

質におよぼす熔解原料の影響について試験した結果を要約するとつぎのとおりである。

- (1) 原鉄配合により成品中の Cu, Sn, Cu などの不純物はいちじるしく減少する。
- (2) 原鉄を配合するとマクロ組織はやや粗となり、偏析およびデンドライトの発達も顕著になる傾向がある。
- (3) 非金属介在物は原鉄配合により A 系および全介在物量が増加するが、微小な砂疵の発生率は減少する傾向がある。
- (4) 焼入焼戻の挙動におよぼす原料の影響は明らかでない。
- (5) リング圧壊値に関しては、原鉄を配合したものの方が配合しないものより低い値を示したが、これは、原鉄配合のものの方が非金属介在物が多いことも 1 因であろう。
- (6) 焼鈍試料を電解すると、原鉄を多く配合した試料の方が、しかも配合率の高いものほど電解後の試料表面肌の凹凸がはげしくなる。

(143) 炭化物の球状化

(高炭素クロムモリブデン鋼の球状炭化物について—I)

三菱製鋼長崎製鋼所

○竹下勝人・佐藤和紀・堀田敏男・三浦勝重

Spheroidizing of Carbide.

(Behavior of globular carbide of high-carbon chromium-molybdenum steel—I)

Masato TAKESHITA, Kazuki SATO,
Toshio HORITA and Katsushige Miura.

I. 緒 言

高炭素クロム鋼は軸受鋼冷延用 ロール鋼などに広く用いられこの種の鋼については広汎な研究が行なわれている。この種の鋼における炭化物の size および分布は

寿命その他の諸性質に大きな影響を与えるのでこれらが製造工程においてどのように変化するかを知ることは製造管理上重要なことである。著者らは各種の球状化処理および爾後の熱処理による炭化物の size および分布の変化を検討した。

II. 実験方法

i) 試料

Table 1 に示す化学組成を有する高炭素クロムモリブデン鋼を 30mm φ × l に鍛伸し 1 コの試料の大きさを 30mm φ × 15mm に切断し Table 2 に示す熱処理を施しそれぞれの使用に供した。

CLP 試料は粒界に大きな初析炭化物が存在する比較的粗い pearlite 組織であり、FLP 試料は初析炭化物の存在はさほどいちじるしくなく、UB 試料では bainite, A B および C 試料では空冷 martensite 組織であつた。

CLP 試料の Ac₁ および Ac₃ は 765°C および 797°C, Ar₃ および Ar₁(冷却速度 1°C/mn) は 810°C からは 747°C および 720°C であり、Ac₁ および Ac₃ の中間温度である 770°C からは 749°C および 730°C であつた。

ii) 球状化処理

球状化処理としては i) 低温球状化 ii) 高温球状化 および iii) 調質球状化を行なつた。低温球状化は AC₁ 温度以下、高温球状化は AC₁ 温度以上で適当な時間加熱保持されたのち適当な冷却速度で徐冷されるとか繰返加熱冷却を行なうとかまた等温変態を行なわせて炭化物球状化を図り調質球状化は martensite 組織の鋼を焼戻条件を適宜に調節して析出する球状炭化物の適当な size および分布を得んとするものである。

低温および調質球状化においては各処理時間後試料は

Table 1. Chemical composition of the steel studied.

C	Si	Mn	P	S	Cr	Mo	Cu	Al
0.83	0.34	0.27	0.014	0.010	1.82	0.32	0.19	0.020

Table 2. Initial condition of each specimen.

Specimens	Heat-treatment	Rockwell C hardness
CLP	950°C × 2h $\xrightarrow{2^\circ\text{C}/\text{mn}}$ 380°C $\xrightarrow{\text{F.C.}}$ R.T	29.2
FLP	950°C × 2h $\xrightarrow{\text{A.C.}}$ 630°C × 1h $\xrightarrow{\text{F.C.}}$ R.T.	27.7
UB	950°C × 2h $\xrightarrow{\text{A.C.}}$ 450°C × 1h $\xrightarrow{\text{F.C.}}$ R.T.	41.2
A, B, C	950°C × 2h $\xrightarrow{\text{A.C.}}$ R.T.	56.0

空冷され繰返加熱冷却においては繰返回数ごとに炉冷され連続冷却試料においては冷却中 20°C ごとに水冷. 場合によつては Ar₁ 点付近で 10°C ごとに水冷され組織が調査された.

iii) 調査方法

倍率 5000 倍の電子顕微鏡写真 6 視野について格子間隔 1.5mm, 格子点数 32×32=1,024 の格子を用い point-counting 法により炭化物面積率を測定, size は格子点数によつて表わした.

