

氏 名 (本籍)	森 永 孝 三 (佐賀県)
学 位 の 種 類	工 学 博 士
学 位 記 番 号	工 第 27 号
学 位 授 与 年 月 日	昭 和 42 年 4 月 12 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 5 条 第 2 項 該 当
最 終 学 歴	昭 和 11 年 3 月 東 北 帝 国 大 学 工 学 部 金 属 工 学 科 卒 業
学 位 論 文 題 目	低 炭 素 鋼 板 の 品 質 改 善 の 立 場 か ら 見 た 非 金 属 介 在 物 の 研 究
	(主 査)
論 文 審 査 委 員	教 授 不 破 祐 教 授 門 間 改 三 教 授 三 本 木 貢 治 教 授 大 谷 正 康

## 論 文 内 容 要 旨

鋼板の多くは低炭素鋼であるが、本研究はこの低炭素鋼板の性質に悪影響をあたえる非金属介在物の実体を究明し、その非金属介在物の成因を明らかにして有害介在物の除去あるいは無害化に関する研究を行なったものである。

鋼塊から最も合理的に鋼板を製造するためには、それぞれの目的によって脱酸度の異なるリムド鋼、キャップド鋼、セミキルド鋼、キルド鋼が選ばれる。

本研究は、各々の鋼板の製造過程および鋼板の加工過程において、非金属介在物による主なる諸欠陥の原因を解明し、ついでその対策を脱酸、造塊、圧延の各製造工程について研究した。その結果、低炭素鋼板の品質改善の立場から有害介在物の除去、あるいは無害化が工業的規模において可能であることを実証した一連の研究結果をまとめたものである。

論文は6部からなり、第1部は緒論で本研究の目的および非金属介在物に関する従来の研究について述べ、第2部はリムド鋼板の加工性を低下する非金属介在物の性状、挙動およびこれから非金属介在物の減少対策に関するもの、第3部はキャップド鋼の「線状キズ」、 「線状スケール」の原因およびその除去の対策に関するもの、第4部はセミキルド鋼の「線状キズ」の原因およびその防止対策に関するもの、第5部はアルミニウムキルド鋼板の「スリーパーキズ」の原因およびその減少対策に関するもの、第6部は以上の研究結果の総括である。

第1部は緒論で、低炭素鋼板の加工時に発生する欠陥の多くが非金属介在物に起因するものと想像されながら、今日なお十分な解明、対策がおこなわれていない。このような事情の下において、著者は経済的立場を考慮し、いたずらに清浄な鋼を得ることを追求せず、有害介在物の除去あるいは無害化をはかることを主眼として研究を進めたいという、研究遂行の基本態度について述べている。

第2部においては、リムド鋼板の加工性を低下する非金属介在物の種類、分布を明らかにし、その成因と減少対策を研究している。

第1章においては、第2部の研究目的と内容を略述し、第2章においては、リムド鋼板の加工性を低下させる非金属介在物について検討している。リムド冷間圧延鋼板の張出し加工性を低下する介在物は長さ100 $\mu$ 以上の大型硫化物、大型のスカム状介在物ならびに大型のマンガンシリケート系介在物であることを示した。さらに、同様な大型硫化物が熱間圧延鋼板のねじり試験において「ラミネーション」状の欠陥を生ぜしめること、およびこれらの大型硫化物はMnSが主体で鋼板の硫黄濃度が0.04%以上になると顕著に増加し、特に鋼塊頭部濃厚偏析部相当位置に多いことを確認した。

