

鋼とのティグ溶接に及ぼす超硬合金中 Co 量の影響

鴨田 秀一, 宮腰 康樹, 高橋 英徳

The Effect of Co Content in Hard Metal on TIG Welding with Steels

Shuichi KAMOTA, Yasuki MIYAKOSHI, Hidenori TAKAHASHI

抄 録

耐摩耗性に優れ,かつ,異種材料との溶接が容易な超硬合金を得る一つの方法として,超硬合金中の結合相成分である Co,あるいは Ni を段階的に傾斜させて複層化(複合化)し,硬質層と溶接層を併せ持った合金とすることが考えられる。本研究では,複層化における溶接層の最適組成を把握することを目的に,Co 量を10~40mass% まで4段階に変えた WC-Co 系超硬合金とステンレス鋼,炭素鋼とを Ni-Fe 合金ワイヤを溶加材としてティグ溶接し,溶接性に及ぼす Co 量の影響を検討した。

その結果,Co 量が10mass% の超硬合金では割れが生じ,20mass% 以下では溶け込みが少なく溶接性に劣った。曲げ強さは Co 量が多いほど高くなる傾向を示し,超硬合金/炭素鋼では,30mass% を越えれば一定となり,S45C 同士の溶接部と同程度の値を示した。超硬合金側境界部にはいずれも γ 相が生成し,低 Co の超硬合金ほど幅広く,密となった。Co が20mass% 以下の強度は γ 相の現出状態に大きく影響され,ここが曲げ破断の起点となり,低下要因となることが明らかとなった。超硬合金を複層化する場合,溶接層としては30mass% 以上の Co 量が必要であり,さらに高い溶接強度を求める場合には40mass% の Co 量を要すると結論付けられた。

キーワード: 超硬合金,コバルト,複層化,ティグ溶接,鋼, γ 相

1. はじめに

超硬合金は耐摩耗性に優れ,しかも,セラミックスなどに比べるとじん性が高いことから,切削用チップ,ドリル,ローラ,刃物など多くの産業分野で利用されている。本道においても,切削用スローアウェイチップの製造業,半導体加工用刃物や金型用ブロックの製造業,微細ドリルの製造業などがあり,また,超硬合金の精密加工業,加工・ろう付を主とする企業があるなど,本合金に関わる企業が多い。

超硬合金の需要は今後も増加すると考えられるが,原材料であるタングステン(W),コバルト(Co)が高価で,難加工,難溶接材料であるため,容易に溶接ができる合金材料の開発が求められている。すなわち,耐摩耗性を維持し,かつ,汎用材料との溶接が容易な複合超硬合金が開発されれば,接合・複合化における低コスト化と高強度化,適用範囲の拡大などが図られることから,工業的な意義は極めて大きく,本道企業に及ぼす効果も大きいと考える。

複合超硬合金を得る一つの方法として,超硬合金の結合相

成分である Co, Ni 等を段階的に傾斜させて,耐摩耗層と溶接層を併せ持った合金とすることが考えられる。

本研究では,超硬合金を複層化する上での最適溶接層組成を把握することを目的として,Co 量を変えた WC-Co 系超硬合金と鋼とをティグ溶接し,溶接部の性状に及ぼす Co 量の影響を検討した。

2. 供試料および実験方法

WC の粒径を $9\mu\text{m}$, Co の粒径を $1.4\mu\text{m}$ 一定とし,Co 量を10,20,30,40mass% と変えた各 WC-Co の混合粉末を原料とした。ダイス内に充填した混合粉末を冷間で9.8MPa の加圧をし,その後真空中にて所定温度まで加熱して焼結体($\phi 32\times 5\text{mm}$)を作製した。溶接の相手材としてはステンレス鋼(SUS304),炭素鋼(S25C および S45C)の3種類とし,超硬合金と同一形状に加工した。図1に供試料の形状および寸法を示す。溶接はティグ溶接法とし,超硬合金母材の平面にビード溶接する方法と超硬合金/鋼を突合せ溶接する方法の二通

