

各種耐熱鋼の高温硬度

High Temperature Hardness of Various Kinds of Heat Resisting Steel

九重常男* 徳田健次*
Tsuneo Kunou Kenji Tokuda

内 容 梗 概

フェライト系7種, オーステナイト系8種, 超耐熱合金5種, 計20種類の耐熱鋼について高温硬度を測定し, 各鋼種間の比較を行なった。

また強析出型耐熱合金 A 286, Nimonic 80 A および M 252 について熱処理法と高温硬度の関係を調べた。付記として, 熱間工具鋼9種の高温硬度を掲載し, 耐熱鋼を熱間工具鋼として使用する場合の参考とした。

1. 結 言

耐熱鋼の研究としてはクリープ, ラプチャー強度, 高温機械的性質, 高温疲労強度など高温強度に関するものが古くから詳細に行なわれているが, 高温硬度に関する研究は少ない。常温における引張強さは硬度と密接な関係があるが, 高温引張強さと硬度に, 常温におけるような関係が認められれば, 耐熱鋼の高温強度に関して, ある程度の推察が可能となる。本報告は高温硬度と高温引張強さとの関係を求めんとし, まず各種耐熱鋼の高温硬度を測定し, さらに二, 三の強析出型の耐熱合金については, 熱処理方法と高温硬度の関係を調べ析出物との関係についても, 若干の考察を行なったものである。付記として各種ダイス鋼の高温硬度を示した。高温硬度が高温における耐摩耗性に関係あるとして, 熱間ダイス鋼は高い高温硬度が要求されるが, 最近では耐熱鋼が熱間ダイス鋼として使用される傾向にあるところから参考のために記載したものである。

2. 試験機および実験方法

高温硬度測定に使用した試験機は, 普通のビッカースかたさ試験機に管状電気炉(高温部)と排気装置を付したもので, その仕様は

荷 重 1~50 kg
最 高 温 度 900°C
真 空 度 10^{-2} ~ 10^{-3} mmHg

となっている。

試験片は6×6×20 mm または6×12×20 mm とし, 測定面をエメリー紙で700番まで研磨して炉中に装入し, 室温より750~850°Cまで連続に温度を上昇し, 所定の温度に各10分間保持後ダイヤモンドコーンにより圧痕(あっこん)をあたえ, 室温に冷却後圧痕の対角長さを測定しビッカース硬度値を算出する。(通常のビッカース硬度測定と同様)。なお昇温速度は100°C/20 min とした。

フェライト系7種, オーステナイト系8種, 超耐熱合金5種, 計20種類の耐熱鋼については, それぞれ標準熱処理を行ない, 750~850°Cまでの高温硬度を測定し, また強析出型のA 286, Nimonic 80 A および M 252 の3鋼種については溶体化処理のまま, 溶体化処理後時効を行なった2種類の試料を700, 750°C および800°Cの3温度に100時間まで加熱して, 加熱時間と高温硬度との関係を調べた。

