

ウォータージェットによる非晶質合金箔の切断法

工業技術院機械技術研究所

高橋 正春

(平成2年度国際会議等参加助成 AF-90021)

1. まえがき

新素材である非晶質合金箔は、従来の切断法のうち、機械切断では機械的応力によって割れが発生し、熱切断では、切断部近傍で材質変化を起こし材料特性を損なってしまうなどの問題があった。このような材料を切断するには、ひずみの発生がなく、また、熱による影響がないなどの条件が必要である。この条件を満たす加工法として、ウォータージェット切断法に注目し、切断実験を試みた。本報告では、非晶質合金箔の切断にウォータージェットを用い、切断材料、重ね切断枚数、切断速度等の条件による切口面の精度、切断幅への影響等について述べる。また、切断効率を高くするため重ね切断(100枚重ね)を行ない、切断可能枚数を推定した。

2. 実験装置および方法

実験装置として、川崎重工製のアブレイシブ型ウォータージェットを用いた。図1に、ウォータージェット切断装置の構成を示す。水の吐出圧力は2000kgf/cm²一定にし、混入する研磨材は前もって水に分散させスラリー状とし、噴流によ

って生じる負圧を利用して研磨材を混入した。研磨材にはアルミナを用いており、再利用が可能である。表1に各研磨材による切断条件を示す。ノズルチップには、水中の固形物による摩耗に強いサファイヤを用いた。アブレイシブノズルは摩耗が著しいため、超硬合金を用いた。ノズル駆動機構は2次元のNC装置を用い切断速度を10mm/min~1000mm/minの範囲で変えた。実験に用いた非晶質合金箔は、Fe系の2605S-2、Ni系の2826MBであり、板厚は28μm、40μm、板幅は25mmの薄帯である。機械的特性を表2に示す。

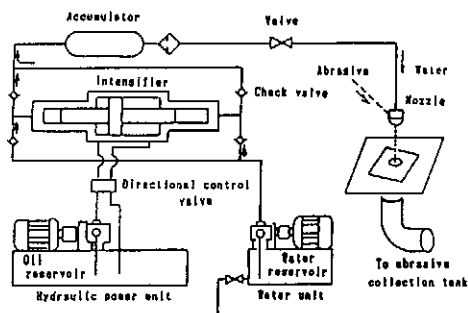
Table 1 Cutting conditions with ANJ

Abrasive materials	Alumina			Garment
	#280	#500	#1000	#80
Abrasive flow rate / ml·min ⁻¹	0.6	0.6	0.2	0.2
Delivery pressure / kgf·cm ⁻²	2000	2000	2000	2000
Quantity of water supply / ml	0.4	0.4	0.25	0.4
Quantity of abrasive particle / ml	1.5	1.5	0.8	1.5
Stand off / mm	2	2	2	2
Cutting speed / mm·min ⁻¹	100-1000	100-1000	10-100	100-1000

Alumina (#280, HV=3000) garnet #80, HV=1900

Table 2 Physical properties of amorphous alloys

		2605-S2	2826MB
Composition	/at%	Fe=83, Si=17	Fe=81, Ni=19
Density	g/cm ³	7.2	8.02
Saturated magnetic flux density	T	1.5	8.8
Crystallization temperature	T/°C	541	410
Maximum stress	GPa	1.6	1.1
Maximum strain	%	2.0	4.4

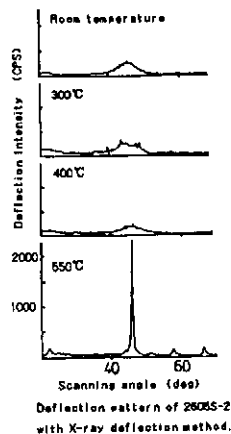


Block diagram of an ANJ cutting machine.

3. 実験結果

3-1 アモルファス材料の基礎特性

非晶質金属の成形加工技術を開発することを目的に、まず基本的な機械的性質として応力ひずみ曲線のひずみ速度依存性、温度依存性を調べた。各温度条件でのX線回折分析結果を図2に示す。室温においてはピークが発生せず、非晶質金属の特性を保っているが、550℃ではほぼ完全に結晶

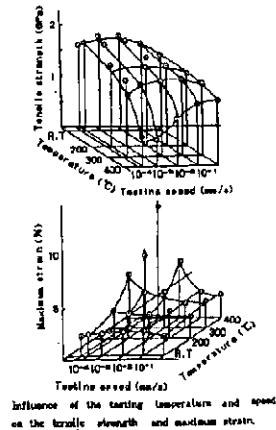


Deflection pattern of 2805S-2 with X-ray deflection method.

