

0.8C-4Cr-4Mo-1V 鋼の熱処理特性

技術報告

陳 鴻 賓* · 王 世 民*² · 井形 直弘*³

Effect of Heat Treatment on Some Properties of 0.8C-4Cr-4Mo-1V Steel

H. B. CHEN, S. M. WANG, and Naohiro IGATA

Synopsis :

In order to find the most suitable heat treatment method of 0.8C-4Cr-4Mo-1V steel, the effects of various factors of heat treatment (austenitizing temperature, tempering temperature, and number of times of tempering and sub-zero treatment) on microstructure, amount of retained austenite, hardness, impact toughness, fracture load and deflection in bending test and wear resistance were investigated. It has been found that the most suitable austenitizing temperature of this steel is $1120 \pm 10^\circ\text{C}$, the suitable condition of tempering is $530\text{--}550^\circ\text{C}$, the suitable condition of tempering is $530\text{--}550^\circ\text{C}$ for 2h by 3 times, and it is unsuitable to use a sub-zero treatment for this steel.

1. 緒 言

高炭クロム軸受鋼 SUJ-2(SAE 52100) が一般にころがり軸受鋼に使われているが、使用温度が 180°C 以上になると疲労寿命が急に短くなってくるので、高温軸受鋼を用いなければならない。

重要な高温軸受鋼の一種として、0.8C-4Cr-4Mo-1V 鋼に関する報告はなされているが^{1)~3)} 熱処理と諸特性との関係を系統的に明らかにした研究は見出されていない。

本研究は 0.8C-4Cr-4Mo-1V 鋼の熱処理特性を研究し、さらにその最適熱処理法を求めることを目的として行つた。

ここで熱処理因子としてはオーステナイト化温度・焼もどし温度・繰り返し回数およびサブゼロ処理の影響についてしらべた。

2. 供試材料および実験方法

2.1 実験用材料と試料の寸法

焼なまし状態の市販鋼材を用い、Table 1 に試料の化学成分と寸法を示す。

2.2 オーステナイト化温度

オーステナイト化温度の影響を研究するため Table 1 に示す試料を用い、 $1060\text{--}1160^\circ\text{C}$ 、 20°C 間隔、6 水準の温度にそれぞれ 10 min 加熱後、油焼入れした。加熱炉は表面酸化防止を配慮して、塩浴炉を用い、炉の温

度変動は $\pm 5^\circ\text{C}$ 以内に管理した。次に焼入れ後の組織状態を観察し、残留オーステナイト量と硬さの関係を求めた。以上の種々の焼入試料を用い、 $540^\circ\text{C} \times 2\text{h} \times 3$ 回の焼もどしを行い、硬さ・衝撃値・抗折力・耐摩耗性を測定した。

残留オーステナイト量の決定には磁気的な方法で測定を行い、その磁場強度は 3500~4000 ガウスである。

磁気的方法による残留オーステナイトの測定の場合には、標準試料を用いる。その標準試料の熱処理は 1100°C 油焼入れ後 590°C 、3 回焼もどし、その場合、残留オーステナイト量が 1% 以下になることを確認している。

摩耗試験はローラー式試験機で行い、試験機の上と下の軸の回転速度がそれぞれ 200 回/min と 180 回/min であつて、滑り率が 10% である。上下のローラーは同一処理の材料を用いた。荷重は 80 kgf にし、無潤滑条件で行い、試験片の温度は約 70°C である。一組の試験片の摩耗回転数(下軸の回転数)は 122400 (680 min) である。摩耗前後の試験片の重さの変化によつて耐摩耗性を評価した。

2.3 焼もどし条件

焼もどし温度と繰り返し回数の影響については $1140^\circ\text{C} \times 10\text{min}$ オーステナイト化後、油焼入れ、 $300\text{--}580^\circ\text{C}$ の範囲で焼もどした。焼もどし時間は 2h である。次にそれぞれの硬さ、残留オーステナイト量、衝撃値、抗折力・耐摩耗性などを測定し評価した。

昭和 56 年 4 月本会講演にて発表 昭和 56 年 5 月 27 日受付 (Received 27, 1981)

* ハルビン工業大学 (Harbin Institute of Technology)

*² ハルビン軸受工場 (Bearing Plant of Harbin)

*³ 東京大学工学部 工博 (Faculty of Engineering, The University of Tokyo, 7-3-1 Hongo Bunkyo-ku 113)

Table 1. The kind of specimen and chemical component.

