

理論を用いることにより混粒の度合いを計算することも可能であることを示している。

終りに本研究を行うに当り、試料を御提供下さった住友金属工業株式会社車輛鑄鍛事業部宮内弘平氏に厚く感謝の意を表します。(昭和 35 年 9 月寄稿)

文 献

- 1) 堀川映二: 鉄と鋼, 40 (1954), 10, p.991
- 2) E. C. BAIN: Metals and Alloys, (1937), p. 348
- 3) W. M. WILLIAMS and C. S. SMITH: J. Metals, 4 (1952), 775

高炭素クローム鋼による軸受用鋼管の結晶偏析について*

三 好 栄 次**・松 浦 信 夫**

Microscopic Segregation in the High-Carbon Chromium Ball-Bearing Steel Tube.

Eiji MIYOSHI and Nobuo MATSUURA.

Synopsis:

Carbide segregation in ball-bearing steel has been said to be harmful in their life. But unfortunately there is no concrete experimental data on this problem. In order to see the effect of this segregation, flattening test which proved the strength at room temperature, and a life test were performed. Test pieces were taken from each ingot belonging to the same heats. These ingots were heated at high temperature for different durations. Consequently the grades of segregation in each ingot were found different. The ring made of the ball-bearing steel were quenched, tempered and flattened between the two arms of a physical test machine. Carbide segregation slightly affected the flattening strength of the ring. But from the practical point of view, these effects could be neglected.

A life-test machine was invented by the Government Mechanical Laboratory. The small needle cut from the tube were rolled between three rolls. Their life was proved by the noise caused by the flaking on the surface of the needle. Microscopic segregation did not affect on the life of the ball-bearing steel.

I. 結 言

結晶偏析の存在は軸受鋼としては好ましくないものとして従来からその程度が規定されていた。結晶偏析は鋼塊の中心に多く、外側に少ないので丸鋼として使用する場合は、中心部分は使用しないので比較的問題が小さい。しかし軸受を鋼管から製作する場合は内外ともに軌道面に使用されるので、結晶偏析を材料の中心まで消失させなければならない。結晶偏析は高温均質加熱によつて消失せしめることはできる。しかし高温に長時間加熱することは燃料経済の点からも酸化による損失の点からも原価的に重要な問題となり、製造者の立場からは十分検討されなければならない。この対策としては結晶偏析を減少させることも一つの方法であるが、同時に結晶偏析が使用上現実に影響を与える限界を研究し、不必要な努力を節約することも一つの方法である。反面結晶偏析の使用上の具体的な弊害について検討された例はあまり見ていない。本研究は軸受が使用上要求される性質の中

でもつとも具体的なものとして静的機械的性質を調べる圧潰試験と軸受の本質的な問題である寿命試験に関するもので結晶偏析の影響を調べた。

II. 実 験 方 法

1. 材料の調整

材料はすべて 8 t のエルー式電弧炉によつて溶解した 1.5 t の鋼塊 5 本から採取した。これらはいずれも同一溶解から得られたものである。

成分は C 1.01%, Si 0.37%, Mn 0.45%, P 0.007%, S 0.006%, Cu 0.13%, Cr 1.47% の高炭素クローム鋼である。

高温均熱加熱としては同時に同一加熱炉で 1250°C に加熱し、一定時間ごとに鋼塊 1 本宛引出して結晶偏析の程度を変化させた。一定の時間としては 5 h, 10 h, 15

* 昭和 34 年 4 月本会講演大会にて発表

** 住友金属工業株式会社

h, 20h, 25hの5種類である。

これらの鋼塊は丸鋼に圧延し、さらに Singer 式押出製管機により製管された。鋼管の寸法は外径 86mm, 内径 74mm, 肉厚 6mm であつて鋼塊からの鍛造比は断面積で換算して約 100 である。製管後の焼準, 球状化焼鈍は製品とまったく同様に実施されたものである。

