

( 続紙 1 )

|  |  |    |            |
|--|--|----|------------|
| 京都大学   | 博士 (エネルギー科学)   | 氏名 | HA YOOSUNG |
| 論文題目   | Recrystallization Behavior of Oxide Dispersion Strengthened Ferritic Steels<br>(酸化物分散強化フェライト鋼の再結晶挙動) |    |            |
| (論文内容の要旨)  |  |    |            |
| <p>本論文は、酸化物分散強化 (ODS) フェライト鋼の再結晶挙動について論じた結果をまとめたもので、6章からなっている。</p> <p>第1章は序論で、核融合炉や先進原子力システムの開発においては、高温で優れた特性を示す構造材料の開発が求められており、ODS フェライト鋼の適用が期待されているが、実用化においては再結晶処理技術開発が不可欠であり、ODS フェライト鋼の再結晶挙動およびその材料性能への影響の理解が重要であると述べている。</p> <p>第2章では、15Cr-ODS フェライト鋼と市販鋼材の16Cr フェライト鋼 (SUS430) の再結晶挙動を硬度ならびに組織に及ぼす等温時効 (1hr) の影響に着目して調べた結果、酸化物粒子を含まない16Cr フェライト鋼の再結晶開始温度が約 800°Cであるのに対し、ODS フェライト鋼では 1350°Cと顕著に高くなることを示している。また、この相違が ODS フェライト鋼中に微細分散されている酸化物粒子によるものであり、酸化物粒子の分布形態が ODS フェライト鋼の再結晶挙動に影響を与えることを明らかにしている。押し出し工程を経た ODS フェライト鋼の室温における引張強度においては、試験片の切り出し方向に依存する異方性が認められないが、700°Cにおける伸びに異方性が生じること、ならびに試験片厚さが薄くなるほどそれら異方性が顕著になることが明らかとなった。</p> <p>第3章では、再結晶挙動に及ぼす冷間圧延の影響を調べ、冷間圧延が回復や再結晶を促進することを示している。また、ODS フェライト鋼の押し出し材と HIP 材の再結晶開始温度を比較した結果、HIP 材の再結晶が 1000°Cから始まること、同じ押し出し材でも Al 添加 ODS フェライト鋼の再結晶開始温度が Al 無添加材に比べ、低下することが示されている。組織観察の結果、これらの ODS フェライト鋼における平均結晶粒径は数 100nm から数 100 <math>\mu</math>m に分布しており、酸化物粒子の数密度も 2 桁程度変化しており、上記の再結晶挙動は、HIP 材、Al 添加/無添加材に形成される酸化物粒子の種類や分散状況の相違によることを明らかにしている。また、押し出し材の冷間圧延による結晶粒の回転について調べた結果、圧延方向が押し出し方向に平行の場合は、押し出し方向の結晶方位は <math>\langle 011 \rangle</math> であるが、押し出し方向に垂直な場合は、<math>\langle 112 \rangle</math> に変化することが判った。</p> <p>第4章では、冷間圧延率の異なる Al 添加および無添加の ODS フェライト鋼に対し、異なる熱処理条件にて再結晶処理を施した場合の硬度、結晶粒度および酸化物粒子の分散状況 (サイズと数密度) を調べ、ODS フェライト鋼の硬さの支配因子の同定を試みた結果、硬さの変化は結晶粒界、酸化物粒子および転位密度の 3 つの因子の寄与の大小で示され、中でも酸化物粒子の寄与が結晶粒界の寄与に比べ大きいと結論している。また、種々の再結晶処理を施した ODS フェライト鋼の硬さは、Hall-Petch の式に従わず、直線から外れる値を示したが、</p> |  |    |            |

TEM 組織観察に基づき、酸化物粒子のサイズおよび数密度から算出した Orowan 応力の寄与分を除いた場合は、ほぼ直線で示されることが判明した。

第 5 章では、ODS フェライト鋼のイオン照射影響に及ぼす再結晶の影響に関するもので、1350℃、1hr の再結晶処理前後におけるイオン照射硬化量ならびに微細組織の相違を調べた結果、再結晶処理により、平均結晶粒径が数 100  $\mu\text{m}$  にまで増大させた ODS フェライト鋼においては、470℃での二重イオン照射（鉄イオンならびに He イオン）により、直径が数十 nm のキャビティーが酸化物粒子と母相との界面上に形成されているのに対し、再結晶していない ODS フェライト鋼においては、キャビティーは全く形成されていないことが示されている。この現象は、ODS フェライト鋼中の結晶粒界や酸化物粒子はイオン照射で形成されるカスケード損傷から生じる原子空孔を捕獲し、空孔集合体の成長を抑制するが、再結晶処理により結晶粒界面積が顕著に減少し、かつ酸化物粒子が粗大化すると、原子空孔の捕獲される場所が減少し、空孔集合体の成長が促進されるためと説明している。