Kind of specimen	Size, mm	Chemical component, %						
		C	Cr	Mo	V	Mn	Si	P
For hardness	$\phi 10 \times 10$	0.78	3.94	4.30	1.04	0.16	0.20	0.012
For microstructure	$\phi 10 \times 10$	"	"	"	"	"	"	"
For toughness	$\phi 10 \times 60$	"	"	"	"	"	"	"
For bending	$\phi 8 \times 80$	"	"	"	"	"	"	"
For retained austenite	$\phi 10 \times 60$	"	"	"	"	"	"	"
For wear test (with a central hole of $\phi 16$)	$\phi 40 \times 10$	0.77	4.08	4.20	1.01	0.07	0.02	0.010

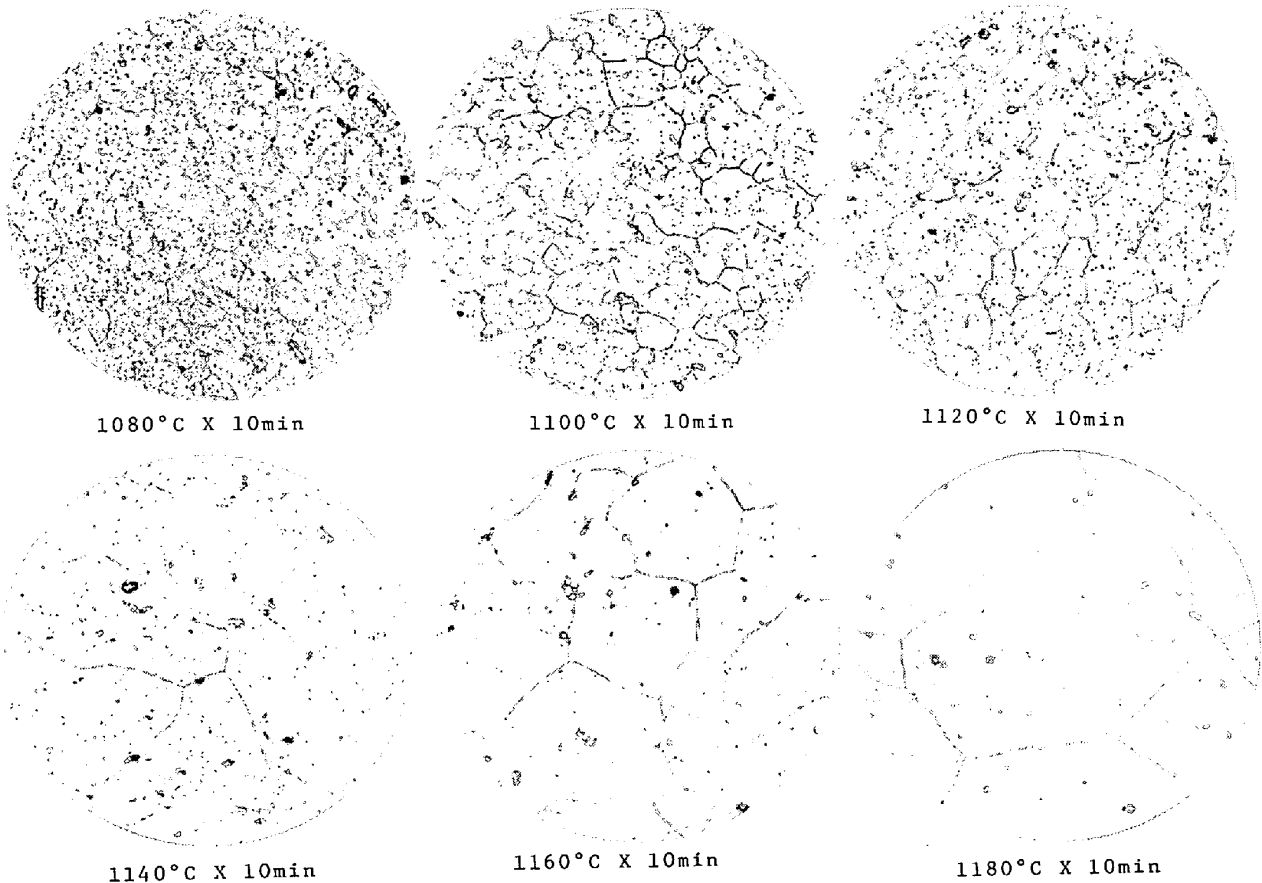


Photo. 1. Microstructure of the steel after hardening at various austenitizing temperature.

2.4 サブゼロ処理条件

サブゼロ処理の影響については 1080~1180°C, 20°C 間隔, 6 水準の温度にそれぞれ 10 min 加熱後, 油焼入れ, 続いて -78°C×1h のサブゼロ処理を行った。焼もどしは 540°C×2h×2 回である。