

文章编号:1000-582x(2001)04-0064-03

# 冰粒射流及冰粒制备

张东速,刘本立,刘力红

(淮南工业学院,安徽省淮南市 232001)

**摘要:**建立了冰粒射流系统。通过所进行的脱漆试验,考察了冰粒的流量、温度、粒径等3个参数对脱漆效果的影响。结果表明,冰粒射流可以在较低的喷射压力下达到脱漆功用。同时提出一连续制备冰粒方案,并对其进行了理论分析及计算。

**关键词:**冰粒射流;脱漆;冰粒制备

**中图分类号:**TQ639.2

**文献标识码:**A

冰粒射流的原理基于磨料射流。但磨料的使用带来一些问题,首先,由于磨料的消耗量大,对磨料的处理和回收提出了较高的要求;其次,磨料射流会在加工表面残存大量的微细磨粒,不适应表面清洁度要求高的场合<sup>[1]</sup>。为避免上述问题,使磨料射流这种技术的应用领域得到进一步扩大,可用冰粒替代磨料形成冰粒射流,利用具有一定硬度的冰粒对物体表面产生的冲蚀和磨削作用进行清洗、脱漆和切割等作业<sup>[2]</sup>。

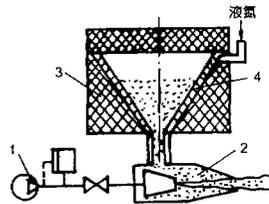
## 1 冰粒射流系统

### 1.1 系统原理图

冰粒射流顾名思义就是将制备好的冰粒加入到流体射流中形成的。在磨料射流中,磨料的加入方式有两种,一种是在流体喷射之前加入(前混合式);一种是在流体喷射之后加入(后混合式)。根据冰粒易融化等特点,采用后混合式且利用压缩空气来引射冰粒从而形成冰粒射流。其系统原理示意图如图1所示。

### 1.2 脱漆试验

利用此系统进行了脱漆试验,目的是考察冰粒的粒度、温度、流量这几个参数对脱漆效率的影响。脱漆效率以单位时间内去除漆皮的面积加以衡量。采用铝板作为试件,其表面用调和漆均匀涂抹,并晾晒一段时间后使用。空压机的额定压力为1.0 MPa,产生的压缩空气以30 m长的橡胶管与引射喷头相连。由于输气管道较长,因而系统的压力降得较大。经实测气喷嘴处的压力为0.1 MPa。其他试验条件:横移速度  $V = 80$



1-空压机 2-引射喷头 3-保温漏斗 4-液氮

图1 冰粒射流系统原理示意图

mm/min,喷射距  $S = 50$  mm,环境温度  $T = 16^{\circ}\text{C}$ 。

### 1.3 试验结果及讨论

试验结果如图2~图4所示。

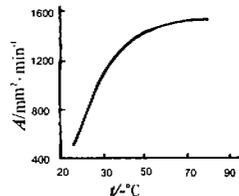


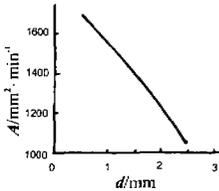
图2 冰粒温度对脱漆效率的影响

由图2可得,脱漆效率随着冰粒温度的降低呈递增趋势,但当温度达到一定值后,再降低温度则脱漆效率变化不大。由于冰粒温度越低,其制备的时间及难度相应增大,因此在能达到使用目的的条件下,不必要

• 收稿日期:2001-03-14

基金项目:国家自然科学基金资助项目(59575068)

作者简介:张东速(1958-),男,安徽太和人,硕士,副教授,主要从事高压水射流技术方面的研究与开发。



3 冰粒粒径对脱漆效率的影响

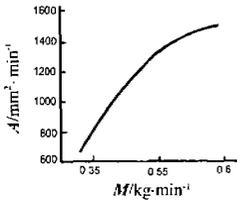


图4 冰粒流量对脱漆效率的影响

求过低的冰粒温度。图3表明,随着冰粒粒径的增大脱漆效率逐渐降低。但冰粒的温度对粒径有影响,如果冰粒的温度不够低,则粒径越小越易融化,用其进行脱漆,效率反而降低。图4表明,随着冰粒流量的增加脱漆效率逐渐增大。主要是由于单位时间内作用于试件表面的冲击次数增加,但过分增加冰粒流量会导致冰粒在混合腔内聚集,引起冰粒融化,所以对某一确定的引射系统而言,冰粒流量有一个最佳范围。

