

Kazimierz Malota
Elektrocarbon Sp. z o.o., Tarnowskie Góry

PROBLEMY EKSPLOATACYJNE ORAZ DIAGNOSTYKA ZAKŁÓCEŃ I AWARII WYSTĘPUJĄCYCH W PRACY MASZYN ELEKTRYCZNYCH Z ZESTYKIEM ŚLIZGOWYM

OPERATING PROBLEMS AND DIAGNOSTICS OF DISTURBANCES AND FAILURES OCCURING IN THE OPERATION OF ELECTRICAL MACHINES WITH SLIDING CONTACT

Abstract: Technical devices that use electric machines with brush sliding contact still represent a large part of utilized drives. In wide variety of applications for carbon brushes such as mining, vehicles with battery drive, aerospace, cosmonautics, power engineering, traction, industry, and many other areas, proper selection of the sliding contact elements, mainly carbon electric brushes, is a prerequisite for failsafe work, to obtain the best performance and lowest operating costs.

In recent years, due to the generational exchange of technical personnel in industry, more and more often one does not see the importance of maintaining a professional approach to the technical efficiency of electrical machines with sliding contacts.

In this study we present few selected from recent years, typical operational problems, identified by the company's specialists from Elektrocarbon in Tarnowskie Góry. Often, problems arose from failure to the technical rules of proper selection of replacement part to sliding contact: brush holder or brush.

In this study have been discussed following examples of failure and disruption of machines that have occurred in:

- asynchronous slip-ring motors used in conveyor belt drives in coal open-pit mines,
- the commutator generator supplying winder in a coal mine,
- the railway engine of modernized electric locomotives.

In each of these cases method of how problems were successfully solved was presented.

1. Wstęp

Mimo dużego postępu technicznego w napędach przemysłowych i transporcie, który prowadzi m.in. do zastępowania maszyn elektrycznych wyposażonych w układy szczotkowe maszynami bezszczotkowymi, nadal urządzenia techniczne wykorzystujące maszyny ze szczotkowym zestykiem ślizgowym stanowią dużą część eksploatowanych napędów.

W tak zróżnicowanych zastosowaniach szczotek węglowych jak górnictwo, pojazdy o napędzie akumulatorowym, lotnictwo i kosmonautyka, energetyka, trakcja, przemysł i wiele innych dziedzin; właściwy dobór elementów zestyku ślizgowego, w tym głównie węglowych szczotek elektrycznych, jest warunkiem bezawaryjnej pracy, uzyskiwania najlepszych osiągnięć i najniższych kosztów eksploatacji.

W ostatnich latach, ze względu na wymianę pokoleniową personelu technicznego w przemyśle, coraz częściej nie dostrzega się wagi profesjonalnego podejścia do utrzymania w sprawności technicznej maszyn elektrycznych z zestykiem ślizgowym.

W niniejszej pracy zaprezentowano kilka wybranych z ostatnich lat typowych problemów eksploatacyjnych, z którymi spotkali się specjaliści spółki Elektrocarbon w Tarnowskich Górach. Często problemy wynikały z niezachowania technicznych zasad prawidłowego doboru wymienianych elementów zestyku ślizgowego: szczotek lub trzymadeł szczotkowych. Omówione zostały przykłady przypadków awarii i zakłóceń pracy maszyn, które wystąpiły w:

- asynchronicznych silnikach pierścieniowych stosowanych w napędach przenośników taśmowych w odkrywkowej kopalni węgla brunatnego,
- w prądnicach komutatorowej zasilającej maszynę wyciągową w kopalni węgla kamiennego,
- w silnikach trakcyjnych modernizowanych elektrowozów kolejowych.

W każdym z tych przypadków przedstawiono w jaki sposób problemy zostały skutecznie rozwiązane.

2. Silniki pierścieniowe w Kopalni Węgla Brunatnego Bełchatów

Producent silników ZEM „EMIT” S.A. zgłosił problem z silnikami typu SUfr 710 i SUfr 750, zabudowanymi do przenośników taśmowych kopalni KWK Bełchatów, do których szczotki i trzymadła dostarczał zakład Elektrocarbon. Użytkownicy silników stwierdzili zakleszczanie się szczotek w gniazdach trzymadeł szczotkowych, pękanie ścianek gniazd trzymadeł i wypadanie linek miedzianych z korpusów szczotek.

