

終りに臨み、本実験の遂行に御指導、御激勵を賜つた恩師吉川晴十先生に深く感謝の意を表する次第である。(昭和 27 年 2 月寄稿)

文 献

- 1) Engineer's Digest, 1944 June, 384
- 2) 岡本, 永倉: 日本金屬學會誌 B14 (1950) No.7
11
- 3) 川口; 應用物理 13 (1944) No.6 167
- 4) 著者: 鐵と鋼 36 年 1 號
- 5) 著者: 鐵と鋼 32 年 7~9 號
- 6) 著者: 鐵と鋼 35 年 9 號
- 7) 著者: 鐵と鋼 35 年 12 號
- 8) 武田: 日本金屬學會誌, B14 (1950) No.12,
15 (1951) No.3
- 9) 例えば村上, 今井: 日本金屬學會誌, 6 (1942)
145

鋼に於ける炭化物の球状化に就いて (III)

(炭化物の球状化の方法と球状化状態の比較)

佐 藤 知 雄*・矢 島 悦次郎**

ON SPHEROIDIZING OF CARBIDE IN STEELS (III)

(COMPARISONS OF VARIOUS HEAT-TREATMENTS FOR SPHEROIDIZING OF CARBIDE AND OF SPHEROIDIZED STATES)

Tomo-o Sato, Dr. Eng., and Etsujiro Yajima

Synopsis:

Using Swedish carbon steels containing 0.5, 0.9, 1.3% C and Ni- and Cr-steels, spheroidizing of carbide was studied by means of the following four kinds of heat treatment, that is, quenching-and-tempering, slow cooling, repeated heating-and-cooling and isothermal transformation.

From hardness of the spheroidized specimens obtained by thus four heat-treatments, the procedures of spheroidizing were compared, and the following facts were ascertained:

- a). By the quench-and-temper method, the spheroidizing of carbide most slowly proceeded, but the sphericles were finely and uniformly distributed.
- b). In hypo-eutectoid steels, the spheroidizing most rapidly proceeded by the repeated heating and cooling method. But after several repeat no more spheroidizing proceeded.
- c). By slow cooling method, spheroidizing rapidly proceeded, but the pearlite structure came out easily unless the rigorous heating temperature was taken.
- d). By the isothermal transformation method, the process of spheroidizing is comparably slow but the uniformly distributed structure was obtained.

I. 緒 言

種々の炭素鋼及び特殊鋼に於て、その炭化物を球状化させる方法には、焼入後 A_1 点以下にて焼戻す方法と、

A_1 点以上に加熱して冷却の際の A_1 変態を利用する方法

* 東北大學工學部金屬工學科, 工博

** 名古屋工業大學金屬工學科

があり、後者を細別すれば A_1 點附近を徐冷する方法、 A_1 點附近を繰返し加熱及び冷却する方法並に恒温變態による方法等である。

著者等は炭素鋼及び特殊鋼を用い、炭化物の球状化を行い、硬度並に顯微鏡組織からこれ等の方法を比較した。

II. 實驗方法

實驗試料として 0.5, 0.9 及び 1.3% C のスウェーデン鋼と、特殊炭化物を作らぬ Ni 鋼及び特殊炭化物を作る Cr 鋼を用いた。その Ni 鋼及び Cr 鋼の組成は第 1 表の如くである。試片の大きさは $10 \times 10 \times 10$ mm とし、製造過程並に事前處理の影響を除去するために、豫め 900°C に 1 時間保持した後油焼入を行つた。尙球状化處理は酸化及び脱炭を防ぐために真空中で行い、恒温變態は鉛浴中を行つた。

第 1 表 Ni 鋼及 Cr 鋼の組成

	C(%)	Mn(%)	Si(%)	Ni(%)	Cr(%)
Ni 鋼	1.10	0.80	0.12	1.96	—
Cr 鋼	1.00	0.64	0.15	—	1.92

