

SUS316 ステンレス鋼板の高温疲れ特性データシート

疲れ試験部では、国産実用金属材料の疲れデータシート作成の試験研究を進めており、本年度は53年度に続き“金材技研疲れデータシートNo.8～No.15(1979)”としてその成果を公表した。

高温下で使用される機械、構造物においては、装置の起動、停止など温度変動時に生ずる大きな変形の繰返しによる低サイクル疲れ破壊や、稼動時に受ける荷重の繰返しによる高サイクル疲れ破壊が問題となる。そこで高温用材料については高温高サイクル疲れ試験や高温低サイクル疲れ試験を行い、高温疲れ特性のデータシートを作成している。ここでは、高温用機器に広く用いられる熱間圧延ステンレス鋼板 SUS316-HPの高温疲れ特性（疲れデータシートNo.15）を紹介する。

高サイクル疲れ試験では、繰返し数 10^8 回（1億回）までの回転曲げ疲れ試験を行った。図1は平滑材に対するS-N曲線（応力振幅と破断までの繰返し数の関係）である。室温～600℃の範囲では明りょうな耐久限が認められる。また400～600℃では繰返し数 10^8 回の疲れ強さは各温度での0.2

%耐力の1.3～1.4倍と大きくなった。

低サイクル疲れ試験では、ひずみ速度6, 0.6, および0.06%/分の三角波形による引張圧縮疲れ試験を行った。400～600℃では繰返しひずみに伴い材料は著しく硬化する。これは高サイクル疲れ強さが耐力よりも大きくなることと同じく、繰返し変形下でのひずみ時効によるものと考えられる。ひずみ速度6%/分では、全ひずみ幅と破断繰返し数の関係において（図2）、700℃における高ひずみレベル域を除き、温度が高くなると破断繰返し数は低下する。ひずみ速度の減少に伴い破断繰返し数が低下する現象は400, 500℃で認められたが、700℃ではほとんど認められなかった。このようなひずみ速度効果の原因としては、温度域によって異なるが、ひずみ時効による硬化、クリープ損傷の重畳、回復による軟化及び酸化の影響が考えられる。

なお、このような試験データは国産材料の高温疲れ設計曲線を定める際の基礎となるものと思われる。

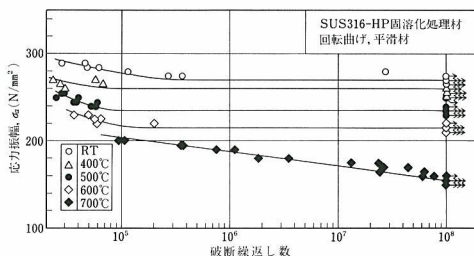


図1 高サイクル疲れ試験結果

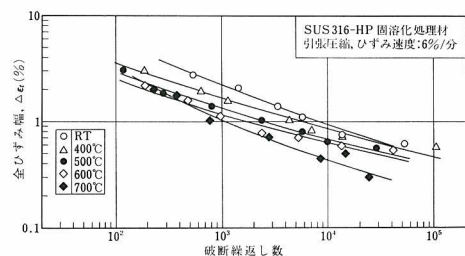


図2 低サイクル疲れ試験結果

核融合炉第一壁用金属材料のヘリウム照射によるブリスタリング

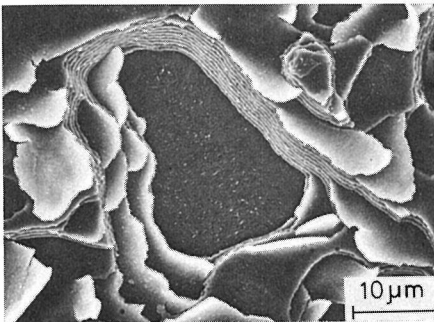
実用化すればエネルギー問題を半永久的に解決すると言われている核融合炉は臨界プラズマの実現にあと一步の所まで来ており、研究開発の比重は次第に材料等の工学的問題に移りつつある。核融合炉の中で材料にとって最も厳しい条件の課せられる部分は高温のプラズマに面する第一壁と呼ばれる部分である。核融合炉が出来ていない現在、第一壁の材料がどのような影響を受けるかについては原子炉による中性子照射や加速器によるイオン照射の結果や理論から推定するしか方法がないが、重要と考えられている問題の一つにプラズマからの高エネルギー粒子（ヘリウム、水素など）が第一壁に当り壁の表面がふくれ上る現象（ブリスタリング）や剥離する現象（フレーキング）がある。これらの問題が重要な理由は第一壁が損傷を受けることもさることながら、剥離した微量の金属がプラズマに混入するとプラズマの温度が著しく下がり核融合反応が停止するからである。