第 6 章は総括であり、本論文では 15Cr-ODS フェライト鋼の実用化において重要課題となっている再結晶挙動を広範な実験条件の下で調べた結果、再結晶処理の影響や再結晶処理条件に関する基本的な特性が明らかになっている。これらの成果は、ODS フェライト鋼の管材の製造プロセスにおける再結晶処理条件の最適化に有用であり、学術上および実際上の貢献が期待される。

(続紙 2)

(論文審査の結果の要旨)

本論文は、酸化物分散強化 (ODS) フェライト鋼の再結晶挙動について論じた結果をまとめたものであり、得られた主な成果は次のとおりである。

ODS フェライト鋼は、高温における強度特性や耐食性ならびに耐照射性に優れているため、次世代原子力システムや核融合炉の構造材料としての利用が期待されている。一方、室温における加工性に難があり、管材製造工程において再結晶処理を施す必要がある。本論文では、15Cr-ODS フェライト鋼の再結晶挙動を明らかにし、ODS フェライト鋼の製管プロセスにおける最適な再結晶処理条件を定めるための基礎的知見を得ることを目的とし、以下の重要な結果が得られている。

まず、高温における等時焼鈍 (1h) 実験から、ODS フェライト鋼の再結晶は、一般的なフェライト鋼の場合の 750℃以上に比べて著しく高い 1200℃以上で生じ、熱的相安定性に優れていることを明らかにしている。再結晶処理は、結晶粒の粗大化及び酸化物粒子の粗大化と数密度の減少を伴い、顕著な強度の低下を招くこと、また、再結晶処理前の冷間圧延による加工硬化は、1000℃までの焼鈍によりほぼ回復し、再結晶温度を低下させることを示した。

次に、再結晶処理に伴う微細構造変化をナノサイズの酸化物粒子の分散状況、結晶粒径および転位密度に着目して、それらの各因子に対して強度変化への寄与を定量的に評価した。その結果、酸化物粒子の分散状態の変化の寄与が最も顕著であり、つぎに結晶粒径、転位密度の変化へと続くことを明らかにした。さらに、圧延に伴う集合組織の形成過程における結晶粒の結晶学的方位回転を調べた結果、圧延方向が押し出し方向に平行の場合は、押し出し方向の結晶方位は<011>であるが、押し出し方向に垂直な場合は、<112>に変化することを見出している。

さらに、ODS 鋼のイオン照射効果 (470℃、Fe イオンと He イオンの同時照射) に及ぼす再結晶化の影響を調べた結果、再結晶前の ODS フェライト鋼においては、ボイドが全く観察されなかったが、再結晶材においてはボイドスウェリングが促進されることを示した。組織観察から、この現象は再結晶に伴う結晶粒および酸化物粒子の粗大化により、結晶粒界や酸化物粒子界面における原子空孔の trap 効果が抑制され、空孔集合体の形成が促進されるためと結論している。

以上、本論文は、15Cr-ODS フェライト鋼の再結晶挙動を明らかにし、再結晶化による強度特性ならびに照射影響の変化のメカニズムを解明するとともに、ODS フェライト鋼管材の再結晶プロセスの処理条件最適化のための有用な知見を与えており、それらの成果は学術上および実際上の貢献が期待される。

よって、本論文は博士 (エネルギー科学) の学位論文として価値あるものと認める。また、平成 26 年 8 月 27 日実施した論文内容とそれに関連した試問の結果合格と認めた。

論文内容の要旨及び審査の結果の要旨は、本学学術情報リポジトリに掲載し、公表とする。特許申請、雑誌掲載等の関係により、学位授与後即日公表することに支障がある場合は、以下に公表可能とする日付を記入すること。

要旨公開可能日：平成 年 月 日以降