

## 軸受鋼の時効変形に関する研究 (II)\*

服 部 喬\*\*

## THE DIMENSIONAL STABILITY OF BALL BEARING STEEL (II)

Takashi Hattori

## Synopsis:

Smaller specimen rings were examined under the same testing condition as mentioned in the previous report No. 1 (Tetsu-to-Hagané Vol. 42, No. 7, p. 556~561) and effects of cooling rate due to variation of specimen size have been studied primarily. Then specimens quenched from 830°C and 850°C have been scrutinized from various standpoints employing subzero treatment in order to clarify its effects, and at the same time crushing loads for these test rings were recorded.

The results were as follows:

- 1) Dimensional changes by aging for these specimens were smaller compared with larger rings previously tested. This decrease of dimensional changes is due to decomposing of retained austenite that takes place promptly in between quenching and tempering operations as a result of rapid cooling of smaller rings.
- 2) Effects of subzero treatment were as follows: At 830°C oil quenching, dimensional changes were contractive due to increase of martensite, moreover crushing values dropped and its standard deviation decreased. At 850°C oil quenching, crushing values dropped further and could not be increased very much by raising oil temperature. Very little effect was recognized even by applying marquenching and subzero treatment jointly.

## I. 結 言

第1報において大型鍛造リングについて理論的考察のもとに実験を行つたが、さらに試料が小さい場合には冷却速度が早いこと当然この影響が時効変形におよぼすことが考えられ、この相異を求める目的で肉厚の小さいリングを用いて第1報と同様の実験を行つた。つぎに現在時効変形に対しサブゼロ処理効果が問題にされており、この効果を明らかにする目的で種々の角度から (Marquenching 処理等を含む) サブゼロ処理を用いた実験を行つた。なお種々の処理条件に対する機械的性質を求める目的で同時に処理したリングの圧壊値を求めた。

## II. サブゼロ処理を用いない場合

第1報の外径 280 mm, 内径 250 mm, 巾 58 mm の大型鍛造リングより肉厚の小さい試料の場合には冷却速度が早いことこの冷却速度の影響によつて時効変形量が異なることが考えられ、この影響を明らかにするために外径 100 mm, 内径 85 mm, 巾 15 mm のリングを用いて第1報と同様の実験を行つた。同時に外径 52 mm, 内径 43 mm, 巾 15 mm のリングを処理して圧壊値を求めた。

## II-1. 熱処理方法

焼入温度は 830°C, 850°C を用い、830°C については第1報と同様焼入後焼戻の操作における冷却方法とこれにともなう時間の経過の影響をしらべる目的で、1) 直後焼戻、2) 油冷(15°C) 1 h 後焼戻、3) 水冷 15 mm 後焼戻、4) 1 日空冷後焼戻、焼戻は各々 150°C × 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> h 行つた。また 5) 直後 2 h 焼戻後 19 h 空冷後 1 h 報戻の 2 次テンパーの方法で行つた。850°C については直後 150°C × 2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> h 焼戻の方法で行つた。焼入油温度は 35°C である。

## II-2. 実験結果

以上の各処理に対する時効変形量、焼戻硬度、圧壊値およびその標準偏差を Table 1 に示す。

時効日数にともなう時効変形量を測定したが、第1値よりその傾向が推察できるから以下すべて 192 日間の時効変形量測定値のみを示すにとどめた。時効変形量測定試料は各処理につき 3 個ずつ用い、したがって Table の時効変形量は 3 個の平均値である。数値は第1報と同様単位長さで示した。圧壊値試料は各処理につき 10 個ずつ用いた。Table にその平均値および範囲および標準偏差を示した。なおこのリングの理論圧壊値は 730 kg

\* 昭和 30 年 4 月日本金属学会講演大会にて発表

\*\* 日本精工株式会社技術部

Table 1. Heat treatment without subzero treatment.  
Quenching oil temp. 35°C. Tempering 150°C×2<sup>1</sup>/<sub>2</sub> h

Quench temp.	Treatment after quenching	Tempered hardness	Dimensional changes 10 <sup>-6</sup> mm/mm	Crushing value kg	Standard deviation. kg
830°C	Directly	61.9 H <sub>R</sub> C	+20	796 580~915	122
830°C	Oil cool (15°C) 1h	62.1 "	- 5	818 605~965	110
830°C	Water cool 15mn	62.0 "	- 5	751 650~950	96
830°C	Air cool 1 day	62.0 "	- 6	703 460~850	118
830°C	Directly temper 2h Air cool 19h. secondary temper 1h.	61.3 "	+ 8	849 740~1020	105
850°C	Directly	62.2 "	+20	449 475~520	16

