

者による硬化は明らかに現われないが、Mo および Mn を添加せるもののみ Cu の析出による明瞭な硬化を示した。

文 献

- 1) H. Buchholtz u. W. Köster: Stahl Eisen, 50 (1930) 687

(32) 含銅低炭素鑄鋼の析出硬化性におよぼす焼準時の質量効果について

(含銅低炭素鋼に関する研究—Ⅱ)

東京工業大学

工博 田中 良平・○伊藤 六郎

Mass Effect in Normalizing on the Precipitation-Hardening Characteristics of Copper-Bearing Low-Carbon Cast Steels.

(Study on the copper-bearing low-carbon steels—Ⅱ)

Ryōhei Tanaka and Rokurō Itō.

I. 緒 言

鋼に 1.5% 程度の Cu を添加すると焼準処理に際して冷却速度がかなり遅くとも Cu は α 中に強制固溶したまま常温まで持ち来たされ、これを 500~550°C に焼戻すときに Cu の析出により硬さ、強さをいちじるしく増加する。この現象を利用して含銅鑄鋼はかなりの肉厚のものでも焼準と焼戻しとによつてすぐれた機械的性質が得られる。焼準時に同じ空冷であつても肉厚の大きい品物ほど冷却速度が小さくなり、後の焼戻による硬化も減少する筈である。本論文では含銅鑄鋼について、その質量の大きいさによつて支配される焼準時の冷却速度が析出硬化におよぼす影響を明らかにするとともに、これが Cu 含有量によつてどのように変化するかについて研究した。また、この種鑄鋼の流動性におよぼす Cu 含有量の影響についても報告する。

II. 試料および実験方法

試料は C 0.1%, Si 0.5%, Mn 1.0% に一定して Cu を 0~3% の範囲で 0.5% 間隔に変えて、タンマン炉を用いて急速熔解を行ない、10×10×100mm のシエル型に鑄込んだ。焼準温度はすべて 930°C に一定し 10mn 加熱した。冷却速度 (930~400°C 間の平均) は 0.8~190°C/mn の範囲に変化せしめて、焼準および焼

戻しにともなう硬度および引張性質の変化についてしらべた。また流動性試験は 1 チャージ 200g としてタンマン炉で熔解し、一定条件で渦巻状シエル型に注いでこの流動長を比較した。

III. 実験結果とその考察

1. 焼準硬度ならびに焼戻硬化におよぼす冷却速度の影響

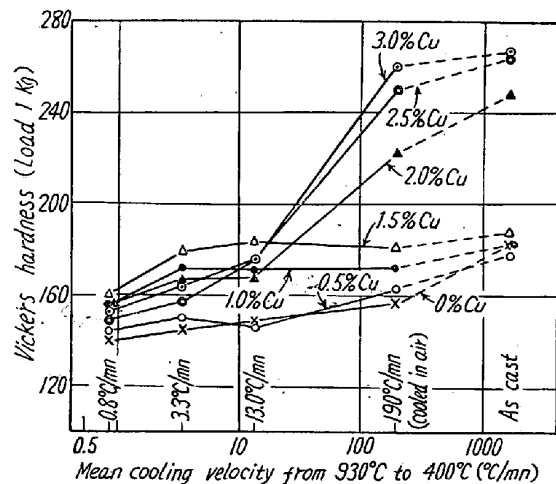


Fig. 1. Effect of cooling rate in normalizing on hardness of cast copper-bearing steels.

Fig. 1 は焼準冷却速度と硬度との関係を示したものである。0% Cu および 0.5% Cu 鋼は冷却速度の増加とともに組織が微細化し、Fig. 1 にみるように硬度も少しく増加するが、これらを 680°C までの各温度に 30mn ずつ焼戻しても焼準冷却速度に無関係にいずれも全く析出硬化は認められなかつた。1.0% Cu および 1.5% Cu 鋼は 3.3~190°C/mn の範囲では冷却速度に関せずほぼ一定の硬度を示し、かつこれらを焼戻せば Fig. 2 の

1.5% Cu の例にみるように 350°C 以上で Cu の析出による明瞭な硬化が現われる。しかし 0.8°C/mn 程度の徐冷を行なつたものでも、程度は少ないがやはり明瞭な焼戻硬化を示している。20%以上の Cu を添加すれば Fig. 1 にみるように、冷却速度が大きくなる

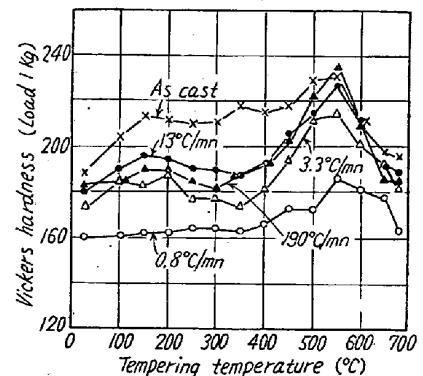


Fig. 2. Effect of tempering at various temperatures for 30mn on hardness of cast 1.5% copper steels normalized at different cooling rates shown in the figure.

