

Table 2.

Material	Diameter of test piece	Heat treatment	Torsion test		Repeated torsion test (Total repeated number of torsional test)			
			Angle of torsion	Torsional moment	+10~0°C	+15~0°C	+20~0°C	+25~0°C
E	37 ϕ	As cast Anneal	27.5°C 57.0	414 kg cm 278	230< 148	39 38	9 19	11
	130 ϕ	As cast Anneal	22.0 43.0	370 320	230<	23 79	25	11
F	37 ϕ	As cast Anneal	33.5 74.0	568 355	230< 230	85 116	16 36	
	130 ϕ	As cast Anneal	32.0 58.0	501 385	192	80 121	15 43	18

力と歪の関係をFig. 3に示す。この曲線において振りモーメントを0から増加させて、規定の捩れ角度を与え、これを元へ戻して再び振りモーメントを0にした場合の捩れ角度を残留捩れ角度とすれば、これは材質と繰り返す最大捩れ角度が決まればほぼ一定である。

Fig. 4に繰り返し回数と残留捩れ角度/最大捩れ角度の比との関係を示した。これを見ると上記の比の値が0.4までは、この比の増加とともに繰り返し回数は急激に減少している。この

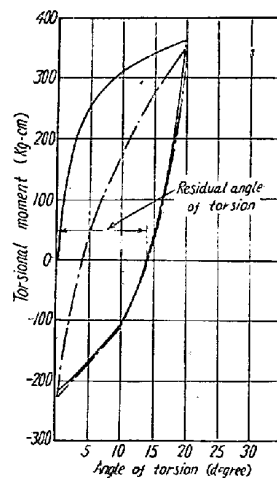


Fig. 3. Hysteresis curve of repeated torsion test.

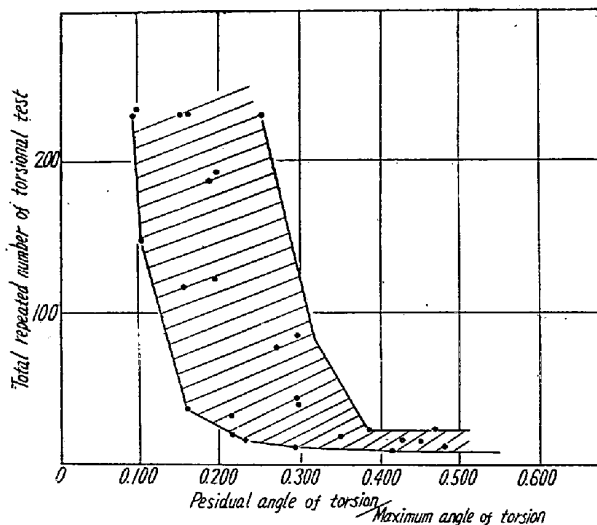


Fig. 4. Relation between the total repeated number of torsion and the ratio: (residual angle of torsion) / (maximum angle of torsion).

比の小なるためには最大捩れ角度の大なることおよび残留捩れ角度の小なることが必要である。残留捩れ角度は最大振りモーメントの大きい材質の方が小さかった。

IV. 結 言

高炭素の材質と低炭素の材質を選んで繰り返し振り試験を行なった結果、破壊までの繰り返し回数の多い材質は振りモーメント、捩れ角度が共に大きな材質であつた。

この繰り返し振り試験による疲労破壊は鋼塊鑄型における熔鋼の注入毎に繰り返される熱応力による疲労現象と関連があると思われるので鋼塊鑄型の材質としては振りモーメントおよび捩れ角度ともに大なる鑄鉄を選ぶ必要がある。さきに高温における単純なる振り試験結果を鋼塊鑄型材質について発表した。今後はさらに高温における繰り返し振り試験を実施して鋼塊鑄型材質の研究に資したいと考えている。

文 献

- 1) 米田, 山下, 尼木, 常田, 福田: 鉄と鋼, 45 (1959), No. 9 p.903

(31) 含銅低炭素鋼の析出硬化性におよぼす合金元素の影響

(含銅低炭素に関する研究—I)

東京工業大学

工博 岡本正三・工博 田中良平・○伊藤六郎
Effect of Alloying Elements on Precipitation-Hardening Characteristics of Copper-Bearing Low-Carbon Steels.

