

Fig. 3. Effect of various alloying elements on transformation temperatures and length change due to transformation.

① A_{c1} に対して: W, Nb, Ti, Zr は上昇せしめる。Co はほとんど影響がない。Ni, Cu は低下せしめる。

② A_{c3} に対して: Ti, W, Nb, Zr は上昇せしめる。Ni, Co, Cu は低下せしめる。

③ 合金元素の影響は, A_{c1} に対するよりも A_{c3} に対して大きい。

④ δ に対して: Ti, W, Nb, Zr は減少せしめる。Ni, Co は増加せしめる。

2. 機械的性質

引張性質の測定には径 16mm の丸棒を, また衝撃性質の測定には 15mm 角の材料を $A_{c3}+40^{\circ}\text{C}$ の温度に加熱後, 空冷しさらに $200^{\circ}\sim 750^{\circ}\text{C}$ の各温度に 1hr 焼もどした後, それぞれの試験を行なった。

(1) 引張性質

引張性質と焼もどし温度の関係からみると, Ni によつて抗張力, 降伏点, 絞りともに増加する。Cu によつても抗張力, 降伏点は上昇するが, 絞りにはほとんど差がない。0.5% の Co の添加は抗張力, 降伏点を増加せしめるが, 1.0% になるとかえつて低下せしめる。Ti, Zr, W はいずれも抗張力, 降伏点を増加する。Nb の抗張力, 降伏点, 絞りにおよぼす影響は小さい。いずれの場合も強度に関しては, 焼もどし温度 650°C 以上では合金元素添加の影響は非常に小さくなる。なお, その程度に大小はあるが, いずれの鋼についても焼もどし温度 500°C 近辺で絞りの低下がみられる。同一抗張力レベルにおける降伏点, 絞りを比較すると, 抗張力 110

kg/mm² 以下では鋼による差が比較的小さいが, 1.0% Ni を添加したものは降伏点, 絞りが高い。

(2) 衝撃性質

衝撃値と硬度の関係は焼もどし温度 500°C 近辺で谷底を示し, それよりも高硬度側では硬度の増加によつて衝撃値の急激な上昇を, それよりも低硬度側では硬度の低下に伴つて衝撃値は上昇して行くが, 谷底よりも低硬度側 (HrC 37 以下) で同一硬度レベルで比較するとき, Ni, Cu の添加は衝撃値を増し, Co はほとんど影響なく, Nb の影響は比較的小さい。微量の Ti, Zr の添加は衝撃値の向上に有効である。しかし, その量が多すぎるとその効果がなくなる。

IV. 総 括

(1) Si, Cr, Mo, V および C をいろいろ変化せしめた鋼についての変態点および変態にもとづく長さの変化の実測値から, 化学成分との関係を次の形の実験式で表わした。

$$P = \sum a_i x_i + k$$

P : A_{c1} , A_{c3} 変態にもとづく長さ変化, k : 定数

x_i , a_i : 合金元素の含有量, Wt%, とその係数

(2) 0.35% C-1.5% Si-1% Cr-0.4% Mo-0.2% V 鋼をベースとして, Ni, Cu, Co, W, Ti, Zr, Nb を添加した場合について, 各々の変態点および変態にもとづく長さ変化におよぼす影響を求めた。Ti, W, Nb, Zr は変態点の上昇, 変態にもとづく長さ変化の減少に有効であることがわかった。

(3) 引張性質および衝撃性質におよぼす上記諸合金元素の影響を示した。例えば, 微量の Ti, Zr の添加は衝撃値の向上に有効であるが, その量が多すぎると, その効果がなくなることを見出した。

(4) このようにいろいろの合金元素を含む場合についても, この種の鋼の空冷組織 (主としてベイナイトからなる) は, 500°C 近辺の焼もどし温度で絞りの低下, 衝撃値の低下を示す。

文 献

- 1) 邦武, 加藤: 鉄と鋼, 49 (1963) 9, p. 1532~1533

(136) 5Cr-Mo-V, 5Cr-Mo-W-V, 5Cr-Mo-W 鋼の焼戻挙動について

(熱間工具鋼に関する研究—IV)

日本特殊鋼

○西村 富隆・新山 善之

On the Tempering Behavior of 5Cr-Mo-V, 5Cr-Mo-W-V and 5Cr-Mo-W Steels.

