

金属材料研究

1971

科学技術庁

NO. 6

ニュース

金属材料技術研究所

高融点金属の転位挙動

高融点金属は Fe と同様体心立方格子を有し、低温になるほどそ性変形に要する力が増大する特徴がある。低温ぜい性はいわばこの現象の副産物である。一方 Cu や Al 等の面心立方金属は一般にじん性に富み、変形応力の温度依存性もほとんどない。体心立方と面心立方のこのような対照的性質の相異はこれまで結晶格子に特有なものか、それとも不純物等の付随的な効果かが一つの問題点となっている。ところで同じ体心立方の高融点金属の中でも、Mo, W それに Fe は、Nb, Ta とじん性その他の変形の挙動がかなり異なり、後者は面心立方金属に近い高いじん性を持っている。金属物理第 4 研究室では Nb を中心に Ta, Mo およびそれらの合金を、超高真空中での加熱により不純物をコントロールして、超高圧電子顕微鏡内で引張変形し、転位の動的挙動を連続観察している。

すでに観察されている Al, Fe, Fe 合金, Cu 等のデータと比較して、これまでに得られた予備的結果では、Nb は常温では面心立方的な転位挙動を示した。写真 1 は電顕内で引張変形した Nb の連続写真の中の各一枚で、らせん転位が試料面に平行な場合 (a) に比べて、そうでない場合 (b) には転位はジョグを引きずっているにもかかわらず、微小転位ループの形成ひん度が極めて少ない。写真 2 は比較のため (b) と同様の条件で観察した Fe-3%Si の場合を示す。これらの写真から、Nb は他の体心立方金属に比べて転位が直線的ならせん転位になろうとする傾向が弱いこと、それにもかかわらず、交又すべりは容易であること、またキンクやジョグの保存運動が重要な過程であることを示している。このような観察をおし進め、金属の変形機構やぜい性、じん性の転位論的解明に資することを企図している。

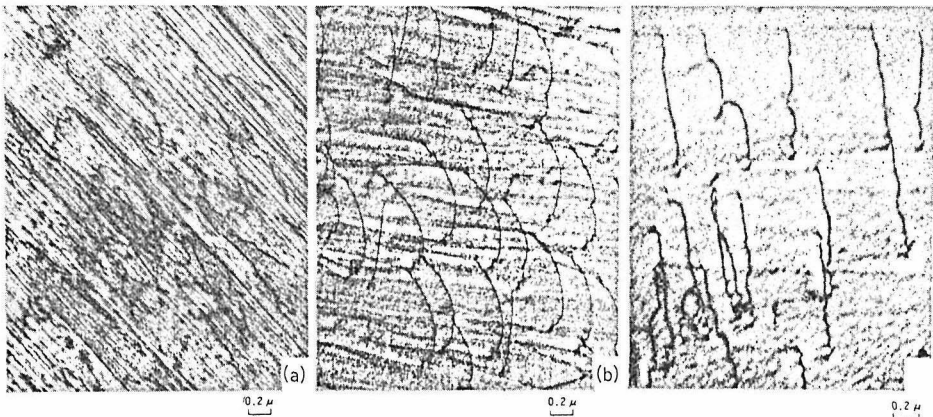


写真 1 電顕内で変形中の Nb の転位

写真 2 変形中の Fe-3%Si の転位

時効性 Cu および Ni 合金の研究

結晶は原子や分子が規則的な一周期的な一配置をしている。今不特定の原子でなく、溶質原子の濃度や、クラスター、または析出物が周期的に配置しておれば、合金の性質はどのようになるか。さらに進んでは、このような周期的分布を利用して、合金の性質を改善する方が与えられないだろうか。このような点が非鉄金属材料研究部第1研究室でおこなっている研究の主題である。

さて上述のように数原子から数百原子におよぶ1つの単位が周期的に分布している可能性をもつ現象としては、古くは Cu-Ni-Fe 合金の粉末法回折写真にあらわれるサイド・バンドがあり、新しくは最近理論的にとりあつかえるようになったスピノーダル分解がある。研究の開始にあたってはこれらの現象をまず適確に把握することから始めた。実験方法としては、時効の間に起る組織変化をできるだけ直接的な手段で検知するため、小角散乱法やギニエ・カメラを用いたX線回折および透過電子顕微鏡による直接観察を中心とした。

