

高炭素鋼の炭化物亀裂による欠陥について (II)*

上 杉 年 一**

STUDIES ON CEMENTITE CRACKS OF HIGH CARBON STEEL (II)

Toshikazu Uesugi

Synopsis:

The effects of the addition of hydrogen to 1.4% C file steel; 1.0% C, 1.4% Cr bearing steel; 1.0% C, Cr-W tool steel are investigated. Samples are taken from the outer side of the billets which have been confirmed that any "Acm cementite cracks" were not existed.

The followings are conclusions:

- (1) "Acm cementite cracks" are generated in hyper-eutectoid steels by the addition of hydrogen, and the fact has been proved that the main cause of the formation of "Acm cementite cracks" was the existence of super-saturated hydrogen in the steel.
- (2) It has also been proved that so-called macro hair-cracks and flakes on fractured surface were only another appearances of "Acm cementite cracks"
- (3) The characteristic features of flakes occurrence on hyper-eutectoid steel, which have not been able to explain by the use of theories about the flakes occurrence on hypo-eutectoid steel, can easily be understood by considering the existence of "Acm cementite cracks."

I. 概 要

第1報において、高炭素クローム軸受鋼鋼片を鍛伸後200°C以下まで冷却すると、水素量が約3.0cc/100g以上の場合は“網状炭化物亀裂”が鋼片中心部に発生し、これが圧延鋼材あるいは高温引張試料に現われる cavities の素因をなしていること、および塩酸腐蝕時のマクロ毛割れの素因であることをのべたが、さらにこれに引続いて確認しておかなければならない事項を挙げると、

(a) 過飽和水素が主原因だとすれば、十分脱水素して“網状炭化物亀裂”の発生していない鋼片から採った試料に、水素を添加すれば果して“網状炭化物亀裂”が発生し塩酸マクロ毛割れや高温引張 cavities を生ずるや否や。

(b) 従来試料の内部に発生するマクロ毛割れは、この試料を破断すると、いわゆる白点として認められるものであるとされているが、しからはマクロ毛割れの素因をなす“網状炭化物亀裂”と過共析鋼の白点はいかなる関係を有するのであろうか。

(c) Acm 変態で析出した網状炭化物中に“網状炭化物亀裂”が発生し、これが塩酸マクロ毛割れの素因となつているが、しからは網状炭化物の析出を阻止すれば“網状炭化物亀裂”は発生しないから、マクロ毛割れも発生しないのでなからうか。

(d) 軸受鋼についてのみ“網状炭化物亀裂”を確認

したのであるが、他の過共析鋼にも果して“網状炭化物亀裂”が発生するや否や。

等である。そこで、これらの諸点を究明するために、十分脱水素して“網状炭化物亀裂”の発生していないことを確認した鋼片の外周部より、種々の寸法の試料を鍛伸方向と平行に切り採り、これらを1気圧の水素気流中に1100°Cで3~20h加熱保持して、水素添加を行い、水素量を3.0~6.0cc/100gとし、高温引張試料に現われる cavities あるいは塩酸腐蝕によるマクロ毛割れを検するとともに、“網状炭化物亀裂”の発生確認を行うことにした。

II. 軸受鋼の白点と“網状炭化物亀裂”

上記(a)(b)の項を確認するために行つた実験の一例についてのべることにする。

(1) 軸受鋼2溶解について、低水素量(1.5~1.7cc/100g)で“網状炭化物亀裂”の発生していない155mm角鋼片(鍛造比約4.0)の外周部より、断面40×50mm²、長さ150mmの試料3個をそれぞれ鍛伸方向と平行に切り採り、1気圧の水素気流中に1100°Cで10h保持して水素添加を行い、空冷後(水素量は4.50~4.78cc/100gとなる)、これらより、Fig. 1のごとく横断面(鋼片横断面に該当する)マクロ試料、縦断面(鋼

* 昭和31年4月本会講演大会にて発表

** 山陽製鋼株式会社

Table 1. Relation between flakes and hair cracks of bearing steel.
(Hydrogen added piece)

