

Title	製鉄用酸化物-黒鉛系耐火物の温度変動下における高温熱的機械的特性と熱応力破壊に関する研究
Author(s)	内田, 茂樹
Citation	
Issue Date	
Text Version	ETD
URL	https://doi.org/10.11501/3161874
DOI	10.11501/3161874
rights	
Note	

Osaka University Knowledge Archive : OUKA

<https://ir.library.osaka-u.ac.jp/>

Osaka University

氏 名	うちだ しげき 内 田 茂 樹
博士の専攻分野の名称	博 士 (工 学)
学 位 記 番 号	第 1 4 9 0 2 号
学 位 授 与 年 月 日	平 成 1 1 年 7 月 2 6 日
学 位 授 与 の 要 件	学 位 規 則 第 4 条 第 2 項 該 当
学 位 論 文 名	製鉄用酸化物-黒鉛系耐火物の温度変動下における高温熱的機械的特性と熱応力破壊に関する研究
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 新 原 皓 一 (副査) 教 授 足 立 吟 也 教 授 原 茂 太 教 授 城 田 靖 彦 教 授 甲 斐 泰 教 授 田 川 精 一 教 授 野 島 正 朋 教 授 小 松 満 男 教 授 平 尾 俊 一 教 授 大 島 巧

論 文 内 容 の 要 旨

本論文は、製鉄用耐火煉瓦の使用条件を考慮して、煉瓦の微構造と特性との関連を明らかにしつつ、煉瓦の妥当な熱的・機械的特性値を得ること、煉瓦の耐熱衝撃特性に関する適切な材料評価パラメータを選択すること、及び、材料設計・構造体設計に前述の煉瓦特性値と材料評価パラメータを適用し、その有効性を明らかにすると共に、材料設計・構造体設計上の重要課題を明らかにすることを目的として行った一連の研究結果をまとめたものであり、以下の4章から構成されている。

第1章では、製鉄用耐火煉瓦の使用条件と特徴を概説し、解決が求められている重要課題を示し、本論文の意義と目的を明らかにしている。

第2章では、連続铸造用 Al_2O_3-C 系及び ZrO_2-C 系の焼成ノズル煉瓦を対象にしている。ノズル煉瓦の重要課題は受鋼時の熱衝撃による亀裂の発生と進展を抑制することである。そのため、熱間荷重-変位測定装置及び高温亀裂発生直接測定装置を新たに開発して特性評価することにより、ノズル煉瓦の亀裂発生と進展を評価するための基礎特性として、熱間で測定される静弾性率と有効破壊エネルギーが重要であることを初めて明らかにしている。また、これらの特性値を用いて得られる耐熱衝撃性に関する適切な煉瓦評価パラメータは、熱間の値として求められるクラック安定係数 (R_{st}) であることを解明している。更に、この熱間 R_{st} を材料設計指標に用いることにより、カーボンボンドの微構造改善を図った設計指針が効果的であることを明らかにし、割れ難い煉瓦の開発に成功している。

第3章では、熱変動・拘束荷重の条件下で使用される構造体用不焼成 $MgO-C$ 煉瓦を対象にしている。本研究により、 $MgO-C$ 煉瓦の強度・熱膨張率等のマクロ特性が従来考えられていた以上に使用中に変化することを明らかにしている。これらのマクロ特性の変化には、カーボンボンド及び微量の添加金属に由来する金属反応物の微構造変化が密接に関連していることを初めて明らかにしている。また、カーボンボンドの微構造及び金属配置の材料設計、熱変動・拘束荷重下で変化する煉瓦特性を考慮した構造体設計が重要であることを示している。以上の知見に基づき、従来不明であった $MgO-C$ 煉瓦内部に生じる亀裂の生成原因を解明し、その解決方法を明らかにしている。

第4章では、本論文で得られた主な成果をまとめて示している。

論文審査の結果の要旨

本論文は、耐火煉瓦内に生じる亀裂の発生または進展に対する材料の熱衝撃抵抗性の評価、または熱応力計算に必須の煉瓦の熱的・機械的特性値を得ること、煉瓦破壊損傷に関する定量的な評価を行い、材料・構造体設計上の重要課題を明らかにすることを主な目的としている。本研究で得られた主な成果を要約すると以下のようになる。

(1)連続鑄造用焼成耐火煉瓦である $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ 系及び $\text{ZrO}_2\text{-C}$ 系のノズル煉瓦の使用時の特徴として、周囲からの拘束力を無視できること、使用中の特性変化が小さいことを示し、熱衝撃時にノズル煉瓦内に生じる熱応力の算出には、熱間の静弾性率が重要な特性値であることを初めて明らかにしている。このデータを用いて算出される熱応力と材料強度との比較により、亀裂発生の有無の判定に成功している。

(2)ノズル煉瓦内の亀裂の進展抵抗性の評価パラメーターを算出するには、熱間の有効破壊エネルギーの測定が重要であることを解明し、様々の評価パラメーターのうち、熱間のクラック安定係数 R_{st} がその評価を可能にすることを明らかにしている。

(3) $\text{Al}_2\text{O}_3\text{-C}$ 系ノズル煉瓦の臨界 R_{st} 値は $30\sim 40 \text{ m}^{1/2}\cdot^\circ\text{C}$ 程度であり、熱間 R_{st} がこの値以上のノズル煉瓦なら、割れ難い煉瓦であることを定量的に明らかにしている。

(4)熱間 R_{st} を材料設計指標に用い、割れの発生位置で臨界値を越え、しかも従来煉瓦より15%以上高い $R_{st}=47$ のノズル煉瓦の開発に成功している。

(5)構造体用不焼成 MgO-C 煉瓦は、樹脂で固めて用いられること、及び、微量の金属粉を添加していることにより、使用時の温度履歴・拘束荷重履歴に応じ、それらの微構造が変化し、同時にマクロ特性が変化することを明らかにしている。

(6)強度や弾性率は、熱間で金属反応物の生成により向上することが従来から知られているが、これらの特性が熱変動と共に低下することを見出し、その要因が気孔の増大、金属反応物の分解による欠陥生成、 MgO と金属との反応物による MgO 粒の崩壊等の微構造変化にあることを初めて明らかにしている。

(7)不焼成 MgO-C 煉瓦の微構造を形成するカーボンボンドのモデルを初めて提案すると共に、その微構造変化に関する新たな組織概念を考察している。その新組織概念から、カーボンボンドの骨格構造及び金属粉配置に関する材料設計、並びに MgO-C 煉瓦の稼働の各段階における熱膨張に関する構造体設計の重要性を明らかにしている。

(8)以上の知見を基に、従来不明であった MgO-C 煉瓦内に稼働面から等間隔に複数個の亀裂が発生する現象を解明し、 MgO-C 煉瓦の高熱伝導性、煉瓦に連続的に加えられる複数の熱衝撃等が主な要因であることを解明している。

以上のように本論文は、製鉄用耐火煉瓦の微構造変化を考慮した熱的・機械的特性及び熱衝撃抵抗性の評価パラメーターに関して多くの重要な基礎的知見を得ており、材料・構造体設計にそれらの知見を生かし、その有効性を明らかにしている。加えて、材料及び構造体設計のための新たな指針及びその方向性を提案している。これらの結果は、製鉄用耐火煉瓦の材料工学の更なる発展に寄与するところが大きい。よって、本論文は博士論文として価値あるものと認める。