

9. オーステナイト結晶粒度は真空造塊を適用することによつて幾分細くなる傾向があり、この傾向は粗粒鋼に顕著である。この現象は真空造塊そのものによるものではなく、真空造塊時に使用するアルミニウム封板に起因するものである。大気中造塊材では塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材とにおいて、オーステナイト結晶粒度ならびにその分布状態には大差な認められない。

10. 材力的性質は真空造塊を適用することによつて、一般に一定の抗張力に対する伸びならびに絞りが向上し、また鋼材内部における降伏点および抗張力のばらつきが少なくなる。大気中造塊材では塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材とにおいて材力的試験結果には大差が認められない。

11. 真空造塊を適用することによつて超音波探傷試験で検出されるような巨視的欠陥を防止することができる。大気中造塊材では塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材とにおいて超音波探傷試験結果上に大差は認められ

ない。すなわち真空造塊材と大気中造塊材とにおけるもつとも大きな差異は、本実験の範囲内において(1)ガス成分の量、(2)非金属介在物とくに酸化物系介在物の量と存在形態、また(3)オーステナイト結晶粒度とくに粗粒鋼における粒度の相異であり、材力ならびに材質面では(4)鋼材内部における材力的性質の均一化と靱性が若干向上することならびに非破壊試験成績が向上することなどである。

一方大気中造塊の場合、塩基性電気炉溶製材と酸性平炉溶製材とにおけるおもな差異は(1)ガス成分および(2)非金属介在物とくに酸化物系介在物の量的関係と存在形態にある。

しかしながら大型鋼塊の凝固組織、偏析の実体、内部欠陥の発生状態などについては本実験供試材採取法の性格上これを明確に把握することはできなかつた。これらの諸点については爾後の研究にゆづりたい。

## 冷間圧造用線材の球状化焼なまし温度および時間について\*

横山均次\*\*・山本 晃\*\*・山本 襄\*\*\*

### On the Annealing-Temperature and-Time for Spheroidization of Wire Rods for Cold Forming.

Kinji YOKOYAMA, Akira YAMAMOTO and Jyo YAMAMOTO

#### Synopsis:

With carbon steel wire-rods of JIS S35C and S45C which are used for cold formed bolts of medium strength, a study was made on the influence of the annealing treatment under various conditions referring to the structure, mechanical properties and crack occurrence under compression tests utilizing an Amsler universal testing machine or a crankpress.

The purpose of this study is to obtain a fundamental data for spheroidizing annealing of wire-rods in factories.

From the results of this experiments, it is confirmed that pretreatments (cooling in oil, air or furnace) and annealing conditions (temperature and time) give a correlative influence on the spheroidizing annealing of these wire-rods for cold forming; that there are adequate ranges in the aforementioned temperature and time; that the occurrence of cracks in cold forming is more related to the contraction value than to the elongation; and that, by an oil-cooling pretreatment of wire rods, higher-strength bolt blanks can be obtained which are very resistant to occurrence of cracks on cold forming in spite of an annealing at a relatively low temperature and in a relatively short time. (Received 8 November 1962)

#### I. 緒 言

冷間圧造用線材の球状化焼なましとその効果についてはすでに発表した<sup>1)2)</sup>。これらの研究においては球状化

に必要な温度と時間についておおむね適正と思われる値

\* 昭和37年4月本会講演大会にて発表  
昭和37年11月8日受付

\*\* 東京工業大学精密工学研究所 工博

\*\*\* 東京工業大学精密工学研究所

Table 1. Wire-rods tested.

Marks	Corresponding specification in JIS	Chemical composition (%)							
		C	Si	Mn	P	S	Cu	Ni	Cr
S	S35C	0.36	0.29	0.64	0.022	0.028	0.09	0.05	0.08
N	S45C	0.44	0.27	0.74	0.018	0.022	0.11	0.06	0.08

または線引工場で現場的に実施しうるものが選ばれている。

本研究は前報と同じく中強度冷間圧造ボルトに用いられる炭素鋼線材を用い、焼なましの温度および時間を球状化に不適と思われる範囲まで拡大した熱処理を行ない、それらの組織、機械的性質および圧縮試験における割れ疵の発生との関係をしらべ、工場において球状化焼なましを行なおうとするさい、無駄な加熱を避け、合理的な球状化焼なまし方法を確立する基礎資料をうることを目的として行なわれたものである。

## II. 試料ならびに実験方法

この実験に用いた試料線材は JIS S35C, S45C 該当の 8mm  $\phi$  ワイヤロッド(コイル径 1.2m, 重量 180 kg) で、その化学組成を Table 1 に示す。

