

のように安定な窒化物をつくり、固溶窒素を減少せしめる作用を有するものは黒鉛化を著しく促進する。また Cr, Mn, W, Mo のような炭化物形成元素はセメンタイト中に濃縮して炭化物を安定にし、Si, Al, Ni は微量ながらセメンタイト中に溶けて不安定にする。Ti, V は特殊炭化物をつくるためにセメンタイトを安定化させる効果は少なく脱窒による黒鉛化促進作用の方が大きくあらわれる。

(3) 冷間加工による黒鉛化促進作用は冷間加工によつてセメンタイトに加えられる歪によつてセメンタイトが不安定になるためと考えられる。冷間加工を行なった場合にはマルテンサイト化の場合ほど窒素による黒鉛化阻止効果が顕著ではないが、これは冷間加工による加工歪によつて窒素の溶解度が減少して窒化物として析出し、固溶窒素量が減少するためと考えられる。なお冷間引抜後の黒鉛化におよぼす合金元素の影響は、マルテンサイト組織の場合とほぼ同様である。マルテンサイト組織のものを 650°C に加熱した場合も、冷間引抜を行なったものを 650°C に加熱した場合の黒鉛化も、セメンタイトが不安定となつて分解するという点においては同一機構によるものと考えられ、このセメンタイトの安定性に合金元素が影響する。

(4) 水焼入してマルテンサイト化したのち変態点以上に加熱すると黒鉛化がかなり阻止されるが、これはマ

ルテンサイトを焼戻す過程において析出する微細なセメンタイト中に黒鉛核が生成され、650°C に長時間加熱すると急速に黒鉛は生長するが、短時間でマルテンサイトを焼戻し 650°C に保持することなく変態点以上に加熱すると黒鉛核の一部が消失し、その後 650°C に長時間加熱しても黒鉛化の進行は著しく遅くなる。なお冷間加工を行なったのちに変態点以上に加熱しても同様に黒鉛化の進行が阻止される。(昭和 36 年 11 月寄稿)

文 献

- 1) 山中, 日下: 鉄と鋼, 44, (1958) 10, p. 1180
- 2) " " 45 (1959) 1, p. 45
- 3) " " 45 (1959) 2, p. 110
- 4) " " 45 (1959) 5, p. 500
- 5) B. F. BROWN: Iron Age, 166 (1950) Aug., p. 64~68
- 6) A. M. HALL: Materials & Methods, 40 (1954) No. 5, p. 96~99
- 7) E. HOUDREMONT: Handbuch der Sonderstahlkunde, (1956), p. 433~438
- 8) 佐藤, 金子, 西沢: 金属学会誌, 19 (1955), p. 445~448
- 9) C. R. AUSTIN, M. C. FETZER: A.I.M.E. Trans., (1941), p. 145, 213
- 10) W. E. DENNIS: J. Iron & Steel, Inst. (U.K.), (1952) May, p. 59~63
- 11) 佐藤, 西沢: 金属学会誌, 19 (1955), p. 385~389

高周波焼入鋼の焼割れ感受性におよぼす 非金属介在物の影響について*

本 間 八 郎*

Effect of Nonmetallic Inclusions on Sensitivity of Steel to Induction-Hardening Crack.

Hachiro HOMMA

Synopsis:

To select the induction hardening steels, the author studied the effect of the nonmetallic inclusions on the sensitivity to induction-hardening crack.

Namely, making use of the properties of the sulphide inclusions that of shape and distribution were changed remarkably by deoxidizing method in the steel melting, the author had prepared many crack test specimens that contained the abovementioned inclusions and various oxides, and examined the crack test by repeated quenching method on the induction hardening.

* 昭和 35 年 10 月本会講演大会にて発表 ** 株式会社日立製作所亀有工場

The experimental results are summarized as follows:

(1) The effect of the finely dispersed silicates, alumina and globular or polygonal sulphides in the cast steels on the crack sensitivity was not clear.