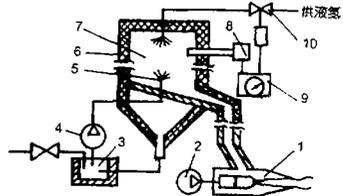
## 2 冰粒制备系统

如何制备出具有一定温度、粒径的冰粒射流的关键。冰粒制备大致分为两大类:一是用冰块破碎法制备冰粒;二是连续地制备出冰粒。破冰法制备冰粒的过程一般为先冷冻出大小适宜的冰块,再进行破碎,然后筛分出所需粒径的冰粒。破冰法工艺简单,易于实现,因此,首先采用该法制备冰粒,从而对冰粒射流进行了脱漆试验研究,得出了上述试验结果。但破冰法的缺点是不能连续地制出冰粒,且在破碎、筛分过程中冰粒易于融化。连续制备冰粒是指能够连续不断地直接制备出冰粒,即在完成水的液态到固态的相变过程中,使水滴成为固状的冰粒。作者提出一连续制备冰粒方案。

### 2.1 连续制备冰粒系统

连续制备冰粒系统原理示意图如图5所示。

本系统采用的制冷剂是液氮。其工作原理如下:液氮贮藏在液氮容器里,由低温软管以气态输入到



1-引射喷头 2-空压机 3-水箱 4-水泵 5-雾化喷嘴  
6-隔热层 7-制冰粒空间 8-热电偶 9-温度计 10-调节阀

图5 连续制备冰粒方案原理示意图

保温容器内,这样在保温容器内便形成一个深冷空间。此时开启低压水泵,则自来水经由雾化喷嘴喷出形成雾状射流,此雾状射流在深冷空间内经骤冷,从而形成冰粒。同时,压缩空气经喷嘴喷出,在引射喷头混合腔内形成局部真空,从而卷吸冰粒形成冰粒射流。

### 2.2 冷冻时间的计算

水滴冷冻至冰粒的过程是一个与时间有关的传热过程,属非稳态问题。但由于水滴很小,可以认为其内部温度分布是均匀的,故可应用“集中热容法”来求解水滴冷冻为冰粒的整个冷冻过程所需要的时间<sup>[3]</sup>。

由高压水射流技术可知:在一定的压力下,配备适当结构的喷嘴可以将水射流的压力能转化为细微水滴的速度能从喷嘴口喷出,使压力水得到雾化,从而得到所需要的水滴直径(平均直径)。按水滴平均直径  $D$  为  $1\text{ mm}$  计算,并假设所研究的每个水滴可作为单独的水滴处理,这样其数学模型可以简化为水滴受到氮气  $N_2$  的跨流冷却。假设氮气流体的温度为  $-100^\circ\text{C}$ ,速度  $u$  为  $2\text{ m/s}$ ,水滴的初始温度为  $18^\circ\text{C}$ ,要求冰粒温度为  $-50^\circ\text{C}$ 。则水滴冷却为冰粒的整个过程分为两个阶段,第一阶段为水滴温度从  $18^\circ\text{C}$  冷却到  $0^\circ\text{C}$ ;第二阶段为水滴冷冻成冰粒,温度从  $0^\circ\text{C}$  降到  $-50^\circ\text{C}$ 。

#### 2.2.1 计算平均放热系数 $\bar{h}$

采用兰茨(Ranz)和马歇尔(Marshall)的公式<sup>[3]</sup>

$$N_{D_0} = 2 + 0.6R_{D_0}^{1/2}P_r^{1/3} \quad (1)$$

式中,  $N_{D_0}$  和  $R_{D_0}$  分别为努谢尔数和雷诺数;  $P_r$  为普朗特数,其值为  $0.733$ 。

$$\text{又} \quad R_{D_0} = \frac{uD}{\nu} \quad (2)$$

其中  $\nu$  为氮气的运动粘度,其值为  $7.2 \times 10^{-6} \text{ m}^2/\text{s}$ 。

将各参数的数值代入(2)、(1)式,可得:

$$R_{D_0} = 277.78 \quad N_{D_0} = 11.02 \quad \text{则平均放热系数} \bar{h} = N_{D_0} \times \frac{k}{D} = 11.02 \times \frac{17.68 \times 10^{-3}}{1 \times 10^{-3}} = 194.83 \text{ W/m}^2 \cdot \text{K}$$

