

Stanisław PAWŁOWSKI, Janusz GAJDA, Leszek MAZUR,  
Teodor TRYBA, Czesław RUSEK

Instytut Inżynierii Materiałowej

## BADANIA NAD POLEPSZENIEM WŁASNOŚCI UŻYTKOWYCH ELEKTROD GRAFITOWANYCH

**Streszczenie.** Własności fizyczne i jakość elektrod grafitowanych wpływają znacznie na wydajność i pracę cieplną pieców łukowych, jakość wytapianego metalu oraz koszty produkcji. Do głównych czynników, występujących w procesie zużywania się elektrod należą: utlenienie powierzchni bocznych elektrody, utlenienie i rozpylanie w strefie łuku, odpadanie końcówek i złamania, szczególnie w miejscach złączy. Celem niniejszej publikacji jest przedstawienie wyników badań nad obniżeniem zużycia elektrod przez zastosowanie głębokiej impregnacji spoiwem fosforanowym, glinowo-chromowym. Do uszlachetniania elektrod wykorzystano doświadczalny ciąg technologiczny, w którym prowadzono impregnację, polimeryzację impregnatu i oczyszczanie elektrod. Na podstawie przeprowadzonych badań stwierdzono, że impregnacja spoiwem fosforanowym pozwala na obniżenie zużycia elektrod o 1 kg/t stali przy jednoczesnym podwyższeniu własności wytrzymałościowych elektrod średnio na ściskanie o 52% i zginanie o około 40%. Uzyskano również podwyższenie temperatury początku utleniania. Zastosowanie przedstawionej metody nie zmienia składu chemicznego wyprodukowanej stali.

### 1. Wstęp

Elektrody grafitowane należą do grupy wyrobów z węgla uszlachetnionego a ich własności fizyko-chemiczne winny odpowiadać wymaganiom, zgodnie z PN:

- gęstość rzeczywista	2,1 - 2,2 g/cm <sup>3</sup>
- gęstość pozorną	1,52- 1,58 g/cm <sup>3</sup>
- porowatość otwarta	28 - 34%
- oporność właściwa	10 - 11 $\Omega$ mm <sup>2</sup> /m
- wytrzymałość na ściskanie	130 - 200 kG/cm <sup>2</sup>
- wytrzymałość na zginanie	40 - 90 kG/cm <sup>2</sup>
- zawartość popiołu	0,5%.

Własności fizyczne i jakość elektrod wpływają znacznie na wydajność i pracę cieplną pieców łukowych, jakość wytapianego metalu oraz koszty produkcji.

Ze względu na planowaną dynamikę rozwoju hutnictwa, a w związku z tym wzrost ilości produkowanej stali, problem produkcji elektrod grafitowanych o podwyższonej jakości staje się bardzo doniosły.

Zaznaczyć należy, że planowana produkcja stali w PRL w roku 1980 wymaga pokrycia zapotrzebowania na około 135 tys. ton elektrod grafitowanych przy obecnej produkcji około 26 tys. ton [1].

Obecnie w Polsce, jak również w innych krajach, problemami obniżenia zużycia elektrod przez stosowanie dodatkowej ich obróbki bądź stosowanie nowoczesnych materiałów zajmuje się wiele placówek naukowych.

Wielkością charakteryzującą zużycie elektrod w procesie elektrostalowniczym jest zużycie jednostkowe, wyrażane w ilości kilogramów elektrod użytych na 1 tonę wyprodukowanej stali [2]. Zużycie to w krajach wysoko przemysłowych wynosi 4,5-6,4 kg/t a w Polsce kształtuje się na poziomie 8,5-12,0 kg/t [1]. Obniżenie zużycia elektrod w kraju pozwoliłoby na intensyfikację procesów elektrostalowniczych przy jednoczesnym ograniczeniu importu elektrod koniecznym dla pokrycia różnic, występujących we wspomnianym zapotrzebowaniu.

## 2. Aktualny stan zagadnienia

Zużywanie się elektrody w piecu łukowym odbywa się głównie przez [2]:

- utlenianie i rozpylanie w strefie łuku,
- utlenianie powierzchni bocznych elektrody,
- odpadanie końcówek elektrody,
- zużycie na skutek złamań, szczególnie w miejscach złączeń.

Próby technologiczne, prowadzone w jednej z hut ZSRR, wykazały, że dla elektrod  $\varnothing$  350 mm na utlenianie i rozpylanie w strefie łuku zużywa się 13,4% masy elektrody [3].

Straty związane z utlenianiem powierzchni bocznych elektrody wynoszą 69,2% masy a straty związane z odpadnięciem końcówek wynoszą 17,4% masy. Straty nieproduktywne wynoszą zatem 86,6% masy elektrody (utlenianie powierzchni bocznych i odpadanie końcówek).

Przy stosowaniu elektrod o obniżonej utlenialności oszczędności powstają na skutek zmniejszenia zużycia powierzchni bocznych i zużycia końcówek [3]. Istnieje szereg metod zwiększenia odporności tworzywa elektrodowego na utlenianie, bądź stosowanych w skali przemysłowej bądź opisywanych w literaturze technicznej i patentowej [1, 3, 4, 5, 6, 7, 8]. Z ważniejszych metod podwyższania odporności elektrod na utlenianie można wymienić [1, 3, 4, 5, 6, 8]: podwyższanie gęstości pozornej wyrobów drogą nasycenia pakiem, stosowanie powłok ochronnych np. metalo - ceramicznych, nasycenie metalami niskotopliwymi, impregnację stopionymi solami związków nieorganicznych, impregnacja wyrobów wodnymi roztworami soli nieorganicznych np. fosforanem glinowym.

Przedstawione metody znalazły jednak ograniczone zastosowanie. Metody impregnacji pozwalają na "regulację" grubości warstwy ochronnej przed utlenianiem aż do osiągnięcia impregnacji na wskroś. Stosowane dotychczas syciwa zapewniają jednak ochronę przed utlenianiem do temperatury 1123°K.