(Study on hot work tool steels—IV)

Tomitaka NISHIMURA and Yoshiyuki SHINYAMA.

I. 緒 言

12Cr-W-V-Co および W-Cr-V 系の熱間工具鋼を焼戻時効した場合, その硬度, 衝撃値, 電子顕微鏡組織の変化ならびに炭化物反応の過程などについて研究した結

果はすでに報告¹⁾した。

本報告は、前報の場合とまったく同様の目的、方法をもつて、5Cr-Mo-V, 5Cr-Mo-W-V, 5Cr-Mo-W 系の, Al 合金などのダイカストあるいはプレス型用鋼を焼戻し時効した際の挙動について研究したものである。

II. 試料および実験方法

供試材としては、35KVA 高周波誘導炉にて溶製した 8kg 鋼塊を 14mm φ および 14mm φ に鍛伸してから焼鈍したものを用いた。これら試料の化学成分は Table 1 に示すとおりである。

この鍛伸焼鈍材から、JIS 3 号衝撃試験片と 12mm φ × 60mm の電解試料を削り出し、これを実用焼入温度よりかなり高い温度 1200°C に 1hr 保持し (アルゴン雰囲気炉使用)、炭化物を基地中に完全に溶かしこんでから油冷した。しかる後 -73°C × 3hr のサブゼロ処理をほどこした試料について、400°C ~ 700°C の温度範囲において 0.35 ~ 1000hr の焼戻し (油冷) を行なつたが、その際の焼戻し処理は、1hr 以内のものは鉛浴炉、3.5hr 以上のものはアルゴン雰囲気炉を使用した。

硬度測定は衝撃試験片により行ない、抽出レプリカもまた同試片から採取した。また電解残渣は、1N 塩酸水溶液および 1N 塩酸エチルアルコール溶液を使用し、18 ~ 20mA/cm² の電流密度、約 60hr の電解時間の条件にて採取した。なお電解中は陽極試料の下部からアルゴンガスを吹きつけ、試料表面に発生する酸素ガスを追払うと同時に、液の攪拌作用も行なわせた。電解槽からの収集残渣はエチルアルコールにて洗滌後真空乾燥を行ない、残渣処理には細心の注意を払った。

このようにして、各温度においていろいろの時間焼戻しを行なつた試料について、その硬度と衝撃値を求め、また抽出レプリカによる電子顕微鏡組織観察と電子回折および電解抽出炭化物の X 線回折を実施し、これらの結果を総合して焼戻し挙動を詳細に検討した。

III. 実験結果

(1) 硬度および衝撃値

5Cr-1Mo-1V の DKB 鋼 (初期硬度 HRC 58.9) を各

温度でいろいろな時間焼戻しを行なつた場合の時間と硬度との関係は Fig. 1 のようになる。400°C では 1000hr にいたるまで硬化が徐々に進行し、軟化現象はまだ現われていない。ところが 450°C になると、35hr 付近で硬度は極大になり、それ以後ではゆるやかに軟化している。また 500°C では、硬度の極大は約 1hr のところで生じている。600°C 以上では、約 20min ですでに軟化状態にある。以上の結果によると、硬度極大の位置は焼戻し温度が上昇するほど短時間側へ移動する経過がよくわかる。DKA, DKE, DKF, DKN も DKB と大体類似の恒温焼戻し曲線を示した。

つぎに同じく DKB 鋼を焼戻し時効させた試料について衝撃試験をした結果を、時間・温度・衝撃値の関係において図示したものが Fig. 2 である。高温長時間側では衝撃値が急激に増大し、また低温短時間側でも若干増す傾向が見られ、その中間には低値部が存在する。この低値部は焼戻し時間が長くなるほど低温側に移行している。すなわち高温長時間側にできる山の裾は、長時間焼戻しに