これらの試料線材の焼なまし処理を行なうに先立つて、900°C  $\times$  2h 加熱後 I) 油冷, II) 空冷, III) 炉冷の 3 種類の前処理を行なった。以上の加熱はいつでも 35kW マツフル型電気炉により、鉄箱中に線材表皮の酸化脱炭を防止するためのダライ粉および砂とともに充填して行なった。

つぎにこのような前処理を行なった S 線材および N 線材について、内径 100mm  $\phi$ 、長さ 800mm の管状電気炉を用いて、つぎの A および B の 2 通りの焼なまし処理を行なった。すなわち

A) 700°C, 730°C, 760°C の温度で 0.75, 1.5, 3, 6, 12h 保持した後、650°C までを 1°C/mn で冷却し、その後は炉冷する。

B) 720 $\pm$ 30°C の温度に 0.75h ずつ 1 回, 2 回, 3 回の加熱冷却を繰返した後、650°C までを 1°C/mn で冷却し、その後は炉冷する。(以下この処理を繰返処理 B-1 とよぶことにする)。

つぎに S 線材は 725°C (0.75h 保持の場合) 以下の加熱では変態組織があらわれないことを予備実験によつてたしかめ、その結果に基づいて上述の繰返処理 B-1 の場合の最高加熱温度 750°C を 750°C, 724°C, 710°C として加熱冷却を繰返した後、650°C までを 1°C/mn

で冷却し、その後は炉冷する。(以下この処理を繰返処理 B-2 とよぶことにする)。

以上のように種々の条件で焼なまし処理を行なった S および N 線材について組織, HrB 硬さをしらべ、また引張試験および圧縮試験を行なった。引張試験の試験片は S 線材の場合は 6mm  $\phi$  あるいは 5.2mm  $\phi$ 、N 線材の場合は 5.2mm  $\phi$  に旋削して仕上げたもので、L = 8D である。また静的圧縮試験の装置、方法は以前に行なつた<sup>2)</sup>ものと同じで、試験片は 6mm  $\phi$  に研削後 H = 2.4D に仕上げたものを用い、81~84% 程度の圧縮を行なった。さらにまた実際ボルト頭部の圧造試験に類似すると考えられる試験としてクランクプレス(回転数 200 rpm, クランク半径 26mm, 2 ps 電動機付)による動的圧縮試験を行なった。その場合の試験装置を Fig. 1 に示す。またその試験片は 5.2mm  $\phi$  に研削した H = 2.4D のもので、これについてまた 81~84% 程度の圧縮を行なった。

## III. 実験結果および考察

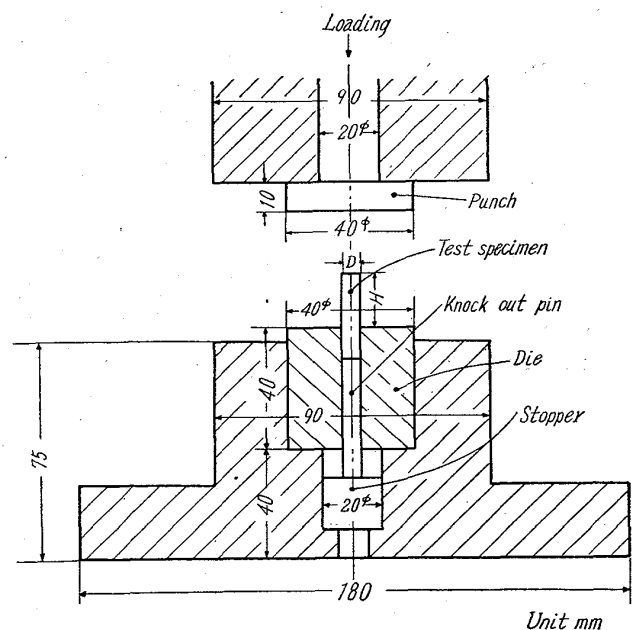


Fig. 1. Apparatus used for dynamic compression test.