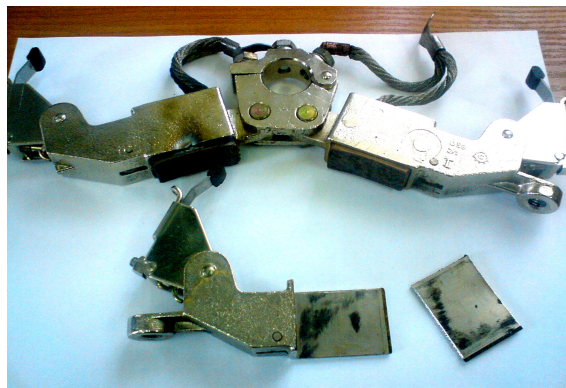
Po zapoznaniu się na miejscu ze zgłoszonymi problemami stwierdzono:

- Przyczyną zakleszczeń w trzymadłach i pęknięcia ścianek gniazd był znaczny przyrost wymiarów poprzecznych korpusów szczotek metalografitowych w trakcie eksploatacji (tzw. „puchnięcie”). Pomiary dokonane na zimno na szczotkach wyjętych z gniazd wykazywały przyrost wymiarów do 0,3 mm.

W czasie rozruchu silników w napędach przenośników taśmowych przyrosty temperatur szczotek są bardzo znaczne, co na skutek rozszerzalności cieplnej powoduje, że wymiary szczotek powiększają się jeszcze bardziej, powodując zakleszczanie się szczotek w trzymadłach, utratę styku z pierścieniami ślizgowymi i czasem przepływ prądu w postaci łuku elektrycznego. W kilku przypadkach szczotki zwiększające swoje wymiary spowodowały rozerwanie gniazda trzymadła.

- Pozostałe szczotki nadal współpracujące z pierścieniami przejmowały zwiększone obciążenie prądowe. Złącza linka - szczotka podlegały wówczas przeciążeniom, co przy dłuższej ich pracy powodowało przegrzanie złącza, wzrost rezystancji przejścia złącza R_{ls} (spadek konduktancji) [1] i w konsekwencji przeciążenia dalszych szczotek pracujących w układzie równoległym, prowadząc do zniszczenia (najczęściej wypadnięcia linki).

„Schemat ideowy układu elektrycznego zestyku ślizgowego” szczotek pracujących równolegle, przedstawiony w pracy [1], odnoszący się do maszyn pierścieniowych synchronicznych, wyjaśnia mechanizm rozplywu prądu w szczotkach o różnych rezystancjach, również w odniesieniu do maszyn pierścieniowych asynchronicznych.



Rys. 1. Przykład uszkodzonych trzymadeł i szczotek na skutek użycia szczotek z niewłaściwego materiału

- Wyjęte z silników wadliwe szczotki, odcinane symbolem M78, zbadano w laboratorium Elektrocarbon. Badania wykazały, że materiał szczotkowy kwestionowanych szczotek nie odpowiada parametrom elektrofizycznym marki materiału zamówionej zgodnie z DTR i podanej na korpusie szczotek. Stwierdzono jednoznacznie, że zarówno szczotki, jak i materiał nie zostały wyprodukowane przez Elektrocarbon. Przedstawiciele KWB Bełchatów przyznali, że szczotki metalografitowe, jako części zamienne na wymianę, zostały zakupione na podstawie tańszej internetowej oferty, od innego dostawcy.

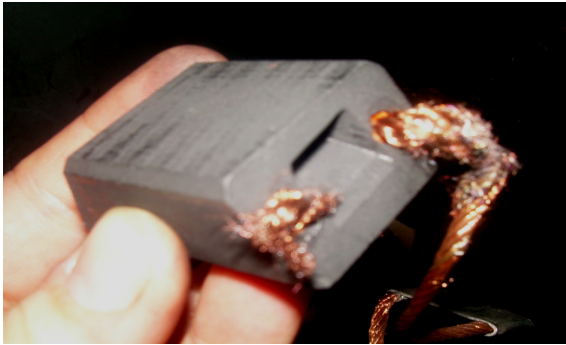
Po dostarczeniu oryginalnych szczotek M78, zgodnych z DTR, o wymiarach i tolerancjach ustalonych z producentem silników w oparciu o wieloletnie doświadczenia, problemy zostały rozwiązane.

