

Artur ROJEK, Wiesław MAJEWSKI

Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa, Warszawa

Materiały nakładek ślizgowych pantografów

Streszczenie. W referacie przedstawiono zagadnienia związane z dostosowaniem nowego materiału na nakładki stykowe do pantografów krajowego taboru trakcyjnego. Stosowane nakładki z miedzi elektrolitycznej postanowiono zastąpić nakładkami z kompozytu węglowego. Omówiono wyniki badań laboratoryjnych i terenowych nowego materiału. Przedstawiono wnioski.

Abstract. The paper presets questions connected with a new material of contact strips of rolling stock pantographs. Copper contact strips will be replaced by a metal – carbon composite. The paper presents result of laboratory and field test of the new material and includes conclusion.

Słowa kluczowe: tabor kolejowy, pantograf, nakładka stykowa, kompozyt węglowy

Keywords: Rolling stock, pantograph, contact strip, carbon composite.

Wstęp

Rozpowszechnionym rodzajem napędu kolejowych pojazdów szynowych są silniki elektryczne. Napęd ten jest ekonomiczny i przyjazny środowisku. Wskutek różnic w rozwoju historycznym kolejnictwa w krajach europejskich, ukształtowały się odmienne systemy zasilania trakcji elektrycznej. Powstały systemy trakcji prądu stałego o napięciu 1,5 kV i 3 kV oraz systemy prądu przemiennego 15 kV 16 2/3 Hz i 25 kV 50 Hz. Dostarczanie energii elektrycznej bezpośrednio do pojazdów szynowych następuje z sieci trakcyjnej znajdującej się nad torami, przez ruchomy odbierak prądu lokomotywy. Prąd powrotny od pojazdu do podstacji zasilającej powraca szynami kolejowymi. Konstrukcja odbieraków (nazywanych pantografami z powodu kształtu) dopasowana została do współpracy z siecią. Miernikiem jakości tej współpracy jest pewne, bez przerw i zakłóceń dostarczanie energii do lokomotyw. Przykładowy wygląd pantografu przedstawiono na fotografii 1.

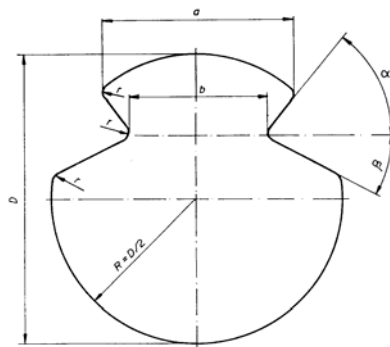


Fot. 1 Pantograf lokomotywy z próbnym ślizgaczem węglowym

Stykającymi się bezpośrednio elementami sieci trakcyjnej z pantografami lokomotyw są przewody jezdne i nakładki ślizgowe. Tworzą one elektryczny zestyk przewodzący prąd trakcyjny w warunkach znacznie odbiegających od zestyków klasycznej aparatury energetycznej. Aby pobór energii z sieci trakcyjnej był niezakłócony, przewody jezdne muszą być naprężone (w sieci krajowej siłą w granicach 10 kN). Ślizgający się po przewodach pantograf powinien być dociśnięty do nich siłą około 110 N.

Przewody jezdne

Przewody jezdne produkowane są z miedzi elektrolitycznej w gatunku CuETP, utwardzonej w fazie przeciągania. Użycie miedzi na przewody jezdne podyktowane zostało jej wysokimi własnościami elektrycznymi, dobrą wytrzymałością mechaniczną na zerwanie oraz dużą odpornością korozyjną na wpływy atmosferyczne. Obecnie PKP wprowadzają do stosowania przewody z miedzi srebrowej CuAg_{0,10} o lepszej odporności na ścieranie i wyższej temperaturze rekrytalizacji. Produkowane są zgodnie z wymaganiami normy [2]. Kształt i wymiary przewodu jezdnego pokazano na rysunku 1. W systemach prądu przemiennego stosuje się do produkcji przewodów jezdnych inne stopy miedzi np. z magnezem lub cyną. Domieszkowanie miedzi innymi metalami ma za zadanie poprawę jej parametrów mechanicznych. Jest to jednak okupione wzrostem rezystancji przewodów.



Rys.1. Przekrój przewodu jezdnego DjpAC100.

