

ステンレス溶着鋼の耐蝕性, 機械性およびその他 諸性質におよぼす添加元素の影響

渡 辺 潔*

Effect of Additional Elements on Corrossion Resistivity, Mechanical and Other Properties of Stainless Steel Weld Metals

By Kiyoshi Watanabe
Hitachi Research Research Laboratory, Hitachi, Ltd.

Abstract

Weld metals prepared with 18Cr-8Ni-Cb, 18Cr-11Ni-Mo, 25Cr-12Ni and 25Cr-20Ni stainless steel electrodes coated with fluxes containing various metal elements such as Ni, Cr, Mo, Si, Mn and Cu were studied for their corrosion resistivity, mechanical properties, magnetic susceptibility, hardness and microstructure. The corrosion test was carried out in 5% H₂SO₄, 1% HCl, 30% CH₃COOH, 65% HNO₃ and Strauss, solution at the boiling point, and the results were as follows:

- (1) Ni, Mo and Cu improve the corrosion resistivity of weld metals to H₂SO₄. Likewise, Cu, Mo, Mn and Ni are effective to HCl, but there is a limit with regard to Cr and Mo addition. Among various electrodes, 25Cr-20Ni and 18Cr-11Ni-Mo have good resistivity to H₂SO₄ and 18Cr-8Ni-Cb, to HCl. From the view point of intergranular attack, 18Cr-8Ni-Cb and 25Cr-20Ni are found most suitable.
- (2) The addition of Cr and Mo increases mechanical strength but decreases ductility, while the addition of Cu and Ni beyond a certain limit results in severe decrease in ductility of weld metals. The limit of addition varies with the kind of electrodes but in general it may be safely said that the adding rate is higher when the alloying elements of Ni-Cr is added to steel in larger amount.
- (3) Cr, Mo and Si used as ferritizer increase hardness. Especially the ferrite produced by the addition of Cr or Mo transforms to sigma phase, and the addition of Si tends to form silicate slag inclusions around the grain boundaries. Ni, Cu and Mn have no effect on either hardness or microstructure.

〔I〕 緒 言

Cr-Ni系オーステナイト不銹鋼材として市販されているものは数多くそれらの溶接に使用される溶接棒は溶接という複雑な条件が入るために、さらに多くの種類があり組成も一様でない。代表的な組成については Thielsch⁽¹⁾, Keating⁽²⁾ その他の諸氏⁽³⁾によつて検討され、本報に述べる結果の一部についてもすでに発表⁽²¹⁾されて

* 日立製作所日立研究所

はいるが、今回さらに詳細に4種の心線、すなわち 18Cr-8Ni-Cb, 18Cr-11Ni-Mo, 25Cr-12Ni および 25Cr-20Ni 鋼を用い被覆剤中に Ni, Cr, Mo, Cu, Si および Mn の各種金属元素を配合して CaO 型溶接棒を作り、その溶着鋼の耐蝕性、機械性ならびに組織を調査した。本報告では5% H₂SO₄, 1% HCl を主に、30% CH₃·COOH, 65% HNO₃ および Strauss 氏液の各沸点における腐蝕ならびに引張、衝撃、硬さ、磁気および顕微鏡組織とこれらの添加元素との関係について報告する。

〔II〕 研究方法

(1) 試料

心線はすべて直径 4mm とし 18Cr-8Ni-Cb, 18Cr-11Ni-Mo, 25Cr-12Ni および 25Cr-20Ni 鋼を用い、心線との重量比 20% の CaO 型被覆剤中に Ni, Cr, Mo, Cu, Si および Mn を配合して被覆したアーク溶接棒を作製した。つぎに日立単式直流溶接機 200A 型を用い、120A 逆極性で 12mm 厚さのステンレス鋼板 (SEC 12) 上に多層盛溶接を行い、第1図~第4図に示されるように全溶着鋼より成る腐蝕、引張、衝撃および磁気の各試験片を採取した。

なお腐蝕、引張および衝撃試験片は現場作業に則するよう熱処理を施さず溶接のままとし、その他の試験片はつぎに示す熱処理が施された。また腐蝕試験片は機械加工後表面をすべてエメリー紙 800 番まで仕上げた。

第1表~第3表はそれぞれ心線、配合金属および溶着鋼の化学組成を、第4表は各種試験片の熱処理条件を示す。

(2) 試験方法

(A) 腐蝕試験

まず試片の表面積を求め、アルコールおよびエーテルで洗滌しデシケータ中で十分乾燥後化学天秤で重量を測定した。つぎに第5図に示された容器に腐蝕液 300cc および同種の試験片 2 箇所を入れ沸騰点において 8 時間浸漬後試験片を取り出し、表面の腐蝕生成物を除去後試験前と同様の洗滌を行つて秤量し腐蝕減量を求めた。腐蝕液としては 5% H₂SO₄, 1% HCl および 30% CH₃·COOH が用いられた。このほか結晶粒界の腐蝕程度を衝撃値の変化から求めるため 65% HNO₃ および Strauss 氏液 (比重 1.84 H₂SO₄ 47 cc + CuSO₄·5H₂O 13 g を 1,000 cc の H₂O に含む液) を用い、50 時間ごとに液を取換えて沸騰点で 300 時間試験した。第5表は腐蝕試験法を示す。

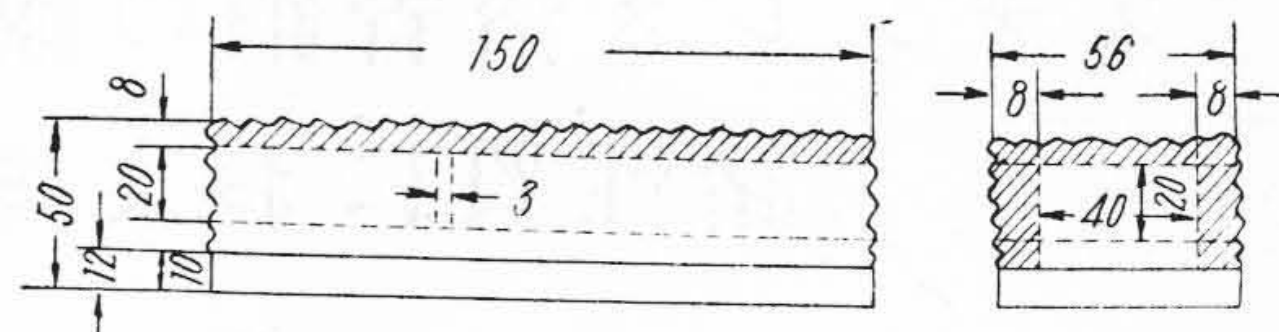
(B) 引張りおよび衝撃試験

引張り試験には 20t アムスラ型万能試験機が、衝撃試験には 30 kg-cm シャルピー式衝撃試験機が使用された。

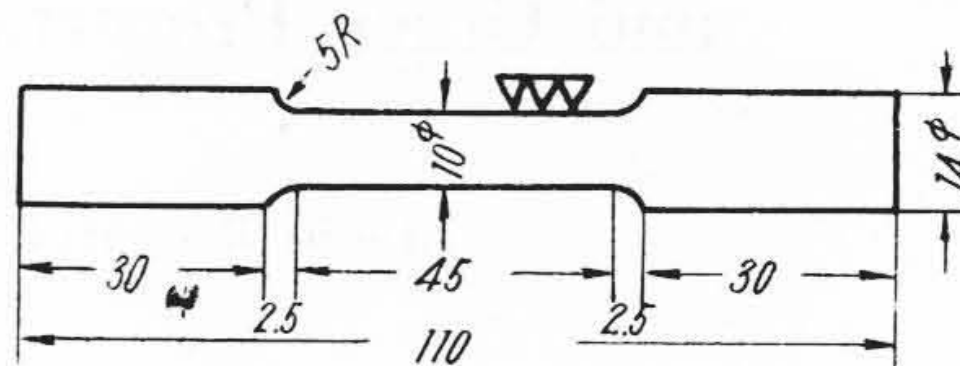
第1表 心線の化学組成 (%)

Table 1. Chemical Composition of Rods (%)

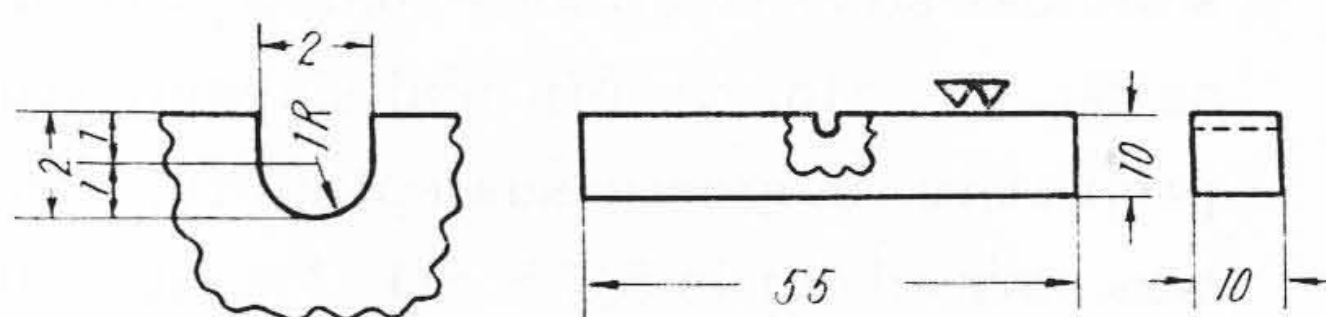
| 種別 | C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | Cu | Cb |
|----------|------|------|------|-------|-------|------|------|------|
| 18-8-Cb | 0.08 | 0.51 | 0.55 | 8.37 | 18.07 | Tr. | 0.10 | 0.65 |
| 18-11-Mo | 0.07 | 0.12 | 0.58 | 11.87 | 18.69 | 2.64 | 0.19 | — |
| 25-12 | 0.08 | 0.29 | 0.46 | 12.73 | 22.68 | Tr | 0.08 | — |
| 25-20 | 0.08 | 0.17 | 1.27 | 20.03 | 24.36 | 1.29 | 0.06 | — |



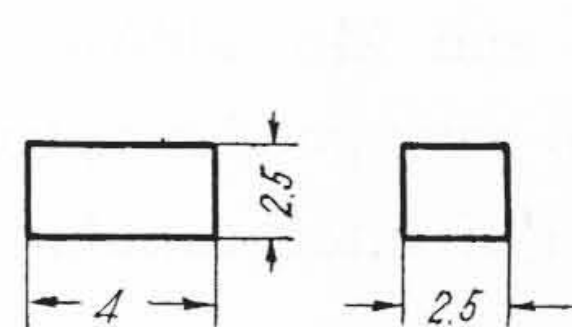
第1図 腐蝕試験片の採取法と形状
Fig.1. Location and Dimension of Corrosion Test Specimen from Weld Metal



第2図 引張り試験片
Fig.2. Tensile Test Specimen

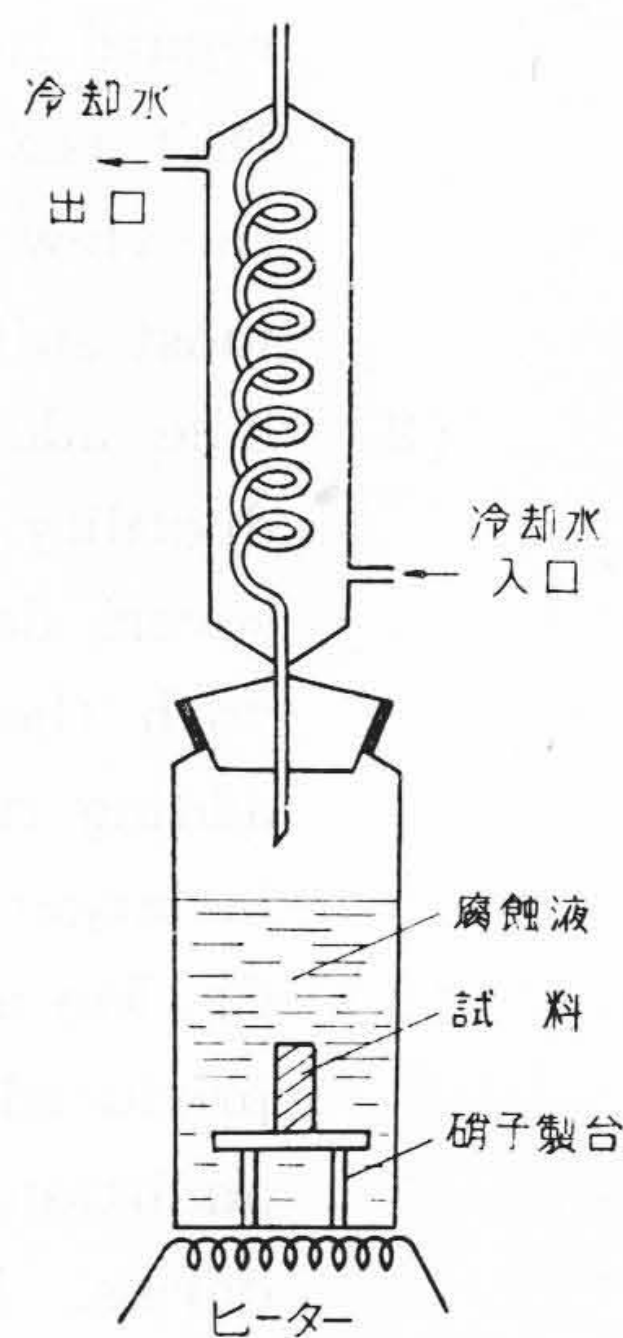


第3図 衝撃試験片
Fig.3. Charpy Impact Test Specimen



第4図 磁気試験片
Fig.4. Magnetic Test Specimen

第5図 腐蝕試験装置
Fig.5. Apparatus for Corrosion Test



第2表 配合金属の化学組成 (%)
Table 2. Chemical Composition of Coating Metals (%)

| 金属 | 成分 (%) | T.C. (%) | Si (%) | Fe (%) |
|---------|----------|-----------|---------|----------|
| 電解ニッケル | Ni 91.33 | T.C. 0.17 | Si 0.24 | Fe 8.26 |
| 金属クロム | Cr 97.88 | T.C. 0.02 | Si 0.99 | Fe 1.11 |
| 全属モリブデン | Mo 99.77 | T.C. 0.04 | — | Fe 0.19 |
| 電解銅 | Cu 99.86 | T.C. 0.03 | Si Tr. | Fe 0.11 |
| フェロシリコン | Si 74.44 | T.C. 0.07 | — | Fe 22.62 |
| 電解マンガン | Mn 93.02 | T.C. 0.04 | Si Tr. | Fe 0.27 |