### 3. Badania własne

#### 3.1. Cel i zakres pracy

Celem niniejszego opracowania jest przedstawienie możliwości zabezpieczenia elektrod grafitowanych przed utlenianiem oraz zwiększenie własności wytrzymałościowych przez zastosowanie głębokiej impregnacji za pomocą fosforanu glinowo-chromowego.

Realizując ten cel, opracowano technologię impregnacji elektrod grafitowanych metodą próżniowo-ciśnieniową. Opracowanie technologii poprzedziły obszerne badania laboratoryjne.

Zakres pracy obejmował przeprowadzenie procesu impregnacji w skali półtechnicznej oraz sprawdzenie własności fizyko-chemicznych elektrod impregnowanych i porównawczo-nieimpregnowanych. Zaimpregnowane elektrody wykorzystano w procesie elektrostalowniczym, gdzie oznaczono ich własności użytkowe.

#### 3.2. Stosowane urządzenia

Proponowany ciąg technologiczny w skali półtechnicznej zawierał:

- stanowisko impregnacji,
- stanowisko polimeryzacji impregnatu,
- stanowisko oczyszczania.

Zasadniczym elementem stanowiska impregnacji był nasycalnik skonstruowany w formie pionowo usytuowanego zbiornika walcowego zamkniętego od dołu dnem a od góry odejmowaną pokrywą. Na pokrywie umieszczono: miernik ciśnienia, czujnik poziomu impregnatu oraz zawory łączące zbiornik z atmosferą i pompą próżniową. W dnie zbiornika umieszczono króciec z zaworem do transportu impregnatu. Do wytwarzania podciśnienia zastosowano sprzężony układ pomp próżniowych typu B8P. Schemat stanowiska impregnacji przedstawiono na rysunku 1.

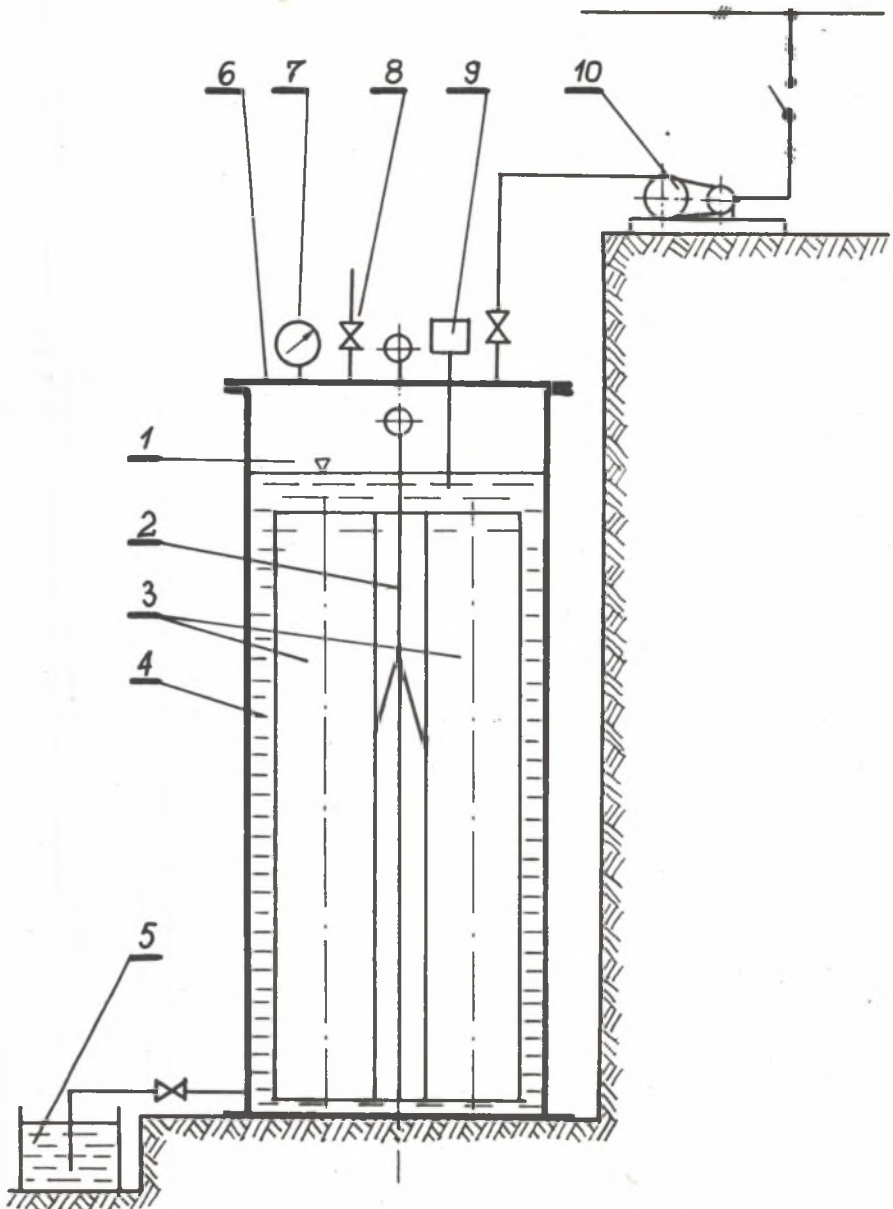
Do polimeryzacji wprowadzonego impregnatu wykorzystano komorę elektrycznego pieca oporowego typu PET 50x60.

Dla umożliwienia transportu kilku elektrod jednocześnie i prowadzenia procesu w nasycalniku i komorze polimeryzacyjnej, wykonano palety transportowe.

Stanowisko oczyszczania powierzchni elektrod z resztek utwardzonego impregnatu było wyposażone w mechaniczną szczotkę stalową.

