



POLITECHNIKA ŁÓDZKA
Wydział Mechaniczny

Przemysław Siedlaczek

STRESZCZENIE ROZPRAWY DOKTORSKIEJ

„Numerycznie wspomagana metoda prognozowania trwałości zmęczeniowej z uwzględnieniem gradientu naprężeń własnych”

Promotor: dr hab. inż. Tomasz Kubiak, prof. nadzw. PŁ
Promotor pomocniczy: dr inż. Jacek Sawicki

Łódź, Marzec 2013

Przedmiotem pracy było określenie wpływu stanu naprężeń własnych na trwałość zmęczeniową. W tym celu przeprowadzono liczne analizy numeryczne oraz badania zmęczeniowe.

Z szeregu źródeł mogących powodować powstawanie naprężeń własnych wybrano proces obróbki cieplnej, a dokładniej hartowanie indukcyjne. Dla stali poddanej temu procesowi naprężenia własne tworzą się na skutek wystąpienia przemiany martenzytycznej. W właściwie przeprowadzonym procesie, parametry procesu powinny być tak dobrane, by przemiana wystąpiła jedynie w warstwie przypowierzchniowej. W takich komponentach pozostające naprężenia własne tworzą gradient pod powierzchnią komponentu. Cechą charakterystyczną ich rozkładu jest występowanie wartości ściskającej na powierzchni i rozciągającej w rdzeniu próbki. Zmiana znaku w rozkładzie naprężeń pokrywa się z położeniem granicy przemiany martenzytycznej w materiale.

Naprężenia własne jest trudno precyzyjnie zmierzyć metodami laboratoryjnymi. Zadanie sprawia trudności w regionach karbów, natomiast żadna z dostępnych metod laboratoryjnych nie umożliwia wykonania pomiaru w całej objętości próbki. Z tego powodu, do przeprowadzenia procesu wnioskowania użyto metod numerycznego modelowania zjawisk fizycznych, a dokładniej, metody elementów skończonych.

Opracowano technikę analizy hartowania dla modeli płaskich 2D stosując założenie występowania uogólnionego płaskiego stanu odkształcenia. Porównano otrzymane z analizy wyniki z rezultatami badań laboratoryjnych i uzyskano zadowalającą zgodność. Następnie wykonano szereg symulacji modeli trójwymiarowych 3D wykorzystując wcześniej sprawdzoną metodę. Dla regionów odpowiadających założeniom modeli płaskich, uzyskano zgodność rezultatów modeli 2D i 3D. Wskazano również parametry gabarytowe modelu w odniesieniu do grubości warstwy zahartowanej, przy których zapewnione są ściskające naprężenia na powierzchni.

W kolejnym etapie, modele dwuwymiarowe jak i trójwymiarowe poddano obciążeniu wywołującemu w zaplanowanych przekrojach wysoki stan naprężeń gnących. Wykonano serię wahadłowo zmiennych obciążeń obserwując redystrybucję naprężeń własnych w przekrojach. W konsekwencji działających sił naprężenia ściskające na powierzchni obniżały wartość dążąc do zera, w odpowiedzi na co, rozkład naprężeń wewnątrz przekroju także zmieniał kształt.

Właściwości zmęczeniowe, w postaci wykresu zmęczeniowego dla stali 42CrMo4 w stanie surowym, uzyskano wykonując badania zmęczeniowe na zaprojektowanym stanowisku oraz próbkach do wibracyjnych testów zmęczeniowych. Zasada działania stanowiska opiera się o nowatorską technikę kontroli wymuszenia. Próbka jest wprowadzana w rezonans drgań giętych, który powoduje znaczną amplifikację przemieszczenia jej swobodnej końcówki. Amplituda przemieszczenia w trakcie testu jest utrzymywana na stałym poziomie. Gwarantuje to również utrzymanie stałej amplitudy naprężenia. Test przerywany jest automatycznie w momencie powstania uszkodzenia zmęczeniowego. Przejawem powstania uszkodzenia jest zmiana sztywności giętej, a co z tym związane - wartości częstotliwości

rezonansowej. Zrealizowano badanie 9 próbek, na których podstawie dopasowano model zmęczeniowy.

Wykonano porównanie uzyskanych wyników prób zmęczeniowych z opisywanymi w czasopismach naukowych i literaturze. Poddano krytycznej dyskusji zastosowane metody przygotowania powierzchni próbek, jak i ich kształt. W rezultacie, wskazano powody powstałych różnic uzyskanych wyników od średniej.

Wyznaczone drogą symulacji rezultaty naprężeń pod obciążeniem oraz naprężeń własnych posłużyły do określenia parametrów cyklu zmęczeniowego. Na podstawie amplitudy oraz naprężeń średnich w cyklu wykonano prognozę wartości nowej granicy zmęczeniowej oraz rozkładu trwałości zmęczeniowej komponentów hartowanych. Wyniki porównano z przesunięciem obserwowanym przez innych badaczy wskazując na ich podobieństwo.

W niniejszej pracy autor, postawił sobie za cel połączenie wykorzystania nowatorskich metod analizy numerycznej oraz posiadanej wiedzy praktycznej. W pracy udowodniono postawioną tezę i przedstawiono opracowanie numerycznej metody służącej prognozowaniu trwałości elementów konstrukcyjnych posiadających naprężenia własne, wynikające ze sposobu wytwarzania i/lub obróbki cieplnej.