りとした。ビード溶接は、最適溶接条件の検討および溶け込み状態を調べるため、また、突合せ溶接は、ブローホールなど欠陥の有無、溶接部の組織、元素の分布状態、曲げ強さ等の性状を調べることを目的とした。溶加材には、57mass% Ni の Ni-Fe 合金のワイヤ(φ1.2mm)を使用した。表1に母材、溶加材の化学成分を示す。なお、母材および溶加材については、以下、表中の記号で称する。図2に突合せ溶接の方法を示し、表2に溶接条件を示す。V開先(45°)に加工した試料を突合せ、固定治具によって溶接後の冷却時まで拘束した。この場合、溶接トーチの移動は自動で、表2に示した速度とし、溶加材の挿入のみを手動とした。

表2 溶接条件

溶接電流	100 A
パルス電流	60 A
パルス周波数	80 Hz
イナータガス	Ar (0.01m ³ /min)
アークオン時間	10 sec
溶接速度	60 mm/min

3. 結果及び考察

3.1 ビード溶接における亀裂発生と溶け込み状態

図3にビード溶接した10Coの外観を示す。ビードそのものは亀裂などの欠陥もなく、外観上は良好であるが、写真下に示す通り、ビード先端側の母材に亀裂が発生し、それが深くにまで進展している。10Co、ビードの熱膨張率は、それぞれ約 5.7×10^{-6} 、約 12.5×10^{-6} (1/K)であり、超硬合金はビードの約1/2である。このことから、亀裂は10Coとビードとの熱膨張率の差によって発生するもので、さらに、ビードの凝固・収縮に基づく熱応力も付加されていると推測される。

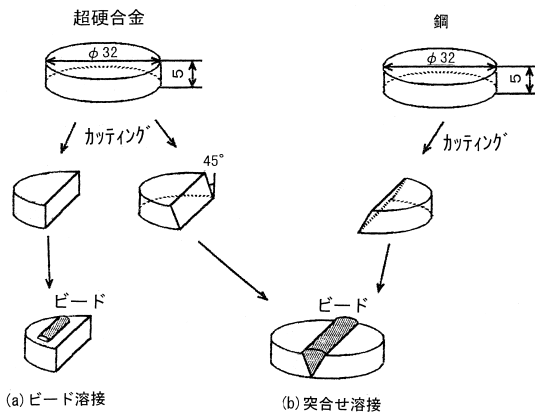


図1 供試料の形状および寸法

表1 母材、溶加材の化学成分

超硬合金				成分 (mass%)		粒径 (μm)		* 成形条件 冷間プレス: 9.8MPa 180s 焼結温度: 1608K~ 1623K 真空, 3.6ks
記号	Co	WC	Co	WC				
10Co	10	90	1.4	9.0				
20Co	20	80	1.4	9.0				
30Co	30	70	1.4	9.0				
40Co	40	60	1.4	9.0				

鋼	成分 (mass%)							
	C	Si	Mn	P	S	Ni	Cr	
SUS304	0.06	0.48	1.82	0.033	0.005	8.65	19.86	
S25C	0.28	0.24	0.68	0.021	0.004	—	—	
S45C	0.48	0.19	0.69	0.022	0.026	—	—	

溶加材								
成分 (mass%)								
C	Si	Mn	P	S	Ni	Fe	Al, Ti etc.	
0.01	0.40	2.79	0.003	0.007	57.02	Bal.	1.0~3.0	

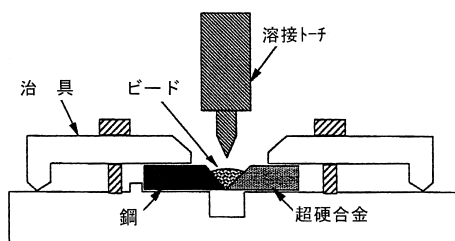


図2 突合せ溶接の方法

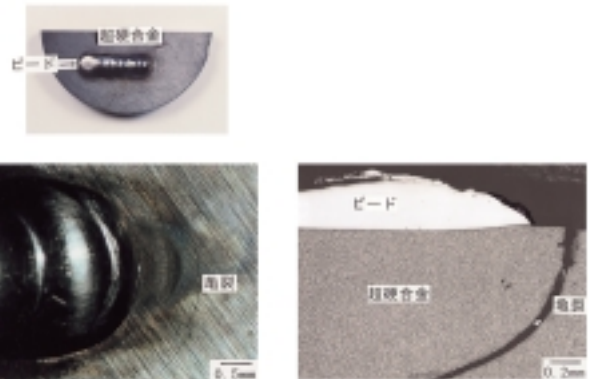


図3 ビード溶接した超硬合金の外観(10Co)

