

Mechanism of interfacial strength evolution in metal-to-metal solid-state bonding at low temperatures

| | |
|----------|---|
| その他のタイトル | 低温での金属固相接合における界面強度発現機構 |
| 学位授与年月日 | 2018-03-22 |
| URL | http://doi.org/10.15083/00078085 |

審査の結果の要旨

氏名 ポンモラゴット ギッティパン

社会基盤を支える構造体の強靱化が求められており、構造材料の高強度化、マルチマテリアル化が進められている。高強度鋼や異種金属材料の接合において従来の熔融溶接の適用は困難であることから、融点以下で接合が可能な固相接合が注目されている。固相接合の接合強度について、従来は拡散による接合面積の増加などが報告されているが、先行研究において、より低温で接合を試みた際、短時間で十分な界面強度が達成されることが見出された。しかしながら、その界面強度発現機構についての検討は不十分であった。上記の背景のもと、金属固相接合における界面強度発現過程の基礎的な検討として、原子、ミクロ、マクロスケールにおいて、界面組織や界面はく離過程の微視的解析、分子動力学や有限要素法による数値解析を行うことで、その界面形成および界面強度発現機構を明らかにすることを目的としている。本学位論文は全 6 章で構成されている。

第 1 章は序論であり、背景として、現在最も使用されている熔融溶接や固相接合など接合法や、固相接合過程初期における接合強度の上昇などの既往研究における成果と問題点について述べており、さらに本論文の構成や研究目的について明記している。

第 2 章では、鋼／鋼界面における組織形成および界面強度発現過程についてマクロスケールでの検討を行っている。固相接合の界面強度発現過程は 2 段階に分かれることを示し、前段階では接合面積が変化せず接触部の接合強度が急激に上昇すること、その後、表面拡散による接合面積増加によって接合強度が上昇することを明らかにし、2 つの異なる機構によって接合強度が上昇することを示した。この前段階の界面強度発現機構を明らかにするため、透過型電子顕微鏡による界面の整合度および分子動力学シミュレーションによる原子の挙動について検討した結果、原子の再配列により整合な界面が形成されることで接合強度が上昇することを明らかにした。

第 3 章では、異なる圧縮ひずみを与えた鋼／ニッケル接合界面を調査するこ

とで、よりミクロスケールでの界面近傍の組織変化と界面強度発現過程の関係について検討を行っている。接合温度での保持時間の異なる条件において、界面近傍の組織観察、ナノインデンテーション試験、有限要素解析による検討によって、前段階における界面強度発現では、界面近傍組織の残留ひずみの低減、つまり降伏応力の低下に起因する塑性エネルギー散逸の増加の影響が大きいことを明らかにしている。また界面自体の強度の変化の影響も示唆された。

第4章では、まず原子スケールでの界面自体の強度発現過程について明らかにするため、分子動力学シミュレーションによって界面自体の強度に及ぼす圧縮ひずみの影響や異種材料界面の影響について検討している。圧縮ままの状態では界面近傍に不規則な原子が多く存在しており、これらが欠陥として強度を低下させているが、その後保持時間の増加に伴い、原子の再配列が生じ、系全体のポテンシャルエネルギー低下と界面自体の強度上昇が起こるとしている。後半では、各スケールで検討してきた界面自体の強度および降伏応力の変化とエネルギー解放率の関係を一貫して示すため、これらを組合せたモデルを破壊力学に基づき検討している。得られた結果に基づいて提案されたモデルによって、異種材料間の界面強度上昇速度の違いや、初期段階から後期段階への遷移が予測できることが示されている。さらに界面自体の強度変化と界面近傍の降伏応力変化の影響について調べた結果、降伏応力の影響がより支配的であることを明らかにしている。

第5章は、本研究で得られた成果について、その科学的なインパクトや工業的意義について述べている。

第6章は、全体の総括を示しており、さらに固相接合に関する研究について将来展望を述べている。

以上のように本論文では、金属の固相接合の接合機構を明らかにするとともに、接合強度に影響する材料因子を提示し、これら因子を含むモデルを提案しており、従来接合が困難であった高強度鋼や異種材料間の接合条件や接合の信頼性向上を示した点で非常に有意義である。また界面強度を制御するための指針を与えるなど、今後の構造体および構造材料のマルチマテリアル化における工学的寄与も大きい。

よって本論文は博士（工学）の学位請求論文として合格と認められる。