Heat No.	Test piece mark	Hydrogen addition	(NH ₄) ₂ S ₂ O ₇ etch		HNO ₃ etch		HCl etch		Fracture test		
			Trans. section	Long. section	Trans. section	Long. section	Trans. section	Long. section	a	b	c
4176	F-1	1100°C × 10h	No hair crack	No hair crack	No hair crack	No hair crack	Hair cracks appeared	Hair cracks appeared	No flake	Flakes appeared	No flake
〃	F-2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
〃	F-3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
4255	G-1	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
〃	G-2	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
〃	G-3	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃

Fracture test: a.....As hydrogen added
 b.....Hydrogen added, then quenching and tempering
 c.....Ditto b, then reheated to 1100°C

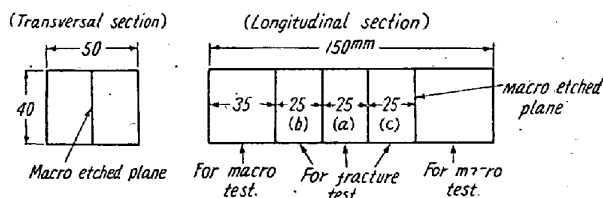


Fig. 1. Sampling positions.
(Hydrogen added piece)



A: As hydrogen added.
 B: Hydrogen added, then quenched and tempered.
 C: Ditto to B, then reheated to 1100°C.

Fig. 2. Fractured surface (Flakes noted by × mark)

片縦断面に該当する) マクロ試料, 縦断面破面試料を切り出した。

マクロ試料はつぎの順に腐蝕して毛割れを検した。

- (a) 10% 過硫酸アンモン水溶液, 常温, 5mn.
- (b) 硝酸 1:1, 常温 20mn.
- (c) 塩酸 1:1, 70°C, 30mn.

縦断面破面試料はそれぞれつぎのごとく熱処理後, 屈曲破断して白点の発生状況を観察した。

- (a) Fig. 1 の (a) 試料は水素添加, 空冷のまま。
- (b) Fig. 1 の (b) 試料はこれを 850°C 油焼入, 600°C 焼戻し。
- (c) Fig. 1 の (c) 試料は 850°C 油焼入, 600°C 焼戻し後さらに 1100°C に 3h 空気中加熱後常温まで空冷。

(2) 実験結果は一括して Table 1 に示したが, これによつて

(a) “網状炭化物亀裂”の発生していない鋼片外周部の試料に, 水素を添加すると“網状炭化物亀裂”が発生し, 塩酸腐蝕によりマクロ毛割れが出現してくる。ただし過硫酸アンモン, 硝酸等の酸化性の腐蝕液では, 第 1 報でのべたごとく, “網状炭化物亀裂”が発生している, これを拡大することはできないのでマクロ毛割れ

として認めることはできない。

(b) Table 1 に示した縦断面破面の白点発生についての一例を Fig. 2 に図示した。

すなわち, 水素添加した試料は破断面において, 空冷のままの状態では“網状炭化物亀裂”が発生していても白点として検出することはできないが, この試料を焼入焼戻しして(焼準あるいは球状化焼鈍する場合も同様である), 水素添加後の空冷の際 Acm 変態で析出していた網状炭化物を消失または小さくさせると, 明瞭な粒白点として認められる。さらに, この試料を水素添加時と同様の高温に加熱して, 水素添加時の空冷の際に析出していた網状炭化物と同大の網状炭化物を, この際の冷却時に析出させると, またこの粒白点は検出できなくなる。この特殊現象はつぎのように, “網状炭化物亀裂”の存在を考慮に入れることによつて合理的に説明ができる。

すなわち水素添加の試料を空冷する時, Acm 変態で析出する網状炭化物中に“網状炭化物亀裂”が発生する。この試料をそのまま破断すると, 破断面のどの部分にも網状炭化物の破面が一樣に存在し, “網状炭化物亀裂”はその網状炭化物の破面の極く一部にすぎないから

