研 究

鋼の大洲田結晶粒度並にその成長に及ぼす添加元素の影響

村上 武次郎* 今井 勇之進* 中 島 勇*

Takejiro Murakami, Yunosin Imai and Isamu Nakajima: The Effect of Alloying Elements on the Austenitic Grain Size and its Growth of Steel. The effect of nickel, manganese, chromium, molybdenum, tungsten, titanium, vanadium, cobalt and silicon, each alloying up to 2%, on the austenitic grain size and its growth of 0.8% C steel were studied by carburization method, heating at 850°, 925° and 1000° for 1, 2, 3, 4, 6 and 8 hours respectively.

Manganese and cobalt increase the austenitic grain size and promote its growth by heating. Silicon has a small effect on the grain size and its growth in less content than 1.5%. Nickel, chromium, molybdenum and tungsten refine the grain size and the addition of these elements raise the coarsening temperature. The addition of vanadium or titanium is very effective; steels alloyed more than 0.3% of one of these two elements show very fine grain size, No. 9, and any grain growth is not observable even on heat at 1000° for 8 hours.

(Received April 10, 1943)

I. 緒 言

炭素鋼及び低合金鋼に於ては室温に於ける結晶粒度よりも寧ろその大洲田状態に於て有したる結晶粒度が種々の機械的性質を初め、焼入性、滲炭及び脱炭の速度、異常組織の出現等に多大の影響あるは既に多くの研究によつてよく知られて居る處である。従つて鋼の大洲田結晶粒度はその性質の判定上頗る重要性を有するので現に米國に於ては大洲田結晶粒度を鋼の購買規格の一つに加へて居る處もある。處でその大洲田結晶粒度はそれぞれ各鋼に固有のもので凝固後の處理加工によつては變化し得ないものである。即ち熔解の際決定せられるもので熔解條件によつて異ならが、その含有成分による影響が頗る大きい。因つて本研究は添加元素が鋼の大洲田結晶粒度並に加熱による結晶粒の成長に及ぼす影響に就いて調べたのである。

II. 試料の作製並に實驗方法

大洲田結晶粒の成長に炭素はあまり影響を及ぼさぬことは既に知られて居るので試料は0.8%炭素鋼に種々の元素を添加して調製した。添加元素はNi, Mn, Cr, Mo, W, Ti, V及びSi, Coの9種類で各々2%以下を添加した。

試料は電解鉄、瑞典白鉄及び添加元素金屬又は鐵と添加元素との母合金を用ひて配合したもの2kgを高周波電氣爐で熔解し30mm角型に鑄込み更に徑15mm圓棒に鍛造後徑10mm長さ15mmの圓棒狀に仕上げた。

* 東北帝國大學金屬材料研究所

第1表は試料に於ける添加元素の量を示す。

第 1 表

Ni 鋼 (% Ni)	0.50	1.05	1.52	2.00			
Mn 鋼 (% Mn)	0.58	0.90	1.51	2.10			
Cr 鋼 (% Cr)	0.40	1.10	1.67	2.05			
Mo 鋼 (% Mo)	0.24	0.64	1.04	1.70			
W 鋼 (% W)	0.41	0.92	1.37	1.91			
Ti 鋼 (% Ti)	0.13	0.20	0.44	0.90	1.18		
V 鋼 (% V)	0.11	0.18	0.30	0.62	0.96	1.39	2.01
Co 鋼 (% Co)	0.24	0.62	1.12	1.89			
Si 鋼 (% Si)	0.40	0.77	1.18	2.25			

結晶粒度の決定は總て學振法⁽¹⁾に準據し滲炭法を用ひた。粒度の表示法も混粒鋼の場合にはその平均を示した。例へば粒度 No. 7 が 20%, No. 5 が 60%, No. 3 が 20% 共存する鋼ならば

$$\frac{7 \times 20 + 5 \times 60 + 3 \times 20}{100} = 5.0$$

即ち平均粒度 No. 5 として表はした。加熱温度は850°, 925°及び1000°, 加熱時間は1, 2, 3, 4, 6及び8時間に變化した。又加熱前の鍛造比^{(2)~(7)}及び組織⁽³⁾が加熱後

(1) 本誌, 4 (1940), 658.

(2) M. A. Grossmann, Trans. Amer. Soc. Metals, 22 (1934), 841.

