水ミスト冷却による冷却効果の定量的評価に関する研究

A study of the quantitative evaluation of the cooling effect by water mist coolants during grinding

正 加藤 泰生（山口大理工院），○学 高崎 靖規（山口大理工院），正 葛山 浩（山口大理工院）

Yasuo KATOH, Yamaguchi University, 2-16-1, Tokiwadai, Ube-shi, Yamaguchi, 755-0097 Japan

Yasunori TAKASAKI, Yamaguchi University, 2-16-1, Tokiwadai, Ube-shi, Yamaguchi, 755-0097 Japan

Hiroshi KATSURAYAMA, Yamaguchi University, 2-16-1, Tokiwadai, Ube-shi, Yamaguchi, 755-0097 Japan

Key Words: Water mist, Coolants, Evaporative, Latent heat, Additional materials ($C_6H_7O_6Na$)_n

1. 緒言

研削時に発生する熱の除去を目的として、研削油剤を使用した様々な冷却方法が確立されてきた。しかし、この冷却方法は、環境への悪影響などの問題点がある。そこで、本研究では従来に比べ、環境負荷が小さく、同等以上の冷却効果を得ることができるミスト冷却に注目し、新しいクリーンな研削技術の提案を目指している。これまでの研究では、研削油剤における「冷却効果」を水ミストで代替し、水ミストを研削面に供給することで研削面での冷却ができることを示唆した。⁽¹⁾また、研削油剤における「潤滑」の機能については、低濃度でも高い粘性が得られるアルギン酸ナトリウム(以下化学式($C_6H_7O_6Na$)_nで表す)を加え、水ミストの粘性を増加させることで、摩擦熱が抑制されることがわかった⁽²⁾。但し、潤滑効果は定量的に示したが、冷却効果は定量的に示してなかった。そこで、冷却作用を定量的に評価するためには、蒸発潜熱と加工部への供給量の2つのパラメータが必要となる。その為、まず蒸発潜熱を求める方法及び結果を評価し、次に冷却効果を定量的に評価していくことを本報では目的としている。

2. 蒸発潜熱測定方法の原理及び測定手順

2-1. 方法Ⅰ

溝田⁽³⁾によるゼオライトの水和熱測定に用いられた断熱型水蒸気水和熱量計の原理を参照し、図1に示す装置を製作した。また、外気の影響を少なくするために恒温ボックス内に装置を設置した。本方法を方法Ⅰとする。

この装置では、蒸発と凝縮の過程で潜熱が等しい事を利用し、以下の手順で、蒸発潜熱を算出する。

まず、($C_6H_7O_6Na$)_n 水溶液をヒーターで一定温度に加熱し気化させ、周囲が水で覆われている真鍮の容器(図1におけるA)の部分で凝縮させ、周囲と温度を均一にする。その際に生じる潜熱Lと顕熱Sを水の比熱と温度上昇で換算する。また、水の温度上昇に使われたエネルギーQは凝縮、水と均一温度になる際に放出された顕熱の全エネルギーの量と等しくなる。エネルギーQを凝縮量mで割り、顕熱Sを引くことで蒸発潜熱Lは算出できる。よって、以下の式で表すことができる。

$$Q = c_w M_w \Delta T + c_b M_b \Delta T \quad [J] \quad (1)$$

$$L = \frac{Q}{m} - S \quad [J/g] \quad (2)$$

但し、 M_w (=300 g)、 M_b (=333.9 g)は水と真鍮それぞれの質量、 c_w 、 c_b は水と真鍮の比熱、 ΔT は測定部の温度変化を表すものである。水及び真鍮の比熱、質量は予め分かっているの

測定部温度上昇及び凝縮された($C_6H_7O_6Na$)_n 水溶液の質量を測定すれば、蒸発潜熱を得ることができる。

Fig. 1 Measuring equipment method I

2-2. 方法Ⅱ

蒸発による冷却量を直接測定する為に方法Ⅱとして図2に示す装置を製作した。測定は、φ60mm、厚さ12.7mmの銅円板上であり、水滴を落とした際、蒸発気体の層が液体の下に生じて熱伝導を阻害するため、液体が瞬時に蒸発してしまうのを妨げるライデンフロスト現象が起こると考えられる為、面中央にはφ60mm・深さ4mmの凹状のくぼみを作製した。また、銅円板の側面及び下面は、1次元方向の熱流れとする為、断熱材であるルミボードを使用している。図2の銅試験片において×点に示される位置(中心から半径方向へ10mm間隔の上面と下面8点)にK型熱電対を設置し、データロガーにより温度測定をする。

