

「泡で金属をたたいて強くする」

Cavitation S Peening®

S : Shotless, Shockwave, Smooth, Soyama

教授 祖山 均
〒980-8579 仙台市青葉区荒巻字青葉 6-6-01
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

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が水に戻るときに発生する衝撃力により、金属材料をたたいて強くする方法です。ふつうは小さな鉄球(ショット)を用いるのでショットピーニングと呼びますが、泡を使う場合はショットを用いないので、ショットレス(ショットなし)ピーニングと呼びます。キャビテーションピーニングでは、キャビテーション噴流により、キャビテーションの力を制御しています(図1参照)。

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2参照)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3参照)。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4参照)。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。

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

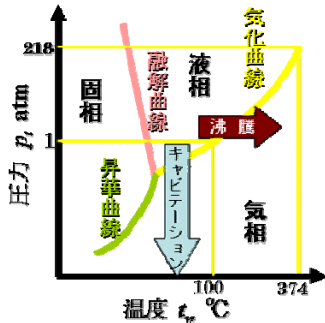


図3 水の状態図

泡でたたいて強くする利点は、以下の点があげられます。

- (1) ショットを用いないので表面が滑らか(図5参照)。
- (2) ショットを用いないのでゴミが出ない。
- (3) ショットを分けたり回収する必要がない。
- (4) 硬い材料も加工できる。
- (5) 管の内部や狭い部分なども処理できる。
- (6) 加工時に熱を発生しない。
- (7) 凹みの形状(凸部少)から摩擦特性がよい(図6参照)。
- (8) 水のみで処理できる。
- (9) 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。
- (10) ウォータージェットよりも低圧のポンプで処理できる。
- (11) ウォータージェットよりも加工範囲が広い。

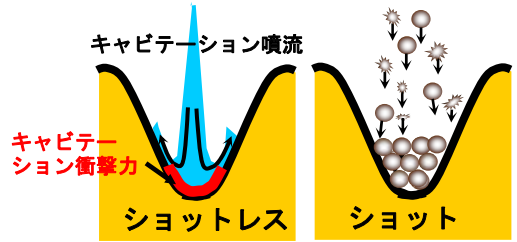


図1 ショットレスピーニングとショットピーニング

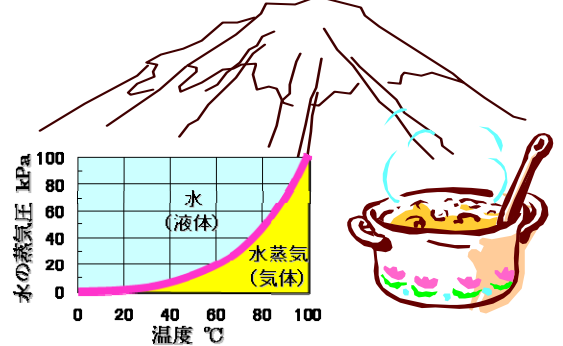


図2 高い山では100℃以下で沸騰

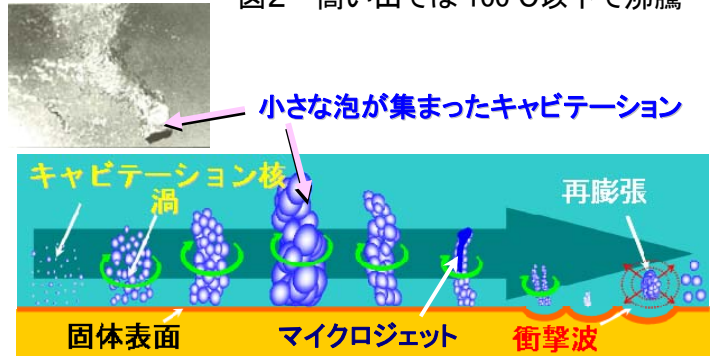


図4 キャビテーションの説明図

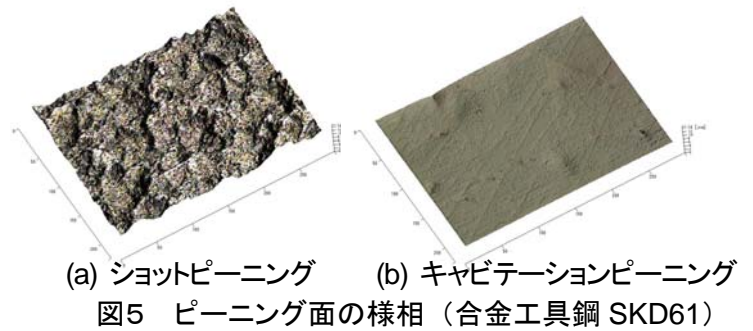


図5 ピーニング面の様相(合金工具鋼 SKD61)