(3) R. Schempp, C. L. Shapiro, Trans. Amer. Inst. Min. Met. Eng., 125 (1937), 411.

(4) B. L. McCarthy, Iron Age, 136, Oct. 10 (1935), 14; Oct. 17, 23.

(5) T. Swinden, G. R. Bolsover, Stahl u. Eisen, 56 (1936), 1113.

(6) I. Fetschenko-Tschopiwsky, A. Szczepanski, Stahl u. Eisen, 59 (1939), 14.

(7) H. W. McQuaid, Metal Progress, 25 (1935), 15.

の粒度に及ぼす影響は添加元素によつて異なるが試料の鍛造比は全試料に於て大體5に一定し組織は大體波來土とした。

III. 實 驗 結 果

(1) Ni の 影 響

Ni は一般に地鉄結晶粒を微細化する元素として知られて居るが又大洲田結晶粒度をも小にする元素であつて加熱による成長の結果は第1圖に示した。圖に示したものは粒度の平均値であるが、上述の如く結晶粒成長の過程に於ては必ず混粒状態を呈するし又その混粒の仕方も異なるので結晶成長の平均結果のみならずその混粒の模様も知る爲に第1圖に添へて第2表をも示した。表中例

1000° に於ては Ni 2% 以上に至つて漸く大となる。次に Ni は黒鉛化を促進するもので 0.5% Ni, 925°, 1 時間の加熱に於ても寫眞 1 に示すが如き黒鉛化が見られる。又加熱時間の長い程、加熱温度の高い程黒鉛化は大きい。次に Ni 鋼の滲炭層に表れる Fe_3C は明瞭に網状を保ち Cr の場合の如くには球状化する傾向はない(寫眞 2)。尚 Ni 鋼に於てはその結晶粒の成長が進み、ある部分は相當に粗粒となつても他の部分は依然初期粒度を保持すること多く、Mn 鋼 Co 鋼等に比し結晶成長過程に於て粒度が一様になり難い(寫眞 3)。

(2) Mn の 影 響

第3表及び第2圖に示す如く本實驗に用ひた Mn 鋼はその初期粒度 No. 6~7 にして寧ろ細粒鋼であるが低

第 2 表

試料 加熱時間	0.50 % Ni			1.05 % Ni			1.52 % Ni			2.00 % Ni		
	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°
1	6.6	6.4(6.6~5)	5.8(6.7~5)	7.0(8~6)	6.8(8+3.5)	5.6(7+5)	7.0(8~5)	7.0(8~5)	5.7(6+4)	7.0(8~6)	7.0(8~6)	6.8(7~5)
2	6.6	6.4(6.6~5)	5.3(6+4)	7.0(8~6)	6.7(8+3.5)	5.4(6~5)	7.0(8~5)	7.0(8~5)	5.5(6+4)	7.0(8~6)	7.0(8~6)	6.0(7~5)
3	6.6	6.3(6.5~5)	4.7(6+3)	7.0(8~6)	6.6(8+3)	4.3(6~3)	7.0(8~5)	6.8(8+4)	4.9(6+3)	7.0(8~6)	7.0(8~6)	5.8(7~5)
4	6.6	6.0(6.5~5)	4.5(6~4)	7.0(8~6)	6.0(7~3)	4.0(5~1)	7.0(8~5)	6.2(7~4)	4.3(6~3)	7.0(8~6)	6.8(7~6)	5.3(7~3)
6	6.5	5.5(6~5)	4.0(6~3)	7.0(8~6)	5.2(6~3)	3.8(5~2)	7.0(8~5)	6.0(7~4)	4.2(5~3)	7.0(8~6)	6.5(7~4)	5.3(6~3)
8	6.4	4.5(6~3)	3.0(5~2)	7.0(8~6)	4.7(6~3)	3.5(6~2)	7.0(8~5)	5.5(6~5)	4.2(5~4)	7.0(8~6)	6.0(7~4)	5.2(6~3)

へば 1.05% Ni, 925°, 1 時間加熱の 6.8(8+3.5) は上述の如き方法で平均を取ると粒度が 6.8 であるが實際は粒度 6.8 の結晶粒は殆ど無くて粒度 8 の結晶粒の間に粒度 3.5 に成長した結晶粒が混じて居ることを示し、925°, 8 時間加熱の 4.7(6~3) は平均粒度が 4.7 であるが實際は粒度 6 から 3 迄の間の色々な大きさの結晶粒が混在することを示すのである。これによつて知らるゝ如く試料は何れも初期粒度 6.5 又はそれより更に微細なものであり、850° の加熱に於ては殆ど結晶の成長が見られず 925° 加熱に於ては徐々に成長をなし 1000° に於ては短時間の加熱によつても明瞭に結晶粒の成長が見られるがその成長阻止の作用は 925° 以上に於ては Ni 1.5% 以上、

