

XVI Konferencja Naukowo-Techniczna

TK12022

TECHNIKI KOMPUTEROWE W INŻYNIERII

18–21 października 2022

Analiza stateczności kompensatorów linii procesowych w magnesach nadprzewodzących

Artur Iluk¹

¹Katedra Konstrukcji i Badań Maszyn i Urządzeń, Politechnika Wroclawska
email: artur.iluk@pwr.edu.pl

STRESZCZENIE: W artykule omówiono problem stabilności uniwersalnych kompensatorów dwumieszkowych stosowanych w instalacjach ciśnieniowych na przykładzie hydraulicznego połączenia magnesów nadprzewodzących akceleratora SIS100 budowanego w ramach projektu FAIR. Celem użycia kompensatorów była kompensacja skurczu termicznego spowodowanego ciekłym heliem oraz niwelacja nieosiowości rur procesowych wynikającej z łuku akceleratora oraz tolerancji produkcyjnych. Kompensatory tego typu są z natury niestabilne, wymagają stabilizacji oraz są interesującymi obiektami z punktu widzenia modelowania ze względu na bardzo silną nieliniowość geometryczną. W pracy przedstawiono wykonaną na szczegółowym modelu analizę nieliniową procesu obciążania i zniszczenia kompensatorów w wyniku wybożenia mieszków kompensatorów o średnicach od DN25 do D100. Wyznaczono również siły występujące w procesie wybożenia, które mają duże znaczenie dla stabilności geometrycznej wiązki zakrzywianej przez nadprzewodzące magnesy akceleratora.

SŁOWA KLUCZOWE: kompensator uniwersalny, analiza nieliniowa, wybożenie, kompensacja termiczna

1. Wstęp

W kriogenicznych urządzeniach pracujących w temperaturze ciekłego helu - kilka stopni Kelwina powyżej zera absolutnego – konieczne jest stosowanie kompensatorów mieszkowych to kompensacji skurczu termicznego. te same kompensatory służą często do dopasowania niedokładności wynikających z tolerancji wykonawczych [1, 2]. W pracy przedstawiono analizę zastosowania tzw. kompensatorów uniwersalnych, zdolnych do kompensacji zarówno przemieszczeń kątowych, poprzecznych jak i osiowych (rys. 1), do połączenia kriostatów sąsiednich magnesów nadprzewodzących zakrzywiających wiązkę jonów w synchrotronie SIS100 [3] budowanego w ramach projektu FAIR w Darmstadt, Niemcy. Kriostat stanowi izolowaną próżnię i aktywnie chłodzoną heliem obudowę magnesu nadprzewodzącego.

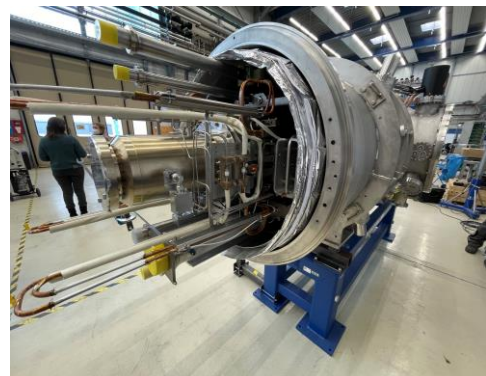


Rys. 1. Kompensator uniwersalny z uchwytem wymuszającym napięcie wstępne

Wymagania stawiane magnesom obejmują między innymi stabilność pozycjonowania wiązki z dokładnością

około 0,1 mm. Wskutek użycia kompensatorów, ciekły hel chłodzący magnesy wywiera na rury procesowe nieskompensowane ciśnienie mogące powodować przemieszczenia struktury podporowej magnesów i utratę precyzji prowadzenia wiązki.

Celem pracy było określenie sił wywieranych na magnesy oraz sprawdzenie, czy zachowana jest stabilność kompensatorów przy zachowaniu istniejącej konstrukcji wykonanych już magnesów i ich kriostatów. Widok jednego z magnesów akceleratora SIS100 pokazano na rys. 2.



Rys. 2. Widok jednego z magnesów akceleratora SIS100 wraz z kriostatem

2. Modele obliczeniowe

Model obliczeniowy czterech kompensatorów o średnicach DN25 – DN100 wykonano jako model powłokowe w programie Abaqus. Model obejmował kompensatory oraz kilkumetrowe odcinki połączonych

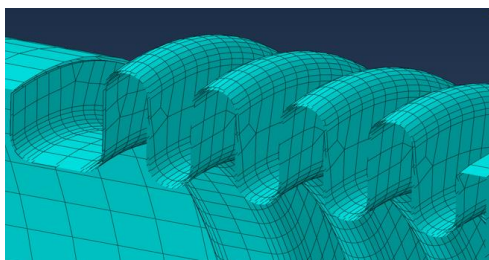
z nimi rur procesowy podpartych zgodnie z konstrukcją magnesów podporami stałymi oraz przesuwными. Ze względu na luzy w podporach, nie odebrano w nich rotacyjnych stopni swobody.

Sam model kompensatora (rys. 3) odzwierciedla jego konstrukcję składającą się z dwóch warstw blachy ze stali 316L o grubości 0,3 mm na każdym z dwóch mieszkań kompensacyjnych. Model uwzględniał zmienność parametrów materiałowych z temperaturą, uplastycznienie materiału, kontakt pomiędzy wszystkimi powierzchniami modelu ze współczynnikiem tarcia 0,3 oraz nieliniowość geometryczną.