(2) On the contrary, the eutectic type sulphides in the primary grain boundaries gave a distinct effect on the crack sensitivity.

Namely, about 0.1% (area ratio) or more of the entectic sulphides increased the crack sensitivity with the 0.72% C cast steel.

I. 結 言

高周波焼入は、局所の急熱急冷による硬化法であるため、前報¹⁾に述べた通り、焼入途中において普通焼入と異なつた内部応力が発生する。しかして、使用鋼材、被焼入面の形状および焼入方法のいかんによつては非常に焼割れを生じやすい。

鋼材の焼割れ感受性については、従来主として、普通焼入における鋼中の合金元素の影響を中心に調べられたものが多く²⁾、高周波焼入における系統的な報告は余り見当らない。そこで、著者は高周波焼入適性材料を選択する目的で、鋼中の合金元素³⁾および非金属介在物の影響を調査した。本報では特に非金属介在物の影響について報告する。

II. 清浄度を異にする試料の準備

焼割れに対する非金属介在物の影響は、焼入時に発生する熱または変態応力に対して、切欠効果を与え、また特に結晶粒界に連鎖状に集るようなことがあれば、そこから破断されやすくなると考えられる。高周波焼入では、一般に焼入時の内部応力が大きくて、局部に集中されるため、特にこれらの影響が大とならう。この点から考えると、介在物そのものの組成あるいは性質よりも、形状および分布状態の方が重要な意味を持つと考えられる。そこで、従来の介在物の成因に関する研究を利用して、介在物の形状および分布が種々に変つた鑄鋼試料を溶製し、これに対して実験を行なうことにした。

脱酸生成物、脱硫生成物として存在する鋼中の固有介

在物(外来介在物は本研究の対象から除外した)には単純または複雑な各種の酸化物、硫化物、窒化物などがあるが、本実験ではこれらの中、アルミナ、珪酸塩、硫化物およびそれらの複合物を対象とした。

1938年、SIMS および DAHLE⁴⁾は Al その他の脱酸剤で処理した 0.20% 炭素鑄鋼中の硫化物介在物の広汎な金相学的研究の結果を集約し、硫化物の形状が脱酸程度によつていちじるしく変化することを明らかにした。そして、Type 1~3 までの分類をしている。

一方、酸化物、珪酸塩系統のものは、これらの鋼浴に対する溶解度が、同温度の硫化物よりはるかに小さいので、結晶粒界に連鎖状にあらわれることは少なく均一に分散することが多い。この介在物に対しても多くの研究者によつて金相学的、岩石学的に研究され^{2, 3}の分類が提出されている⁵⁾。

以上の事柄から、焼割れに対する介在物の形状および分布状態の影響を見るために、硫化物を主体にし、これに Al_2O_3 、珪酸塩の量の影響も調査すべく、50 kg 高周波誘導炉を用い、Table 1 の条件で溶解した。特に清浄度の悪い試料を得る目的で、出湯温度を高くして鋼浴の過剰の酸化をねらつた。Al の添加は、すべて鑄型添加とし、炉中であらかじめ Fe-Si, Fe-Mn で脱酸した湯を注湯した。溶解 No. 3 および No. 4 は S 0.03 および 0.06% 当量の FeS を加えた。鑄型は、実体部 50 ϕ \times 300 mm の乾燥砂型を用いた。Table 2 に試料の目標成分を示す。鑄込んだ 20 本の丸棒は、押湯部を取り除いた後、全試料、950°C \times 4 h 緩除冷 (600°C まで 10°C/h 以下自然炉冷) の高温焼鈍を行ない、焼入 (850°C \times 1 h 油冷)、焼戻 (600°C \times 2 h 油冷) した。この前

Table 1. Melting conditions of heats.