更に焼もどし温度の影響を把握するために 1100°C×10 min オーステナイト化後油焼入れし, -78°C×1h のサブゼロ処理を行った。焼もどしは 300~580°C の間でそれぞれ 2h×2 回行った。次にこの試料の諸特性を試験し評価した。

3. 実験結果および考察

3.1 焼入温度の影響

種々の温度で焼入れをした試料の顕微鏡組織を Photo.

1 に示す。加熱温度の上昇に伴い、残留炭化物が減少し、1140°C 以上ではほぼ完全に固溶した。同時にオーステナイト結晶粒は粗大化した。なお 1120°C まで比較的結晶粒が細かいが (JIS No. 8 以上), 1140°C 以上では顕著な粗大化傾向を示す。

残留オーステナイト量は焼入温度の上昇に伴いほぼ直線的な増加を示す (Fig. 1)。

Fig. 2~Fig. 5 はオーステナイト化温度に対する硬さ・衝撃値・抗折力及び耐摩耗性の関係をそれぞれ示したものである。

オーステナイト化温度 1080~1100°C の場合は最高の硬さに達し、さらに温度を高くすると残留オーステナイトが増加するので硬さの低下を示した (Fig. 2)。焼

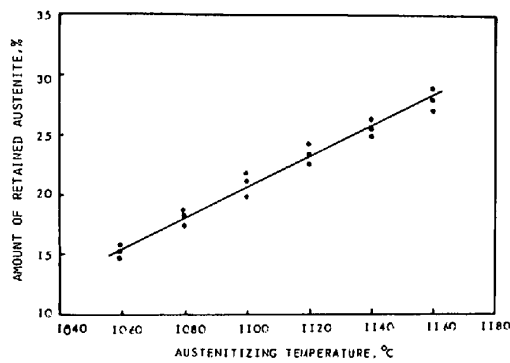


Fig. 1. Relation between austenitizing temperature and amount of retained austenite.

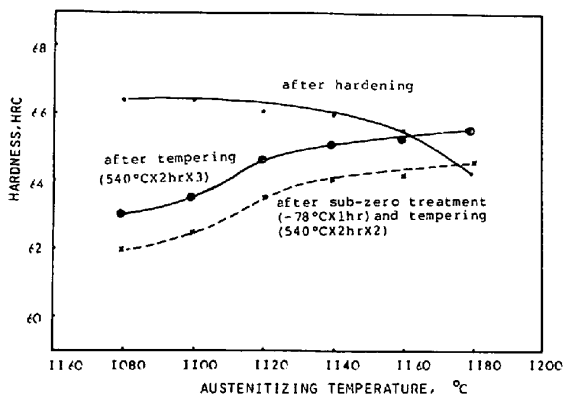


Fig. 2. Relation between austenitizing temperature and hardness.