炭素 Mn 鋼⁽⁸⁾に於けると同様本試料に於ても Mn 鋼は結晶粒成長開始温度低く 850° 加熱に於て既に成長は開始せられ、又各々加熱温度に互つて成長の速度大きい(第 12~15 圖)。

處で鋼の結晶粒は時間の増加に従つて成長するものでその速度は初めは速かで後次第に遅くなり、その鋼とその加熱温度に特有な或る飽和結晶粒度に至つて大體停止するのであるが、特殊な大型鋼の熱処理の場合を除いては實地操業に於てはこの飽和結晶粒度よりも寧ろ粒度成長の速度の大小が問題となるのである。従つてその成

(8) J. H. Whiteley, J. Iron & Steel Inst., 126 (1932), 289.

第 3 表

試料 加熱時間 加熱温度	0.58 % Mn			0.90 % Mn			1.51 % Mn			2.10 % Mn		
	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°
1	6.5 (7~6)	5.7 (7~5)	5.8 (7~4)	7.0 (7.5~5)	5.5 (7~4)	5.0 (6~3)	6.0 (7~4)	5.4 (6~4)	4.5 (6~2)	6.5 (8~5)	5.2 (7~4)	4.8 (7~3)
2	6.5 (7~6)	5.5 (7~5)	5.0 (7~4)	7.0 (7.5~5)	5.7 (7~4)	4.5 (5~4)	6.0 (7~4)	5.4 (6~4)	4.0 (6~2)	6.5 (8~5)	5.2 (6~4)	4.0 (6~2)
3	6.3 (7~6)	5.5 (7~5)	4.4 (6~4)	6.9 (7.5~5)	4.5 (6~4)	3.8 (5~3)	6.0 (7~5)	4.0 (5~2)	3.5 (5~2)	6.5 (8~5)	3.9 (5~3)	4.0 (6~2)
4	6.0 (7~4)	5.0 (6~4)	4.0 (6~3)	6.5 (7~5)	4.0 (6~2)	3.0 (5~2)	5.8 (6~5)	4.0 (5~2)	3.2 (5~2)	6.0 (7~5)	3.8 (5~3)	3.8 (5~2)
6	6.0 (7~4)	4.6 (6~4)	3.8 (5~2)	6.5 (7~5)	3.5 (5~2)	3.0 (5~2)	5.8 (6~5)	4.0 (5~2)	3.1 (4~2)	6.0 (7~5)	3.7 (5~3)	3.3 (5~1)
8	6.0 (7~4)	4.2 (6~2)	3.0 (4~2)	6.0 (7~5)	3.5 (5~3)	2.8 (5~2)	5.5 (6~5)	3.8 (5~2)	2.6 (4~2)	5.8 (7~5)	3.4 (5~1)	2.9 (4~2)

長速度が Mn 鋼に於ては Ni 鋼に於けるよりも遙かに大きいといふことは相當注目すべきことで Ni の代用として Mn を使用せんとする場合大いに注意を要するのである。Mn 鋼は滲炭能力も高く、而も後述 Cr 鋼の如き粒状炭化物は生ぜず、Ni 鋼の如き黒鉛化もなく全加熱温度時間範囲に於てよく網状 Fe_3C が表れ、而も加熱時間の増加と共に、その網が相當太く表れるのである (写真 4)。又成長速度速かなる爲 1000°, 6 時間加熱に於ては既に一部の過大に成長した粒子は却つて縮少し、全體として粒度が整ひ初め 1000°, 8 時間加熱に於ては整粒度が漸く進み飽和粒度に近きを思はしめるのである。然し概して Mn 鋼の成長は各部均等に行はれる爲混粒を示す加熱時間範囲が狭い。