第3表 配合元素と溶着鋼の化学組成(%)
Table 3. Additional Elements and Chemical Composition of Weld Metals (%)

| 種別 | 配合元素 | C | Si | Mn | Ni | Cr | Mo | Cu |
|----------|------|-----------|-----------|-----------|-------------|-------------|-----------|-----------|
| 18-8-Cb | Ni | 0.07~0.10 | 0.30~0.42 | 1.68~1.92 | 8.71~14.75 | 17.68~18.55 | 0.86~1.08 | 1.76~2.08 |
| | Cr | 0.08~0.10 | 0.46~0.70 | 1.44~1.95 | 8.39~8.75 | 18.54~24.90 | 0.86~1.03 | 1.84~2.21 |
| | Mo | 0.06~0.09 | 0.34~0.71 | 1.48~1.94 | 8.51~9.32 | 16.82~18.02 | Tr.~3.38 | 1.66~1.75 |
| | Si | 0.06~0.10 | 0.28~2.92 | 1.81~1.94 | 8.49~8.83 | 17.08~17.63 | 0.91~1.04 | 1.40~1.94 |
| | Cu | 0.06~0.09 | 0.39~0.64 | 1.44~1.80 | 8.26~8.83 | 16.80~17.55 | 0.84~1.11 | 0.76~3.30 |
| | Mn | 0.06~0.08 | 0.54~0.71 | 1.04~4.79 | 8.34~8.77 | 17.06~17.69 | 1.01~1.07 | 1.52~1.83 |
| 18-11-Mo | Ni | 0.07~0.09 | 0.22~0.36 | 1.44~1.48 | 10.22~16.37 | 17.39~18.50 | 2.43~2.95 | 1.52~1.76 |
| | Cr | 0.07~0.08 | 0.19~0.28 | 1.56~1.63 | 10.24~12.45 | 18.26~22.99 | 1.97~2.39 | 1.72~1.93 |
| | Mo | 0.07~0.09 | 0.20~0.31 | 1.68~1.77 | 11.74~12.53 | 17.32~18.36 | 2.58~6.30 | 1.50~1.55 |
| | Si | 0.07~0.09 | 0.19~2.28 | 1.46~1.81 | 12.29~12.41 | 17.95~18.97 | 1.83~2.45 | 0.75~1.60 |
| | Cu | 0.06~0.08 | 0.12~0.33 | 1.45~2.10 | 11.35~12.23 | 16.85~18.64 | 1.65~3.11 | 0.40~2.36 |
| | Mn | 0.06~0.08 | 0.20~0.23 | 1.36~3.20 | 11.77~12.02 | 16.77~17.63 | 2.39~3.05 | 1.46~1.71 |
| 25-12 | なし | 0.08 | 0.35 | 2.21 | 12.51 | 22.22 | Tr. | Tr. |
| | Cu | 0.08~0.09 | 0.27~0.41 | 1.69~1.83 | 12.44~12.51 | 21.97~22.22 | Tr. | 1.20~3.10 |
| | Cr | 0.07~0.08 | 0.37~0.39 | 2.04~2.35 | 12.44~12.48 | 23.36~25.00 | Tr. | 1.51 |
| | Mo | 0.07~0.09 | 0.27~0.30 | 1.39~2.77 | 11.98~12.29 | 21.01~21.36 | 1.32~2.63 | 0.98~1.05 |
| 25-20 | Cr | 0.09 | 0.49~0.54 | 2.16~3.20 | 15.35~18.31 | 25.09~25.89 | 1.05~1.26 | 0.10 |
| | Mo | 0.07~0.09 | 0.16~0.50 | 3.10~3.31 | 17.53~18.22 | 23.03~23.39 | 1.87~3.83 | 0.06~0.08 |
| | Cu | 0.09~0.10 | 0.12~0.51 | 2.77~3.10 | 16.96~18.04 | 22.85~23.11 | 0.86~0.97 | 0.50~1.75 |

第4表 各種試験片の熱処理条件 Table 4. Heat Treatment of Test Pieces

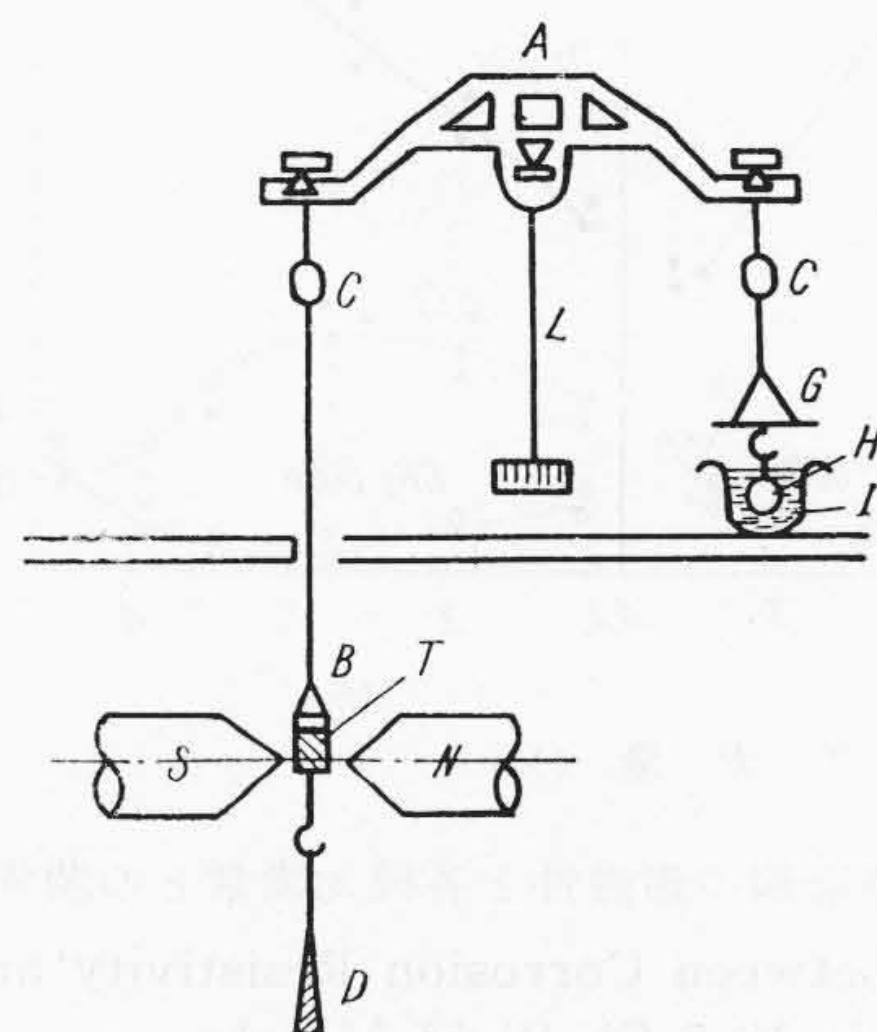
| 種別 | 試験片 | 腐蝕 | 機械性 | 磁性 | 硬さ | 組織 |
|----------|-------|-------|-----|-----------------|---------------|---------------|
| 18-8-Cb | | | | 溶接のまま | — | 1,150°C 5h 水冷 |
| | | | | 1,000°C 4h 真空焼鈍 | | →700°C 3h 炉冷 |
| 18-11-Mo | 溶接のまま | 溶接のまま | — | — | 1,150°C 1h 水冷 | 1,150°C 5h 水冷 |
| | | | | | →650°C 10h 炉冷 | →700°C 3h 炉冷 |
| | | | | | 1,150°C 5h 水冷 | →700°C 3h 炉冷 |
| 25-12 | | | | — | 溶接のまま | 1,150°C 5h 炉冷 |
| 25-20 | | | | — | 溶接のまま | — |

第5表 腐蝕液 Table 5. Solutions for Corrosion Test

| 種別 | 表面腐蝕 | | | 粒界腐蝕 | |
|----------|-----------------------------------|--------|---------------------------|----------------------|---------|
| | 5% H ₂ SO ₄ | 1% HCl | 30% CH ₃ ·COOH | 65% HNO ₃ | Strauss |
| 18-8-Cb | ○ | ○ | ○ | ○ | |
| 18-11-Mo | ○ | ○ | | ○ | |
| 25-12 | ○ | ○ | | | |
| 25-20 | ○ | ○ | | | ○ |

(C) 硬さ、磁気および顕微鏡試験

硬さ測定にはビッカース硬度計が、磁気測定には第6図に示される磁気天秤がそれぞれ使用され、顕微鏡試料の腐蝕は10% 硝酸電解または塩化第二鉄の塩酸溶液によった。



- A: 化学天秤
- B: 試料容器
- C: 調節器
- D: 重錘
- G: 皿
- H: 重り
- I: 水
- L: 指針
- T: 試料

第6図 磁気測定装置 Fig. 6. Measuring Apparatus for Magnetic Test

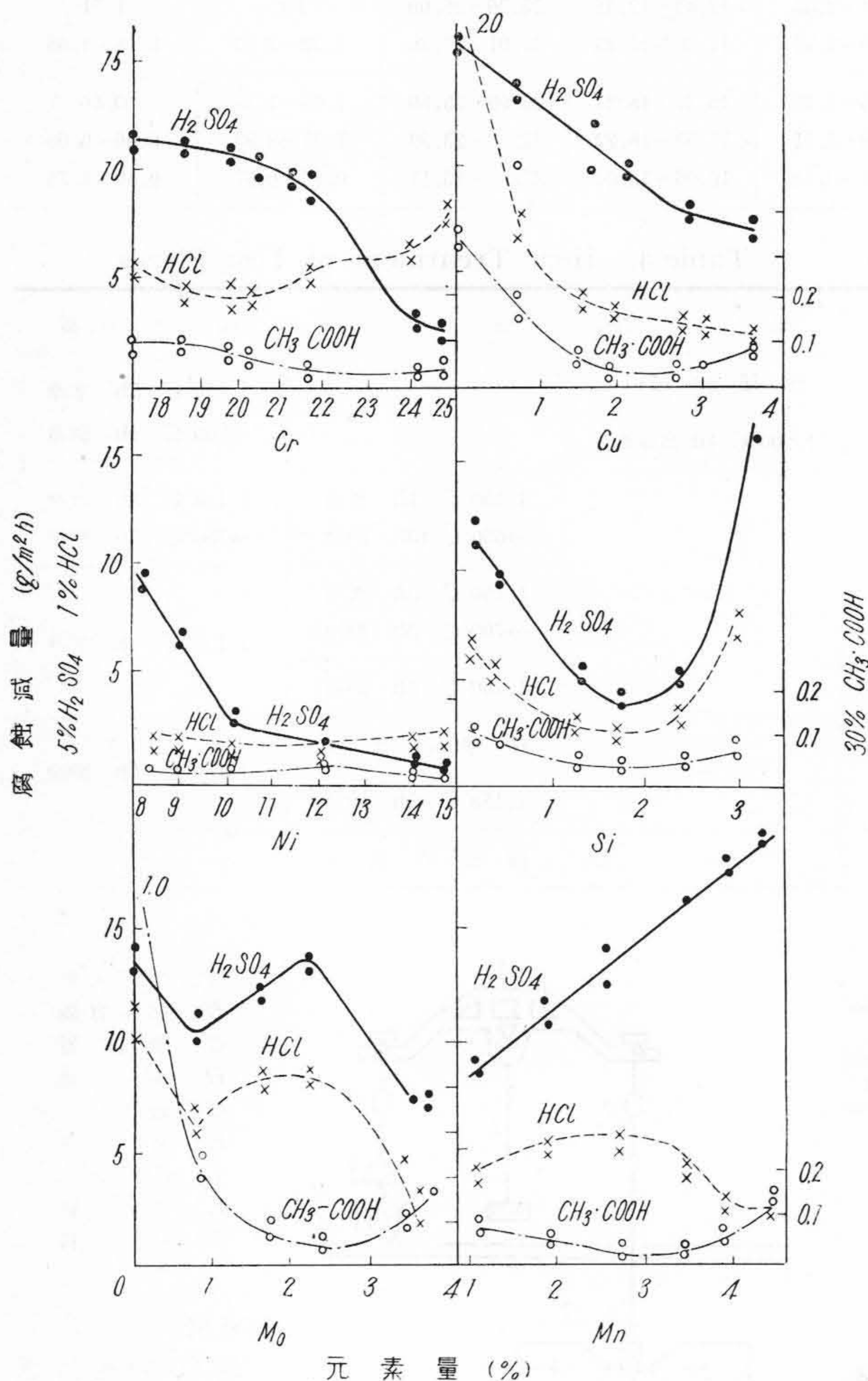
〔III〕 研究結果とその検討

(3) 腐蝕試験

(A) 表面腐蝕

(a) 18-8-Cb 溶着鋼

第7図 18Cr-8Ni-Cb 溶着鋼の Ni, Cr, Mo, Cu, Si および Mn 含有量と腐蝕減量との関係を示す。Ni は H₂SO₄ に対する耐蝕性を向上させ 11% までは著しく、HCl および CH₃·COOH に対してはほとんどその影響がない。Cr は耐硫酸性をよくし 24% 以上含むと良好となり、CH₃·COOH に対しても同様な傾向を示すが、HCl に対しては反対に耐蝕性を減ずる。Mo は H₂SO₄ および HCl に対しその1%までは腐蝕減量を減少させるが、1~2.5% の範囲ではやゝ増加させ、さらに Mo 量が増加すると腐蝕減量は再び減少する。CH₃·COOH の場合には少しず



第7図 18-8-Cb 溶着鋼の耐蝕性と各種元素量との関係
Fig.7. Relation between Corrosion Resistivity and Elements in 18-8-Cb Weld Metals

れて Mo2.5% までは減少し、それ以上になると反対に増加する。この傾向は不銹鋼に関する他の報告⁽²²⁾にも見られる。Cu はこれらすべての酸に対し耐蝕性を良くし、特に HCl に対して著しい。Si は 2% まではいずれの酸に対しても腐蝕減量を減少させ、それ以上では増加させる。この原因は SiO₂ 系スラッグの増加およびミクロ的毛割れであろう⁽²³⁾。

(b) 18-11-Mo 溶着鋼

第8図は 18Cr-11Ni-Mo 溶着鋼の Cr, Mo, Si, Cu, Mn および Ni の各量と腐蝕減量との関係を示す。すなわち Ni および Cu は H₂SO₄ および HCl の両者に対する耐蝕性を向上させるが、Ni はいずれに対しても 12% まで、Cu は H₂SO₄ に対しては 1% まで、HCl に対しては高い程効果が大きい。Cr および Mo はすでにそれぞれ 18% および 2.5% 程度含まれ十分耐蝕性を示しており、それ以上高めると結果はかえつて悪い。Mn および Si は、HCl に対して Mn が耐蝕性に有効である以外は効果がないかまたは有害である。

これらの結果のうち H₂SO₄ に対する Cr, HCl に対する Mo, H₂SO₄ および HCl に対する Si の効果が 18-8-Cb 溶着鋼の場合と異なるのは、基準組成の相異もあり、腐蝕減量のはるかに小さいところでの実験であることに原因しているものであろう。

(c) 25-12 溶着鋼

第9図は 25Cr-12Ni 溶着鋼の Cu, Cr および Mo 量と腐蝕減量との関係を示す。これより Cu 量の少いものは耐蝕性が悪く、その増加とともに耐蝕性を顕著に向上する。Cr については Cu1.5% 共存のためもあり、その差がほとんど見られない。Cu1% 共存の状態では、Mo 約 1.5% の添加が HCl, H₂SO₄ 両者に対する耐蝕性を最高にし、それ以上の増加は HCl に対してかえつて悪い結果を示す。

なおこれらの耐蝕性は 18-8-Cb または 18-11-Mo 溶着鋼の場合に比べて若干劣るが、粒界腐蝕の点も考慮した場合には耐蝕性が良好なものと推察される⁽²⁾⁽²⁴⁾⁽²⁵⁾。

(d) 25-20 溶着鋼

第10図(第124頁参照)は 25Cr-20Ni 溶着鋼の Cr, Mo および Cu 量と腐蝕減量との関係を示す。H₂SO₄ に対してはいずれも耐蝕性がよく、添加元素による顕著な差は認められない。HCl に対しては Cu 量 0.5% 以下のものは耐蝕性が悪く、特に Cr はその量とともに腐蝕減量を増加させる。一般に本鋼種の耐硫酸性の向上は Ni 量が多いことに起因するのであろう。

(B) 粒界腐蝕

第11図(次頁参照)は 18Cr-8Ni-Cb および 18Cr-11Ni-Mo 各溶着鋼の 65% HNO₃ 沸点 300 時間腐蝕試験前後の衝撃値の変化ならびに 25Cr-20Ni 溶着鋼の Strauss 氏液による同様な結果を示す。含 Cb 溶着鋼は概してこ

