

間の関係を数量上から有機的に結びつけることが出来た。又、高温酸化による圧延のスケール・オフの深さ ( $D, \text{cm}$ ) を算出可能な関係式  $D=1/(f-1) \times y/7.8$  を導いてスケール・オフの深さと酸化増量加熱温度及び同速度間の関係も明瞭にし、更に加熱条件と気泡位置及び気泡疵発生との関連性に関して考察した。

(昭和 29 年 2 月寄稿)

文 献

- 1) 設樂, 岡田: 鐵と鋼誌, 第 37 年, 第 8 號, 1~7.
- 2) 井上, 副島: 鐵と鋼誌, 第 38 年, 第 5 號, 24~28.

## 鑄鋼の高温割れ傾向の新試験法

(昭和 28 年 10 月本会講演大会にて発表)

沖 進

### A NEW METHOD FOR EVALUATING OF HOT-TEARING TENDENCY OF CAST STEEL

*Susumu Oki*

## Synopsis:

A type of miniature test casting was devised as the means of investigating the influence of chemical composition of cast steel upon hot-tearing tendency. The test casting consisted of a 40mm diameter vertical cylinder with four horizontal and radial branches, each 70 mm long.

The casting weighed so small as 2kg that it could be poured from an ordinary sampling spoon.

Mould cavity for each branch was made of a 8mm I. D. quartz tube, one end of which penetrated into the central mould cavity for the vertical cylinder, the depth of penetration being 10mm.

The contraction of the branch was restrained by a steel pipe which was inserted in between the vertical cylinder and a small flange at the outer end of the branch. This restrained contraction caused a complete or incomplete hot-tearing at the junction of the branch and the vertical cylinder. The hot-tearing tendency of a cast steel could be evaluated from the load required for the fracture of the branch at room temperature and also from the area of hot-tear on the fractured surface, provided that the mechanical and thermal variables of the casting were kept constant.

Reproducibility and sensitivity of the result were satisfactory. For example the difference between hot-tearing tendencies of two heats of steel containing 0.020% and 0.030% sulphur respectively could be discerned clearly by pouring only a pair of spoon samples of steel. Although the test casting was very small in size, the cooling of the portion where hot-tearing occurred was as slow as that of a 40mm diameter cylinder casting or of a 20mm thick plate casting. So the results of investigation by this test casting might well be applied to castings having wall-thickness of 10-30mm. Another significant advantage of this method was that there was only a limited amount of

\* 日本車輛製造 K.K.

oxide film or scale formed on the surface of hot-tears, so that it was possible to examine more precisely the microscopic appearance of hot-tears in various types of steel castings.

## I. 緒 言

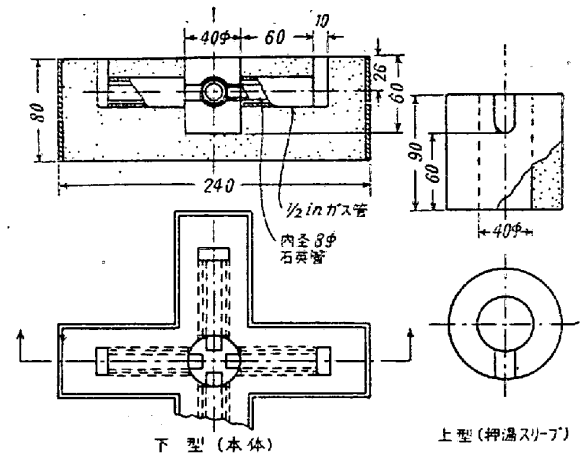
鑄鋼や非鉄合金鑄物は高温割れの傾向を有しこれの防止は鑄造技術上の重要な課題であるが、熔金の化学組成が割れ傾向に及ぼす影響を明らかにすることはこの課題の重要な一項目である。その研究方法は一定の鑄型に一定の鑄込条件で種々の熔金を鑄込み、高温割れの発生程度を一定の規準によつて判定し数値的に表示すると云うのが普通であり最も合理的と思われる。試験方法は再現性と感度とが良く実施が容易であることが望ましいのは云うまでもないが、尙もう一つの要件がある。熔金の高温割れ傾向とは一定の定義をもつ物理量ではなく、鑄型や鑄込の条件によつてその意味は変化するものであるから、試験法や判定法が異れば或る2種の熔金の高温割れ傾向の大小の順位が逆になることも起り得る。従つて試験鑄物はなるべく実際の鑄物と似た状態で冷却するのでなければ、その結果は実際の鑄物に当嵌めることは不適當となる。従つて又、高温割れ傾向の試験方法は一種のみならず数種を併用して結論を出すのが適當と思われる。

熔金の高温割れ傾向の試験法としては棒状試験鑄物によるもの<sup>1)2)</sup>、環状試験鑄物によるもの<sup>3)5)6)</sup>、放射状試験鑄物によるもの<sup>7)</sup>の外、高温抗張試験に属するもの<sup>8)9)10)</sup>等、いづれも夫々特長があり有益な結果を与えて居るのであるが、再現性、感度、実施の容易、実物との近似性などすべての点で満足出来るものは見当らないのである。著者は新に一試験法を確立し過去一年間に300個以上の試験鑄物を鑄込み、普通鑄鋼の各成分元素が高温割れ傾向に及ぼす影響を研究して居り、その結果は別報の予定であるが、この試験法は上記の諸要件を満足し、推奨出来るものと信ずるので、こゝにその実施方法、結果に及ぼす諸因子の影響、再現性、感度、特長及び欠点などについて報告する。本法の最も著しい特徴は試験鑄物を小型化したことである。

## II. 試験の方法

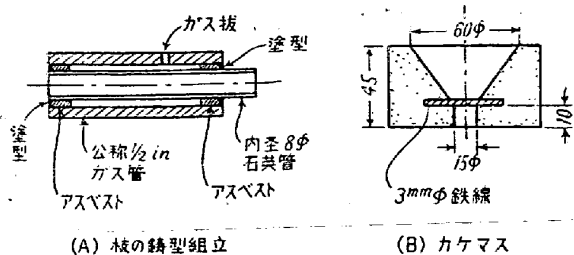
### (1) 試験鑄型

試験鑄型は第1図に示す通りである。鑄型枠は3mm厚の鋼板製で要所々々をリブで補強してあり、空重量は2.1kgである。上型は用いず、その代り型枠なしのスリーブ状の湯口兼押湯が中央に立てられて居る。四方にあ