図4に20Coおよび40Coの溶接部断面を示す。本実験範囲では、Co量が20mass%以上の超硬合金においては亀裂は生じなかったが、Co量が少ない場合には、ビードとの境界部がほとんどフラットな状態であり、溶け込みは少なかった。これに対して、40Coでは溶け込みが深く、溶加材と超硬合金成分との融合、攪拌が著しく起きていることがわかる。40Coにおいて、ビードでは超硬合金成分であるW、CおよびCoが、また、超硬合金母材のビード近傍では溶加材成分であるNi、Feが認められた。このように、結合相成分であるCoが多くなるにつれて溶け込みが深くなり、溶接性が向上することが知られた。

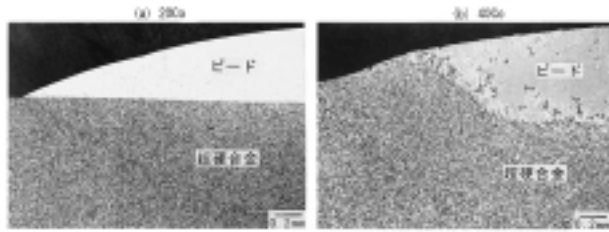


図4 溶接部の断面組織

3.2 突合せ溶接における断面組織

図5に各鋼と40Coを突合せ溶接した場合の断面組織を示す。いずれもビード、あるいは超硬合金において亀裂、ブローホールなどの欠陥はなく、健全な溶接状態である。40Co/炭素鋼では、ビード近傍の鋼母材組織が超硬合金からのC拡散によってパーライト組織を示している。また、40Co/SUS304では、鋼側に炭化クロムの析出層が認められた。ここでは40Coの場合を示したが、20Co、30Coの場合も溶け込み状態に違いはあるものの、良好なビードを呈していた。なお、10Coでの溶接では、相手材の違いにかかわらず、ビード溶接の場合と同様に、超硬合金母材に割れが発生した。

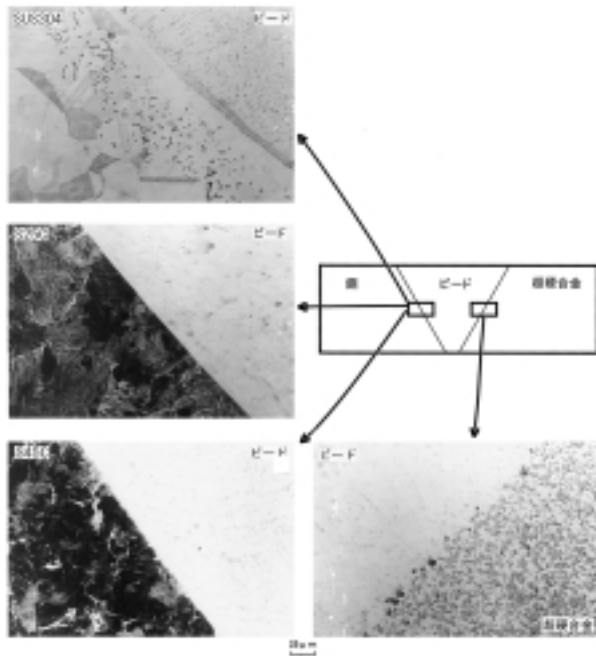


図5 突合せ溶接における断面組織

3.3 溶接部の曲げ強さ

図6に溶接部の曲げ強さとCo量の関係を示す。試験片は溶接試料を切り出した後、ダイヤモンド研磨し、最終的に4×5mmの直方体に仕上げた。試験は表曲げとし、スパン26mmの三点曲げ法で行った。図に示す通り、相手材にかか

