z faktorů eliminovat.

Na konci této kapitoly je nutné zvláště zdůraznit, že je velmi důležité po osoustružení komutátoru a prořezání drážek velice pečlivě opracovat hrany lamel. V žádném případě nestačí jenom lehce škrabákem „polechtat“ hrany, nebo naopak hlubokým řezem hrany za studena přetvářet. Srážení hrany — fazona — musí být pouhým okem rozeznatelná, jako rovná, jednolitá plocha a má být asi 0,2 mm široká. Pokud to dovolí šířka lamely (je-li větší, než 5 mm), doporučuje se seříznout asi 0,3 mm.

Kvalitní srážení hran lamel jednoznačně snižuje tendenci k posuvu mědi, zvláště u lamel velmi úzkých.

V americké literatuře lze nalézt tvrzení, že se studeným obráběním při srážení hran lamel tyto hrany vytvrdí do té míry, že se odlučování šupin z hran podstatně zmenší. Když se však opracování hran za studena přežene, vzniknou jiné potíže: vytvrzené hrany se opotřebovávají méně, než povrch lamely mezi nimi a kartáče pak na vystouplých hranách lamel odskakují a jiskří.

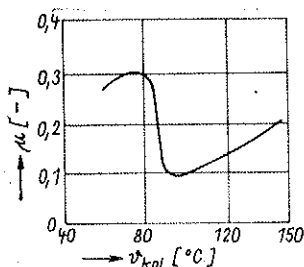
Tvoření čistých drah bez filmu

V posledních třech desetiletích se stavějí stále více využitě elektrické stroje, to znamená, že se z daného objemu stroje získává větší výkon než dříve. Zvláště výrazná je tato tendence u trakčních strojů. V podvozku lokomotivy není výpočtářů a konstruktérů pro větší motor prostě prostor k dispozici.

Toto vyšší využití bylo umožněno jen tím, že se aktivní materiály stroje — měď a železo — elektricky a magneticky více zatížily a rovněž se zvýšily otáčky. Následkem toho se i zvýšila teplota strojů a tím i komutátorů a nejsou řídké případy, kdy tato teplota přesahuje 100 °C.

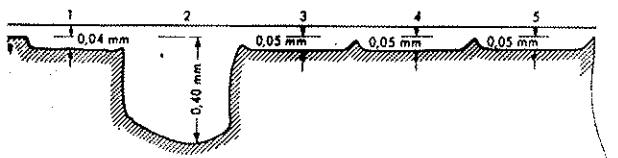
Jak se teplota, vyšší než 100 °C, projevuje na práci kartáčů?

Z důvodů, které byly na začátku vysvětleny, je nízká teplota komutátorů nepříznivá a rovněž nemá být podstatně překročena horní mez teploty (100 °C), třeba proto, aby se snížilo opotřebení kartáčů. Je zřejmé, že teplota má na chování kartáčů na komutátoru výrazný vliv. Před léty naměřil německý inženýr Glass křivku závislosti koeficientu tření na teplotě na zkratovaném komutátoru (obr. 5). Změny koeficientu tření jsou evidentní, i když s doslovnou interpretací Glassovy křivky na skutečném stroji se lze těžko smířit. Lépe je akceptovat pouze její tvar.



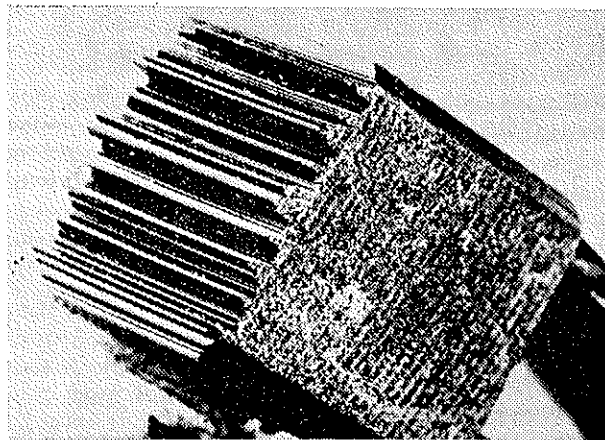
Obr. 5. Závislost koeficientu tření μ na teplotě kolektoru θ_{kol} (schematicky podle ing. Glasse).

