

Mgr inż. Artur Bajwoluk

Temat rozprawy: *Konstrukcyjno-eksploatacyjne czynniki procesu niszczenia odlewów palet stosowanych w piecach do obróbki cieplnej*

Słowa kluczowe: osprzęt pieców do obróbki cieplnej, odlewy palet, staliwo żarowytrzymałe, naprężenia cieplne, metoda elementów skończonych

Streszczenie

Odlewy palet, stanowiące przedmiot analiz podjętych w niniejszej rozprawie doktorskiej, stanowią podstawowy element osprzętu pieców do obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej, na których ulepszone cieplnie elementy są transportowane podczas procesów obróbki. Z uwagi na warunki eksploatacji paleta narażona jest na oddziaływanie wielu niekorzystnych czynników wpływających negatywnie na jej trwałość. Celem prowadzonych badań było poznanie mechanizmów powodujących niszczenie tego rodzaju osprzętu oraz ocena możliwości spowolnienia tego procesu.

Na podstawie dokonanego przeglądu literatury obejmującego m.in. takie zagadnienia jak: warunki pracy osprzętu technologicznego pieców, materiały stosowane do wykonywania analizowanych odlewów, źródła naprężeń w elementach eksploatowanych w warunkach gwałtownych zmian temperatury oraz przegląd powszechnie występujących zniszczeń rzeczywistych elementów osprzętu pieców postawiono tezę, iż możliwe jest wprowadzenie takich zmian konstrukcyjnych palet, które istotnie zmniejszą naprężenia cieplne w czasie każdego cyklu pracy, skutkiem czego będzie znaczące podwyższenie ich trwałości.

Zmiany takie nie mogą być jednak wprowadzane arbitralnie, lecz muszą wynikać z odpowiednio przeprowadzonych analiz wytrzymałościowych, w których uwzględnione zostaną zarówno zmiany struktury i związane z tym zmiany właściwości mechanicznych zachodzące w materiale palet w czasie ich eksploatacji, jak i naprężenia cieplne powstające w każdym cyklu pracy wskutek gradientu temperatury w przekroju nagrzewanych i chłodzonych elementów oraz naprężenia cieplne wywołane różną rozszerzalnością cieplną faz występujących w materiale.

W ramach prowadzonych badań opracowano metodykę porównawczą rozwiązań konstrukcyjnych palet pod kątem powstających w nich, w warunkach gwałtownych zmian temperatury, naprężeń cieplnych. Pierwszym krokiem prowadzonych według opracowanej metodyki analiz jest modelowanie numeryczne przepływu ciepła w badanych elementach podczas realizowanego procesu cieplnego, a następnie wyznaczenie czasu t_{max} , po którym na wybranym kierunku powstają największe różnice temperatury. Następnym krokiem jest przeprowadzenie obliczeń numerycznych naprężeń cieplnych, jakie powstają w poszczególnych punktach badanego elementu po zmianie temperatury z wyjściowej – jednakowej dla całego obiektu do rozkładu temperatury wyznaczonego dla danego procesu po czasie t_{max} . Krokiem końcowym jest optymalizacja rozwiązań konstrukcyjnych pod kątem minimalizacji powstających w czasie cyklu pracy naprężeń cieplnych.

Z uwagi na istotną rolę analiz przepływu ciepła w zaproponowanej metodyce, zbudowano stanowisko badawcze do pomiaru zmiany temperatury podczas nagrzewania lub chłodzenia próbki odzwierciedlającej kształtem żebro pionowe palety. Na zbudowanym stanowisku przeprowadzono pomiary kinetyki zmian temperatury wewnątrz próbki przy nagrzewaniu w piecu oraz przy chłodzeniu w oleju i wodzie, przy różnych temperaturach granicznych danego procesu. Uzyskane wyniki wykorzystano do opracowania modelu MES przepływu ciepła w nagrzewanym i chłodzonym żebrze palety.

Po uzyskaniu zgodności wyników obliczeń numerycznych przepływu ciepła z wynikami badań doświadczalnych, przeprowadzono numeryczne analizy naprężeń cieplnych z wykorzystaniem metody elementów skończonych. Przyjęto, że głównymi źródłami tych naprężeń w analizowanych paletach jest różna rozszerzalność cieplna składników strukturalnych występujących w staliwie, z którego są one wykonywane oraz tworzący się podczas procesów wymiany ciepła gradient temperatury. W prowadzonych analizach przyjęto, że w całym zakresie temperatury pracy stosowane do produkcji palet staliwo ma stabilną strukturę austenityczną, a więc w czasie zmian temperatury nie zachodzą w nim przemiany fazowe żelaza α w żelazo γ i odwrotne.