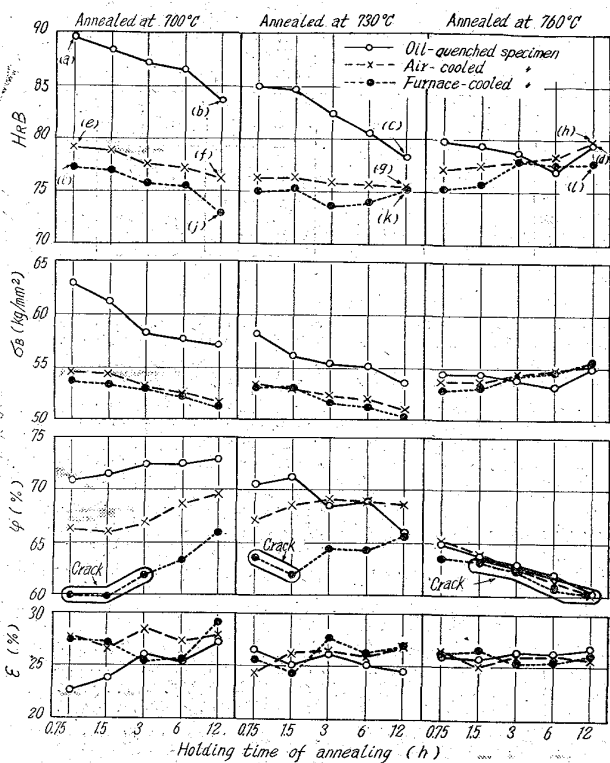


Fig. 2. Mechanical properties of wire rods S heat-treated at various temperatures and during different hours of holding and the occurrence of crack in static compression test.

- a) 焼なまし処理による組織および機械的性質の変化
- i) 焼なまし温度と時間の影響

前記A)の焼なまし処理を行なったS線材の機械的性質(硬さHrB, 引張強さ $\sigma_B$ , 絞り $\phi$ , 伸び $\epsilon$ )の値をFig. 2に示す。また図中(a), (b), (c)……(1)と記してある試料の組織をPhoto. 1に示す。

いま前処理I)の油冷材について焼なまし温度と時間の影響をみると、700°Cで0.75h加熱したものはPhoto. 1(a)に示すように極めて微細な球状セメンタイトが基地中に一様に分散しており、このために硬さ、引張強さはかなり高い。焼なまし時間が長くなるとともに次第に球状化は進行して硬さ、引張強さが下ってくる。すなわち写真(a)のような組織が写真(b)のようになる。またそれに伴って絞りは次第に大となり、12h程度の加熱によつてはほぼ一定の値を示すようになる。しかるに温度を730°Cに上げて焼なましを行なうと時間とともにセメンタイト粒の粗大化、凝集がおこり、軟化はいよいよ進行し写真(c)のような組織になる。伸びの値には大した変化はないが絞りの値が軟化に対して少しく低下しているのは上述のセメンタイト粒の粗大化、凝集によるものと思われる。さらに温度を760°Cに上げて焼

なましを行なうと硬さ、引張強さ、絞りの低下は依然つづけられるが12h程度の焼なましを行なったものでは短時間加熱の場合よりフェライトが大きく分離し、パーライトを生成するようになる。この状態が写真(d)であつて硬さ、引張強さは幾分上昇し、絞りはさらに低下する。

つぎに前処理II), III)の空冷材および炉冷材についてみるに油冷材と比べて硬さ、引張強さ、絞りはともに低いが、700°Cの長時間加熱によつてパーライト部分のセメンタイトの球状化が写真(e), (i)→(f), (j)のように進行するにつれて硬さ、引張強さの低下および絞りの上昇はやはり油冷材の場合と同様におこる。このような傾向は730°C加熱においても同様に続行され写真(g), (k)のような組織となる。さらに温度を760°Cに上げた焼なましでは短時間加熱においてすでにセメンタイト粒の凝集がおこり、これがパーライトの生成へと移行するにつれて硬さ、引張強さの上昇と絞りの値の低下がすすみ、12h加熱によつては写真(h), (l)のような組織となる。以上のように組織と対応して硬さ、引張強さおよび絞りの値は明らかな変化を示している。なおこの図中Crackと書いて枠で囲んだことについては後述する。

つぎにS線材と同様な焼なましを行なったN線材の焼なまし温度と時間に対する組織と機械的性質の値の変化は上述のS線材の場合と全く類似した傾向を示したことが認められた。

ii) 変態温度付近の繰返し加熱冷却の影響  
前記B)の焼なまし処理を行なったS線材の機械的性質の値をFig. 3に示す。図中(a), (b), (c)……(i)と記した試料の組織をPhoto. 2に示す。

まず繰返処理B-1の焼なましを行なったS線材の組織と機械的性質の変化をみると、前処理I)の油冷材で

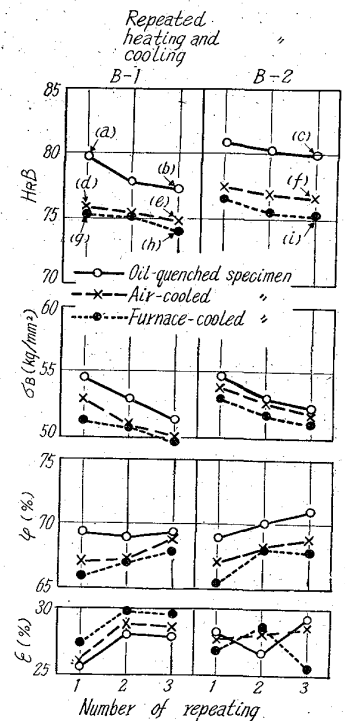


Fig. 3. Mechanical properties of wire rods S heat-treated by repeated heating and cooling at the adjacent temperatures to the transformation point.

