

Fig. 4. Bending strain (Lateral)-tempering temperature curve.

一致した傾向を示している。

4. 結 言

- 1) 衝撃曲げ荷重は、切欠試片のほうが、平滑試片より大きく、衝撃と静的では衝撃荷重のほうが大きい。
- 2) 衝撃値は平滑試片が、切欠試片より大きい。バネ鋼の各試片と軟鋼の切欠試片は類似した衝撃特性があつた。しかし平滑試片では異なつた傾向を示した。
- 3) 衝撃速度、変形角度、撓みと縦歪などと焼もどし温度の間の関係を考察し、それぞれの傾向を確認した。
- 4) 横歪は引張側と圧縮側の間に、多少異なつた傾向があつたが、衝撃値曲線の変化とよく似た傾向を示した。
- 5) 衝撃値および横歪みの考察から、バネ鋼の合金元素の影響は、軟鋼の切欠効果と類似効果を与えるものと推定された。

(132) 3Mo, 3Ni-1Mo, 3Ni-3Mo, 3Ni-5Mo 鋼の焼戻挙動について

(熱間工具鋼に関する研究—VII)

日本特殊鋼

○西村 富隆・新山 善之

On the Tempering Behavior of 3Mo, 3Ni-1Mo, 3Ni-3Mo and 3Ni-5Mo Steels.

(Study on hot-working tool steel—VII)

Tomitaka NISHIMURA and Yoshiyuki SHINYAMA.

1. 緒 言

われわれは、熱間工具鋼の焼戻現象に関する一連の研究を続けているが、約 15 鋼種についての結果はすでに数回にわたり報告した^{1)~5)}。本報告は、3Mo, 3Ni-1Mo, 3Ni-3Mo, 3Ni-5Mo 型の鋼を今までと同様に焼戻時効した場合に、硬度、衝撃値、炭化物反応、電子顕微鏡組織などがどのように変化するかを調べ、そしてこれらの結果を総合して 4 供試鋼の焼戻時効の挙動を検討したものである。

2. 試料および実験方法

供試材は、35kVA 高周波誘導炉で溶製した 8kg 鋼塊を 14mm φ と 14mm φ の棒材に鍛伸してから、焼戻したものをを用いた。これら試料の化学成分を Table 1 に示す。

P03, P31, P33, P35 の 4 鋼種の切削加工試料を 1200°C に 1hr 保持して炭化物を基地中に完全に溶かしこんでから油冷し、ただちに -73°C×3hr. のサブゼロ処理をほどこした後焼戻時効を行なつた。さらに P33 については、1050°C×20min 空冷のような実用焼入の試料に対しても焼戻現象を同様に調べた。炭化物の電解抽出、抽出レプリカの採取、その他の実験方法はすべて前報までの場合とまったく同じである。

3. 実験結果

3.1 硬度および衝撃値

4 供試鋼を 400~700°C の各温度で 0.35~1000hr の焼戻時効を行なつたが、その中で代表的な P35 (焼入硬度 H_{RC} 46.6) に対して得られた時間と硬度との関係を図示すると Fig. 1 のようになる。400°, 450°C の焼

Table 1. Chemical composition of specimens. (%)

Designation (Type)	Specimen No.	C	Si	Mn	P	S	Ni	Mo
P03 (3Mo)	1	0.19	0.07	0.59	0.009	0.017	—	3.20
	2	0.20	0.08	0.62	0.009	0.017	—	3.21
P31 (3Ni-1Mo)	1	0.20	0.10	0.59	0.007	0.013	2.99	0.99
	2	0.20	0.07	0.57	0.007	0.017	3.03	1.05
P33 (3Ni-3Mo)	1	0.21	0.16	0.66	0.009	0.016	2.99	3.55
	2	0.24	0.12	0.65	0.008	0.016	2.83	3.50
	3	0.24	0.13	0.68	0.007	0.015	2.84	3.50
P35 (3Ni-5Mo)	1	0.21	0.09	0.64	0.010	0.015	3.06	5.30
	2	0.21	0.10	0.57	0.011	0.015	3.02	5.40

Specimen 1 and 3 were used for hardness, impact and extraction replica tests, and 2 for electrolytic extraction.