#### 3.3. Wybór materiału do badań

Do przeprowadzenia badań i prób w skali laboratoryjnej i półtechnicznej wytypowano elektrody grafitowane EGH-31  $\varnothing$  250 mm o własnościach odpowiadających normie PN-69/E-69015.



Rys. 1. Schemat stanowiska impregnacji elektrod

1 - nasycalnik, 2 - paleta transportowa, 3 - elektrody, 4 - impregnat, 5 - zbiornik, 6 - pokrywa nasycalnika, 7 - wakuometr, 8 - zawór łączący przestrzeń nasycalnika z atmosferą, 9 - czujnik poziomu impregnatu, 10 - pompa próżniowa

Jako impregnatu użyto spoiwa fosforanowego, glinowo-chromowego, który jest wodnym roztworem kwaśnych fosforanów glinu i chromu. Zestaw rozpuszczonych składników w przybliżeniu odpowiada wzorowi:

$$\frac{\text{tlenki kwaśne}}{\text{tlenki zasadowe}} = \frac{2,3 \text{ P}_2\text{O}_5 + 0,1 \text{ CrO}_3}{0,75 \text{ Al}_2\text{O}_3 + 0,2 \text{ Cr}_2\text{O}_3}$$

Fosforan glinowo-chromowy jest ciemnozieloną, gęstą, lepłą cieczą przezroczystą w cienkiej warstwie. Posiada on odczyn silnie kwaśny (pH=2,5). Reaguje z tlenkami i wodorotlenkami metali o charakterze zasadowym (CaO, MgO, CuO, Al(OH)<sub>3</sub>) i innymi. W temperaturze 295°K posiada gęstość 1,55 x 10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup> a jego skład chemiczny w przybliżeniu jest następujący:

P <sub>2</sub> O <sub>5</sub>	33 - 36%
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	7,6 - 8,3%
Cr <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3,0 - 3,4%

Do impregnacji wykorzystano wodny roztwór powyższych składników o gęstości 1,55 - 1,60 x 10<sup>3</sup> kg/m<sup>3</sup>.

#### 3.4. Warunki prowadzenia procesu

Proces impregnacji prowadzono w ten sposób, że po umieszczeniu palety z elektrodami w nasycalniku i zamknięciu pokrywy odprowadzono ze zbiornika powietrze. Po otwarciu zaworu w dolnej części zbiornika wprowadzono impregnat do poziomu 0,2 m powyżej czoła zanurzonych elektrod. Następnie zmieniano wartość ciśnienia od ciśnienia otoczenia do 10 Tr. Po zakończeniu impregnacji prowadzono polimeryzację impregnatu w temperaturze 570°K przez okres 8, h. Po tym czasie wyjmowano palety z elektrodami i powierzchnie elektrod czyszczono z resztek utwardzonego impregnatu. Stanowisko oczyszczania wyposażono w odciąg pyłów a pracownik wykonujący te czynności posiadał sprzęt i odzież ochronną (okulary, respirator, rękawice, szczelną nakrycie głowy).

#### 3.5. Metodyka badań

Z partii elektrod przeznaczonych do impregnacji wybrano jedną elektrodę do badań porównawczych wpływu impregnacji na własności fizyko-chemiczne tworzywa.

Po przeprowadzeniu pełnego procesu technologicznego z elektrody impregnowanej i nieimpregnowanej wycinano próbki do badań o kształtach i wymiarach określonych normą PN-69/E-69015. Próbki do badań pobierano w sposób umożliwiający określenie własności wyrobu z zachowaniem równoległości i prostopadłości do kierunku prasowania. Badania pełne własności elektrod przeprowadzono zgodnie z obowiązującymi normami.

W grupie badań laboratoryjnych, nie objętych PN, oznaczono graniczny kąt zwilżania grafitu impregnatem, stosując metodę fotografowania leżącej kropli. Oznaczenia granicznego kąta zwilżania wykonano dla fosforanu glinowo-chromowego jak i dla fosforanu glinowego. Celem tych badań było ukie-  
runkowanie dalszego wyboru impregnatu dobrze zwilżającego powierzchnię grafitu.

W zależności od stopnia nasycenia próbki impregnatem, określono jego wpływ na utlenialność materiału impregnowanego oraz na wytrzymałość na ściskanie i zginanie. Nasiąkliwość określono procentem przyrostu masy w stosunku do masy pierwotnej próbki wg wzoru:

$$N = \frac{m_2 - m_1}{d_i \times m_1} \times 100\%$$

gdzie:

- $m_1$  - masa próbki suszonej kg,
- $m_2$  - masa próbki impregnowanej kg,
- $d_i$  - gęstość impregnatu  $\text{kg/m}^3$ .

Utlenialność próbek oznaczano metodą Korpa i Hilla, oznaczając ubytki masy w czasie przy zachowaniu stałej temperatury pomiaru.

W powyższy sposób oznaczono wpływ nasycenia próbek na utlenialność w stałym czasie i stałej temperaturze oraz oznaczono różnice utlenialności w czasie dla próbek impregnowanych i nieimpregnowanych.

Rezystywność próbek grafitu impregnowanego w funkcji temperatury impregnacji oznaczono metodą laboratoryjną opartą o mostek kompensacyjny typu E-303. Przeprowadzono również badania derywatograficzne, gdzie określono temperaturę początku utleniania tworzywa grafitowego zarówno przed jak i po impregnacji. Badania te prowadzono na derywatografie firmy Liptau..

Przeprowadzono również oznaczenia gazoprzepuszczalności na urządzeniu LPiR - 1, stosując próbki walcowe  $\varnothing 50 \times 50 \text{ mm}$ . Wykonano również badania mikroskopowe zgładów nietrawionych, obserwując próbki grafitu impregnowanego i nieimpregnowanego. Badania te prowadzono na mikroskopie świetlnym firmy Reichert, stosując powiększenie 30 i 100x.

