

新しい耐熱鋼“TAF”の諸性質について

On the Properties of a New Heat Resisting Steel “TAF”

小柴定雄* 九重常男*
Sadao Koshiha Tsuneco Kunou

内容梗概

フェライト系の新しい12%Cr耐熱鋼TAFの変態点、熱膨脹係数、熱処理硬度、常温ならびに高温機械的性質、ラプチャー強度および耐酸化性を測定し、使用上の参考に供した。なお同時に Jessop H 46 と高温特性の比較を行い、TAF鋼の優秀性を確めた。

1. 緒言

フェライト系の12%Cr耐熱鋼は650°C以下の使用温度ではかなりのクリープ強度を有し、しかもオーステナイト系耐熱鋼に比べて熔解、高温加工が容易でかつ安価な利点がある。最近では12%Cr耐熱鋼がジェットエンジンおよび排気タービン用翼車材、高圧蒸気タービン動翼材、ディーゼルエンジン用スーパーチャージャ用として広く使用されんとしている。

12%Cr耐熱鋼の代表的なものとしてイギリスの Jessop H46 がそのすぐれた性能により広く知られている。わが国においては数年前からH46より強力な12%Cr耐熱鋼を見い出さんものと多くの研究がなされているが、このたび東京大学工学部故芥川教授ならびに藤田助教授の手により、H46より強力な12%Cr耐熱鋼“TAF”の発見がなされ、関係方面の注目をあびている。日立金属工業株式会社安来工場もこの研究の一部を担当した関係上“TAF”の発見に大きな喜びを感じるものである。ここ“TAF”の諸性質を紹介し使用上の参考とした。

2. 実験結果

(1) 試料の化学成分

試料は高周波誘導電気炉にて90kg鋼塊を吹製し、これを20mm角に鍛伸して試料とした。その化学成分を第1表に示す。

(2) 変態生起状況

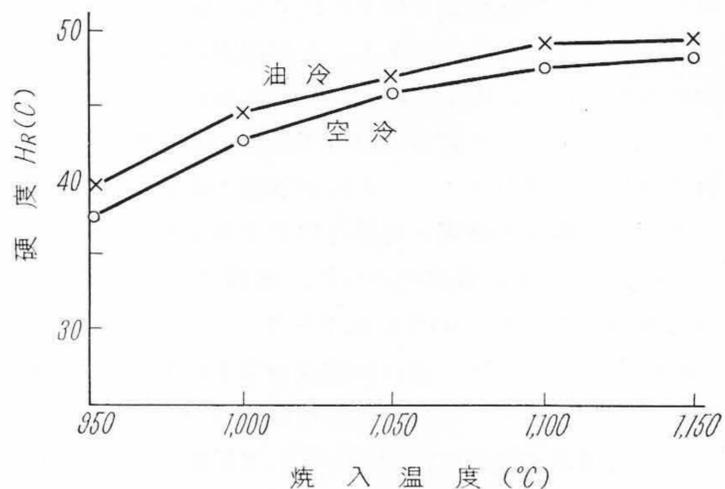
試料は7mmφ×70mmとし本多式熱膨脹計にて加熱および冷却の際の変態生起状況を調べた。その結果を第2表に示す。なお加熱および冷却速度は5°C/minとし空冷のさいの最高加熱温度は950°Cとした。

(3) 熱膨脹係数

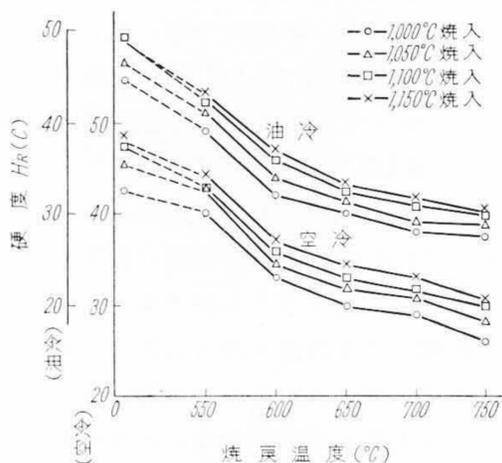
試料は7mmφ×70mmとし20°C~700°Cの温度範囲における熱膨脹係数を測定した。その結果を第3表に示す。表に示すように600°Cまでは温度の上昇にしたがい、熱膨脹係数を増大するが700°Cではやや減少する。