実験材料としては Cu-4%Ti および Ni-10%Ti 合金を用い、高温の单相範囲から焼入れた後、2相範囲で時効した。図は得た結果の説明図である。Cu-4%Ti 合金を例えば 200°C で時効すると図(a)のように 120Å 程度の波長をもつ濃度のゆらぎを生じ、その振幅は時効時間 t とともに増加する。時効時間が12分を越えると、図(b)のように波長の増加が始まり、15分に達すると濃度の分布は図(c)のように角型即ち、界面の明確なクラスターとなる。同じ時期から析出速度は急減する。図(a), (b)のような組織変化では溶質原子の拡散は濃度の高い方に向っている (uphill diffusion) が、これはスピノーダル分解である。時効温度を上げるに従い、短時間で図(c)の状態に達するようになり、350°C 以上の温度では時効初期から界面の明確なクラスターが生成する。図(c), (d) の場合の拡散は down-hill diffusion である。丁度図(d)の組織をもつ時期から粉末法X線写真は主回折線の傍に異常回折線、即ちサイド・バンドを伴っており、これはクラスターの分布が規則的であることの証拠である。この場合分布の周

期性は結晶格子のように正確なものではなく、ある一定値 Q を中心に一定の分布をもっている。クラスターの大きさ b およびその分布間隔 Q は $\log t$ に比例して増加する。450°C, 30分時効した試料では b は約 50Å, Q は約 180Å である。

以上述べたような組織の変化は電気的性質に大きい影響を与える。たとえば電気抵抗は濃度のゆらぎの振幅の自乗に比例して低下する。変形により試料に存在する濃度分布の周期性を破壊すると抵抗は増加する。また機械的性質は改善され、延性の低下を引き起さずに強度を増加する。現在これらの点に関してもっと詳しい知見を得るため研究を進めている。

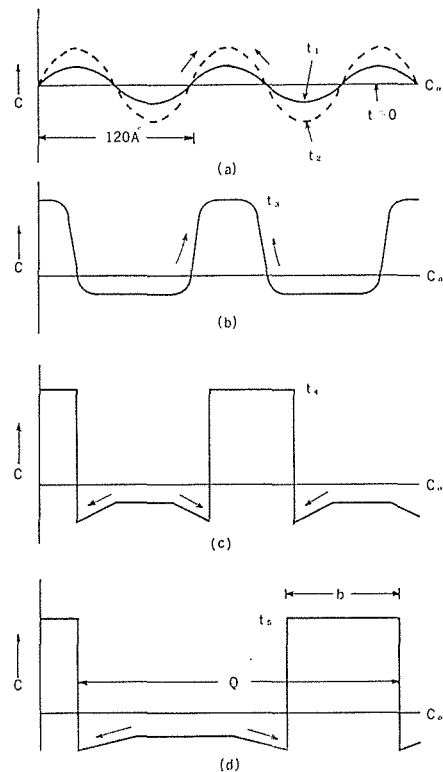


図 Cu-4%Ti 合金の時効に伴う組織変化。
C は溶質原子濃度、矢印は溶質原子の流れを示す。 $t_1 < t_2 < t_3 < t_4 < t_5$

疲れき裂の伝播

構造部材の疲れ破壊では一旦き裂が発生してもそれが徐々に伝播してかなりな時間後破壊することも多い。鋭い切欠底に生じたき裂ではその伝播が停留することも多くみられる。近時機械・構造物に対する使用上の要求がきびしくなるに従い、その疲れに対する設計は一定時間の使用に耐えればよいという考え方で、疲れ限度でなく時間強度を基準にして許容応力を定めるようになった。そのため長時間使用すれば疲れき裂が発生伝播する可能性のある部材も多くなってきた。また非破壊検査の発達により、ごく小さなき裂も見えてきたようになったが、残り寿命の判定上そのき裂が急速に伝播するものかどうかを知る必要も起こってきた。材料強度研究部では上記の動向に鑑み、また先に行なった腐食疲れ・熱疲れの研究で寿命の大部分がき裂伝播期間であったことから疲れき裂伝播に注目し、粗粒と細粒の炭素鋼を用いて停留き裂の研究および主として SUS29 を用いて塑性疲れのき裂伝播の研究を行なっている。

停留き裂に関してはき裂底から材料により定まる一定の深さの点の応力振幅が降伏点を越したときき裂が進展する、という仮説を立てることにより実験結果を説明できることを示した。腐食疲れや熱疲れ、高温疲れでは多数のき裂が発生伝播し、そのき裂のいくつかがつながり破面となる。この多数き裂の分布状態を統計的に表わすためにき裂密度という概念を導入した。高温塑性疲れを