につれていちじるしく焼準硬度を増す。しかしてこれを焼戻せばFig. 3の2.5% Cuの例から明らかなようにCuの析出硬化はFig. 2の1.5% Cu鋼ほど顕著でない。とくに190°C/mnで冷却したものは焼準状態ですでにかなり高い硬度を示しているが焼戻硬化は大きくない。

2. 焼準冷却中のCuの析出

上記の結果において2.0%以上のCuを含む場合はこれ以下のCu量のものと全く相違して空冷程度の比較的早い速度で冷却してもいちじるしく硬度が高く、かつこれを焼戻しても、もはや大きな硬化が認められないのは、2.0%以上のCu含有量ではCuの析出が早く、空冷程度でも冷却中にすでに析出硬化するためであると考えられる。この点を確認するために、2.5% Cu鋼を930°Cに加熱後3.3°C/mnで冷却し800, 700, 600および500°Cの各温度から空冷して硬度を測定した。930°Cおよび800°Cよりの空冷硬度はほぼ等しいが700°Cより空冷するとすでにいちじるしく硬度が減少し以下空冷温度の低下とともに硬度は漸減し、またこれらを焼戻してもCuの析出硬化は小さくなる。このことから2.5% Cu鋼では800°C以上より空冷すればその冷却中にすでに微細にCuが析出していちじるしい硬化を来すが700°Cまで徐冷してから空冷するとき800~700°C間においてCuはすでに析出凝集し、空冷開始温度が下るにつれてその析出凝集はさらに進んで一層低い硬度を示すものと考えられる。一方、1.5% Cuおよび2.5% Cu鋼を930°Cより500°Cの鉛浴に焼入れて直ちに同温度の膨脹計にとりつけたところ、等温変態による膨脹の終了点も、これに引続いてのCuの析出によると思われる収縮も2.5% Cu鋼の方が明らかに早く現われることが認められた。またこれに対応して500°C鉛浴に種々の時間保持し等温変態させた後水冷した試片の硬度をしらべたところCuの析出にもとづくと思われる硬化ならびにそれに続く過時効軟化は2.5% Cuの方が明らかに早いことを確かめた。これらの結果から2.0%以上の

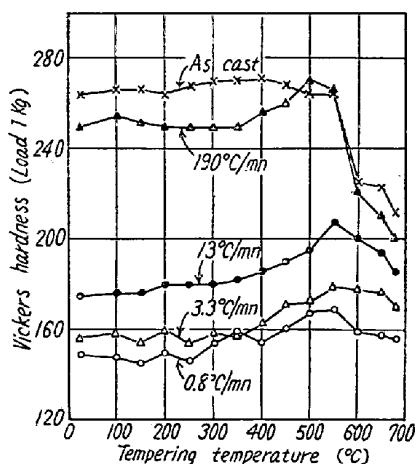


Fig. 3. Effect of tempering at various temperatures for 30mn on hardness of cast 2.5% copper steels normalized at different cooling rates shown in the figure.

Cuを含む鋼における焼準冷却中のCuの析出は2.0%以下のCu鋼にくらべていちじるしく早いといえる。この原因は2.0%以上のCu鋼では γ 相よりの冷却に際して高温において初析 α に続いて $\alpha + \epsilon$ (Cu側固溶体)の二元共析反応があり、ここで析出した ϵ 相が A_1 以下における α からのCuの析出をきわめて容易にするのではないかと想像される。

3. 焼準冷却と引張性質との関係

1.5% Cuおよび2.5% Cu鋼について種々の冷却速度で焼準した状態、およびこれらを550°C×30mn焼戻した状態において引張性質を測定した。冷却速度による抗張力の変化はFig. 1の硬度とよく対応し、2.5% Cu鋼は1.5% Cu鋼に比して冷却速度の増大による強度の改善はいちじるしいが、焼戻によつては強度はあまり変化しない。一方1.5% Cu鋼は冷却速度の大小に拘わらず焼戻によつて析出硬化し概して10 kg/mm²程度抗張力を増加する。伸びはCu%および焼戻の有無によつてあまりいちじるしい変化を示さないが概して焼準冷却速度の増加とともに減少する。

4. Cu含有量と熔湯の流動性

1 熔解 200 g, 熔解鑄造温度約1600°Cで渦巻状シエル型を用いて熔湯の流動性におよぼすCu添加量の影響をしらべたところ、Cu添加量の多いほど流動長が大きく、流動性にすぐれていることが確かめられた。

IV. 結 言

0.1% C, 1% Mn, 0~3% Cuの含銅鑄鋼について、主として焼戻による析出硬化におよぼす焼準時の質量効果ならびにCu含有量の影響を研究した。その結果を要約すれば、

- 0~0.5% Cu鋼は全く析出硬化性を有しない。1.0~1.5% Cuの範囲では最も析出硬化性が顕著で、かつ焼準冷却速度の影響も僅少であり、かなり遅い冷却を行なつた後でも焼戻により明瞭な析出硬化を示す。2.0%以上のCuを添加すると焼準冷却中のCuの析出がいちじるしく早く、したがって焼戻硬化の程度はそれに先立つ焼準時の冷却速度によつて大きく影響される。すなわち焼準に際して早い冷却ではCuが微細に析出していちじるしく硬化し、また遅い冷却ではCuはかなりの程度析出凝集するものようで硬度低く、しかもいずれの場合も焼戻におけるCuの析出硬化は僅少である。この原因は2%以上のCu鋼では γ 相よりの冷却に際して初析 α に続いて $\alpha + \epsilon$ (Cu側固溶体)の二元共析反応があり、ここで析出した ϵ 相が A_1 以下における α からのCuの析出を容易にするものと推察される。

- 抗張力の変化は硬度とよく対応するが伸びはCuおよび焼戻有無によつてあまり変化せず概して焼準冷却速度の増加とともに減少する。

- Cu含有量の多いほど流動性は明らかに大きい。