应用技术

电液压脉冲水气射流强化金属表面性能的机理及实验研究

裴江红[1]，唐川林[1]，张凤华[1]，廖振方[2]
（1. 湖南工业大学水射流实验室，湖南 株洲 412008；2. 重庆大学机械工程学院，重庆 400044）

［摘　要］ 为了满足生产中对于金属表面尺寸、形状和表面粗糙度等精度方面的更高要求，采用了电液压脉冲水气射流处理金属表面的新方法，对 W9Cr4V2 、CrW、Mn 、Cr12MoV 、9SiCr 、T10A 等工具钢及摩托车链轮进行了表面处理试验。经试验证明可以大大提高金属表面的硬度、零件的使用寿命及其受力情况。该试验表明利用电液压脉冲水气射流处理金属表面是一种值得推广的新方法。

［关键词］ 电液压脉冲；水气射流；硬度；应力
［中图分类号］TG668；TP69　　［文献标识码］A　　［文章编号］1001－3660(2007)03－0067－03

The Principle and the Laboratorial Research on the Surface of Metal Strengthened by the Electro-hydraulic Impulse Water-air Jet

PEI Jiang-hong[1], *TANG Chuan-lin*[1], *ZHANG Feng-hua*[1], *LIAO Zhen-fang*[2]
(1. The Modern Jetting Department, Hunan University of Technology, Changsha 412008, China;
2. Institute of Mechanical Engineering, Chongqing University, Chongqing 400044, China)

［**Abstract**］ In order to meet the more requirement with metal surface dimension, surface shape and surface roughness in produce, a new technology is adopted with electro-hydraulic impulse water-air jet processing metal surface, the material for test includes W9Cr4V2, CrW, Mn, Cr12MoV, 9SiCr and T10A. The experiment shows that it can improve metal surface hardness and prolong service life of parts and increase the stress. The electro-hydraulic impulse water-air jet is a new technology which should be popularized by the experiment.

［**Key words**］ Electro-hydraulic Impulse; Water-air jet; Hardness; Stress

0　引　言

随着科学技术的迅猛发展，对机械零部件提出了更高的要求；不仅是零件的尺寸、形状和表面粗糙度等精度方面，而且对力学特性也有更严格的要求。采用一般方法很难满足这两项要求。特别是具有复杂表面的零件或一些大零件。为此，提出采用电液压脉冲水气射流来处理金属表面的新方法，这也被实验所证明，这种方法可以大大提高金属表面的性能[1-2]。

电液压脉冲水气射流具有压力高（0～1000MPa）、射流作用的频率可调（0～20 Hz）、特别是射流作用在工件上的时间非常短（小于100μs）等特点。通过十多年来的研究和初步实验已经证明：利用电液压脉冲水气射流强化淬火后工具钢表面时，只是表层金属结构发生改变，硬度提高，金属表面的形状和尺寸精度几乎不发生任何改变。

［收稿日期］2006－10－31
［基金项目］湖南省教育厅重点资助项目（04A607）
［作者简介］裴江红（1973－），男，重庆垫江人，讲师，硕士，研究方向：射流理论及应用、机械设计及理论。

1　电液压脉冲发生器的工作原理

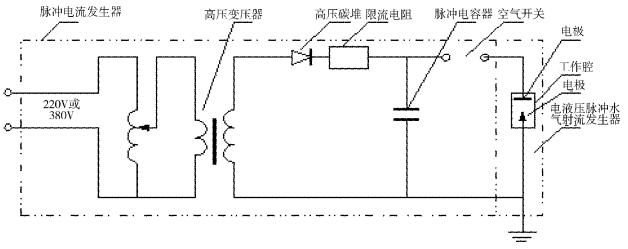


图1　电液压脉冲发生器的工作原理示意图

Figure 1 The diagram of working principle of electro-hydraulic impulsator

电液压脉冲发生器由脉冲电流发生器（包括高压变压器、高压硅堆、限流电阻、脉冲电容器、空气开关）和电液压脉冲水气射流发生器（包括由电极和组成的工作腔）两部分组成。正、负电极均为尖状。当施加在空气开关上的电压能击穿其空气间隙时，发生器中的一对电极也随之击穿，从而将贮存在电容器内的能量（10^3～10^6J）瞬间释放出来，在这一瞬间的能量密度将被提高到10^9J/m^3，形成等离子活塞并以每秒数十到数百米的速度向外迅速膨胀，压缩周围的不可压缩介质（水），此时所产生的冲击压力的峰值高达（10～1000）MPa。当空腔（等离子活

