

北海道大学工学部 ○越田 仁 柴田隆行 高橋義美 牧野英司 池田正幸
(株)小坂研究所 松本文雄

要 旨

ビーム形状が、ブレイキング速度に及ぼす影響を検討した。ビーム幅を小さくすると、ブレイキングに必要な最小の照射エネルギー密度は小さくなる。ブレイキング速度は、ビーム長さに比例する。楕円形ビームの長径をスクライブ線に平行に照射すると、パワー密度 4 W/mm^2 のとき最大ブレイキング速度は 340 mm/s となった。

1. はじめに

前報¹⁾までに、ブレイキング品質の向上およびブレイキングの高速化における裏面照射の優位性について報告した。本報では、この条件で、ビーム形状(楕円形あるいは円形)およびビームの大きさがブレイキング速度に与える影響について検討した。

2. 実験装置および方法

実験装置は前報と同一である。超硬製のローラ型チゼル(先端角度 131° 、平均先端半径 $1.3 \mu\text{m}$)を使用し、荷重 4.0 kgf 、速度 100 mm/s でスクライビングを行い、深さ方向に約 1.0 mm のクラックが入ったブレイキング試料を使用した。低出力 (20 W 以下)

実験は前報と同じ装置を使用し、高出力 (20 W 以上) の実験では、大出力 CO_2 レーザ加工機を利用した。照射ビーム形状は表1のものを用い、スクライビング線の裏面から CO_2 レーザビームを照射した。ガラス試料は厚さ 1.1 mm のコーニング社製 7059 ガラスである。

3. 実験結果および考察

3.1 ビーム長さの影響


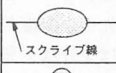

図1は、パワー密度 0.8 W/mm^2 一定のとき、短径 2.5 mm 一定の平行楕円のビーム長さと最大ブレイキング速度の関係である。照射ビームのスクライブ線方向の大きさをビーム長さとする。最大ブレイキング速度 (v) は、ビーム長さ (L) にほぼ比例している。この直線関係からスクライブ線上に照射される時間 (t) は、 $t=L/v$ として計算することができ、約 0.24 sec 一定である。照射エネルギー密度は、パワー密度と照射時間との積で与えられ、この場合、約 0.19 J/mm^2 一定の値である。これは、最大ブレイキング速度のときの、ブレイキング可能な最小の照射エネルギー密度とみなすことができる。

3.2 ビーム幅の影響

図2は、長径 12.5 mm 一定の平行楕円ビームを照射し、短径 ($1 \text{ mm} \sim 5 \text{ mm}$) を変えたときのパワー密度と最大ブレイキング速度の関係である。照射ビームのスクライブ線に直交方向の大きさをビーム幅とする。ビーム幅にかかわらず、パワー密度と最大ブレイキング速度は比例している。これより、ブレイキングに必要な照射エネルギー密度を計算すると、ビーム幅が大きくなるにしたがい 0.48 J/mm^2 、 0.16 J/mm^2 、 0.12 J/mm^2 、 0.10 J/mm^2 と小さくなっている。

図3は、同じパワー密度 (1 W/mm^2 、 2 W/mm^2) で、長径 12.5 mm 一定とした平行楕円のビーム幅と最大ブレイキング速度の関係である。図中の数字は、スクライブ線上の一点を照射している時間を表している。ビーム幅を大きくすると、 $1 \text{ mm} \sim 3 \text{ mm}$ では最大ブレイキング速度は増加しているが、 $3 \text{ mm} \sim 5 \text{ mm}$ では飽和する傾向を示している。

表1 照射ビーム形状

	円形ビームの中心がスクライブ線上を移動する	円ビーム
	楕円形ビームの長径がスクライブ線上を移動する	平行楕円ビーム
	楕円形ビームの短径がスクライブ線上を移動する	垂直楕円ビーム

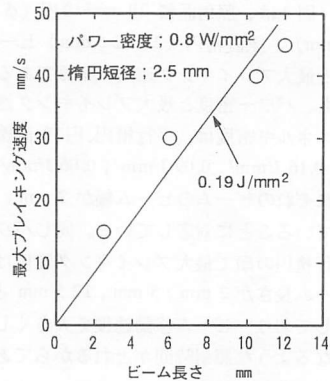


図1 ビーム長さと最大ブレイキング速度の関係

レーザー光を照射すると、縦クラック先端に厚さ方向の急激な温度勾配ができる。このとき熱膨張により引張応力が生じ、その力が縦クラックを成長させるために必要な力以上になったときブレイキングがなされる。

