

339 傾斜組成超硬材の溶接技法と溶接残留応力の数値解析

北海道大学 ○落合 宏 凸版印刷(株) 本間 象二
北海道大学 鶴飼 隆好、 但野 茂、 高田 寿明

1. はじめに

炭化タングステン(WC)をはじめ高融点金属の炭化物を比較的靱性のあるCo, Niなどで結合したものを一般に超合金と称し、耐摩耗性、耐食性、耐熱性などに優れているため切削工具を中心に熱間加工金型や機械部品などの機械加工の分野で多く利用されている。しかし、超合金はそれ自体高価であり難加工材料であるため、通常小型の焼結体を作って鋼母材に、あるいは同じ超合金に接合して使用する。接合方法として、一番多く用いられるろう付けは簡単であるが、接合部の強度や使用温度限界などに問題を残しており信頼性が小さい。そこで高強度でしかも低価格の溶接継手を適用することが要求されるようになってきている。しかし、超合金の特性である耐摩耗性を重視するためには、結合相成分のCoやNiなどはできるだけ少なくする必要がある反面、Co含有量が少ない超合金の溶接では超合金母材に割れが発生するように、耐摩耗性と溶接性とは相反する関係にある。その問題点を解決する方法として、耐摩耗性に優れた層と溶接可能層とを併せ持つ傾斜組成超合金の開発がある。溶接可能な超合金層構成の最適化を図るためには、超合金について硬質相であるWCと結合相であるCoの成分比が及ぼす溶接性への影響について調べることが必要となり、その中でも溶接部の残留応力を把握することは最も重要な課題である。

本研究は、Co含有量が10%, 20%, 30%, 40%または傾斜組成のWC-Co系超合金と鋼(S45C)の突合せTIG溶接過程をモデル化し、汎用有限要素解析パッケージ「ANSYS」を用いて温度分布と応力分布の変化過程をコンピュータ上で再現して最適溶接条件を検討した。なお確認のためWC-Co系超合金のWC (Co含有量20%, 30%, 40%)と鋼(S45C)の表面の溶接残留応力をX線により測定した。

2. 解析方法

図1に示す試験片を直径30mmの円盤状の材料から製作し、溶接を行なう。この解析には図1の形状をしたモデル1(図省略)と傾斜材解析用モデル2(図2)を用いた。温度分布の計算には、最初1秒間瞬間入熱し、その後室温まで空气中で冷却するものと仮定した。ここで得た温度分布をそれぞれのモデルに対して節点等価荷重として入力する熱弾塑性構造解析を行った。まず最初に単層の超合金と鋼を溶接する

場合の解析からそれぞれの材料定数の最終残留応力に与える影響を調べた。次に、傾斜組成の超合金を多層のCo含有量が異なる超合金層に置き換え、鋼と溶接する場合の残留応力計算から、各層の寸法の最適な組合せを求めた。

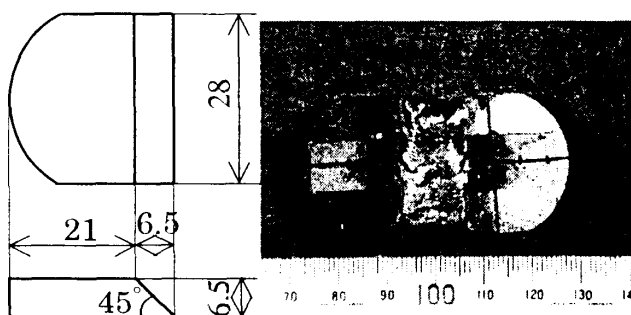


Fig.1 test piece

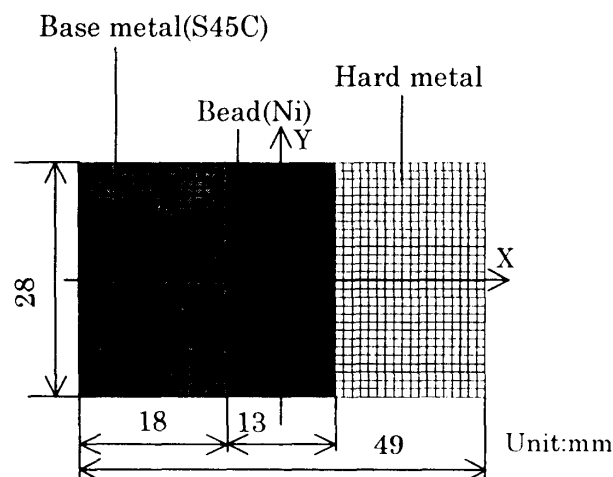


Fig.2 model 2

3. 解析結果

モデル1の解析結果としてCo含有量30%超合金と鋼の温度分布を図3に示す。解析は10%から40%Coまでの温度分布を求めているが、その間にほとんど差は見られなかった。これらの結果から今後240秒後の応力分布を最終残留応力と見なす。次に熱弾塑性解析で得られた残留応力分布の1例を図4に示す。上からWC-10%Coと鋼の溶接の場合、中央に30%Coの場合である。X軸上(Y=0)の溶接線直角方向 σ_x および溶接線方向 σ_y そして端部(Y=14)の σ_x を比較している。それぞれ溶接熱影響部の近くのWC内に大きな圧縮応力(X軸上 σ_y)と引張応力(端部 σ_x)が生じている。この最大値はCo含有量が大いほど減少している。熱弾塑性解析のとき用いるパラ

メータの中で、縦弾性率および線膨張係数をCo含有量の関数としたが、特に線膨張係数の影響が大となることから、種々のパラメータを組合せたシミュレーションから明らかとなった。

