

数種のフェライト系耐熱鋼の高温機械的性質と耐酸化性について*

小柴 定雄**・九重 常男***

ON THE MECHANICAL PROPERTIES AT ELEVATED TEMPERATURE AND PROPERTIES FOR OXIDATION IN SOME HEAT RESISTING STEELS OF FERRITE SYSTEM

Sadao Koshiba, D. Eng. and Tsunzo Kuno

Heat-resisting steels of ferrite system have good machinabilities and are very inexpensive materials compared with austenite system heat resisting steels. In recent years, therefore it has been studied rapidly. The authors conducted laborious investigation on its quenching and tempering hardness, mechanical properties at elevated temperature, rupture strength, creep limit and resistance to oxidation of several heat-resisting steels of ferrite system. The informations on these characteristics, the authors believe, will surely be valuable as reference for all the users of these steels.

I. 緒 言

フェライト系耐熱鋼はオーステナイト系耐熱鋼にくらべ、加工がはなはだ容易でかつ廉価なる特徴を有している。しかし 600°C 以上の高温において急速にその耐熱性を減少するため、英国以外の諸外国ではほとんど研究されていながつた。最近に至りガスタービンの原価低減のため耐熱材料の適材適所がさげばタービンディスク、テールコン等にフェライト系耐熱鋼が広く使用されんとしている。筆者らは古くからフェライト系耐熱鋼の性能改善のため種々の基礎的実験をおこなつていたが、今回は現在使用されている耐熱鋼のうちで比較的優秀な性質を有する数種を選びその高温における諸性質を明らかにした。

II. 実験試料

実験に用いた試料は 50 kg 高周波電気炉にて 50 kg

鋼塊を溶製しこれを 15 mm 角に鍛伸して試料とした。Table 1 に試料の化学成分を示す。表に示すとく A および B の両試料は炭素量低く Nb および Mo をそれぞれ単独に含有している。C および D の両試料は W および V を同時に含有し D はさらに Co 約 5% を含んでいる。E 試料は Mo および V, F は W, Mo および V, G は Mo, V および Nb を含有しており、E, F および G の 3 試料は Mo および V の複合的効果を狙つた試料である。

III. 実験結果

1) 焼入温度と硬度との関係

試料は 15×15×15 mm とし 900~1,100°C の焼入温度におのおの 30 分保持後油冷して硬度を測定した。その結果を Fig. 1 に示す。A および B の両試料は C 量の低いいため他の 5 試料に比し焼入硬度はいちじるしく低い。A は焼入温度の上昇にしたがい硬度を増大する。B

Table 1. Chemical composition of specimens.

	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	Mo	V	Co	Nb
A	0.06	0.20	0.34	0.007	0.008	0.12	13.50	—	—	—	—	0.32
B	0.04	0.14	0.40	0.013	0.010	0.13	14.86	—	1.85	—	—	—
C	0.20	0.31	1.01	0.014	0.016	0.32	11.78	4.21	—	0.27	—	—
D	0.19	0.28	0.96	0.015	0.015	0.06	12.25	2.81	—	0.27	4.99	—
E	0.17	0.31	1.04	0.011	0.020	0.16	11.65	—	2.05	0.24	—	—
F	0.22	0.27	0.71	0.024	0.006	0.98	12.47	1.04	1.18	0.40	—	—
G	0.17	0.27	0.28	0.011	0.024	0.21	10.90	—	0.54	0.77	—	0.16

* 昭和31年10月, 日本鉄鋼協会講演大会にて発表 ** 日立金属工業株式会社冶金研究所長

*** 日立金属工業株式会社冶金研究所

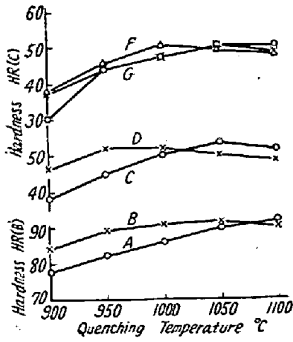


Fig. 1. Relation between quenching temperature and hardness.

