

塑料表面改性对其摩擦学性能影响

伞金福¹, 朱宝亮¹, 刘家浚¹, 史维东², 刘振民²

(1. 清华大学 机械工程系, 北京 100084; 2. 大连理工大学 三束材料改性国家重点实验室, 辽宁 大连 116023)

摘要: 论述了采用离子注入、气相沉积、激光熔敷和等离子喷涂等表面技术改善塑料摩擦学性能方面的研究现状和进展, 分析了塑料表面离子注入改性的机理, 指出采用合适的表面改性工艺可有效地提高塑料表面的硬度并进而提高其耐磨性, 从而进一步延长塑料的使用寿命, 扩大其应用范围

关键词: 塑料; 表面改性; 离子注入; 气相沉积

中图分类号: TH113.22

文献标识码: A

文章编号: 1004-0595(2000)03-0236-05

1 离子注入

人们已就离子注入改善金属材料 and 陶瓷材料表面性能进行了大量研究并且广泛应用于其表面改性^[1-3]。但是针对离子束和塑料表面相互作用对塑料表面性能影响机制的研究仍很粗浅。美国 Oak Ridge 国家实验室的 Lee 等人^[4]率先在这方面开展了探索性的研究工作。他选择芳香族聚酰亚胺 (PI, 商品名为 Kapton H)、聚全氟乙丙烯 (PFA, 商品名 Teflon)、乙烯-四氟乙烯共聚物 (商品名 Tefzel) 及聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET, 商品名 Mylar) 等 4 种聚合物材料单独或同时注入 B、N、C、Si 和 Fe 离子 (单离子注入剂量低于 3×10^{15} ions/cm²)。结果发现: 离子注入后材料表面更光滑, 硬度和耐磨性提高 (硬度数据如表 1 所示), 其提高程度与聚合物材料、注入离子种类以及离子注入方式有关。分析表明, 表面性质变化不仅取决于断链和交联作用, 同时还取决于微合金化作用形成新的化学键。离子注入后材料表面富碳 (类金刚石四方结构), 形成三维刚架结构, 使表面显微硬度显著提高。特别是 PI 经 C、N 及 B 三束离子同时注入后, 其表面硬度 (11 GPa) 比未注入 PI (0.42 GPa) 提高 25 倍以上, 比不锈钢 (3 GPa) 提高近 3 倍。聚醚醚酮 (PEEK) 和聚酰亚胺 (PEI, 商品名称 U item)^[5] 经 200 keV 的 B⁺ 离子注入后注入层厚度约为 1 μ m, 随着注入剂量的增加, 材料表面颜色逐渐变深, 表面硬度增加; 经高剂量离子注入处理后 2 种材料的耐磨性显著提高; 离子注入后 PEEK 的摩擦系数明显降低, 而 U item 的摩擦系数基本不变。聚苯乙烯^[6] 经 3

种不同能量的 Ar⁺ (200 keV、500 keV、1 000 keV) 注入后, 其硬度、耐磨性、抗氧化性、化学稳定性和导电性都有明显变化, 变化程度与注入离子种类、能量、剂

表 1 塑料离子注入前后硬度对比

Table 1 Hardness of polymers before and after ion implantation

Polymer	Ion type	Energy /MeV	Hardness/GPa		Improvement /times
			Virgin	Implanted	
Kapton	B	0.2	0.42	3.0	7.0
		0.3	0.42	5.3	13.0
	N/B seq	0.3, 0.2	0.42	5.9	14.0
		0.2, 0.3	0.42	5.0	12.0
	B, N	0.4, 0.6	0.42	10.0	24.0
		0.4, 0.6, 0.7	0.42	11.0	26.0
	Fe	2.0	0.42	7.5	18.0
		He	0.2	0.42	1.2
Teflon	B	0.2	0.20	0.4	2.0
		0.3	0.20	0.1~0.7	0.5~3.5
	B, N	0.2/0.3	0.20	0.3~0.6	1.5~3.0
		2.0	0.20	0.3	1.5
Tefzel	Fe	1.0	0.15	3.1	20.0
Mylar	Fe	1.0	0.42	5.0	12.0

