

誌 上 討 論

論文 | 12%Cr-15%Mnオーステナイト鋼の高温強度に及ぼすVとW添加の影響

宮原一哉・蓑 東樹・酒井英典・
稲波純一・細井祐三
鉄と鋼, 78(1992) 11, pp. 1737~1744

質問 | 金属材料技術研究所 木村一弘・八木晃一

従来、クリープ強度を評価するパラメータとしては一般的にクリープ破断時間や定常(あるいは最小)クリープ速度が用いられております。しかし、最近では定常(あるいは最小)クリープ速度の物理的意味が、とくに析出強化された実用材料等におきまして疑問視されてきております。貴論文ではクリープ破断時間や定常(あるいは最小)クリープ速度だけでなく、内部応力の観点からWやVの添加がクリープ強度に及ぼす影響を検討されており、この点は高く評価されるものと思われます。そこで、以下の点につきまして御回答いただければ幸いと存じます。

貴論文のFig. 5 及び 6 では、12Cr-15Mn-0.2C-0.1N-2W 鋼及びそれにVを添加した鋼について定常(あるいは最小)クリープ変形時に応力急変法によって求めた内部応力及び有効応力と負荷応力との関係が示されております。V無添加鋼(Fig. 5)では、内部応力は負荷応力の増加に伴い増大しますが、負荷応力が約280MPa以上になると飽和する傾向を示しております。このように負荷応力がある程度大きくなると内部応力が飽和し、そのためクリープ速度を有効応力ではなく負荷応力で整理した場合のみかけの応力指数が10以上の大きな値を示すことは、本試料のような析出強化された

材料でよく認められる現象です。

しかしV添加鋼(Fig. 6)では逆に、負荷応力が約280MPa以上に増加すると内部応力は急激に増大しております。ここで問題となる点は、負荷応力の増加に伴う内部応力の増加の程度が著しく大きいために、有効応力は逆に低下しているということです。貴論文では、V添加鋼の内部応力は測定値の幅の最大値であると考察されておられますので、実質的な有効応力はFig. 6 に示された幅の最低値であることになり、負荷応力が約275MPaから314MPaに増加するに伴い有効応力は約95MPaから約60MPaに低下することになります。内部応力の概念に基づいてクリープ速度を検討した場合、クリープ速度は有効応力の n 乗(n は応力指数であり、通常4~5の値を示す)に比例するものと考えられます。したがって、Fig. 6 の結果に基づいて考えますと、約275MPaから314MPaへの負荷応力の増加に伴い、定常(あるいは最小)クリープ速度は1/6から1/10程度に減少することになり、不合理です。

以上の点に関するお考えをお聞かせ願えませんか？

回答 | 名古屋大学工学部 宮原一哉・細井祐三 名古屋大学大学院 蓑 東樹・酒井英典・稲波純一

松尾らのオーステナイトステンレス系固溶合金に関する実験報告¹⁾とは異なり、著者らの2C1N2W0.5V材では、(イ)Fig. 6 に示すように、有効応力が外部応力の増加にも関わらず減少に転じることがあること、また、(ロ)有効応力が減少するにも関わらずクリープ速度は減少しないことに関して、次のような原因が考えられる。

用いた試験片は2C1N2W0.5Vの溶体化処理材であるが、この材料の873Kにおける0.2%耐力は223MPa($\epsilon=2.7 \times 10^{-4}/s$)である。クリープ試験開始の際の235, 275, 314MPaの応力負荷時に、それぞれおよそ0.6, 1.7, 3.0%の塑性変形を生じ、特に314MPaにおいては高密度の転位が形成される。定常クリープ域に入った後に一連のStrain dip testを行うが、その際にPhoto. 4-bに示すような微細な高数密度のVNが析出し、転位の動きを止めているのが透過電顕によ

り観察された。電顕観察は、Strain dip testの後に、外部応力から有効応力を差し引いた応力、すなわち内部応力分の応力を負荷させたまま(クリープ変形は進行しない状態で)約3~6時間保持した試片を空冷後、行っている。初期外部応力が235, 275, 314MPaの場合の転位密度はそれぞれ(転位密度は直線交切法²⁾により求めた)およそ $7.2 \times 10^{13}/m^2$, $9.1 \times 10^{13}/m^2$, $2.6 \times 10^{14}/m^2$ であった。これらの転位は、もし、試験片中に微細なVNの析出がなければ、定常クリープの中の硬化・回復により、応力に応じた本来の定常クリープ時の転位密度に集束するはずのものであるが、微細な析出物に止められ定常状態に到達していないと考えられる。特に314MPaにおいては初期クリープ変形時に導入された高密度の転位の回復が遅れ、上に述べたように他の応力に比べ相対的に高い転位密度状態になり、内部応力は本来より

高く、したがって有効応力は逆に減じたものと思われる。

微細なVNの析出の多少は、電顕の明視野像等観察だけでは明確ではないので、硬さ測定によりそれぞれの試験片の析出硬化状態を調べた。その結果、初期外部応力が、235, 275, 314MPaの試験片のStrain dip testを終えた後の室温での硬さHv(load; 98N(10kg))はそれぞれ 318 ± 2 , 331 ± 4 , 322 ± 4 であった。この値より275MPaの試片においてVN析出がやや多いことが推定される。これは275MPa試片において有効応力を決定するための一連のStrain dip testを最も回数多く行い長時間を要したので、析出が多くなったためと考えられる。ここで、例えば外部応力が275MPaと314MPaの場合の定常クリープ速度について比較する。275MPaにおける方が有効応力は大きい³が、微細析出がやや多いことが推定されることから、転位はより多く析出物にトラップされており、転位の移動速度は遅くなると思われる。また電顕観察による転位密度測定においては275MPaにおいて

転位密度がより小さいことから、可動転位も275MPaにおいてより少ないと推定される。従ってこれらの転位移動速度及び可動転位密度が275MPaにおいて、定常クリープ速度をより小さくする要因になったと考えられる。

以上のように、御質問の有効応力の変化及びクリープ変形挙動は極微細析出がクリープ中に開始したことに起因すると考察されるので、微細VN析出の12%Cr-15%Mn鋼のクリープ中の内部応力、有効応力への影響を明らかにするためには、微細なVNを安定に析出させた後の材料、すなわち、873K, 3600~7200ksの時効済み材についても調べる必要があると考えられる。

文 献

- 1) T.Matsuo and M.Kikuchi: Proc. of Intern. Conf. on Stainless Steels, Vol.1, (1991), p.422
- 2) A.S.Keh: Direct observation of imperfections in crystals, ed. by J.B.Newkirk and J.H.Wernick, (1962), p.213 [Interscience, New York]