圧潰試験片の寸法は外径 83mm, 内径 77mm, 肉厚 3mm, 巾 20mm であり; 寿命試験片寸法は外径 3mm $\pm 2\mu$, 長さ 20mm の棒状試験片で肉厚中央より採取した。

試験片の熱処理は 820°C に 20mn 保持後油焼入し前者は 180°C に 30mn, 後者は 170°C に 1h 油中焼戻を実施した。焼戻条件が異なつてゐるのは別に意味はない。寿命試験片は熱処理後表面を研磨し、さらに超仕上げした。

2. 試験機

a. 圧潰試験: アムスラー式万能型引張試験機により実施した。圧潰値は圧下速度によつて多少相違し速度が大きいと高く、遅いと低くなるのがわかつてゐる。したがつて本研究には圧下速度を未荷重状態で平行面の移動速度を一定とし、35mm/mn の大きさで圧潰することにした。

b. 寿命試験: 工業技術庁機械試験所において考案せられた早期寿命試験機を使用した。試験機の詳細は省略するが上記試験片を3枚のロールで挟み一定荷重を加えながら廻転するものである。試験片表面に Fig. 1 に示すような flaking が発生して高音を強く発することによつて寿命は判定される。初期は聴音によつたが後にはピックアップを付し、その振動の急激な増加によつて自動的に電源が切断されるように工夫した。試験片とロールとの間の迂りは寿命に影響する所が大きいので常にストロボ装置によつて監視し 6×10^{-4} 以下に抑えた。試験片とロール間の迂りは寿命にいちじるしい影響を与えるのでこの迂りの量がほぼ一定の状態の研究しないと意味

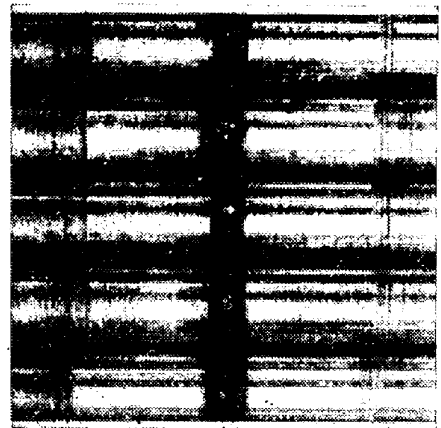


Fig. 1. Flaking on the test pieces of the life test.

がない。また長時間試験するとロールに flaking を発生することも考えられるので4本の試験片ごとに交換することにした。

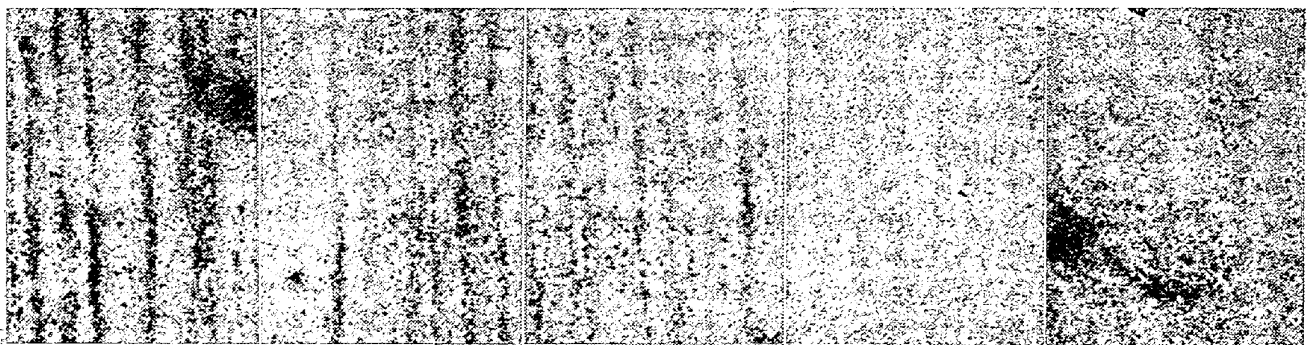
III. 圧潰値に及ぼす結晶偏析の影響

結晶偏析の程度を階級づけることは目分量で観察することであるから必ずしも明確ではない。しかし通常は標準の写真を基準にして判別し、5階級に分類してゐるのでこの方法を採用した。その標準写真を Fig. 2 に示す。また結晶偏析は内外によつて異なるので鋼管の内側半分と外側半分とに分けて判別した。

