

1989 No.3

金材技研

ニュース

科学技術庁

金属材料技術研究所

3%も伸びる金属間化合物／金属間化合物の
溶解／磁性金属を超電導に／高温で安定な高
Mnオーステナイト鋼／被削性の迅速な判定

金属間化合物の軽量耐熱構造材料

——脆性の改善で実用化も遠くない——

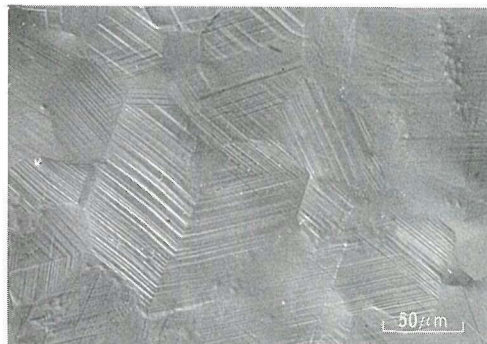
金属同士が簡単な整数比で結合している金属間化合物は、脆いというのが過去の通念であった。このために、金属間化合物は水素貯蔵合金、磁性材料、半導体など、おもに機能性材料として注目されていた。ところが、ニッケルとアルミニウムの化合物 Ni_3Al に微量のホウ素を添加すると粒界脆性が消滅するという事実が1979年に発見されて以来、金属間化合物に対する見方が大きく変わった。脆性さえ改善されれば、金属間化合物は高融点で耐食性も良く、さらに温度が高いほど強度が大きいという高温構造材料にもってこいの性質があるからである。ホウ素の添加で脆性が改善される理由としては、金属のいろいろな性質に関係が深い自由電子がホウ素の添加で増えて、その結果 Ni_3Al がより金属に近い性質になるからという説が有力である。

当研究所では、金属間化合物の中の自由電子を少なくしている非金属的な元素をより金属的な元素で置き換えても、自由電子が増えるので脆性を改善できると考えた。そして、チタン原子とアルミニウム原子が1:1（重量比では64%:36%）で結合している金属間化合物 TiAl にこの考え方を適用して、軽量耐熱構造材料として有望な金属間化合物 TiAl 基合金を開発した。この合金では非金属性が強いアルミニウムの一部をマンガンを置換してより金属的な性質に近づけ、さらに TiAl の常

温における破壊機構の考察から、 Ti_3Al を細かく分散させて応力の集中を避けるようにした。

こうして生まれたのが、 $\text{Ti}-34.5\%\text{Al}-1.5\%\text{Mn}$ の重量組成をもつ TiAl 基合金である。この合金は、写真に見られるような双晶という特殊な機構で変形するので、常温でも3%の伸びがある。金属間化合物が通常脆いのは、変形のもとになる転位が動きにくいためであるが、この TiAl 基合金では、金属的な性質を増加させた結果、動きにくい転位が動きやすい形態の転位（双晶）に変わったために、変形が可能になった。

当研究所は、 TiAl 基合金を軽量耐熱構造材料として実用化するために、その脆性改善や表面改質などの特性向上をはじめ、溶解法、粉末冶金法、塑性加工法などの研究を、総合的に推進している。



常温曲げ加工した $\text{Ti}-34.5\%\text{Al}-1.5\%\text{Mn}$ 合金の引張変形側の表面に発生した双晶

再現性がよい金属間化合物TiAlの溶解法

—— プラズマビーム炉の圧力制御が決め手 ——

航空機のエンジンには、ニッケル基の超耐熱合金が使用されているが、この合金は比重が約9と大きい。そこで、これに代わる材料として、チタンとアルミニウムが1：1の原子比で結合している金属間化合物TiAlが注目されている。この金属間化合物は、比重が3.8と小さい上に、耐熱性も優れているからである。TiAlを軽量耐熱構造材料として実用化するためには解決しておかなければならない問題がいくつかあるが、その一つが溶解法によるインゴットの製造技術の確立である。