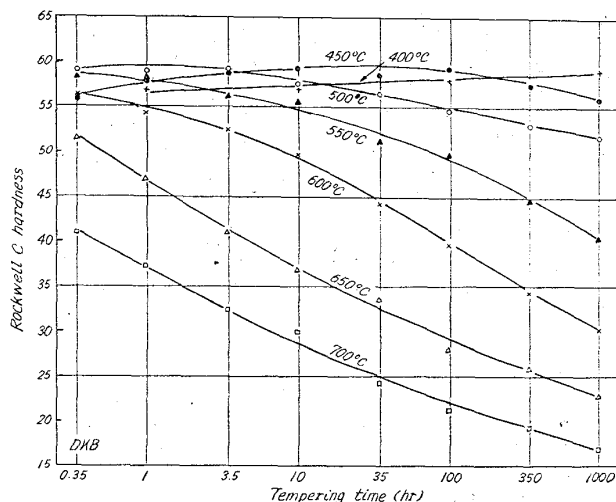


Fig. 1. Isothermal tempering curves for DKB steel.

Table 1. Chemical composition of specimens. (%)

Designation (Type)	JIS AISI	Specimen No.	C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	W	V
DKA (5 Cr-1 Mo-0.5V)	SKD 6	1	0.40	1.05	0.33	0.008	0.018	5.01	1.18	—	0.51
		2	0.40	1.11	0.33	0.008	0.016	4.95	1.18	—	0.51
DKB (5 Cr-1 Mo-1 V)	SKD 61 H11	1	0.40	1.11	0.32	0.010	0.013	4.95	1.20	—	1.02
		2	0.40	1.08	0.34	0.009	0.011	4.92	1.15	—	1.05
DKE (5Cr-1Mo-1.5W-1V)		1	0.37	1.08	0.35	0.010	0.018	4.91	1.13	1.50	0.98
		2	0.36	1.09	0.32	0.010	0.019	4.77	1.09	1.50	1.02
DKF (5 Cr-1.5Mo-1.5W-0.5V)	H12	1	0.37	1.13	0.31	0.010	0.020	4.85	1.63	1.55	0.47
		2	0.38	1.11	0.33	0.011	0.016	4.81	1.63	1.48	0.49
DKN (5 Cr-1.5 Mo-1 W)	(A 8)	1	0.37	1.02	0.33	0.010	0.016	5.12	1.48	0.90	—
		2	0.37	1.03	0.33	0.009	0.016	5.04	1.48	0.87	—

Specimen 1 was used for hardness, impact and extraction replica test, and 2 for electrolytic extraction in each steel.

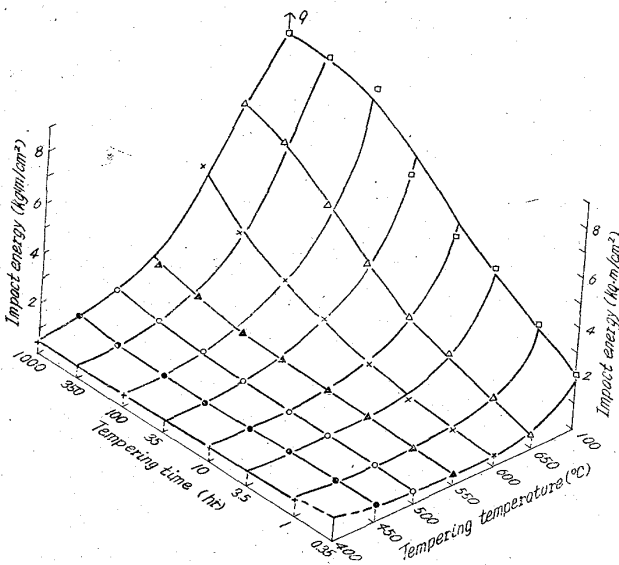


Fig. 2. Charpy impact energy plotted isometrically against time and temperature of tempering for DKB steel.