Dalsze obserwacje prowadzono na mikroanalizatorze rentgenowskim LXA-50A firmy Jeol w celu określenia głębokości impregnacji na przekroju próbki oraz rozkładu impregnatu na wewnętrznej powierzchni porów. Po wykonaniu całości przedstawionych badań pełną partię elektrod zaimpregnowanych przeznaczono do wykorzystania w procesie elektrostalowniczym.

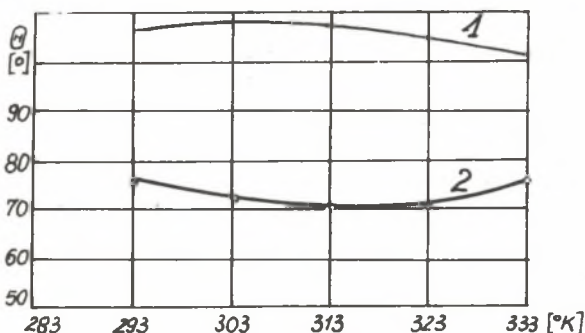
Do przeprowadzenia prób wykorzystano trójfazowy łukowy piec elektryczny o mocy 3 MVA i pojemności 6 t w jednej ze śląskich stalowni. W czasie pracy pieca z zaimpregnowanymi elektrodami prowadzono ścisłą ewidencję obserwacji elektrodu.

Próby prowadzono przy użyciu elektrod EGH-31  $\varnothing 250 \text{ mm}$ , których masa wynosiła 3151 kg. Przy użyciu tej masy elektrod wytopiono 4506 t stali.

## 4. Wyniki badań i ich analiza

W czasie prowadzenia badań nad impregnacją elektrod grafitowych stwierdzono, że miernikiem skuteczności procesu nasycania jest stopień impregnacji, zależny w dużym stopniu od temperatury prowadzenia procesu.

Na podstawie badań zwilżalności stwierdzono, że impregnat fosforanowy glinowo-chromowy dobrze zwilża powierzchnię grafitu w zakresie temperatury 293-333<sup>o</sup>K (kąt zwilżania jest mniejszy od 90<sup>o</sup>). W przypadku stosowania fosforanu glinowego jako syciwa stwierdzono brak zwilżalności grafitu. Spełnienie warunku dobrego zwilżania powierzchni grafitu impregnatem jest konieczne dla istnienia prawidłowej penetracji impregnatu w pory tworzywa. Wyniki badań zwilżalności w funkcji temperatury impregnacji, przedstawiono na rysunku 2.



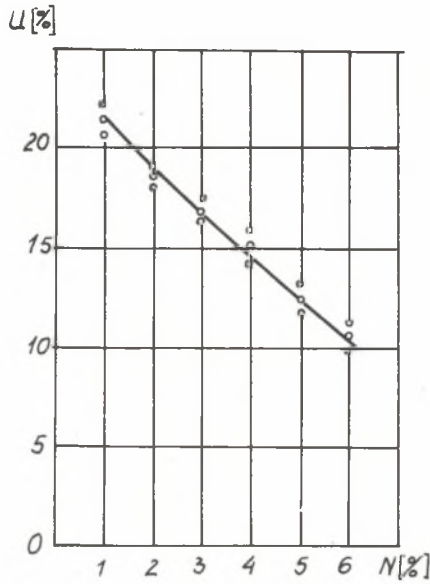
Rys. 2. Zależność kąta zwilżania grafitu EGH od spoiwem fosforanowym glinowym (1) oraz glinowo-chromowym (2) od temperatury

Na podstawie wyników badania wpływu stopnia impregnacji na utleniałość stwierdzono istnienie liniowej zależności między wymienionymi wielkościami - im wyższy stopień impregnacji, tym niższa utleniałość. Zależność tę przedstawiono na rysunku 3 dla czasu pomiaru wynoszącego 6 h w temperaturze 1053<sup>o</sup>K w atmosferze powietrza.

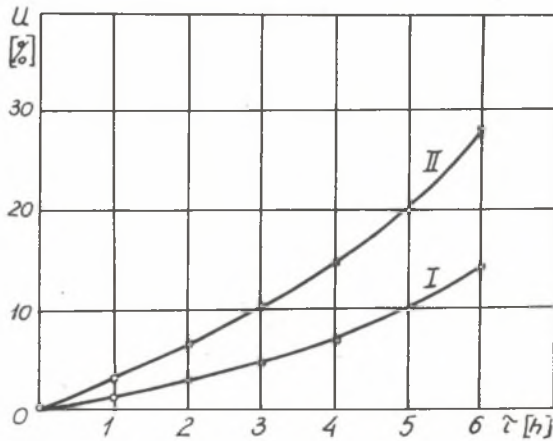
Utleniałość tworzywa impregnowanego i nieimpregnowanego w atmosferze dla próbki o najmniejszej nasiąkliwości ( $N = 1\%$ ) w temperaturze 1120<sup>o</sup>K i w przedziale czasu od 0 do 6 h przedstawiono na rysunku 4.

Analiza otrzymanych krzywych pozwala stwierdzić, że nawet przy najmniejszej nasiąkliwości tworzywa po okresie 6 h osiąga się dwukrotne obniżenie utleniałości (z 28 na 14%).

Na podstawie badań wpływu stopnia impregnacji na wytrzymałość na ściskanie i zginanie stwierdzono zależność liniową wymienionych wielkości - ze wzrostem stopnia impregnacji rośnie wytrzymałość. Zależność ta została przedstawiona na rysunku 5.

