

JAERI-Tech
2002-047



JP0250268



低放射化Mn-Cr鋼の特性評価試験(3) —耐食性の評価—

2002年5月

斎藤 滋・深谷 清*・石山 新太郎・佐藤 育男*・楠橋 幹雄*
畠山 剛*・高橋 平七郎*・菊池 満

日本原子力研究所
Japan Atomic Energy Research Institute

本レポートは、日本原子力研究所が不定期に公刊している研究報告書です。
入手の問合せは、日本原子力研究所研究情報部研究情報課（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村）あて、お申し越しください。なお、このほかに財団法人原子力弘済会資料センター（〒319-1195 茨城県那珂郡東海村日本原子力研究所内）で複写による実費頒布をおこなっております。

This report is issued irregularly.

Inquiries about availability of the reports should be addressed to Research Information Division, Department of Intellectual Resources, Japan Atomic Energy Research Institute, Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken 〒319-1195, Japan.

©Japan Atomic Energy Research Institute, 2002

編集兼発行 日本原子力研究所

低放射化 Mn-Cr 鋼の特性評価試験（3）
-耐食性の評価-

日本原子力研究所東海研究所中性子科学研究センター

斎藤 滋・深谷 清^{*1}・石山 新太郎^{*1}

佐藤 育男^{*2}・楠橋 幹雄^{*2}・畠山 剛^{*2}・高橋 平七郎^{*3}・菊池 満^{*2}

(2002年3月7日受理)

日本原子力研究所（以下原研）と（株）日本製鋼所は共同で、Ni, Co が無添加の Mn-Cr 系低放射化非磁性鋼の開発を進めてきた。始めに成分と各製造工程のスクリーニングテストを行い、平成9年度までに VC シリーズと名付けられた数鋼種を試作した。平成10年度以降はこの VC シリーズの特性評価として、機械的特性・物理的特性・溶接性・耐食性・時効特性など様々な特性試験を行ってきた。本報告書はそれらの中から耐食性についてまとめたものである。ステンレス鋼の腐食試験の結果、各鋼種の相や Mn 量、C 量と耐食性の関係、銳敏化による腐食速度の変化などが明らかとなった。また、非磁性の鋼種については、改修後の JT-60 の真空容器鋼や遮蔽体の使用環境を想定した腐食試験（純水・80℃・3500時間）を行った。その結果、全面及び隙間腐食試験では重量変化は殆どなかった。ダブル-U ベンド試験でも割れの発生は見られなかった。

東海研究所：〒319-1195 茨城県那珂郡東海村白方白根2-4

^{*1} 大洗研究所核熱利用研究部、^{*2} 那珂研究所炉心プラズマ研究部

^{*1} 日本アドバンストテクノロジー（株）、^{*2}（株）日本製鋼所室蘭製鋼所、

^{*3} 北海道大学

Evaluation of Properties of Low Activation Mn-Cr Steel (3)

- Evaluation of Corrosion Resistance -

Shigeru SAITO, Kiyoshi FUKAYA^{*1}, Shintaro ISHIYAMA⁺¹,
Ikuo SATO^{*2}, Mikio KUSUHASHI^{*2}, Takeshi HATAKEYAMA^{*2}, Heishichiro TAKAHASHI^{*3}
and Mitsuru KIKUCHI⁺²

Center for Neutron Science
Tokai Research Establishment
Japan Atomic Energy Research Institute
Tokai-mura, Naka-gun, Ibaraki-ken

(Received March 7, 2002)

JAERI and the Japan Steel Works LTD. (JSW) have developed new Mn-Cr steels as low induced activation material. Until now, chemical composition and metallurgical processes were optimized and some steels named VC-series were selected. The properties of the steels have been evaluated and reported elsewhere. In this study, corrosion resistance of VC-series was studied. Corrosion tests for stainless steels were performed to investigate a relationship between corrosion rate and chemical composition or sensitization. Furthermore, corrosion tests under actual environment for the vacuum vessel of the reinforced JT-60 were done for non-magnetic steels. As a result, almost no weight change was observed for uniform and gap corrosion tests. No crack was shown for double U-bend corrosion tests.

Keywords : Low Induced Activated Material, Mn-Cr Steel, VC-series, Corrosion Resistance, Reinforced JT-60, Vacuum Vessel

⁺¹Department of Advanced Nuclear Heat Technology, Oarai Research Establishment

⁺²Department of Fusion Plasma Research, Naka Fusion Research Establishment

^{*}¹Nihon Advanced Technology Ltd, ^{*}²The Japan Steel Works Ltd, ^{*}³Hokkaido University

目 次

1. 緒言	1
2. 実験方法	2
3. 腐食試験結果	4
3.1. ステンレス鋼の腐食試験	4
3.1.1 粒界腐食試験	4
3.1.2 全面腐食試験	4
3.1.3 孔食試験	5
3.2. 実環境腐食試験	5
3.2.1 全面腐食試験	5
3.2.2 隙間腐食試験	5
3.2.3 ダブル U-バンド腐食試験	6
4. まとめ	7
謝辞	8
参考文献	8

Contents

1. Introduction	1
2. Experimental	2
3. Results of Corrosion Resistance Tests	4
3.1. Corrosion Test for Stainless Steels	4
3.1.1 Inter Granular Corrosion Tests	4
3.1.2 Uniform Corrosion Tests	4
3.1.3 Pitting Corrosion Tests	5
3.2. Real Environmental Corrosion Test	5
3.2.1 Uniform Corrosion Tests	5
3.2.2 Gap Corrosion Tests	5
3.2.3 Double U-bend Corrosion Tests	6
4. Conclusions	7
Acknowledgment	8
References	8

This is a blank page.

1. 緒言

日本原子力研究所（以下原研）と（株）日本製鋼所は共同で、Ni, Co が無添加の Mn-Cr 系低放射化非磁性鋼の開発を進めてきた。始めに成分と各製造工程のスクリーニングテストを行い、平成 9 年度までに VC シリーズと名付けられた数鋼種を試作した[1, 2]。平成 10 年度以降はこの VC シリーズの特性評価を行ってきた。特に VC9 など非磁性の鋼種については、原研が検討・評価作業を進めている、JT-60 改修後の真空容器鋼の候補材料に挙げられている。なぜなら、改修後の JT-60 の真空容器鋼には高比強度、低放射化、非磁性、核発熱が少ない、低コストなどの特性が求められているが、VC9 など非磁性の鋼種がこれらの要求を満たす材料であると考えられているためである。現在までに機械的特性・物理的特性・溶接性・耐食性・時効特性など様々な特性試験を行ってきた[3-5]。本報告書はそれらの中から耐食性についてまとめたものである。耐食性試験は JIS に基づいたステンレス鋼の腐食試験及び改修後の JT-60 の真空容器鋼や遮蔽体の使用環境を想定した腐食試験（純水・80℃・3500 時間）を行った。

ステンレス鋼の腐食試験の結果、各鋼種の相や Mn 量、C 量と耐食性の関係、銳敏化による腐食速度の変化などが明らかとなった。また、使用環境を想定した腐食試験（純水・80℃・3500 時間）の結果、全面及び隙間腐食試験では重量変化は殆どなかった。ダブル-U ベンド試験でも割れの発生は見られなかった。

2. 実験方法

(1) 製法及び成分分析値

本試験で用いた Mn-Cr 鋼 (VC9) は、平成 8～9 年度に（株）日本製鋼所で製造されたものである。以下に示すように、①溶解・造塊、②荒地鍛造、③熱間圧延、④固溶化処理の各製造工程を経て供試材を試作した。ただし、溶解後にレードル分析、完成後にもチェック分析を行った。以下に各工程の条件を示す。

①溶解・造塊

溶解は高周波溶解炉により行い、丸形 25～50kg 鋼塊に造塊した。目標成分は Table 2.1 に示す通りとした。

②荒地鍛造

1 ton ハンマーにより鍛造を行い、板状に成形した。主鍛造方向は鋼塊の軸方向と一致させた。

③熱間圧延

厚さ 30mm まで熱間圧延を行った。

④固溶化熱処理

固溶化熱処理条件は 1050°C × 1hour で、その後水冷を行った。

⑤チェック分析

チェック分析は JIS-G-0321 に準拠して行われた。チェック分析の結果は Table 2. 1 に示す。

完成した各供試材は試験片形状に加工して、腐食試験に供した。

(2) 腐食試験

耐食性評価試験としては、ステンレス鋼の腐食試験と実環境腐食試験を行った。ステンレス鋼の腐食試験については JIS で定める試験方法に従った。各試験条件を Table 2. 3～2. 5 に示す。ステンレス鋼の腐食試験は VC0、VC 2～4、VC8～15 の SA (固溶化処理) 材と銳敏化処理材に対して行った。銳敏化処理は 650°C × 2 時間とした。実環境腐食試験は VC9～VC15 の SA 材と VC9 の溶接継ぎ手に対して行った。溶接継ぎ手は TIG、TIG+MAG 及び EB とした。溶接条件を Table 2. 2 に示す。

ステンレス鋼の腐食試験 (VC0、VC 2~4、VC8~15)

(粒界腐食)

- ・ JIS G 0571 「ステンレス鋼の10%しゅう酸エッチ試験方法」
- ・ JIS G 0575 「ステンレス鋼の硫酸・硫酸銅腐食試験方法」
- ・ JIS G 0573 「ステンレス鋼の65%硝酸腐食試験方法」

試験条件はTable 2. 3に、試験片形状はFig. 2. 1にそれぞれ示す。

(全面腐食)

- ・ JIS G 0591 「ステンレス鋼の5%硫酸腐食試験方法」

試験条件はTable 2. 4に、試験片形状はFig. 2. 2にそれぞれ示す。

(孔食)

- ・ JIS G 0578 「ステンレス鋼の塩化第二鉄腐食試験方法」

試験条件はTable 2. 5に、試験片形状はFig. 2. 3にそれぞれ示す。

実環境腐食試験 (VC9~15母材、VC9溶接継ぎ手)

(全面腐食及び隙間腐食)

試験条件 : 純水・80°C・3500時間

試験片 : 18~19×20×t1mm (Fig. 2. 4 及び Fig. 2. 5)

装置 : オイルシェーカージェット噴流式槽

測定項目 : 外観(錆)・重量変化

(ダブルU-ペンド腐食)

試験条件 : 純水・80°C・3500時間

試験片 : 10×75×t2mm (Fig. 2. 6)

装置 : オイルシェーカージェット噴流式槽

測定項目 : 外観(錆、割れ)・重量変化

3. 腐食試験結果

3.1. ステンレス鋼の腐食試験

3.1.1 粒界腐食試験

①10%しゅう酸腐食試験の結果を Table 3. 1 に、試験後の金相写真を Fig. 3. 1(a)~3. 1(f) に示す。VC0、VC2~VC4 の固溶化処理材は段状組織、鋸敏化材では VC0、VC2~VC3 が溝状組織、VC4 は混合組織となった。VC0、VC2、VC3 は SUS316 と同じ結果であった。一方、VC8 と VC9 の SA 材は混合組織、鋸敏化材では溝状組織となった。これらの結果を Hull[6]の相図上に表すと Fig. 3. 2 に示すように、 $\gamma + \delta$ 相の VC0、VC2~VC3、 γ 単相の VC8 と VC9 及び Ishiyama[1, 2]らの境界付近の VC4 と、相によって結果が分かれた。また、Fig. 3. 1(e)~3. 1(f) に示すように、VC8 と VC9 の鋸敏化材では結晶粒界が深く腐食されている。これは C 量が 0.2% と他の鋼種よりも高く、鋸敏化されやすいためと考えられる。

②硫酸-硫酸銅腐食試験の結果を Table 3. 1 に、試験後の外観写真を Fig. 3. 3 に示す。VC0、VC2~VC4 の固溶化処理材には割れは発生しなかったが、鋸敏化材では割れが見られた。これは SUS316 と同じ結果であった。一方、VC8 と VC9 では固溶化処理材、鋸敏化材とともに割れが発生した。特に鋸敏化材では曲げの早い段階で割れが発生した。これらを Hull[6]の相図上に表すと Fig. 3. 4 に示すように $\gamma + \delta$ 相の VC0、VC2~VC4、 γ 単相の VC8 と VC9 と、相によって結果が分かれた。

③65%硝酸腐食試験の結果を Table 3. 1 に示す。SUS316 の結果と比べると、固溶化処理材、鋸敏化材とともに約 1 衍大きい腐食速度であった。低 C 鋼種の中では VC0 の腐食速度が最も大きかった。VC0、VC2~VC4 の結果を Mn 量依存性として Fig. 3. 5 に示す。固溶化処理材、鋸敏化材では Mn 量の増加とともに腐食速度も増加する事が分かった。鋸敏化による腐食速度の増加の割合も Mn 量の増加とともに大きくなる。また、高 C 鋼種の中での C 量依存性を Fig. 3. 6(a) Mn15.5wt%, Cr15.2~16.0wt% の場合および Fig. 3. 6(b) の Mn12.5wt%, Cr15.2~17.0wt% の場合をそれぞれ示す。いずれの場合にも C 量が 0.1~0.2wt% の間では腐食速度にほとんど差が見られなかった。C 量を VC3 や VC4 のように 0.02wt% まで下げるとき腐食速度は低下するが δ 相が現れ、非磁性鋼種ではなくなる。

3.1.2 全面腐食試験

5%硫酸腐食試験の結果を Table 3. 2 に、試験後の外観写真を Fig. 3. 7 にそれぞれ示す。SUS316 の腐食速度は固溶化処理材で約 1/20、鋸敏化材で約 1/5 であった。また、腐食速度の Mn 量依存性を Fig. 3. 8 に示す。 $\gamma + \delta$ 相の鋼種では、固溶化処理材の腐食速度に大きな

違いは見られなかった。一方、銳敏化材では Fig. 3. 8 に示すように、Mn 量の多い VC0 では腐食速度が微増するが、Mn 量が少ない鋼種では腐食速度が低下することが分かった。 γ 単相の VC8 と VC9 は、他鋼種よりも低い腐食速度であった。また、銳敏化処理による腐食速度の変化は僅かであった。

3.1.3 孔食試験

塩化第二鉄腐食試験の結果を Table 3. 3 に、試験後の外観写真を Fig. 3. 9(a)および(b)にそれぞれ示す。試験温度 15°C の結果を SUS316 の結果と比べると、固溶化処理材で約 4 枝、銳敏化材で約 2 枝程度大きな腐食速度であった。試験温度 15°C の時の腐食速度の Mn 量依存性を Fig. 3. 10(a)に示す。 $\gamma+\delta$ 相の鋼種では、VC0 は VC2～VC4 の数倍の高い腐食速度を示した。しかし、銳敏化材では VC0 の腐食速度はほとんど変化しなかったのに対し、VC2～VC4 の腐食速度は大きく増加し、VC0 と同程度になった。 γ 単相の鋼種では、VC8 の腐食速度は VC9 の 3～4 倍高かったが、銳敏化後はいずれも VC0、VC2～VC4 と同程度になった。

試験温度 35°C の結果を SUS316 の結果と比べると、固溶化処理材で約 2 枝、銳敏化材で約 1 枝程度大きな腐食速度であった。試験温度 35°C の時の腐食速度の Mn 量依存性を Fig. 3. 10(b)に示す。15°C と比べて全体的に腐食速度が上昇しているが、 $\gamma+\delta$ 相の鋼種では特に VC2 と VC3 の腐食度の上昇が大きく、VC0 と同程度であった。これらの鋼種は銳敏化後も腐食速度はほとんど変化しなかった。また VC4 の腐食速度は最も小さかったが、銳敏化後は VC0、VC2～VC3 と同程度になった。 γ 単相の鋼種では、VC8 の腐食速度は、固溶化処理材、銳敏化材のいずれも $\gamma+\delta$ 相の鋼種と同程度であった。VC9 の固溶化処理材では腐食速度のばらつきが大きかったが、銳敏化後は $\gamma+\delta$ 相の鋼種と同程度になった。

3.2. 実環境腐食試験（純水・80°C・3500 時間）

3.2.1 全面腐食試験

実環境全面腐食試験の結果を Table 3. 4～3. 6 に示す。全面腐食試験では VC9 の母材及び溶接材、SUS316 の母材及び VC10～15 の母材のいずれでも外観・重量の変化は殆ど無かった。

3.2.2 隙間腐食試験

VC9 の母材及び溶接継ぎ手の実環境隙間腐食試験の結果を Table 3. 7 に、外観写真を Fig. 3. 11(a)～3. 11(d)にそれぞれ示す。いずれの試験片でも隙間に鏽が発生したが、重量変化はほとんど無かった。

VC10～15 の母材の実環境隙間腐食試験の結果を Table 3. 8 に、外観写真を Fig. 3. 12(a)

～3. 12(d)にそれぞれ示す。いくつかの試験片で隙間に錆が発生したが、重量変化はほとんど無かった。

3. 2. 3 ダブル U-ペンド腐食試験

VC9 の母材及び溶接継ぎ手の実環境ダブル U-ペンド腐食試験の結果を Table 3. 9 に、外観写真を Fig. 3. 13(a)～3. 13(b)にそれぞれ示す。いずれの試験片でも隙間に錆が発生したが、割れは見られなかった。重量変化もほとんど無かった。

VC10～15 の母材の実環境ダブル U-ペンド腐食試験の結果を Table 3. 10 に、外観写真を Fig. 3. 14(a)～3. 14(f)にそれぞれ示す。いくつかの試験片で隙間に錆が発生したが、割れは見られなかった。重量変化もほとんど無かった。

4. まとめ

原研と(株)日本製鋼所が共同で低放射化非磁性鋼として開発した Mn-Cr 鋼について、耐食性の評価を行った。

1. ステンレス鋼の耐食性試験

JIS で定められたステンレス鋼の耐食試験を行った結果、今回試作した Mn-Cr 鋼の耐食性は全般的に SUS316 に比べ劣る事が分かった。試験結果を以下にまとめる。

粒界腐食試験

- (1) γ 単相の鋼種よりも $\gamma + \delta$ 相の鋼種の方が、耐粒界腐食性が優れている。
- (2) 低 C 鋼種の場合、固溶化処理材の腐食速度及び銳敏化による腐食速度の増加はいずれも Mn 量の増加とともに大きくなる。
- (3) 高 C 鋼種の場合、C 量が 0.1~0.2 wt.% の間では、固溶化処理材の腐食速度及び銳敏化による腐食速度の増加に C 量依存性は見られなかった。

全面腐食試験

- (1) $\gamma + \delta$ 相の鋼種では、固溶化処理材の腐食速度に Mn 量依存性は見られなかった。一方、銳敏化材では Mn 量が多い鋼種では腐食速度が微増するが、Mn 量が少ない鋼種では逆に腐食速度が低下する。
- (2) γ 単相の鋼種の腐食速度は、 $\gamma + \delta$ 相の鋼種よりも低かった。また、銳敏化による腐食速度の変化は僅かであった。

孔食試験

- (1) $\gamma + \delta$ 相の鋼種では、Mn 量が少ない鋼種の方が腐食速度が小さい。しかし、銳敏化材では Mn 量が多い鋼種では腐食速度がほとんど変化しないのに対し、Mn 量が少ない鋼種では腐食速度が大きく増加するため、Mn 量依存性が見られなかった。
- (2) γ 単相の鋼種では、固溶化処理材では腐食速度にばらつきが見られたが、銳敏化後は $\gamma + \delta$ 相の鋼種と同程度であった。

2. 実環境耐食試験

実環境耐食試験(純水・80°C・3500 時間)の結果、全面腐食では VC9 母材、溶接材・SUS316 母材ともに外観・重量変化は殆ど無かった。隙間腐食試験では錆の発生が見られたが、重量変化は殆ど無かった。ダブル U-ベンド試験でも割れの発生は見られなかった。

謝辞

本研究を行うに当たり、多くの援助と助言を頂きました旧高温材料強度研究室室長衛藤基邦氏（現ワシントン事務所所長）、炉心プラズマ研究部炉心プラズマ計画室の方々ならびに原子力エンジニアリングの大山剛氏と森順二氏に深く感謝いたします。

参考文献

- [1] H. Takahashi, Y. Shindo, H. Kinoshita and et al., J. of Nuclear Mater. 258-263(1998) 1644-1650.
- [2] S. Ishiyama, M. Eto, K. Fukaya, M. Kikuchi, I. Sato, M. Kusuhashi, T. Hatakeyama and H. Takahashi, J. At. Energy Soc. Japan, Vol.42, No.2, (2000)116-123..
- [3] S. Saito, K. Fukaya, S. Ishiyama, M. Eto, I. Sato, M. Kusuhashi, T. Hatakeyama, H. Takahashi and M. Kikuchi, JAERI-Tech 99-076(1999).
- [4] S. Saito, K. Fukaya, S. Ishiyama, I. Sato, M. Kusuhashi, T. Hatakeyama, H. Takahashi and M. Kikuchi, JAERI-Tech 2000-047(2000).
- [5] S. Saito, K. Fukaya, S. Ishiyama, M. Eto, I. Sato, M. Kusuhashi, T. Hatakeyama, H. Takahashi and M. Kikuchi, J. of Nuclear Mater. 283-287(2000)593-596.
- [6] F. C. Hull, Welding Journal, 52(1973)193.

