

### ヘリウムタービン動翼用耐熱鑄造合金

直接サイクルヘリウムタービンの計画、国産ジェットエンジンの開発、火力発電を効率のよい高温ガスタービンで行う案など、最近ガスタービンに関する話題が多い。鉄鋼材料研究部では、これらの新しいニーズを考慮して、主としてタービン動翼を応用対象とする耐熱鑄造合金の開発研究を行っている。ヘリウムタービンにおいては、高温ガス原子炉からの1,000°C程度の高温のHeガスを閉サイクルで循環させてタービンを駆動させ発電を行う。このタービンについて、米国と西独では大規模な研究開発が推進されており、我が国でも電機工業会が概念設計とテクノロジーアセスメントを行った。

タービン材料の酸化やエロージョンにより微粉が生じこれが循環するガスに混じて原子炉の炉心を通って放射化され、かつ万一Heガスの漏洩が起これば、放射能洩れが生じる危険がある。したがって、直接炉心に用いない材料でも、放射化されやすいCoやTaなどを含まぬことが要望される。しかし、CoはNi基合金の高温強度を上昇させる元素であり、多くのNi基超合金にCoが添加されている。そこで、まずジェットエンジンのタービン動翼材料として用いられている世界最強のNi基鑄造合金、Mar-M200(重量%で、0.15C, 10Co, 9Cr, 12.5W, 5Al, 2Ti, 1Nb, 0.015B, 0.05Zr, 残Ni)とこれからCoを除いた合金を真空溶解してロストワックス型で試験片の形状に鑄造した。これらを鑄造のまま800~1,000°Cのクリープ破断試験に供した。その結果を整理して、表のIと

IIに示した。Coを除くとクリープ破断強さが20%程度低下する。クリープ曲線の検討と走査電子顕微鏡などによる組織や割れの観察から、Coを除くことによるクリープ破断強度の低下は粒界の組織が変化して粒界割れが生じやすくなるためと考えられたので、粒界強化に有効と考えられているBの増加、あるいはHfの添加を試みた。なお、Bの増量は他のNi基合金について当研究部の他のメンバーによりその有効性が示されている。

Coを除いたMar-M200の組成に、0.2%のBあるいは1.5%のHfを添加すると、粒界の組織が改善され、表のIIIあるいはIVのようにクリープ破断強さも改善された。このようにして、Mar-M200合金に匹敵するクリープ破断強さを持ち、ヘリウムタービンに使用可能な、CoもTaも含まぬNi基耐熱鑄造合金が得られた。

今後、さらに性能のよい合金の開発を続けると共に、ヘリウム中のクリープ試験や、定歪疲れ試験などを行う必要がある。

表 Ni基鑄造合金の900°C、5万時間のクリープ破断強さ (kg/mm<sup>2</sup>)

I. Mar-M200合金	9.6
II. Mar-M200よりCoを除いた合金	7.5
III. IIに0.2%のBを含有させた合金	10.3
IV. IIに1.5%のHfを含有させた合金	9.7

## 高純度アルミニウムの電子線照射効果

金属材料の放射線損傷についてはその実用的重要性から、また基礎的な見地から各国で精力的に研究が行われている。近年、この分野で注目されるのは電子顕微鏡の加速電圧の高圧化にともない、高いエネルギーの電子線を電顕内で直接試料に照射し、各種の金属材料中に放射線損傷欠陥を容易にコントロールしながら、導入することが可能になったことである。この方法は大規模な損傷設備を必要とせず、かつ、安全に損傷効果を実験室的にシュミレートできるという点で極めて有効な手段である。

金属物理研究部では金属、合金の照射欠陥の挙動を調べる目的で、まず予備実験として高純度アルミニウム(6ナイン)の電子線照射効果を調べた。写真はアルミニウムのマトリックス中あるいは双晶境界に形成された照射欠陥を示す。マトリックス中には典型的な黒白コントラストをもつ点状の

微細欠陥が観察される。これらの欠陥はコントラストの解析から格子間原子が集合してできた転位ループであることがわかった。一方、双晶境界面には特徴的な三角形の形状をもつ欠陥が観察される。そして双晶境界近傍には欠陥の存在しない、いわゆる **denuded zone** が認められる。上述の三角形欠陥の形状は一様であり、照射時間を増すとその大きさは成長する。これらの三角形欠陥はやはり格子間原子型ループであり、その一様な形状は双晶境界面における原子配列の幾何学的構造に起因すると考えられた。また、三角形ループの成長過程はその深さ位置に依存し、試料表面近傍と内部では明らかな差異が認められた。すなわち、試料表面に近くなるに従ってその成長速度は大きかった。この結果は、欠陥形成に関与する格子間原子に対するシンクとして試料表面と残留空孔が支配的であると理解された。