(3) Cr の影響

第 4 表及び第 3 圖は Cr 鋼に就いての實驗結果を示す。

これによつて見れば Cr は本實驗範圍に於ては Ni に比べると大洲田初期粒度の微細化も又加熱による粒の成長を阻止する能力も更に大きく、又その能力は Cr を増すに従つて大きくなり 1000° 加熱に於ても成長速度が小さい。Cr 1% 以上に於ては 1000°, 8 時間加熱によつて大體粒度番號に於て 2, 即ち直径にして約 2 倍に成長するに過ぎない (写真 5, 6)。

ここに注意すべきは Cr 鋼の滲炭層に於ける炭化物の粒状化で 0.4% Cr, 850° 加熱に於ても既に表面附近の炭化物が粒状化する。0.4% Cr, 0.8% C 鋼は 850° に於て完全に大洲田であるのでこの場合の球状化は普通の炭化物の球状化とはその機構が異なり Cr の存在による爲であつて滲炭層の球状炭化物の發生は Cr 量の多い程著しく、又添加元素中 Cr は粒状炭化物生成の傾向が最も著しい。

第 4 表

試料 加熱時間 加熱温度	0.40 % Cr			1.10 % Cr			1.67 % Cr			2.05 % Cr		
	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°
1	7.0	6.5 (7~5)	6.0 (7~4)		6.8	6.0 (7~4)		7.2 (8~5)	6.5 (8~5)		7.0 (8~6)	6.7 (7~5)
2	7.0	5.8 (7~5)	5.6 (6~4)		6.0 (7~5)	6.0 (7~4)	7.2	7.0 (8~5)	6.1 (8~4)		7.0 (8~6)	6.3 (7~5)
3	7.0	5.8 (7~5)	4.8 (6~3)		6.0 (7~5)	5.4 (7~3)	7.2	6.6 (8~5)	5.6 (8~4)	7.0	7.0 (8~6)	6.1 (7~4)
4	6.8	5.6 (4~5~6)	5.0 (6~3)	7.0	6.0 (7~5)	5.3 (6~3)	7.2	6.5 (7~5)	5.4 (7~4)	7.0	7.0 (8~6)	5.9 (7~4)
6	6.5	5.5 (5~6)	4.7 (6~3)	7.0	5.6 (7~4)	5.0 (6~3)	7.2	6.0 (7~5)	5.3 (6~4)	7.0	6.5 (8~5)	5.8 (7~4)
8	6.5	5.3 (5~6)	4.0 (6~3)	7.0	5.6 (7~4)	5.0 (6~3)	7.2	5.4 (7~5)	5.2 (6~4)	7.0	5.9 (7~5)	5.3 (7~4)

第 3 圖

(4) Mo の影響

Mo の影響は第 5 表及び第 4 圖に示す。Mo も亦 Ni, Cr 同様結晶粒の成長を阻止する傾向強く、その成長開始温度は大體 Ni, Cr と大差なく 850° 加熱に於ては結晶粒の成長は見られない。925° 加熱に於ては、その成長阻止能力は Mo 1% 迄は急増し 1% 以上は大差がない。併し 1000° 加熱に於ては Mo は急に成長阻止能力を減じ成長の速度も程度も Cr より大きい値を示すが大體 6 時間加熱で成長は飽和に近づき結晶粒度も漸次揃つて来る (寫眞 7 及び 8)。1% 以下の Mo 鋼は加熱時間 6 時間位迄は大體 Ni 鋼と同程度の成長速度であるが更に長時間加熱するときは Ni 鋼よりも細粒を示す。又 Mo 鋼に表れる Fe_3C (Mo を固溶する) は表面に近づくに従つて非常に太い網状を呈する。然し Cr の如き過剰滲炭による炭化物の粒状化は殆ど見られない。

(5) W の影響

次に W の影響は第 6 表及び第 5 圖に示す如く、W は初期結晶粒度の微細化及び結晶粒成長阻止の能力が Cr よりも大きく結晶成長開始温度も僅か乍ら Mo より更に高い。特に W 2% 添加に於てはこの能力が著しく大きく 925° では殆ど粒の成長を認めず 1000° に加熱しても結晶粒の成長は僅少である (寫眞 9, 10)。又 W 鋼に於ては全體としては相當に結晶粒が成長しても處々殆ど初期粒度を持する結晶群を見ることがあり混粒度が甚だしく特に 1.91% W 鋼に著しい (寫眞 11)。又 W 鋼に於ては前述の Mo 鋼及び後述の Ti, V, Si 鋼と同様添加元素を増すに従ひ變態點が上昇するために 850° 加熱に於ては網状 Fe_3C が表れ難い。

