論文および報告

再現溶接金属の連続冷却変態図*

—再現溶接金属の連続冷却変態図の作成方法と二、三の溶接金属の連続冷却変態図—

木原 博** 鈴木 春義*** 稲垣 道夫**
高木 乙磨**** 西 茂**** 鈴木 和久**** 下山 仁一****

The Continuous Cooling Transformation Diagrams of Synthetic Weld Metals (SW-CCT Diagrams)*

Zeit-Temperatur-Umwandlungs-Schaubild für kontinuierliche Abkühlung des künstlichen wiederproduzierten Schweißmetalls

—The Method of Plotting CCT Diagrams of Synthetic Reproduced Weld Metals and Some SW-CCT Diagrams—

Die Methode des Zeichens des TZU-Schaubildes für kontinuierliche Abkühlung des künstlichen wiederproduzierten Schweißmetalls und welche TZU-Schaubild für kontinuierliche Abkühlung des künstlichen wiederproduzierten Schweißmetalle.

By Hiroshi Kihara** Haruyoshi Suzuki*** Michio Inagaki**

Otomaro Takaki**** Shigeru Nishi**** Kazuhisa Suzuki**** and Toshikazu Shimoyama****

Abstract

This report describes the method of plotting the continuous cooling transformation (CCT) diagram of weld metal, of which columnar structure and transformation on cooling are reproduced, and also describes the CCT diagrams of synthetic weld metals which contain Si and Mn; Si, Mn and Ni; and Ni, Cr and Mo. The results are follows.

- 1) The microstructure of actual weld metal can be reproduced by melting the center of the specimen (4.5 mm ϕ $\times$ 70 mm) with induction heating, and CCT diagrams of synthetic weld metals can be plotted by this method.
- 2) The microstructure and hardness of synthetic weld metal are coincide with them of actual weld metal.

Der Umriß: Der Bericht beschreibt die Methoden des Zeichens des TZU-Schaubildes für kontinuierliche Abkühlung des künstlichen wiederproduzierten Schweißmetalls, dessen Mikrostruktur und Umwandlung auf der Abkühlungen wiederproduziert wird, und auch beschreibt die TZU-Schaubild für kontinuierliche Abkühlung des künstlichen wiederproduzierten Schweißmetalls, die enthalten Si und Mn; Si, Mn und Ni; und auch Ni, Cr und Mo. Die Resultate der Experimentes sind folgend.

- (1) Die Mikrostruktur des tatsächlichen Schweißmetalls kann mit der Mitte der Prüflings (4.5 mm ϕ $\times$ 70 mm) zu schmelzen durch die Hochfrequenzinduktionhitzen wiederproduziert werden, und die Umwandlung auf der Abkühlungen kann mit der Hitzanalysen gemessen werden. Das TZU-Schaubild für kontinuierliche Abkühlung des künstlichen wiederproduzierten Schweißmetalls kann mit der Methoden gezeichnet werden.
- (2) Und wir konnte tatsächlich beweisen, daß die Mikrostruktur und Härte des künstlichen wiederproduzierten Schweißmetalls haben die des tatsächlichen Schweißmetalls übereinstimmen.

1. はしがき

最近溶接構造用鋼材として強さ 60~90 kg/mm² の高張力鋼が広範囲に使用されようとしているが、溶接施工にあたっては溶接熱影響部に関する硬化、じん性の低下、およびワレが問題となり、これらの問題に対しては、鋼材の溶接用連続冷却変態図、溶接熱サイクル再現試験、ワレ試験などの資料にもとづいて溶接入熱をコントロールすることが必要である。溶接熱影響部を対象とした鋼材の溶接用連続冷却変態図の作成については、関