Table 2. 1 Chemical composition of VC series and 316L stainless steel (wt%).

Element Material		Mn	Cr	Ni	Mo	C	N	Si	P	S	Co
VC0 1996	Nominal	24.5	13.5	—	—	0.02	0.20	0.50	—	—	—
	Product	24.85	13.46	0.01	0.01	0.019	0.227	0.48	0.024	0.008	0.002
VC2 1996	Nominal	18.5	15.2	—	—	0.02	0.20	0.30	—	—	—
	Product	18.36	15.08	0.01	0.01	0.022	0.205	0.32	0.024	0.005	0.003
VC3 1996	Nominal	15.5	15.2	—	—	0.02	0.20	0.30	—	—	—
	Product	15.16	15.08	0.01	0.01	0.023	0.193	0.29	0.026	0.004	0.003
VC4 1996	Nominal	12.5	15.2	—	—	0.02	0.20	0.30	—	—	—
	Product	12.39	15.16	0.01	0.01	0.024	0.243	0.29	0.026	0.003	0.003
VC8 1996	Nominal	15.5	15.2	—	—	0.20	0.20	0.30	—	—	—
	Product	15.47	15.07	0.01	0.01	0.020	0.213	0.26	0.024	0.004	<0.01
VC9 1996	Nominal	15.5	16.0	—	—	0.20	0.20	0.30	—	—	—
	Product	15.31	16.02	0.01	—	0.21	0.205	0.30	0.026	0.005	<0.01
VC101 997	Nominal	15.5	15.2	—	—	0.10	0.20	0.30	—	—	—
	Product	15.49	15.02	0.01	—	0.10	0.181	0.24	0.024	0.003	—
VC111 997	Nominal	15.5	15.2	—	—	0.15	0.20	0.30	—	—	—
	Product	15.35	15.14	0.01	—	0.15	0.172	0.23	0.024	0.003	—
VC121 997	Nominal	12.5	15.5	—	—	0.10	0.20	0.30	—	—	—
	Product	12.42	15.73	0.01	—	0.10	0.220	0.24	0.023	0.004	—
VC13 1997	Nominal	12.5	16.0	—	—	0.15	0.20	0.30	—	—	—
	Product	12.58	15.94	0.01	—	0.15	0.238	0.24	0.023	0.004	—
VC14 1997	Nominal	12.5	16.5	—	—	0.20	0.20	0.30	—	—	—
	Product	12.50	16.39	0.01	—	0.20	0.203	0.23	0.023	0.003	—
VC15 1997	Nominal	12.5	17.0	—	—	0.20	0.20	0.30	—	—	—
	Product	12.15	17.12	0.01	—	0.20	0.198	0.24	0.024	0.004	—
316L SS	JIS spec.	<2.00	16~18	12~15	2~3	<0.03	—	<1.00	<0.045	<0.03	—
	Product	1.07	17.16	12.07	2.14	0.011	0.07	0.51	0.021	0.001	—

Table 2. 2 Welding conditions of VC9.

Welding	Current (A)	Voltage (V)	Welding speed (mm/min)	Position	Sealeding gas
TIG	240/280	11~12	80	Flat	Ar
TIG+MAG	220~280	25~35	200~500	Flat	Ar,Ar+20%CO ₂
EB	140mA	110kV	400	Flat Horizontal	Vacuum※

Table 2. 3 Test conditions of corrosion tests for stainless steels.
(Inter granular corrosion tests)

Test method (JIS specification)	Test piece (mm)	Test time	Test temp.	Evaluation item	Tested materials※
10% oxalic acid etch test (JIS G 0571)	15×15×15 (Fig. 2. 1(a))	90sec.	R. T.	Etched surface	VC0, VC2, VC3, VC4, VC8, VC9 and 316SS
Copper sulfate - sulfuric acid test (JIS G 0575)	20×50×4 (Fig. 2. 1(b))	16hours	R. T.	Cracks	VC0, VC2, VC3, VC4, VC8, VC9 and 316SS
65% nitric acid test (JIS G 0573)	25×25×3 (Fig. 2. 1(c))	48hours×3	Boiling	Weight loss	VC0, VC2, VC3, VC4, VC8, VC9 and 316SS

※As solution annealed and sensitized

**Table 2. 4 Test conditions of corrosion tests for stainless steels.
(Pitting corrosion test)**

Test method (JIS specification)	Test piece (mm)	Test time (hour)	Test temp. (°C)	Evaluation item	Tested materials※
Ferric chloride test (JIS G 0578)	25×25×3 ((Fig. 2. 2))	20	15 35	Weight loss	VC0, VC2, VC3, VC4, VC8, VC9 and 316SS

※As solution annealed and sensitized

**Table 2. 5 Test conditions of corrosion tests for stainless steels.
(Uniform corrosion test)**

Test method (JIS specification)	Test piece (mm)	Test time (hour)	Test temp.	Evaluation item	Tested materials※
5% sulfuric acid test (JIS G 0591)	25×25×3 ((Fig. 2. 3))	0.5	Boiling	Weight loss	VC0, VC2, VC3, VC4, VC8, VC9 and 316SS

※As solution annealed and sensitized

Table 3. 1 Results of corrosion tests on VC series and 316L SS.

		10% oxalic acid etch test	Copper sulfate - sulfuric acid test	65% nitric acid test (weight loss ;g/m ² /h)	
VC	SA	Step	No Crack	8.86	8.87
	Sensitized	Ditch	Cracks	17.51	20.79
VC2	SA	Step	No Crack	5.83	4.02
	Sensitized	Ditch	Cracks	11.07	12.03
VC3	SA	Step	No Crack	4.36	4.36
	Sensitized	Ditch	Cracks	7.18	6.65
VC4	SA	Step	No Crack	4.17	4.26
	Sensitized	Dual	Cracks	5.14	4.62
VC8	SA	Dual	Cracks	14.53	11.77
	Sensitized	Ditch	Cracks	26.50	24.18
VC9	SA	Dual	Cracks	14.92	11.37
	Sensitized	Ditch	Cracks	26.48	28.18
VC10	SA	—	—	13.22	10.23
	Sensitized	—	—	28.66	26.22
VC11	SA	—	—	10.55	12.10
	Sensitized	—	—	25.21	27.88
VC12	SA	—	—	5.55	5.89
	Sensitized	—	—	22.48	22.02
VC13	SA	—	—	7.00	5.53
	Sensitized	—	—	23.39	21.54
VC14	SA	—	—	4.01	4.41
	Sensitized	—	—	22.45	22.62
VC15	SA	—	—	8.59	5.68
	Sensitized	—	—	22.92	21.82
316SS	SA	Step	No Crack	<0.5	
	Sensitized	Ditch	Cracks	1.5~2.0	

Table 3. 2 Results of uniform corrosion tests on VC series and 316L SS.

		5% sulfuric acid test (weight loss ; g/m ² /h)
VC0	SA	11369.27
	Sensitized	11639.47
VC2	SA	11412.31
	Sensitized	11017.74
VC3	SA	11203.24
	Sensitized	10343.69
VC4	SA	11113.08
	Sensitized	10353.57
VC8	SA	9854.87
	Sensitized	9768.65
VC9	SA	9768.21
	Sensitized	10138.55
316SS	SA	460~480
	Sensitized	1900~2300

Table 3. 3 Results of pitting corrosion tests on VC series and 316L SS.

		Ferric chloride test (15°C)		Ferric chloride test (35°C)	
		(weight loss ; g/m ² /h)		(weight loss ; g/m ² /h)	
VC0	SA	92.84	91.27	140.13	141.52
	Sensitized	93.55	93.54	137.04	132.76
VC2	SA	21.77	15.23	116.97	120.09
	Sensitized	96.99	95.51	134.84	125.89
VC3	SA	15.92	15.76	131.61	126.47
	Sensitized	92.71	93.65	122.71	133.38
VC4	SA	11.20	11.16	21.02	17.25
	Sensitized	78.35	79.39	128.22	124.52
VC8	SA	81.62	58.85	110.69	106.62
	Sensitized	89.06	88.68	131.81	132.36
VC9	SA	21.56	16.33	175.32	44.68
	Sensitized	90.75	88.07	118.97	113.97
316SS	SA	$3\sim5\times10^{-3}$		$7\sim8\times10^{-1}$	
	Sensitized	0.5~1.5		12~14	

Table 3. 4 Results of uniform corrosion tests in actual environment.
(VC9 and 316L SS base metal)

T. P. No.		Visual examination	Before test (g)	After test (g)	Weight change (g)
VC9	M1	No rust	8.448	8.448	0
	M2	"	10.638	10.638	0
	M3	"	8.029	8.029	0
	M4	"	8.027	8.026	-0.001
	M5	"	10.346	10.345	-0.001
316L SS	S1	No rust	15.155	15.155	0
	S2	"	14.677	14.677	0
	S3	"	14.925	14.925	0
	S4	"	14.076	14.076	0
	S5	"	12.358	12.356	-0.002

Table 3. 5 Results of uniform corrosion tests in actual environment.
(VC9 welded joints)

T. P. No.		Visual examination	Before test (g)	After test (g)	Weight change (g)
Base metal	CB1	No rust	24.17	24.17	0
	CB2	"	23.84	23.84	0
MAG WM	CD1	"	23.95	23.95	0
	CD2	"	24.07	24.07	0
TIG WM	MT4	No rust	23.07	23.08	+0.01
	MT5	"	23.07	23.07	0
	MT6	"	22.84	22.84	0
EB WM	EY1	No rust	18.146	18.146	0
	EY2	"	18.112	18.112	0
	ES1	"	18.127	18.127	0
	ES2	"	18.147	18.147	0

**Table 3. 6 Results of uniform corrosion tests in actual environment.
(VC10~15 base metal)**

T. P. No.		Visual examination	Before test (g)	After test (g)	Weight change (g)
VC10	1	No rust	21.811	21.810	-0.001
	2	"	21.237	21.237	0
VC11	1	"	21.763	21.763	0
	2	"	21.690	21.690	0
VC12	1	"	21.215	21.215	0
	2	"	21.737	21.737	0
VC13	1	"	21.819	21.819	0
	2	"	21.316	21.316	0
VC14	1	"	21.395	21.395	0
	2	"	21.034	21.034	0
VC15	1	"	21.745	21.744	-0.001
	2	"	21.269	21.269	0

Table 3. 7 Results of gap corrosion tests in actual environment.
(VC9 welded joints)

T. P. No.			Visual examination	Before test (g)	After test (g)	Weight change (g)
Base metal	GB1	Large	Rust	13.920	13.923	+0.003
		Small	"	8.430	8.427	-0.003
	GB2	Large	"	14.170	14.175	+0.005
		Small	"	8.430	8.426	-0.004
MAG WM	GD1	Large	Rust	13.990	13.988	-0.002
		Small	"	8.440	8.438	-0.002
	GD2	Large	"	14.020	14.019	-0.001
		Small	"	8.380	8.377	-0.003
TIG WM	MT1	Large	Rust	13.70	13.70	0
		Small	"	8.05	8.05	0
	MT2	Large	"	13.65	13.65	0
		Small	"	8.02	8.03	+0.01
	MT3	Large	"	13.60	13.60	0
		Small	"	8.02	8.02	0
EB WM	EY1	Large	Rust	16.911	16.911	0
		Small	"	6.513	6.513	0
	EY2	Large	"	16.975	16.975	0
		Small	"	6.520	6.520	0
	ES1	Large	"	17.014	17.014	0
	ES2	Small	"	6.549	6.549	0
	ES2	Large	"	16.932	16.933	+0.001
	ES1	Small	"	6.541	6.541	0

Table 3. 8 Results of gap corrosion tests in actual environment.
(VC10~15 base metal)

T. P. No.			Visual examination	Before test (g)	After test (g)	Weight change (g)
VC10	1	Large	No Rust	12.856	12.855	-0.001
	2	Small	"	7.626	7.625	-0.001
	3	Large	"	12.340	12.339	-0.001
	4	Small	"	7.588	7.588	0
VC11	1	Large	Rust	12.701	12.701	0
	2	Small	"	7.597	7.597	0
	3	Large	No Rust	12.450	12.450	0
	4	Small	"	7.561	7.561	0
VC12	1	Large	"	12.621	12.621	0
	2	Small	"	7.647	7.647	0
	3	Large	"	12.082	12.082	-0.001
	4	Small	"	7.622	7.622	0
VC13	1	Large	Rust	12.944	12.944	-0.001
	2	Small	"	7.356	7.356	0
	3	Large	No Rust	12.811	12.811	0
	4	Small	"	7.706	7.706	0
VC14	1	Large	"	12.664	12.664	0
	2	Small	"	7.581	7.581	0
	3	Large	Rust	12.550	12.550	0
	4	Small	"	7.678	7.678	0
VC15	1	Large	No Rust	12.657	12.657	0
	2	Small	"	7.596	7.596	0
	3	Large	Rust	12.686	12.686	-0.001
	4	Small	"	7.583	7.583	0

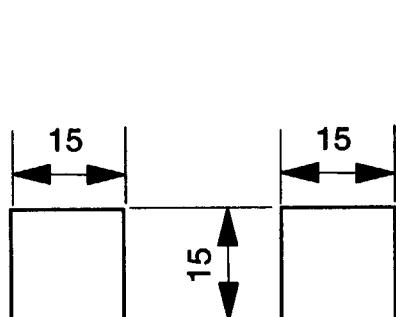
Table 3. 9 Results of double U-bend corrosion tests in actual environment.
(VC9 base metal and MAG welded joints)

T. P. No.			Visual examination	Before test (g)	After test (g)	Weight change (g)
VC9 base metal	1	Inner	No Rust No Crack	11.226	11.226	0
	2	Outer	" "	11.652	11.652	0
	3	Inner	Rust -	11.537	11.537	0
	4	Outer	" "	11.445	11.446	+0.001
MAG welded joints	BD1	Inner	Rust No Crack	11.734	11.734	0
		Outer	- -	11.569	11.570	+0.001
	BD2	Inner	" "	11.468	11.468	0
		Outer	No Rust -	11.057	11.057	0

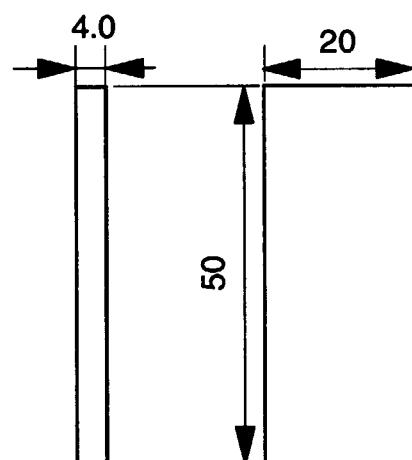
Table 3. 10 Results of double U-bend corrosion tests in actual environment.
(VC9~15 base metal)

T. P. No.			Visual examination		Before test (g)	After test (g)	Weight change (g)
VC10	1	Inner	No Rust	No Crack	9.621	9.621	0
	2	Outer	"	"	9.861	9.861	0
	3	Inner	"	"	9.948	9.949	+0.001
	4	Outer	"	"	9.649	9.649	0
VC11	1	Inner	Rust	No Crack	9.587	9.587	0
	2	Outer	"	"	9.764	9.764	0
	3	Inner	"	"	10.022	10.022	0
	4	Outer	"	"	9.819	9.819	0
VC12	1	Inner	No Rust	No Crack	9.844	9.844	0
	2	Outer	"	"	9.596	9.596	0
	3	Inner	Rust	"	9.647	9.647	0
	4	Outer	"	"	9.611	9.611	0
VC13	1	Inner	Rust	No Crack	10.008	10.008	0
	2	Outer	"	"	9.682	9.682	0
	3	Inner	No Rust	"	9.836	9.836	0
	4	Outer	"	"	9.624	9.624	0
VC14	1	Inner	No Rust	No Crack	9.781	9.781	0
	2	Outer	"	"	9.792	9.792	0
	3	Inner	"	"	9.630	9.631	+0.001
	4	Outer	"	"	9.604	9.604	0
VC15	1	Inner	No Rust	No Crack	9.583	9.583	0
	2	Outer	"	"	9.789	9.789	0
	3	Inner	"	"	10.164	10.164	0
	4	Outer	"	"	10.069	10.069	0

(a) 10% oxalic acid etch test

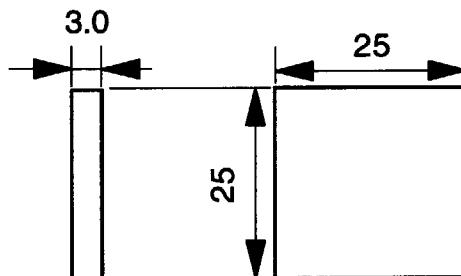


(b) Copper sulfate-sulfuric acid test



※Bending

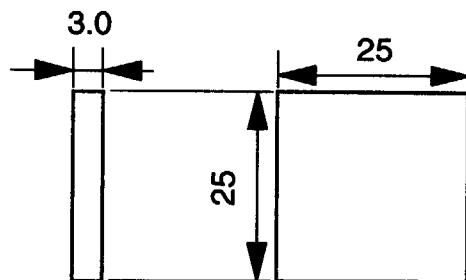
(c) 65% nitric acid test



(Unit : mm)

Fig. 2. 1 Test pieces for intergranular corrosion tests.