* 日立金属工業株式会社安来工場 工博

** 日立金属工業株式会社安来工場



第1図 焼入温度と硬度との関係



第2図 焼戻温度と硬度との関係

(4) 焼入温度と硬度との関係

20φ×20mmの試料を950~1,150°Cの焼入温度に30分間保持後油冷および空冷して硬度を測定した。その結果を第1図に示す。焼入温度の上昇にしたがい油冷、空冷の場合とも硬度を増大する。しかして油冷が空冷に比し高い硬度を示す。

(5) 焼戻温度と硬度との関係

試料は前述と同様20φ×20mmとし1,000~1,150°Cより焼入後550~750°Cに各1時間焼戻を行って硬度を測定した。その結果を第2図に示す。油冷、空冷とも焼

新しい耐熱鋼“TAF”の諸性質について

第1表 試料の化学成分

| 鋼種 | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | V | Cu | B | Nb | N |
|-----|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|-------|------|-------|
| TAF | 0.19 | 0.46 | 0.69 | 0.012 | 0.009 | 0.25 | 12.20 | 0.84 | 0.15 | 0.18 | 0.024 | 0.22 | 0.042 |

第2表 変態生起状況

| 鋼種 | 加熱変態 | 冷却変態 | |
|-----|-----------|-----------|-----------|
| | | 炉冷 | 空冷 |
| TAF | 853~888°C | 783~742°C | 202~123°C |

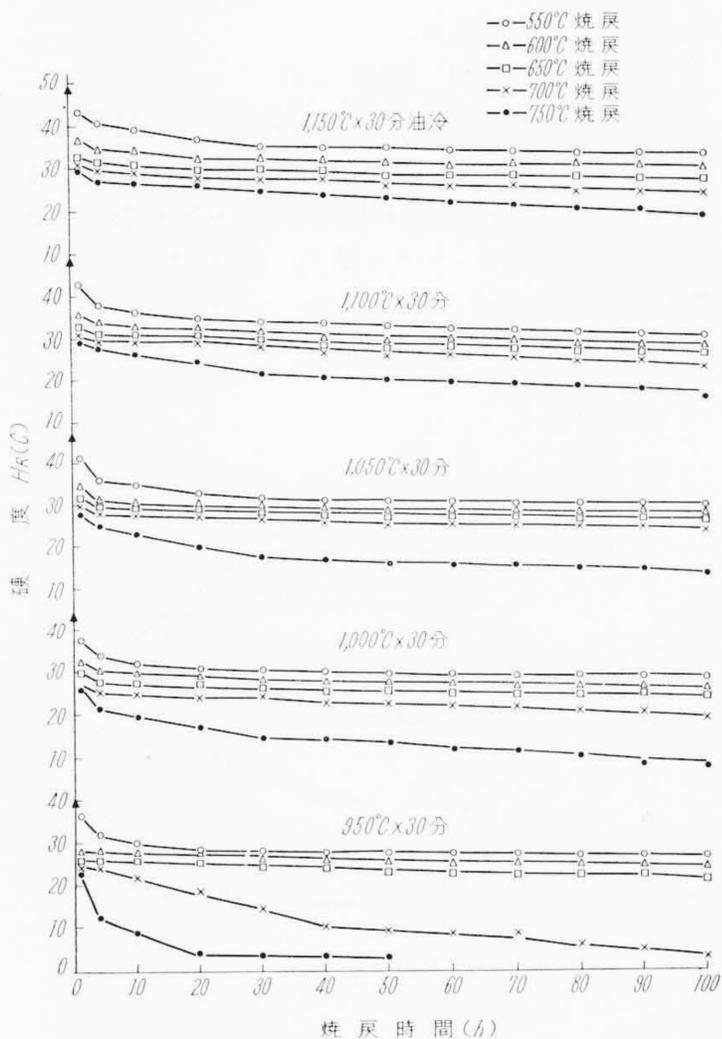
第3表 熱膨張係数 ($\times 10^{-6}$)

| 鋼種 | 20~200°C | 20~300°C | 20~400°C | 20~500°C | 20~600°C | 20~700°C |
|-----|----------|----------|----------|----------|----------|----------|
| TAF | 863 | 10.00 | 10.82 | 11.08 | 11.68 | 11.37 |