塞)内的压力小于外界压力时膨胀停止,但在惯性作用下液流会突然闭合而形成空化流(cavitation flow),迫使液流作反向运动,空腔内的压力又急剧增加,等离子活塞再次膨胀。这一过程将重复数次并随时间的增加而逐渐衰减 。放电时所产生的高压迫使水携带空气从特殊喷嘴射出,从而形成电液压脉冲水气射流 。只需调节输入电压就可改变水气射流的压力大小和它的发射频率(当电容和空气间隙距离不变时) 。

2 电液压脉冲水气射流发生器

2.1 电液压脉冲水气射流发生器的工作原理

水面距喷嘴出口有一定的距离,以便保证有一定数量的空气随水一起从喷嘴射出而形成水气射流。射流发生器垂直布置时,其结构如图 2 所示(图中 d 为水汽出口直径,α 为喷嘴内夹角)。射流发生器由腔室、螺栓、喷嘴、胶管、密封件、电极和联接板组成。高速摄影和激光测速仪所得的数据表明,沿射流断面有不同的速度。电液压脉冲水气射流的最大速度达 1500 ~ 2000m/s(当 $E=15$kJ 时),它比常规的高压水射流的平均速度高 2 ~ 3 倍。射流作用在工件表面所产生的脉冲压力为:

$$P_c = V_0\rho_0 C_0/[1+\rho_0 C_0/(\rho_2 C_2)] \quad (1)$$

式中,V_0 为射流的速度,m/s;ρ_0 为水的密度,kg/m^3;C_0 为声波在水中的传播速度,m/s;ρ_2 为工件的密度,kg/m^3;C_2 为声波在工件中的传播速度,m/s。

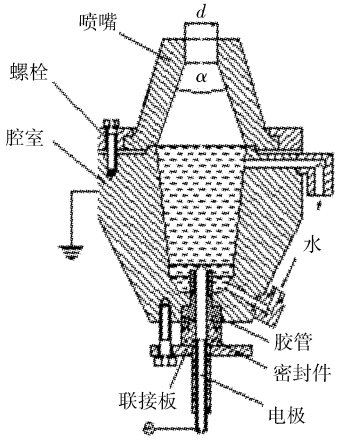


图 2 水气射流发生室的结构示意图

Figure 2 The structural sketch map of the water-air jet working chamber

根据对铁和它的合金的电液压脉冲水气射流强化的试验研究表明,大多数情况下铁基合金产生相变时均伴随硬度的急剧增加,在此压力范围内呈多晶转变。在分析电液压脉冲水气射流的强化机理时,可采用类似爆炸载荷分析问题时的某些假设。

2.2 电液压脉冲水气射流试验

2.2.1 工具钢应力实验前后变化变化特性[3]

利用电液压脉冲水气射流(压力低于 500MPa)对 W9Cr4V2、CrW、Mn 、Cr12MoV 、9SiCr 、T10A 等工具钢(未淬火)的表面进行强化,由于水气射流脉冲压力都超过了淬火工具钢的持久极限,作用时间又非常短暂(小于 500μs),故可将此过程视为绝热过程。在金属表层细分散相碳化物及碳粒的析出特别明显,残余奥氏体转变成马氏体,粗粒的马氏体变成细分相结构,残余应力重新分布,从过饱和的固体溶液中析出细分散相的碳化物、马氏体附加的冷作硬化作用等,使金属表层硬度和强度明显提高。经测定表面的显微硬度大约能提高 25% ~35%。根据电液压脉冲水气射流的能量大小,硬化层的厚度大约为 150 ~ 350μm。

电液压脉冲发生器的放电能量愈大,水气射流的动能也愈大,通过对 CrWMn 钢强化与压力之关系的研究发现,当射流压力超过 650MPa 时,在试件表面就会出现破损的残迹;用低压(150MPa)大流量强化时,时间稍长则会使表层软化(过冷作硬化),故建议最好使压力调节在 350 ~ 500MPa 范围内。当射流压力小于 100MPa 时,金属表层的硬度不发生改变,此时强化后的材料表层呈现压应力状态。碳钢的应力值由 +0.38kg/mm^2 变为 -16.67kg/mm^2,钛板由 -11.6kg/mm^2 变为 -20.36kg/mm^2,不锈钢由 +7.6kg/mm^2 变为 -38.23kg/mm^2。材料表面具有残余压应力,这种低压水气射流可用来提高工件的疲劳强度和增加抗应力腐蚀的能力。因为零件的疲劳破坏是先从表面上形成裂纹开始,这种裂纹又是交变拉应力造成的,强化后形成的残余压应力层,正好抵消了一部分零件工作中产生的拉应力,从而也能延长零件的疲劳寿命。我们可根据零件的用途,选择最佳的压力值。电液压脉冲水气射流的最大优点是它所产生的压力(0 ~ 1000MPa)可任意调节、而且非常简便,只需调节输入电压,就能根据工件的不同要求,获得所需的压力,从而完成对零件表面(包括复杂的曲面)的强化。