の場合にも 18Cr-11Ni-Mo 溶着鋼に比べて腐蝕減量は大きい、衝撃後の破面はきわめて健全で粒界腐蝕は見られず、したがって衝撃値の減少も認められない。これに反し 18Cr-11Ni-Mo 溶着鋼は外観上の腐蝕は認め難いが、破面は外周より粒界侵蝕を受け甚だしいものは完全に内部まで侵蝕され、衝撃値の変化が著しい。これは前者に含まれる約 0.6% の Cb が鋼中の C と安定した炭化物を作り、オーステナイト地中の Cr の減少を防止するためと考えられている⁽²⁵⁾⁽¹⁷⁾⁽¹³⁾。25Cr-20Ni 溶着鋼では腐蝕液が異なるので同一には論ぜられないが、同じ傾向があるとすれば⁽¹³⁾、18Cr-11Ni-Mo 溶着鋼よりは耐蝕性が良好といえよう。さらにこれらの結果より粒界腐蝕におよぼす各種元素の影響を考察するに、25Cr-20Ni 溶着鋼では Cu の影響があきらかに現われ 2% 近く含まれると腐蝕がはなはだしく、試片の中心部まで侵蝕される。C, Ni, Cr および Mo についてはつぎのような Binder⁽⁸⁾ 氏らの実験式があり、この式が正の値をとるとき腐蝕は全く起らないとされている。

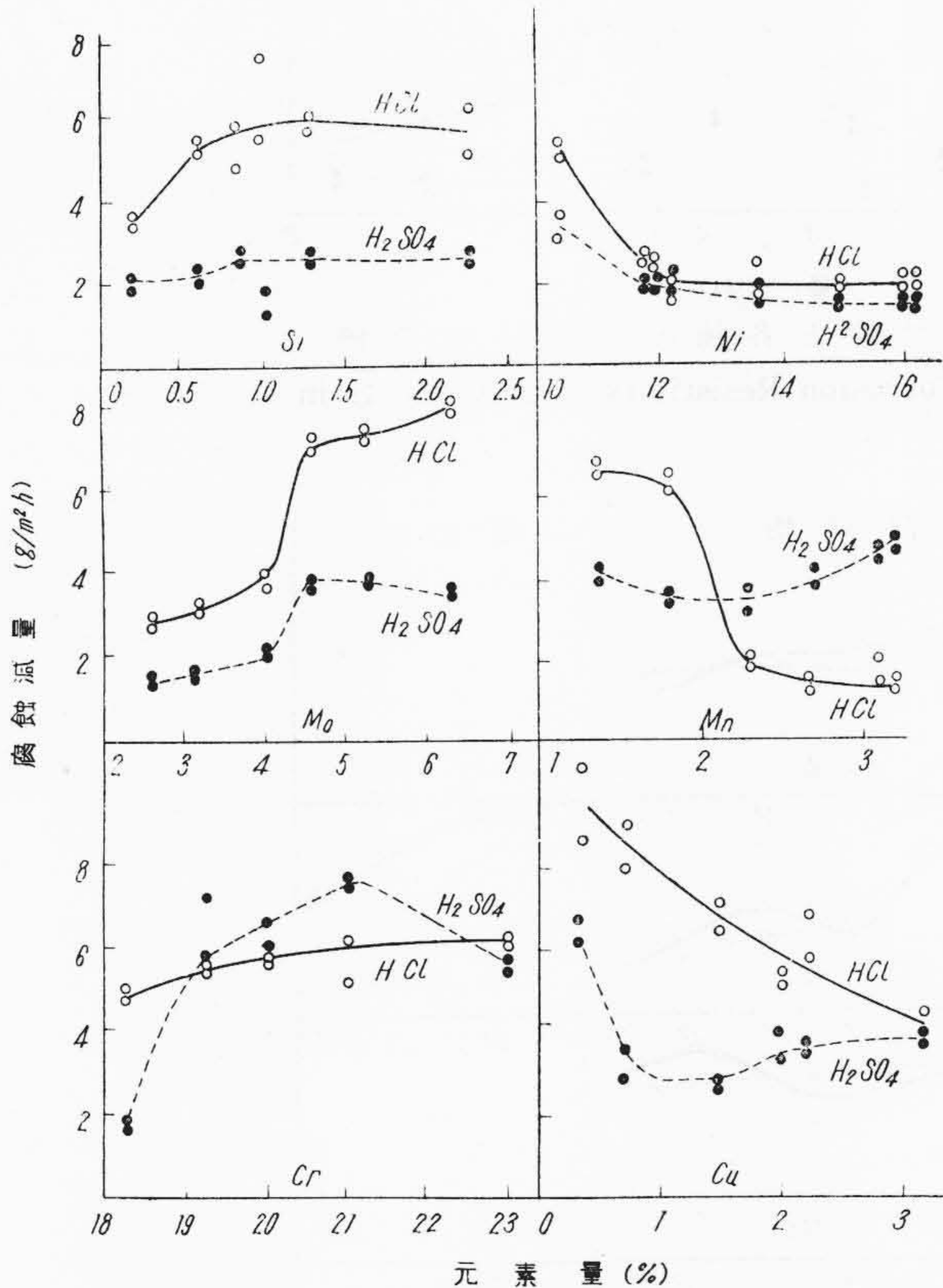
$$\frac{6.17}{(C\%)^{0.83}} + 13.8\{(Cr\%) + 2.5(Mo\%)\} - 10(Ni\%) - 276 = E$$

しかし実験結果では、添加元素の影響はあきらかではない。さらに組織その他より詳細検討されなければならない。

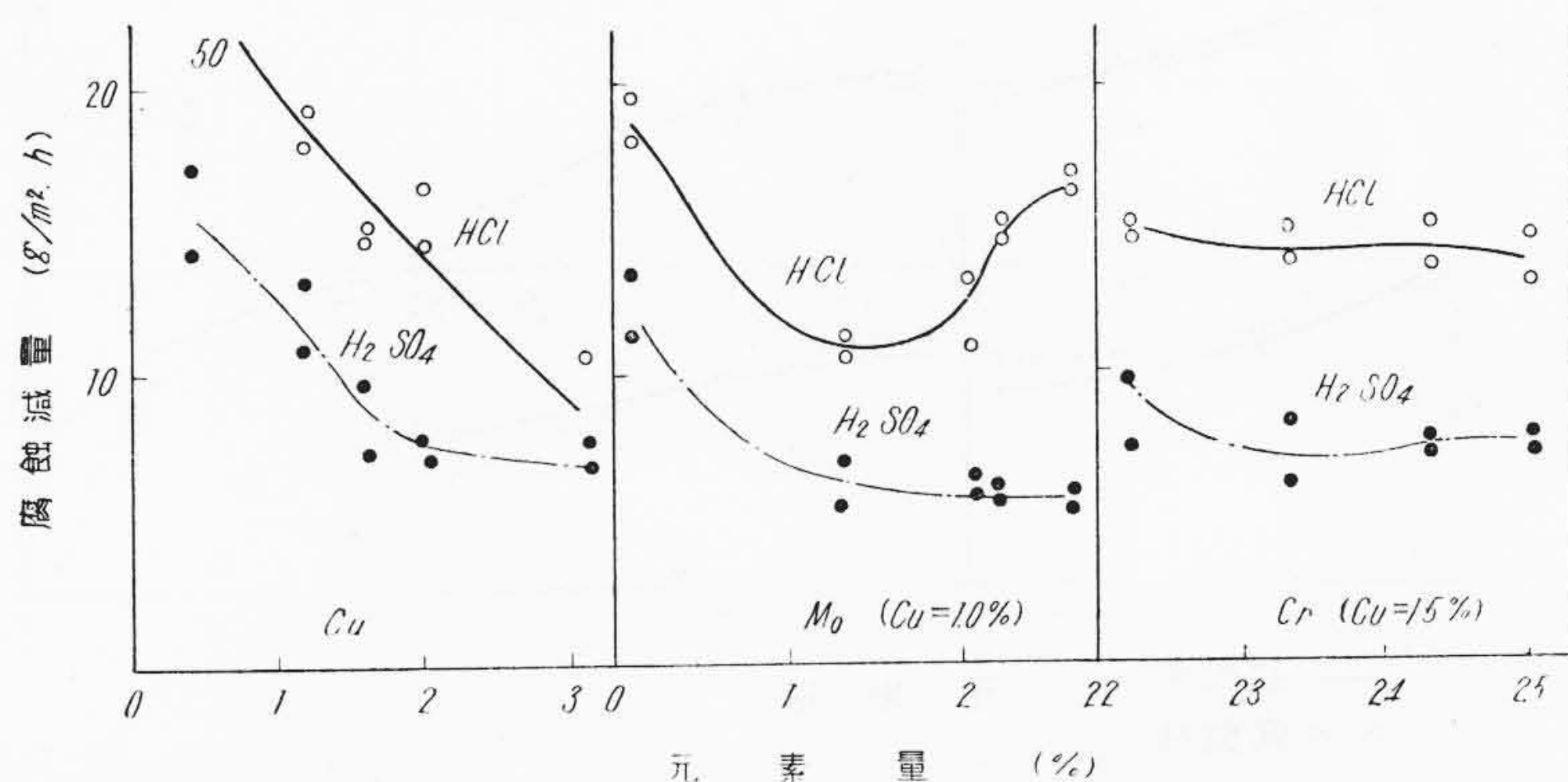
(2) 引張りおよび衝撃試験

(A) 18-8-Cb 溶着鋼

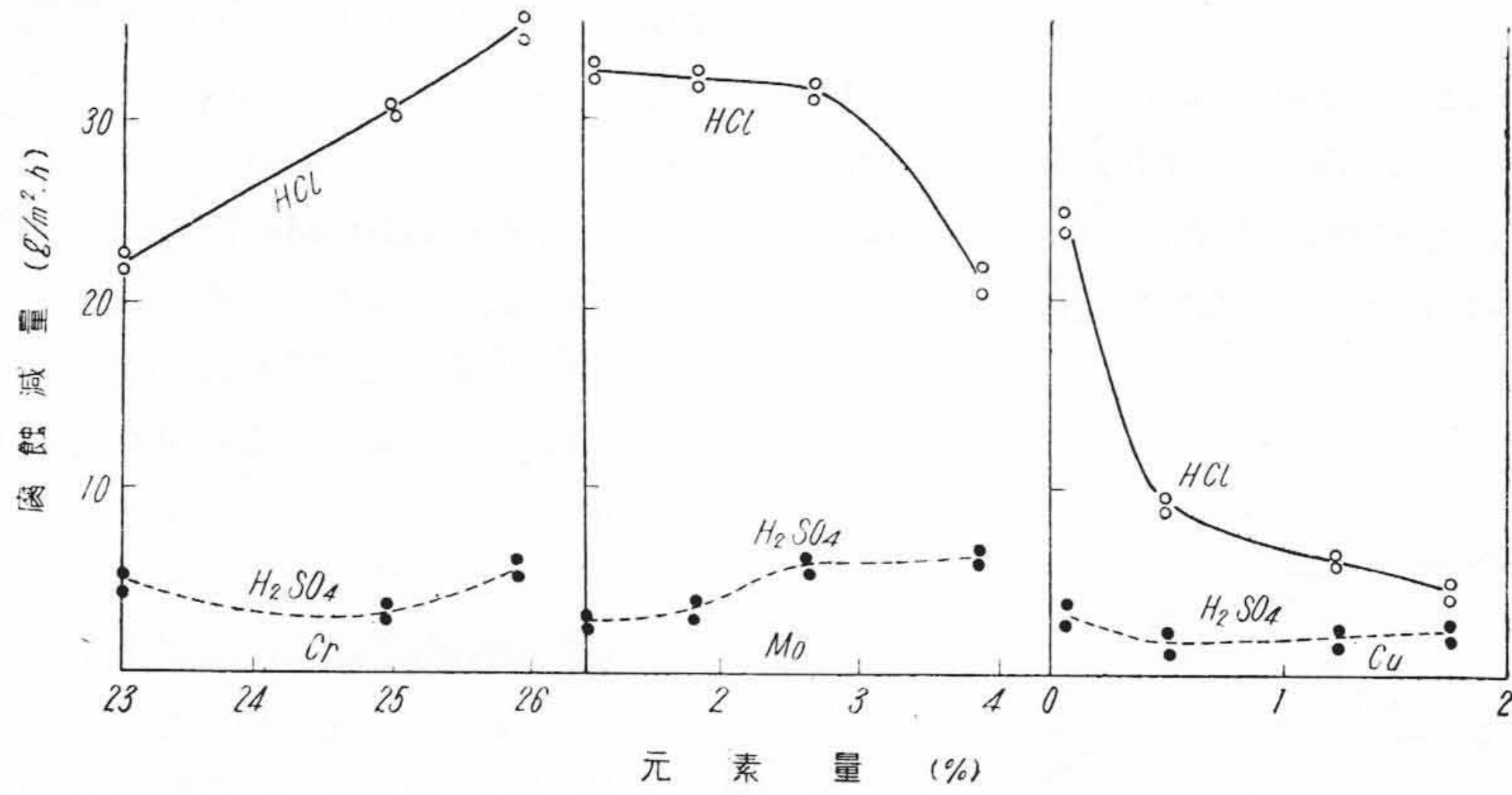
第12図(次頁参照)は 18Cr-8Ni-Cb 溶着鋼の各種元素量と引張り強さ、降伏点、伸び、絞りおよび衝撃値との関係を示す。Ni はその量とともに強度および靱性を低下させ、11% 以上では特にこの傾向が著しい。破面を詳細に観察すると、Ni 量の増加とと



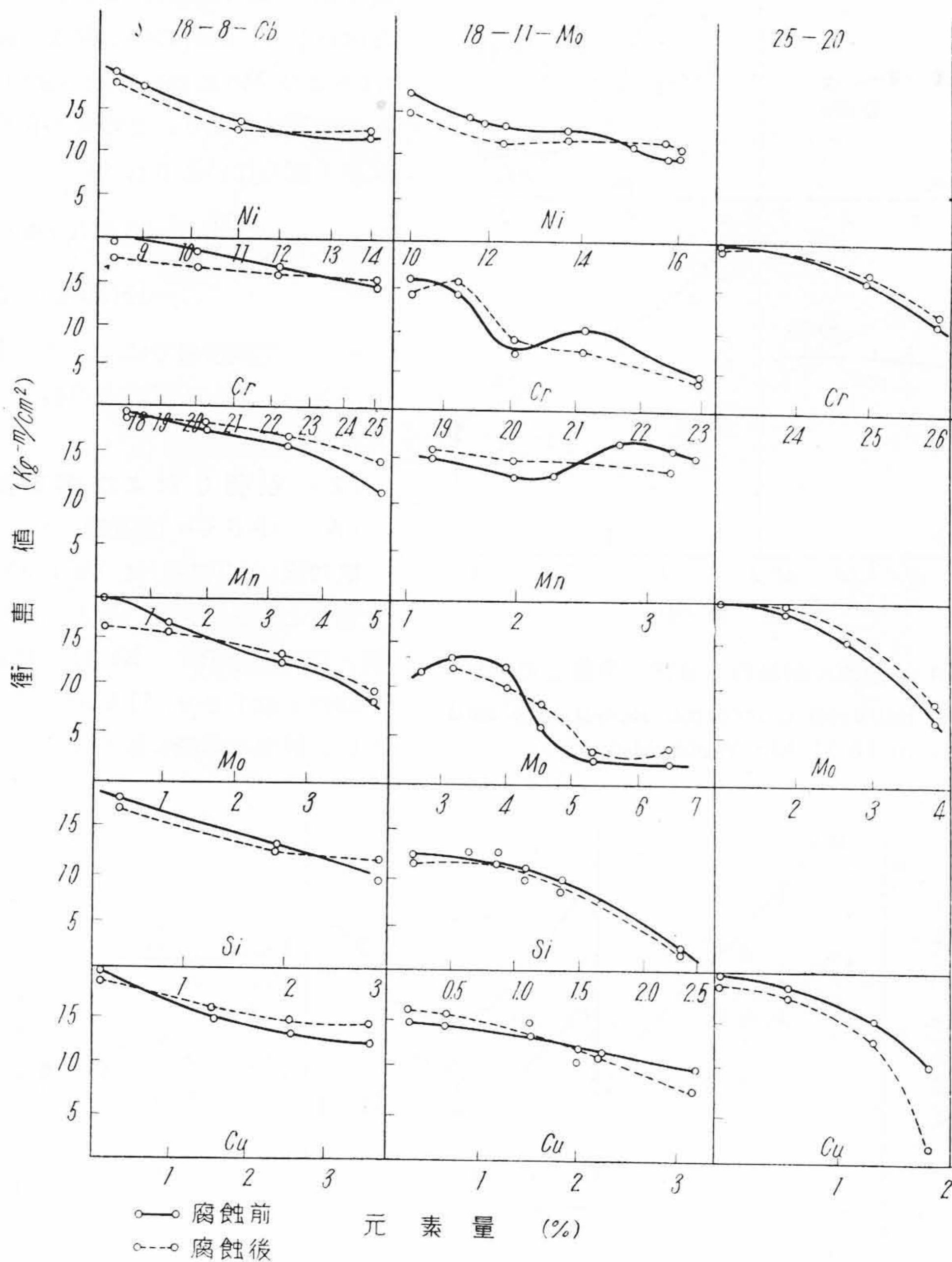
第8図 18-11-Mo 溶着鋼の耐蝕性と各種元素量との関係
Fig. 8. Relations between Corrosion Resistivity and Elements in 18-11-Mo Weld Metal