3. 試料の化学成分および熱処理法

試験に使用した試料の化学成分および熱処理法は第1表に示すとおりである。

4. 実 験 結 果

4.1 フェライト系耐熱鋼の高温硬度

7種類のフェライト系耐熱鋼の高温硬度を第1図に示す。

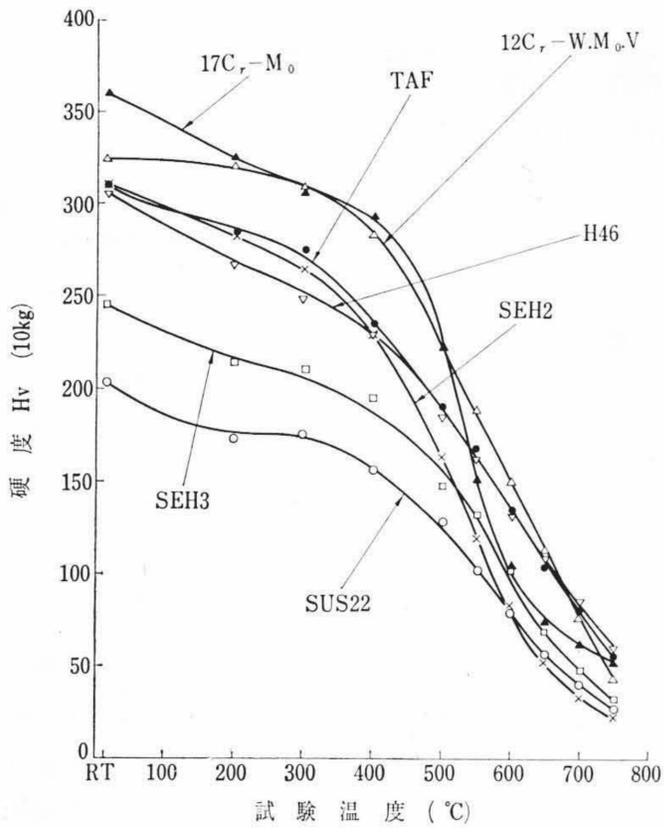
図に示すように, 各鋼種とも温度の上昇にしたがい硬度が減少す

第1表 試料の化学成分および熱処理法

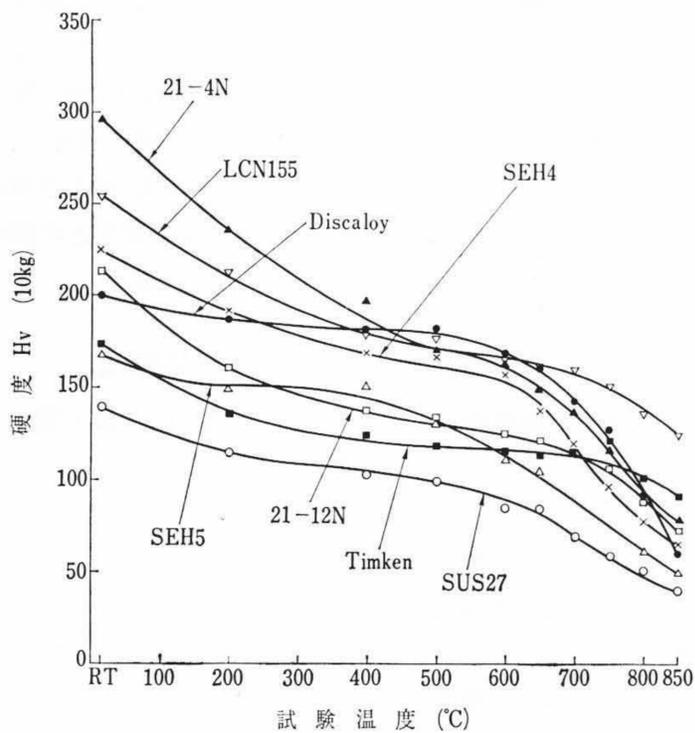
鋼 種	化 学 成 分 (%)														熱 処 理 法*	
	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V	Cb	Co	Ti	Al	N	B		
フェ ライ ト 系	SUS22	0.08	0.35	0.33	0.36	12.77	—	—	—	—	—	—	—	—	960°C×1/2h O.C., 750°C×1h A.C.	
	SEH 2	0.41	2.69	0.52	0.24	13.55	—	—	—	—	—	—	—	—	1,050°C×1/2h O.C., 700°C×1h A.C.	
	SEH 3	0.37	1.87	0.40	0.12	11.28	—	1.00	—	—	—	—	—	—	1,030°C×1/2h O.C., 875°C×1h A.C.	
	12Cr-W.Mo.V	0.22	0.28	1.11	0.15	12.55	2.97	0.90	0.26	—	—	—	—	—	1,040°C×1/2h O.C., 625°C×1h A.C.	
	17Cr-Mo	0.15	0.39	0.60	4.88	17.36	—	2.82	—	—	—	—	—	—	1,075°C×1/2h O.C., 750°C×1h A.C.	
	H 46	0.15	0.31	0.30	0.24	10.85	—	0.62	0.81	0.17	—	—	—	—	1,150°C×1/2h O.C., 700°C×1h A.C.	
	TAF	0.19	0.44	0.69	0.16	12.15	—	0.87	0.20	0.29	—	—	—	0.016	0.036	1,150°C×1/2h O.C., 700°C×1h A.C.
オ ー ス テ ナ イ ト 系	SUS27	0.06	0.44	1.16	10.95	18.21	—	—	—	—	—	—	—	—	1,100°C×1/2h W.C.	
	SEH 4	0.42	2.07	0.44	13.99	14.96	2.42	—	—	—	—	—	—	—	960°C×1/2h O.C.	
	SEH 5	0.16	1.12	1.30	19.44	25.64	—	—	—	—	—	—	—	—	1,100°C×1/2h W.C.	
	Disaloy	0.15	0.60	0.97	26.86	13.62	—	2.81	—	—	1.60	0.22	—	—	1,065°C×1h W.C., 732°C×20h A.C.	
	Timken	0.11	0.79	1.36	25.84	15.78	—	5.65	—	—	—	—	—	0.12	—	1,150°C×1h W.C., 700°C×16h A.C.
	21-4N	0.55	0.25	9.24	3.72	20.66	—	—	—	—	—	—	—	0.351	—	1,150°C×1/2h W.C., 800°C×1h A.C.
	21-12N	0.25	0.84	1.43	10.85	21.13	—	—	—	—	—	—	—	0.18	—	1,150°C×1/2h W.C., 800°C×1h A.C.
LCN-155	0.11	0.66	1.76	19.56	20.53	2.33	3.18	—	1.25	20.05	—	—	0.18	—	1,190°C×1h O.C., 815°C×4h A.C.	
超 耐 熱 合 金	A 286	0.03	1.01	1.44	26.96	15.66	—	1.95	0.28	—	—	2.56	0.28	—	980°C×1h W.C., 713°C×16h A.C.	
	Refractaloy 26	0.06	0.86	0.95	38.70	18.26	—	3.00	—	—	18.78	2.92	0.14	—	1,150°C×1h W.C., 732°C×20h A.C.	
	Nimonic 80A	0.04	0.35	0.77	72.20	19.13	—	—	—	—	—	2.11	1.2	—	1,135°C×8h W.C., 705°C×16h A.C.	
	S 816	0.39	0.38	1.00	20.77	19.91	3.88	3.95	—	3.80	43.26	—	—	—	1,175°C×1h W.C., 760°C×16h A.C.	
	M 252	0.07	0.93	1.05	52.42	19.66	—	10.25	—	—	9.72	2.26	0.61	—	1,065°C×4h O.C., 705°C×16h A.C.	