これらの各階級には0より4点まで点数を与えて最終的には内面、外面に対する点数を機械的に平均した。

各加熱条件の鋼塊の頭, 中, 底部より1本宛鋼管が製作され、そのすべての鋼管から圧潰試験片が2ヶ宛採取された。これらの各鋼管に対して上記の結晶偏析点数が算出された。その結晶偏析点数と圧潰値との関係を Fig. 3 に示す。圧潰値はほかの寸法の管との比較に便利のためつぎの式により内部最大応力に換算して示した。

$$\sigma = P/\pi F \times \{1 - e/\lambda(r-e)\}$$



Grade A

Grade B

Grade C

Grade D

Grade E

Fig. 2. Standard photography of carbide segregation. $\times 190$ (3/5)

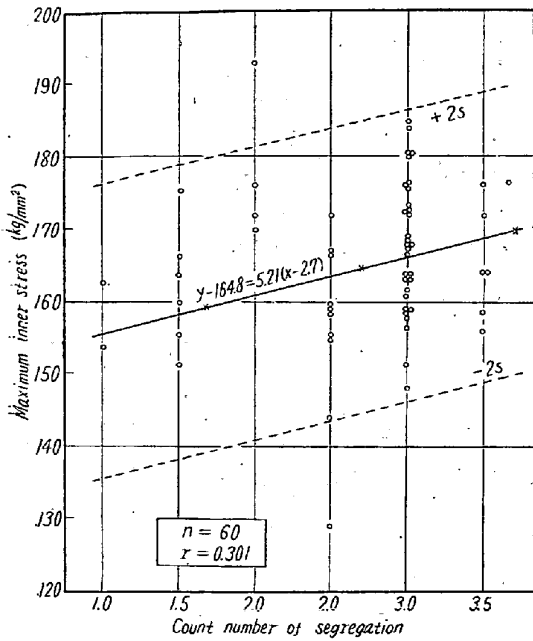


Fig. 3. Effects of carbide segregation on flattening test.

σ : 引張応力 (kg/mm²)

P : 圧潰値 (kg)

F : 断面積 $a \times b$ (mm²)

e : 肉厚の 1/2 (mm)

r : 中心軸の曲率半径 (mm)

$$\lambda: \frac{1}{3}\left(\frac{e}{r}\right)^2 + \frac{1}{5}\left(\frac{e}{r}\right)^4 + \frac{1}{7}\left(\frac{e}{r}\right)^6 + \dots$$

結晶偏析と圧潰値との間には有意な相関関係のあることがわかる。しかしこの相関係数は 0.301 であつてようやく相関を示す程度であることおよびわずかの例外を除いて現在の標準である 148 kg/mm² を上廻っていること、圧潰値自体において大きな変動を示すことの 3 点を考慮すると結晶偏析そのものが圧潰値に重大な影響を与える原因であることは考えられない。

結晶偏析が有害であるとするとはほかの要因に帰する必要がある。

IV. 軸受の寿命におよぼす結晶偏析の影響

転り軸受の静負荷容量を (Hertz) の平均接触圧力であらわすと約 350 kg/mm² であると称せられている¹⁾。このため Hertz 圧力 370 kg/mm² で実験を実施した。しかし寿命試験の結果は変動が多く数多くの実験をくり返し実施しなければならないので長期を要するものである。実験時間を短縮するため荷重を 470 kg/mm² に増加した場合をも追加実験した。