(6) Ti の影響

Ti の影響は第 7 表及び第 6 圖に示す。Ti は後述の V

第 5 表

試料 加熱時間	0.24 % Mo			0.64 % Mo			1.04 % Mo			1.70 % Mo		
	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°
1		5.5 (6+4)	4.5 (5~3)		6.0	4.9 (6~4)		6.5 (7+5)	5.8 (7~3)		7.0 (8~5)	5.5 (6~2)
2		5.5 (6+4)	4.5 (6~3)		6.0	4.2 (5~3)		6.2 (7~5)	5.0 (7~3)		7.0 (8~5)	5.0 (6~4)
3		5.0 (6~4)	4.0 (6~3)		6.0	4.2 (5~3)		6.2 (7~5)	5.0 (7~3)		6.0 (8~5)	5.0 (6~4)
4		4.8 (6~4)	4.0 (6~3)	6.0	6.0	4.1 (5~2)	7.0	6.0 (7~5)	5.0 (7~3)		6.0 (7~5)	5.0 (6~3)
6		4.2 (6~3)	3.5 (6~2)	6.0	5.5 (6~5)	4.1 (5~2)	7.0	6.0 (7~5)	4.0 (5~2)		6.0 (7~5)	4.2 (6~2)
8		4.0 (6~3)	3.0 (4~2)	6.0	5.5 (6~5)	4.0 (5~3)	7.0	6.0 (7~5)	4.0 (5~3)		6.0 (7~5)	4.2 (5~3)

第 4 圖

第 6 表

試料 加熱時間 加熱温度	0.41% W			0.92% W			1.37% W			1.91% W		
	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°
1	6.5(7~6)	6.0(7~4)	4.0(6~3)	6.5(7~5)	6.0(7+4)		6.5(7~5)	5.8(6~3)		7.5(8~7)	7.0(7.5~4)	
2	6.5(7~6)	5.8(6~4)	4.0(5~3)	6.5(7~5)	5.8(7+4)		6.5(7~5)	5.7(6~3)		7.5(8~7)	7.0(7.5~4)	
3	6.5(7~6)	5.8(6~4)	4.0(5~3)	6.2(7~6)	5.8(7~4)		6.3(7~5)	5.4(6~3)		7.5(8~7)	7.0(7.5~4)	
4	6.5(7~6)	5.8(6~4)	4.0(5~2)	6.2(7~5.5)	5.3(7~4)		6.3(7~5)	5.4(6~3)		7.5(8~7)	7.0(7.5~4)	
6	6.5(7~6)	4.7(6~4)	4.0(5~2)	6.0(7~5)	5.2(6~4)		6.2(7~5)	5.1(6~4)		7.5(8~7)	6.8(7.5~4)	
8	6.5(7~6)	4.5(6~4)	3.5(3~4)	6.0(7~4)	5.0(6~3)		6.0(7~5)	4.8(5~4)		7.3(8~7)	6.0(7.5~4)

第 7 表

試料 加熱時間 加熱温度	0.13% Ti			0.20% Ti			0.44% Ti			0.90~1.18% Ti		
	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°
1		6.0	5.2(6+2)		8.0	8.0		9.0	9.0		9.0	9.0
2		5.5(6~4)	5.0(6+2)		8.0	8.0		9.0	9.0		9.0	9.0
3		5.0(6~3)	4.9(6+2)		8.0	8.0		9.0	9.0		9.0	9.0
4		5.0(6~3)	4.5(6+2)		8.0	8.0		9.0	9.0		9.0	9.0
6		5.0(6~3)	4.5(6+2)		8.0	7.5(8~5)		9.0	9.0		9.0	9.0
8		4.5(6~2)	4.5(6+2)		7.5(8~5)	7.2(8~5)		9.0	9.0		9.0	9.0

と共に結晶粒度を微細化する能力甚だ強く、Ti 0.2% の添加で粒度番號 8 (寫眞 12) 0.44% 以上の添加では粒度番號 9 といふ細い初期粒度を有する。又本研究に於ける如く試料に相當量の炭素を含有する場合に於ては極めて安定な Ti 炭化物を生成し、Ti の添加量が増加するに従

つて炭化物の結晶粒界に析出するもの多く又酸化物の存在と共に甚だ強力なる結晶成長阻止作用をなし、爲に 0.2% Ti 鋼は 925° 及び 1000° 加熱に於ては多少の結晶成長をなすが 0.44% 以上の Ti 添加に於ては全加熱温度範囲に於て殆ど結晶粒の成長が見られない。只滲炭の進

