

金材技研

1981

科学技術庁

NO. 2

ニュース

金属材料技術研究所

原子炉の信頼性を高めるために

——原子炉環境下の応力腐食割れ——

1974年秋、米国の沸騰水型原子炉（BWR）で水漏れ事故があった。これは、ステンレス鋼で作った再循環水系配管が、応力の残っていた溶接部付近でひび割れを生じた、いわゆる応力腐食割れであった。この事故をきっかけにして、BWRに使用するステンレス鋼の応力腐食割れの研究が内外において精力的に進められ、各種の割れ防止対策が開発されて、その一部はすでに実際の原子炉に適用されている。さらに、BWRの長期的安定性、すなわち信頼性を高めるために、稼働中の原子炉にできるだけ近い状態を再現する試験条件を設定して、割れの原因の追求とそれに対する恒久的な対策の研究も進められている。

腐食防食研究部においては、定常的に運転されているBWRの環境を再現するような試験条件においてステンレス鋼の応力腐食割れを調べ、配管の周方向だけに応力が働いている場合よりも、周方向と軸方向の二方向に応力が働いている場合（二軸応力という）のほうが、著しく割れやすいことなどを明らかにしてきた。一方、実際の原子炉において割れの発生と原子炉の起動・停止の回数との間に相関性がみられたので、定常運転を再現する試験のみでなく、起動・停止時の過渡状態を再現する試験が必要であることがわかった。

したがって、実際の原子炉に使用されていて割れを起こしたものと同一ステンレス鋼を試料として、溶接の際に熱を受けた部分と同じ組織となる

ような熱処理を施した後、高温高压水循環試験装置を使用して、実際の原子炉の起動・停止時における条件（水温、溶存酸素濃度、および応力）よりも苛酷な条件を組み合わせた試験を行った。その結果、上記の三因子の中では繰り返し温度変化の場合が、最も割れが生じやすいことがわかった。

図は、溶存酸素濃度および応力を一定とした場合に、水温の条件が破断寿命に及ぼす影響を調べた結果である。定常運転状態を再現するために水温を290℃一定に保った（a）では、平均破断時間が600hであるが、過渡状態の繰り返しを再現するために水温を145～290℃の範囲で変動させた（b）では、平均破断時間が250hに低下している。以上の研究から、BWRにおける割れが起動・停止時の水温変化によっても促進されることが明らかになった。今後割れ防止のため、さらにきめ細かな研究が必要と考えられる。

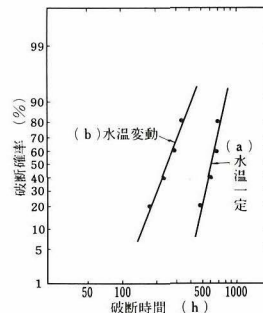


図 304 ステンレス鋼のBWR環境条件下における破断寿命の対数正規プロット

鋼の焼入性試験における熱間加工条件の検討

鋼材の焼入れにおいてどの程度の深さまで硬化するかという性質，すなわち焼入性を試験する方法として，JIS には一端焼入方法が採用されており，試験値のばらつきを小さくするために試験条件を適正化する努力が続けられている。供試材の採取方法については，1977年の改正で，元の直径が32mmをこえる場合には直径30mmに鍛造または圧延して供試材とすることに変更された。そして，鋼種によっては鍛造温度が試験値に影響する場合があるので，鍛造作業を一定条件で行うように注意する必要があることが解説に述べられているが，その詳細については今後の検討課題として残されている。

鉄鋼材料研究部ではこの問題を解明する目的で，焼入性に及ぼす熱間加工条件の影響およびその原因について検討を行った。JISのSCr440に相当するCr鋼を用いて，表に示すような条件で熱間加工を行った。熱間加工後，焼ならしを施した後に焼入性を調べた結果を表に示す。表中の硬さは，一端焼入試験片の焼入端より15mmの距離に相当する冷却条件で，焼入温度(845℃)から冷却したときの測定値(この値が大きいほど焼入性が大きい)を示しており，熱間加工のための加熱温度の影響が大きく，加工過程の影響は小さいことがわかる。そしてこのような焼入性の変化の主な原因は，表の結果にも示されているように，焼入温度に加熱したときのオーステナイト結晶粒度が，熱間加工条件によって変化することにあることが確