口、稲垣による広範な研究があり、その方法が軟鋼および高張力鋼に應用されている。溶接金属についても母材と同程度以上の強さとじん性を持たなければならないので、高張力鋼の溶接金属では溶接金属自体を対象とした溶接入熱のコントロール、溶接金属の調質処理を考えなければならないが、これの基礎資料となるのは溶接金属の連続冷却変態図（以下 CCT 図と云う）である。この溶接金属の連続冷却変態図の作成にあたって問題となる点は、鋼材を対象とした場合とことなり、実際の溶接金属に見られる柱状晶を再現しなければならないことである。筆者らは、溶接金属の柱状晶を丸棒試験片に再現させ¹⁾、溶接金属の凝固、冷却過程の変態と冷却後の組織を再現し、再現溶接金属連続冷却変態図（以下 SW-CCT 図という）を作成した。

本報告では再現溶接金属の CCT 図の作成方法と、そ

* 原稿受付 昭和38年8月28日（昭和37年度溶接学会春秋全国大会にて発表）

** 正員 東京大学工学部 Member, Tokyo University

*** 正員 金属材料技術研究所 Member, National Research Institute for Metals

**** 正員 新三菱重工KK神戸造船所 Member, Kobe Shipyard and Engine Works, Mitsubishi Heavy Industries Re-organized Ltd.

れにもとづき, 軟鋼および $50 \sim 60 \text{ kg/mm}^2$ 高張力鋼を対象とした Si-Mn 系 CO_2 アーク溶接金属, 低温用鋼材を対象とした Ni 系 CO_2 アーク溶接金属, $70 \sim 80 \text{ kg/mm}^2$ 調質高張力鋼と HY 80 鋼を対象とした Ni-Cr-Mo 系 CO_2 アーク溶接金属について再現溶接金属の連続冷却変態図 (CCT 図) を作成した結果を報告する。

2. 再現溶接金属連続冷却変態図 (SW-CCT 図) の作成方法

実際の溶融溶接における溶接金属の成形過程を簡単に述べると, 溶接金属部は溶融温度以上の高温に急熱され, その高温にほとんど保持されることなく急冷される。凝固過程においては溶接金属と母材との境界部 (ポンド) より凝固が始まり, ほぼ熱流と反対方向に凝固が進行する。鋳造組織には柱状晶と粒状晶があるが, 溶接金属の場合, 凝固過程における温度勾配がきわめて大きいので, ポンドにはほぼ直角に大きな柱状晶が発達し中央部では, 柱状晶がやや上向きになり溶接金属の表面近くで若干の粒状晶が観察されるのが普通である。凝固後における冷却過程においてはデルタフェライト, オーステナイトに変態し, さらに温度が低下すると, オーステナイトから, 冷却速度に応じて, フェライト, パーライト, 中間段階組織, マルテンサイトのうちのいずれかの組織へと変態する。

一般の溶接金属に見られる初析フェライトの方向性は柱状晶に起因するものであり, 溶接金属を丸棒試験片に再現するにはまず柱状晶を再現しなければならないが, そのためには, 前述のごとく, 試片を溶融状態から凝固させ, その凝固過程において大きな温度勾配を与えてやらなければならない。オーステナイトからフェライト, パーライト, 中間段階組織, マルテンサイト組織への変態温度の測定には試片を溶融する関係から, 膨張により測定することが実験上きわめて困難であり, 試片の冷却曲線より温度-冷却速度曲線を描いて決定するいわゆる熱分析法がもっとも便利な方法であると考えられる。これらの諸点を考慮して溶接金属を再現させるための試片の溶融および冷却要領を Fig. 1 に, 試片の寸法形状を Fig. 2 に示す。試片の溶融方法は, 高周波誘導加熱法により行なう。加熱コイルは 1 ターンまたは 2 ターンコイルを使用し, 試片の中央長さ約 $5 \sim 15 \text{ mm}$ の部分を約 10 sec 以内に溶融することができる。使用した高周波加熱装置の出内は 15 KW , 発振周波数は 70 KC である。溶融した金属は, 外側の石英管によって保護される。この石英管の内径は $4.6 \sim 4.7 \text{ mm}$ が適当であり, これよりも内径が小さいと加熱中の試片によりワレることがある。Photo. 1 に試片をセットした状態を示す。試片は

