

氏 名	佐 藤 洋
授 与 学 位	工 学 博 士
学位授与年月日	平成元年 3 月 15 日
学位授与の根拠法規	学位規則第 5 条第 2 項
最 終 学 歴	昭 和 4 4 年 3 月 東北大学大学院工学研究科金属材料工学専攻 修士課程修了
学 位 論 文 題 目	鋼線材の直接焼きなましに関する研究
論 文 審 査 委 員	東北大学教授 及川 洪 東北大学教授 須藤 一 東北大学教授 西澤 泰二

論 文 内 容 要 旨

炭素含有量0.20%～0.55%の中炭素鋼線材は、通常、変形能を改善するために軟化焼鈍が行われている。その後、伸線加工、鍛造加工、切削加工等により成形され、さらに調質処理が行われ、焼戻しマルテンサイト組織鋼としてボルト、ナット等の強度部材として用いられることが多い。本論文は、上記のように用いられる冷間鍛造用線材の品質についての研究に関するものである。

冷間鍛造用線材を対象にした理由は、切削加工に換わって急速にその冷間鍛造加工の用途が増加しているためである。すなわち、①切削加工に較べると加工費が低く、また加工時の材料歩留りが良好なこと、②鍛造製品の寸法精度が優れており、特に伸線加工後の鋼線から冷間鍛造によって得られた製品については、多くの場合表面の仕上げ加工が不要であることのほかに、③冷間鍛造用工具の品質改善や、④表面欠陥、非金属介在物を含めた鋼材の品質改善によって、冷間鍛造の用途が大幅に増加した。

冷間鍛造加工に対しては、軟質（低硬度）で、かつ高速圧縮成形能の優れた鋼線が必要であり、そのような鋼線を得るために軟化焼鈍や球状化焼鈍が行なわれてきたわけであるが、しかしながら、2次加工における焼鈍工程は線材コイルの再加熱を行うために、大きなエネルギーを必要とする。もし、軟質で高速圧縮成形能の優れた線材が、熱間圧延時の顕熱を利用して得ることができれば、鍛造加工製品を製造するための総エネルギー消費量は極めて少ないものになる。

ところで、線材熱延工程における直接熱処理技術は、モルガンブロックと調整冷却が可能な搬送コンベアを組み合わせたステルモア冷却技術が開発されて以来、今日まで多くの発展をみた。しか

しながら、その多くは数℃/s～数100℃/sの範囲の比較的冷却速度の大きな分野に限られていた。その理由は、線材圧延速度と焼鈍のための線材コイルの搬送速度の間に大きな隔たりがあるため、冷却速度の小さな分野では利用しにくいためであった。線材の直接焼きなまし処理のためには、線材圧延速度と焼鈍のための線材コイルの搬送速度の両者を整合させなければならない。そのためには、線材をリング密度の大きいコイル状に成形して徐冷する方法があるが、この場合には、コイル表層部とコイル中心部の冷却速度の差異によって線材の引張強さのばらつきが大きくなる。逆に、線材をリング密度の小さいスパイラルコイル状に成形して徐冷すると、この場合には極めて長い徐冷炉が必要になり、目的とする総エネルギー消費量の低減ができない。

本研究の目的は、このような制限された条件の下で、軟質かつ冷間鍛造加工性の優れた熱延線材をいかに製造するかにある。これまで直接熱処理として最も多く用いられてきたステルモア線材と球状化焼鈍材（2次熱処理材）の間には、その硬度、限界加工率の点においてかなりの隔たりがあり、現在のステルモア技術のままでは球状化焼鈍材と同等の品質は得られない。従って、次の展開によって本研究を進めた。

- (1) 制御圧延・直接焼きなましによる球状化セメント組織鋼が、従来の球状化焼鈍材と同等の性能を有するか否かを確認する。
- (2) 徐冷後の硬度および冷間変形能に及ぼす合金元素の影響と、直接焼きなまし線材に適した合金元素系を明らかにする。
- (3) 直接焼きなまし線材を得るための圧延、冷却条件と直接焼きなまし線材製造設備のための材料学的な設計諸元を得る。
- (4) 中間設備によって線材コイル内の温度ばらつきを低減するための技術を確立する。
- (5) さらに、開発設備によって得られた線材が、目標品質に達していることを確認する。

本論文は、全8章から構成されている。

第1章においては本研究がなぜ必要であるかについて述べた。また、本論文を読み易くするために、本研究で使用した試験材と実験方法を第2章にまとめて記載した。

研究は最初に制御圧延技術を利用して直接焼きなまし線材が得られないかどうかの検討から開始した。その研究内容を第3章に述べた。A₁変態点直上の低温圧延とA₁変態点直下の高温保定技術とを組み合わせることによって、微細分散した粒状化セメント組織鋼が得られることがわかった。この組織を有する鋼を直接焼きなまし線材として利用することを検討したが、この手法は採用できないと判断された。その理由は①現在の線材熱延工程においては、粒状化セメント組織を得るための上記加工条件を採用することがかなり難しいこと、②炭素鋼では、粒状セメント組織がほぼ得られるものの、合金鋼の場合は得られ難いこと、③さらに、このようにして製造された鋼材は、成形性は優れるものの硬度が高く、工業的には工具寿命の点で問題があることなどによる。一方、本研究を進めた際の試験結果において、フェライト・パーライト組織鋼でも軟質化（硬度低下）とともに限界加工率が改善されるという知見が得られたので、以後の研究ではフェライト・パーライト組織鋼の軟質化を進めることにした。