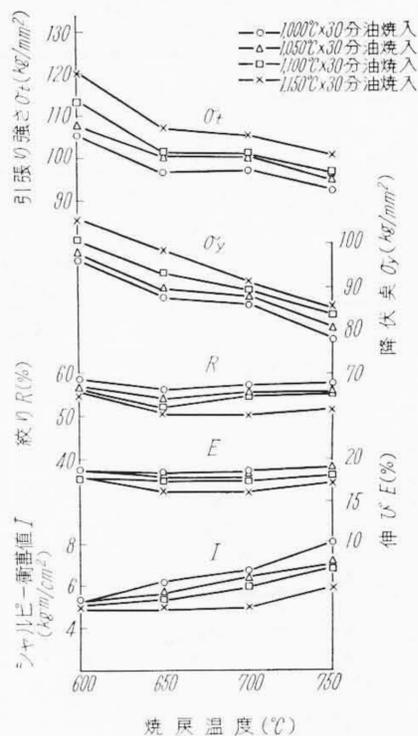
戻温度の上昇にしたがい硬度を減少する。しかし焼戻硬度は焼入温度の上昇にしたがい増大する。また油冷の場合は空冷に比し高い焼戻硬度を示す。

(6) 焼戻時間と硬度との関係

試料は $20\phi \times 20\text{ mm}$ とし $950\sim 1,150^\circ\text{C}$ より油冷後 $550\sim 750^\circ\text{C}$ の焼戻温度に 100 時間まで焼戻して硬度を測定した。その結果を第3図に示す。なお焼戻は同一試料にてははじめ 1, 3 および 6 時間の焼戻を行い以後は 10 時



第3図 焼戻時間と硬度との関係



第4図 焼戻温度と機械的性質との関係

間の焼戻を 9 回行い合計を 100 時間とした。

図に示すように各焼入温度、焼戻温度とも焼戻時間の長くなるにしたがい硬度を減少するが、焼入温度が低くなるほどまた焼戻温度の上昇するほど硬度の減少が著しい。

(7) 常温機械的性質

平行部 $7\text{ mm}\phi$ の引張試験片およびシャルピ衝撃試験片を $1,000\sim 1,150^\circ\text{C}$ より油焼入後 $600\sim 750^\circ\text{C}$ に各 1 時間焼戻して機械的性質を測定した。その結果を第4図に示す。引張強さおよび降伏点は焼戻温度の上昇にしたがい減少する。伸および絞りは焼戻温度により大差ないが 650°C でやや減少の傾向を示す。衝撃値は焼戻温度の上昇にしたがい増大する。引張強さおよび降伏点は焼入温度の上昇にしたがい増大し、伸び、絞りおよびシャルピ衝撃値は逆に焼入温度の上昇にしたがい減少する。

つぎに $1,050, 1,100^\circ\text{C}$ および $1,150^\circ\text{C}$ の三温度より油焼入後 700°C に 50 時間まで焼戻を行って機械的性質を測定した。その結果を第5図に示す。また $1,100^\circ\text{C}$ および $1,150^\circ\text{C}$ 油焼入後 750°C に 50 時間まで焼戻を行った結果を第6図に示す。引張強さおよび降伏点は焼戻時間の増大にしたがい減少し、伸び、絞りおよびシャルピ衝撃値は増大する。なお 750°C 焼戻の場合は 700°C 焼戻の場合に比べて時間の増大にしたがい引張強さおよび降伏点の減少が大きく、伸び、絞りおよびシャルピ衝撃値の増大が大きい。