Nakładki stykowe pantografów

Nakładki miedziane

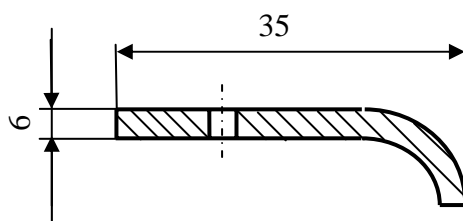
Nakładki stykowe ze względu na warunki współpracy z przewodami określane są też mianem - ślizgowe. Nakładki miedziane montowane są w trzech równoległych rzędach na ślizgaczach pantografów, pomiędzy którymi umieszczany jest smar grafitowy. Zadaniem smaru jest zmniejszenie tarcia między nakładką i przewodami podczas jazdy lokomotywy. Eksploatowane na pantografach kolejowych w Polsce nakładki wykonane są z miedzianych listew według [4]. Wygląd ślizgacza pantografu na lokomotywie pokazano na fotografii 2.

Decyduje o zastosowaniu czystej miedzi również w tym przypadku dobra rezystywność i odporność korozyjna na wpływy atmosfery. Miedziane nakładki stykowe umożliwiają odbiór z sieci dużych prądów trakcyjnych, szczególnie podczas rozruchu lokomotyw (prądy >1200 A) bez przegrzania przewodów jezdnych (tj. bez wystąpienia rekrytalizacji miedzi i spadku wytrzymałości mechanicznej na zerwanie). Kształt i zasadnicze wymiary skrajnej nakładki stykowej pokazano na rysunku 2.

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010



Fot. 2. Wygląd ślizgacza pantografu z nakładkami miedzianymi



Rys. 2. Kształt nakładki miedzianej

Wadą nakładek miedzianych jest stosunkowo duże zużycie ściernie (pomimo stosowania smaru) przewodów jezdnych jak i ich samych.

Wzajemne tarcie (i zużycie) obu elementów jest zwiększone ze względu na znane zjawisko złej współpracy elementów z tego samego materiału. Współczynnik tarcia spoczynkowego czystych styków miedzianych w powietrzu wynosi $\mu_s = 1,5$. W przypadku styków pokrytych tlenkami i siarczkami miedzi oraz innymi zanieczyszczeniami współczynnik ten zmniejsza się do wartości około $\mu_s = 0,5$. Spadek wartości współczynnika jest korzystny, gdyż wpływa na zmniejszenie zużycia.

Zanieczyszczenia powierzchni stykowych powodują natomiast wzrost rezystancji przejścia zestyku, szczególnie istotnej w warunkach przepływu prądu podczas postoju taboru. Rezystancja przejścia między stykami zależy też od stanu powierzchni stykowej, siły docisku obu elementów i materiałów użytych do ich konstrukcji.

Na zużywanie się styków negatywny wpływ ma również przepływ prądów trakcyjnych.

Zapewnienie stabilnej siły docisku pantografu do przewodów jezdnych w rzeczywistych warunkach eksploatacji kolei jest niemożliwe. Wynika to przede wszystkim z przestrzennej budowy sieci trakcyjnej (naprężone w powietrzu przewody podwieszone co 65 ÷ 72 m do słupów trakcyjnych) oraz z drgań ślizgacza i pantografu podczas ruchu lokomotyw. W warunkach jesienno-zimowych występuje zjawisko oszronienia przewodów jezdnych i pantografu. Przy całościowej ocenie kosztów eksploatacji znaczenie mają też bieżące koszty wymiany nakładek i uzupełniania smaru.

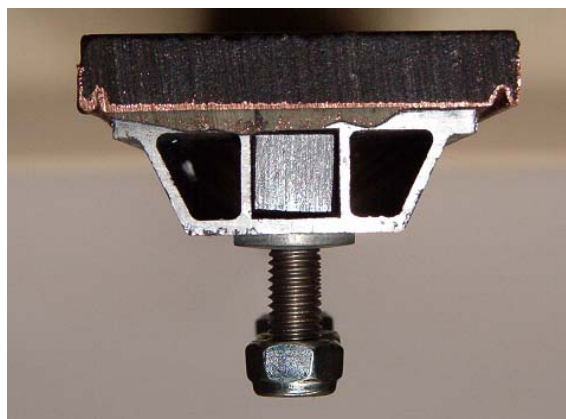
Nakładki węglowe

Alternatywą dla nakładek miedzianych są szeroko stosowane w pojazdach trakcyjnych zagranicznych zarządów kolejowych nakładki z materiałów węglowych. Materiały te są kompozytami węglowo-metalicznymi. Najczęściej są to spieki węgla w postaci grafitu z miedzią i innymi metalami jak cyna, antymon itp. Dokładny skład chemiczny i technologia produkcji stanowi tajemnicę producenta. Procentowa zawartość składników dobierana jest w zależności od rodzaju stosowanej trakcji. Wygląd powierzchni ślizgowej nakładki pokazano na fotografii 3.



