

# Biuletyn

## nr 2/1998

# PRO NOVUM<sup>®</sup>

RESEARCH & TECHNOLOGICAL SERVICES

Zespół redakcyjny: mgr inż. Jerzy Dobosiewicz, dr inż. Jerzy Trzeszczyński

Mgr inż. Jerzy Dobosiewicz,

mgr inż. Ewald Grzesiczek

UKD 621.825:621.797

Pro Novum — Katowice

Rafako Energo — Katowice

## Regeneracja głównych sprzęgieł turbozespołów

Połączenia między wałami wirników we współczesnych turbozespołach są wykonane w postaci sprzęgieł sztywnych lub półelastycznych (rys. 1). Przy takim sposobie połączenia wałów przemieszczenie osiowe jest możliwe jedynie w przypadku uszkodzenia łożyska oporowego.

Główne sprzęgła (wirnik NP — wirnik generatora) w turbinach o mocy 120 i 200 MW są wykonane jako półelastyczne; są to dwa kołnierze + jedna lira, na sztywno skręcone pasowanymi śrubami. Kołnierze tworzą oddzielne elementy osadzone na skurczu, na końcówkach wałów (często stożkowych) obu wirników. Sprzęgła są ważnym i odpowiedzialnym elementem turbozespołów. Zapewniają one przekazanie mocy między wirnikami turbiny oraz od wirników turbiny do generatora. Połączone z wałem wirnika elementy sprzęgła obracają się z dużą prędkością, w wyniku czego powstają w nich znaczne naprężenia. Jednocześnie z naprężeniami statycznymi mogą występować również naprężenia o charakterze udarowym oraz naprzemiennie. Elementy sprzęgła pracują w atmosferze powietrza i nie są poddawane działaniu pary, wody oraz wysokiej temperatury.

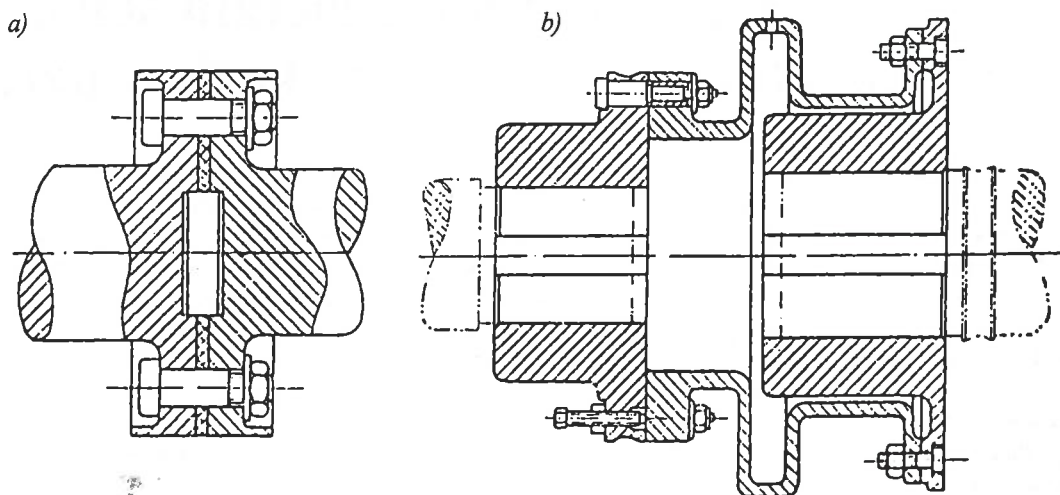
Wymagania materiałowe sprowadzają się do odpowiedniej wytrzymałości, plastyczności i udarności w temperaturze

pokojowej. Najczęściej stosowanymi materiałami są stale węglowe wyższej jakości i niskostopowe typu HM i HNM w stanie ulepszonym cieplnie. Wyteżenie metalu sprzęgła zależy od wzajemnego położenia wałów przy montażu, w czasie pracy (centrowanie) i warunków eksploatacji (liczba i szybkość uruchomień, zwarcia w generatorze itp.).

