

金材技研

1980

科学技術庁

NO.12

ニュース

金属材料技術研究所

極低温における材料疲労に関する総合研究

超電導発電機のトルクチューブ材や核融合炉用超電導マグネットのコイル支持材など極低温利用機器に使われる構造材料には、安全性の面から、十分な強さをもち、液体ヘリウム温度（ -269°C ）でも靱性や延性が低下せず、また熱伝導率や熱膨張率が小さく、極低温でしかも応力がかかった状態でも非磁性であることなどが要求されている。それと同時に、極低温利用機器の稼動中には、構造材料に極低温のもとで繰返し応力がかかってくるため、いわゆる疲れ特性が重要な問題となる。

強力材料研究部では、昭和52年度末より開始された科学技術庁特別研究促進調整費による「極低温における材料疲労に関する総合研究」に金属材料研究の立場から参画し、金属材料の極低温における各種機械的性質や物理的特性をしらべ、既存材料の改良あるいは新材料の開発につながる基礎データを提供すべく研究を進めてきた。

18-8ステンレス鋼に代表される Fe-Ni-Cr オーステナイト鋼は、銅やアルミニウムに比べ強度が高く、熱伝導率ははるかに低く、鉄鋼材料ではあるが非磁性であるため、現在使用実績もあり、将来も有望視されている。しかし、極低温利用機器の実用化および大型化、さらに安全性および信頼性の確保などに対処するために、さらに強度が高く、靱性がすぐれ、極低温でもオーステナイト相が安定で非磁性が保てること、溶接が容易であること、さらに安価であることなどが要望されている。本研究では、それらの点を考慮し、Niよ

り安価な Mn をオーステナイト相安定化元素として利用し、Mo を加えることにより強化した 15Cr-15Ni-10Mn-5 Mo 鋼が液体ヘリウム温度でもオーステナイト相が安定で、強度と靱性のバランスがすぐれていることを見出したが、さらに Fe-Ni-Cr 系合金を金属間化合物を利用して強化する試みおよび極低温下での各種特性の測定を続けている。一方、極低温における疲労試験データについては、国内外を通して長時間実施したものは極めて少なく、そのデータも確固としたものとは言えず、試験法そのものも開発課題になっている。本研究においては、科学技術庁が株式会社神戸製鋼所に長時間連続運転可能な試験機の開発を委託し、試験中に蒸発したヘリウムガスを再び液体にもどす「再凝縮型ヘリウム冷凍機」を備え、試験中に液体ヘリウムの補充をほとんど要しない極低温疲れ試験機を完成、それによる疲れ試験を開始した。

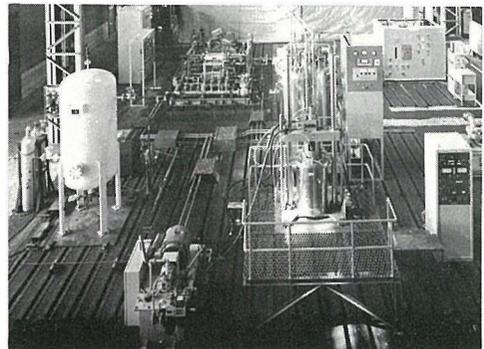


写真 極低温疲れ試験機

単結晶を使った疲労機構の研究

材料が疲労破壊する機構を理解しておくことは、耐疲労材料の開発や、疲労に耐える範囲を予測するために重要なことである。なるべく単純な材料を使って疲労過程を調べ、モデル化しようという試みが、単結晶作成技術と電子顕微鏡技術の発展に伴い各国で行われてきており、面心立方格子 (fcc) 金属の銅について最も詳しく研究されてきたが、体心立方格子 (bcc) 金属については研究が少ない。bcc 疲労の特徴を知るためには、くり返し硬化、内部組織の変化、き裂の発生と伝播、などの温度および方位依存性を調べる必要がある。