量及聚合物结构有关; 硬度 (如图 1 所示) 和导电性均随注入离子的能量和剂量的增加而提高。聚乙烯 (PE)、聚丙烯 (PP)、聚苯乙烯 (PS) 及聚醚砜 (PES) 等 4 种分子结构渐趋复杂的聚合物^[7] 经 200 keV 的 B⁺ 注入处理后硬度均升高, 其升高程度与注入离子的剂量和能量成正比, 这种硬度变化与离子注入引起的分子链交联作用有关。在某一注入剂量条件下, 随着材料侧基结构趋于复杂, 相对于原始材料的硬度增加倍

1999-04-18 收到初稿, 1999-10-14 收到修改稿/通讯联系人伞金福

伞金福 男, 30 岁, 在读博士研究生, 讲师, 目前主要从事塑料表面改性及其摩擦学方面的研究



数降低; 随着分子主链结构趋于复杂, 相对于原始材料的硬度增加倍数和实测表面硬度值均降低。可以看出, 被注入材料的分子结构对表面硬度有重要影响。4 种聚合物离子注入处理后的耐磨性也有所提高, 随着注入剂量增加, 主要磨损机制由粘着磨损和磨粒磨损转变为表面疲劳。在最佳注入剂量下注入处理后的 PS 和 PES 经过 10 000 次滑动循环(1 N, 冲程 3 mm, 100 m in^{-1} , 球-盘接触)后几乎不发生磨损。采用

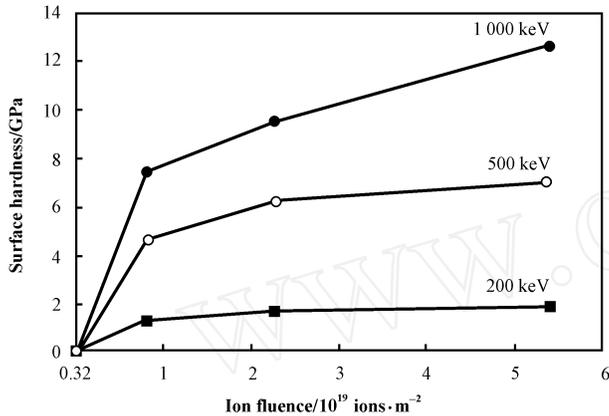


Fig 1 Variation in hardness of Ar⁺ implanted PS with implantation dosage

图 1 注入离子剂量对 PS 硬度的影响

2 MeV 的 B⁺ 和 O⁺ 分别注入聚碳酸酯(PC, 商品名 Lexan), 测试结果表明^[8]: 离子注入后 PC 表面硬度比非离子注入 PC 提高, O⁺ 离子注入比 B⁺ 离子注入提高幅度略大。离子注入后 PC 的耐磨性有所提高, 特别是大剂量注入时耐磨性提高明显。离子注入处理后 PC 表面硬度和摩擦学性能的变化与线性能量转换机制有关。高能离子撞击材料时, 能量会以电离(非弹性碰撞)、反弹(原子核碰撞)及声子等形式损失掉, 电离作用加速聚合物交联, 从而改善材料性质; 而反弹促使聚合物分子断链, 而分子断链对聚合物改性不利。也就是说, 电离作用越大, 反弹作用越小, 材料表面改性越明显, 这个过程与聚合物结构、注入离子种类以及离子能量有关。B⁺ 较 O⁺ 轻, 可以更深地穿入材料内部; 计算结果表明, O⁺ 电离能量转换值大于 B⁺, 所以 O⁺ 离子注入对 PC 的表面改性效果优于 B⁺。比较表明^[9], 高能离子注入处理后的改性层更厚、更硬、更耐磨且交联作用更强, 因此, 高能离子注入改性的效果更好。B⁺ 注入处理 PC 硬度随注入剂量和能量的变化曲线如图 2 所示。PS, PEEK 和 PI^[10] 分别经 1 MeV 的 He⁺、1 MeV 的 Ar⁺ 及 1 MeV 的 He⁺ 注入处理后再经 1 MeV 的 Ar⁺ (剂量 $3 \times 10^{15} \text{ ions/cm}^2$) 注入处理, 测试结果表明, 双重离子注入

样品的硬度和耐磨性有较大的提高(如图 3 所示), 这是由于 He⁺ 能产生较深的注入层而 Ar⁺ 导致表层高度交联所致。双重离子注入后的 PS 和 PEEK 的硬度达 22 GPa。经 1 MeV 的 Ar⁺ (剂量 $5 \times 10^{14} \text{ ions/cm}^2$, $10 \times 10^{14} \text{ ions/cm}^2$, $50 \times 10^{14} \text{ ions/cm}^2$)^[11]注入处