* O.C. 油冷 W.C. 水冷 A.C. 空冷

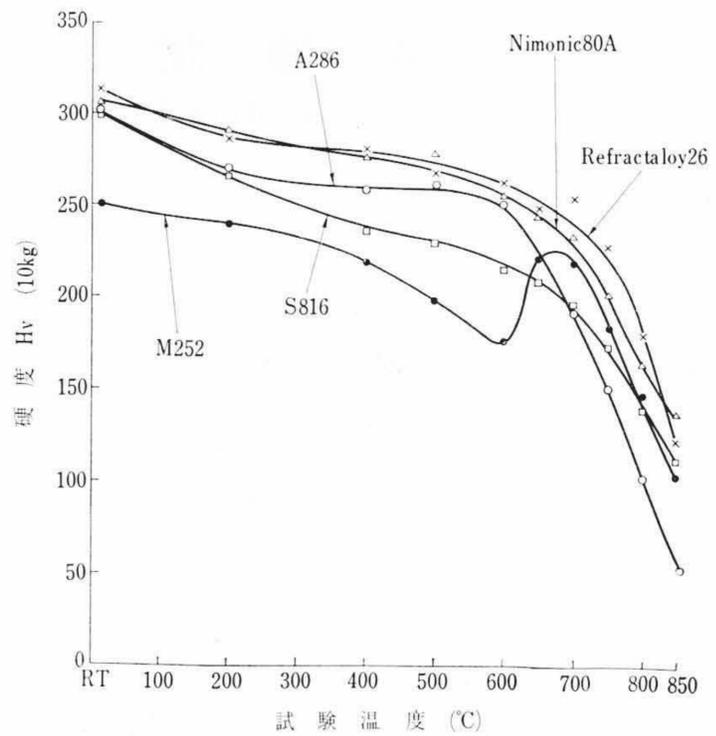
* 日立金属工業株式会社安来工場



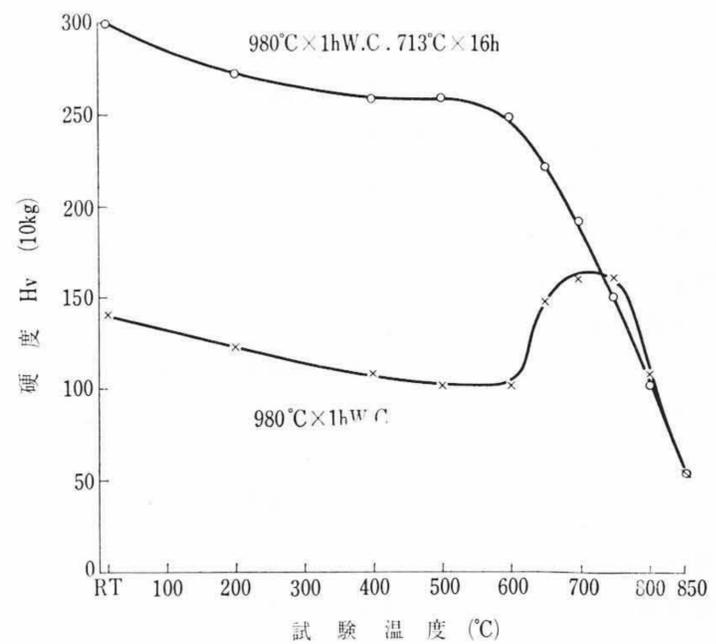
第1図 耐熱工具鋼の高温硬度



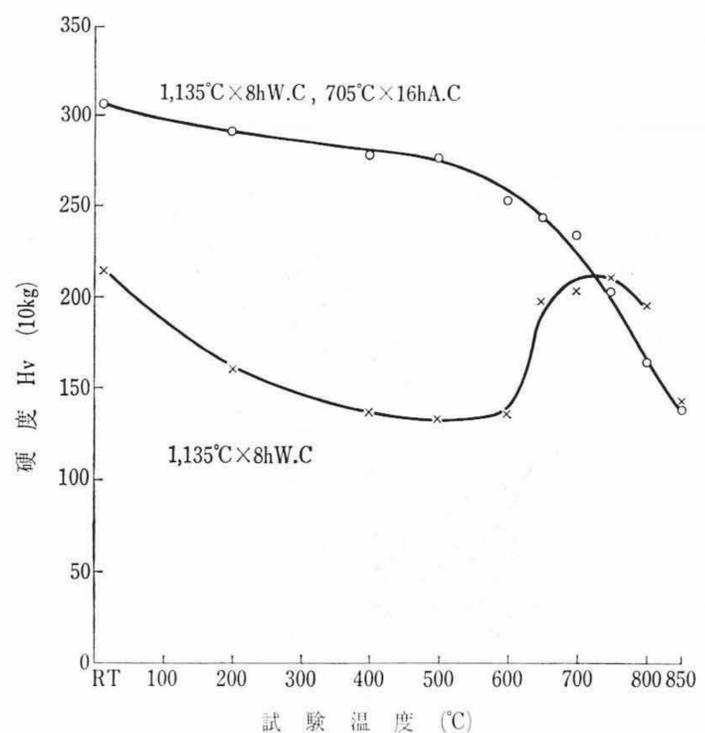
第2図 オーステナイト系耐熱鋼の高温硬度



第3図 超耐熱合金の高温硬度



第4図 熱処理法を異にする A286 の高温硬度



第5図 熱処理を異にする Nimonic 80A の高温硬度

る。とくに500°C以上の温度における硬度の減少が著しい。一般にフェライト系耐熱鋼は使用温度が650°C以下といわれるが、硬度減少からみてその妥当性がうかがわれる。