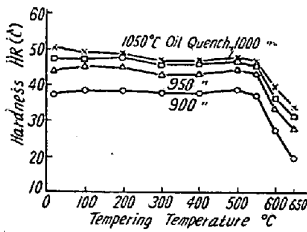


Fig. 2. Relation between tempering temperature and hardness (sample G)

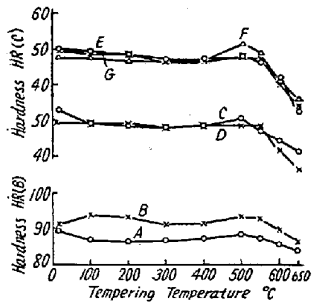


Fig. 3. Relation between tempering temperature and hardness.

は、1,050°C で最高硬度を示す。CはBと同様、1,050°C Dは 950°C, EはAと同様焼入温度の上昇にしたがい硬度は増大する。Fは、1,000°C, Gは1,050°Cでそれぞれ最高硬度を示す。しかし、えられる焼入硬度はCが最も高く、ついでD, F, E Gの順となり、AおよびBが最も低い硬度を示す。

2) 焼戻温度と硬度との関係
試料は 15×15×15 mm

とし 900~1,050°C に油焼入後 100~650°C にそれぞれ 1 時間焼戻を行つて硬度の変化をしらべた。各試料とも焼入温度の高くなるにしたがつて焼戻硬度は増大する。Fig. 2 に試料Gの焼戻硬度を示したが、他の 6 試料もGとほとんど同様の傾向を示す。つぎに各試料の 1,050°C 油焼入の場合の焼戻硬度を Fig. 3 に示したが、AおよびBは焼入硬度の場合と同様他の試料に比し、いぢるしく硬度は低い。CおよびFは焼戻温度 500°C で硬度はやや増大するが他の試料は 500°C までほとんど軟化を示さない。焼戻温度 600°C よりいぢるの試料もいぢるしく硬度を低下する。AおよびBをのぞく他の 5 試料間では焼戻硬度に大差はない。

3) 高温機械的性質

平行部 7 mm 丸の高温抗張試験片を作製し 200~650°C の温度における機械的性質を測定した。その結果を Fig. 4, Fig. 5 および Fig. 6 に示す。なお試験前の各試料の熱処理方法を Table 2 に示す。また各試験温度における保持時間は 20 分間とした。抗張力は Fig. 4 に示すごとく各試料とも試験温度の上昇にしたがい減少する。しかし、試験温度 550°C まではFが最も抗張力大きく、ついでG, D, C, Eの順となりAおよびBが最も

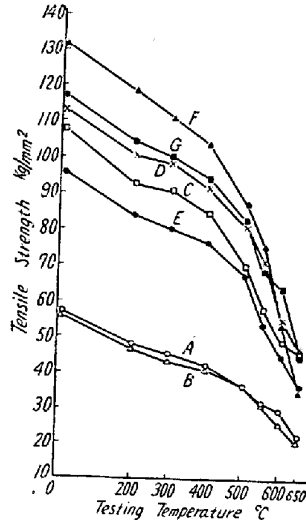


Fig. 4. Relation between testing temperature and tensile strength.

小さい。また試験温度 600°C ではG, 650°C ではDがそれぞれ最も大きい抗張力を示す。伸は Fig. 5 に示すごとくでGをのぞく他

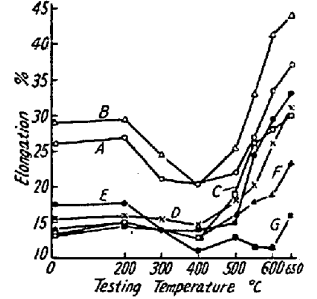


Fig. 5. Relation between testing temperature and elongation.

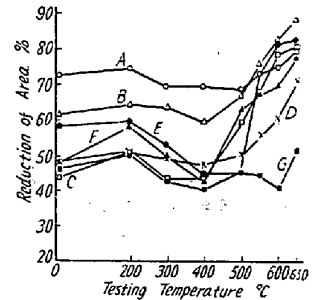


Fig. 6. Relation between testing temperature and reduction of area.

Table 2. Methods of heat treatment before testing.

