



Title	鉄鋼材料の熱疲労に関する研究：主として断面に温度勾配のある場合
Author(s)	菅野, 寛
Citation	大阪大学, 1966, 博士論文
Version Type	
URL	https://hdl.handle.net/11094/28958
rights	
Note	著者からインターネット公開の許諾が得られていないため、論文の要旨のみを公開しています。全文のご利用をご希望の場合は、 https://www.library.osaka-u.ac.jp/thesis/#closed 大阪大学の博士論文について

The University of Osaka Institutional Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

The University of Osaka

氏名・(本籍)	菅野 寛
学位の種類	工学博士
学位記番号	第 928 号
学位授与の日付	昭和 41 年 3 月 28 日
学位授与の要件	工学研究科精密機械学専攻 学位規則第 5 条第 1 項該当者
学位論文題目	鉄鋼材料の熱疲労に関する研究 —主として断面に温度勾配のある場合—
論文審査委員	(主査) 教授 上田 太郎 (副査) 教授 小島 公平 教授 田中 義信 教授 副島 吉雄 教授 津和 秀夫 教授 築添 正 教授 千田 香苗 教授 菊川 真

論文内容の要旨

本論文は鉄鋼材料の熱疲労現象を熱疲労過程中の熱歪の挙動の観点から実験的に究明しようとしたもので、緒論、本文 2 編および総括よりなっている。

緒論では従来の研究から熱疲労の定義、事例および熱疲労に影響を及ぼすと考えられる諸因子について概観し、熱歪の発生原因を論じて本論文の目的と意義を明らかにした。熱疲労の主要原因である熱歪は構造部材間の温度差（熱歪の外部拘束）または部材内の過渡的温度勾配（熱歪の内部拘束）によって生じると考えられ、工業上では後者の過渡的温度勾配によって熱疲労損傷を起こす場合に多く遭遇するが、この方面的研究はあまりなされていない。著者はこの点に着目し、鉄鋼材料の熱疲労の基礎研究として、部材間の温度差による熱疲労挙動と部材内の過渡的温度勾配による熱疲労挙動を試作した実験装置により主に熱疲労過程中の熱歪の挙動の観点から究明し、これら両場合の結果を比較検討して相違点および相関性を追究し熱疲労現象を解明しようしたものである。

第 1 編は部材間の温度差によって生じる熱疲労に関して究明したもので 5 章よりなっている。

第 1-1 章は緒言で熱疲労試験法の概要を述べ本編の目的を明らかにした。球状黒鉛鋳鉄、軟鋼および 18-8 鋼を供試材として熱疲労寿命に及ぼす上下限温度差、平均温度、上限温度保持時間、熱歪拘束率および塑性歪幅の影響を求め、熱疲労寿命に及ぼすこれら諸因子および材質の影響を究明したものである。

第 1-2 章は試作した通電加熱・空冷方式の熱疲労試験装置の概要とその特性を述べたもので、本装置が部材間の温度差による熱疲労試験に適することを明らかにした。

第1—3章は実験結果と考察である。各供試材とも温度差の増加に比例して寿命は短縮し、供試材間の寿命は平均温度の伸びに比例している。平均温度の上昇に伴い寿命は短縮するが、上限温度が高くなると酸化と歪硬化の回復のため温度差による寿命の変化は小さく、熱疲労寿命は温度差よりも上限温度の影響を多く受けることを明らかにした。上限温度保持時間の増加に伴い、寿命は最初は増加する傾向にあるが、保持時間が長くなると上限温度における酸化および脆化のため寿命は短縮する。軟鋼では青熱脆性による寿命の短縮が大となり（平均温度350°Cの場合）、18—8鋼においても炭化物析出による脆化が認められた（平均温度650°C）。熱歪拘束率が減少すると球状黒鉛鉄と軟鋼では寿命が増大するが、18—8鋼では熱応力が大となり寿命の変化は少ない。顕微鏡組織の観察から、熱疲労挙動は歪硬化とその回復の繰返しであり、亀裂は冷却過程中の引張応力により発生および成長することがわかった。

第1—4章は熱疲労寿命（N）に及ぼす塑性歪幅（ $\Delta\epsilon_p$ ）の影響を究明したものである。Coffinの実験式と同様に $N^k \Delta\epsilon_p = C$ (k, C は定数) ……(1)の関係が得られたが、定数 k は材質、平均温度および上限温度保持時間などにより異なった値を示し、また定数 k と C には温度および熱応力の影響が含まれていることが判明した。