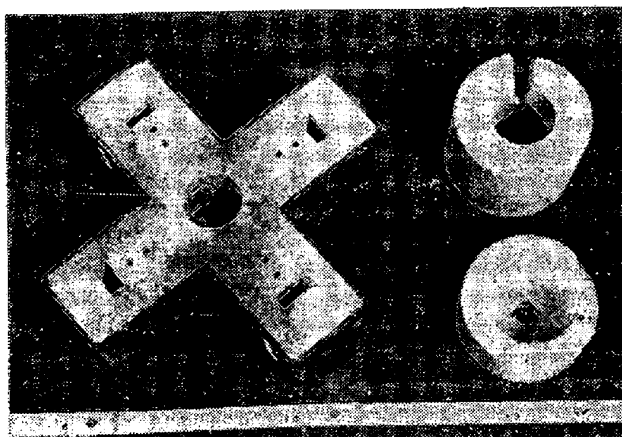
第1圖 試験鑄型

る小さな上りは上面を練瓦で抑える。鑄物砂は現在は乾燥型用合成珪砂を用いて居るが、生型砂でも差支えない筈である。鑄物の主要部は中央円筒と4本の枝とから成つて居る。中央円筒は40mmφの垂直の円筒で、下型内に60mmの深さに入つて居り、その上に同じ太さの湯口兼押湯が60mmの高さで接続して居る。4本の枝は約8mmφで水平に四方に出て居り、その長さは60mmであり、その先端には巾22mm、厚さ10mmで高さは型の上面迄達するフランジ状の小なる上りが附いて居る。枝の軸は型の表面から26mm下に位置して居る。この鑄物の特異な点は枝と中央円筒との接接部にある。枝は内径約8mmφの不透明石英管を鑄型として居り、この石英管は中央円筒内に深さ10mmだけ貫入して居る。従つて枝と中央円筒との金属の接続は中央円筒の表面から10mmの深さの所でなされるのである。石英管の全長は70mmある。更に石英管の外側には一定の空間を保つて公称1/2吋のガス管(鉄管)があるがこの鉄管の一端は中央円筒の表面に接し、他端は石英管と同じくフランジの面で終つて居る。この様に枝の鑄型の構造はやや複雑であるが、この部分が本試験の再現性の良否を決する要部であるから、造型に当つては石英管の直径が一定の規格内にあること、石英管の貫入深さの正確なこと、及び型材料よりのガス発生防止に留意して入念に作業するのである、この部を造型するには予め第2図(A)の部分の別途に組立ておき、これを主型の所定部に埋込んで上面を砂でおおうのである。石英管と鉄管との空間を一定に保つためには石綿を両端に詰め込み、更に石綿からのガスの発生を防ぐために小口に塗型

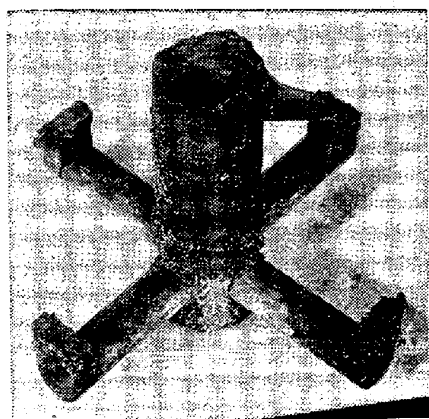


(A) 枝の鑄型組立 (B) カケマス

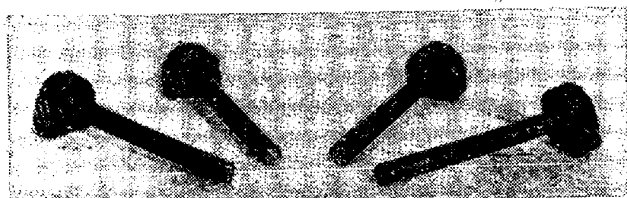
第2圖 枝の鑄型組立とカケマス



左 主 型  
右上 上型 (スリーブ)  
右下 カケマス  
写真第1 試験鑄型



(a) 全體 鐵管附着のまま



(b) 破斷した枝  
写真第2 試験鑄物

を施している。鑄型の全重量は鑄込前で 6kg、鑄込後で約 8kg であるから運搬にも労力を要しない。写真第1は主型、スリーブ、及びカケマスの外観を示す。写真第

2は (a) 試験鑄物の外観 (但し鐵管附着のまま) を示す。(b) は破斷した枝を示す。

(2) 試験鑄物の鑄込

試験しようとする熔鋼を炉からスプーンで約 2kg 汲出し、必要があれば種々の添加物を投入攪拌した後、第2図 (B) に示すカケマスを通してなるべく速かに鑄込を行う。鑄込時間は 3~5sec が普通である。カケマス使用の主目的は熔鋼の鑄込時における過熱度 (鑄込温度と液相点との温度差) を判定するにある。熔鋼の炉内温度は 1600~1650°C で、これは測定することも出来るがスプーン中で添加物や攪拌によつて温度は降下するから鑄込時の真温度は一定せずこれを知ることは困難である。本試験に於いて過熱度は概ね 150°~0°C の範囲内で変化が大きい、後述する様にそれが試験結果に及ぼす影響は小さいので、便宜上大体の過熱度をカケマスによつて判定して居る。カケマスは乾燥砂型で漏斗状をなしそのクビの所に直径 3mm の鉄線を横に渡してある。過熱度が大であれば鉄線は熔去り又カケマス内面には鋼の凝着は起らず、過熱度が小であれば鉄線は熔けず却つて鉄線上及びカケマス内面に鋼が凝着するから、これらの状況から過熱度の大小をかなり正確に判定することが出来る。或る判定規準に従つて鑄込温度を 5 階級に分つて判定記録して居る。第1表は或る期間に於ける鑄込温度の度数分布の例である。