非鉄金属材料研究部では、bcc の代表として純鉄の単結晶を用いて、疲労過程の研究を行った。図に、くり返し応力-歪曲線を示す。bcc 金属の特性に従い、変形応力は試験温度の低下に伴って高くなっている。四重すべりをする〔100〕結晶が、二重すべりをする〔110〕結晶よりも飽和変形応力が高いのは、転位密度の増加速度の差によるものである。単一すべりをしやすい〔552〕結晶が二重すべりをする〔110〕よりも高応力になるのは、共役系でない二次系のすべりの活動によって、転位の増殖が〔100〕と同じ機構で活発になるからである。

くり返し応力-歪曲線の方位依存性は、低温で

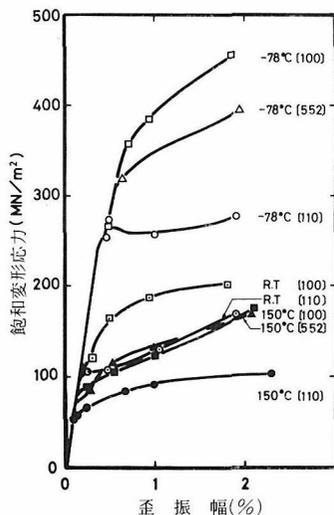


図 純鉄単結晶のくり返し応力-歪曲線の温度および結晶方位依存性

は一方変形の応力-歪曲線と同じ傾向を持っているが、室温では異なっている。すなわち、一方変形では、室温以上で〔100〕結晶が単一または二重すべりを起して〔110〕とほぼ同じ応力で変形するのに対し、くり返しでは、図のように、低温と同じように四重すべりを起して、〔110〕よりも高い飽和変形応力になっている。形成されるセル構造に注目すると、一方変形ではすべり面に沿ったセル壁ができるのに対し、くり返しでは、写真のように〔100〕面に沿ったセル壁ができる。〔100〕面は四つの〔112〕〈111〉すべり系と等価な角度関係にあり、四重すべりの活動と良い対応関係にあるといえる。

疲労中に形成される転位組織は、試験温度によって異なる。低温では閉じたセル構造ができず、したがって場所による結晶方位差はない。高温では、写真のような〔100〕面に沿うセル境界ができた後、くり返しに伴ってサブ粒界構造に変わり、結晶方位差が現れる。試料表面を観察すると、低温では破断部近傍を除き平滑であり、高温では破断部近傍以外でも顕著な凹凸が発達して、溝の底に多数のき裂ができる。このように、内部の結晶方位差の発達、表面凹凸の発達と関係して疲労を促進させる。

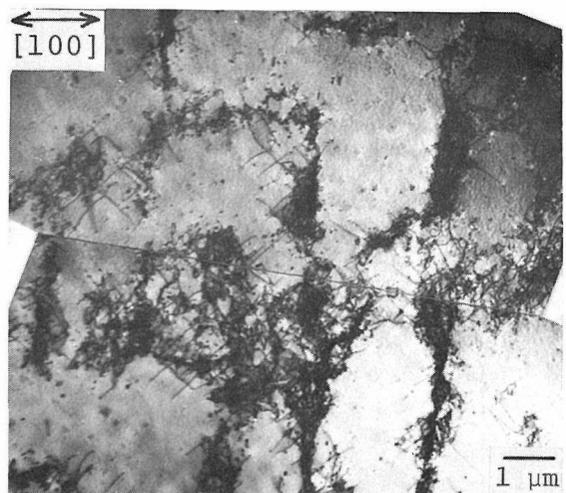


写真 歪振幅0.2%、150°Cで100回〔100〕方向にくり返し変形して出来た〔100〕面に沿ったセル壁をもつ転位配列。

クリープ破断データ外挿のためのプログラム・パッケージ

火力発電、石油化学プラント及び原子炉などの構造材料として用いられている耐熱鋼や耐熱合金は、少なくとも数年から、長い場合は数十年もの長期間にわたって、高温・高圧下におかれる。一般に材料はこのような一定の温度・応力の環境下で微小な変形（クリープ）が進行し、破壊する。したがって、これらの機器の設計に当っては、使用する材料が長期間の運転寿命に耐えるクリープ破断特性を有することを確認しておく必要がある。このときクリープ破断強さをあらわす数値の一つとして10万時間（約11年半）破断強さが参照される。

