ノート

塑性ひずみを付加したオーステナイト系ステンレス鋼における加熱に伴うクロム炭化物の析出

斎藤　雄治*

Precipitation of Chromium Carbide by Heating in Austenitic Stainless Steels with Plastic Strain

SAITO Yuji*

1. 緒　　言

SUS304 などのオーステナイト系ステンレス鋼を概ね 600～800℃の範囲に数分～数時間さらすと，結晶粒界にクロム炭化物が析出する，いわゆる鋭敏化が生じる。鋭敏化は耐食性の低下や応力腐食割れの原因となることが知られている。

ここで，この材料に塑性ひずみが生じている場合は，上記の温度範囲より低い温度で鋭敏化が発生したり，結晶粒内にもクロム炭化物が析出する [1]。これらは耐食性の低下に直接関係するので重要なことと考えられるが，公開されている情報は少ないようである。

本研究では，オーステナイト系ステンレス鋼 SUS304 に塑性ひずみを付加後に各温度に加熱処理した試料の金属組織を観察することにより，鋭敏化の程度や結晶粒内のクロム炭化物の析出の状態を調べた。

2. 実　　験

表 1 に示す化学成分の冷間圧延ステンレス鋼板 SUS304 から，圧延方向を長手方向にとった JIS B2241 の 13B 号試験片（厚さ 0.8mm）を作製した。万能材料試験機を用いて，試験片に常温で塑性ひずみ（0%，15%，30%）を付加後，試験片の平行部を長さ 2cm に切断して試料とした。これらの試料を電気マッフル炉を用いて各温度（非加熱，500，550，600，650 及び 700℃）に 1 時間保持後に空冷の加熱処理を行った。

表 1　試験片の化学成分（mass%）

C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	Mo	Cu	Fe
0.06	0.40	0.98	0.031	0.005	7.9	18.0	0.19	0.64	bal.

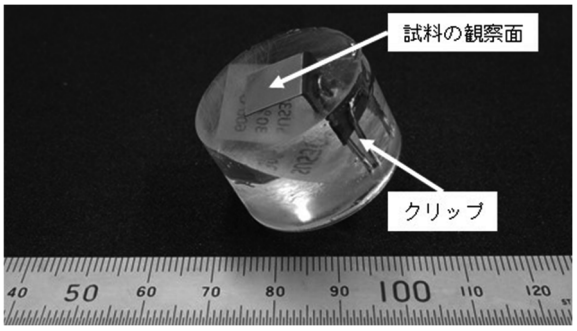


図 1　試験片の樹脂包埋

その後，試料を樹脂包埋し，表面を鏡面研磨および電解腐食（条件：10%しゅう酸水溶液中で電流密度 0.6A/cm^2 で 30s [2]）して，金属顕微鏡を用いて金属組織を観察した。ここで，電解腐食中の電流密度を安定させるため，観察面以外の金属部分が腐食液に浸らないようにした。その方法は，図 1 に示すように試料を「くの字」に曲げてから電極とするクリップに取り付けて樹脂包埋するものである。なお，非加熱の試料についてはビッカース硬さ試験も行った。

