

となつている。前述の方法によりニッケル試片の冷却時間を供試油の温度を変えて測定しその平均値をとると Fig. 3 に示すようになる。これは励磁電圧 100V の場合の冷却時間で、50V の場合においても行なつたが同様に #70, ナタネ油, #110, #140 の順となつている。励磁電圧は 100V の場合の方が値は安定している。この試験においても阪大式の場合と同様な傾向がみられる。ま

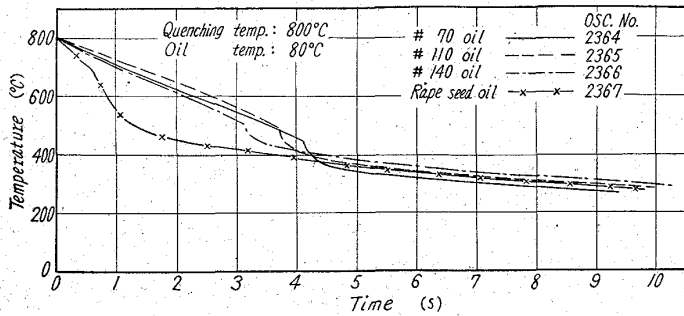


Fig. 2. Surface-cooling curves of a silver cylinder (10mm φ × 30mm) quenched into oils as shown in Table 1.

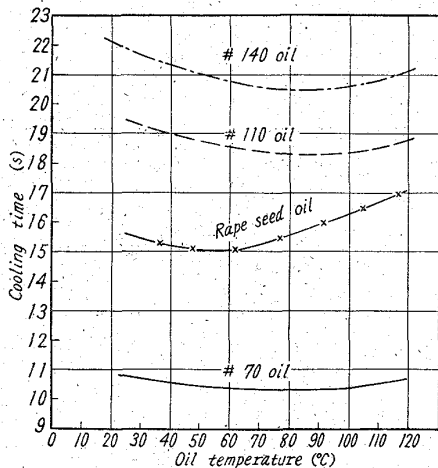


Fig. 3. Cooling time to reach from 870°C to 353°C as measured with a G. M. type quenching meter. (Ni, 15mm φ × 30mm, 50g specimen, 100V.)

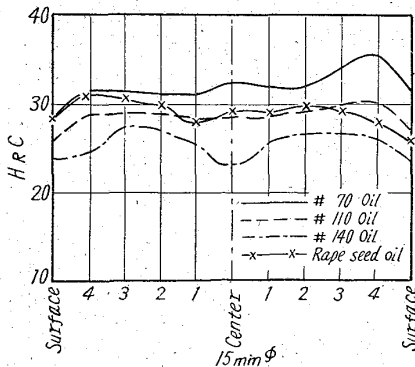


Fig. 4. Hardness distribution of S 40C-steel (15 φ × 50mm) after quenching from 850°C salt bath into oils as shown in Table 1.

た各供試油について前述の鋼材を用いて焼入実験を行ない焼入性を比較すると #70, ナタネ油, #110, #140 の順に硬化深度大である。Fig. 4 に結果の一例を示す。

IV. 結 言

最近アメリカにおいて広く使用されている GM 式焼入試験機を試作し、この装置の実用性について実験を行なつた。油脂(ナタネ油)および粘度の異なる鉱物油を用いて実験した結果実際焼入した場合の焼入性と大略同様な傾向を示すことを確認した。焼入冷却剤の冷却能を焼入現場等で管理する場合操作が簡単で容易に測定できるので広く利用できるものと思われる。実験に際し水分等を含む場合は測定値のバラツキが大きいので注意を要する。

579.4.016.3:621.785.72.01  
1669.14.018.252.3:669.25

(166) 鋼の耐焼戻性におよぼす Co の影響

(鋼の耐焼戻性におよぼす特殊元素の影響 - II) P626-628

日本製鋼所室蘭製作所研究所

N°62166 石塚 寛

Effect of Cobalt on Resistance to Tempering of Steel.

(Effect of special elements on resistance to tempering of steels—II)

Hiroshi ISHIZUKA.