次にモデル2を用いた解析として Co含有量が10%、20%、30%と変わる3層の傾斜組成超硬合金と鋼の溶接残留応力を求めた。単層の解析と同様に、溶接ビードに近い超硬合金の境界において、X軸上には大きな圧縮応力 σ_y が発生し、端部の σ_x に引張応力が発生している。しかし、これらの残留応力は3層の傾斜組成とすることにより溶接ビードとの境界に発生する残留応力はCo含有量が変化する境界に分散され、緩和されていることがわかる。

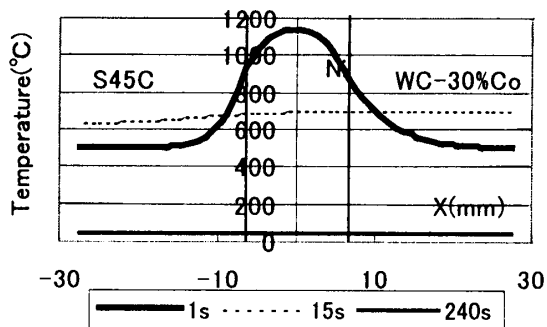


Fig.3 Temperature distribution

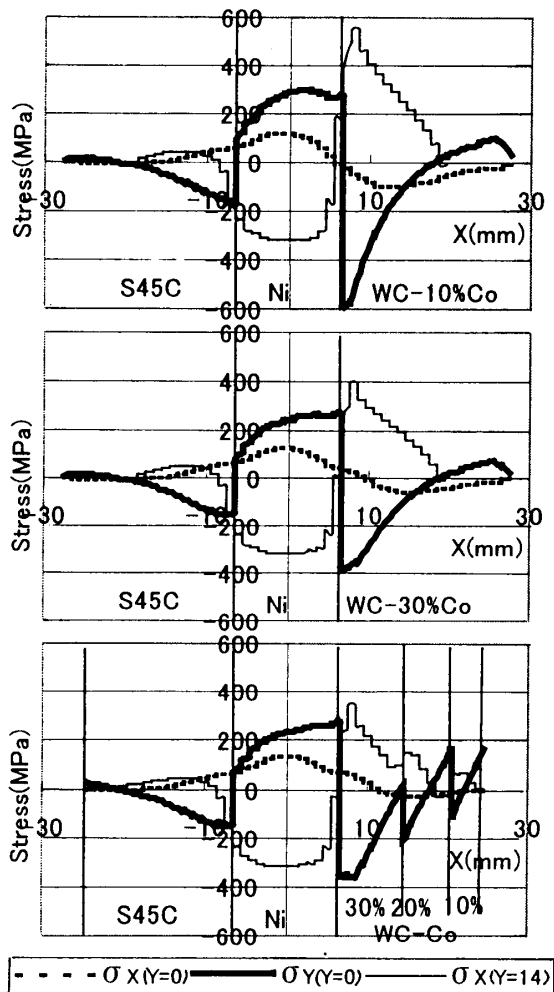


Fig.4 Residual stress distribution

4. 測定方法

溶加棒Niを用いてWC-20%CoとS45C、WC-30%CoとS45C、WC-40%CoとS45C、S45CとS45Cの4組をそれぞれTIG溶接した試料を作製し、X線により表面6点ずつ残留応力を測定した。X線による応力測定条件を表1に示す。X線応力測定は、 ψ_0 一定の並傾法で行い、回折角の決定には半価幅法を用い、溶接残留応力は溶接後の応力から溶接前の応力を差し引いた値とする。

5. 測定結果

Co含有量30%超硬合金と鋼を溶接した試料の残留応力測定値を解析結果と重ねて図5に示す。その結果今回の解析が妥当であることがわかる。

Table1 X-ray stress measurement condition

Sample	WC and S45C
X-ray	Co-K α
Voltage, Current	30kV, 8mA
Irradiation area	4×7 mm ²
Scanning speed	1° /min
Diffraction plane	(211) (310)
2 θ_0	165.8° 161.4°
ψ_0	0, 15, 30, 45°

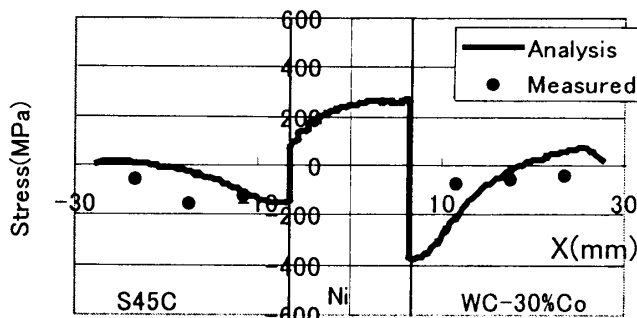


Fig.5 Residual stress(σ_y) distribution

6. 結論

超硬合金と鋼のTIG溶接過程をモデル化し有限要素法により解析を行い、その応力の発生過程を計算機上で再現した。また、X線による残留応力測定も行い解析の妥当性も示した。よって、硬質相WCと結合相Coの成分比が及ぼす溶接性への影響を以下のようにまとめることができる。

1. 単層の超硬合金と鋼の溶接ではCo含有量が多いほど溶接残留応力を緩和する働きがある。
2. 超硬合金をCo含有量の変化する傾斜組成材料にすることができると、溶接ビードとの境界の溶接残留応力が分散され、溶接の可能な超硬合金として実用性があると考えられる。

参考文献

- 1) 鈴木 壽, 超硬合金と焼結硬質材料, 丸善(1986)