2.2.2 电液压脉冲水气射流作用后工件硬度、使用寿命试验

工件在电液压脉冲水气射流强化后经自然时效处理,测定微硬度在 90d 内的变化情况,发现在第 16d 到第 30d 之间,微硬度有明显降低的趋势,此后就稳定在一个高于初始值而低于最大值的数值上(高于初始值的 25% ~35%)。因此,建议工件在电液压脉冲水气射流强化后,最好在不低于室温下进行时效处理来提高其表层硬度。曾将零件表层的微结构在电子显微镜下放大 1000 倍进行观察,未查出晶粒发生变形,这说明电液压脉冲水气射流强化工件表面与喷丸强化的机理不同,它不影响工件的加工表面质量。

利用 CrWMn 钢制造的冲头进行了对比试验。电液压脉冲水气射流的主要技术参数为:电容 $C=45$μF,电压 $V=50$kV,能量 $E=50$kJ,水气射流喷嘴的工作容积为 400cm^3,空气与喷嘴出口之距离为 40mm,放电回路电感为 6 ~ 8μF。该冲头用于冲摩托车的链轮(俗称大飞),总共对 400 只冲头进行了试验,其中 20 只未作处理,它们的平均使用寿命为 3550 次,100 只冲头用 500MPa 压力的电液压脉冲水气射流进行强化,寿命达 5600 次,100 只用 300MPa 压力的电液压脉冲水气射流进行强化并在室温下放置 90d 作时效处理,冲头的寿命均在 5000 次以上。虽然试验的钢种有限,但仍显示了电液压脉冲水气射流强化 CrWMn 零件的良好效果。

3 电液压脉冲水气射流作用下材料变形特性

试验表明:电液压脉冲产生的脉冲压力作用于工件时,具有

3 个特点:1)应变速度高, 2)变形速度快(大约为 300m/s 或更高), 3)变形具有波动特点。

射流的脉冲压力也不是瞬间作用在工件的所有部分。在离作用点较远处,工件本体并未受到扰动,因为应变或应力在金属体中的传播是以一定的波速传播的。变形是由于拉伸和弯曲的塑性波的扩展所致。高速变形对承受脉冲载荷工件的物理力学特性有着重大影响。金属压力加工时,最感兴趣的是变形速度对工件塑性变形阻力和极限塑性的影响。大家知道脉冲变形条件下,金属的阻力使塑性变形增加,这反映在它的持久极限或强度极限增加,提高金属的变形阻力,当变形时间减小时,在许多情况下表现出屈服极限的延迟,它们既与材料的特性有关,也与作用的载荷特点有关。由于在脉冲载荷作用下屈服极限延迟,故在材料内有比在静载荷时更高的应力。这时,材料的变形机理可能发生改变或者导致整个变形发生重新分布。如果在静载荷作用下的变形机理主要是滑移,它们从最"薄弱"晶粒的最有利位置开始,多晶体形变的主要部分发生在晶粒间的边界滑移,那么,在高速变形时,边界滑移的作用大大降低,而孪生晶体和晶粒内的滑移成分大大增加。这时,脉冲载荷作用下晶粒内的滑移是多重性的,亦即是沿几个平面同时发生,这个效果可以根据位错的动力学理论来解释。