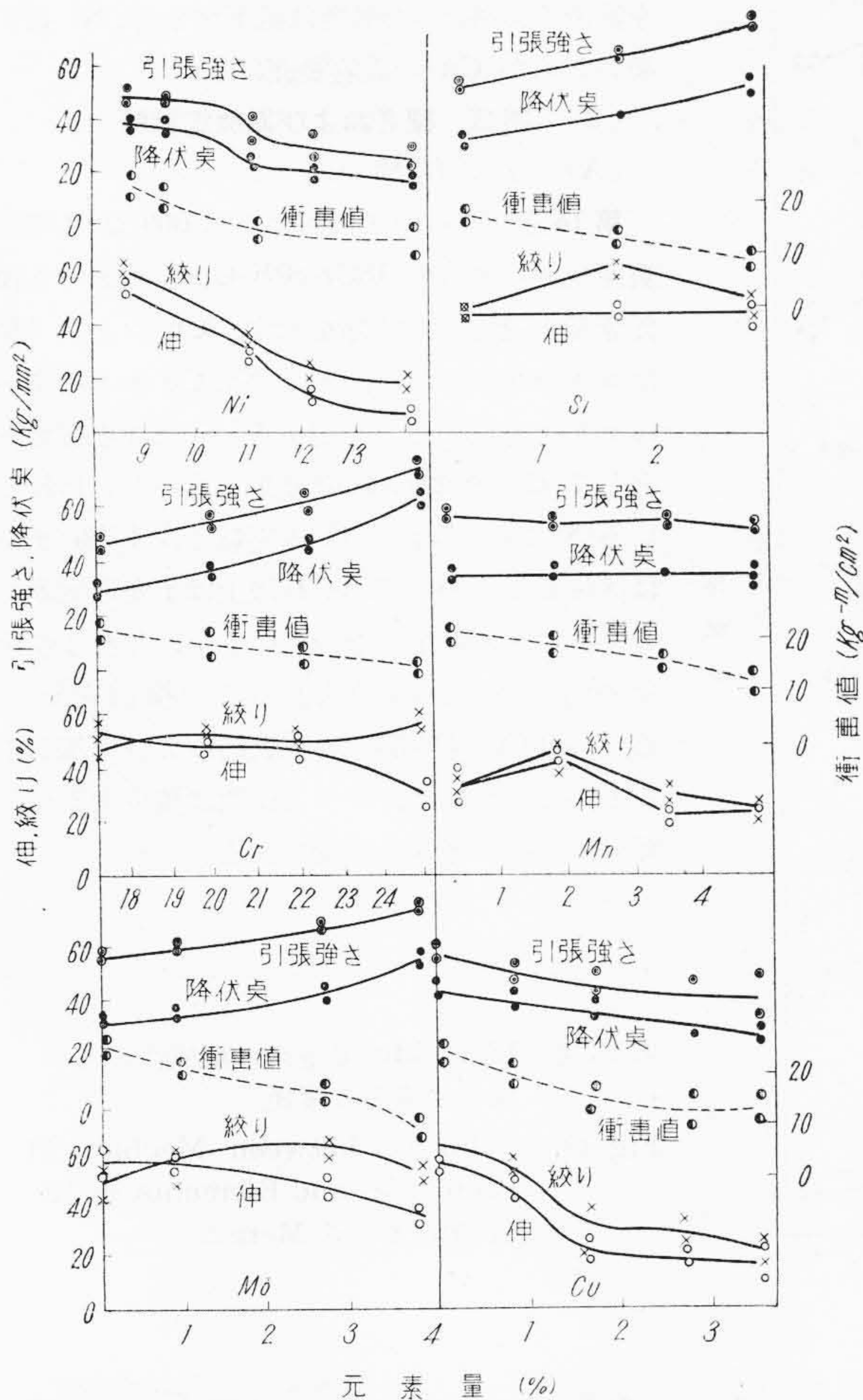
第9図 25-12 溶着鋼の耐蝕性と各種元素量との関係
Fig. 9. Relations between Corrosion Resistivity and Elements in 25-12 Weld Metals



第10図 25-20 溶着鋼の耐蝕性と各種元素量との関係
 Fig.10. Relations between Corrosion Resistivity and Elements in 25-20 Weld Metals



第11図 各種溶着鋼の腐蝕前後の衝撃試験結果
 Fig.11. Results of Impact Test Presenting Intergranular Corrosion for Various Weld Metals



第12図 18-8-Cb 溶着鋼の機械性と各種元素量との関係
Fig.12. Relations between Mechanical Properties and Elements in 18-8-Cb Weld Metals

もに柱状結晶が多く発達しておりそのために機械性が低下するものと考えられる。含 Cb の溶着鋼および鋳鋼に関し Thomas⁽¹⁴⁾, Carpenter⁽²⁸⁾ および Thielsch⁽¹⁾⁽⁸⁾ などは同様な現象を認め、安定したオーステナイト溶着鋼の熱脆性を重視し、18Cr-8Ni-Cb 系では Ni 量を 10% または 12% 以下と限定している。Cr は強度を幾分増加させるが、靱性を悪くする。Mo も同様な傾向がある。従来オーステナイト系の溶接には安定した組織が過大に評価されすぎたため、アンダービードクラックあるいは溶着鋼内の微小亀裂の発生など少からぬ欠陥を誘発しているが、Mo の添加は α の生成を促しこれらの欠陥を防止するのに役立つ⁽¹³⁾。しかしながら α が多量に生成するものにあつては、溶接の冷却過程に σ の析出を起し靱性を極度に低下させるが、Mo 4% まではこのような現象はほとんど認められない。Cu はその量とともに機械性を低下させ、特に 1.6% 以上では柱状晶が見られ靱性

を著しく低下させる。溶着鋼中の Si の増加は、特殊なものを除いては軟鋼、不銹鋼を問わず、水素その他による毛割れの発生および機械性の低下を誘致するため⁽²⁶⁾⁽²⁾、溶着鋼中の Si は 0.75%⁽¹⁹⁾⁽²⁷⁾ 以下に限定されている。しかし、本実験では、Si は衝撃値以外の機械性を良くする。元来 Si 量の増加による機械性低下の原因は、オーステナイト粒界に発生する連続した珪酸塩被膜である。Cb, Mo などの α 生成剤が添加され α が現われると、結晶粒界面積を拡大し、連続した被膜の発生を抑制し機械性を向上させるため、本実験結果のように Si 量の許容限を増すものと考えられている⁽²³⁾。Mn は強度にはほとんど影響をおよぼさないが、2% までは靱性を向上させそれ以上では低下させる。Mn が高温加工性を良くすることは広く知られており⁽¹⁰⁾⁽¹¹⁾、溶接棒の規格⁽²⁷⁾では 2.5% 以下、米国陸軍規格では 1.6~4.75% が要求されているが、こゝでは Cb との共存のため Ni の場合と同様に 2% 以上で靱性の低下をきたしたものと考えられる。

(B) 18-11-Mo 溶着鋼

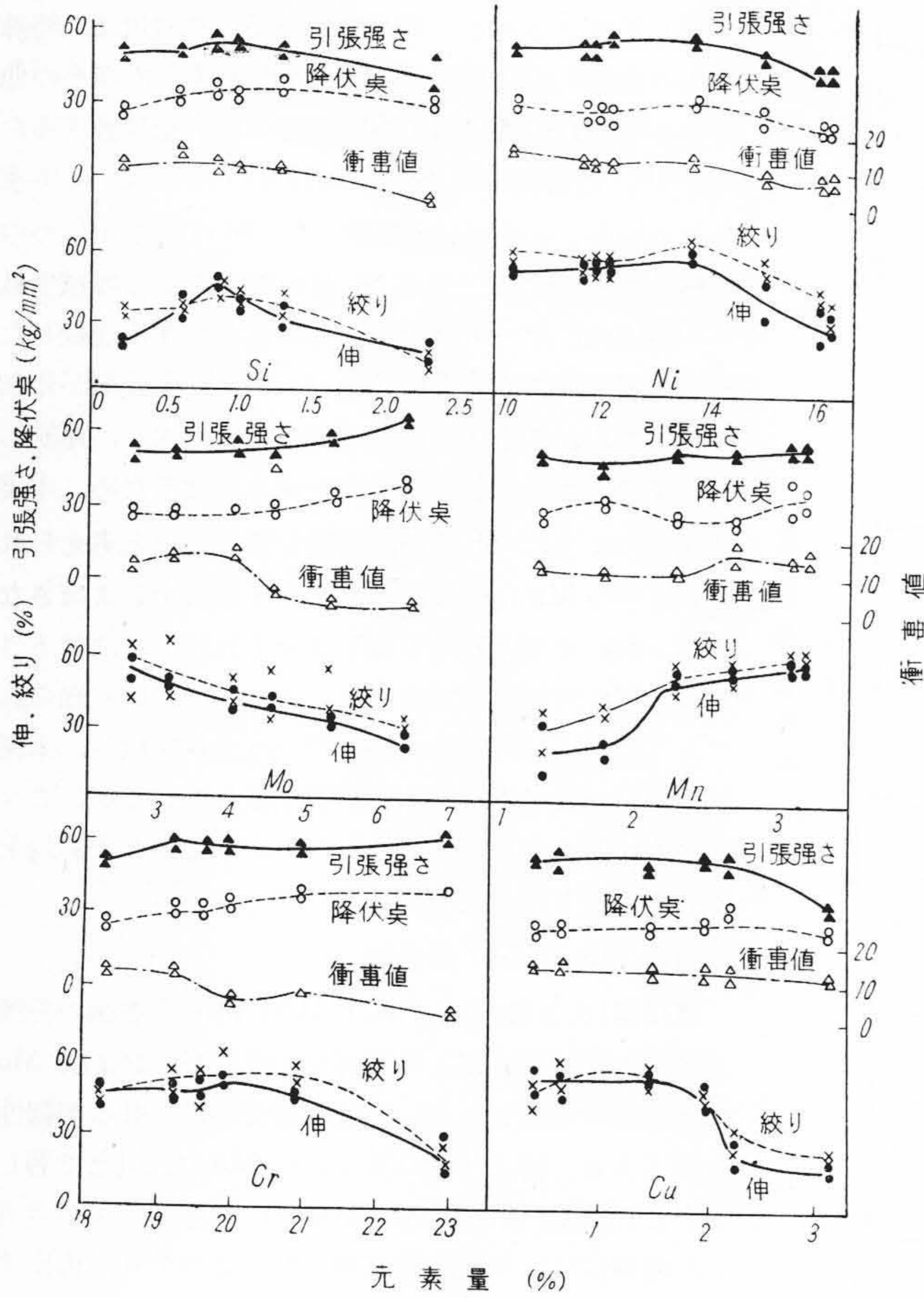
第13図(次頁参照)は 18Cr-11Ni-Mo 溶着鋼の各種元素量と機械的性質との関係を示す。Cr および Mo はその量の増加とともに強度を幾分増加させるが靱性を低下させ、特に Cr 21% 以上、Mo 4% 以上で著しい。これは Cr および Mo が多量に共存して α が生成した場合には、多層肉盛の熱影響によつて σ が析出するためである⁽¹⁴⁾⁽¹⁷⁾。Si は 1.0% 程度まではその量が増加とともに強度を増加させるが、1.0% 以上では強度、靱性ともに低下させる。これは前述した珪酸塩の連続被膜に原因すると考えられる。Cu は 2% までは機械性を害さないがそれ以上では強度、靱性ともに著しく低下させる。Mn は強度にほとんど影響をおよぼさないが、靱性はその量とともに向上する。Ni は 14% までは影響しないが、14% 以上では柱状被面を呈しやすく、これが強度、靱性ともに著しく低下する原因となる。

(C) 25-12 溶着鋼

第14図(次頁参照)は 25Cr-12Ni 溶着鋼の各種元素量と機械的性質との関係を示す。Cu はその量が少いうちは良好な結果を与えるが、1.5% 以上になると急激に強度および靱性を低下させる。Cu を 1.0% とし Mo を増加させた場合には、Mo 2% までは良好で、それ以上では靱性の低下が見られる。また Cr 量の増加は強度を幾分高くするが靱性を低下させる。

(D) 25-20 溶着鋼

第15図(次頁参照)は 25Cr-20Ni 溶着鋼の各種元素量と機械的性質との関係を示す。いずれの元素もその添加量とともに衝撃値を低下させる。Cr および Mo が強度