第1—5章は第1編の結論である。熱疲労挙動は温度および熱歪の繰返しによる歪硬化とその回復および高温における酸化を合成した挙動を示し、寿命（N）と塑性歪幅（ $\Delta\epsilon_p$ ）との間には(1)式の関係が認められ定歪疲労と類似した挙動を示す場合もあるが、これらの定数には温度と応力の影響が含まれていて、熱疲労挙動は定歪疲労と定応力疲労の中間の性質をもつことが明らかとなった。

第2編は部材内の過渡的温度勾配によって生じる熱疲労に関して究明したもので5章よりなっている。

第2—1章は緒言である。過渡的温度勾配下の熱疲労過程の熱歪の挙動に関してはまだ十分解明されておらず、また実際の熱疲労損傷には亀裂発生と成長の過程があるが Coffin 形熱疲労試験機では亀裂発生までの情報しか得られない。そこで本編ではこれらが追究できる熱疲労試験装置を試作し、過渡的温度勾配下の熱疲労寿命におよぼす温度差、高温保持時間、加熱速度および冷却方法などの影響を18—8鋼と13Cr鋼について実験的に解明し、第1編の部材間の温度差による熱疲労挙動と比較検討しようとしたものである。

第2—2章は試作した高周波誘導加熱・水冷方式熱疲労試験装置（楔形試験片使用、曲げ歪拘束形）の概要とその特性を述べたもので、試験機は実際の過渡的温度勾配下の熱疲労条件に近づけた形式のものである。

第2—3章は実験結果と考察である。熱疲労の初期には亀裂の発生とその成長が同時に起こり、繰返数の増加に伴って平均亀裂間距離は減少し、平均亀裂長さが増大するが、或る繰返数以後は新らしい亀裂の発生はなく亀裂成長過程に入ることが明らかになった。本研究では加熱面の平均亀裂長さが0.1 mm になる繰返数をもって過渡的温度勾配下の熱疲労寿命（ $N_{0.1}$ ）と定義した。加熱冷却の1サイクル中に試験片に生じる全歪は加熱の初期に急激に圧縮歪となり、高温保持時間中徐々に減少し、次いで冷却過程で急激に引張歪になり極大値をとった後次第に減少する。また1サイクル中に熱歪拘束率が大きく変動する。温度差の増加により全歪幅、引張全歪および高温保持時間中の歪の減少量が

増大し寿命 ($N_{0.1}$) は温度差に比例して減少する。これより過渡的温度勾配による熱疲労寿命は 1 サイクル中に試験片に生じる引張全歪と高温保持時間中の歪の減少量に関係することが判明した。加熱速度の影響の結果から過渡的温度勾配下の熱疲労は冷却中の引張全歪により最も大きい損傷を受け、次いで高温保持時間中の歪の減少によって損傷を受けることが明らかになった。また加熱速度の増加により熱歪拘束率が大となり亀裂成長速度は早くなる。高温保持時間を長くすると高温保持時間中の歪の減少量が大になり、またこのため引張全歪も増大して寿命 ($N_{0.1}$) は減少する。冷却を空冷で行なうと冷却中の引張歪は 18—8 鋼では殆んど生じなく、13Cr 鋼では水冷のときの 20~40% の値になり寿命はそれぞれ水冷の場合より 30% および 60% 増大し、また亀裂成長速度は遅くなる。しかし冷却中の引張全歪が小さくとも亀裂が発生することから、高温保持時間中の歪の減少の影響が大きいことが判明した。

第 2—4 章は高温定歪速度引張試験の応力対歪線図をもとに熱疲労過程中の過渡的熱応力を推算し、熱疲労寿命 ($N_{0.1}$) と塑性歪幅の関係を求め、第 1 編の部材間の温度差による熱疲労試験結果と比較検討したものである。

高周波誘導加熱・水冷の熱サイクルにより試験片加熱面の応力は、加熱開始時には前の回の熱サイクルによる塑性変形により圧縮残留応力をもつが、加熱中徐々に減少し、高温保持時間中の歪が減少する所で引張応力に変り、過渡的温度勾配下の熱疲労においては高温保持時間中に引張応力が作用することが判明した。次いで冷却過程に入ると急激に引張応力が増大し極大値を取った後再び圧縮応力になる。熱疲労寿命 ($N_{0.1}$) と塑性歪幅との間には第 1 編の部材間の温度差による熱疲労の結果と同様に両対数目盛で直線関係が認められた。高温保持時間が長くなると寿命が短縮するのは酸化のほかに高温保持時間中に引張応力が作用するためである。空冷により塑性歪幅は水冷の約 50% 程度になるが寿命 ($N_{0.1}$) は約 30% 程度しか増加しない。これは空冷の場合でも高温保持時間中に引張応力が作用することと、冷却過程中を通じて引張応力が作用しているためである。