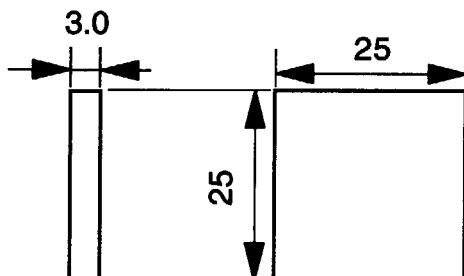
5% sulfuric acid test



(Unit : mm)

Fig. 2. 2 Test piece for pitting corrosion test.

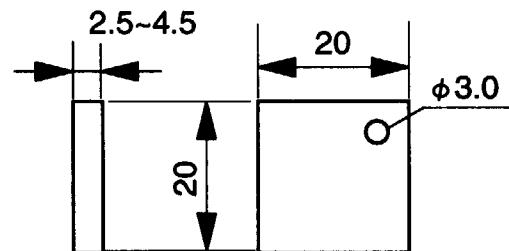
Ferric chlorided test



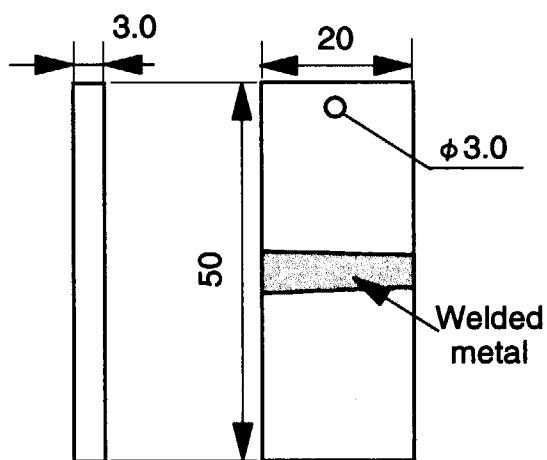
(Unit : mm)

Fig. 2. 3 Test piece for uniform corrosion test.

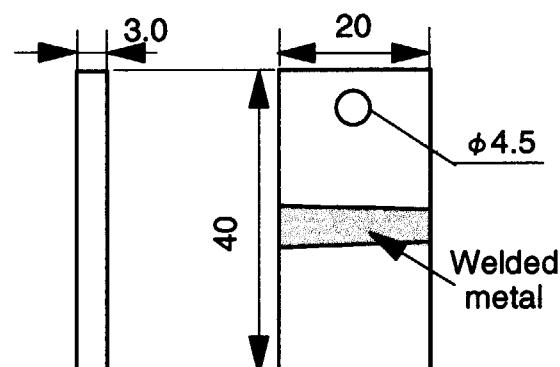
(a) Base metal of VC9 and SUS316L



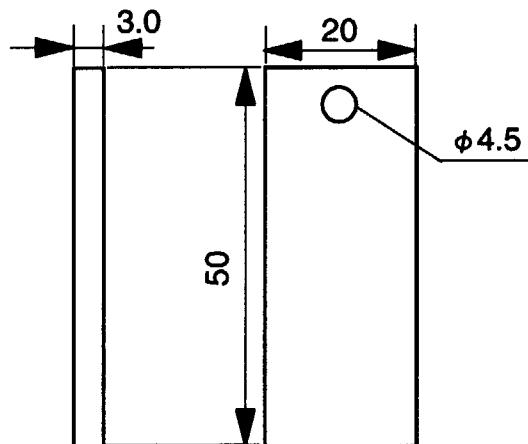
(b) Base metal of VC9, MAG welded joints and TIG welded joints



(c) EB welded joints



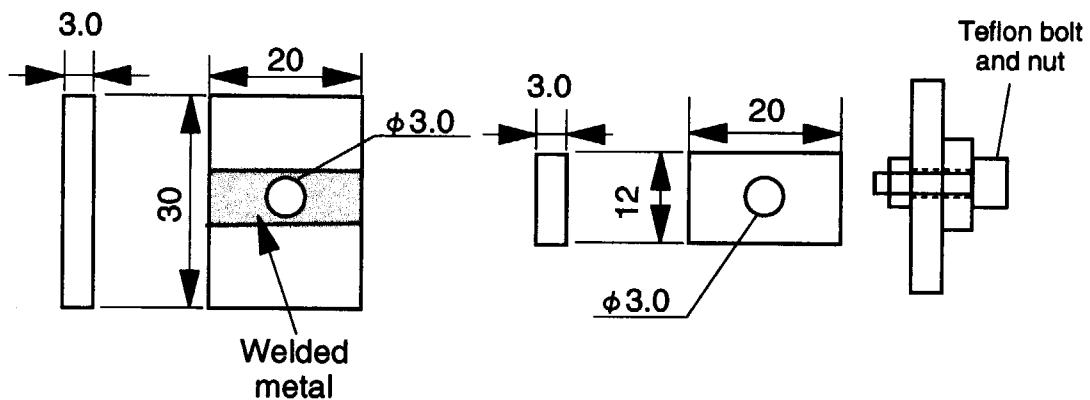
(d) Base metal of VC10~VC15



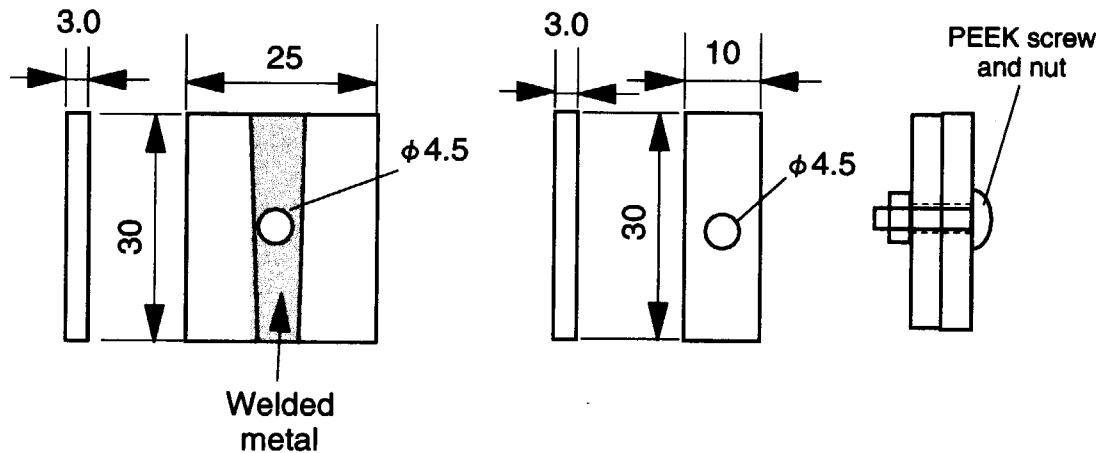
(Unit : mm)

Fig. 2. 4 Test pieces for uniform corrosion tests in actual environment.

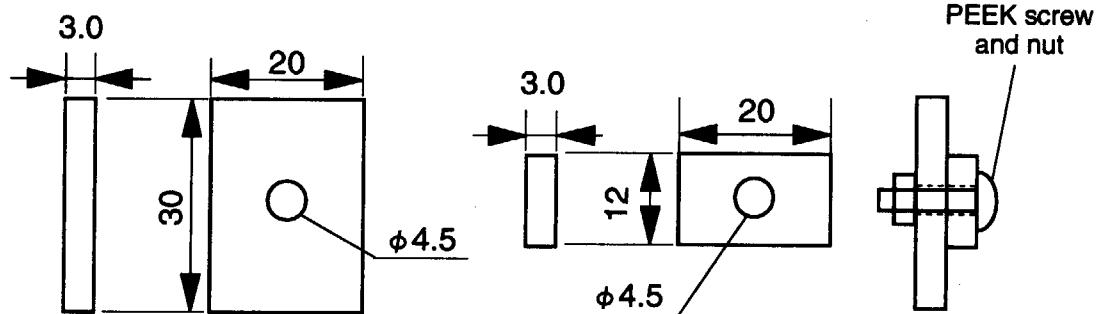
(a) Base metal of VC9, MAG welded joints and TIG welded joints



(b) EB welded joints



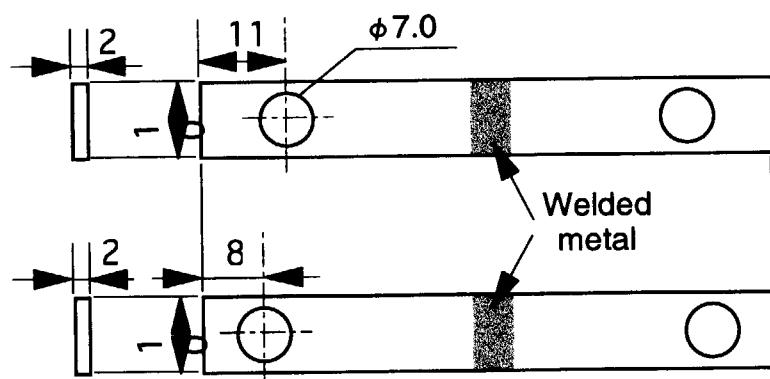
(c) Base metal of VC10~VC15



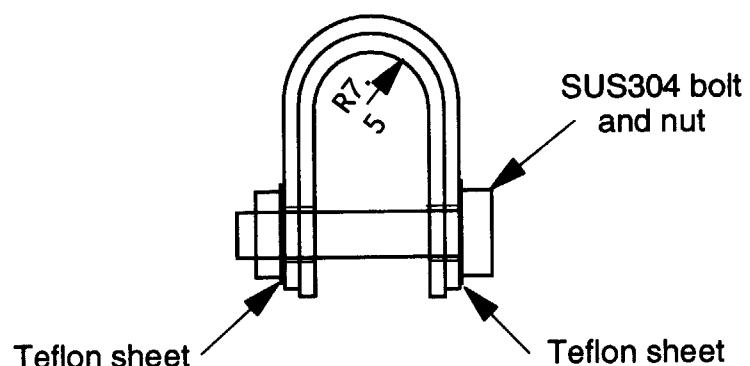
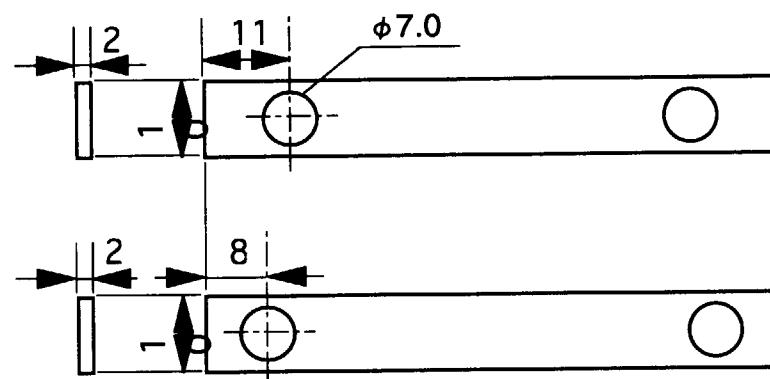
(Unit : mm)

Fig. 2. 5 Test pieces for gap corrosion tests in actual environment.

(a) VC9 MAG welded joints



(b) Base metal of VC9~VC15



(Unit : mm)

Fig. 2. 6 Test pieces for double U-bend corrosion tests in actual environment.

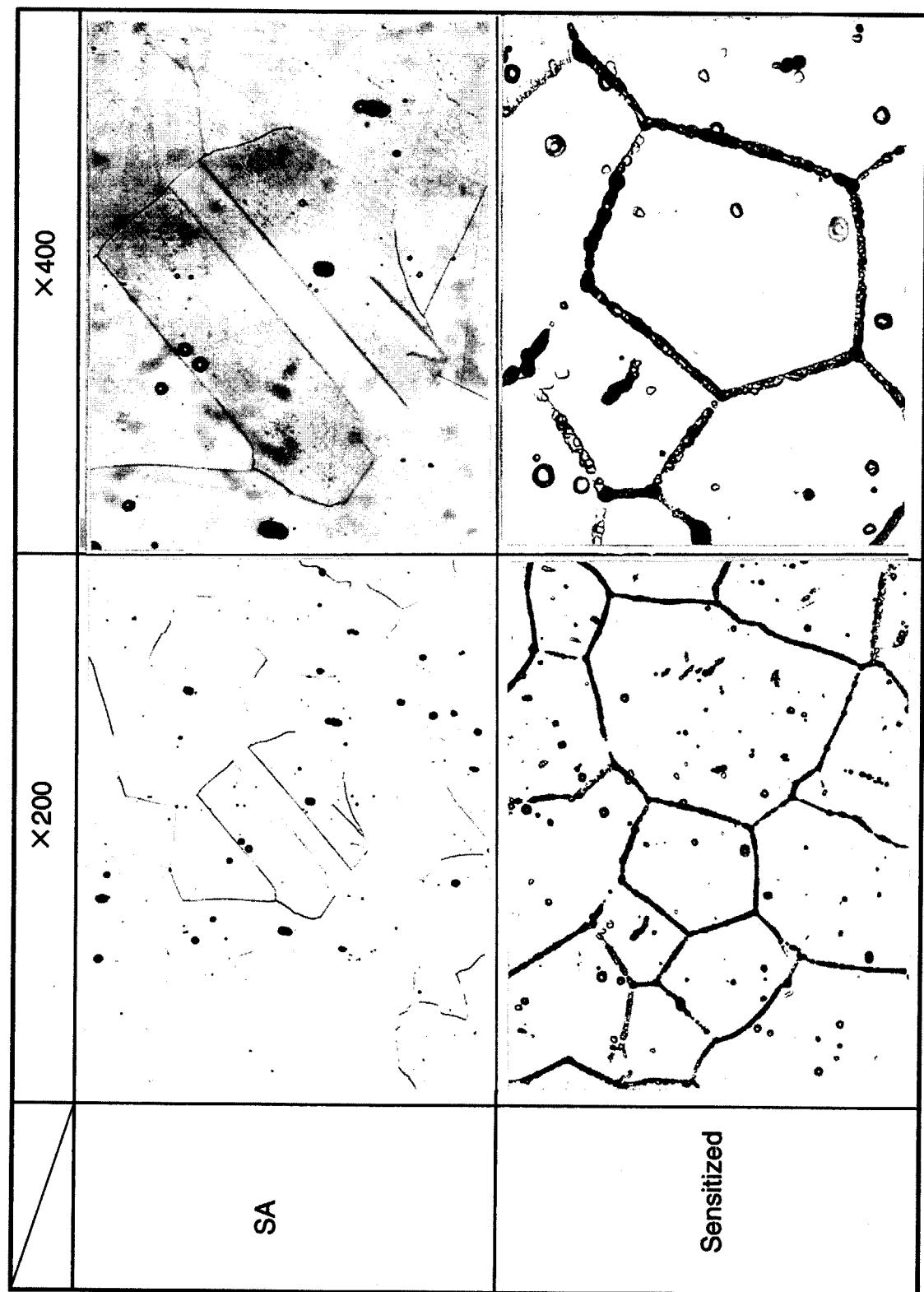


Fig. 3. 1(a) Metallographic observations of VCo base metal after corrosion tests in 10%oxalic acid.

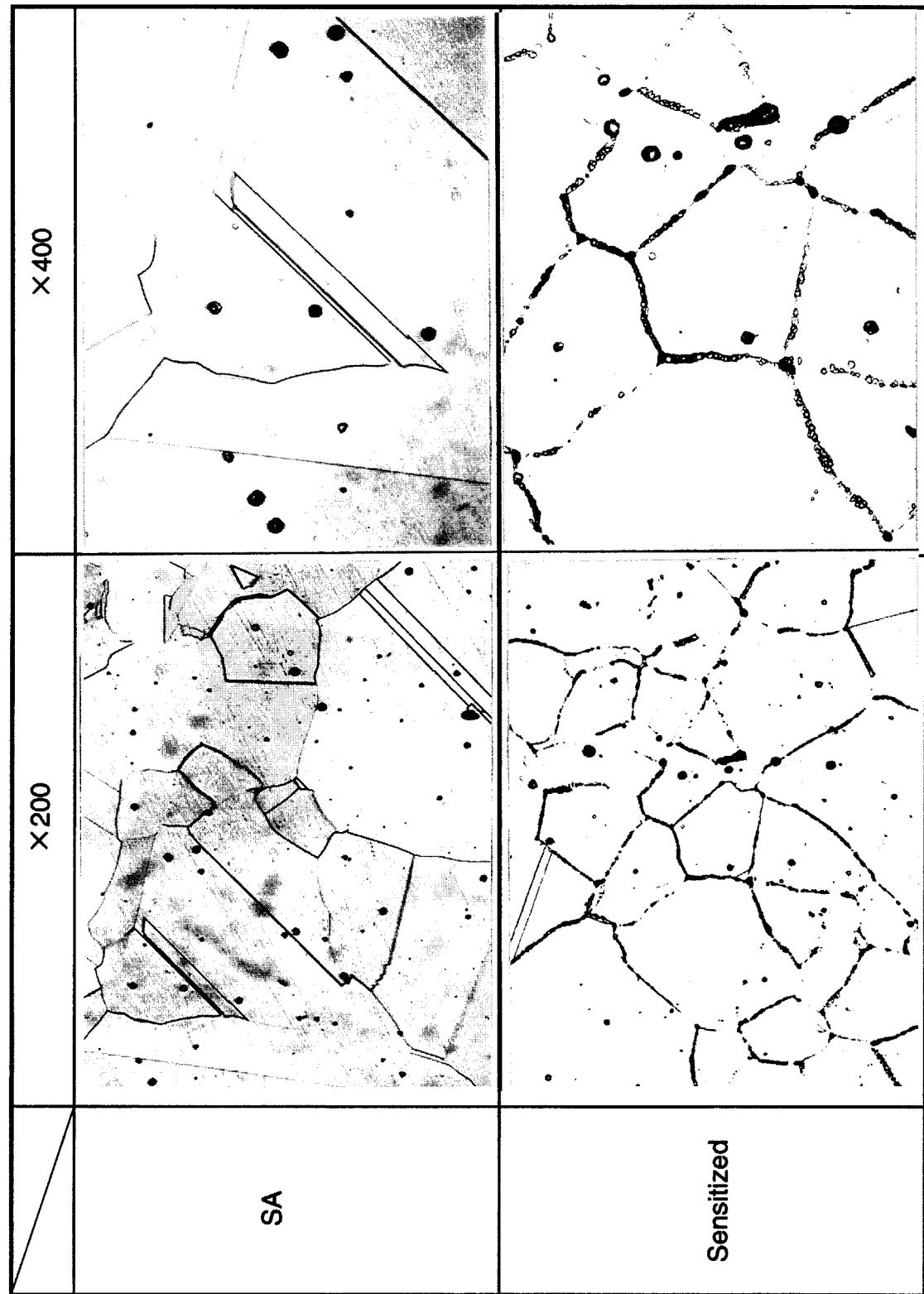


Fig. 3. 1(b) Metallographic observations of VC2 base metal after corrosion tests in 10%oxalic acid.

