

金材技研

科学技術庁
金属材料技術研究所

1993 No. 3

ニュース

V₃Si極細多芯線の開発/
フレットング疲労機構/
高温疲労寿命の新評価法

臨界電流密度の大きいV₃Si極細多芯線を開発 —— 次世代交流用超電導線材として有望 ——

化合物V₃Si(バナジウム-ケイ素, A15型結晶構造)は臨界温度が17K, 臨界磁界が20テスラ以上であることから, 磁界特性の優れた新しい超電導材料として注目されている。しかし, 同じA15型に属し現在広く利用されているNb₃Sn(ニオブスズ)の製造法(ブロンズ法)をV₃Siに適用すると, 目的のV₃SiよりもV₅Si₃が優先的に生成するため, ブロンズ法で製造したV₃Si極細多芯線材の線材全断面積当りの臨界電流密度(overall Jc)は, 実用化レベル(1×10⁴ A/cm²)よりはるかに低かった。

当研究所ではこのほど, 従来のブロンズ法に工夫改良を加え, overall Jcを大幅に向上させることに成功した。この新しい方法では, 熱処理の初期段階で優先的に厚く生成したV₅Si₃化合物層を短時間で分解させ, それに代わってV₃Si化合物層を厚く生成させる。作製の順序は, 銅-ケイ素合金(ブロンズ)管にバナジウム(V)芯を挿入した複合線を作製し, これを多数本束ねてタンタル(Ta)管に挿入したものを伸線加工する。次にこれらをブロンズ管に再挿入して伸線加工を行い, 700~850℃で熱処理して各V芯の周りにV/V₃Si/V₅Si₃/ブロンズの順で化合物層を拡散生成する。この製法の特長は, V₅Si₃を不安定化させてV₃Siを厚く成長させるために, Siと反応しにくいTaを複合シース材として用い, ブロンズの体積比を調整して, ブロンズからのSiの供給を適正に抑制することに

ある。また, VとSiの拡散反応を短時間で終了させるため, 多芯線構造としてV芯を1μm程度まで加工している。現在, 製造の最適条件を探索中であるが, すでにブロンズを含むoverall Jc(4.2K)は5Tで1.3×10⁵ A/cm², 12.5Tで1×10⁴ A/cm²に達している。これは従来のブロンズ法によるV₃Si線材よりもoverall Jcが1桁以上高く, Nb₃Sn極細多芯線材の特性に匹敵する。この新しい製法では, 1μm以下の径のV₃Siフィラメントが製造可能なことから, 超電導フィラメント径に比例するヒステリシス損失による交流損失を低減できる。また, フィラメントの周りに生成する高電気抵抗のV₅Si₃化合物の層を利用して交流損失のもう1つの原因であるフィラメント間の結合電流を遮断することも期待できる。この線材開発は今後重要となる超電導交流の応用に新しい道を開くものと期待される。

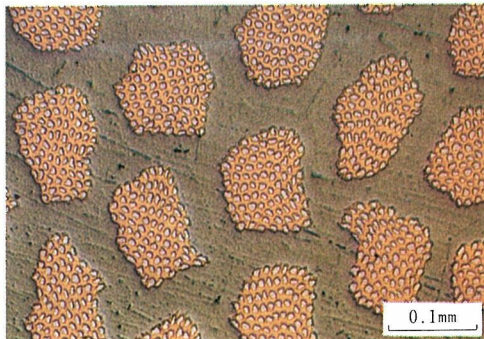


写真 V₃Si極細多芯(82×134)線の断面組織

フレット疲労の機構解明進む

—— 疲労寿命マップを作成 ——

各種構造物の部材同士が接触した状態で繰返し応力を受けると部材間の相対的な微小すべりによる摩耗損傷を生じる。このような損傷を伴う部分での疲労現象をフレット疲労という。1991年2月に起きた福井県美浜発電所2号機の蒸気発生器細管破断事故はフレット疲労が原因であったことは記憶に新しい。フレット疲労強度は通常の疲労強度に比べてかなり低いので、フレット疲労特性を正確に把握することは構造物の安全確保のために極めて重要である。部材の押付け力すなわち接触面間の圧力や、部材間の相対的な変位量すなわち相対すべり振幅は、フレット疲労を支配する重要な因子であるが、その支配機構はこれまで明確に把握されていなかった。当研究所ではフレット疲労の実験を系統的に行っており（金材技研ニュース、1991年No.2）、今回、この疲労とこれらの因子との関係について重要な知見を得た。

