

# オーステンパ球状黒鉛鑄鉄の水脆化機構と

## その防止および応用

### 学位論文内容の要旨

本研究では、オーステンパ球状黒鉛鑄鉄 (ADI) を初めとする高強度球状黒鉛鑄鉄の水付着による脆化現象 (水脆化現象) のメカニズムを解明するとともに、耐水脆化特性に優れた高強度高延性鑄鉄を開発する指針を提案し、さらに、水脆化と同時に生じる硬化現象を応用することによって耐摩耗性に優れた部材の開発を行った。本論文は 12 章からなり、本研究の内容と得られた結果は以下のように要約される。

第 1 章では、高強度・高靱性材料として注目されている ADI の機械的特性とオーステンパ反応を概説し、研究目的を述べた。

第 2 章では、熱処理によって種々の基地組織を有する球状黒鉛鑄鉄を作成し、その水付着による脆化挙動を検討した。基地組織として、フェライト、パーライト、焼入れ焼戻し、ADI を用意し、これら各組織を有する鑄鉄に水付着状態で引張試験及び破壊靱性試験を行った。引張強さが大きい球状黒鉛鑄鉄ほど、著しい水脆化現象を発生した。水脆化はいわゆる腐食によるものではないことを示唆した。

第 3 章では、オーステンパ処理条件を変化させて作成した ADI の水脆化におよぼす組織の影響について検討した。特に、組織に含まれる約 20% のオーステナイトの応力誘起変態と水脆化の関係について検討した。その結果、オーステナイトの応力誘起変態が初期亀裂発生に影響を与えていることを明らかにした。

第 4 章では、ADI の水素ガスによる脆化現象について、特に、水素ガスの暴露時間の影響、水素ガス中への水蒸気混合の影響について、破断面の観察から破壊機構を考察した。ここで、水素分析から、水付着状態で生じる塑性変形によって水素が浸入することを確認した。水素ガス中に水蒸気が混入すると、脆化は著しく促進され、水素脆化と亀裂進展の挙動は、水脆化挙動と同じ傾向を

示した。

第5章では、種々の濃度の水蒸気を含む雰囲気中で ADI の引張試験を行い、湿度と脆化の関係について検討した。その結果、湿度の上昇に伴って脆化が加速されることを確認した。相対湿度が 50%RH 以上で、水蒸気の影響が確認され、80%RH 以上になると脆化現象が明瞭に観察された。

第6章では、接着剤塗布による ADI の脆化現象について、特に、接着剤の種類と脆化現象の関係、脆化に及ぼす黒鉛（粒径）の影響について検討した。接着剤を塗布すると、ADI の伸びが顕著に低下し、また、引張強さの低下は高強度の試料ほど著しかった。一方、フェライト及びパーライト組織では、接着剤の塗布による脆化は見られなかった。接着剤塗布による脆化は、金属と接着剤が水素結合する、いわゆる水素脆化によってもものと推定された。

第7章では、応力負荷状態を変化させた機械的試験を行い、前章までの結果とともに、ADI の水脆化メカニズムについて考察した。水脆化現象は亀裂の発生と進展及び有効断面積の減少による破壊の3段階からなることを結論した。

第8章では、基地組織中に微細なフェライトを分散させた ADI の作製方法を提案し、機械的性質と水脆化挙動について検討した。組織にマルテンサイトが存在するときは水脆化が生じるのに対して、微細なフェライト混合組織の ADI は、水を付着させても 10%以上の大きな伸びを示した。

第9章では、ADI のころがり摩耗特性に及ぼす黒鉛と含有オーステナイトの影響について検討した。ADI のころがり疲れ限度は、黒鉛粒径の減少に伴い低下し、引張強さ、伸び及び硬さが増大して強靱化される傾向と逆の関係にある。

第10章では、砂中における ADI の摩耗現象、すなわち、土砂摩耗特性について検討した。ADI の優れた耐土砂摩耗特性は、残留オーステナイトのマルテンサイトへの加工誘起変態と水付着状態で塑性変形させる際に脆化と同時に硬化するため、であることを明らかにした。

第11章では、第10章に示した ADI の優れた耐摩耗性を応用した機械部品の開発を試みた。フィールド試験と既存部品から ADI へ材質変更に至った適用例を紹介した。

