

# SiC 陶瓷纤维先驱体的研究动态

王 浩 李效东 冯春祥 彭 平 范小林

( 国防科技大学 长沙 410073 )

**摘 要** 对国内外 SiC 系列陶瓷纤维先驱体的主要合成方法及工艺进行了总结。比较了各种方法所得先驱体的产率、杂元素含量、分子形态、分子量及其分布等结构参数,先驱体可纺性以及对应烧成纤维的力学性能。提出降低先驱体中杂元素含量,改善其可纺性及先驱丝的强度,提高陶瓷收率是 SiC 系列陶瓷纤维先驱体分子设计的方向。

**关键词** SiC,陶瓷纤维,先驱体,合成

## Development of Precursors of SiC Ceramic Fibers

Wang Hao Li Xiaodong Feng Chunxiang Peng Ping Fan Xiaolin

( National University of Defence Technology Changsha 410073 )

**Abstract** The synthesis and technology of the precursors of SiC ceramic fibers is summarized. The configurational parameters of the precursors yield, mixed elements content, molecular configuration, molecular weight and its distribution, spinnability and the mechanical properties of relevant ceramic fibers are evaluated. The direction of the precursors molecular design is how to reduce the mixed elements content of the precursors, improve its spinnability and tensile strength of the precursors fiber and increase the ceramic yield.

**Key words** SiC, Ceramic fiber, Precursor, Synthesis

### 1 前言

SiC 陶瓷纤维作为轻质新型结构材料在航天等领域具有广泛的应用前景,并且因其具有优良的力学性能、耐高温、耐腐蚀、高强度等特点,日益为材料专家所重视。采用的制备方法主要有气相沉积法<sup>[1~3]</sup>、超微粉掺混纺丝法<sup>[4~6]</sup>、碳纤维转化法<sup>[7,8]</sup>、先驱体转化法等。其中,先驱体转化法因为具有过程温度较低、简单易控、易于成型、产物纯度高、性能好等优点而成为研制 SiC 陶瓷纤维的主要方法<sup>[9]</sup>。此法由日本东北大学的矢岛圣使于 1975 年首先提出,之后,许多学者在先驱体的合成、改性、表征、结构和反应机理方面作了大量的工作并形成了普遍共识,即一种理想的 SiC 陶瓷纤维先驱体应

具有如下优良特性:在受热的过程中没有低聚物的挥发;有网状或环状结构;成型性好;热固性好(有活性官能团易于交联);有机基团含量低。

本文根据 20 多年来 SiC 陶瓷纤维先驱体的发展情况,概述了 SiC 陶瓷纤维先驱体的主要合成过程和基本方法。具体有:(a) 矢岛法;(b) 开环聚合;(c) 硅氢化法;(d) 聚合物金属化法;(e) 共混法。而对于热裂解法<sup>[10,11]</sup>、溶胶凝胶法<sup>[12,13]</sup>、电化学法<sup>[14,15]</sup>、光化学法<sup>[16,17]</sup>、缩聚法<sup>[18,19]</sup>、共聚法<sup>[20,21]</sup>以及报道多次的普通方法和合成路线<sup>[22,23]</sup>,本文没有尽述。

### 2 SiC 纤维先驱体的合成方法及其路线

#### 2.1 矢岛法(Yajima Method)

收稿日期:1998-10-29;修回日期:1999-02-08

王浩,1974 年出生,博士研究生,主要从事 SiC 陶瓷纤维的研究工作

矢岛是提出使用先驱体制造 SiC 陶瓷纤维的第一人,他开辟了制造 SiC 陶瓷纤维的新思路。此方法的工艺过程如下:原料 聚硅烷(PS) 聚碳硅烷(PCS) PCS 纤维 不熔化纤维 SiC 纤维 (1 300 )<sup>[24,25]</sup>,其生产出的 SiC 纤维(Nicalon)性能优越,并已实现工业化生产。因此本文将先驱体

的合成单独作为一种方法列出以把握其研究线索,如表 1<sup>[24,26~33]</sup>。国防科技大学在 80 年代初就借助矢岛路线开始了 SiC 先驱体及陶瓷纤维的研制工作,经过近 20 年的探索已取得了一定进展并注意到矢岛法中影响先驱体产率和分子量的因素很多,其中主要有反应时间、温度和压力等<sup>[34]</sup>,如表 2。