原子炉材料研究部では、金属材料のブリスタリングやフレーキングの特性を研究し、第一壁材料の開発のための資料を得る目的で当所の 500 kV 加速器（ペレット型）でヘリウムイオンを加速し、各種の第一壁候補材料に照射する試験を行なっている。この試験では 316 ステンレス鋼、モリブデン及びバナジウムの 3 種類の材料を同一ターゲット上で同時に照射している。これまでに行なった実験の照射条件はエネルギーが 50~150keV、照射

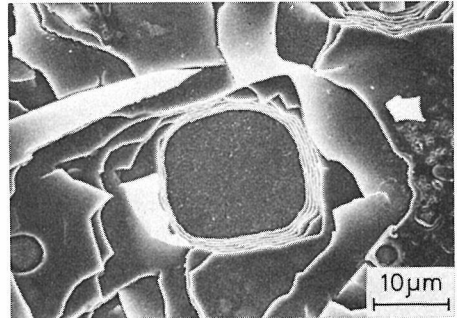
温度が室温~1000℃、照射線量が $1 \times 10^{18} \sim 1 \times 10^{19}$ He^+/cm^2 の範囲である。

照射した試料の表面を走査型電子顕微鏡で観察すると写真に示すように表面層が何層も繰返し剥離した様子が分かる。これは金属中に打込まれたヘリウムイオンが集合してできた多数の気泡が連結して表面下の層に割れを発生し、ガス圧により表面層を押し上げ（ブリスタリング）、遂には剥離させる（フレーキング）現象が繰返し起った結果である。316 ステンレス鋼とモリブデンとバナジウムを比較するとモリブデンが最も剥離層数が少なく、バナジウムが最も多く剥離した。

また、温度を上げてゆくと初めは材料強度が低下することを反映して剥離層数が増加するが、さらに温度が上がるとガスが拡散して表面から逃げるためにブリスタリングは生じるが剥離しなくなる。さらに高温ではブリスタリングも生じなくなり、表面は多孔質の状態となる。したがって中間温度(316ステンレス鋼で450℃付近)で最も表面損傷が激しい。このためブリスタリングを防ぐには材料の使用温度はむしろ高い方が望ましい。しかし機械的強度の面から使用温度は低くせざるをえないとすれば、例えば表面層を多孔質にした材料を用いるなどしてガスが表面から逃げ易くしておけば高温の時と同様にブリスタリングやフレーキングを生じなくすることができると可能性がある。



(a)



(b)

写真 ヘリウム照射による表面損傷（フレーキング）の例

(a)316ステンレス鋼(剥離層数16層), (b)モリブデン(剥離層数8層)

エネルギー 100keV

照射温度 室温~250℃

照射線量 $1 \times 10^{19} \text{He}^+/\text{cm}^2$

フラッシュ溶接現象と電源特性

フラッシュ溶接においては、接合すべき材料の端部を接触させ、その部分をジュール加熱によって溶融、飛散させながら一方の材料を漸進させて連続的にフラッシュを発生させ、端部の温度を上昇させる。そして、この部分が溶接の適温に達したとき、両材料を急速に接近させ強い圧力を加えて溶接する。したがって、フラッシュ溶接は高速度で高品質の溶接部を得るなど多くの特長を有している。しかし、抵抗溶接に共通な電気入力(kVA)が大きいなど利用上の制約もないわけではない。更に、最近では大形部材に対してもフラッシュ溶接が適用される傾向にあり、電気入力の問題の解決は重要な課題の一つである。