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

Masazō Okamoto, Ryōhei Tanaka and Rokurō Itō.

I. 緒 言

Buchholtz¹⁾によれば Cu および少量のCを含む鋼

を 930°C 付近から A₁ 点直下まで徐冷して焼入れるとその後の焼戻において常温～100°C では C による析出硬化, 400°C 以上では前述の Cu による析出硬化が認められ, この両者は焼戻硬度曲線上に完全に分離した二つの硬度の山を示すことが報告されている。これらの析出現象に対する各種合金元素の影響については今日なお明らかでないと考えられるので, 本研究では C との親和力の小さい Si および Ni, 中程度の親和力を有する Mn, 炭化物形成元素である Cr および Mo の計 5 つの合金元素を選び, これらの合金元素の種類, 焼戻前の熱処理条件ならびに冷間加工などが上述の C および Cu の析出硬化現象におよぼす影響をしらべた。

II. 試料

Table 1 は試料の配合組成を示す。いずれも 1 チャージ 200 g としてタンマン炉で熔製したものである。脱酸剤として Si, Mn を各 0.1% ずつ添加した。

III. 実験結果とその考察

1. 680°C × 1 h 加熱水冷したものの焼戻硬度変化

鑄造したものを 940°C × 10mn 加熱炉冷した焼鈍試料を α 状態の高温の 680°C で 1 h 加熱水冷の溶体化処理を行なった後, 3 日間の室温時効および 70°C から 680°C までの各温度に 30 分ずつ焼戻した場合の硬度変化を測定した。Cr を添加した Cr-1 を除いてはいずれの試料も常温～100°C 焼戻で C による顕著な析出硬化を示したが, Cu による析出硬化は Mo-1 においてわずかに認められたのみで, ほかの試料ではほとんど現われなかつた。すなわち 680°C は A₁ 直下であるが Cu の固溶には全く不十分と考えられるので, 以下 Cu を固溶化せしめるための熱処理としては 930°C まで加熱して一度オーステナイト化することとした。

2. 930°C より 680°C まで徐冷後焼入した試料の焼戻硬度変化

各試料を 930°C × 10mn 加熱オーステナイト化し, 平

均 13°C /mn の速度で 680°C まで炉冷し, この温度から水冷後 1. と同様に室温時効後 680°C までの焼戻硬度変化を測定した。680°C 水冷状態の組織はすべてフェライトとごく少量のパーライトから成る。その結果を Fig. 1 に示す。これより明らかなように Cu を含む鋼は合金元素のいかに拘わらず C および Cu による析出硬化が常に完全に分離してそれぞれ独立の硬度の山を示し, この場合の 680°C 水冷が C および Cu に過飽和のフェライトとなつてゐることを知つた。しかして炭化物形成元素である Cr, Mn, Mo の添加は C による硬化を減少せしめ, 時効硬化速度を遅らせることが認められた。Cu の析出硬化に対しては Mo-1 のみ硬化速度遅く, かつほかより高い硬度を示した以外は合金元素によつてあまり差はみられない。

なお Ni は Cu による赤熱脆性を防止する元素としてしばしば利用されるので, とくに 1～3% Ni を添加せる Ni-1～Ni-3 について上述の焼戻硬化におよぼす Ni の影響をしらべたが, Ni は C による析出硬化を減ずるのみで Cu の析出硬化にはあまり影響しないことが認められた。

3. 930°C より直接焼入れた試料の焼戻硬度変化

930°C × 10mn オーステナイト化後水および油に焼入して析出硬化とともに γ→α の変態に関連する硬度変化をみた。水焼入状態では Mn-1, Cr-1 および Mo-1 のみは, ほぼ完全なマルテンサイト組織であるが, ほかは遊離フェライトとマルテンサイトとの混合した組織であり, 油焼入では Mn-1, Cr-1, Mo-1 のみ微細なフェライトとソルバイトとの混合組織でそのほかの試料はほとんど完全にフェライトに変態している。Fig. 2 は水焼入