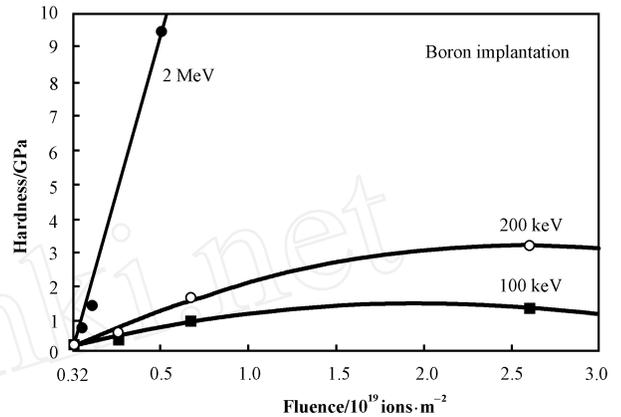


Fig 2 Hardness of implanted PC as a function of implantation dosage of B⁺

图 2 剂量和能量对 B⁺ 注入 PC 硬度的影响

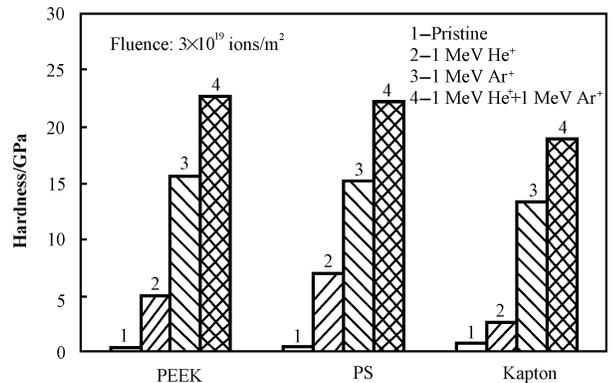


Fig 3 Hardness of single and dual ion implanted polymers with implantation dosage

图 3 单独及双重离子注入对 3 种塑料硬度的影响

理后的 PS 和 PEEK 在微摩擦试验仪上表现出粘滑行为, 而未注入材料不存在这种行为。这种粘滑行为与离子注入后材料表面形成的三维交联结构有关。宏观摩擦磨损试验结果表明^[12]: 经 $10 \times 10^{14} \text{ ions/cm}^2$ 剂量注入后, 2 种材料经过 10 000 次滑动循环几乎无磨损, 此时 PEEK 的摩擦系数最低, 而 PS 的摩擦系数最高。乙烯-四氟乙烯共聚物同时注入 400 keV 的 B⁺、700 keV 的 N⁺ 和 600 keV 的 C⁺ 等 3 种离子(剂量 $3 \times 10^{15} \text{ ions/cm}^2$)^[13]后表面硬度提高 60 多倍, 注入层的 TEM 明场像呈现出明显的亮暗补丁区对比, EELS 表明 TEM 像亮区碳(非晶碳)浓度较高, 富碳区平均尺寸约 40 μm , 富碳区由于存在 sp³ 金刚石型

四面体键而比周围区域硬度高。文献[14]指出,表面硬度随着电子阻止本领(电子能量损失)的增加而增加,随着核阻止本领的增加而降低,具有较高电子阻止本领的离子可更好地提高塑料表面的硬度和耐磨性(如图 4 所示)。文献[15]论述了离子注入改性层