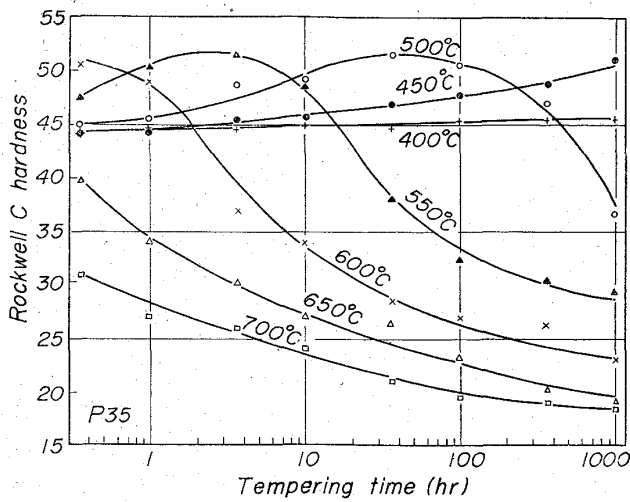


Fig. 1. Isothermal tempering hardness curves for P35 steel.

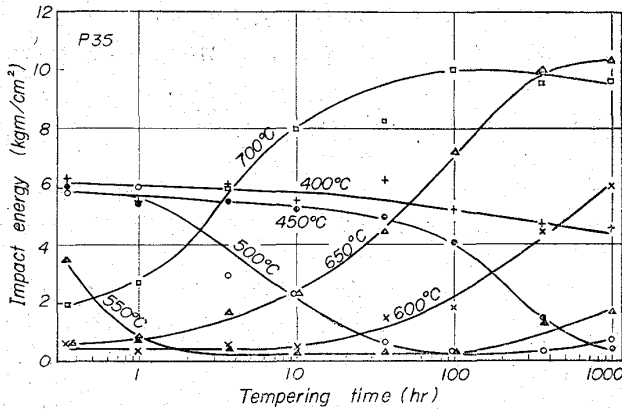


Fig. 2. Isothermal tempering impact energy curves for P35 steel.

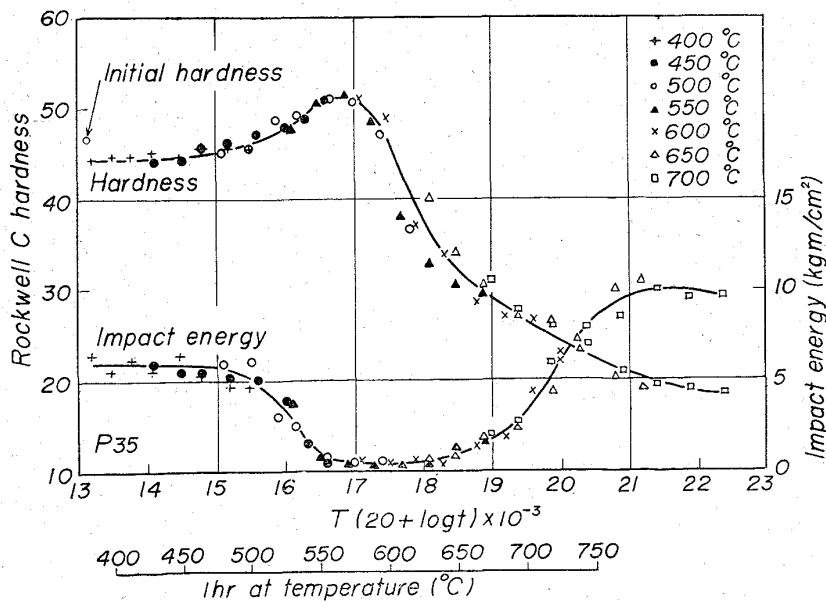


Fig. 3. Master tempering hardness and impact energy curves for P35 steel.