(8) 高温機械的性質

平行部 $7\text{ mm}\phi$ の引張試験片およびシャルピ衝撃試験片を $1,050, 1,100^\circ\text{C}$ および $1,150^\circ\text{C}$ の三温度より油焼入

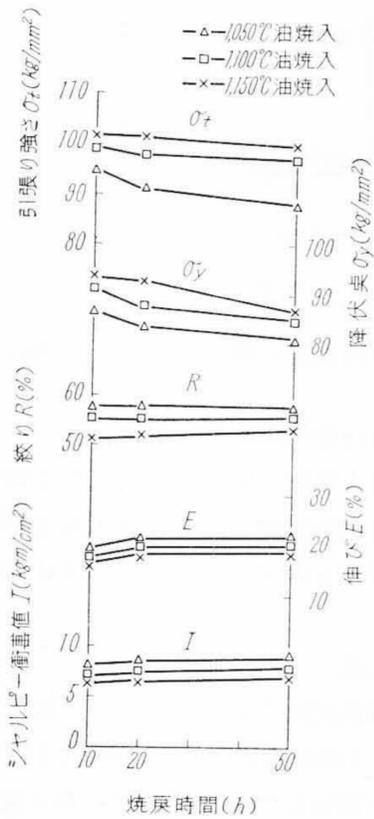
第 4 表 TAF の 1,000 時間ラプチャー強度 (kg/mm²)
1,150°C×30分油冷, 690°C×1時間空冷

| 鋼種 | 600°C | 650°C | 化 学 成 分 | | | | | | | | | |
|-----|-------|-------|---------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| | | | C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | V | Nb | N | B * |
| TAF | 31.0 | 21.0 | 0.17 | 0.26 | 0.30 | 0.08 | 11.16 | 0.77 | 0.15 | 0.29 | 0.01 | 0.02 |

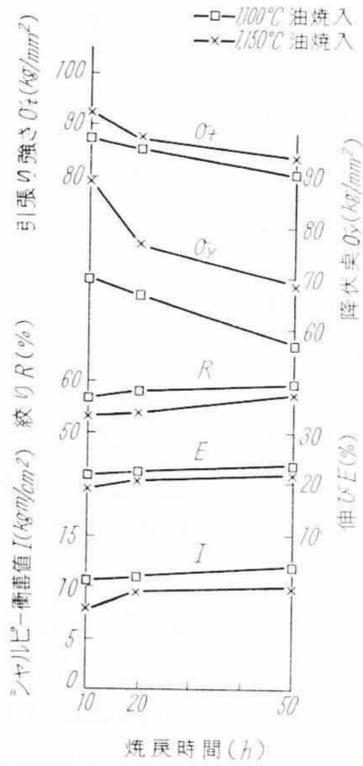
* Bは添加量

第 5 表 TAF の酸化増量 ×10⁻⁵g/cm²
(50 時間加熱)

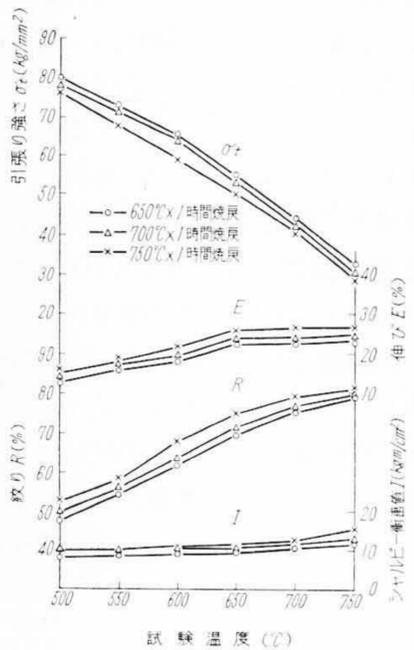
| 鋼種 | 600°C | 650°C |
|-----|-------|-------|
| TAF | 5.1 | 9.8 |