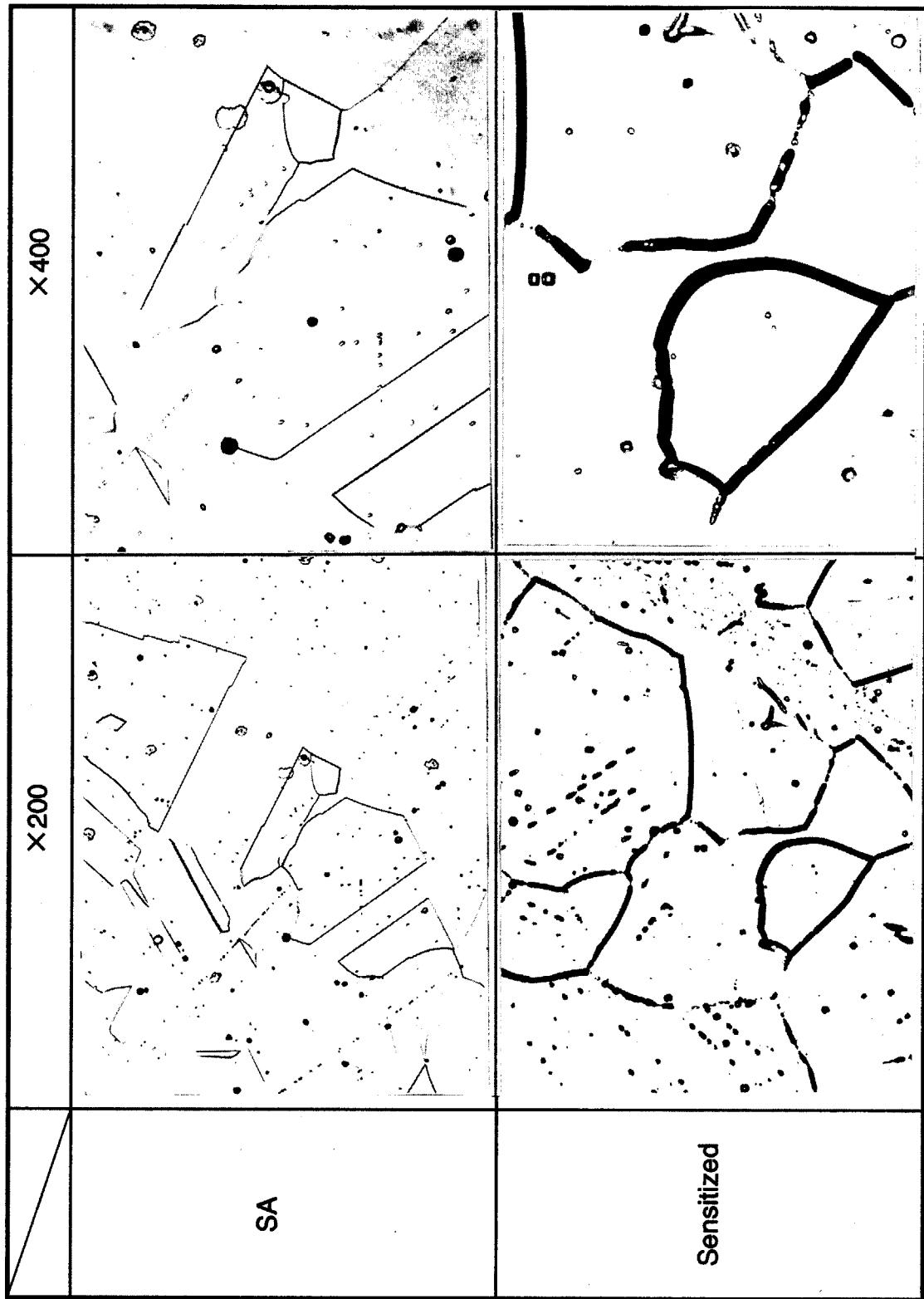


Fig. 3. 1(c) Metallographic observations of Vc3 base metal after corrosion tests in 10%oxalic acid.

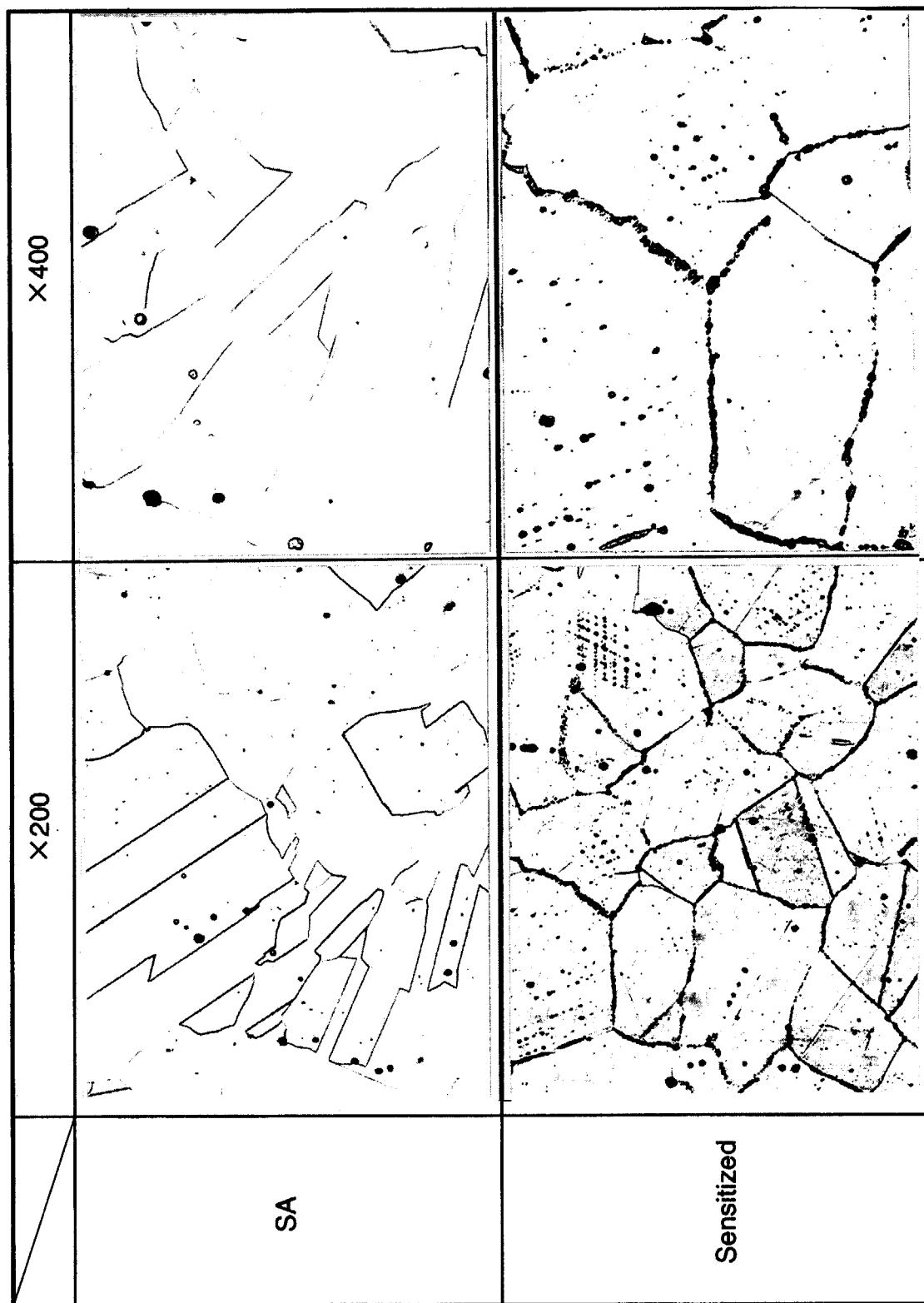


Fig. 3. 1(d) Metallographic observations of VC4 base metal after corrosion tests in 10%oxalic acid.

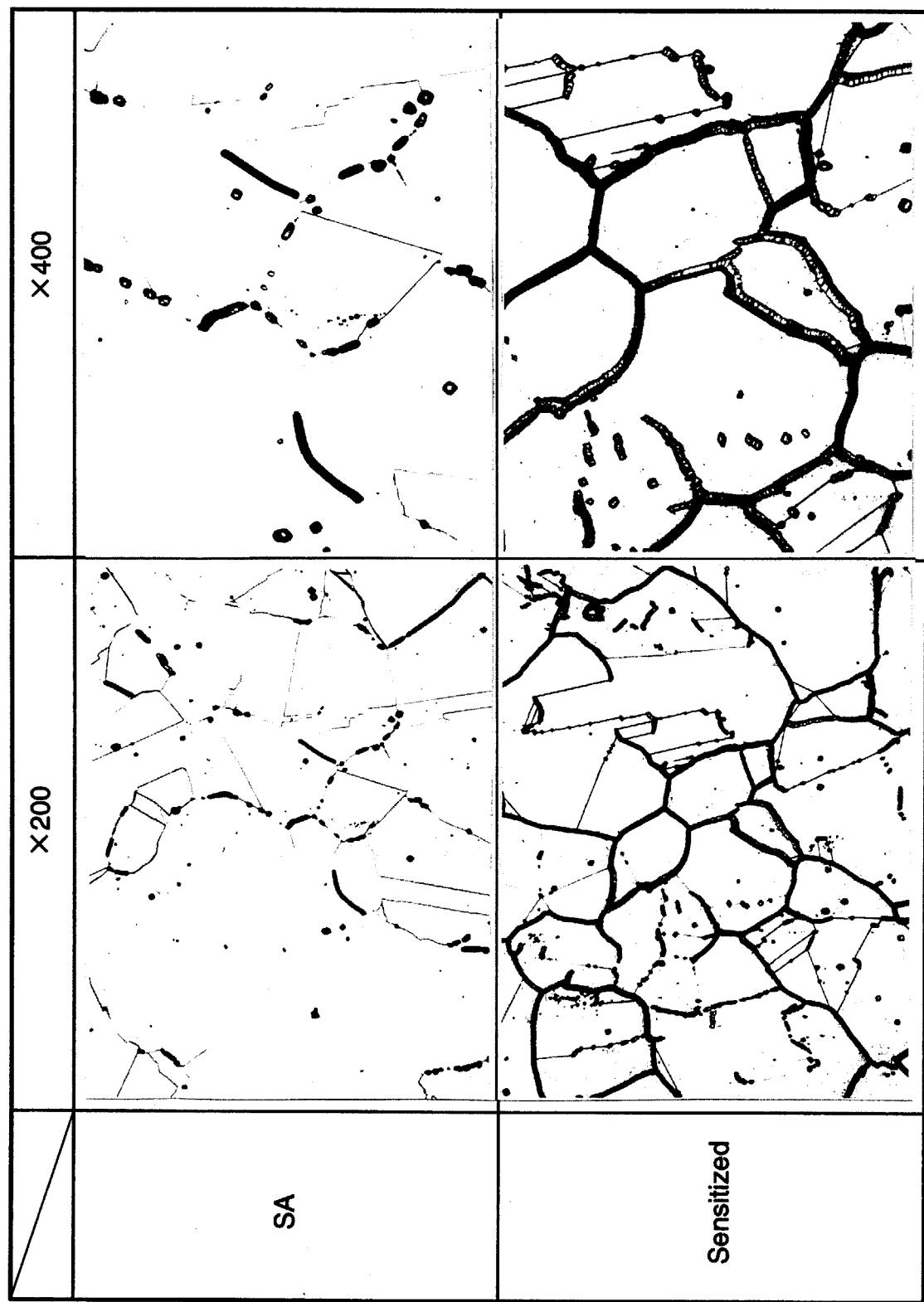


Fig. 3. 1(e) Metallographic observations of VC8 base metal after corrosion tests in 10%oxalic acid.

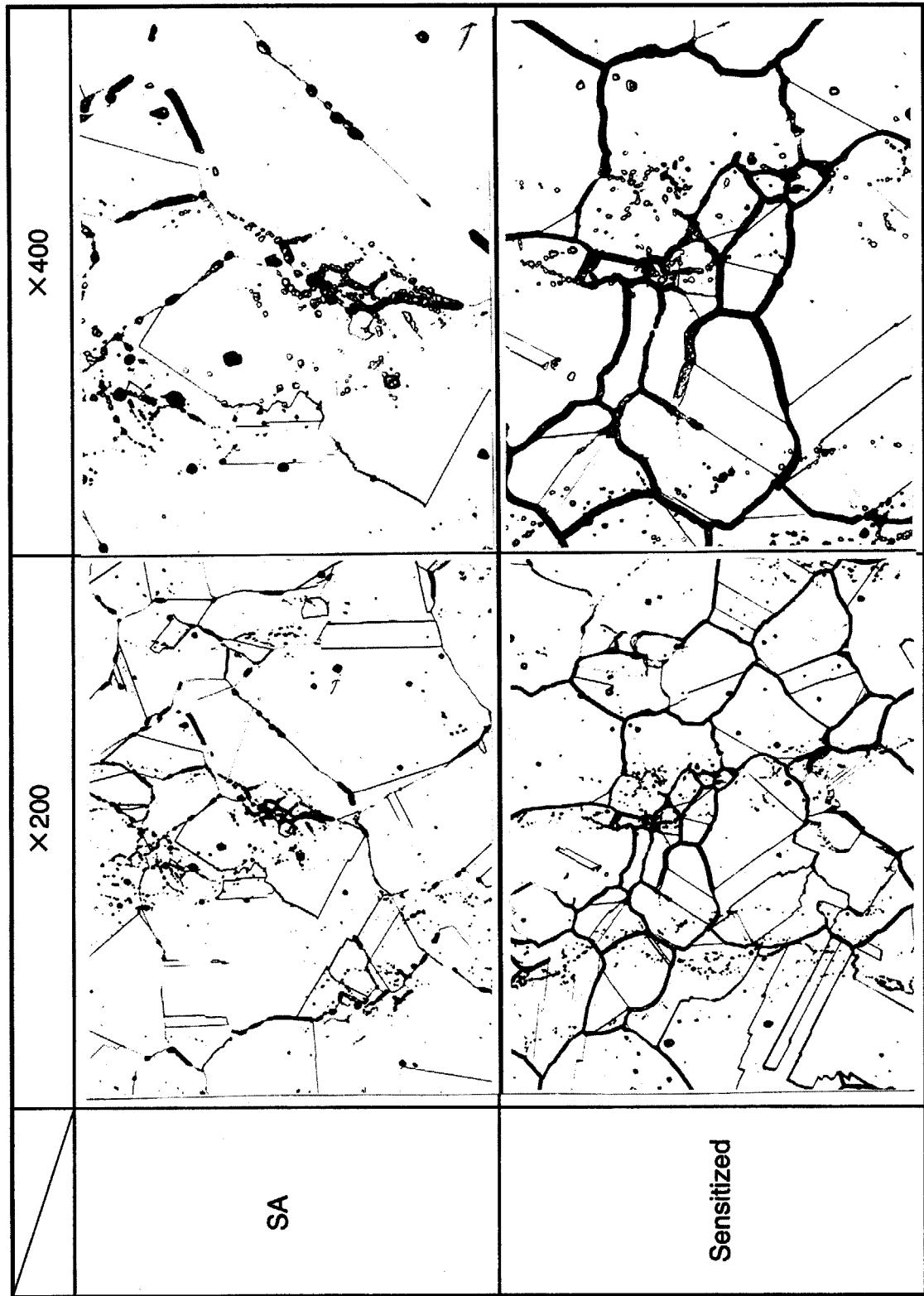


Fig. 3. 1(f) Metallographic observations of VC9 base metal after corrosion tests in 10%oxalic acid.

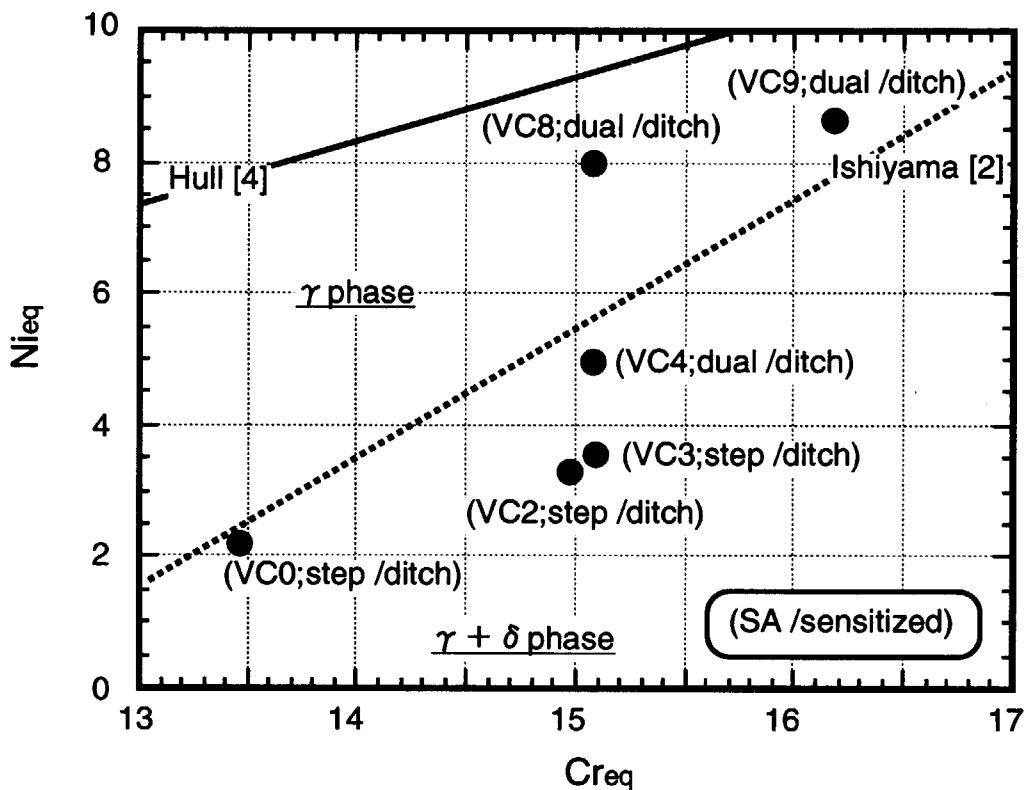


Fig. 3. 2 The relationship between phase and the results of corrosion tests in 10%oxalic acid.