戻り効の場合には、硬度は時間とともに漸増している。ところが 500°C になると、約 350hr までは硬化が進行するが、ここを過ぎると軟化するの、結局 350hr 近傍に硬度極大が生ずる。550°C ではこの極大はさらに短時間側の 2.5hr 付近に移動し、600°C になると 0.35hr 以内の時間で生ずるようになる。このように硬度極大が生ずる時間は焼戻温度が高くなるにしたがつて短時間側に規則的に移行している。P03, P33 の焼戻時効硬度曲線もこれと大体類似した傾向を示した。

Fig. 2 は、硬度の場合と同様に、P35 の常温シャルピー衝撃値を焼戻時間との関係において表わした焼戻時効衝撃値曲線である。400°C では衝撃値は、時間とともに徐々に低下し、450°C の場合も同様の傾向を示すが、100hr を過ぎると急速に減少する。500°C になると、この急激に低下する時間は約 1hr 付近になり、550°C では 0.35hr 以下でおこるようになる。600°C では時間とともに漸増する傾向を示し、650°, 700°C ではさらに急激に増大し、また 700°C では約 100hr のところに極大ができる。この場合にもまたその変化現象は温度が上昇するにつれて、短時間側に規則的に移動する。このように硬度と衝撃値から判断すると、焼戻時効現象は rate process にしたがって進行することが考えられる。

以上の P35 の硬度値と衝撃値を焼戻パラメータ $P = T(20 + \log t) \times 10^{-3}$ に対してプロットすると、Fig. 3 のような母硬度曲線と母衝撃値曲線が得られる。硬度曲線に着目すると、パラメータ値が増すにつれて硬化が進行し、 $P = 16.8$ で最大に達し、この点を過ぎると急激に軟化するが、 $P = 19$ 以上ではその軟化がゆるやかになる。衝撃値曲線は、先の硬度曲線とは大体逆相関的な傾向を示し、最大硬化を示すところでは衝撃値は最小となる。

このようにして、P03, P31, P33, P35 の 4 供試鋼に対して得た母硬度曲線と母衝撃値曲線をひとまとめにしたものが Fig. 4 である。まず硬度曲線を比較すると、1% Mo の P31 は他の鋼ほど大きな 2 次硬化を示さない。硬化の山の頂点は、P03 と 1050°C 空冷の P33 では $P = 17.6$, P33 では $P = 17.0$, P35 では $P = 16.8$ のところにある。Mo が増すと焼戻硬度が全般的に高くなる傾向を示し、また硬化の山はパラメータの小さい側に移る。P03 と P33 からは Ni の影響を見ることができ、硬化の山は Ni を含有する P33 の方がパラメータの小さいところに生じている。また P33 では、1050°C 空冷と 1200°C 油冷の場合を比較しようが、前者の硬化の山は後者よりパラメータの大きいところにある。母衝撃値曲線は、P31 を除く他の鋼種ではほとんど同じような傾向を示し、硬化の山に相当する付近ではいずれも衝撃値は最低となる。Mo が増大するほど衝撃値は全般的に低下し、Ni は低パラメータ側では靱性を向上し、高パラメータ側ではこれを低下する。

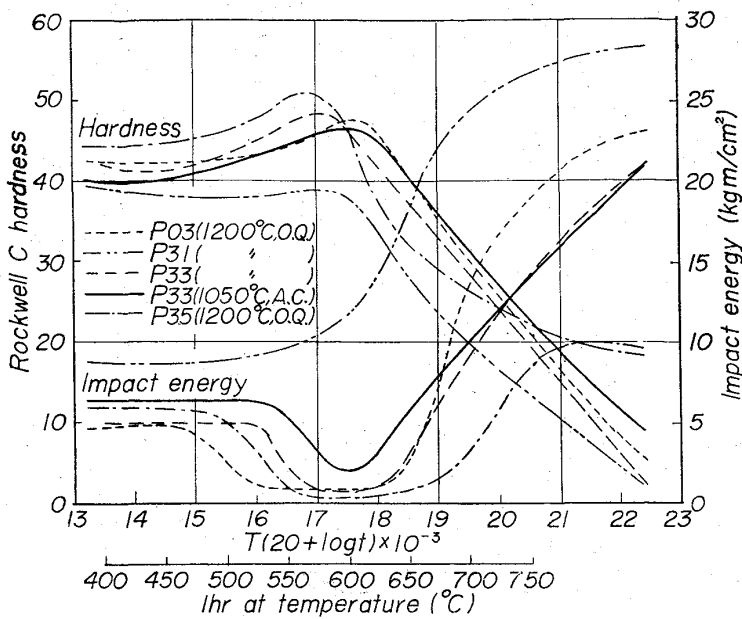


Fig. 4. Master tempering hardness and impact energy curves for P03, P31, P33, and P35 steels.

