

氏 名	矢 野 清 之 助 や の せい の すけ
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 1071 号
学位授与の日付	昭 和 53 年 5 月 23 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	6% Ni 鋼の靱性と $\alpha$ - $\gamma$ 2 相共存域熱処理法に関する研究

(主 査)  
論文調査委員 教授 高村仁一 教授 田村今男 教授 水野政夫

### 論 文 内 容 の 要 旨

この論文は、靱性の高い低温用鋼を得る目的で、従来用いられている鋼に比べて Ni の含有量を低減した 6% Ni を含むフェライト鋼を基本成分として選び、強度・延性および破壊の機構に及ぼす材料学的要因を解明することによって、液体窒素温度でも高い靱性を有する成分系を設定し、これに  $\alpha$ - $\gamma$  2 相共存域に加熱・冷却する新しい熱処理法を施すことによってその靱性が著しく向上する現象を見出し、優れた靱性をもつ超微細 2 相混合組織から成る低温用鋼の製造原理を確立したもので、6 章から成っている。

第 1 章は緒言で、フェライト系低温用鋼の現状と LNG 貯蔵・輸送容器用材として実用されている 9% Ni 鋼に関する研究経過を概観し、Ni 含有量が低く高い靱性をもつ低温用鋼を開発する必要性とその合金設計に関する基本的な考え方など、本研究の端緒と目的とを述べている。とくに、Ni の低減を同じオーステナイト形成元素で廉価な Mn の増量によって補うという基本思想を立て、Mn の増量による焼戻脆化は Mo (または W) の添加によって抑制する方針を述べている。

第 2 章では、まず焼入焼戻 (調質) 鋼の靱性におよぼす Ni の役割を明らかにした後、基本方針に従って 6% Ni 基本成分鋼に主要合金元素として Mn および Mo(W) を添加し、その強度・延性特性、変態特性、結晶微視組織および衝撃破面組織などを詳細に検討すると共に、X線ギニエ集本法によるオーステナイト ( $\gamma$ ) の微量精密定量を行い、高い靱性を示す低温用鋼の標準成分を決定した。すなわち、Mn は焼入性の向上、 $A_{c1}$  変態点の低下に伴う  $\gamma$  相の析出量の増大および調質組織の微細化に寄与し、その適量は 1—2 wt % の範囲であるが、適量以下では焼入性が低下し上部ベイナイトの粗い組織となり、適量以上では焼戻脆化感受性が增大する。この脆化感受性の抑制には Mo(W) の添加が有効であり、その適量は Mo および W ともに 0.1 at % 程度で、これ以上の添加はフェライト地の靱性をかえって損うことを明らかにしている。

第 3 章は、調質 6% Ni 鋼の靱性とその要因について詳細な検討を加えたものである。すなわち、靱性の要因として、結晶組織の微細化、析出  $\gamma$  相の安定化、焼戻脆化の抑制およびフェライト地の焼戻軟化を挙げ、とくに、優れた靱性を示す調質 6% Ni 鋼は、緻密に析出した  $\gamma$  相によってフェライト地が微細に

分割された組織をもつこと、および液体窒素に深冷処理しても残留する安定な $\gamma$ 相の量が多いほど延性に富むことを明らかにした。適量の Mn と Mo を含む調質 6% Ni 鋼における微細に析出した $\gamma$ 相は安定であり、これは Mo による焼戻軟化抵抗のためにより高温まで残留する高密度の転位に沿う溶質拡散の促進によって $\gamma$ 相形成元素である Ni, Mn および C などが富化するためであることを指摘している。また靱性を示す最適焼戻温度が Mo の添加により Mo を含まない場合とは逆に、Mn 含有量の増加とともに低温側にずれる現象を見出し、これはフェライトを分断し粒界を覆うように $\gamma$ 相が析出することによって焼戻脆化が著しく抑制されるためであることを明らかにしている。

第 4 章は、本研究によって得られた 6% Ni 調質鋼を工業的に安定して製造するために考案された新しい熱処理法を述べたものである。すなわち、この新しい低温用鋼は優れた靱性をもつが、最適焼戻温度巾が狭いために安定な製造に問題がある。この問題を解決するために、通常の焼入・焼戻 2 段処理の間に、 $\alpha$ - $\gamma$  2 相共存域に加熱・冷却する熱処理を挿入する新しい熱処理法を考案した。この新熱処理法によって、極めて安定で微細な $\gamma$ 相の析出した超微細 2 相混合組織が得られ、靱性は著しく向上し、広い焼戻温度範囲にわたって  $-196^{\circ}\text{C}$  での衝撃値が  $19\text{ kg}\cdot\text{m}$  以上を示すばかりでなく、試片の採取方向による靱性の異方性の減少や予歪脆化の低減など顕著な改善効果が得られた。