$$C_{req} = Cr + 0.48Si + 1.21Mo$$

$$Ni_{eq} = Ni + 24.5C + 18.4N + (0.11 - 0.0086Mn) + 0.44Cu + 0.41Co$$

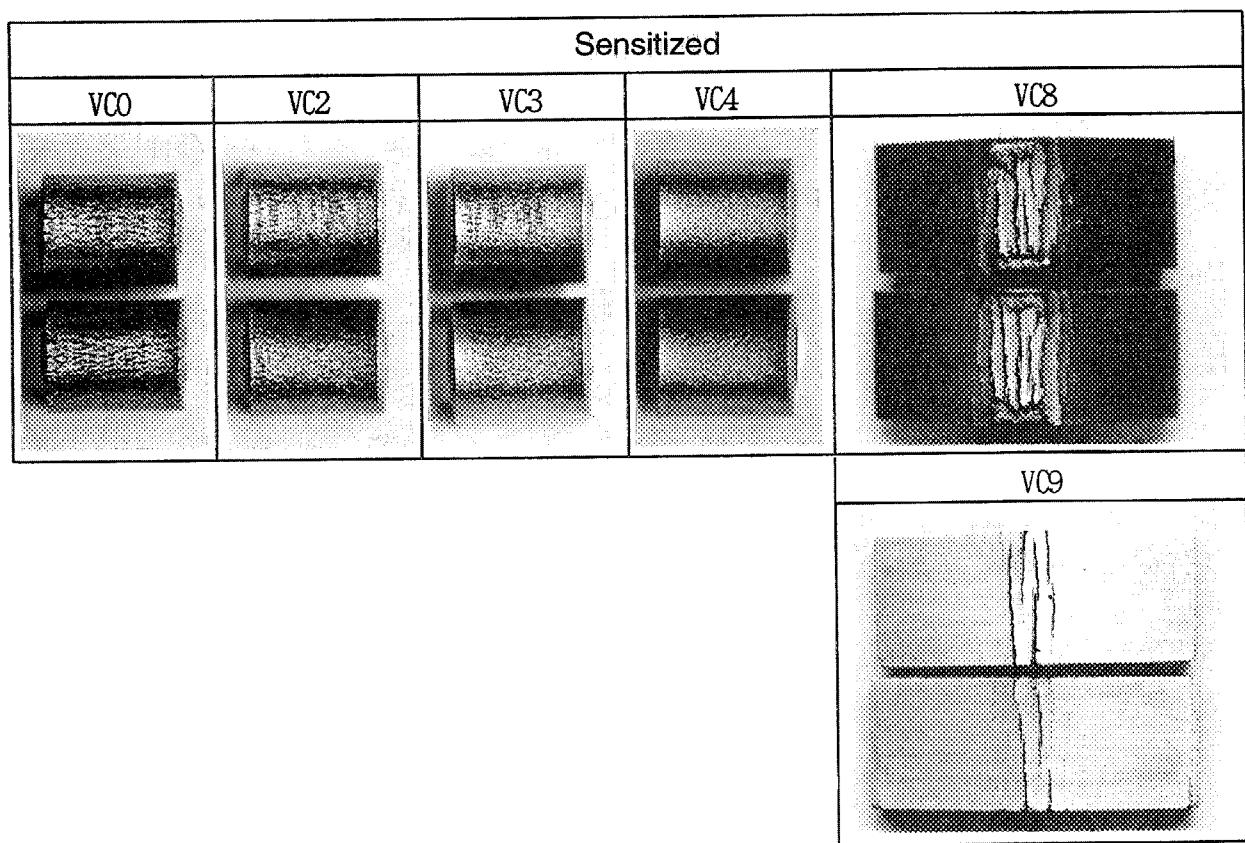
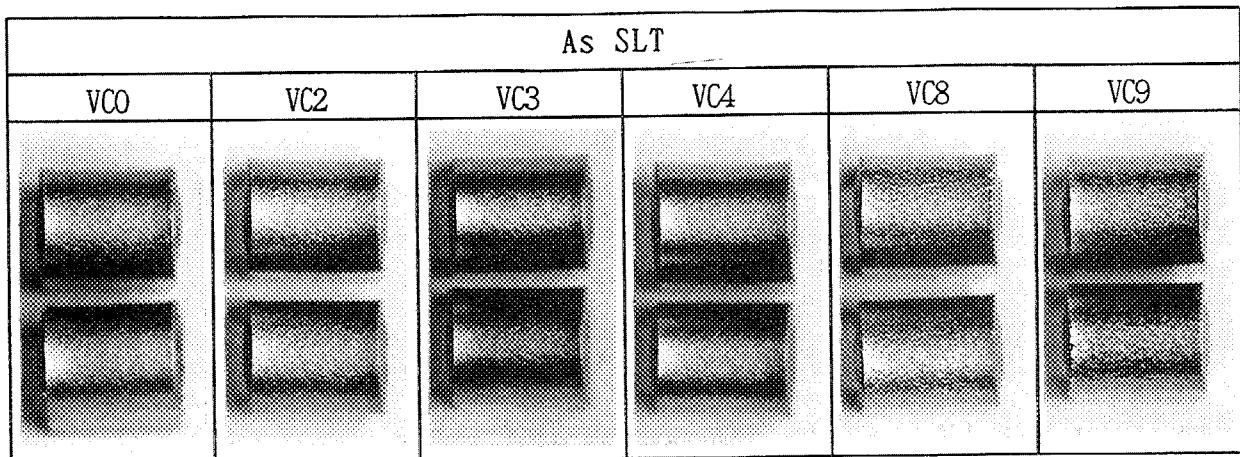


Fig. 3. 3 Macro photographs of VC0~9 base metal after corrosion tests in H₂SO₄/CuSO₄.

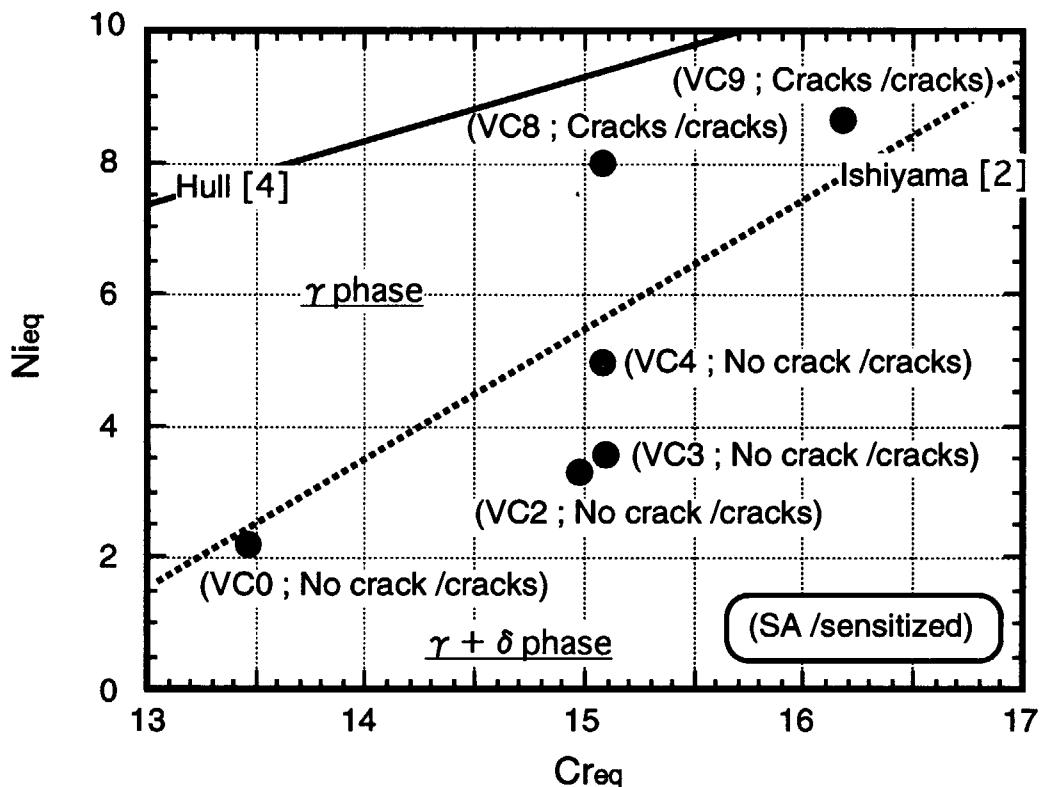


Fig. 3. 4 The relationship between phase and the results of corrosion tests in sulfate-sulfuric acid.

$$C_{req} = Cr + 0.48Si + 1.21Mo$$

$$Ni_{eq} = Ni + 24.5C + 18.4N + (0.11 - 0.0086Mn) + 0.44Cu + 0.41Co$$

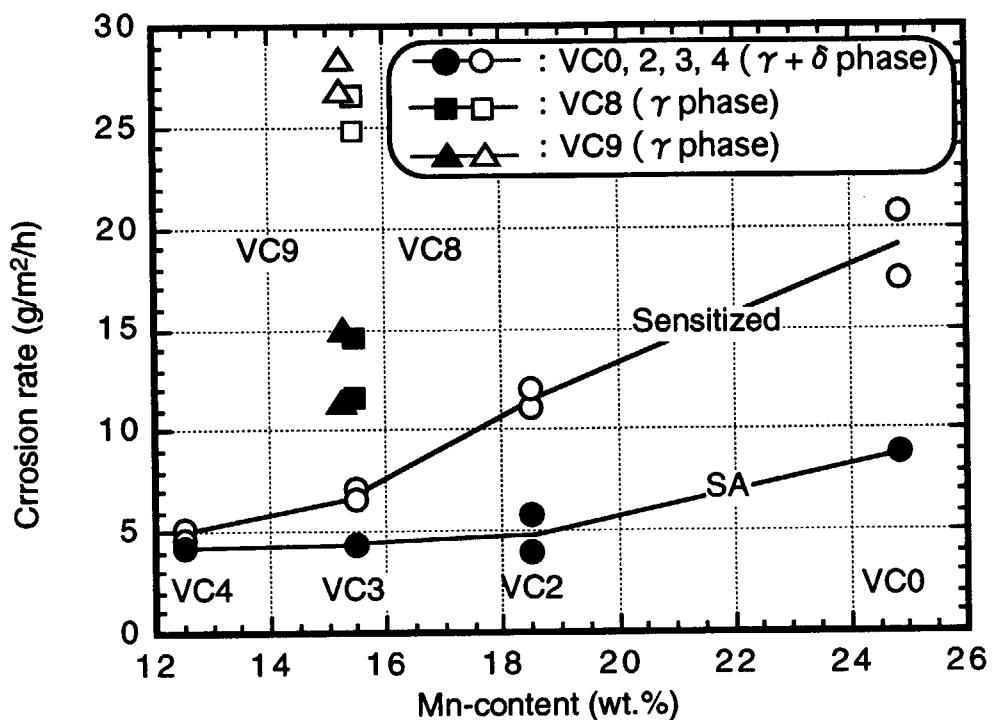


Fig. 3. 5 Manganese content dependence of corrosion rates in 65%HNO₃.

※Sensitization condition : 650°C × 2h

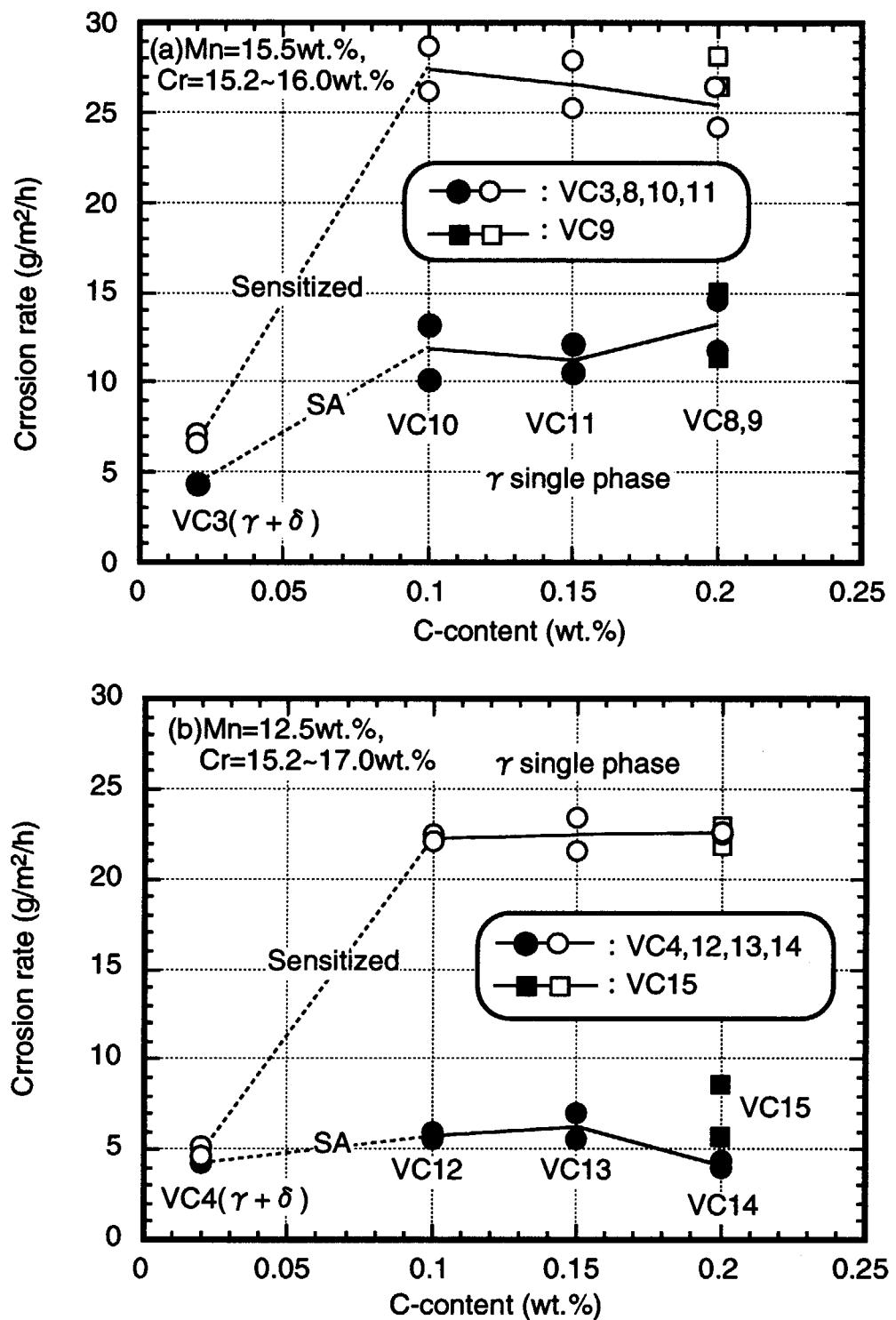


Fig. 3. 6 Carbon content dependence of corrosion rates in 65%HNO₃.
(a)Mn=15.5wt.%, Cr=15.2wt.% and
(b)Mn=12.5wt.%,Cr=15.2~17.0wt.%.

※Sensitization condition : 650°C × 2h

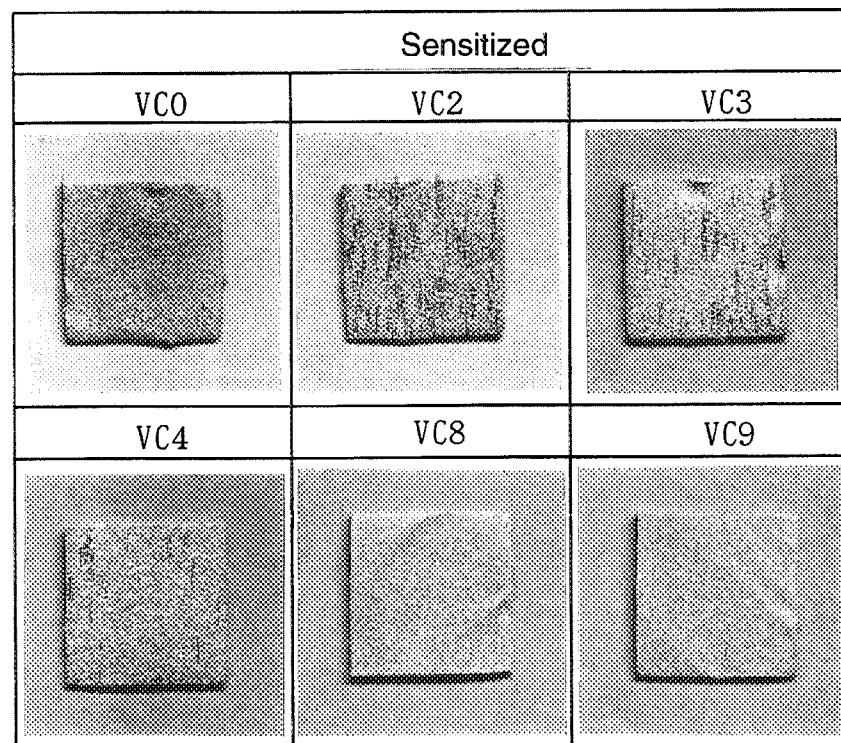
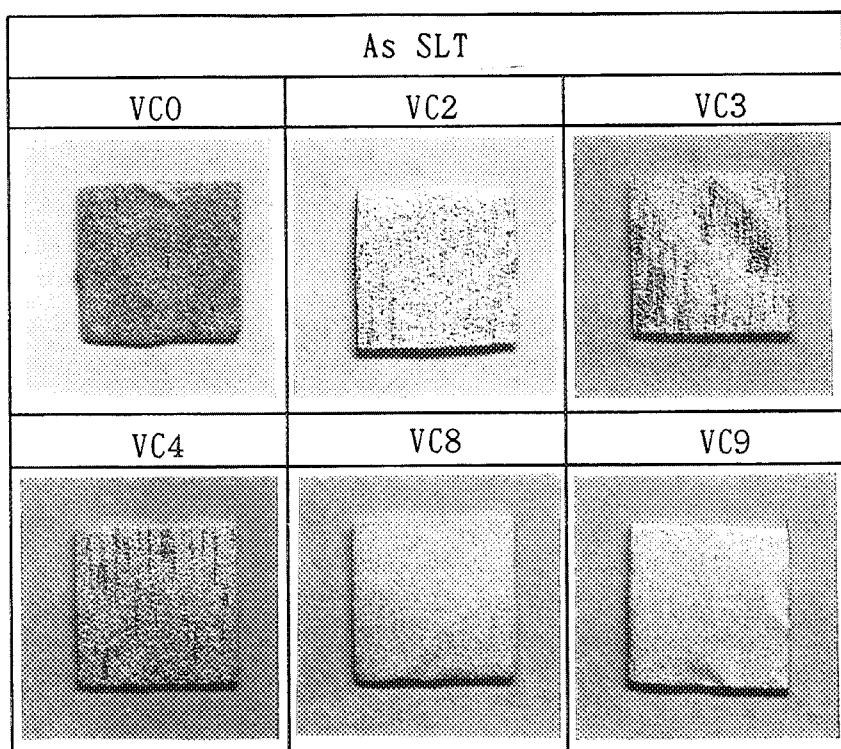


Fig. 3.7 Macro photographs of VC0~9 base metal after corrosion tests in 5%H₂SO₄.

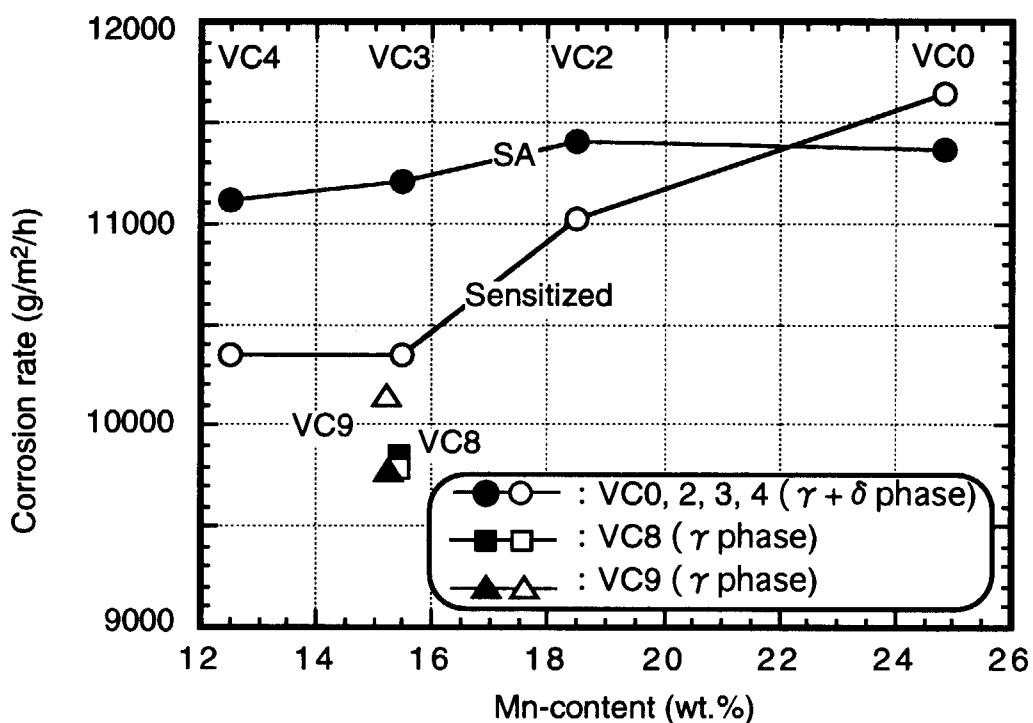


Fig. 3. 8 Manganese content dependence of corrosion rates in 5%H₂SO₄.