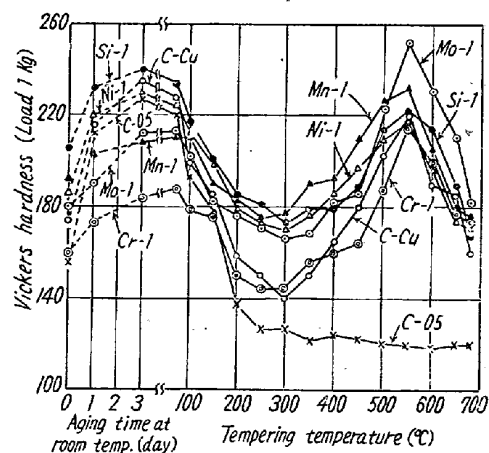


Fig. 1. Hardness change of the steels, furnace-cooled from 930°C and then quenched from 680°C, due to the aging at room temperature and the subsequent tempering at various temperatures for 30mn.

Table 1. Charging composition of the steels used.

Mark	Composition (%)		
	C	Cu	Other alloying elements
C-05	0.05	0	—
C-Cu	0.05	1.5	—
Si-1	0.05	1.5	Si 1.0
Ni-1	0.05	1.5	Ni 1.0
Ni-2	0.05	1.5	Ni 2.0
Ni-3	0.05	1.5	Ni 3.0
Mn-1	0.05	1.5	Mn 1.0
Cr-1	0.05	1.5	Cr 1.0
Mo-1	0.05	1.5	Mo 1.0

試片の焼戻硬度曲線を示す。C-05 は焼入硬度も低く焼戻によつて単に軟化を示すのみであるが、C-Cu は Cu の析出する以前の焼戻軟化がいちじるしいため 350°C 以上にいたつて Cu の析出硬化が明瞭に現われている。合金元素を添加すると概して焼戻軟化温度が高温側にずれて Cu の析出と重なるため、Si-1, Ni-1 では Cu の析出硬化がわずかに現われているにすぎず、Mn-1, Cr-1 にいたつては Cu の析出硬化がほとんど認められないほどである。しかし Mo-1 のみは 450~550°C で明瞭な硬度上昇を示し、ほかに比していちじるしく高い硬度を得ること

は興味深い。一方油焼入試片では Cr, Mn, Mo の炭化物形成元素を添加したもの以外は Fig. 1 の場合とほぼ同様の傾向を示し、水焼入にくらべて硬度もかなり低かつ C, Cu の硬度の山も明瞭に認められる。これらに対して Cr-1, Mn-1 および Mo-1 は焼入硬度が Fig. 1 の場合より概して高く、Mn-1, Mo-1 はとくにその上に Cu の析出硬化がいちじるしく現われて Hv 300 前後のかなり高い硬度を示した。

4. 冷間加工後の焼戻による硬度変化

冷間加工材の軟化再結晶と析出硬化が重畳した場合の硬度変化におよぼす各合金元素の影響を比較するため、前記 2. と同様 930°C より 680°C まで徐冷後水冷した試料に 40% の冷間圧延を施した後 680°C まで焼戻した場合の硬度変化を測定した。いずれの試料も 100~200°C 焼戻で歪時効によると思われるわずかの硬化を示したが、炭化物形成元素を添加せるものはこの最高硬度を示す温度が少しく高温側にずれて現われた。しかし Cu による析出硬化は Mo-1, Mn-1 以外は再結晶による大きな軟化と相殺して明らかに認められず、また

Ni, Si の添加はほとんど影響を与えないようである。Mn-1 および Mo-1 では 450~550°C で析出硬化が再結晶軟化に打克つて明瞭な硬度の山を示し、とくに Mo-1 においてその傾向がいちじるしい。Mo は鋼の再結晶温度を高め、耐熱強度を向上する元素であることはよく知られているが、本実験でも Cu の析出硬化と相まつてかなり高温まで冷間加工の効果が維持されることを認めた。

IV. 結 言

0.05% C, 1.5% Cu を含む低炭素含銅鋼の析出硬化特性におよぼす 1~3% Ni, 1% の Si, Mn, Cr および Mo の各単独添加の影響ならびに溶体化熱処理条件や溶体化後の冷間加工の影響について調べた結果を要約すると、

1. 焼鈍試料を 680°C に加熱焼入したのみではその後の常温時効および焼戻に際して C による析出硬化のみ現われ、500°C 付近での Cu の析出硬化はほとんど起らない。