わらず、超硬合金中のCo量が増加するにつれて曲げ強さが向上している。炭素鋼との溶接では、Co量が30mass%を越えるとほぼ一定の強さとなる傾向を示している。鋼種では、S45Cとの溶接が最も高く、以下、S25C、SUS304の順であり、鋼母材のC量が多い場合ほど高強度であるといえる。40Coでの曲げ強さは、S45C同士を接合した場合の強度と同等であることから、実用的にも十分な曲げ強さを有した溶接体で

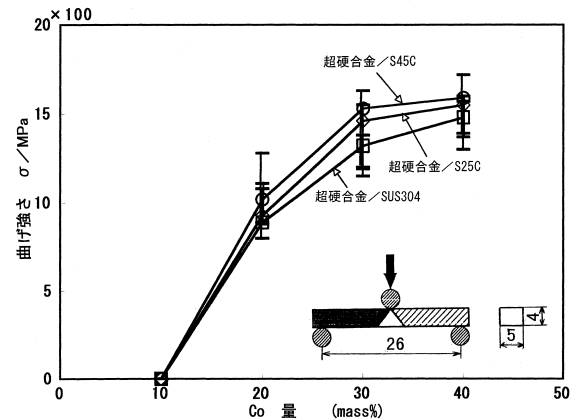


図6 溶接部の曲げ強さとCoの関係

あることが確認された。

図7に各超硬合金/S45Cの曲げ試験後の破断状態を示す。20Coの場合では、ビードと超硬合金との境界部からほぼ直線的に破断している。30Coでは、ビード中央からクラックが発生しており、また、一部に超硬合金との境界部に亀裂が認められる。これらに対して、40Coでは、境界部での亀裂はなく、ビードから破断している。このように、Co量によって、亀裂の発生箇所、破断箇所の違いがあり、Co量が多くなるにつれて境界部破断からビード部破断の形態へ移行していくことがわかる。

図8に20Co/SUS304の場合の破断面をX線回折した結果を示す。超硬合金とビードとの境界部から破断したものであるが、超硬合金側、ビード側の両破面ともに、回折ピークはWCと、それ以外はCo₃W₃CおよびFe₃W₃Cのη相であり、この条件では、η相からの破断であることがわかる。20Co/炭素鋼の破面でも、これと同様にη相のピークが大部分であり、ここが破断箇所となったことが確認された。

図9に超硬合金/SUS304および超硬合金/S45Cにおける超硬合金側境界部の断面組織を示す。腐食液は村上試薬(赤血塩+水酸化カリウム+水)である。境界部に見られる黒色の腐食部分がη相であり、ともに、Co量が少ないものほどη層が厚く密に生成している。また、SUS304の方がS45Cに比べるとη相が多く生成している。なお、S25Cではこれらの中間的な状態であった。すなわち、鋼母材のC量が少ないほど、また、超硬合金中のWC量が多いほど、超硬合