低温側では12Cr-W.Mo.Vおよび17Cr-Mo鋼が高い硬度を示すが、700°C以上ではH46およびTAFが最高硬度を示す。常温および低温側では鋼種間でかなり大きい硬度差が認められるが、高温になるにしたがいその差は僅少となる。

4.2 オーステナイト系耐熱鋼の高温硬度

8種類のオーステナイト系耐熱鋼の高温硬度を第2図に示す。

フェライト系耐熱鋼の高温硬度に比べオーステナイト系耐熱鋼の高温硬度は温度上昇による硬度の減少が小さい。

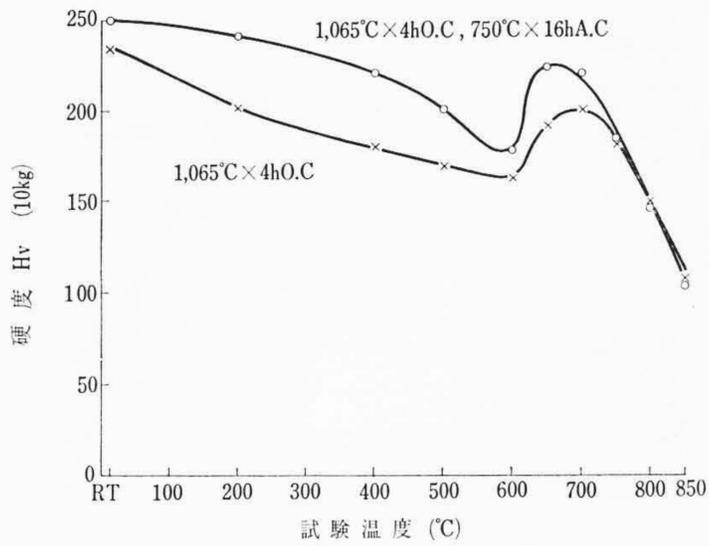
4.3 超耐熱合金の高温硬度

A286, Refractaloy 26, Nimonic 80 A, S816 および M252 など5種類の高温硬度を第3図に示す。フェライト系およびオーステナイト系耐熱鋼に比べ高温硬度がいずれも高い。