フラッシュ溶接過程はフラッシュ過程とアプセット過程の二つに分けられるが、溶接機の最大入力は短絡電流であるアプセット電流の大きさによって決定される。溶接研究部においては、アプセット電流を極力小さくすることによって電気入力の低減を計るための研究を行っている。すなわちフラッシュの発生現象と溶接機の電源特性との関係を検討し、適正な加熱が得られるフラッシュ条件を求めることによって必要なアプセット電流を低下させるとともに、フラッシュ溶接に一層効果的な新しい特性をもつ電源の開発を進めている。

フラッシュ溶接中の電流波形は図1に示すように、フラッシュ過程では複雑な過渡電流となっている。このフラッシュ電流波形は溶接機の電源特性のほか、材料の種類、寸法、形状、移動速度等によって影響を受ける。そして、フラッシュ過程において溶接部の品質に影響を与えるのは主に末

期の現象と考えられるので、その電流波形の解析を行った。一般に、フラッシュ電流波形は図1の拡大図に示すように、交流電源のため各半サイクルごとに電流は零となる。この瞬間をはさみある期間にわたり材料の端部は接触状態となり短絡電流が流れている。次いで、フラッシュが発生している期間及び材料の端部が未接触状態となっている期間が存在している。これらの期間をブリッジ期間、フラッシュ期間及びオープン期間と呼ぶ。

図2は、板厚1.2mm、板幅67mmの冷間圧延鋼板についての一実験結果であり、二次無負荷電圧以外には標準条件としたときのフラッシュ現象に対する二次無負荷電圧と電源インピーダンスの影響を示している。電圧の上昇にともないブリッジ期間は急激に減少し、オープン期間は増大している。一方、フラッシュ期間は45～65%の範囲内であって変化は少ない。また、溶接機の電源トランス及びその二次導体を含む回路のインピーダンスの増大は、各期間を示す曲線をいずれも高電圧側に移動させる傾向にある。更に、このような条件下で溶接した継手の機械的性質及び組織の検討も行っている。その結果、電圧が上昇するにつれて継手の機械的性能は低下する傾向にあることが明らかになった。これは材料の端部の大気による汚染と密接に関係し、しかも加熱に何んら寄与しないオープン期間が電圧の上昇に比例して増大していることに原因しているものと考えられる。

現在、上記のような結果を基に、フラッシュ溶接に適した特性を有する電源の開発のための研究を進めている。

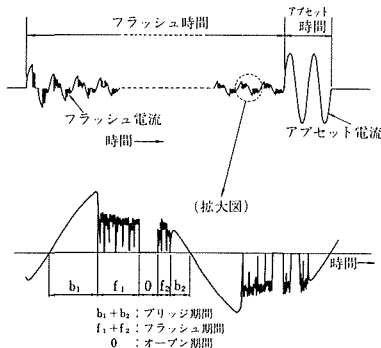


図1 フラッシュ溶接の電流波形

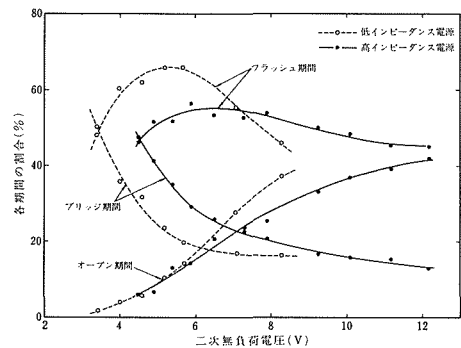


図2 フラッシュ過程末期の現象と二次無負荷電圧との関係

【出願公開発明の紹介】

ばり除去法 特公開昭53-116227
昭和53年10月11日

従来、ばりの除去法としては、グラインダー等による機械的な削除やガス燃焼炎による溶融除去が行われているが、騒音、作業環境上の面で多くの欠点を有する。しかし、本発明によれば、ばり先端とその周囲に配置した電極との間にアークを発生させ、さらに該アークをばり全周に駆動させることによって、短時間に効率よく、かつ製品を損なうことなく、自動的にばりを溶融除去することができる。