Ch. No.	Charged materials					Temp. of melt tapping (Values of op. pyr.)	Note
	Pure iron	Fe-C	Fe-Si	Fe-Mn	Fes		
1	54.7 kg	6.3 kg	250 g	265 g		1550°C	25 kg tapped
2	Fe-Si 150 g and Fe-Mn 155 g added to the remains of Ch. 1 melt					1550°C	
3	55.9 kg	6.3 kg	685 g	515 g	55 g	1560°C	25 kg tapped
4	Fe-Si 22 g, Fe-Mn 85 g and FeS 28 g added to the remains of Ch. 3 melt					1560°C	

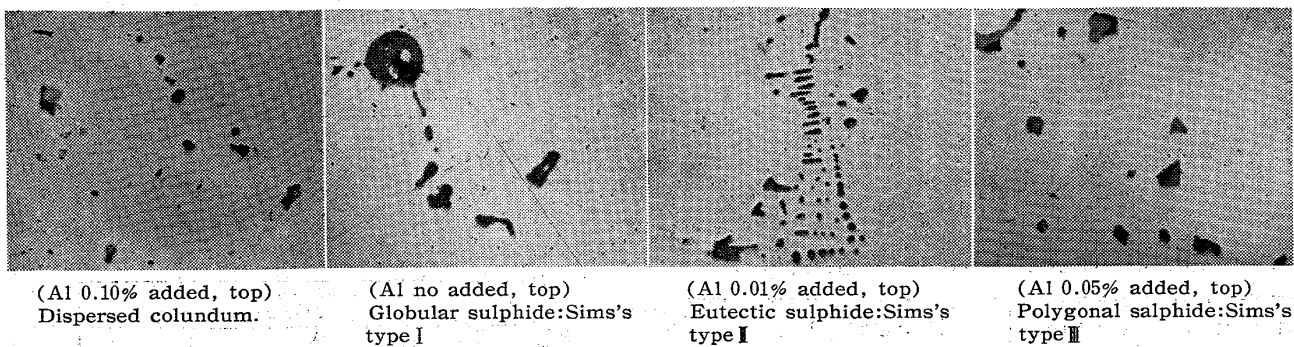


Fig. 1. Microphotograph of nonmetallic inclusions in crack test specimens (ch. No. 4). $\times 400(2/3)$

Table 2. Aimed compositions of heats (%)

Ch. No.	C	Si	Mn	S
1	0.50	0.10	0.30	<0.020
2	//	0.30	0.50	<0.020
3	0.70	0.50	0.60	0.030
4	//	0.50	0.80	0.060

処理後、各丸棒の頂部、中央部および底部より5~6箇の焼割れ試験片に機械仕上げし、さらにその中から1箇所づつを介在物の検鏡試料に供した。検鏡の結果、各試料には SIMS⁴⁾らの分類した各型の硫化物および酸化物、珪酸塩などが存在しているのが明らかであった。その1例を Fig. 1 に示す。これら試料にあらわれた各種の介在物について、著者は形状と分布を考慮して、次の三群に分類した。

I 群: 一次晶粒界に連鎖状にあらわれた共晶型硫化物 (SIMS⁴⁾らの Type I 硫化物)。

II 群: 分散した球状または多角形硫化物 (SIMS⁴⁾らの Type I および Type II 硫化物)。

III 群: 分散したアルミナおよび珪酸塩類。

試料の清浄度の測定は JIS 第3法の点算法により、これら各群の介在物について、おのおの視野数 30 で面積率を求めた。

III. 焼割れ感受性の判定方法と高周波焼入条件

CHAPMAN および JOMINY²⁾ は偏心リング状試料を用いて、薄肉部に生ずる焼割れと材料の化学成分および Ms 点との関係を求めている。これは普通焼入の場合であるが、高周波焼入における実験としては、大阪府総合科学技術委員会の高周波部会において、繰返し焼入による焼割れ発生にいたる回数を尺度とすることが提案された。この方法は1種の膨脹収縮の繰返しによる疲労試験のようなものであり、この機構をしらべるために、三谷