Fot. 3. Wygląd powierzchni ślizgowej nakładki węglowej

Konstrukcja nakładek węglowych znanych producentów jest podobna. Na kształtownik ze stopu aluminium naklejana jest listwa węglowa, następnie całość mocowana jest śrubami do pantografu. Wygląd nakładki w przekroju pokazano na fotografii 4.



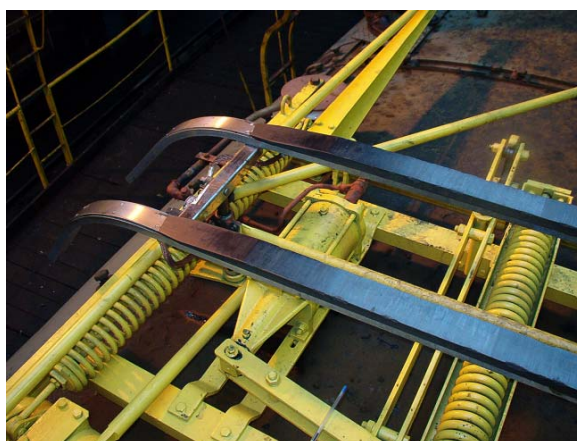
Fot. 4. Budowa węglowej nakładki ślizgowej

Oferowane do zastosowania w PKP nakładki zawierają około $70 \div 85$ % węgla, resztę stanowi miedź oraz śladowe ilości innych pierwiastków. Stosowanie węgla jako składnika nakładek podyktowane jest jego bardzo dobrymi własnościami smarnymi i elektrycznymi. Rezystywność materiału węglowego wynosi $4 \div 12 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$ (dla porównania - czystej miedzi $0,0172 \Omega\text{mm}^2/\text{m}$). Dobre własności smarne grafitu są wynikiem jego specyficznej

VI Lubuska Konferencja Naukowo-Techniczna – i-MITEL 2010

struktury krystalicznej. Atomy węgla w strukturze tworzą warstwową, heksagonalną siatkę. Charakter budowy przestrzennej grafitu powoduje powstawanie łusek z poślizgiem nawet przy dużym rozdrobnieniu. To jest przyczyną własności smarnych grafitu. Współczynnik tarcia miedź-grafit wynosi $\mu_s = 0,14$.

W CNTK były podejmowane w latach 80 badania nakładek. Stwierdzono jednak, że dostępne ówczesnie materiały węglowe nie kwalifikowały się do zastosowania w krajowym taborze trakcyjnym. Obecnie badania zostały ponowione, mając na uwadze postęp w dziedzinie produkcji materiałów węglowych i doświadczeń eksploatacyjnych węglowych nakładek w taborze zagranicznym. Konieczność badań nakładek węglowych wynika z odmiennego, krajowego systemu zasilania trakcji kolejowej. Aby dostarczyć potrzebną ilość energii do lokomotyw o mocach do 6,5 MW w systemie 3 kV DC prądy trakcyjne muszą mieć wartość powyżej 2500 A. Tak znaczny prąd płynący przez zestyk nakładka-przewód, w przypadku niesprawdzonych nakładek, doprowadzić może do osiągnięcia przez przewody temperatury wyższej od temperatury rekrytalizacji materiału miedzianego ($200 \div 360 \text{ }^\circ\text{C}$). W konsekwencji przewody utracą posiadaną wytrzymałość mechaniczną i ulegną zerwaniu. W systemach prądu przemiennego problem ten występuje w znacznie mniejszym stopniu, gdyż stosując napięcia pięć- a nawet ośmiokrotnie wyższe, prądy robocze są mniejsze w tym samym stosunku. Wygląd nakładek węglowych na typowym pantografie pokazano na fotografii 5.



Fot. 5 Nakładki węglowe założone na typowym pantografie

Badania nakładek węglowych

Badania nakładek węglowych w kraju były prowadzone w warunkach laboratoryjnych i terenowych.