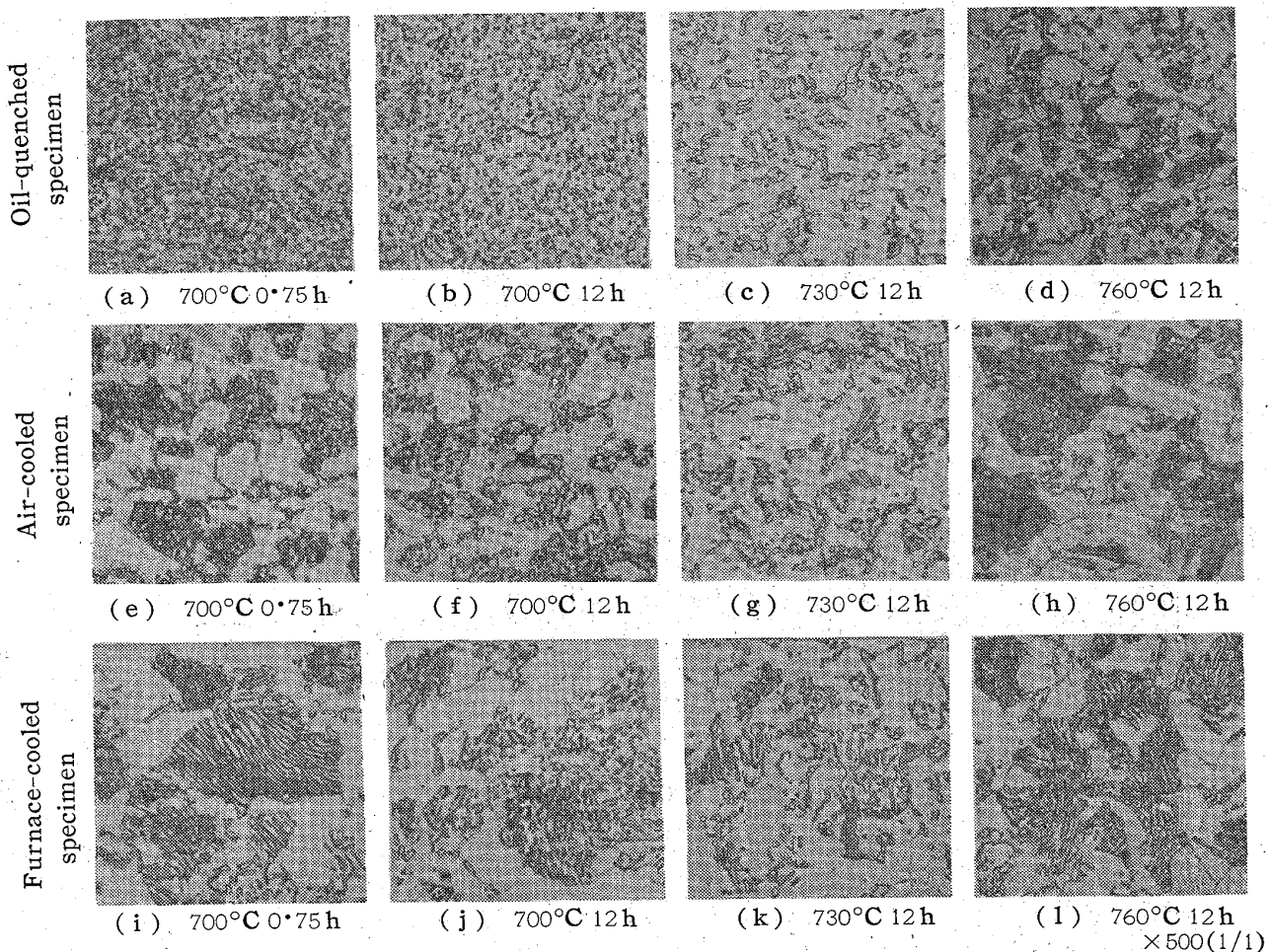


Photo. 1. Microstructure of wire rods S heat-treated at various temperatures and during different hours of holding.

