

日本鋼管(株)中央研究所 飯山真人 ○沼田哲始 今別府政好

福山製鉄所 炭竈隆志 京浜炉材技術室 三輪徹

1. 緒言 高炉炉底部ライニングの損傷は、炉体の寿命を支配するという観点より、損傷機構を解明するための多くの研究がなされている。カーボンブロックに発生するマイクロクラックは、従来あまり着目されていなかったが、マイクロクラックによるガスの通気性、および溶銑の浸透性の増大による脆化層の形成促進、また、稼動面近傍のブロック組織の崩壊による溶損の促進により損耗速度が増加する懸念があるため、マイクロクラックの発生条件、対策等の検討をおこなった。

2. カーボンブロック中のマイクロクラック Photo. 1は福山5高炉(4617m³, 1973-1983年)の解体調査で観察されたカーボンブロックの溶銑浸透層、および外来侵入成分の認められない“健全層”中のマイクロクラックであり、クラックは稼動面に平行で長さは3-30mmくらいである。マイクロクラックは、ほぼ炉底部全体に、また“健全層”の鉄皮近傍にまで及んでいる。

3. カーボンブロックの一軸圧縮試験 マイクロクラックは化学分析では原ブロックと何らの差も認められない部位にも発生していることから、熱応力による疲労が原因であると考え、疲労試験による実証、および疲労損傷の発生条件を求めた。Fig. 1はカーボンブロックの応力-歪曲線とAE特性である。押し出し成形方向に直角方向の平均圧縮強度は370 kgf/cm²であり、AE発生率の増大する図中のT点より低荷重領域ではカイザー効果が明瞭に認められる。歪制御で多数回の加圧を行った後の試料には、Photo. 2のように実炉で観察されたものと同様な幅、長さのマイクロクラックが、荷重方向とほぼ平行に入っていた。

また、最大荷重レベルと破壊に至るまでの繰り返し圧縮回数の関係をFig. 2に示すが、Fig. 1のT点以下の応力レベルでは寿命が長い。

4. 考察 Fig. 3に福山2高炉の3次元熱応力解析の一例を示す。炉底部ライニングの圧縮応力は圧縮強度の8割程度は十分に発生する可能性がある。また、炉内で認められるマイクロクラックの発生方向も熱応力によって発生する方向と一致する。さらに長期間、高温下の疲労試験による検討も必要ではあるが、マイクロクラックの発生原因は熱応力による疲労損傷と考えられる。

熱応力による疲労損傷は防止する必要がある。ブロックが常温から1500°Cまで加熱されたときの熱膨張が完全に拘束されるときの歪が、炉内における最大歪(応力)と想定すると、このときの歪量(カーボン、C-SiCでは約0.5%)が、塑性変形の生じないとみなされるFig. 1のT点以下のレベルであるような材質が、疲労損傷に対する抵抗性が高いと考えられる。

5. 結言 マイクロクラックの発生原因は熱応力による疲労損傷であることが確認された。最近多くのカーボンおよびC-SiC質のブロックが開発されているが、材質の選定を行う際には、熱応力疲労損傷に対する抵抗特性も考慮する必要がある。

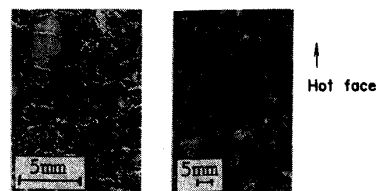


Photo 1. Microcracks in retrieved carbon blocks.



Photo 2. Microcracks appeared in a fatigue test.

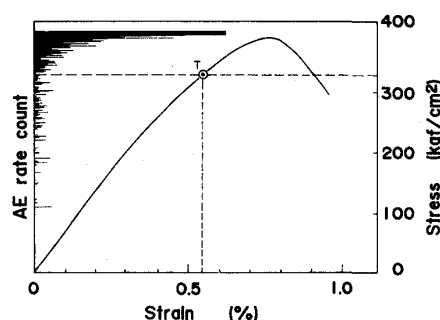


Fig. 1 Stress-strain Curve and AE characteristics.

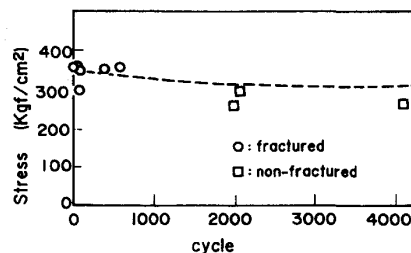


Fig. 2 Fatigue Curve.

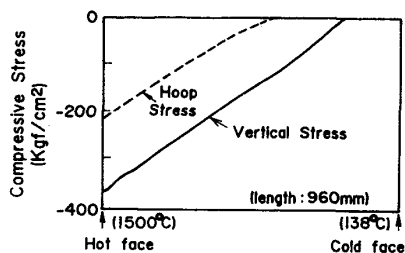


Fig. 3 Thermal Stress of a Ring Carbon Block.