Fig. 1 Melting and cooling method of the specimen

Fig. 2 Details of the specimen

Photo. 1 Melting apparatus of the specimen

Fig. 2 のように直径 4.5 mm 長さ 70 mm で両側にネジ部を設け片側から 2.5 mm の穴を中央部まであけてある。この穴に温度測定のため Pt-PtRh (13%) 0.2 mm の熱電対をそう入した。この際 Fig. 1 に示すごとく溶融した金属から熱電対を保護する石英管は, 試片の中心にあけられた穴との間に, できるだけ空気が入らぬように注意した。熱電対は溶接点を通して, ペン書き X-Y 記録計に接続され, 温度-時間曲線を自記させた。この

Photo. 2 X-Y recorder

ペン書き X-Y 記録計は、縦軸に温度 0~1500°C, 横軸が時間で横軸全長 250 mm を 4 sec~30 min の広範囲に送り速度が変えられるようになっている。このペン書き X-Y 記録計の外観写真を Photo. 2 に示す。

このようにして試片の中央部を高周波誘導加熱方法で短時間内に溶融し、両端部に熱が流れるようにして溶融部が凝固する時に大きな温度勾配を与えることができる。そのときの溶融金属の凝固過程は、溶融部の両端から凝固が始まり、中央部に向かって凝固が進み柱状晶が形成されるのである。

この方法による再現溶接金属の顕微鏡組織と実際の CO₂ アーク溶接による溶接金属の顕微鏡組織とを Photo. 3 に示す。この再現溶接金属は実際の CO₂ アーク溶接金属より Fig. 2 に示した試片を採取し、溶接金属を再現したものであり、両者はきわめて一致していることがわかり、このような方法により、溶接金属の柱状晶が再現できるのである。

Photo. 4 に CO₂ アーク溶接の再現溶接金属の溶接端部から、中央部に向かって進む柱状晶の連続顕微鏡組織を示す。中央部付近においては、両端から凝固が進んできて、最終に凝固する位置であり、この部分は同時に凝固すると考えられ、方向性ある組織がなくなり等方状の結晶となっている。

試片の中央部を溶融することにより、実際の溶接金属の組織を再現することができるが、凝固における冷却の状況は図に示す冷却ノズルより石英管外側から N₂ ガスを吹きつけて強制冷却を行ない、試片の溶融部の冷却を

(a) Synthetic weld metal

(b) CO₂ arc weld metal

Photo. 3 Microstructure of synthetic weld metal and actual CO₂ arc weld metal (C 0.09, Si 0.45, Mn 0.87)
 $\times 100 \left(\frac{53}{100} \right)$

調整することができる。本実験における試片の冷却方法は、熱伝達と強制冷却を混合したものであり、実際の溶接の場合の溶接金属の冷却は、ほとんど熱伝達による冷却と考えられるので、CO₂ アーク溶接の場合に例をとり、本実験における試片の冷却曲線と比較する。

↑ Bond ← Melting part (1) Bond part

(2) Center part ↑ Center

Photo. 4 Continuous microstructure of synthetic weld metal ($\times 100$) $\times \frac{50}{100}$

CO₂ アーク溶接の熱サイクル測定は、アルメルクロメル熱電対を使用し、電磁オシログラフにより行なった。測定位置については板の裏面より熱電対をそう入し、溶接金属中の熱サイクルの測定は不可能であるから、中央直下のボンド部の熱サイクルを測定した。測定したときの溶接条件は、鋼線 2.0 mm ϕ 使用のときの実用上の適正溶接条件と思われる溶接電流 (D.C) 500~700 A, アーク電圧 40~42 V, 溶接速度 30~60 cm/min の範囲の 5 種類の溶接入熱で、板厚 30 mm にビードをおいたときのものである。Fig. 3 に測定した熱サイクルを示す。Fig. 4 に本実験における溶融金属部の熱サイクルを示す。図中の線 1~3 は N₂ による強制冷却を行なわない場合であり、その場合の冷却曲線の相違は、溶融部の長さをかえて調整したものである。曲線 4, 5 は N₂ により強制冷却したもので、曲線の下に示す数値は N₂ の圧

