

肌焼鋼の不完全焼入れによる脆化について

(昭和 27 年 4 月 本会講演会にて講演)

高瀬 孝夫*・天野 誠**

ON THE BRITTLENESS OF CASE-HARDENING STEEL
CAUSED BY PARTIAL QUENCHING

Takao Takase Dr. Eng. and Makoto Amano

Synopsis:

Sometimes, case-hardening steel is very brittle after quenching, nevertheless its hardness is relatively low. The authors' experiment on the plain C, Cr-Mo and Ni-Cr case-hardening steel indicates that this brittleness is recognized when the steel which contains a mixed structure of ferrite and pearlite is quenched from a little higher temperature than A_1 point, even in a rapid heating, and is lowered with increase of the quenching temperature up to A_3 point, but a martensitic or sorbitic steel is not brittle after quenching from just above A_1 point. From these results and microstructure observation of quenched specimens, it is concluded that this brittleness is caused by partial quenching which changes pearlite portion of the mixed structure into high-carbon martensite; that this high carbon martensite prohibits the deformation of ferrites; and that it is because of no high carbon martensite produced in the martensitic or sorbitic steel by quenching from all temperature ranges that such steel does not exhibit the brittleness.

I. 緒 言

肌焼鋼を滲炭徐冷後焼入れた場合非常に脆くなることがある。又一次、二次焼入れを行つた場合でも二次焼入れ温度が比較的低い場合には、衝撃値にばらつきが多く中に非常に低い衝撃値を示すことがある。そして之等脆化したものは破断面を見ると粒状をなし、硬度は相当に低い。

本研究はこの脆化の原因を探究し、且その防止法について考察したものである。

II. 実験並びに実験結果

1. 焼入れ温度と衝撃値

第1表に示す如き化学分析値をもつ炭素肌焼鋼、Cr-Mo及びNi-Cr肌焼鋼を700~900°Cの各温度より焼入れ、そのシャルピー衝撃値を測定した。焼入れ前の組織

第1表 実験1に使用せる試験片の化学成分

試験片 番 號	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%	Cr%	Mo%
1	0.11	0.30	0.60	0.020	0.018	—	—	—
2	0.21	9.44	0.63	0.023	0.028	—	1.21	0.31
3	0.14	0.38	0.56	0.028	0.018	3.16	0.95	—

は焼準状態のものである。

第1図はその結果を示す。図中に記載した硬度は衝撃試験後各試片について測定したものである。

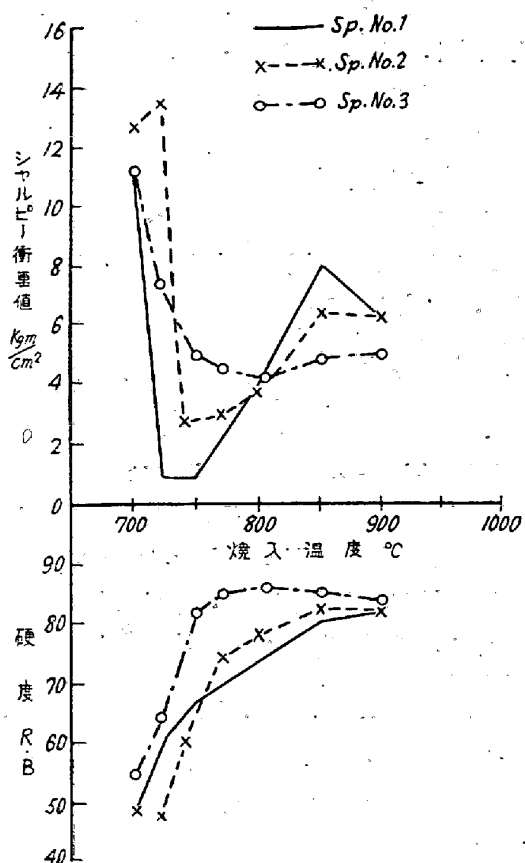
図によつて見ると、炭素肌焼鋼の衝撃値は725°Cより焼入れた0.83kg/cm²が最低で、焼入れ温度の上昇と共に増し、850°C焼入れの7.91kg/cm²が最高で900°C焼入れの場合は再びやゝ下つている。硬度と焼入れ温度との関係も又 A_1 点直上より焼入れたものが最も低く、焼入れ温度が高くなるに従つて硬度は上昇している。