クリープ試験部では、これまでの約10年以上にわたるクリープデータシート試験により、約50種類の高温用金属材料について、延べ約7千年分にも及ぶ破断データを蓄積してきている。これらのデータは、今後、材料の設計許容応力強さの見直し、供用中のプラント材の余寿命推定、あるいは新材料の開発に大きな知見を与えるものである。

クリープ破断データは図1に示すように一定の温度・応力下での試験により得られる破断時間をプロットしてあらわされる。しかし、この例のように同一鋼種であっても、製造者や製造履歴の違いにより、いわゆるヒート間のバラツキが著しい。しかしながら、異なる温度・応力下で得られた1組の破断データは時間・温度パラメータ(TTP)

を用いて統一的に整理することにより、比較的短時間の試験データから長時間のクリープ破断強さを予測することができる。

今回、開発されたプログラム・パッケージは標準的な5種類のTTP法により破断データを統一的に整理するのに用いられる。このパッケージは次の3つの主要なプログラム群より構成されている。

- 1) TTPのパラメータ定数の最適化
- 2) TTPによる主破断曲線からの温度-応力-破断時間の関係を用いて、データのあてはめ性や外挿性をチェックし、指定された温度・時間（設計条件）における破断応力強さとその信頼区間の算出
- 3) 高温引張試験結果も含めて、主要な計算結果（主破断曲線、等温破断曲線、等時破断曲線など）をXYプロットにより作図表示

図2は304ステンレス鋼の1ヒートの破断データについて、Orr-Sherby-Dornパラメータによりあてはめた例で、図1に含まれるヒート間のバラツキは個々のヒートについて考えると、このように比較的良好的なデータ整理が可能であることを示している。本研究では大量の破断データについて、このような統計的整理により、実用材の設計基準強さ値を信頼性工学的な立場から決定するプロセスの確立を目指している。

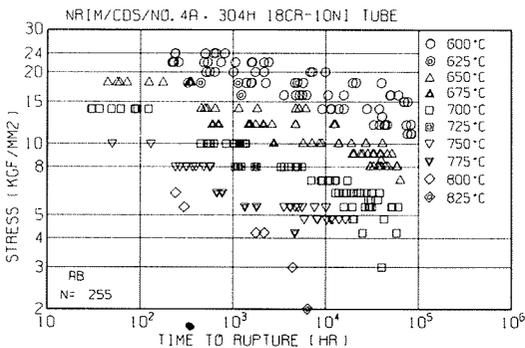


図1 304ステンレス鋼管材、9ヒートのクリープ破断データ

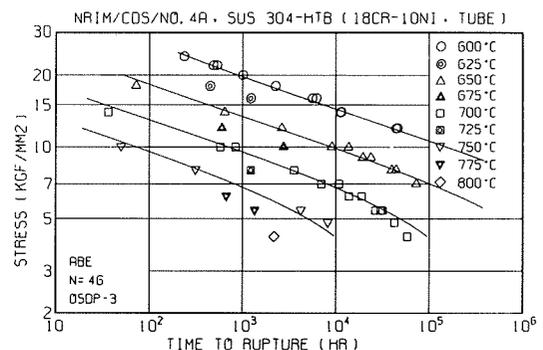


図2 図1の304鋼1ヒートのクリープ破断データをOrr-Sherby-Dornパラメータであてはめた例

【科学技術庁長官当所を視察】

昭和55年11月6日、中川科学技術庁長官が当所を視察した。10時より11時30分にわたり、主な施設や設備を視察するかたわら研究現況の説明を受けた。

(写真中央 中川長官)