第 5 章では、溶接構造物に適用される鋼材として、溶接部でも十分な強度と靱性が付与されているかを調査し、板厚  $13\text{ mm}$  で入熱が  $25\text{ KJ/cm}$  以上の溶接を行なった場合に強度や延性の低下が生ずるので、溶接熱影響部の靱性改善を試みた結果が述べられている。この靱性低下の原因が主として HAZ の上部ベイナイト組織の生成にあることを明らかにし、その防止には  $0.5\text{--}0.8\text{ wt}\%$  の Cr の添加が有効であり、組織は下部ベイナイト化し緻密となり、その靱性も十分に高位安定化することを結論している。以上の結果にもとづき実際の工程により製造した製品の材質特性を確性試験し、本研究の目途した性能がすべて得られたことを述べている。

第 6 章は結言で、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

この論文は、延性に富み強度の高い低温用鋼を得る目的で、6% Ni を含有するフェライト鋼を基本成分として選び、種々の実験手段を駆使しその強度・延性および破壊の機構に及ぼす材料学的諸要因を解明することによって、液体窒素温度でも高い靱性を有する成分系を設定し、これに $\alpha$ - $\gamma$  2 相共存域に加熱・冷却する新しい熱処理法を施すことによってその靱性が著しく向上する現象を見出し、超微細組織をもつ 2 相合金鋼の安定した製造を可能ならしめた内容を述べたもので、主な結果は下記のとおりである。

1) 6% Ni 調質鋼に靱性を付与する主要添加元素として Mn および Mo を選定するに当たって、変態特性、結晶微視組織および衝撃破面組織と強度・延性特性との関連を詳細に検討して、その標準成分を決定した。すなわち Mn は、焼入性の向上、 $A_{c1}$  変態点の低下に伴うオーステナイト ( $\gamma$  相) の析出量の増大および調質組織の微細化に寄与し、その適量は  $1\text{--}2\text{ wt}\%$  の範囲であり、適量以上では焼戻脆化感受性が増大する。この脆化感受性の抑制には Mo (または W) が有効でその適量は  $0.1\text{ at}\%$  程度で、これ以上ではかえって靱性を損うことを指摘した。

2) 優れた靱性を示す調質 6% Ni 鋼は、緻密に析出した $\gamma$ 相によってフェライト地が微細に分割された組織をもち、 $\gamma$ 量が多いほど靱性に富むことを明らかにした。適量の Mn と Mo を含む 6% Ni 調質鋼における微細 $\gamma$ 相は安定であり、これは Mo による焼戻抵抗のため残留する高密度の転位に沿う溶質拡散の促進により $\gamma$ 相形成元素が富化するためであることを指摘している。また Mo を含むと最適焼戻温度が Mo を含まない場合とは逆に Mn 含有量の増加とともに低温側にずれる現象を見出し、これは旧オーステナイト粒界を覆うように $\gamma$ 相が析出することによって焼戻脆化が著しく抑制されるためであることを明らかにしている。

3) この新しい低温用鋼は優れた靱性をもつが、最適焼戻温度中の狭いのが欠点である。この問題を克服するために、通常の焼入・焼戻 2 段処理の間に、 $\alpha$ - $\gamma$  2 相共存域に加熱・冷却する熱処理を挿入する新しい熱処理法を考案した。この処理により極めて安定で微細な $\gamma$ 相の析出した超微細 2 相混合組織が得られ、靱性は著しく向上し、広い焼戻温度範囲にわたって  $-196^{\circ}\text{C}$  での衝撃値が  $19\text{ kg}\cdot\text{m}$  以上を示すに至った。

4) 構造用鋼として溶接部でも十分な靱性を保つため溶接熱影響部の靱性改善を試み、HAZ の上部ベイナイト組織形成の防止および組織の微細化に対して Cr の添加が有効であり、0.5-0.8 wt% の含有により高い靱性の得られることを明らかにしている。

以上を要するにこの論文は、強度・延性に及ぼす材料科学的要因の解明と新しい熱処理法の考案とにもとづき、優れた靱性をもつ低温用鋼の製造原理を確立したもので、学術上実際上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。