球状化處理に於ては最高加熱溫度及びその保持時間の影響が著しい。即ち加熱溫度が高すぎるときは炭化物はオーステナイト中に多量溶解し、冷却に際して球状化し難い。このことは加熱時間の長い時甚しい。J. H. Whitely¹⁾ によれば粗粒の亜共析鋼に於ては、 A_1 點以上 40° に 15 分間加熱すれば炭化物の核は消失する。又岩瀬及び本間²⁾ は最高加熱溫度に保持する時間の長いことは、最高加熱溫度を高くしたと同様の効果を與えることを報告し、P. Payson³⁾ 等は過共析鋼について 760°C に於ては加熱時間の影響は少いが、 790°C に於てはかなりの影響を與え、例えば 1.16% C 鋼を 790°C に加熱し種々なる時間保持した後、加熱時間と層状パーライト生成の關係を實驗した結果、層状パーライトの生成は 1 時間では 1% 以下、4 時間で 5%、8 時間で 15%、16 時間で 25% であつた。

尙著者等の實驗に用いた各試料の變態溫度を第 2 表に示す。本研究に於ては次の如き 4 種類の球状化處理方法を採用した。

(イ) 焼入焼戻による球状化處理

油焼入した試料を 680° , 700° , 720°C にて焼戻した焼戻保持時間は 5 及び 10 時間とし、焼戻後真空のまま放冷した。

第 2 表 試料の變態點

	變態點 $^\circ\text{C}$	
	Ac_1	Ar_1
0.5% C 鋼	750	701
0.9% C 鋼	746	700
1.3% C 鋼	758	721
Ni 鋼	722	637
Cr 鋼	757	714

(ロ) 徐冷による球状化處理

試料を 700°C に 1 時間加熱した後 650°C まで徐冷し、後真空のまま放冷した。徐冷の冷却速度は毎分 2° , 1° 及び 0.5° とした。

(ハ) 繰返し加熱及び冷却による球状化處理

第 2 表に示した變態點を考慮して次の如く行つた。即ち 0.5% C 及び 0.9% C 鋼は 690°C まで加熱して 20 分間保持した後、毎分 1° の割合で 760°C まで加熱し、こゝで 20 分間保持した後毎分 1° の冷却速度で 690°C まで冷却し、更に 20 分間保持する處理を以つて、規定 1 回の熱處理とし、これを繰返し行つた。1.3% C 及び Cr 鋼は加熱の上限を 770°C 冷却の下限を 710°C とし Ni 鋼は上限を 730°C 、下限を 630°C とし、他の條件は總て 0.5% C 鋼の場合と同じにした。

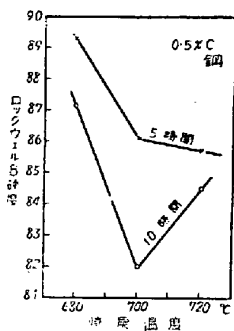
第 3 表 試料の鉛浴中保持溫度

試料	鉛浴溫度 $^\circ\text{C}$		
0.5% C 鋼	700	710	720
0.9% C 鋼	700	710	720
1.3% C 鋼	710	720	730
Ni 鋼	635	655	675
Cr 鋼	710	720	730

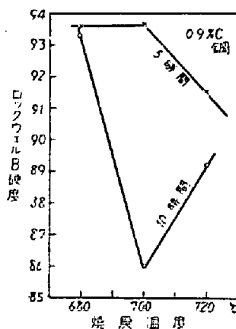
(ニ) 恒温變態による球状化處理

Ni 鋼以外は 720°C に 1 時間豫熱し、 765°C に 30 分間保持した後、第 3 表に示す溫度の鉛浴中に移し 2 時間保つた後空冷した。Ni 鋼のみは 660°C に 1 時間豫熱し 730°C に 30 分間保持した後同様に鉛浴中に移し、2 時間保つた後空冷した。鉛浴の表面は酸化を防ぐため木炭粉で厚く覆つた。