I. 緒 言

Co は工具鋼、特に高速度鋼にしばしば用いられる重要な合金元素であり、Co の添加はその焼戻軟化抵抗ならびに高温硬度を向上せしめることはすでに早くから知られている事柄である。例えば K. Kuo<sup>1)</sup>によつて指摘されているように、Co は炭化物の拡散を抑制し、かつその凝集を遅滞させる作用が強いとされている。しかし Co の添加が合金鋼の耐焼戻に対して如何なる影響を与えるかについては未知の点が多岐にわたる。著者はこの点の様相を明らかにするため、本報において炭素鋼に Co を単独添加した場合、ならびに V, W, Mo, Cr 等炭化物形成元素に Co を共存させた場合の耐焼戻性におよぼす影響について報告する。

なお試験方法は前報と同様で、各試料とも炭化物がすべてオーステナイト中に固溶する温度から焼入れし、しかるのち 200°~700°C 間種々の温度に 1h づつ段階的に繰返し焼戻しを行い、焼戻硬度の変化を求めた。

II. 試 験 結 果

1. 鋼の耐焼戻性におよぼす Co 単独添加の影響

0.3% C 鋼に Co を約 6%まで種々の量添加した試料の焼戻硬度変化においては、Co 焼戻硬度の軟化を遅滞させる作用はまったくなく、反面軟化を早めることもない。その硬度変化は炭素鋼の場合とほとんど同じであることが知られた。すなわち、鋼に Co の単独添加はその耐焼戻性に対して何等寄与するところがない。

2. 炭化物形成元素に Co を共存させた場合の耐焼戻性におよぼす影響

(試験A) 2%V, 8%W, 4.5%Mo および 8.5%Cr 各合金鋼の耐焼戻性におよぼす Co 添加の影響  
 まずはじめに炭化物形成元素を含む合金鋼の耐焼戻性は Co の添加によつてどう変るかをみるために、C 量を 0.3% に一定とした約 2%V, 8%W, 4.5%Mo および 8.5%Cr 各合金鋼の場合について、Co をそれぞれ最高約 6% まで種々の量添加し、そのときの焼戻硬度の変化を求めた。

その結果、W 鋼、Mo 鋼および V 鋼に Co を添加すると、明らかに第 1 次焼戻軟化の遅滞を増大せしめ、また第 2 次硬度をも上昇せしめるなど、Co の添加は耐焼戻性に対して極めて有効に作用することが確められた。ただし V 鋼においては、Co の添加量が多くなると焼入性の低下をまねいて焼入硬度をかなり減ずるために、低温範囲の焼戻しにおける硬度は Co を含有しないものより逆に低値を示し、そのために Co の第 2 次硬度におよぼす影響は比較的僅少となる。一方、Cr 鋼における焼戻硬度曲線は Co の含有によつて大きな変化を示さない。すなわち Cr 鋼の耐焼戻性におよぼす Co の影響は、上記の他種合金鋼における場合に比べて極めて僅少であることがわかつた。なお Co の共存による焼戻抵抗性の向上は、その程度は別として、各合金鋼の場合とともに比較的低温焼戻しの温度範囲においてあらわれ、高温焼戻しの温度範囲 (V 鋼および Mo 鋼では約 600°C 以上、W 鋼では約 650°C 以上) ではその効果を次第に減ずる。

(試験B) 5% Co を共存した種々の V, W, Mo, Cr 各合金鋼の耐焼戻性  
 つぎに Co 共存の影響をさらに詳細にみるために、約 0.5~2%V, 1~12%W, 1~7%Mo および 2~8.5%Cr 等、合金量を異にする種々の鋼に約 5% の Co を一定量共存せしめたものについて、その耐焼戻性を調べた。ただし C 量は前と同じく 0.3% 一定である。Fig. 1

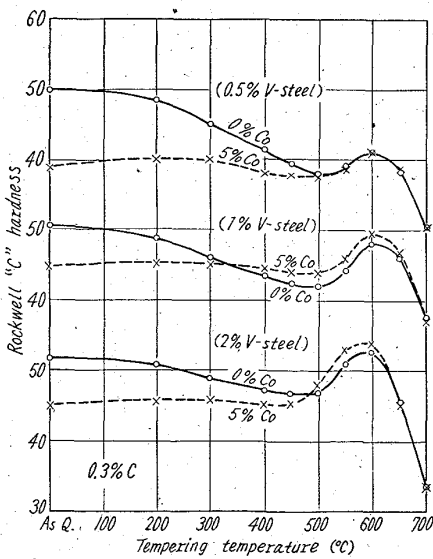


Fig. 1. Effect of 5% Co addition on the change of as-tempered hardness of various V steels. (Tempering time: 1 h.)