※Sensitization condition : 650°C × 2h

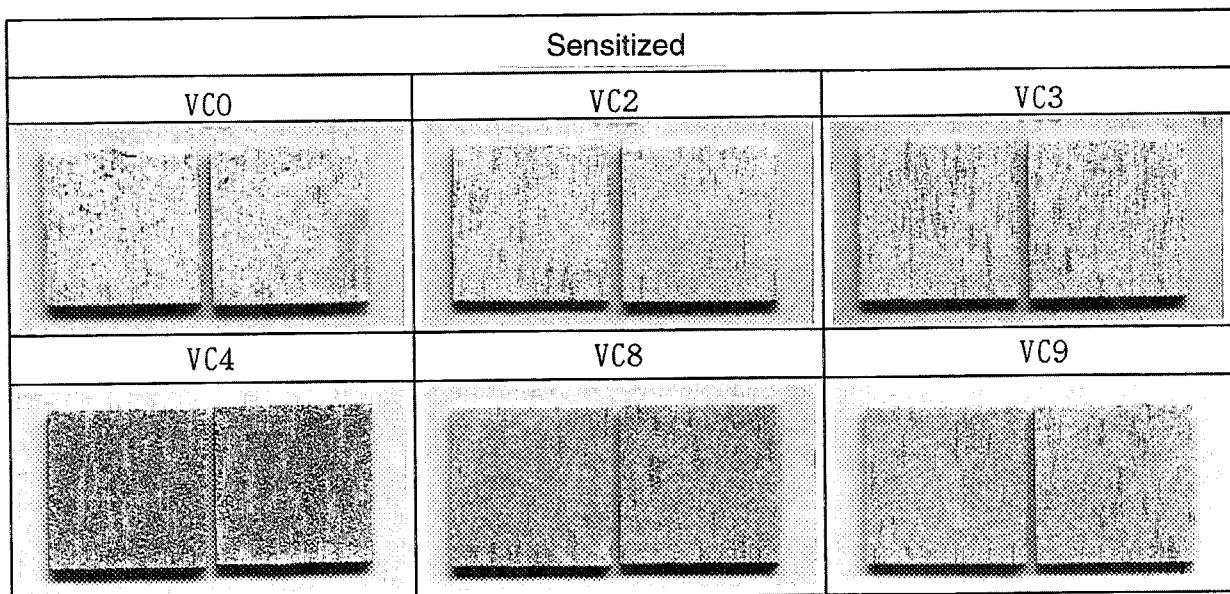
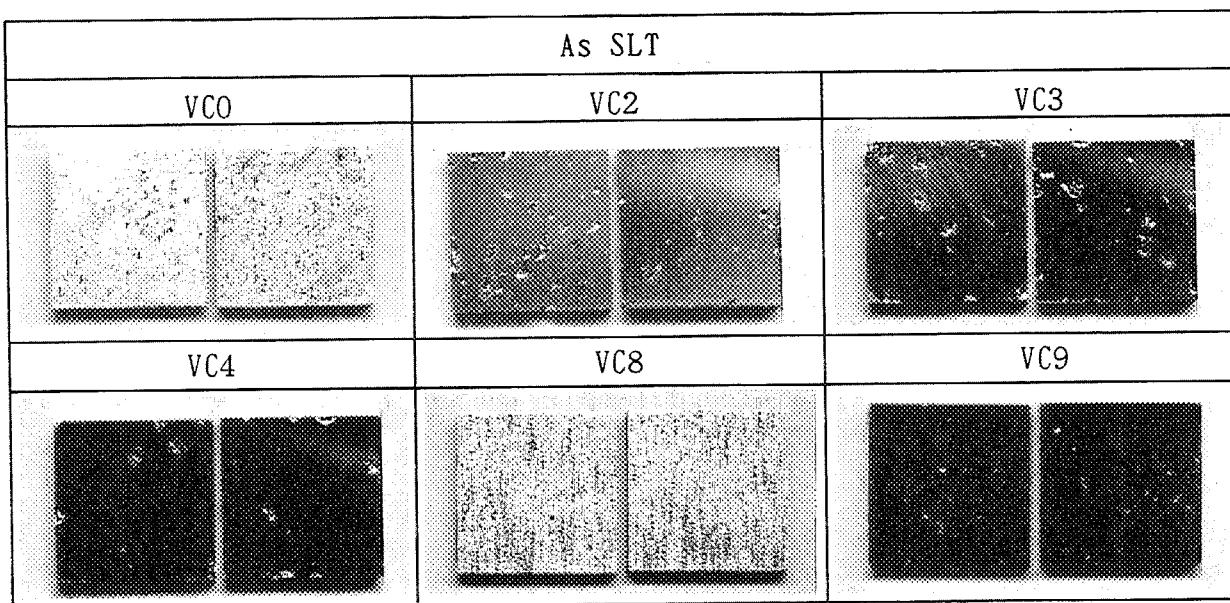


Fig. 3. 9(a) Macro photographs of VC0~9 base metal after corrosion tests in ferric chloride (15°C).

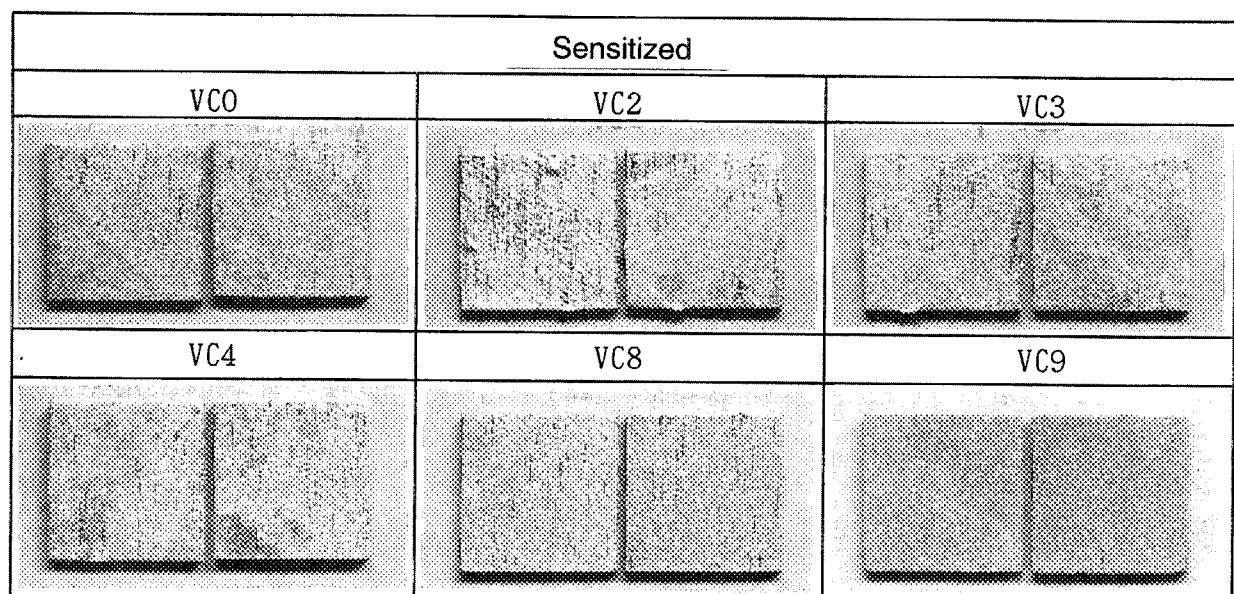
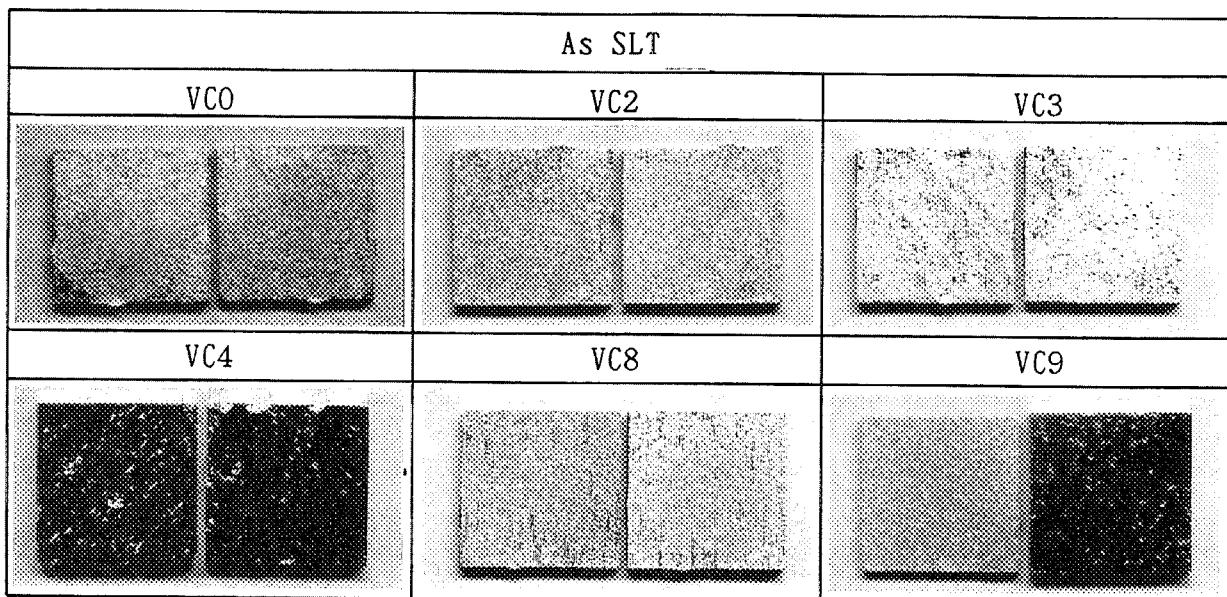


Fig. 3. 9(b) Macro photographs of VC0~9 base metal after corrosion tests in ferric chloride (35°C).

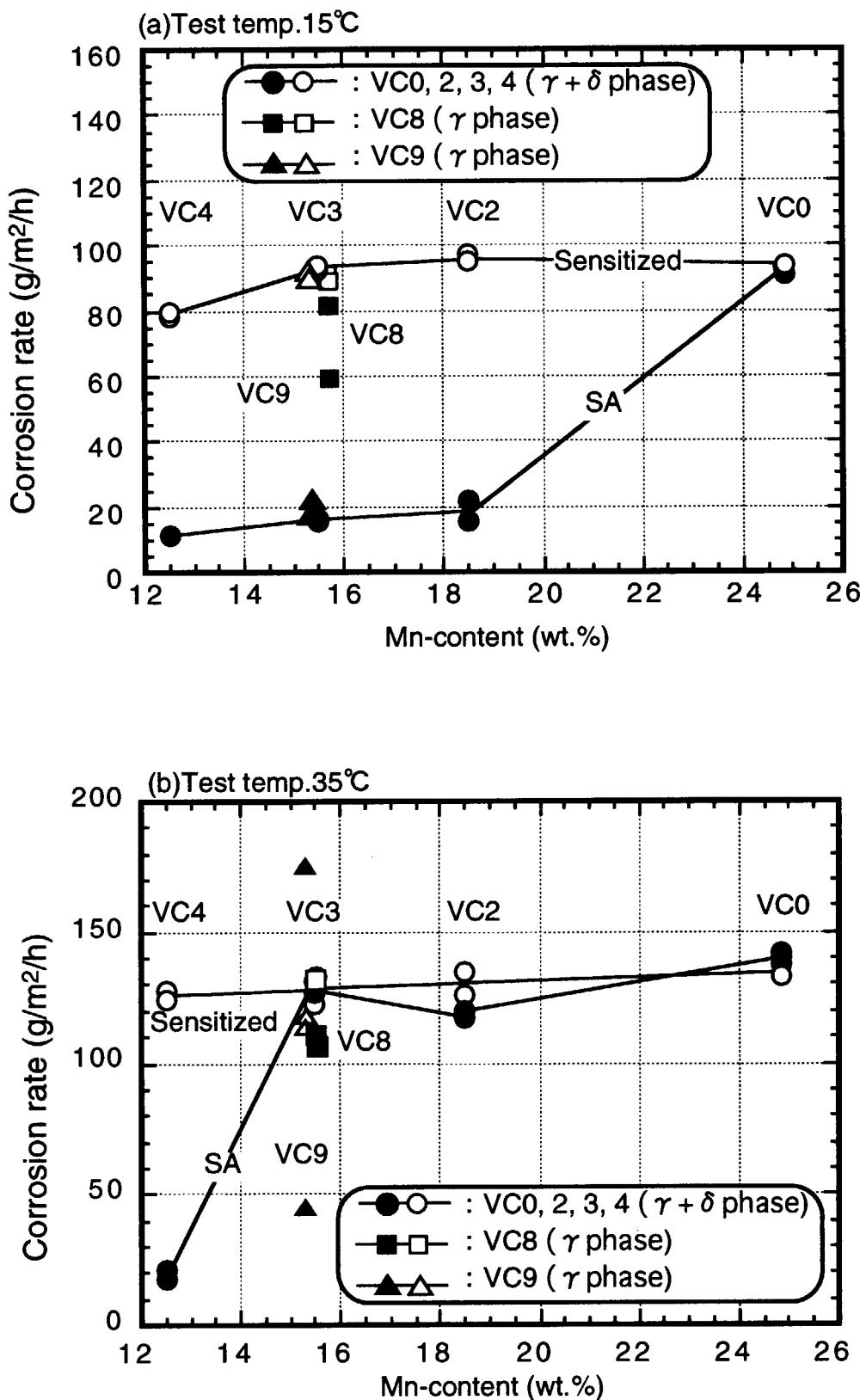


Fig. 3. 10 Manganese content dependence of corrosion rates in ferric chloride (test temp.(a)15°C, (b)35°C).

※Sensitization condition : 650°C × 2h

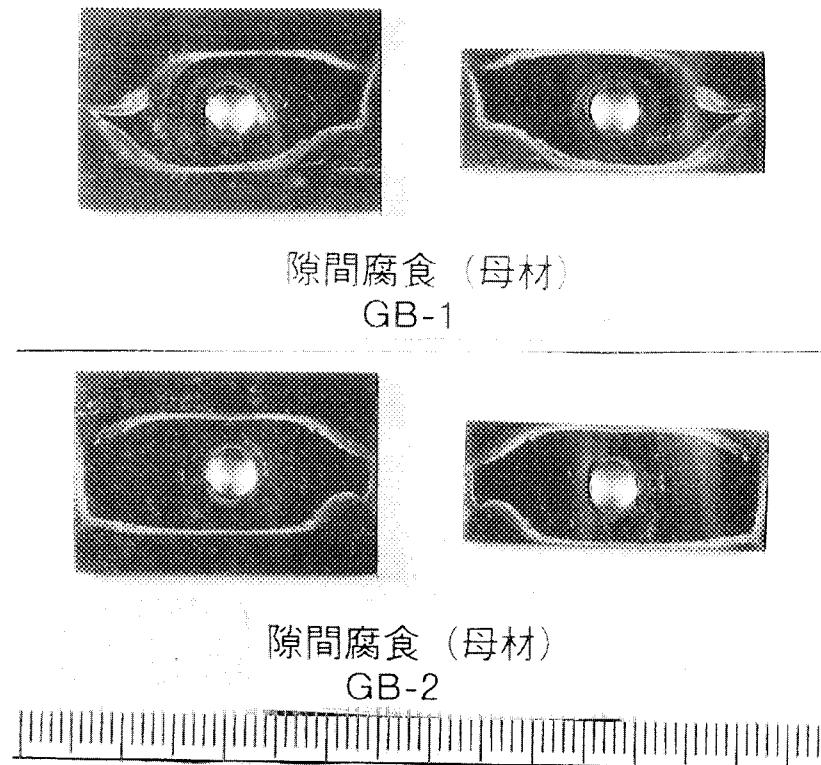


Fig. 3. 11(a) Macro photographs of VC9 base metal after gap corrosion tests in actual environment.

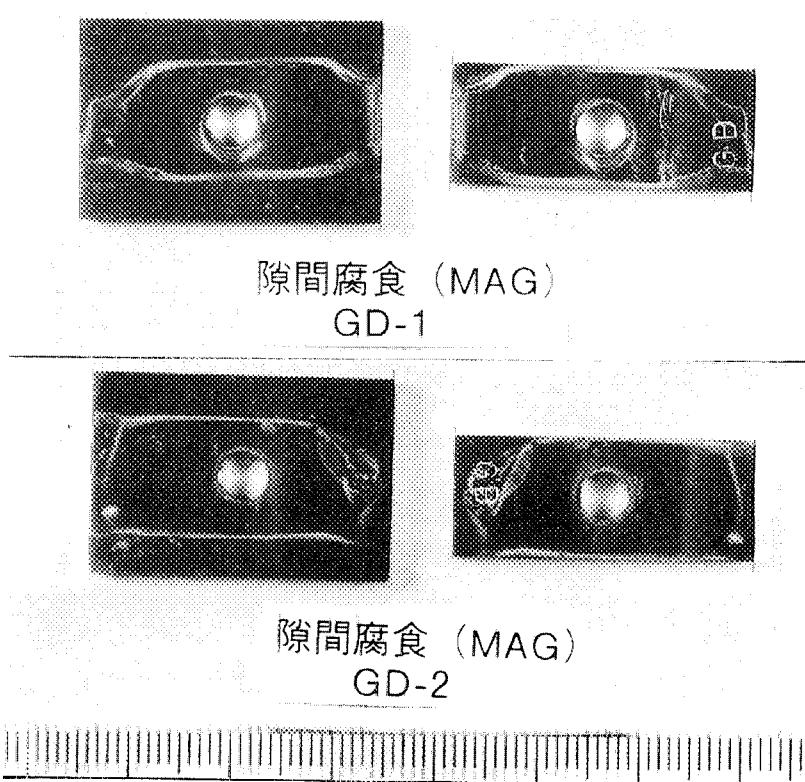


Fig. 3. 11(b) Macro photographs of VC9 TIG+MAG welded joints after gap corrosion tests in actual environment.