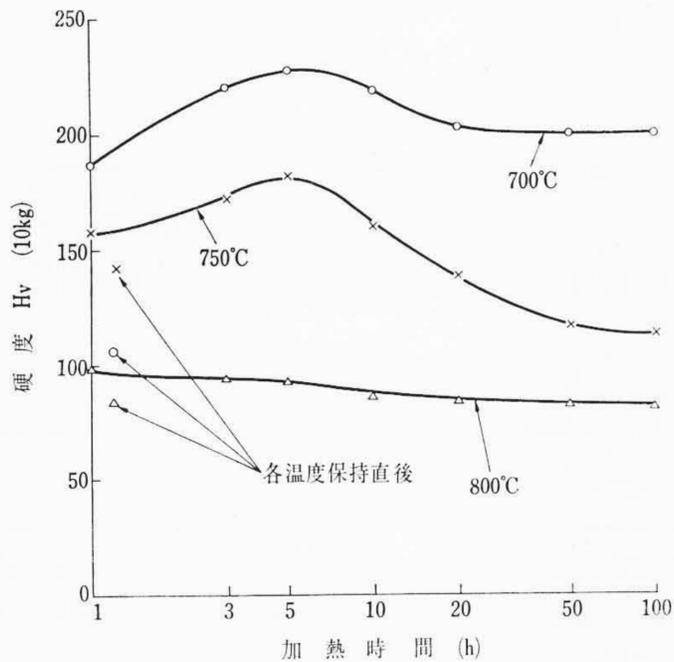
M252の高温硬度は他鋼種と異なり約700°Cで硬度の上昇が認められる。

4.4 熱処理方法と高温硬度との関係

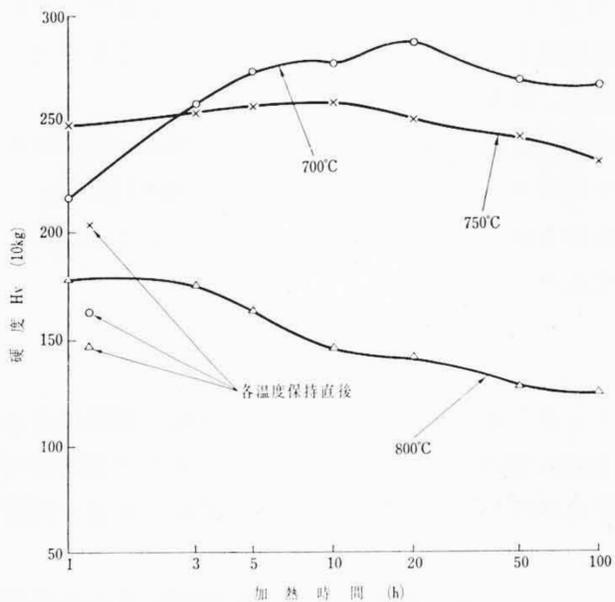
A286, Nimonic 80 A および M252, 3種の強析出型耐熱合金を(1) 溶体化処理のまま



第6図 熱処理を異にする M 252 の高温硬度



第7図 A 286 の加熱時間と硬度との関係(液体化処理のまま)



第8図 Nimonic 80 A の加熱時間と硬度との関係

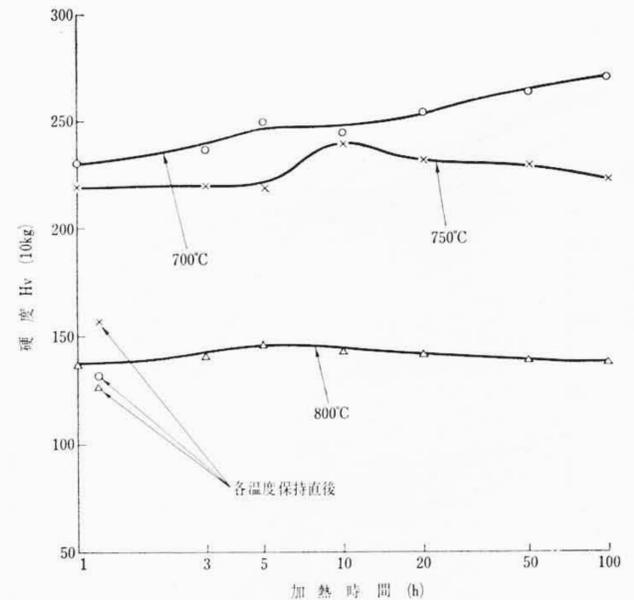
(2) 溶体化処理後時効

2種類の熱処理を行ない常温より850°Cまでの高温硬度を測定した。その結果を第4,5図および第6図に示す。

A 286 および Nimonic 80 A の両合金は同様の傾向を示し、時効処理後の試料は温度の上昇にしたがい硬度を減少するが、溶体化処理のままの試料は試験温度650°Cより硬化し、700°Cで最高硬度を示す。750°C以上では溶体化処理のままおよび時効処理後の試料ともほぼ同一硬度を示す。

4.5 加熱時間と高温硬度との関係

前述の強析出型3合金を溶体化処理したのち700°C, 750°C および



第9図 M 252 の加熱時間と硬度との関係

800°Cの3温度にそれぞれ100時間まで加熱して高温強度を測定した。その結果を第7,8図および第9図に示す。なお各合金の溶体化処理温度は第1表に示すとおりである。

A 286 は700°C および750°Cの加熱温度では、それぞれ加熱時間5時間で最高硬度を示し、800°C加熱の場合は加熱時間の増加とともに硬度が減少する。

Nimonic 80 A は700°C および750°Cの加熱ではそれぞれ20時間および10時間の加熱で最高硬度を示し、800°C加熱の場合はA 286と同様加熱時間の増加にしたがい硬度を減少する。

M 252 は700°C加熱の場合本実験の範囲では加熱時間の増加とともに硬度を増大し、750°C および800°C加熱の場合はそれぞれ10時間および5時間で最高硬度を示す。