広瀬、小林ら³⁾は、0.42% C 炭素鋼の $30\phi \times 16\phi \times 4$ mm のリング状試料を用いて高周波繰返し焼入における歪、硬度分布および内部応力の変化を求めている。そして、結論として、割れの原因は「繰返し焼入の回数を重ねる割合に、内部応力は増加せず、極端なる軸方向の変形と硬度の低下などを考えあわせると、材質の劣化が最大の原因と思われ、熱疲労のごときのものである。」と述べている。

CHAPMAN ら²⁾の方法は、高周波焼入に適用する場合、加熱の点で問題がある。介在物は応力集中や局所の延性低下として影響すると考えられるので、疲労試験に似た繰返し焼入には介在物の影響が明瞭にあらわれるであろう。また、焼割れ感受性の指数が与えられるのでデータの取扱いに便利である。この二つの理由から、本研究には後者を採用することにした。

さて、焼入前処理を前述した通りに行なった後、 $35\phi \times 10\phi \times 10$ mm のリング試験片に機械仕上げした。高周波焼入は、430kC、75kW の真空管発振式を用い Table 3 に示す条件で回転定置焼入を行なった。1回焼入ごとに蛍光浸透磁気探傷で焼割れを綿密にしらべ、割れを生じなかつたものはさらに同一条件で焼入れた。このようにして割れ発生までの焼入回数を求めた。この焼入回数より、Table 4 のごとく順位をきめ、この数値をもつて焼割れ感受性の指数とした。

IV. 実験結果および検討

(1) 試料の性状

全試料について化学成分、清浄度およびオーステナイト結晶粒度をしらべた。これらの結果の一部を Table 5 に示す。オーステナイト結晶粒度は学振の浸炭法 (浸炭 $925^{\circ}\text{C} \times 6$ h 徐冷) によつた。本試料は鑄鋼であるが、砂型に鑄込んだため、ほとんど柱状晶は発達せず、粒状にあらわれた。

(2) 温度分布および焼入後の硬度分布

Table 3. Induction-hardening conditions.

Heating				Air-cool. time	Spray water quench.	
Plate voltage	Plate current	Grid current	Time		Time	Temp.
4.5 kV	1.7A	0.32A	7.2 s	1.2 s	5.0 s	19°C

Table 4. Crack sensitivity index.

Number of quenching times to cracking	Crack sensitivity index
1	5
2	4
3	3
4	2
5	1
Above 5	0

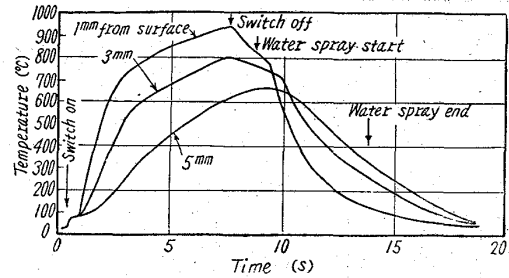


Fig. 2. Temperature at each position of specimen during induction hardening.

Fig. 2 に高周波焼入における加熱冷却曲線を示す。前報¹⁾で述べたと同様な方法で3点について測定した結果である。表面より1mmの位置では最高加熱温度950°C、水冷による急冷開始の温度は770°Cとなっている。

Fig. 3に、1回焼入後の試験片を切断し、荷重100gのマイクロヴィッカース硬度計で測定した硬度分布を示す。硬化深度は、いずれも2.5~3mm程度となっている。

(3) Al 添加量と清浄度との関係

全試料について測定した試料の清浄度から、まず全介在物の面積率とAl添加量との関係を求めた。これをFig. 4に示す。この結果によれば、各溶解とも、清浄度とAl添加量との関係が明らかでなく、また試料の位置との関係も明確でない。しかし、清浄度の範囲は、No. 1 0.1~0.4%, No. 2 0.1~0.4%, No. 3 0.2~0.8%, No. 4 0.4~1.2% であつて、全体としてNo. 1からNo. 4になるほど清浄度が悪くなつてゐることが認めら

Table 5. Chemical composition, cleanliness and γ grain size for Ch. No. 4 heat.