Jako moment obliczeniowy dla sprzęgieł ( $M_o$ ) przyjmuje się największy moment obliczeniowy ( $M_{max}$ ) występujący na sprzęgle przy szczytowym obciążeniu. Podczas krótkiego zwarcia elektryczny moment między stojanem a wirnikiem generatora wzrasta od 8 do 10 razy, ale moment skręcający w tym czasie ( $M_{max}$ ) nie przekracza 1,5-krotnej wartości nominalnej ( $M_{nom}$ ). Znaczna część momentu elektromagnetycznego jest bowiem pochłaniana przez masy wirników generatora i turbiny.

$$M_o = M_{max} \quad \beta = \frac{M_{max}}{M_{nom}}$$

gdzie:  $M_o$  — moment obliczeniowy,  $M_{max}$  — moment maksymalny,  $M_{nom}$  — moment nominalny,  $\beta$  — współczynnik przeciążenia.



Rys. 1. Sprzęgło sztywne (a) i półelastyczne (b)

W obliczeniach wytrzymałościowych sprzęgła do określenia naprężeń dopuszczalnych wykorzystuje się granicę plastyczności  $R_e$  materiału, ze współczynnikiem  $k=2$  i współczynnikiem przeciążenia  $\beta \geq 1,6$ .

Sprzęgła podczas eksploatacji ulegają uszkodzeniom w różnych miejscach:

► **uszkodzenie osadzenia:** na skutek dobrania niewłaściwych skurczów mogą one ulec zmianie, w przypadku małych skurczów występują miejscowe wybicia na wale i sprzęgle przy nadmiernych przyrostach średnicy otworu sprzęgła; podobne zjawiska występują po wieloletniej eksploatacji na skutek relaksacji naprężeń; tak uszkodzone sprzęgło (luźne) zazwyczaj nie nadaje się do dalszej eksploatacji;

► **uszkodzenie otworów śrubowych:** najczęściej owalizacja w kierunku obwodowym wywołana niewłaściwymi warunkami pracy turbozespołu lub powiększenie otworów do wartości dopuszczalnej związanej z częstym rozwiercaniem; tak uszkodzone sprzęgła nie nadają się do dalszej eksploatacji.

Zużyte i przeznaczone na złom sprzęgła można regenerować i w ten sposób przywrócić im stan początkowy. Poprawnie wykonana regeneracja zapewnia właściwą wytrzymałość sprzęgła oraz uzyskanie znacznych efektów ekonomicznych. Koszt regeneracji wynosi od 30 do 40% ceny nowego sprzęgła. Warto zwrócić uwagę na fakt, że regeneracja różnych elementów ciepłno-mechanicznych urządzeń jest coraz częściej praktykowana w energetyce światowej i traktowana nie jako środek zastępczy, lecz przywracający, a niekiedy nawet poprawiający stan wyjściowy. W Stanach Zjednoczonych oraz w państwach Europy Zachodniej specjalistyczne firmy zajmują się regeneracją takich elementów, jak: kadłuby turbin, rurociągi, śruby szpilkowe, łożyska wirników, sprzęgła itp. Do najbardziej znanych metod regeneracji należą: powtórna obróbka cieplna, spawanie i napawanie oraz metalizacja natryskowa. Właściwie wykonana regeneracja może poprawić własności wytrzymałościowe regenerowanych części przyczyniając się do podwyższenia ich trwałości, a tym samym również niezawodności.

Sposób i zakres regeneracji zależą od rodzaju i stopnia zużycia sprzęgła.

• Główne otwory sprzęgieł (osadzenia) w zależności od stopnia uszkodzenia po przetoczeniu poddaje się regeneracji przez metalizację natryskową (przyrosty średnicy nie większe od 0,7 mm). Przy większych ubytkach po przetoczeniu otwór zostaje napawany. Po natrysku lub napawaniu regenerowana powierzchnia jest poddawana obróbce mechanicznej (skrawanie, szlifowanie itp.). Warstwy natryskiwane lub napawane powinny być z takiego tworzywa, aby ich twardość i granica plastyczności były zbliżone do właściwości metalu rodzimego.