第1表 鑄込温度の度数分布の例

鑄込温度	極高	高	中	低	極低	合計
温度記號	VH	H	M	L	VL	
度 數	9	25	22	28	10	94

鑄込後の押湯の高さはオーバーフローを用いて一定になる様にしている。

(3) 鑄込後の処理及び計測

鑄込後の鑄物は型中で常温迄放冷し取出し次の各処理及び計測を行う。

(a) 焼鈍

普通は行わないが鑄物が鑄放し状態では硬化又は脆化する様な化学組成を有する場合にはこれを行い、材質を出来るだけ普通鑄鋼の平均値に近づける。

(b) 枝の破斷試験

特別の掴み要具を用いて鑄物の 4 本の枝を夫々引張つて破斷せしめ、各枝の破斷荷重を記録する。

(c) 破斷面の高温割れ残り面積パーセンテージ測定  
枝の破斷面に於ける常温破面 (高温割れでない破面)

のパーセンテージを目測により測定、記録する。測定誤差は 10% 以内である。

(d) 分析試料採取

分析試料は中央円筒のなるべく枝に近い部分からドリルで採取する。

(e) 破断面の形状のマクロ的及びミクロ的観察

(f) 枝の直径の測定

石英管の太さが一様でないから枝の太さも一様でない。従つて枝は一本々々直径を測定し記録する。

(g) 測定値の処理

破断荷重には後述の如く枝直径に関する補正を施し、更に 4 本の枝の平均値と、要すれば 4 本の標準偏差を記録する。割れ残り面積パーセンテージについても同様のことを行う。

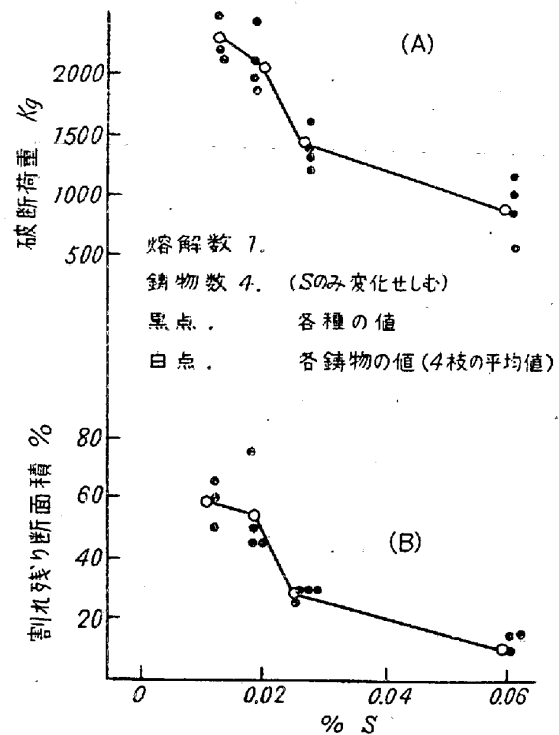
### III. 試験鑄物に於ける高温割れの発生

枝は断面積が小なる上に周囲を鉄管で囲まれているから鑄込後急速に冷却し収縮する。又、鉄管は熔鋼の熱を受けて膨脹する。枝と鉄管との長さ変化の代数差は容易に凝固しない中央円筒内部にある枝の付根の部分にしわ寄せられ、その局部に大きな引張歪速度を生ずる。中央円筒内で表面から 10mm の深さの所では、鑄込後概略 25sec 前後ではじめて樹枝状晶を生じ、更に数 10 sec 後に固相点の温度に達するが、その時期には枝の付根の部分は樹枝状晶の間に少量の液膜を含み、且つその液膜中には S, C, P などの不純成分を濃化しているので、極めて脆弱で少しの引張歪に対しても割れを生じ易い状態となつている。従つてこの局部には鋼の高温割れ傾向に応じた大きさの割れを生ずる。上述の割れ発生機構は Leas<sup>1)</sup> が非鉄合金鑄物に関し、又 Pellini 等<sup>13)</sup> が鑄鋼に関し説明している割れ機構と同じであり、本試験が一般の鑄物の高温割れを再現するものであることは明らかである。

更に本試験が合理的である理由の一つは、高温割れの起る部分が 40mmφ の円筒鑄物の内部であること、従つてこの部分の凝固及び冷却速度は厚さ 20mm の板状鑄物のそれに近似することである。従来の試験法の或るものに於いて鑄物の全量は大であるにも拘らず割れ発生部分の鑄物断面は比較的小さいのと比べて本試験法は優ると劣らない実物近似性を有すると考える。尙又、高温割れの起る領域内での温度勾配が少いこと、従つて従来の試験法で屢々問題とされる表皮と心部との凝固時期のズレに基因する複雑性がないことも本試験の利点である。

### IV. 感 度

本試験は高温割れ傾向を測定するためのものであるから、高温割れ傾向が試験結果に及ぼす影響に出来るだけ大きいこと、即ち試験の感度が大きいことを要する。所で鋼の高温割れ傾向の正確な定義は未だ無いのであるが鋼中の硫黄含有量が増すほど高温割れが起り易くなることは公認された事実であるから、今ここでは一応 S 含有量の差を以つて高温割れ傾向の尺度とし、この S 変化と本試験結果との関係を求めた。第 3 図 (A) は S 含有量と破断荷重との関係の一実験例、第 3 図 (B) は (A) に於ける試験片についての S 含有量と高温割れ残り面積パーセンテージとの関係を示す。この実験は 5t 炉の単



第 3 図 S 含有量の影響を示す実験結果の一例  
一の熔鋼から 4 個のスプーン試料を汲出し、1 個宛 S 含有量を変化させて 4 個の鑄物を鑄込んだものである。各黒点は各枝の試験値、各白点は各鑄物の試験値 (4 本の枝の試験値の平均値) を示す。この図からも本試験の感度を察することが出来る。即ち他の成分の含有量と同じとすれば、S 含有量 0.02% と 0.03% との差 0.01% による破断荷重の差は約 600kg である。