力 (kg/cm²) である。曲線 6 は水冷したものである。

鉄鋼材料の変態状況におよぼす要因としては、オーステナイト結晶粒度、A₃ 変態点からの冷却状況などである。Fig. 3 と Fig. 4 とを比較すると 1500°C から約 800°C までの冷却時間は短時間でほとんど無視してもよく、A₃ 変態点からの冷却状況が連続冷却変態の本質からいって大きな要素であるから 800°C を 0 秒としたときの両者の冷却曲線を描くと Fig. 5 および Fig. 6 のようになる。Fig. 5 は時間を等目盛にとったものであり、Fig. 6 は対数目盛にとったものである。Fig. 5 および Fig. 6 において、実際の溶接金属の冷却曲線と、本実験の再現溶接金属の冷却曲線とを比較すると、再現溶接金属は強制冷却を伴うので、約 500°C 以下における冷却がはやいが、800°C~500°C まではほぼ類似の冷却曲線を示す。連続冷却変態では 800°C から 500°C

ま

Fig. 3 Cooling curves of CO₂ arc weld metals deposited on steel plates; thickness 30 mm

Fig. 4 Cooling curves of synthetic weld metals

Fig. 5 Cooling curves from 800°C of actual weld metals and synthetic weld metals

Fig. 6 Cooling curves from 800°C of actual weld metals and synthetic weld metal

での冷却時間がオーステナイトからの変態状況に大きな影響をおよぼすので、本実験の再現溶接金属は実際の溶接金属のときとはほとんど同じ変態を示すと考えられる。

再現溶接金属の 800°C から 500°C までの冷却時間の調整範囲は、Fig. 21 に示す試片を用いた場合、Fig. 5 および Fig. 6 からわかるように約 3~50 sec である。被覆アーク溶接で板厚 20 mm に標準溶接条件 (170 A-24 V-15 cm/min) でビードをおいたときの 800°C から 500°C までの冷却時間が約 6 sec であり、CO₂ アーク溶接では、板厚 30 mm、溶接入熱 19800 Joule/cm~46800 Joule/cm の範囲では約 15~40 sec であり、本実験の再現溶接金属の冷却時間範囲にはいる。サブマージドアーク溶接の場合も著しく溶接入熱が大きい場合を除いてこの範囲に入ると考えられる。

以上 SW-CCT 図の作成のための実験方法についてのべたが、これは、被覆アーク溶接、CO₂ アーク溶接などの熔融溶接の溶接金属にも適用できる。

3. 供試溶接金属の SW-CCT 図

鋼板上に CO₂ アーク溶接法によって Table 1 に示す化学成分の溶接金属を溶着し、Fig. 2 に示した丸棒の試験片を採取し実験に供した。

Table 1 Chemical compositions of weld metals

Remarks	type	C	Si	Mn	Ni	Cr	Mo
A	Si-Mn	0.09	0.45	0.87	—	—	—
B	Ni	0.09	0.31	0.95	1.72	—	—
C	Ni-Cr-Mo	0.09	0.32	0.92	2.09	0.85	0.35

3.1 Si-Mn 系溶接金属“A”の SW-CCT 図

試片を 2 でのべたような要領で高周波誘導加熱方法により、試片の中央部を熔融 (約 1600°C) し、種々の冷却方法で凝固冷却させた。その連続冷却曲線をペン書き X-Y に記録させ、それより温度-冷却速度曲線から冷却中における変態温度を測定した。

変態温度の測定の一例をのべる。試料 2 (放冷) の凝固冷却の温度時間曲線を Fig. 7 に示す。その曲線より温度冷却速度曲線を求め、試料の顕微鏡組織よりフェライト、パーライトおよび少量の中間段階組織から構成さ

Fig. 7 Cooling curve of the specimen no. 2

れているので, 各々の組織の変態温度を温度-冷却曲線より求めると, オーステナイトからフェライトへの変態開始温度は, 725°C . 同じく中間段階組織への変態開始温度は, 565°C である. これらの変態開始温度を, 温度-冷却速度曲線上に示すと Fig. 8 のようになる.

