

等离子体金属表面硬化技术

郭 华 联

(四川大学原子核科学技术研究所)

等离子体金属表面硬化技术是利用等离子体对金属表面进行渗氮、渗碳和渗硼处理,以提高金属表面的硬度和耐磨、耐蚀、耐疲劳等性能。在七十年代初期,等离子体氮化商用设备投放市场,使这项技术进入了工业使用,现已成为一项成熟的技术。美国、英国、联邦德国和法国等已生产微机控制的等离子体氮化设备。

在表面硬化处理零件中,氮化约占20%,碳化约占80%^[1],因此等离子体碳化技术也发展起来,近年来开始进入工业应用,美国、法国和联邦德国等已建立了工业应用的微机控制等离子体碳化设备^[2]。

1984年5月在伦敦召开的金属学会热处理会议上,与会科学家和工程师讨论的中心议题就是涂层和等离子体金属表面硬化技术^[3],美国 Abar 公司市场和产品发展部主任 Jacobs 认为等离子体碳化是一种革命性的新技术,是热处理历史上的一件大事^[4]。

和传统的气体渗碳法相比较^[4-6],等离子体渗碳有以下优点:

(1) 缩短工件加工时间2—3倍,能耗减少一半,气耗降低5—100倍。

(2) 能精确控制渗碳量和渗碳深度,能对复杂几何形状的工件渗碳,渗碳均匀,无异常表面层出现,固体碳析出量小,渗碳深度可达2mm。

(3) 处理工件性能优于气体渗碳法,有高的硬度和疲劳强度,变形小,内应力小。对工件表面有自清洁作用,工件表面光亮。

(4) 无环境污染,不用进行后处理。能对工件进行部分处理,能处理大工件。能同时进行渗碳和形成 TiC, TiN 表面涂层,能处理一般钢和不锈钢。

(5) 应用范围广,如汽车、飞机、矿山机械中的齿轮、传动轴和刀具等。

1985年底,我国武汉热处理研究所研制的等离子体渗氮微机自动控制装置通过了鉴定。1985年6月,东北工学院研制成功60kW等离子体渗碳设备并通过鉴定,把我国的这项技术提高到一个新的水平。

一、原 理

利用等离子体技术对金属表面渗氮和渗碳的原理基本相同,下面以等离子体渗碳技术为例来说明。图1是等离子体金属表面渗碳原理图^[6]。

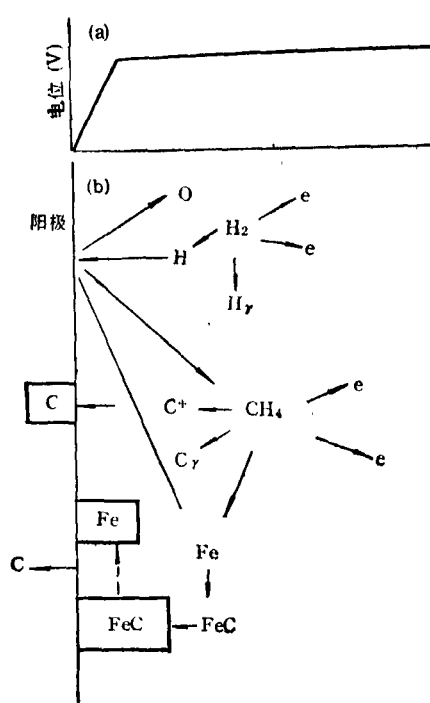
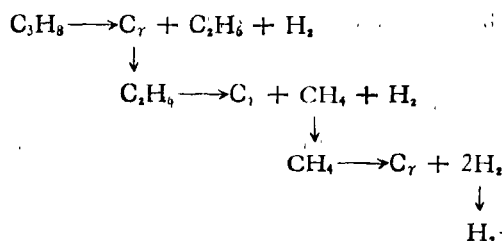