早期寿命試験機による試験結果は同一機械に対してはよく判定されるが試験機間の器差が完全に消失する段階

まで発展していない。したがつてこれらの実験はすべて同一試験機によつて実施したものである。

供試材料の鋼質試験として砂疵試験と非金属介在物検査を実施した。これらの結果を Table 1, Table 2 に示した。表に示す範囲では特に優劣を示す程度の相異は認められない。なお焼入前の球状化組織もいちじるしい相異はない。A 級, C 級, E 級のものについてその組織を Fig. 4 に示す。A 級の方が稍良好な組織を示している。

試験片は前述の高温均熱加熱試験の中から階級の異なるもの 5 種を撰択した。これらの内外面における結晶偏析の観察結果は Table 3 に示すとおりである。

球状化焼鈍状態で観察した場合と焼入後観察した場合では級が異なつて観察された。この場合は焼入後の方がよく観察されているが常に同様の結果であることは限らない。結晶偏析としての成績はこれらを総合的に判断したものである。

実験の実施に当つては実験順序を無秩序化するため乱

Table 1. Macroscopic nonmetallic inclusions inspected by necked eyes on the cutted surface.

Grades of segregation		Range in the length of non-metallic inclusions (mm)				
		0.1~0.4	0.5~0.9	1.0~1.9	2.0~2.9	>3.0
Grade A	Outside	1	0	0	0	0
	Inside	4	1	1	0	1
Grade B	Outside	1	0	1	0	0
	Inside	1	0	1	0	0
Grade C	Outside	4	1	0	0	0
	Inside	3	1	0	0	0
Grade D	Outside	0	0	0	0	0
	Inside	10	3	3	0	0
Grade E	Outside	1	1	0	0	1
	Inside	1	0	1	0	0

Table 2. Microscopic nonmetallic inclusions counted by the method of "Japanese Society for the Promotion of Science" Committee.

Grades of segregation	A-type		B-type	
	Cleanness	Average thickness (μ)	Cleanness	Average thickness (μ)
Grade A	1.7	3.1	2.3	3.5
Grade B	1.5	3.1	2.6	3.0
Grade C	1.5	3.1	2.8	3.1
Grade D	1.5	3.2	2.5	3.1
Grade E	1.5	3.1	2.4	3.3

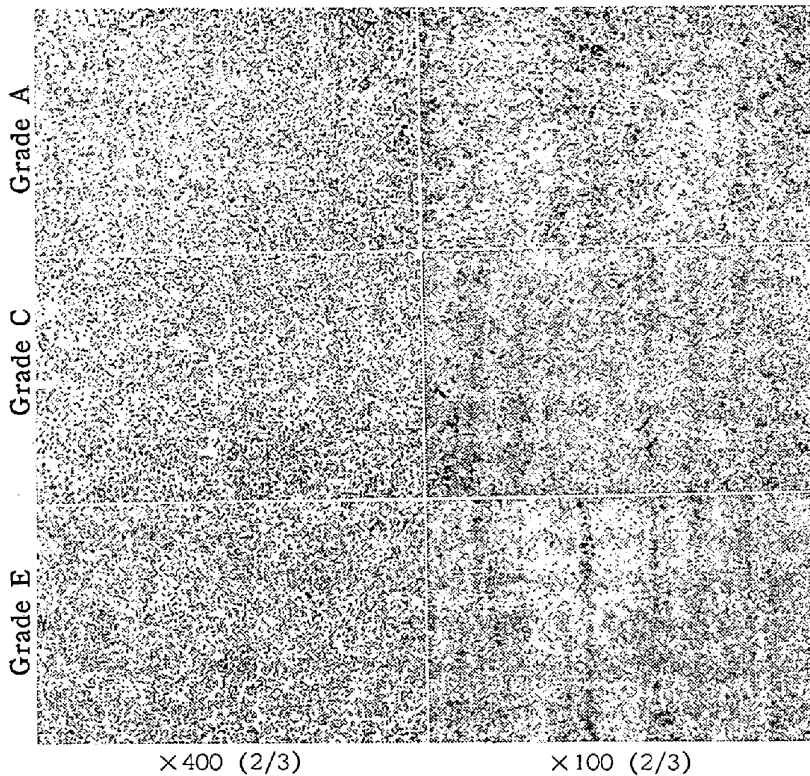


Fig. 4. Micrography of test pieces the life test before quenching: Grades mean the ranking of the carbide segregation shown in Table 3.