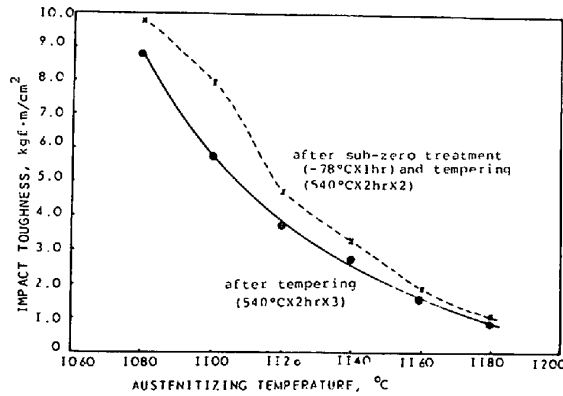


Fig. 3. Relation between austenitizing temperature and impact toughness.

もどし後の硬さにおよぼすオーステナイト化温度の影響をしらべると焼入温度が低い試料では焼入れ状態で高いが、Fig. 2 から明らかのように焼もどし軟化が著しい。この理由はオーステナイト化温度の低い場合、マルテンサイト中の合金量が少なく、残留オーステナイト量も少ないので、焼もどしによる二次硬化が小さいためと考えられる。

顕微鏡組織および硬さによればこの材料のオーステナイト化温度は 1120°C が最適であると考えられる。それ

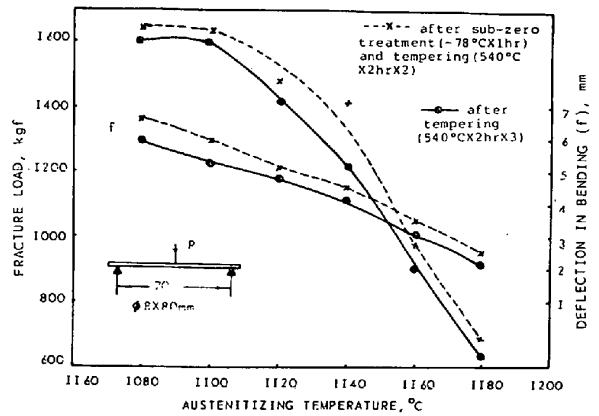


Fig. 4. Relation between austenitizing temperature and fracture load and deflection in bending test.

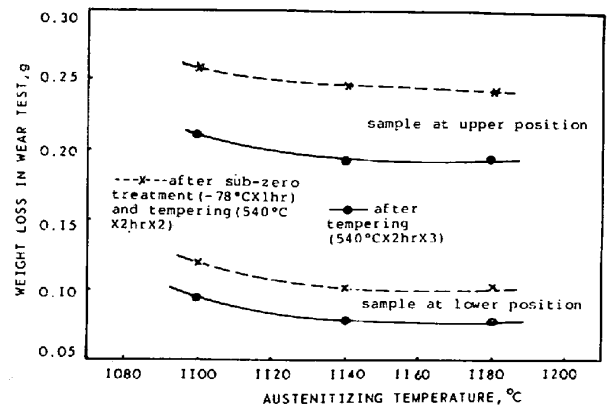


Fig. 5. Relation between austenitizing temperature and weight loss in wear test.

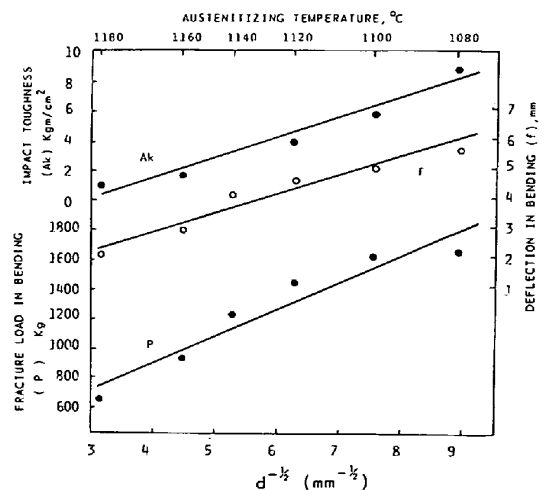


Fig. 6. Relation between $d^{-1/2}$ and impact toughness, fracture load, deflection in bending test (d -diameter of grain).