Methods of heat treatment before testing	
A	1,050°C oil quenched, 650°C tempered
B	1,050°C oil quenched, 650°C tempered
C	1,040°C oil quenched, then lift up at about 700°C
D	950°C oil quenched, 650°C tempered
E	1,040°C oil quenched, then lift up at about 700°C
F	1,040°C oil quenched, 620°C tempered
G	1,150°C Air cooled, 650°C tempered

の試料はいずれも試験温度 400°C 付近で最低値を示し、550°C 付近よりいぢるしく増大する。しかし、各試験温度を通じBが最も大きい値を示し、Gが最も小さい。絞りは Fig. 6 に示すごとくで伸の場合とはほぼ同様の傾向を示すが、試験温度 500°C まではAが最も大きい値を示し、550°C 以上ではBが最大となる。Gは伸と同様各試験温度を通じ最小の値を示す。

4) ラブチャー強度およびクリープ限

平行部 5 mm 丸のラブチャー試験片を作製し、600°C 100 時間のラブチャー強度をしらべた。その結果を Table 3 に示す。なお試験前の試料の熱処理は Table 2 に示すとおりである。表に示すごとくラブチャー強度はGが最も大きく、ついでD, C, F, E, Aの順となりB

Table 3. Rupture strength at 600°C (100h)

	A	B	C	D	E	F	G
Rupture strength kg/mm ²	20.1	13.0	34.7	35.1	27.0	34.0	36.4

Table 4. Creep limit at 600°C (DVM method)

	A	B	C	D	E	F	G
Creep rate kg/mm ²	12.5	6.2	19.4	20.1	14.7	18.8	21.4

が最も小さい。

つぎに 600°C のクリープ限を DVM 法により求めた。その結果を Table 4 に示す。なお試料は平行部 10 mm 丸標点距離 100 mm とし、伸びはミラーの廻転によるエクステンソメーターにて行つた。また DVM 法は 25~35 時間の平均クリープ速度が $1 \times 10^{-3} \%$ /h で 45 時間の全残量 0.2% 以下なる応力を限度としている。表に示すごとく G が最も大きく、ラプチャー強度とまつたくなじ傾向を示す。

5) 耐酸化性

試料は直径 10 mm 長さ 20 mm とし磁性るつばにいて管状電気炉にて 500°C, 600°C および 700°C の 3 温度に 20 時間まで加熱して化学天秤にて酸化増量を秤

Table 5. Increasing in weight after oxidation
 $\times 10^{-5} \text{ g/cm}^2$

Testing temperature	A	B	C	D	E	F	G
600°C	39.7	51.4	69.1	127.8	110.2	30.4	7.4
700°C	238.9	310.7	700.1	585.3	905.5	330.4	106.7

量した。その結果を Table 5 に示す。なお試験前の各試料の熱処理法は Table 2 に示すごとくである。また試料は表面をエメリー紙 04 まで研磨し、ベンゾールおよびエーテルにて脱脂したものを用いた。

試験温度 500°C の場合は各試料とも酸化増量はきわめて少なく試料間で大差はなくいずれも $20 \times 10^{-5} \text{ g/cm}^2$ 以下の値を示す。試験温度が 600°C および 700°C と上昇するにしたがつて酸化はいちじるしくなる。しかして酸化増量は Mo を多量に含有する E が最も多く、G が最も少ない。

IV. 結 言

フェライト系耐熱鋼のうちで広く使用されんとしている 7 種を選び、焼入および焼戻硬度、高温機械的性質、ラプチャー強度、クリープ限および耐酸化性をしらべその性質を明らかにして使用上の参考に供した。

(昭和 31 年 11 月寄稿)

耐熱鋼の研究 (XI)*

(含 Ti, B 11-25-6 合金の Warm Work と加工を受けた材料の析出組織)

浅野 栄一郎**

THE STUDY OF HEAT-RESISTING STEEL (XI)

Eiichiro Asano

Synopsis:

In this report, the effect of "warm-work" and the variety of microstructure during precipitation for warm-worked material on 16-25-6 alloy containing Ti or B were studied.

There are three different compositions in the specimens. (#D1 #D2 and #D3) Sample #D1 contained 0.68% Ti, #D2 contained 1.86% Ti, and #D3 contained 0.085% B, based on 16 Cr-25 Ni-6 Mo alloy. The chemical compositions is shown in Table 1 in full detail.

After forged to bars, these samples were solution treated at 1150°C for #D1 and #D3, and at 1200°C for #D2 for 1 hour. Then the tensile-test pieces were made.

The warm working was made at 650°C by means of an Amsler's tensile-test machine.

The ratio of work was arrived at by computing the ratio of reduction of area in all parts. After measuring of hardness and microstructure, these samples were annealed at 650°C or

* 日本鉄鋼協会第 51 回講演大会にて発表 ** 東都製鋼 K.K. 技術部