

氏 名	大 谷 泰 夫 おお たに ひろ お
学位の種類	工 学 博 士
学位記番号	論 工 博 第 849 号
学位授与の日付	昭 和 51 年 1 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	鉄鋼材料の熱処理と靱性に関する研究

(主 査)
論文調査委員 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、熱処理による鋼の靱性向上を目的として、変態組織と靱性との関係を明らかにするとともに、不純物元素の粒界への偏析による粒界脆化の機構の基礎的研究をまとめたもので、9章よりなっている。

第1章は序論で、溶接構造物に使用される各種の低合金鋼の進歩を概観し、鋼の靱性向上のためには、変態組織と靱性の関係を明らかにする必要があることを指摘している。さらに合金鋼にあらわれる焼戻し脆性の問題に関しては、従来の平衡偏析では説明できない点を挙げ、合金元素との関連性において微量不純物元素の偏析機構を明らかにする必要があることを指摘している。

第2章は、低炭素低合金鋼の代表的組織であるフェライト+パーライト組織およびマルテンサイト組織について、破面と組織を直接対応づける方法を開発し、低温脆性破面（劈開破面）と変態組織の関連性を走査型電子顕微鏡により追求している。脆性破面は、不連続な破壊の進行を示しており、微細亀裂の生成伝播過程の繰返しから構成されている。この領域を破面単位と定義し、「{100}面を微小な角度内で共有する領域」であることを確認した。フェライト+パーライト組織では、1個ないし場合によっては数個のフェライト粒またはパーライトコロニーより形成されており、マルテンサイト組織では結晶方位の揃ったラス群よりなる領域であることを示した。

第3章では、低炭素低合金鋼のフェライト+パーライト組織、マルテンサイト組織、マルテンサイト+ベイナイト混合組織について破面単位とシャルピー衝撃遷移温度 ($\sqrt{T_s}$) との関係を検討している。破面単位は、破断温度により変化せず、組織固有の量であること、破面単位と $\sqrt{T_s}$ は良い相関にあることを示した。

第4章では、破面単位概念が、高炭素鋼の各種変態組織、すなわち、パーライト組織、擬似パーライト組織、上部ベイナイト組織、下部ベイナイト組織にも適用できることを示している。

第5章では、低炭素低合金鋼の変態組織を電子顕微鏡および光学顕微鏡により観察を行なっている。とくにベイナイト組織については、組織の形態と変態温度によって3種類に大別し、これらをⅠ型、Ⅱ型、

Ⅲ型ベイナイトと名づけた。Ⅰ型ベイナイトは、炭化物析出を伴わないベイニティックフェライト、Ⅱ型はラス状フェライトの界面にセメンタイト析出を伴う典型的な上部ベイナイト、Ⅲ型はフェライトラス内の特定面にセメンタイトが析出しセメンタイトの析出の様相は高炭素鋼の下部ベイナイトに類似していることを明らかにした。これらのベイナイトはいずれも成長方向が $\langle 111 \rangle_\alpha$ 、晶癖面が $\{110\}_\alpha$ のラス状であることを示した。

第6章では、低炭素低合金高張力鋼について、連続冷却時の冷却速度をかえることにより得られる各種変態組織とその衝撃性質を比較した。連続冷却のままの組織の $\sqrt{T_s}$ は冷却速度に対して単調には変化せず、ある冷却速度で $\sqrt{T_s}$ が最も良好となることを見出した。焼戻しを行なっても、 $\sqrt{T_s}$ の絶対値は向上するものの、冷却速度に対する傾向は連続冷却のままと変わらず、調質鋼の $\sqrt{T_s}$ は一次的には焼入時の組織によって決定されることを示した。この最適冷却速度は、C.C.T. 曲線との比較および電顕観察により、Ⅲ型ベイナイト+マルテンサイト混合組織であることを明らかにした。混合組織において破面単位が最も小さくなり、衝撃性質が最も良好となるのは、マルテンサイト変態に先行したベイナイトが、オーステナイト粒をさらに細分する効果を有するためであると推論している。