TiAlを溶解する場合、研究で使用する少量ならばアルゴン雰囲気のアーク炉で問題なく行えるが、数kgあるいはそれ以上のインゴットを作るための大量の溶解には、いろいろな困難がある。たとえば、TiAl自体を電極にして溶解する消耗電極型の真空アーク炉では、アークを安定させた状態で溶解しようとするると溶解速度が早過ぎてインゴットの内部に細かい割れが生じ、健全なインゴットが得られない。また、電子ビーム炉では、炉内の圧力を $10^{-2} \sim 10^{-4}$ Pa (1 Paは約10万分の1気圧)程度に保つ必要があるので、TiAlを溶解しようすると36%も含まれているアルミニウムが蒸発して炉内の圧力が上り、操業が困難になる。

こうしたことから、当研究所では溶解速度の調節が自由にできて、しかも炉内の圧力が電子ビーム炉よりも2桁ほど高くてもよいプラズマビーム炉を用いて、TiAlの大量溶解技術の確立を試みた。

プラズマビーム炉とは、図1のように中空陰極内で発生させた低圧ガスプラズマで中空陰極を加熱し、これから放出される熱電子により試料を加熱する形式の炉である。しかしながら、チタンとアルミニウムの混合粉末を圧縮して成形したものをプラズマビーム炉で溶解して数kg規模のインゴットを多数作ったところ、アルミニウムの含有量がばらついて目的とする組成のものが得られなかった。通常の溶解作業では、炉内の圧力が3倍ほど変動していることがわかったので、プラズマ発生用のアルゴンガスの流量またはこれとは別に炉内に導入するように細工したアルゴンガスの流量を操業中に微調節し、炉内の圧力が溶解中常に一定に保たれるようにしたところ、再現性の良い結果が得られた。TiAlインゴットを製造する際のアルミニウムの歩留りは、図2のように炉内の圧力によって変化するが、同じ一定の圧力に保って溶解すれば常にほぼ同じ結果が得られた。

この炉の場合、アルミニウムの歩留りが高くてその変動が比較的少ない4～8 Paの範囲で炉内の圧力を常に一定に保ち、あらかじめアルミニウムの歩留りを考えて用意した原料を使って溶解すれば、目的とした組成のインゴットが、再現性よく得られる。このような条件では、アルミニウムが蒸発して炉内の低温部に付着する程度も小さいので、炉内の清掃が簡単になる利点もある。

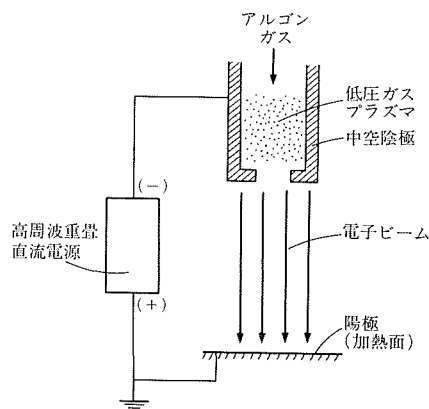


図1 プラズマビーム炉の原理図

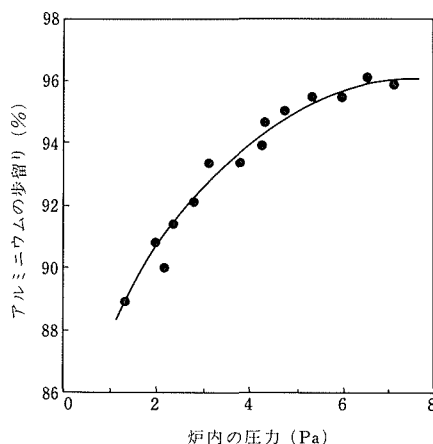


図2 一定圧力で溶解したときのアルミニウムの歩留り

クロムを非晶質化、 極低温で超電導に

臨界磁界という言葉で知られているように、超電導体に強い磁場を加えると、超電導状態は壊れてしまう。一方、磁石はいくら低温にしても超電導状態にはならない。磁性（強磁性や反強磁性などの磁気の秩序状態）を示す状態と超電導状態とは相反する状態で、磁性金属元素は超電導にはなりにくい。

当研究所では、反強磁性を示すクロムにホウ素や窒素などを加えると非晶質にすることができると、またこの非晶質のクロムは極低温（1

K以下）で超電導になることを見付けた。面白いことに、この超電導状態は磁場を加えても壊れにくい。このようにして非晶質にしたクロムの磁気的な性質を調べると、磁気の秩序状態は大方壊れてしまっているが、その名残りのようなもの（スピンの大きなゆらぎ）が認められる。これが逆に磁場に対して超電導状態を壊れにくくしていることがわかった。