• Otwory śrubowe sprzęgieł mogą być przetaczane do średnicy dopuszczalnej przy zastosowaniu śrub o nowych, odpowiednich wymiarach. Chcąc uniknąć częstej wymiany śrub otwory można tulejować, a w tulejach wykonywać otwory stosowne do wymiarów śrub. Maksymalna średnica otworu tulejowanego nie może jednak przekraczać średnicy dopuszczalnej, a sama tuleja z uwagi na utratę wytrzymałości nie powinna być rozwiercana (operacja ta znacznie ogranicza jej przydatność). Przy większych ubytkach otwory śrubowe są napawane.

Przed poddaniem regeneracji sprzęgła sprawdza się metodami nieniszczącymi na obecność pęknięć oraz ustala skład chemiczny metalu i dokonuje pomiarów twardości, jak również średnic otworu centralnego, otworów śrubowych i wymiarów rowków wpustowych.

Na podstawie uzyskanych wyników są ustalane zakres i sposób regeneracji. Wymagające napawania otwory po przetoczeniu spawa się urządzeniem automatycznym na gorąco; dobrane stopiwo ma skład chemiczny i własności mechaniczne zbliżone do materiału rodzimego. Po spawaniu sprzęgło poddaje się obróbce cieplnej w piecu. Obrobiony cieplnie element obrabia się zgrubnie i sprawdza twardość napoiny, strefy wpływu ciepła oraz materiału rodzimego, a następnie poddaje się badaniom nieniszczącym. Tak sprawdzone sprzęgło obrabia się mechanicznie w celu uzyskania wymiarów początkowych. Wszystkie operacje podlegają ścisłej kontroli na zgodność z zalecaną technologią i wymaganiami Użytkownika.

proNovum

Mgr inż. Ewa Zbroińska-Szczuchura

UKD 621.182:621.797

Pro Novum — Katowice

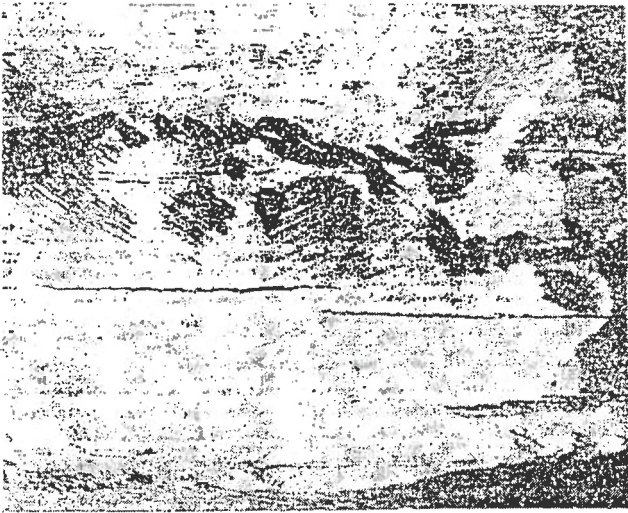
## Rozwarstwienie metalu ścianek niektórych walczaków kotłów parowych

Walczaki kotłów energetycznych o grubości ścianek powyżej 50 mm są wykonane ze zwijanych blach, tłoczonych odkuwek lub kutyh tulei. W starych walczakach, produkowanych w latach pięćdziesiątych lub jeszcze wcześniej — których materiał wyjściowy nie był sprawdzany ultradźwiękiem na obecność „rozwarstwień” — w metalu pozostały liczne nie wykryte wady technologiczne, przede wszystkim wtrącenia niemetaliczne różnej wielkości i rodzaju oraz znaczna pasemkowatość struktury.

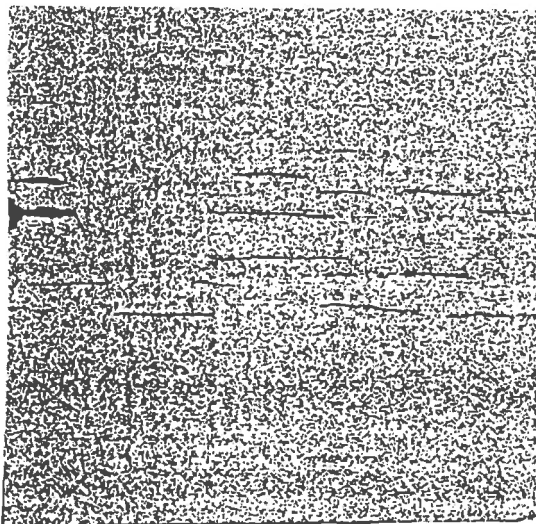
Badania ultradźwiękowe, a zwłaszcza pomiary grubości wykonywane w czasie przeglądów diagnostycznych na tych