Chemical composition	Al add. (%)	Top		Middle		Bottom	
		Cleanliness*	γ grain size	Cleanliness*	γ grain size	Cleanliness*	γ grain size
	0	** I = 0.358% II = 0.175 III = 0.550	2.5	I = 0.292% II = 0.125 III = 0.242		I = 0.075% II = 0.142 III = 0.567	
C 0.72% Si 0.53	0.01	I = 0.142 II = 0.117 III = 0.108	{1.0(60%) +4.0(40%)}	I = 0.342 II = 0.100 III = 0.250		I = 0.350 II = 0.105 III = 0.228	
Mn 0.82 P 0.011	0.03	I = 0.050 II = 0.383 III = 0.416	7.0	I = 0 II = 0.459 III = 0.083		I = 0 II = 0.533 III = 0.675	
S 0.062	0.05	I = 0.008 II = 0.467 III = 0.658	{7.0(83%) +5.0(17%)}	I = 0.008 II = 0.308 III = 0.092		I = 0.008 II = 0.308 III = 0.117	
	0.10	I = 0.008 II = 0.275 III = 0.383	6.5	I = 0.008 II = 0.367 III = 0.233		I = 0.008 II = 0.300 III = 0.142	

* By point-accounting method

** I = Group I inclusions (Eutectic type sulphide)

II = Group II inclusions (globular sulphide)

III = Group III inclusions (Al₂O₃ and silicate)

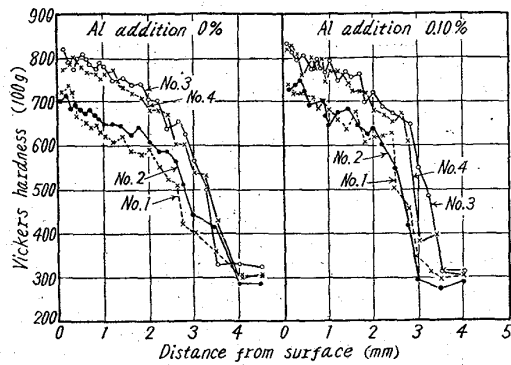


Fig. 3. Hardness distribution of specimens after one time quenching.

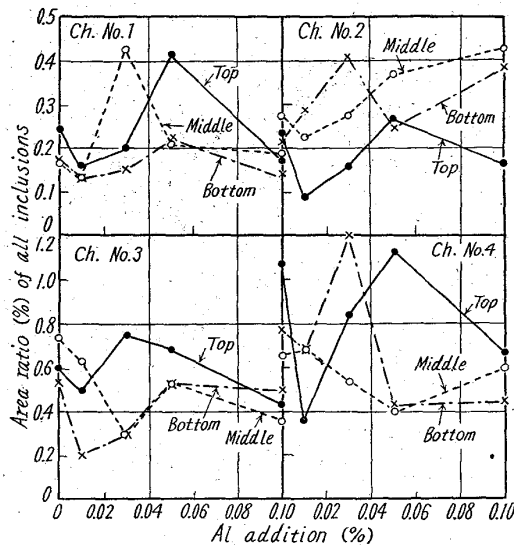


Fig. 4. Relation between area rate (%) of all inclusions and Al addition (%).

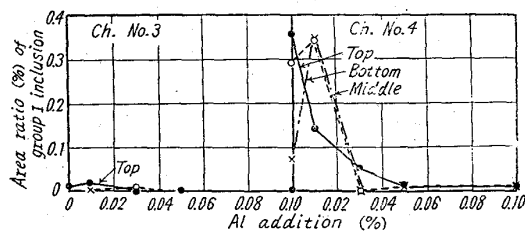


Fig. 5. Relation between area rate (%) of group 1 inclusions and Al addition (%).

