



Doctoral Thesis

Creep-Fatigue and Small Punch Creep in Gas Turbine Hot Gas Path Materials

Author(s):

Vacchieri, Erica

Publication Date:

2016

Permanent Link:

<https://doi.org/10.3929/ethz-a-010836931> →

Rights / License:

[In Copyright - Non-Commercial Use Permitted](#) →

This page was generated automatically upon download from the [ETH Zurich Research Collection](#). For more information please consult the [Terms of use](#).

Diss. ETH No. 23893

Creep-Fatigue and Small Punch Creep in Gas Turbine Hot Gas Path Materials

A thesis submitted to attain the degree of

DOCTOR OF SCIENCES of ETH ZURICH

(Dr. sc. ETH Zurich)

presented by

ERICA VACCHIERI

MSc in Chemie, Università degli Studi di Genova

born on 27.01.1985

citizen of Italy

accepted on the recommendation of

Prof. Edoardo Mazza, examiner

Prof. Dr.-Ing. Uwe Gampe, co-examiner

Dr. Stuart Richard Holdsworth, co-examiner

Dr. Eleonora Poggio, co-examiner

2016

Abstract

The energy market requirement is more and more driven to increased flexibility by the present economic climate and tendency for discontinuous use of conventional resources in favour of renewable energies.

Gas turbines (GTs) are the power generation units that can guarantee the required flexibility as they can start up and shut down quite quickly and can be used when renewable resources are not available (when the sun does not shine and the wind does not flow) or when the electricity supply needs support to ensure stability.

The knowledge of the most critical part behaviour in this new service environment is a key task for GT original equipment manufacturers (OEMs). The higher flexibility means for hot gas path blades and vanes the requirement for an increase in the resistance to fatigue damage that can interact with creep and environmental damage reducing the expected life for these components, their maintenance intervals and repairability.

The aims of the thesis are to develop an in-depth knowledge of material behaviour relating to this kind of environment, and to build up an integrated mechanical and microstructural platform for creep-fatigue design. At the same time, a miniaturised technique for creep testing has been exploited for GT materials to define an integrated metallurgical and mechanical remaining life procedure.

The outcome of the present project can be summarised in four main achievements:

- **Further exploitation and consolidation of existing data from previous and current projects**

The huge amount of creep-fatigue data that has been produced in the last 10 years by Ansaldo Energia has been deeply exploited for material model evaluation. The available database has been also enlarged with special testing within the project to explore the creep-fatigue interaction for the two studied alloys (René 80 and IN792SX) and to consolidate the plasticity and fatigue endurance properties for these materials. The developed knowledge has been used to choose the best models and the best simulation strategy for FE calculations of GT components.

- **Creep-fatigue design methodology**

A creep-fatigue design methodology has been developed and the analysis material property input data generated and collated. The effectiveness of the methodology has been verified using service-like TMF benchmark tests.

The developed and consolidated material behaviour knowledge has been applied for the assessment of a creep-fatigue design strategy through the service-like benchmark TMF tests. The results have been exploited to assess the most representative and safe strategy for creep and fatigue damage interaction. Finally, the defined interaction locus has been applied to the case studies and their lives have been re-evaluated through this new design method.

- **Remaining life instruction with the use of SP testing to be used for life extension of existing components**

Starting from the previous Ansaldo experience relating to creep residual life of operated parts based on small size uniaxial creep specimens, a new miniaturised testing technique has been developed in order to evaluate spent life for the critical locations of hollow and thin-walled GT components. The small punch (SP) creep test has been assessed for the two studied alloys, taking into account their microstructural peculiarities. An integrated microstructural and mechanical analysis of the conducted tests has enabled the development of a comprehensive remaining life strategy whose effectiveness has been validated through the application of this test to real operated components.

- **Metallurgical toolbox to assess damage of GT parts**

Existing post-test inspection data, has been employed and enlarged to develop a tool for the damage assessment of GT parts. In particular, the deformation and damage mechanisms have been fully characterised and a quantitative method based on post-test or post-service inspection for damage evaluation has been developed. The great advantages of the developed metallurgical toolbox are the link that this tool provides between microstructural and mechanical analyses. The assessed tool is very important because the developed knowledge on the studied materials can be easily extended to similar alloys and can be used for material behaviour prediction when limited experimental data are available, as it starts from the deformation and damage mechanisms and exploits this knowledge for creep-fatigue interaction prediction.

The Thesis provides a summary of the research collaboration between Ansaldo Energia and EMPA, the Swiss Federal laboratories for Materials Science and Technologies.

Sommario

La richiesta del mercato energetico è (sempre più) trainata da una crescente flessibilità. Ciò deriva dalla crisi economica e dall'uso degli impianti di produzione di energia convenzionali in maniera discontinua, a favore delle sorgenti rinnovabili.