行なった試験片表層を電解研磨で削除し、内部方向へのき裂密度の変化を測定して、き裂の挙動の観点から塑性疲れ過程を研究した結果、塑性歪振幅が同じならばき裂は同じ過程をたどって発達し、温度が高くなるとその過程をたどる速度が早くなることが分り、疲れ寿命を解析する有力な手掛りとなった。

切欠試験片の疲れでは単一のき裂が発生伝播しき裂の状態はき裂の深さで代表される。き裂底の弾性的な応力状態は称呼应力とき裂深さから求められる応力拡大係数K値で代表されるが、高繰返し疲れではき裂伝播速度はこのK値の関数となるとされている。塑性疲れではき裂底の塑性域が比較的大きく、弾性的なK値で伝播速度をあらわせるかは疑問である。そこで片側切欠き板状試験片で引張圧縮歪疲れ試験を行ない、き裂深さとともにき裂をはさむ100 μ の標線間の変位でき裂先端の開き量を測定した。図1のようにき裂深さとそのときのき裂伝播速度の関係は歪振幅により異なるが、図2のようにき裂先端開き量との関係では歪振幅に関係なく一つの直線となる。このような結果から塑性疲れではき裂底の歪がき裂伝播速度に関係深いと考えられる。図3は応力拡大係数の応力振幅の項を歪振幅で置換えて伝播速度との関係を示した一例である。横軸にK値をとると試験条件ごとに別々の曲線群になるが図の場合は一つの曲線であらわし得る。

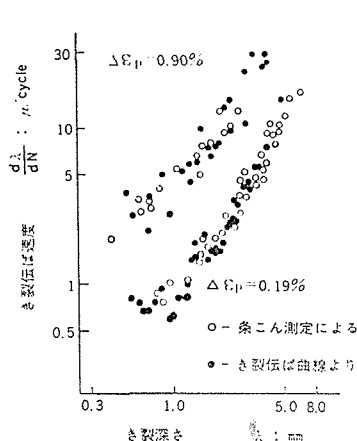


図1 き裂深さとき裂伝播速度との関係 (SUS 29)

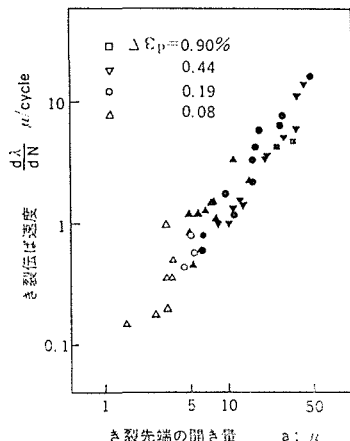


図2 き裂伝播速度とき裂先端開き量との関係 (SUS 29)

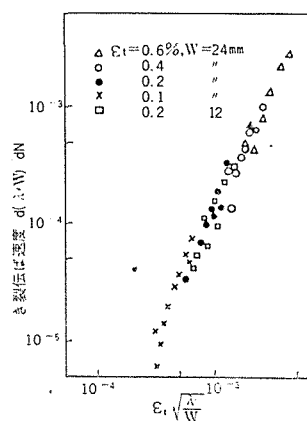


図3 き裂伝播速度と係数 $\epsilon\sqrt{\frac{\lambda}{W}}$ との関係 (A 302 B)

クリープデータシート作成の現況

国産高温用実用材料のクリープデータシートを作成するために、昭和41年度よりクリープ試験に着手し、現在まで、表1に示すように、毎年数種類ずつの材料をとりあげてきた。これら35種類の