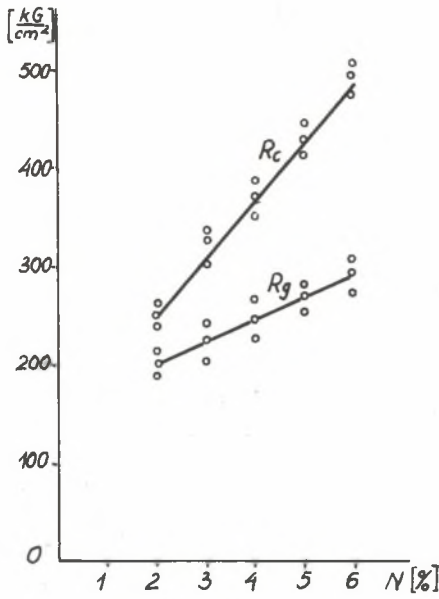


Rys. 3. Wpływ stopnia impregnacji na utlenialność próbek impregnowanych. Temperatura pomiaru 1053°K, czas pomiaru 6 h

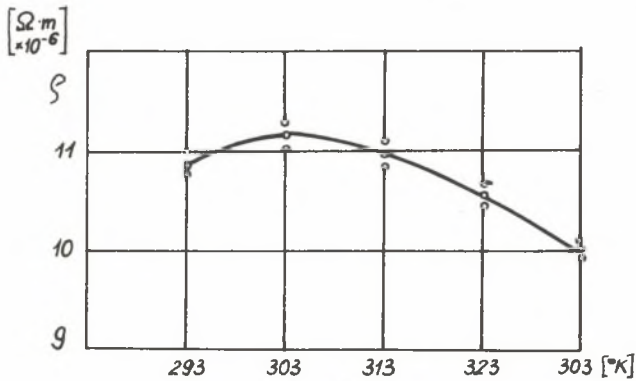


Rys. 4. Ubytek masy tworzywa impregnowanego fosforanem glinowo-chromowym (N=1%) w porównaniu z tworzywem nieimpregnowanym. Temperatura 1120°K czas 0 - 6h. I - próbka impregnowana, II - próbka nieimpregnowana





Rys. 5. Wpływ stopnia impregnacji na wytrzymałość na ściskanie -  $R_c$  i zginanie -  $R_g$

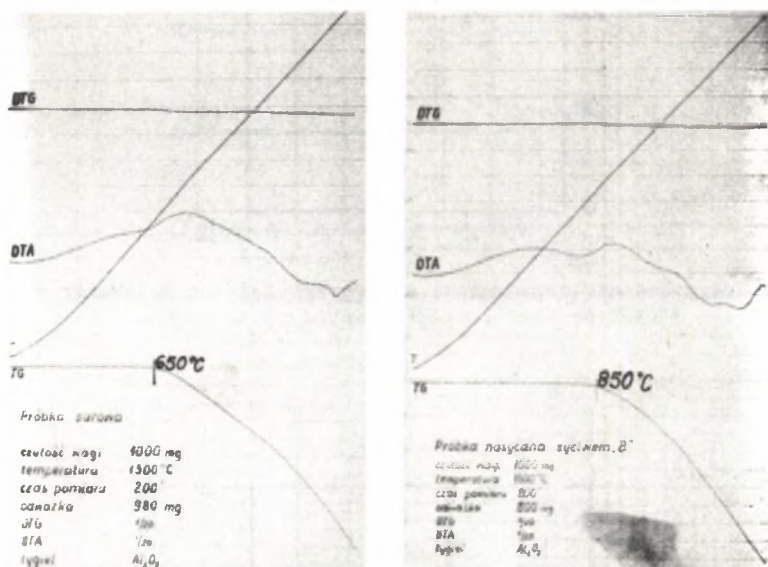


Rys. 6. Zmiana rezystywności próbki grafitu impregnowanego w funkcji temperatury impregnacji

Analizując wpływ temperatury impregnacji na zmianę rezystywności próbek grafitowych, stwierdzono podwyższenie rezystywności przy stosowaniu impregnacji z istnieniem maksimum przy temperaturze 303°K. Zależność ta została przedstawiona na rysunku 6.

Podwyższenie rezystywności spowodowane jest prawdopodobnie wzrostem oporności styku pomiędzy zaciskami układu pomiarowego a powierzchnią próbki dzięki utworzeniu warstwy utwardzonego impregnatu, który jest dielektrykiem. Prąd elektryczny przewodzony jest w tym przypadku przez mostki grafitowe, a więc rezystywność samego materiału nie ulega zmianie.

Wyniki badań derywatograficznych stwierdzają podwyższenie temperatury początku utleniania z 920 do 1120°K dla próbek grafitu impregnowanego. Dane te, jako porównawcze, przedstawiono na rysunku 7.