線材熱延ライン直接焼きなまし線材を製造するためには、短時間で軟質化処理を行わなくては

ならない。そのためには、最適の成分系と処理時間が最小になる熱処理パターンを開発する必要がある。第4章において、徐冷後の強度に及ぼす合金元素の影響に関する研究結果を述べた。徐冷後の強度に対しては、初析フェライト面積率、初析フェライト硬度、パーライトラメラ間隔の寄与が大きい。それらの組織因子を詳細に調べた結果によれば、初析フェライト面積率増加に対しては〔C〕低下、〔Mn〕低下および〔B〕添加が有効であり、初析フェライト硬度低下に対しては〔Si〕低下が有効である。また、パーライトラメラ間隔の増加に対しては〔Si〕を極めて小さくすること、および〔B〕添加が有効である。さらに〔Cr〕〔Mo〕については、その添加量が小さい範囲においては組織因子に及ぼす影響が小さい。これらの結果より、徐冷時の短時間軟質化に対しては、従来の冷間鍛造用炭素鋼線材成分系よりも〔Si〕〔Mn〕を減らし、〔Cr〕〔Mo〕〔B〕を含む成分系の方が適していることがわかったので、直接焼きなまし材に最適と考えられる新組成を案出した。

第5章においては、処理時間が最小になる熱処理パターンの研究結果について述べた。短時間軟質化のために段階冷却パターンを取り上げ、実用炭素鋼線材、実用合金鋼線材を用いて、2次冷却開始温度、同終了温度、2次冷却速度を変えた系統的な実験を行い、最も短時間で軟質化する条件を求めた。徐冷温度範囲を狭くすれば冷却速度を小さくする必要がある。逆に冷却速度を大きくすると、徐冷温度範囲を広くすることが必要になる。その最適解を実験で求め、その結果より目標品質に対して許容できる温度変動範囲を明らかにした。

第6章においては、リング密度の異なる線材コイルの各部位における温度および冷却速度の変動について中間設備を用いて研究した結果について述べた。第5章で述べた許容冷却条件範囲で冷却するためには、線材コイルの密度の高い部位からは抜熱し、同時に密度の低い部位に対しては給熱することが肝要であることがわかり、保定炉内温度均一化技術や段差部温風吹き付けによる抜熱技術を開発した。これらの結果より直接焼きなまし設備が開発された。本設備は、SCS(Slow Cool System)設備と名付けられ、1981年に設置され直接焼きなまし線材の生産が開始された。

第7章で直接焼きなまし線材の品質を述べた。実用されている炭素鋼線材を用いた場合には従来の低温焼きなまし材に匹敵する品質が、また新成分系鋼種を用いた場合は従来の球状化焼鈍材に匹敵する品質が得られることを確認した。SCS線材の組織はフェライト・パーライト組織であるが冷間成形性もかなり優れていた。線材熱延工程における微細なオーステナイト結晶粒度がそのまま保存されるために、冷間成形性が優れているものと推定される。調質後の品質を確認するために、冷間鍛造用新成分系線材を用いて7Tボルトを試作し、ボルトの機械的性質、疲労寿命、遅れ破壊特性を調べた。その結果においても品質上の問題がないことを確認した。

第8章で本研究を総括した。

審 査 結 果 の 要 旨

冷間鍛造加工用の中炭素鋼線材は、従来、線材コイルを再加熱軟質化処理した後に塑性加工されていたが、生産性向上及び省エネルギーなどの面から、熱間圧延後の連続熱処理によって軟質線材を直接得ることが望まれていた。本論文は冷間成形性に優れた軟質鋼材を直接焼きなましによって得るための材料学的条件を検討し、これを実操業上で実現するための熱処理装置を研究開発した結果についてまとめたものであり、全編8章よりなる。

第1章は緒論であり、本研究の背景、研究方針などについて述べている。

第2章では、本研究で用いた試験材及び実験方法について示してある。

第3章では、従来の制御圧延技術を利用して軟質線材を得る可能性を実験的に検討し、成形性はかなり良好であるが、硬度が高すぎるという問題があることを示した。

第4章では、中炭素鋼の徐冷後における強度に及ぼす合金元素の影響に関する研究結果を述べており、従来の組性よりもSi, Mnを減らし、Cr, Mo, Bを含ませた直接焼きなまし材に適する新組性鋼種を提案した。

第5章では、全処理時間が最小となる熱処理に関する研究結果について述べている。短時間軟質化のための最適段階冷却パターンを実験的に求め、さらに目標品質に対して許容できる温度変動範囲を明らかにした。

第6章では、第5章で求めた熱処理条件を実操業上で実現するために行われた段差部温風吹付け装置などをもつ新設備について述べている。

第7章では、直接焼きなまし方によって生産された線材の品質について述べている。本新手法により、実用炭素鋼線材の場合には従来の低温焼きなまし材に、また新組成鋼種の場合には従来の球状化焼鈍材に匹敵する品質が得られることを確認した。

第8章は総括である。

以上要するに本論文は、優れた成形性を有する中炭素軟質鋼材を熱間圧延後の直接連続冷却処理で工業的に得ることに成功するとともに、これに適した新鋼種も開発したものであり、材料工学の発展に寄与するところ少なくない。

よって、本論文は工学博士の学位論文として合格と認める。