である。

### II-3. 実験結果の総括および考察

以上の結果時効変形は第1報と全く傾向は同一であつて、つぎのことがわかる。

1) 直後焼戻は焼入温度 830°C, 850°C とともに膨脹する。

2) 焼入後油冷, 水冷, 空冷して retained austenite の分解を起させたものは時効変形量が少く, かえつて収縮する傾向にある。

3) 2次テンパーを行つたものは直後焼戻の影響によりやや膨脹するが直後焼戻に比し少ない。

4) 焼入温度が高いと圧壊値は下りまた標準偏差が小さくなる。

時効変形量は第1報と同様単位長さで示してあるから同一処理条件に対して第1報の値と比較すれば明らかに本実験結果の方が時効変形量が少ない。この原因は小さい試料の方が大きい試料に比して冷却速度が早いために焼入後焼戻までの時間における retained austenite の分解が早く行われるためと考えられる。したがつて小さい品物に対しては焼入油の温度が上らぬよう油の冷却に注意した焼入における油の攪拌を充分行うようにすれば時効変形は減少でき, 焼入後空冷するか, 油冷すればかえつて収縮の傾向になる。なお第1報のリングと本報告のリングの X線廻折写真による素材の相異および retained austenite 量の測定結果および Hurlbut counter による球状炭化物量測定結果については第3報にて述べる。

### III. サブゼロ処理を用いた場合

サブゼロ処理に関しては, M. Cohen<sup>1)2)</sup> による詳細な研究があるが, 内外ともに目下研究の途上にあり軸受

鋼にサブゼロ処理を適用するにはさらに研究を必要とする状態にある。

本実験においては種々の角度からサブゼロ処理の効果をしらべる目的で焼入温度 830°C, 850°C の2つの場合につき行い, それらの温度において焼入後サブゼロまでの時間の影響, サブゼロ保持時間の影響, サブゼロ後焼戻までの時間の影響, 焼戻時間の影響, サブゼロ温度の影響, marquenching 処理の影響, 焼入油温度の影響をしらべた。試料はⅡに述べたと全く同じである。

#### III-A. 焼入温度 830°C の場合

焼入温度 830°C の場合について種々の影響をしらべた。

##### III-A-1. 焼入後サブゼロまでの時間の影響

焼入後の retained austenite の安定化の影響をしらべる目的で焼入後サブゼロまでの時間を変化させた。サブゼロ温度は-50°Cで保持時間は1h, 焼入油の温度はすべて35°Cである。焼入後 1) 直後, 2) 30mn, 3) 1h, 4) 2h, 5) 5h, 6) 1日空冷後について行つた。焼戻は150°C×2<sup>1</sup>/<sub>2</sub>hである。実験結果をTable 2に示す。

これらの結果すべて収縮を起した。これはサブゼロ処理による retained austenite の martensite への分解により, 常温における martensite の分解による収縮量が retained austenite の分解による膨脹量より大きくなつたことを示すものである。

retained austenite の安定化による焼入後サブゼロまでの時間の時効変形におよぼす影響は, その相異が実験の誤差内でほとんど認められない。これはサブゼロ処理温度が-50°Cであるためさらに低い温度に比し安定化の影響が少く retained austenite 量および martensite 量の差はあつても時効変形量として測定できる値

Table 2. The effect of time before subzero treatment.

Time	Tempered hardness	Dimensional changes $10^{-6}$ mm/mm	Crushing value kg	Standard deviation kg
Directly	62.5 H <sub>RC</sub>	-20	611 550~695	45
30mn air cool	62.6 "	-20		
1 h "	62.3 "	-20		
2 h "	62.3 "	-20		
5 h "	62.3 "	-20		
1 day "	62.1 "	-20	757 655~820	41

として現われなかつたためと考えられる。焼戻硬度は表に示してあるが、焼入後  $-50^{\circ}\text{C}$  サブゼロ処理によつて硬度は約  $0.5\text{HRC}$  程度上昇するがあまり変化しない。圧壊値はサブゼロ処理により低下し、標準偏差は小さくなる。この低下は martensite の増加に起因するものと考えられる。