は  $720^{\circ}\pm 30^{\circ}\text{C}$  の温度に 0.75 h づつ 1 回の繰返し加熱冷却を行なった場合 Photo. 2 (a) のようにやや粗大化した球状セメントイトがほぼ一様に分布している組織であるが、2, 3 回と繰返し回数が多くなるにつれてセメントイト粒が網状に凝集して例えば 3 回繰返しの場合には写真 (b) のようになる。また前処理 II, III) の空冷材および炉冷材では繰返し回数 1 回の場合写真 (d), (g) のように層状パーライトを含む組織となつていますが、繰返し回数が多くなるにつれて例えば写真 (e), (h) のようにセメントイト粒は著しく粗となる。以上の組織の変化に対応して硬さ、引張強さは次第に低下し、絞り、伸びは反対に上昇する。なおまたこのような焼なましを行なった N 線材の組織と機械的性質についての実験の結果は S 線材のそれと全く同様の傾向を示した。

つぎに S 線材について前述の繰返し処理 B-2 の焼なましを行なったものの組織と機械的性質の変化をみると、前述の繰返し処理 B-1 の焼なましに比べて、2, 3 回と繰返し回数が多くなるにしたがつて、油冷材では Photo.

2(c) のようにほぼ均一な球状セメントイト組織となりセメントイト粒が網状に凝集しがたくなる。また空冷材および炉冷材では次第に球状化し写真 (f), (i) のような組織となるが、炉冷材は空冷材よりその球状化は一般に困難である。またこのような組織の変化に対応して機械的性質の変化することは前述の繰返し処理 B-1 の場合と比べて目立つた差異はみられない。

#### b) 圧縮試験における割れ疵の発生

##### i) 静的圧縮試験

ボルト頭部圧造のさいなどの割れ疵発生の目安とする目的でアムスラー試験機を利用する静的圧縮試験を行なった結果についてはすでに発表した<sup>2)3)</sup>。まず前記の A) の焼なましを行なった S 線材についてこのような静的圧縮試験を行なった結果は Fig. 4 に示すとおりである。図の縦軸には試験片 1 コ当りの平均疵数を示し、また図中の □ は非常に微細な疵で現場的には問題にならないもの、⊠ は明瞭な割れ疵、■ は大きく開口している割れ疵の区別を示す。なお (1), (2), (3)……(6) と