5. 結果の考察

5.1 高温硬度

フェライト系耐熱鋼の使用温度は前述のとおり一般に650°C以下といわれる。第1,2図および第3図より各鋼種の750°Cの硬度減少率

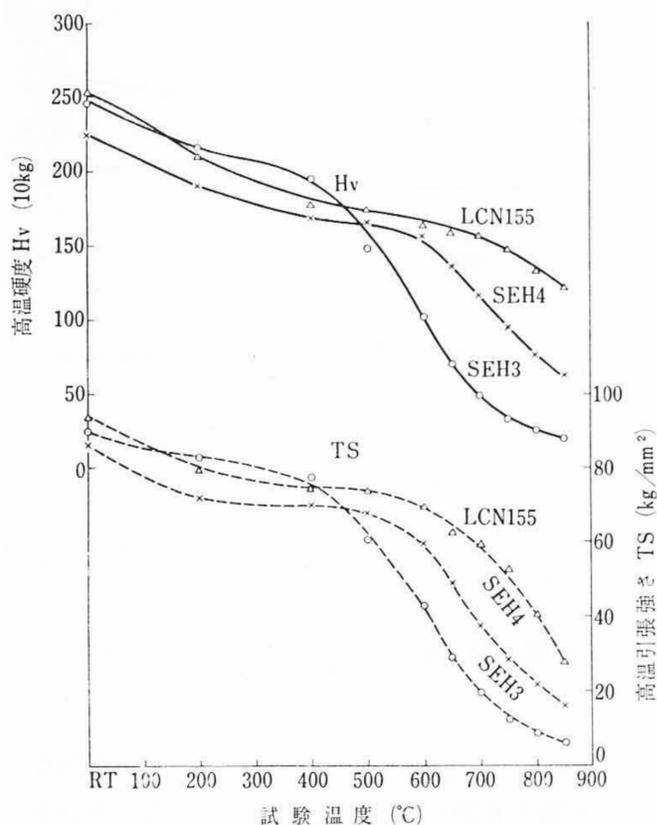
$$\frac{\text{常温硬度} - 750^\circ\text{Cの高温硬度}}{\text{常温硬度}} \times 100$$

を示すと第2表のようになり、フェライト系耐熱鋼は平均して約86%、オーステナイト系は約50%、超耐熱合金は約36%の減少率となる。またフェライト系の600°Cの減少率は平均して約60%となり、他系の耐熱鋼に比べ減少率が最も大きい。12Cr-W.Mo.V, H 46, TAF の650°Cにおける高温硬度は、オーステナイト系耐熱鋼とほぼ同じ値を示す。650°C以上ではオーステナイト系が大きい硬度を示し、フェライト系の使用温度が650°C以下といわれるのが高温硬度の点から妥当である。

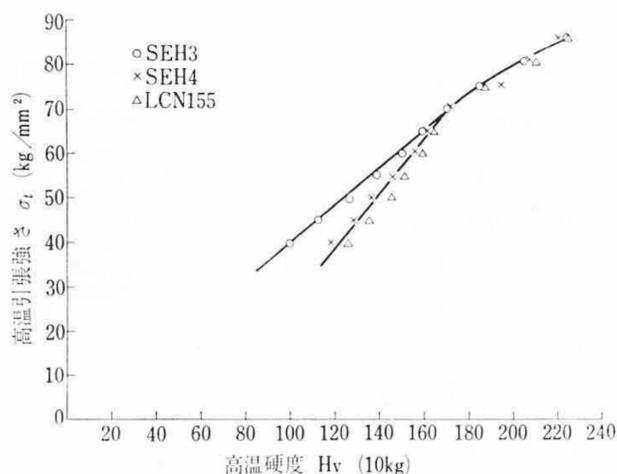
オーステナイト系耐熱鋼のうちで硬度減少率が小さい鋼種は Discaloy, Timken, LCN 155 でいずれも Ni および Co を多量に含有し

第2表 高温硬度の減少率% (常温硬度-750°Cの高温硬度/常温硬度 x 100)

鋼種	減少率	鋼種	減少率	鋼種	減少率
SUS22	85.5	SUS27	57.0	A286	49.5
SEH 2	91.5	SEH 4	60.5	Refractaloy 26	27.0
SEH 3	89.0	SEH 5	55.5	Nimonic 80 A	32.7
12Cr-W.Mo.V	87.0	Discaloy	36.8	S816	42.0
17Cr-Mo	85.0	Timken	39.0	M 252	28.0
H 46	80.5	21-4N	60.0		
TAF	82.0	21-12N	51.0		
—	—	LCN-155	41.0		
平均	85.8	—	50.1	—	35.8