1980年金材研ニュース題目一覧

題 目	No.	通巻	題 目	No.	通巻
材料部門			オートラジオグラフィーによるフェライト系ステンレス鋼の凝固組織	4	256
磁性半導体を含むヘテロ接合	1	253	黒鉛炉原子吸光法による耐熱合金中の微量タリウムの定量	5	257
耐熱金属材料の浸炭挙動に関するイオンマイクロアナライザーによる分析	2	254	懸濁電解による廃水処理	8	260
核融合炉第一壁用金属材料のヘリウム照射によるブリスタリング	3	255	溶融還元法の基礎的研究	同	
高磁界特性のすぐれた複合加工Nb ₃ Sn 超電導線材の開発	4	256	ガス還元過程における炭素析出	9	261
XY記録データの変換処理システム	同		加工技術部門		
強力鋼の海水環境下での疲れき裂伝播	5	257	噴霧多孔質鉄粉	2	254
オーステナイト系-ニッケル-クロム合金の液体ナトリウム中の腐食	同		フラッシュ溶接現象と電源特性	3	255
ジルカロイ-2被覆管の高温水腐食	6	258	遊星圧延機による冷間クラッド圧延	7	259
希土類元素を含むマグネシウム合金の電池への応用について	同		クリーン・モールドの回収再生	8	260
ニッケル基合金の応力腐食割れ	9	261	ぜい性材料の延性遷移	10	262
炭化チタン分散強化型鋳造耐熱合金	10	262	冷延鋼板表面上の炭素と硫黄の偏析	同	
高速増殖炉用オーステナイト系合金のボイドスエリング	11	263	特許紹介		
超微細粒二相強力鋼	同		改良されたV ₃ Ga 超電導体	2	254
極低温における材料疲労に関する総合研究	12	264	銅粒子の製造法	同	
単結晶を使った疲労機構の研究	同		雰囲気流動ダイカスト法	4	256
強さ部門			水中溶接物の熱処理法	5	257
溶接継手の疲れき裂発生寿命の自動計測	2	254	銅の電解製錬法	8	260
SUS 316ステンレス鋼板の高温疲れ特性データシート	3	255	粉体の輸送方法および装置	同	
高温破壊機構と余寿命予測	6	258	V ₃ Ga 超電導体および製造法	9	261
国産機械構造用鋼の低サイクル疲れ特性試験	7	259	高温高強度構造材用V-Cr-Zr 合金	同	
非晶質金属の応力緩和	同		その他		
全ひずみ・時間パラメータ法による応力リラクゼーションデータの整理	9	261	新年のごあいさつ	1	253
溶接継手の疲れき裂伝ば特性データシート	11	263	1979年外国人来訪者一覧	同	
クリープ破断データ外挿のためのプログラム・パッケージ	12	264	出願公開発明の紹介	3.11	
冶金技術部門			研究成果の発表	4.10	
新しい金属微粒子製造法	1	253	科学技術庁長官当所を視察	6.12	
			私の誇りとなる金材技研の滞在	6	258
			受託研究・共同研究の現況	7	259
			1980年金材技研ニュース題目一覧	12	264
			特許出願速報	同	

特 許 出 願 速 報

出願日	出願番号	発 明 の 名 称	出願日	出願番号	発 明 の 名 称
54.9.19	119386	水溶性鋳型の固定法	55.3.5	26706	発熱自硬水溶性鋳型の製造法
54.10.30	139324	酸化アルミニウムを複合蒸着した耐熱性けい化物皮膜の製造法	55.3.19	34147	V ₃ Ga 超電導体の製造法
54.11.12	145458	Nb ₃ Sn 超電導体の製造法 (イ)	55.3.19	34148	Nb ₃ Sn 複合超電導体の製造法
54.11.12	145459	Nb ₃ Sn 超電導体の製造法 (ロ)	55.4.7	44654	湿式水中溶接装置
54.11.12	145460	溶鉄の連続予備処理兼ガス製造法	55.5.24	68424	熱電材料
54.12.4	156414	チタンの表面硬化法	55.5.24	68425	水素貯蔵用材料製造法
55.1.12	1746	水素プラズマを用いて、固体炭素からアセチレン及びエチレンを製造する方法	55.6.23	84071	超電導材料
55.3.5	26705	水溶性鋳型の製造法	55.8.11	109170	懸濁電解によるコバルト、ニッケルの採取法
			55.9.12	126005	脆化モリブデンの機械的性質の改善法
			55.9.12	126006	超音波探傷用試験片

通巻 第264号

編集兼発行人 吉 沢 慎 介
 印 刷 株式会社三 興 印 刷
 東京都新宿区信濃町1 2
 電話 東京(03)359-3811(代表)

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所
 東京都目黒区中目黒2丁目3番12号
 電話 東京(03)719-2271(代表)
 郵便番号 1 5 3