

論文題目 耐焼付き性に優れた合金鋳鉄に関する研究

論文要約

本論文は鋼板の圧延に用いられる鋳鉄製ロールの材質に関する内容である。熱間薄板圧延仕上げ列用のワークロールには、炭化物などを利用して耐摩耗性を得るために主に鋳鉄製ロールが使用されている。特に仕上げ列の後段用では圧延時に発生する絞り事故での亀裂損失を考慮し、グレンや改善グレンと称するロール材が適用されている。鋳鉄ロール材は耐摩耗性などに優れる高炭素ハイス材の適用が各圧延用途のロールで進んだが、絞り事故が問題となる熱間薄板圧延仕上げ列後段ではハイスロールが適用できておらず、ハイスロールよりも耐摩耗性は劣るが亀裂損失に優れた材質が適用されている。そのためグレンや改善グレンに替わる高性能ロールが鋼板製造の生産性向上の面から必要であった。絞り事故による亀裂損失が少ない耐事故性に優れ、かつ耐摩耗性もある鋳造ロールの開発を目的として、耐事故性を左右する焼付き特性、破壊靱性に関する研究を行った。第1章ではこれら本研究の背景および目的を述べている。

第2章では絞り事故での焼付きを再現できる落重式摩擦熱衝撃試験（FTS 試験）にて焼付き評価を行った。FTS 試験は試験片に軟鋼を強制的に擦り付けることで試験片表面に焼付きを発生させることができる。軟鋼を擦り付けた圧痕の面積により焼付いた面積を除いた割合を焼付き面積率として焼付きを評価した。ロールとして焼付き特性が判明しているグレンや改善グレンなどのグレン系とハイスの焼付き評価で、ハイスは焼付き面積率が 58～85%と焼付きやすく、グレン系では焼付き面積率が 40%以下と焼付きにくい。耐焼付き性をグレン系同等とするには FTS 試験で焼付き面積率を 40%以下にすればよい。鋳鉄の炭化物や黒鉛などの組織要素を変更した試料を作製して焼付き性の調査を行い焼付き防止に有効な炭化物種類や黒鉛に関しての検討を行った。バナジウム炭化物以外の炭化物が多くなると焼付き面積が小さくなる。炭化物の種類による焼付き防止効果が高い順にモリブデン炭化物、セメンタイト、クロム炭化物であることがわかった。バナジウム炭化物は多くなると焼付きやすくなった。黒鉛を含む試料では黒鉛量に拘わらず焼付き面積率が 20%前後と小さくなった。黒鉛が多くなるにしたがい焼付き量はわずかに小さくなるが、黒鉛の有無で焼付き量が大きく異なり、炭化物より効果が大きい。焼付き面積率が 40%以下となる耐焼付き性がよい特性を得る条件として、黒鉛の存在、モリブデン炭化物を面積率で 20%程度以上、セメンタイト面積率 30%程度以上という 3 つの条

件のうちいずれかを満足すればよいことが明らかとなった。逆にバナジウム炭化物以外の炭化物を少なくしたり、バナジウム炭化物を多くしたり、クロム炭化物だけでは耐焼付き性が劣化することがわかった。この結果からロール材としての耐焼付き性は高クロム鋳鋼や高クロム鋳鉄が悪くなると考えられる。またグレンや改善グレンは黒鉛を含み、セメントライトも面積率で 30%程度存在するため耐焼付き性がよいことが確認できた。