化している。図3にひずみ速度と加熱温度による、引張強さ、最大ひずみを示す。室温においてはひずみ速度による引張強さの変化はほとんどみられないが、200°C、300°Cと温度が上昇するにしたがって、速度低下とともに引張強さの増大がみられる。400°Cにおいては速度低下にしたがい、塑性ひずみが増大し、さらに速度が低下すると脆性域から延性域に入るために極端な伸びの増加がみられ、最大応力は大きく減少する。以上に述べたように低ひずみ速度において、機械的特性の温度依存性は大きくなる。引張強さはひずみ速度 1.38×10^{-2} 、 1.38×10^{-3} /s においては温度による変化はほとんどないが、 1.38×10^{-4} 、 1.38×10^{-5} /s においては、300°Cを超えると伸びが大きくなり、最大応力は急激に下がる。最大ひずみは、いずれのひずみ速度においても温度による増加がみられる。低い速度においては10%を超えるものもあるが、装置内の移動距離に制限があるため破断に至るまで引張試験を継続できなかった。この試験で400°Cで9%ひずみを与えた試料をX線回折で分析した結果では、結晶化が進んでいなかったことから、結晶化温度以下で加熱を行い、低ひずみ速度で加工すれば大きな塑性ひずみを与えることが可能である。しかし、加工後の試料は脆化するため、加熱せずに加工できる方法が望まれる。

3-2 各種切断方法

図4に各種切断方法による、非晶質金属箔の切断面性情および断面形状を示す。エッチングによ



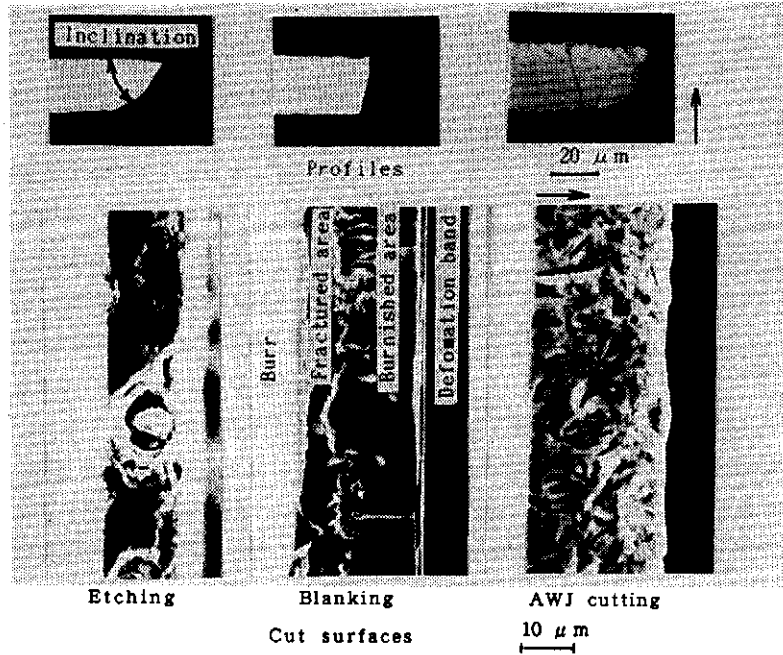
Influence of the starting temperature and speed on the tensile strength and maximum strain.

る方法ではエッチング液が最初にかかる表面側にだれに相当する丸みが発生し、切断面の角度は小さく、表面と裏面の寸法差が大きい。また、断面性情は良くない。しかし、バリは発生しない。打抜き加工では、変形模様によるだれ、工具と被加工材のこすりによるせん断面、破断面、バリ等が観察された。大きな変形模様は、割れ(欠け)などの原因となる。断面形状は3方法の内が一番良かった。しかしながら、打抜きによるせん断面は電子線回折により検査をしたところ、結晶化していた。ウォータージェットによる切断面は、アブレイシブによるキズが出来るが、X線回折による測定では結晶化していなかった。切断面の角度は、エッチングと打抜きの間位であった。