第3章においては、鋼塊中の球状大型介在物を比較的少量に抽出出来る「スライム法」と呼ばれる電解抽出法を用い、重量15tのリムド鋼塊について大型介在物の組成ならびに分布におよぼすリミングアクションの影響を検討し次の事実を確認した。すなわち、鋼塊底部の中心部において張出し加工性を低下する大型のシリケート系介在物が多量に存在し、その組成はテフロイト( $2\text{MnO}\cdot\text{SiO}_2$ )、ハースナイト( $\text{FeO}\cdot\text{Al}_2\text{O}_3$ )およびMnOを主体とするものであること、その成因はリミングアクションによりスカムとして浮上すべきものがこの部分に捕捉されたものと考えられること、およびその量はリミングアクションが弱い程増加することなどである。

第4章においては、スライム法により検討出来なかった鋼塊頭部濃厚偏析部の介在物について、鋼塊中における存在形態、圧延過程での変形ならびにこれら介在物の分布におよぼす精錬、脱酸の影響について検討している。鋼塊頭部濃厚偏析部には、鋼塊の凝固中に一次晶の粒界に析出し

たFeSに富んだフレーク状の大型硫化物が網目状をなして多量に存在すること、およびこのような介在物はスラブの硫黄濃度が0.10%以上に成るような条件で多くなると、さらにこれらフレーク状大型硫化物は加熱によりFeSがMnSに変化することを示した。これらの大型介在物は圧延過程で引きちぎられるが、冷間圧延後も比較的大きく、したがって冷間圧延鋼板の張出し加工性を低下させ、“ラミネーション”状欠陥発生の原因となることを確認した。ついで、これら介在物の減少対策を樹てるため、鋼塊頭部濃厚偏析部の介在物におよぼす精錬、脱酸条件の影響を検討し、鋼塊頭部濃厚偏析部の介在物は主として取鍋中溶鋼の硫黄濃度および酸素濃度によって影響をうけるという事実を確かめた。その観点に立って鋼板の加工性を低下させる大型硫化物を減少するには、取鍋中の溶鋼の硫黄濃度の低下によって鋼塊頭部の偏析軽減を計る必要があること、そのためには精錬によって溶鋼中の硫黄濃度を0.015%以下まで低下させるべきであることを示した。

第3部においては、酸洗後のキャップド鋼熱間圧延鋼板の表面に現われる“線状キズ”、“線状スケール”と呼ばれる表面欠陥について、それが鋼塊のスキンホール、管状気泡の内面の酸化に起因することを明らかにし、その対策を研究した。

第1章においては、キャップド鋼塊の一般的製造法について論述し、第3部の研究目的を述べている。

第2章においては“線状キズ”、“線状スケール”の発生原因について検討し、“線状キズ”と呼ばれる表面欠陥は、長さ500~2,000mm、幅3mm以下の線状のキズで鋼板の酸洗後に容易に判別されること、このキズは、鋼板の幅方向では特に鋼塊のリム層相当位置に、長さ方向では鋼塊底部相当位置に多く発生することを、一方“線状スケール”と呼ばれるキズの発生傾向は大体“線状キズ”と同様であるが、欠陥の形態としては、一般に“線状キズ”よりも幅が太く深さが浅いことを確かめた。つぎに欠陥の部分の顕微鏡観察をおこない、“線状キズ”直下のリム層内には、アルミナ系介在物が郡落している場合と、鋼板の幅方向に長くスケールを噛み込んでいる場合と両者が認められた。“線状スケール”については単に欠陥部が凹んでいるのみで特に異物が認められないことが判明した。このため上記の欠陥は鋼塊のリム層内の非金属介在物か、また気泡の均熱炉内における内面酸化のいずれかによるものと考えられた。

第3章においては、キャップド鋼塊リム層内の非金属介在物の分布、組成について検討し、リム層内の介在物の大部分は、小型アルミナ系介在物でその量も少く、まれに大型のマンガンスリケートが存在する。したがって、これら介在物が上記欠陥の直接原因とは考えられないことを確かめた。

第4章においては、キャップド鋼塊の表面気泡の分布と均熱炉内の酸化状況について検討した。この結果、リム層ではスキンホールおよび管状気泡が良く発達しており、スキンホールの一部が酸化されていることを明らかにした。

