

# ウォータージェットによる壊食発生機構とその 応用技術に関する基礎的研究

内 山 恒 久

## 要 旨

物体を加工する目的で作られた小孔，すなわちノズルから噴射される水噴流を用いた技術をウォータージェット技術という。ウォータージェットは水力学的に大きな加工能力を持ち，近年ではその壊食作用等の特性が注目され，材料の切削，切断およびピーニング等の特殊加工，また構造物の解体，洗浄技術等の様々な分野に応用することが試みられている。しかしながら，ウォータージェットに要求される性能は多種多様な応用分野においてかなり異なるため，各分野で要求される性能が十分発揮し得る壊食能力，噴流構造を持つウォータージェットの実現は工業的な緊急課題とされている。そして，この種の課題の解明には，ウォータージェットの衝突により生ずる物体表面での壊食発生機構，衝撃圧分布および壊食発生機構と噴流構造の関連性を詳細に調べることが不可欠と考えられる。

よって本論文においては，ウォータージェット技術を用いた加工等の応用技術における基礎的な壊食発生機構および壊食性能の解明，また，その信頼性の向上を目的として，ウォータージェットによる各種材料，特にガラス短繊維複合材の壊食発生機構およびウォータージェットが材料に衝突した際の衝撃圧分布の詳細な解明を各種測定法を用いることにより試みた。また，キャビテーション・ジェットの壊食作用を材料の加工に応用するため，その性能向上に関連するキャビテーション・ジェットの挙動の解明を試みた。さらに，これらのことを踏まえてウォータージェット応用技術に関する検討を試みた。

すなわち本論文は，第1章の緒論を含め以下の各章より成る。

まず，第2章では，ウォータージェットによる各種材料，特にガラス短繊維複合材の基礎的な壊食特性を解明するため，ガラス短繊維強化プラスチックおよびアルミニウムの質量欠損量，質量欠損率および ASTM 規格に基づく壊食特性量を種々のジェット衝突角度とスタンドオフ距離との関係において調べた。そして，ガラス短繊維強化プラスチックとアルミニウムの壊食特性には大差があること，また，ガラス短繊維強化プラスチックの耐壊食性の大きさを明らかにした。

次いで，第3章においては，ウォータージェットによるガラス短繊維強化プラスチックの壊食発生・発達機構の解明を目的として，第2章において明示したガラス短繊維強化プラスチックの最終的な寿命に係る壊食曲線の終末安定期および質量欠損を伴う壊食初期の加速期における壊食機構に着目し，それぞれの場合における壊食表面の様相を種々のスタンドオフ距離およびジェット衝突角度において SEM 観察した。その結果，終末安定期および加速期における壊食様相の詳細を明らかにし，終末安定期における壊食の特徴よりガラス短繊維強化プラスチックの寿命を決定することが可能であることを示した。

引き続いて，第4章では，応用技術に関する試みとして，清水の場合および清水中に微少油量が混入した場合の二種類の供試試料水を用いたウォータージェットによるガラス短繊維強化プラスチックの損傷の様相を SEM 観察により調べ，供試試料水の違いによる損傷形態の変化について調べた。その結果，二種類の

---

学位と学位記番号：博士（工学），博第6号

授与年月日：平成12年12月21日

授与時の所属：八戸工業大学大学院工学研究科機械システム工学専攻博士後期課程

供試試料水による損傷形態には大きな相違があることを明らかにし、また、微少油量の混入は加速期における質量欠損量の著しい増加を予想させることを示した。

そして、第5章では、気中ウォータージェットに比べて加工エネルギーが大きいキャビテーション・ジェットに着目し、このキャビテーション・ジェットにより形成されるキャビティの挙動を明らかにするため、高速ビデオカメラおよび画像処理により、キャビティ面積および幅の経時変化、さらにスタンドオフ距離との関係について調べた。その結果、キャビティ面積および幅は成長・放出・崩壊というキャビティの周期的な変動過程に直結して変化すること、また、キャビティ面積の変動過程は非線形性が強い非定常現象であることを示した。

さらに、第6章においては、壊食特性、特に壊食表面に及ぼすウォータージェットの衝撃圧およびその衝撃圧分布の影響を調べるため、感圧フィルム法および画像処理法によりウォータージェットの衝突による衝撃圧分布を種々のスタンドオフ距離、ジェット衝突角度において測定した。その結果、画像処理による衝撃圧分布の測定・分析の重要性および衝撃圧分布の画像処理による壊食曲線推定の可能性を示した。

最後に、第7章は結論である。

これらの結果から、ウォータージェットによる各種材料の壊食性能向上につながる種々の基礎的な壊食特性量を示し、また、ガラス短繊維強化プラスチックの壊食発生・発達機構の詳細を明示した。さらに、異種溶液を添加したウォータージェットおよびキャビテーション・ジェットの利用による材料の壊食性能向上の可能性を示した。そして、ウォータージェットによる加工性能に直結する衝撃圧分布の様相を画像処理法により測定・解析し、その有効性および衝撃圧分布より壊食の様相を推定し得る可能性を明示した。すなわち、本研究成果はウォータージェットによる応用技術における信頼性向上に深く貢献できることを提示した。