其中,  $k$  为氮气的导热系数。

### 2.2.2 第一阶段冷却所需的时间 $t_1$

由“集中热容法”得:

$$t_1 = \frac{\rho V C_p}{h A_s} \ln \frac{T_1 - T_\infty}{T - T_\infty} \quad (3)$$

假设水滴是球体, 其表面积  $A_s = \pi D^2$ , 体积  $V = \pi D^3/6$ ,  $T_1$  为水滴的初始温度 ( $18^\circ\text{C}$ ),  $T_\infty$  为氮气温度 ( $-100^\circ\text{C}$ ),  $t$  为水滴第一阶段冷却终止温度 ( $0^\circ\text{C}$ ), 由定性温度可得水的比热  $C_p = 4.198 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ , 水的密度  $\rho = 1000 \text{ kg/m}^3$ , 代入(3)式得:  $t_1 = 0.59 \text{ s}$

### 2.2.3 第二阶段冷冻所需的时间 $t_2$

将冰粒的初始温度  $t_i = 0^\circ\text{C}$ , 要求的冰粒温度  $t = -50^\circ\text{C}$ , 定性温度下冰的比热  $C_p = 2.095 \times 10^3 \text{ J/kg} \cdot \text{K}$ , 密度  $\rho = 917 \text{ kg/m}^3$ , 代入(3)式得:  $t_2 = 1.14 \text{ s}$

所以从  $18^\circ\text{C}$  的水滴冷冻为  $-50^\circ\text{C}$  的冰粒总共需要的时间为:  $t = t_1 + t_2 = 1.73 \text{ s}$

### 2.2.4 验算

要保证用“集中热容法”计算物体达到预定温度需要的时间所引起的误差很小, 则须使毕奥数小于等于  $0.1^{[3]}$ , 即:

$$B_i = \frac{\bar{h} L_c}{k} \leq 0.1$$

式中,  $L_c$  为特征长度, 对球体其特征长度为  $D/6$ ,  $k$  为水和冰的导热系数, 故

$$\text{第一阶段} \quad B_i = 0.049 < 0.1$$

$$\text{第二阶段} \quad B_i = 0.014 < 0.1$$

说明上述采用“集中热容法”计算冷冻时间是正

确的。

## 3 结 语

1) 对冰粒射流进行的脱漆试验结果表明, 在试验条件下, 采用压气引射方式, 在工作压力为  $0.1 \text{ MPa}$  时, 冰粒射流完全可以达到脱漆功用。另外, 本试验系统由于输气管道较长, 系统的阻力较大, 致使喷嘴出口的压力过低。如能减小内阻, 则可进一步提高脱漆效率。

2) 作者提出的连续制备冰粒方案可连续制出冰粒, 通过控制液氮的喷出量和雾化喷嘴的雾状流量, 便可控制冰粒的粒度、温度和流量。从应用的角度来讲, 这种连续制备冰粒的方法可以随时制备连续供应, 这比事先冷冻冰块再经破碎、筛分制成冰粒的方法先进得多, 只是液氮的喷出量和雾化喷嘴的雾状流量的大小尚需作进一步的试验研究加以确定。

### 参考文献:

- [1] Liu B L. The rotated injection abrasive jet rust cleaning system [A]. Proceeding of the 10th International Symposium on Jet Cutting Technology[C], 1990.
- [2] Li F, Geskin E S, Tsamenetskiy L. Development of ice jet machining technology [A]. Proceeding of the 8th American Water Jet Conference[C], 1995.
- [3] [美] F.P. 因克罗普拉, D.P. 德威特. 传热基础[M]. 北京: 宇航出版社, 1987.
- [4] 李文彬. 低温应用工程[M]. 北京: 兵器工业出版社, 1992.

## Ice Jet and Ice Preparation

ZHANG Dong-su, LIU Ben-li, LIU Li-hong

(Huainan Institute of Technology, Huainan 232001, China)

**Abstract:** An injection ice jet system has been studied and established. Through ice jet removing paint experiment, three parameters that influence removing efficiency such as flow, temperature, diameter are investigated. The experiment results come to the conclusion that ice jet can achieve removing paint in lower working pressure. Also a plan of preparing ice particles continuously has been put forward, and the analyses and calculations are done in terms of theory.

**Key words:** ice jet; paint removal; preparing ice particles