かめられた。

オーステナイト結晶粒度の変化は，鋼中のAINの挙動と密接に関係していた。まず熱間加工のために加熱した際に，鋼中のAINは1250℃×30min加熱ではマトリックスに完全に固溶したが，1050℃×30min加熱では完全には固溶せず，0.01%のAINが未固溶のまま残存していた。これらの試料を熱間加工した後に焼ならしのために870℃に加熱すると，AINの再析出が起こってAIN量が増加し，両試料ともほぼ同様(0.017%)になった。しかしその析出状態は写真に示すように，1250℃加熱試料の方がかなり微細であった。このように微細に析出したAINはオーステナイト結晶粒の成長を抑制する効果が大きく，結晶粒径を小さくする。そして焼ならしにおけるオーステナイト結晶粒度は，焼入れのための加熱においてもほぼそのまま引きつがれ，表のような結果になったのである。さらに，Alを含有しないCr鋼においては熱間加工条件を変化させても，焼入温度におけるオーステナイト結晶粒度ならびに焼入性に変化が認められなかったことは，上記の結論を支持している。

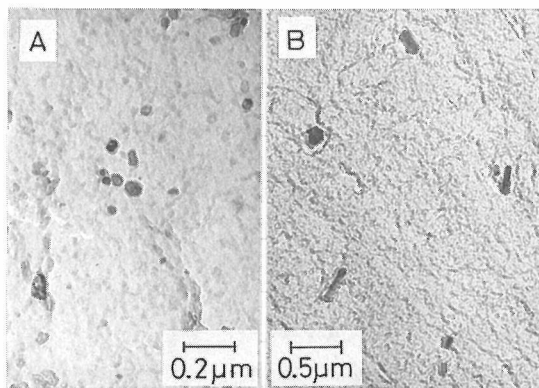
このような結果から，焼入性試験における試験値のばらつきを小さくするために，供試材を用意する際の鍛造または圧延においては，加熱条件，特に加熱温度を明確に規定することが望まれる。加熱温度としてはAINが完全に固溶する温度が適切であろう。

表 Cr 鋼の焼入性およびオーステナイト結晶粒度に及ぼす熱間加工条件の影響

熱 間 加 工 条 件			硬 さ (Hv)	オーステナイト 結晶粒度 ** (JIS No.)
加熱温度* (℃)	圧延開始 温度(℃)	圧延終了 温度(℃)		
1250	1250	1030	452~463	9.8
	1050	970	463~466	9.6
	加 工 な し		455~471	9.5
1050	1050	960	503~513	8.5
	1050	820	495~509	8.5
	加 工 な し		499~522	8.3

* 30min保持

** 焼入温度に加熱したときの粒度



A : 1250℃ 加熱圧延

B : 1050℃ 加熱圧延

写真 熱間加工後，焼ならし温度(870℃)に加熱したときのAINの析出状態(抽出レプリカ)

表面部を低膨張材とした鑄造用金型材の開発

鑄造用金型（以下、金型と略す）が鑄造時に熱ひずみにより変形すると、鑄造される製品の寸法精度の低下あるいは鑄張りの発生などを生じて、金型鑄造の特徴を阻害することになる。特に注湯温度の高い鑄鉄の金型鑄造の場合には、この熱変形に対する対策が必要とされている。

金属加工研究部では、熱変形に対して抵抗性のある金型を開発するために、金型の表面条件と熱変形挙動との関連について研究を進めている。

金型の熱変形には金型材の熱的、力学的性質が複雑な形で影響を及ぼしているが、金型表面部の熱膨張を少なくする方法が有効である。この方法にはa)表面部の温度上昇を防ぐ、b)表面部に熱膨張係数の小さい材料を選ぶ、の2通りがあるが、ここでは後者の方法によることにした。すなわち、金型の表面部だけが低膨張材となるような材料を調製し、熱変形試験を行った。