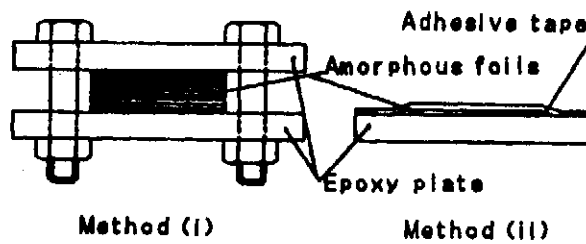
3-3 板押え条件

薄い材料を切断する場合、ジェットによる材料の振動を防止するために2種類の方法で板押えを行なった。それぞれの板押え方法を図5に示す。1)は、アクリルの板(板厚2mm)で上下より材料を挟み、4本のボルト(M5)で固定した。2)は、アクリルの板に材料を置きセロテープで固定した。図6は、各板押え条件による切断面の形状を比較したものである。1)は、2)に比べ面形状がフラットになっている。2)の場合ジェットのあたる面でダレたような面になっているが、これは、板押えが不十分であったため材料が振動して断面部の広い範囲でジェットに触れたためと考えられる。図7は、板押え条件(1)と2)と、板押え条

Abrasive sizes : # 500.

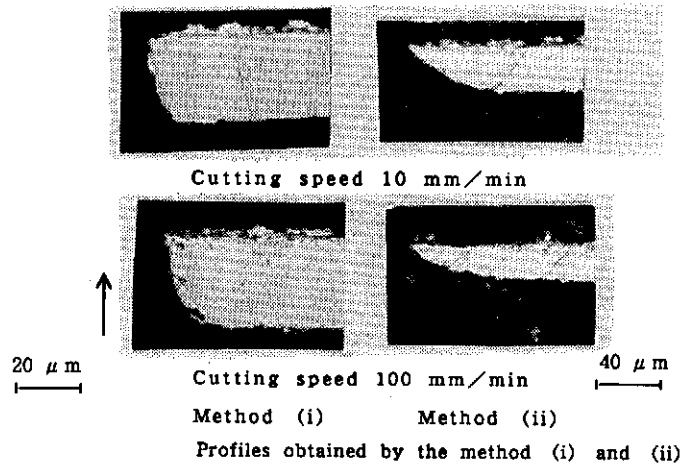


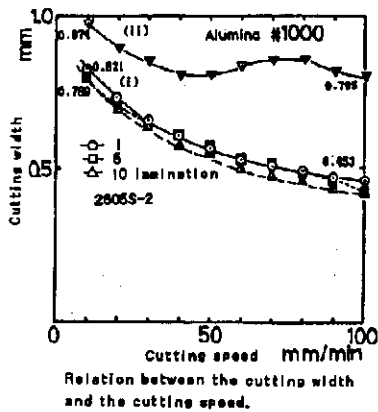
Profiles and surfaces by the different cutting methods.



Fixing methods for AWJ cutting.