Cr-Mo 鋼に於ける衝撃値、硬度と焼入れ温度との関係は炭素鋼と略同様の傾向を示し、その衝撃値の最低は730°C焼入れの2.8kg/cm²である。

Ni-Cr 鋼の場合には衝撃値の最低が820°C焼入れの約4kg/cm²で炭素鋼、Cr-Mo 鋼に比べて最低衝撃値の現われる焼入れ温度も高く、衝撃値の絶対値も高い。従つて衝撃値と焼入れ温度との関係も前2者と異り、又硬度と焼入れ温度との関係を見ると此の鋼では、最高硬度の所に最低の衝撃値が現われている。

* 大阪府立工業奨励館、工博

** 大阪府立工業奨励館



第1圖 試験片 No. 1, 2, 3 の焼入温度とシャルピー値及びロックウェル硬度との関係

2. 焼入れ前の組織と衝撃値

第2表にこの実験に用いた炭素肌焼鋼及びCr肌焼鋼の分析値、第3表にその焼入れ前の熱処理並びに顕微鏡組織を示す。この熱処理は実際の滲炭熱処理作業を考慮し目つパーライトの分布状態を変化せしめる為に撰んだもの

第2表 実験 2, 3 に使用せる試験片の化学成分

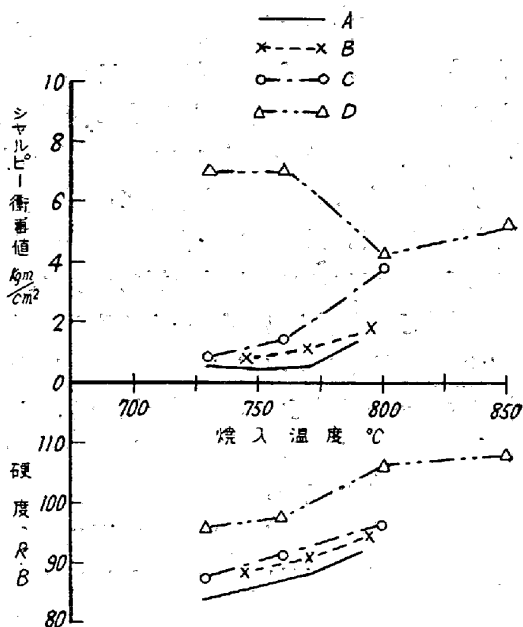
試験片番 号	C%	Si%	Mn%	P%	S%	Ni%	Cr%	Mo%
4	0.17	0.19	0.45	0.022	0.018	0.26	0.085	tr.
5	0.18	0.30	0.82	0.022	0.017	0.29	1.15	tr.

第3表

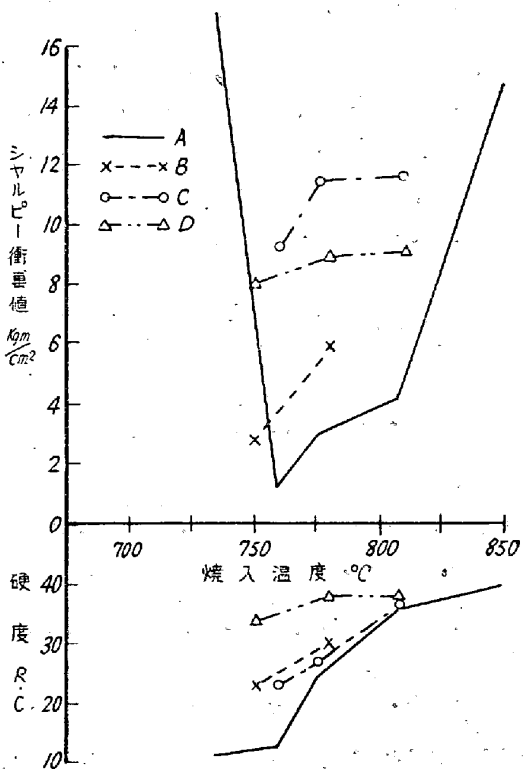
試験片 No 4,5 の焼入れ前の熱処理と顕微鏡組織

	試験片 No.4		試験片 No.5	
	熱 處 理	顕微鏡組織	熱 處 理	顕微鏡組織
A	930°C 3hr F.C.	F+P (粗粒)	930°C 3hr F.C.	F+P (粗粒)
B	850°C 1hr F.C.	F+P (細粒)	850°C 1hr F.C.	F+P (細粒)
C	950°C A.C.	F+P	950°C O.Q. 650°C T.	S
D	920°C 10% NaOHsolQ	M	880°C O.Q.	M