を高める以外は、機械性は低下するが、Ni 量が多いためか Cu の許容範囲は広い。

(3) 磁気、硬さおよび顕微鏡試験

(A) 磁気試験

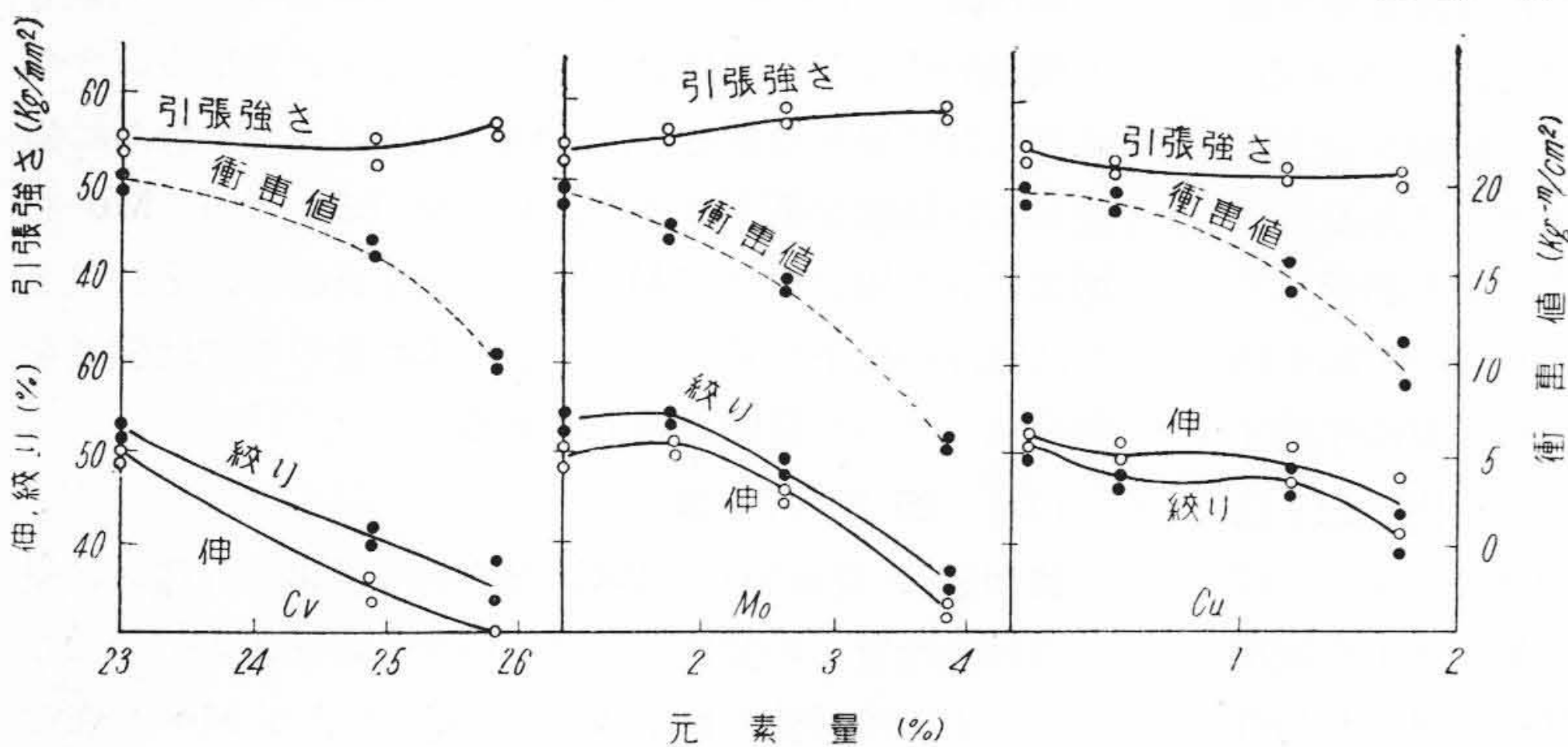
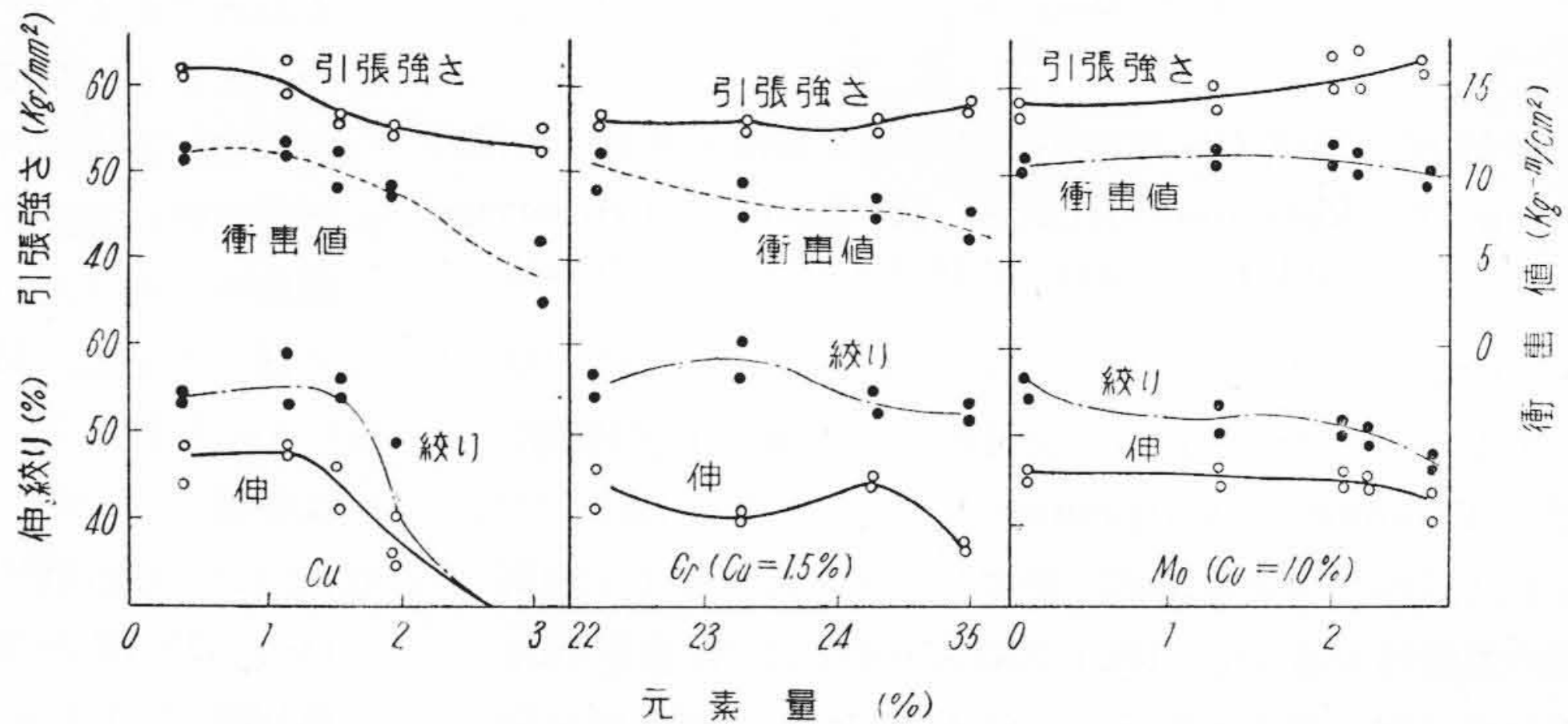
第16図は溶接のままおよび1,000°C 4時間真空焼鈍の場合の18Cr-8Ni-Cb溶着鋼の各種元素量と磁性との関係を示す。Cr および Mo はα生成元素として、また Ni, Cu および Mn はγ安定元素として作用する。Si はα生成元素としてCrの2~3倍の効果をもつといわれている⁽²⁸⁾にもかかわらず、本実験では1.7%まではα生成元素として、それ以上はγ安定元素として作用する結果となつているが、これは偏析その他の原因とも考えられるので検討を要する。1,000°C 4時間の真空焼鈍によつて加工歪をとつた場合には、すべて磁性は減少するが、傾向は溶接のままと同様である。

第13図 18-11-Mo 溶着鋼の機械性と各種元素量との関係

Fig. 13. Relations between Mechanical Properties and Elements in 18-11-Mo Weld Metals

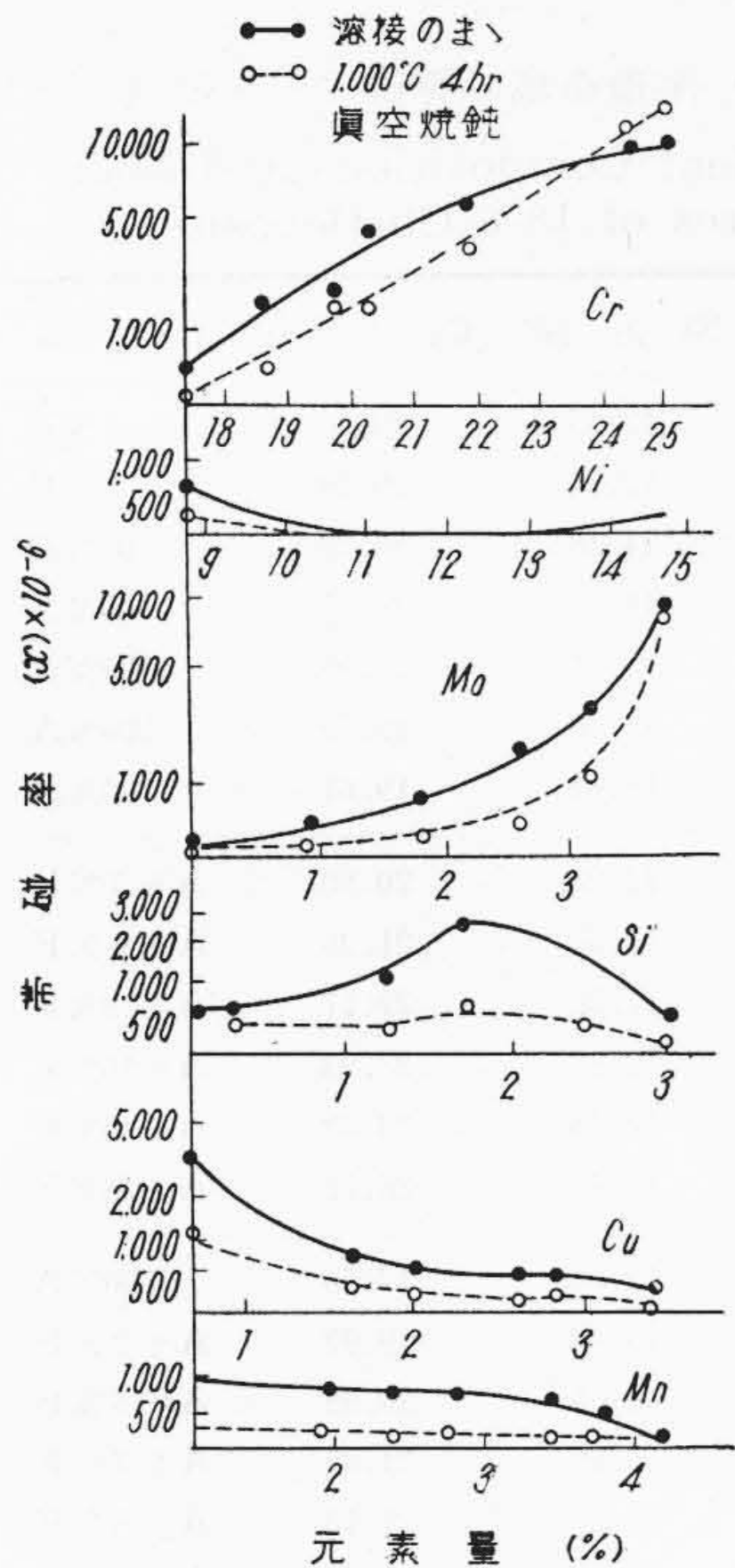
第14図 25-12 溶着鋼の機械性と各種元素量との関係

Fig. 14. Relations between Mechanical Properties and Elements in 25-12 Weld Metals



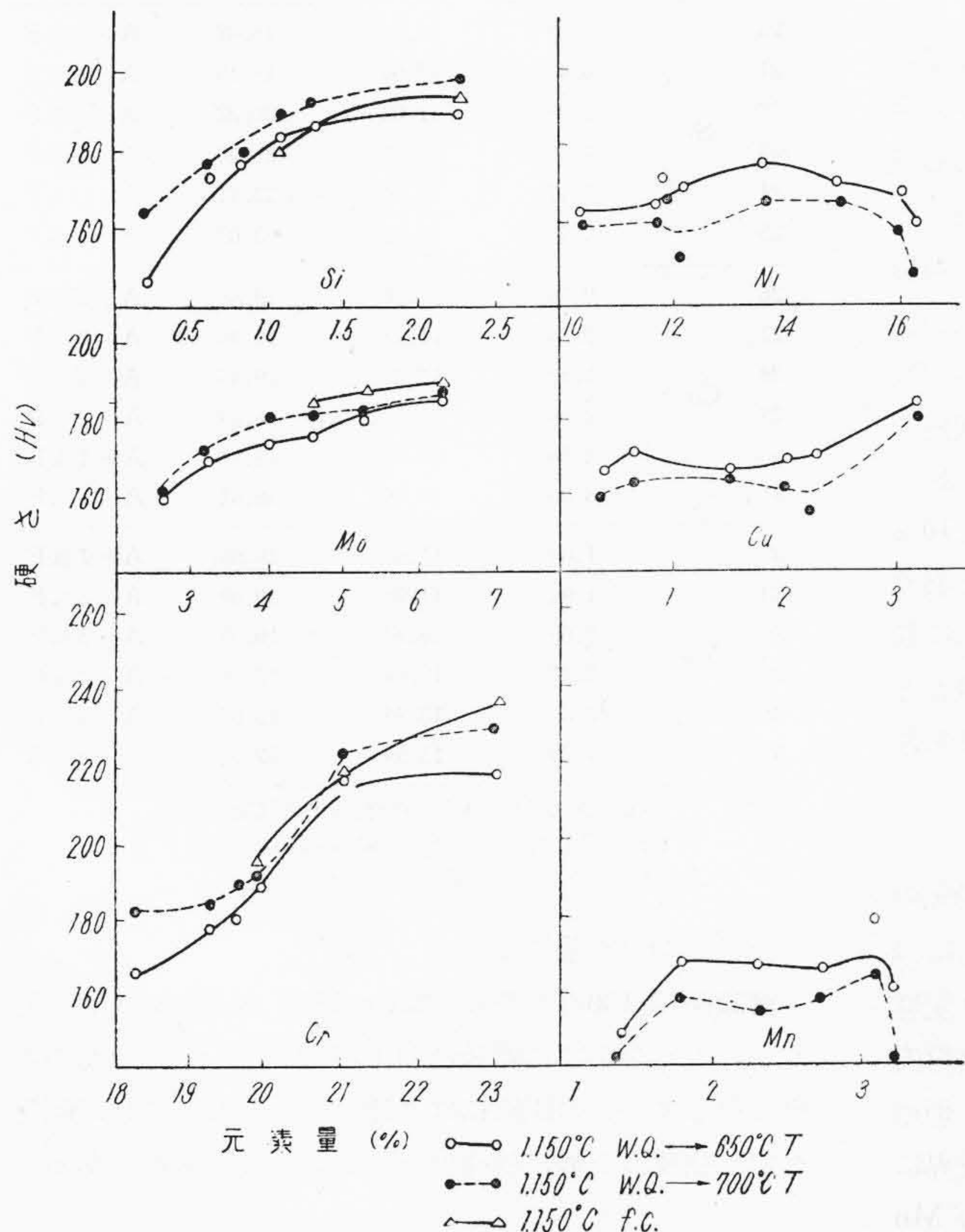
第15図 25-20 溶着鋼の機械性と各種元素量との関係

Fig. 15. Relations between Mechanical Properties and Elements in 25-20 Weld Metals



第16図 18-8-Cb溶着鋼の磁性と各種元素量との関係

Fig. 16. Relations between Magnetic Susceptibilities and Elements in 18-8-Cb Weld Metals