III. 実験結果

i) 低温球状化

690°C で処理された CLP, FLP および UB 試料はほとんど初期組織のままであり 730°C で処理されると, CLP および FLP で試料は層状組織は分断されある程度球状化されるが大部分の炭化物は層状をなしている. UB 試料では保持時間 20h ですでに長大な炭化物は観察されずある程度球状化された炭化物と微細な炭化物となつた.

ii) 高温球状化

(徐冷法)

770°C に 4h 加熱保持されると CLP および FLP 試料ではまだ層状炭化物は残存するが UB 試料では長大な炭化物は観察されず, 保持時間 8h および 12h では CLP および FLP 試料ともに層状ないし長大な炭化物は観察されず球状ないし微細な炭化物が存在し, 保持時間

が長くなるにつれて炭化物の溶解が進行するようであつた. これら試料が 15°C/h の冷却速度で冷却されると Ar₁ 点を過ぎた 710°C で析出炭化物はすべて球状であり保持時間および初期組織による変化は認められなかつた. 冷却速度が 20°C/h では 15°C/h と同様に 710°C で球状化は完全であつたが, 25°C/h では 690°C で, 30°C/h では 670°C で初めて球状化は完全となつた. 40°C/h は 30°C/h とほぼ同様であり, 70°C/h および 100°C/h では 95% 以上の炭化物が球状化されていた.

Table 3. Results of spheroidizing due to

Mark	Initial conditions	Heat-treatment	Mean particle size	Retained carbide % in area
		C.C.		
	CLP	770°C × 4h → 15°C/h	1.42	21.16
	FLP	"	1.49	21.10
	B	"	1.36 (1.31)	17.97 (17.29)
		C.C.		
	CLP	770°C × 8h → 15°C/h	1.53 (1.46)	17.90 (17.11)
	FLP	"	1.68 (1.50)	20.04 (17.79)
	B	"	1.52 (1.40)	18.72 (17.04)
		C.C.		
	CLP	770°C × 12h → 15°C/h	2.07 (1.84)	20.69 (18.16)
	FLP	"	1.92 (1.79)	22.23 (20.61)
	B	"	1.59 (1.50)	19.24 (18.02)
		C.C.		
	CLP	770°C × 4h → 20°C/h	2.27 (2.08)	28.89 (26.67)
	"	770°C × 4h → 25°C/h	2.20 (2.14)	26.17 (25.37)
	"	770°C × 4h → 30°C/h	2.31 (2.27)	27.34 (26.79)
	"	770°C × 4h → 40°C/h	1.79 (1.77)	23.37 (23.11)
	"	770°C × 4h → 70°C/h	1.64 (1.56)	20.04 (18.99)
	"	770°C × 4h → 100°C/h	2.27 (2.19)	27.13 (26.99)
		C.C.		
	CLP	810°C × 4h → 15°C/h	—	—
	FLP	"	—	—
	B	"	—	—
		C.C.		
	CLP	810°C × 4h → 10°C/h	2.09 (1.94)	25.36 (23.28)
	"	810°C × 4h → 5°C/h	2.37 (2.06)	24.61 (21.06)
	"	830°C × 4h → 5°C/h	2.18 (1.86)	20.18 (17.20)
		8°C/mn repeated		
	CLP	770°C ↔ 710°C 5 times	2.20	12.37
	"	" 4 times	3.04 (2.83)	15.23 (14.00)
	"	" 3 times	2.15	16.73
	"	" 2 times	2.07 (1.77)	19.06 (16.11)
	"	" 1 times	1.67	18.99

加熱温度が Ac_3 点以上の 810°C で 4h 保持されると CLP, FLP および UB 試料ともに層状炭化物は存在せず、これらが $15^\circ\text{C}/\text{h}$ で冷却されると Ar_1 点上の 30°C までは球状ないし微細炭化物のみが存在するが、 Ar_1 点以下になると層状炭化物が全面に析出し 710°C では球状炭化物との混合組織であるが、さらに温度が低下すると相当に大きな球状炭化物を含む層状炭化物のみとなつたが、冷却速度が $5^\circ\text{C}/\text{h}$ および $10^\circ\text{C}/\text{h}$ ではともに球状炭化物のみであり、加熱温度が 830°C の場