Do analizy naprężeń strukturalnych wywołanych różną rozszerzalnością cieplną składników staliwa opracowano modele MES strefy przypowierzchniowej nawęglonego stopu austenitycznego. Modele te wykorzystano do analizy wpływu takich parametrów, jak: głębokość strefy nawęglonej, grubość warstwy tlenków na powierzchni stopu czy wielkość ziarna, na naprężenia powstające w warstwie przypowierzchniowej gwałtownie chłodzonego elementu. W etapie końcowym prowadzonych analiz opracowane modele wykorzystano do obliczeń uwzględniających jednoczesne oddziaływanie naprężeń spowodowanych różną rozszerzalnością cieplną składników strukturalnych staliwa oraz tworzącego się gradientu temperatury. Uzyskano rozkłady naprężeń sprzyjające powstawaniu obserwowanych w rzeczywistości pęknięć. Dzięki przeprowadzonym analizom modelowym i obliczeniom numerycznym uzyskano wyniki dostarczające informacji o czynnikach sprzyjających formowaniu się naprężeń, w przypowierzchniowej warstwie nawęglonego stopu, przyczyniających się do inicjacji obserwowanych pęknięć.

Analizy naprężeń wywołanych gradientem temperatury wykorzystano do oceny wpływu czynników, takich jak rodzaj medium chłodzącego oraz temperatura początkowa i końcowa procesu, na rozkłady naprężeń powstających w pionowym żebrze palety. Zaproponowaną metodykę wykorzystano do analiz wpływu różnych rozwiązań konstrukcyjnych palet na kształtowanie się naprężeń cieplnych podczas gwałtownego chłodzenia. W ramach tych badań przeprowadzono analizy wpływu grubości ścianek palety i rozwiązania konstrukcyjnego ich połączenia oraz analizy wpływu usztywnienia zewnętrznego obrysu palety na naprężenia powstające na wybranych kierunkach. Dzięki uzyskanym wynikom stwierdzono, które rodzaje połączeń powinny być stosowane w paletach poddanych gwałtownym zmianom temperatury, a których należy unikać oraz jakie decyzje konstrukcyjne powinny być podejmowane w celu zmniejszenia naprężeń cieplnych powstających na analizowanych kierunkach.

Zaproponowaną metodykę porównawczą zweryfikowano w praktyce dokonując modernizacji konstrukcji kosza wykorzystywanego do transportu wsadu. W wyniku identyfikacji, na podstawie przeprowadzonych analiz numerycznych, mechanizmu odpowiedzialnego za powstawanie zniszczeń (dużych deformacji) kosza, zaproponowano zmianę rozwiązania konstrukcyjnego połączenia jego ścian bocznych z podstawą. Zmiana ta przyniosła zamierzony efekt w postaci istotnego zmniejszenia powstających w cyklu cieplnym deformacji, co w znaczący sposób wydłużyło czas eksploatacji badanej konstrukcji.

Rezultaty uzyskane w ramach zrealizowanej rozprawy doktorskiej znacząco przyczyniają się do zwiększenia wiedzy o wpływie czynników konstrukcyjnych i eksploatacyjnych na procesy niszczenia osprzętu do transportu wsadu w piecach do obróbki cieplnej i cieplno-chemicznej, w tym, w szczególności wytwarzanych ze staliwa austenitycznego odlewów palet. Na podstawie opracowanej metodyki porównawczej i przeprowadzonych przy jej wykorzystaniu numerycznych analiz symulacyjnych można jednoznacznie stwierdzić, czy i poprzez jakie zmiany konstrukcyjne można zredukować naprężenia cieplne powstające w konstrukcjach palet podczas cyklu eksploatacji, a tym samym podwyższyć ich trwałość. Zaproponowana w pracy metodyka porównawcza może być stosowana nie tylko przy projektowaniu palet, ale także przy projektowaniu innych elementów konstrukcyjnych eksploatowanych w warunkach gwałtownych zmian temperatury.

Barbara Portier