

1989 No. 2

金材技研

ニュース

科学技術庁

金属材料技術研究所

酸化物超電導体多芯線／溶接部の疲労き裂伝
ば特性／究極の素粒子発見に協力／溶融塩で
張出し成形／応力腐食割れで中国に協力

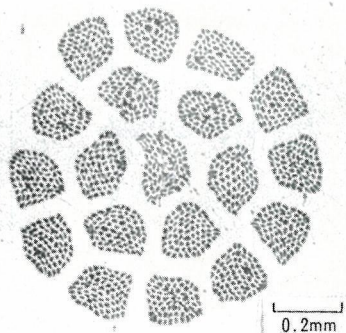
ビスマス系酸化物超電導体の線材化に成功 —— 多芯テープで目標達成に望み ——

超電導遷移温度 (T_c) が液体窒素の温度 77 K (-196°C) よりもはるかに高い 100 K を超え、さらに資源的に問題がある元素や有害な元素を含まないビスマス系酸化物超電導体 (Bi-Sr-Ca-Cu-O , 略称 BSCCO) を当研究所が発見してから、1 年が経過した (金材技研ニュース, 1988 年, No. 2 および No. 9 参照)。発見当初のこの超電導体は、 T_c が 100 K を超える高 T_c 相と 100 K 以下の低 T_c 相とからなっていたが、その後の研究で鉛を添加したり焼成の方法を改良することにより、ほぼ高 T_c 相だけのものを作ることが可能になった。したがって現在の研究の重点は、この超電導体をマグネットの巻線として使用するために必要な、臨界電流密度 (J_c) の向上と線材化技術の開発に向けられている。

当研究所では、液体窒素の中で 10 T (テスラ) の磁界を発生できる超電導マグネット用として、10 T で $50,000 \text{ A/cm}^2$ 以上の J_c 値をもつ線材を当面の目標に民間企業との共同研究を進めているが、この度、脆くて加工が難しい BSCCO 多芯線の製造に成功した。写真で示したのが、1330 芯 BSCCO の断面である。この多芯線は、鉛入り BSCCO に銀をシースとして覆せたものを約 150°C で中間焼鈍しながら線引きし、これを数十本まとめて線引きし、さらにそれを十数本まとめて線引きするという工程で作られる。この多芯線の電気抵抗は、約 102 K で完全にゼロになる。こうして作った多芯線を、

焼結 (約 840°C) → 圧延 → 焼結の工程で押し潰すと、BSCCO の多芯テープが得られる。この工程は、当研究所が開発したものである。

一般に、超電導体のゼロ磁界での J_c は厚さにほぼ反比例して増大するが、層状構造をもつ BSCCO はこのような一方向圧縮によって結晶の向きがそろって緻密化する。その結果 J_c がさらに増大し、また J_c の磁界依存性も大幅に改善される。BSCCO の J_c 値は最初は 1 A/cm^2 程度であったが、現在はゼロ磁界での J_c 値が厚さ約 1 mm の線材で $5,000 \sim 8,000 \text{ A/cm}^2$ までになった。酸化物超電導体は本来は磁場に強いといわれているが、このことはイットリウム系酸化物超電導体の場合には実験でも確認されている。したがって、BSCCO 多芯テープも微細組織の改質 (専門的にいえばピン止め点の導入や結晶粒界の連結状態の改善) などで性能の向上を図れば、前記の目標値をクリアすることも可能と考えている。



1330 芯のビスマス系酸化物超電導体
多芯線の断面写真

溶接部材の設計を信頼性も高く簡便に

—— 溶接部の疲労き裂伝ば特性を総括 ——

ほとんどすべての大型構造物は、鋼材を溶接して製作されている。これらの構造物、たとえば海上基地や橋梁などは、波浪や車輛の通過などによる荷重の繰返しを受けて疲労き裂が発生し、これが次第に大きく（き裂の伝ばという）なって、遂には破損事故に至ることもある。そこで、疲労き裂の寸法がどのような法則で大きくなるかを明らかにして、構造物が安全に使用できる期間を推定する寿命管理技術を確立することが、事故の発生を未然に防止するために極めて重要である。

当研究所では、各種の国産実用材料について、基準的な疲労特性を系統的に明らかにすることを目的として、「金材技研疲労データシート」を刊行している。その一環として、溶接部における疲労き裂の伝ば特性を、いろいろな条件を体系的に変えて入念に調べた。溶接部は、溶融してから凝固した部分とその周辺の急激に加熱・冷却された部分の全く異なる金属組織をもっているが、溶接部の疲労き裂伝ば特性は、鋼種、溶接法、溶接条件、試験条件などに関係なく、すべて同じになるという事実を見付けた。

このような結果が得られた原因を簡単に説明する。突合せ溶接した鋼板の溶接部の中央に切欠きを作ると、図1の(a)に示したような溶接による残留応力が、溶接部に存在している。疲労試験によって疲労き裂が発生して伝ばしても、(b)に示したようにそれにつれて残留応力ゼロの点も移動し、

