

「泡で金属をたたいて強くする」

Cavitation S Peening®

S : Shotless, Shockwave, Smooth, Soyama

東北大学 工学部 機械知能・航空工学科ナノメカニクスコース
 東北大学大学院工学研究科ナノメカニクス専攻
 材料メカニクス講座 知的計測評価学分野
 教授 祖山 均, 助教 高桑 脩

泡で金属をたたいて強くするとは、キャビテーションという泡を使って、金属をたたいて結晶構造を変えたり、金属に押し合う力を発生させて金属をこわれにくくすることです。

① **室温で水が沸騰!?** 図1に示すように、水は 100℃で沸騰しますが、高い山では気圧が低いので 100℃以下で沸騰します。したがって、気圧が低ければ、水は室温でも沸騰します。

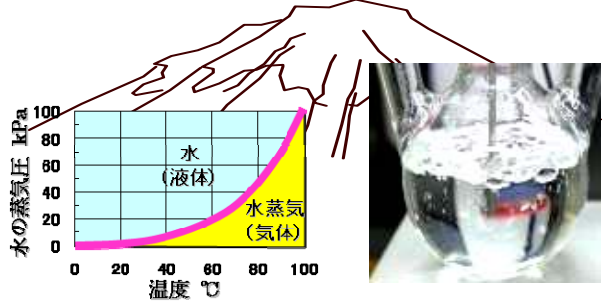


図1 高い山では 100℃以下で沸騰

② **水を速く流すと泡になる!?** 「流体のエネルギー」=「速度のエネルギー」+「圧力のエネルギー」ですので、流体を速く流すと圧力が下がります。細くしぼった管に空気を流すと、細い部分では速度が速いので圧力が下がり、図2に示すように大気圧に押されて水柱が上がります。細くしぼった管に水を流すと、細い部分では速度が速いので圧力が下がって水が泡になります(図3参照)。温度が上がって水が泡になる場合を沸騰と呼びますが、速度の増大により圧力が下がって水が泡になる現象をキャビテーションと呼びます(図4参照)。速度が下がって、泡が水に戻るときに、泡の一部が変形してマイクロジェットを生じたり、ごく短時間で泡が再び大きくなるために衝撃波を発生して、金属も凹ますような力を発生します(図5参照)。

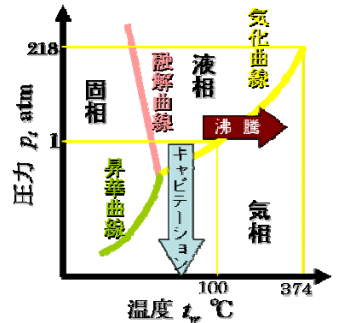
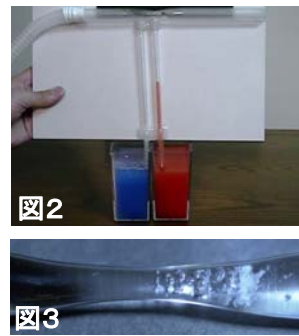


図4 水の状態図

エネルギー保存則

$$【速度のエネルギー】+【圧力のエネルギー】=一定$$

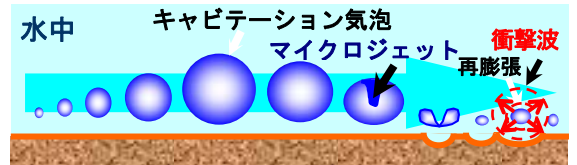


図5 キャビテーションが力を生じるしくみ

③ **磁石がつかない鉄を たたくと磁石にくっつく鉄に変わる!?** 図6に示すように、磁石がつかない鉄は面心立方格子という結晶構造で、磁石がくっつく鉄は体心立方格子という結晶構造をしています。この面心立方格子の中に、体心立方格子に似た形状がありますが、たたくと、この形状が体心立方格子に変化します。この変化により体積が増えるので、金属内部に押し合う力が発生し、引っ張っても壊れにくくなります。

