

学 位 論 文 題 名

極低温用非磁性鋼の開発に関する研究

学位論文内容の要旨

液化ガス利用，宇宙航空および超電導に関する工業的応用は極低温構造材料等の周辺技術に支えられている。特に極低温用鋼としては，低温延性および靱性の優れているオーステナイト鋼が使用されるが，強度の低いことが大きな短所であり，その高強度化と高靱性化など機械的性質の向上並びに磁気特性など物理的性質および製鋼法，塑性加工法，溶接性など製造性の検討とその改善が強く望まれている。

本論文では，極低温における材料の機械的性質の挙動とそのメカニズムを把握し，高強度化および高靱性化を図り，信頼性の高い極低温構造材料の開発を行うと共に経済性を加味した製鋼，鍛練，熱処理，および溶接性や切削性に優れた大型製品の製造技術の開発を目的としている。

本論文は全5章から構成されている。

序論は極低温応用の各分野における構造材料としての材料特性と課題を明らかにし，本研究の目的を述べている。

第2章では，極低温構造材料の強度と靱性に影響をおよぼす組織安定性との関係を検討している。とくに Mn - Cr 系オーステナイト鋼における低温での機械的性質と組織の安定性との関係を論じている。極低温では強度が増加する一方，靱性および延性が低下し，これら機械的性質はオーステナイト相の加工誘起変態に強く影響を受けることを示し，強度，伸びおよび衝撃吸収エネルギーの最も高い値はオーステナイト相の安定領域と密接に関係する事を明らかにし，極低温構造材料開発には，オーステナイト相を安定化するための化学成分の適正化が重要であることを指摘した。

第3章は，オーステナイト鋼の強化法について述べている。オーステナイト鋼は優れた靱性を有しているが，強度を付加するために固溶強化，冷間加工強化，時効硬化あるいはこれらの組合せ加工熱処理法が考えられる。ここではオーステナイト相安定元素である炭素と窒素の侵入型元素による固溶強化効果を検討し，オーステナイト相の安定化と固溶強化に対し，炭素および窒素添加は極めて有効に作用することを明らかにした。また強化に及ぼす窒素の効果は炭素のそれよ

り約1.6倍程度高く、さらに脆化に関係する粒界析出物の抑制の観点から炭素を低減させ、かつ組織を安定させ極低温における靱性並びに強度を向上させるために窒素添加が重要な役割を果たすことを解明した。一方、炭素と窒素の添加による加工硬化と変形挙動についても検討し、炭素と窒素の添加は母地の固溶強化に効果的であるが、加工硬化係数の増加に対する効果は小さいことを示した。

第4章では、各種の高強度オーステナイト鋼の低温における強度および靱性について検討した。高炭素、高窒素を添加した高Mn-Crオーステナイト鋼の衝撃試験において延性-脆性遷移挙動が確認され、低衝撃吸収エネルギーの材料では粒界破壊型と粒内擬癖開型の破面からなることを観察し、粒界破壊型の破面はCr炭化物の結晶粒界析出により、また粒内擬癖開型破面は準安定オーステナイト鋼中に発生した加工誘起マルテンサイトに起因することを明らかにした。さらに高強度オーステナイト鋼の極低温における靱性改善を目的として、結晶粒界における炭化物等の析出を極力抑制すると同時にオーステナイト相の組織安定性を高めた、極低炭素濃度で高濃度の窒素を添加した18% Mn-18Cr-N鋼について検討した結果、低温で擬癖開粒内破壊の発生と靱性低下および靱性遷移挙動を認め、この原因が変形組織と密接に関係することを指摘、低温靱性改善には、さらにNiの添加と窒素量の減少によって積層欠陥エネルギーを制御した組織にすることが効果的であることを明らかにした。また、SUS316LN鋼の高い極低温靱性に着目、Mo添加による高靱性化、窒素の添加による高強度化および組織の安定化と固溶強化効果を有するMnの効果についても検討し、工業用極低温用鋼として、極低温において優れた強度と靱性を示す12% Cr-12% Ni-10% Mn-5% Moの成分からなる鋼を開発した。

第5章では極低温用構造材料の適用として、核融合炉のコイル構造材、超電導発電機及び核磁気共鳴診断装置機器の製造実績について総合的に検討している。特に、核融合実験炉用コイルのケース構造材料は極低温において強力な磁場をサポートするため極低温で高強度と高靱性ならびに非磁性が要求されることから、開発した12% Cr-12% Ni-10% Mn-5% Mo鋼の大型鍛造鋼材を製造し、その内部性状を調査し、冶金的均質性や各種材料特性を検討した結果、結晶粒度の極低温強度におよぼす影響と大型化にともなう結晶粒微細化や清浄度向上による低温靱性改善ならびに製鋼の精練技術など、大型化に伴う具体的改善方法を提言した。

第6章では本論文を総括し、将来におけるオーステナイト鋼の極低温構造材料としての重要性和工業分野への寄与について考察した。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 高 橋 平七郎

副 査 教 授 石 井 邦 宜

副 査 教 授 成 田 敏 夫

副 査 教 授 山 科 俊 郎

本研究は、信頼性の高い極低温構造材料の開発を行うと共に経済的な製鋼、鍛練、熱処理のよ
び溶接や切削性などの大型製品の製造技術の開発を目的とし、極低温における材料の機械的性質
の挙動とそのメカニズムを解析し、極低温における高強度および高靱性を有する材料開発を行っ
たものである。

まず、極低温構造材料の強度と靱性におよぼす組織安定性との関係、とくに Mn - Cr 系オー
ステナイト鋼における低温での機械的性質と組織の安定性について検討し、極低温における強度
増加と靱性低下などの機械的性質はオーステナイト相の加工誘起変態に大きく影響され、強度、
伸びおよび衝撃吸収エネルギーの最高値はオーステナイト相の安定化と密接に関係し、極低温用
構造材料開発にはオーステナイト相の安定化を図り、その安定化のため化学成分の適正化が重要
性であることを指摘した。

次に、オーステナイト鋼の強度向上として、オーステナイト相安定元素である炭素と窒素によ
る固溶強化効果を検討し、相安定化と強化に対し炭素および窒素添加による固溶強化が極めて有
効であるが、脆化の原因となる粒界炭化物の析出を抑制するためには炭素を低減させかつ安定な
組織に制御するためには窒素添加が最も重要な役割を果たすことを明らかにした。また、高強度
オーステナイト鋼の低温における強度および靱性についても検討し、高強度オーステナイト鋼の
極低温における靱性改善に結晶粒界における炭化物析出を抑制し、オーステナイト相の安定化を
図った極低炭素かつ高窒素濃度の18% Mn-18Cr-N 鋼、および低温靱性改善のための Ni 添加と
窒素濃度の低減による積層欠陥エネルギーの制御に加え、さらに Mo 添加による高靱化と同時
に Mn により固溶強化した、極低温において高強度と高靱性並びに非磁性の特性を有する12%
Cr-12% Ni-10% Mn-5% Mo 鋼を開発した。

最後に、この開発材料を極低温で強力な磁場をサポートする核融合実験炉用コイルのケース構
造材料として適用するための大型鍛造鋼材の製造について検討し、結晶粒微細化や清浄度向上に
よる低温靱性改善ならびに製鋼の精練技術など大型化に伴う製造改善方法を具体的に提言した。

以上、本研究は極低温における材料の機械的性質におよぼす組織安定化並びに強靱化に及ぼす合金効果とそのメカニズムを明らかにし極低温用実用材料開発を行ったものである。

これを要するに、著者は金属工学に寄与するところ大なるものがある。

よって著者は、博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。