2. 900°C で一度オーステナイト化した後 680°C まで徐冷後焼入れるとその後の常温時効および焼戻で C と Cu の析出硬化が、前者は常温~100°C、後者は 350~600°C において起り、たがいに全く独立した硬度の山を示し、Buchholtz らの研究にみる Ar_1 直下の焼入れがその温度の平衡状態に達していないことを知った。C による硬化は Cr, Mn, Mo など炭化物形成元素の添加によりやや遅れ到達硬度も低い、Cu による析出硬化は Mo の添加によつてのみ少しく遅れ、かつ高硬度を示すほかは合金元素による差はごく少ない。Ni は 3% までの添加で C による硬化を減ずるのみで Cu の析出には影響しない。

3. 930°C より水焼入したものの焼戻硬度変化においては、合金元素の添加により焼戻軟化抵抗を増すため、マルテンサイトの焼戻によるいちじるしい軟化と Cu の析出とが重なつて後者による硬化は明瞭には現われない。しかし Mo 添加の場合のみ 550°C 付近で Hv 300 程度までのかなりの硬化を認めた。930°C 油焼入試料では炭化物形成元素である Cr, Mn および Mo 添加の試料は微細なフェライト+ソルバイトの混合組織となり他に比してやや硬度高く、その上に 400°C 以上で Cu の析出による硬化が明瞭に現われるが、そのほかの試料はほとんどフェライトのみの組織となり、2. におけると同様の焼戻硬度変化を示した。

4. 2. と同様の溶体化処理後 40% 冷間圧延を施して焼戻すと概して再結晶軟化が Cu の析出と重なつて後

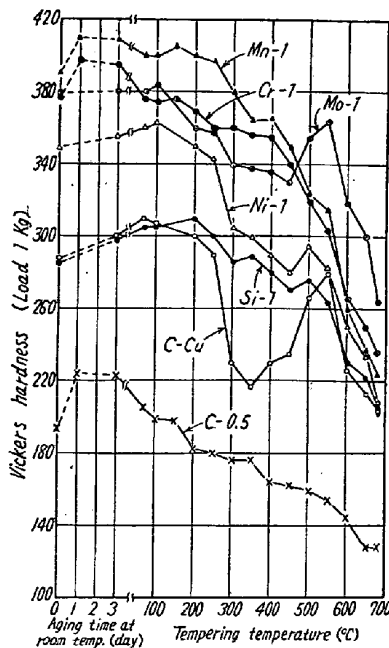


Fig. 2. Hardness change of the water-quenched steels from 930°C due to the aging at room temperature and the subsequent tempering at various temperatures for 30mn.

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

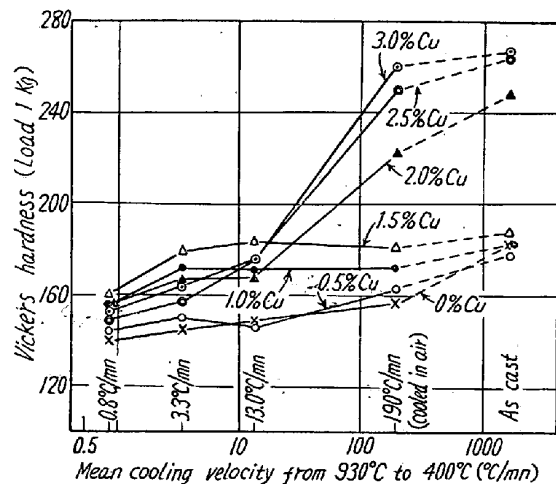


Fig. 1. Effect of cooling rate in normalizing on hardness of cast copper-bearing steels.

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

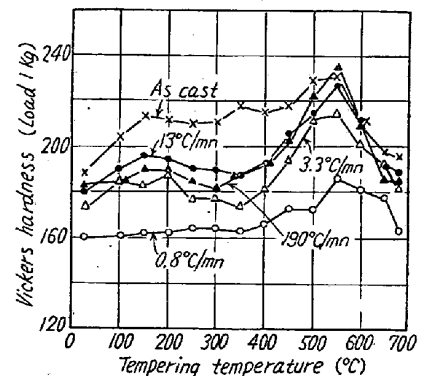


Fig. 2. Effect of tempering at various temperatures for 30mn on hardness of cast 1.5% copper steels normalized at different cooling rates shown in the figure.