第 3 章では焼付き面積率が異なる試験片を解析することで焼付き要因を調査した。試験片断面の観察により試験部には熱影響により鉄基地が変質した白色層、クラックや欠け落ちなどが見られた。焼付きとクラックには関係性を見いだせなかったが、白色層や欠けとは関連が見られた。白色に変色した領域の試験片表面からの深さと長さの積を白色層サイズとした場合、白色層サイズと焼付き面積率の関係は比例の傾向を示した。試験片に強制的に摺動させる軟鋼と試験片の間で摩擦が大きいと焼付きやすくなり、熱影響も大きくなった結果と考えられる。欠けに関しては欠けが発生していない試験片では焼付き面積が大きくなり、焼付き面積の小さい試験片では欠けが発生していた。焼付きが発生してもその部分が欠けることで除去されるためと考えられる。炭化物種類により欠け数の傾向が異なり、炭化物種類による焼付き面積率の結果も概ね説明できる。欠けなどの要因のほかに微細な析出黒鉛のある試料も焼付き面積が小さく、焼付き防止に効果があると考えられる。焼付き面積が大きくなると考えられる試料を作製して焼付き試験を行い、その断面での試験片表面からの硬さ分布を調査した。焼付き試験を行った同じ素材から試料を採取して 373~1473K の任意の温度に加熱、急冷却して硬さ測定を行った。試験片断面の硬さと加熱、急冷却した試料の硬さから FTS 試験時の上昇温度を検討した。炭化物や黒鉛などの組織要素を変更して焼付きを評価した試料によっては凝固が完了する最終凝固温度よりも FTS 試験での温度上昇の方が高くなっており、最終凝固温度と焼付き面積率に関係があることがわかった。以上のことから良好な耐焼付き性を得るには、黒鉛、炭化物、欠け落ちに関する材料特性、凝固温度などの要因を考慮することが必要である。黒鉛は微細な析出黒鉛でも効果があり、炭化物は欠けを発生させやすくする種類で効果が高い。

第 4 章では焼付き防止に有効な黒鉛を利用するため、けい素が及ぼす破壊靱性への影響を調査した。炭化物や黒鉛による組織要素の影響を小さくするために炭素量を 0.95mass%目標としてけい素を変化させた試料を作製、破壊靱性値を測定した。測定試料は添加する合金量が少ない低合金と、添加合金量の多い高合金の 2 水準でそれぞれけい素の影響を検討した。破壊靱性値はけい素が多くなるにしたがい低くなり、高合金系の方が低合金系より低く、けい素が多くなるにしたがいその傾向が明瞭になる。けい素増加で炭化物面積率が大きくなり、破壊靱性値も低くなるため、けい素は炭化物量を増加させることで破壊靱性値が低下することが考えられる。鋳

造ロールで報告されている炭化物面積率より小さい面積率で、破壊靱性値が鋳造ロールより大幅に低下していることから、炭化物量の増加による破壊靱性の低下はけい素を増加させたときの破壊靱性低下要因のひとつと考えられる。低合金系の試料は基地中けい素量が約 3.2mass%で破壊靱性値が大きく低下している。原因は鉄基地の粒界にパーライトが生成し、その部分を亀裂が優先して進展いるためと考えられる。熱間薄板圧延仕上げ列にて用いられる鋳造ロールが必要とする破壊靱性より低くならないけい素量は高合金であれば 2.3mass%程度、白銑化元素を少なくした場合にさらにけい素を添加できることがわかった。

第 5 章では熱間薄板圧延仕上げ列後段用ワークロール向けに耐焼付き性と耐摩耗性に優れたロール材の検討を行った。耐焼付き性を得るため黒鉛を利用し、耐摩耗性はハイスで利用されている炭化物形成元素を添加することで確保した。炭化物形成元素を添加することで白銑化しやすくなるので、黒鉛を存在させるためにけい素を利用した。耐摩耗性はグレン系の 2 倍以上を目標としたが、その目標以上の耐摩耗性を保持し、破壊靱性値が低下しないけい素量で黒鉛を存在させ、破壊靱性値を確保しつつ必要な耐焼付き性を有する材質を開発した。開発ロールは亀裂損耗に影響する抗折力や亀裂進展速度も現状材のグレン系と同レベルであることを確認した。実際の圧延ミルにて期待どおりの性能を示し、本格使用されている。本研究と関係のないロール製造業他社からも同様のロールに関する公表がされてきていることから、本研究の開発ロールは新しいロールカテゴリーとして確立しつつあると考えられる。

第 6 章は本研究の総括である。鋳造材料の組織要素と焼付き性および破壊靱性の関係を実験・解析から明らかにし、実際に圧延で使用されるロールにその結果を活かした。開発したロールは実際の圧延ミルにて期待どおりの性能を有するとともに、生産現場で本格的に使用されており、歩留まり向上や省エネルギー実現に効果をもたらしている。

以上