実験は880MPa(約90kgf/mm²)級高張力鋼について、押付け力と相対すべり振幅をいろいろ変え、図1に示すようなフレット疲労試験を行った。相対すべり振幅はパッドの長さを変えることにより変化させた。疲労寿命に関して特異な現象が見られる。一例として、10mmのパッドを用いて押付け力の影響を見ると、低い押付け力で疲労寿命が異常に低下して極小が現れる(図1)。また、一定(80MPa)の押付け力の下でも、相対すべり振幅の増大とともに疲労寿命が低下して極小を示し、その後は再び上昇する(図2)。フレット疲労におよぼす両因子の影響はこれまで別個に検討

されてきたが、最近これらを2変数とするフレット疲労損傷マップの概念が提案された。

本研究ではこの概念に基づき、種々の条件下の寿命データを用いて両因子を変数とするフレット疲労寿命マップを作成した(図3)。図中、A-A'に沿っていわば寿命の“谷”ができています。破線と一点鎖線は、図1と図2の結果を求めた際の2変数の関係を示しており、それらが“谷”を横切るために寿命に各々の極小が出現する。これらを見ると、2つの極小が同一の機構に起因することを示唆している。そこで、極小をもたらしそうな実験条件の下でのフレット疲労損傷面とき裂の発生伝ば状況を調べた結果、そのような条件下では試料とパッドの接触面の中央部に押付け力、ひいては摩擦力が集中するためにき裂が発生、伝ばしやすくなることがわかった。この摩擦力集中が寿命の異常低下の原因と捉えることにより、図1と図2の極小がともに説明でき、また、極大も極小に伴って見かけ上現れたものとして解釈できる。なお、両図中の破線はこのような摩擦力の集中が起こらないと仮定した場合の予想寿命曲線である。

図2に現れる極小については従来、相対すべり振幅が増大すると、き裂が発生と同時に摩擦によって削り取られるので長寿命となり、その結果極小が生じる、と考えられてきたが、この機構では図1の極小が説明できない。寿命極小の主因としては上記の機構が妥当と結論される。以上のように、フレット疲労寿命マップの作成によって、因子の個別の検討では説明困難な両因子の絡んだ現象を明らかにすることができた。

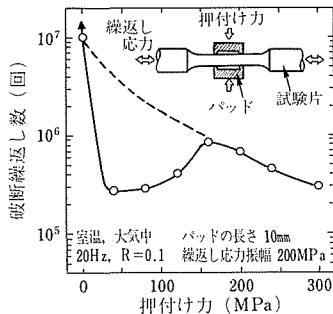


図1 フレット疲労寿命におよぼす押付け力の影響

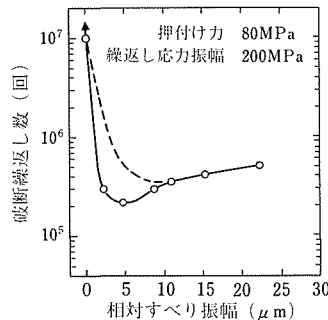


図2 フレット疲労寿命におよぼす相対すべり振幅の影響

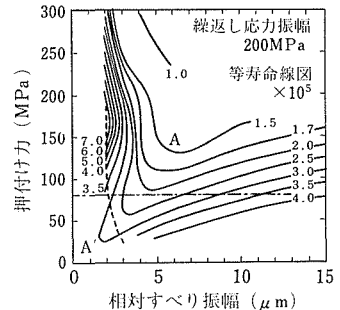


図3 フレット疲労寿命マップ

高温疲労寿命の新しい評価法

— データ解析に有用なパラメータを導入 —

金属材料が一定の振幅で繰返しひずみを受けて疲労破損するまでの繰返し数をその疲労寿命という。疲労寿命は、そのひずみ速度や温度に依存し、一般に、ひずみ速度が遅いほど、また温度が高いほど、疲労寿命は低下する。