Symulacja pracy obejmowała:

- symulację dopasowania i spawania kompensatora w rury procesowe ustawione pod kątem 3,33 stopnia (łuk akceleratora) oraz z maksymalną poprzeczną niedokładnością montażu ± 1 mm.
- obciążenie ciśnieniem testowym 2,86 MPa
- skurcz do temperatury 4K oraz pracę z ciśnieniem nominalnym 2 MPa

Symulacje wykonano dla przypadków ze wstępnym napięciem kompensatorów (prestress) oraz bez tego napięcia. Uwzględniono również skurcz spoin podczas spawania kompensatorów.



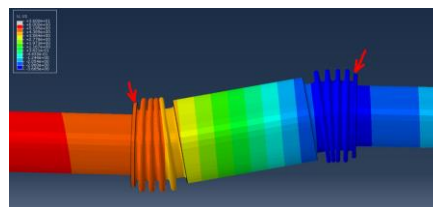
Rys. 3. Widok przekroju przez model dwuwarstwowego mieszkania kompensatora

3. Wyniki

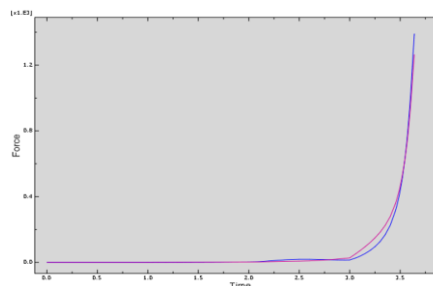
Analizy wykazały, że napięcie wstępne, aczkolwiek ma pewien pozytywny wpływ na trwałość kompensatorów [4], znacznie ułatwia wyboczenie kompensatorów. W aktualnej konfiguracji z napięciem wstępnym wszystkie analizowane kompensatory uległyby zniszczeniu przy ciśnieniu niższym od roboczego. Przy rezygnacji z napięcia wstępnego, tylko największy kompensator DN100 nie uległ wyboczeniu, choć odkształcenia plastyczne w korugacjach mieszkań zwiększyły się nieznacznie. Pozostałe kompensatory wymagały zmiany systemu kompensacji lub dodatkowego, zewnętrznego stabilizatora.

Na rysunku 4 przedstawiono widok wybaczonego się kompensatora DN50 oraz historię sił poprzecznych wywieranych na podpory rur przymocowane do struktury magnesu. Podczas wybaczenia się kompensatora, siły te przekraczają 1,4 kN. Kompensator ulega zniszczeniu przy 64% ciśnienia testowego, co oznacza że uszkodzenie nie tylko przez ciśnienie testowe, ale również przez ciśnienie nominalne (2/3 testowego). Mniejsze kompensatory ulegają zniszczeniu wcześniej.

Główną przyczyną uszkodzeń jest niewystarczające sztywne podparcie rur procesowych po obu stronach kompensatorów, niestety zmiany w konstrukcji magnesu nie były już możliwe.

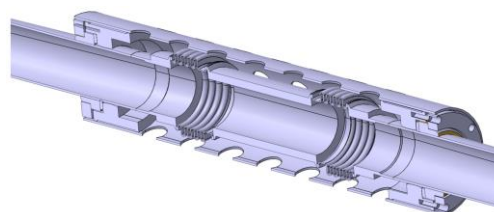


Rys. 4. Widok przemieszczeń w trakcie wybaczenia się kompensatora DN50, maksimum 3,6 mm



Rys. 5. Siły poprzeczne wywierane podczas wyboczenia kompensatora na strukturę wsporczą magnesu [kN]

W wyniku analiz zaproponowano wymianę kompensatorów mniejszych średnic na inny typ kompensacji z użyciem węży elastycznych, zaś w przypadku, gdzie jest to geometrycznie niemożliwe, zastosowanie zewnętrznego systemu stabilizacji kompensatora. (rys. 6).



Rys. 6. Koncepcja zewnętrznego systemu stabilizacji kompensatora uniwersalnego

4. Podsumowanie

Analizy numeryczne wykazały, że zastosowanie Napięcia wstępnego, choć może zwiększyć zmniejszyć odkształcenia plastyczne i podnieść trwałość, znacząco zwiększa ryzyko zniszczenia kompensatorów wskutek wyboczenia. Zastosowanie uniwersalnych kompensatorów bez dodatkowej stabilizacji jest atrakcyjne ze względu na możliwości kompensacji wszystkich rodzajów przemieszczeń, wymaga jednak bardzo dobrego podparcia obu stron kompensatora.

Literatura

- [1] Iluk, A., *Investigation of mechanical strains in thermal compensation loop of superconducting NbTi cable during bending and cyclic operation*. Materials, vol. 14, nr 5, 2021.
- [2] Iluk, A., Malcher, K., Słomski, W., Chorowski, M., Poliński, J., Eisel, T. & Spiller, P., *Design of the Cryogenic Bypass Line for the SIS100 Synchrotron*. Applied Sciences, 10(22), 2020.
- [3] Spiller, P., Balss, R., Bartolome, P., Blaurock, J., Blell, U., Boine-Frankenheim, O. & Winters, D. (2020). *The FAIR Heavy Ion Synchrotron SIS100*. Journal of Instrumentation, 15(12), 2020.
- [4] Skoczeń B.T., *Compensation systems for Low temperature Applications*, Springer 2004.