を 540°C × 2 h × 3 回焼もどしをすると硬さが 64 HRC 以上となる。

また衝撃値および抗折力はオーステナイト化温度の上昇に伴い低下した (Fig. 3, Fig. 4)

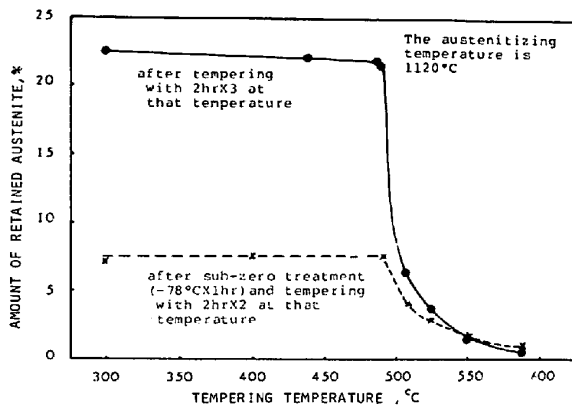


Fig. 7. Relation between tempering temperature and amount of retained austenite.

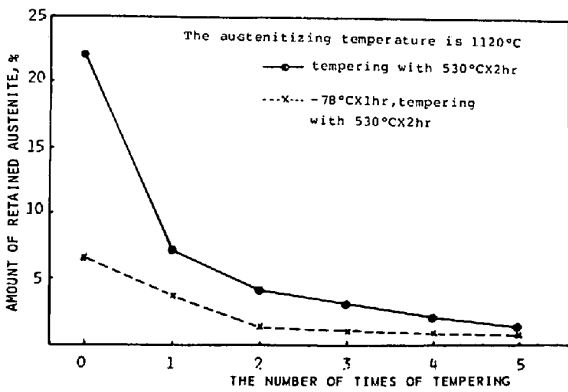


Fig. 8. Relation between number of times of tempering and amount of retained austenite.

衝撃値・曲げ荷重及びたわみと $d^{-1/2}$ (d はオーステナイト結晶粒径, mm) との関係をしらべると直線関係を示した (Fig. 6). このことから衝撃値・抗折力が低くなる原因は結晶粒の粗大化によることがわかった.

焼もどした試料の摩耗量はまずオーステナイト化温度が高くなるとともに減少するが 1140°C から 1180°C までほとんど変化が認められない (Fig. 5). この理由は硬度差が小さいこと, 1140°C 以上で残留炭化物がほぼ消失することなどが考えられる.

3-2 焼もどしの影響

Fig. 7 および Fig. 8 は焼もどし温度と回数に対する残留オーステナイト量の関係を示すものである.

490°C 以下の焼もどし (2h×3回) では残留オーステナイト量はほとんど変化しなかつた. Fig. 7 から明らかのように, 490°C を越える温度で残留オーステナイトが急激に低下し, 5% 以下となる. したがって, 焼もどし条件としては 490°C を越える温度が望ましい.

焼もどしの繰り返し回数の影響については, 第一回焼もどしによる残留オーステナイトの減少量が非常に多いが完全には分解しない. 例えば 530°C 焼もどしの場合

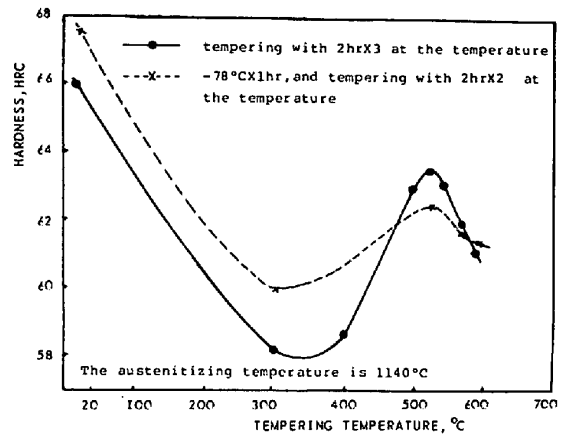


Fig. 9. Relation between tempering temperature and hardness.