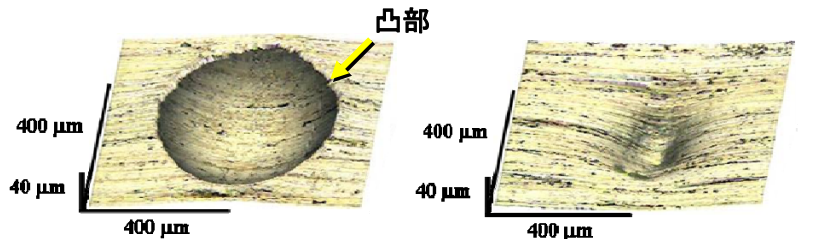


図6 アルミ上の凹みの形状(凹部の体積と深さが等しい場合)

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7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。

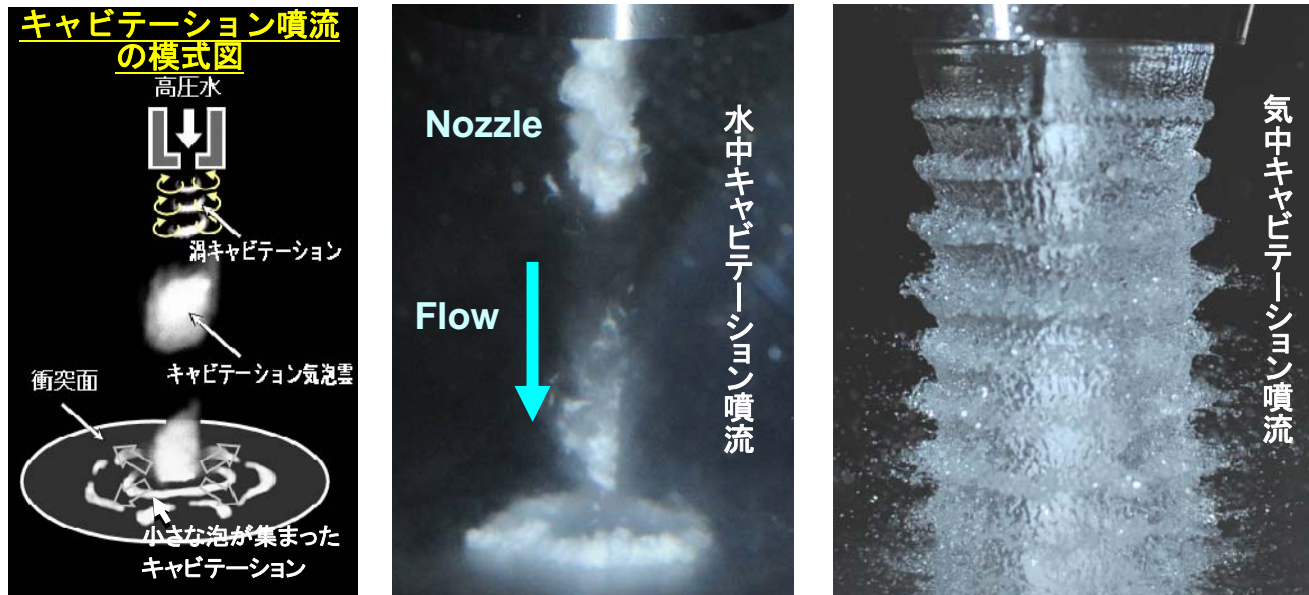


図7 キャビテーション噴流の概要ならびに様子

図8には、ウォータージェットの噴射圧力を同じにして、同じノズルを用い、一定時間、最適なスタンドオフ距離においてアルミニウム製の試験片に、それぞれの噴流を噴射した様子を示します。壊食量大きいほど、噴流の加工能力が大きいとすれば、ウォータージェット(気中水噴流)よりも水中キャビテーション噴流や気中キャビテーション噴流のほうが加工領域が広いので、ピーニングに適しているといえます。また気中キャビテーション噴流が最も加工能力が大きいといえます。なおピーニング時は、壊食を生じる前に加工を終るので、損傷は生じません。