なるほど低温側に生ずるようになる。

以上のDKB鋼についての硬度値と衝撃値を焼戻パラメータ $P = T(20 + \log t) \cdot 10^{-3}$ に対してプロットすると、Fig. 3のように両者ともそれぞれ1本の曲線であらわせる関係が得られる。これによると、焼戻硬度最大は $P = 15.5$ のところにあり、ここは焼戻時間1hrの場合には 500°C に相当する。衝撃値の方は硬度とは大体逆相関の関係にあり、その最小値は $P = 15.5 \sim 16.5$ の範囲にひろがっている。

このようにして、DKA, DKB, DKE, DKF, DKNの全試験鋼種について、焼戻パラメータと硬度、衝撃値との関係を求めてひとまとめにすると Fig. 4 が得られ

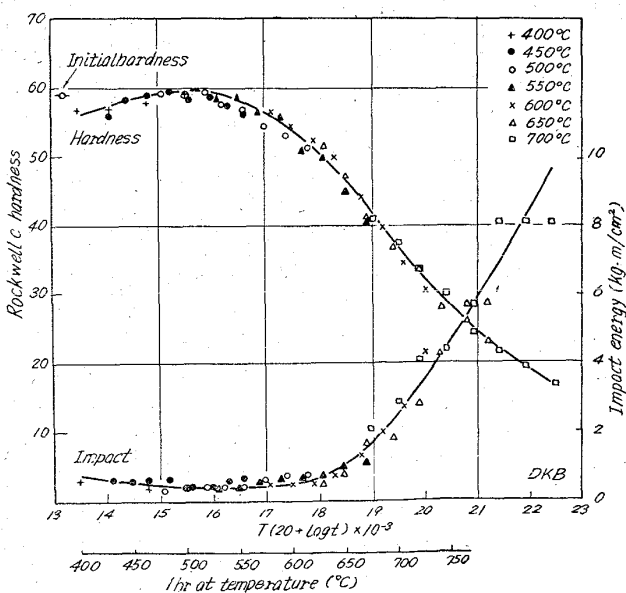


Fig. 3. Hardness and Charpy impact energy plotted against the tempering parameter $T (20 + \log t)$ for DKB steel.

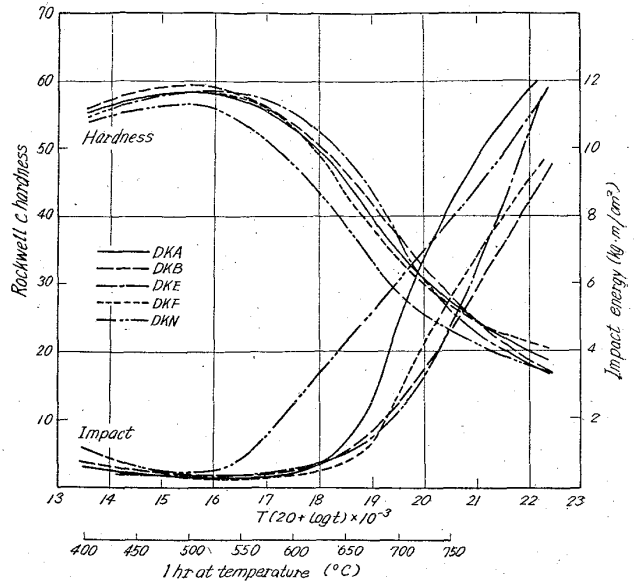


Fig. 4. Hardness and Charpy impact energy versus the tempering parameter $T (20 + \log t)$ for DKA, DKB, DKE, DKF and DKN steels.

る。まず焼戻硬度に着目すると、硬度最大の位置は、DKA, DKB, DKNでは $P = 15.5$ 、DKE, DKFでは $P = 16.3$ のところにあり、WとVを同時に含有するものの方が、硬度の山はPの大きな側によつてゐる。しかし全体的に見渡すとDKA, DKB, DKE, DKFは大体同様な傾向を示すが、Vを含まないDKNはこれらより硬度が全般的に低く、異なつた傾向を示す。衝撃値に関しては、DKNは先に述べた硬度的な関係から他のものより当然大きな値となる。DKB, DKE, DKFは大体似通つた傾向を示すが、5Cr-1Mo-0.5VのDKAは $P = 18.0$ (1hr, 650°C) 以上ではこれらよりかなり大きな値となり、異なつた性質をあらわす。