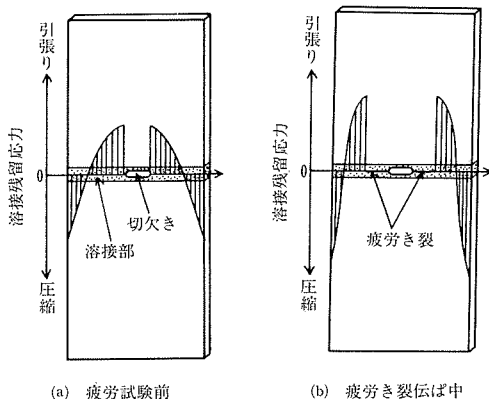


図1 溶接部の残留応力

疲労き裂先端部の応力は常に引張りの状態でき裂の先端が開いたままに保たれるので、き裂伝ば特性は単純化されて同じになる。一方、母材すなわち溶接してない鋼材の疲労き裂伝ば特性がこのように単純ではないのは、母材には残留応力が存在しないので、き裂の先端部には引張り応力と圧縮応力が繰返し発生してき裂の先端が開いたり閉じたりし、しかもその状況が鋼種や試験条件などによって異なるからである。

図2は、すでに得られてデータベース化されている溶接材の疲労き裂伝ば特性をプロットしたもので、2本の曲線の間が統計的处理で得た99%信頼区間である。この左側の曲線は、

$$da/dn = C (\Delta K^m - \Delta K_{th}^m)$$

ただし、 $C = 2.60 \times 10^{-11}$, $m = 2.75$, $\Delta K_{th} = 2.00$ で表される。疲労き裂伝ば速度がこの曲線よりも大きくなる確率は0.5%しかないので、この1本の曲線をオーステナイトステンレス鋼も含むいろいろな鋼種の溶接部材の疲労き裂伝ば曲線として、室温の大気中で使用される構造物の設計に使用しても、99.5%の信頼性が確保できる。

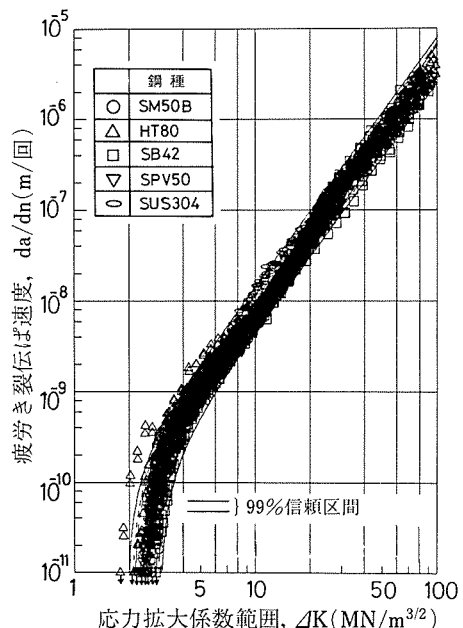


図2 溶接部の疲労き裂伝ば特性とその99%信頼区間

電子加速装置の性能向上に 協力

当研究所は、高エネルギー物理学研究所との共同研究で、つくば市に設置されているトリスタンなどの性能向上に協力している。トリスタンとは、直径約1kmのリング状の空洞の中で電子を加速する装置で、物質を構成する究極の素粒子といわれるトップクォークの発見などに使われる。この加速空洞は、極低温で超電導になるニオブで作られているが、ニオブは熱伝導が悪いので、表面に小さな欠陥や不純物があるとこの部分の温度が上昇し、次第に超電導でない

領域が広がって、電子の加速性能が低下する。

ニオブの薄膜を熱伝導が良い銅の表面に形成させて熱を逃がせばよいが、銅とニオブは密着性が悪くて剥離しやすい。そこで、当研究所は銅とニオブの両方に対して接合性が良いチタンを中間層とすることで、この問題を解決した。このようにすると、極低温のヒートサイクルでも膜の剥離や隆起が生じない。しかも、厚さ数 μm のニオブ膜を形成させた銅—チタン—ニオブの高周波超電導特性はニオブ板と同程度であるので、性能の良い電子加速空洞用の新材料として使用されることが期待できる。

新しい張出し成形法、 高温バルジ

バルジ加工とは、管状の金属に内側から圧力を加えて外側に膨らませる成形法のこと。通常は、圧力を加える媒体として油を使用するため、常温での加工にしか適用できなかった。

当研究所では、食塩や硝酸ナトリウムなどを加熱して液体状態にした溶融塩を加圧媒体に使用する方法を開発した。この方法は、管状金属の中に入れた溶融塩にポンチ(押棒)で圧力を加えるが、溶融塩が熱の媒体としても作用するので、高温でのバルジ加工が可能である。これに

より、成形性の向上や成形時の負荷の軽減が期待できる。バルジ加工では、管状金属とポンチの間の高圧のシールが重要であるが、溶融塩を用いたバルジ加工では、ポンチに接する部分の溶融塩が冷えて凝固し、自動的に高圧のシールが形成される。したがって、特別なシール機構は必要ではなく、普通のプレスを使って簡単に、高温でのバルジ加工ができる。