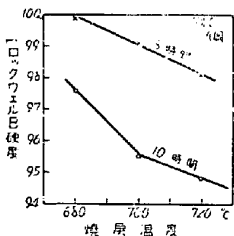
この豫熱に關し P. Payson³⁾ は次の如く記述してゐる。即ち鋼を A_1 點直下の溫度にて豫熱するときは、冷却に際しオーステナイトの變態速度を増し、層状パーライトの量を減ずる。特に低炭素鋼の場合有効であると。著者等はこれにならつて豫熱を行つた。



第1圖 焼入焼戻法による焼戻温度と硬度の関係



第2圖 焼入焼戻法による焼戻温度と硬度の関係



第3圖 焼入焼戻法による焼戻温度と硬度の関係

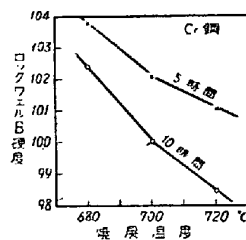
III. 実験結果 (I)

焼入焼戻による球状化処理

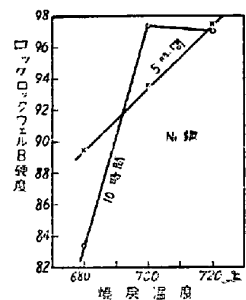
層状パーライト組織の炭化物は A_1 点以下の熱処理では球状化しない⁴⁾が焼入鋼では焼戻処理によつて炭化物が球状化する。この方法による球状化については既に第1報⁵⁾で述べた。焼入組織の若干の相違はこの方法による球状化には殆ど影響を與えないことは第2報⁷⁾で報告した。実験結果は硬度—焼戻温度の関係曲線として第1乃至第4圖に示した。

680°C—5 時間焼戻では、Ni 鋼は球状化が可成り進行し、Cr 鋼は殆ど進行しておらない。これは Ni 鋼の變態点が低温にあるからである。

680°C—10 時間では Ni 鋼は完全に球状化し、微點状炭化物も殆ど見られない。この場合の炭化物の粒度は Cr 鋼、炭素鋼、Ni 鋼の順に大きい。



第4圖(a) 焼入焼戻法による焼戻温度と硬度の関係



第4圖(b) 焼入焼戻法による焼戻温度と硬度の関係

700°C—5 時間では 680°C—5 時間と殆ど同様であるが、10 時間処理では球状化は著しく進行し、1.3% C 鋼は完全に、0.9% C 及び 0.5% C 鋼はこれに次ぐ。Ni 鋼は長時間加熱の間に A_1 点を越して、冷却の途中層状組織が若干現われたためか硬度が高かつた。但し層状組織は顯微鏡的には殆ど見られない。

720°C—5 時間は 0.5 及び 0.9% C 鋼では、700°C—10 時間とほぼ等しく、10 時間では球状化は僅か後退しておるが、未だ層状組織は発見出来なかつた。1.3% C 鋼は粒度が大となり、Cr 鋼は僅かに微點状炭化物が残り殆ど均一に球状化しておる。

顯微鏡組織並に硬度變化から知られる如く、炭化物をこの方法で球状化するには變態點直下で短時間焼戻すのが最も効果的である。このことはこの方法による球状化が本質的に擴散に基くものであることを示しており、R. W. Bailey 及び A. M. Robert⁶⁾ もこれと同様の見解を有しておる。

亞共析鋼の 720°C—10 時間では多少球状化が後退し硬度が上昇しておるのは、長時間加熱の間に變態点を越したために球状セメンタイトがオーステナイトに溶解したものと考えられる。

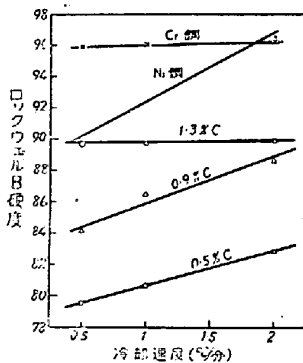
IV. 実験結果 (II)