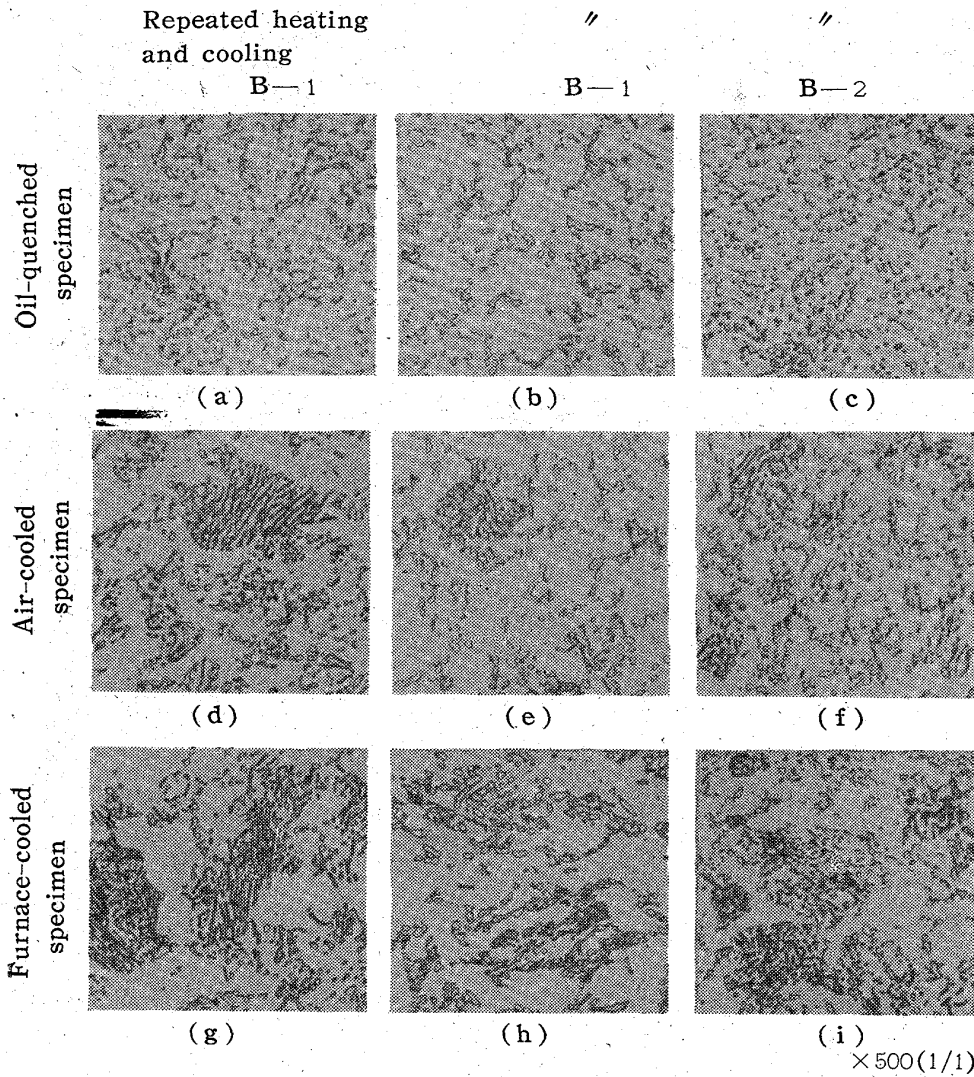


Photo. 2. Microstructure of wire rods S heat-treated by repeated heating and cooling.

記した試料の圧縮後の試験片を Photo. 3 に例示する。

この結果によれば前記 A) の焼なましを行なった油冷材および空冷材はともに 760°C の長時間加熱においてのみ Photo.3 (3) のような明瞭な 45° の迂り割れ疵が発生し、その他の試料ではすべて写真(1), (2), (4) のように割れ疵の発生は認められない。これに対して炉冷材では 700°C 加熱の場合には 3h 程度以下、730°C 加熱の場合には 1.5h 程度以下の時間で焼なましした試料では写真(5)に示したように明瞭な割れ疵がおこり、また 760°C 加熱の場合には 1.5h 程度以上になると写真(6)に示すような明瞭な迂り割れ疵がまた発生するようになる。したがって割れ疵の発生しない温度と時間との範囲が油冷材および空冷材に比べていちじるしくせま

くなっており、炉冷材が特に割れやすいものであることが明らかにかがわれる。このようなことを前述の Photo. 1, Fig. 2 などの結果と対比するとき線材の冷間加工性の向上は球状化焼なましによつて効果的に達成されるもので、このことはすでに以前に発表したこととよく一致している<sup>13)</sup>。なお Fig. 2 の φ の図中明瞭な割れ疵が発生した試料線材の範囲を枠で囲んであるが、この図から圧縮試験における割れ疵は引張強さにかかわらず絞りの値の低いものにおいて発生していることが認められる。伸びの値に対してはこのような判定は下し難い。

つぎに前記繰返処理 B-1 を行なった S 線材においては油冷材、空冷材および炉冷材ともに明瞭な割れ疵の発生は全く認められなかつた。

ii) クランクプレスによる動的圧縮試験

実際のボルト頭部圧造試験に類似すると考えられる実

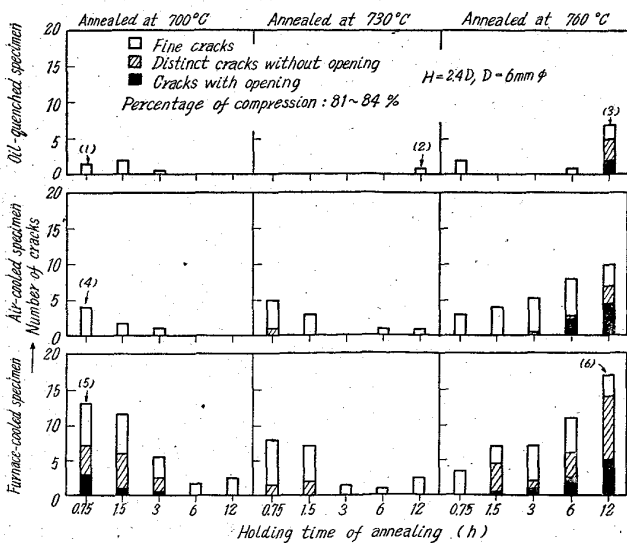


Fig. 4. Number of cracks by statical compression (Wire rods S).

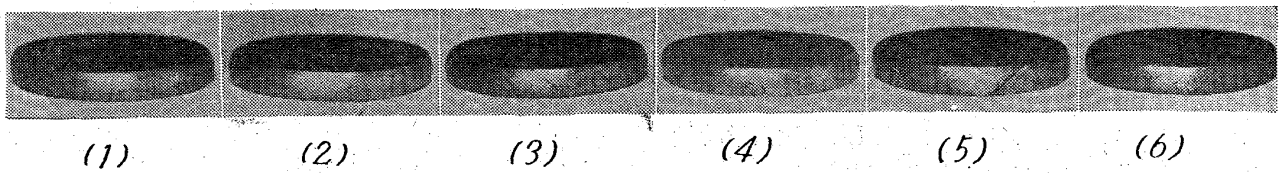


Photo. 3. Examples of statically compressed specimens (Wire rods S).  $\times 1.5(1/1)$