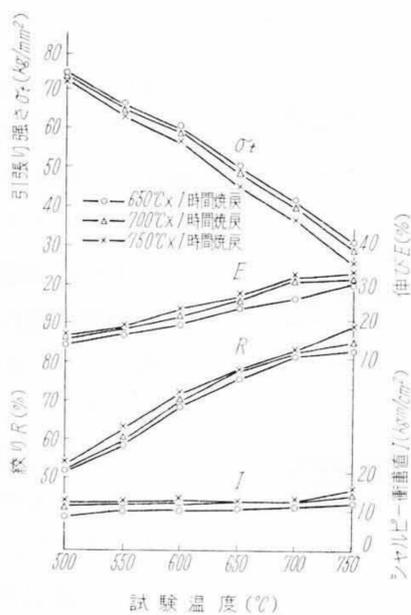
第 5 図 焼戻時間と機械的性質との関係 (700°C焼戻)



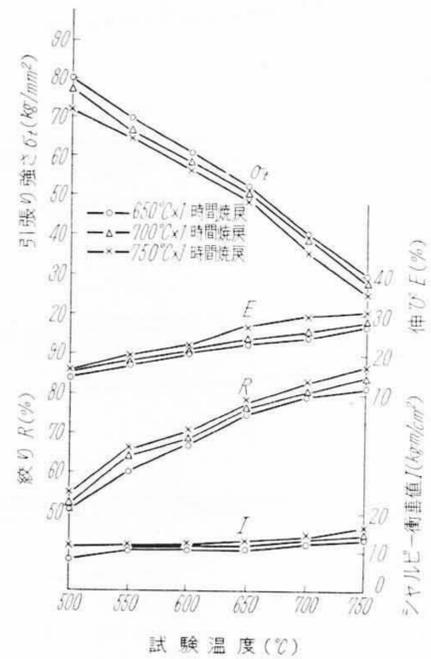
第 6 図 焼戻時間と機械的性質との関係 (750°C焼戻)



第 7 図 TAF 鋼の高温機械的性質 (1,050°C 30 分油焼入)



第 8 図 TAF 鋼の高温機械的性質 (1,100°C 30 分油焼入)



第 9 図 TAF 鋼の高温機械的性質 (1,150°C 30 分油焼入)

後, 650, 700°C および 750°C に各 1 時間焼戻を行って 500~750°C の試験温度における高温機械的性質を測定した。その結果を第 7, 8 図および第 9 図に示す。

各焼入温度とも引張強さは試験温度の上昇にしたがい減少し, 伸びおよび絞り は逆に増大する。シャルピ衝撃値は試験温度により大差ないが, 750°C でやや増大する。また各試験温度を通じ焼入温度の上昇にしたがい引張強さは増大し, 伸び, 絞りおよびシャルピ衝撃値は減少する。

(9) ラプチャー強度

600°C および 650°C における 1,000 時間のラプチャー強度を測定した。その結果を第 4 表に示す。なお試料は 1,150°C ×30分油焼入, 690°C×1時間 焼戻を行って試験に供した。またラプチャー試験に用いた試料は 50 kg 高周波電気炉にて溶解した 30 kg 鋼塊を 15 mm 角に鍛伸したものでその化学成分は第 4 表に付記してある。

(10) 耐酸化性

ラプチャー試験に用いた試料で 10 mmφ×20 mm に旋削後 1,150°C×30 分油焼入, 690°C×1時間焼戻を行って表面をエメリー紙 04 まで研摩し, ベンゾ