3. Prądnica maszyny wyciągowej w Kopalni Węgla Kamiennego Bolesław Śmiały

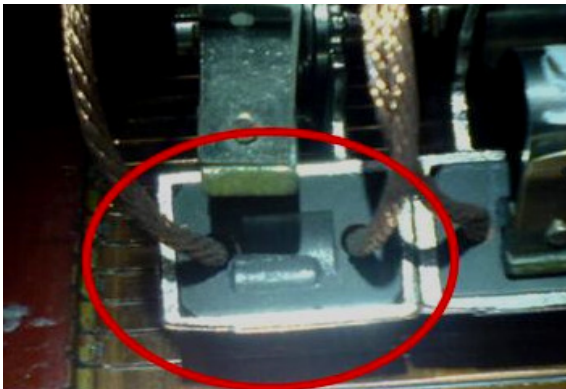
W ramach przeprowadzonego remontu prądnicy firmy Skoda, zasilającej maszynę wyciągową, specjalistyczna firma serwisowa przeprowadziła renowację komutatora, zainstalowała zakupione przez kopalnię trzymadła szczotkowe oraz komplet szczotek produkcji Elektrocarbon.

Po oddaniu maszyny do eksploatacji w niedługim czasie służby remontowe kopalni zgłosiły niewłaściwą pracę i wykruszanie się szczotek. Na miejscu w kopalni specjaliści Elektrocarbon stwierdzili występowanie szeregu wad w zamontowanych nowych trzymadłach. Wymiary gniazd trzymadeł wykraczają znacznie poza tolerancje podane w normie PN-90/E-06736/Az1,

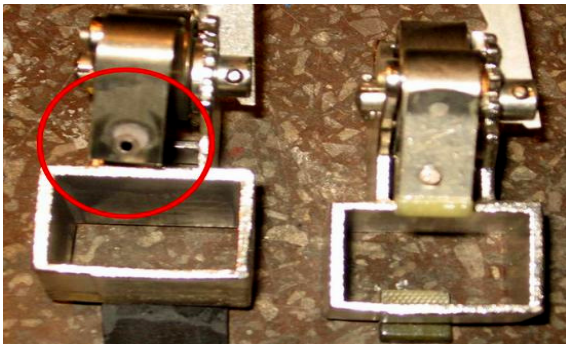
brak oznaczenia producenta, nieprawidłowo zamocowane do sprężyny stalowo-tekstolitowe nasadki dociskające szczotki, przypadki odpadania przynitowanych nasadek. W kilku przypadkach sprężyny pozbawione nasadek, naciskając bezpośrednio na górną powierzchnię szczotki wyłobiliły w niej pod wpływem drgań duże zagłębienia, doprowadzały do wykruszeń szczotek, a czasem uszkadzały (przecinały) linki miedziane.



Rys. 2. Przykład zniszczonej szczotki przez sprężynę dociskową, z której odpadła tekstolitowa nasadka



Rys. 3. Skręcona w lewo sprężyna docisku szczotki wyłobiała drugie wgłębienie przesuwając się w stronę linki. Po dłuższej pracy groziło to przecięciem linki



Rys. 4. Trzymadło zdjęte z prądnicy maszyny wyciągowej po oderwaniu się nasadki przynitowanej do sprężyny dociskającej szczotkę

Dla uniknięcia wyłobień powodowanych przez sprężyny na górnej powierzchni szczotek, specjaliści Elektrocarbon zaproponowali szczotki z warstwowymi gumowo-tekstolitowymi nakładkami tłumiącymi. Służby kopalni nie przyjęły jednak tej propozycji. Uzgodniono i wykonano następujące działania:

- firma serwisowa ponownie wyrównała powierzchnię ślizgową komutatora, wymieniła wszystkie uszkodzone trzymadła lub sprężyny i szczotki.

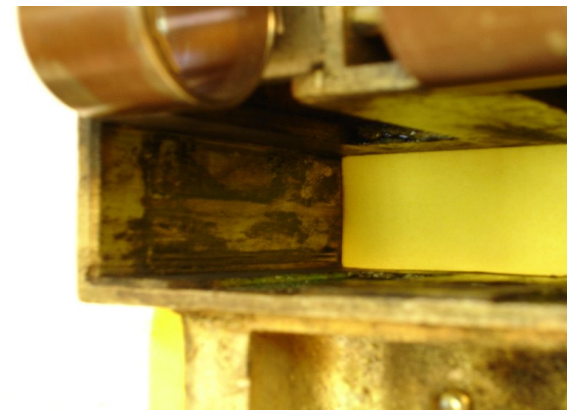
- Elektrocarbon wykonał „nadwymiarowe” szczotki, które służby remontowe kopalni dopasowały indywidualnie do gniazd trzymadeł. Działania te pozwoliły na poprawną kilkumiesięczną pracę prądnicy Skoda.