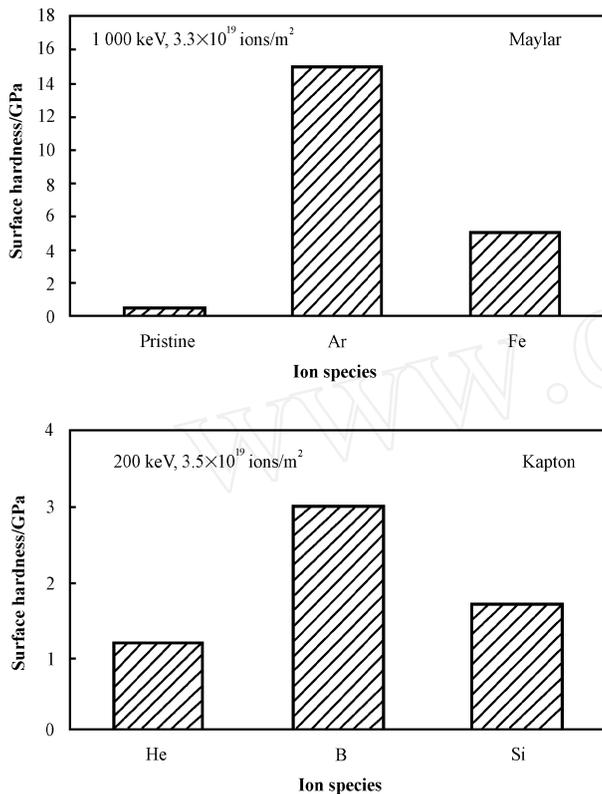


Fig 4 The hardness improvement varied with ion species

图 4 注入离子种类对 Kapton 和 Mylar 硬度的影响

表面硬度的测试方法及影响因素,文中测试材料为 PI 和蓝宝石基体上浇铸 PAA (1 MeV Ar⁺ 注入,剂量 4.7×10^{15} ions/cm²); 采用纳米压痕硬度计测量塑料离子注入改性层表面硬度,硬度值与压痕深度有关,随着压痕深度增加而降低;硬度值还与基体、加/卸载速率等因素有关。由于各种因素对 100 nm 深度处硬度值影响最小,所以选用 100 nm 深度处硬度值作为比较值,以上提到的硬度值均按该法测量。PEI 和 PC 分别注入 155 keV 的 Ti 离子 (4×10^{15} ions/cm²), 137 keV 的 Cr 离子 (5×10^{16} ions/cm²), 88 keV 的 Si 离子 (5×10^{16} ions/cm²), 106 keV 的 Pt 离子 (1×10^{17} ions/cm²), PE 分别注入 155 keV 的 Ti 离子 (4×10^{15} ions/cm²), 137 keV 的 Cr 离子 (5×10^{16} ions/cm²)^[16], 结果发现, Pt 离子注入 PC 和 PEI 对硬度影响很小。这是由于 Pt 离子的核碰撞引起的断链作用大于其电子激发引起的交联作用; Ti、Si 离子注入使 PC 和 PEI 的硬度提高了 7 倍多, Cr 离子注入

使 PC 和 PEI 的硬度提高了 10 倍多; Ti、Cr 离子注入使 PE 硬度有所提高。

Pichat 等^[17]向超高分子量聚乙烯(UHMW PE, 假肢关节材料)中注入 N⁺ 和 Ar⁺, 发现离子注入后 PE 的磨损率显著下降, PE 对水的润湿性增加, 这与 PE 表面极性增加有关。ATR-IR 谱分析检测到羧基的存在, ESR 分析显示有自由基形成, ESCA 测试表明表面氧含量和氮含量增加。Ochsner 等^[18]研究了有机玻璃(PMMA), 高密度聚乙烯(PE-HD) 和 PC 注入 B、N、Cr 离子后表面性质的变化, 注入离子能量分别为 50 keV、100 keV、200 keV, 注入离子剂量从 1×10^{13} ions/cm² 到 5×10^{16} ions/cm², 结果发现, 随着注入剂量的增加表面硬度增加, 注入剂量为 1×10^{16} ions/cm² 时硬度增加值最大。3 种材料的磨损行为也不同: 随着注入剂量增加, PC 耐磨性提高; PE-HD 磨损率急剧减小, 几乎为零磨损(剂量 1×10^{14} ions/cm² 以上, 能量 200 keV); 离子注入后 PMMA 由于表面硬颗粒脱落产生三体磨料磨损致使磨损增加。磨损率减小与摩擦系数降低有关, 似乎与注入离子种类关系不大。RBS 分析表明聚合物表面富碳, 注入离子能量越大表面富碳越严重。Swain 等^[19]研究了 PS 和 PET 经 Ti、B、W 和 Cu 离子注入(加速电压 70 keV, 剂量 3×10^{16} ions/cm²) 后表面硬度和形貌的变化, 发现 Ti 和 B 离子同时注入可有效强化和硬化 2 种材料表面及改善摩擦学性能, 尤以 PS 效果更佳。AFM 观察可见其注入处理后表面更加平整且呈现微熔化特征; W 和 Cu 离子注入试样仅在小于 100 nm 压头穿透深度范围内硬度值增加, 而 Ti 和 B 离子同时注入的试样在更大的压头穿透深度范围内硬度值都增加。杨生荣等^[20]用 120 keV 的 N⁺ 和 Fe⁺ 分别对 PI 薄膜进行了离子注入处理, 考察了注入前后 PI 与钢对摩时的摩擦磨损性能。他们发现, 这 2 种离子注入都可以降低 PI 与钢对摩时的摩擦系数和磨损率, 而且高剂量 (10^{16} ions/cm² 量级) 离子注入的效果比低剂量 (10^{14} ions/cm² 量级) 的好, 尤以 3×10^{16} ions/cm² 的 Fe⁺ 注入改性效果最好。