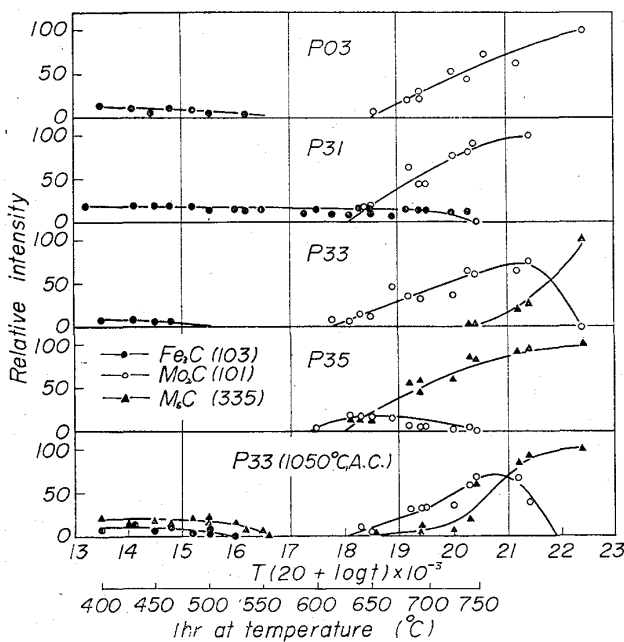


Fig. 5. Relative intensities of X-ray diffraction lines of Fe₃C, Mo₂C, and M₆C carbides of P03, P31, P33, and P35 steels.

3.2 炭化物反応

Fig. 5 は、P03, P31, P33, P35 の焼戻時効試料から得た電解抽出残渣を X 線回折した際に、Fe₃C の (103), Mo₂C の (101), M₆C の (335) の各回折線の高さをなわち相対強度によつて、これらの炭化物量を相対的に表わしたものである。これは一種の炭化物量の焼戻時効による相対的な変化を知るためのものであつて、異種炭化物間の量的な関係を示すものではない。

P03 では、Fe₃C は $P=16.6$ で消失し、Mo₂C は $P=18.5$ で始めて検出され、それから急速に増加して

いる。P31 では、Fe₃C は $P=20.6$ まで存在し、Mo₂C は $P=18.1$ から急増している。P33 では、Fe₃C は $P=15.6$ で消失し、Mo₂C は $P=17.8$ から徐々に増してゆき $P=21.4$ で最大となり、ここを越すと急減して、 $P=22.4$ で消失してしまう。また M₆C は $P=20.3$ で検出されそして急増している。P=35 では、Fe₃C は検出されず、Mo₂C は $P=17.4 \sim 20.4$ の領域において存在し、M₆C は $P=18.0$ で始めて検出され、それ以後は急増している。1050°C 空冷の P33 では、Fe₃C は $P=16.0$ で、焼入の際未溶解の M₆C は $P=16.6$ でそれぞれ消失し、Mo₂C は $P=18.0 \sim 21.9$ の範囲で存在し、M₆C は $P=18.5$ から徐々に増している。

P31, P33, P35 の炭化物反応からわかるように、Mo が多くなるにしたがつて、Fe₃C はより早く基地に溶けこみ、Mo₂C はより早く析出するようになることが認められる。また P03 と P33 を比較すると、Ni を含む P33 において Fe₃C が早く消失し、Mo₂C が早く析出して、P03 では存在しなかつた M₆C も認められるので、Ni は炭化物反応を促進することが推察される。すなわち Ni は炭化物析出過程の活性化エネルギーを低下する作用のあることがうかがえる。また P33 においては、1200°C 油冷のものは 1050°C 空冷のものより、Mo₂C の析出がパラメータ値の小さいところで生じている。以上のことから各鋼の析出硬化に關与する Mo₂C の検出開始点は、先に示した母硬度曲線の最大硬度パラメータ値より若干大きいところにあり、そのずれは各鋼間で大体一定値を示している。