ので、A、B及び炭素鋼Cは地鉄とパーライトとの混合組織、Dは所謂一次焼入れを行つた低炭素マルテンサイト組織で、Cr鋼Cは一次焼入れ中間鈍しを行つたソルバイト組織のものである。これ等の試料を720~850°C



第2圖 試験片 No. 4 の焼入温度とシャルピー値及びロックウェル硬度との関係。加熱前の顕微鏡組織は熱処理A, B, C, Dにより夫々異つている

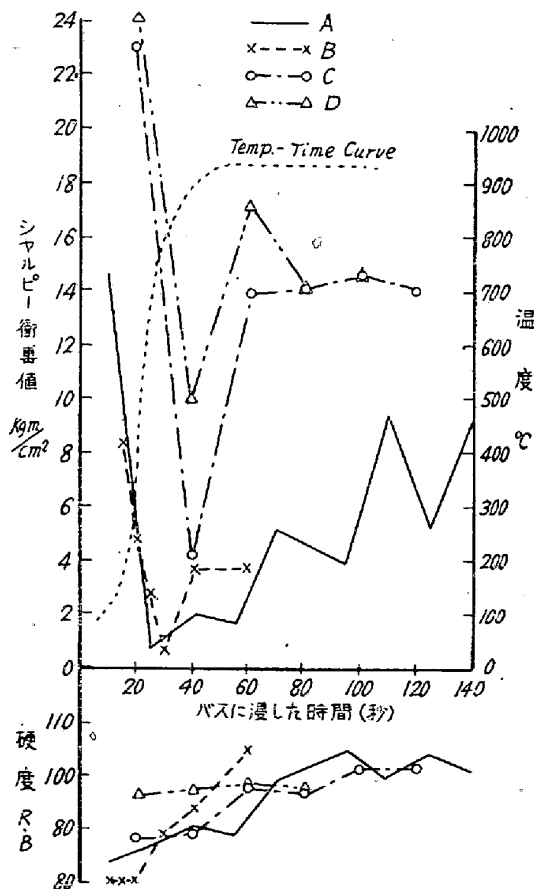


第3圖 試験片 No. 5 の焼入温度とシャルピー値及びロックウェル硬度との関係。加熱前の顕微鏡組織は熱処理A, B, C, Dにより夫々異つている

に約 5min 間加熱後水又は油中に焼入れ、衝撃値及び硬度を測定した。

衝撃値、硬度と焼入れ温度との関係は第 2, 3 図に示す如く衝撃値の最低は、炭素鋼では 930°C, 3hr 加熱炉冷試料の 750°C 焼入れの 0.48kgm/cm², Cr 鋼では同じく 930°C, 3hr 加熱炉冷試料の 760°C 焼入れの 1.13kgm/cm² である。850° 1hr 加熱試料では炭素鋼, Cr 鋼共に 930°C 加熱試料よりも全般に衝撃値がやゝ高く、その最低衝撃値は炭素鋼では 730°C 焼入れの 0.68kgm/cm² Cr 鋼では 750°C 焼入れの 2.34kgm/cm² で何れも相当に低く、又何れの場合も前実験と同様に焼入れ温度の上昇と共にその衝撃値を増している。これに反して 900°C より焼入れた所謂一次焼入れを行つたマルテンサイト又はソルバイト組織の試料は炭素鋼, Cr 鋼共に 730~760°C より焼入れた場合も、その衝撃値は炭素鋼約 7kgm/cm², Cr 鋼約 8kgm/cm² で前 2 者に比べればはるかに高い。

