

論文 / 著書情報
Article / Book Information

題目(和文)	鋼の赤熱脆性における銅濃化液相の浸潤抑制法に関する研究
Title(English)	
著者(和文)	浦田健太郎
Author(English)	Kentarou Urata
出典(和文)	学位:博士(工学), 学位授与機関:東京工業大学, 報告番号:甲第10762号, 授与年月日:2018年3月26日, 学位の種別:課程博士, 審査員:小林 能直,須佐 匡裕,熊井 真次,林 幸,上田 光敏
Citation(English)	Degree:Doctor (Engineering), Conferring organization: Tokyo Institute of Technology, Report number:甲第10762号, Conferred date:2018/3/26, Degree Type:Course doctor, Examiner:,,,,,
学位種別(和文)	博士論文
Category(English)	Doctoral Thesis
種別(和文)	論文要旨
Type(English)	Summary

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻： Department of	材料工学	専攻	申請学位 (専攻分野)： Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名： Student's Name	浦田 健太郎		指導教員 (主)： Academic Supervisor(main)	小林 能直	
			指導教員 (副)： Academic Supervisor (sub)	須佐 匡裕	

要旨 (和文 2000 字程度)

Thesis Summary (approx.2000 Japanese Characters)

鋼の表面赤熱脆性は、スクラップ鉄のリサイクルの際に混入する銅が引き起こす製鋼プロセス上の問題であり、鉄鋼生産の歩留を低下させる原因の一つである。その問題解決に向けて、本研究では鋼中への銅濃化液相の浸潤抑制法に着目した。本研究は銅濃化液相の浸潤抑制法の「固体鉄中の銅硫化物の析出」、「熔融酸化物中への銅濃化液相の分散化」、そして「マグネタイト相中での酸化銅の固溶」について、それぞれの脆性抑制条件または抑制機構を明らかにした。最終的にこれらの脆化抑制法を複合的に用いた製鋼プロセスを提案し、その脆性抑制効果と条件の推測及びそのプロセスに適した鋼種の提案を行った。

第1章「緒論」では、産業的背景から本研究の目的に至る経緯を述べた。日本の鉄鋼産業の現状として、スクラップ鉄のリサイクルの関心が高まる一方で、スクラップ鉄に混入する銅が引き起こす鋼の表面赤熱脆性が懸念されている。この銅の表面赤熱脆性について、これまでに多様な脆化抑制法の研究がおこなわれてきた。それらの研究の中でも銅濃化液相の浸潤抑制法は、製鋼プロセスの実用化に適していると考えられる。本研究はその中でも「固体鉄中の銅硫化物の析出」、「熔融酸化物中への銅濃化液相の分散」、そして「マグネタイト相中での酸化銅の固溶」に着目した。これらの銅濃化液相の浸潤抑制法の抑制条件と機構を明らかにし、最終的に銅濃化液相の浸潤抑制法を複合的に活用した製鋼プロセスの提案をすることを目的とした。

第2章「固体鉄中の銅硫化物の析出機構」では、固体鉄中の銅と硫黄の溶解度測定とマイクロ偏析による銅硫化物の析出の検証を行った。固体鉄中の銅と硫黄の溶解度測定では、化学平衡法を用いて 1073 K～ 1573 K における固体鉄中の銅と硫黄の溶解度を測定した。その結果、実際に銅硫化物が析出する銅と硫黄濃度は、銅と硫黄の平衡溶解度よりも低いことが明らかになった。銅硫化物の析出に対するマイクロ偏析の影響の検証では、急速冷却铸造まま材と均質化熱処理材の低炭素鋼を作製し、その銅硫化物の析出有無の確認と銅硫化物の析出量を画像解析した。それぞれの結果から、銅硫化物の析出は铸造凝固による銅のマイクロ偏析が影響していると推測した。

第3章「固体鉄中の銅硫化物の成長機構」では銅硫化物の成長速度を決定した。1273, 1423, 1573 K の熱処理における微細な銅硫化物の粒径変化を走査型電子顕微鏡(SEM)で観察した。この粒径変化からオストワルド成長モデルを用いることで成長速度を決定した。ここで得られた銅硫化物の成長速度定数をアレニウスの式に用いていることで、拡散の活性化エネルギーを導出することができた。その結果、銅硫化物の成長速度は銅の拡散により律速されることを推測した。

第4章「ホウ素含有酸化物中への銅濃化液相の分散」では、地鉄とスケール界面でのホウ素分布とホウ素含有酸化物の銅液相の分散挙動を検証した。ホウ素の分布はホウ素の活量係数から決定した。固体鉄相のホウ素の活量係数は文献値から導出し、銅液相の活量係数は化学平衡実験を用いて決定した。その結果、ホウ素は固体鉄相に固溶し、界面にホウ素含有酸化物を形成することが明らかになった。また、ホウ素含有酸化物相中への銅液相の分散挙動について、酸化物中のホウ素濃度が増加するにしたがって、界面から酸化物中への銅液相の分散量が増加することがわかった。