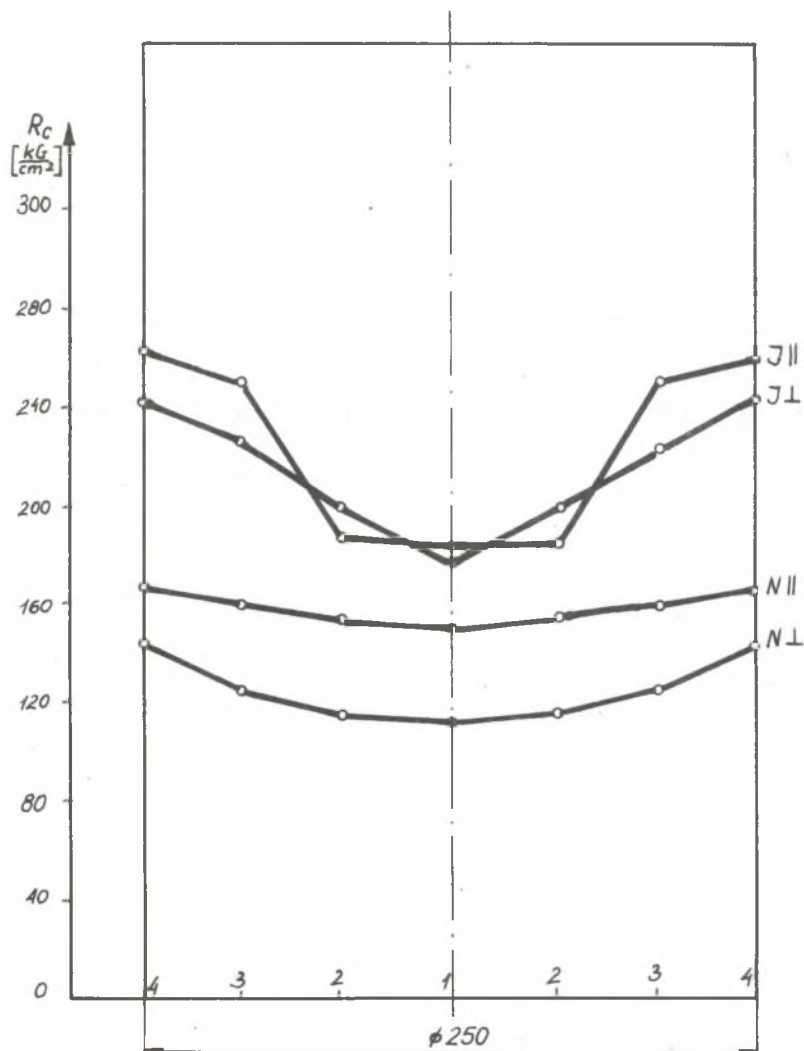


Rys. 7. Derywatogramy próbek grafitu nieimpregnowanego (a) i impregnowanego (b). Zaznaczone temperatury początku utleniania

Analizując wyniki tych badań, potwierdzono skuteczność stosowanego impregnatu, który wypełniając pory tworzywa niejako blokuje dostęp tlenu wgłąb materiału i chroni powierzchnię przed skutkami utleniania.

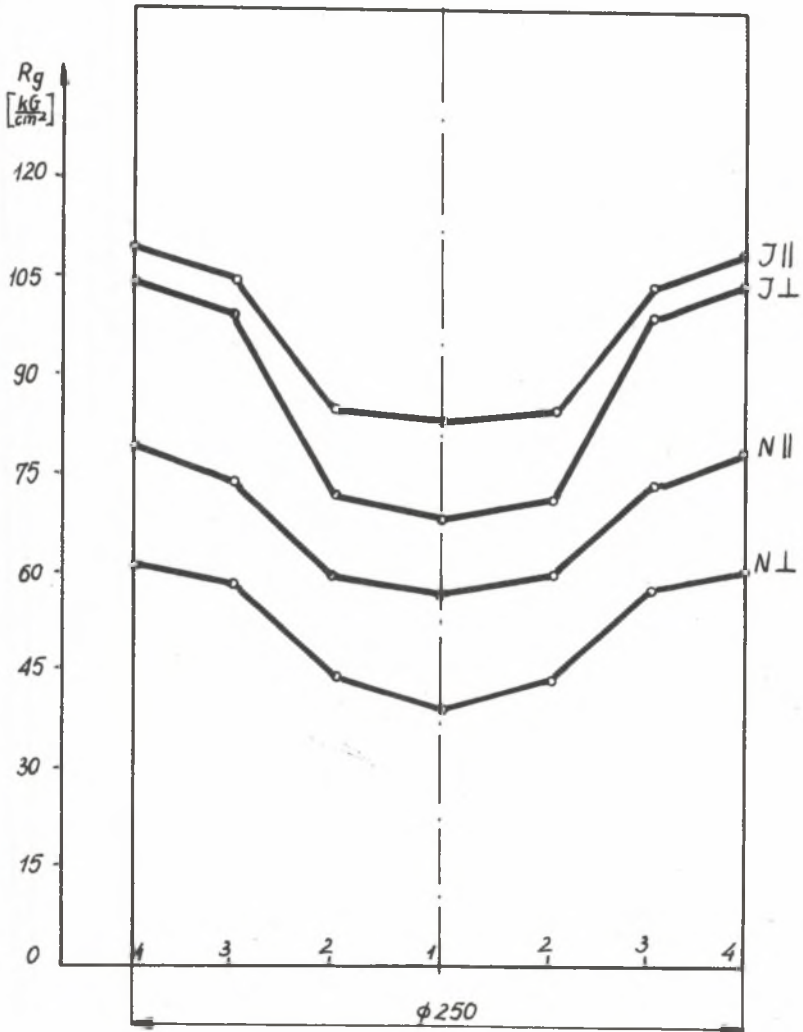
Na podstawie wyników oznaczenia gęstości pozornej próbek elektrod impregnowanych i nieimpregnowanych, stwierdzono wzrost gęstości pozornej po procesie impregnacji z 1,63 na 1,68 g/cm<sup>3</sup>.

Stwierdzono również, że impregnacja obniża porowatość całkowitą wyrobu średnio z 30 na 15%.



Rys. 8. Rozkład wytrzymałości na ściskanie na przekroju elektrody EGH 31  $\varnothing$  250 mm

I - elektroda impregnowana, N - elektroda nieimpregnowana,  $\perp$  próbki pobrane prostopadle do osi prasowania,  $\parallel$  próbki pobrane równoległe do osi prasowania, 1, 2, 3, 4 - miejsca pobrania próbek z przekroju elektrody



Rys. 9. Rozkład wytrzymałości na zginanie na przekroju elektrody EGH 31  
 I - elektroda impregnowana, N - elektroda nieimpregnowana,  $\perp$  próbki pobrane prostopadle do osi pracowania,  $\parallel$  próbki pobrane równolegle do osi pracowania, 1, 2, 3, 4 - miejsca pobrania próbek z przekroju elektrody

Na podstawie wyników badań wytrzymałości na ściskanie przy zachowaniu anizotropii własności materiału, stwierdzono wzrost wytrzymałości na ściskanie dla elektrod impregnowanych (w porównaniu z nieimpregnowanymi) z 170 na 270 kg/cm<sup>2</sup> dla warstw materiału w pobliżu pobocznicy elektrody i z 160 na 200 kg/cm<sup>2</sup> dla warstw materiału w rdzeniu elektrody. Dane te przedstawiono na rysunku 8, gdzie stosowano oznaczenia: N - elektrody nieimpregnowane, I - elektrody impregnowane a oznaczenia || i ⊥ odnoszą się do sposobu pobierania próbek uwzględniając kierunek prasowania wyrobu.