実験で用いた試験機器は次のとおり。

・成分分析：（株）堀場製作所製　炭素・硫黄分析装置 EMIA-920V2 及びブルカー・エイエックスエス（株）製　蛍光 X 線分析装置 S8 TIGER 4kW

・塑性ひずみ付加：（株）島津製作所製　万能

* 中越技術支援センター

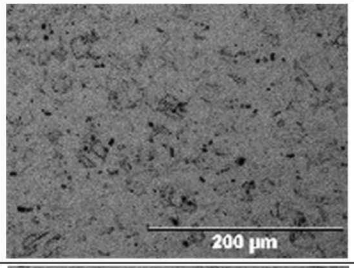
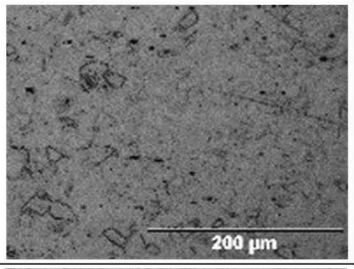
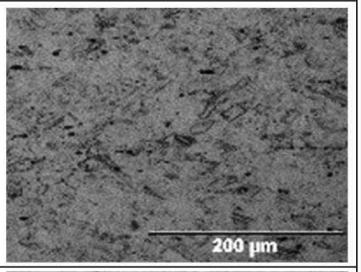
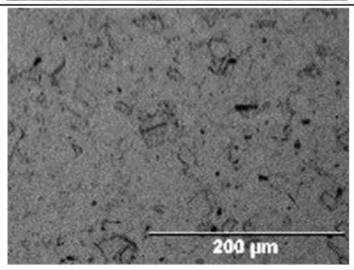
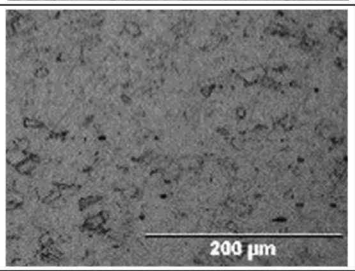
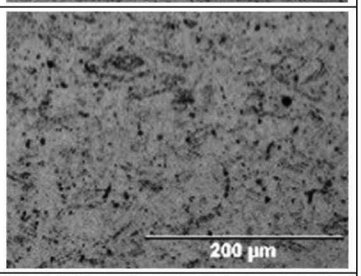
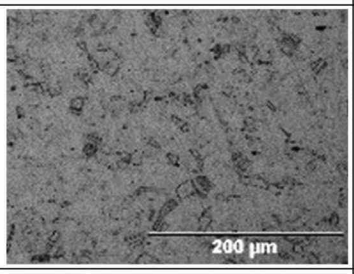
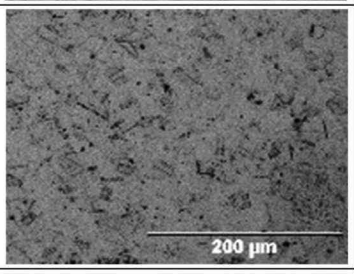
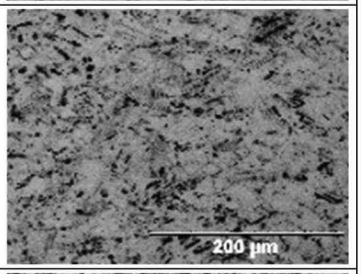
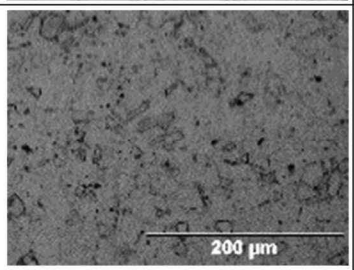
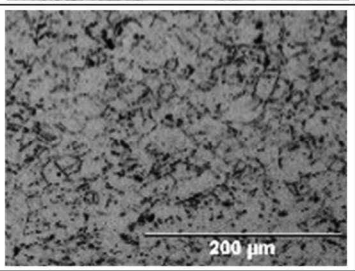
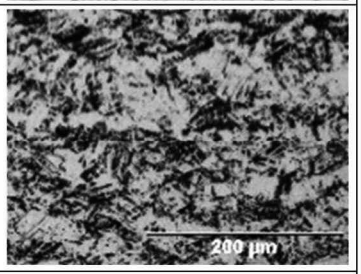
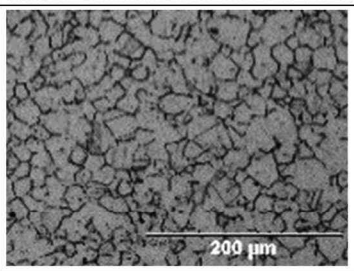
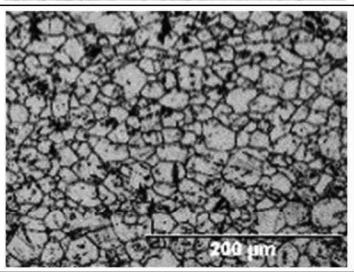
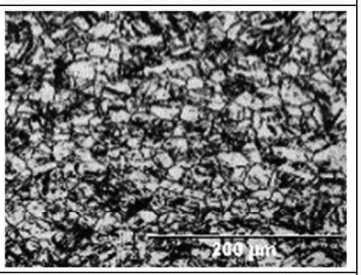
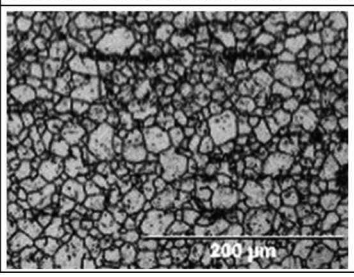
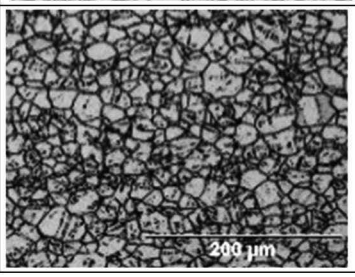
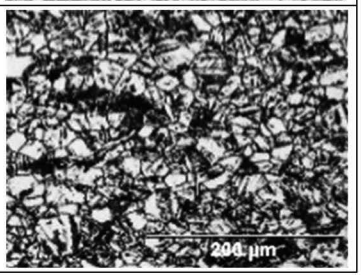
加熱処理	塑性ひずみの付加量		
	0%	15%	30%
非加熱			
500℃に1時間保持後空冷			
550℃に1時間保持後空冷			
600℃に1時間保持後空冷			
650℃に1時間保持後空冷			
700℃に1時間保持後空冷			