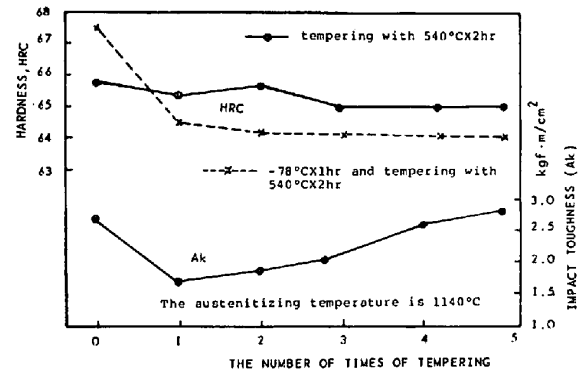


Fig. 10. Relation between the number of times of tempering and hardness and impact toughness.

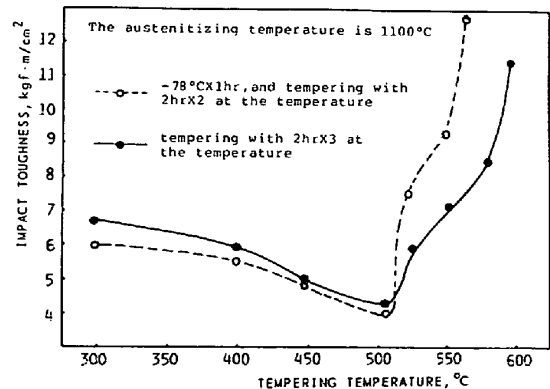


Fig. 11. Relation between tempering temperature and impact toughness.

は第一回焼もどしによつて, 残留オーステナイトが 22% から 7% まで減少した. その後残留オーステナイトの安定化現象を示すが第三回の焼もどし後の残留オーステナイト量は 3% 以下に低下した (Fig. 8).

Fig. 9~Fig. 13 は焼もどし温度と繰り返し回数に対する硬さ・衝撃値・抗折力・耐摩耗性の関係を示したものである.

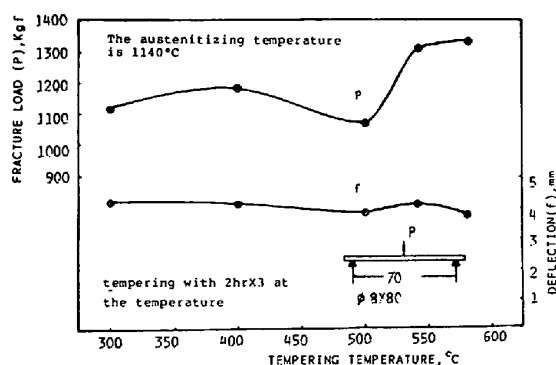


Fig. 12. Relation between tempering temperature and fracture load and deflection in bending test.

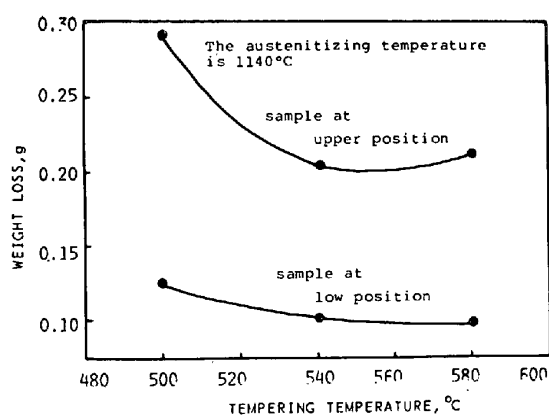


Fig. 13. Relation between tempering temperature and weight loss in wear test.