は 5% Co を共存した種々の V 鋼の焼戻硬度曲線を、V 単味鋼の硬度曲線と比較して示したものである。また Fig. 2, 3, 4 はそれぞれ W 鋼、Mo 鋼および Cr 鋼の場合について同様の焼戻硬度曲線を比較して示したも

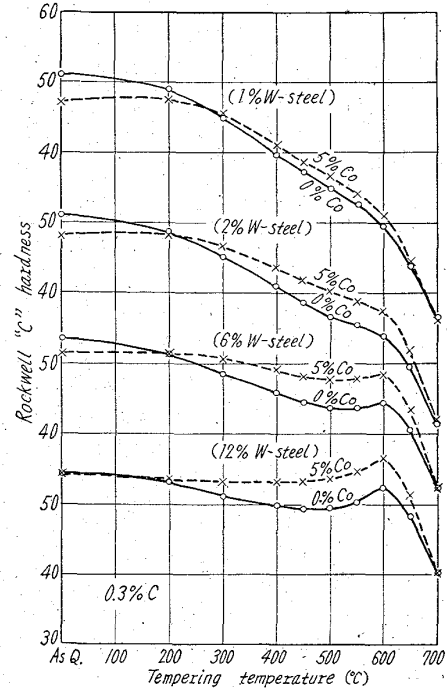


Fig. 2. Effect of 5% Co addition on the change of as-tempered hardness of various W steels. (Tempering time: 1 h.)

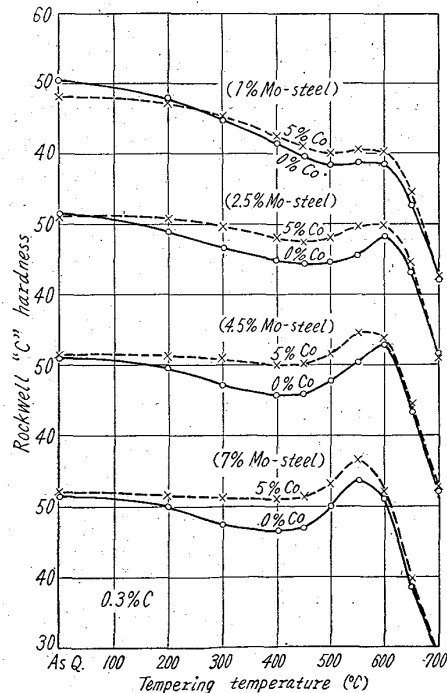


Fig. 3. Effect of 5% Co addition on the change of as-tempered hardness of various Mo steels. (Tempering time: 1 h.)

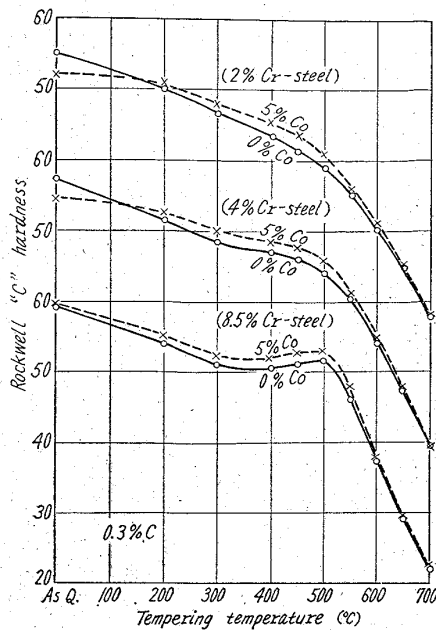


Fig. 4. Effect of 5% Co addition on the change of as-tempered hardness of various Cr steels (Tempering time: 1 h.)

