

学位論文題名

WC-Ni 超硬合金の溶接残留応力に関する研究

学位論文内容の要旨

炭化タングステン(WC)は代表的な超硬合金である。WC 粉末の結合金属としてコバルト Co やニッケル Ni 粉末を添加し焼結すると、硬度とともに強度にも優れた WC 超硬合金が得られる。焼結した超硬合金チップの応用例として最初は切削工具であった。焼結方法の改良とともに、形状も小型ではあるが種々の形状の超硬合金ができるようになり、ダイスやロールなどの耐摩耗工具に応用されるようになった。広い摺動面に採用する場合には、多数の超硬合金チップを摺動面に接合する必要がある。接合には、ろう付けが一般的であるが、強度の面では溶接のほうが当然優れている。しかし、結合金属割合の低い超硬合金チップを鋼の部材に直接溶接すると、溶接割れが生じてしまう。超硬合金の溶接性を向上させるには、適切な割合の結合金属を選定しなければならない。しかし、この方法では超硬合金の硬度を低下させる恐れがある。そこで、作動表面は高硬度かつ高強度、接合部は溶接性が優れた性能を有する傾斜組成材料を開発することが期待される。

このような場合でも、超硬合金を溶接すると熱物性の違いによる熱応力が発生し、溶接割れの生じる危険性がある。溶接後完全に冷却されたときに存在する応力分布が残留応力であり、残留応力を測定すると、溶接熱応力を推定することができる。溶接残留応力測定は、溶接割れの対策に結びつく重要な測定方法である。結合金属割合と残留応力の関係を明らかにすることが、傾斜組成超硬合金開発のために不可欠である。また、超硬合金の結合金属としては、Co が代表的に用いられてきたが、特に非磁性体や耐食性が要求される場合には Ni を使うことも多い。近年経済的理由から Co より安価な Ni が注目されている。しかし、WC-Ni 超硬合金に関する報告は非常に少ない。

以上のことから本論文では、溶接割れを残留応力の観点から捉え、WC-Ni 超硬合金の結合金属割合を種々に増加させて溶接実験および残留応力測定を行い、併せてその実験のシミュレーション解析手法を検討する。この結果から結合金属割合と残留応力の大きさとの関係を把握し、超硬合金の溶接性を論ずるとともに、今後の傾斜組成超硬合金の設計指針を整理する。

溶接残留応力の測定には非破壊測定方法として最も一般的な X 線を用いる。しかし、超硬合金の X 線溶接残留応力測定には解決されていない問題がある。溶接部は溶接熱の影響を受け、材料が非均質となっているので、X 線応力測定が困難または測定精度の低下が考えられる。最も溶接割れに重要なのが溶接部の残留応力値であり、この領域の応力値の精度が低いままでは、測定そのものの意義が問われることとなる。そのため、従来の測定法に対して、二つの改良案

を提唱し、残留応力測定に対する有効性を論ずる。最初に、固有ひずみ法を用いて X 線残留応力分布を求める。固有ひずみとは溶接時によって生じた溶接部の塑性ひずみである。溶接部の固有ひずみの大きさが決定できると系全体の残留応力分布が求められる。X 線測定と組合わせた固有ひずみ法を用いると、溶接部の残留応力分布の信頼性が向上する。改良点のもうひとつは、測定点の応力値を、その点に関するすべての X 線回折角ピーク値を用いて応力値を決定する、多軸ひずみ測定法を新たに開発したことである。従来の方法では測定不可能と判断されるような場合にも、有効な残留応力値が決定できる方法である。X 線残留応力測定の改良とともに、残留応力解析にも新たに工夫を加えた。ほとんど報告されたデータがない WC-Ni の材料定数を 100%WC および 100%Ni の材料定数から補間するモデルおよび計算式を示した。以上の実験および解析結果から WC-Ni の溶接残留応力に関するデータが得られ、溶接可能な条件を得ることができた。

本論文は 7 章で構成されている。以下にそれぞれの章の概要を述べる。

第 1 章は序論で、超硬合金の溶接に関するこれまでの研究の調査結果を示し、論文の目的を明確にする。

第 2 章では、固有ひずみを用いた溶接残留応力測定法について述べる。X 線で測定されたひずみから溶接残留応力分布を求める方法を明らかにした。固有ひずみ法を用いると、不連続な測定応力点に加え、連続した有意義な残留応力分布が得られることが確かめられた。

第 3 章では、結合金属 Ni 質量割合を 10% から 60% まで 10% 毎に変化させた WC-Ni 超硬合金円板を焼結し、焼結時の試験片の残留応力を測定する。多軸ひずみ測定法を用いると、従来では測定不可能であった溶接部や低 Ni 結合相でも、応力測定が可能であることを示した。さらに、焼鈍した後の試験片の残留応力測定を行い、応力が十分解放されたことを確認した。

第 4 章は、前章で製作した超硬合金を 2 分割し、半円板の鋼と突合せ溶接した試験片の X 線残留応力測定を行った。さらに固有ひずみ法を用いて残留応力分布を求めた。

第 5 章では、第 4 章で行った溶接実験のシミュレーションとして、熱弾塑性を用いた溶接残留応力解析を行った。実際の超硬合金を用いて行った縦弾性係数およびポアソン比の測定結果から、従来の 100%WC および 100%Ni の直線補間で材料定数計算をすることは適切ではないことがわかった。そこで、並列ばねと直列ばねを複合させたモデルおよび計算式を示し、本論文の解析に用いることにした。解析結果は、前章の測定結果と良い一致を見た。