(2) 電解抽出炭化物のX線分析

焼戻時効させたDKA, DKB, DKE, DKN鋼から、I項中に述べたような方法により電解抽出した炭化物をX線回折により同定した結果をTable 2に示す。なおDKBにおいては、 $P = 18.1 \sim 17.3$ で $M_7C_3 + V_4C_3$ 、 $P < 17.3$ で M_3C の存在を抽出レプリカによる電子顕微鏡観察により確認した。以上のことから明らかなように、

Table 2. Tempering parameter ($T(20 + \log t) \cdot 10^{-3}$) ranges in which alloy carbides were detected by X-ray diffraction.

Steel	DKA	DKB	DKE	DKN
V_4C_3	17.4—22.4	18.1—22.4	18.5—22.4	—
M_7C_3	17.4—22.4	18.1—22.4	18.5—22.4	17.5—22.4
M_6C	18.5—22.4	18.9—22.4	19.6—22.4	18.9—22.4
$M_{23}C_6$	—	—	—	21.2—22.4

$P=13.1 \sim 22.4$ の範囲においては, 5Cr-Mo-V (DKA, DKB) 系と 5Cr-Mo-W-V (DKE) 系の鋼における炭化物反応は $M_3C \rightarrow M_7C_3 + V_4C_3 \rightarrow M_7C_3 + M_6C + V_4C_3$, 5Cr-Mo-W (DKN) 系では $M_3C \rightarrow M_7C_3 \rightarrow M_7C_3 + M_6C \rightarrow M_7C_3 + M_6C + M_{23}C_6$ のような経過をたどることが判明した。

(3) 電子顕微鏡組織および電子回折

5Cr-1Mo-1V の DKB 鋼のカーボン抽出レプリカによる代表的な電子顕微鏡組織と電子回折像を Photo. 1 に示す。 $P < 17.3$ 以下では写真 (a) のような M_3C 炭化物が存在し, $17.3 \leq P < 18.9$ の領域では写真 (b) のような綿屑状の $V_4C_3 + M_7C_3$ が認められ, $P = 18.9$ で炭化物は粒状化しはじめ, ここで X 線的には M_6C が検出されている。なお合金炭化物 ($V_4C_3 + M_7C_3$) の検出開始点は X 線では $P = 18.1$ のところであつたが, 電顕では $P = 17.3$ であるので, 電顕の方が正確を期することができる。

IV. 結 言

(1) 5 鋼種の焼戻パラメータ・硬度および衝撃値曲線を比較すると, 5Cr-1Mo-1V, 5Cr-1.5Mo-1.5W-1V, 5Cr-1.5Mo-1.5W-0.5V の鋼のそれらはほとんど類似している。5Cr-1Mo-0.5V 鋼の硬度はこれらと同様の傾向を示すが, 衝撃値は $P = 18.0$ 以上でこれらよりすぐれている。5Cr-1.5Mo-1W 鋼は上記 4 鋼種と異なつた性質を示す。

(2) 電解抽出炭化物の X 線分析によると, $P = 13.1 \sim 22.4$ の範囲においては, 5Cr-Mo-V, 5Cr-Mo-W-V 系の鋼は $M_3C \rightarrow M_7C_3 + V_4C_3 \rightarrow M_7C_3 + M_6C + V_4C_3$, 5

