

鉄鋼材料の硬さ変化を利用した 配線不要な温度測定具の開発

良知 健（機械・材料技術部 ナノ材料グループ）
小田代 健（アセイ工業株式会社）

1. はじめに

各種材料に目的とする特性を付与するため、様々な分野で熱処理が行われる。例えば半導体の分野ではウエハへの酸化膜形成、セラミックスの分野では焼結、ガラスの分野では成形等のために熱処理が施されるが、これら熱処理工程においては、加熱温度を始めとした熱処理条件が材料の特性に大きな影響を与えるため、温度管理が非常に重要となる。温度管理には一般的に熱電対が用いられるが、例えば搬送炉など熱処理の際に製品が移動を伴う場合には、配線の必要な熱電対の使用は困難である。また、複数箇所の温度分布を評価する際にも、全ての箇所に熱電対を配置するのは現実的ではない。これに対応した温度測定具として、温度を不可逆的に記録できる示温ラベルが既に製品化されているが、有機物であるワックスを使用しているため使用可能な上限温度が低いという問題がある。

そこで本研究では加熱によって不可逆的な物性変化が起こる鉄鋼材料に注目し、より高温に対応した配線不要で安価な温度測定具の製品化を目指した。具体的には、温度を評価したい箇所に鉄鋼材料の焼入れ材を設置し、熱処理後に硬さを測定することで、加熱温度（焼戻し温度に相当）を評価するというものである。ここでは、温度測定具に利用する鉄鋼材料として、比較的広い温度範囲で焼戻しにより硬さが変化するクロムモリブデン鋼 SCM435 を選定し、温度測定具としての使用上限温度や温度測定精度、適用可

能な雰囲気（窒素）を明らかにするとともに、加熱時間が硬さに与える影響についても評価した。

2. 実験方法

SCM435 はφ13 の調質材丸棒を用いて、大気中 850 °C で焼入れを行った。なお、焼入れにおける冷却条件は水冷とした。各焼入れ材を厚さ 5 mm の円盤状に切断し、試験片を作製した。

加熱温度に保持した電気炉に試験片を挿入して加熱し、空冷した後に表面を機械研磨（#600）してロックウェル硬さ試験機（フューチャーテック社製、FR-3e）により硬さを測定した。ロックウェル硬さ測定は荷重が大きく表面の粗さの影響を受けにくいいため、試験片の表面を鏡面レベルに仕上げる必要があるピッカース硬さ測定と比べて熱処理現場での表面研磨の負担を軽減できるという利点がある。硬さ測定は各試験片に対して 5 点ずつ行い、最大値ならびに最小値を除いた 3 値の平均をその試験片の硬さとした。

3. 結果及び考察

まず、硬さの加熱温度依存性から、温度測定具として使用可能な上限温度を調べた。図 1 に焼入れ材を大気中において 400～900 °C で 60 分加熱した時の硬さを示す。400 °C から 700 °C までは硬さが単調に低下するが、