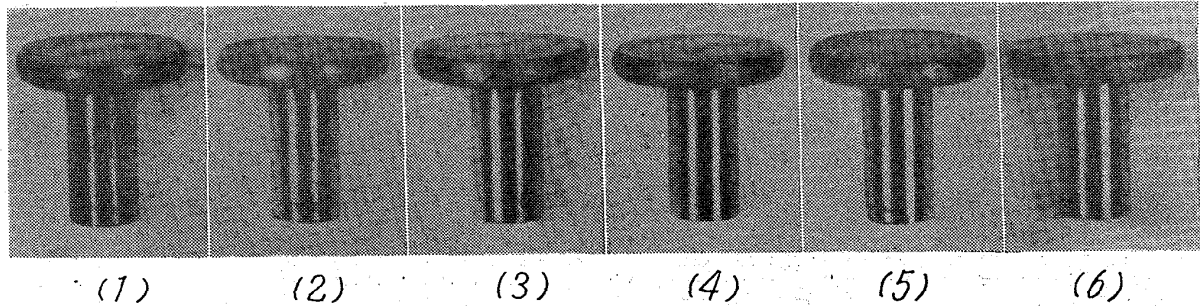


Photo. 4. Examples of dynamically compressed specimens (Wire rods N).  $\times 1.5(1/1)$

験としてクランクプレスを利用して、前記A) および繰返処理 B-1 の焼なましを行なつたN線材ならびに繰返処理 B-2 を行なつたS線材について動的圧縮試験を実施した。すなわちA) の焼なましを行なつたN線材の割れ疵発生状況を Fig. 5 に示す。図中の□, ▨, ■ は前述の静的圧縮試験の場合と同じく発生した割れ疵の区別を示すものであつて、また(1), (2), (3)…(6) と記した試料の圧縮後の試験片を Photo. 4 に示す。

Fig. 5, Photo. 4 についてみると、これらの結果から明らかなようにクランクプレスによる動的圧縮試験の割れ疵の発生は前述の静的圧縮試験の結果とよく対応していることがみとめられる。なお、この場合も静的圧縮試験と同様割れ疵の発生は伸びよりも絞りに対して規則性をもっているようで、明瞭な割れ疵の数と絞りとの関係を示せば Fig. 6 のようになり、種々の熱処理条件の差異にかかわらず1本の線上にのつているのがみられる。

つぎに前記繰返処理 B-1 の焼なましを行なつたN線材および繰返処理 B-2 を行なつたS線材ではいずれも明瞭な割れ疵の発生が全く認められなかつたことは前述の静的圧縮の場合と同じである。

### V. 結 言

以上の実験結果から冷間圧造用炭素鋼線材の球状化焼なましにさいしては、前処理および焼なましの温度および時間が相関連して影響し、高温に長時間保持するとかえつて有害であり適正な範囲があること、冷間圧縮加工における割れ疵の発生は伸びよりも絞りの値とよく対応すること、油冷の前処理を行なうことによつて比較的低温短時間の焼なましにもかかわらず冷

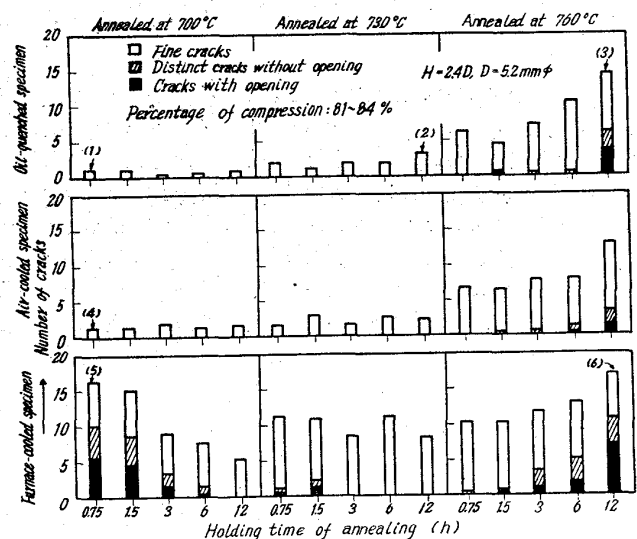


Fig. 5. Number of cracks by dynamic compression (Wire rods N).