第 6 章では、より一般的な超硬合金の溶接である突合せ溶接の場合を想定し、溶接残留応力解析を行った。傾斜組成超硬合金のもっとも単純な例として 2 層超硬合金円板を解析対象とし、表面が従来の低 Ni 超硬合金のとき、第 2 層にはどのような Ni 割合が最適か残留応力の大きさから検討した。以上の結果は今後の傾斜組成超硬合金の設計指針となる。

第 7 章は結論であり、本論文をまとめて論じている。

最後に、本論文の解析手法を用いると、超硬合金の溶接残留応力解析が可能となり、今後の超硬合金設計の指針を得た。

学位論文審査の要旨

主 査 教 授 但 野 茂
副 査 教 授 野 口 徹
副 査 教 授 池 川 昌 弘
副 査 教 授 工 藤 昌 行

学 位 論 文 題 名

WC-Ni 超硬合金の溶接残留応力に関する研究

炭化タングステン (WC) 粉末の結合金属としてコバルト Co やニッケル Ni 粉末を添加し焼結すると、硬度とともに強度にも優れた WC 超硬合金が得られる。焼結した超硬合金チップの代表的応用例としては切削工具であった。焼結方法の改良とともに、形状も小型ではあるが種々の形状の超硬合金ができるようになり、ダイスやロールなどの耐磨耗工具に応用されるようになった。広い摺動面に採用する場合には、多数の超硬合金チップを摺動面に接合する必要がある。接合には、ろう付けが一般的であるが、強度の面では溶接のほうが当然優れている。しかし、結合金属割合の低い超硬合金チップを鋼の部材に直接溶接すると、溶接割れが生じてしまう。超硬合金の溶接性を向上させるには、適切な割合の結合金属を選定しなければならず、この方法では超硬合金の硬度を低下させる恐れがある。そこで、作動表面は高硬度かつ高強度、接合部は溶接性が優れた性能を有する傾斜組成材料を開発することが期待される。超硬合金を溶接すると熱物性の違いによる熱応力が発生し、溶接割れの生じる危険性がある。溶接後完全に冷却されたときに存在する応力分布が残留応力であり、残留応力を測定すると、溶接熱応力を推定することができる。溶接残留応力測定は、溶接割れの対策に結びつく重要な測定方法である。結合金属割合と残留応力の関係を明らかにすることが、傾斜組成超硬合金開発のために不可欠である。また、超硬合金の結合金属としては、Co が代表的に用いられてきたが、特に非磁性体や耐食性が要求される場合には Ni を使うことも多い。近年経済的理由から Co より安価な Ni が注目されている。しかし、WC-Ni 超硬合金に関する報告は非常に少ない。

本論文は、以上のことから溶接割れを残留応力の観点から捉え、WC-Ni 超硬合金の結合金属割合を種々に増加させた溶接実験および残留応力測定手法、その実験のシミュレーション解析手法を研究し、超硬合金の溶接性を明らかにすることを目的としたものである。

本論文は7章で構成されている。以下にそれぞれの章の概要を述べる。

第1章は序論で、超硬合金の溶接に関するこれまでの研究の調査結果を示し、論文の目的を明確にする。

第2章では、固有ひずみを用いた溶接残留応力測定法について述べる。X線で測定されたひずみから溶接残留応力分布を求める方法を明らかにした。固有ひずみ法を用いると、不連続な測定応力点に加え、連続した有意義な残留応力分布が得られることが確かめられた。

第3章では、結合金属 Ni 質量割合を 10% から 60% まで 10% 毎に変化させた WC-Ni

超合金円板を焼結し、焼結時の試験片の残留応力を測定する。多軸ひずみ測定法を用いると、従来では測定不可能であった溶接部や低 Ni 結合相でも、応力測定が可能であることを示した。さらに、焼鈍した後の試験片の残留応力測定を行い、応力が十分解放されたことを確認した。

第 4 章は、前章で製作した超合金を 2 分割し、半円板の鋼と突合せ溶接した試験片の X 線残留応力測定を行った。さらに固有ひずみ法を用いて残留応力分布を求めた。

第 5 章では、第 4 章で行った溶接実験のシミュレーションとして、熱弾塑性を用いた溶接残留応力解析を行った。実際の超合金を用いて行った縦弾性係数およびポアソン比の測定結果から、従来の 100%WC および 100%Ni の直線補間で材料定数計算をすることは適切ではないことがわかった。そこで、並列ばねと直列ばねを複合させたモデルおよび計算式を示し、本論文の解析に用いることにした。解析結果は、前章の測定結果と良い一致を見た。

第 6 章では、より一般的な超合金の溶接であるすみ肉溶接の場合を想定し、溶接残留応力解析を行った。傾斜組成超合金のもっとも単純な例として 2 層超合金円板を解析対象とし、表面が従来の低 Ni 超合金のとき、第 2 層にはどのような Ni 割合が最適か残留応力の大きさから検討した。以上の結果は今後の傾斜組成超合金の設計指針となる。

第 7 章は結論であり、本論文をまとめて論じている。

最後に、本論文の解析手法を用いると、超合金の溶接残留応力解析が可能となり、今後の超合金設計の指針を得た。

これを要するに、著者は、WC-Ni 超合金の溶接性評価に不可欠な溶接残留応力の測定法および解析法に関し新知見を得たものであり、溶接工学、機械要素設計学の分野に貢献するところ大である。よって著者は北海道大学博士（工学）の学位を授与される資格あるものと認める。