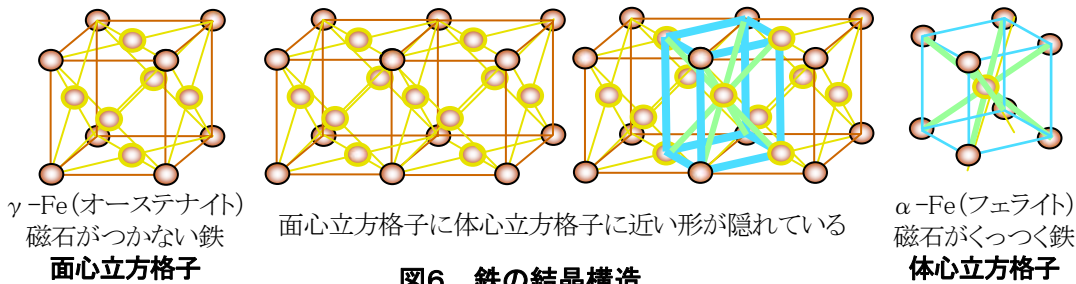


図6 鉄の結晶構造

結晶構造はX線回折を使って調べることができます(図7参照)。X線回折で調べた結果が、末広りの形状になる理由は、図8に示すように、分数の計算でも求めることができます。ビー玉を落として、どこに落ちる確率が高いか、見てみて下さい。分布形状から、原子の並び方の乱れ具合を知ることができます。また、X線回折を使うと、原子の間隔を知ることができるので、金属の中に押し合う力か、引っ張り合う力がはたらいっているのか、知ることができます。

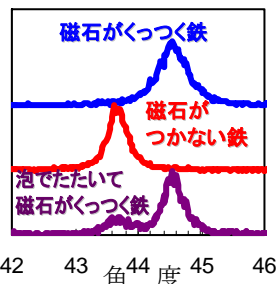


図7 X線回折の結果

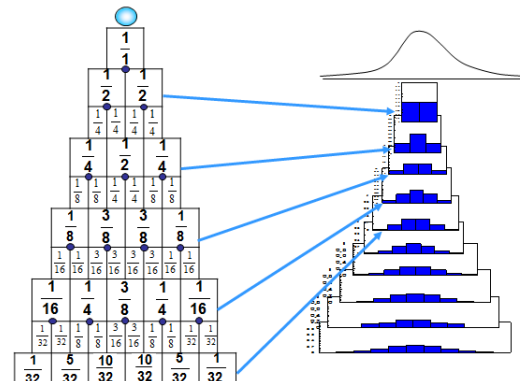


図8 X線回折の分布形状

④ スクリューに生じる泡 キャビテーションは、ポンプや船のスクリューなどにも発生します。図9には、スクリューの模型の先端の渦に生じるキャビテーションの様子を示します。渦の中心は圧力が低いので、渦の中心にキャビテーションが発生します。なお、模型は、1分間に約3,000回で回転していますが、フラッシュランプも1分間に約3,000回光っているので、羽根が止まって見えます。

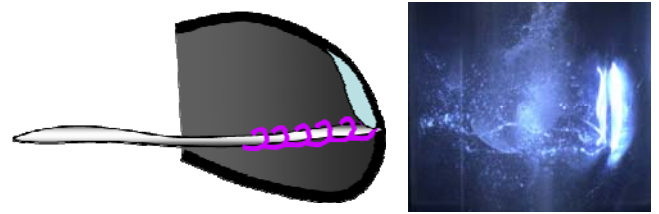


図9 スクリューの渦に生じるキャビテーション

⑤ 超音波で泡が発生!? メガネなどの洗浄でも弱いキャビテーションが使われています。なお、洗浄するときは、超音波で発生させたキャビテーションを使っています。また、キャビテーションを使うと、油と水を混ぜることができます(図10参照)。