材料より採取する供試材の数は、約280溶解材となる。表中*印のものは、すでに現在、10万時間目標の試験が進行中のものである。

表1 データシート作成材料表

材 料 名	主 要 成 分	クリープ破断 試験温度(°C)	用 途 と 形 状	着手年度
板 材				
SB49	0.3%≥C	400, 450	ボイラ・圧力容器用鋼板 t≥80	41
SB56M	1.3%Mn, 0.5%Mo	450, 500	ボイラ・圧力容器用鋼板 t≥80	41*
SPV46	} (60キロ級高張力鋼)	400, 450, 500	圧力容器用鋼板 t≥25	45
SPV50		400, 450, 500	圧力容器用鋼板 t≥25	45
ASTM A387C	1.25%Cr, 0.5%Mo, Si	500, 550, 600	圧力容器用鋼板 t≥30	44
ASTM A387D	2.25%Cr, 1%Mo	500, 550, 600	圧力容器用鋼板 t≥60	42
SUS27HP	18%Cr, 10%Ni	500, 550, 600	原子炉構造材 t=25	45
SUS32HP	18%Cr, 12%Ni, 2%Mo	500, 550, 600	原子炉構造材	45
		700, 750, 800	反応容器用鋼板	42
管 材				
STB42	0.32%≥C	400, 450	ボイラ・熱交換器用鋼管 50.8φ×8.0t	41*
STBA12	0.5%Mo	450, 500	ボイラ・熱交換器用鋼管 60.3φ×9.0t	42*
ASTM A213-T2	0.5%Cr, 0.5%Mo	450, 500, 550	ボイラ・熱交換器用鋼管 50.8φ×8.0t	44
STBA22	1%Cr, 0.5%Mo	500, 550, 600	ボイラ・熱交換器用鋼管 50.8φ×8.0t	41*
STBA23	1.25%Cr, 0.5%Mo, Si	500, 550, 600	ボイラ・熱交換器用鋼管 50.8φ×8.0t	41*
STBA24	2.25%Cr, 1%Mo	500, 550, 600	ボイラ・熱交換器用鋼管 50.8φ×8.0t	41*
STBA25	5%Cr, 0.5%Mo	500, 550, 600	ボイラ・熱交換器用鋼管 60.3φ×9.0t	42*
STBA26	9%Cr, 1%Mo	550, 600, 650	ボイラ・熱交換器用鋼管 60.3φ×9.0t	43
SUS27HTB	18%Cr, 8%Ni	600, 650, 700	ボイラ・熱交換器用鋼管 50.8φ×8.0t	41*
SUS29HTB	18%Cr, 10%Ni, Ti	600, 650, 700	ボイラ・熱交換器用鋼管 50.8φ×8.0t	41*
SUS32HTB	16%Cr, 13%Ni, 3%Mo	600, 650, 700	ボイラ・熱交換器用鋼管 50.8φ×8.0t	41*
SUS43HTB	18%Cr, 10%Ni, Nb	600, 650, 700	ボイラ・熱交換器用鋼管 50.8φ×8.0t	46(予定)
鍛圧材				
ASTM A470F	1%Cr, 1%Mo, 0.25%V	500, 550, 600	蒸気タービン用ロータ 胴径≥800	41*
SUS50B	13%Cr, 低C, 低Si	450, 500, 550	蒸気タービン用ブレード 46 □	42
ASTM C-422	12%Cr, 1%Mo, 1%W, 0.3%V	500, 550, 600	蒸気タービン用ブレード 46 □	41*
SUS32B	16%Cr, 13%Ni, 3%Mo	700, 750, 800	高温用鋼棒 50~60φ	42
鋳造品				
ASTM A567 HK40	0.4%C, 25%Cr, 20%Ni	800, 900, 1000	改質塔用遠心鋳造管	42
ASTM A356-9	1%Cr, 1%Mo, 0.25V	450, 500, 550	タービンケーシング	45
耐熱合金				
A286	15%Cr, 26%Ni, 1.25%Mo, 2%Ti, 0.2%Al, 0.3%V, 残Fe	550, 600, 650	ガスタービン用ディスク	43
ASTM B407 (Incoloy 800)	21%Cr, 32%Ni, Ti, Al, 残Fe	800, 900, 1000	化学工業用管	44
ASTM B409 (Incoloy 800)	21%Cr, 32%Ni, Ti, Al, 残Fe	800, 900, 1000	化学工業用板	44
S590	20.5%Cr, 20%Ni, 20%Co, 4%Mo, 4%W, 4%Nb, 残Fe	650, 700, 750	ガスタービン用ブレード	43
N155	21%Cr, 20%Ni, 20%Co, Mo, W, Nb, N, 残Fe	550, 650, 750	ガスタービン用ブレード	46(予定)
Inconel 700	15%Cr, 29%Co, 3%Mo, 2.2%Ti, 3.2%Al, 0.8%Fe, 残Ni	700, 750, 800	ガスタービン用ブレード	43
Inconel 713C	12.5%Cr, 4.2%Mo, 2%Nb, 0.8%Ti, 6.1%Al, 0.012%B, 0.10%Zr, 残Ni	850, 900, 950	ガスタービン用ブレード	43
U500	18%Cr, 17%Co, 4%Mo, Ti, Al, Fe, B, 残Ni	700, 800, 900	ガスタービン用ブレード	46(予定)
X45	25%Cr, 10%Ni, 7.5%W, 2%Fe, 1%Mn, 残Co	800, 850, 900	ガスタービン用ブレード	43

通巻 第150号

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所

編集兼発行人 林 弘
印刷 奥村印刷株式会社
東京都千代田区西神田 1-1-4

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)