第17図 18-11-Mo溶着鋼の硬さと各種元素量との関係

Fig. 17. Relations between Hardness and Elements in 18-11-Mo Weld Metals

(B) 硬さ試験

(a) 18-11-Mo 溶着鋼

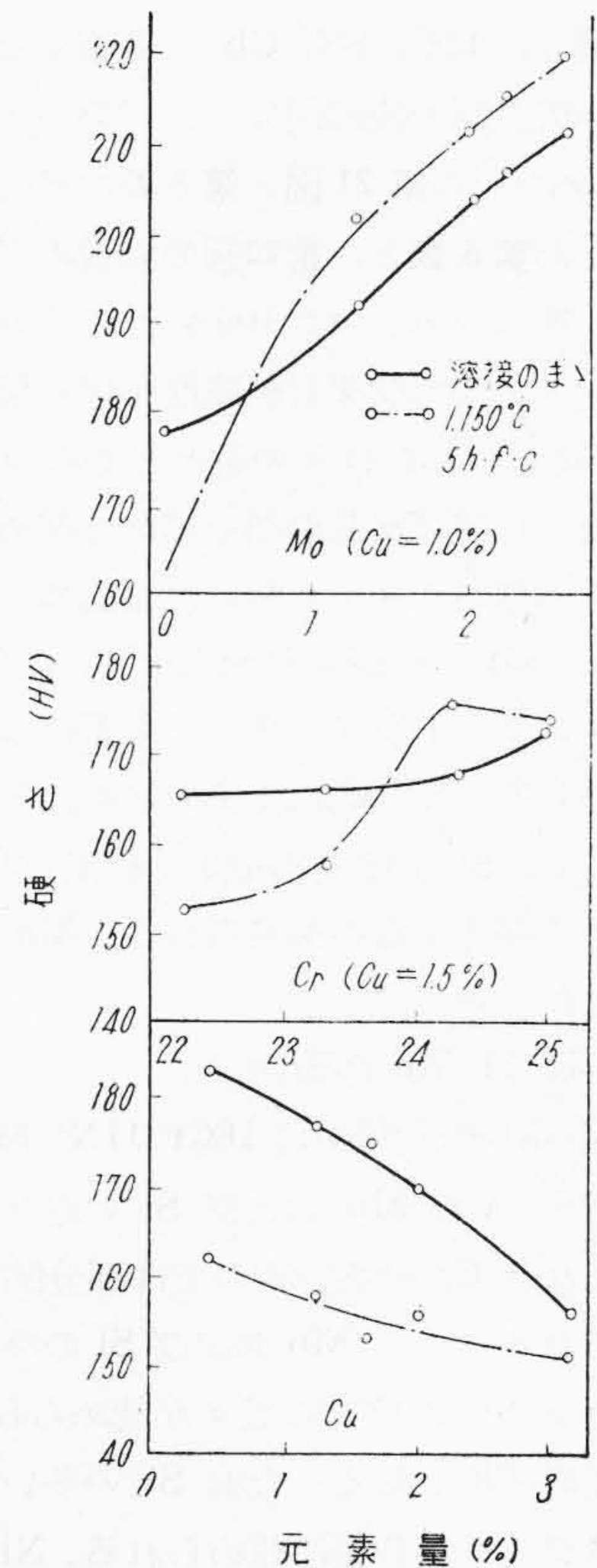
第17図は 18Cr-11Ni-Mo 溶着鋼の元素量と硬さとの関係を示す。 α 生成剤である Cr, Mo および Si 量の増加とともに硬さが増し特に Cr が著しい。これに反し γ 安定剤である Ni, Mn および Cu ではほとんど変化が見られない。

(b) 25-12 溶着鋼

第18図は 25Cr-12Ni 溶着鋼の元素量と硬さとの関係を示す。硬さは Cu が増すとともに低下するが、Cr および Mo の場合には高くなり特に Mo の場合に著しい。

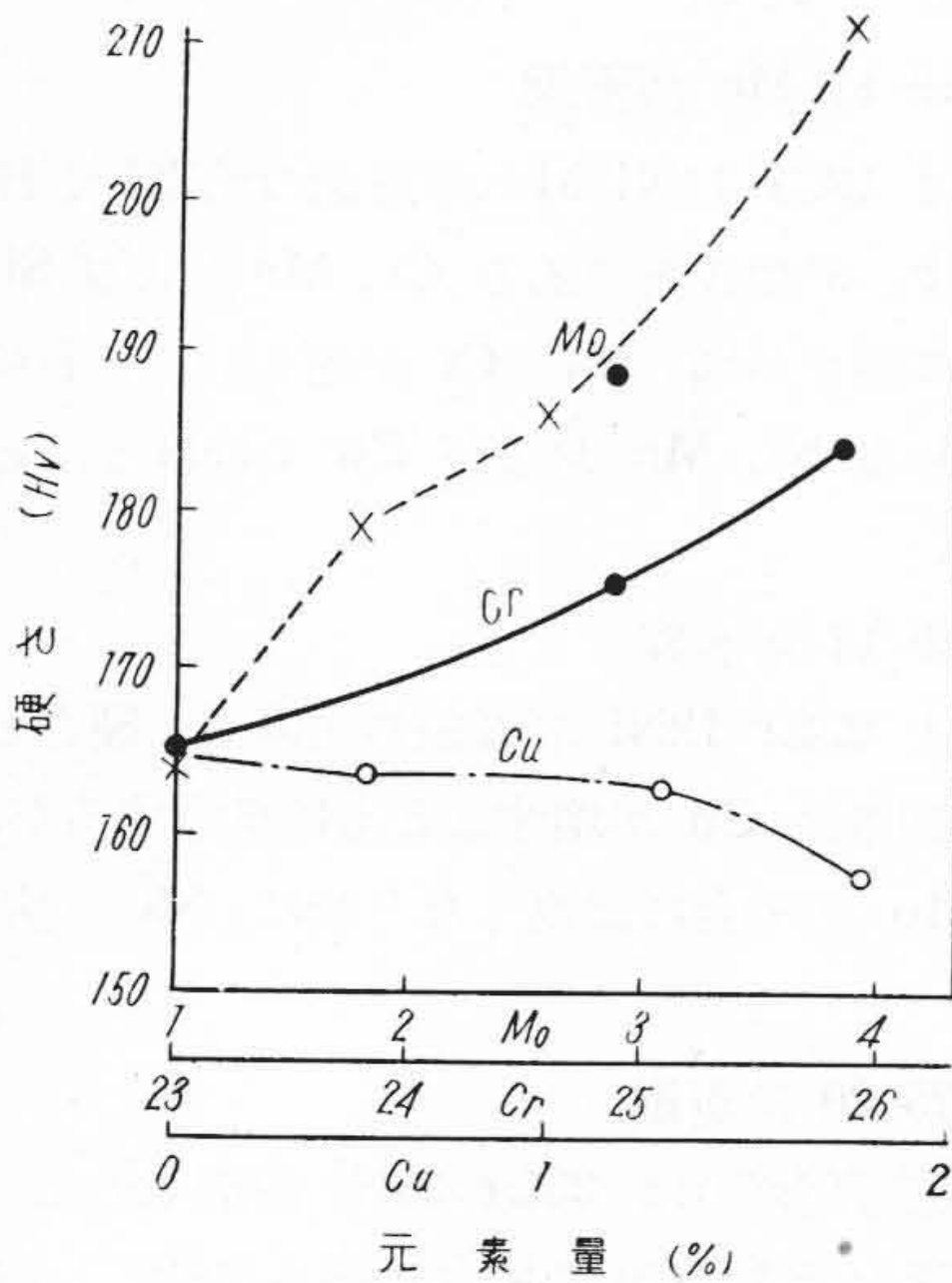
(c) 25-20 溶着鋼

第19図(次頁参照)は 25Cr-20Ni 溶着鋼の元素量と硬さとの関係を示す。Cu の場合に硬さが低下し、Cr および Mo の場合には高くなる傾向は 25Cr-12Ni 鋼と全く同様で、たゞ組織が安定しているために概して硬さが低い。



第18図 25-12 溶着鋼の硬さと各種元素量との関係

Fig. 18. Relations between Hardness and Elements in 25-12 Weld Metals



第19図 25-20 溶着鋼の硬さと各種元素量との関係
Fig. 19. Relations between Hardness and Elements in 25-20 Weld Metals

(C) 顕微鏡組織

(a) 18-8-Cb 溶着鋼

第20図は 18Cr-8Ni-Cb 溶着鋼組織の一例を示す。不銹鋼溶着金属の組織図は二、三発表されているが、今 Schaeffler⁽²⁹⁾ の第21図と第3表の組成からえられる組織を示した第6表と、第20図の顕微鏡写真とを検討してみよう。Ni については 100% r でその量とともに粒界えスラッグが多く凝集し熱脆性を起し部分的に亀裂の発生が見られる。Cr はその量とともに α 量を増加させ、α が発達した樹枝状晶の間を細かく埋めている。強度の上昇はこの細かく α が分散した組織によるものであろう。Mo は Cr と同様 α の発生を促し、約 3.5% で 10% 以上の α があらわれている。その形は Cr の場合と異り球状を呈している。Cu は Ni と同様その量とともに粒界を太くし、Si では初め細かく析出した α が Si 量とともに大きく発達するのが見られる。Mn についてはあきらかではない。

(b) 18-11-Mo 溶着鋼

第22図(第130頁参照)は 18Cr-11Ni-Mo 溶着鋼組織の一例を示す。Cr, Mo および Si の量が増すとともに α 量が多くなり Cr の高いものでは部分的に α→r+σ 変態が認められる。一方 Mo および Si の多いものでは粒内の微粒 α とともに粒界にも α が認められ 1,150°C 炉冷の場合特に明瞭である。なお Si の多いものでは粒界に珪酸塩スラッグが多量に認められる。Ni, Cu および Mn では組織上の変化はないが、前二者が多量の場合には積層溶接の際の熱歪により粒界に亀裂が発生する傾向が見られる。

第6表 18-8-Cb 溶着金属の等価成分と組織

Table 6. Equivalent Compositions and Microstructures of 18-8-Cb Deposits

| No. | 添加元素量 (%) | Ni 当量* | Cr 当量† | 組織 |
|-----|-----------|--------|--------|--------|
| 1 | 8.71 | 12.55 | 19.79 | A+4%F |
| 2 | 9.18 | 12.74 | 19.58 | A+3%F |
| 3 | 10.27 | 14.48 | 19.33 | 100%A |
| 4 | 10.87 | 15.29 | 20.25 | 100%A |
| 5 | 11.33 | 15.21 | 19.99 | 100%A |
| 6 | 14.17 | 18.38 | 19.70 | 100%A |
| 7 | 14.75 | 18.94 | 19.61 | 100%A |
| 8 | 18.54 | 13.28 | 20.60 | A+3%F |
| 9 | 19.63 | 12.69 | 21.99 | A+9%F |
| 10 | 20.15 | 12.56 | 22.17 | A+10%F |
| 11 | 21.71 | 12.46 | 23.93 | A+16%F |
| 12 | 24.21 | 12.46 | 26.22 | A+25%F |
| 13 | 24.90 | 12.89 | 26.77 | A+28%F |
| 14 | Tr. | 12.08 | 17.80 | 100%A |
| 15 | 0.89 | 13.03 | 19.92 | A+2%F |
| 16 | 1.62 | 13.01 | 20.68 | A+6%F |
| 17 | 2.53 | 13.09 | 21.39 | A+7%F |
| 18 | 3.05 | 12.24 | 21.13 | A+8%F |
| 19 | 3.38 | 12.11 | 22.26 | A+13%F |
| 20 | 0.28 | 12.04 | 18.87 | A+3%F |
| 21 | 0.47 | 12.54 | 19.49 | A+6%F |
| 22 | 1.25 | 12.02 | 20.27 | A+7%F |
| 23 | 1.66 | 13.03 | 21.46 | A+8%F |
| 24 | 2.47 | 12.64 | 22.31 | A+12%F |
| 25 | 2.92 | 12.69 | 23.05 | A+13%F |
| 26 | 0.76 | 12.36 | 19.56 | A+3%F |
| 27 | 1.34 | 11.27 | 19.30 | A+7%F |
| 28 | 1.58 | 12.25 | 19.45 | A+4%F |
| 29 | 2.00 | 11.93 | 18.88 | A+2%F |
| 30 | 2.18 | 12.48 | 18.91 | A+1%F |
| 31 | 3.30 | 12.26 | 19.01 | A+1%F |
| 32 | 1.04 | 11.63 | 19.50 | A+7%F |
| 33 | 1.92 | 11.91 | 19.49 | A+5%F |
| 34 | 2.69 | 12.77 | 19.59 | A+3%F |
| 35 | 3.37 | 12.85 | 19.39 | A+2%F |
| 36 | 3.81 | 13.26 | 19.87 | A+1%F |
| 37 | 4.79 | 13.59 | 19.53 | 100%A |