Table 3. Ranking of carbide segregation for test pieces classified by standard photography.

Grades of segregation	By observation before quenching		By observation after quenching	
	Near outside	Near inside	Near outside	Near inside
Grade A	A	C	A	B
Grade B	B	C	A	C
Grade C	B	D	A	C
Grade D	C	D	A	C
Grade E	D	E	C	E

A, B, C, D & E described in table are shown in Fig. 2.

数表を用いて順序を定めた。

また装置の機能を監視するため標準試料をも試験することにした。標準試料とは同一条件の試料を数多く準備して置き、試験片 4~5 本に 1 本の割合で実験に供する。無秩序化はこの標準試料をも含めて実験し、実験終了後ほかの実験結果の場合と比較することによってこの実験結果を批判するものである。いうまでもなく標準試料に関する比較は同一条件で実施されたもののみが比較され得るのである。

実験の初期は 5 階級に対して実験したものであるが、実験の途中で各階級に対していちじるしい差がないこと

が判ってきたので、実験を促進するため A, C, E の 3 階級に対してのみ実験を実施した。

Hertz 圧力 370 kg/mm^2 に対する結果を Fig. 5 に、 470 kg/mm^2 に対する結果を Fig. 6 に示す。いずれも廻転数の対数目盛を横軸に累積度数を縦軸にとつて示した。この図上で直線を示すことは回転数の対数が Gauss 分布することを示すものである。図の上でも判ることであるが、推計学的にその有意差判定を行なうと Table 4 のようになる。これらの結果から寿命の平均値に対しても変動に対してもこの程度の結晶偏析の相異は寿命試験の上にはほとんど影響を示さないことが判る。

470 kg/mm^2 の場合は変動が少なく 370 kg/mm^2 の場合の変動に対して有意な結果がでていいる。すなわち 470 kg/mm^2 の方がばらつきが少ないということになる。しかしこれはしばしばいわれているように過荷重であつたことに原因すると考えられる。 470 kg/mm^2 の結果よりは 370 kg/mm^2 の方が信頼性が高いと考える。平均値においては 370 kg/mm^2 と 470

kg/mm^2 とが 1 桁違つている。荷重の影響についてはすでに発表した²⁾。本報の結果は 470 kg/mm^2 に対し

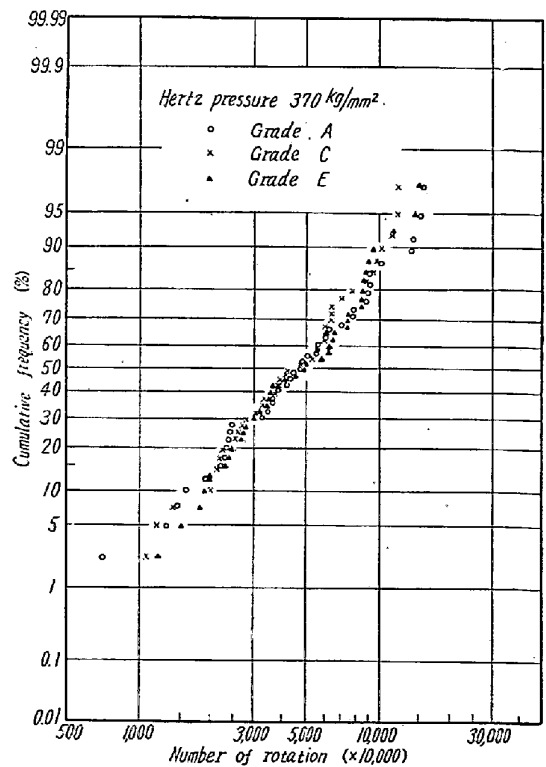


Fig. 5. Effects of carbide segregation on the life test.