パワー密度、ビーム幅が同じ場合には、ブレイキング速度を大きくすると、照射時間が短くなるためクラック先端の温度勾配が小さくなる。このため、発生する引張応力は小さくなる。また、パワー密度、ブレイキング速度が同じ場合には、クラック先端の温度勾配はほぼ同じであるから、ビーム幅を大きくすると、スライブ線に直交する加熱幅が大きくなるため、全体としてのひずみ量が増加する。その結果、より大きな引張応力が発生する。このことから、ビーム幅を大きくすると、ブレイキング速度を大きくできるのは、ビーム幅が小さい場合に比べ、加熱幅が大きいためクラック先端の温度勾配がより小さくてもクラックを成長させるための十分な引張応力が得られるためと考えられる。しかしながら、ビーム幅 3 mm 以上ではブレイキング速度が飽和する傾向を示している。これは、ビーム移動速度を大きくしすぎると照射時間が短くなり、クラック先端の温度勾配が小さくなりすぎるため、加熱幅を大きくするだけでは十分な引張応力が得られなくなるものと考えられる。パワー密度 2 W/mm^2 では、クラック先端に必要な温度勾配を発生させるための照射時間は約 0.05 sec となっている。

3.3 ビーム形状の影響

図4は、照射面積 20 mm^2 の円 ($\phi 5 \text{ mm}$)、平行楕円 ($12.5 \times 2 \text{ mm}$)、垂直楕円 ($2 \times 12.5 \text{ mm}$) ビームを照射したときのパワー密度と最大ブレイキング速度の関係である。いずれのビーム形状においても、パワー密度と最大ブレイキング速度は比例しており、最小の照射エネルギー密度は、平行楕円、円、垂直楕円形ビームに対してそれぞれ 0.16 J/mm^2 , 0.09 J/mm^2 , 0.06 J/mm^2 と計算される。このことは、それぞれのビームのビーム幅が 2 mm , 5 mm , 12.5 mm と大きくなっていることに対応している。同じパワー密度では、垂直楕円、円、平行楕円の順で最大ブレイキング速度は大きくなっている。これは、ビーム長さが 2 mm , 5 mm , 12.5 mm と大きくなっていることに対応しており、ビーム移動速度を大きくしても最小の照射エネルギー密度となるような照射時間がとれるからである。

4. おわりに

- (1) パワー密度を高くすると、ブレイキング速度は速くなる。しかし、サイドクラックや表面溶融などが生じるためパワー密度には上限がある。
- (2) ビーム長さとブレイキング速度は比例する。
- (3) ビーム幅を大きくすると、ブレイキングに必要な最小の照射エネルギー密度は小さくなる。
- (4) クラックを成長させるためには、クラック先端に引張応力を発生させる温度勾配を形成することが重要であり、そのために必要なビーム照射時間が存在する。

参考文献

- 1) 森^{ほか} : 1992年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集p950
- 越田^{ほか} : 1993年度精密工学会春季大会学術講演会講演論文集p981

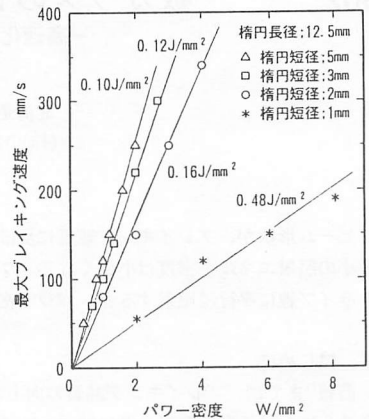


図2 平行楕円ビームにおけるパワー密度と最大ブレイキング速度の関係

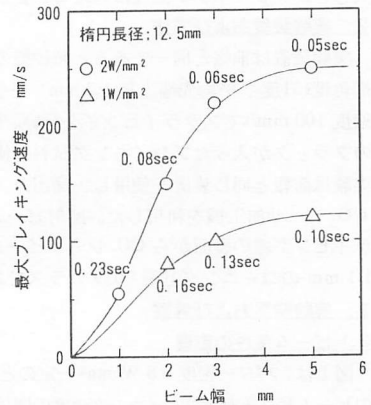


図3 平行楕円ビームのビーム幅と最大ブレイキング速度の関係

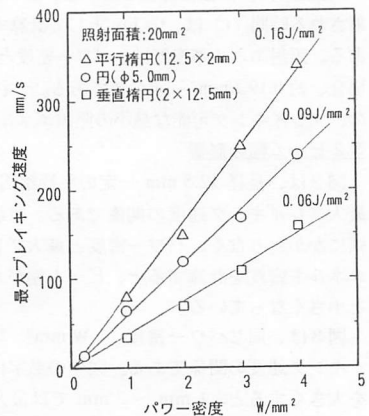


図4 各ビーム形状におけるパワー密度と最大ブレイキング速度の関係