このような繰返しひずみを受ける装置を設計する場合には、用いる材料の疲労寿命を予め知ることが必要である。また、現在稼働中の装置の余寿命を正しく推定することは安全上極めて重要である。このため、温度、繰返しひずみ速度等の、さまざまな条件下での各種構造材料の疲労寿命を把握しておかなければならない。しかし、発電プラントなど、実際の装置を模擬した試験条件でデータを得るのは時間的、経済的にも困難であるので、一般には短時間の疲労試験データから外挿によって疲労寿命を予測する。正確な疲労寿命予測法の確立が必要なゆえんである。

本研究ではこれまで、疲労試験データの解析方法ならびに疲労寿命予測法を模索してきたが、今回、それらにとって有用なパラメータを見いだした。このパラメータは試料の絶対温度 T 、疲労寿命 N_f 、ひずみ速度 $\dot{\epsilon}$ 、未知数 A と B を用いて

$$P = T(\log N_f - A \cdot \log \dot{\epsilon} - B)$$

と表される。これは材料のクリープ破断寿命のデータを解析する際にしばしば使われるラーソン・ミラー・パラメータ(金材技研ニュース、1992年 No.4)を疲労の場合に拡張、修正したものである。この P と全ひずみ範囲 $\Delta\epsilon_t$ との関係は、種々の関数形を用いて調べた結果

$$P = a \cdot \log(\Delta\epsilon_t - \epsilon_0) + b$$

によって最もよく表わされることがわかった。ここに a 、 ϵ_0 、 b も未知数である。 A と B を合わせて合計5つの未知数を最小二乗法によって求め、疲労寿命予測のためのマスター曲線を得る。

図1は、代表的なオーステナイト系ステンレス鋼SUS316について、温度 $400^\circ\text{C} \sim 600^\circ\text{C}$ 、ひずみ速度 $10^{-3}/\text{s} \sim 10^{-5}/\text{s}$ の範囲で行った疲労試験データを整理したもので、縦軸に全ひずみ範囲を、横軸にパラメータ P をとっている。全データ点は一本のマスター曲線の上によく乗っており、この曲線から任意の温度とひずみ速度における疲労寿命が求められる。実際に、低サイクル域(疲労寿命 N_f が 10^4 以下)から高サイクル域(N_f が 10^4 回以上)への、本方法の外挿性の良さが検証されている。

金材技研疲労データシート作成計画では、各種高温材料の疲労試験を系統的に行い、各々の低サイクル域の疲労特性を明らかにしている。図2は、フェライト系低合金鋼(体心立方晶系)とオーステナイト系ステンレス鋼(面心立方晶系)の疲労データについて、図1と同様な解析をほどこして、疲労寿命の温度依存性を求めたものである。この図から、フェライト系とオーステナイト系では疲労寿命の温度依存性が異なっていることがわかる。

本方法の有用性について今後さらに検証を重ねて、極低ひずみ速度下の長時間疲労寿命の予測法を確立するとともに、耐疲労性に優れた高温材料を選択する場合などへの適用を目指す。