第6表 TAFとH46の高温特性の比較

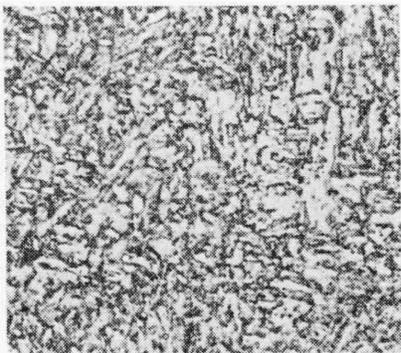
| 鋼種 | 試験前熱処理硬度 HR(C) | 焼鈍硬度 HB | 機 械 的 性 質 * | | | | | | | | | | | | 1,000時間の ラプチャー強度 kg/mm ² | | 50時間空气中 加熱の酸化増量 ×10 ⁻⁵ g/cm ² | |
|-----|---|------------|----------------|------|------|------|----------------|------|------|------|----------------|------|------|------|---|-------|---|-------|
| | | | 帯 温 | | | | 600°C | | | | 650°C | | | | 600°C | 650°C | 600°C | 650°C |
| | | | δ _t | ε | R | I | δ _t | ε | R | I | δ _t | ε | R | I | | | | |
| TAF | **1,150°C×30分 油冷 690°C×1時間空冷 31.5 | 212 | 94.2 | 17.0 | 57.2 | 7.1 | 63.2 | 25.7 | 69.0 | 12.0 | 51.8 | 25.0 | 69.0 | 13.0 | 31.0 | 21.0 | 5.1 | 9.8 |
| H46 | **1,150°C×30分 油冷 690°C×1時間空冷 30.5 | 218 | 90.7 | 20.2 | 55.3 | 14.9 | 55.4 | 25.0 | 67.0 | 13.7 | 46.5 | 27.5 | 75.4 | 13.0 | 25.5 | 15.0 | 6.2 | 7.8 |

* δ_t: 引張強さ kg/mm², ε: 伸び %, R: 絞り %, I: シャルピー衝撃値 kgm/cm²

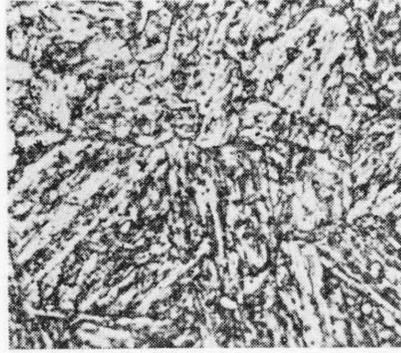
** 試料の化学成分

| 鋼種 | C | Si | Mn | P | S | Ni | Cr | Mo | V | Nb | N | B*** |
|-----|------|------|------|-------|-------|------|-------|------|------|------|------|------|
| TAF | 0.17 | 0.26 | 0.30 | 0.014 | 0.019 | 0.08 | 11.16 | 0.77 | 0.15 | 0.29 | 0.01 | 0.02 |
| H46 | 0.18 | 0.33 | 0.42 | 0.015 | 0.026 | 0.08 | 11.37 | 0.46 | 0.32 | 0.31 | 0.01 | — |

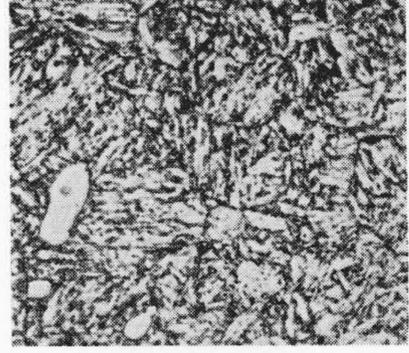
*** 添加量



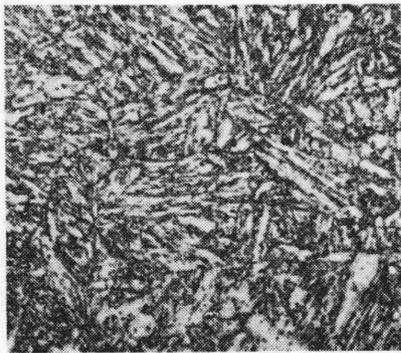
(1,000°C×30分油焼入, 700°C×1時間焼戻)
第10図 TAFのマイクロ組織
(×420)