ては前報とほぼ一致するが 370 kg/mm² はやや長い寿命を示している。

V. 結果に対する考察

本研究に使用された材料はすべて同一溶解から採取し、圧延、製管、熱処理などの製造工程は高温均質加熱を除いては工業的製品としてはまったく同一条件で製造されたものと考えなければならない。したがって高温均質加熱の影響が強くなる筈である。しかるに本研究の結果、高温均質加熱すなわち結晶偏析の影響は圧潰試験に対してわずかに、早期寿命試験に対してはほとんど影響を示さなかつた。前者に対しては影響はないわけではないが最悪の状態においても必要な条件のみたされていることを示した。

これらの結果に対しては二つの考え方がある。すなわち一つはこの製造工程によつて製造された鋼管に対しては途中の加熱や加工によつて材料が比較的均質化され、最悪の状態においても軸受として必要な性質が具備されているということである。ほかの一つは圧延、製管による加工比が大きくこれが結晶偏析の影響に打勝つて表われているということである。いずれが真の要因であるかは現在の段階では確認し得ないけれども上記二つの性質に関する限り工業的観点から鋼管においては結晶偏析は問題の対象外となる。

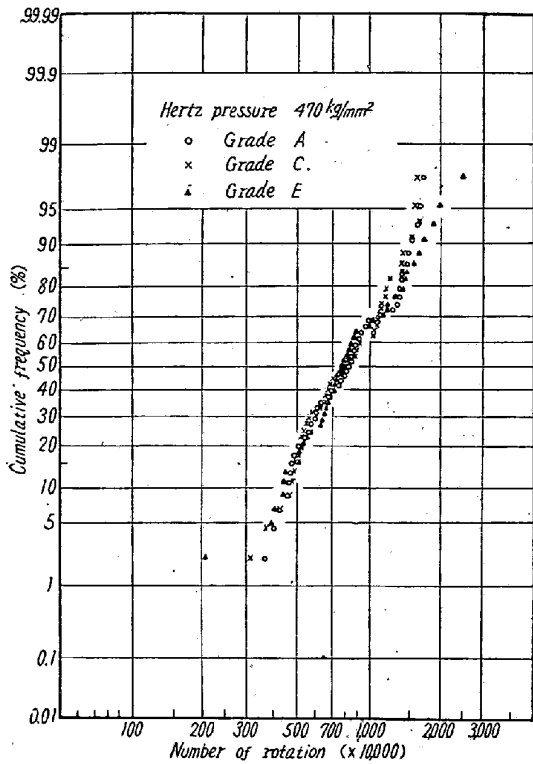


Fig. 6. Effects of carbide segregation on the life test.

Table 4. Statistical calculation for results of the life test.

Hertz pressure 370 kg/mm²

Segregation group compared	Number of test pieces	N	log N	σ (log N)	R (log N)	V	F-test	T-test
Grade A Grade C	39 40	4.753 × 10 ⁷ 4.582 × 10 ⁷	7.677 7.661	0.341 0.292	1.3266 1.1514	0.1165 0.0855	(1.363) no	(0.2236) no
Grade C Grade E	40 40	4.582 × 10 ⁷ 5.035 × 10 ⁷	7.661 7.702	0.292 0.302	1.1514 0.9711	0.0855 0.09115	(1.066) no	(0.6175) no
Grade A Grade E	39 40	4.753 × 10 ⁷ 5.035 × 10 ⁷	7.677 7.702	0.341 0.302	1.3266 0.9711	0.1165 0.09115	(1.278) no	(0.345) no