徐冷による球状化処理

鋼を A_1 點以上適當の溫度に加熱して、或る冷却速度以下で徐冷する場合炭化物は球状化する。この現象については古く本多、齋藤⁷⁾及び Whiteley⁸⁾等の研究がある。更に岩瀬、本間⁶⁾及び近藤⁹⁾等は徐冷による炭化物球状化の機構は異常鋼の生成機構と全く同一であると述べておる。即ち徐冷の場合は最高加熱溫度と A_1 變態點を通過する冷却速度が最も重要な因子である。本實驗に於ては各試料の變態點を考慮し、同一の最高加熱溫度を採用するため、本多及び齋藤⁷⁾の研究による亞共析鋼の球状化のための加熱溫度範圍よりもやや高く 770°C を採用した。

實驗の結果 $0.5\%C$ 鋼の $2^{\circ}/\text{分}$ の冷却速度の場合の外は全部炭化物は球状化した。 $0.5\%C$ 鋼では $2^{\circ}/\text{分}$ の冷却速度で一部層状パーライトを生じたが、その板状セメントサイトの先端は球状化の傾向を示しておる。 $1^{\circ}/\text{分}$ では炭化物は全體として球状化を始めておるが、その分布は均一ではない。又 $0.5^{\circ}/\text{分}$ では完全に球状化し、大きさ並に分布状態が均一となる。

$0.9\%C$ 及び $1.3\%C$ 鋼は $0.5^{\circ}/\text{分}$ の冷却速度で完全に球状化し、大きさ、分布共に均一となる。Cr 鋼は球状化の進行が最もおそく、炭化物の大きさが著しく小さい。Ni 鋼は $0.5^{\circ}/\text{分}$ で球状化は最も進み、炭化物は比較的粗粒となつておる。



第5圖 徐冷法による冷却速度と硬度の關係

冷却速度と硬度の關係は第5圖に示す如くほぼ直線的の關係にある。而して亞共析鋼では冷却速度の影響が大きく、過共析鋼ではこれが小さい。即ち後者は速い冷却速度でも容易に球状化することを示しておる。Ni は特殊炭化物を作らない元素で球状化を多少促進することを第1報で報告したが、この鋼では冷却速度の影響が大きく、Cr の如く特殊炭化物を作る元素を含む鋼ではその影響が極めて小さい。

過共析鋼に於て冷却速度の影響が小さいのは、最高加

熱溫度に於て残存する炭化物が冷却の際に單に成長するのみであるのに對し、亞共析鋼では A_1 變態に於ける炭化物の生成に關係するために冷却速度の影響が大きい。Cr 鋼に於て冷却速度の影響の小さいのは、Cr がCの擴散速度を減ずるためであり、Ni 鋼では反對にCの擴散を促進する傾向にあるためと考えられる。

V. 實驗結果 (III)

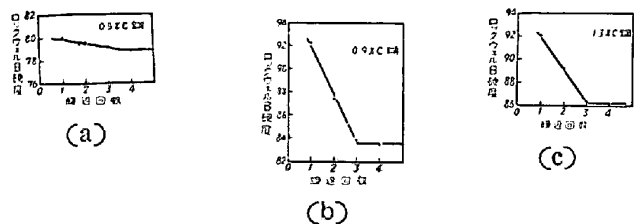
繰返し加熱及び冷却による球状化處理

既に第2報で述べた如く、炭化物の小粒子は曲率が大きいいためオーステナイトに對する溶解度が大きく、従つて繰返し加熱及び冷却の際變態點以上の加熱によつて容易にオーステナイトに溶解し、冷却の際残存炭化物粒子の周圍に析出する。實驗結果によれば加熱及び冷却の繰返し回数3回でほぼ一定の大きさの炭化物粒になる。