低膨張材として(A)インバー(37.4%Ni)、(B)インバー型鑄鉄(2.6%C, 1.24%Si, 1.0Mn, 36%Ni, 3.6%Cr)、および(C)ミノーバ鑄鉄(2.3%C, 1.3%Si, 0.6%Mn, 34.7%Ni)の3種類を選び、鑄包み法によりこれらの低膨張材がねずみ鑄鉄(FC25)の表面に所定の厚さ(1, 3, 5 mm)になるように試片(厚さ10mm)を調製し、この試片を

組込んだ試験用金型に鑄鉄溶湯を鑄込んで試片の反りぐあいを測定する熱変形試験を行った。

写真は、鑄包み境界部の顕微鏡組織写真で、表面部の低膨張材と裏側部のねずみ鑄鉄との間には特別に不連続な部分が見当たらず、鑄包み接合は完全に行われている。

図は、表面部の低膨張材の厚さと熱変形量との関係を示したもので、熱変形量は、試片の表面に低膨張材が存在することにより減少し、その低膨張材の厚さが厚くなるほど減少する傾向が認められる。その傾向は、低膨張材がインバー(A)およびミノーバ鑄鉄(C)の場合には顕著であるが、インバー型鑄鉄(B)の場合はそれほどではない。ここで用いた3種類の低膨張材の室温の熱膨張係数はいずれも $2 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ 程度で、ねずみ鑄鉄の熱膨張係数 $10 \sim 11 \times 10^{-6}/^{\circ}\text{C}$ と比較してかなり小さいが、これらの低膨張材でも高温になると熱膨張係数は増大する傾向があるので、高温における熱膨張係数の変化も考慮する必要がある。

以上の結果から、金型表面に熱膨張係数の低い材料を存在させることにより、金型の熱変形特性を改善させることが明らかになった。これを金型の熱変形が問題とされている鑄鉄の金型鑄造に適用すれば効果的である。

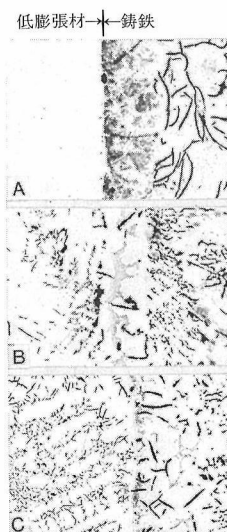


写真 鑄包み境界部の顕微鏡組織
(5%ナイタル・エッチ、 $\times 50$)

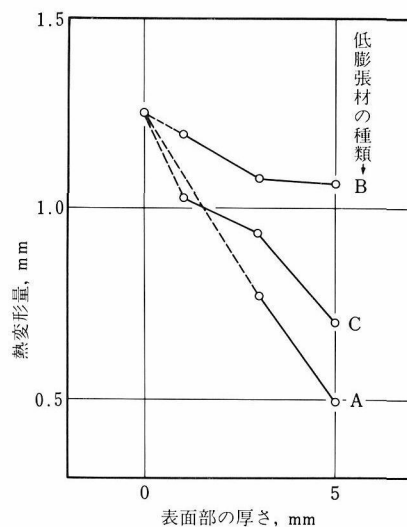


図 表面部の低膨張材の厚さと熱変形量との関係

【特許紹介】

ジャイアント・パルスレーザー光による 溶融物質の直接分析装置

発明者 尾崎 太, 高橋 務, 郡司好喜
公 告 昭和54年4月7日 昭54-7593
特 許 昭和54年10月30日 第975510号

この発明は溶融物質、特に高温溶融物質を直接分析するためのジャイアント・パルス（以下G.P.という）レーザー光を励起源とする発光分光分析法の分析精度、正確度を向上させるための装置に関するものである。

溶融物質をG.P.レーザー光により直接分析する場合、一般に対象とする溶融物質上の空間に溶融物質に起因するガス、蒸気、スラグなど溶融物質とは組成の異なる物質が生成し、この物質が分析値に影響を与える。例えば、溶融鉄中の諸元素の直接分析においては、溶融鉄表面に発生するガス、蒸気、スラグがスペクトル線強度、特に炭素のスペクトル線強度に影響を与え、分析精度、正確度が低下する。