破面全体は何等の異常性も認められない。しかるに、この試料を水素添加温度より非常に低い 850°C とか 900°C に再加熱すると、オーステナイト結晶粒は非常に小さく、したがって冷却時析出する網状炭化物あるいはソルバイト結晶粒は小さい。しかるに、“網状炭化物亀裂”は水素を添加した時の大きな結晶粒界に析出した網状炭化物中に発生しているものであるから、もとの網状炭化物と同一の尺度の大きさを有し、これが 850°C , 900°C の再加熱の際も、そのまま亀裂として試料中に残存する。したがってかかる試料を破断すると、“網状炭化物亀裂”が多数発生している処は、丁度水素添加後空冷のまま破断した破面の粗さとなり、その他の処は再加熱の小さい結晶破面を呈することになるので、“網状炭化物亀裂”があれば、粒白点として明瞭に検出するのである。さらにこの焼入焼戻した試料を水素添加時の高温に再加熱すると、粒白点として認められたところも、小さい結晶破面のところも、すべて同一の粗い破面となるため、また粒白点が検出できなくなるのである。学振¹⁾では、白点は試料の破断面に現われる欠陥と定義しているのみで、試料の熱処理を規定していない。また一部²⁾では試料を焼入して、破面を検することは、焼入時の変態ならびに熱応力によつて、白点でないものが白点に発展する恐れがあるとして、白点検出に試料の熱処理を否定している。しかし、高炭素鋼で、Acm 変態をなす場合は、上記のごとき特殊性があるので、熱処理を規定しなければ白点の検出は不可能である。

(c) 従来、この種の試料内部に発生するマクロ毛割れと白点とは同一のものであるとされているが、これを再確認するため、塩酸腐蝕によりマクロ毛割れの発生した試料を、焼入焼戻し後破断して、発生していたマクロ毛割れと、破面における粒白点の関係を直接調査した。一例を Fig. 3 に示すごとく、丁度マクロ毛割れのところで破断した破面においては、マクロ毛割れの塩酸が浸透した部分に連続して粒白点が現われ、しかもこの両者とも同一の粗い破面を呈しているが、その他のところはこまかい破面である。

これによつても、この種の塩酸マクロ毛割れと粒白点は同一とみなしうることは明らかである。

III. 網状炭化物の析出阻止による 軸受鋼の白点発生阻止

(1) “網状炭化物亀裂”は Acm 変態で析出する網状炭化物中に発生するものであるから、過共析鋼を水素添加後、焼入して網状炭化物を析出させなければ、この

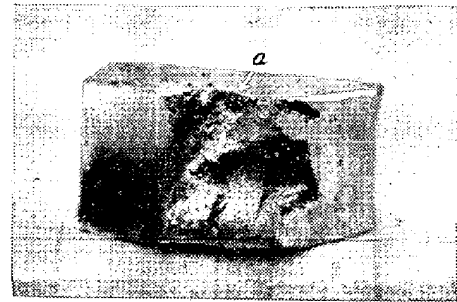


Fig. 3. Relation between hair cracks (a) and flakes (b).

微小亀裂を素因とするマクロ毛割れや粒白点は発生しないはずである。またこの過共析鋼と同程度の焼入能を有する亜共析鋼を水素添加後空冷しても、網状炭化物の析出がないので、“網状炭化物亀裂”を素因とするマクロ毛割れ、白点は発生しないわけである。そこで、これらの点をたしかめるために、Table 2 の化学成分を有する軸受鋼ならびに亜共析鋼の 155 mm 角鋼片（水素量 $1.5 \sim 1.7 \text{ cc}/100 \text{ g}$ で“網状炭化物亀裂”を発生していない）の外周部より、 $40 \text{ mm } \phi$ 50 mm l の試料を採り、 1100°C で 10 h, 1 気圧の水素気流中で水素添加後（水素量は $4.50 \text{ cc}/100 \text{ g}$ 以上となる）、下記のごとく 3 とおりに熱処理して常温にて 50 h 放置後（J. H. Andrew³⁾, 下川博士⁴⁾らは、亜共析鋼について焼入直後の試料では白点あるいはマクロ毛割れ等を検出することはできないが、試料を常温にて 24~48 h 放置しておくとはじめて明らかに検出しようとのべている）、Fig. 4のごとく切断して、“網状炭化物亀裂”を確認するとともに、塩酸マクロ毛割れ、焼入焼戻し後の破面に現われる白点を検した。

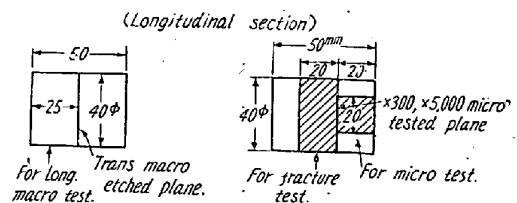


Fig. 4. Sampling positions (Hydrogen-added piece)

- (a) 水素添加後、常温まで空冷。
- (b) “ ”, 850°C まで空冷後、 850°C より油焼入。
- (c) “ ”, 600°C まで空冷後、 600°C より油焼入。

(2) 実験結果は一括して Table 3 に示した。すなわち、

Table 2. Chemical composition of steels used.