### III-A-2. サブゼロ保持時間の影響

サブゼロ保持時間については試料の大きさによるが、影響はないという実験があり<sup>3)</sup>一応サブゼロ保持時間 15mn, 30mn について行つた。焼入直後  $-50^{\circ}\text{C}$  にサブゼロし、サブゼロ直後  $150^{\circ}\text{C} \times 2\frac{1}{2}\text{h}$  焼戻を行つた実験結果を Table 3 に示す。

Table 3. The effect of holding time at  $-50^{\circ}\text{C}$ 

Holding time	Tempered hardness	Dimensional changes $10^{-6}$ mm/mm
15mn	62.3 H <sub>RC</sub>	-20
30mn	62.7 "	-20

これらの結果 Table 2 の直後 1h サブゼロ直後焼戻と同様でサブゼロ保持時間の影響は時効変形量には差は認められない。これは試料に熱電対をつけて冷却の程度をしらべたが約 15mn で試料はサブゼロ温度に飽和する傾向を示した。したがつてサブゼロによる retained austenite の martensite 変態はその温度に達したときに進行するもので保持時間を長くしても時効変形に対して影響する程度変態が進まないことを示している。

### III-A-3. サブゼロ後焼戻までの時間の影響

サブゼロ後焼戻を行わず冷却して後焼戻を行いその影響をしらべた。時効変形に対しては影響を与えるとは考えられないが、サブゼロによつて生じた残留応力がサブゼロ直後焼戻せずに放置することによつて圧壊値に影響するのではないかと考えられる。 $-50^{\circ}\text{C}$  サブゼロ後 1日空冷して後  $150^{\circ}\text{C} \times 2\frac{1}{2}\text{h}$  焼戻を行つた。実験結果を Table 4 に示す。

Table 4. The effect of time after subzero treatment.

Tempered hardness	Dimensional changes $10^{-6}$ mm/mm	Crushing value kg	Standard deviation kg
62.2 H <sub>RC</sub>	-20	746 580~935	98

この結果サブゼロ後焼戻までの時間の影響は Table 2 の直後焼戻に対し時効変形量の差はなくまた硬度にも差は認められない。圧壊値に対しその平均値としては影響が認められないが、標準偏差が Table 2 の値に比し大きい。

### III-A-4. 焼戻時間の影響

焼戻時間の影響は第 1 報に述べたが一応焼戻時間の影響をしらべた。焼入直後  $-50^{\circ}\text{C}$  に 1h サブゼロ直後  $150^{\circ}\text{C} \times 1\frac{1}{2}\text{h}$  焼戻を行つた。実験結果を Table 5 に示す。

Table 5. The effect of tempering time

Tempered hardness	Dimensional changes $10^{-6}$ mm/mm	Crushing value. kg	Standard deviation kg
63.5 H <sub>RC</sub>	-20	596 560~650	27

この結果 Table 2 の直後  $2\frac{1}{2}\text{h}$  焼戻に対し焼戻時間の差が少く時効変形量には差は認められないが、硬度は焼戻時間の影響により高く、焼戻効果の減少により圧壊値は低下し標準偏差も低下する。

### III-A-5. サブゼロ温度の影響

サブゼロ温度が異れば retained austenite 量が異り、その結果時効変形にも影響をおよぼすことが考えられる。この影響をしらべてみた。焼入直後  $-15^{\circ}\text{C}$  サブゼロ直後、 $150^{\circ}\text{C} \times 2\frac{1}{2}\text{h}$  焼戻を行つた。実験結果を Table 6 に示す。

Table 6. The effect of subzero temperature

Tempered hardness	Dimensional changes $10^{-6}$ mm/mm
62.1 H <sub>RC</sub>	-5

この結果 Table 2 の $-50^{\circ}\text{C}$  サブゼロに比し時効変形の収縮量が小さいことがわかる。これは $-15^{\circ}\text{C}$ のサブゼロ処理は $-50^{\circ}\text{C}$ に比し retained austenite の分解が少ないことを示している。

### III-A-6. marquenching 処理の影響

marquenching 処理すると冷却速度が遅いため retained austenite が増加しそのため時効変形量を増加することが考えられ、retained austenite を減少させるためのサブゼロ処理効果が期待される。marquenching 処理にサブゼロ処理を併用した場合時効変形量がどうなるかをしらべてみた。軸受鋼は Ms 直上で保持する時間が約 1 mn で恒温変態を起すため、焼入後の品物の温度が $230^{\circ}\text{C}$ になるように $35^{\circ}\text{C}$ の焼入油に焼入後引上げ、空冷後 $-50^{\circ}\text{C}$  1 h サブゼロ直後 $150^{\circ}\text{C} \times 2\frac{1}{2}$  焼戻を行った。実験結果を Table 7 に示す。

Table 7. The effect of marquenching treatment.