表 1 矢岛法合成路线及有关性质\*

Tab.1 Yajima method and the precursors properties

先驱体	仪器	合成路径及条件	PCS 性质	优缺点	SiC 纤维制品
		$(Me_2Si)_n \xrightarrow[Ar]{400^\circ C} PCS$	$\bar{M}_n = 1\ 500$ , 分子量分布在 240 ~ 25 000, 可纺性好	优点:良好的纺丝性能 缺点:原料昂贵,使用高压釜	TS = 3.5 GPa YM = 200 GPa
PCS	使用高压釜	$Me_2SiCl_2 \xrightarrow[Na, \text{二甲苯(溶剂)}]{\Delta} PCS$	$\bar{M}_n = 950$ 产率为 35% (不加压)	优点(不加压):简单、经济 优点(加压):产率较高,含氧量少 缺点:使用高压釜	产率为 20%
		$PDMS \xrightarrow[加压]{Ar, 470^\circ C, \Delta} PCS$ → PCS(Mark I)	产率为 50% ~ 60% (加压) 含氧量 < 1%		
	釜	PDMS+少量(Ph <sub>2</sub> Si) <sub>n</sub> 或 $Me_2SiCl_2 + Ph_2SiCl_2$ (同 Mark I) → PCS(Mark II)	可纺性好于 Mark I	优点:好的纺丝性, 纤维直径小 缺点:使用高压釜	TS = 3 GPa, YM = 200 GPa, 直径小
	不使用高压釜	PDMS $\xrightarrow[350^\circ C, \text{大气压}]{\text{催化剂 PBDSO}}$ PCS (Mark III)	产率为 48%	不使用高压釜	产率为 68% 机械性能非常好

\* PCS 指聚碳硅烷;PDMS 指聚二甲硅烷;TS 为拉伸强度;YM 为杨氏模量。

表 2 反应时间、温度和压力对先驱体的影响<sup>[34]</sup>

Tab.2 Effects of reaction time, temperature and pressure on the precursors

PCS 体系	反应时间 / h	反应温度 / °C	回流温度 / °C	压力 / 0.13 kPa	产率 / %	$\bar{M}_n$
PCS—450	14	450	150	1	66.3	730
	14	450	280	1	50.8	1 250
PCS—460	14	460	280	1	56.0	1 450
PCS—470	14	470	105	1	66.4	860
	14	470	200	1	59.7	1 210
	14	470	280	1	58.8	1 680
PCS—IMS	27	760	200	1	6.5	620
	29	760	200	1	5.1	820
	14	770	200	1	10.0	740
	16	770	200	1	6.5	930
	21	775	200	1	9.3	830

## 2.2 开环聚合 (Ring Opening Polymerization) [35,36]

自从 Smith 于 1986 年报道了第一个利用开环聚合合法合成了 SiC 陶瓷纤维先驱体以来,此法因为热处理后的先驱体陶瓷产率高而引起了人们的重视,并开展了大量工作,如表 3。但此法由于单体昂贵

难以获得而限制了其发展,虽然此法制得先驱体特征突出,利于研究结构对热解和热固性的影响,但因其焦化产率相当低(不经热处理),游离碳含量高而且方法复杂不宜大规模生产,所以还不能看作是合成 SiC 纤维陶瓷先驱体的有效途径。

表 3 开环聚合合法合成路径及有关性质

Tab.3 Synthetical processes of ring opening polymerization and its precursors properties