最近の酸化物超電導体では、磁性が超電導状態を現わす原因となっているという有力な理論もある。磁性と超電導の関係は、これからも基礎的に調べなければならない重要課題である。

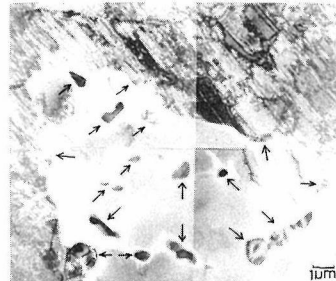
高温での高Mnオーステナイト鋼 の脆化を防ぐ

ニッケルの代りにマンガンを用いた高Mnオーステナイト鋼は、核融合炉の構造材料として最近注目されている。この材料は、長時間使用しても強い放射能を帯ることがないからである。

当研究所では、高温における高Mnオーステナイト鋼の安定性を調べている。その結果、冷間加工した材料は650°Cでは短時間でも、脆いσ相（シグマ相，Cr-Mn-Fe化合物）が再結晶界面に優先的に生成することを見いだした。

冷間加工材を焼なましするか、あるいは少し

炭素量を多くして微細な炭化物を析出させることにより再結晶を抑制すれば、高温で長時間使用しても高Mnオーステナイト鋼は安定で、脆くはならないことがわかった。



10Cr-30Mn鋼に生成したσ相（矢印）
30%冷間圧延後650°Cで10h時効

削られやすさの簡便な 判定法を考案

当研究所は、材料の削られやすさ（被削性）を、断面が10mm角程度の小さな試料で、簡単迅速に決められる試験機を試作した。

この試験機を用いて基準とする材料と、これと同じ断面をもつ試料とを、同じ条件で鋸刃により切断する。それぞれの切断に要した時間を比較して、基準とした材料よりもその試料がどれくらい削られやすいか（早く切断できるか）を判定する。このために、鋸刃に加える荷重や往復の周期などを調節できるようにしてある。

快削鋼を基準材とし、これといろいろな試料の切断時間の比を計算すると、中炭素鋼は0.62、18-8ステンレス鋼は0.28、6-4黄銅は1.71などの値が得られた。これらの結果は、たとえば6-4黄銅は快削鋼よりも1.7倍削られやすいことを意味している。こうした傾向は、材料を1時間も丸削りする通常の被削性試験で得られる結果と、ほぼ一致していた。したがって、開発段階のために少量の試料しか得られない合金の被削性の判定や、過って被削性の違う材料を混ぜてしまった場合の選別なども、この試験機で簡便に行える。