Tempered hardness	Dimensional changes $10^{-6}\text{mm/mm}$	Crushing value. kg	Standard deviation kg
61.1 H <sub>RC</sub>	0	707 450~845	105

この結果 marquenching 処理を行つたものは時効変形量はほとんどない。これは marquenching 処理による retained austenite の増加および安定化を示すものである。硬度は通常の処理よりも低下する。圧壊値は考えられるほど上昇しないが標準偏差が大きくなる結果を示している。

### III-B. 焼入温度 $850^{\circ}\text{C}$ の場合

国内の軸受鋼は $830^{\circ}\text{C}$  焼入では球状炭化物の地への溶け込みが悪くそのため地の carbon 濃度が一般に低い。この地の carbon 濃度の減少はベアリングの寿命を短くするといわれている。しかし焼入温度を上げて地の carbon 濃度を増加する方法をとると残留応力が増加し機械的性質を悪くすることが考えられるから、焼

入油の温度を上げ、また marquenching 処理を行えば残留応力は減少すると考えられる。しかし、このような処理を行えば retained austenite が増加する。最近 Stark, Lement<sup>4)</sup>によれば retained austenite が surface martensite になるという文献があり、この retained austenite を減少するために、このように焼入温度が高くまた焼入油の温度が高い場合にはサブゼロ処理の必要も考えられる。このような見地より焼入温度を $850^{\circ}\text{C}$ とし、焼入油温度を上げ種々の影響をしらべた。

### III-B-1. 焼入油温度の影響

焼入油温度を上げた場合の影響をしらべる目的で種々の焼入油の温度に焼入れその影響をしらべた。

焼入油の温度 $45^{\circ}\text{C}$ 、 $100^{\circ}\text{C}$ 、 $150^{\circ}\text{C}$ 、 $200^{\circ}\text{C}$ の焼入油に焼入れ直後 $-50^{\circ}\text{C}$ に1h サブゼロ直後 $150^{\circ}\text{C} \times 2\frac{1}{2}$  h 焼戻を行った。実験結果を Table 8 に示す。

これらの結果時効変形量は $850^{\circ}\text{C}$  焼入の場合は $830^{\circ}\text{C}$  焼入の場合の収縮する結果に対しほとんどない結果を得た。これは焼入温度が高いため retained austenite が増加するためであると考えられるが、第1報の焼入温度の影響の場合、焼入直後焼戻した場合 $830^{\circ}\text{C}$  焼入と $850^{\circ}\text{C}$  焼入とで時効変形量が $150^{\circ}\text{C} \times 1$  h 焼戻の場合逆になつたが、この場合 $830^{\circ}\text{C}$  焼入の方が収縮したのは、サブゼロ処理により残留歪の差より retained austenite 量の差が大きく作用した結果と考えられる。

焼入油温度の影響は焼入油の温度が高いほど時効変形量が増加する傾向はあるが、実験の誤差内で明らかでない。これは焼入油温度が高くても直後サブゼロ処理を行う結果 martensite 変態が引続いておこりそのため retained austenite 量の差が少なくなるためと考えられる。

硬度は焼入油温度を高くすると低下する結果となるが圧壊値はやや上昇し、また標準偏差も大きくなる傾向にある。

### III-B-2. 焼入後サブゼロまでの時間の影響

retained austenite の安定化の影響をしらべる目的

Table 8. The effect of quenching temperature.