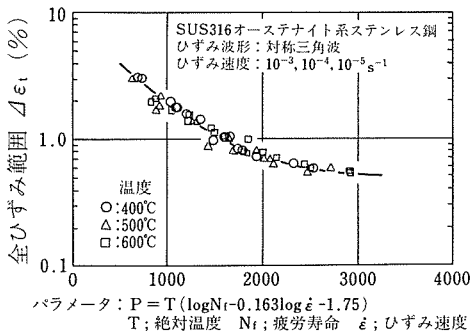


図1 SUS316ステンレス鋼の疲労データとマスター曲線

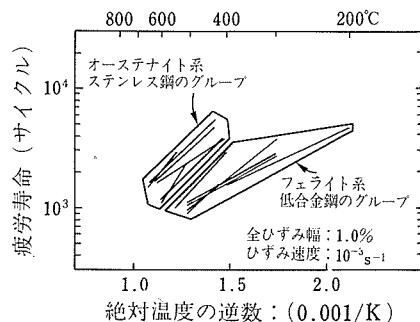


図2 各種高温材料における疲労寿命の温度依存性

3月・4月の研究発表（国内分）

学・協会名	開催期間	発 表 題 目	発表者(所属)
The First International Symposium on Metallic Multilayers (京都・京都パークホテル)	3.1～3.5	1. Fermi-Velocity Effect on Magnetoresistance in Fe/Transition-Metal Multilayers.	小口多美夫(物性)
学振耐熱金属材料第123委員会 (東京・東京大学)	3.11～3.12	1. アトム・プローブによるNi基超合金の γ' 規則合金中における原子配置の決定	石田 章(第3)ほか
日本機械学会 (大阪・近畿大学)	3.13～3.15	1. STM画像差分による微小反応の定量評価 2. トンネル電流が関与した反応現象	升田 博之(損傷)ほか 升田 博之(損傷)ほか
表面技術協会 (東京・東京都立大学)	3.17～3.19	1. スパッタリングによるTi-Ni形状記憶合金薄膜の作製条件の検討 2. スパッタリングによって作製したTi-Ni形状記憶薄膜の応力-歪曲線	武井 厚(第3)ほか 石田 章(第3)ほか
日本化学会 (東京・日本大学)	3.28～3.31	1. EXAFS実験のための小型回転対陰極ベース超強力X線源	櫻井 健次(計測)
日本物理学会 (仙台・東北大学)	3.29～4.1	1. CeRu ₂ Si ₂ のド・ハース-ファン・アルフェン効果II 2. α , γ -Ceの磁性とその圧力効果 3. Y ₂ O ₃ の電子線回折と結晶構造像 4. Ti ₅₀ V ₅₀ , V ₃ Si単結晶超電導体の磁化緩和 5. Bi ₂ Sr ₂ CaCu ₂ O _{8+x} 系単結晶の育成III	宇治 進也(物性)ほか 名嘉 節(物性)ほか 池田 省三(表面)ほか 上原 満(表面)ほか 茂筑 高士(第1)ほか
応用物理学会 (東京・青山学院大学)	3.29～4.1	1. 極高真空大型システム 2. S終端処理を施したGaAlAs基板上でのGa液滴からのGaAsエピタキシャル微結晶の成長 3. 高温超電導線材の組織と電流特性 4. 金属基板上に面内配向させたYSZバッファ層の作成とYBaCuO膜の超電導特性 5. Bi ₂ Sr ₂ CaCu ₂ O _x /Agテープを用いた超電導コイルの特性	吉原 一紘(第4) 石毛 桂子(表面)ほか 熊倉 浩明(第1) 福富 勝夫(第1)ほか 北口 仁(第1)ほか
日本金属学会 (横浜・横浜国立大学)	3.31～4.2	1. レナード・ジョーンズ液体の凝固 2. レナード・ジョーンズ結晶の塑性変形 3. Fe-Mn-Si-Cr-Ni形状記憶合金におけるマルテンサイト相中の積層不整の電子回折による解析 4. Fe-Ni-Co-Ti形状記憶合金の γ/α' 相境界の熱サイクルによる移動 5. Ll ₂ 型規則合金(Co, Fe) ₃ Vにおける水素の拡散 6. Fe-Pt合金におけるマルテンサイトの核生成場所の密度に関する定量的研究 7. 4th-ディメンジョンを用いた超電導材料データベースの構築 8. クラスト変分法によるTiAl(L1 ₀)中での第3元素の置換サイトの検討 9. アルゴンイオン衝撃材の拡散接合 10. 直流グロー放電におけるアルゴン混合ガスとイオン強度について 11. セラミックス超電導材料のEPMA分析における電子線照射損傷 12. Fe-Mn-Si-Cr-Ni形状記憶合金の変形組織の高分解能電顕による観察 13. 15at%Nbを含むTi-Al化合物の相平衡と機械的性質 14. 3.5mol%Crを含む γ -TiAl基合金の相平衡と組織変化 15. Ti-rich TiAlにおけるマッシュ γ 相の形成過程 16. TiAl基合金の引張り特性に及ぼす温度の影響 17. 「活性プラズマ-金属」反応法による鉄窒化物超微粒子の合成 18. 常圧焼結後HIP処理したTiAlの二、三の性質 19. Al ₂ O ₃ -Si ₃ N ₄ 系複合材料のコロイドプロセッシング	楠 克之(物性)ほか 楠 克之(物性)ほか 梶原 節夫(機能)ほか 菊池武丕児(機能)ほか 西村 睦(機能)ほか 大塚 秀幸(機能)ほか 中田 悦夫(設計)ほか 阿部 太一(設計)ほか 大橋 修(組織)ほか 齋藤 守正(計測) 木村 隆(計測)ほか 小川 一行(計測)ほか 竹山 雅夫(第3)ほか 竹山 雅夫(第3)ほか 熊谷 達夫(第3)ほか 橋本 健紀(第3)ほか 大野 悟(第4)ほか 村松 祐治(第4)ほか 目 義雄(第4)ほか