第5章「マグネタイト相中での酸化銅の固溶」では、マグネタイト相に酸化銅が固溶する条件を明らかにするために、 $\text{CuFe}_2\text{O}_4\text{-Fe}_3\text{O}_4$ 固溶体の CuFe_2O_4 の活量とその酸素分圧を調べた。 Fe_2O_3 飽和の $\text{CuFe}_2\text{O}_4\text{-Fe}_3\text{O}_4$ 固溶体試料を作製し、化学平衡法を用いて固溶体組成に対する Ag 中の Cu 濃度を測定した。この結果をギブス反応自由エネルギーとギブスデュッヘムの関係式に適用することで、 CuFe_2O_4 の活量係数と酸素分圧の関係を明らかにした。その結果、 $\text{CuFe}_2\text{O}_4\text{-Fe}_3\text{O}_4$ 固溶体中の CuFe_2O_4 の活量係数が 1 より小さいことから、酸化銅がマグネタイト相中に固溶しやすいことが明らかになった。

第6章「銅濃化液相の浸潤抑制法を適用した製鋼プロセス」では、これまでの銅濃化液相の浸潤抑制法について、その脆性抑制効果またはその条件を考察した。「銅硫化物の析出現象」では銅硫化物の析出現象による固体鉄中の銅濃度変化、「銅硫化物の成長現象」では微細な銅硫化物の粒径保持のための温度条件、「銅濃化液相の分散化現象」ではホウ素の必要添加量、そして「マグネタイト相中の酸化銅の固溶現象」では銅の固容量について見積りを行った。これらの銅濃化液相の浸潤抑制法を一つの製鋼プロセスにおいて複合活用的に活用した際に、0.3mass%Cu の銅を含む鋼でも銅の表面赤熱脆化を抑制できることを推測し、その際に最も適当な鋼種としてボロン鋼の線材を提案した。

第7章「結論」では、本研究により得られた知見を総括した。

備考：論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1 copy of 800 Words (English).

注意：論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ (T2R2) にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).

論文要旨

THESIS SUMMARY

専攻 : Department of	材料工学	専攻	申請学位 (専攻分野) : Academic Degree Requested	博士 Doctor of	(工学)
学生氏名 : Student's Name	浦田 健太郎		指導教員 (主) : Academic Supervisor(main)	小林 能直	
			指導教員 (副) : Academic Supervisor(sub)	須佐 匡裕	

要旨 (英文 300 語程度)

Thesis Summary (approx.300 English Words)

Copper surface hot shortness is one of the steel production problems, which is caused by copper contained in steel scrap. To solve this copper problem, our attention has been paid to suppression methods of copper enriched liquid phase invading into steel. This study has revealed the mechanism or conditions of these phenomena that are “Precipitation of copper sulfide precipitates in solid iron”, “Dispersion of copper enriched liquid phase into molten oxides containing” and “Solution of copper oxides into magnetite phase”.

Chapter 1 “Introduction” has introduced the background of the current steel industry in Japan and the problem of copper surface hot shortness. This chapter has explained the previous studies to solve the copper problem, followed by the aims and significance of this thesis.

Chapter 2 “Mechanism of copper sulfide precipitation in solid iron” aims to investigate solubility product of copper sulfide in solid iron and confirm the behavior of copper sulfide precipitation in as-casted and annealed steel.

Chapter 3 “Mechanism of copper sulfide growth rate in solid iron” has investigated the growth rate of copper sulfide precipitates in low carbon steel.

Chapter 4 “Dispersion of copper enriched liquid phase into molten oxides containing boron” aims to determine activity coefficients of boron in solid iron and liquid copper, followed by dispersion of enriched copper liquid phase by molten oxides containing boron.

Chapter 5 “Solution of copper oxides into magnetite phase” aims to determine activity coefficient of CuFe_2O_4 in magnetite and partial pressure of oxygen to understand feasibility of copper oxides solution into magnetite.

Chapter 6 “Steel production process applying suppression methods of copper enriched liquid phase invading” aims to estimate the effects or conditions of the suppression methods investigated. Finally, steel production process designed well has been suggested using all the methods.

Chapter 7 “Conclusions” summarizes the whole thesis.

備考 : 論文要旨は、和文 2000 字と英文 300 語を 1 部ずつ提出するか、もしくは英文 800 語を 1 部提出してください。

Note : Thesis Summary should be submitted in either a copy of 2000 Japanese Characters and 300 Words (English) or 1copy of 800 Words (English).

注意 : 論文要旨は、東工大リサーチリポジトリ(T2R2)にてインターネット公表されますので、公表可能な範囲の内容で作成してください。

Attention: Thesis Summary will be published on Tokyo Tech Research Repository Website (T2R2).