(注) * Ni%+30×C%+0.5×Mn%+0.3×Cu%

† Cr%+Mo%+1.5×Si%+0.5×Cb%

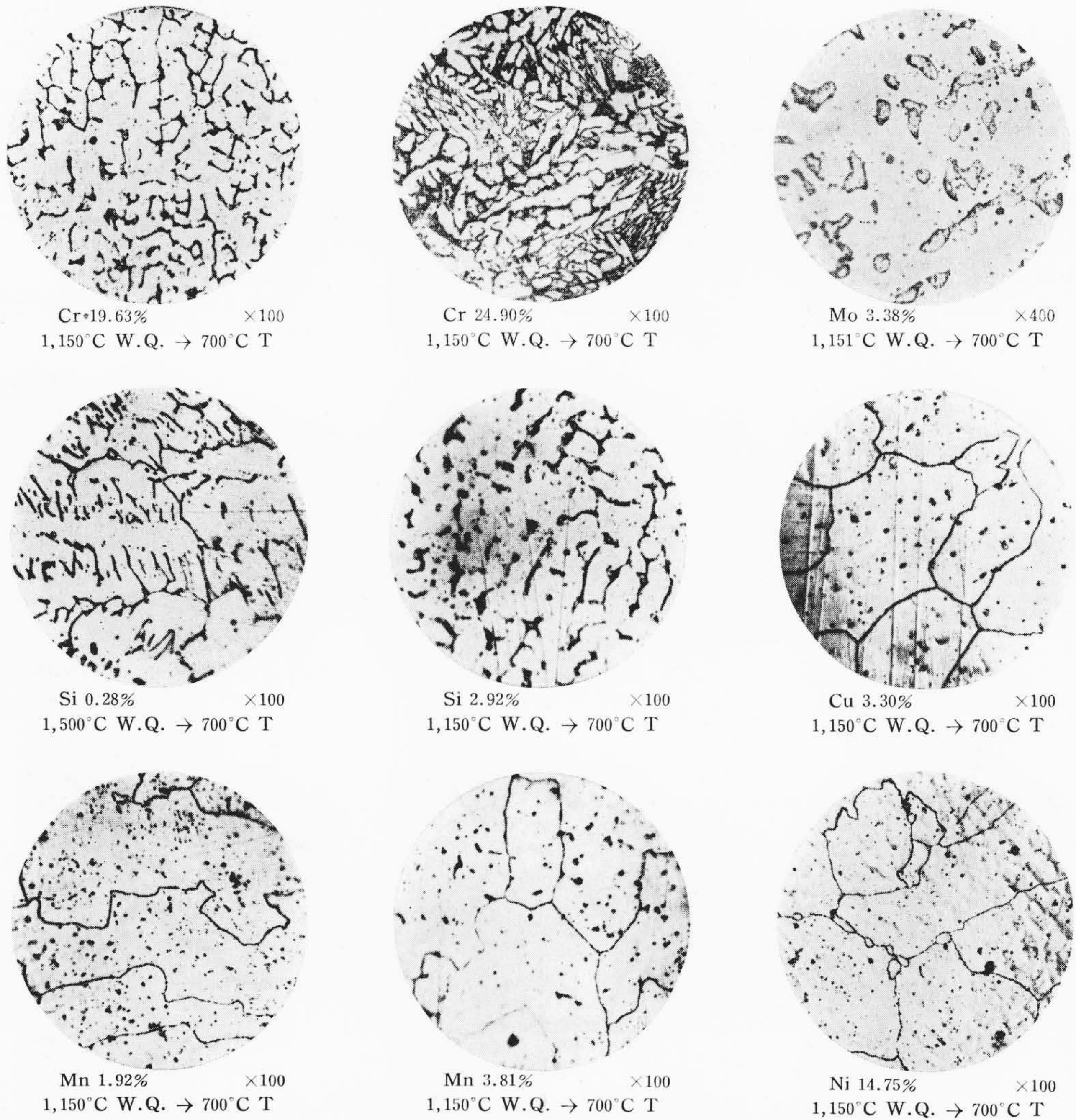
Aはオーステナイト, Fはフェライト

(c) 25-12 溶着鋼

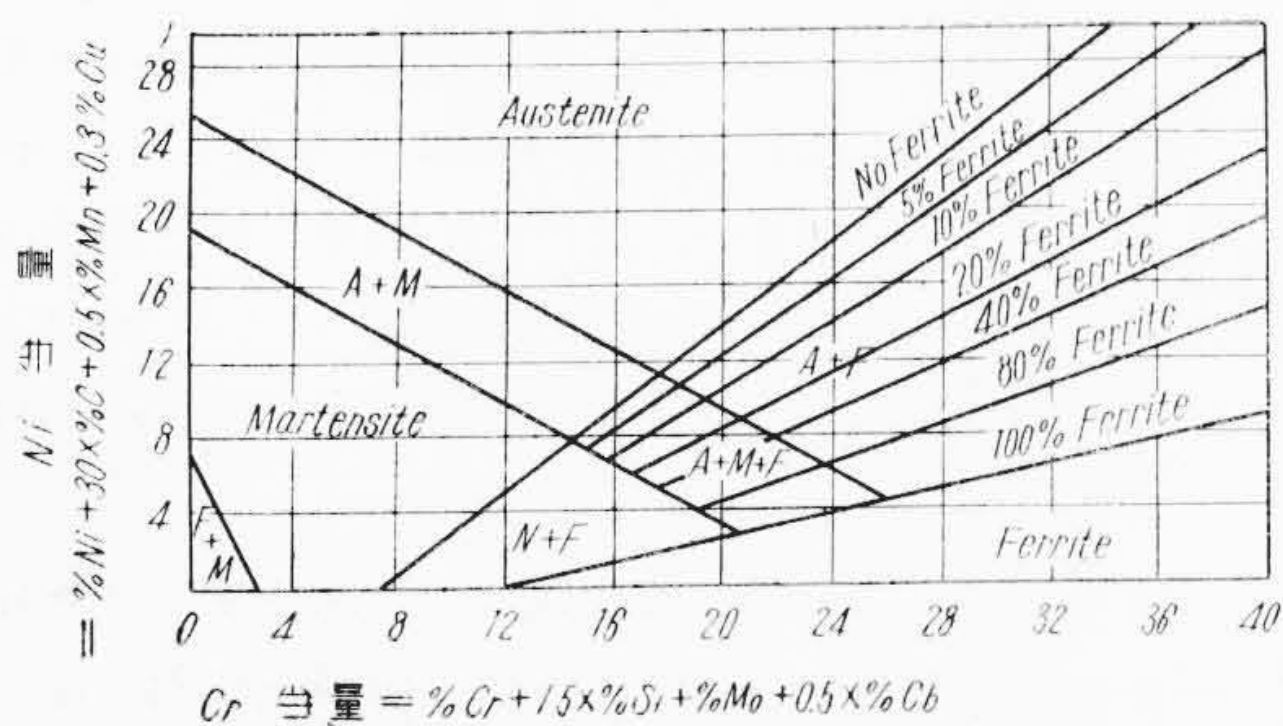
第23図(第130頁参照)は 25Cr-12Ni 溶着鋼の Cr の最も多いものならびに耐蝕性および機械性の良好なものの組織を示す。この組織には σ 相が認められ、これが硬化を起し強度の上昇、靱性低下の原因をなすものである。

[IV] 結 言

以上 18Cr-8Ni-Cb, 18Cr-11Ni-Mo, 25Cr-12Ni および 25Cr-20Ni 鋼溶接棒の被覆剤中に各種の金属元素を



第20図 18-8-Cb 溶着鋼の顕微鏡組織
Fig. 20. Microstructure of 18-8-Cb Weld Metal



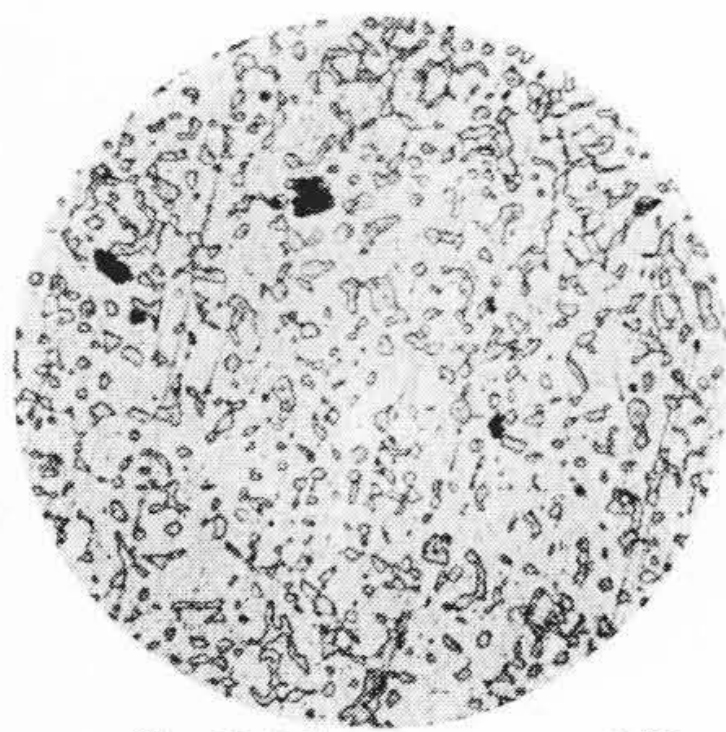
第21図 ステンレス溶着鋼の組織図 (Schaeffler)

Fig. 21. Structural Diagram for Stainless Steel Weld Metal (Schaeffler)

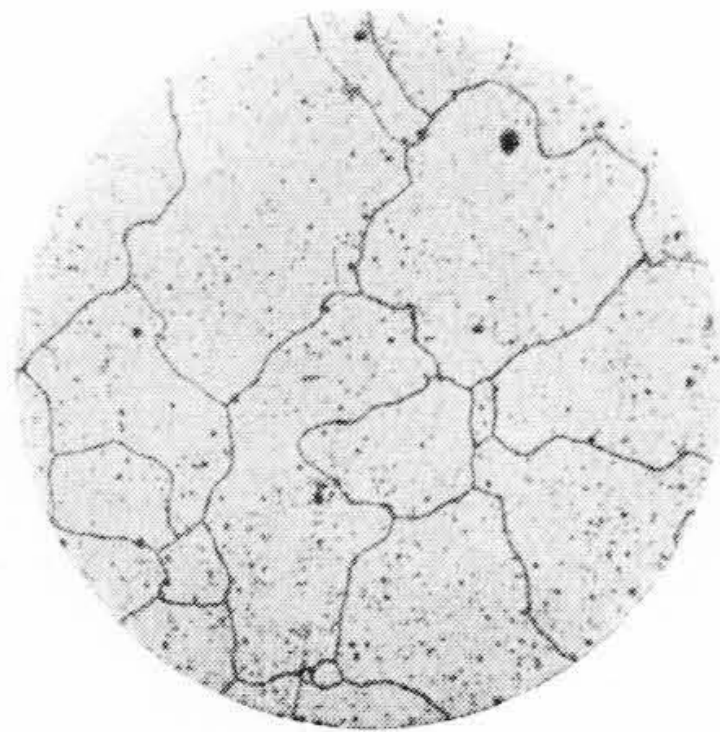
配合することにより溶着鋼にこれらの元素を添加した場合の耐蝕性、機械性、磁気、硬さおよび組織におよぼす影響を調べた。その結果を要約するとつぎのごとくである。

(1) H₂SO₄ に対しては Ni, Mo および Cu が、HCl に対しては Cu, Mo, Mn および Ni が耐蝕性を向上させるが、Cr および Mo は有効量に限度がある。棒種間の比較では H₂SO₄ に対しては 25Cr-20Ni または 18Cr-11Ni-Mo が最もよく、HCl に対しては 18Cr-8Ni-Cb が良好である。しかし粒界腐蝕が考慮される場合には 18Cr-8Ni-Cb または 25Cr-20Ni が適当である。

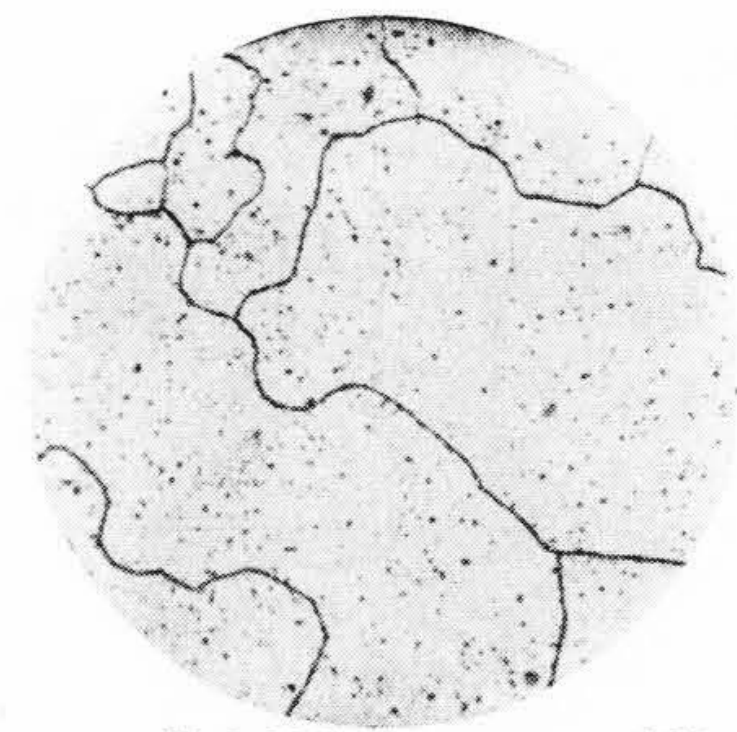
(2) Cr および Mo は強度を増加させるが靱性を低下させ、Cu および Ni は一定限度以上になると著