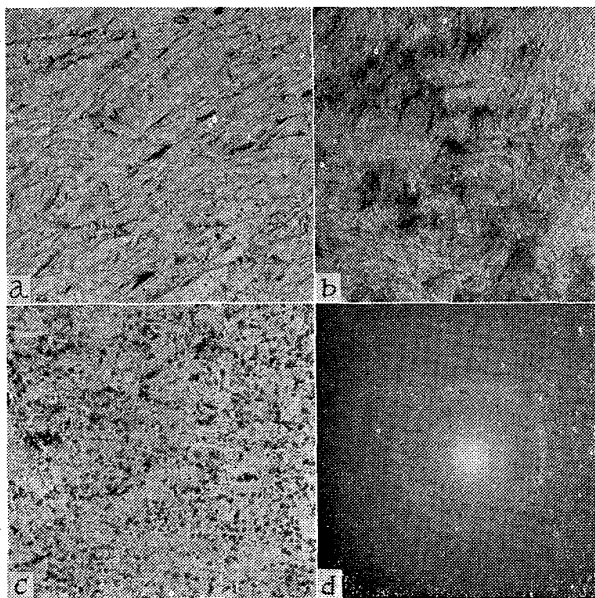


Photo. 1. Electron microstructures and diffraction pattern obtained after tempering DKB steel. (a) Tempered 10h at 450°C ($P=15.2$). (b) Tempered 100h at 550°C ($P=17.3$). (c) Tempered 10h at 650°C ($P=19.4$). (d) Diffraction pattern of b, showing $V_4C_3 (+M_7C_3)$. Carbon extraction replica. $\times 6000$. (2/5)

Cr-Mo-W 鋼は $M_3C \rightarrow M_7C_3 \rightarrow M_7C_3 + M_6C \rightarrow M_7C_3 + M_6C + M_{23}C_6$ のような炭化物反応の経過をたどる。

(3) 5Cr-1Mo-1.5W-1V 鋼の抽出レプリカの電子顕微鏡観察によると, $P < 17.3$ では板状の M_3C が存在し, $17.3 \leq P < 18.9$ では綿屑状の炭化物が認められ, $P = 18.9$ でこれの粒状化が始まり, P が大になるにしたがつて粒が成長し粗大化している。

(4) 本系統の鋼の焼戻時効硬化は, $M_7C_3 + V_4C_3$ あるいは M_7C_3 炭化物が析出する前段階において, 炭化物生成原子が Guinier-Preston 集合体を形成するために生ずるものと考えられる。

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

(137) 5%Cr 熱間ダイス鋼のオーステナイト化処理に関する研究

金属材料技術研究所 ○渡 辺 敏

Study on Austenitizing Treatment of 5% Cr Hot Work die Steel.

Satoshi WATANABE.

I. 結 言

Cr 5% を基礎とし, これに若干の Mo と V を添加した Cr-Mo-V 系熱間ダイス鋼は, W を主体とした鋼種に比較して焼もどし軟化抵抗はやや劣るが, 衝撃値やヒートチェック感受性がすぐれているために, 熱間成形用型鋼, あるいはダイカスト用ダイス型として賞用されている。また最近では, 超高張力鋼としての適性を有する点から, とくにロケット用構造材料などの面でも注目されつつある。

AISI では H11, H13 として規格化され, JIS としては SKD6, SKD61 がこれに対応するが, JIS への採用は比較的新しいためか, この鋼種に関する文献は少ないように思われる。

筆者はこの鋼種の特性を一層改良する目的をもち, その基礎資料としてまずオーステナイト化の条件が焼もどし硬度曲線や衝撃値にどのように影響するかを調べた。またそれにとまなう結晶粒粗大化についても実験を行なつた。

II. 試料および実験方法

試料は 50kg 高周波炉で溶解したが, 主原料として八幡製 S35C のほかに日曹製鋼製の砂鉄原料純鉄を約 40% 使用し, これにフェロアロイを添加して溶製した。化学成分は C 0.45%, Cr 4.89%, Mo 1.50%, V 0.52% で, C がやや高目のほかはいずれも規格内にある。

鋼塊は $1,140^\circ\text{C}$ で鍛造後 20mm ϕ に圧延し, 石灰中で除冷した。焼ならしは 900°C , 1hr 空冷とし, 約 400°C になつたとき同温度の炉内に装入してふたたび加熱し, 850°C で 2hr 焼きなましを行なつた。焼きなまし硬度は H_v で 219 であつた。焼きなまし丸棒から, 結晶粒度試験試料および硬度測定試料として $15\phi \times 8$ の円板を, また衝撃試験片として JIS 3 号シャルピー試験