合 $5^\circ\text{C}/\text{h}$ では層状炭化物は観察されなかつた。

iii) 繰返加熱冷却法

冷却速度が $8^\circ\text{C}/\text{mn}$ の場合、繰返し回数が少ないときは層状炭化物が存在するとしてもその量は痕跡程度に過ぎないが 3 回以上になると球状炭化物の量は減少し、層状炭化物の量は無視できないほどとなつた。冷却速度が $20^\circ\text{C}/\text{h}$ の場合は炭化物はすべての回数で完全に球状であり炭化物の size は回数増加とともに大になる傾向を示した。

heat treatments studied (): 1.2μ

Marks	Initial conditions	Heat treatment	Mean particle size	Retained carbide % in area
	CLP	$20^\circ\text{C}/\text{h}$ // $770^\circ\text{C} \rightleftharpoons 710^\circ\text{C}$ 5 times	4.02 (3.47)	28.89 (24.09)
	"	" // 4 times repeated	2.60 (2.48)	24.50 (23.10)
	CLP	$770^\circ\text{C} \rightleftharpoons 710^\circ\text{C}$ 3 times	2.44 (2.32)	24.85 (23.49)
	"	" // 2 times	2.59 (2.32)	24.63 (24.62)
	"	" // 1 times	2.09 (2.05)	29.96 (29.58)
A-1	M	$730^\circ\text{C} \times 7\text{h}$	2.28 (2.28)	21.4 (21.4)
2	"	" 20h	2.82 (2.37)	18.7 (15.6)
3	"	" 30h	3.80 (2.52)	21.6 (14.17)
4	"	" 40h	4.00 (2.66)	17.2 (10.6)
5	"	" 50h	4.00 (2.63)	17.7 (11.5)
6	"	" 100h	4.87 (2.94)	16.7 (11.86)
B-1	M	$690^\circ\text{C} \times 7\text{h}$	1.49 (1.49)	15.0 (15.0)
2	"	" 20h	1.80 (1.61)	14.4
3	"	" 30h	2.10 (1.81)	15.9 (14.7)
4	"	" 40h	2.38 (1.97)	17.0 (15.7)
5	"	" 50h	2.81 (2.15)	25.2 (20.4)
6	"	" 100h	3.11 (2.31)	21.8 (15.6)
C-1	M	$650^\circ\text{C} \times 7\text{h}$	1.25 (1.17)	19.6
2	"	" 20h	1.55 (1.55)	16.0 (16.0)
3	"	" 30h	1.55 (1.55)	18.1 (18.1)
4	"	" 40h	1.70 (1.61)	21.4
5	"	" 50h	1.83 (1.70)	21.5 (19.8)
6	"	" 100h	1.97 (1.83)	28.2 (26.04)

iv) 調質球状化

焼戻温度 650°C ~

730°C 焼戻時間 7~100h で析出した炭化物は球状炭化物であり、その size は焼戻温度が高く焼戻時間が長くなるとともに大となつた。

IV. 検 討

本鋼種を Ac_1 温度以下で処理する場合層状 pearlite 組織では炭化物の完全な球状化を企図することは困難であり、上部ベイナイト組織の試料にあつても細長い炭化物が分断微細化されるとしてもいわゆる球状炭化物組織とは若干の距離があるように思われた。

$Ac_1 \sim Ac_3$ 間の 770°C より連続冷却された場合冷却速度が増すにしたがつて球状化が完全となる温度は低下する傾向を示した。また $100^\circ\text{C}/\text{h}$ のように相当に大きな冷却速度を与えても 95%以上の炭化物は完全に球状

化しいわゆる層状炭化物は認められなかつた。Ac₃以上の加熱温度においても 830°C までは十分に遅い冷却速度をもつて冷却すれば炭化物の完全な球状化が行なわれるが加熱温度が 810°C の場合 15°C/h のように相当小さな冷却速度で冷却されても層状組織となつた。これは繰返加熱冷却の場合の冷却速度が 8°C/mn の場合と同様にほとんど完全に炭化物が溶解した matrix に球状炭化物核が生成され得るだけの速度で冷却されなかつたためであろう。また繰返回数が少ない場合下限加熱温度が変態点直下であり、生成された層状炭化物も小量かつ微細であるためになお球状化される可能性があるが、これら微細な炭化物は matrix に容易にかつ完全に溶解するために冷却速度が十分に緩かであれば球状炭化物核の生成する期間を有するが、ある程度以上の冷却速度では球状炭化物核に凝集成長して球状炭化物となるだけの余裕が与えられないと見るべきであろう。

