

【247】

氏名	沢田進 さわだすすむ
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第891号
学位授与の日付	昭和51年5月24日
学位授与の要件	学位規則第5条第2項該当
学位論文題目	大型鍛鋼材の焼もどし脆性に関する研究

論文調査委員 (主査) 教授 田村今男 教授 盛利貞 教授 高村仁一

論文内容の要旨

本論文は大型鍛鋼材の高強靱化のための最も大きな問題点である焼もどし脆性について、それにおよぼす種々の因子を解析して、焼もどし脆性の特徴である粒界脆化の機構や脆化の可逆性などについて解明するとともに、それらの研究結果にもとづいた焼もどし脆化感受性の低い大型高強靱鍛鋼軸材の開発研究をまとめたもので、9章よりなっている。

第1章は緒論で、鍛鋼材の大型化にともなう生じる焼もどし脆性の危険性を指摘し、その解明の必要性を述べ、さらに過去における焼もどし脆性の研究結果を概観し、解明しなければならない多くの問題が残されていることを指摘している。

第2章では大型低圧タービン軸材として広く使用されている Ni-Cr-Mo-V 系低合金鋼の各成分の焼もどし脆化に及ぼす影響を検討している。Ni および Cr はその共存において、いずれが増加しても脆化感受性が大きくなり、いずれかが含有されていない場合には感受性が顕著に小さくなることを示した。また、Mo は約0.25%の添加によって脆化がもっとも抑制され、それ以下または以上でも抑制効果がなくなる。本成分系では脱酸剤として使用される Si が脆化感受性を極めて大きくし、PやSnなどの不純物元素とともに極度に低くする必要性のあることを指摘している。

第3章では焼もどし脆化の特徴の1つである、脆化温度範囲(400~550℃)の種々な温度における脆化開始までの時間がC形を示す現象の支配因子を究明すべく、Ni量を変化させた5種のNi-Cr鋼を用いて等温脆化処理を施し、それらの脆化度(衝撃破面遷移温度の上昇量)について検討した。その結果、脆化度を粒界に偏析した脆化寄与元素の量としてとらえ、平衡偏析量と温度との関係および拡散速度と温度との関係の二要因を合せ考えることによって、C形曲線を説明することが出来ることを示した。

第4章では脆化温度範囲以上の温度に保持すると脱脆化し、脆化、脱脆化が可逆的である現象と電気抵抗値変化の関係をNi-Cr鋼により検討している。Ni量を変化させた5種のNi-Cr鋼に脆化および脱脆化処理を施した場合、衝撃破面遷移温度は可逆的に変化するが、電気抵抗値も同様の可逆的变化を示

し、これらの可逆変化量と、Ni 量および粒界破壊傾向の可逆性との間に良い相関があることを示した。

第5章では焼もどし脆化の可逆性を速度論的に検討するために、あらかじめ脆化させておいた Ni-Cr-Mo-V 鋼を高周波加熱装置により脱脆化温度範囲に急速加熱し、種々の時間保持後急冷することによって脱脆化をおこせると、その脱脆化の進行は加熱温度と時間の関数であり、温度が高い場合、数秒で起こることを示した。また、脆化度が粒界に偏析した不純物元素（本研究の場合、P）の粒界濃度と比例しているという条件を用い、脱脆化の進行は粒界偏析元素、Pの粒界から粒内への拡散によって律速されていることを示した。

第6章ではある一定量（約0.25%）の Mo 添加が焼もどし脆化を抑制するという現象に着目し、第5章と同じ手法により Mo 量を変化させた Ni-Cr-Mo-V 鋼（不純物元素として Sn を添加）を用いて脱脆化の進行と Mo 量との関係を検討している。Mo 量が0.25%の時に脆化寄与元素（Sn）の拡散係数Dは最小となり、Mo 量の増加にともなってDも大きくなること、およびDの変化と脆化および脱脆化の進行はよく対応することから、Mo は不純物元素の拡散速度を小さくすることによって焼もどし脆化を抑制していると推論している。

第7章では Ni-Cr-Mo-V 鋼の焼入れ後の焼もどし条件を変化させることにより、その後の脆化処理による脆化の進行および脆化度が異なることを示し、原因として焼もどし組織の差による不純物元素の粒界偏析程度の差に関連することを示している。

