

669, 15(24)2628-194, 56:546, 77, 1:539, 4  
**(155) 高窒素 316L 型鋼の機械的性質  
 におよぼす高温時効処理の影響**

東京工業大学 62335  
 工博 岡本正三・工博 田中良平  
 藤本六郎・藤井 隆

**Effect of High-Temperature Ageing  
 Treatment on Mechanical Properties  
 of High-Nitrogen 316 L Type Steels.**

Dr. Masazō OKAMOTO, Dr. Ryōhei TANAKA,  
 Rokurō FUJIMOTO and Takashi FUJII.

**I. 結 言 1491~1492**

筆者らはさきに、高圧窒素中溶解法を用いて 316L 型鋼に高濃度の N を含有せしめると常温および高温の強度は顕著な改善をみるが、高温における靱性がかなり減少することを報告した<sup>1)</sup>。また、0.4% 以上の N を含む 316L 型鋼を溶体化焼入して均一オーステナイト組織としたのち 600~1000°C で時効すれば、窒化物 Cr<sub>2</sub>N がいわゆる general precipitation を起してオーステナイト粒界および粒内一面に粒状に析出し、とくに 800~1000°C ではこの general precipitation に加えて grain boundary reaction による特徴的な層状組織が発達するのを認めた。このように窒化物が粒状あるいは層状に析出した場合、その析出様式や析出程度によつて鋼の機械的性質はかなり影響されるであろうと考えられ、とくにこの窒化物の析出状態を適当に調節することによつて前述の高温靱性の欠乏を改善し、強度、靱性のともにすぐれた材料を得る可能性も期待される。そこで 0.45~0.50% の N を含む 316L 型鋼について種々の高温時効処理による組織と機械的性質の変化を研究した。

**II. 試料と実験方法**

試料の溶製条件および化学組成を Table 1 に示した。溶解はいずれも 1 チャージ 5 kg として、15kVA 高圧溶解炉を用いて窒素雰囲気中で行ない、その雰囲気のまま約 65mm 角の銅製鑄型に鑄造した。鋼塊は約 1100°C で鍛錬し、No. 15 および No. 16 は約 15mm 角のピレットとし、これをさらに 1000°C で約 6mm 厚にまで熱間圧延した。No. 56 は引張試験および衝撃試験に使用する関係から鍛錬で 13 mm φ の丸棒とし、さらに 9mm φ または 6.5mm φ にまで冷間引抜きした。溶体化

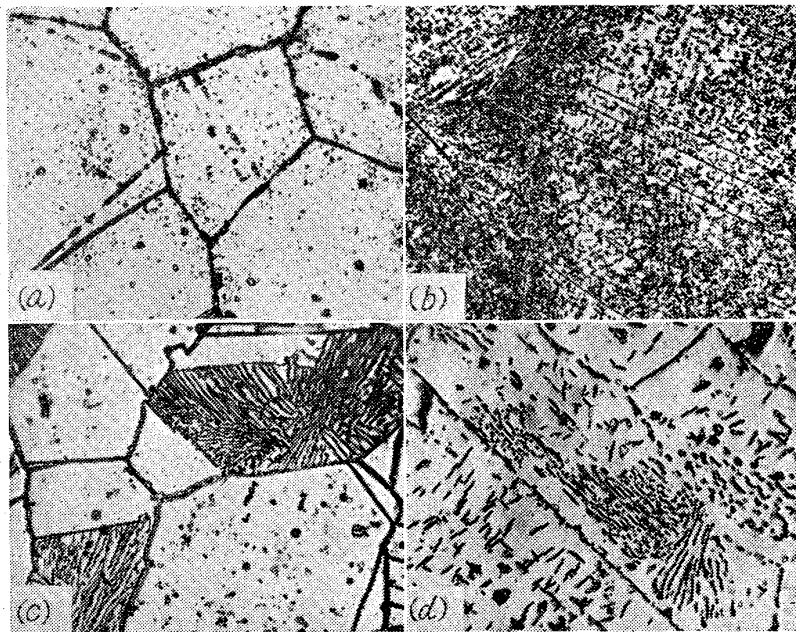
処理はすべて 1200°C 1h 水冷とした。高温時効処理は 700, 800 および 900°C にて 1000h まで行なつた。