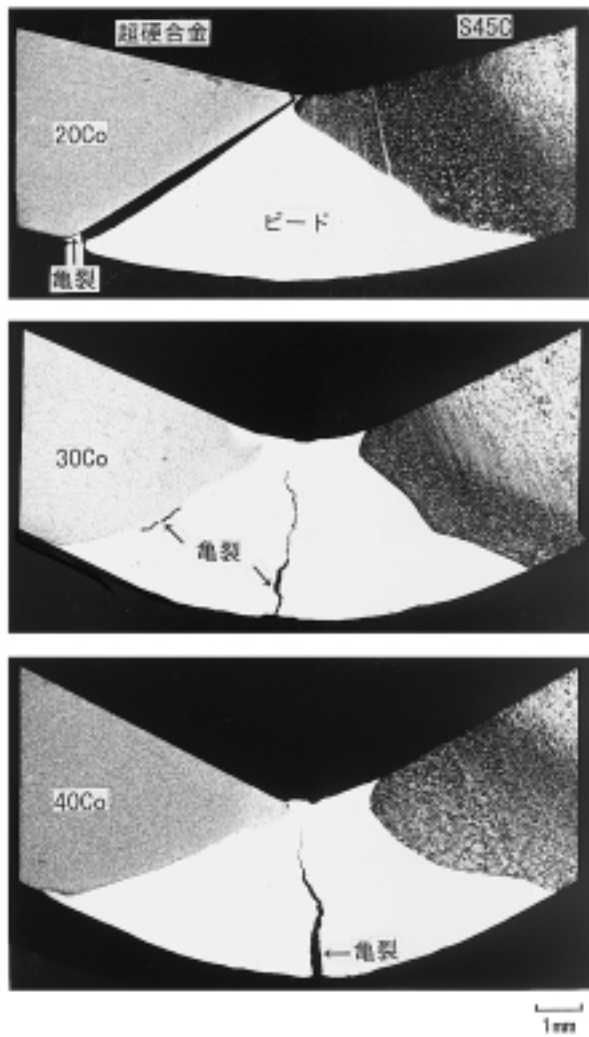


図7 曲げ試験後の破断状態

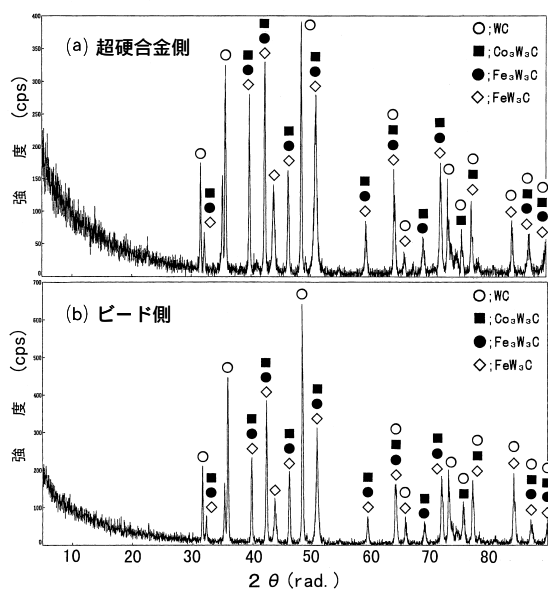


図8 破断面のX線回折結果

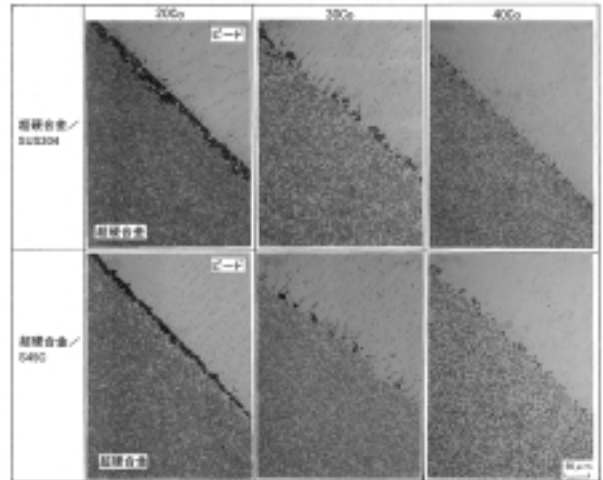


図9 超硬合金側境界部の断面組織

鋼側からのC拡散量が多く、その結果として超硬合金側境界部に γ 相が厚く、密に生成することが知られた。

図10は曲げ試験における亀裂発生状態を模式的に示したものである。本実験による曲げ試験結果から、亀裂の発生形態として大きく三つが考えられる。一つは、ビードおよび母材に塑性変形が起こらない段階で超硬合金とビードとの境界部に亀裂が生じるもので、最も強度の低い場合である。20Coでの溶接部がこの形態に当てはまり、境界部における γ 相の生成が著しく、ここが破断の起点となるため、強度は低い。二つ目は、塑性変形が起こる過程で超硬合金母材近くのビードから亀裂が発生して、その後境界部に進展するものである。この形態には30Coでの溶接部が当てはまる。三つ目は、亀裂は境界部に生じず、ビード内に発生し、進展するもので、この場合は境界部強度が高く、ビードが塑性変形し続けて破断に至るもので、溶接体の破断形態としては最も望ましいものである。この形態には、40Coの溶接部が当てはまる。すなわち、超硬合金／鋼の溶接強度は、溶加材との溶