第8章では大胴径（最大直径約 2m、長さ約 9m、重さ約 100 t）を有する高強靱低圧タービン軸材の試作経過とその品質について述べている。大胴径であるため焼入れ性および焼もどし脆化感受性を考慮して化学成分、製造熱処理工程を決定し、世界初の大径高強靱軸材の試作に成功しており、種々の試験によって試作軸材は焼もどし脆化感受性が極めて小さくて、十分な強度と靱性を保有し、厳しい使用条件に十分耐えうることを示している。

第9章は総括であり、以上の結果を要約したものである。

論文審査の結果の要旨

鋼の焼もどし脆性は粒界脆化をおこすことが特徴で、一般に焼もどし温度からの急冷によって避けることができるが、大型鋼材においては冷却速度を十分に大きくすることができなくなり、本質的に焼もどし脆化感受性の小さい鋼材の開発が望まれる。本論文は Ni-Cr-Mo-V 低合金鋼を中心とした大型鍛鋼材の焼もどし脆化挙動を詳細に解析し、脆化機構を検討すると同時に、脆化感受性の小さい大型高強靱鍛鋼軸材の開発を行なった研究をまとめたもので、得られた主な結果を要約すると次の通りである。

(1) 大型鍛鋼軸材として広く使用されている Ni-Cr-Mo-V 低合金鋼において、合金元素としての Ni および Cr はその両者の共存において、いずれが増加しても焼もどし脆化感受性を増加させる。特に Ni の影響が著しく、いずれかを無くすれば脆化感受性は顕著に小さくなる。合金元素としての Mo は従来焼もどし脆化を抑制する元素として知られているが、0.25%の添加でもっとも抑制効果が大いことを示した。Mo の抑制効果は単に脆化の進行を遅くするだけで、最終的に到達する脆性には影響を及ぼさないことを明らかにした。P や Sn などの不純物元素は脆化を起す主成分であるが、Ni-Cr-Mo-V 鋼におい

ては脆化に及ぼす Si の影響が非常に大きく、Si 量を 0.05% 以下にすることによって焼もどし脆化感受性は極めて小さく抑えられ、この種の鋼の脆化感受性は、P, Sn, Si および Mn の寄与率と含有量によって整理することが可能であることを示した。

(2) 脆化温度範囲 (400~550℃) の種々な温度での脆化開始までの時間が C 形を示す理由については、脆化寄与元素の粒界での平衡偏析量、拡散速度および温度との関係によって説明し、また脆化温度以上の温度に加熱することによって脱脆化し、脆化、脱脆化が可逆的である現象に関連して、シャルピー衝撃遷移温度の可逆変化量、電気抵抗値の可逆変化量および粒界破壊傾向の可逆性の間に良い相関があることを示した。さらに、焼もどし脆化の可逆性を速度論的に追求し、脆化した鋼の高温度保持による脱脆化の進行は温度が高い場合は数秒で起り、その進行は P や Sn などの不純物元素の粒界から粒内への拡散によって律速されること、および 0.25% の Mo を添加した場合、不純物元素の拡散係数を小さくすることによって、脆化、脱脆化の進行がおそくなることを明らかにした。また、焼もどし反応が進行するほど脆化感受性が大となることを示し、不純物元素の粒界への偏析の程度と関連することを示した。

(3) これらの研究結果を基礎として、化学成分と製造熱処理法を吟味した大胴径 (最大直径約 2 m、長さ約 9 m、重さ約 100 t) 高強靱低圧タービン軸材を試作し、それが焼もどし脆化感受性が小さくて十分な強度と靱性を保有し、厳しい使用条件に耐えうることを示した。

以上要するにこの論文は、焼もどし脆性に関して未知であった本質的諸問題を独自の方法により明らかにしたばかりではなく、その結果にもとづいて焼もどし脆化感受性の極めて低い実用的大型高強靱鍛鋼軸材の開発に成功し、大型鍛鋼材の品質向上への重要な指針を与えたもので、学術上はもとより実際上にも寄与するところが少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として価値あるものと認める。