Specification of steels	Heat No.	Test piece mark	Chemical composition							
			C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Cu
SUJ-2	4176	F	0.98	0.23	0.46	0.017	0.011	1.42	0.06	0.27
"	4255	G	0.98	0.30	0.47	0.018	0.012	1.45	—	0.24
—	8574	T	0.76	0.31	0.46	0.018	0.014	1.35	0.12	0.25

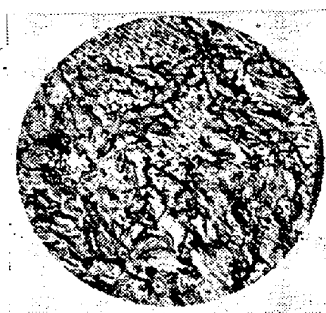
Table 3. Results obtained by retarding the formation of Acm cementite.

Steels used	Hydrogen addition	Test piece heat treat	Macrostructure (HCl etch)		Fracture test 850°C oil quench 600°C tempering	Microstructure ×300	Electron-microstructure ×5000
			Trans. section	Long. section			
1.0% C 1.4% Cr bearing steel	1100°C × 10h	After H ₂ addition, air cool to room temp.	Hair cracks appeared	Hair cracks appeared	Flakes appeared	Acm cementite + Sorbite	Acm cementite cracks appeared
	"	After H ₂ addition, oil quench from 850°C	No hair crack	No hair crack	No flake	Martensite + Bainite	—
	"	After H ₂ addition, oil quench from 600°C	Hair cracks appeared	Hair cracks appeared	Flakes appeared	Acm Cementite + Sorbite	Acm cementite cracks appeared
0.75% C 1.4% Cr hypo-eutectoid steel	"	After H ₂ addition air cool to room temp.	No hair crack	No hair crack	No flake	Sorbite	—
	"	After H ₂ addition oil quench from 850°C	"	"	"	Martensite + Bainite	—
	"	After H ₂ addition, oil quench from 600°C	"	"	"	Sorbite	—

軸受鋼を水素添加後、焼入すると Acm 網状炭化物の析出がなく、“網状炭化物亀裂”が発生しないので、マクロ毛割れ、粒白点は発生しない。しかるに、水素添加後空冷した場合、ならびに 600°C まで空冷後油焼入した場合は、Acm 網状炭化物が析出し“網状炭化物亀裂”が発生するので、マクロ毛割れ、粒白点が発生する。0.75% C, 1.4% Cr 亜共析鋼は水素添加後、焼入した場合も空冷した場合も、また 600°C まで空冷後油焼入した場合のいずれにおいても、網状炭化物の析出がないのでマクロ毛割れ、白点は発生しない。すなわち、亜共析鋼においては、いまだ白点になりえない水素量でも、過共析鋼で網状炭化物が析出する試料は、“網状炭化物亀裂”を発生して白点を発生するに到ることが明らかになった。

Fig. 5 は水素添加後空冷した軸受鋼試料に発生した“網状炭化物亀裂”の一例を示したものである。

上記の現象は、従来亜共析鋼の白点の原因としてのべ



picral etch. ×5,000 (2/3)

Fig. 5. “Acm cementite cracks” in hydrogen-added piece of bearing steel. (noted by arrows)

られている諸説では解明できない。すなわち、白点の主要原因として従来、

- (a) 水素含有量の高いほど白点が生じやすい⁽⁵⁾⁽⁶⁾⁽⁷⁾。
- (b) 試料冷却時の変態応力、熱応力もまた白点発生上の大きな要素である⁽⁸⁾。

(c) 成分偏析、非金属介在物等も白点発生を助長する⁹⁾。

等がのべられているが、このいずれの説をもつても上記の現象は説明できない。

すなわち、焼入した試料は空冷した試料より、常温における水素量は高く、また非常に大きな熱ならびに変態応力を受けている。さらに焼入試料、空冷試料とも鋼片の同一個所より採取したので、成分偏析、非金属介在物偏析等に関しては同一条件である。そこで J. H. Andrew⁸⁾等は上記現象を全く不可解であるとして、