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）
日 本 物 理 学 会 （平塚：東海大）	3.29～4. 1	1. CeSbの高周波dHvAブランチについて 2. 超電導アモルファスCr-BN膜の磁性と磁気伝導 3. 重い電子系と高温超伝導体のバンド理論 4. Nd ₂ CuO ₄ 系の物性 5. Ni超微粒子中の ⁵⁷ Feメスバウワー効果	青木晴善(物性)ほか " 小口多美夫(物性) 宇治進也(物性)ほか 古林孝夫(機能)ほか
資 源 素 材 学 会 （習志野：千葉工大）	3.30～4. 1	1. ゼルゲル法による複合酸化物の合成に関する研究 I	青木愛子(4 G)ほか
日 本 応 用 物 理 学 会 （千葉：千葉大）	4. 1～4. 4	1. ドクターブレード法により作製したBi系超伝導テープの組織と電磁特性 2. 微少重力下における偏晶系合金の凝固実験(KC135飛行) 3. 金属基材上に作製した酸化物超電導膜 4. クリソベリル単結晶基板上に作製したYBCOスパッタ薄膜 5. InSb基板上への組成勾配層を含むInAlSbのエピタキシャル成長	熊倉浩明(1 G)ほか D.ディートリック (1 G)ほか 福富勝夫(1 G)ほか " 橋本伸哉(表面)ほか
日 本 化 学 会 （京都：同志社大）	4. 2	1. TiB ₂ ひげ結晶の作製	小澤 清(機能)ほか
日 本 金 属 学 会 （横浜：横浜国大）	4. 4～4. 6	1. 環流水銀カプセル中の304ステンレス鋼,炭化ジルコニウム,炭化タンタルおよび酸化ベリリウム焼結材の腐食 2. 固相反応によるアモルファス生成過程のシミュレーション 3. 無 casting 引き上げ連铸法による異形断面アルミニウム材の製造 4. BiとSr-Ca-Cu-Oの交互スパッタで積層した超伝導酸化物薄膜の断面観察 5. レッジ界面の移動速度の時間依存性—非整合界面との比較 6. 正方晶金属間化合物TiAl単結晶の弾性定数 7. 9Cr-2Mo-0.1C鋼のナトリウム中の腐食挙動に及ぼす添加元素の影響 8. TiAl焼結体の機械的性質 9. 環境脆性と疲れき裂開閉口挙動 10. Ti-2.6Fe合金の初析 α プレートの組成分析 11. 電子ビーム溶接した低放射化バナジウム合金の引張特性 12. Mo-Ru合金ろう材を用いたモリブデン単結晶の接合 13. V-Mo合金の水素透過特性 14. 鉄コロイド超微粒子のメスバウワー効果 15. Ti合金の高温耐酸化性と引張り特性に及ぼすアルミナライジング処理の影響 16. Fe-Ni-C合金における逆変態過程のその場観察 17. Fe-Ni-C微粉体におけるマルテンサイト変態 18. Fe-Ni-Co-Al-C合金における逆変態挙動と転位	鈴木 正(力学)ほか 楠 克之(物性) 佐藤 彰(組織)ほか 池田省三(表面)ほか 榎本正人(物性)ほか 中村森彦(力学)ほか 武藤 功(力学)ほか 中村森彦(力学)ほか 浜野隆一(力学) 榎本正人(物性)ほか 平岡 裕(2 G) " 西村 睦(機能)ほか 古林孝夫(機能)ほか 武井 厚(3 G)ほか 梶原節男(機能) 菊池武正児(機能)ほか 大塚秀幸(機能)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：横浜国大)	4. 4～4. 6	構造 19. Co及びCo-Fe超微粒子のマルテンサイト変態(Ⅱ) 20. 遠心噴霧粉末製造法の噴霧因子の検討 21. FeCo超微粉の焼結挙動 22. W-Cu系の固液界面張力の測定 23. 耐熱鋼, Ni基耐熱合金, 及びTi合金の設計と開発 24. SiC/Ti複合材料の界面反応と引張強度特性に及ぼす合金元素の影響	梶原節男(機能)ほか 原田幸明(4 G) 目 義雄(4 G)ほか 村松祐治(4 G)ほか 山崎道夫(設計) 今井義雄(機能)ほか
日 本 鉄 鋼 協 会 (横浜：横浜国大)	4. 4～4. 6	1. 開発チタン基合金の高温低サイクル疲れ 2. 長期使用ボイラ鋼管の内圧クリープ破断強度とIso-stress法による寿命予測 3. ばね鋼SUP7の高サイクル疲労特性 4. 落重式衝撃引張試験機による動的弾塑性破壊靱性の測定 5. 球状黒鉛鑄鉄の動的破壊靱性とその評価 6. 12Cr系の高温クリープによる材質劣化機構 7. Ti-6Al-4V合金における製造条件のデータベース化 8. Ni基単結晶合金の組織及びクリープ破断特性に及ぼす添加元素の影響 9. 高強度Ni基単結晶合金の設計 10. 極低温におけるセレーション変形開始挙動とその計算機シミュレーション(純チタン, 第1報) 11. エキソ電子放電と金属疲労の関係 12. 拡散成長理論によるFe-C-X ₁ -X ₂ 4元合金の初析フェライトの成長と分配の予測 13. 鋼板製造プロセスにおける結晶粒組織変化のシミュレーション 14. 高張力鋼の大気中及び海水中フレット疲労に及ぼす接触面圧の影響 15. プラズマ電子ビーム炉によるTiAlの溶解 16. Cr-2W鋼のクリープ破断特性に及ぼすCrの効果 17. SUS 321鋼のクリープ破断特性に及ぼす高温硫化腐食の影響	呂 芳一(設計)ほか 金丸 修(環境)ほか 金沢健二(環境)ほか 安中 嵩(環境)ほか 中野恵司(環境)ほか 渡部 隆(5 G)ほか 栗原 豊(設計)ほか 山県敏博(設計)ほか 原田広史(設計)ほか 由利哲美(1 G)ほか 松岡三郎(環境)ほか 榎本正人(物性) 榎本正人(物性)ほか 中澤興三(力学)ほか 高橋順次(力学)ほか 阿部富士雄(2 G)ほか 池田清一(損傷)ほか
日 本 原 子 力 学 会 (吹田：大阪大)	4.4～4.6	1. 電子ビームによるグラファイトとC/C複合材の熱衝撃試験 2. ヘリオトロン防護リミターの高熱流束損傷 3. 大電流密度電子ビーム照射グラファイトのラマンスペクトルについて	藤塚正和(2 G) 新野 仁(2 G) 北島正弘(2 G)ほか
日中酸化物超電導体 シンポジウム (つくば：研究交流センター)	4.10～4.11	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性と線材製造法	前田 弘(1 G) 小川恵一(表面) 戸叶一正(1 G)
溶 接 学 会 (東京：国立教育会館)	4.12～4.14	1. 最大応力基準試験による溶接継手の疲労寿命評価—A5083-O横突き合わせ継手の場合—	太田昭彦(環境)ほか