Fig. 8 Relation between temperature and cooling rate of the specimen no. 2

このようにして, 種々の冷却方法で冷却させた試片の温度-時間曲線より温度-冷却速度曲線を求め, これから切り出した試片につき顕微鏡組織を調べフェライト, パーライト, 中間段階組織, およびマルテンサイト組織への変態開始温度を求めた. 各試片について, Y軸に等目盛で冷却途中の温度 ($^{\circ}\text{C}$) をとり, X軸に冷却途中における, 800°C を0秒として対数目盛で時間 (sec) をとって冷却曲線をえがき, その曲線上に各組織の変態温度をプロットして CCT 図を作ると Fig. 9 のようになる. なお CCT 図については, 変態の本質から A_3 変態点を 0 sec として描くのが通常であるが溶接諸条件との関係を求め, 溶接金属の組織, カタサ, 変態領域を推定するために, 本報告では, 便宜上 800°C を 0 sec として CCT 図を作成した.

Fig. 9 SW-CCT diagram of weld metal "A" (Si-Mn type)

Fig. 9中の冷却曲線1~3は放冷, 放冷曲線4~6はNガスによる強制冷却, 冷却曲線7は水冷の場合であり, 各冷却曲線の下に示す数値は, ビッカースカタサ (荷重 10 kg) の測定値である. 破線で示した冷却曲線 1'~3' は冷却が著しくはよい場合であり, 試片の中央部を溶融し, 溶接金属を再現して行なうことができないので, 補足的に小試片 ($6\text{ mm}\phi \times 1.5\text{ mm}$) を使い, 最高加熱温度 1350°C からの冷却により熱分析法で変態点を測定したものである. Fig. 9 中の A は, 再現溶接金属がオーステナイト組織である領域, F はオーステナイトからフェライトが生じる変態領域, P は同じくパーライトが生じる領域, Zw は同じく中間段階組織が生じる変態領域を示す. この図よりパーライトが生じる臨界冷却曲線は試料6の冷却曲線に一致し, その時の 800°C から 500°C までの臨界冷却時間 C_p' は 6 sec であり, それに相当するビッカースカタサ (荷重 10 kg) は HV 257 である.

Fig. 10 に再現溶接金属の 800°C から 500°C までの冷却時間とビッカースカタサとの関係を示す. Photo. 5

Fig. 10 Relation between hardness and cooling time from 800°C to 500°C of weld metal "A" (Si-Mn type)

Photo. 5 Microstructure of synthetic weld metal "A" (Si-Mn type)

の横に組織の構成, 800°C から 500°C までの冷却時間 S , ビッカースカタサを示した。各試料の低倍率 ($\times 100$) の顕微鏡組織から実際の溶接金属に見られる方向性ある組織が観察され, 溶接金属を再現していることがわかる。高倍率 ($\times 500$) の顕微鏡組織から, 冷却が遅い試料 2 では著しく発達したフェライト, パーライトと極く少量の中間段階組織からなる。冷却がはやくなるにしたがって, フェライトの結晶粒が小さくなり, 試料 4 では中間段階組織がはっきりと観察され, また極く少量のマルテンサイト組織も存在する。さらに冷却がはやくなり試料 5 になるとマルテンサイト組織がやや多くなり, 試料 6 になると中間段階組織とマルテンサイト組織が多く, パーライトが存在しなくなる。

つぎに実際の Si-Mn 系 CO_2 ガスシールドアーク溶接の溶接金属と再現溶接金属とを比較するために, 再現溶接金属の試片を採取したときと同様に, キルド鋼 (板厚