图 1

(a) 放电室内阳极和阴极电位分布; (b) 等离子体渗碳原理图

在真空中设置阳极和阴极，被处理工件放在阴极上，通入 CH_4 或 C_2H_6 和 H_2 的混合气体，真空度为 $2000\text{--}10\text{ Pa}$ 。在阳极和阴极之间加上 $200\text{--}1000\text{ V}$ 的直流电压，在真空中产生反常辉光放电，使电压降主要落在阴极附近，形



在这一过程中，产生大量 H^+ 、 C^+ 、 CH^+ 离子和 H_r 、 C_r 活性原子。在电场作用下，这些离子和原子又同工件表面发生碰撞，提高了工件表面温度。由于渗碳速度遵从扩散定律，表面温度的提高也促进了碳原子的扩散，提高了渗碳速度。由于离子和原子同工件表面的碰撞，使工件表面吸附的氧原子和其它杂质原子被溅射出来，对工件表面起到净化作用。在碰撞过程中，还产生离子注入现象和形成缺陷，提高了工件表面硬度。在碰撞中溅射出来的 Fe 原子又和 C 原子组成 FeC ，在工件表面形成较高浓度的含碳层。在热扩散过程中，这个表面层中的碳向工件内部扩散，从而形成均匀的碳化层。经过淬火处理后，即得到良好的表面硬化层。

二、装 置

实验证明，要在 1000°C 左右的高温时，才能使表层碳原子较快地向内层扩散。如果单靠放电来达到这样高的温度时，则要求较高的电压，同时还会产生放电不均匀的问题。为了解决这一问题，采用外热法^[9]和辅助阴极^[6,10]两种方法。

图 2 是外热法装置示意图，在放电区加上外部热源，使工作温度达到约 1000°C 。这种方法虽然比气体渗碳法优越，但能量消耗仍然较大。

图 3 是辅助阴极装置示意图。在工件周围设置板状或管状辅助阴极，电位和工件相同，相

成强的电场梯度。在这一强电场作用下，由阴极放出的电子被急剧加速，并向阳极移动。在移动过程中同 H_2 、 CH_4 或 C_2H_6 气体的分子和原子发生碰撞，使其发生如下的分解和离子化^[1,6-8]：

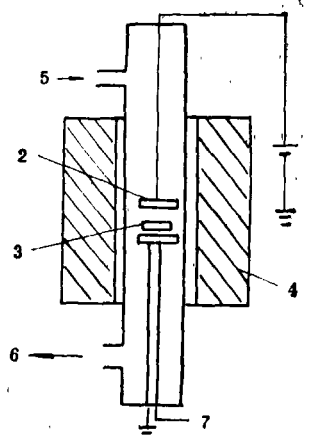


图 2 外热式等离子体渗碳装置简图

1. 1000V 电源； 2. 阳极； 3. 工件； 4. 外热炉；
5. 进气口； 6. 排气口； 7. 热电偶

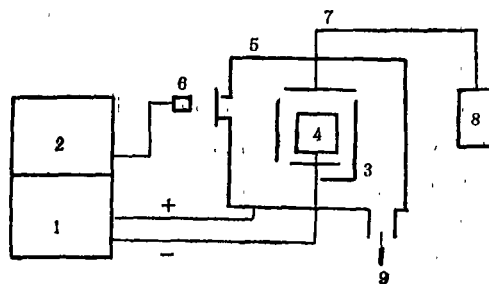


图 3 辅助阴极式装置简图

1. 1000V 电源； 2. 控制系统； 3. 辅助阴极；
4. 工件； 5. 反应室； 6. 红外线测温计； 7. 入气口； 8. 气源； 9. 排气口

同工件之间的距离约数十毫米。把反应室壁作为阳极，当通入气体，加上电压产生辉光放电时，在工件和辅助阴极间的负辉光区中，由于电子、离子和气体原子之间的相互作用，使这个区

域达到很高的电离密度。由于这些粒子和工件表面碰撞，大大提高了工件表面的温度。辅助阴极还起到热屏蔽的作用。因而也可以提高工件温度。这种方法比外热法优越，能较大地节省能源。