P31, P33, P35 からのカーボン抽出レプリカの電子顕微鏡組織によると、Fe₃C はウィドマンステッテン状を呈している。なお P35 では、パラメータ値の小さい側においては、残渣の X 線分析によつては Fe₃C は検出できなかったが、電顕観察によつて $P=15.2$ まで少量の Fe₃C の存在を確認した。析出 Mo₂C (あるいは M₆C) 炭化物は小さな粒状であり、パラメータの増大とともに成長および凝集によつて粗大化している模様がよく観察された。

4. 結 言

3Mo 型の P03, 3Ni-1Mo 型の P31, 3Ni-3Mo 型の P33, 3Ni-5Mo 型の P35 の鋼を 400~700°C において 0.35~1000hr の焼戻時効したときに生ずる現象をまとめるとつぎのようになる。

(1) 3% 以上の Mo を含有する P03, P33, 1050°C 空冷の P33, P35 はそれぞれ $P=17.6, 17.0, 17.6, 16.8$ において大きな析出硬化を示すが、ここでは衝撃値は最低となる。

(2) Mo が増すと、焼戻時効硬度は全般的に上昇し、析出硬化は増大し、この硬化の山は低パラメータ値側へ移動する。Ni もまた硬化の山を同じ側へ移す作用がある。

(3) 先に示した温度と時間内の焼戻時効過程においては、P31 では Fe₃C → Fe₃C + Mo₂C → Mo₂C, P03 で

669.14.018.27:669.15'26'27/292-194
 : 669.15'26'74-194:669.15'74'782-194
 : 620.178.16:620.175.251.2:621.785.6

は $Fe_3C \rightarrow$ 固溶消失 $\rightarrow Mo_2C$, P33 と P35 では $Fe_3C \rightarrow$ 固溶消失 $\rightarrow Mo_2C \rightarrow Mo_2C + M_6C \rightarrow M_6C$, $1050^\circ C$ 空冷の P33 では $M_6C + Fe_3C \rightarrow M_6C \rightarrow$ 固溶消失 $\rightarrow Mo_2C \rightarrow Mo_2C + M_6C \rightarrow M_6C$ のような炭化物変化がおこっている。したがってこれら鋼の焼戻時効硬化は Mo_2C の析出によつて生ずることがわかる。

文 献

- 1) 西村, 新山: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 1537
- 2) 西村, 新山: 鉄と鋼, 49 (1963), p. 1539
- 3) 西村, 新山: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 668
- 4) 西村, 新山: 鉄と鋼, 50 (1964), p. 1939
- 5) 西村, 新山: 鉄と鋼, 51 (1965), p. 973

(133) 9% W-Cr-V 鋼系, Mn-Cr 鋼系
 および Si-Mn 鋼系バネ材料の
 西原式摩耗試験, 高温振り試験
 および焼入剤による焼入効果等
 について

(バネ材料に関する研究—XIV)

熊本大学工学部 工博○堀田 秀次

Study on Nishihara's Wear Test the
 Torsion Test at High Temperature
 and the Quenching Effect in Several
 Media of Spring Materials Made of
 9% W-Cr-V Steel, Mn-Cr Steel and
 Si-Mn Steel.

(Study on the spring materials—XIV)

Dr. Hideji Hotta.