れる。これらは、ここで示した清浄度が硫化物、珪酸塩、アルミナその他の酸化物すべてを含んでいるためである。

次に、共晶型硫化物 (I 群介在物—Sims⁴⁾ の Type I 硫化物の面積率と Al 添加量との関係を求めた。この種の硫化物は溶解 No. 3 (S₀0.045%) および溶解 No. 4 (S₀0.062%) のみにあらわれ、とくに No. 4 はかなり多く認められた。これと Al 添加量との関係は Fig. 5 のごとくで、No. 3, No. 4 とともに Al 0~0.03% であら

Table 6. Crack sensitivity index of all specimens.

Ch. No.	Al add. (%)	Top	Middle	Bottom
No. 1				
C	0.57%	0		000
Si	0.06	0.01		0000
Mn	0.25	0.03		00000
P	0.018	0.05		00
S	0.018	0.10		000
No. 2				
C	0.53%	0	5 5	55555
Si	0.41	0.01	000	004 0
Mn	0.54	0.03	000	00000
P	0.013	0.05	000	00000
S	0.019	0.10	000	00000
No. 3				
C	0.77%	0	5355	5320
Si	0.49	0.01	0023	300
Mn	0.64	0.03	3030	2231
P	0.013	0.05	2313	4143
S	0.045	0.10	44 3	5434
No. 4				
C	0.72	0	234	4424
Si	0.53	0.01	4423	4423
Mn	0.82	0.03	2000	10201
P	0.010	0.05	0040	52310
S	0.062	0.10	331	30110

われ、それ以上 Al 添加量を増すと急激に減じている。この関係は合金成分、とくに炭素量によつて変化するようである。この辺の様子は SIMS および DAHLE⁴⁾ の実験結果とよく一致した。

(4) 清浄度と焼割れ感受性との関係

実験方法で述べた通り、全試料について高周波繰返し焼入を行ない、Table 4 の焼割れ指数を求めた。この結果を一括して、Table 6 に示す。焼割れ感受性は前述した通り、影響する因子が多く、清浄度との関係を一元的に求めることは危険である。Table 6 に示す通り、各溶解とも化学成分がかなり異なるのでおのおのについて考察しなければならない。例えば、溶解 No. 1 の試料であるが、これは試料数が少ないが、すべて指数 0 である。いかえれば、全試料、5 回以上焼入れても割れを生じなかつた。この場合は非金属介在物あるいはオーステナイト結晶粒度などの影響よりも、合金成分の影響が大きくさいていると考えられる。すなわち、No. 3, No. 4 にくらべて C 量が低く、また Mn, Si 量は他のいずれの試料よりもかなり低くなつている。とくにこの中の C および Mn の低いことが最も影響を与えていると考えられる。

さて、試料各部より得られた 2~5 箇の試験片の焼割

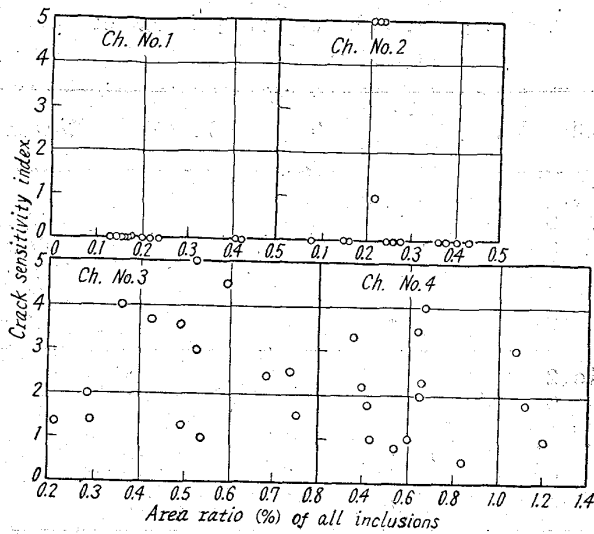


Fig. 6. Relation between area rate (%) of all inclusions and crack sensitivity index.