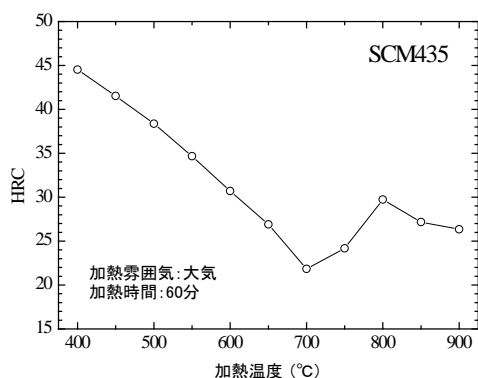


図 1 硬さの加熱温度依存性

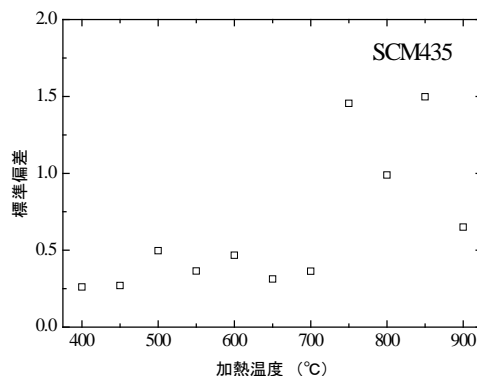


図 2 各加熱温度における試験片内硬さの標準偏差

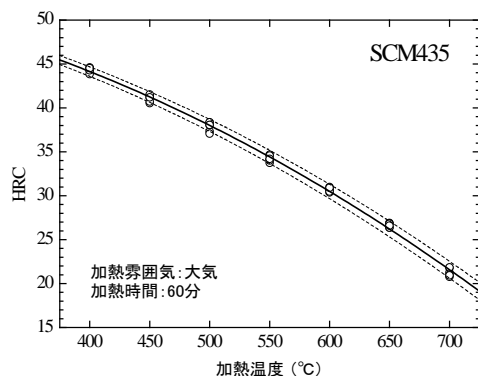


図3 各加熱温度における6試験片の硬さ

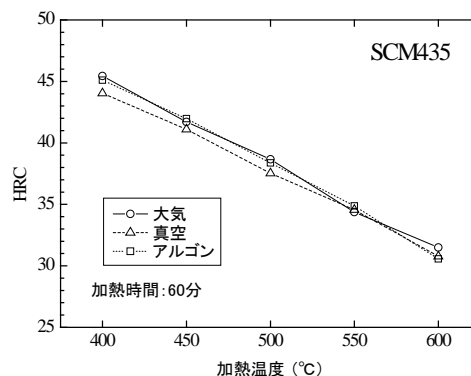


図4 各種加熱雰囲気における硬さの加熱温度依存性

が、700 °C以上では上昇し、その後 800 °Cから再び低下した。ここで、図2に各加熱温度での同一試験片内における5点の硬さ測定値の標準偏差を示す。これによると、750 °C以上では試験片内の硬さのばらつきが大きくなることがわかる。これは加熱温度が750 °C以上になると空冷時に試験片には再び焼きが入っていくが、硬さは冷却速度に敏感であり、今回のように冷却が空冷である場合には同一試験片内でも冷却速度が異なるためと考えられる。したがって、冷却条件の影響を受けやすい750 °C以上では温度測定誤差が極端に大きくなるため、実用上の上限温度は700 °Cと判断した。

次に同一の条件で複数の試験片を加熱し、試験片間の硬さのばらつきを見ることで、温度測定精度を調べた。図3は大気中において400~700 °Cで各温度6試験片を60分加熱した際の硬さである。同図に測定値を2次曲線で近似した結果を実線で示す。ここで近似曲線から温度換算で±10 °Cに当たる硬さの範囲を破線で表すと、測定値の殆どがこの破線の範囲内にあることがわかる。そのためSCM435を温度測定具として利用した場合の温度測定精度は±10 °C程度と考えられる。

さらに温度測定具として使用可能な加熱雰囲気について調べるため、真空中ならびにアルゴン雰囲気中での加熱も行った。図4は大気中、真空中、アルゴン中で試験片を60分加熱した際の硬さの加熱温度依存性である。真空中やアルゴン中の加熱でも、大気中と同様に温度の上昇とともに硬さが単調に低下し、真空中やアルゴン中など各種雰囲気中でも使用できることが示された。

加熱時間が硬さへ与える影響を調べるため、加熱時間を変化させて硬さを測定した。図5は加熱時間10、30、60、120分における加熱後の硬さである。加熱時間が長くなるほど硬さが低下することがわかる。また、この硬さの低下は温度が高くなるほど顕著である。このように同じ加熱温

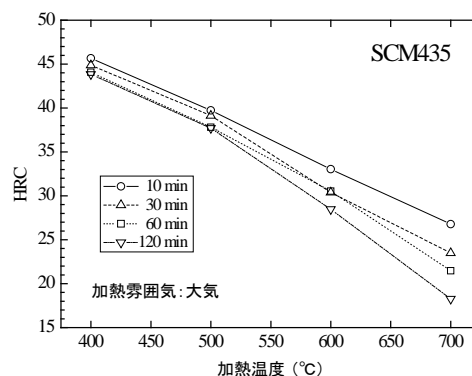


図5 各加熱時間における硬さの加熱温度依存性

度でも加熱時間によって硬さが変化する。また実際にはこれに加えて加熱速度や冷却速度も硬さに影響を与えると考えられるため、実際の熱処理条件に合わせた検量線を予め求めておき、それに基づいて加熱温度を評価する必要がある。

4. まとめ

クロムモリブデン鋼 SCM435 について、温度測定具としての利用可能性を調べた。その結果、使用上限温度は700 °Cであることがわかった。また、試験片間のばらつきの大きさから、±10 °C程度の温度精度を有することが示された。さらに、大気中だけでなく、真空中やアルゴン中での熱処理の際にも適用可能であることから、幅広い熱処理工程での使用が期待される。しかし、加熱後の硬さは加熱時間の影響を受けるため、実際の熱処理条件に合わせた検量線が必要である。また、同じ鋼種の材料であっても材料ごとの組成の差が硬さに影響を与えると考えられるため、製品化にあたり使用する材料の組成管理も重要となる。