### V. 試験結果に及ぼす他の試験条件の影響

試験条件は出来るだけ一定とし鋼の化学組成のみを変化させてその影響を研究したいのであるが、試験条件の不可避的の変動は免れないから、それらの影響について

一応知つて置くことが必要である。次に各項目に分つて諸条件の影響について述べる。

- (1) 枝の長さの影響
- (2) 枝のフランジの厚みの影響
- (3) 鑄型の温度の影響
- (4) 鉄管の使用回数の影響

以上の4条件の影響については夫々実験したが、いづれも影響少く、それらの不可避的変動の影響は問題とならない。

- (5) 鑄型の搦固の硬度的影響

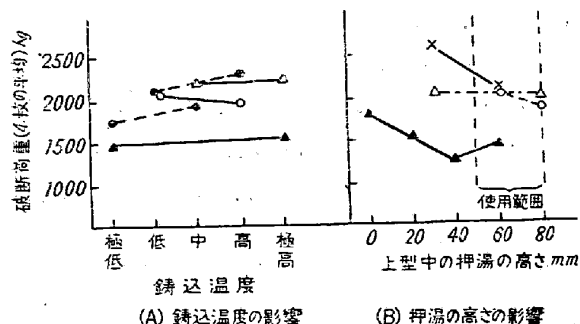
実験は行つていないが、本試験の機構上影響は無視出来ると思う。

- (6) 鑄込時間の影響

鑄込時間は3~5secの間であり、割れを生ずる時期は鑄込後1min前後と考えられるから、鑄込時間は後者に比し殆んど瞬間的である。又、割れの起る部分は鑄物の内部にあり、鑄込の瞬間に出来る凝固皮膜とは関係がない。これらの理由により鑄込時間の変動の影響は殆んど無いと思う。

- (7) 鑄込温度の影響

実際の鑄物に於いては鑄込温度は高温割れに大きな影響を及ぼす場合も多いが、その影響は間接的のもので、鑄型及び鑄物の温度分布に関係しており、鑄型の設計や鑄込方案の如何により一概には言えないとされている<sup>11)13)</sup>本試験鑄物について実験した結果は第4図(A)に示す如く、鑄込温度が破断荷重に及ぼす影響は後述の他の原因による誤差に比して無視出来る程度である。この理由から本試験に於いては鑄込温度の厳格な調節や測定が必要が無いので都合である。図に於いて各線は夫々一つの熔解内での鑄込温度の影響が小であることを示して居る。



第4図 破断荷重に及ぼす鑄込条件の影響

- (8) 押湯の高さの影響

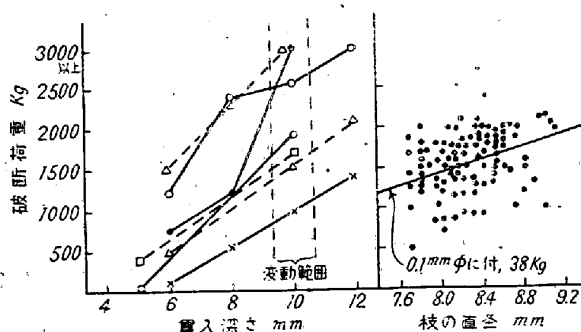
中央円筒上の押湯の高さ(上型内の長さ)の影響を実験した結果は第4図(B)に示す如くで、高さが50~80mmの範囲ではその影響は他の原因による誤差に比し

て無視出来る程小さい。

以上(1)~(8)より言い得ることは、誤差の大きさは鑄型間では異なること、言い換えれば誤差の主因は鑄型内の各枝に関して居ることである。

- (9) 枝付根の貫入深さの影響

同一鑄物内の4本の枝の貫入深さを変化させて、深さと破断荷重との関係を実験した結果を第5図(A)に示す。図中の各線は夫々1個の鑄物に対応して居る。各線の示す様に貫入深さの影響は極めて大きい。この理由は未だ明らかでは無いが、貫入深さの増加と共に枝の付根部の凝固時期が遅くなることに関係があると考えられる。貫入深さを10mmと指定した場合、この深さの変動は1mm迄は避けられないから、この変動に基因する結果の変動は無視し得ない大きさとなり、偶然誤差の主因をなすと考えられる。本影響は破面の高温割れ残り面積パーセンテージについても同様である。



(A) (B)

第5図(A) 枝の貫入深さの影響

(B) 枝の直径と破断荷重との相関々係

- (10) 枝の直径の影響

変動量の大きな今一つの因子は枝の直径である。この直径は7.5~8.5mmの簡囲内で変動する。この変動が破断荷重に及ぼす影響を統計的に求めた。枝の直径とその枝の破断荷重との相関関係を多数の枝について求めると第5図(B)が得られる。この相関関係の回帰係数は即ち枝の直径のみを変化させた場合の破断荷重の変化の率を示し、その率は枝の直径の0.1mm増加につき40kgの増加である。幸なことにこの率は破断荷重の大なる群(2000kg附近のもの)についても、破断荷重の小なる群(1000kg附近のもの)についても略同じであるので、この率を用いて破断荷重の実測値に対し枝直径による補正を施すことにした。即ち枝の実際の直径が8.0mmを超える(又は8.0mmより不足する)分の0.1mm毎につき40kgの割合で実測破断荷重より補正值を減じ(又は加え)得た値を以つて枝の直径8.0mmの場合に換算した破断荷重と見なした。この意味の破断荷重を