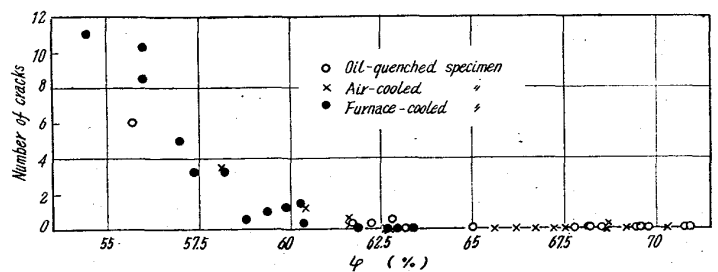


Fig. 6. Relations between number of cracks and contraction of area (Wire rods N).

間圧縮に対して割れ疵の発生に極めて安全な、しかも高強度のボルト材料をうる事が可能であることなどが明らかになつた。

なお、割れ疵の発生と各熱処理条件との関係について分散分析を行なった結果、前述の結論はすべて十分な信頼度をもって有意であることが確かめられている。本研究に関連して統計的解析を実施された東京工業大学助教吉本勇氏に感謝の意を表する次第である。

## 文 献

- 1) 横山, 山本(晃): 日本機械学会誌 (創立60周年記念特集号, 技術論文), 60 (1957) 465, p. 1080~1085
- 2) 横山, 山本(晃): 杉田: 鉄と鋼, 47 (1961) 3, p. 432~435
- 3) 横山, 山本(晃), 山本(襄): 鉄と鋼, 47 (1961) 10, p. 1544~1546

## 冷間加工した18-8ステンレス鋼の加熱過程における異常性\*

今井勇之進\*\*・斎藤 利生\*\*\*

## Anomaly in Dilatation on Heating of Cold Worked 18-8 Stainless Steel.

Yūnoshin IMAI and Toshio SAITÔ

## Synopsis:

The phase transitions on heating in 18-8 stainless steel as cold worked followed by solution-treatment were investigated mainly by differential dilatation method. Austenite was retained much more in rolled steel than in elongated, in hammered, and in wire-drawn ones.  $\alpha$  phase formed by cold working transformed into  $\gamma$  phase firstly at about 450°C, and the most part of  $\alpha$  into  $\gamma$  at the temperature range of 650~700°C, and the retained stable  $\alpha$  phase secondarily into  $\gamma$  phase at temperatures of 800~900°C. It is considered that the thermal stability of  $\alpha$  phase is varied by the working method and working ratio.

Abnormal expansion was always observed at about 530°C in thermal dilatation curve of cold worked 18-8 stainless steel by any working method. Especially, this anomaly was observed clearly in rolled steel, and the amount of expansion was enlarged as rolling ratio was increased, but on the other hand, the amount of contraction at about 650°C caused by  $\alpha \rightarrow \gamma$  transformation became smaller. This anomaly was markedly observed when steel was rolled in the condition with large surface friction between roll and rolled steel, and when steel was rolled in the condition of smaller friction by using any lubricant, only the smaller anomaly was observed in dilatation curve as same as elongated, or hammered or drawn steel.

(Received 24 September 1962)

## I. 緒 言

18-8 ステンレス鋼の成分組織は比較的オーステナイトの不安定な領域にあり常温以下への過冷却あるいは加工によって容易に相変化を起させることができる<sup>1)~6)</sup>。これらの相変化の程度は鋼の組成および加工温度, 加工度, 加工方法などの加工条件によつて大きい影響を受ける。一方, 加工によつて相変化を起した 18-8 鋼の加熱過程における変化については既にかなりの報告<sup>7)~11)</sup>があるが,  $\alpha \rightarrow \gamma$  逆変態の様相については必ずしも一致していない。

著者らは 18-8 鋼の常温加工による相変化ならびに加工後の加熱による相変化の様相を主として熱膨張により研究中, たまたま圧延加工材の熱膨張曲線の 530°C 付近に異常膨張現象の存在することを見出した。従来の文

献でかかる異常性の存在を認めているものは BASTIEN & DEDIEU<sup>9)</sup>の報告だけで, 彼等は熱膨張曲線の 580°C に異常膨張を認めこの原因を組成不明の炭化物の析出と見なしている。著者らの観察した異常膨張は BASTIEN らの報告するところと比べると異常性の起る温度も低く, かつその膨張はさらに大きく明瞭であるが現象的には同じものと解される。また最近佐藤, 古川<sup>12)</sup>も加工した 17-7 pH ステンレス鋼の加熱過程で同様の異常膨張を認めている。本報は主としてこの圧延加工材の加熱過程に現われる異常膨張の原因を究明する目的で実験した結果を報告する。

\* 昭和36年4月本会講演大会にて発表  
昭和37年9月24日受付

\*\* 東北大学金属材料研究所 工博

\*\*\* 防衛大学校 工博