むにつれて炭化物の網は太くなるが古く E. W. Ehn⁽⁹⁾が指摘せる如く Ti 鋼は極く細粒鋼に於ても Al による細粒鋼の如くには異常組織を示さない。只 Ti は炭素との親和力強き爲に Ti 0.2% 添加に於て既に明瞭に TiC が現れ Ti の増加に従つて TiC も多くなり爲に網狀の Fe₃C の表れ難い部分を生じ粒度の正確なる判定が困難となる(寫眞 13)。

(7) V の影響

V も亦 Ti と同様結晶粒を微細化する元素であり、V 鋼の初期粒度の微細化及び結晶粒の成長阻止に就いては既に二三の研究⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾⁽¹²⁾があるが結晶粒成長阻止作用に就いては V も Ti と同様安定にして溶解し難い炭化物又は酸化物の生成によることは既に知られて居る所である⁽¹¹⁾⁽¹²⁾。本實驗に於ける V の影響は第 8 表、第 7 圖に示

よる粒狀炭化物の生成あり、V 0.3% 以上の鋼に於てこの現象が認められる(寫眞 14, 15)。この現象は Cr 鋼に於ける程著しくないが W 鋼、Mo 鋼に於けるよりは遙かに顯著で H. Schrader⁽¹³⁾は Cr 鋼に次いで W 鋼 Mo 鋼に於て著しいと言ふて居るが本實驗によると V 鋼の方が著しい。

(8) Co の影響

第 9 表及び第 8 圖は Co の影響を示す。Co の添加は結晶成長開始温度を低くする。又結晶粒の粗大化を阻止する作用はなく、むしろ結晶粒の成長を助くる傾きがある(寫眞 16, 17)。尙微弱乍ら Ni, Si に次いで Co も黒鉛を生成せしめる。

(9) Si の影響

實驗結果は第 10 表及び第 9 圖に示す。Si の添加は前述

第 8 表

試料 加熱時間 加熱温度	0.11% V			0.18% V			0.30% V			0.62~2.01% V		
	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°
1		7.4(8~5)	5.5(7~3)		8.0(8.5~5)	6.0(7+4)		9.0	9.0		9.0	9.0
2		7.2(8~5)	5.2(7~3)		8.0(8.5~5)	5.5(7~4)		9.0	9.0		9.0	9.0
3		7.0(8~5)	5.0(7~3)		7.6(8.5~5)	5.5(7~4)		9.0	9.0		9.0	9.0
4		7.0(8~5)	5.0(7~3)		7.6(8.5~5)	5.1(7~4)		9.0	9.0		9.0	9.0
6		6.0(7~4)	4.8(5~3)		7.0(8~5)	5.0(6~4)		9.0	9.0		9.0	9.0
8		6.0(7~4)	4.0(5~2)		7.0(8~5)	4.9(5~4)		9.0	9.0		9.0	9.0

すが如く 0.2% V に於て既に相當に強い結晶粒の微細化並に成長阻止の能力があり、0.3% 以上の添加に於ては初期粒度番號のものが全ての加熱温度時間範圍に於て少しも粒の成長を起さない。これは Ti の場合と同様注意に値する點である。次に V 鋼も又試料表面に滲炭に

の如く變態點を上昇せしめる爲に 850° 加熱に於ける大洲田の結晶粒度を定め得なかつた。普通低炭素鋼に Si を添加するときは大洲田結晶粒度を粗大化す。G. Derge⁽¹⁴⁾等の研究によると 900° 以下では Si が SiO₂ として存在する場合は結晶粒の成長を阻止するといふて居る。併し本實驗に於ては Si は大體 Mn, Co に次いで加熱による結晶粒の粗大化が著しい(第 12~15 圖)。Si 1% 内外のものは原因不明乍ら少しく粗大化防止の傾向がある。

(9) E. W. Ehn, J. Iron & Steel Inst., **105** (1922), 157.

(10) I. F. Tschopiwsky, A. Kalinski, Arch. Eisenhüttenwes., **12** (1938), 351.

(11) E. Houdremont, H. Benneck, H. Schrader, Trans. Amer. Inst. Min. Met. Eng., **116** (1935), 260.