れ指数から平均値を求め、まず、全介在物面積率との関係を求めた。その結果を Fig. 6 に示す。No. 1 および No. 2 は打点が偏在して清浄度との関係は全く認められない。これについては後述するが、他の原因が考えられる。No. 3 および No. 4 については打点が分散し、やはり相関が求められない。すなわち清浄度の非常に悪いものでも、比較的焼割れ感受性の低いものもあり、またこれと反対のものもある。

以上は、形状の丸い、分散した介在物も含んだ面積率であるので、次に結晶粒界にあらわれた共晶型硫化物 (I 群介在物) のみを選び、これの面積率と焼割れ感受性との関係を求めた。その結果を Fig. 7 に示す。No. 3 はこの種の介在物を含む試料が少なかったので影響が明らかになつていないが、No. 4 は介在物量との関係が明らかに認められる。すなわち Fig. 7 の右に見られる通り面積率約 0.1% 以上から焼割れ指数が増大し、0.4% 程度になると約 4 となる。これは 2 回の焼入で割れることを意味する。これと Fig. 6 との結果から、この種の鋼鋼においては、非金属介在物の焼割れに対する影響は、特に結晶粒界に連鎖状または共晶にあらわれる介在物が関係し、その他の粒内に分散したものは、かなり多くてもあまり影響がないように思われる。すなわち、硫化物の中のどくに共晶型のものが焼割れを増させると見でよいであろう。Photo.1 に焼割れ付近の顕微鏡写真を示す。これらの焼割れは、焼入直後ないしは数分後、試験片の端面に円周方向にあらわれた。マルテンサイト化の変態応力によるものと思われる。

以上非金属介在物を中心に焼割れの原因をしらべたが、これのみでは説明のつかぬ結果も多い。溶解 No. 4

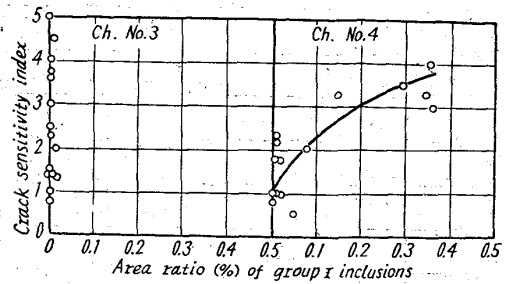
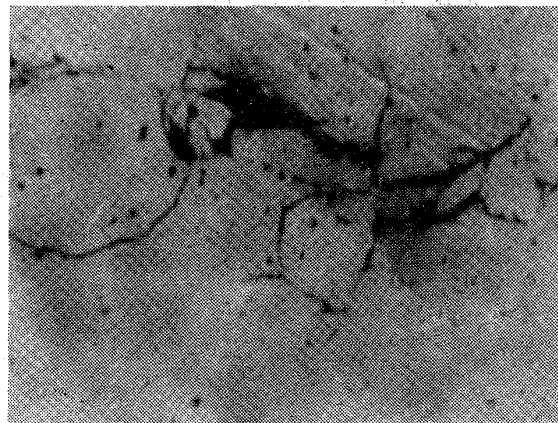


Fig. 7. Relation between area ratio (%) of group I inclusions and crack sensitivity index.



Cracks run through inclusions in the austenite boudries. Photo.1. Microphotograph of quenching cracks (after one-time quenching). $\times 800(1/1)$