walczakach, nierzadko wykazują w objętości metalu wady typu „rozwarstwienia” (rys. 1). Wady te, gdy wychodzą na ścianki otworów, mają charakter rozwartych równoległych nieciągłości wypełnionych niemetalicznymi wtrąceniami. Największe nagromadzenie tych nieciągłości znajduje się najczęściej w środku ścianki między 1/3 a 2/3 jej grubości. Obejmują one zwykle obszar różnej długości i mają charakter płaszczyzn równoległych do ścianek walczaka. Wieloletnie obserwacje i pomiary diagnostyczne nie potwierdziły rozprzestrzeniania się tych wad, natomiast stwierdzono, że z czasem eksploatacji wzrasta rozwarście nieciągłości występujących na





Rys. 1. Rozwarstwienie widoczne na ścianie otworu

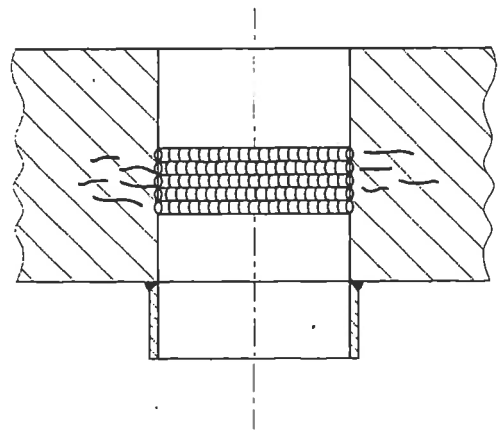


Rys. 2. Przekrój podłużny przez ściankę — widoczne nieciągłości oraz wymycie krawędzi otworu

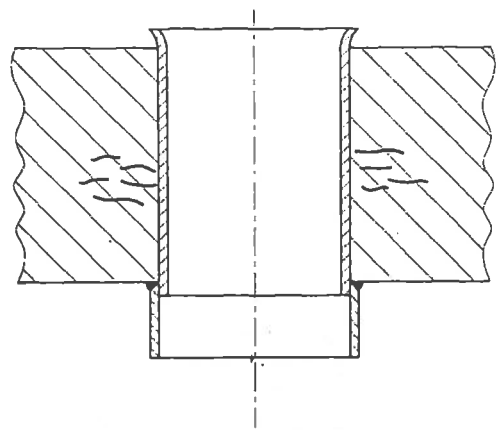
ściankach otworów, a zwłaszcza tych, które znajdują się w przestrzeni wodnej walczaka. Badania metalograficzne wykazały, że rozwarstwienia są wypełnione wtrąceniami niemetalicznymi (rys. 2), a w miejscach kontaktu z czynnikiem (tworzące otworów) ulegają wykruszeniu (działanie naprężeń zmiennych) oraz wymyciu (korozja).

W walczakach nowej generacji, produkcji krajowej i zagranicznej, obecności tego typu rozwarstwień jak dotychczas nie stwierdzono, co wynika z ulepszenia technologii produkcji stali oraz eliminacji wadliwych odkuwek i blach poprzez zastosowanie 100% badań ultradźwiękowych. Porażone rozwarstwieńmi walczaki mogą być nadal eksploatowane — pod warunkiem, że wykryte rozwarstwieńia nie wychodzą na powierzchnię otworów, gdyż w takim przypadku wzrasta ich rozwarcie, a z czasem na skutek działania czynnika (para nasycona, woda kotłowa) występuje również intensywne korozja.