第10図 高温硬度および高温引張強さ



第11図 高温硬度と高温引張強さとの関係

ており、オーステナイト地の強固な鋼種ほど硬度減少が小さいといえる。

超耐熱合金の硬度減少率は他系耐熱鋼に比べ最も小さく、強度的にもすぐれた性質を示すことがうかがえる。

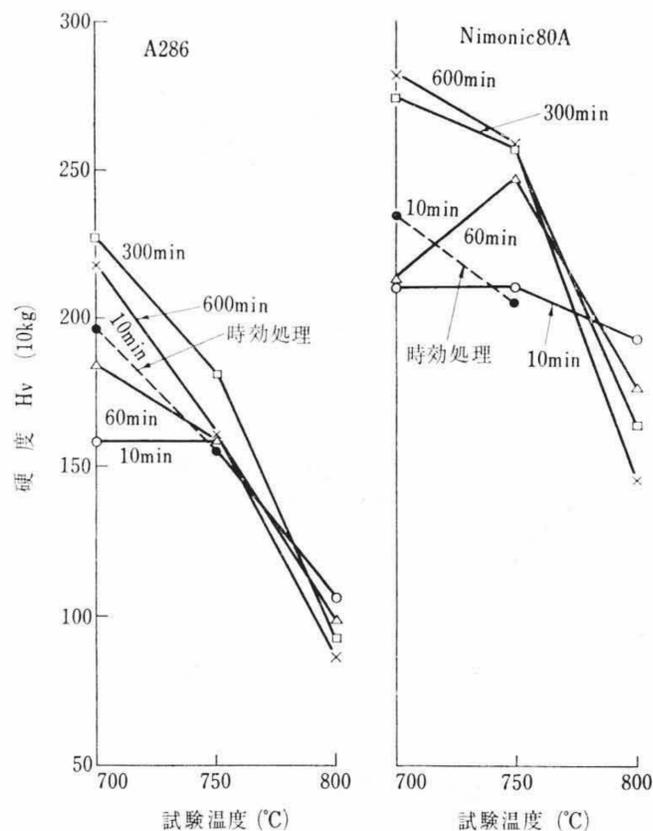
A 286, Refractaloy 26, Nimonic 80 A など Ti および Al を含有し、その高温強度が γ' ($\text{Ni}_3(\text{Ti}, \text{Al})$) に依存する鋼種は約 750°C 以上の温度で急激に硬度が減少する。これは γ' の再固溶⁽¹⁾⁽²⁾ によるもので含 Ti, Al 析出硬化型耐熱合金の特徴といえる。

5.2 高温硬度と高温引張強さとの関係

常温における硬度と引張強さは密接な関係を持っている。高温における硬度と高温引張強さとの関係が、常温における関係と同様に成立つか否か SEH 3, SEH 4 および LCN-155, 3 鋼種について検討した。

第10図は3鋼種の高温引張強さ(引張速度 1 kg/mm²/s) および高温硬度を、また第11図は高温硬度と高温引張強さとの関係を示す。

Hv 170 以下では硬度と引張強さの関係は3鋼種ともほぼ同一線上にある。Hv 170 以下ではオーステナイト系は硬度に対する引張強さがフェライト系に比べやや低くなる。この結果はさらに多くの鋼種による確認が必要であろう。しかしこの結果より高温硬度の高いものは高温引張強さも大きいということがいえる。



第12図 液体化処理機の加熱時間による硬度変化

5.3 熱処理方法および加熱時間と高温硬度

A 286 および Nimonic 80 A の溶体化処理のままの高温硬度が約 700°C で増大する。これは前述の γ' の析出によるもので、この硬化は加熱時間により著しく変化する。第4, 5図および第7, 8図より加熱時間による硬度変化をみると第12図のようになり、適当な時間加熱すれば時効処理後の試料より溶体化処理のままの試料の高温硬度が高くなる。

このように熱処理および加熱時間により、高温硬度にかなりの変化が認められるのは、主として γ' の挙動によるものでこれは筆者の一人が 37% Ni 超耐熱合金において確認している⁽³⁾。また長時間加熱による硬度低下は γ' の成長あるいは固溶によるもので、これについては加藤⁽²⁾、長谷川⁽⁵⁾ 氏らの報告がある。

M 252 時効処理材の硬度が A 286 および Nimonic 80 A と異なり約 700°C で増大するが、M 252 の析出物は MoC および TiC⁽⁶⁾ のような炭化物が主体といわれる。硬化現象についてはさらに詳細な実験が必要であろう。

6. 結 言

フェライト系7種、オーステナイト系8種、超耐熱合金5種、計20種の耐熱鋼の高温硬度を測定した。また強析出型耐熱合金3種について、熱処理法および加熱時間による硬度の変化を測定し、次の結果をえた。

- (1) フェライト系耐熱鋼は、他系耐熱鋼に比べ高温硬度の減少率が大きく、超耐熱合金の減少率は著しく小さい。
- (2) 高温硬度が大きい鋼種は高温引張強さが大きい。
- (3) 強析出型耐熱合金の熱処理法による高温硬度の変化は、析出物の挙動に影響されるところが大きい。