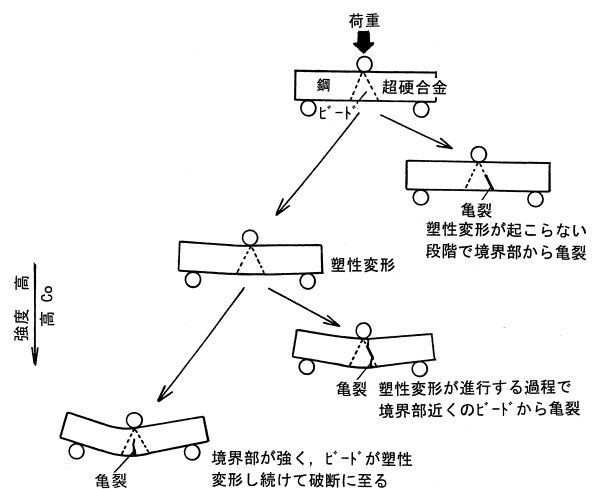


図10 亀裂発生形態の模式図

着性とともに、超合金側境界部での γ 相生成に大きく影響を受け、 γ 相の生成が少ないものほど高強度を示し、高Coになるほどこれらの条件を満足するといえる。

超合金の結合相成分であるCoを傾斜して複層化する場合、溶接層としては30mass%以上のCo量が必要であり、さらに高い溶接強度を求める場合には40mass%のCo量を要すると結論付けられる。

4.まとめ

超合金を複層化する上での最適溶接層組成を把握することを目的に、Co量を10～40mass%まで4段階に変えたWC-Co系超合金とステンレス鋼、炭素鋼とをティグ溶接し、溶接部の性状に及ぼすCo量の影響を検討し、以下の結果が得られた。

- (1) Coが10mass%の超合金ではビード溶接、突合せ溶接ともに割れが生じたが、20mass%以上では割れは発生しなかった。
- (2) 超合金母材への溶け込みはCo量が多くなるほど深くなる傾向を示し、溶接性が向上した。
- (3) 溶接試料の曲げ試験では、Co量が多いものほど曲げ強さが向上し、40mass%Co/S45Cでは、S45C同士の溶接部と同程度の強さを示したことから、実用的にも十分と判断された。
- (4) 超合金側の境界部にはいずれも γ 相が形成され、低Coの超合金ほど幅広く、密となった。
- (5) Coが20mass%以下の超合金における溶接部強度は、 γ 相の現出状態に大きく影響され、ここが曲げ破断の起点となり、強度低下の要因となることが明らかとなった。

超合金を複層化する場合、溶接層としては30mass%以上のCo量が必要であり、さらに高い溶接強度を求める場合には40mass%のCo量を要すると結論付けられる。

謝 辞

本研究を進めるにあたって、試料の作製、研磨などご協力下さった(株)イズミテック 明石保、安藤秀夫の両氏、さらに、実験、データ収集にご協力下さった当時 北海道工業大学学生 増本武広君（現在、(株)日江金属）に心より感謝申し上げます。

引用文献

- 1) 鈴木壽：超合金と焼結硬質材料，丸善(株)，429p (1986)
- 2) 日本金属学会編：金属データブック，431p，(1974)
- 3) 中島義行，江崎宏樹，飛岡正明，時実正治：日本金属学会誌，第51巻3号，228-233p，(1987)
- 4) 林宏爾：熱処理，第32巻6号，309-314p，(1992)

- 5) 貞廣孟史：日本金属学会誌，第45巻3号，291-295p，(1981)
- 6) 篠原耕治，植田文洋，棚瀬照義：粉体および粉末冶金，第40巻1号，29-32p，(1993)