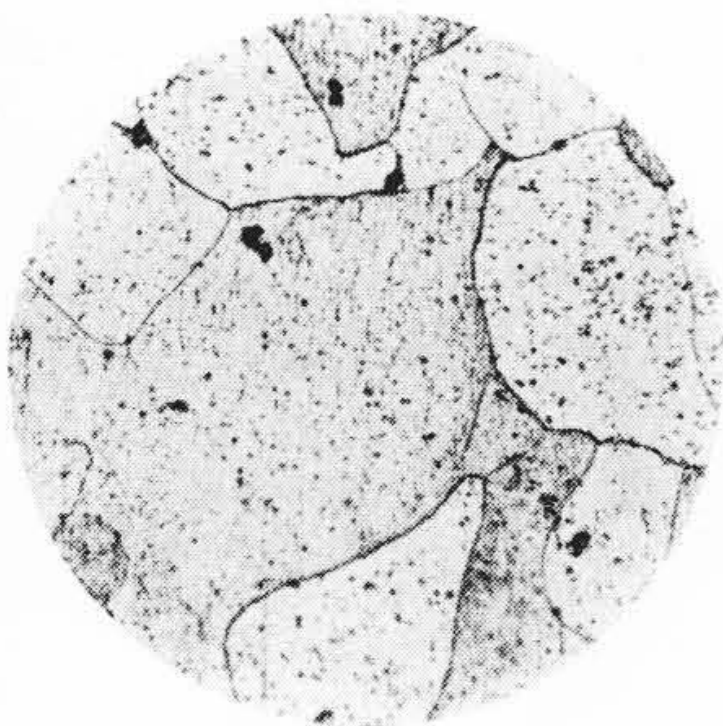
Cr 22.9% ×100
1,150°C W.Q. → 700°C T



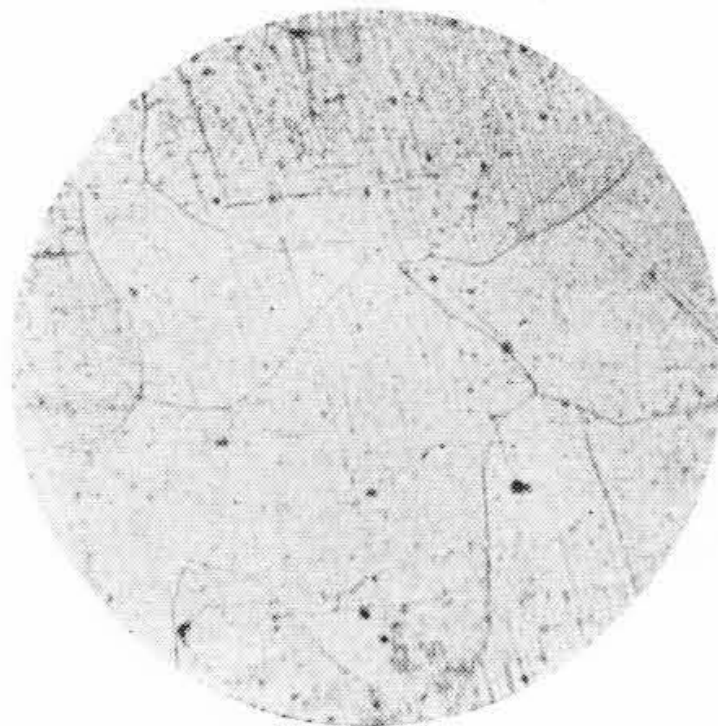
Mo 6.30% ×100
1,150°C W.Q. → 700°C T



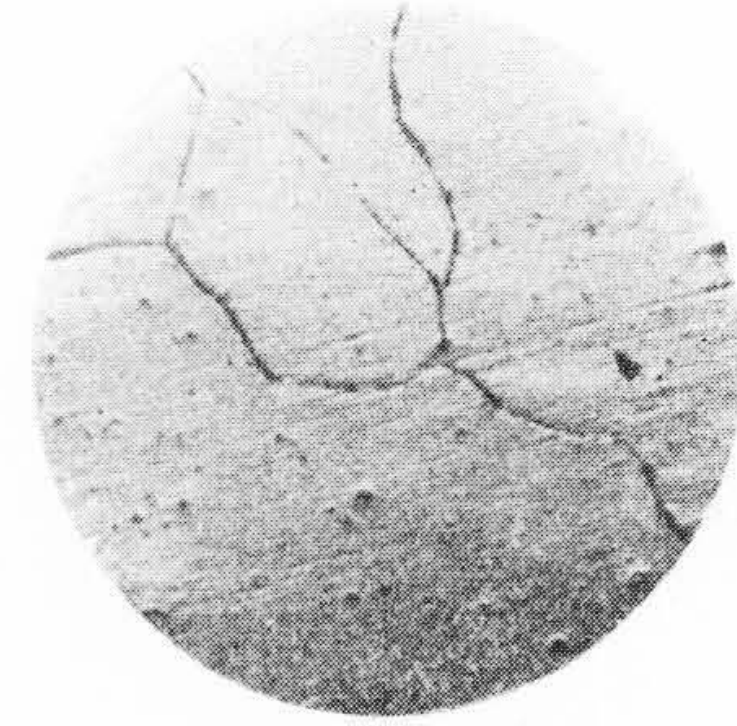
Si 2.28% ×100
1,150°C W.Q. → 700°C T



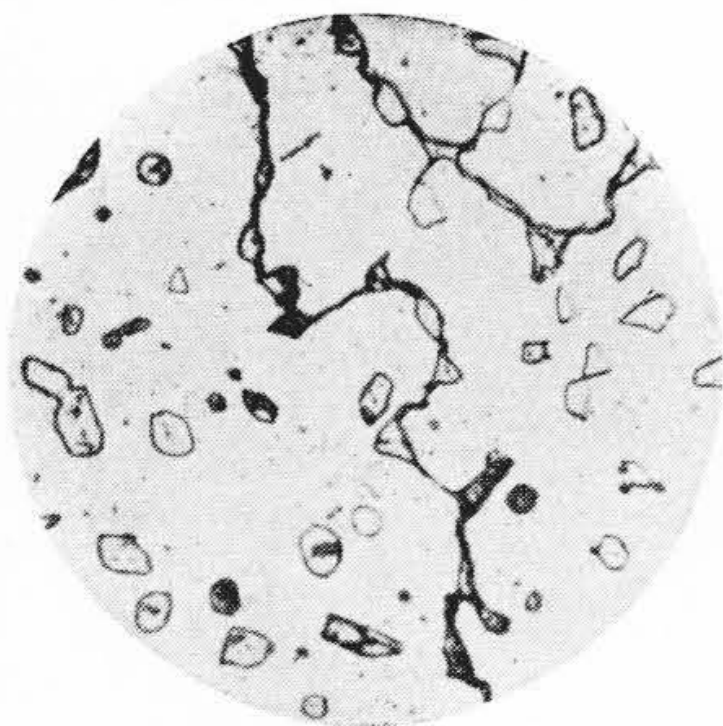
Cu 2.36% ×100
1,150°C W.Q. → 700°C T



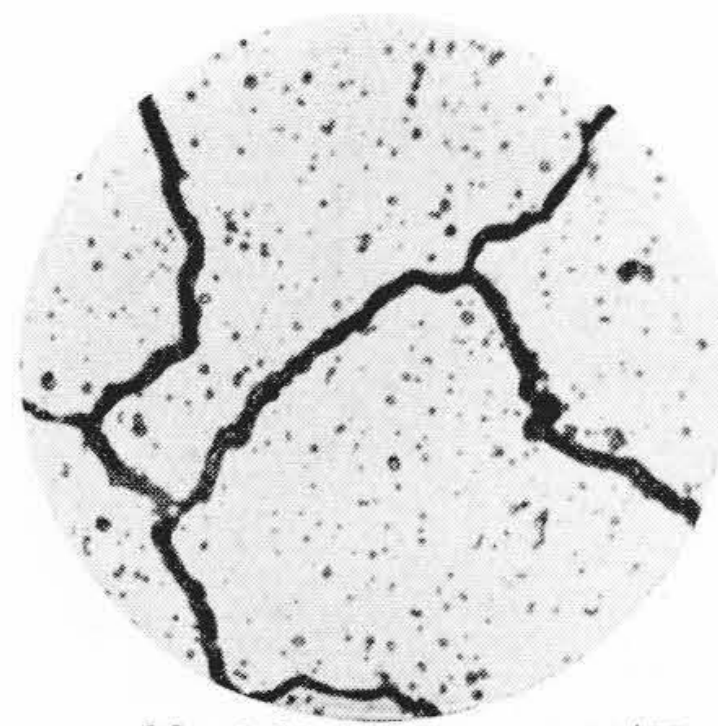
Mn 3.20% ×100
1,150°C W.Q. → 700°C T



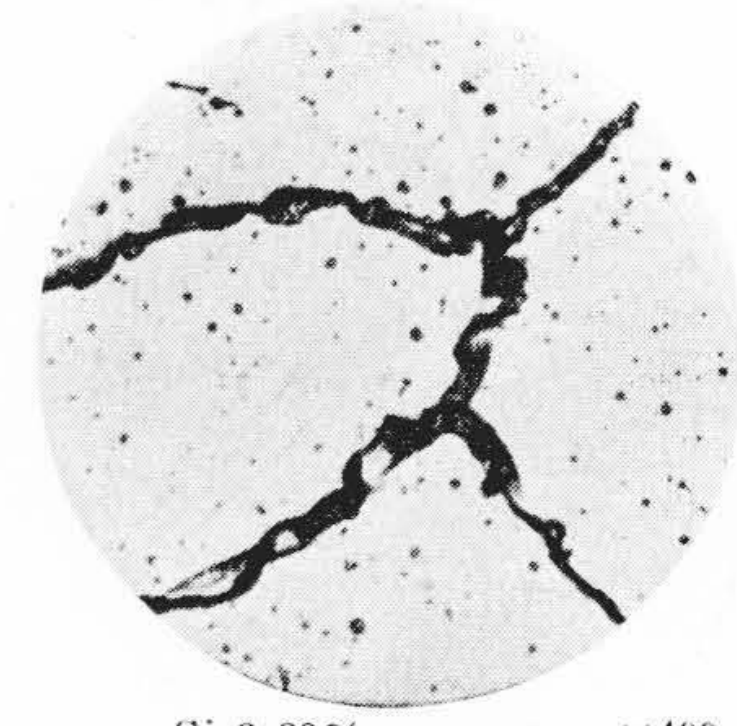
Ni 16.37% ×100
1,150°C W.Q. → 700°C T



Cr 22.99% ×400
1,150°C f.c.

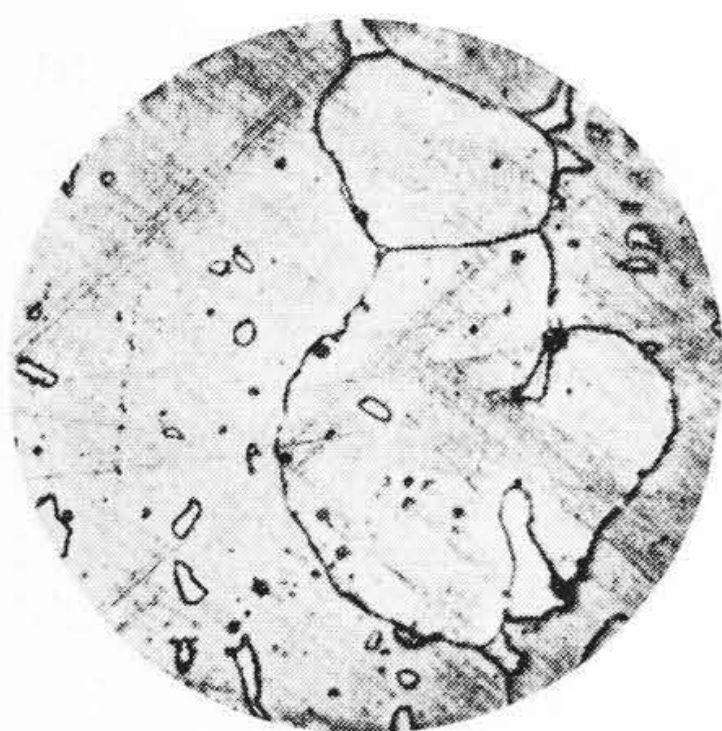


Mo 6.30% ×400
1,150°C f.c.

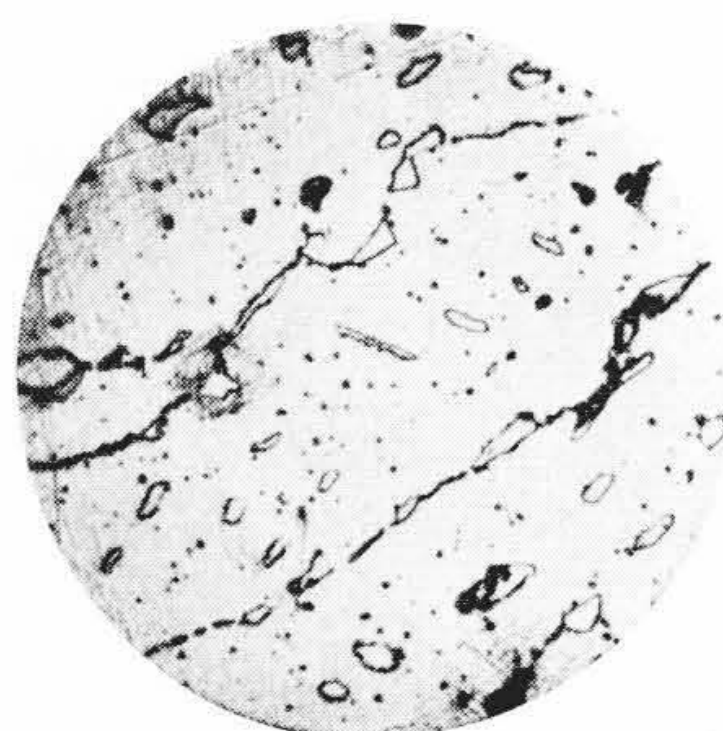


Si 2.28% ×400
1,150°C f.c.

第22図 18-11-Mo 溶着鋼の顕微鏡組織
Fig. 22. Microstructures of 18-11-Mo Weld Metals



No. Cr 25, Ni 13, Cu 1.5%
1,150°C f.c. ×100



No. 9 Cr 21, Ni 12, Mo 1.3, Cu 1%
1,150°C f.c. ×100

第23図 25-12 溶着鋼の顕微鏡組織
Fig. 23. Microstructures of 25-12 Weld Metals

しく靱性を減ずる。その許容限は棒種によつて異り、概して高合金鋼ほど大である。

(3) α 生成剤である Cr, Mo および Si はその量とともに硬さを増し、その量が多いと α を生成し、特に Cr および Mo による場合は $\alpha \rightarrow \sigma$ 変態を起しやすい。また Si が多いと珪酸塩スラッグを生じやすい。 γ 安定剤としての Ni, Cu および Mn では硬さおよび組織上の変化が認められない。

終りに臨み終始御指導を賜つた村上先生日立製作所日立研究所兼先所長ならびに小野博士に対し厚く御礼申し上げるとともに御協力を頂いた小川浩三氏および実験に従事された小室孝次郎君ほか御援助戴いた金属研究室ならびに化学分析室の関係各位に感謝の意を表す。

参 考 文 献

- (1) H. Thielsch: Weld. Jl., **29**, 361 s (1950)
 (2) F.H. Keating: Joining of Metals, 95 (1952)
 (3) S.A. Nerres & A.M. Jurkalo: Weld. Jl., **25**, 669 s (1946)
 (4) H.C. Campbell & R.D. Thomas: Weld. Jl., **25**, 760 s (1946)
 (5) J.T. Gow & O.E. Horder: Jraus. Am. Soc. Metals., **30**, 855 (1942)
 (6) J.B. Austin & D.S. Miller: Trans. Am. Soc. Metals, **28**, 743 (1940)
 (7) W. Spraragen & G.E. Claussen: Weld. Jl., **18**, 65 s (1939)
 (8) W. O. Binder, C. M. Brown & R. Franks: Trans. Am. Soc. Metals, **41**, 1301 (1949)
 (9) L. E. Stark & C. R. Bishop: Weld. Jl., **28**, 104 s (1949)
 (10) R. Franks: Trans. Am. Soc. Metals, **27**, 505 (1939)
 (11) F.H. Page: Iron Age, **156**, 58 (1945)
 (12) R. Franks, W. O. Binder & C. R. Bishops: Trans. Am. Soc. Metals, **29**, 35 (1941)
 (13) A.L. Schaeffer & R.D. Thomas: Weld. Jl., **29**, 13 s (1950)
 (14) W.O. Binder: Weld. J.l., **29**, 26 s (1950)
 (15) V.N. Krivobok: Weld. Jl., **29**, 24 s (1950)
 (16) H. D. Newell: Metals & Alloys, **14**, 173 (1941)
 (17) R.D. Thomas: Trans. Am. Soc. Metals, **29**, 71 (1941)
 (18) P. Payson & C.H. Savage: Trans. Am. Soc. Metals, **39**, 404 (1947)
 (19) C.T. Gayley: Weld. Jl., **26**, 693 s (1947)
 (20) V.J. Schanahan: Weld. Jl., **24**, 727 (1945)
 (21) 小野, 渡辺: 溶接学会誌 **23**, 9 (1954)
 (22) 村上: 金属協会誌 (昭 11)
 (23) O.R. Carpenter & N. C. Jessen: Weld. Jl., **26** (1947)
 (24) W.O. Binder: Corrosion of Metals, **61** (1946)
 (25) U.R. Evans: An Introduction to Metallic Corrosion, 113
 (26) 岡田: 鋼の溶接と水素 (昭 28)
 (27) A.S.T.M.: Stainless Steel Electrode (1950)
 (28) A.L. Schaeffler: Metal Progress, **56** (1947)
 (29) A.L. Schaeffler: Weld. Jl., **26** (1947)

Vol. 15. 日 立 造 船 技 報 No. 4

- ◎ 造船用厚板鋼板の標準寸法とその考察..... { 菱 田 一 郎
 古 川 源三郎
 渡 部 徳
 ◎ 大形鋼塊の砂きずに対する研究 (第2報)..... { 吉 田 豊
 吉 栖 亨
 大 野 惣三郎
 ◎ ドリルの切削試験に関する研究..... { 倉 田 忠 雄
 伊 藤 義 典
 ◎ C4型貨物船改造工事について..... { 野 村 信 夫
 浜 崎 周 作
 ◎ 燃料噴射試験装置の試作..... 布 施 肇
 ◎ 水圧機を利用するカウルヘッドベンチレータの製法について..... 大 野 耕 生
 ◎ 製 品 紹 介
 ◎ 特 許・新 案 紹 介 (23)

本誌につきましての御照会は下記発行所へ御願致します。

発 行 所 日 立 造 船 株 式 会 社 技 術 研 究 所
 大 阪 市 此 花 区 桜 島 北 之 町 60

新時代を築く通信工学の一大体系成る！

通信工学講座

編集委員

| | |
|-----------------|-------|
| 東京工大教授 工学博士 | 川上正光 |
| 電気通信研究所 基礎部長 | 関 壯 夫 |
| 東北大学教授 工学博士 | 永井健三 |
| 京都大学教授 工学博士 | 前田憲一 |
| N H K 技術局長 | 溝上 銈 |
| 東京大学教授 工学博士 | 森脇義雄 |

全 15 卷 予約募集

予約申込期限＝昭和30年4月30日

- ◆全 15 卷の申込者に限り頒布し、分売は致しません。
- ◆申込期限までに最寄りの書店又は直接本社へお申込み下さい。申込金は不要です。
- ◆昭和30年3月上旬より毎月1巻ずつ配本致します。

A5判 9 ㍉横組 優良特抄紙使用 各項分冊
各巻約 350 頁 函入 各巻定価 450 円 ㍻不要

刊行の言葉

20世紀後半に入り、現在の通信工学は、真に驚嘆すべき発展を続けつゝ、現在社会の神経機構を培養している。かかる通信工学の発達には他の諸科学および工業等に対して重大な寄与をなすとともに、これら高度化した通信工学を理解し、利用せんとする社会各層の要求は日々に増大しつつある。

この時にあたり、過去において「無線工学講座」「電子工学講座」および「実用電気工学講座」等を刊行した小社が人類の福祉増進と文化の向上を希念しつつ、現在社会の最先端で活躍している諸先生を編集および執筆陣に迎え、その構想内容において現在最高と自負しうる“新しい体系のもとになる新しい通信工学”を、関係各方面の若き研究者および学徒の座右に贈りうることは小社の最も欣快とするところである。

内容項目

| | |
|----------------|-----------------|
| I 基礎篇 | パルス通信 |
| 回路解析の基礎 | マイクロ波中継 |
| 回路網構成の基礎 | 高周波帯域増幅器 |
| R C 回路網 | 超短波、マイクロ波空中線 |
| 分布定数回路 | 超短波、マイクロ波伝播 |
| マイクロ波回路 | 無線通信測定 |
| トランジスターとその回路 | IV 有線篇 |
| パルスおよび開閉回路 | 搬送電信 |
| 電気音響と通話品質 | 搬送電話 |
| 通信とサイバネテックス | 電力線搬送通信 |
| 通信と雑音 | 電話交換理論 |
| II 共通篇 | 電話交換機 |
| 磁性材料 | 電信機械 |
| 通信と半導体 | ファクシミリ(模写電送) |
| 通信と誘電体 | 線路 |
| 通信と圧電気 | 有線通信測定 |
| 通信用変成器 | V 応用篇 |
| マイクロ波真空管 | 電波航法 |
| 変調方式 | 電子計算器 |
| 通信における自動制御 | 高周波応用 |
| オーディオ回路 | 超音波応用 |
| III 無線篇 | テレビジョン技術の新応用 |
| S S B 通信 | 医学のためのエレクトロニクス |
| F M 通信 | 化学のためのエレクトロニクス |
| F S 通信 | 物理のためのエレクトロニクス |
| | 機械工学の為のエレクトロニクス |

| | | |
|------|-------------|--------------|
| 第1回 | R C 回路網 | 尾崎 弘 |
| 配本 | 高周波帯域増幅器 I | 森脇義雄 |
| 3月上旬 | 通信における自動制御 | 古橋好夫 熊谷 黄 |
| 第2回 | 高周波帯域増幅器 II | 森脇義雄 |
| 配本 | 線 路 | 河野士修 |
| 4月上旬 | オーディオ回路 | 北野 進 |

——東京都神田局駿河台3・振替東京 57035 番——

詳細内容
見本送呈

共立出版株式会社