Lamination number : 1



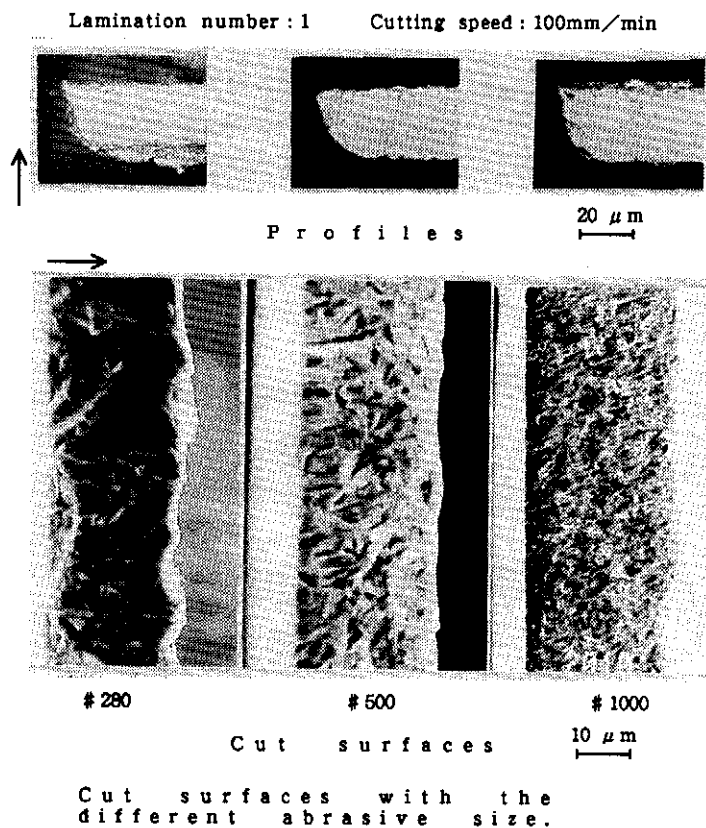


件1)で重ね切断を行なった場合の1枚目、5枚目、10枚目の切断幅をそれぞれの切断速度によって比較したものである。1)の条件では、切断速度が速くなるにしたがって、幅が狭くなる傾向を示し、同じ切断速度では、1枚目と10枚目との切断幅には差がほとんど無く、重ね切断での切断速度による切断幅の予測が可能である。2)の条件では、切

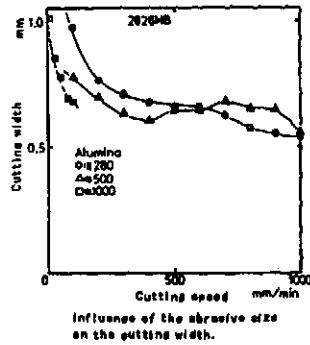
断速度の増加による切断幅の減少は明らかではなく、予測が困難である。今後の切断実験では、板押え条件による切断実験を行なった結果から、薄い材料を切断する場合にジェットによる材料の振動を防止するため、板厚2mmの亚克力板で上下よりサンドする方法で板押えを行なった。

3-4 アルミナ粒径による比較

ウォータージェットに供給するアルミナ粉末の粒径を変えて切断面の断面形状および表面性状を比較したものを図8に示す。アルミナ粒径が#280から#1000と細かくなるにしたがって、切断面にできるキズは小さくなる。#280での切断面形状で見られるバリも#1000ではほとんどなくなる。一般に切断速度を小さくすれば切断深さが大きくなり、同じ板厚の場合には、切断面が平滑になるとされている。しかし、非晶質金属箔は板厚が $28\mu\text{m}$ と薄いため、一枚切断に関しては切断深さに関する能力は問題とならない。それに比べ



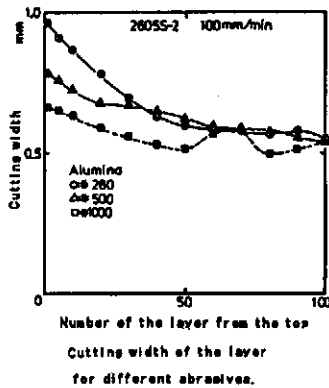
て切断後の製品寸法精度が重要となる。そこで、切断速度と切断幅の関係について調べた。図9にアルミナ粒径および切断速度による切断幅を示す。#1000は#280、#500に比べ、アブレイシ



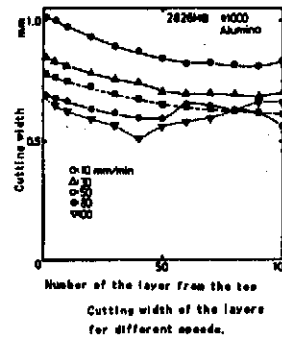
ブノズルの径が小さいので切断幅の絶対値で比較はできないが、切断速度が同じ場合、研磨材の粒径が小さいほど切断幅は狭くなっている。また、切断速度が速くなるにしたがって切断幅は狭くなる傾向を示し、切断速度が60mm/min以上になると、切断幅が不安定となり切断中に幅が変動するようになっている。一方、切断速度がおそくなると、切断幅はアブレイシブノズル径の寸法に近づく。

3-5 重ね切断

以上の実験では1枚ずつ切断を行なったものである。ウォータージェット切断法の問題点の一つとしてランニングコストの高いことがあげられる。この問題を解決するため非晶質箔の重ね切断を行なった。図10に切断速度一定とし、アルミナ粒径を変えたときの切断幅を示す。100mm/