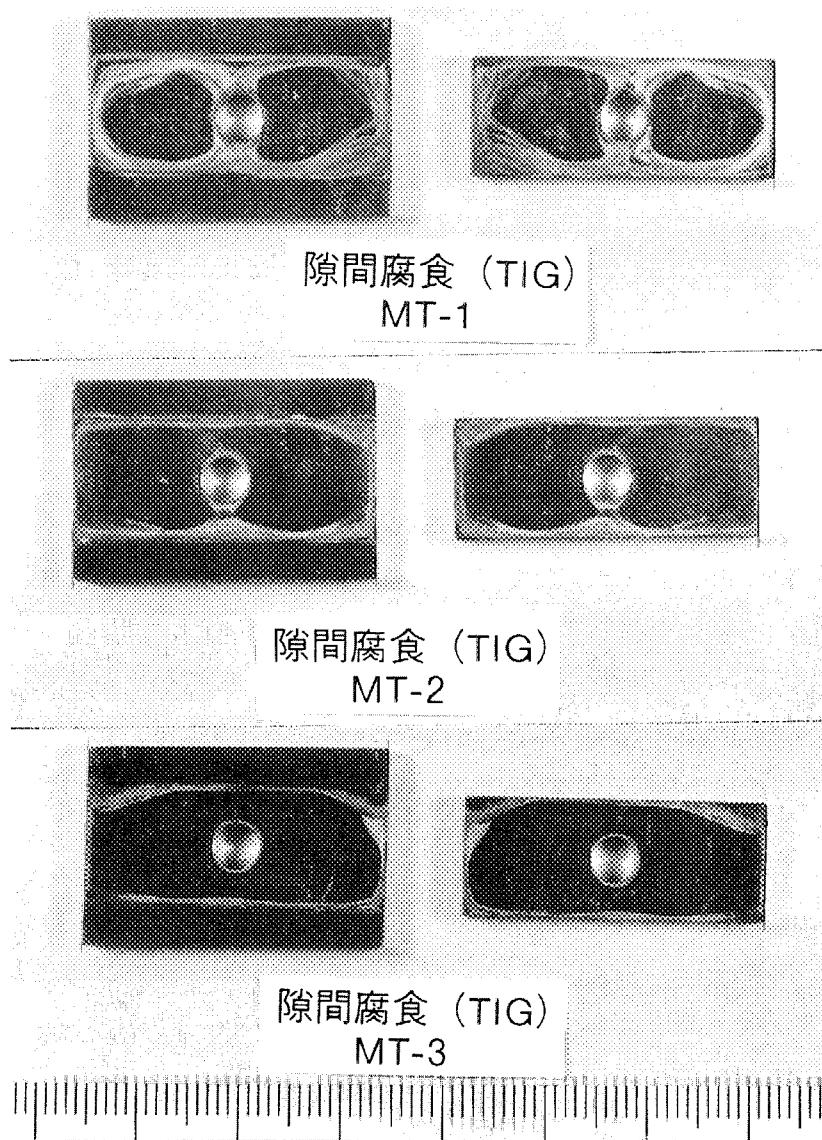


Fig. 3. 11(c) Macro photographs of VC9 TIG welded joints after gap corrosion tests in actual environment.

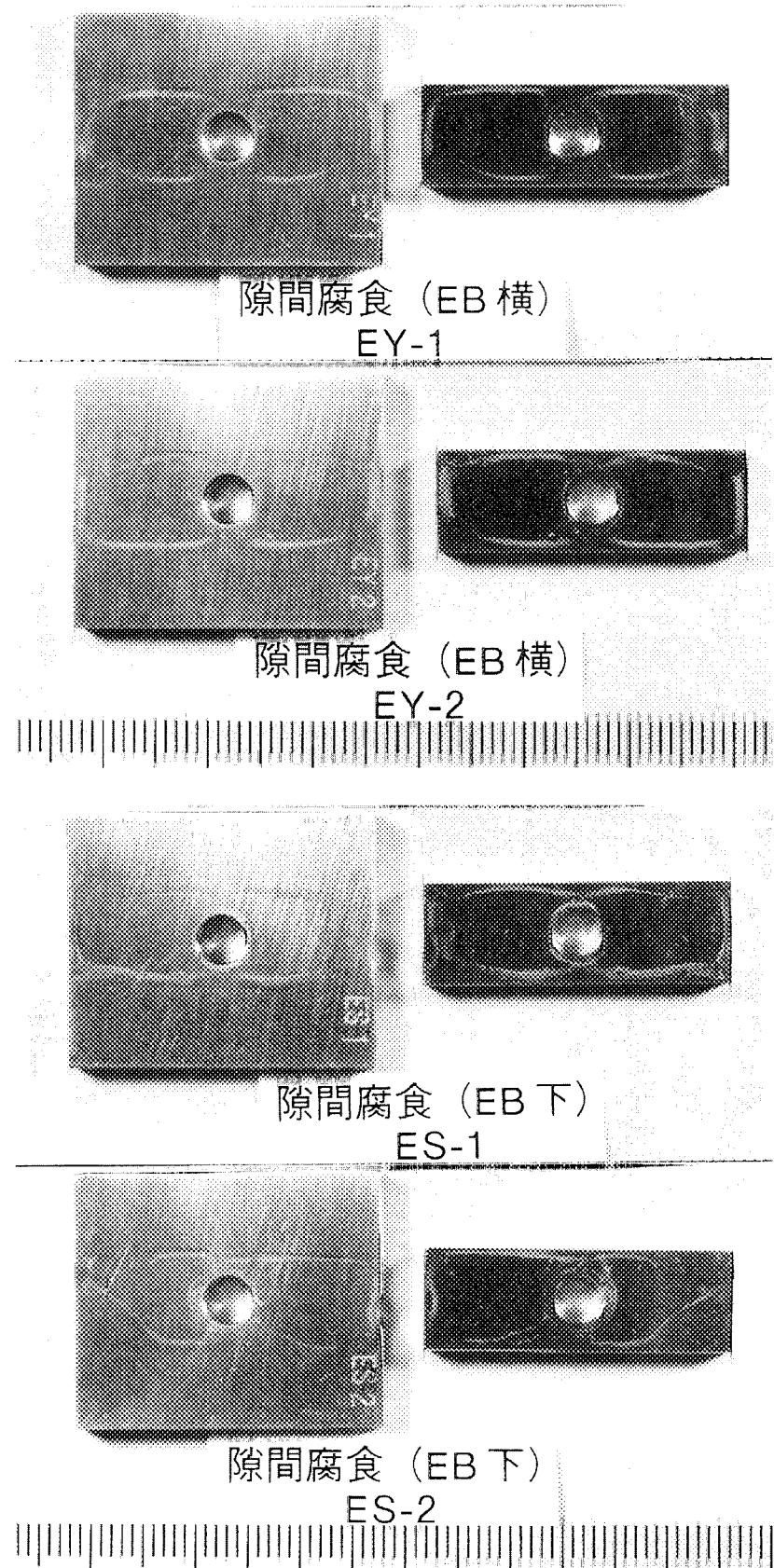


Fig. 3. 11(d) Macro photographs of VC9 EB welded joints after gap corrosion tests in actual environment.

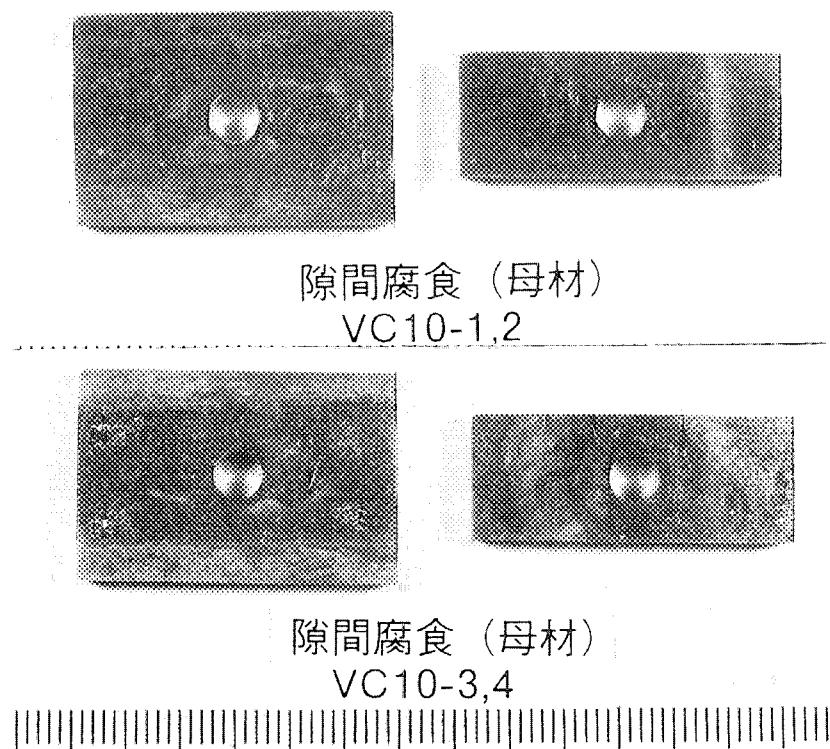


Fig. 3. 12(a) Macro photographs of VC10 base metal after gap corrosion tests in actual environment.

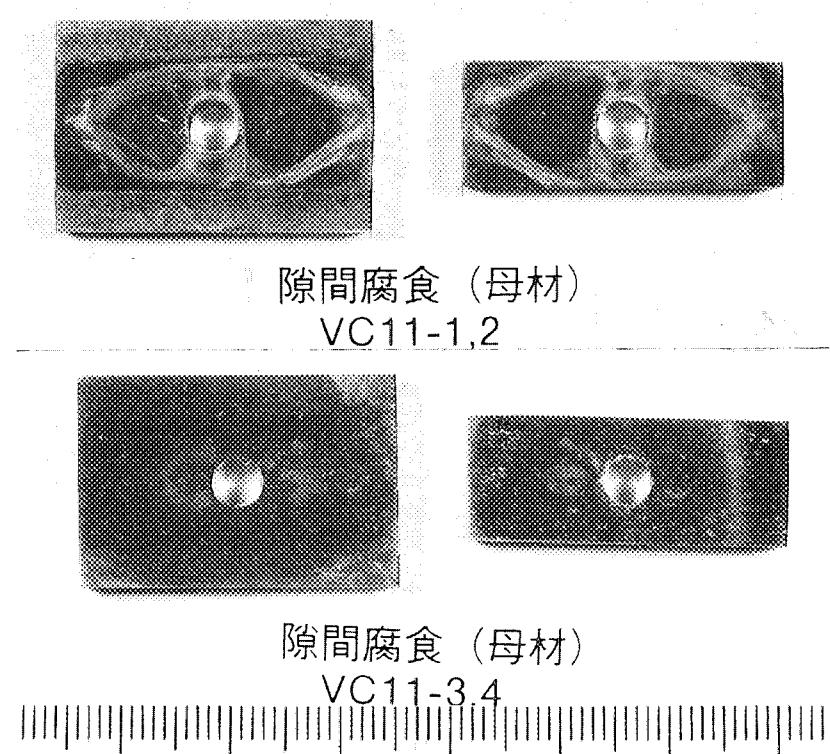


Fig. 3. 12(b) Macro photographs of VC11 base metal after gap corrosion tests in actual environment.

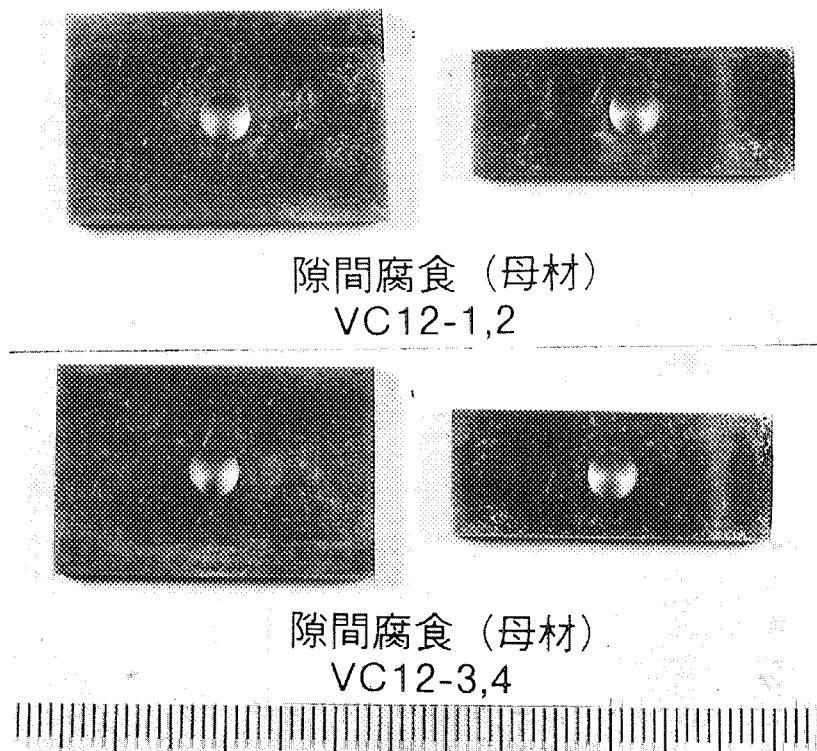


Fig. 3. 12(c) Macro photographs of VC12 base metal after gap corrosion tests in actual environment.

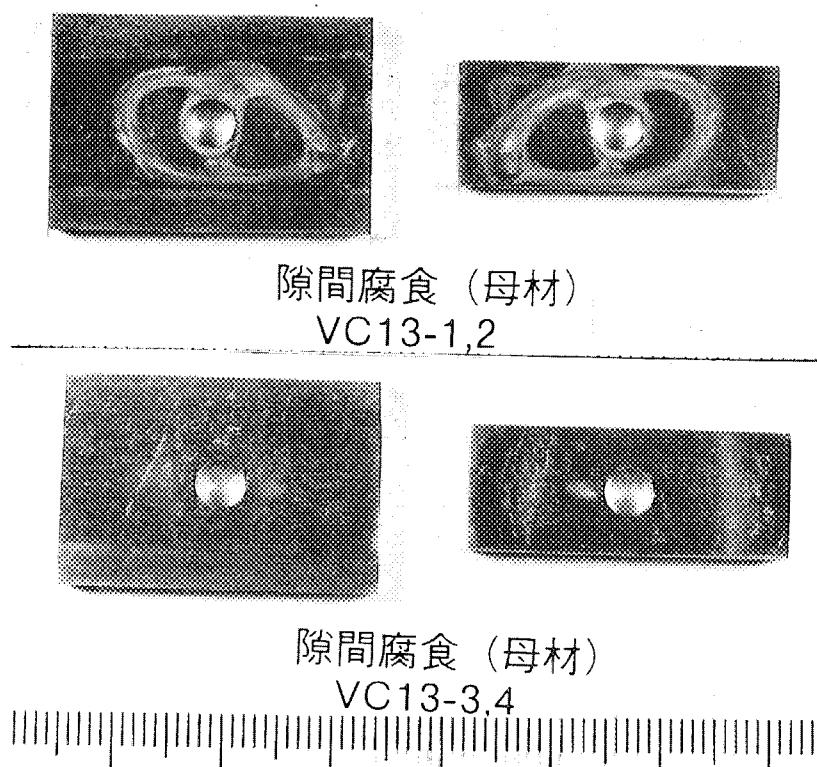


Fig. 3. 12(d) Macro photographs of VC13 base metal after gap corrosion tests in actual environment.

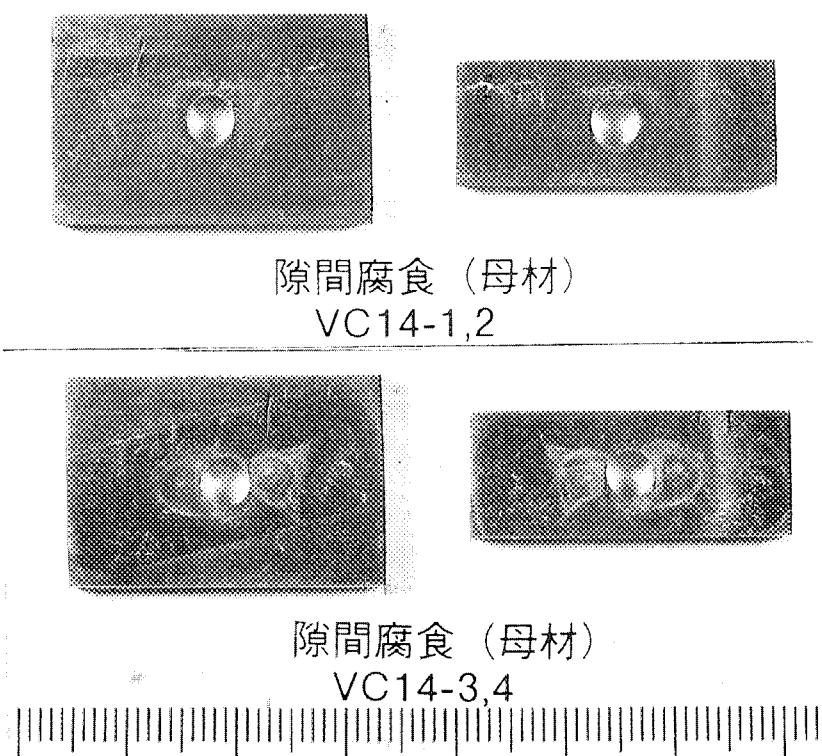


Fig. 3. 12(e) Macro photographs of VC14 base metal after gap corrosion tests in actual environment.

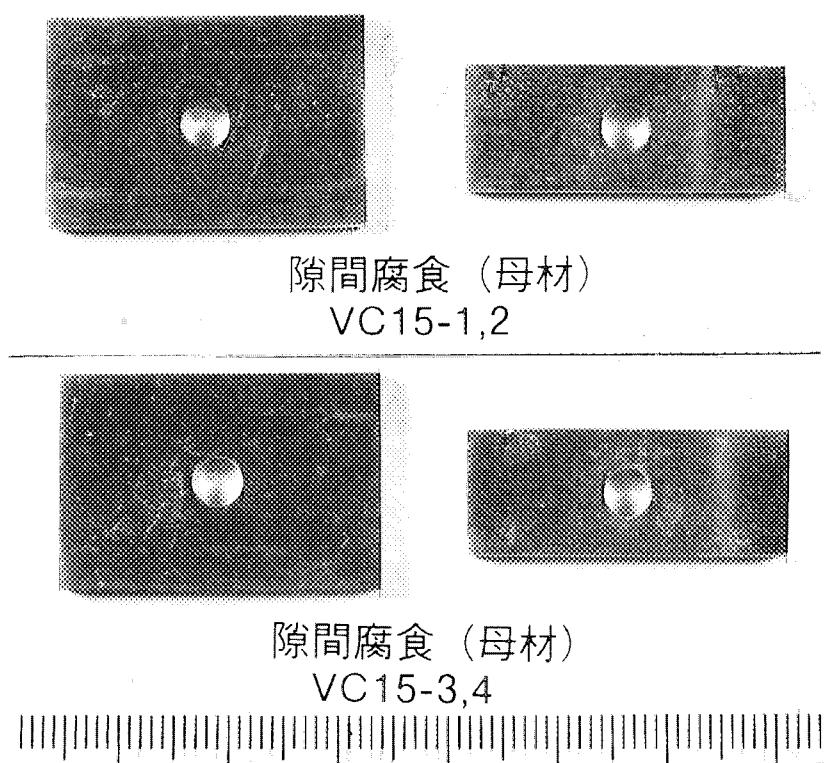


Fig. 3. 12(f) Macro photographs of VC15 base metal after gap corrosion tests in actual environment.