(12) J. G. Zimmerman, R. H. Aborn, E. C. Bain, Trans. Amer. Soc. Metals, **25** (1937), 755.

(13) H. Schrader, Stahl u. Eisen, **56** (1936), 1201.

(14) G. Derge, A. R. Kommel, R. F. Mehl, Trans. Amer. Soc. Metals, **26** (1938), 153.

第 9 表

試料 加熱時間 加熱温度	0.24 % Co			0.62 % Co			1.12 % Co			1.89 % Co		
	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°
1	6.0	5.0(6~4)	4.0(5~3)	6.0	5.4(6~4)	4.5(6+2)		5.5(6~4)	4.5(6+3)		5.0(6~2)	3.8(5~2)
2	6.0	5.0(6~4)	3.8(5~3)	6.0	5.2(6~4)	4.0(6+2)		5.4(6~4)	4.5(6~2)		5.0(6~3)	3.8(5~2)
3	6.0	4.8(6~4)	3.2(5~2)	6.0	5.0(6~4)	3.0(6~2)		5.1(6~3)	4.5(6~2)		4.6(5~4)	3.8(5~2)
4	6.0	4.7(6~3)	3.2(5~2)	6.0	4.8(6~4)	3.0(6~2)		4.9(6~3)	3.8(6~2)		4.5(5~4)	3.1(5~1)
6	5.8	4.5(5~3)	3.2(5~2)	6.0	4.2(5~2)	3.0(5~2)	6.0	4.4(6~2)	3.4(6~1)	6.0	4.4(5~3)	3.0(4~0)
8	5.5	4.5(5~3)	3.2(5~2)	5.8	4.3(5~3)	3.0(5~2)	5.8	4.2(6~2)	3.4(6~2)	5.8	3.0(4~2)	3.0(4~1)

第 10 表

試料 加熱時間 加熱温度	0.40 % Si			0.77 % Si			1.18 % Si			2.25 % Si		
	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°	850°	925°	1000°
1		6.0(7~4)	4.5(7~3)		6.0(7~4)	5.0(6~4)		5.8(7~4)	5.0(6~2)		6.0(7~4)	5.9(7~4)
2		5.5(7~4)	4.5(7~3)		5.5(7~4)	4.9(6~4)		5.7(7~4)	5.1(6~2)		5.9(7~4)	5.8(7~4)
3		5.5(7~4)	4.0(7~3)		5.3(6~4)	4.4(6~4)		5.4(7~4)	4.5(6~2)		5.8(7~4)	4.1(6~3)
4		4.8(7~3)	3.8(5~3)		5.3(6~4)	4.4(6~4)		5.4(5~2)	4.5(6~2)		5.8(7~4)	4.0(6~3)
6		4.5(6~3)	3.8(5~2)		5.0(6~4)	4.2(6~4)		5.2(5~2)	4.3(6~2)		4.8(6~3)	4.0(6~3)
8		4.0(6~3)	3.5(5~2)		4.4(5~3)	3.8(5~3)		4.3(5~2)	3.7(5~2)		4.5(6~3)	3.5(6~2)

然し概して 2% 以下の Si は結晶粒の成長に殆ど影響がない様である (写真 18)。

IV. 總 括

0.8% C 鋼に Ni, Mn, Cr, Mo, W, V, Ti, Co 及び Si 各約 2% 迄を添加しその結晶粒度に及ぼす影響を研究

し又 850°, 925° 及び 1000° に於て 8 時間以下加熱して大洲田結晶粒成長に對するこれ等添加元素の影響を研究した。第 10~15 圖はその結果をまとめて圖示したものであり又第 11 表は各元素 1% 及び 2% 添加したものに就いて 1000°, 8 時間加熱に於ける結晶粒度の初期粒度に對する大きさを断面積の比を以て示す。これによつて