硬度と焼入温度との関係を見ると Cr 鋼の一次焼入れ中間鈍しを行つたもの以外は脆化が現われる焼入れ温度



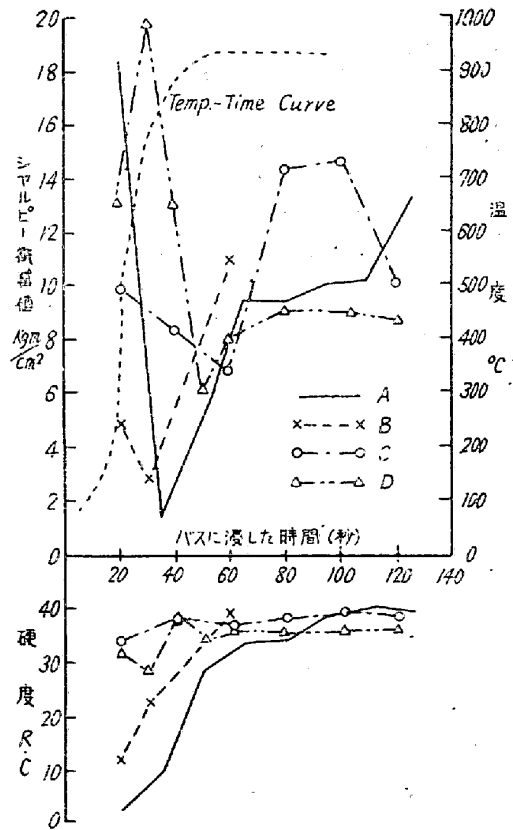
第4圖 試験片 No. 4 を 930°C の鹽浴に浸した時間とシャルピー値及びロックウエル硬度との關係。加熱前の顯微鏡組織は熱處理 A, B, C, D により夫々異つている

範圍即 A₁ 点 以上 800°C 附近迄は衝撃値の低いもの程硬度も低く、又一次焼入れを行つた脆化を示さない試料は脆化を示した試料に比べて焼入れ後の硬度がかなり高くなつている。

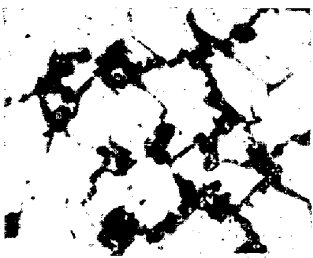
3. 急速加熱と衝撃値

急速加熱は 930°C に一定に保つた食塩々浴中に試料を浸漬して行つた。焼入れは浸漬後 5~130sec 後、炭素鋼は水、Cr 鋼は油中に急冷した。試料は 2 実験に用いたものと同じである。

第 4, 5 図は衝撃値、硬度と塩浴浸漬時間との關係を示したもので、地鉄とパーライトとの混合組織の試料では何れも炭素鋼 25~80sec, Cr 鋼では 30~35sec 浸漬後焼入れた場合に衝撃値の最低が現われ、その値は炭素鋼 0.68kgm/cm², Cr 鋼 1.38kgm/cm² で、前の 1, 2 実験の最低値と略同値である。試料の中央に約 1mm の孔を穿つてその中に熱電対の熱接点を入れて測定した浸漬時間と加熱温度との關係曲線より推定すると、最低衝撃値を示す試料は、炭素鋼は約 750°C, Cr 鋼は約 850°C より焼入れられたものと思われる。炭素鋼では最低衝撃値の現われる焼入れ温度が普通加熱の場合も、塩浴

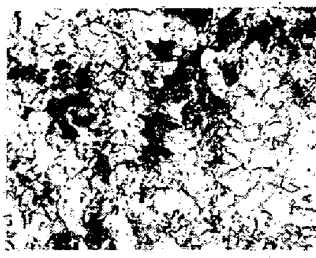


第5圖 試験片 No. 5 を 930°C の鹽浴に浸した時間とシャルピー値及びロックウエル硬度との關係。加熱前の顯微鏡組織は熱處理 A, B, C, D により夫々異つている