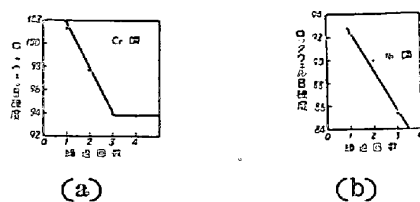
本處理法を施した試料の顯微鏡組織を検するに、炭素鋼はいづれも2回の處理で殆んど點状炭化物は消失し、3回の處理によつてほぼ大きさの均一化した球状炭化物となる、Cr 鋼も3回の處理によつてほぼ完全に球状化し、それ以上處理回数を重ねても變化はない。Ni 鋼は3回の處理後黒鉛の發生を認めた。

炭化物粒の大きさは $1.3\%C$ 鋼に於て最大、以下 $0.9\%C$ 鋼、 $0.5\%C$ 鋼、Ni 鋼、Cr 鋼の順に小さい。

尚ほ繰返し處理回数と硬度の關係は第6圖乃至第7圖の如くである。本報の硬度數と第2報のそれとに若干の相異があるのは、實驗に用いた試料の相異並に規定の熱處理條件に若干の差異があるためである。



第6圖 繰返しによる繰返し回数と硬度の關係



第7圖 繰返しによる繰返し回数と硬度の關係

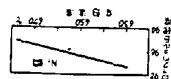
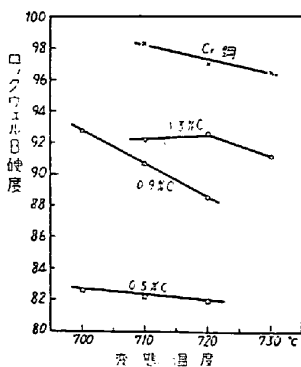
實驗結果 (IV)

恒温變態による球状化處理

Payson とその共同研究者³⁾は鍛造のまゝの炭素鋼を各温度に加熱して焼入し、その焼入組織に於てパーライトの認められない最低温度を求め、その温度に1時間保持した後、変態点以下の各温度に焼入れて恒温変態を行わせ、球状炭化物の生成状態及び各変態温度にて生ずる球状炭化物の量を求めた。彼等の実験結果によると、この処理法に於ては変態開始から終結までの間殆んど同大の球状炭化物を生成し、従つて粒の大きさが均一であり、又球状化処理は短時間にて足ると報告しておる。而して球状炭化物を生成する加熱温度並に變態温度區間は鋼の炭素含有量によつて異なり、過共析鋼では處理温度範圍が廣くて球状化處理が容易であるが、亞共析鋼ではその範圍が狭く處理が可成り困難であると述べておる。

本實驗に於ては前述の如き處理條件を採用して球状化を行つた。その結果を顯微鏡的に檢すると、0.5% C 鋼と 0.9% C 鋼は 700°C で變態を行かせた場合一部層狀パーライトが認められる。この場合の組織は滲炭異常鋼の組織と類似し、板狀炭化物は球状化の傾向を示し、パーライト群の間に廣く存在する地獄中にも點狀又は球狀の炭化物が認められる。尙ほ 710°C で變態を行かせたものは球状炭化物がより一様に分布し、720°C 變態で完全に均一な球状化組織となつた。

他の試料ではいづれも層狀パーライトは認められなかつた。1.3% C 鋼は 710°, 720°C の恒温變態では點狀炭化物の存在が認められたが、730°C でほぼ完全に球状化した。Cr 鋼は 730°C 變態でも球状化は不完全で、一般に粒の大きさは微細で點狀のものも認められる。Ni 鋼はいづれの場合も大差なく、粒の大きさも他の處理方法に比べて細い。一般に恒温變態による球状化處理で得られる炭化物は粒の大きさが微細且つ均一である。



(b)