(d) 焼入した場合と空冷した場合は水素の鋼中における結合状態が異なるため、同一水素量でも空冷試料に白点を生じ、焼入試料に白点を生じないのである。

とのべている。しかし、焼入能同一 (Fig. 6 参照) で、他の成分は軸受鋼とほぼ同一で、C% のみが 0.76% である上記亜共析鋼が、焼入試料にも空冷試料にも白点を生じない現象を彼等の説では説明することはできない。また A. W. Dana⁹⁾等は亜共析低合金鋼を 2050°F で水素添加後、試料に種々の熱処理を施して、白点の生因を調査し、白点発生にはある程度の水素量を必要とするが、水素のみが十分条件ではなく、少量のマルテンサイトが試料中に析出している場合に白点が発生していることより、

(e) 部分的な変態応力が白点発生の最大要素である。

とのべている。そこで、上記軸受鋼の空冷した試料にマルテンサイトが析出しているかどうかを調査したところ、マルテンサイトは析出せず、全部ソルバイト組織でしかも白点の発生していない亜共析鋼の空冷試料もまたソルバイト組織で、ただ軸受鋼空冷試料に比して、網状炭化物の析出がないだけであつた。したがつて、軸受鋼の焼入材に白点が発生せず、空冷材に白点が発生する現象については (a)~(e) の説では説明できないが、筆者の確認した“網状炭化物亀裂”の存在を考慮に入れることによつてはじめて明確に説明しえられるのである。

IV. 過共析鋼の白点発生の特異性

軸受鋼のみについて、“網状炭化物亀裂”ならびにこれを素因とするマクロ毛割れ、白点についてのべてきたが、他の過共析鋼も“網状炭化物亀裂”が発生し、これがために過共析鋼特有の白点発生状況を呈することの一例を以下のべることにする。

(1) Table 4 の化学成分を有する過共析の 1.0% C, Cr-W 工具鋼; 1.4% C ヤスリ鋼; および 1.0% C, 1.4% Cr 軸受鋼と、亜共析の 0.45% C, Cr-W 工具鋼; および 0.76% C, 1.4% Cr 鋼の 155mm 角鋼片 (低水素量で“網状炭化物亀裂”の発生していない) の外周部より、鍛伸方向に平行にそれぞれ 2本の 25mmφ × 100mm^l の Jominy 試料を切り、1本は普通の Jominy 一端焼入試験を行い、焼入硬度を Rockwell “C” スケールで 5mm 間隔に測定し、他の 1本は 1100°C で 3h 水素添加を行い、850°C まで空冷後 850°C にて 1mm 一端水焼入を行い、これを常温まで空冷し、48h 放置後縦断面塩酸マクロ試料、ならびにミクロ試料を採取した。

(2) (a) Jominy 硬度曲線は Fig. 6 に示した。また 1.4% C ヤスリ鋼に現われた“網状炭化物亀裂”の一例を Fig. 7 に示した。

さらに縦断面マクロ試料の塩酸腐蝕によるマクロ毛割れの一例を Fig. 8 に示した。

(b) Fig. 8 に示した過共析鋼のマクロ内部毛割れの特異現象について考察することにする。

A. W. Dana⁹⁾らは、前述したごとく、0.4% C の低合金鋼 5種類について水素添加後 Jominy 試験を行い、Fig. 9 に示すごとく、Rc 硬度約 40~30 の範囲にマクロ中心毛割れの発生することを指摘し、マルテンサイトが少量発生する場合に、部分的な変態応力がその個所に大きく作用して、マクロ内部毛割れを発生するとのべている。

内部毛割れの発生した過共析の 1.0% C, 1.4% Cr

Table 4. Chemical composition of steels used.