Na podstawie badań wytrzymałości na zginanie próbek elektrod impregnowanych i nieimpregnowanych stwierdzono wzrost wytrzymałości na zginanie dla elektrod impregnowanych z 80 na 110 kg/cm<sup>2</sup> dla warstw materiału w rdzeniu elektrody. Wyniki tych badań przedstawiono na rysunku 9, stosując te same oznaczenia jak na rysunku 8.

Na podstawie wyników oznaczenia zawartości popiołu w elektrodach stwierdzono, że impregnacja podwyższa zawartość popiołu w graficie z 0,3 do 5,0%.

Na podstawie oznaczenia gazoprzepuszczalności próbek elektrod stwierdzono, że impregnacja znacznie obniża gazoprzepuszczalność wyrobu z 7,9 do 3,5 cm<sup>4</sup>/Gx min. Wyjaśnienie tego zjawiska polega na zamykającym pory działaniu impregnatu.

Na podstawie analizy mikroskopowej próbek elektrod impregnowanych i nieimpregnowanych stwierdzono wpływ impregnacji na obniżenie wielkości por.

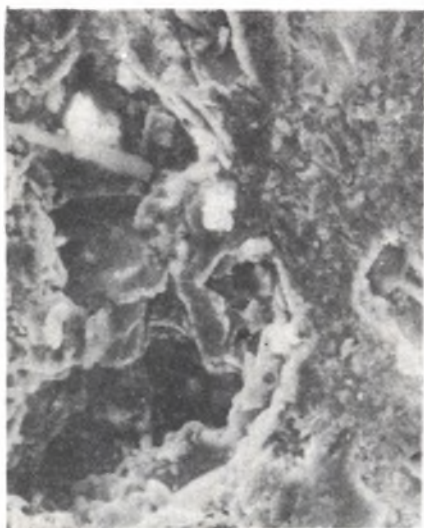
Obserwacje prowadzone na mikroanalizatorze rentgenowskim pozwoliły na ostateczne potwierdzenie słuszności metody impregnacji, gdyż uzyskano obraz rozkładu impregnatu na wewnętrznej powierzchni por. Okazało się że wprowadzony w pory tworzywa impregnat po procesie polimeryzacji wyściela niejako powierzchnię wewnętrzną pory, chroniąc tworzywo przed penetracją atmosfery, utleniającej. Prowadzone dodatkowo laboratoryjne badania utlenialności wykazały, że powstały z impregnatu szkielec zwiększa zawartość materiału, co w konsekwencji obniża szybkość utleniania tworzywa.

Wyniki badań prowadzonych na mikroanalizatorze rentgenowskim pozwoliły na stwierdzenie prawidłowego rozkładu impregnatu w porach tworzywa. Wyniki tych badań przedstawiono na rysunkach 10, 11, 12.

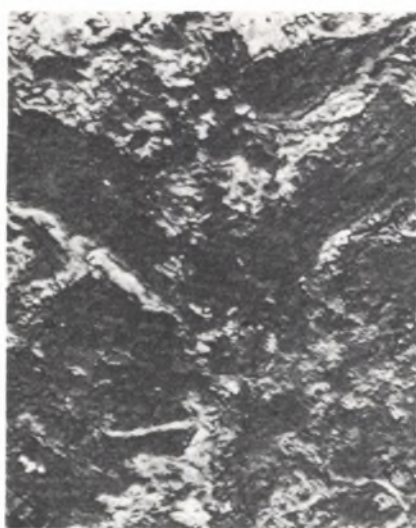
Na rysunku 10 przedstawiono zgląd materiału elektrody EGH 31 z dobrze widoczną, rozwiniętą powierzchnią por.

Na rysunku 11 przedstawiono zgląd próbki grafitu pobrany z rdzenia materiału elektrody EGH 31, impregnowanej fosforanem glinowo-chromowym. Na rysunku widoczne jest rozmieszczenie por wypełnionych impregnatem.

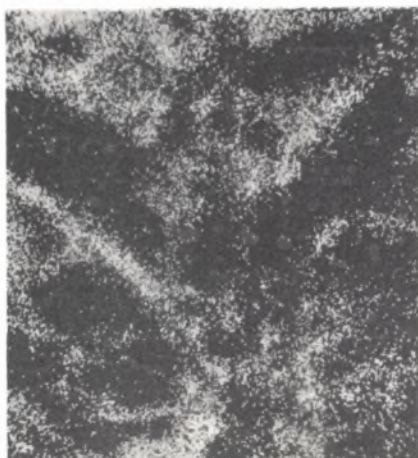
Na bazie rysunku 11 wykonano rentgenowski obraz rozkładu fosforu w porach tworzywa. Otrzymane obrazy rozkładu impregnatu pozwalają stwierdzić, że proces impregnacji został przeprowadzony prawidłowo a impregnat został wprowadzony na pełnym przekroju elektrody. Wyniki tych badań przedstawiono na rysunku 12.