今後記号  $L_0$  で表わす。因みに  $L_0$  の同一鑄物内平均値を記号  $\bar{L}_0$  で表わす。

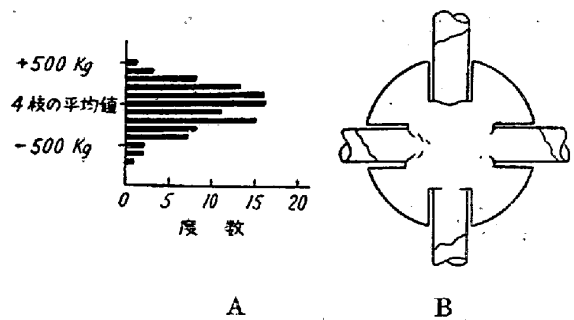
### (11) 鋼の固有機械的性質の影響

破断荷重は常温引張破断によって求められるのであるから、高温割れの大きさが同一であつても、破断荷重は鋼の常温に於ける固有抗張力や脆性の影響を受ける筈である。

即ち抗張力の大なる鋼は大なる破断荷重を与える筈であり、又実験によれば、延性に乏しい鋼では破断荷重は異常に小となり、高温割れ残り面積は異常に大となる。これは延性の乏しい鋼では高温割れ部の切欠効果が大きく作用し、常温破断が必ずしも最少断面部に從つて起らない為である。この様に抗張力及び脆性が異なる場合は普通鑄鋼の範囲内では比較的少く、又その様な場合には鑄物を約  $850^\circ\text{C}$  で焼鈍することによりその機械的性質を一般のものに近づけることが出来る。更に尙機械的性質の影響が疑われる場合は破面に於ける高温割れ残り面積パーセンテージを参酌し、各鑄物のブリネル高度をも考へて総合的に試験結果を判断する。換言すれば、本試験に於ける破断荷重は高温割れの大きさと、常温の固有抗張力と切欠感度との3者の総合的結果を表わすものとも言える。この中後の2者については従来良く調べられているから、高温割れの影響のみを分離させることは左程困難では無い。

## VI. 結果の再現性 (標準偏差)

上に列挙した諸条件を出来るだけ一定になる様にして試験を行つたとしても、それらの不可避的微小変動や、その他の偶然的原因による結果のバラツキが存在するから、今仮に同一(見かけ上)条件で同一熔鋼を極めて多数の回数試験するものと想像すると、試験値は或る一定の値を中心とし一定の標準偏差で分布する一つの母集団をなす筈である。この母集団の標準偏差が結果の再現性と高温割れ傾向識別能力とを決定するものであるからこれを求めた。所で同一熔鋼を用いて極めて多数の試験を行うことは実行不可能であるから、同一熔鋼からは同一条件で4個の試験値を求め、この4個の平方偏差を多数平均してこれに4/3を乗じて母集団の平方偏差の推定値とした。得られた  $L_0$  母集団の標準偏差は  $295\text{kg}$  である。各鑄物の破断荷重  $\bar{L}_0$  の母集団の標準偏差は  $295\sqrt{4} = 147\text{kg}$  である。この標準偏差算出の基礎になつたものは第6図(A)に示す。この図の縦軸には各枝の破断荷重の偏差(4個の点の平均値に対する偏差)を取り、横軸には枝の数の累計を取つてある。



第6圖 (A) 破断荷重の偏差の度数分布  
(B) 高温割れの種々の形状

## VII. 割れ傾向識別の能力

試験に依つて2つの熔鋼の高温割れ傾向の如何なる小差迄確実に識別し得るかは試験法の重要な能力である。この識別能力は識別され得る最小差即ち識別極限によつて表わすことが出来る。識別能力は感度に比例し、標準偏差に反比例する。前章の通り  $\bar{L}_0$  の標準偏差を  $147\text{kg}$  とすれば、2つの異なる熔鋼を見かけ上同一の条件で試験したとき、熔鋼の割れ傾向に差ありと判定し得る、破断荷重の差の最小限は第2表に示す通りである。即ち破

第2表 破断荷重 ( $\bar{L}_0$ ) の有意差の最小限

判定の危険率 (%)	有意差の最小限 (kg)
20	270
10	340
5	410

断荷重 ( $\bar{L}_0$ ) の差が  $300\sim 400\text{kg}$  以上あれば、この2つの熔鋼の割れ傾向に差ありと判定することが出来る。第3図(A)の実験結果を例に取ればS含有量が  $0.020\%$  と  $0.030\%$  との間では割れ傾向に差があることが確認される。又若し1回の試験に依つては割れ傾向の差が確認出来ない場合には試験回数を増して平均値を取れば、回数平方根に反比例して識別極限は低下し識別能力は向上するのであるから、本試験の様に多数回の実施が容易な試験方法はこの意味からも有利と思われる。

## VIII. 高温割れ部の観察

本試験では破断部は鑄物の円筒の内部に深く貫入して存在するため、その部の酸化の度は極めて少く、この部を常温に冷却後取出して観察するに、100倍の倍率で見ても、酸化膜が色を呈すること以外には、酸化物の存在を認めない程である。又、枝の破断したものは直径僅か  $8\text{mm}$  の棒であるから、これを直ちに手にて仕上げてミ

クロ観察試料とすることが容易である。この様にミクロ観察が容易であるので、多くの試料につき割れ部の表面及び内部の観察を行い次の結果を得た。

(1) マクロ的状況

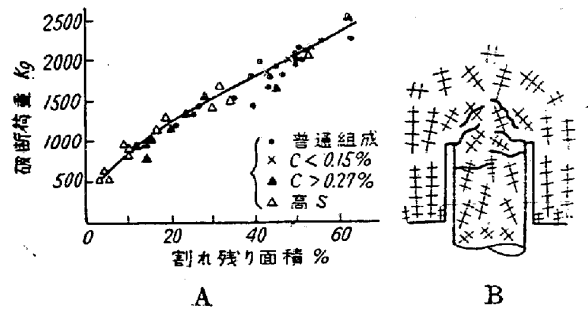
4本の枝の軸を共通に含む水平面で試験鋳物を切断した状況は第6図(B)のスケッチの如くで、高温割れの少い場合は枝の付根の周囲のみが高温割れを起して居り割れ程度が大となるに従つて枝の軸の近くまで割れている。又割れ面は枝の軸に垂直である場合もあるが、図の如き円錐面をなす傾向が強い。又割れ面は1枚から成つていたりとは限らず、食違つた多層から成つている場合も多い。この様に高温割れの形状、大きさが異なるに従い、枝の破断後の破断面の形状は(a)平面環状高温割れ、(b)円錐環状高温割れ、(c)階段状破面などの基本型及びそれらの混合型に分類することが出来る。又樹枝状晶の粒度によつても分類することが出来る。一般的に言つて(a)は樹枝状晶の粗い場合に生じ、(b)は樹枝状晶の微細な時に生ずる傾向がある。