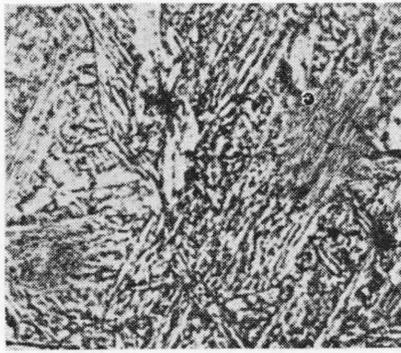
(1,050°C×30分油焼入, 700°C×1時間焼戻)
第11図 TAFのマイクロ組織
(×420)



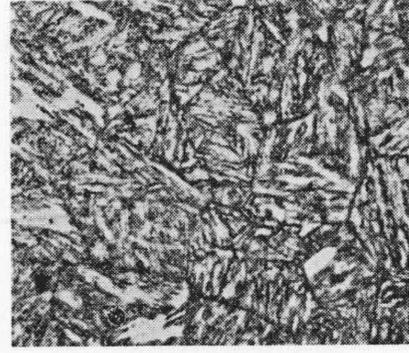
(1,100°C×30分油焼入, 700°C×1時間焼戻)
第12図 TAFのマイクロ組織
(×420)



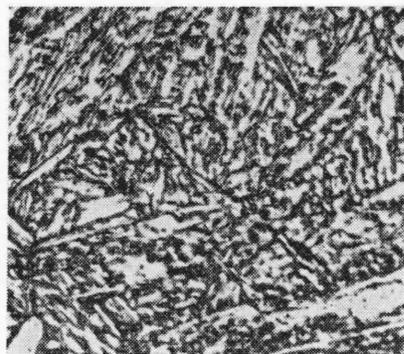
(1,100°C×30分油焼入, 750°C×1時間焼戻)
第13図 TAFのマイクロ組織
(×420)



(1,150°C×30分油焼入, 650°C×1時間焼戻)
第14図 TAFのマイクロ組織
(×420)



(1,150°C×30分油焼入, 700°C×1時間焼戻)
第15図 TAFのマイクロ組織
(×420)



(1,150°C×30分油焼入, 750°C×1時間焼戻)
第16図 TAFのマイクロ組織
(×420)

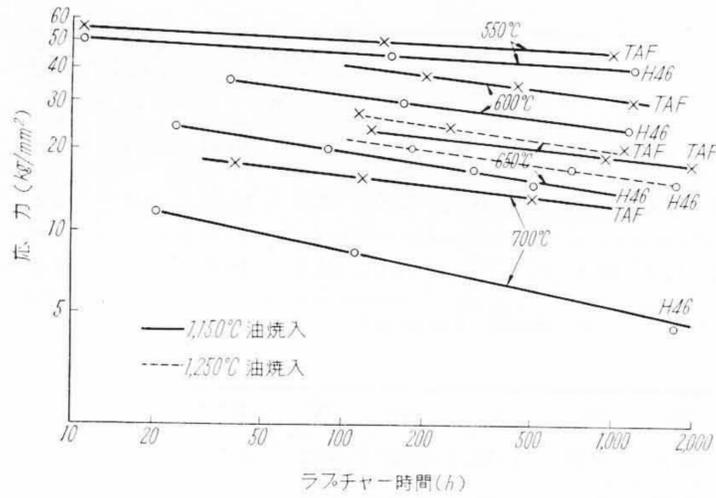
ールおよびエーテルで洗浄して磁性るつぽに入れ、管状電気炉にて600°Cおよび650°Cの2温度に50時間加熱して酸化増量を化学てんびんにてはかった。その結果を第5表に示す。

(11) 顕微鏡組織

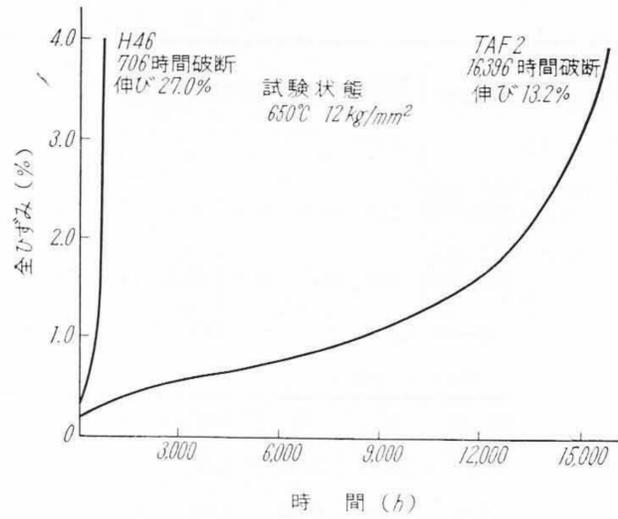
第10～16図にTAF鋼の顕微鏡組織を示した。焼入温度の上昇するにしたがい、結晶粒が粗大化する。