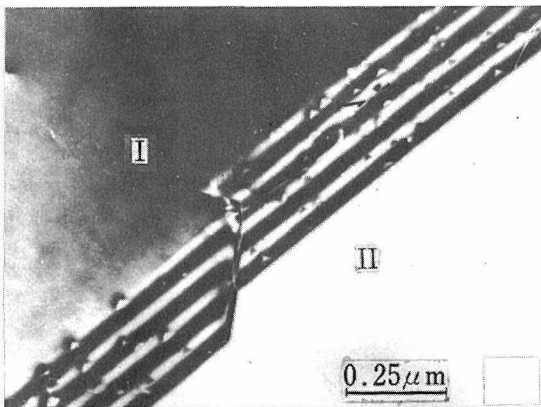


写真 室温で電子線照射したAlの双晶境界に形成された三角形ループ。  
200kV, 6分照射

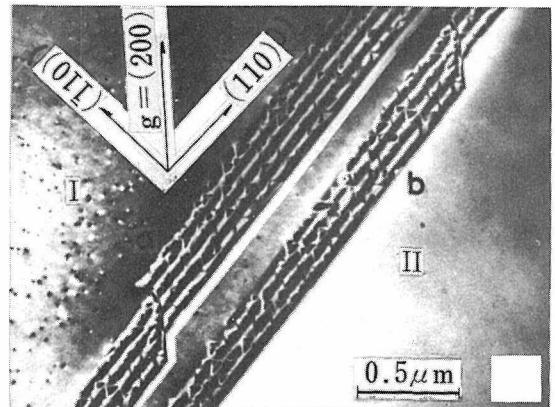


写真 双晶境界における三角形ループの成長とマトリックス中の点状欠陥。  
200kV, 26分照射

## Mo, Taの再結晶集合組織におよぼす微量不純物の影響

W, Mo, Ta, Nb等の高融点金属の再結晶集合組織の制御は、学問的興味は勿論のこと実用面から見ても、圧延板の成形加工性とか、またW, Moの場合には板の再結晶脆性を改良する上からも効果があると考えられる。

非鉄金属材料研究部では、上記のような立場から、これらの高融点金属単結晶の再結晶集合組織の制御に関する研究を進めている。

前報で圧延された(111)[ $\bar{1}\bar{1}2$ ]方位単結晶から得られる再結晶集合組織は、MoとTaで異なることを報告したが、今回は高純度のMoおよびTaの再結晶集合組織は微量の不純物によって、ある場合は極めて急激に変化することを見出したので、その結果について報告する。

結果は表1および表2に示した通りであるが、Moではゾーン精製の回数が1回の場合には、出現する再結晶粒は(511)[ $\bar{1}05$ ]{(5 $\bar{1}\bar{1}$ )[105]}(この方位は試料方位と双晶関係にある)が主成分となる。しかしゾーン精製の回数が3回になると、ほとんど完全に(110)[001]方位1成分となり、以後ゾーン精製の回数を増しても変わらない。

一方Taの場合、その変化はMoの場合ほど急激ではないが、ゾーン精製の回数が増加するにつれて、(110)[001]方位成分が減少し、(115)[552]側方位成分が増して来る。このような傾向はMRC社の高純度Taでは特に著しい。

そして検出された再結晶粒方位の大部分は試料方位と良好なコインシデンス関係を保持していることが特徴的である。

以上のような興味ある現象は、試料の処理条件から考えて、ゾーン精製の回数に応じて微妙に変化する不純物によるものであると推測される。

すなわち、筆者らは再結晶粒方位を決定する因子は極めて複雑であるが、重要な因子の一つは、再結晶核形成の初期において圧延マトリックス(試料方位とほぼ同じ)と圧延マトリックス中に存在する核のエンブリオの間に低エネルギーのコインシデンス境界が形成されるか否かによるとの説を取っているが、ある種のコインシデンス境界は何んらかの元素(表2からみて炭素が有力)の折出の前駆的段階によってその形成が抑止されるために、出現する再結晶核の方位が変化するものと思われる。

表1 Mo, Ta(111)[ $\bar{1}\bar{1}2$ ]方位単結晶に含まれる主要不純物 (wt. ppm)

		ゾーン精製回数	C	N	O	検出された金属不純物	*R <sub>295°K</sub> /R <sub>4.2°K, Te</sub>
Mo	国産	0	80	25	10	Fe, Ni, W, Si	33
	"	1	30	13	5		850
	"	3	20	13	5		7,000
	"	20	—	—	—		10,000
	MRC社	>1	18	—	10	W, Ta, Si, Fe	—
Ta	国産	0	40	13	18	Nb, W, Si, Fe	65
	"	1	—	—	—		200
	"	3	20	12	5		300
	"	20	—	—	—		500
	MRC社	>1	5	3	5	Nb, Fe, W	—