(2) 高温割れ残り面積パーセンテージ

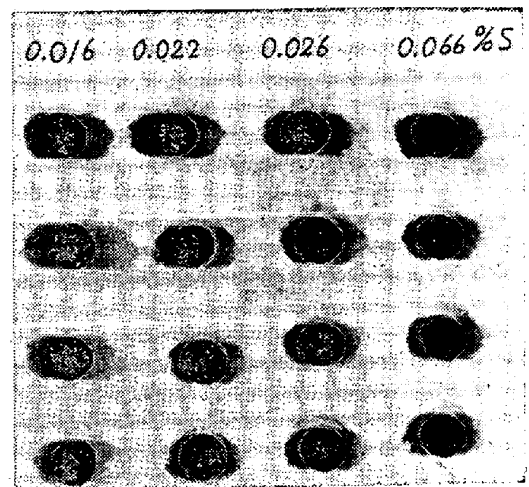
これの測定は前述の通り行方が、但し面積は枝軸に垂直な平面への投射面積で表わす。この面積パーセンテージは高温割れの程度を示す尺度であり、従つて又、破断荷重との間に一定の関係がある筈である。この関係は鋼の材質が異れば変つて来る筈であるが、普通鋳鋼の範囲内では、殊に焼鈍に依つて軟化した状態に於いては、材質の相異の影響は極めて小さいことは前述した通りである。第7図(A)は破断荷重( $\bar{L}_0$ )と割れ残り面積(4本の平均、%)との相関関係を示し、鋼中のC、S等の含有量が異つているにも拘らず極めて強い相関を示している。又、この関係に於いて面積%が霧に近い所でも荷重は尙かなり高い値を取り得る理由は、割れが食違つた多層より成るため、割れ残り面の投射面積は霧となつても枝の破断には尙剪断力を要することである。写真第3(a)はS含有量による破面の高温割れ残り面積パーセンテージの変化を示す。

(3) ミクロ的状況

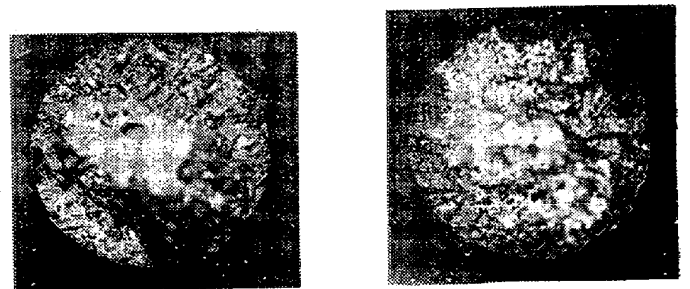
本試験に於ける高温割れはすべて樹枝間の割れである。多角形化したオーステナイトの粒界割れは認められない。枝の全破断面の例を写真第3(b)に示す。周囲の暗色の部分は高温割れ面であり、中心の明るい所は常温破面である。写真第4は代表的な高温割れ面ミクロ写真である。(a)は枝の外周に近い所で割れの出発点に近く割れが容易に起つた所であり、樹枝の丸い先端が一面に並んで桑の実状を呈する。(b)(c)(d)は枝の内方で割



第7図 (A) 破断荷重と割れ残り面積パーセンテージとの関係  
(B) 割れ部附近の内部組織圖解—樹枝状晶と脈状偏析(黒太線)



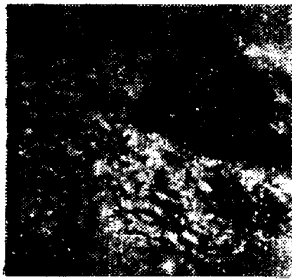
(a) S含有量による破面の變化  
黒色部: 高温割れ面  
輝く部分: 高温割れ残り面(常温破面)



(b) 拡大寫眞 ×5 (3/5 縮寫)  
暗色部: 高温割れ面, 粗粒の樹枝状割れ  
明色部: 常温破面, フェライト劈開面  
寫眞第3 枝の破面

れの終末点に近く、割れか辛うじて生じた所であり、樹枝の先端には尖つた突起を有するものが多い。又この附近には(d)の如く先端が刃状を呈する脈状隆起も多く存する。これら種々の形態の成因については Lees<sup>1)</sup>或は Pellini 等<sup>13)</sup>の液膜説に合致する説明が可能と思われるが本報では事実のみに止める。

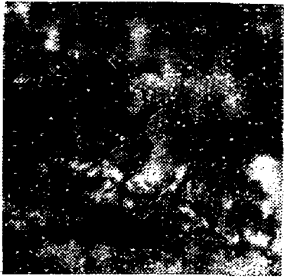
これら樹枝の末端は常に約 0.03mm の周期の凹凸をなし、その排列は必ずしも規則的には見えないが、これが



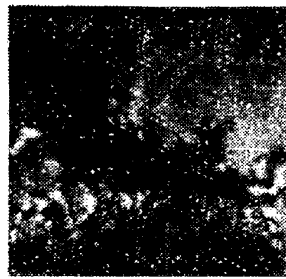
(a) ×80 (1/2縮寫)  
割れ出發點附近  
桑の實狀



(b) ×100 (1/2縮寫)  
割れ終點附近  
トゲ状突起多し



(c) ×100 (1/2縮寫)  
割れ終點附近  
トゲ状突起多し



(d) ×100 (1/2縮寫)  
割れ終點附近  
脈状突起

寫眞第4 高温割れ面の顯微鏡的形狀

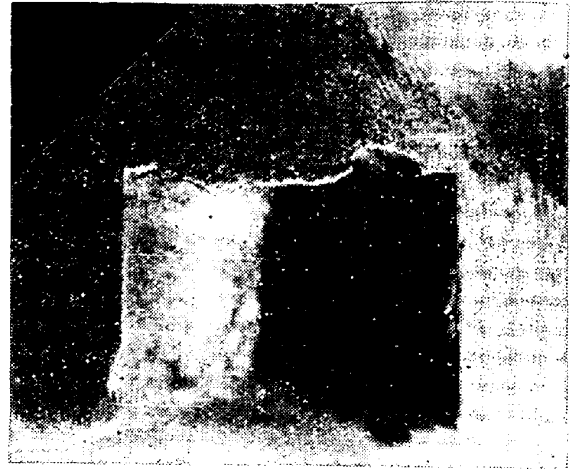
樹枝に基因するものであることは、他の金屬或は合金の凝固体の表面に屢々これと大体同じ周期の凹凸をなす樹枝模様を生じ、又その排列が必ずしも規則的でないのと照し合せて確信出来る。尚、破面のミクロ的狀況は C, S, Al などの含有量によつては本質的には変化しない。