W przypadku stwierdzenia rozwarstwień wychodzących na ścianki otworów, walczaki takie po wykonaniu naprawy można dalej eksploatować. Naprawa polega wtedy na zaślepieniu tych wad, co można wykonać dwoma sposobami:



Rys. 3. Zaślepienie nieciągłości przez obspawanie



Rys. 4. Zaślepienie nieciągłości przez tulejowanie

- ⇒ obspawanie, a następnie przeszlifowanie całego otworu; w przypadku walczaka ze stali węglowej (zgodnie z zaleceniami VGB oraz OST) można spawać na zimno elektrodami węglowymi (rys. 3); operację tę można wykonać również automatem do spawania;
- ⇒ tulejowanie otworów przez rozwałcowanie odcinków rur o grubości ścianki 3—4 mm; sposób ten może mieć zastosowanie dla każdego walczaka, niezależnie od gatunku stali, z której został on wykonany, a dodatkowo tego rodzaju wkładka w otworze spełnia funkcje osłony termozokowej (rys. 4).

### Wnioski

- W walczakach starych kotłów często podczas badań diagnostycznych są wykrywane tzw. „rozwarstwienia”.
- Rozwarstwienia są ułożone równoległe do ścianek walczaka i są pochodzenia poprodukcyjnego.
- W czasie pracy, kiedy rozwarstwienia nie mają kontaktu z czynnikiem, nie następuje ich rozprzestrzenianie (zwiększenie wymiarów).
- Walczaki z rozwarstwieńiami mogą nadal bezpiecznie pracować, jeśli rozwarstwienia wychodzące na ścianki otworów zostaną zaślepienie przez spawanie lub tulejowanie otworów.

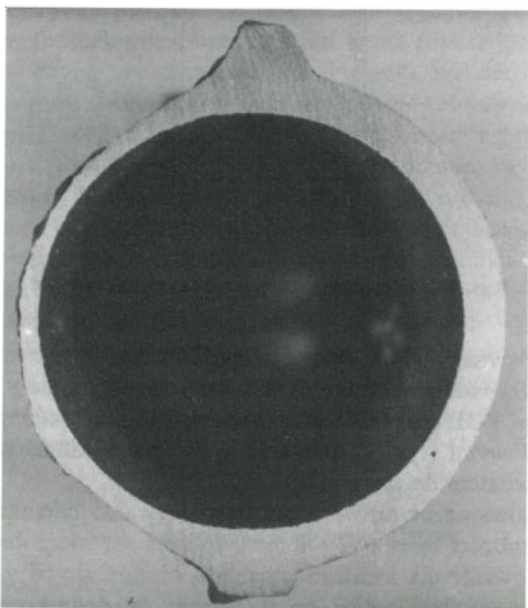
Mgr inż. Jerzy Dobosiewicz

UKD 621.182:620.197

Pro Novum — Katowice

## Korozja rur parownika od strony ogniowej

Korozja rur parownika od strony ogniowej w kotłach spalających węgiel zawierający siarkę coraz częściej staje się jednym z istotnych czynników obniżających ich niezawodność. Uszkodzenia występują w postaci jednostronnego ubytku ścianki od zewnętrznej strony zwróconej do komory paleniskowej (rys. 1). Największe ubytki korozyjne porażają rury parownika na odcinkach znajdujących się na wysokości górnych palników ścian bocznych i tylnej (w przypadku palników na ścianie przedniej) oraz na wysokości środka jądra (w przypadku palników narożnych). Należy zwrócić uwagę, że natężenie i umiejscowienie ubytków mogą być różne nawet wśród tego samego typu kotłów — wyposażonych w takie same palniki i spalających taki sam węgiel.

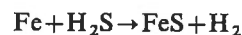


Rys. 1. Przekrój poprzeczny rury parownika porażonej korozją od strony ogniowej

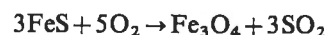
Miejsca porażone korozją z reguły są pokryte cienką warstwą porowatych produktów korozji, zawierających związki siarki (przeważnie siarczki). Obecność siarczków można łatwo wykryć przez wykonanie próby Baumanna (rys. 2). Pod produktami korozji w strukturze metalu widać wtedy niszczenie wybiórcze rozprzestrzeniające się po granicach ziarna, atakowanych przez siarkowodór (rys. 3).

