

氏名	藤田清比古 ふじ たきよ ひこ
学位の種類	工学博士
学位記番号	論工博第411号
学位授与の日付	昭和46年3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	鋼の結晶粒度に及ぼす添加元素の影響

論文調査委員 (主査) 教授 盛利貞 教授 村上陽太郎 教授 足立正雄

論文内容の要旨

この論文は鋼の結晶粒度に及ぼす添加元素の影響と鍛造および前熱処理の効果ならびにオーステナイト結晶粒度（以下 γ 粒度と略記する）とフェライト結晶粒度（以下 α 粒度と略記する）との相互関係を研究したものでまえがきおよび4章からなっている。

まえがきでは鋼の結晶粒度に関する研究の歴史的発展、結晶粒度と物理的・機械的諸性質との関連性と結晶粒度研究の意義を述べている。

第1章の内容は鋼の γ 粒度に及ぼすN, Al, C, SiおよびMnの影響を研究した結果である。すなわち高純度の純鉄に種々の濃度のN, Al, C, Si, Mnを単独に添加し真空溶解鑄造した鍛伸材と、これらの諸元素を種々の割合に配合し同時に添加した同様の鍛伸材とについて $950^{\circ}\text{C}\times 2\text{h}$ 空冷の焼ならし処理ののち $920\sim 1200^{\circ}\text{C}$ の温度範囲に $3\sim 6\text{h}$ 保持して熱腐食法または浸炭法（一部は焼入れ法）によって γ 粒を現出させて粒度を測定している。さて鋼中にAlNが約0.01%以上析出していると γ 粒は細粒となるというのが従来の定説であるが、純鉄の場合にはたとえ0.01%以上のAlNを析出させても γ 粒度番号は1~4程度の粗粒ないし中粒であり γ 粒は微細化しないこと、すなわちAlNのみでは細粒が得られないこと、またCは微量の範囲で γ 粒をいちじるしく微細化することを多数の試料について確認し、さらにCは γ 粒の初期粒度を微細化するが 1050°C での γ 粒は $\text{C}=0.05\sim 0.1\%$ 以上ではすでに2次再結晶を起こし、粒成長の阻止作用はないこと、またCとNおよびAlを同時に添加した場合の初期 γ 粒度は純鉄にCのみを添加した場合と同じであり、AlNは初期粒度に影響はないが2次再結晶の阻止作用があることを明らかにしてCおよびAlNの γ 粒度に及ぼす作用を解明し、従来の定説がAlNのみに着目しCの作用をまったく考慮していなかったことを指摘した。さらにまたC, Si, Mn, Al, Nの各元素単独, 2元素, 3元素, 4元素および5元素共存の場合に分けて比較検討した結果C, N, AlにMnおよび（あるいは）Si共存の状態において γ 粒はもっとも細くなることを示している。またこれら諸元素を単独に添加した場合についても詳細に論じ、Siは約0.2%までは γ 粒を微細化するがそれ以上では粗大化の傾向を示し、Mnは14%以下でやや微細化の

傾向があり、固溶状態のNは γ 粒を僅かに微細化するが固溶状態のAlは0.5%以下では γ 粒にほとんど影響を及ぼさないことなど多くの新知見を得ている。

第2章では続いて γ 粒度に及ぼすB, O, S, Ni, CuおよびZrの影響を調べた結果を述べている。まずBは γ 粒を粗大化する作用がいちじるしいことを示し、つぎにOはBと同じく粗粒化の傾向を示すが Al_2O_3 となったOは粗粒化の作用が見られないことおよびOは2次再結晶開始までの潜伏期を短縮する作用があるため混粒を助長し、かつ粗粒化温度を低下させることを明らかにし、さらに混粒を呈するCとOとの含有量の相互関係を決定している。つぎにSは0.04%以下の濃度範囲で γ 粒度にほとんど影響を与えず、またNiは全濃度範囲について実験した結果、Niは γ 粒を微細化しその影響は約10%で最大となるがこれ以上の濃度になると却って粗粒化の傾向を示すことを明らかにした。またCuは3%以下の範囲で γ 粒を微細化し、Zrは固溶状態において γ 粒を微細化するが Fe_2Zr の生成する濃度範囲では微細化の程度は顕著でないことを示している。

第3章は γ 粒度に及ぼす鍛造、前熱処理の影響を調べさらにオーステナイト域に加熱する前後の α 粒度と γ 粒度との相互関係を追求した研究結果を述べたものである。まず鍛造すなわち高温加工の影響についてはFe—C系の試料を用いて、鑄造のままおよび鍛造比7ならびに44の各試料を前熱処理ののち925°Cまたは1050°Cに加熱して γ 粒度を比較した結果、各試料各温度とも高温加工の影響は認められなかった。そこでつぎにCおよびAlNを含む試料について前熱処理の影響を検討し、950°C×2h空冷の焼ならし処理、1200°C×2h水冷の溶体化処理および1200°C×2h水冷ののち720°C×5h空冷の析出処理を施したのち920~1100°Cに再加熱して γ 粒度を比較した結果、前熱処理に関係なく γ 粒は試料の化学成分とオーステナイト化温度に支配されることを認め、AlNの析出状態の変化による γ 粒度の変化は認められないことを明らかにした。続いてオーステナイト化前後の α 粒度と γ 粒度との関係については、2次再結晶温度以下でオーステナイト化した場合 γ 粒度とその前後の α 粒度とは等しいこと、2次再結晶温度以上でオーステナイト化した場合 γ 粒度はオーステナイト化前の α 粒度より粗大化するが、粗大化後に生成する α 粒はもとの α 粒度に戻る傾向があること、この粗大化した試料を再び2次再結晶温度以下でオーステナイト化すると最初の α 粒度に近い γ 粒が得られ、これを冷却変態させた α 粒度は最初の α 粒度に等しくなることを各種の試料について実証し、この事実から細粒化効果は $\gamma \rightarrow \alpha$ の変態よりも $\alpha \rightarrow \gamma$ 変態時により顕著であり、その原因は Fe_3C の存在するためであろうと推論している。以上の結果から著者は初期粒度を微細化する元素として少なくともCのみの場合は結晶粒度にいわゆる「固有の粒度」が存在すると結論している。