当射流以数百兆巴的压力作用于工件而且作用时间的数量级在微秒级时,将在多个滑移平面或孪生晶体产生很大的切向应力。在此载荷作用下就发生位错移动。位错移动的速度 v 与作用应力的关系为[4-5]:

$$v = v_0 \exp(-\tau_0/\tau) \tag{2}$$

式中,v_0 为声波在金属中的传播速度, m/s;τ_0 为产生每秒一厘米位错移动速度所需的应力值,对于给定的材料,它为一常数;τ 为作用在滑移面上的应力,N/cm^2;材料的塑性变形 ε 与位错移动的速度 v 成比例关系:

$$\varepsilon = \phi L b v \tag{3}$$

式中,$\phi \leqslant 0.5$,为斯米德定向因子;L 为在晶体的单位体积发生位错移动的总量,μm;b 为伯尔格斯矢量。

位错的移动速度对位错附近区域变形区的扩展有很大的影响,位错的特征宽度 λ 为:

$$\lambda = \lambda_0 \sqrt{1-(v/c_t)^2} \tag{4}$$

式中,λ_0 为位错的歪斜宽度,μm;c_t 为横波在固体中的传播速度,m/s。

从一个平衡位置转变到另一个平衡位置,位错所需克服的摩擦力(与位错宽度有关)为:

$$\tau = \frac{2G}{K}\exp\left[-\frac{2\pi}{K}\left(\frac{\lambda}{b}\right)\right] \tag{5}$$

式中,G 为剪切摸量,MPa;$K=1$ 是常数;b 为在垂直剪切平面方向上原子间的距离,μm。

因此,从公式(4)、(5)式可知,位错移动速度增大将使摩擦力或使金属发生塑性变形的阻力增加。这一现象乃是变形速度增加,变形阻力和强度增加的一个重要原因。

变形速度增加,强度提高的大小还与强化与软化现象有关。因为软化过程需要一定的时间才能使材料的内部状态和结构重组,因此软化延迟,而强化现象则使金属的变形阻力增加。

变形速度的提高还将引发更复杂的物理现象,例如屈服点延迟,表现在拉伸试验曲线上 $\sigma = f(\varepsilon)$ 出现屈服尖点(见图 3)。迄今,已有大量的试验数据和研究成果报道充分证明了变形速度对 $\sigma = f(\varepsilon)$ 有着很大的影响,并得出以下结论:

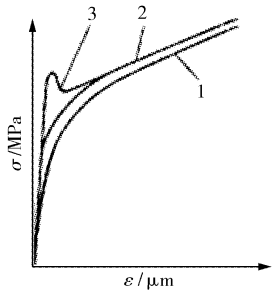


图 3　应力应变曲线 $\sigma = f(\varepsilon)$

Figure 3 $\sigma = f(\varepsilon)$

1) 动力曲线高于静力曲线(见图 3),但是在数量上则将随变形速度的增加,金属的变形阻力增加很不相同(必须指出:要比较它们非常困难,因为缺乏进行动态试验的统一方法,负载条件、材料的初始状态、表征金属在动载荷作用下的相关参数都不相同)。

2) 在任何条件下,变形速度的增加必将伴随变形阻力的增加;

3) 在变形阻力与变形速度之关系方面,易熔合金比难熔合金更重要;

4) 在 $\sigma = f(\varepsilon)$ 曲线的开始区段,变形速度的影响比较大;

5) 在对变形速度的敏感方面,合金要比纯金属小;

在 $\sigma = f(\varepsilon)$ 图上用屈服面积来表示材料屈服极限的增加时,则它有最大值。

[参 考 文 献]

[1] Liao Zhenfang. Design factors on electrohydraulic pulsed focus water jet Generator[A]. Proceedings on Water Jet in Beijing[C]. Cosha: Water Jet Technology Committee, 1987. 88-96

[2] 唐川林,张凤华,张晓琪. 电液压脉冲水射流强化金属表面的研究[J]. 株洲工学院学报, 2005, 19(4): 91-94

[3] 廖振方. 电液压脉冲射流最大出口压力的计算[J]. 高压水射流, 1991, (4): 42-47

[4] 廖振方. 利用电液压脉冲水-气射流强化模具表面[J]. 机械, 1990, (1): 15-19

[5] 廖振方. 电液压脉冲水气射流及其应用[J]. 高压水射流, 1989, (4): 6-16

专利名称:碱性蓄电池的芯体以及使用此芯体的电池

专利申请号:99815408.3　　**公开号**:1332890

申请人:东洋钢钣株式会社

地址:日本东京

本发明提供一种使用薄钢板且活性材料保持性优良的碱性蓄电池的芯体和使用该芯体的电池。此芯体通过在薄钢板上形成弥散有石墨的镍或弥散有石墨的镍合金镀层而构成。此合金镀层优选包括镍-钴合金、镍-钴-铁合金、镍-锰合金、镍-磷合金或镍-铋合金。由于其表面包含镍或镍合金和石墨,芯体具有凹凸状的表面,能充分地固定活性材料。