第12章は、各章で得られた主要な成果をまとめて、結論を述べている。

# 学位論文審査の要旨

主 査 教 授 成 田 敏 夫  
副 査 教 授 工 藤 昌 行  
副 査 教 授 野 口 徹  
副 査 教 授 瀬 尾 眞 浩

学 位 論 文 題 名

## オーステンパ球状黒鉛鑄鉄の水脆化機構と その防止および応用

本研究では、オーステンパ球状黒鉛鑄鉄 (ADI) を初めとする高強度球状黒鉛鑄鉄の水付着による脆化現象 (水脆化現象) のメカニズムを解明するとともに、耐水脆化特性に優れた高強度高延性鑄鉄を開発する指針を提案し、さらに、水脆化と同時に生じる硬化現象を応用することによって耐摩耗性に優れた部材の開発を行った。本論文は 12 章からなり、本研究の内容と得られた結果は以下のように要約される。

第 1 章では、高強度・高靱性材料として注目されている ADI の機械的特性とオーステンパ反応を概説し、研究目的を述べた。

第 2 章では、熱処理によって種々の基地組織を有する球状黒鉛鑄鉄を作成し、その水付着による脆化挙動を検討した。基地組織として、フェライト、パーライト、焼入れ・焼戻し、ADIを用意し、これら各組織を有する鑄鉄に水付着状態で引張試験及び破壊靱性試験を行った。引張強さが大きい球状黒鉛鑄鉄ほど、著しい水脆化現象を発生した。水脆化はいわゆる腐食によるものではないことを示唆した。

第 3 章では、オーステンパ処理条件を変化させて作成した ADI の水脆化におよぼす組織の影響について検討した。特に、組織に含まれる約 20% のオーステナイトの応力誘起変態と水脆化の関係について検討した結果、オーステナイトの応力誘起変態が初期亀裂発生に影響を与えていることを明らかにした。

第 4 章では、ADI の水素ガスによる脆化現象について、特に、水素ガスの暴露時間と水素ガス中への水蒸気混合の影響について、破断面の観察から破壊機構を考察した。なお、水素分析から、水付着状態で生じる塑性変形によって水素が浸入することを確認している。水素ガス中に水蒸気が混入すると、脆化は著しく促進され、水素脆化と亀裂進展の挙動は、水脆化挙動と同じ傾向を示した。

第5章では、種々の濃度の水蒸気を含む雰囲気中で ADI の引張試験を行い、湿度と脆化の関係について検討した。その結果、湿度の上昇に伴って脆化が加速されることを確認し、相対湿度が 50%RH 以上で水蒸気の影響が顕在化し、80%RH 以上になると脆化現象が明瞭に観察された。

第6章では、接着剤塗布による ADI の脆化現象について、特に、接着剤の種類と脆化現象の関係および脆化に及ぼす鑄鉄に含まれる黒鉛（粒径）の影響について検討した。その結果、接着剤を塗布すると ADI の伸びが顕著に低下し、また、引張強さの低下は高強度の試料ほど著しくなる傾向が認められた。一方、フェライト及びパーライト組織では、接着剤の塗布による脆化は見られなかった。これらの結果から、接着剤塗布による脆化は、金属と接着剤が水素結合して生じるいわゆる水素脆化によるものと推定している。

第7章では、種々の応力を負荷して機械的試験を行い、前章までの結果とあわせて、ADI の水脆化メカニズムについて考察した。水脆化現象は亀裂の発生と進展及び有効断面積の減少による破壊の3段階からなることを結論した。

第8章では、基地組織中に微細なフェライトを分散させた ADI の作製方法を提案し、機械的性質と水脆化挙動について検討した。組織にマルテンサイトが含まれているときには水脆化が生じるのに対して、微細なフェライト混合組織の ADI は、水を付着させても 10%以上の大きな伸びを示した。

第9章では、ADI のころがり摩耗特性に及ぼす黒鉛と含有オーステナイトの影響について検討した。ADI のころがり疲れ限度は、黒鉛粒径の減少に伴い低下し、引張強さと伸び及び硬さが増大して強靱化される傾向と逆の関係にあることを明らかにしている。

第10章では、砂中における ADI の摩耗現象、すなわち、土砂摩耗特性について検討した。ADI の優れた耐土砂摩耗特性は、残留オーステナイトのマルテンサイトへの加工誘起変態と水付着状態で塑性変形させる際に脆化と同時に硬化するため、であることを明らかにした。

第11章では、第10章に示した ADI の優れた耐摩耗性を応用した機械部品の開発を試みた。フィールド試験と既存部品から ADI へ材質変更に至った適用例を紹介した。

第12章は各章で得られた成果をまとめて、結論としている。

これを要するに、著者はオーステンパ球状黒鉛鑄鉄 (ADI) の水脆化機構を解明するとともに、その耐水脆化特性を改善する手法を開発するとともに、水脆化と同時に生じる硬化現象を応用することによって耐摩耗性に優れた部材の開発を行ったもので、材料工学に対して寄与するところ大なるものがある。よって著者は、北海道大学博士 (工学) の学位を授与される資格あるものと認める。