図 2　非加熱および加熱処理後の試験片の金属組織

表 2　非加熱のビッカース硬さ試験の結果

塑性ひずみの付加量 (%)	ビッカース硬さ (HV0.5)
0	178
15	255
30	298

材料試験機 AG-100KNG-M1

・金属組織観察：オリンパス（株）製　金属顕微鏡　BX53MRF-S(D)

・加熱処理：ヤマト科学（株）製　電気マッフル炉　F0410

・硬さ試験：（株）明石製作所製　マイクロビッカース硬度計　MVK-G2500

3. 実験結果および考察

表 2 に，非加熱の試料に対するビッカース硬さ試験の結果を示す。表 2 より，塑性ひずみの付加量が大きくなるにしたがって硬さ値が高くなっており，加工硬化が大きくなっている。

図 2 に，0%，15%，30%の塑性ひずみの付加後に加熱処理した試料の金属組織を示した。ここで，金属組織の横方向は材料の圧延方向（塑性ひずみの付加方向）である。

非加熱の金属組織については，オーステナイトの結晶粒が認められる。また，15%と 30%の金属組織には結晶粒内に細かい平行線（双晶）も認められる。

500℃に 1 時間保持後の金属組織については，非加熱の金属組織と比較すると，0%と 15%はほとんど変化していないが，30%は双晶の部位が濃くなっている。このことから，30%では双晶の部位においてクロム炭化物が析出したと考えられる。

550℃に 1 時間保持後の金属組織については，500℃に 1 時間保持後の金属組織と比較すると，0%と 15%はほとんど変化していないが，30%は双晶の部位がより濃くなっている。このことから，30%では双晶の部位においてクロム炭化物の析出量が増加したと考えられる。

600℃に 1 時間保持後の金属組織については，550℃に 1 時間保持後の金属組織と比較すると，0%はほとんど変化していないが，15%では双晶の部位が濃くなり，30%では双晶の部位がより濃くなっている。このことから，15%では双晶の部位においてクロム炭化物の析出が始まり，30%では双晶の部位においてクロム炭化物の析出量が増加したと考えられる。さらに，15%と 30%では一部の結晶粒において粒界が濃くなっていることから，鋭敏化（結晶粒界におけるクロム炭化物の析出）も始まったと考えられる。

650℃に 1 時間保持後の金属組織については，600℃に 1 時間保持後の金属組織と比較すると，0%にも鋭敏化が認められる。一方，15%および 30%では双晶の部位のクロム炭化物の析出量のさらなる増加と，鋭敏化の進行が認められる。

700℃に 1 時間保持後の金属組織については，650℃に 1 時間保持後の金属組織と比較すると，いずれも鋭敏化の進行および双晶の部位でのクロム炭化物の析出量の増加が認められる。

なお，本報告書の結果は当研究所のホームページにも掲載している [3)]。

4. 結　　言

塑性ひずみを付加した SUS304 鋼板の試験片を加熱処理して金属組織を観察した。得られた結果は次のとおり。

(1) 同じ加熱処理の条件で比較したときに，塑性ひずみの付加量が大きいほど，炭化物が多く析出することを確認した。

(2) 塑性ひずみを付加すると，付加しないときに比べて低い温度で鋭敏化が発生し進行することを確認した。

参考文献

1) 秋山・寺崎・米田，“オーステナイト系ステンレス鋼の粒界腐食における鋭敏化現象に及ぼす塑性加工の影響”，日本金属学会誌，第 52 巻，第 11 号(1988)，pp.1137-1143.

2) 石田制一編，標準顕微鏡組織 第 3 類 構造用合

金鋼・特殊用途鋼，（株）山本科学工具研究社，(2001)，pp.14-16.
3）http://www.iri.pref.niigata.jp/topics/R3/3kin4.html，塑性ひずみを加えたステンレス鋼 SUS304 の加熱に伴う炭化物の析出について「新潟県工業技術総合研究所ホームページ」，2022 年 2 月 9 日.