Rys. 10. Materiał elektrody EGH 31, nieimpregnowany, zgląd nietrawiony zdjęcie skanningowe, widoczna dobrze rozwinięta powierzchnia por. Powiększenie 500x



Rys. 11. Materiał rdzenia elektrody EGH 31, impregnowany fosforanem glinowo-chromowym, widoczne wyraźne rozmieszczenie por między ziarnami tworzywa. Zgląd nietrawiony, mikro-analizator rentgenowski IXA 50 A. Powiększenie 550x



Rys. 12. Zdjęcie porównawcze z rysunkiem 11. Rentgenowski obraz rozkładu fosforu, zawartego w impregnacji. Widoczna korelacja rozmieszczenia P z rozkładem porów. Powiększenie 550x

Analizując wyniki prób eksploatacyjnych, stwierdzono, że wskaźnik zużycia elektrod impregnowanych wyniósł 6,99 kg/t, zaś przy użyciu elektrod nieimpregnowanych wskaźnik ten kształtuje się na poziomie 8 kg/t stali.

W czasie pracy pieca łukowego nie zaobserwowano żadnych anomalii przy eksploatacji elektrod impregnowanych a w wyprodukowanej stali nie stwierdzono wpływu impregnatu na zmianę jej składu chemicznego głównie zmiany zawartości fosforu.

## 5. Wnioski

Na podstawie przeprowadzonych badań oraz analizy wyników opracowano następujące wnioski:

- 1) Zastosowana metoda impregnacji elektrod grafitowanych ogniotrwałym spoiwem fosforanowym pozwala w chwili obecnej na obniżenie zużycia elektrod w procesie elektrostalowniczym o około 1 kg/t.
- 2) Stosowanie impregnacji wg proponowanej technologii pozwala na podwyższenie własności wytrzymałościowych elektrod średnio na ściskanie o około 52% i na zginanie o ok. 40%.
- 3) Podwyższenie zawartości popiołu (pochodzącego z odłożonego w porach impregnatu) nie wpływa na skład chemiczny produkowanych stali a szczególnie nie stwierdza się podwyższenia zawartości fosforu w stali.
- 4) Podwyższenie temperatury początku utleniania znacznie obniża szybkość i warunki utleniania tworzywa grafitowanego.
- 5) Ze względu na korzystny wpływ impregnacji na podwyższenie własności wytrzymałościowych tworzywa grafitowanego, wydaje się celowe stosowanie impregnacji do materiału złączowego w celu pełnej eliminacji uszkodzeń złączy, głównie na skutek złamań.
- 6) Celowe wydaje się również prowadzenie impregnacji w Zakładzie produkującym elektrody, co może zostać zrealizowane w oparciu o istniejące urządzenia, bez wprowadzenia dodatkowych nakładów inwestycyjnych i zmian w oprzyrządowaniu.

## LITERATURA

- [1] Tryba T.: Praca dyplomowa Politechniki Śl. Katowice, 1974 - niepublikowana.
- [2] Mazanek T., Tochowicz S.: Elektrometalurgia stali, Śląsk, K-ce 1974.
- [3] Stroganow i inni: Dugowyje elektropieczi. Mietałłurgia Moskwa 1972.
- [4] Lebedziejewski M.: Szudek M.: Wyroby z węgla i grafitu, WNT Warszawa 1970.
- [5] Materiały II Sympozjum Przemysłu Elektrodowego, Nowy Sącz, 1968.
- [6] Gierek A., Pawłowski S., Mazur L., Tryba T.: Impregnacja kapilarna elektrod grafitowanych. Materiały V Sympozjum Przemysłu Elektrodowego, Nowy Sącz 1974.

- [7] Pawłowski S., Mazur L.: Badania nad wpływem impregnacji kapilarnej na podwyższenie własności użytkowych elektrod grafitowanych, Sesja Naukowa Dnia Hutnika, Politechnika Sl. Katowice 1974.
- [8] Strunski B.M.: Rudnotiermiczieskije pławilnyje pieczi. Mietałurgia Moskwa 1972.

#### ИССЛЕДОВАНИЯ ПО УЛУЧШЕНИЮ ЭКСПЛУАТАЦИОННЫХ СВОЙСТВ ГРАФИТИРОВАННЫХ ЭЛЕКТРОДОВ

##### Р е з ю м е

Физические свойства и качество графитированных электродов значительно влияют на производительность и бесперебойную работу электродуговых печей, качество выплаваемого металла, а также на стоимость продукции.

К главным факторам, выступающим в процессе расходования электродов принадлежит окисление боковых поверхностей электрода, окисление и распыление в зоне дуги, отпадание наконечников и излома особенно в местах стыка.

Целью этой публикации является представление результатов исследований по снижению расхода электродов путём применения глубокого импрегнирования алюмине - хромовым фосфатом. Для облагораживания электродов использован экспериментальный технологический ряд в котором проведено импрегнирование, полимеризацию пропитывающего вещества и очистка электродов. На основе проведённых исследований, установлено, что импрегнирование фосфатной связкой позволяет на снижение расходования электродов на 1 кг/т стали при одновременном повышении качества сопротивляемости электродов в среднем на скатке на 52% и на изгиб около 40%.

Получено также повышение температуры начала окисления. Применение этого метода не изменяет дневного состава изготовленной стали.

#### INVESTIGATIONS OF THE IMPROVEMENT OF THE UTILIZABLE PROPERTIES OF THE GRAPHITIZED ELECTRODES

##### S u m m a r y

Physical properties and of the graphitized electrode, have influence on productivity and work heating arc furnaces, quality of the molten metal and production costs.

The side surfaces of electrode oxidizing, the oxidation and pulverized process in the arc zone, fell off tops and broken junction places take place in the use up process. In the experimental part of this work the results of the decrease consumption of the electrodes.

An experimental technological train in such impregnation, the polymerization of an impregnate material and the purification of the electrodes have been performed - has been used for the refinement of the electrodes.



On basis of the experimental tests it has been shown. That the impregnation with the phosphate binding material permits to lower consumption of electrodes by 1 kg/t of steel and to higher the strength properties of the electrodes on the average of 52% at compression and about 40% at bending.

It this method a chemical composition is not being changed in the steel obtained.