(4) 内部組織

破断面附近の内部組織を図解すると第7図(B)の如くなる。即ち Oberhoffer 氏液により初晶偏析を現出させると、枝の付根には高温割れの存在しない所にも P の脈状偏析が認められる。脈状偏析(仮称)は白い部分(Pの多い部分)が樹枝間を縫つて脈状に連つているので、その走向が、凝固途中で受けた引張歪の方向に垂直になつていのが特徴である。この脈状部の中心線上には硫化物の富化も認められ、所によつては小なる割れも存在する。写真第5は S 0.03% の鋼の脈状偏析附近を各種の倍率と照明で示す。尚一次オーステナイトの多角形状の粒界と樹枝状晶境界との関係は炭素 0.2% の鋼に於いては存在しないことは従来から明らかである<sup>12)</sup>が、本試験に於いても明瞭に認められる。

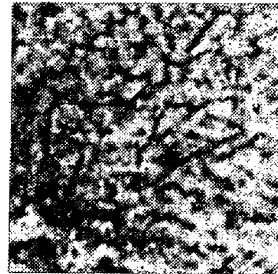
(5) 破面及び組織に関する考察

上述の観察結果は本試験に於ける高温割れが Pellini 等<sup>13)</sup>の代表する歪説(又は液膜説)によつて起ることを示す。即ち凝固期間中連続して引張歪を受ける鋳物部分が凝固末期のいわゆる液膜段階に至ると、液膜の凝固速度と歪速度との相互関係の如何により、極めて僅かの応

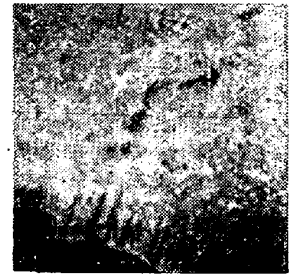


(a) ×4

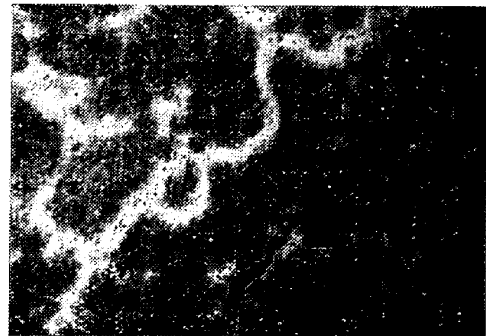
Oberhoffer 氏液でエッチ中央の空所は枝のあつた跡  
黒色: 脈状偏析, 明色: 樹枝状晶  
枝の付根の兩端附近に脈状偏析多し



(b) ×22 (1/2縮寫)  
(a) の一部引伸し,  
下端破面



(c) ×20 (1/2縮寫)  
(b) と同じ所, 明暗反對  
黒色の線は小なる高温割れ



(d) ×100 (1/2縮寫)(c) の一部更に擴大  
白色: 脈状偏析, 中に硫化物の集合 黒色: 高温割れ  
寫眞第5 割れ附近の内部組織

力の下で割れるのである。又脈状偏析の存在は早くから K. Singer 等<sup>14)</sup>によつて報告されて居るものであるが、これと歪説(液膜説)とを結び付ければ高温割れ発生機構の理解に更に一步近づくことが出来ると信ずる。本試験に於いては高温割れの発生温度に関しては直接研究されなかつたが、割れが必ず樹枝間で起り且つ割れの発生する時期には未だ液膜を含んでいた形跡を認めることは割れ発生温度を知る有力な手がかりとなるであろう。本試験で観察された諸事實は、同等の冷却速度を有する実



際鑄物について当嵌めても先づ差支ないであろう。然し極めて冷却の遅い厚肉鑄鋼については当嵌らないかも知れない。その点については未だ資料が無く今後の研究が必要と思う。

### IX. 長所, 缺點, 及び適用範囲

(1) 本試験法は従来の試験法に比して方法の上で次の長所を有する。

(a) 試験に供する熔鋼は炉内からスプーンで汲出されるから温度が高く諸種の成分添加混合が容易に行われる。

(b) 試験鑄型及び鑄物は重量夫々 6kg 及び 2kg で極めて軽く小型のため運搬取扱が容易で、又、試料の多数保管の便がある。

(c) 2kg の試験鑄物から得られる試験値は破断荷重値 4 個、面積パーセンテージ 4 個であるから、その平均値は再現性が高い。又、この 4 数値から誤差分布の評価が出来る。

(d) 割れ傾向の判定は破断荷重、破面の面積パーセンテージ、破面状況など多くの観点からなされるから合理的且つ総合的判定がなされる。

(e) 割れの起る部分の冷却の速さは 40mmφ の円筒形又は 20mm 厚の板形鑄物のそれに相当し、冷却速度に関する限りこの程度の厚さを有する鑄鋼への近似性は充分である。