Le turbine a gas sono unità di generazione di energia in grado di soddisfare la richiesta flessibilità poiché possono essere avviate e spente in maniera abbastanza rapida e possono essere utilizzate quando le fonti rinnovabili non sono disponibili (e.g. in assenza di sole o vento) o quando richiesto dalla rete elettrica per garantirne la stabilità.

La conoscenza del comportamento dei componenti più critici in questo nuovo contesto di esercizio rappresenta una competenza fondamentale per i produttori di turbine a gas. Per i componenti caldi turbogas un'elevata flessibilità significa un aumento della resistenza al danno da fatica che può interagire con il danno da creep e con l'ossidazione riducendone la vita in esercizio, gli intervalli di manutenzione e la riparabilità.

Gli obiettivi di questa tesi sono di sviluppare una conoscenza approfondita del comportamento dei materiali in questo tipo di condizioni di esercizio e di sviluppare una piattaforma integrata meccanica e microstrutturale per il design a creep-fatica di questi componenti. Allo stesso tempo, una tecnica miniaturizzata per prove di creep è stata applicata ai materiali dei componenti caldi delle turbine a gas per definire una procedura meccanica e microstrutturale di stima della loro vita residua.

Il risultato di questo progetto può essere suddiviso in quattro conseguimenti principali:

- **Utilizzo e consolidamento dei dati esistenti da progetti precedenti e dal progetto corrente**

Tutti i dati meccanici prodotti negli ultimi dieci anni da Ansaldo Energia sono stati rielaborati per mettere a punto i modelli dei materiali studiati. Il database disponibile è stato ampliato con prove speciali nel corso del progetto per esplorare l'interazione creep-fatica per le due leghe studiate (René 80 e IN792SX) e per consolidare il loro comportamento in termini di plasticità e di vita a fatica. La conoscenza sviluppata è stata utilizzata per scegliere i modelli migliori e la strategia più efficace per il calcolo agli elementi finiti dei componenti turbogas.

- **Metodologia di design a creep-fatica**

Una metodologia di design a creep-fatica è stata sviluppata e i dati di input delle proprietà dei materiali sono stati generati e raccolti. L'efficacia

della metodologia è stata verificata con l'utilizzo di prove TMF benchmark con un ciclo simile a quello di esercizio.

La conoscenza sviluppata e consolidata del comportamento dei materiali studiati è stata sfruttata per la valutazione della strategia di design a creep-fatica grazie alle prove TMF. I risultati sono stati utilizzati per definire la legge di interazione del danno di creep e fatica che fosse la più rappresentativa e sicura. Alla fine, il locus di interazione così definito è stato applicato ai case studies e la loro vita è stata rivalutata con questo nuovo metodo di design.

- **Metodologia per la stima della vita residua con l'uso di tecnica small punch da utilizzare per l'estensione di vita dei componenti esistenti**

A partire dall'esperienza di Ansaldo sulla stima della vita residua a creep dei componenti eserciti basata sui campioni uniassiali miniaturizzati, una nuova tecnica è stata sviluppata per valutare la vita spesa nelle zone critiche dei componenti turbogas raffreddati internamente e con pareti sottili. La prova di creep small punch è stata valutata per le due leghe studiate, considerando le loro peculiarità microstrutturali. L'analisi integrata meccanica e microstrutturale delle prove eseguite ha permesso lo sviluppo di una strategia di stima della vita residua completa la cui efficacia è stata validata attraverso l'applicazione di questa prova a componenti reali dopo esercizio.

- **Strumento metallurgico per la valutazione del danno dei componenti turbogas**

I dati degli esami microstrutturali dopo prova già disponibili sono stati utilizzati ed estesi per sviluppare uno strumento per la valutazione del danno nei componenti turbogas. In particolare, i meccanismi di deformazione e danneggiamento sono stati completamente caratterizzati ed è stato sviluppato un metodo quantitativo basato sulle analisi dopo prova e dopo esercizio per la stima del danno. Il grande vantaggio dello strumento così sviluppato è il legame che esso fornisce tra analisi microstrutturali e meccaniche. Questa metodologia è molto importante perché può essere estesa a leghe simili e utilizzata per la previsione del comportamento dei materiali anche quando un numero limitato di dati sperimentali è disponibile. Infatti, questo metodo comprende i meccanismi di danno e deformazione e sfrutta questa conoscenza per la previsione dell'interazione creep-fatica.

La Tesi fornisce una sintesi della collaborazione di ricerca tra Ansaldo Energia e EMPA, Swiss Federal laboratories for Materials Science and Technologies.