終わりに臨み、本実験遂行にあたり終始懇切なるご指導を賜った冶金研究所新持副所長に深甚なる謝意を表す。

参 考 文 献

- (1) A. Taylor, R. W. Floyd: Journal of the Institute of Metals (1952-53) 8
- (2) 武田, 永井: 鉄と鋼 43 (1957-3)
- (3) 小柴, 九重, 木村: 鉄と鋼 47 (1961-14)
- (4) 加藤: 鉄と鋼 47 (1961-10)
- (5) 長谷川: 鉄と鋼 47 (1961-3)

7. 付記

熱間工具鋼7種の高温硬度測定結果を第1図に、また各鋼種の化学成分および熱処理法を第1表に示す。第2表は500℃, 600℃および700℃, 3温度における硬度減少率を示す。

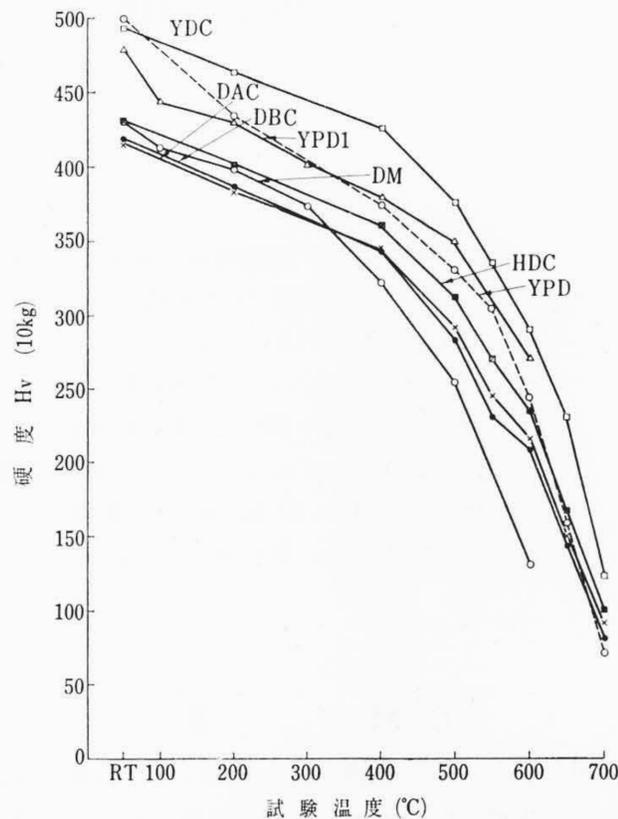
付記 第1表 熱間工具鋼の化学成分および熱処理法

鋼種	C	Si	Mn	Ni	Cr	W	Mo	V	Al	熱処理法℃	
										焼入×20 min油冷	焼戻×1 h 空冷
DAC	0.40	0.13	0.39	0.18	6.03	—	1.35	0.87	—	1,050	650
DBC	0.38	0.87	0.38	0.11	5.25	1.22	1.31	0.38	—	1,050	645
HDC	0.32	0.22	0.32	0.06	2.55	9.52	—	0.42	—	1,050	660
YDC	0.28	0.29	0.46	0.07	2.23	5.27	—	0.43	—	1,050	625
YPD	0.29	0.28	0.47	2.45	2.14	1.04	2.58	0.10	—	1,025	560
YPD1	0.20	0.28	0.77	3.00	0.18	—	3.25	—	—	1,000	600
DM	0.61	0.24	0.83	1.48	1.20	—	0.29	0.12	—	875	600

付記 第2表 熱間工具鋼の硬度減少率%

鋼種	DAC	DBC	HDC	YDC	YPD	YPD1	DM
500	30.1	33.0	27.5	24.3	34.2	27.3	40.9
600	48.4	50.2	45.1	41.8	52.0	43.4	69.8
700	77.9	81.2	76.6	75.2	85.8	—	—

なお熱間工具鋼の高温硬度測定結果は、冶金研究所清永主任の実験によるものである。



第1図 フェライト系耐熱鋼の高温硬度



新案の紹介



登録新案 第727128号(実公昭38-13280号)

菅原理夫・山本 学

無電極放電形加熱装置

在来、化学または冶金などの技術分野で広く用いられているアーク放電のような気体中の放電現象を利用する加熱装置は、電極部の蒸発消耗が激しく、蒸発した放電電極材料が被加熱材料中に混入する恐れがあり、さらに1気圧以上の高気圧中の放電を利用しているため、広範囲にわたって様な加熱を行なうことが困難であった。

本考案はこのような欠点を除くためになされたもので図のように、一次側の交番電流を加えるための励磁巻線と二次側の耐熱性電気絶縁材料よりなる環状中空管とを交させしめ、この中空管内に電磁誘導的に電界を誘起せしめてプラズマ放電を生ぜしめ、この放電に伴い発生する熱によって被加熱体を加熱するようにしたもので、被加熱体の加熱は環状中空管内のみならず、外部においても可能で、特別な放電電極を設ける必要がないので、従来の加熱装置の欠点はすべて除去することができ、材料、特に不純物の混入が問題となる材料の加熱処理に効果的である。(長崎)