引張試験は平行部直径 5.05mm φ, 標点距離 17.8mm の小試片について 2t の微小万能材料試験機を用い常温および 800°C の 2 つの温度で行なつた。衝撃試験は中央部に深さ 1mm で 60° 角の V 溝を切つた直径 6mm φ, 長さ 50mm の丸棒試片を用いて 2kg-m の小型シャルピー試験機にて行なつた。引張りクリープ破断試験は平行部断面 3×5mm, 標点距離 30mm の矩形断面試片を用い 700°C で行なつた。

**III. 実験結果とその考察**

**1. 組織変化**

Photo. 1 に時効組織の 2, 3 を示した。700°C 時効では 10h でも粒界および粒内にわずかに微細黒点状の析出をみるのみであるが、100h 附近より析出物が結晶粒内全面にわたつて急速にその量を増し、いわゆる general precipitation を示す。800°C でもほぼ同様の傾向を示し、ただ析出物が少しく大きい粒状を呈する点が異なる。900°C では 3h ですすで grain boundary reaction による層状析出が粒界に接してかなり現われており、30h 以後になると粒内に粗大な短棒状析出物が general precipitation の形をとつて現われ、層状析出



(a) Aged at 800°C for 3h (b) Aged at 800°C for 1000h  
 (c) Aged at 900°C for 3h (d) Aged at 900°C for 1000h

Photo. 1. Microstructures of type 316L steels No. 15 aged at 800°C and 900°C. (Electrolytically etched in 10% oxalic acid) ×400 (2/3)

Table 1. Chemical composition and melting conditions of the steels used.

No.	Melting condition		Chemical composition (%)						
	N <sub>2</sub> pressure atm	Holding time mn	C	Si	Mn	Cr	Ni	Mo	Total N
15	10	10	0.004	0.45	0.98	16.93	11.80	1.94	0.461
16	10	10	0.004	0.38	0.97	18.43	11.57	1.88	0.467
56	7	60	0.005	0.35	0.95	17.44	11.95	1.92	0.504

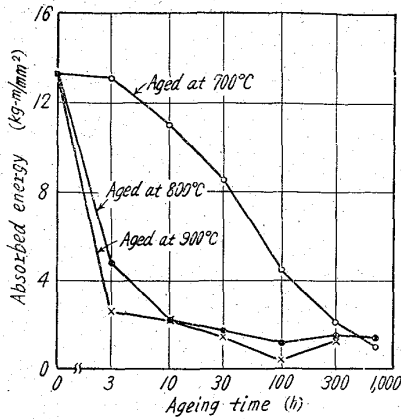


Fig. 1. Effect of high-temperature ageing treatment on impact properties of type 316L steel No. 56.

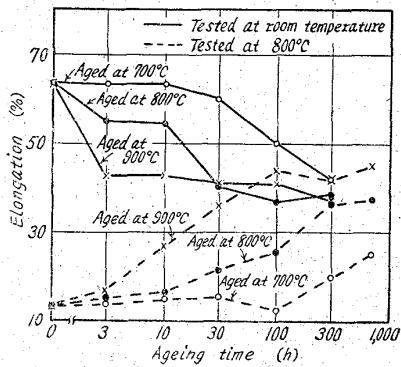


Fig. 2. Effect of high-temperature ageing treatment on elongation in tensile test of type 316L steel No. 56.