学・協会名	開催期間	発 表 題 目	発表者(所属)
日本金属学会 (横浜・横浜国立大学)	3.31~4.2	20. Fe-TiN複合超微粉のキャラクタリゼーション	目 義雄(第4)ほか
		21. Ni-TiO ₂ 複合超微粉の水素の吸脱着特性	打越 哲郎(第4)ほか
		22. Ti-3Al-8V-6Cr-4Mo-4Zr合金の冷間加工-再結晶処理による結晶粒の微細化	宗木 政一(力学)ほか
		23. Inconel MA754合金の再結晶粒界におけるクリープキャビティ成長	平賀啓二郎(力学)ほか
		24. セラミックスの繰返し疲労に及ぼす環境の影響	崔 乾(力学)ほか
		25. 180MeVのCu ¹¹⁺ で照射したBi ₂ Sr ₂ CaCu ₂ O _x の低温焼鈍による構造の回復	池田 省三(表面)ほか
		26. 改良型プロセス法で作製したV ₃ Si極細多芯線の超電導特性	竹内 孝夫(第1)ほか
		27. 過飽和bcc固溶体からの析出により作製したNb ₃ Al超電導極細多芯線	飯嶋 安男(第1)ほか
		28. ITERにおける照射誘起応力緩和の計算評価	永川 城正(第2)ほか
		29. ZrO ₂ -8mol%CaOの正方晶/単斜晶相変態による熱膨張変化	阿部富士雄(第2)
		30. 不純ヘリウムガス中1,373KにおけるNi-Cr-W新合金の腐食挙動	田辺 龍彦(第2)ほか
		31. ヘリウム中1,373Kで時効処理されたMA754の引張特性	武藤 功(第2)ほか
		日本鉄鋼協会 (横浜・横浜国立大学)	3.31~4.2
2. 気相急冷Ti-Al-Nb合金における非平衡組織の生成	小野寺秀博(設計)ほか		
3. Fe-20CrODS合金の引張強度への酸化分散物の種類と濃度の効果	川崎 要造(設計)ほか		
4. 低炭素低合金鋼のベイナイト変態における超塑性挙動	中島 宏興(組織)ほか		
5. Cr ₂ O ₃ コーティング皮膜に対するREMおよびY ₂ O ₃ 添加効果	池田 雄二(損傷)ほか		
6. 1Cr-0.5Mo鋼の修正θ法に基づくクリープ変形特性の評価	九島 秀昭(環境)ほか		
7. 酸化物分散強化型超合金Inconel MA754のクリープ特性の異方性	田淵 正明(環境)ほか		
8. 圧力容器用低合金鋼の高温高压水中低サイクル疲労挙動に及ぼすすき間効果	佐藤 俊司(第5)ほか		

海外での研究発表 (1993年1—3月)

ゴールドン会議 (1月4日~1月8日, アメリカ・オクスナード)

- 1) Superconducting Fluctuation Effects on Resistivity, Magnetization and Torque Measurements of Single Crystalline Bi₂Sr₂CaCu₂O_s.