第8圖

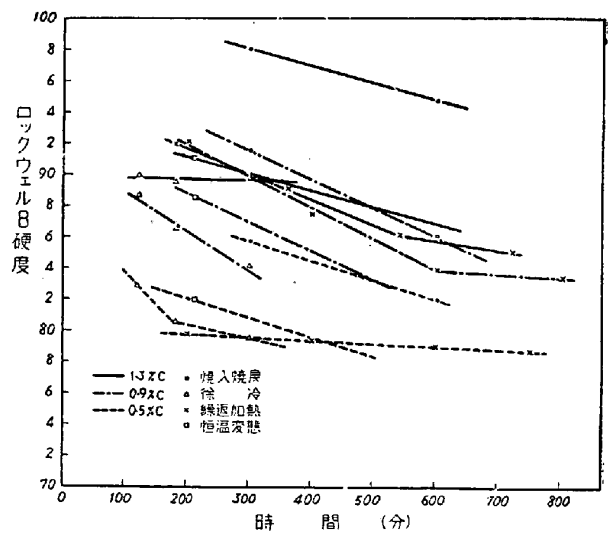
恒温法による變態温度と硬度の關係

本處理方法による球状組織の硬度と變態温度との關係は第8圖 (a), (b) に示す如くである。

VII. 4 種類の球状化處理方法の比較

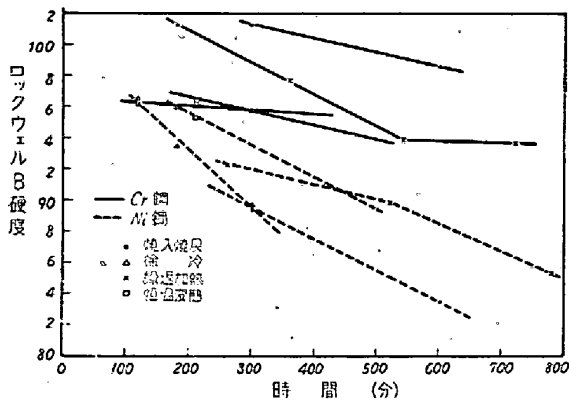
以上4種類の球状化處理方法の得失を比較する事は簡單ではなく、先づ比較の基準となるものを選定する事が難かしい。一定倍率の顯微鏡組織から炭化物粒の大きさを比較する事は一つの基準ではあるが、併し同じ粒の大きさでも處理方法如何に依つては、機械的性質は可成り差違があるものと思われる。又球状炭化物が或る一定の大きさになるまでの難易も考慮に入れなければならない。次に各球状化處理方法はそれぞれ處理温度が異つており、而も上記實驗に採用した處理温度がそれぞれの方法に對して最良の條件とは云い得ないから、たとえ比較の基準があつても別の實驗結果からは又別の結論が得られる可能性が多い。

以上の事柄を考え此處では次の如き比較を試みた。即ち比較の基準として硬度を採る。硬度は既に第1報でも述べた如く、諸性質の中で最も良く球状化の進行状況を表すものと考えられ且つ處理後の硬度は實際上重要でもある。而して本實驗にて最低硬度の得られる方法を最適の球状化處理方法と假定し、この最適の處理方法に要した時間と硬度の關係を求めて比較する。その結果は第9及び10圖である。但し恒温變態の場合は夫々一點を得



第9圖 各種熱處理法による球状化時間と硬度の關係

たにすぎない。而して恒温變態は A₁ 變態点以下の温度であるから、球状炭化物の組織が生成された後は焼戻による球状化の場合とほぼ平行に進むものと假定して、焼戻線に平行とした。實驗の範圍に於て焼入焼戻による方法の硬度が最硬であるから、時間的に球状化の進行はおそい。但し Ni 鋼の場合は球状化と共に黒鉛化も認められ、この方法が最低硬度を示す。他の三方法は鋼の種類



