

ふりがな なかがわ まさゆき
氏名 中川 昌幸
学位 博士 (工学)
学位記番号 新大院博 (工) 第286号
学位授与の日付 平成 20年 3月 24日
学位授与の要件 学位規則第 4 条第 1 項該当
博士論文名 水中超音波照射による材料表面への圧縮残留応力付与に関する研究

論文審査委員
主査 教授 渡辺健彦
副査 教授 大橋 修
副査 教授 新田 勇
副査 教授 田邊裕治
副査 准教授 田村武夫

博士論文の要旨

本論文は、「水中超音波照射による材料表面への圧縮残留応力付与に関する研究」と題して、液中におけるキャビテーション現象を、超音波照射によって発生させ、その高速で周期的な衝撃圧を材料表面に作用させることによって材料表面をピーニングし、表面に圧縮残留応力を付与する方法を試み、その詳細について論じている。

液中におけるキャビテーション現象は、材料の破損や破壊の問題として古くから避けるべく多くの研究が行われてきた。液中における局所的な高圧の発生が、キャビテーション現象の大きな特徴であり、壊食などの付随する現象を引き起こす主因である。キャビテーション気泡の崩壊圧は、材料表面に損傷を引き起こすほど強力であると考えられることから、これを、材料表面に対するピーニング法として利用できると考え、材料表面に圧縮残留応力を付与するための手法、その付与機構やセラミックスへの適用等が詳細に論じられている。

本論文は、全4章と付録から構成されている。最初の4章では、純金属や合金等の金属材料表面に水中での超音波照射を行い、圧縮残留応力の付与機構について論じ、さらに、代表的な高硬度材であるセラミックスへの適用について論じており、付録では、水中に替わる種々液中で超音波照射を行い、その影響を詳細に論じている。各章の要旨は以下のようである。

第1章「緒論」では、ショットピーニングに代表されるピーニングプロセスによる材料表面への圧縮残留応力の付与機構と疲労強度や、耐食性向上に寄与する効果等を概説し、本研究における液中での超音波照射による圧縮残留応力の付与の考え方等を説明している。

第2章「水中超音波照射による金属材料表面への圧縮残留応力の付与」では、純金属および合金の金属材料を対象に、それらの表面に水中超音波照射した結果、Fe, Cu, Alなどの金属、炭素鋼, Cu-Zn, SUS304などの焼き鈍し材に対し、有効に圧縮残留応力を付与することができることを示し、付与される圧縮残留応力の最大値は、材料の弾性限度と比例関係に近い相関関係があることを明らかにしている。しかし、加工硬化度の高い材料は同様の弾性限度の材料よりも大きい値を示すことを見出し、このプロセスでは、比

較的小さい領域の塑性変形の重畳で加工硬化を引き起こしながら圧縮残留応力が付与されていくことを見出している。また、表面硬化された浸炭鋼においても、流体の衝撃圧のみで圧縮残留応力を付与することができる事を示したおり、弾性限度と圧縮残留応力の大きさとの間の密接な相関性が低硬度材および高硬度材のいずれの材料においても存在することを明らかにしている。

第3章「水中超音波照射による高硬度材料表面への圧縮残留応力の付与」では、高硬度脆性材であるセラミックス TiN 膜に対してこの手法を試みている。その結果、製膜時に発生する初期圧縮残留応力よりもさらに大きい圧縮残留応力を付与できることを示した。超音波照射時間と圧縮残留応力の変化特性は、金属材料に対する結果と同様であることを示し、X線回折ピークの半価幅値の変化から、TiN 表面には照射時間につれて内部に微小ひずみが付与されていくことによって圧縮残留応力が付与されていき、内部微小ひずみの増加がほぼ飽和状態に近づくと、不均一ひずみの均一化が進むことで半価幅値が減少していき、圧縮残留応力もほぼ一定値に達することを明らかにした。つまり、硬脆性材料であるセラミックス TiN 膜に対しても、微小な塑性変形を重畳させていくことで圧縮残留応力を有効に付与することができることを初めて明らかにした。また、硬脆性材であることから、表面内部におけるマイクロクラックなどの損傷が懸念されたが、スクラッチ試験の結果、ほとんど影響が見られないことも明らかにした。

第4章「結論」では、前章までに得られた内容をまとめている。すなわち、本研究におけるプロセスは、ショットピーニングなどと同様材料表面に有効に圧縮残留応力を付与できる。また、微小な塑性変形の重畳によるため表面粗さの変化は小さく、表面における切り欠き効果による疲労強度の低下が少ない。さらに、ショットピーニングなどの方法では困難である高硬度脆性材料に対しても、表面の破壊を誘起せずに圧縮残留応力付与することができることを明らかにしている。

付録では、水中超音波照射に有効な媒質についての一考察と題して、より大きなピーニング効果を得るために有効な溶媒および流体パラメータについて検討している。

審査結果の要旨

ショットピーニングに代表されるピーニングプロセスは材料表面への冷間加工プロセスとして、広く実用化されている。表面における圧縮残留応力は、疲労強度や耐食性向上に寄与する効果があり、また、このようなピーニングプロセスは簡便で信頼性が高いことから、自動車用部品加工などにも使われている有効な表面処理プロセスである。しかし、小さな部材や局所に限定した領域のみに圧縮残留応力を付与することが要求される場合は、不適切な方法である。一方、本研究における液中超音波照射法では、広い領域から微小領域までホーンの大きさを選択することによって圧縮残留応力の付与が可能となり、今後、多くの工業製品への適用が期待される。本研究では、水中超音波照射法による圧縮残留応力のメカニズムと影響因子を解明し、さらに、その適用によって硬脆材の代表であるセラミックスにも大きな圧縮残留応力を付与できることを明らかにしている。

以上のように、本論文は工学及び工業上貢献するところ非常に大であり、よって、博士（工学）の学位論文として十分であると認定した。