まず、マイクロヒーターで試験片を加熱し、その後加熱を止め周囲へ自然放熱を開始し温度測定を行う。一回目は基準温度を測定するため($C_6H_7O_6Na$)_n 水溶液は滴下せず、自然放熱による温度変化をデータロガーにより記録した。この時の温度変化を記録1とする。冷却されたら再度試験片の加熱を行い、自然放熱を行う。自然放熱の間に($C_6H_7O_6Na$)_n 水溶液を1滴、滴下する。この時の瞬時の温度変化をデータロガー

により記録 2 として記録した。

次に、蒸発潜熱の算出方法について以下に示す。まず、記録 1 と 2 を用いて、溶液の滴下前後で生じる温度低下 ΔT を求める。求めた温度差に銅の熱容量 C を掛けて、 $(C_6H_7O_6Na)_n$ 水溶液の供給量 m で割り、顕熱 S を引くことで蒸発潜熱 L を算出する。よって、蒸発潜熱は、

$$L = \frac{C\Delta T}{m} - S \quad [J/g] \quad (4)$$

と表すことができる。

Fig. 2 Measuring equipment method II

3. 実験結果及び考察

実験結果は方法 I と II 共に図 3 に示す。 $(C_6H_7O_6Na)_n$ は沸点が大気圧で 494~496℃と水に比べて非常に高いため、蒸留され水と同じ値をとると予想された。しかし、方法 I の結果は、 $(C_6H_7O_6Na)_n$ 水溶液の蒸発潜熱の方が水に比べて 1~2 割程度低い値となった。 $(C_6H_7O_6Na)_n$ 水溶液の様に粘性のある水溶液では、この測定方法 I の様に凝縮部から蒸発潜熱を算出することは出来ないのではないかと考え、蒸発部から直接蒸発潜熱が測定可能な測定方法 II を試みた。

$(C_6H_7O_6Na)_n$ 水溶液で行った実験より算出された蒸発潜熱を図 3 に示す。装置 I の値は約 15%低い値となるのに対し、装置 II での実験結果の値は水の蒸発潜熱とほぼ同等を取ることが分かった。必ずしも方法 II が良いとは言えないが、方法 I は蒸気漏れ、定常状態維持の困難など問題点も多く、より信頼の足る値と思われる。

次に以前の研削実験における供給量⁽²⁾より、冷却効果をそれぞれの濃度に関して算出し、図 4 に示す。 $(C_6H_7O_6Na)_n$ 水溶液の冷却効果は濃度が大きくなるにつれ、低下することが示唆された。これは、 $(C_6H_7O_6Na)_n$ を添加することで溶液の粘性が大きくなり超音波霧化器によるミスト発生量が小さくなる為、それに伴い冷却効果も低下したと考えられる。更に研削における被削物の温度低下は、 $(C_6H_7O_6Na)_n$ 水溶液の蒸発潜熱及び顕熱により熱を奪う冷却効果と摩擦を低減し発生熱を抑える潤滑効果から起因していると予想される。

これから、 $(C_6H_7O_6Na)_n$ 水溶液ミストでの冷却は水ミスト冷却に比べ、冷却効果は向上せず潤滑効果が大きく影響を与えていることが考えられる。そこで次に、潤滑効果に関して算出を行った。

図 4 で示した冷却効果から被削材から流出する熱流束 q_c を算出し、研削温度から逆問題解析⁽²⁾によって得た総合的減熱量 q_s との差が潤滑効果によるものだと仮定を置くことで潤滑効果 q_l を次式により定量的に見積もった。

$$q_l = q_s - q_c \quad [W/mm^2] \quad (5)$$

と表すことができ、各加工条件での結果を表 1 に示す。表より有意な潤滑効果の存在が定量的に示される。

Fig. 3 Measuring result from method I, II

Fig. 4 cooling effect

Table 1 Among heat reduced cooling effect and lubricating effect

	Average cooling effect [W/mm ²]	Average lubricating effect [W/mm ²]
Dry	0	0
Mist	6.3	4.9
Water solution of (C ₆ H ₇ O ₆ Na) _n (0.04[wt%])	6.2	22.2
Water solution of (C ₆ H ₇ O ₆ Na) _n (0.1[wt%])	5.4	10.4

4. 結言

本研究では、熱量計を作製し蒸発潜熱の測定を試み、研削加工時の冷却効果を定量的に評価した。その結果、水ミスト加工、 $(C_6H_7O_6Na)_n$ 水溶液ミスト(0.04wt%)加工で共に約 6W/mm²の冷却効果ありと評価できた。また、逆問題解析を利用することで潤滑効果の存在が定量的に評価できることが分かった。

参考文献

(1) 松尾・他 2 名, 機講論, No.044 (2006), pp243
(2) 弓立一哉, 山口大学修士論文 (2009)
(3) 溝田 忠人, 日本セラミックス協会学術論文誌, Vol.109 (2001), pp874-881