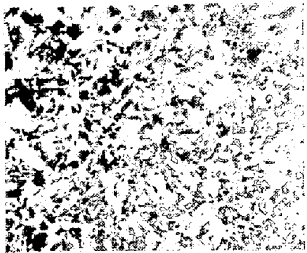
×300

写真1 試験片 No. 1
725°C 焼入, シャルピー
値 0.83kg·m/cm²



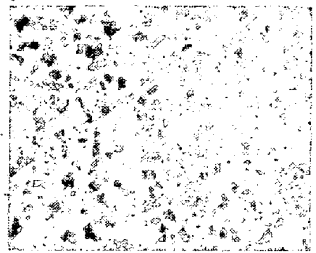
×300

写真2 試験片 No. 3
720°C 焼入, シャルピー
値 4.9kg·m/cm²



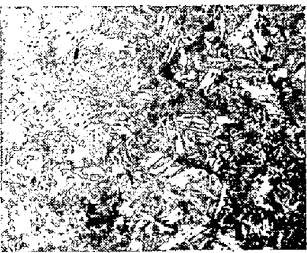
×300

写真3 試験片 No. 4
熱処理D, 730°C 焼入
シャルピー値 7.06kg·
m/cm²



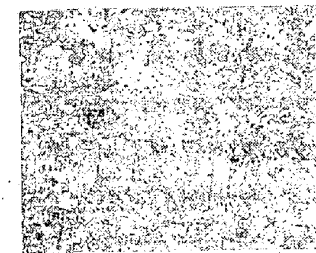
×300

写真4 試験片 No. 4
熱処理D, 930°C のバ
スに 40 秒浸した後焼
入, シャルピー値 9.95
kg·m/cm²



×300

写真5 試験片 No. 5
熱処理D, 750°C 焼入
シャルピー値 7.06kg·
m/cm²



×300

写真6 試験片 No. 5
熱処理D, 930°C のバ
スに 50 秒浸した後焼
入, シャルピー値 6.41
kg·m/cm²

による急速加熱の場合も略等しいのに反して, Cr 鋼では急速加熱の場合最低衝撃値の現われる焼入温度がやゝ高温側に移動している。これは Cr 鋼ではパーライトからオーステナイトへの変態速度が緩慢な為と思われる。この場合も又一次焼鈍せるマルテンサイト乃至ソルバイト組織の試料は脆化を示すことなく, その最低衝撃値は炭素鋼 9.95kgm/cm², Cr 鋼 6.41kgm/cm² である。

浸漬時間と硬度との関係も 2 実験と略同様で, 地鉄とパーライトの混合組織のものは浸漬時間約 60sec 以内の完全にオーステナイト化しない範囲は浸漬時間が増すと共に遂次硬度が上昇している。之に対して一次焼入れせるマルテンサイト組織のものは短時間浸漬後の焼入れに

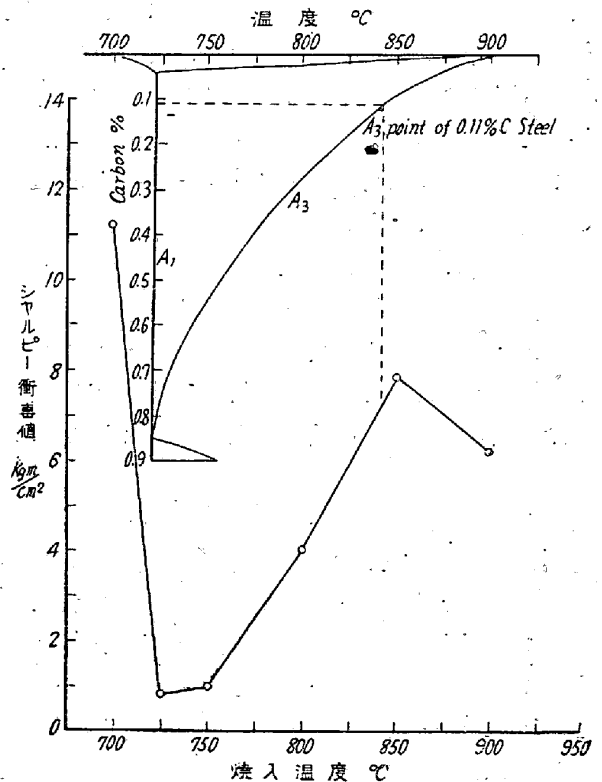
於いても比較的硬度が高い。

III. 実験結果の考察

以上の実験結果によると, 焼入前焼準又は焼鈍せる地鉄とパーライトとの混合組織のものは, Ni-Cr 鋼を除いて A₁ 点直上より焼入れた場合著しく脆化している。

これ等の脆化せる試料の顕微鏡組織を見ると, 何れも地鉄の結晶粒界にマルテンサイトが混在して元のパーライトの部分がマルテンサイトに変じたものと思われる。そして焼入温度が高くなるに従つて衝撃値が高くなり, 又マルテンサイトの面積が広がっている。塩浴による急速加熱の場合も脆化を示したものは同様の組織を示している。

第6図は Fe-C 系平衡状態図と炭素肌焼鋼の焼入後



第6図 炭素鋼の衝撃値と状態図との関係

の衝撃値との関係を現わしたもので, 図によつて見ると此の鋼(0.11% C)の衝撃値は A₁ 点直上の最低から同鋼の A₃ 点迄略 A₃ 線に平行して上昇している。焼準又は焼鈍せる焼入前地鉄とパーライトとの混合組織を有する場合は A₁ 点直上の加熱によつて, 先ずそのパーライトの部分が共析組成の C% を有するオーステナイトに変態し, 加熱温度が上昇するに従つてオーステナイト量が増すと共にその C 量は A₃ 線に沿つて減じて行く。従つて A₁ 点直上より焼入れた場合には地鉄の結晶粒界に略共析点に相当する高 C のマルテンサイトを生じ, 焼入