Oil temp.	Tempered hardness	Dimensional changes $10^{-6}\text{mm/mm}$	Crushing value kg	Standard deviation kg
$45^{\circ}\text{C}$	64.0 H <sub>RC</sub>	0	427 385~465	27
$100^{\circ}\text{C}$	62.8 "	0	401 365~445	26
$150^{\circ}\text{C}$	62.4 "	0	514 400~590	53
$200^{\circ}\text{C}$	62.4 "	0	565 505~635	42

で 100°C 焼入油に焼入後 1 日空冷後 -50°C 1 h サブゼロ直後 150°C × 2 $\frac{1}{2}$  h 焼戻を行つた。実験結果を Table 9 に示す。

Table 9. The effect of time before subzero treatment after quenching.

Tempered hardness	Dimensional changes 10 <sup>-6</sup> mm/mm	Crushing value. kg	Standard deviation kg
63.2 H <sub>RC</sub>	+ 3	377 350~390	14

この結果時効変形量は retained austenite の安定化による retained austenite 量の差はあつてもやや膨脹するのみでほとんど差は認められない。これは時効変形は焼戻後の martensite の量と retained austenite 量と安定化した量とによりきまるから、サブゼロ前に retained austenite を分解し安定化してしまえばサブゼロ効果はなくとも時効変形を減少できることを示している。

### III-B-3. サブゼロ保持時間の影響

焼入油温度 100°C の場合 -50°C サブゼロ 15mn 保持後直後 150°C × 2 $\frac{1}{2}$  h 焼戻を行いサブゼロ保持時間の影響を求めた。実験結果を Table 10 に示す。

Table 10. The effect of holding time at -50°C

Tempered hardness	Dimensional changes 10 <sup>-6</sup> mm/mm
63.6 H <sub>RC</sub>	0

この結果 Table 8 の保持時間 1 h の値と比較して、サブゼロ保持時間の影響は 830°C 焼入と同様影響は認められない。

### III-B-4. サブゼロ後焼戻までの時間の影響

焼入油温度 100°C の場合 -50°C 1 h サブゼロ後 1 日空冷後 150°C × 2 $\frac{1}{2}$  h 焼戻を行い、サブゼロ後焼戻までの時間の影響を求めた。実験結果を Table 11 に示す。

Table 11. The effect of time before tempering after subzero treatment.

Tempered hardness	Dimensional changes 10 <sup>-6</sup> mm/mm	Crushing value kg	Standard deviation kg
63.0 H <sub>RC</sub>	- 3	509 460~570	32

この結果時効変形量は Table 8 の値と比較してほとんど変化はなく圧壊値の標準偏差は 830°C の場合と同様やや大きくなっている。

### III-B-5. サブゼロ温度の影響

焼入油温度 100°C の場合焼入直後サブゼロ温度 -15°C に 1 h サブゼロ直後 150°C × 2 $\frac{1}{2}$  h 焼戻を行いサブゼロ温度の影響をしらべた。実験結果を Table 12 に示す。

Table 12. The effect of subzero temperature.

Tempered hardness	Dimensional changes 10 <sup>-6</sup> mm/mm	Crushing value. kg	Standard deviation kg
63.4 H <sub>RC</sub>	+ 5	464 400~500	30

この結果時効変形量は Table 8 の値と比較し retained austenite の分解量が -50°C に比し少いため膨脹の傾向を示している。圧壊値は -50°C に比しやや高くなっている。

### III-B-6. marquenching 処理の影響

marquenching 処理後 -50°C 1 h サブゼロ直後 150°C × 2 $\frac{1}{2}$  h 焼戻を行い marquenching 処理の影響を求めた。実験結果を Table 13 に示す。

Table 13. The effect of marquenching treatment.

Tempered hardness	Dimensional changes 10 <sup>-6</sup> mm/mm	Crushing value. kg	Standard deviation kg
62.1 H <sub>RC</sub>	+ 8	610 485~720	67

この結果時効変形量はやや膨脹の傾向にあり retained austenite の増加を示している。硬度は低下するが圧壊値は上昇し、標準偏差も大きくなっている。

### III-B-7. 焼入油温度の高い場合の焼入後サブゼロまでの時間の影響

焼入油温度 200°C の場合焼入直後サブゼロせず 1 $\frac{1}{3}$  h 空冷して後 -50°C 1 h サブゼロ直後 150°C × 2 $\frac{1}{2}$  h 焼戻を行い空冷による影響を求めた。実験結果を Table 14 に示す。

Table 14. The effect of time before subzero treatment in the case of high quenching oil temperature.