Specification of steels	Test piece mark	Chemical composition. %					
		C	Si	Mn	Ni	Cr	W
SKS-4	S-2	0.48	0.27	0.29	—	0.91	0.43
SKS-3	S-6	0.96	0.23	1.01	0.06	0.61	0.90
SKY-3	S-7	1.37	0.30	0.47	—	0.24	—
SUJ-2	E	0.98	0.23	0.46	0.06	1.42	—
—	T	0.76	0.31	0.46	0.12	1.35	—

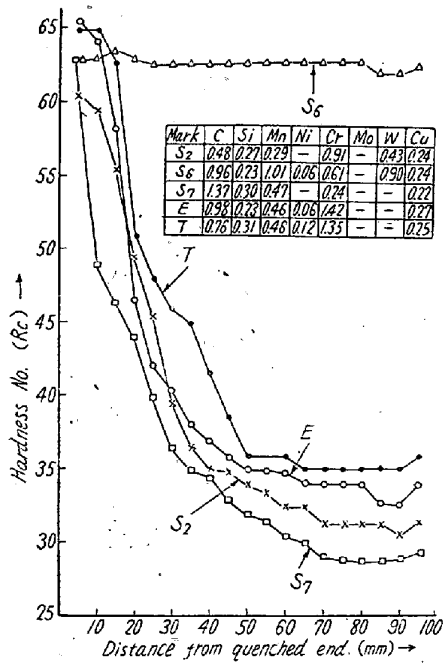


Fig. 6. Jominy curve.

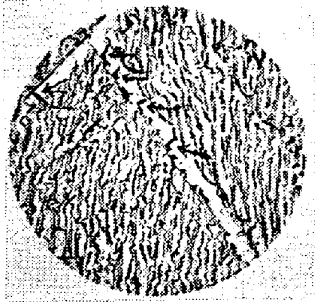


Fig. 7. "Acm cementite cracks" of file steel. (noted by arrows)

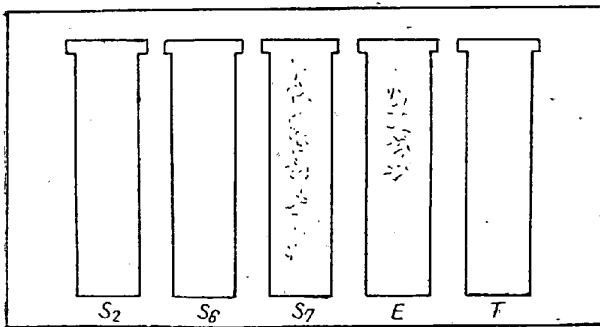


Fig. 8. Macrostructure of hydrogen added Jominy pieces:
 S₂(0.45% C, Cr-W); S₆(1.0% C, Cr-W);
 S₇(1.4% C); E(1.0% C, 1.4% Cr);
 T(0.75% C, 1.4% Cr).

軸受鋼 (E); および 1.4% C ヤスリ鋼 (S-7) と、内部毛割れの発生しなかつた亜共析の 0.75% C, 1.4% Cr (T); 0.45% C, Cr-W 鋼 (S-2) は Fig. 6 に示すと

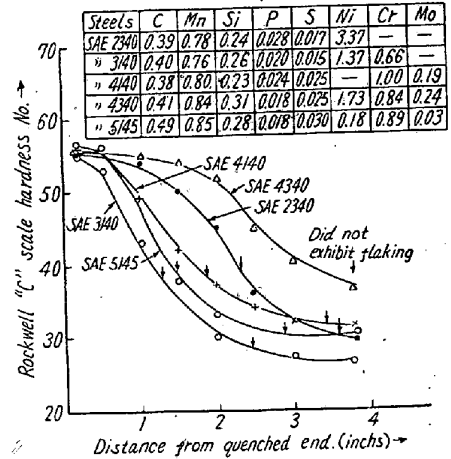


Fig. 9. Hardness curve for five steels compare position of flakes. Position of start and end of flaking are noted by arrows. (Dana, A.W. August 1955 Journal of Metals, p. 895~905)

くほとんど同一の焼入能である。

したがって A. W. Dana ら⁹⁾ののべている変態応力説ですれば、4 鋼種とも内部毛割れを発生するか、さもなくば、すべて発生してはならないことになる。したがって、Fig. 8 に示した現象は変態応力説では説明できない。しかるに、Fig. 7 にその 1 例を示すとく、マクロ内部毛割れの発生している箇所はすべて“網状炭化物亀裂”が存在していることより、上記の現象は“網状炭化物亀裂”の存在を考慮に入れることによつて簡単に説明しえられるのである。