Zakres badań laboratoryjnych obejmował:

- sprawdzenie przyrostów temperatury zestyku: przewody jezdne – nakładki węglowe,
- badanie zużycia zestyków wskutek ścierania,
- badanie odporności zestyków na przepływ prądów zwarciovych
- sprawdzenie składu chemicznego kompozytów węglowych.

Badania przyrostów temperatury przeprowadzono wykorzystując specjalistyczne stanowisko pomiarowe. Stanowisko składało się z odcinka sieci trakcyjnej, pantografu,

zespołu zasilania prądem stałym i układu pomiarowego. Wartość prądu stałego w obwodzie pomiarowym wynosiła 200 A, średni docisk nakładek do przewodów jezdnych wynosił 110 N, temperatura otoczenia wynosiła ok. 20 °C. Przyjęto, że przyrost temperatury zestyku nie powinien przekraczać 80 °C. Badano cztery rodzaje nakładek węglowych. Stwierdzono, że przewody jezdne w miejscu styku z nakładkami węglowymi nie uzyskiwały przyrostów temperatur wyższych od dopuszczalnych.

Badania terenowe prowadzone były w warunkach normalnej pracy trakcyjnej lokomotyw. Badano nakładki oferowane przez kilku producentów. W tym celu w ślizgi węglowe na pantografach wyposażono kilkanaście lokomotyw serii EP09, EU07 i ET22. Badania polegały na pomiarze grubości nakładek i rejestracji przebiegu lokomotyw w regularnych odstępach czasowych. Po 10 miesiącach eksploatacji stwierdzono:

- zużycie nakładek węglowych wykazuje duży rozrzut wartości od 0,2 do 2,1 mm na każde 1000 km przebiegu pojazdu,
- maksymalne zużycie występowało w okresie zimowym przy pojawieniu się sadzi,
- powierzchnie ślizgowe nakładek, w zależności od typu materiału węglowego i okoliczności pogodowych wykazywały różny poziom chropowatości i zarysowań wzdłużnych, co wskazywało na niszczące działanie prądów trakcyjnych w postaci iskrzeń lub łuku,
- przebieg lokomotyw z jednym kompletem nakładek, głównie w zależności od typu i warunków pogodowych, wynosił od około 5 000 do 35 000 km.

Podsumowanie

W wyniku badań potwierdzono słuszność zamiarów zastosowania nakładek węglowych na pantografach krajowego taboru trakcyjnego. Zastąpienie używanych obecnie nakładek miedzianych – nakładkami węglowymi wpłynie na zmniejszenie stopnia zużycia wskutek ścierania zarówno samych nakładek jak i przewodów jezdnych. Warunkiem jest dobranie nakładek węglowych o odpowiednich własnościach – dostosowanych do krajowego systemu zasilania trakcji. Proces przejścia na nowe nakładki powinien być szybki, używanie jednocześnie nakładek miedzianych i węglowych nie przynosi korzyści w zużyciu zestyków.

LITERATURA

- [1] Siemiński T., Jarosz T. „Odbieraki prądu i ich współpraca z siecią jezdną”, Wydawnictwa Komunikacji i Łączności, Warszawa 1983
- [2] PN EN 50149:2002 (oryg.) „Zastosowania kolejowe – Urządzenia Kolejowe – Trakcja Elektryczna – Profilowane druty jezdne z miedzi i jej stopów”
- [3] PN-EN 50367:2006 „Zastosowania kolejowe – Systemy odbioru prądu – Kryteria techniczne dotyczące wzajemnego oddziaływania między pantografem a siecią jezdnią górną (w celu uzyskania wolnego dostępu)” (oryg).
- [4] BN-82/3086-16 „Tabor kolejowy normalnotorowy. Elektryczne pojazdy trakcyjne. Odbieraki prądu. Miedziane nakładki stykowe”
- [5] Majewski W., Rojek A. „Przeprowadzenie badań materiałów węglowych na ślizgi odbieraków prądu i analiza ich przydatności” praca CNTK nr 3084/12, Warszawa 2005.
- [6] W. Majewski „Badania laboratoryjne nakładek węglowych pantografów” praca CNTK nr 2541/12, Warszawa 2007.

Autorzy: dr inż. Artur Rojek, Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa, Zakład Elektroenergetyki, ul. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa, E-mail: arojek@cntk.pl

mgr inż. Wiesław Majewski Centrum Naukowo-Techniczne Kolejnictwa, Zakład Elektroenergetyki, ul. Chłopickiego 50, 04-275 Warszawa, E-mail: w:majewski@cntk.pl