20 mm, 幅 150 mm, 長さ 250 mm) 上の中央に, 溶接電流, (D.C) 600 A, アーク電圧 42 V, 溶接速度 20, 40, 60, 80, 100 cm/min でビードをおき, 中央部よりビードに直角方向にカタサ測定を試片を採取し, 溶接金属部について, 6~8 点のビッカースカタサ (荷重 10 kg) を測定した。なお各溶接条件で, アルメルクロメル熱電対を使い, 電磁オシログラフにより熱サイクルを測定し, 800°C から 500°C までの冷却時間を実測した。これらの結果をまとめたものを Table 2 に示す。この結果を Fig. 10 の再現溶接金属の 800°C から 500°C までの冷却時間とビッカースカタサ (荷重 10 kg) との関係と比較すると, Fig. 11 のようになる。この図よりわかるよ

Fig. 11 Comparison of synthetic reproduced weld metal and actual weld metal

うに, 実際の溶接金属と再現溶接金属は, きわめてよく一致した傾向を示した。このことは, 本実験のような方法で溶接金属を再現し, SW-CCT 図を作成することにより, 実際の溶接金属の冷却中における変態と, 冷却後における組織およびカタサなどの諸性を推定できることを立証するものである。

3.2 Ni 系溶接金属 "B" の SW-CCT 図

同様な方法で溶接金属 B (Ni 系, 化学成分は Table 1 参照) の SW-CCT 図を作成すると Fig. 12 のようになる。図中にパーライトが生じる臨界冷却曲線を破線で示した。この曲線からパーライトが生じはじめるときの 800°C から 500°C までの臨界冷却時間 C' を求めると 19 sec になる。Fig. 13 に 800°C から 500°C までの冷

Table 2 Welding conditions and hardness of actual CO_2 arc weld metal

No	Plate thickness (mm)	Welding current (Amp)	Arc voltage (Volt)	Welding speed (cm/min)	Cooling time from 800°C to 500°C (sec)	Hv (10 kg)
1	20	600	40	25	71	160
2	20	600	42	40	32	192
3	20	600	42	60	16	211
4	20	600	42	80	98	216
5	20	600	42	100	67	226

Fig. 12 SW-CCT diagram of weld metal "B" (Ni-type)

Fig. 13 Relation between hardness and cooling time from 800°C to 500°C of weld metal "B" (Ni type)

却時間とビッカースカタサ (荷重 10 kg) との関係を示す。この図より C_p' に相当するビッカースカタサは, Hv 256 である。Photo. 6 に Ni 系 CO_2 シールドアーク溶接の再現溶接金属の代表的な顕微鏡組織を示す。低倍率 ($\times 100$) の顕微鏡組織では, 実際の溶接金属と同様な方向性ある組織が再現されていることがわかる。高倍率 ($\times 500$) の顕微鏡組織については, 試料 1 ではフェライト, パーライトおよび中間段階組織であるが, 冷却がはやくなり試料 2 では, マルテンサイト組織が観察される。さらに冷却がはやくなり試料 5 になるとフェライトが著しく減少し, パーライトがなくなり, 中間段階組織とマルテンサイト組織が大部分をしめるようになる。

Photo. 6 Microstructure of synthetic weld metal "B" (Ni type)

Fig. 14 SW-CCT Diagram of synthetic peprduced weld metal "C" (Ni-Cr-Mo)

3.3 Ni-Cr-Mo 系溶接金属 "C" の SW-CCT 図
同じく溶接金属 C (Ni-Cr-Mo 系, 化学成分は Table

Fig. 15 Relation between hardness and cooling time from 800°C to 500°C of synthetic weld metal "C" (Ni-Cr-Mo type)

Photo. 7 Microstructure of synthetic weld metal "C" (Ni-Cr-Mo type)

1 参照) の SW-CCT 図を作成すると Fig. 14 のようになる。図中にフェライト (+炭化物K) が生じる臨界冷却曲線Kを破線で示した。これによりフェライト (+炭化物K) が生じるための 800°C から 500°C までの臨界冷却時間 C_f' は 10.5 sec である。Fig. 15 に 800°C から 500°C までの冷却時間とビッカースカタサ (荷重 10 kg) との関係を示す。この図より C_f' に相当するビッカースカタサは Hv 396 である。Photo. 7 に、Ni-Cr-Mo 系 CO₂ ガスシールドアーク溶接の再現溶接金属の顕微鏡組織を示す。低倍率 (×100) の顕微鏡組織によ