ついで第5章において、人工気孔による人工キズの生成実験をおこない、その結果から内面が酸化されたスキンホールおよび管状気泡が熱延鋼板で“線状疵”、“線状スケール”となることを示した。すなわち、表面の健全な重量7.6t、短辺厚さ570mm、長辺長さ960mmのキャップド鋼塊表面に直径3mmおよび8mm、深さ3mm、8mmおよび1.5mmの6段階の人工気孔を穿孔した後、2.3mm厚さの熱延鋼板に圧延したところ深さ1.5mmのものは人工“線状キズ”、深さ8mmのものは人工“線状スケール”となることを認めた。これらの事実からキャップド鋼塊が均熱炉で加熱される際に、管状気泡内面が酸化された場合には“線状キズ”となりスキンホールが酸化された場合には“線状スケール”となるというキズの成因を明らかにした。

第6章においては、上記欠陥の減少対策として、上記表面欠陥を発生させないキャップド鋼塊を製造するには、スキンホールが少なく、かつ、管状気泡が鋼塊表面から深く位置することが必要であり、このためには、鑄型内での初期のリミングアクションを活発にするように溶鋼組成および取鍋、鑄型内での脱酸剤の添加量を適切にする必要があることを示し、実験によってこの対策の効果を確認した。

第4部においては、セミキルド鋼板を電縫管として、容接する際に溶接部に発生する“線キズ”と呼ばれる欠陥および帯鋼の酸洗工程で発生する“プリスター”と呼ばれる欠陥が非金属介在物に起因することを明らかにし、その対策を研究した。

第1章において、セミキルド鋼の脱酸法および非金属介在物について一般的な論述をおこない、さらに第4部の研究目的を述べる。

第2章においては電縫管用セミキルド帯鋼の材質におよぼす非金属介在物の影響について検討している。はじめに、帯鋼の製管前の酸洗工程で発生する“プリスター”と呼ばれる鋼板表面の局部的ふくれについて検討し、この“プリスター”は鋼板表面近くのマンガンシリケート系介在物が原因となっており、“プリスター”の発生しやすい鋼板は曲げ試験の際、屈曲部に割れが出やすいことを明らかにした。

ついでセミキルド鋼板の曲げ加工性におよぼす介在物の形態および存在位置の影響を研究し、B系あるいはC系の介在物はあまり鋼板の曲げ加工性を害さないがA系介在物特に鋼板表面近くのA系介在物が曲げ加工性に悪影響をおよぼすことを示した。さらに、電縫管用セミキルド帯鋼で最も問題も大きい欠陥、すなわち帯鋼を製管する際、溶接部にヘアーラック状に発生する

「線キズ」について検討し、この「線キズ」に対しても鋼板表面近くのA系介在物が発生原因となっていることを明らかにした。

第3章においては、電縫鋼管用セミキルド帯鋼の欠陥の原因となるA系介在物の成因、組成および鋼塊内での分布を検討するために、シリコンおよびアルミニウムで脱酸した低炭素セミキルド鋼および中炭素セミキルド鋼の7tおよび15t鋼塊を供試材として、スライム法によって大型介在物の研究をおこなった。その結果、鋼塊中の大型介在物は鑄型内で溶鋼の温度降下、または凝固に伴うシリコンによる二次脱酸反応で生成するマンガンシリケートで、鋼塊表面近くおよび底部に比較的大型の介在物が多いこと、鋼塊を大型化すると鋼塊コア部の介在物量は、かなり増加するが、鋼板の欠陥と直接関係している表面近くの大型介在物量はあまり変わらないことを確認した。