第7章では、粒界破壊をおこす焼戻し脆性に関して従来の研究を概観し、この現象が合金鋼にのみ現われる点に注目して、脆化機構を粒界炭化物の析出と合金元素の寄与の点から検討を加えている。すなわち極低炭素 Ni-Cr-Sb 鋼を用いて、焼戻し脆性を検討した。80ppm の極低炭素鋼において、焼戻し脆性は、焼入焼戻し材、焼入再結晶材、冷間加工再結晶材のいずれにおいてもおこり、破壊経路は、オーステナイト粒界、フェライト粒界、変態組織の界面に沿っていることを示した。Auger 分光分析により、破面上には Sb, Ni が偏析しており、その量（ピーク高さ）と脆化度はよく対応することを示した。脆化の機構について、脆化温度域における粒界炭化物の析出に基づく不純物元素および合金元素の粒界への排除と再配列による非平衡粒界偏析過程を提唱し、Ti を添加することにより固溶炭素を固定し、脆化温度域での析出を抑制すれば、焼戻し脆性が著しく軽減されることを確認している。

第8章では、同様な実験を極低炭素 Ni-Cr-P 鋼にて検討を行ない、70ppm の極低炭素鋼でも焼戻し脆性が起ることを示し、Ti を添加することにより焼戻し脆性が著しく軽減されることを明らかにした。

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

鉄鋼材料の強度と靱性の向上は、熱処理による変態組織の制御にかゝるところが極めて大である。本論文は鉄鋼材料、とくに低炭素低合金鋼の熱処理による靱性向上を目的として、変態組織と靱性との関係を解明するとともに、合金鋼の焼戻しにともなう粒界脆化に関して微量不純物元素の粒界偏析の機構を提唱したもので、得られた主な結果を要約すると次の通りである。

(1) 低炭素低合金鋼の代表的組織であるフェライト+パーライト組織、マルテンサイト組織について、低温脆性破面（劈開破面）と変態組織を直接対応づけて観察を行ない、脆性破面は微細亀裂の発生伝播の不連続なくり返しから構成されていることを明らかにした。この領域を破面単位と称し、「 $\{100\}_\alpha$ 面を微少な角度内で共有する大きさ」と定義した。すなわちフェライト+パーライト組織では、1個ないし場合

によっては数個のフェライト粒またはパーライトコロニーに対応し、マルテンサイト組織では、結晶方位の揃ったラス群に対応していることを示した。この破面単位概念は低炭素鋼のみならず、高炭素鋼の各種変態組織にも適用できることを明らかにした。

(2) 焼入焼戻しを行なう低炭素低合金調質高張力鋼の連続冷却時に、冷却速度の相違により得られる各種の変態組織の靱性を詳細に検討し、シャルピー衝撃破面遷移温度 (vT_s) が冷却速度に対して単調に変化せず、 vT_s を最も良好にする最適冷却速度があることを発見した。光学顕微鏡および電子顕微鏡により詳細な観察を行ない、最適冷却速度で得られる組織は、マルテンサイト+ベイナイト混合組織であることを明らかにした。このような低炭素鋼のベイナイト組織に関しては、その形態により3種のベイナイトに分類し、これらのベイナイトはいずれも成長方向が、 $\langle 111 \rangle_\alpha$ 、晶癖面が $\{110\}_\alpha$ のラス状であることを明らかにした。靱性の良好な混合組織中のベイナイトは従来いわれている下部ベイナイトに相当する組織であることを示し、混合組織において破面単位が最小となり衝撃性質が最も良好となるのは、マルテンサイト変態に先行して生成したベイナイトがオーステナイト粒をさらに細分化する効果を有するからであると結論した。

(3) 粒界破壊をおこす焼戻し脆性に関しては、炭素鋼におこり難い粒界脆化が合金鋼においておこり易い点に注目し、粒界偏析過程を、脆化温度域における粒界炭化物の析出により排除される不純物元素および合金元素の粒界における再配列がおこる非平衡偏析機構によって説明した。Ti を添加することにより固溶炭素を固定して、脆化温度域における炭化物の析出を抑制すれば、焼戻し脆性が著しく軽減されることを明らかにした。

これを要するに、この論文は低炭素低合金鋼の靱性を変態組織との関係において詳細に検討し、靱性についての金属組織学的根拠を与え、混合組織が最も良好な靱性を有することを明らかにしたばかりではなく、微量不純物元素による粒界脆化に関して、新しい非平衡偏析機構を提唱し、実用鋼開発における靱性向上への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。