写真 1 1.52% Ni 925°
1時間滲炭, ピクリン酸
曹達腐蝕 ×100

写真 2 1.52% Ni 1000°
8時間滲炭, ピクリン酸
アルコール腐蝕 ×100

写真 3 1.05% Ni 1000°
8時間滲炭, ピクリン酸
アルコール腐蝕 ×100

写真 4 1.51% Mn 1000°
8時間滲炭, ピクリン酸
曹達腐蝕 ×100

写真 5 1.67% Cr 1000°
1時間滲炭, ピクリン酸
曹達腐蝕 ×100

写真 6 1.67% Cr 925°
8時間滲炭, ピクリン酸
アルコール腐蝕 ×100

写真 7 1.04% Mo 1000°
1時間滲炭, ピクリン酸
曹達腐蝕 ×100

写真 8 1.04% Mo 1000°
8時間滲炭, ピクリン酸
曹達腐蝕 ×100

写真 9 0.92% W 925°
8時間滲炭, ピクリン酸
曹達腐蝕 ×100

写真 10 0.92% W 1000°
8時間滲炭, ピクリン酸
曹達腐蝕 ×100

写真 11 1.91% W 1000°
8時間滲炭, ピクリン酸
曹達腐蝕 ×100

写真 12 0.20% Ti 925°
8時間滲炭, ピクリン酸
曹達腐蝕 ×200

写真 13 0.90% Ti 1000°
8時間滲炭, ピクリン酸
曹達腐蝕 ×200

写真 14 0.3% V 1000°
1時間滲炭, ピクリン酸
曹達腐蝕 ×200

写真 15 0.96% V 1000°
8時間滲炭, ピクリン酸
曹達腐蝕 ×200

写真 16 1.12% Co 1000°
8時間滲炭, ピクリン酸
曹達腐蝕 ×200

写真 17 1.89% Co 1000°
8時間滲炭, ピクリン酸
曹達腐蝕 ×100

写真 18 0.77% Si 1000°
8時間滲炭, ピクリン酸
曹達腐蝕 ×100

第 10 圖

第 11 圖

第 12 圖

第 13 圖

本研究を總括すると次の通りである。

(1) Cr, Mo, W 特に Ti, V は結晶粒を微細化せしめ加熱による粗大化を防止する。Mn, Co, Si の添加は却つて結晶粒を粗大化する (第 10, 11 圖)。

(2) Ni の結晶粒成長阻止能力は本實驗の如くその添加量 2% 迄の場合は Cr より低いが 2% 以上の添加に於ては相當強力な結晶粒成長阻止元素であると思はれる。Cr は相當強い阻止能力を有す。Mo は 925° 以下に

第 14 圖

第 15 圖

第 11 表

添加元素	1%	2%
Ni	10.3	3.3
Mn	1.6	13.7
Cr	4.0	2.9
Mo	9.0	8.4
W	4.0	2.3
Ti	0.0	0.0
V	0.0	0.0
Co	7.9	9.6
Si	6.3	10.3

於てはCrと大體同程度の阻止能力を示すが1000°加熱に於ては急にその能力低下し結晶粒の成長はその速度、程度共に大きい。WはCr、Moより更に阻止能力が強大である。

(3) Ti及びVは結晶

粒微細化の能力強く微量の添加によつて著しく微細化する。又その結晶粒成長を阻止する能力も顯著で0.3~0.4%以上の添加に於ては總ての加熱温度時間範圍に於て殆ど成長を示さない。

(4) Mnは大洲田結晶粒を粗大化し且その成長を促進せしむる元素である。Coも同様の作用を示すがその能力は微弱である。Siは1%内外に於ては多少結晶粒の成長を阻止するが2%以上に於ては成長を促進する。

鐵單結晶の彈性恒數に就いて

山本美喜雄*

Mikio Yamamoto: On the Elastic Constants of Iron Single Crystals. Young's modulus of elasticity of iron single crystals has been measured at room temperature by the method of magnetostrictive oscillation, and the elastic constants have been determined by the combination of the data obtained from the above measurement and the measured value of volume compressibility of polycrystalline iron. The results are in good accordance with those hitherto obtained.

(Received May 1, 1943)

著者はさきにニッケル單結晶の常溫に於けるヤング彈性率を磁歪振動法によつて測定し、そしてその測定値と多結晶の體壓縮率の測定値とから彈性恒數を決定した⁽¹⁾。本報告に於ては同様に求めた鐵單結晶の常溫に於ける

ヤング率及び彈性恒數に就いて述べる。

瑞典軟鋼を脱炭した後再結晶させて作つた圓棒狀の鐵單結晶⁽²⁾の中から3主要結晶軸[100]、[110]及び[111]に近い結晶方向をもつ3本の結晶を選び出し、真空中で

* 東北帝國大學金屬材料研究所

(1) 山本, 本誌, 6 (1942), 331.

(2) この鐵單結晶の製作手續きに就いては 山本, 本誌, 5 (1941), 324 を見られたい。