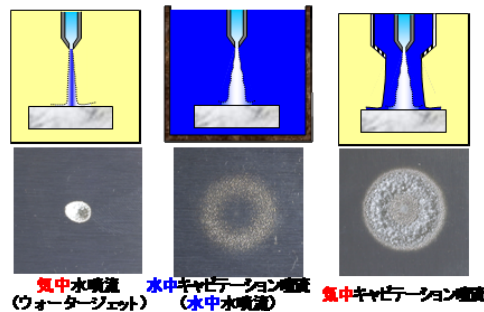


図8 各種噴流の加工領域と加工能力

疲労強度向上

について、図9に示します。キャビテーションピーニングの方がショットピーニングよりも107回における疲労強度を向上できます。主な理由は、図10に示すように、キャビテーションピーニングの方が、ショットピーニングよりも表面が滑らかなためです。



図10 加工面の様相

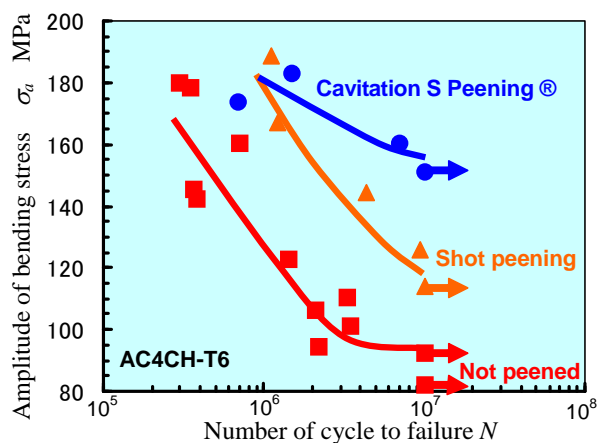


図9 疲労強度向上

- H.Soyama et al., Use of Cavitating Jet for Introducing Compressive Residual Stress, *J. Manufacturing Science and Eng., Trans.ASME*, Vol.122, 2000, pp.83-89.
- H.Soyama et al., Peening by the Use of Cavitation Impacts for the Improvement of Fatigue Strength, *Journal of Materials Science Letters*, Vol.20, 2001, pp.1263-1265.
- H.Soyama et al., Improvement of Fatigue Strength of Aluminum Alloy by Cavitation Shotless Peening, *J. Eng. Materials & Technology, Trans.ASME*, Vol.124, 2002, pp.135-139.
- H.Soyama, Introduction of Compressive Residual Stress Using a Cavitating Jet in Air, *J. Eng. Materials & Technology, Trans.ASME*, Vol.126, 2004, pp.123-128.
- H.Soyama et al., Fatigue Strength Improvement of Gears Using Cavitation Shotless Peening, *Tribology Letters*, Vol. 18, 2005, pp.181-184.
- H.Soyama, High-speed Observation of Cavitating Jet in Air, *J. Fluids Eng., Trans. ASME*, Vol. 127, 2005, pp. 1095-1101.
- H.Soyama, Improvement of Fatigue Strength by Using Cavitating Jets in Air and Water, *J. Mater. Sci.*, Vol. 42, 2007, pp. 6638-6641.
- H.Soyama et al., Improving the Fatigue Strength of the Elements of a Steel Belt for CVT by Cavitation Shotless Peening, *J. Mater. Sci.*, Vol. 43, 2008, pp. 5028-5030.
- H.Soyama and N.Yamada, Relieving Micro-Strain by Introducing Macro-Strain in a Polycrystalline Metal Surface by CSP, *Mater. Lett.*, Vol.62, 2008, pp.3564-3566.
- H.Soyama and Y.Sekine, *International Journal of Sustainable Engineering*, Vol. 3, No. 1, 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.