先驱体(PCS)	合成路径及条件	先驱体性质	SiC 纤维产率/%
$\{ \text{H}_2\text{SiCH}_2 \}_n$ (1)	$\text{H}_2\text{Si} \begin{array}{c} \diagup \\ \diagdown \end{array} \text{SiH}_2 \xrightarrow[\text{甲苯或庚烷, } 75^\circ\text{C} \sim 100^\circ\text{C}]{\text{Pt 催化}} (1)$	线形结构,可熔	85(Ar, 900°C, 1 h)
	$\text{Cl}_2\text{Si} \begin{array}{c} \diagup \\ \diagdown \end{array} \text{SiCl}_2 \xrightarrow[\text{Pt 催化}]{\text{开环}} \{ \text{SiCl}_2\text{CH}_2 \}_n \xrightarrow[\text{苯}]{\text{缩聚}} (1)$	$\bar{M}_n = 12\ 300$ 线形结构可纺性好	87(100°C ~ 600°C)
$\{ \text{Me}_2\text{SiCH}_2 \}_n$ (2)	$\text{Me}_2\text{Si} \begin{array}{c} \diagup \\ \diagdown \end{array} \text{SiMe}_2 \xrightarrow[\text{80}^\circ\text{C 本体聚合}]{\text{Pt 催化}} (2)$	$\bar{M}_n = 200\ 000 \sim 250\ 000$ 粘性惰性气氛下 600°C 稳定	3.5(1 000°C)
	$(2) \xrightarrow[\text{AlCl}_3 \text{ 催化}]{\text{Me}_2\text{SiCl}} \{ \text{SiCl}(\text{Me})\text{CH}_2 \}_n \xrightarrow{\text{LiAlH}_4} (3)$	液体, $\bar{M}_n = 2\ 000 \sim 2\ 300$ 线形结构,不溶(450°C, 高压釜) $\bar{M}_n = 8\ 600$	19(1 000°C) 44.5
$\{ \text{MeSiHCH}_2 \}_n$ (3)	$\text{Cl}_2\text{SiCH}_2\text{-CH}_2\text{Cl} \xrightarrow{\text{EtOH}} \text{ClSiCH}_2(\text{OEt})\text{-CH}_2\text{Cl} \xrightarrow[\text{THF}]{\text{Mg}} (\text{OEt})\text{H}_3\text{CSi} \begin{array}{c} \diagup \\ \diagdown \end{array} \text{SiCH}_2(\text{EtO})$	$\bar{M}_n = 6\ 000 \sim 35\ 000$ 并随催化剂的增多而减小	10 ~ 20 66(先驱体经 400°C 预处理后)
	$(3) \xrightarrow[\text{乙醚}]{\text{LiAlH}_4} \{ \text{ClSi}(\text{CH}_3\text{CH}_2) \}_n \xrightarrow[\text{80}^\circ\text{C}]{\text{H}_2\text{PtCl}_6} \text{Cl}(\text{H}_3\text{C})\text{Si} \begin{array}{c} \diagup \\ \diagdown \end{array} \text{Si}(\text{H}_3\text{C})\text{Cl}$		
其它 (R, R' = H, Me, Ph, Vi)	$\text{环状硅烷} \xrightarrow[\text{THF(40\%~90\%)}]{n\text{-BuLi (HPMA)}} \text{开环聚合物}$	$\bar{M}_n = 680 \sim 1\ 800$ (171 000, R, R' = 甲基、苯基; 744 000, 二甲基硅杂环戊烯)	0 ~ 57

### 2.3 硅氢化反应法(Hydrosilylation Reaction)<sup>[37~39]</sup>

Curry 首先运用乙烯基氢化硅烷的硅氢化反应合成出 SiC 陶瓷先驱体,以后 Corriu 等人应用此法合成出一系列先驱体聚合物。此法合成的先驱体因为具有线形结构而且没有活性基团,所以陶瓷产率较低,并且陶瓷产物中游离碳的含量高;但由于先驱体在交联固化的过程中没有气体的溢出,故是先驱

体化学固化的有效方法,如表(4)。后来 Baney 等人利用硅氢化反应使 PCS 与不饱和化合物先交联后裂解(H<sub>2</sub>PtCl<sub>6</sub> 催化),陶瓷产率提高到 85%~90%,含氧量低于 2.0%~3.0%,这使得硅氢化反应法在先驱体的合成及 SiC 陶瓷纤维的研制领域占有重要的位置。

表 4 硅氢化法反应途径及有关性质

Tab.4 Synthetical processes of the hydrosilylation polymerization and its precursors properties