2 气相沉积

Fladry 等^[21]认为, 离子束辅助沉积和离子束混合均可提高 PES、PEI 及碳纤维增强环氧树脂(CFK) 表面 Cu 膜的附着力, 结合力的提高与基体聚合物的化学性质有关, 结合力由大到小顺序为 PES > PEI > CFK。在离子束作用下 Cu 和聚合物基体之间形成化学键和新相, 导致 Cu 膜(厚度 100~130 nm) 与聚合

物的结合力提高 Takano 等^[22]用普通气相沉积和离子束辅助沉积两种方法在 PE, PP, 尼龙 (PA 6), PTFE, 聚氯乙烯 (PVC), 聚甲醛 (POM), 聚对苯二甲酸乙二醇酯 (PET), 酚醛树脂 (PF), PI 及 PC 上沉积 0.5 μm 厚的 Cu, Al 及 Ti 膜, 并研究了聚合物基体的热变形温度对结合力的影响, 结果发现离子束辅助沉积提高了金属膜与聚合物基体的结合力, 相应的薄膜的磨损率明显比普通气相沉积薄膜的低, 其中 Ti 膜的结合力最强

Kimock 等^[23]运用离子束沉积方法在 PC 太阳镜表面沉积类金刚石 (DLC) 薄膜, 发现 DLC 薄膜可使太阳镜的使用寿命延长 30~50 倍, 湿度、盐雾、盐浸及加速老化试验都显示出良好的稳定性 Khan 等^[24]利用射频气体等离子体发生装置 (该装置可以沉积 10 cm × 17 cm 的大面积 Cu 膜) 产生直径 12 cm 的 Cu 离子束, 并在聚晶玻璃、Al₂O₃ 和 ZrO₂ 表面上沉积 Cu 薄膜, 研究了 Cu 膜的沉积参数、微观结构以及导电性 Kalber 等^[25]发明了一种新型低成本的薄膜沉积技术, 该技术基于反应气流溅射, 真空室的压力在 0.1~1.0 mbar 范围内, 由于不需要高真空设备, 所以成本低, 并且沉积速率大于磁控溅射, 已经成功地用以在 PA 和 PEEK 表面沉积 TiCr 及其氧化物、氮化物和碳化物薄膜 Ahern 等^[26]利用磁控溅射技术在 PC 表面沉积厚 1 μm 的 Ti/TN 薄膜, 并研究了沉积参数对结合力、应力裂纹、沉积温度及膜外观的影响, 发现提高沉积压力和降低沉积功率可减小 TN 的内应力, 而沉积 TN 薄膜可提高 PC 的耐磨性并改善其外观 Grimberg 等^[27, 28]采用等离子体辅助磁控溅射方法在金属化 ABS 塑料表面 (在 ABS 表面先电镀 Ni 和 Cu 过渡层以提高结合力) 沉积厚 0.7 μm 和 5 μm 的 TN 薄膜, 研究了 TN 的显微结构、成分、界面形貌、择优取向及内应变 结果表明: TN 结构不均匀, 靠近界面取向明显, 而靠近表面取向随机, TN 的择优取向是 (111) 和 (422), 膜内压应变值分别为 5×10^{-3} 和 2×10^{-3} 他们还采用三阴极真空等离子弧沉积 (VAD) 和过滤真空弧沉积 (FVAD) 这 2 种方法在聚砜表面沉积 Ti/Zr、Cu、Ti/TN 和 Ti/ZnN 薄膜, 并分析了薄膜的结构、成分、结合力及摩擦学性能, 发现薄膜的典型结构为纳米晶或非晶/纳米晶混合; Ti/ZnN 和 Cu 膜的结合力较大, 这是由于其在界面处发生化学反应; 由于薄膜脱落产生磨粒使部分薄膜的摩擦学性能恶化, 但 Ti/ZnN 膜显示出极低的摩擦系数和良好的耐磨性; 横流注射 (TCD) 增加 Ti 膜的结合力并减小其磨损