である。すなわちこれらの図から、各合金鋼の焼戻しにおよぼす Co の作用をよく知ることができる。しかしこの説明は上に述べた(試験A)の結果と重複する点があるので、ここでは省略する。また以上の結果を整理し、炭化物形成元素に Co の共存が与える焼戻し抵抗性を、焼戻し硬度増加量の立場から比較検討を加えたが、この結果も紙面の都合上省略する。

### III. 焼戻しによる析出炭化物の観察および考察

上述の試験結果から、鋼に Co の単独添加はその耐焼戻し性に対して何等の貢献もなし得ないにも拘らず、炭化物形成元素と共存せしめた場合には Co はさらに耐焼戻し性の向上を与えること、また Co の与える影響は特に W, Mo (および V) 等との共存の場合においていちじるしくあらわれ、炭化物形成能の弱い Cr との場合には僅少であることなどを知った。周知のように Co は主としてフェライト中に存在し、炭化物中へはあまり入らない元素である。かかる点から、Co の添加によつて上記のような現象のおこるのは、Co の炭化物形成元素との共存は  $\theta$  炭化物および特殊炭化物の析出現象に影響を与えるためであると考えなくてはならない。この点を確認するために、各合金鋼の焼戻し組織を電子顕微鏡によつて観察した。

その結果、W 鋼および Mo 鋼の低温焼戻しによつて析出する  $\theta$  炭化物は、Co を共存することによつていちじるしく凝集が阻止され、その分散状態に大きな変化を与えていることが認められた。しかるに Cr 鋼における Co の共存は、 $\theta$  炭化物の分散状態にはほとんど差異を与えていないことが知られた。(これらの組織写真は省略)

すなわちこの観察結果から、W 鋼および Mo 鋼などに Co を共存せしめると焼戻しの第 1 次軟化を阻止することは、Co の存在により  $\theta$  炭化物の凝集が遅らせられたためであり、他方 Cr 鋼の場合には Co の存在は炭化

物の凝集を遅らせる効果がなく、したがつて第 1 次軟化を阻止する作用を持たないことになる。このように Co の存在による炭化物の凝集阻止の様相が、炭化物形成元素の種類によつて異なることは、各元素のセメンタイト中への固溶限の大小と関連があるものと考えられる。なお低温焼戻しにおける Co 共存の作用について、Co は上に述べた  $\theta$  炭化物の凝集阻止作用と関連して、 $\epsilon$  相から  $\theta$  相への移行を遅らせる作用をもあるいは持っているのかも知れない。

つぎに第 2 次硬化におよぼす Co の作用について、例えば Co 共存の影響が最も顕著にあらわれている W 鋼の場合についてその組織を観察した結果、Co の存在は炭化物反応によつて析出した  $W_2C$  炭化物を微細に分散せしめ、その凝集を明らかに阻止していることが確かめられた。

以上の検討結果から、炭化物形成元素に Co の共存が焼戻し抵抗性を増加させることは、主として焼戻しにより析出する炭化物の凝集阻止作用に基くものであり、また Co の共存による焼戻し性の変化が W 鋼および Mo 鋼に顕著にあらわれ、Cr 鋼にあらわれがたい理由は、主として両者の析出炭化物の凝集の難易から説明され得るであろう。No. 62167

### 文 献

- 1) K. Kuo: J. Iron & Steel Inst. (U. K.) 174 (1953), 223.

621.639.536.1669.14.018.2-405

## (167) 原子炉圧力容器用極厚ステンレス・クラッド鋼板の性状に関する研究

新三菱重工神戸造船所

薄田 寛・作本 嘉郎

### Study on Properties of Heavy-Section Stainless-Clad Steel Plate for Reactor Pressure Vessels.

Hiroshi SUSUKIDA and Yoshirō SAKUMOTO.

### I. 緒 言

原子力発電プラントとして最も実用化されている米国の PWR 型および BWR 型発電用原子炉圧力容器においては厚さ 200mm 前後のステンレス・クラッド鋼板が多く使用されている。この中、母材を ASTM A302B のマンガン・モリブデン鋼、クラッド材を AISI 304 のオーステナイト系ステンレス鋼とするものが多いが、原子炉圧力容器用ステンレス・クラッド鋼としては高張力で溶接性、加工性のよい圧力容器用材料の特性を具備する以外に、原子炉特有の現象である中性子による照射損傷が少なく、冷却剤に対する耐食性のすぐれていることなどが要求され、加えてその厚さは 200mm 前後にまでおよぶことを考慮せねばならない。本報告では国内 2 社の試作材と米国 L 社の輸入材とを供試材として極厚ステンレス・クラッド鋼板の機械的性質、接着性、クラッド材における炭素拡散、母材の切欠靱性などに関し実験検討した結果の概要について述べることにする。