400°Cの溶融塩を用いて65—35黄銅をバルジ加工した場合、常温加工の約1.2倍の張出し量が得られた。この方法は、常温加工が困難な材料に対しても有効であると考えている。

伝熱管の応力腐食割れ試験で 中国に協力

当研究所は、国際的な研究交流推進の一環として、中国・上海核工程研究設計院の研究員を1年3ヶ月にわたって受入れて、Alloy 800(35%Ni-15%Cr-Fe合金)の信頼性の研究に協力した。

この合金は、鋼の小球を吹き付けて表面の硬化と疲労強度の向上を図るショット・ピーニングを施した状態で、上海近郊に建設中の原子力発電所の蒸気発生器伝熱管に使用される。そこで、ショット・ピーニングした合金をU形またはC形に曲げて試料に応力を発生させ、ショッ

ト・ピーニングの条件と応力腐食割れの関係を、高濃度アルカリ溶液中で調べた。

適切にショット・ピーニングした材料は、受入れのままの材料よりも応力腐食割れを起こしにくいことが確認された。なお、焼なまし材よりもショット・ピーニング材のほうが応力腐食割れを起こしやすいことがあるが、これは軟かい焼なまし材は同じように曲げても発生する応力が小さいからである。ショット・ピーニングで表面に傷ができることがあるが、これが応力腐食割れの基点にならないこともわかった。

日中酸化物超電導体シンポジウム、 当研究所から3件の発表

臨界温度が高い酸化物超電導体に関する初の日中シンポジウムが、来る4月10・11日の2日間、つくば市の研究交流センターで開催される。このシンポジウムは、日中科学技術交流協会(会長：橋口隆吉東京理科大学教授、元当研究所所付)と中国科学院の主催により開かれるもので、当研究所が事務局を務める。中国側からは、中国科学院物理研究所を中心とする著名な専門家15名が招かれ、我が国からは当研究所をはじめ、

大学、国立研究機関、民間企業から第一線の研究者が多数参加し、酸化物超電導体の基礎から応用までの幅広い内容について、合計31件の発表と討論が行われる。

当研究所は、以下の3件の発表を行う。

- (1)Bi系高温超電導体
- (2)Bi-Sr-Ca-Cu酸化物薄膜の合成と特性
- (3)高温酸化物超電導体の実用特性と線材製造法

このシンポジウムは、酸化物超電導体の研究開発に寄与するのみでなく、両国の科学技術協力の推進にも大きく貢献するものと期待される。

〔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
63. 7. 5	63-165872	希土類-Al系ガーネット単結晶体	63. 8. 26	63-210583	酸化物高温超電導体の製造法
63. 7. 15	63-174948	超塑性鍛造用耐熱Ni基合金及びその合金ならびに鍛造物製造方法	63. 9. 19	63-232299	可鍛性超耐熱合金
63. 8. 12	63-200238	超極細多重構造のNb ₃ Al超電導線材の製造法	63. 9. 22	63-236570	有価金属含有スラグからの金属の製造方法
63. 8. 26	63-210580	金属ほう化物繊維の製造法	63. 9. 27	63-241644	溶融めっきアルミニウム
63. 8. 26	63-210581	化学気相反応による金属ほう化物繊維の製造装置	63. 10. 14	63-257027	磁性流体熱機関
63. 8. 26	63-210582	SO _x センサー用複合固体電解質およびその製造法	63. 10. 20	63-262680	変形測定法
			63. 11. 2	63-276219	Bi系酸化物超電導皮膜の製造方法
			63. 11. 8	63-280502	磁気冷凍作業物質
			63. 11. 21	63-292404	酸化物超電導体厚膜の製造方法

3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)
金属表面技術協会(東京：東工大)	3.29	反応性イオンプレーティング法による金属-セラミック複合皮膜の作製	石田 章(第3)ほか
日本物理学会(平塚：東海大)	3.31	シリコン格子欠陥の電子状態	小口 多美夫(物性)ほか

◆短 信◆

●海外出張

氏 名	所 属	期 間	行 先	用 務
小玉 俊明	環境性能研究部	11.3～11.26	タイ	腐食教育および研究計画打合せ
黒沢勝登志	環境性能研究部	11.27～12.23	フィリピン	大気腐食研究計画打合せ
廣瀬 文雄	計測解析研究部	11.28～12.23	タイ	大気腐食研究計画打合せ
岡田 明	組織制御研究部	12.3～12.10	イギリス、フランス	新材料の試験評価の国際共同研究

通巻 第362号

発 行 所 科学技術庁金属材料技術研究所

〒153 東京都目黒区中目黒2-3-12

TEL (03)719-2271, FAX (03)792-3337

平成元年2月発行

編集兼発行人

漆 原 英 二

印 刷 株式会社

三 興 印 刷