3 激光熔敷和等离子喷涂

Ayrault 等^[29]利用激光熔敷和等离子喷涂两种方法在 PET 表面沉积 Al₂O₃ 涂层, 结果发现涂层和基体之间为机械锚接结合, 两种处理过程均使 PET 基体形貌发生变化, 等离子喷涂涂层较激光熔敷层致密和均匀 PET 表面经激光扫描处理后发生局部结晶且硬度升高 Ong 等^[30]利用脉冲激光熔敷技术在 PC 表面沉积厚 100 nm 的非晶碳薄膜, 发现 PC 表面用氧等离子体预处理之后薄膜的质量提高, 内应力降低且结合力增强, 硬度可达 5 GPa, 比 PC 基体的高 20 倍

4 结束语

综上所述, 国外对聚合物材料表面摩擦学改性已经开展了大量的探索性研究工作, 特别是在生态环境保护政策制约下, 聚合物表面物理改性 (如离子注入和气相沉积等) 技术因高效、无污染等特点而受到广泛关注 聚合物材料表面改性已成为聚合物材料研究领域的重要分支 将表面改性技术用于改善塑料的某些性能 (特别是摩擦学性能), 拓宽塑料在摩擦学领域的应用, 具有重要的理论和实际意义

参考文献:

- [1] 鲁光沅, 刘伦, 刘福润, 等 氮离子注入 GCr15 轴承钢改性的时效机理及摩擦学性能探讨[J]. 摩擦学学报, 1998, 18(3): 232~237
- [2] 雷明凯, 李有宏, 张仲麟, 等 等离子体源离子渗氮 1Cr18Ni9Ti 奥氏体不锈钢磨损特性的试验研究[J]. 摩擦学学报, 1997, 17(3): 206~213
- [3] 徐兆, 薛群基, 田军 氮离子注入 SiO₂ 单晶磨损机理的 SEM 研究[J]. 摩擦学学报, 1999, 19(4): 289~293
- [4] Lee E H, Lewis M B, Blau P J, et al. Improved surface properties of polymer materials by multiple ion beam treatment[J]. J Mater Res, 1991, 6(3): 610~628
- [5] Lee Y, Lee E H, Mansur L K. Hardness and wear properties of boron-implanted poly(ether-ether-ketone) and poly(ether-imide)[J]. Surf Coat Technol, 1992, 51: 267~272
- [6] Lee E H, Rao G R, Lewis M B, et al. Ion beam application for improved polymer surface properties[J]. NMB, 1993, 74 B: 326~330
- [7] Rao G R, Lee E H, Mansur L K. Structure and dose effects on improved wear properties of ion-implanted polymers[J]. Wear, 1993, 162~164: 739~747
- [8] Rao G R, Lee E H. Improved wear properties of high energy ion-implanted polycarbonate[J]. J Mater Res, 1995, 10(1): 190~201
- [9] Lee E H, Rao G R, Mansur L K. Improved hardness and wear