第4章においては、セミキルド帯鋼の非金属介在物による欠陥の中で「線キズ」に重点をおいて、その減少対策について研究している。鋼塊から鋼板までの圧下率とA系介在物の大きさの関係を検討し、圧下率をあげると介在物は小さく分散し、「線キズ」の原因となることが少ないことを示した。しかし、積極的に「線キズ」を軽減させるにはA系介在物を減少させることが必要である。そのためにはA系介在物がシリコンの二次脱酸生成物であることを考慮し、従来のシリコンを主とした脱酸をアルミニウムを主とする脱酸法に改めた。すなわち、取鍋内のシリコン添加を中止し、その脱酸力に相当する分だけ取鍋および鑄型内でアルミニウムを添加し、鋼板中のA系介在物量を激減させ「線キズ」の発生率を大幅に低下させることができた。

しかし、このアルミニウムを主とした脱酸法は脱酸効果が鋭敏で少しでも過度になると鋼塊に収縮孔が形成し、帯鋼で「二枚板状欠陥」が発生する。この収縮孔対策として、シリコンの使用を完全に中止したアルミニウム単独の脱酸法を採用し、しかも脱酸度を弱めにおさえることにより、「線キズ」および「二枚板状欠陥」両者を防止することができた。

第5部において、アルミニウムキルド低炭素冷間圧延鋼板の「スリーパーキズ」と呼ばれる表面キズがアルミナ系群落介在物によって発生することを確認し、アルミナ系介在物の成因を検討して、この表面キズの減少対策について研究を進めかなりの成果をあげたことを述べた。

第1章において、第5部の研究目的を述べ、第2章においては、「スリーパーキズ」の発生原因について検討し、「スリーパーキズ」は鋼塊頭部位置に多発する傾向があり、キズ部の直下には小粒子の介在物の群落が認められた。電子線回析およびヨウ素メタノール法によって、介在物の主成分はアルミナであることを示した。また冷間圧延時にこれらアルミナ系群落介在物は、キズ部近傍の鋼板の伸び率を低下させることを確かめ、このような可塑性悪化が表面キズ発生の原因

になることを明らかにした。

したがって、「スリーパーキズ」を防止するにはアルミナ系群落介在物の造塊過程における成因を知り、その減少対策をはかることが必要である。

第3章において、7 tおよび15 t実用鋼塊（鋳造のまま）内のアルミナ系群落介在物の分布を硫黄プリント、マクロ腐食および化学分析などによって研究した。

第4章においては、第3章の研究結果をもとにしてアルミナ系介在物の挙動について検討した。アルミナ系介在物の大部分が鋼塊頭部の限られた範囲に集まることから、この介在物の浮上速度はStokesの法則によって計算される値よりも大きい。また鋼塊側部にも幾つかの群落介在物が数個連続して発生し、群落の範囲も大きくなる傾向が見られた。したがって、アルミナ系介在物は鋳型内の溶鋼の流れに併って、比較的早期に鋼塊頭部に運ばれるが、たまたま凝固前面に結晶組織のおうとつ部があると、そこで流れが乱れるためにアルミナ系介在物が集合し、群落介在物が形成されるものと考えられる。このような群落介在物の形成機構を150Kg鋼塊による補足実験すなわち、鋳型内に厚鋼板製の一種のせきを設けて、溶鋼の流れを変え、流れの乱れる部分を作為的に生じさせることによって、アルミナ系群落介在物を特定の場所に分布させる実験によって確認した。

第5章においては、「スリーパーキズ」の減少対策について検討している。この鋼種は深絞り用に向けられるものであるから、非時効性を保つために酸可溶性アルミニウム濃度の下限が厳格に定められ、同時に炭素やシリコンは可能な限り低濃度にしなければならない。したがって、脱酸前の酸素濃度は高く、これをアルミニウム単独で完全に脱酸するから、アルミナの生成量が多くなることは避けられない。そこでアルミナ系介在物が仮に溶鋼中に分散していても、群落介在物を形成しにくい条件を検討することが必要である。前期の群落介在物形成機構から考えると鋼塊肌を良くして、凝固前面を平滑に保つことが有効である。このような観点から、1) 低温出鋼 2) 長尺ブラッシュ管使用 3) 高マンガン精錬を「スリーパーキズ」の減少対策とし、満足すべき成績をあげることが出来た。