Nelze si odpustit příklad: v roce 1972 zvýšily Německé spolkové dráhy maximální rychlost rychlíků ze 120 na 160 km/h a současně zvětšily jejich hmotnost ze 450 na 500 t. Následky byly tyto: na komutátorech se objevily čisté dráhy, ve kterých byl odbroušen film. V postižených stopách vykazovaly kartáče nadměrné opotřebení. Zatímco za normálních okolností rozptyl opotřebení kartáčů v jednotlivých stopách byl 1:2, v nepříznivých případech až 1:3, našly se na těchto komutátorech rozptyly až 1:7. Současně nabylo extrémních hodnot i opotřebení komutátorů v těchto stopách, které dosahovalo hodnot až o řád vyšších. Domnění, že je tyto jevy nutné přičíst vysoké teplotě (místní, v jednotlivých stopách), se pak v plném rozsahu potvrdilo řadou zkoušek (obr. 6).



Obr. 6. Nestejné opotřebení stop kartáčů 1 až 5 na komutátoru trakčního motoru (převzato z časopisu Elektrische Bahnen č. 2/1970).

Tvoření čistých drah bez filmu je ovšem možné a dokonce časté i na motorech nevytížených a tedy studených. Na začátku byla vyložena nutnost minimálních ztrát 40 W na kartáč, aby došlo k rušení kontaktních bodů v kartáči. Pokud se nepodaří při příliš nízkém zatížení tyto body likvidovat a nahrazovat novými, vznikají fixované kontaktní body, které převezmou bodové vedení celého prou-



Obr. 7. Extrémní případ hlubokého rýhování komutátoru — kopie rýh v kartáči.

du v kartáči. V těchto fixovaných kontaktních bodech vzniká vysoké místní oteplení, které je příčinou tvoření zejména užších (1 až 5 mm) čistých drah, ve kterých se komutátor opotřebovává do hloubky a kde dochází i k místnímu posuvu mědi.

Pro praxi plyne po mnoha nasbíraných zkušenostech a po mnoha vykonaných měřeních, která zdaleka nejsou ukončena a která zdaleka nevyšvětlila všechny jevy, tento závěr:

Je nutné vybírat kartáče pro nasazení ve stroji tak, aby byly respektovány všechny specifické zvláštnosti stroje i kartáče. Například nelze nasazovat kartáč, který má při 100 °C výrazný nárůst opotřebení tam, kde se taková teplota bude trvale vyskytovat, nebo nelze vystavovat nějaké určité teplotě kartáč, o kterém víme, že právě za této teploty má prudký pokles kontaktního úbytku apod. Tam bychom museli počítat s nerovnoměrným rozdělením proudu, protože kartáče s malým úbytkem by nabíraly větší proud.

I jednotlivé stopy na komutátoru mají ve většině případů rozdílné teploty. Může tedy nastat, že jedna ze stop převezme většinu proudu, dále se ohřeje, přehřátím ztratí film a vznikne na ní čistá dráha bez filmu.

Tak se mohou sekundárně vytvářet další příčiny vzniku čistých drah bez filmu.

Tím se uzavírá přehled příčin a jevů při ne-normálním opotřebení komutátorů a kroužků. Odstraňování všech ukázaných příčin není jednoduché, vyžaduje značné zkušenosti a v neposlední řadě i značnou trpělivost. Pokusy jsou náročné a často i zdoluhavé, protože musí zahrnout i sezónní vlivy. Je k nim kromě vlastní snahy a pevné vůle velmi zapotřebí porozumění a důvěra nadřízených.

Jako zlaté pravidlo platí: nikdy nedělejte více zásahů současně! Pak totiž není zřejmé, co vlastně chování kluzného kontaktu ovlivní. Vždy je třeba postupovat krok za krokem.

Na závěr výkladu o rýhování je zde obrázek kartáče, který spolehlivě pracoval na rýhovaném komutátoru (obr. 7). Ale pozor! Nenechte to u vás dojít tak daleko!

A příště se pustíme — ve stati čtvrté — do kartáčových držáků, jejich druhů, tvarů, předností a nevýhod.

621.3.047.4