1. 緒 言

高温用バネ材料の研究として従来発表されたもの¹⁾²⁾があるが、著者は高温用バネ材料に関する研究として既往において種々の研究発表^{3)~8)}を行なつてきた。前回の第13報⁹⁾においては、9%W-Cr-V 鋼系合金工具鋼 (SKD 5) および Mn-Cr 鋼系 (SUP 9) につき焼入剤としてひまし油、菜種油およびギア油により焼入効果および焼戻性を調査し、併わせて9%W-Cr-V 鋼系 (SKD 5) には恒温熱浴処理および焼入焼戻の熱処理を施し、Si-Mn 鋼系 (SUP 7) および Mn-Cr 鋼系 (SUP 9) には、いずれも焼入焼戻の熱処理を施したのものについて圧壊試験、曲げ試験ならびに高温衝撃試験その他について報告を行なつた。

今回は、これが第14報として高温用バネ材料として9%W-Cr-V 鋼系 (SKD 5) および Mn-Cr 鋼系 (SUP 9) についていずれも焼入焼戻の熱処理を施したものに

つき、西原式摩耗試験を施行し、Mn-Cr 鋼系 (SUP 9) の常温および高温の振り試験を Si-Mn 鋼系 (SUP 7) および 9%W-Cr-V 鋼系 (SKD 5) と比較検討し、併わせて前回と異なるタービン油、エンジン油およびひまし油によりピッカース硬度計での焼入効果を調査したので、これら諸試験の経過の概要を報告する。

2. 供試材料

供試材料は次の Table 1 に示す化学成分を有する 9%W-Cr-V 鋼系 (SKD 5), Mn-Cr 鋼系 (SUP 9) および Si-Mn 鋼系 (SUP 7) である。

3. 試験の経過ならびに成績

3.1 西原式摩耗試験

3.1.1 試験方法

Mn-Cr 鋼 (SUP 9) および 9%W-Cr-V 鋼 (SKD 5) の両鋼種共いずれも、外径 30φ mm, 内径 16φ mm, 巾 8mm に切削加工後、所定の熱処理を施行した試験片 2 個を 1 組とし、西原式摩耗試験機を使用し、試験条件は滑り率 20%, 荷重 30 kg, 回転数 800rpm で 5 万回転毎の摩耗量をそれぞれ測定した。

3.1.2 試験結果

本試験の結果、Mn-Cr 鋼 (SUP 9) においては、焼戻温度が高くなるにつれて、摩耗量は増大し、5 万回転以後の摩耗量は急激に増加する傾向を示す。9%W-Cr-V 鋼 (SKD 5) においては、Mn-Cr 鋼 (SUP 9) と同様の傾向を示すが、回転数の増加に比べて、摩耗量はあまり増加しない。9%W-Cr-V 鋼 (SKD 5) は Mn-Cr 鋼 (SUP 9) に比して、概して耐摩耗性は良好である、本試験結果の例を Fig. 1 に示す。

3.2 高温振り試験

3.2.1 試験方法

Mn-Cr 鋼 (SUP 9) について、試験片寸法 10φ mm × 300mm の中央部に 5φ mm × 5mm の平行部を有するノッチを切り込み、切削加工後、所定の熱処理を施行し、600kg-m 手動式振り試験機にて試験を施行した。高温加熱方法としては、ニクロム線電気炉の中央がノッチの中心にくるように装置し、それぞれ 300°, 500°, および 600°C に加熱し、その温度に 15min~20min 間保持したのち試験を行ない、この最大振り応力を測定し、Si-Mn 鋼 (SUP 7) および 9%W-Cr-V 鋼 (SKD 5) と比較検討した。

3.2.2 試験結果

各鋼種共焼戻温度が高くなるにしたがい、最大振り応力は、一般に低下する傾向を示し、Mn-Cr 鋼 (SUP 9) は Si-Mn 鋼 (SUP 7) と共に試験温度の上昇と共に最大振り応力は、一般に急激に低下するも 9%W-Cr-V 鋼 (SKD 5) の場合には、試験温度 500° および 600°C において最大振り応力の低下率が少ない。また Mn-Cr 鋼 (SUP 9) の最大振り応力は、9%W-Cr-V 鋼 (SKD 5)

Table 1. Chemical composition of specimens. (%)

Steel	JIS	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	W	V	Cn
9% W-Cr-V steel	SKD5	0.29	0.17	0.29	0.025	0.013	—	2.45	9.10	0.41	0.09
Mn-Cr steel	SUP9	0.52	0.30	0.72	0.014	0.010	0.11	0.76	—	—	0.15
Si-Mn steel	SUP7	0.65	1.97	0.86	0.014	0.008	—	—	—	—	—