

金属材料の高温曝露による特性変化

異常高温時における金属材料の熱影響評価試験と考察

Property Change of Metallic Materials Caused by Exposure to High Temperatures

Thermal impact assessment test on metallic materials under abnormally high temperatures and considerations of the test results

(電力技術研究所 材料技術G 材料T)

(Materials Technology Team, Materials Engineering Group, Electric Power Research and Development Center)

電力設備で使用される金属材料が火災等の異常高温に曝された際、その劣化状況の非破壊評価は有効であるが、現状、知見やデータが十分ではない。そこで、異常高温となった金属材料の熱影響評価試験を実施し、曝露時間・温度毎の金属劣化状態を評価し、データベース化した。

When metallic materials used in power facilities are exposed to abnormally high temperatures, such as in the case of a fire, non-destructive evaluations of the deterioration conditions are effective; however, knowledge or data obtained through such evaluations is not sufficient under current circumstances. Therefore, we have conducted a thermal impact assessment test on metallic materials exposed to abnormally high temperatures and assessed the deterioration conditions of the materials for each exposure duration and temperature. The assessment results have been assembled into a database.

1 背景・目的

設備が異常高温に曝されるトラブルが発生した場合、その発生原因を究明するためには、部材の到達温度および曝露時間を明らかにすることが有効である。

また、設備の健全性や再使用の可否の判断を迅速に行うためには、設備に使用されている金属の劣化状態や強度を金属組織検査等の非破壊検査により評価する必要があるが、現状ではこれらに関する知見が不十分である。

一方、当社では今後も厳しい需給状況が続き、火災や同種トラブルが発生した場合に迅速な原因究明と復旧が求められることを考慮すると、このような金属材料の高温曝露による材料特性を明らかにする必要がある。

そこで、常温程度で使用される代表的な金属材料に対し各種試験・評価を行い、高温曝露条件と金属材料特性の関係を明らかにする研究を行った。

2 熱影響評価試験方法

電力設備において350℃以下で使用される代表的な金属材料 (SUS304, SUS316L, SS400) について、高温曝露による熱影響評価をするために、様々な温度・時間で熱処理した試験片を作製し金属表面の表面色、断面の金属組織、硬さおよび材料強度を評価した。

評価にあたり、金属材料3種類毎に材料表面・断面評価用試験片として40mm×40mm×40mmのブロックを、材料強度評価用試験片としてJISに規定された引張試験片を作製した。

熱処理温度は、電気炉で300℃～1400℃の間において所定温度まで昇温し、10分、30分、120分の時間で温度を保持した。

3 熱影響による材料特性評価

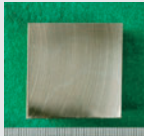
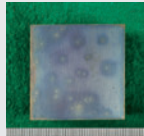
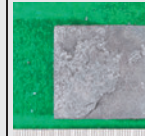
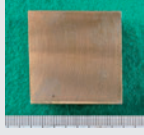

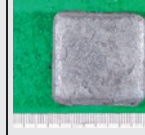
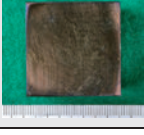
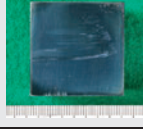
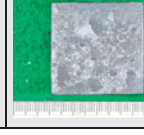
(1) 材料表面評価

材料表面・断面評価用試験片を熱処理し、表面を観察した結果を第1表にまとめる。SUS304では、保持時間10分の場合、700℃から黄色に変化し始め1000℃で青色になり、1000℃を超えると表面に酸化スケール生成が見られた。保持時間120分の場合、10分の場合よりも低い温度で黄色に変化し始め、700℃では一部に酸化した部分も見られるが青色になり、1000℃を超えると表面に酸化スケールが生成され酸化減肉が見られた。SUS316Lも同様であった。

SS400では、保持時間10分の場合、300～600℃で茶色、700℃では青色で表面に酸化スケールが生成し、1000℃を超えるとSUSと同様に酸化減肉が見られた。

これらの色は熱処理により発生する色であり、一般にテンパーカラーと呼ばれ、試験片表面の金属材料が高温に曝されることによって酸化膜が生成し、その厚さによって反射光の色が変化して見られる。

第1表 各熱処理温度・保持時間における材料表面色

	700℃ : 10分	1000℃ : 10分	1400℃ : 10分
SUS 304			
SUS 304	400℃ : 120分	700℃ : 120分	1400℃ : 120分
SUS 304			
SS 400	600℃ : 10分	700℃ : 10分	1400℃ : 10分
SS 400			