\*は残留抵抗比

表2 Mo, Ta(111)[ $\bar{1}\bar{1}2$ ]方位単結晶から得られた再結晶粒方位の分類とゾーン精製条件

		ゾーン精製回数	(110)[001]	(511)[ $\bar{1}05$ ] (5 $\bar{1}\bar{1}$ )[105]	(115)[552]	(11 $\bar{1}$ )[112]	その他の方位
Mo	国産	1	0	25	0	0	5
	"	3	56	0	1	0	—
	"	20	all	0	0	0	—
	MRC社	>1	5	4	0	1	13
	"	10	all	0	0	0	—
Ta	国産	1	37	0	7	0	—
	"	3	46	2	23	1	4
	MRC社	>1	11	0	18	6	4

## 【特許紹介】

### 水 中 溶 接 法

公告番号 昭50-13203 (昭和50年5月17日)

特許査定 昭和50年9月19日

発 明 者 蓮井 淳

この発明は水中溶接中に粘性液体により溶接部等を包被しブローホール等のない健全な溶接継手を作ることの特徴としている。

水中溶接は海洋開発関連技術として、海洋構造物の建設工事等で必要であるためこの研究開発が進められている。現在、被覆アーク溶接棒を用いる手溶接法が適用されているが、これはアークの発生と維持が不安定で母材及び溶融金属の加熱効果が小さく、溶接部にアンダーカットや融合不良部が生じたり、また溶接能率が良くなくいろいろな障害をもたらす。

この研究所では、水中溶接において良好な溶接継手を作り施工面からもより優位の方法を開発するため研究が進められている。加工材及び溶融金属の加熱状態が良好なプラズマ水中溶接法について、特にプラズマ起動を容易にするシールドガス送給の制御法の技術を公開した(特公昭48-3742, 特許705,718)。これによるとアンダーカットがなく外観が良好で機械的性質のすぐれた溶接部が得られるが、アークのふれが原因になって溶接金属中にブローホールの発生が認められる。この発明は、ブローホールのない完全な溶接継手を容易に得るようになるため、アーク又はプラズマのふれを粘性液体の慣性と粘性とによって防止し、水中溶接の技術的困難性を軽減させるものである。

図1は、この発明を適用した水中アーク溶接法の例である。溶接トーチ1と同軸に設けた溶接ワイヤ2を送給用ノズル3の端から送給し、加工材5の間にアーク6を発生させる。溶接電源7は溶接ワイヤ2と加工材5とに結線してある。粘性液体8は送入口4からノズル3の外周を軸方向に送給され、トーチ先端から流下してアーク及び溶融金属を覆いこれらを水9から遮断する。粘性液体は水ガラス等に炭酸カルシウムなどのアーク安定剤を混入したものである。

図2は、この発明を適用した水中プラズマ溶接法の例で、構成の要部は溶接棒9、トーチ10、陰極11、ノズル12、加工材13、粘性液体送入口14、プラズマアーク15、電源16、17、粘性液体流出口18である。プラズマ作動ガスと粘性液体8の中に有効に空洞が形成され、その中でプラズマは安定に維持されて溶接熱源になる。

この溶接法によるとプラズマ及び溶融金属は粘性液体によって雰囲気の水から完全に遮断され、粘性液体内で形成される空洞の揺動が少ないので、溶接が安定に行われる上に、水による溶接部の急冷が防止される結果、溶接部の外観が美しく、ブローホール、アンダーカットのない良好な溶接ができる。

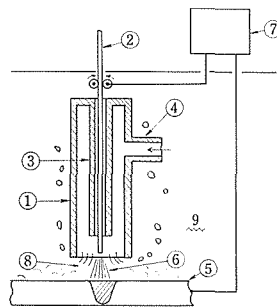


図 1

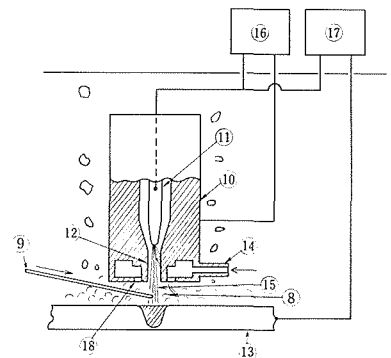


図 2

通巻 第206号

編集兼発行人 林 弘  
印 刷 株式会社 ユニオンプリント  
東京都大田区中央 8-30-2  
電話 東京(03)753-6969(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 (153)