金属材料技術研究所 科学技術週間行事のお知らせ

(1) 研究所一般公開（本所・筑波支所）

当研究所で行っている先端的研究活動とその成果および主な研究関連施設設備を公開します。また、研究の内容などをパネル・実物展示により紹介します。なお、本所（中目黒）においては、科学技術映画を上映し、来訪者からの技術相談に応じるための相談コーナーを開設します。

本所（中目黒） 4月18日(火) 13時～17時

筑波支所 4月20日(木) 10時～16時

(2) 「第6回科学技術いろいろ展」への出展

当研究所が特に力を入れている超電導材料の開発研究とそのほかの主な研究成果等をパネル・現物試料で展示し、わかりやすく紹介します。

場所：東京国際見本市会場（晴海）

期間：4月11日(火)～4月14日(金)

時間：10時～16時30分

〔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. 12. 01	63-304642	高真空容器用材料の低温被覆法	63. 12. 27	63-327730	鉄-炭化物系複合皮膜の形成法
63. 12. 20	63-319429	プラズマ気相反応装置	63. 12. 27	63-327731	Al-炭化物系複合皮膜の形成方法
63. 12. 23	63-323545	Al含有金属間化合物のプラズマ電子ビーム溶解鑄造方法	63. 12. 27	63-327732	耐摩耗導電性複合皮膜の形成法

◆短 信◆

●外国人研究員の受入れ

氏 名 Joseph Birch Holt

所 属 アメリカ ローレンスリバモア国立研究所

テーマ 燃焼合成法による金属間化合物の製造に関する研究

期 間 昭和64年1月7日～2月15日

氏 名 Margarita Torre

所 属 フィリピン 材料科学研究所

テーマ 大気暴露試験を用いた金属材料の耐食性評価技術

期 間 平成元年1月17日～7月7日

氏 名 Korrakoch Meechumnarn

所 属 タイ 科学技術研究所

テーマ 大気暴露試験を用いた金属材料の耐食性評価技術

期 間 平成元年1月17日～7月7日

氏 名 姜 聖君

所 属 韓国 漢陽大学

テーマ 気相反応法によるBi系高温酸化物超電導体の合成

期 間 平成元年1月24日～3月5日

氏 名 呉 平男

所 属 中国 北京科学技術大学

テーマ ガリウムの気化抽出特性に関する研究

期 間 平成元年1月30日～3月15日

●海外出張等

氏 名	所 属	期 間	行 先	用 務
石井 明	環境性能研究部	1.1.9～3.1.8	フィリピン	大気腐食研究実施長期専門家として派遣
前田 弘	第一研究グループ	1.2.1～1.2.5	フィリピン	日・アセアン科学技術協力
平野 敏幸	力学特性研究部	1.2.1～1.4.30	アメリカ	原子炉用金属間化合物の光電子分光に関する研究

通巻 第363号

平成元年3月発行

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

編集兼発行人 漆 原 英 二

印 刷 株式会社 三 興 印 刷