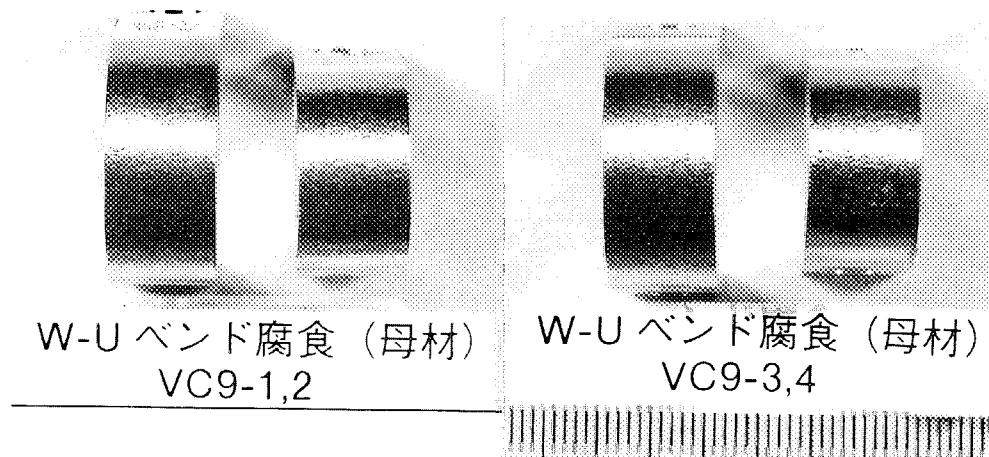


Fig. 3. 13(a) Macro photographs of VC9 base metal after double U-bend corrosion tests in actual environment.

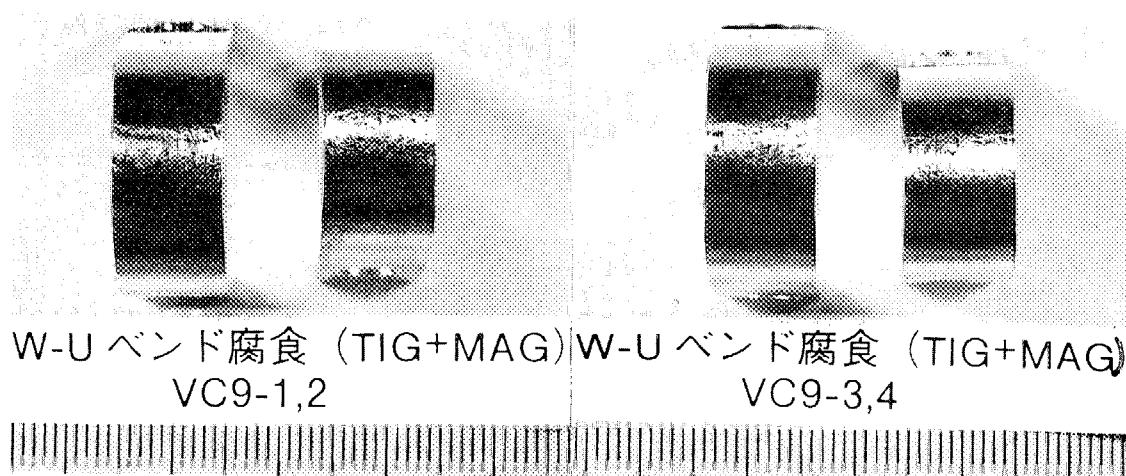


Fig. 3. 13(b) Macro photographs of VC9 TIG+MAG welded joints after double U-bend corrosion tests in actual environment.

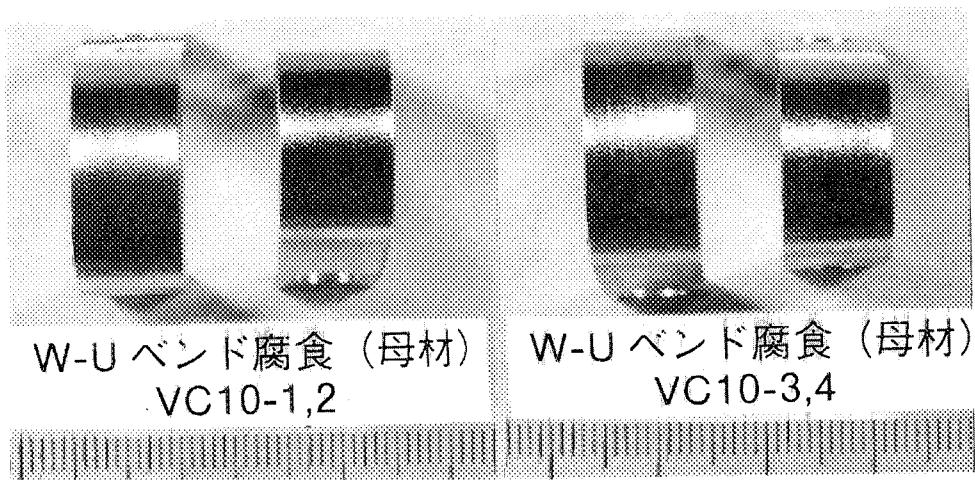


Fig. 3. 14(a) Macro photographs of VC10 base metal after double U-bend corrosion tests in actual environment.

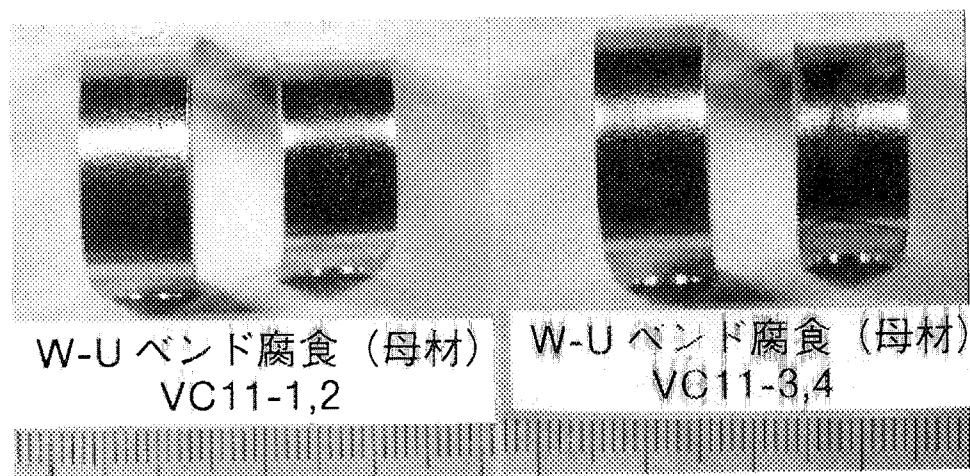


Fig. 3. 14(b) Macro photographs of VC11 base metal after double U-bend corrosion tests in actual environment.

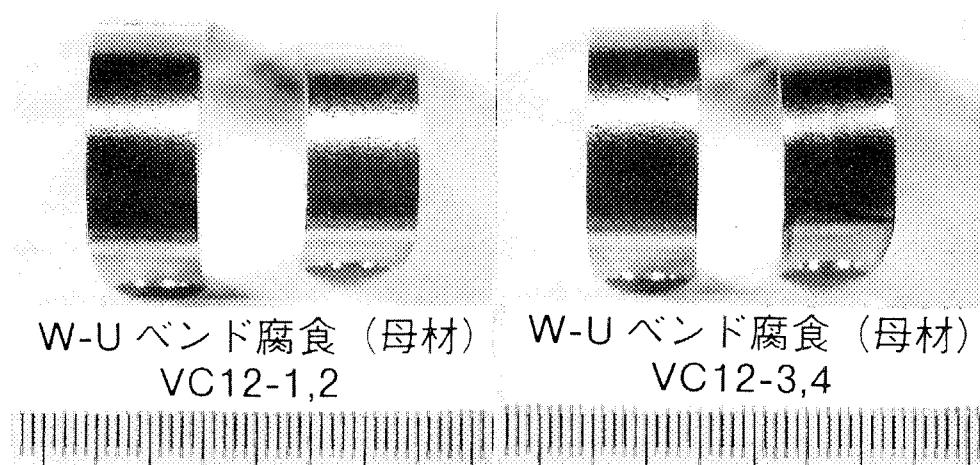


Fig. 3. 14(c) Macro photographs of VC12 base metal after double U-bend corrosion tests in actual environment.

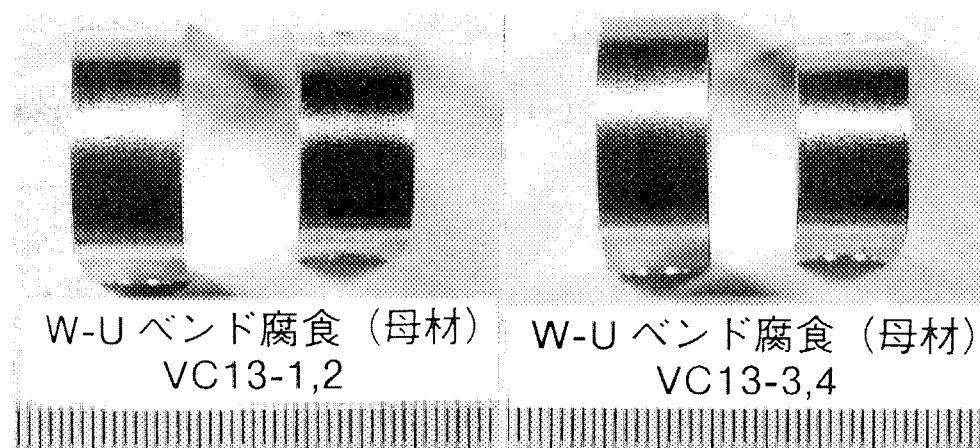


Fig. 3. 14(d) Macro photographs of VC13 base metal after double U-bend corrosion tests in actual environment.

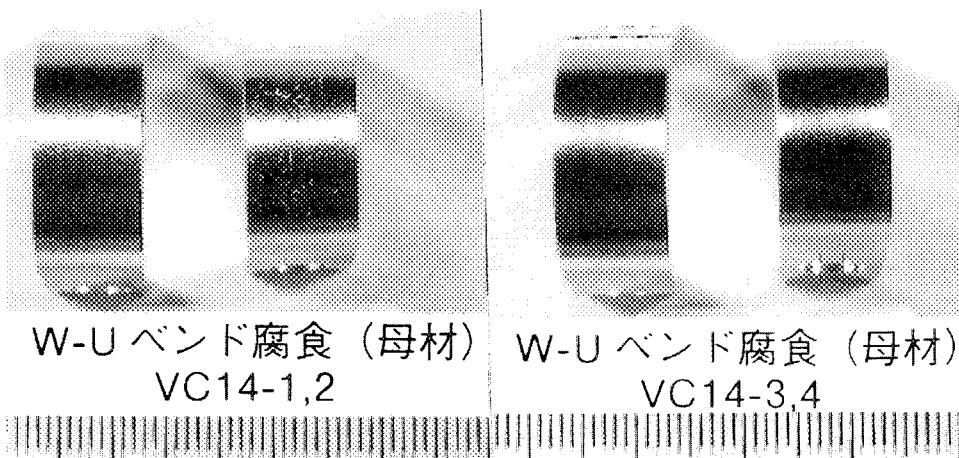


Fig. 3. 14(e) Macro photographs of VC14 base metal after double U-bend corrosion tests in actual environment.

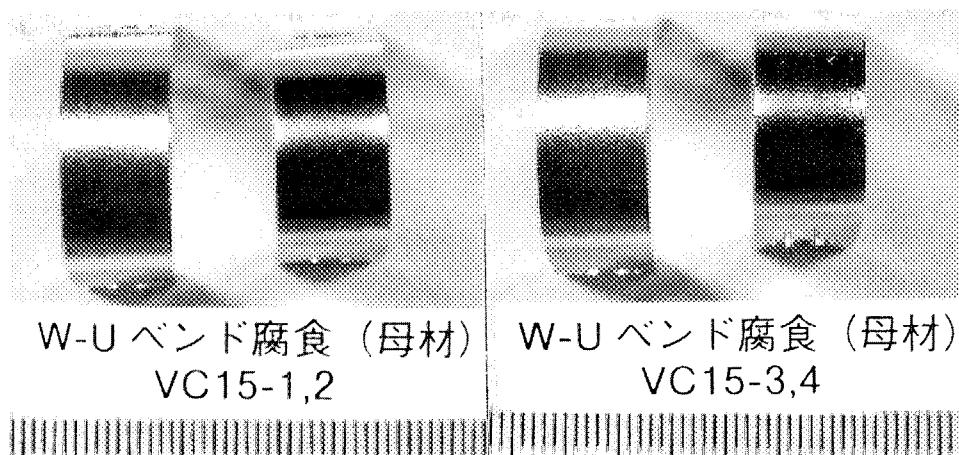


Fig. 3. 14(f) Macro photographs of VC15 base metal after double U-bend corrosion tests in actual environment.

This is a blank page.

国際単位系(SI)と換算表

表1 SI基本単位および補助単位

量	名称	記号
長さ	メートル	m
質量	キログラム	kg
時間	秒	s
電流	アンペア	A
熱力学温度	ケルビン	K
物質量	モル	mol
光强度	カンデラ	cd
平面角	ラジアン	rad
立体角	ステラジアン	sr

表3 固有の名称をもつSI組立単位

量	名称	記号	他のSI単位による表現
周波数	ヘルツ	Hz	s ⁻¹
力	ニュートン	N	m·kg/s ²
圧力、応力	パスカル	Pa	N/m ²
エネルギー、仕事、熱量	ジユール	J	N·m
功率、放射束	ワット	W	J/s
電気量、電荷	クーロン	C	A·s
電位、電圧、起電力	ボルト	V	W/A
静電容量	ファラード	F	C/V
電気抵抗	オーム	Ω	V/A
コンダクタンス	ジーメンス	S	A/V
磁束密度	ウェーバ	Wb	V·s
磁束密度	テスラ	T	Wb/m ²
インダクタンス	ヘンリー	H	Wb/A
セルシウス温度	セルシウス度	°C	
光束度	ルーメン	lm	cd·sr
照度	ルクス	lx	lm/m ²
放射能	ベクレル	Bq	s ⁻¹
吸収線量	グレイ	Gy	J/kg
線量当量	シーベルト	Sv	J/kg

表2 SIと併用される単位

名称	記号
分、時、日	min, h, d
度、分、秒	°, ', "
リットル	l, L
トン	t
電子ボルト	eV
原子質量単位	u

$$1 \text{ eV} = 1.60218 \times 10^{-19} \text{ J}$$

$$1 \text{ u} = 1.66054 \times 10^{-27} \text{ kg}$$

表5 SI接頭語

倍数	接頭語	記号
10 ¹⁸	エクサ	E
10 ¹⁵	ペタ	P
10 ¹²	テラ	T
10 ⁹	ギガ	G
10 ⁶	メガ	M
10 ³	キロ	k
10 ²	ヘクト	h
10 ¹	デカ	da
10 ⁻¹	デシ	d
10 ⁻²	センチ	c
10 ⁻³	ミリ	m
10 ⁻⁶	マイクロ	μ
10 ⁻⁹	ナノ	n
10 ⁻¹²	ピコ	p
10 ⁻¹⁵	フェムト	f
10 ⁻¹⁸	アト	a

(注)

- 表1～5は「国際単位系」第5版、国際度量衡局1985年刊行による。ただし、1eVおよび1uの値はCODATAの1986年推奨値によった。
- 表4には海里、ノット、アール、ヘクタールも含まれているが日常の単位なのでここで省略した。
- barは、JISでは流体の圧力を表わす場合に限り表2のカテゴリーに分類されている。
- EC閣僚理事会指令ではbar、barnおよび「血圧の単位」mmHgを表2のカテゴリーに入れている。

換算表

力	N(=10 ⁵ dyn)	kgf	lbf
1	0.101972	0.224809	
9.80665	1	2.20462	
4.44822	0.453592	1	

粘度 1 Pa·s(N·s/m²) = 10 P(ポアズ)(g/(cm·s))

動粘度 1 m²/s = 10⁴ St(ストークス)(cm²/s)

圧力	MPa(=10 bar)	kgf/cm ²	atm	mmHg(Torr)	lbf/in ² (psi)
1	10.1972	9.86923	7.50062 × 10 ³	145.038	
0.0980665	1	0.967841	735.559	14.2233	
0.101325	1.03323	1	760	14.6959	
1.33322 × 10 ⁻⁴	1.35951 × 10 ⁻³	1.31579 × 10 ⁻³	1	1.93368 × 10 ⁻²	
6.89476 × 10 ⁻³	7.03070 × 10 ⁻²	6.80460 × 10 ⁻²	51.7149	1	

エネルギー・仕事・熱量	J(=10 ⁷ erg)	kgf·m	kW·h	cal(計量法)	Btu	ft · lbf	eV	1 cal = 4.18605 J(計量法)	
								1	= 4.184 J(熱化学)
	1	0.101972	2.77778 × 10 ⁻⁷	0.238889	9.47813 × 10 ⁻⁴	0.737562	6.24150 × 10 ¹⁸		= 4.1855 J(15 °C)
	9.80665	1	2.72407 × 10 ⁻⁶	2.34270	9.29487 × 10 ⁻³	7.23301	6.12082 × 10 ¹⁹		= 4.1868 J(国際蒸気表)
	3.6 × 10 ⁶	3.67098 × 10 ⁵	1	8.59999 × 10 ⁵	3412.13	2.65522 × 10 ⁶	2.24694 × 10 ²⁶		
	4.18605	0.426858	1.16279 × 10 ⁻⁶	1	3.96759 × 10 ⁻³	3.08747	2.61272 × 10 ¹⁹	仕事率 1 PS(仏馬力)	
	1055.06	107.586	2.93072 × 10 ⁻⁴	252.042	1	778.172	6.58515 × 10 ²¹	= 75 kgf·m/s	
	1.35582	0.138255	3.76616 × 10 ⁻⁷	0.323890	1.28506 × 10 ⁻³	1	8.46233 × 10 ¹⁸	= 735.499 W	
	1.60218 × 10 ⁻¹⁹	1.63377 × 10 ⁻²⁰	4.45050 × 10 ⁻²⁶	3.82743 × 10 ⁻²⁰	1.51857 × 10 ⁻²²	1.18171 × 10 ⁻¹⁹	1		

放射能	Bq	Ci	吸収線量		照射線量		線量当量
			Gy	rad	1	3876	
	1	2.70270 × 10 ⁻¹¹			0.01	1	
	3.7 × 10 ¹⁰	1					

吸収線量	Gy	rad	照射線量	
			1	100
			2.58 × 10 ⁻⁴	1

照射線量	C/kg	R	線量当量	
			1	100

(86年12月26日現在)

低放射化Mn-Cr鋼の特性評価試験(3) —耐食性の評価—

R100

古紙配合率100%
白色度70%再生紙を使用しています。