第6章においては、第5章までの検討結果をまとめて述べた。

第6部は第2部から第5部までの研究結果を総括している。

## 審査結果の要旨

鋼板の多くは低炭素鋼であるが、鋼塊から鋼板を製造するには、鋼板に要求される性質と、経済的に歩留りを高くする目的から、脱酸度の異なるリムド鋼、キャップド鋼、セミキルド鋼、キルド鋼のいずれかの鋼塊が選ばれる。しかもいずれの鋼種の鋼塊から製造した低炭素鋼板にもいろいろな欠陥が生じ、これらの諸欠陥の多くは非金属介在物に起因するものと想像されながら、両者の関係につきこれまで十分な解明もなされず、その対策も不十分であった。

本研究は、鋼板の主なる諸欠陥と非金属介在物との関連を解明し、有害介在物の除去または無害化をはかることを主眼とし、その対策を脱酸、造塊、分塊圧延の各工程について工業的規模において研究したものである。

本論文は6部よりなり、第1部は緒論で本研究の目的および非金属介在物に関する従来の研究について述べたものである。

第2部はリムド鋼冷間圧延鋼板に発生する“ラミネーション”状欠陥に関する検討結果である。造塊および鋼塊加熱中に生成するMnSを主体とする大型硫化物は圧延過程で切断されるが、なお比較的大きな形状で存在し、その介在物がラミネーション発生の原因となるとの結論に達している。したがって、この対策としては溶鋼中の硫黄を0.015%以下まで低下させ、鋼塊頭部における硫黄の偏析軽減をはかることによって欠陥を防止できることを実証している。

第3部はキャップド鋼熱間圧延鋼板の表面にあらわれる“線状疵”および“線状スケール”に関するものである。これらの欠陥は従来鋼塊のリム層内の非金属介在物によるものと考えられていたが、著者はその成因として管状気泡内面が酸化されると線状疵となり、スキンホールが酸化されると線状スケールとなることを実証した。その結果、その防止対策として外部に通ずる管状気泡やスキンホールの少ない健全なリム層を得るために、出鋼時の炭素も酸素も制御し、また取鍋へのアルミニウム添加量を半減することなどの操作により、鋳型内での初期のリミングアクションを活発にすることにより、欠陥発生を著しく防止し得たことを示している。

第4部はセミキルド鋼電綫管用帯鋼の“線疵”防止対策に関するもので、この欠陥は鋼塊表面近くに存在するA系介在物に起因することを確認している。その対策としてはケイ素を主とした従来の脱酸法をアルミニウムによる脱酸に改め、A系介在物を少なくすることにより、その発生率を大巾に低減し得ることを示している。

第5部はキルド鋼低炭素冷間圧延鋼板の“スリーパー疵”に関するもので、従来はその発生原因が不明であったが、著者はその成因がアルミナ系群落介在物によることを初めて明らかにした。この鋼種は深絞り用として非時効性を保つ必要上、脱酸用アルミニウムの使用量を大巾に減らす

ことはできないが、アルミナ系群落発生を防ぐ立場から、出鋼時のマンガン量を高く保つ製錬法と低温出鋼、および長尺スプラッシュ管の使用によってこの種の欠陥の発生率を著しく減少させ得たことを述べている。

第6部は第2部より第5部の研究結果の綜括と結論である。

以上を要するに、本論文は各種低炭素鋼板の諸欠陥につき、従来単に非金属介在物に起因するものと考えられていたものを、その各々について非金属介在物の成因、分布、製造工程による変化を追求し、その関連性に基づき、欠陥除去の対策を確立し、低炭素鋼板製造に新しい知見を与えたもので、金属工学の進歩に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合格と認める。