第10圖 各種熱処理法による球状化時間と硬度の関係

に依つてそれぞれ異なるが、一般的に短時間では繰返法が速に球状化する。長時間を費して球状化を完全に進行せしめる場合は変態点を徐冷する方法が能率的である。恒温変態に依る方法は球状化の進行は比較的遅いが、大きさと分布の均一なものが得られ易い。然し低炭素鋼では恒温変態温度の調節が難しい。亜共析鋼は最高加熱温度及び冷却速度が球状化に著しく影響し、適当な条件を厳守しないとパーライトを生じ易いから繰返の方法が最も安全と考えられる。この方法は粒度の最も大きいものが得られる。焼入焼戻法は球状化の進行が最も遅いが、粒度が小さく而も均一に分布する。

VIII. 總 括

1. 0.5, 0.9 及び 1.3% C 鋼並びに Ni 鋼, Cr 鋼に就て次の4種類の炭化物球状化処理を行った。即ち焼入焼戻に依る方法, 徐冷に依る方法, 繰返加熱に依る方法並びに恒温変態に依る方法である。

2. 各処理方法に採用した熱処理温度は各試料の変態温度を考慮して定めた。

3. 各処理方法の比較の基準として硬度と処理時間の関係を本実験の範囲内で求めると次の如くなる。

a) 焼入焼戻に依る方法は最も球状化進行が遅いが、粒度が小さく均一に分布する。

b) 亜共析鋼では繰返しの方法が最も速く球状化するが、或る繰返回数以上は進行しない。

c) 徐冷に依る方法は球状化は比較的早い、亜共析鋼では適当な処理条件を厳守しないとパーライトを生じ易い。

d) 恒温変態に依る方法は球状化は比較的遅いが均一粒度の得られる特長がある。但し工業的には温度調節が難しい。

終りに臨み、本実験に熱心に従事せられた工學士飯田欣平君に深く感謝する。(昭和26年10月寄稿)

文 献

- 1) Whitely: J. Iron & Steel Inst., 97 (1917), 353 105 (1922) 339
- 2) 岩瀬, 本間: 日本金屬學會誌, 4 (1940), 351
- 3) Payson, Hadapp, Laader: Trans. Amer. Soc. Metals., 28 (1940), 306
- 4) 佐藤, 矢島: 本誌, 37 (1951), No. 2, 92
- 5) 佐藤, 矢島: 本誌, 36 (1950) No. 11, 543
- 6) Bailey, Robert: Proc. Inst. Mech. Eng., 22 (1922), 209
- 7) 本多, 齋藤: 東北大學理科報告, 9 (1920), 311
- 8) 岩瀬, 本間: 日本金屬學會誌, 8 (1944), 587
- 9) 近藤: 同誌, 8 (1944), 175.

鑄物部會第7回鑄型研究會 日時: 昭和27年5月23~24日. 場所: 富士製鐵 K.K. 釜石製鐵所(岩手). 出席者: 委員長菊池浩介君, 釜石製鐵所長里村伸二君, 外委員, 同代理, 及隨員, 幹事等56名. 議事概要: (1) 第6回鑄型専門委員會議事について 菊池委員長の報告があり, 次いで下記各議題について夫々説明があり質疑應答が行われた. (2) 釜石の鑄物銑について (富士釜石, 佐伯正夫氏). (3) 木炭銑の鑄型材質に及ぼす影響について (久保田鐵工, 竹中哲哉氏). (4) 延性鑄鐵の鑄型への應用 (神戸鑄鐵, 澤田清明氏). (5) 鑄型龜裂の發生時期及進行速度について (住友金屬鋼管, 小谷良男氏). (6) 鋸塊鑄型の使用成績 (富士釜石, 大塚家親氏). (7) 米國に於ける鑄型實狀の調査 (菊池委員長). (8) 昭和26年度の鑄型使用成績一調査表 I, 及び昭和26年度の鑄型原料關係調査一調査表 II, (各資料提出各社委員夫々説明).