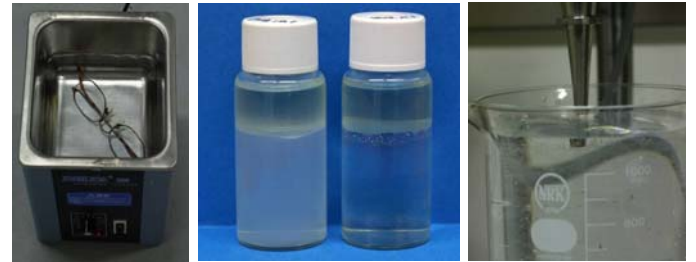


図10 超音波によるキャビテーション

泡で金属をたたいて強くする利点 は、従来のショット(金属などの球)でたたく方法に比べて以下の点が挙げられます。

- (1) ショットを用いないので表面が滑らか(図11参照)。
- (2) ショットよりも疲労強度を向上できる(図12参照)。
- (3) アルミニウムなどを処理した後に化学洗浄をする必要がない。
- (4) ショットの粉塵による粉塵爆発の危険性がない。
- (5) ショットを用いないのでゴミが出ない。
- (6) ショットを分けたり回収する必要がない。
- (7) 硬い材料も加工できる。
- (8) 管の内部や狭い部分なども処理できる。
- (9) 加工時に熱を発生しない。
- (10) 水のみで処理できる。
- (11) ウォータージェットよりも低圧のポンプで処理できる。
- (12) ウォータージェットよりも加工範囲が広い。

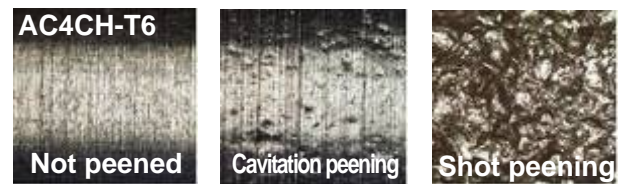


図11 加工面の様相

キャビテーション噴流 とは、水中にウォータージェットを噴射したときに生じるキャビテーションを伴う噴流です。ウォータージェットのまわりに渦が発生し、その渦中心部の圧力が低下して渦キャビテーションが生じます。渦キャビテーションが集まってキャビテーション気泡雲を形成し、それが加工する面に衝突するとリング状に広がった後、水に戻ります(図13で白く見えるのがキャビテーションです)。大気中に低速のウォータージェットを噴射して、その中心部に高速のウォータージェットを噴射することにより、大気中にキャビテーション噴流を形成でき、これを気中キャビテーション噴流と呼びます。これに対して、水中にウォータージェットを噴射した場合を、水中キャビテーション噴流と呼んでいます。なお、最適噴射条件の気中キャビテーション噴流は、水中キャビテーション噴流よりも加工能力が高いことがわかっています。

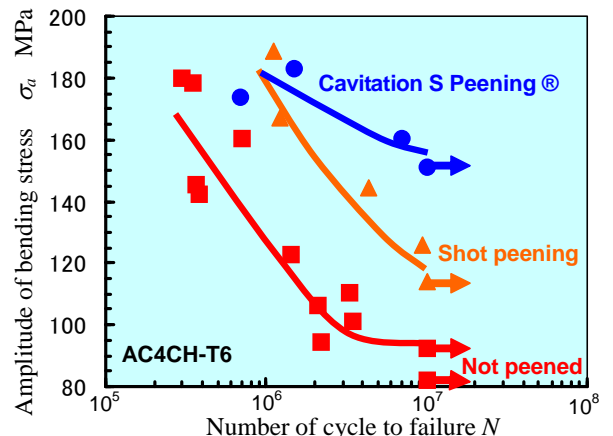


図12 疲労強度向上

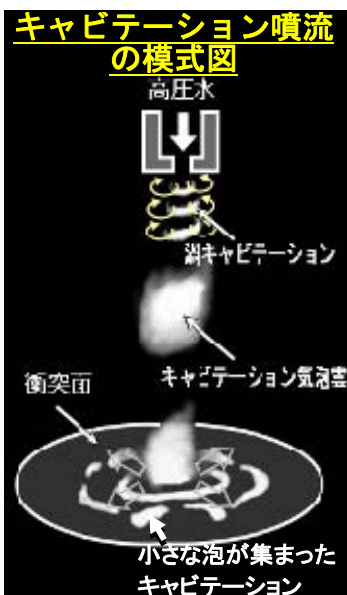


図13 キャビテーション噴流の概要ならびに様子