門脇和男

第6回計算物性物理の国際ワークショップ (1月11日~1月13日, イタリア・トリエステ)

- 1) Augmented-Plane-Wave Based Car-Parrinello Method.

小口多美夫

米国TMS会議 (2月22日~2月24日, アメリカ・デンバー)

- 1) Strengthening Capability of β Titanium Alloys.

河部義邦, 宗木政一

米国物理学会 (3月22日~3月26日, アメリカ・シアトル)

- 1) dHvA Effect Study of the Metamagnetic Transition in CeRu₂Si₂.

青木晴善, 宇治進也, 他2名

第5回工業材料と構造のクリープと破壊に関する国際会議 (3月28日~4月2日, イギリス・スウォンジー)

- 1) Inherent Creep Strength for Ferritic Heat Resistant Steels.

木村一弘, 九島秀昭, 八木晃一, 田中千秋

- 2) Creep Crack Growth Behavior of Creep Brittle Alloy.

田淵正明, 久保 清, 八木晃一

金属材料技術研究所科学技術週間行事のお知らせ

当研究所は、「科学技術に対する国民の関心と理解を深めるとともに、次代を担う青少年に科学技術の重要性を認識させ、科学する心を育てる」という科学技術週間の趣旨にのっとり、下記の行事（内容の一部は予定）を実施致します。多数の御来場を、お待ちしております。

(1) 研究所の一般公開

●筑波支所（茨城県つくば市千現1-2-1）

日時：4月16日(金)、10時～16時

おもな展示・公開内容：先端材料の溶解／セラミックスの疲労／延性金属間化合物／超急冷凝固粉末／合金の設計／量子井戸箱の作製／イオン注入の応用／X線マイクロCT／サブナトロン／極低温疲労試験機／超電導薄膜／超電導線材／超強磁界マグネット

問合せ先：管理課管理係（0298）51-6311（内線 223）

●本所（東京都目黒区中目黒2-3-12）

日時：4月21日(水)、13時～17時

おもな展示・公開内容：表面改質／界面接合／超微粒子／磁性流体／レーザー超音波顕微鏡／耐環境性金属間化合物／一方向凝固用溶解炉／色記憶合金／単結晶多層材料／傾斜機能材料／非接触溶解／超精密磁界マグネット／画像処理の応用／合金の設計／超清浄空間技術／無鋳型引上連鋳／材料強度試験／材料寿命予測／超電導材料データベース

問合せ先：庶務課庶務係（03）3719-2271（内線 229）

(2) SCIENCE NOW '93への出展

日時：4月12日(月)～4月15日(木)、9時45分～16時30分

場所：Technology Japan '93展（晴海・東京国際見本市会場）内

おもな展示内容：超電導材料／一方向凝固金属間化合物／色記憶合金／熱電素子／磁性流体／燃焼合成線材／単結晶材料／複合材料／超耐熱合金／超塑性合金／超微粒子／超急冷凝固粉末／材料強度データシート／材料強度評価システム

問合せ先：企画課普及係（03）3719-2271（内線 278）

(3) ぼくとわたしの金属教室

おもな内容：小・中学生向けのパネルや模型、簡単なクイズや実験など

●つくば地区

“謎の合金Xの正体をさがせ！Part II”

日時：4月17日(土)、13時～16時

場所：金属材料技術研究所筑波支所

問合せ先：管理課管理係

(0298)51-6311（内線 223）

●東京地区

“不思議な金属、ゆかいな金属”

日時：4月18日(日)、10時～15時

場所：科学技術館5階（北の丸公園）

問合せ先：庶務課庶務係

(03)3719-2271（内線 229）

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所
(本所) 〒153 東京都目黒区中目黒2-3-12
TEL(03)3719-2271, FAX(03)3792-3337
(筑波支所) 〒305 茨城県つくば市千現1-2-1
TEL(0298)51-6311, FAX(0298)51-4556

通巻 第411号 平成5年3月発行
編集兼発行人 松岡 浩
印刷所 株式会社 三興印刷
東京都新宿区西早稲田2-1-18