れ温度が上昇するにつれて焼入れ後のマルテンサイト中のC量は減少する。即ち地鉄とパーライトとの混合組織のものは A_1 点直上よりの焼入れによつて地鉄の結晶粒界に脆い高Cのマルテンサイトを生ずるのであつて、この高Cマルテンサイトが地鉄の変形を妨げ、その衝撃値を低下せしめると考えられる。そして焼入れ温度が上昇しマルテンサイト面積が増大すると共に、そのC量が減少し靱性を回復するものと思われる。

又塩浴による急速加熱の実験から、炭素鋼ではパーライトからオーステナイトへの変態速度は相当に速く殆んど加熱と同時に変態が進行する様であるが、Cr鋼ではこの場合最低衝撃値の現われる焼入れ温度が普通加熱の場合よりも高温側に移動することからその変態速度は相当おそいと推定せられる。

焼入れ前にマルテンサイト組織のものは A_1 点直上より焼入れた場合も明瞭なマルテンサイト部分が現われない。炭素鋼では少量のトルースタイトを交えた焼入相と未変態と思われる相との不明瞭な混合組織となつている。この場合の焼入相は同時にトルースタイトを析出している為にかなりそのC量は少いと思われる。Cr鋼の A_1 点直上より焼入れた焼入れ前マルテンサイト組織のものは普通焼入では元のオーステナイト結晶粒の中央部に析出したと思われる比較的少量の地鉄とマルテンサイトとの混合組織よりなり、急速加熱の場合には如何なる温度より焼入れた試料も殆ど地鉄の存在は認められない。

即ち一次焼入せる焼入れ前マルテンサイト組織のものは A_1 点直上の加熱によつて直に変態をおこして平衡状態図に示す様な高Cオーステナイトを生ずることが困難で、特にCr鋼の様な変態速度のおそい鋼では急速加熱の場合には殆んど2相に分れることなく A_1 点以上の或温度で全体がオーステナイトへの変態を開始する様に思われる。又この様なオーステナイトは比較的不安定で焼入れの際トルースタイトを生じ易く、特に炭素鋼ではこの傾向が著しく、この事が又高Cマルテンサイトの生成

を妨げていると考えられる。

尚、脆化を示す焼入れ温度範囲に於て衝撃値の低い試料程硬度が低いことは地鉄の量が衝撃値の低い試料程多いことを示すもので、これは又共存するマルテンサイト中のC量がより多いことを意味するものと思われる。

1 実験の Ni-Cr 肌焼鋼が炭素肌焼鋼、Cr肌焼鋼の様な脆化を示さないのは、Ni-Cr 鋼では焼準によつて明瞭なパーライト組織を示さず、 A_1 点直上の加熱によるパーライトからオーステナイトへの変態及び地鉄とオーステナイトとの変態反応が炭素鋼又はCr鋼と異なる為と思われる。

IV. 結 論

以上の考察により、この脆化の原因は地鉄とパーライトとの混合組織のものを A_1 点直上より不完全焼入れをなした場合にそのパーライト部が高Cマルテンサイトとなり、これが地鉄の結晶粒界に存在して地鉄の変形を妨げることにあると考えられる。

一次焼入れによつてこの脆化を阻止し得るのは、そのCの分布が一様な為に A_1 変態によつて直ちに高Cオーステナイトを分離し難く、従つてその後の焼入れによつても、高Cマルテンサイトを地鉄の結晶粒界に生じ難いことが主な原因と考えられる。一般に一次焼入れは、滲炭作業の様な高温長時間加熱による粗大な結晶粒を微細化して、その脆化を回復すると説明せられているが、この実験に於ける如き不完全焼入れによる脆化の一次焼入れによる回復は、850°C, 1hr 加熱の様な比較的低温短時間加熱のものも地鉄とパーライトとの混合組織のものは不完全焼入れによつて相当脆化している故に、前述の如く高Cマルテンサイトを生じ難くなる為と考えた方が適當と思われる。

即ちかかる脆化を防止する為には地鉄の結晶粒界に高Cマルテンサイトが生成することを阻止すればよいのであつて、一次焼入れもこの意味に於て効果あるものと考えられる。(昭 29. 5月寄稿)