Agresywny składnik spalin — którym jest  $H_2S$  — powstaje i występuje tylko w atmosferze redukcyjnej. Przy pojawieniu się tlenu siarkowodór szybko utlenia się do tlenku siarki  $SO_2$ . W spalinach  $H_2S$  występuje jedynie wtedy, gdy współczynnik nadmiaru powietrza  $\lambda < 1,08$ . Przy zawartości  $H_2S$  w płomieniu 0,12—0,14% korozja stali rur parownika może zachodzić z prędkością 2—5 mm/rok.

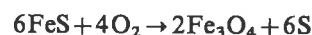
Wynikiem współdziałania Fe i  $H_2S$  jest powstawanie  $FeS$  zgodnie z reakcją



Warstwa siarczków ma nieznaczną wytrzymałość mechaniczną i jest nieuszczelną; ponadto bardzo szybko ulega utlenieniu:



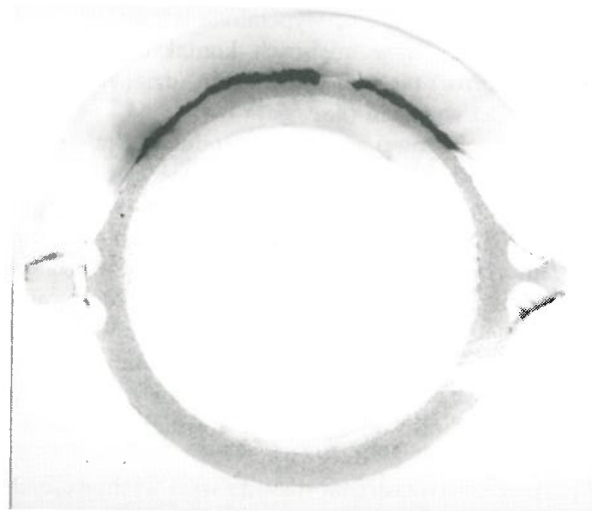
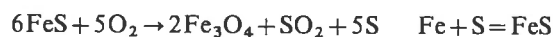
Przy niedomiarze tlenu reakcja może przebiegać następująco:



W ten sposób na powierzchni metalu powstaje krucha, łatwo pękająca warstwa składająca się z tlenków i siarczków żelaza.

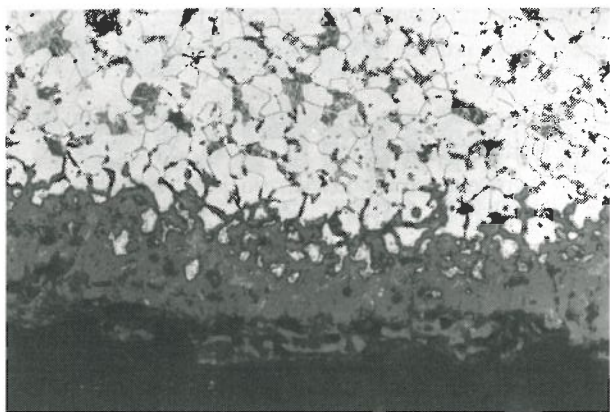
Natężenie korozji przy tego rodzaju warstwie jest określone szybkością reakcji chemicznej między Fe i  $H_2S$ . Niskie ochronne własności warstwy siarczkowej wynikają z obecności w niej naprężeń wewnętrznych ze względu na wysoki stosunek objętości cząsteczkowych siarczku i metalu (2,5—4,0). Dlatego już przy grubości powyżej 0,25 mm warstwa ta pęka i odpada od powierzchni metalu.

W przypadku występowania grubej warstwy  $FeS$  na powierzchni rury metal prawdopodobnie może korodować bez dopływu  $H_2S$  z zewnątrz, lecz tylko pod działaniem siarki wydzielającej się w warstwie produktów korozji przez utlenianie  $FeS$ , na przykład:



Rys. 2. Przekrój poprzeczny rury — próba Baumanna w miejscu ścienienia (w produktach korozji widoczna obecność siarczków)





Rys. 3. Zaatakowane granice ziarna metalu pod warstwą produktów korozji

Badania laboratoryjne składu gazów spalinowych płomienia wykazały, że przy niedomiarze powietrza  $\lambda=0,75-1,08$  zawartość  $H_2S$  w jądrze oraz przy powierzchni rur parownika osiąga  $0,15-0,09\%$ , co może powodować intensywną korozję. Korozja rur zachodzi szybko powyżej temperatury  $300^\circ C$ . Oczywiście natężenie korozji rośnie ze wzrostem stężenia  $H_2S$ , co jest związane z ilością siarki w spalonym węglu oraz niedomiarem powietrza w płomieniu; to ostatnie znajduje potwierdzenie w nasilonej korozji niektórych kotłów z palnikami niskoemisyjnymi  $NO_x$ .