(2) 材料断面評価

材料表面・断面評価用試験片を熱処理し、各試験片の断面について金属組織を評価した結果、全ての試験片で表面から板厚方向に向かっての組織変化は軽微であった。

第2表に、材料表面・断面評価用試験片と材料強度評価用試験片について、保持時間120分熱処理した結果を示す。

SUS304は、600℃から結晶粒界の鋭敏化が認められ、1000℃で結晶粒の粗大化が観察された。

SUS316Lは、600℃から介在物が観察され、900℃から結晶粒の粗大化が観察された。

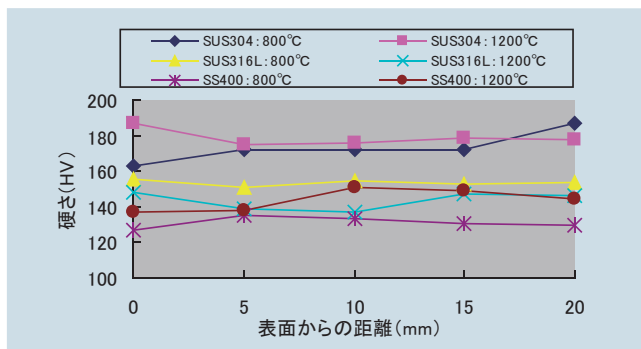
SS400は、900℃から結晶粒の粗大化が観察され、1400℃ではパーライトがほとんど認められずフェライト組織であった。

第2表 各熱処理温度・保持時間における断面組織

SUS 304	600℃ : 120分	1000℃ : 120分
SUS 316 L	600℃ : 120分	900℃ : 120分
SS 400	900℃ : 120分	1400℃ : 120分

(3) 材料硬さ評価

材料表面・断面評価用試験片を熱処理し、各試験片の断面について硬さ試験を実施した結果を第1図に示す。全ての試験片で表面から板厚方向において顕著な硬さ変化は認められなかった。

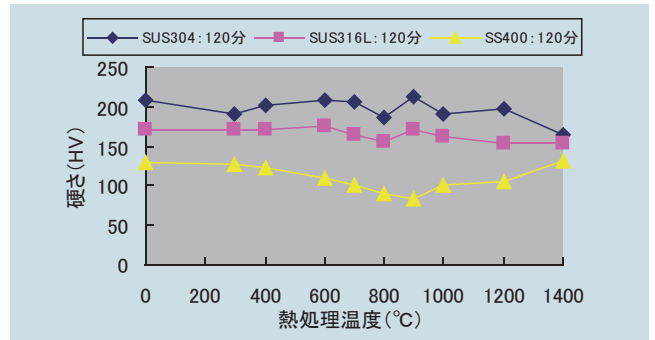


第1図 表面から板厚方向における硬さ測定結果

第2図に示すように、SUS304とSUS316Lは、新材の硬さ(209HV、170HV)に対し、熱処理温度1000℃以

上では徐々に低下した。

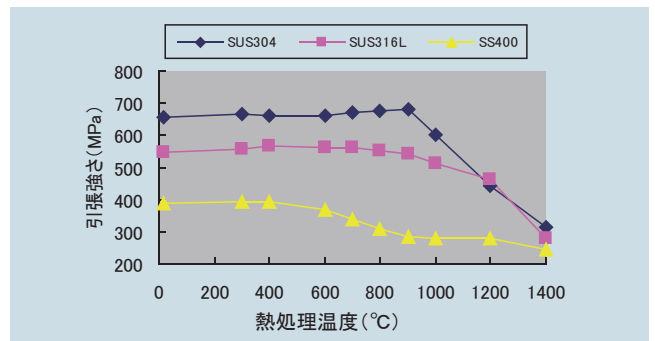
SS400は、新材の硬さ(129HV)に対し、熱処理温度1000℃までは温度が高くなるほど硬さが低下する傾向が認められたが、熱処理温度1000℃以上で硬さが上昇した。これは、熱処理後の冷却速度が大きかったため組織が変化し硬くなったためと考えられる。



第2図 熱処理温度と硬さの関係

(4) 材料強度評価

材料強度評価用試験片を熱処理し、引張試験を実施した結果を第3図に示す。SUS304、SUS316Lの引張強さは、熱処理温度1000℃から低下が認められ、SS400は400℃以上で引張強さの低下が認められた。図示はしないが、0.2%耐力は、全ての試験片で熱処理温度が高くなるほど低下する傾向が認められた。一方、破断伸びに大きな変化はなかった。



第3図 熱処理温度と引張強さの関係

4 まとめ

高温曝露による熱影響評価試験を実施し、各種金属材料(SUS304、SUS316L、SS400)の曝露温度・時間での金属劣化状態を評価することができ、技術データベースを構築することができた。このデータを、電力設備で異常高温に曝されるトラブル発生時の原因解明に活用するとともに、今後も継続的に各種電力設備の金属組織等のデータ蓄積を行い、原因解明精度をさらに向上させていきたい。



現所属：火力センター
工務部 ボイラ課
執筆者／石丸智之



執筆者／島田正彦