はもはやあまり進行せずに凝集を始め、かつ初期には明瞭に認められた general precipitation 部との境界も次第に消失する。

## 2. 硬度変化

700°C 時効では時間とともに硬度増加が認められるが、その硬化は Hv 20 程度に過ぎず、1000 h では過時効軟化を起す。800°C でもほぼ同様であるが、900°C では 30 h 以上ですでに過時効となり、時間とともに漸次軟化する。

## 3. 常温衝撃値の変化

Fig. 1 は No. 56 の各種時効処理を施した 5mm  $\phi$  試片について行なつた常温衝撃試験の結果を示す。700°C では時効時間とともに衝撃値は徐々に低下するが、800°C では 10h、また 900°C では 3h ですでにかなり脆化し、衝撃値は溶体化状態の約 1/10 にまで低下する。その後は時間の経過にあまり関係なくほぼ一定の低い衝撃値を示す。

## 4. 常温および 800°C での引張試験結果

抗張力および耐力は常温、800°C のいずれでも時効温度 700°C の場合は時効時間とともにごくわずかに増加し、また 800°C および 900°C では逆にわずかに減少する。Fig. 2 は時効時間と伸びとの関係を示したものであるが、時効による伸びと絞りの変化はかなり顕著で、常温試験では両者とも溶体化状態が最高の値を示し、時

効温度の高いほど、また時効温度の長いほど伸び、絞りともに減少し、衝撃試験の結果とよく一致する。しかし、800°C での引張試験結果はまったく逆で、溶体化試料は伸び、絞りが少ないのに対し、時効時間の延長とともに改善され、その傾向は時効温度の高いほどいちじるしく、とくに 900°C で 30 h 以上時効すると常温試験の伸び、絞りの値を凌ぐほどに増加する。

これらの結果および試験破断部附近の組織観察から、常温引張試験では溶体化試料はオーステナイト中の N 固溶度が高くても大きな変形能をもち、一方高温時効により窒化物が析出すると塑性変形能は害されるが、700°C あるいは 800°C の比較的短時間の時効材では析出物が微細かつ一様に分布して脆化は顕著でなく析出量の増加とともに緩慢に靱性を減ずる。900°C 時効材では層状窒化物の析出により粒界強度が低下するものようで、クラックは粒界に発生して伸び、絞りがいちじるしく減少すると考えられる。

他方、高温靱性はオーステナイト中の固溶窒素量と密接な関係があると思われる、固溶窒素が高温時効によつて析出すればこの析出形態や分布様式はどうであろうとも、主として固溶窒素量の減少によつていちじるしく靱性が増加すると考えられる。

## 5. クリープ破断試験結果

No. 16 試料を 800°C および 900°C で 10~300 h 時効し、700°C、応力 15 kg/mm<sup>2</sup> で試験した。時効温度の高いほど、また時効時間の長いほど概してクリープ速度は大となるが、比較的短時間の高温時効によつて破断時間はほとんど変化せずに伸びがかなり改善せられ、さらに長時間時効すると破断伸びはなお増加するが破断時間はいちじるしく減少する。しかして析出様式の相違による影響はあまり明らかでないが、窒化物がすでに多量に析出している場合に破断時間が短いのは析出により素地のクリープ抵抗が減少するため、破断時間が短かくある程度未析出の N が素地中に残存固溶している状態では破断寿命、伸びともにすぐれた性質を示すものようである。

## IV. 結 言

0.45~0.50% の高濃度の N を含む 316L 型鋼について窒化物析出による機械的性質の変化をしらべたが、700~900°C での高温時効処理によつて窒化物の析出様式がかなり異なるにもかかわらず、析出様式が機械的性質におよぼす影響はあまり明らかでない。しかして上記高温時効によつて常温、高温の強度は大きな変化を示さず、また、常温靱性はかなり減少し、逆に高温靱性はいちじるしく増加する。クリープ破断特性は時効時間が短かくある程度未析出の N が素地中に残存固溶している状態で比較的すぐれた性質を示す。

## 文 献

- 1) 岡本, 田中, 内藤, 藤本: 鉄と鋼, 48 (1962), p. 123