Tempered hardness	Dimensional changes 10 <sup>-6</sup> mm/mm	Crushing value. kg	Standard deviation kg
62.4 H <sub>RC</sub>	+ 3	569 450~650	63

この結果時効変形量は retained austenite 量の増

加によりやや膨張の傾向にある。硬度圧壊値には変化はないが標準偏差が増加している。

#### IV. 総 括

第1報のリングに比し小さいリングを用い、まず第1報で行つたと同様の実験を行い試料の大きさによる冷却速度の影響をしらべ、つぎにサブゼロ効果を明らかにするために焼入温度 830°C, 850°C の2つの場合につき種々の角度からサブゼロ処理を用いた実験を行つた。また同時に圧壊値を求めた。その結果つぎのごとき結果を得た。

##### I. サブゼロ処理を用いない場合

- 1) 直後焼戻は焼入温度 830°C, 850°C とともに膨張する。
- 2) 焼入後油冷, 水冷, 空冷して retained austenite の分解を起させたものは時効変形量が少く、かえつて収縮する傾向にある。
- 3) 二次テンパーを行つたものは直後焼戻の影響によりやや膨張するが、直後焼戻に比し少い。
- 4) 焼入温度が高いと圧壊値は下り、また標準偏差が小さくなる。

時効変形量は第1報に較べると明らかに少い。この原因は小さい試料の方が大きい試料に比して冷却速度が早いこと焼入後焼戻までの時間における retained austenite の分解が早く行われるためである。

##### I. サブゼロ処理を用いた場合

##### I-1) 焼入温度 830°C の場合

- 1) サブゼロ処理により時効変形は収縮を起し、圧壊値は低下しその標準偏差は小さくなる。これはサブゼロ処理による retained austenite の martensite への分解により時効変形として常温における martensite の収縮量が retained austenite の分解による膨張より大きくなつたことを示すものである。圧壊値の低下は martensite の増加に起因する。
- 2) 焼入後サブゼロまでの時間の影響、焼戻時間の影響は時効変形に対しこの実験では認められなかつた。
- 3) サブゼロ温度の影響は  $-15^{\circ}\text{C}$  は、 $-50^{\circ}\text{C}$  より retained austenite の増加により収縮量が少い。
- 4) marquenching 処理の影響は marquenching

処理による retained austenite の増加により収縮を起さない。圧壊値は考えられるほど上昇せず標準偏差が大きくなる。

##### I-2) 焼入温度 850°C の場合

- 1) 830°C 焼入に比し時効変形は収縮を起さないが圧壊値は低下する。
- 2) 焼入油の温度の影響は時効変形に対しこの実験では認められなかつたが圧壊値は上昇する。しかしその値は 830°C 焼入に比して低く硬度は低下する。
- 3) 焼入後サブゼロまでの時間の影響、サブゼロ保持時間の影響、サブゼロ後焼戻までの時間の影響は、時効変形に対しこの実験では認められなかつた。
- 4) サブゼロ温度の影響は  $-15^{\circ}\text{C}$  は  $-50^{\circ}\text{C}$  よりやや膨張の傾向にある。
- 5) marquenching 処理の影響はやや膨張の傾向にあり、硬度は低下するが圧壊値は上昇し、標準偏差も大きくなつている。
- 6) 焼入油温度の高い場合の焼入後サブゼロまでの時間の影響は retained austenite の増加によりやや膨張の傾向にある。

以上のごとく、サブゼロ処理効果につき種々の角度より実験を行つたが、通常の 830°C 焼入の場合には martensite の増加により時効変形としては収縮が大きくなりまた圧壊値も低下する結果となる。850°C 焼入の場合には焼入油の温度を上げて圧壊値の上昇は大きくなく marquenching 処理とサブゼロ処理を併用してもその効果はあまり認められない。

最後に本実験に種々御指導と御教示を戴いた東大橋口教授に対し深甚の謝意を表する次第である。

(昭 31~3 月寄稿)

#### 文 献

- 1) S. G. Fletcher, B. L. Averbach, M. Cohen: Trans. A.S.M. **40**(1948)p. 703
- 2) B. S. Lement, B. L. Averbach, M. Cohen: Trans. A.S.M. **41**(1949)p. 1061
- 3) M. Cohen, W. Gordon: Iron Age (1946) **157** p. 55
- 4) P. Stark, B.S. Lement; J. of Metals **6** (1954) p. 1074