

「泡で金属の構造を変える」

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
 祖山・高桑研究室／青柳研究室

泡で金属の構造を変えるとは、キャビテーションという泡を使って、金属の結晶構造を変えたり、結晶の形を変えて金属を延ばしたり、結晶粒の大きさを小さくすることなどを指します。その結果、材料を強くしたり、成形することができます。

① 泡で叩くと金属の結晶構造が変化します。例えば、泡で叩くと**磁石がつかない鉄が磁石がくっつく鉄に変わります**。図1に示すように、磁石がつかない鉄は面心立方格子をしており、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、泡で叩くと、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。なお、結晶構造は X 線回折を使って調べることができます(図2参照)。

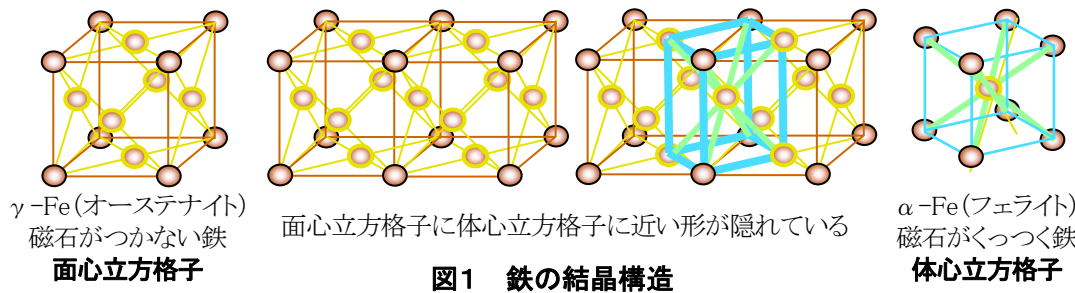


図1 鉄の結晶構造

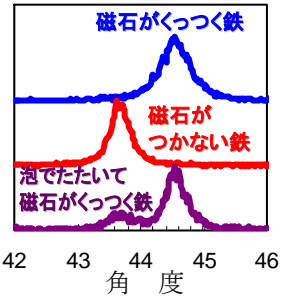


図2 X線回折の結果

② 泡で叩くと金属を延ばすことができます。

表面のみを叩くと、表面を延ばして板を反らせることができます。これをピーンフォーミングと呼びます。現在は、ショットで叩く方法が航空機の主翼の成形などに使われていますが、環境負荷低減と、安全・安心な航空機の製造を目的として、泡によるピーンフォーミングの実用化を目指して研究しています。



図3 ピーンフォーミング

③ 泡で叩くと金属の結晶を微細化できます。

泡でたたいて結晶粒を細かくすると、壊れる道すじが遠回りになるので、壊れにくくすることができます。純度が高いアルミニウムを用いて再結晶法を使うと、叩いて小さくなった結晶粒を見ることができます。

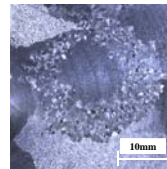


図4 結晶の微細化

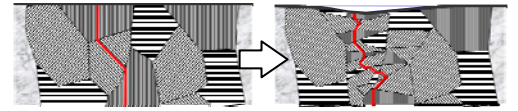


図5 破壊経路

泡で叩いて金属の構造を変える利点は、従来の

ショットで叩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6参照)。
- (2) ショットよりも疲労強度を向上できる(図7参照)。
- (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) 凹みの形状(凸部少)から摩擦特性がよい。
- (11) 水のみで処理できる。
- (12) ウォータージェットよりも低圧のポンプで処理できる。
- (13) ウォータージェットよりも加工範囲が広い。
- (14) 水素脆化を抑制できる。



図6 加工面の様相

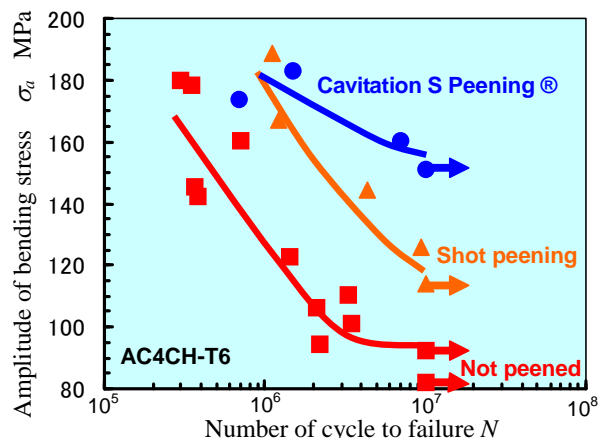


図7 疲労強度向上

泡(キャビテーション)とは、水の速度の増大に伴い、圧力が下がり、水が泡になる現象です。高い山では 100℃以下で沸騰(図8参照)します。温度が上がって水が泡になる場合を沸騰と呼びますが、速度の増大に伴う圧力の低下により水が泡になる現象をキャビテーションと呼びます(図9参照)。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。特に小さな泡が集まったキャビテーションは、大きな力を生じるようです(図10参照)。弱いキャビテーションはメガネの洗浄などにも使われています。