第4章は以上の研究結果の総括である。

論文審査の結果の要旨

この論文は鋼の結晶粒度に及ぼす添加元素の影響と高温加工および前熱処理の効果ならびにオーステナイト化前後のフェライト結晶粒度(α 粒度と略記する)とオーステナイト結晶粒度(γ 粒度と略記する)との相互関係を調べ、 γ 粒度を支配する因子について検討したもので、高純度の純鉄に種々の濃度のN, Al, C, Si, Mn, B, O, S, Ni, CuおよびZrを単独にまたは同時に添加し真空溶解鑄造し鍛造した試料に焼

ならしの前熱処理を施したのち、920～1200°Cの温度範囲に3～6h加熱保持して熱腐食法または浸炭法（一部は焼入れ法）によって γ 粒を現出させて粒度を測定し考察を加えている。この研究内容を γ 粒度調整に関する従来の知見と比較して重要と思われる項目を列挙するとつぎのとおりである。

(1) 機械的靱性を要求される鋼材にはAl脱酸したキルド鋼を使用するが、Alキルド鋼は γ 粒度が8～10程度の細粒鋼である。戦後鋼中に生成したAlNの分離定量分析法が発表されて以来、 γ 粒を微細化するのはAlNであり、AlNが約0.01%以上含有されると γ 粒は細粒となるが、AlNが消失すると粗粒化を起こすという考え方が従来の定説であった。著者は純鉄の場合にはたとえ0.01%以上のAlNを析出させても γ 粒は微細化しないことを見出し、一方Cは微量の範囲で γ 粒をいちじるしく微細化することを多数の試料によって確認し、Cは γ 粒の初期粒度を微細化するが粒成長の阻止作用はないこと、またAlNは γ 粒所長の阻止作用を有することを明らかにし、従来まったく考慮されていなかったCの効果を明確にしてAlN説を修正した。この結果AlNを含有する超低炭素ステンレス鋼の γ 粒度が細粒とならない従來說による矛盾を合理的に説明できるようになった。

(2) Cのみでは工業用細粒鋼の程度までは γ 粒度は微細化しない。著者はC、Si、Mn、Al、Nの各元素の単独添加および2～5元素の同時添加の場合に分けて γ 粒度を比較検討し、C、N、AlにMnおよび（または）Siが共存する場合に γ 粒はもっとも微細化し、これが工業用Alキルド細粒鋼の γ 粒度に相当することを証明した。

(3) γ 粒度に及ぼすOの影響についてAl₂O₃型のOは粗粒化の作用はないが固溶したOまたはFeO型のOは粗粒化の傾向があることおよびOは2次再結晶開始までの潜伏期を短縮する作用があるため混粒の発生を助長しかつ粗粒化温度を低下させることを明らかにし、混粒を呈するCとOとの濃度の相互関係を決定し、混粒の生成を防止する具体的指針を与えている。

(4) オーステナイト化前後の α 粒度と γ 粒度との関係について組織的な研究は従来皆無であった。著者はこれらの相互関係について系統的かつ詳細な実験を行ない、2次再結晶温度以下でオーステナイト化した場合の γ 粒度とその前後の α 粒度とは等しいこと、2次再結晶温度以上でオーステナイト化した場合は γ 粒度はオーステナイト化前の α 粒度より粗大化するが、粗大化後に冷却生成した α 粒はもとの α 粒よりは大きいがもとの粒度に戻る傾向があること、この粗大化した試料を再び2次再結晶温度以下でオーステナイト化すると最初の α 粒度に近い γ 粒が得られ、さらにこれを冷却変態させた α 粒度は最初の α 粒度に等しくなることを各種の試料について実証し、焼ならし熱処理の意義を明確にした。

(5) このほか各添加元素の γ 粒度に及ぼす影響を定量的に示し、また高温加工は γ 粒度に影響を及ぼさないこと、前熱処理を種々に変化してAlNの析出状態を変化させても γ 粒の初期粒度は変化しないことなどを明らかにし、鋼には熱処理、高温加工によって変化しないいわゆる“固有の粒度”が存在すると結論している。

これを要するにこの論文は鋼のオーステナイト結晶粒度調整に関する従来のAlN説を改め、CおよびAlNの作用を解明して普遍的な説明を与えるとともにオーステナイト結晶粒度調整の本質を明確にしたもので学術上にも技術上にも貢献するところが大である。

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。