第 2—5 章は第 2 編の結論である。過渡的温度勾配による熱疲労挙動も第 1 編の部材間の温度差による熱疲労挙動と同様に、同一加熱冷却条件の下では寿命 ($N_{0.1}$) と塑性歪幅との間に両対数目盛で直線関係がみられるが、熱サイクル条件が異なれば熱応力および酸化などの影響が認められる。しかし過渡的温度勾配による熱疲労では、高温保持時間中に引張応力が作用し、この影響が高温保持時間、加熱速度および冷却方法などで異なってくること、熱疲労過程には亀裂の発生と成長の過程があり、亀裂成長速度は熱サイクル速度および熱歪拘束率に影響されることおよび熱歪拘束率が 1 サイクル中で大きく変動することが第 1 編の部材間の温度差による熱疲労挙動と異なることが判明した。

総括は本研究の結果を要約したものである。

論文の審査結果の要旨

本論文は鉄鋼材料の熱疲労現象を熱疲労過程中の熱歪の挙動の観点から実験的に究明しようとしたもので、結論、本文 2 編 10 章および総括からなっている。

緒論では従来の研究から熱疲労の定義、事例および熱疲労に影響を及ぼすと考えられる諸因子について概観し、熱歪の発生原因を論じて本論文の目的と意義を明らかにしている。

第1編は部材間の温度差（熱歪の外部拘束）によって生じる熱疲労について究明したもので5章からなっている。供試材として球状黒鉛鋳鉄、軟鋼および18-8鋼を用い、熱疲労寿命に及ぼす上下限温度差、平均温度、上限温度保持時間、熱歪拘束率、塑性歪幅および材質の影響を求めたもので、その結果、部材間の温度差による熱疲労は温度および熱歪の繰返しによる歪硬化とその回復および高温における酸化との合成効果であることを見出し、熱疲労寿命（N）と塑性歪幅（△ε_p）との間にはCoffinの実験式 $N^k \Delta \epsilon_p = C$ (κ, C は定数) の成り立つことを確認し、定歪疲労と類似した挙動を示す場合もあるが、これらの定数には温度と応力の影響が含まれていて、この場合の熱疲労は定歪疲労と定応力疲労の中間の性質をもつことを明らかにしている。

第2編は部材の横断面における温度勾配（熱歪の内部拘束）によって生じる熱疲労について究明したもので5章からなっている。断面の温度勾配下の熱疲労過程中の熱歪の挙動に関してはほとんど解説されておらず、また実際の熱疲労損傷には亀裂発生と成長の過程があるが Coffin形熱疲労試験機では亀裂発生までの挙動しか把握できないので、本研究ではこれらを追求できる熱疲労試験装置を考案試作して、横断面の温度勾配下の熱疲労寿命に及ぼす温度差、高温保持時間、加熱速度および冷却方法などの影響を18-8鋼と13Cr鋼について実験的に解明し、第1編における部材間の温度差による熱疲労挙動と比較検討している。

その結果、横断面の温度勾配による熱疲労挙動も部材間の温度差による熱疲労挙動と同様に、同一加熱冷却条件の下では寿命と塑性歪幅との間に両対数目盛で直線的関係がみられるが、熱サイクル条件が異なれば熱応力および酸化などの影響のあることを明らかにするとともに横断面の温度勾配による熱疲労では、高温保持時間中に引張応力が作用し、この影響が高温保持時間、加熱速度および冷却方法などで異なってくること、熱疲労過程には亀裂の発生と成長の過程があり、亀裂成長速度は熱サイクル速度および熱歪拘束率に影響されることおよび熱歪拘束率が1サイクル中で大きく変動することなどが部材間の温度差による熱疲労挙動と異なることを見出している。

総括は本研究の結果を要約したものである。

本論文は鉄鋼材料の熱疲労損傷の多くが部材の横断面における温度勾配によって生じているにもかかわらず、未解明の状態におかれていたのを綿密な基礎的研究によってこれを解明するとともに部材間の温度差による熱疲労挙動をも追究し、両者を比較検討してこの方面における学術上の進歩に新しい幾多の知見を与えた。これは学術上はもちろん工業上に貢献するところ大きい。よって本論文は博士論文として価値あるものと認める。