Ponieważ nie ma odwrotu od palników niskoemisyjnych, zapobieganie korozji rur parownika może odbywać się jedynie dzięki wykonaniu odpowiedniej warstwy ochronnej przez metalizację lub podawanie na parownik powietrza zaporowego.

Według literatury oraz prób wykonanych w elektrowniach krajowych dobre wyniki dają warstwy ochronne wysokochromowe, zwłaszcza wtedy, gdy są szczelne i nanoszone na nowe rury.

Korzystne wyniki daje ochrona parownika przed korozją przez wytworzenie na powierzchni rur warstwy powietrza (tzw. powietrze zaporowe), pobieranego z kanału gorącego powietrza.

Obecność chlorków w węglu przyspiesza korozję.

### Wnioski

► Ubytki grubości ścianki rur parownika od strony ogniowej są wywołane korozją siarkową.

► Przyczyną korozji siarkowej jest agresywne działanie siarkowodoru powstającego podczas spalania nawet niskoemisyjnych węgli w atmosferze redukcyjnej (przy niedomiarze powietrza).

► Prędkość korozji może być znaczna i sięgać nawet 2 mm/rok.

► Skuteczne zapobieganie korozji polega na natryskiwaniu odpowiedniej warstwy ochronnej na powierzchnię nowych rur lub stosowanie powietrza zaporowego.

► Zaleca się okresowy pomiar grubości ścianki rur w okolicach maksymalnego natężenia korozji.

### LITERATURA

- [1] Korrosion und Korrosionsschutz in der Kraftwerkstechnik. VGB Konferenz. Essen, November 1995
- [2] Kaminskij W. P.: O mechanizmie obrazowania i wozdijstwija na mietal trub topocznych ekranow parowych kottow niekotorych komponentow topocznowo fakiela pri zżiganijsi AS2. *Tiepłoeniergijskaja* 1996, nr 4

pronovum



pronovum

## WIZYTA W BRYTYJSKICH INSTYTUCJACH ZWIĄZANYCH Z ENERGETYKĄ

31 marca—10 kwietnia 1998 r.  
Dinorwing, Trawsfynydd, Warrington, Londyn,  
WIELKA BRYTANIA

Celem wyjazdu było zapoznanie się z doświadczeniami niektórych elektrowni brytyjskich, m.in. elektrowni jądrowej *Trawsfynydd Power Station* i wodnej *First Hydro Power Station* w Walii. Podczas wyjazdu przeprowadzono rozmowy nt. wymiany doświadczeń i kontynuowania współpracy (National Grid, AEA Technology oraz Instytut of Materials).

W ramach rewizyty w czerwcu br. zorganizowano w *Pro Novum* spotkanie z przedstawicielami *Sonomatic* (AEA Tech-

nology). Wymieniano doświadczenia nt. badań nieniszczących. Specjaliści z niektórych krajowych elektrowni są zainteresowani zaawansowanymi badaniami ultradźwiękowymi (systemy monitorowania korozji i erozji oraz przemysłowe aplikacje metody wykorzystującej dyfrakcję czasu przelotu, czyli Time of Flight Diffraction — TOFD. (opr. J. T.)

## MIĘDZYNARODOWE TARGI TECHNICZNE „HANNOVER MESSE '98”

20—25 kwietnia 1998 r.  
Hannover, NIEMCY

Tegoroczne targi techniczne w Hannoverze były poświęcone między innymi szeroko rozumianej problematyce energetycznej. Większość wystawców prezentowała swe wyroby lub usługi techniczne związane z:

- transformowaniem wysokich napięć,
- systemami zabezpieczeń,
- układami automatyki sterująco-kontrolnej.

Na targach można było zapoznać się z najnowszymi rozwiązaniami z dziedziny siłowni wiatrowych.