Po analizie kinematyki ruchu sprężyny dociskowej w nowych trzymadłach, technicy Elektrocarbon zaproponowali zmianę konstrukcji korpusu szczotki. Zmiana ta polegała na wyeliminowaniu skosu górnej powierzchni szczotki, która była wymagana wcześniej w trzymadłach stosowanych poprzednio. Dzięki temu uzyskano lepszą współpracę sprężyny dociskowej z rowkiem na górnej powierzchni szczotki. Zwiększono również rozstaw linek w szczotkach, zmniejszając ryzyko uszkodzenia linek przez sprężynę dociskającą. Zastosowane rozwiązania znacznie zmniejszyły drgania i wyciszyły pracę szczotek, pozwalając na poprawną pracę prądnicy maszyny wyciągowej.

4. Silniki trakcyjne lokomotyw w ZNLE Gliwice

Biuro Taboru PKP Intercity S.A. zgłosiło problem zakleszczania się szczotek w trzymadłach silników trakcyjnych LKa740 stosowanych w lokomotywach EP09, remontowanych w Zakładach Naprawczych Lokomotyw Elektrycznych S.A. w Gliwicach. Szczotki, do których zgłaszano uwagi wykonywała od 2008 r. spółka Elektrocarbon z importowanego materiału szczotkowego, dobranego do tych lokomotyw na podstawie badań klienta.

Użytkownicy stwierdzali, że w trakcie eksploatacji na powierzchni szczotek pojawiała się lepka substancja powodująca blokowanie się szczotek w obsadach szczotkowych i utratę kontaktu elektrycznego, co powodowało pojawianie się ognia na komutatorze i uszkodzenia pozostałych szczotek, trzymadeł i komutatora.



Rys. 5. Szczotki i trzymadło szczotkowe silnika trakcyjnego lokomotywy EP09 z naciekami substancji żywicznej powodującej zakleszczanie się szczotek

Dla zdiagnozowania przyczyn tego zjawiska przeprowadzono odpowiednie badania w laboratorium spółki Elektrocarbon.

4.1. Sprawdzenie własności materiału szczotkowego

Na początek sprawdzono własności elektrofizyczne materiału szczotkowego w celu weryfikacji gatunku materiału. Wyniki okazały się zgodne z wymaganiami.

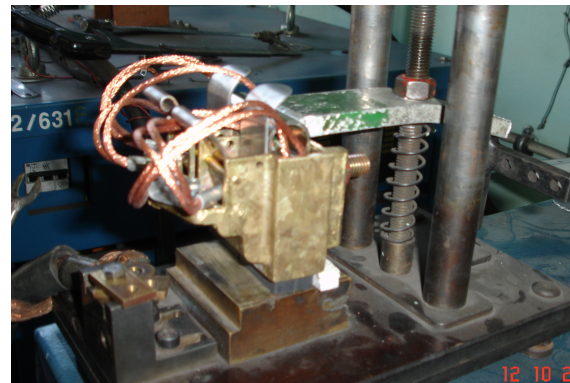
4.2. Próba nagrzewania materiału szczotkowego na stanowisku zastępczym

Następnie przeprowadzono próby nagrzewania szczotek do temperatury 220°C, które przeprowadzono na typowym stanowisku badaw-

czym, przy obciążeniu pojedynczej szczotki prądem stałym o wartości do 170A. Jest to wartość ponad 2,5-krotnie wyższa od obciążenia prądowego stosowanego na stacji prób silników LKa740 w ZNLE Gliwice, która wynosi 66A na jedną szczotkę. Próby nie wykazały żadnych negatywnych zjawisk.

4.3. Próba nagrzewania szczotek w gnieździe trzymadła szczotkowego

Próby nagrzewania powtórzono umieszczając szczotki w oryginalnych trzymadłach szczotkowych silników LKa740 i nagrzewano bezpośrednio prądem przepływającym tak, jak ma to miejsce w silniku trakcyjnym. Natężenie prądu zwiększano od 66A do wartości 100A. Końcową wartość prądu utrzymywano przez okres 15 min, a następnie zwiększano natężenie do 150A uzyskując temperaturę szczotek do 200°C i utrzymywano ją przez 10 min.



Rys. 6. Stanowisko badawcze do prób wytrzymałości termicznej szczotek w warunkach symulujących pracę w silniku trakcyjnym