ば、結晶の方向性が再現されていることがわかる。高倍率 (×500) の顕微鏡組織によると、試料 1 ではパーライトは全くなり、フェライト (+炭化物K)、中間段階組織とマルテンサイト組織よりなるが、冷却がはやくなり試料 3 になるとフェライトがきわめて少なくなり、ほとんど中間段階組織とマルテンサイト組織よりなる。さらに冷却が早い試料 5, 6 では、中間段階組織が著しく減少し、大部分マルテンサイト組織よりなりビッカースカタサは Hv 400 以上になる。

4. 三種類の SW-CCT 図の比較

溶接金属 A. B. C. の SW-CCT 図を合せて描くと Fig. 16 のようになる。図中の冷却曲線 ①, ② は Fig. 6

Fig. 16 Comparison of Si-Mn, Ni, Ni-Cr-Mo type SW-CCT diagrams

Fig. 17 Relation between hardness and cooling time from 800°C to 500°C of Si-Mn, Ni, Ni-Cr-Mo type synthetic weld metals

に示した実際の溶接の場合の冷却曲線であり, ④は溶接入熱 19800 Joule/cm, ⑤は同じく, 46800 Joule/cm の場合である. Fig. 17 に Fig. 10, 13 および 15 に示した再現溶接金属 800°C から 500°C までの冷却時間とビッカースカタサ (荷重 10 kg) との関係を示した. Fig. 16 によると溶接金属に合金元素の添加量が増加すると変態領域が右に移動し, フェライトと中間段階組織が出始める温度が低下する. この傾向は溶接金属中に Cr, Mo が添加されると著しくなることがわかる. Fig. 17 によれば, 溶接金属中の合金元素と溶接金属の硬化性の傾向がわかる. Cr, Mo は溶接金属を著しく硬化させる.

5. む す び

調質高張力鋼および高切欠きジン性鋼の溶接では, 溶接熱影響部のみならず, 溶接金属自体を対象とした溶接入熱のコントロールや調質処理の必要性がさげばれているが, 本研究では, その基礎資料となるべき溶接金属の連続冷却変態図 (SW-CCT 図) の作成方法を確立し, Si-Mn 系, Ni 系, および Ni-Cr-Mo 系の CO₂ アーク溶接金属の SW-CCT 図を作成した. その結果を要約するとつぎのごとくである.

- (1) 実際の溶接金属にみられる柱状晶を再現するために 4.5 mm ϕ ×70 mm の試片の中央部を長さ約 5~15 mm の領域を高周波誘導加熱方法により溶融し (最高加熱温度約 1600°C), 凝固時に大きな

温度勾配を与えることによって, 完全に溶接金属の組織を再現することができた.

- (2) この方法で, 溶接金属を再現し, 冷却時における変態を熱分析方法によって測定し, 再現溶接金属のいわゆる SW-CCT 図を作成することができた.
- (3) 本研究で確立した方法で, Si-Mn 系, Ni 系および Ni-Cr-Mo 系の CO₂ アーク溶接金属の SW-CCT 図を作成した. そして Si-Mn 系溶接金属について, 実際の溶接金属と再現溶接金属との 800°C から 500°C までの冷却時間とカタサを比較した結果, きわめてよく一致した傾向を示し, はば完全に, 溶接金属の変態を再現したことが確認できた.
- (4) 溶接金属についても, 鋼材の場合と同様に, 合金元素が添加されると変態領域が長時間, 低温度側に移動し, 硬化することがわかった.

終りにのぞみ, 本研究にいろいろ御支援いただいた金属材料技術研究所, 宇田技官, 中村技官および実験に御協力いただいた大野悟君に深く感謝する.

参 考 文 献

- 1) H.W. Mishler, R.E. Monrue and P.J. Rieppel. "Studies of Hot Cracking in High-Strength Weld Metals." W.J., Vol. 40 (1961) No. 11s