焼もどし硬度曲線 ($^{\circ}\text{C} \times 2\text{h} \times 3$ 回) は焼もどし温度 $300 \sim 400^{\circ}\text{C}$ に極小値を示す (Fig. 9)。これはマルテンサイトが分解し、残留オーステナイトがまだマルテンサイトに変態していないからであると考えられる。また焼もどし温度が 350°C 以上で微細炭化物を析出し二次硬化現象を生じ、残留オーステナイトのマルテンサイト変態による硬化が加味して約 520°C でピークを示す。 550°C 以上になると硬さが急激に下降する原因は炭化物の凝集粗大化に起因すると考えられる。

硬さにおよぼす焼もどし回数の影響については、焼入温度 1140°C と焼もどし温度 540°C の場合は一回の焼もどしで硬さがわずかに低下したが、2回目は逆に上昇した。3回以上では有意差が認められない (Fig. 10)

衝撃値はまず焼もどし温度が高いほど低いが 510°C で最小値になった。焼もどし温度 520°C 以上の場合には焼もどし温度が高くなると衝撃値が急激に上昇した (Fig. 11)。また焼もどし回数が増加すると衝撃値が増加する傾向にもある (Fig. 10)。

曲げ荷重におよぼす焼もどし温度の影響は衝撃値に対

する影響と似ている。 500°C では最低値になったが、焼もどし温度がさらに高くなると急に上昇する。しかし撓みはあまり変化していない (Fig. 12)。

以上の試験結果より 540°C の焼もどしが適切と考えられる。

耐摩耗性についても 540°C の焼もどし処理が好結果を示している (Fig. 13)。

3.3 サブゼロ処理の影響

Fig. 2~Fig. 5 及び Fig. 7~Fig. 11 に記した点線はサブゼロ処理の効果を示すものである。すなわち種々のオーステナイト化温度および焼もどし温度と繰り返し回数の場合に対して、サブゼロ処理を加えることによつて残留オーステナイト量・硬さ・衝撃値・抗折力・耐摩耗性の変化関係を示すものである。

焼もどし温度 490°C 以下の場合にはサブゼロ処理しない試料の残留オーステナイトが約 22% であるが、サブゼロ処理してから焼もどしをすると 6~7% になった。しかし Fig. 7 から明らかなように焼もどし温度が 540°C 以上では有意差が認められない。

すべてのオーステナイト化温度の場合にサブゼロ処理してから $540^{\circ}\text{C} \times 2\text{h} \times 2$ 回の焼もどし処理をした試料の硬さがサブゼロ処理をしないで、 $540^{\circ}\text{C} \times 2\text{h} \times 3$ 回の焼もどしをした試料より 1 HRC ほど低い (Fig. 2)。

サブゼロ処理後の焼もどし硬度曲線は、2回焼もどしの場合 Fig. 9 から明らかなように約 520°C に二次硬化のピークを示す。この結果は文献値¹⁾ とほぼ一致する。サブゼロ処理の有無による焼もどし硬度曲線は 490°C 以下の焼もどしの場合、サブゼロ処理した方が HRC 0.5~2 高いが、 490°C を越えると二次硬化が軽微なため逆転する。

サブゼロ処理後の焼もどし回数の影響については一回の焼もどしで硬さが著しく低下するが、その後、焼もどし回数を増やしても硬さに変化を示さなかつた。

衝撃値に対しての影響については焼もどし温度が 510°C 以下の場合には焼もどし温度が高いほど低いが、約 510°C で最低値になった。焼もどし温度が 510°C を越えると焼もどし温度が高いほど衝撃値が急激に増大し、Fig. 11 から明らかなようにサブゼロ処理の有無によらない。

また抗折力はサブゼロ処理しない場合に比べ若干高い値を示した (Fig. 4)。

耐摩耗性についてはサブゼロ処理によつていずれの焼入温度の場合も低下することが明らかになった。したがつて耐摩耗性が最も重視される軸受にサブゼロ処理を適用することは望ましくない。