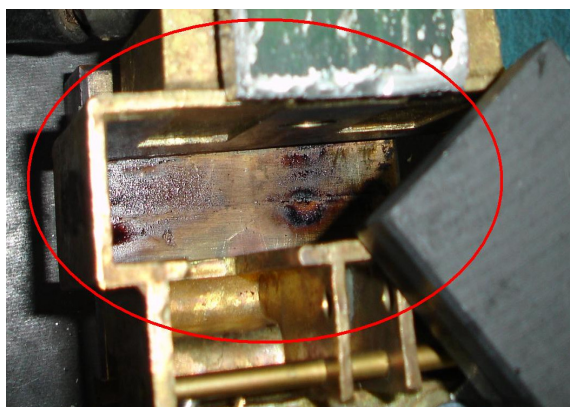
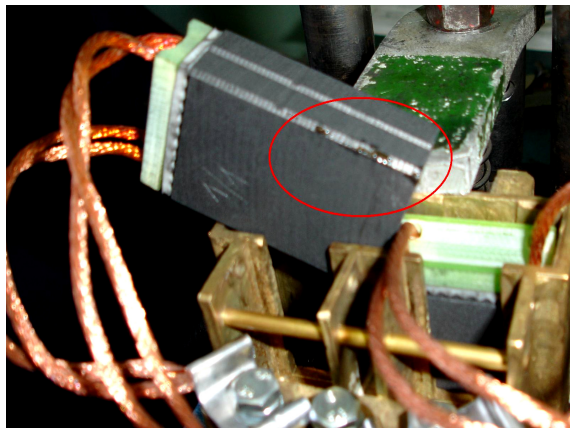
Próbie przeprowadzono na ośmiu pobranych losowo szczotkach: dwóch zwróconych przez klienta oraz sześciu wykonanych w dwóch innych partiach z tego samego materiału szczotkowego.

4.4. Ocena wyników badań i podjęte działania

Próby wykazały, że w trakcie dochodzenia do temperatury 155°C w czterech na osiem szczotek z materiału szczotkowego wydzieliał się na powierzchnię korpusu impregnat (rodzaj żywicy), który w wyższej temperaturze osiągając temperaturę 200°C, częściowo się nadpalał wydzielając dym.

Ze względu na ograniczoną wentylację korpusu szczotki w gnieździe trzymadła, syciwo nie od-

parowywało tak, jak w pierwszej próbie nagrzewania przy swobodnym dostępie powietrza, lecz pozostawało na zewnętrznej powierzchni szczotki i ściankach trzymadła szczotkowego w postaci nacieków i nadpalonej żywicy.



Rys. 7. Wycieki syciwa (żywicy) widoczne po próbie nagrzewania w trzymadle szczotkowym

O zareklamowanych szczotkach i wynikach badań w Elektrocarbon poinformowano producenta materiału szczotkowego i przesłano odpowiednie próbki szczotek do badań. W firmie producenta przebadano próbki i stwierdzono, że materiał zawiera właściwe ilości impregnatu, jest on właściwie utwardzony i spełnia wymagania norm. Według opinii producenta szczotki są prawdopodobnie przegrzewane w trakcie eksploatacji.

Zdaniem specjalistów spółki Elektrocarbon, w oparciu o przeprowadzone dalsze badania i próby eksploatacyjne, kwestionowany materiał może być przeciążany przez krótki czas i może pracować poprawnie w wyższych temperaturach występujących w silnikach lokomotyw, pod warunkiem wygrzania go w temperaturze 220 °C, w celu lepszego utwardzenia impregnatu. Dla lepszej wentylacji szczotek, w środku pomiędzy połówkami szczotki wpro-

wadzano dodatkowo płaskie rowki, które pozwalają na odprowadzenie ewentualnych par syciwa i obniżają temperaturę pracy szczotek przy przeciążeniach. Przyjęte rozwiązania potwierdziła ponad roczna praktyka eksploatacyjna szczotek w lokomotywach EP09 i innych.

5. Wnioski

Specyfika pracy maszyn z zestykiem ślizgowym wymaga od personelu zajmującego się serwisowaniem niezbędnej wiedzy i doświadczenia zawodowego. Przedstawione powyżej przykłady pokazują, że podstawową przyczyną problemów eksploatacyjnych opisanych w rozdziałach 2 i 3, było dążenie do obniżenia kosztów obsługi i remontów maszyn bez zapewnienia właściwej jakości części zamiennych instalowanych w serwisowanych maszynach. W efekcie koszty przestojów i kolejnych napraw wielokrotnie przekroczyły koszty zakupu szczotek lub trzymadeł szczotkowych właściwej jakości.

W rozdziale 4. przedstawiono przypadek, w którym wiedza i doświadczenie, w oparciu o stosunkowo proste testy techniczne pozwoliła skutecznie rozwiązać problemy złej pracy szczotek w silnikach trakcyjnych.

6. Literatura

- [1]. Wilk A., Dobrowolski P., Kostro G.: *Wpływ falistości pierścienia ślizgowego na rozpływ prądu w zestyku ślizgowym maszyny synchronicznej*. Zeszyty Problemowe – Maszyny Elektryczne Nr 72/2005.