これら高温球状化処理において pearlite 組織より得られた炭化物の size は bainite 組織より得られたそれより大となる傾向を、また加熱時間が長くなるにつれて炭化物 size が大となる傾向を示したが、冷却速度によつては必ずしも一定の傾向を示さずかつ面積率においてはすべての処理について random であつた。

調質球状化処理においては炭化物 size と焼戻時間との間の関係は Fig. 1 に示されるように 1.2μ 以下の炭

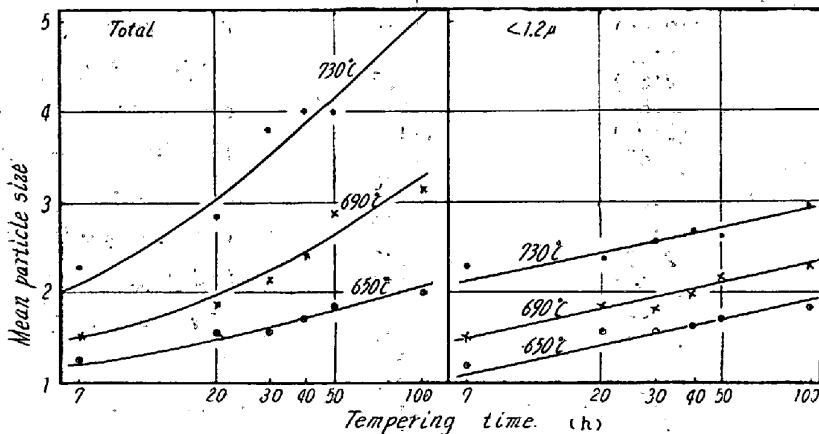


Fig. 1. Growth of carbide particles with isothermal tempering at 730°C, 690°C and 650°C.

化物において炭化物 size と焼戻時間の対数とはほぼ直線的な関係を有し、全炭化物の平均 size では高温になるほどバラツキが大きくなるが一応の size の予測が行なわれ得ることを示している。しかしながら面積率には必ずしも一定の傾向は窺われずこれは全処理については共通することであり炭化物の microsegregation に帰すべきであろう。

(144) 球状炭化物の分布におよぼす熱処理の影響

(高炭素クロームモリブデン鋼の球状炭化物について—Ⅱ)

三菱製鋼長崎製鋼所

○竹下勝人・佐藤和紀・堀田敏男・三浦勝重

Influence of Heat Treatment on Distribution of Globular Carbide.

(Behavior of globular carbide of high-carbon chromium-molybdenum steel—Ⅱ)

Masato TAKESHITA, Kazuki SATO,

Toshio HORITA and Katsushige MIURA.

I. 緒 言

前報においては各種の球状化方法による球状炭化物の分布について述べたが球状炭化物の分布は球状化の方法のみならず熱処理過程によつて大きく変化されるであろうことは想像に難くない。筆者らは主として調質球状化処理によつて炭化物が球状化されたものについて一連の熱処理を行ない球状炭化物の size および分布がそれぞれの熱処理過程中心かに変化するかについて検討を行なつた。

II. 実験方法

i) 試 料

30mm φ × 15mm の高炭素クロームモリブデン鋼を 950°C に 2h 加熱保持し炭化物を完全に溶解したのち空冷し初期組織を空冷マルテンサイトとしたものを Table 1 に示す処理を行なつたものである。size は焼戻温度および時間が長く長いものほど大であり、分布状況が異なる試料が選ばれた。これら試料の炭化物の分布状況を Fig. 1 に示す。

ii) 熱処理に

Table 1 に示す試料はそれぞれつぎに示す熱処理を受け各工程ごとに炭化物の size および分布が測定された。

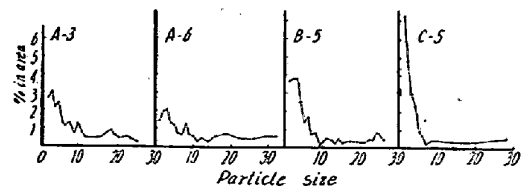


Fig. 1. Distribution of carbide particles of each specimen.