G.P.レーザーによる従来の直接分析装置では、大気中に溶融物質表面が開放されているか、あるいは筒状の採光管を用いて不活性ガスを溶融物質表面に流して、G.P.レーザー光を照射しているが、これらの装置では溶融物質表面上のガス、蒸気、スラグを有効に除去できないため十分な精度、正確度が得られなかった。

この発明は、従来方法による上記の欠点を解決するために、先端に開口を有する先細りの採光筒を分光器の励起光導入管にとりつけ、不活性ガスをこの採光管より噴出させて溶融物質上に存在するガス、蒸気、スラグを吹き飛ばすようにして、精度、正確度の向上をはかったものである。

この装置によれば溶融物質を迅速にかつ高精度に分析することが可能で、特に連続プロセス制御用に、発光分光分析法の多元素同時定量性の特徴を生かして、多方面のプロセスに適用できる。

水溶自硬性鑄型の製造法

発明者 牧口利貞, 村松 晃, 倉部兵次郎
公 告 昭和54年5月30日 昭54-13407
特 許 昭和54年12月27日 第981744

一般に小型鑄物には珪砂にベントナイトを配合した生型、大型鑄物には水ガラスなどの無機質粘結剤またはフラン樹脂などの有機質粘結剤を用い、鑄物の自重に耐えるために強固な鑄型を用いている。いずれの場合も、高温に曝された部分は変質し型ばらしを困難にする。そのため、型ばらし時に粉塵、振動、騒音、悪臭を生じ作業環境を著しく悪化させる。特に、大型鑄物の場合この傾向が著しい。また、変質した鑄型砂は再生が困難であるため、廃棄されるが公害源となっている。

本特許はこのような背景をふまえて、特に大型鑄物を対象にし、水溶性粘結剤を用いて鑄込後水により容易に型ばらしのできることを目的にしたものである。

鑄型材としてはアルミナ砂100部に対し、リン酸カリウムまたはリン酸ナトリウム1～5部、アルミン酸カリウムまたはアルミン酸ナトリウム1～10部を配合し、さらに硬化剤としてアルミニウム粉末0.2～5部添加している。この鑄型はアルミニウム粉末がアルカリ塩と反応し、100℃以上に発熱して余分な水分を放逐して硬化するものである。鑄型の圧縮強さは硬化直後または24h後でも20kg/cm²以上で、現在使用されている鑄型にくらべ何んら遜色なく、十分使用可能なものである。

本鑄型は硬化直後または300～1100℃に加熱した後でも変質がなく、水中で容易に崩壊しすぐれた水溶性を有している。また、本鑄型は鑄型砂としてアルミナ砂を用いているため、溶融金属との反応もなく、焼付けの面でもすぐれている。

これらの特徴から明らかなように、本鑄型を用いた場合、鑄込後の型ばらしが水により容易にできるため、作業能率または作業環境は著しく改善される。一方、水溶性粘結剤を用いているため、アルミナ砂は容易に回収でき、リサイクルが可能となり、廃砂の問題は解決する。

◆短 信◆

●受 賞

日本金属学会論文賞

新居和嘉 腐食防食研究部第1研究室長

倉橋正保 " 主任研究官

吉原一紘 " "

「Fe(100)面上のイオウ、酸素、リンの偏析挙動に関する研究」に対し、昭和55年10月18日表彰を受けた。

●海外出張

中川龍一 金属加工研究部長

ニオブを含む鉄鉱石の精練技術に関する研究のため昭和55年12月8日から昭和55年12月17日まで中華人民共和国へ出張した。

堀部 進 強力材料研究部研究員

高強度鋼の疲労破壊挙動に関する研究のため、昭和56年1月11日から昭和57年1月10日までの予定でアメリカ合衆国ペンシルバニア大学へ出張した。

通巻 第266号

編集兼発行人 吉 沢 慎 介
印 刷 株式会社三 興 印 刷
東 京 都 新 宿 区 信 濃 町 1 2
電 話 東 京 (03) 359-3811 (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