Hertz pressure 470 kg/mm²

Segregation group compared	Number of test pieces	N	log N	σ (log N)	R (log N)	V	F-test	T-test
Grade A Grade C	45 45	8.414 × 10 ⁶ 8.492 × 10 ⁶	6.925 6.929	0.193 0.201	0.6638 0.8298	0.0372 0.0403	(1.084) no	(0.374) no
Grade C Grade E	45 45	8.492 × 10 ⁶ 8.610 × 10 ⁶	6.929 6.935	0.201 0.234	0.8298 1.1470	0.0403 0.05495	(1.364) no	(0.1305) no
Grade A Grade E	45 45	8.414 × 10 ⁶ 8.610 × 10 ⁶	6.925 6.935	0.193 0.234	0.6638 1.1470	0.0372 0.05495	(1.477) no	(0.2205) no

Note: N=number of rotation, V=variance. R=range (max.-min.)

結晶偏析そのものが間接的に軸受に与える影響としてはほかにもいろいろあるであろう。たとえば地疵検査においてマクロ的非金属介在物のほかの結晶偏析が表われることがある。しかし地疵検査そのものが批判せられるべき性質のものであることは前に述べたとおりである³⁾。あるいは炭素量の偏析によつて球状化焼鈍が困難となり、また球状化が実施されても粒度が不揃となる可能性がある。この結果として軌道面の切削、研磨にさいして表面状態が均一にならないということも考えられる。しかしこれは製造上の困難性はあるとしても顕微鏡的観察によつて十分球状化されていることが確認されるならば素材としては問題ないことである。

上述の諸性質以外の要求が発生しない限り、鋼管として製造された軸受素材に対しては結晶偏析はいちじるしい影響を示さないと結論することができる。

VI. 結 言

本研究において高温均質加熱が軸受に与える影響を本質的に研究した。この結果鋼管に製造された高炭素クロームの軸受用素材に対してはいちじるしい影響を示さないことが結論された。高温均質加熱が省略あるいは簡略化されると製造上の立場から原価的のみならず製造期間の短縮など工業上有効な結果を招来することになる。

(昭和 35 年 7 月寄稿)

文 献

- 1) 青木三策, 吉川 功: 潤滑, 3, 4 (1958), 191
" 4, 5 (1959), 243
- 2) 三好栄次, 松浦信夫: 鉄と鋼, 45 (1959), No. 3 p. 345
- 3) 三好栄次: 鉄と鋼, 46 (1960), No. 14 p. 1744

13 Cr ステンレス鋼におよぼす P の影響について*

(13 Cr ステンレス鋼の研究—I)

山中直道**・日下邦男***・北原正信***

Influence of P on Properties of 13 Cr Stainless Steels.

(Studies on 13 Cr stainless steel—I)

Naomichi YAMANAKA, Kunio KUSAKA and Masanobu KITAHARA.

Synopsis:

To investigate the influence of P on properties of 13 Cr stainless steels, which were widely used for kitchen utensils, medical instruments, high-temperature duties and other uses. The authors measured the transformation temperatures, the hardness change, the mechanical properties at room and elevated temperatures and studied the corrosion resistance to 40% boiling nitric acid and to 5% acetic acid at room temperature and boiling.

The results obtained were as follows:

- (1) The Ac transformation temperatures were raised but the Ar¹¹ beginning points were lowered by P addition.
- (2) The as-annealed hardness of these steels and of cold-drawn materials were increased with P contents. The as quenched hardness was subjected to the influence of quenching temperatures but was not affected by P content. The resistance to softening by tempering were enhanced by P addition.
- (3) The tensile and yield strengths at room and elevated temperatures were increased by P addition, but elongation and reduction of area at room temperature were slightly decreased. The impact strength were lowered with P content.
- (4) The corrosion resistance to 40% boiling nitric acid was enhanced by less than 0.05% P, but the resistance to 5% boiling acetic acid was decreased by P addition.

* 昭和 32 年 4 月本会講演大会にて発表 ** 故 特殊製鋼株式会社研究所 工博 *** 特殊製鋼株式会社研究所