## Research on the Erosion Mechanism and the Applied Technology by Water Jets

Doctor Course in Mechanical Engineering System, Doctor of Engineering

Tsunehisa UCHIYAMA

### ABSTRACT

The technology using water jet, which jetted from the nozzle made in order to process the object is called the water jet technology. The characteristics of the erosion action by the water jet are noticed in recent years, since the water jet has hydraulically large processing capability, and it is being tried that it is applied in various fields such as cutting of the material, special processing of the peening, disassembly of the structures, cleaning technology and so on. However, the performance required to the water jet is considerably different in various applied fields. Therefore, a realization of the water jet with the erosive ability and the jet structure required in each fields is an urgent problem in the industrial field. And, it is indispensable to examine the erosion mechanism and the impulsive pressure distribution on the surface of the object caused by the impinging water jet and the relation between the erosion mechanism and the jet structure in detail for the elucidation of such a problem.

Therefore, in this paper, for the elucidation of basic erosion mechanism and performance, and the progress of the reliability in applied technology such as processing using the water jet technology, the detailed elucidation of the erosion mechanism of various materials, especially short glass fiber composite material and the impulsive pressure distribution caused by the impinging water jet are tried by using various measurement methods. Moreover, the elucidation of the behavior of the cavitation jet, which relates to the performance improvement is tried in order to apply the erosive action of the cavitation jet to the processing of the material. In addition, the examination concerning the applied technology of water jet is tried based on these facts.

That is, this paper consists of each following chapters including the introduction in chapter 1.

First of all, in chapter 2, to elucidate basic erosion characteristics of various materials, especially the short glass fiber composite material by the water jet, the mass loss, the mass loss rate and erosion characteristics quantity based on the ASTM Standards of short glass fiber reinforced plastic and the aluminum was examined in the relationship between various jet impinging angles and standoff distances. As a result, it was shown that there was large difference in the erosion characteristics of short glass fiber reinforced plastic and aluminum.

Next, in chapter 3, for the purpose of the elucidation of erosion generation and development mechanism of the short glass fiber reinforced plastic by the water jet, I noticed to the erosion mechanism in the terminal stage that concerns final life and in the acceleration stage of the initial erosion with the mass loss of the short glass fiber reinforced plastic that specified in chapter 2. And, the aspect on erosion surface in each case was observed by SEM observation, for various standoff distances and jet impinging angles. As a result, details of the erosion aspect in the terminal stage and the acceleration stage were clarified. And, it was shown to be able to decide the life of the short glass

fiber reinforced plastic according to the feature of the erosion in the terminal stage.

In chapter 4, as a trial on the applied technology, the aspect of the damage of short glass fiber reinforced plastic by two kinds of water jets when fresh water containing with and without very small amount oil was examined by the SEM observation, and the change of the damage form by the difference between the trial sample water was examined. As the result, it was clarified that there was large difference in damage form by two kinds of the trial sample water. Moreover, containing very small amount oil showed that an increase with remarkable of the mass loss in the acceleration stage was anticipated.

And, in chapter 5, I noticed the cavitation jet in which the processing energy was larger than the water jet. To clarify the behavior of cavity formed by the cavitation jet, it was examined a change with passage of time of the cavity area and width, and relationship with the standoff distances by a high-speed video camera and the image processing. As a result, it was shown that the cavity area and width changed in corresponding to a periodic fluctuation process in the cavity such as growth, discharge and collapse. And, it was shown that the fluctuation process of the cavity area was non-linear and non-steady phenomenon.

In addition, in chapter 6, to examine the erosion characteristics, especially the effect of impulsive pressure and the impulsive pressure distribution of the water jet on the erosion surface, the impulsive pressure distribution by the impinging water jet was measured by pressure sensitive film technique and image processing method for various standoff distances and jet impinging angles. As a result, the importance of the measurement and the analysis of impulsive pressure distribution by the image processing, and the possibility that the erosion curve could be estimated by the image processing of the impulsive pressure distribution were shown.

Finally, chapter 7 is a conclusion.

From these results, various basic erosion characteristics quantity which connected with the improvement in the erosion performance of the materials by the water jet, and details of the erosion generation and the development mechanism in the short glass fiber reinforced plastic were clarified. In addition, the possibility of the improvement in the erosion performance by water jet, which added the different solution and cavitation jet was shown. And, the aspect of impulsive pressure distribution which connected directly with the processing performance by water jet was measured and was analyzed by the image processing method, then the effectiveness and the possibility that the erosion aspect could be estimated from impulsive pressure distribution was clarified. That is, it was presented that this study result could contribute to improvement of reliability in the applied technology by the water jet.