

研究題目	超音波を利用した材料開発	報告書作成者	細田 秀樹
研究従事者	東北大学 金属材料研究所 助手 細田 秀樹		
研究目的	<p>金属材料の機械的性質はその内部組織に大きく依存する。本研究では、超音波を利用し、超音波の材料加工プロセスとして利用の可能性を明らかにすることを目的とする。</p> <p>金属の内部組織を変えるためには、冷間・熱間加工や熱処理をする必要があり、また実際種々の熱加工処理法が存在する。加工とは強制的に材料中に欠陥を導入することであり、熱処理とは相の安定性の変化と原子の拡散を利用し材料内部の欠陥を制御することである。ここで、金属における原子の拡散は、原子空孔を介在とする原子移動であり、原子の振動に大きく依存する。通常は熱により、熱振動の増幅が拡散を促進するわけである。本研究では原子振動に注目し、熱によらずとも高周波数の超音波により原子振動を増幅、すなわち原子拡散を加速できるのではないかと考えた。</p> <p>本研究では、一般的に温度と時間のみに依存するとされる拡散に及ぼす超音波の影響について明らかにすることを目的し、このため、拡散によって材料物性の変わる材料を用い、超音波印加時と無印加材時の挙動、および周波数の違いによる材料物性変化を比較することで、超音波の効果の有無を調べた。</p>		

研究内容

<実験方法>

超音波印加が原子拡散に影響を与えるか否かを直接測定するためには、放射性同位体などを用いた拡散速度測定を行えばよいが、これは放射線取り扱いや設備などの点で困難である。このため、本研究では、原子拡散が材料物性に顕著に影響を与える材料を用い、その材料特性を測定することで超音波の影響を評価した。試料は時効硬化型合金である 2017 アルミニウム合金供試材である。時効硬化とは、高温で溶体化後の急冷により高温の状態を室温に持ちきたした後、比較的低温での保持（焼き戻し）により徐々に相分解・析出が進行し強度が上昇する現象である。本アルミニウム合金は室温でも時効をすることが知られており、また実用材でその時効挙動も良く知られているため、本研究に最適と考えられた。

大気中 520°C で 3.6ks の溶体化後、水冷し、蒸留水中で時効を行った。なお、溶体化を行わない試料についても同様の時効を行った。時効温度は超音波発生装置の使用温度範囲である 0°C から 75°C までとした。超音波印加のため、高出力 (300 ~ 600W) の超音波洗浄機を用いた。超音波周波数は、47kHz, 100kHz, 200kHz, 400kHz, 1MHz である。比較のため、超音波を印加しない時効も行った。時効硬化挙動は、ピッカース硬度 (HV) により評価した。ピッカース試験は、負荷荷重 300g, 負荷時間 10s とし、室温で行った。ピッカース硬度の測定誤差を少なくするため、最低 5 点、通常は 10 点以上硬度測定を行い、その平均値を採用した。

<実験結果>

図 1 に 2017 合金の室温での時効硬化曲線を示す。200kHz 超音波印加材の試験温度は 16°C、無印加材のそれは 18°C である。水焼入直後の硬度は HV86 であり、超音波印加の有無にかかわらず時間と共に硬化し、最終的には両者とも HV130 程度に達する。時効途中では、同じ時効時間では、超音波印加材の方が試験温度が若干低いにも関わらず、ピッカース硬度で HV5 程度高いことがわかる。したがって、超音波が時効を促進したと結論できる。なお、低い周波数の超音波印加では無印加の硬度変化と同じ挙動を示し、超音波の効果は見られなくなる。また、十分に室温時効した合金でも超音波印加の有無で差が見られなかった。

図 2 に 2047 合金の 75°C での時効硬化曲線を示す。75°C においても時効開始直後から硬度が上昇する。時効時間で 10³ ~ 10⁵s 間では、超音波印加材と無印加材で硬度変化に HV3~4 程度の差が見られる。この温度でも超音波は時効を促進することがわかる。しかし、室温と比べ、その効果は小さいといえる。なお、75°C においても、100kHz 以下の周波数印加では無印加の硬度変化と同じ挙動を示し、超音波の効果は見られなかった。また、十分に室温時効した合金でも超音波印加の有無で差が見られなかった。さらに高周波の超音波を印加すると、より時効が促進された。これより、高い周波数の超音波を印加するほど時効を促進するという結果が得られた。