高融点金属の細線製造法 特公開昭53-116224
昭和53年10月11日

本発明は、底部に開口を有する水冷銅容器内で高融点金属を融解し、底部開口より垂下する溶融金属に水冷金属回転円盤の先端を接触させて金属細線を連続的に抽出する方法に関するもので、急冷による組織微細化にもとづいて、細線の機械的性質や電気的性質が改善され、この利点を活かした超電導材料、磁性材料、原子炉材料等の細線の製造が可能となる。

ルテニウム又は銀を含む耐食チタン合金 特公開昭53-123322
昭和53年10月27日

チタン及びチタン合金は一般に酸化性の環境下では耐食性に優れているが、還元性の環境下では耐食性を示さず、特にフッ化水素酸を含む環境下での耐食性の低下は著しい。本発明による合金はチタンに0.5~2重量%のルテニウムまたは1~6重量%の銀を添加したもので、還元性の環境下においても充分耐食性を示し、従来使用されなかったフッ化水素酸が存在する環境下での使用が期待される。

銀を添加した多元の耐食チタン合金 特公開昭53-123323
昭和53年10月27日

本発明による合金はベータ型チタン合金に対し1~2重量%の銀をチタン成分に置き換えて構成された多元の耐食チタン合金で、還元性の環境下でも充分耐食性を示し、従来使用されなかったフッ化水素酸が存在する環境下での使用が期待される。

鋳型の硬化法 特公開昭53-130222
昭和53年11月14日

鋳型を炭酸ガスで硬化させる場合、表面に未硬化の軟化層が発生し、型くずれ、変形等造型上の問題が生じるとともに、鋳型の強さが十分得られない欠点がある。本発明の硬化法によれば、炭酸ガスの露点を0℃以上に上昇させることにより、上記未硬化層の発生を防止することができ、十分な硬さの鋳型を得ることができる。

金属の複合加工法 特公開昭53-130229
昭和53年11月14日

金属を成形する鍛造加工では、一般に金型に衝撃的な圧力や高温がかかるため、金型寿命も短くなり、また加工時に騒音や振動を発生し、環境上にも問題が多い。本発明は、あらかじめ成形した金属体の中に溶融金属を注入しておき、これを金型中にて加圧成形する方法で、加圧力も著しく軽減するため、騒音、振動は少なくなり、金型に直接溶融金属が接触しないので金型寿命の改善も期待される。

複合加工法による超電導材の製造法 特公開昭53-135596
昭和53年11月27日

本発明は、V-(0.5~20原子%)Al合金と、Cu-(1~15原子%)Ge合金、Cu-(1~15原子%)Si合金、Cu-(2~25原子%)Ga合金または前記銅合金にAl15原子%以下を含む合金中の一つとの複合体を作り、塑性加工と熱処理を経て2種類の合金相の境界に $V_3(Al, Ge)$ 、 $V_3(Al, Si)$ 、 $V_3(Al, Ga)$ を生成させることを特徴とする超電導材の製造法に関するもので、超電導状態がきわめて安定で実用価値の高い超電導線材が得られる。

超塑性金属の複合加工法 特公開昭54-28262
昭和54年3月2日

従来の超塑性金属は、超塑性温度域が比較的狭くひずみ速度も遅いため、工業的にはまだ多くは利用されていない。本発明は、超塑性金属から成る中空体に溶融金属を注ぎ、その凝固熱によって中空体が超塑性温度域に至ったとき、金型中にて加圧成形する方法で、加圧力が軽減されるため騒音、振動が減少し、また金型に密着成形されるため複雑な形状の製品を精度よく加工し得る等工業的な利用が大いに期待される。

通巻 第255号

発行所 科学技術庁金属材料技術研究所

編集兼発行人 坂内 富士 男
印刷 株式会社 三 興 印刷
東京都新宿区信濃町12
電話 東京(03)359-3811(代表)

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