のものは明らかに介在物の影響が認められたが、その他は明らかでない。そこで、結果に影響をおよぼすと考えられるオーステナイト結晶粒度および偏析を調査した。オーステナイト結晶粒度は、溶解 No. 1 を除き Al 添加量によつて顕著に変つていた。No. 1 は他の試料にくらべて結晶粒度はきわめて大きく、学振 No. 1~2 程度であつたが、全数焼割れを生じなかつた。この場合は、前述した通り、むしろ化学成分が原因しているであろう。No. 2 は Al 無添加のものは全数 1 回で割れ (焼割れ指数 5) 0.03% 以上添加のものは 5 回以上の焼入れでも割れなかつた。すなわち、Al 添加の有無で焼割れ感受性の差がついたと思われる。Al 添加の影響が直接きく鋼中のガス成分やオーステナイト結晶粒度が焼割れ感受性を助長せしめたとも考えられるが、本実験の範囲では明確にその原因をつかみ得なかつた。Table 7 は溶解 No. 2 および No. 4 試料の Al 無添加のものについて、焼鈍、焼入焼戻後、頂部、中央部および底部から分析試料を採取して偏析をしらべた結果である。なお、直径方向の偏析も考慮して試料は各位置とも丸棒の外周付近から採取した。これによると、Si, Mn, S に若干分析値の相異が認められ、焼割れに最もいちじるしい影響をも

Table 7. Chemical compositions of each position in heats (%).

Ch. No.	Positions	C	Si	Mn	P	S
No. 2	Top	0.55	0.45	0.55	0.012	0.016
	Middle	0.53	0.41	0.51	0.011	0.014
	Bottom	0.55	0.44	0.46	0.011	0.013
No. 4	Top	0.73	0.61	0.72	0.010	0.061
	Middle	0.72	0.62	0.74	0.011	0.064
	Bottom	0.71	0.68	0.72	0.011	0.066

つC%は平均している。この他の試料についても顕著な偏析は認められず、総じてこの程度の分析値の相異を No. 2 などの試料に見られた不明の現象に関係づけることは困難である。

V. 結 言

鋳鋼中の硫化物介在物が脱酸方法によつて、顕著に形状および分布状態が変るのに着目し、この種の介在物および酸化物系の清浄度の異なつた試料によつて高周波焼

入における焼割れ試験を試みた。その結果、次の事柄が結論される。

(1) 鋳鋼に存在する分散した珪酸塩、アルミナ系および球状または多角形の硫化物介在物は、焼割れ感受性に対する影響が明らかでない。

(2) これに対して、一次晶粒界にあらわれる共晶型硫化物は影響を与える。C 0.72% 炭素鋳鋼では面積率約 0.1% から、焼割れ感受性を増大せしめた。

(昭和36年11月寄稿)

文 献

- 1) 本間: 鉄と鋼, 48 (1962) 7, p. 856
- 2) R. D. CHAPMAN and W. E. JOMINY: Metal Progress, Sept. (1953), p. 67
- 3) 本間: 昭和 37 年春季大会前刷
- 4) SIMS, C. E. and F. B. DAHLE: Trans. Amer. Foundrymen's Assoc., 46 (1938)
- 5) S. L. CASE and K. R. VAN HORN: Aluminum in Iron and Steel, (1953)
- 6) 三谷, 広瀬, 小林: 大阪府工業奨励館報告 No. 4~2, (1952)

γ 型 Fe-Co-Cr-Ni 基耐熱合金に現われる
新二次相について*

(γ 型耐熱合金の焼戻過程に関する研究—VI)

増 本 健**

New Secondary Phase in the γ Type Fe-Co-Cr-Ni Base Heat-Resisting Alloy

(Studies on tempering process of the γ type heat-resisting alloys—VI)

Tsuyoshi MASUMOTO

Synopsis:

An unknown phase, which had been detected in the aged LCN-155 type alloys and temporarily designated as "X", was examined and discussions were made on the correlation with the additional elements such as C, N, Mo, W and Cb, the precipitate reaction in alloy during aging, the X-ray diffraction pattern, the lattice parameter, the specific gravity, and the chemical composition.

As the results, it was concluded that an unknown phase in the LCN-155 type alloys should be the new secondary phase unlike the well-known phases such as $M_{23}C_6$, M_6C and η' phase.

Further, a model of crystal structure was presented for the new phase. It was presumed that this phase, which was newly named as "π", might be the carbo-nitride compound having the following crystal structure:

* 昭和 34 年 4 月本会講演大会にて発表 ** 東北大学金属材料研究所, 工博