研究のポイント	<p>超音波が原子拡散に与える影響を調べ、また同時に材料開発に役立てるため、時効硬化型アルミニウム合金を用い、その時効硬化を調べることで原子拡散を評価した点が研究のポイントである。</p> <p>また、種々の周波数を有する超音波発生器を用いたことで、その周波数依存性を有る程度把握できた。</p> <p>実験結果より、高い振動数の超音波であれば、アルミニウムの時効硬化挙動に影響を与えること、すなわち原子拡散に影響を与えることが明らかとなった。実験で用いた超音波が硬度変化に与える影響はHV5程度と小さく、また最高硬度は超音波印加に依らないようである。この原因は、超音波の周波数が十分に高くないこと、超音波のエネルギーがあまり大きくないことなどが考えられる。</p>
研究結果	<p><まとめと展望></p> <p>実験結果より、高い振動数の超音波であれば、時効硬化挙動に影響を与えること、すなわち原子拡散に影響を与えることが明らかとなった。実験で用いた超音波が硬度変化に与える影響はHV5程度と小さく、また最高硬度は超音波印加に依らないようである。この原因は、超音波の周波数が十分に高くないこと、超音波のエネルギーがあまり大きくないことなどが考えられる。適切な振動数と振幅を持つ超音波を印加できれば、アルミニウムの時効処理に関わらず、その他の合金でも熱処理をきわめて簡単にできる可能性がある。熱処理を短縮できれば省エネルギー効果も高いため、超音波は将来性のある材料開発手法といえる。</p>
今後の課題	<p>超音波が直接原子拡散に影響を与えているかに関しては、本研究では時効硬化という間接的な証明によっている。より直接的な証拠をつかむためには、やはり原子拡散そのものを評価すること、およびそのメカニズムを正確に明らかにする必要がある。</p>

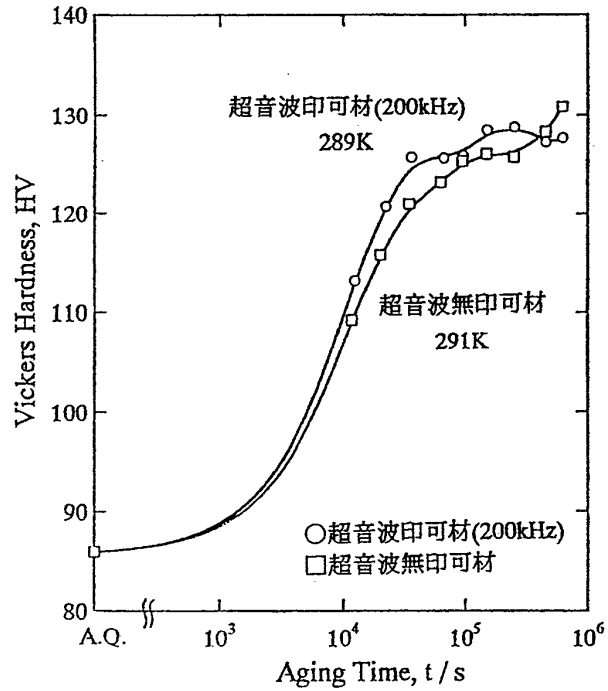


図1 2017合金の室温における時効挙動

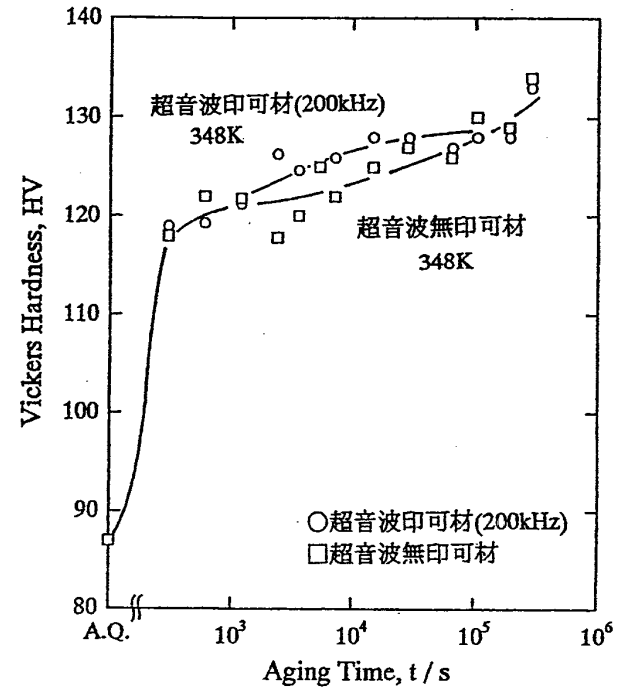


図2 2017合金の75°Cにおける時効挙動

(注:フローチャート図,ブロック図,構成図,写真,データ表,グラフ等 研究内容の補足説明にご使用下さい。)