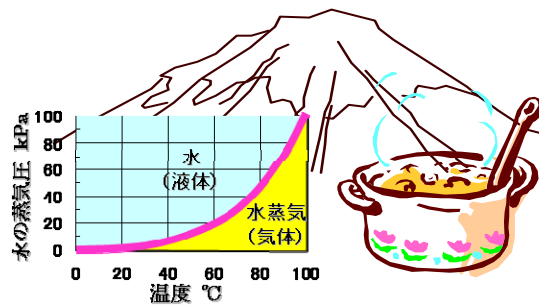


図8 高い山では 100℃以下で沸騰

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

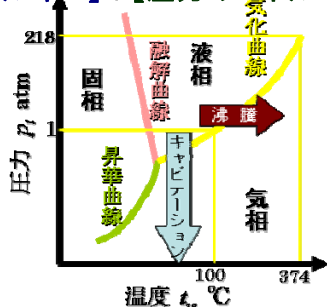


図9 水の状態図

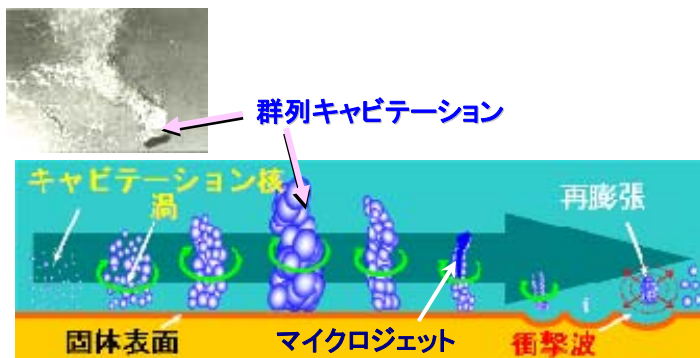


図10 キャビテーション衝撃力の発生機構の概要

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。これが下流に流れるときに合体して大きなキャビテーション気泡雲を形成します。加工する面にキャビテーション気泡雲が衝突するとリング状に広がった後、水に戻ります(図11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。

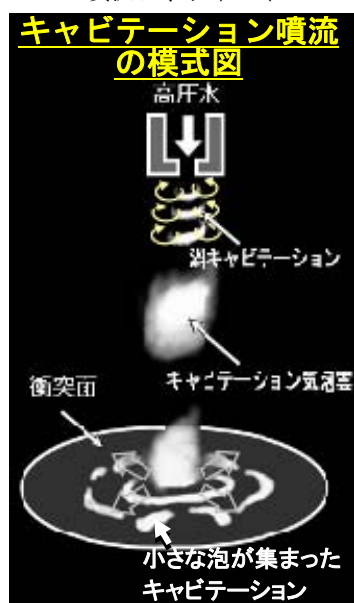


図11 キャビテーション噴流の概要ならびに様子

H.Soyama et al., *Journal of Manufacturing Science and Engineering, Trans.ASME*, Vol. 122, 2000, pp. 83-89; H.Soyama et al., *Journal of Materials Science Letters*, Vol. 20, 2001, pp. 1263-1265; H.Soyama et al., *Journal of Engineering Materials & Technology, Trans.ASME*, Vol. 124, 2002, pp. 135-139; H.Soyama, *Journal of Engineering Materials & Technology, Trans.ASME*, Vol. 126, 2004, pp. 123-128; H.Soyama et al., *Tribology Letters*, Vol. 18, 2005, pp. 181-184; H.Soyama, *Journal of Fluids Engineering, Trans.ASME*, Vol. 127, 2005, pp. 1095-1101; H.Soyama, *Journal of Materials Science*, Vol. 42, 2007, pp. 6638-6641; H.Soyama et al., *J. Mater. Sci.*, Vol. 43, 2008, pp. 5028-5030; H.Soyama and N.Yamada, *Materials Letters*, Vol. 62, 2008, pp. 3564-3566; H.Soyama and Y.Sekine, *International Journal of Sustainable Engineering*, Vol. 3, 2010, pp. 25-32; H.Soyama et al., *Surface & Coatings Technology*, Vol. 205, 2011, pp. 3167-3174; H.Soyama and O.Takakuwa, *Journal of Fluid Science and Technology*, Vol. 6, 2011, pp. 510-521; H.Soyama et al., *Journal of Power Energy Systems*, Vol. 6, 2012, pp. 63-75; O.Takakuwa and H.Soyama, *International Journal of Hydrogen Energy*, Vol. 37, 2012, pp. 5268-5276; Y.Sekine and H.Soyama, *Journal of Nondestructive Evaluation*, Vol. 31, 2012, pp. 99-107; O.Takakuwa et al., *Surface & Coatings Technology*, Vol. 206, 2012, pp. 2892-2898; O.Takakuwa and H.Soyama, *Surface & Coatings Technology*, Vol. 206, 2012, pp. 3747-3750.