また、1.0% C, Cr-W 鋼 (S-6) は Fig. 8 に示すとく、過共析鋼にかかわらずマクロ毛割れを発生していない。これは焼入能が強いため焼入端、空冷端とも網状炭化物が析出せず、したがって“網状炭化物亀裂”が発生していないためである。しかるに、この過共析鋼の大試料 (40×50 mm², 長さ 150 mm) に水素添加して、空冷すると、試料の中心部に網状炭化物が析出し、“網状炭化物亀裂”が発生して、マクロ毛割れを起すのである。

以上より、過共析鋼で Acm 変態を起す場合の白点について論ずる場合は、必ず“網状炭化物亀裂”について論じなければならないことが明らかとなつた。

V. 総 括

“網状炭化物亀裂”の発生していない 1.4% C ヤスリ鋼; 1.0% C, 1.4% Cr 軸受鋼; 1.0% C, Cr-W 工具鋼等の鋼片外周部より切り出した試料に水素添加を行いつぎの諸点を確認した。

(1) 水素添加により、過共析鋼に“網状炭化物亀裂”が発生することを確認し、“網状炭化物亀裂”の主原因が過飽和水素であることを明らかにした。

(2) 過共析鋼のマクロ毛割れ、破断面における白点は、“網状炭化物亀裂”そのものを肉眼的に検出しているにすぎないことを明らかにした。

(3) 従来、亜共析鋼の白点発生の原因についてのべられてきた諸説では説明できない過共析鋼の白点発生の特性が、この“網状炭化物亀裂”の存在を考慮に入れることによつて、明確に解明できることを明らかにした。(昭和 31—8 月寄稿)

文 献

- 1) 学術部第 19 小委員会報告Ⅱ(1936) p. 145~146
- 2) 本多光太郎, 広根徳太郎: 学術部第 19 小委員会報告Ⅴ(1937) p. 51~53

- 3) J. H. Andrew: H. Lee: A. K. Mallik: and A. G. Quarrell: Journal of Iron and Steel Inst. (1946) 153 No. 1, p. 67~113
- 4) 下川義雄: 鉄と鋼(1949) p. 54~59
- 5) H. Bennek: H. Schenck and H. Muller: Stahl und Eisen (1935) 55, p. 321~331
- 6) 本多光太郎, 広根徳太郎: 学術部第 19 小委員会報告Ⅰ(1936) p. 111~117
- 7) I. Musatti and A. Reggiori; Metal Progress (1936), 30, p. 51~56
- 8) A. W. Dana: F. L. Shortsleeve and A. R. Troiano: Journal of Metals (1955) p. 895~905
- 9) J. B. Gero and A. R. Troiano: Iron Age (1953) p. 133~137

ガス滲炭に関する研究†

(市販耐熱鋼および電熱線材の各種雰囲気に対する耐侵食性について)

河上益夫*・小室登**・結城晋***

STUDIES ON THE GAS CARBURIZATION

On the Erosion Resistance of Many Kinds of Steel and Electric Heating Elements for Controlled Atmospheres.

Masuo Kawakami, Dr. Sci., Noboru Komuro, and Susumu Yuuki

Synopsis:

Such parts as gas converting retort, heating retort, muffle, basket, fixture, net, conveyer, fan, fan shaft, etc. made of heat resisting steel and also metallic heat elements or radiant tube usually are used to controlled atmospheres furnace for gas carburizing, bright heating or gas carbonitriding.

These parts are eroded at high temperature due to oxidizing, carburizing, nitriding or carbonitriding.

In this paper are reported such erosions observed as for many materials treated in controlled atmospheres. As the results these materials are classified to four types of erosion, A, B, a and b.

I. 緒 言

ガス滲炭をはじめ鋼の光輝加熱,あるいはガス滲炭窒化などのように調節雰囲気による熱処理を実施する炉には耐熱鋼製品が多く必要とされる。すなわちガス変成レトルト,鋼材加熱マッフルならびにトレイ,バスケットフィクスチャー,ネット,レール,コシペアー,雰囲気攪拌ファン,軸などのごときである。これらはラジ

ントチューブや電熱線のような発熱体とともに高温で長期間それぞれの気流に曝されるために滲炭あるいは滲炭窒化作用を受ける。またNH₃分解レトルトの内面などは窒化され,大気あるいは加熱燃料の燃焼生成ガスと接

† 昭和 31 年 4 月本会講演大会(東京)にて講演

* 東京工業大学教授, 理博

** 東京工業大学

*** 日本精工