4. 結 論

(1) 高温軸受鋼 0.8C-4Cr-4Mo-1V はオーステナイト化温度が 1120°C より低い場合は温度が高くなるとともに炭化物の固溶量が増加してきて、オーステナイトの粒度が若干粗大化を示すが、比較的結晶粒は細かい (JIS の No. 8)。しかしオーステナイト化温度が 1140°C 以上では急激に粗粒化し、衝撃値が低下した。

以上の結果、オーステナイト化温度は諸性質との関連が鋭敏であることが明らかであり、1120°C±10°C が適切と考えられる。

(2) 焼もどしによる二次硬化ピークは約 520°C に

ある。二次硬化のピーク状態では強度、衝撃値が低いので、残留オーステナイト変態なども考慮して 530~550°C×2h×3 回が適切と考えられる。

(3) サブゼロ処理の適用は強度と衝撃値の向上に効果を示すが、硬さと耐摩耗性が劣化し、望ましくないと考えられる。

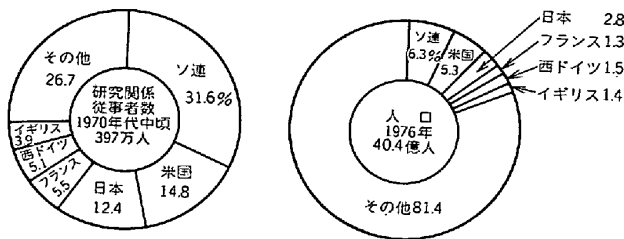
文 献

- 1) 小柳 明: 鉄と鋼, 62 (1976), 3, p. 414
- 2) 耐熱鋼軸受研究委員会: 鉄と鋼, 51 (1965) 9, p. 1646
- 3) T. V. PHILIP: Metal Progress (1980) Feb., p. 52

統 計

研究関係従事者数

研究業務に従事する研究者、研究補助者、技能者等の研究関係従事者の人数は、下図のように、全世界の7割以上を主要先進6カ国で占めており、同6カ国が世界人口の2割弱しか占めていないことからみて、研究関係従事者が著しく先進国へ偏っていることが明らかである。特にソ連において従事者数が多く、全世界の約3割を占めている。我が国の従事者数は全世界の1割を超えており世界第3位である。



注) 人文・社会科学を含む。

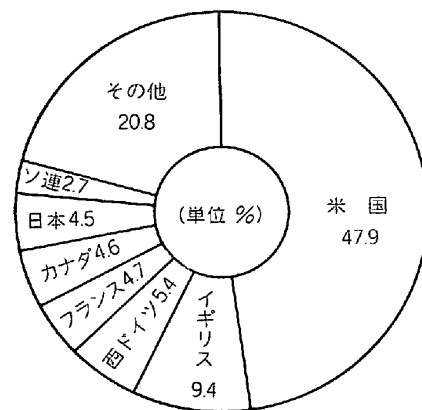
研究関係従事者数と人口年 (1970年代中頃)

(科学技術庁編: 昭和 56 年版科学技術白書 (昭和 56 年 7 月))

学術文献の引用数からみた研究の水準

研究の水準を測る目安としてはしばしば用いられるのが、研究の産物である学術文献がどの程度他の文献に引用されたかの度合、すなわち学術文献引用数である。

下図は、1975 年において、米国の学術刊行物に各国 (自国も含む) の学術文献がどの程度引用されたかの割合を表したものであり、これによれば自国である米国が多いのは当然であるし、また言語の違いによる影響等も考慮しなければならないが、我が国の文献は、イギリス及び西ドイツより少ないもののフランス及びカナダとはほぼ同水準で引用されている。



注) Science Citation Index に載った主な 2,400 の学術雑誌に掲載された 276,000 以上の論文を対象としている。

米国の学術刊行物への各国学術文献の引用割合 (1975年)

(科学技術庁編: 昭和 56 年版科学技術白書, (昭和 56 年 7 月))