3. TAF鋼とH46の高温特性の比較

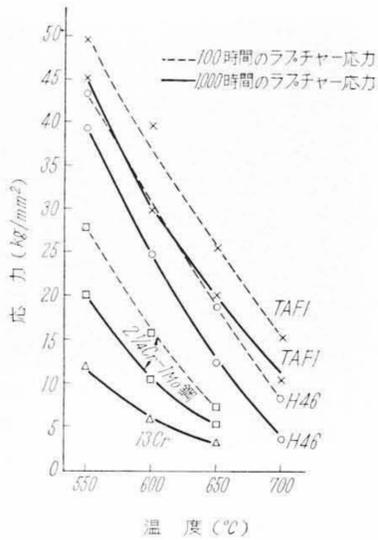
第6表にTAF鋼とH46の高温特性を示す。なお



第17図 TAF鋼およびH46のラプチャー強度



第19図 TAF鋼およびH46のクリープラプチャー曲線



第18図 TAF鋼, H46, 2 1/4Cr-Mo鋼および13Cr鋼のラプチャー強度

TAF および H46とも 30 kg 鋼塊を 15 mm 角に鍛伸した試料を用いた。引張強さおよびラプチャー強度は TAF 鋼が H46 より大きく、伸び、絞りおよびシャルピ衝撃値は大差ないが、H46 がやや大きい。

つぎに TAF および H46 のラプチャー強度を第 17 図⁽¹⁾に、TAF, H46, 13Cr および 2 1/4Cr-1 Mo 鋼のラプチャー強度を第 18 図⁽²⁾に、第 19 図⁽³⁾に TAF および H46 のクリープラプチャー強度を示す。なお第 7 表⁽⁴⁾に試料の化学成分を示す。TAF 鋼は H46 に比しすぐれたラプチャー強度を示している。

第7表 TAF鋼およびH46の化学成分

| 鋼種 | C | Si | Mn | Cr | Mo | V | Nb | B* | N* |
|-------|------|------|------|-------|------|------|------|------|------|
| H 46 | 0.18 | 0.33 | 0.42 | 11.37 | 0.46 | 0.32 | 0.31 | — | — |
| TAF 1 | 0.17 | 0.26 | 0.30 | 11.16 | 0.77 | 0.15 | 0.29 | 0.04 | 0.01 |
| TAF 2 | 0.21 | 0.50 | 0.80 | 11.16 | 1.29 | 0.17 | 0.29 | 0.03 | 0.03 |

4. 結 言

以上の実験結果を要約するとつぎのようになる。

(1) 12% Cr 耐熱鋼 TAF の変態点、熱膨脹係数、熱処理硬度、常温ならびに高温機械的性質、ラプチャー強度、耐酸化性および顕微鏡組織を調べ使用上の参考とした。

(2) TAF 鋼と H46 の高温特性の比較を行い、TAF の優秀性を確めた。

終りに本実験試料の吹製に便宜を与えられた日立金属工業株式会社安来工場浅田課長、伊達山主任に深謝するとともに、実験に従事された日立金属工業株式会社冶金研究所田中康平所員、山根吉長君の労を多とする。

参 考 文 献

- (1) 藤田：鉄と鋼 45 (1959-3) p. 362
- (2) 藤田：鉄と鋼 45 (1959-3) p. 363
- (3) 藤田：鉄と鋼 45 (1959-3) p. 363
- (4) 藤田：鉄と鋼 45 (1959-3) p. 362