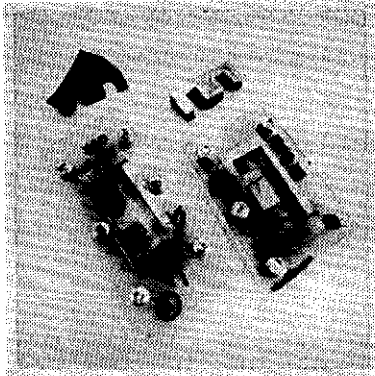
min の速度で10枚重ねて切断した場合は、積層された箔の位置により切断幅の差は生じなかったが、100枚重ねると下層の箔ほど切断幅が狭くなる。#280と#500のアルミナの場合には100枚の重ね切断が可能であり、このときの生産性はプレス加工より僅かに低い程度と考えられる。しかし、#1000のアルミナでは50枚目以降の切断幅にばらつきが見られることから、この条件での切断限界は50枚程度と考えられる。図11にアルミナ粒径(#1000)を一定とし、100枚重ねて切断した場合の、切断速度による切断幅を示す。切断



速度が遅い場合、積層された箔の下層ほど切断幅が狭くなっていくが、切断速度が速くなると図10で示したように、切断幅にばらつきが見られるようになる。この現象は、切断速度が遅いほど積層された箔の上層部に表れる。それぞれの切断速度での切断限界は、80mm/min、100mm/minにて50枚、40枚であった。

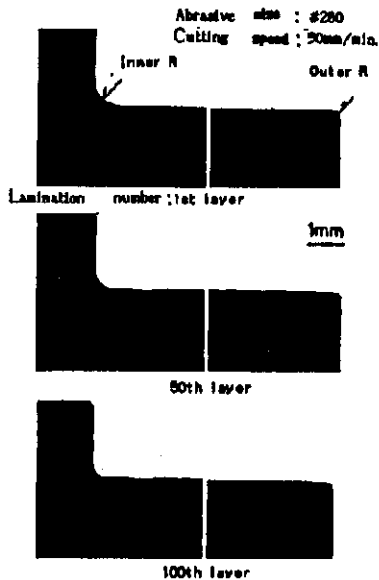
3-6 E型コアの切断

本実験に使用したアモルファス材料は、Fe系であり主にトランス用コアとして有望視されている。そこで、実際に用いられるE型コアの切断を行ない、コーナーRやその他の寸法精度について調べてみた。図12の写真は2mm厚の亚克力板で100枚の非晶質箔を挟んで切断した例である。アモルファスを100枚重ね、アルミナ#280で切断速度を比較的遅くした条件で切断すると、図13に示すように50枚目、100枚目と下層になるにしたがって、直角な外側コーナーは丸くなり、内側コーナーRは小さくなる。E型コアの積層切断で



Photograph of the E-type core and its fixtures.

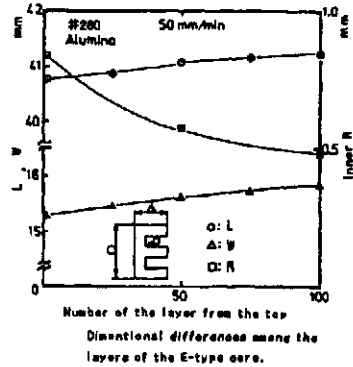
(Iron base, 2805S-2)



Photographs of the inner and outer corner.

得られた寸法をまとめて図14に示す。これらの結果は、当初予測していたものより良好であり、今後の研究開発によりこの切断法が十分実用に供し得る技術となることが期待される。

4. まとめ



ウォータージェットを用いて非晶質合金箔を切断した結果、以下のことが分かった。

- ・薄い材料を切断する場合には、板押えをしっかりと行う必要がある。

- ・アルミナ粒径が大きい場合には、プレス金型で打ち抜いた時に発生するバリのようなものが発生するが、粒径が細くなるにしたがって発生はおさえられ、切口面はきれいになる。

- ・切断速度がおそくなると、切断幅はアブレイシブノズル径の寸法に近づく。

- ・10枚の重ね切断を行なうと、1枚目と10枚目で切断幅にほとんど差が生じない。しかし、100枚重ねでは切断幅に差がみられた。優れた機能を有する新素材は、加工という側面から見ると、機能を維持する必要性や機能自身がマイナスに作用する等の理由により難加工材であるものが多い。非晶質材料もその一つであり、非平衡材料の特性を損なわないためには、ウォータージェットによる切断が最適と考えられる。ウォータージェットによる非晶質合金箔の切断に関する研究はスタートしたばかりであり、今後の研究の発展によって利点、問題点がさらに明かにされるものと思われる。