- properties of B-ion implanted polycarbonate[J]. *J Mater Res*, 1992, 7(7): 1900~ 1911
- [10] Rao G R, Lee E H. Effects of sequential He⁺ and Ar⁺ implantation on surface properties of polymers[J]. *J Mater Res*, 1996, 11(10): 2661~ 2667
- [11] Rao G R, Blau P J, Lee E H. Friction microprobe studies of ion implanted polymer surfaces[J]. *Wear*, 1995, 184: 213~ 222
- [12] Rao G R, Lee E H, Mansur L K. Wear properties of argon implanted PEEK [J]. *Wear*, 1994, 174: 103~ 109
- [13] Rao G R, Wang Z L, Lee E H. Microstructural effects on surface mechanical properties of ion-implanted polymers[J]. *J Mater Res*, 1993, 8(4): 927~ 933
- [14] Lee E H, Rao G R, Lewis M B, *et al* Effects of electronic and recoil processes in polymers during ion implantation [J]. *J Mater Res*, 1994, 9(4): 1043~ 1050
- [15] Lee E H, Lee Y, Oliver W C, *et al* Hardness measurements of Ar⁺-beam treated polyimide by depth-sensing ultra low load indentation [J]. *J Mater Res*, 1993, 8(2): 377~ 387
- [16] Rao G R, Monar K, Lee E H, *et al* Metal ion implantation effects on surface properties of polymers [J]. *Surf Coat Technol*, 1994, 64: 69~ 74
- [17] Pichat A, Rabbe L M, Rieu J. Effect of ion implantation on titanium alloy/polyethylene and 316L stainless steel/polyethylene friction couples running in joint prostheses [J]. *Surf Coat Technol*, 1991, 45: 15~ 22
- [18] Ochsner R, Kluge A, Zechel M, *et al* Improvement of surface properties of polymers by ion implantation[J]. *NMB*, 1993, 80~ 81B: 1050~ 1054
- [19] Swain M V, Perry A J, Treglio J R, *et al* Influence of implantation of heavy metallic ions on the mechanical properties of two polymers, polystyrene and polyethylene terephthalate[J]. *J Mater Res*, 1997, 12(7): 1917~ 1926
- [20] 杨生荣, 刘维民, 李长林, 等. 离子注入聚酰亚胺的摩擦磨损性能研究[J]. *摩擦学学报*, 1996, 16 (2): 180~ 183
- [21] Fladry H, Tehen N, Wolf G K. Ion beam induced adhesion improvement of metal layers—— a comparative study on composite layers[J]. *NMB*, 1994, 91B: 575~ 579
- [22] Takano I, Inoue N, Matsui K, *et al* Properties of metallic films on polymer substrates coated by Ar⁺ ion-beam-assisted deposition[J]. *Surf Coat Technol*, 1994, 66: 509~ 513
- [23] Kinock F M, Knapp B J. Commercial applications of ion beam deposited diamond-like (DLC) coatings [J]. *Surf Coat Technol*, 1993, 56: 273~ 279
- [24] Khan H R, Loebich O, Raub C J. An rf ion beam source and direct ion beam deposition of large surface area thin Cu films on polycrystalline glass, Al₂O₃ and ZrO₂ substrates[J]. *Surf Coat Technol*, 1993, 56: 157~ 163
- [25] Kalber T, Jung T. A novel low-cost process for the deposition of metallic and compound thin films on plastics[J]. *Surf Coat Technol*, 1998, 98: 1116~ 1120
- [26] Ahern M. The deposition of TN at less than 150 by reactive magnetron sputter ion plating [J]. *Surf Coat Technol*, 1990, 43-44: 279~ 287
- [27] Grimberg I, Bouaifi B, Draugelates U, *et al* Microstructure and adhesion mechanisms of TN coatings on metallized ABS [J]. *Surf Coat Technol*, 1994, 68-69: 166~ 175
- [28] Grimberg I, Zhitomirsky V N, Parkansky N, *et al* Structure and tribological properties of thin vacuum arc coatings on polysulfone[J]. *Surf Coat Technol*, 1997, 94-95: 213~ 219
- [29] Ayrault S. Deposition of a ceramic coating on a thermoplastic polymer by atmospheric plasma and laser cladding [J]. *Surf Coat Technol*, 1996, 79: 119~ 130
- [30] Ong H C. Improvement of mechanical properties of amorphous carbon films deposited on polycarbonate plastics[J]. *Surf Coat Technol*, 1997, 89: 38~ 46

Effect of Surface Modification on Tribological Properties of Plastics

SAN Jin-fu¹, ZHU Bao-liang¹, LIU Jia-jun¹, SHI Wei-dong², LIU Zhen-min²

(1. Department of Mechanical Engineering, Tsinghua University, Beijing 100084, China;

2. State Key Laboratory for Materials Modification by Laser,

Ion and Electron Beams, Dalian University of Technology, Dalian 116023, China)

Abstract: The latest research and development of improvement in tribological properties of polymer materials by surface modification is introduced. The surface modification mechanism of polymers by ion-implantation is discussed. It is showed that the tribological properties of polymer materials can be improved by applying proper surface modification techniques such as ion implantation, vapor deposition, laser and plasma spraying.

Key words: plastics; surface modification; ion implantation; vapor deposition