三、工业应用和发展趋势

等离子体金属表面硬化技术可以用于飞机、汽车、拖拉机、矿山机械的齿轮和传动轴上，也可以用于刀具上，以提高这些零件的耐磨和耐疲劳性能。1982年，美国安装了第一套在线等离子体氮化系统，用于处理汽车变速齿轮，使产品不合格率从21%下降到零。1985年，美国建立了一套在线处理汽车燃料喷头的等离子体氮化系统。比利时安特维普的一个拖拉机厂也用它来在线处理拖拉机齿轮^[11]。

法国真空处理公司的工业用等离子体碳化装置可装400kg重的工件。美国Abar Ipsen公司和联邦德国的Klöckner离子公司都已制造出工业用的微机控制等离子体碳化装置，美国的装置是采用先进的高频电源来代替直流电源。

1984年4月，日立公司在日本第94回金属学会春季大会上，宣布研制成功高速等离子体渗碳装置和技术，并提出专利申请三十余件^[10]。这种方法的优点是不仅可以渗碳，而且

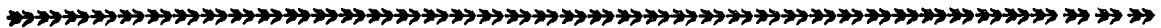
可以同时进行渗碳和在工件表面形成TiC、TiN涂层。成膜速度为5—10 μm/h，比CVD法快五倍。

除了黑色金属外，还在研究用等离子体技术处理有色金属材料^[12]。此外，等离子体渗硼的研究也在进行之中^[13]。

等离子体金属表面硬化技术在我国已有较多的应用，随着微机控制等离子体的氮化设备和大功率等离子体的碳化装置的建立，这项技术将在我国的金属热处理工业中发挥更大的作用。

参 考 文 献

- [1] M. Booth et al., *Mater. Des.*, 5-3(1984), 139.
- [2] P. Collignon and T. Ribet, *Heat. Treat. Met.*, 11-3 (1984), 62.
- [3] K. Boikd, *Heat. Treat.*, 16-8 (1984), 72.
- [4] M. H. Jacobs, *ibid*, 17-1 (1985), 38.
- [5] M. H. Jacobs and T. J. Law, *Heat. Treat. Met.*, 11-3 (1984), 60.
- [6] 浦尾亮一，朝日直達，*金属表面技術*，36-7 (1985)，258.
- [7] 米田芳之，久保田俊夫，*熱處理*，24-3(1984)，164.
- [8] 高瀬孝夫，*鑄造と熱處理*，38-5(1985)，29.
- [9] W. L. Grube and J. G. Gay, *Met. Trans. A* 9-10 (1978), 1421.
- [10] 朝日直達等，*工業材料*，33-3(1985)，101.
- [11] G. T. Legge and J. G. Conybear, *Heat. Treat.*, 17-1 (1985), 34.
- [12] 松田福久，中田一博，*工業材料*，31-7(1983)，90.
- [13] T. Wierzechon et al., *Härtereit. Tech. Mitt.*, 38-2 (1983), 57.



(上接封三)

- 日本物理学会誌[日]，41(1986)，No. 10，818—824。参13。
- 87-243. 强耦合等离[子]体表面。(长谷川正之)。日本物理学会志[日]，41(1986)，No. 10，824—829。参20。
- 87-244. 等离[子]体气体的输运。(田中成典等)。日本物理学会誌[日]，41(1986)，No. 10，830—836。参22。
- 87-245. 外场中的持续谱空穴。(M. Maier)。 *Appl. Phys.*, B41(1986)，No. 2，73—90。参90。
- 87-246. 电离集团束技术在淀积和外延中的应用。(高木俊宜)。应用物理[日]，55(1986)，No. 8，

- 746—763。参71。
- 87-247. Josephson 高速 A—D 变换器。(中西卓二)。应用物理[日]，55(1986)，No. 8，764—771。参26。
- 87-248. 微小半导体器件中的热电子发射。(滨口智寻等)。应用物理[日]，55 (1986)，No. 8，772—781，参52。
- 87-249. 非晶硅超点阵结构太阳能电池。(桑野辛德等)。应用物理 [日]，55 (1986)，No. 8，787—790。参16。

(李国栋)