(f) 割れ面内での温度分布は比較的均一であり、普通試験鑄物に付きものの表皮と中心部との大なる温度差に基因する複雑性がない。

(g) 枝の破断部附近のマクロ的、ミクロ的観察のための試片の切出し、研磨などに機械力を要せず手にて迅速に行い得る。

(h) 高温割れ破面及びその周辺の酸化は極限され、金属の原形を保持しているから破面のミクロ的状況が詳細に観察出来る。

(i) 1 個の試験鑄物を造るに要する主な消費材料は不透明石英管約 300mm のみでその費用は約 60 円に過ぎない。又所要熔鋼量は問題とならない少量である。

(2) 使用結果の上では次の長所を有する。

(a) 試験結果は鑄込速度や鑄込温度によつて影響を受けることが殆んどないから、それらを一定にするための特別な配慮は不要である。

(b) 割れ傾向の識別能力は良好で、唯 1 回の試験により S 含有量 0.020% と 0.030% との 2 種の鋼の高温割れ傾向の差を確認することが出来る。

(3) 本試験法は次の欠点を有する。

(a) 本試験鑄物の高温割れの生起過程は出来得る限り実際の鑄物と同じになる様に仕掛けてはああるが、尙収縮メンバーの収縮一時間曲線、全収缩量等は実際の鑄物とは異なるかも知れないし、鑄型の阻止作用も鉄管使用によるから実際とは当然異なる。それだけ実際の割れとの近似性は欠けている。

(b) 鑄物砂とその搗き固め硬度の影響が実験出来ない。

(c) 高温割れ部が貫入部の内にあるため破断前にはこの部を観察出来ない不便がある。

(d) 割れの試験値を出す為に引張破断、枝直径測定割れ面積測定等の手数を要する。

(e) 鑄型の製作には石英管の切断をはじめ特殊の工程を含むため、結果の再現性を良くするためには一定の熟練した人手を要する。

(4) 本試験は厚さ 20mm 前後の普通鑄鋼に対して適当である。従来発表され居る諸試験法も、その鑄物の寸法から考えて適用出来る肉厚範囲は本法より広くはないと考える。

実際には肉厚 50mm 或は鑄鋼ロールの如き肉厚 100mm の鑄鋼の割れについても研究すべき事が多い様に思われるがこの様な極厚肉鑄鋼に於いては冷却速度の小による偏析の増加、オーステナイト粒子の巨大化、内部応力状態の苛酷、応力作用時間の長いこと等の点で薄肉鑄鋼とは異なることが多いと想像されるので厚肉の鑄鋼に対して適用出来る様な高温割れ試験法の出現が期待される。本試験法は又合金鑄鋼、鑄鉄、非鉄合金鑄物にも応用出来る筈であるがその際には割れの程度が適度になる様に鑄物各部寸法を調整する必要がある。

### X. 總 括

以上を総括すれば次の通りである。

(1) 試験鑄物は 40mmφ の縦円筒とその中に一部貫入した 4 本の水平、放射状の枝とから成り、鑄物重量は約 2kg、鑄型重量は約 6kg である。

(2) 試験鑄物は凝固途中で枝の付根の部分に高温割れを生じ、他の条件が一定ならばこの割れの大きさは鋼の化学組成による割れ傾向と共に増す。従つて板の破断荷重及び破面の状況から割れ傾向の大小を判定する。

(3) 試験条件の内、最も変動の影響が大きい因子は枝付根の貫入深さであつて、これは結果の偶然誤差の主因をなす。

(4) 鑄込温度及び鑄込速度が試験結果に与える影響

は少い。

(5) 試験結果の偶然誤差の大きさ(誤差分布における標準偏差)を実験結果より求めた。

(6) 実験によれば、唯1回の試験(試験鑄物2個)に依つても0.020%と0.030%とのS含有量を有する2種の鋼の高温割れ傾向の相異が厳格な意味で認められる。

(7) 本試験に於いては高温割れ部のマクロ的、ミクロ的観察が容易であるから、高温割れの本質を研究するのに本報は有効である。

(8) 本試験に於ける高温割れはすべて樹枝間で起り多角形化したオーステナイト粒の粒間割れは認められない。この事はC, S, Alなどの化学成分の変化によつては本質的に変化しない。

(9) 本試験の長所及び欠点は前章(Ⅸ)に列挙する通りで、長所多く欠点は少い。

(10) 本試験の適用出来る鑄物肉厚の範囲は従来の諸試験に勝るとも劣らず、特に厚さ20mm前後の鑄物に最も適する。極めて肉厚の大なる鑄鋼の高温割れは異なる点があると考えられるので、それに適する試験方法の発展が期待される。

本研究の発表を許可された日本車輛製造株式会社岩垂捨三社長、終始懇切な激励指導を賜つた同社顧問川村宏矣工学博士、並びに研究遂行上多大の援助を与えられた加藤孝三鑄造課長はじめ鑄造課及び検査課の関係各位の御厚意に対し心から感謝の意を表す。

(昭和29年3月寄稿)

## 文 献

- 1) D.C.G. Lees: Foundry Trade Journal, Aug. 18, (1949) 211.
- 2) J. M. Middleton and H. T. Protheroe: J. Iron and Steel Inst., 168, (1951) 4, 384
- 3) U.K. Bhattacharya, C.M. Adams and H. F. Taylor: Transactions, AFS, 60, (1952) 675
- 4) W.J. Phillips: Foundry, 97 (1940) July, p. 27
- 5) A. R. E. Singer and S. A. Cottrell: J. Inst. Metals, 73, (1946) 33
- 6) C.H. Wyman, C.A. Faist and G. Disylvestro: Trans. AFS, 60, (1952) 145.
- 7) 木下禾大: 鐵と鋼, 29, (1943) Dec. 908
- 8) E. Piwowarsky, B. Bozie and E. Söhnchen: Archiv f. d. Eisenhütt., 7, (1933/34) 127
- 9) H. F. Hall, Iron and Steel Inst, Special Rep. No. 15, (1936) 65, Ibid, No. 23, (1938) 73
- 10) H. F. Bishop, C. G. Ackerlind and W. S. Pellini: Trans. AFS, 59 (1951) 818.
- 11) C. W. Briggs: The Metallurgy of Steel Castings, 1946, McGraw-Hill Book Co.
- 12) Haneman V. Schrader: Atlas Metallographicus. Bd. I, 1933.
- 13) W. S. Pellini: Foundry, Nov. (1952) 124.
- 14) K. Singer and H. Benneck: Stahl u. Eisen, 51 (1931) 61