先驱体*	合成路径	先驱体性质	先驱体产率 /%	陶瓷产率 /%
$-(\text{SiH}_2-\text{C}_2\text{H}_4)_n-$ (1)	$\text{ViSiHCl}_2 \xrightarrow[\text{PhCl}]{\text{H}_2\text{PtCl}_6\text{H}_2\text{O}} -(\text{SiCl}_2-\text{C}_2\text{H}_4)_n- \xrightarrow{\text{LiAlH}_4} (1)$			
$-[\text{Si}(\text{Me})_2-\text{C}_2\text{H}_4]_n-$ (2)	$\text{ViSiHMe}_2 \xrightarrow[\text{乙烷}]{\text{H}_2\text{PtCl}_6\text{H}_2\text{O}} (2)$	$\bar{M}_n = 960 \sim 5\,500$ 线形结构	64~78	12~62 (1 400°C, N <sub>2</sub> )
$-(\text{C}_2\text{H}_4\text{SiH}_2\text{C}_2\text{H}_4)_n-$ (3)	$\text{Vi}_2\text{SiH}_2 \xrightarrow[\text{乙烷}]{\text{H}_2\text{PtCl}_6\text{H}_2\text{O}} (3)$			
$\begin{matrix} \text{R} \\   \\ \text{Si} \\   \\ \text{R} \end{matrix} \text{---} \text{C} \equiv \text{C} \text{---} \text{R}$ (4)	$\text{R}_2\text{HSi} \text{---} \text{C} \equiv \text{CH} \xrightarrow[\text{THF}]{\text{H}_2\text{PtCl}_6} (4)$ R = Ph, Me 或 Et	$\bar{M}_n = 11\,400 \sim 110\,700$	-	18~40 (1 000°C)

\* C<sub>2</sub>H<sub>4</sub> 表示—CH<sub>2</sub>—CH<sub>2</sub>—或—CHCH<sub>3</sub>—。

### 2.4 聚合物金属化法(Polymer Metalation)<sup>[40]</sup>

在已知的聚合物先驱体合成方法中,矢岛法最为简单但合成的先驱体分子量较低;而开环聚合合成的先驱体分子量较高但陶瓷产率极低。一法国

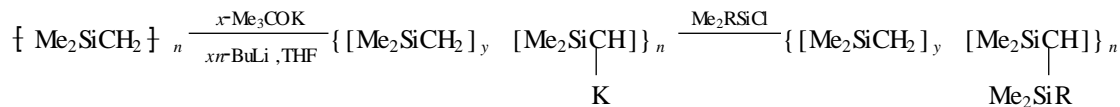
人据此首先报道了聚合物金属化法,此法合成的先驱体不仅分子量和产率较高,而且含氧量低,因此受到人们的关注,如表 5。

表 5 聚合物金属化法合成先驱体途径以及相关先驱体的性质

Tab.5 Synthetical processes of polymer metalation and its precursors properties

与 0.5 g[Me <sub>2</sub> SiCH <sub>2</sub> ]反应的有关反应物的量			先驱体 产率/ %	先驱体的结构及性质
Me <sub>3</sub> COK / mg (mmol)	<i>n</i> -BuLi, / mL (mmol)	Me <sub>2</sub> RSiCl added, R / mmol		
130 (1.16)	0.48 (1.16)	H (4.6)	98	{[Me <sub>2</sub> SiCH <sub>2</sub> ] <sub>15</sub> [Me <sub>2</sub> SiCH(SiMe <sub>2</sub> H)] <sub>n</sub> }; 非常粘稠油状液体;溶于苯,甲苯和二氯甲烷;微溶于乙烷
776 (6.92)	2.84 (6.92)	H (20.0)	92	{[Me <sub>2</sub> SiCH <sub>2</sub> ] <sub>3</sub> [Me <sub>2</sub> SiCH(SiMe <sub>2</sub> H)] <sub>n</sub> }; 粘性油状液体;溶于乙烷
776 (6.92)	2.84 (6.92)	CH = CH <sub>2</sub> (20.3)	98	{[Me <sub>2</sub> SiCH <sub>2</sub> ] <sub>3</sub> [Me <sub>2</sub> SiCH(SiMe <sub>2</sub> CH = CH <sub>2</sub> )] <sub>n</sub> }; 粘性油状液体;溶于乙烷
776 (6.92)	2.84 (6.92)	CH <sub>2</sub> Cl (20.5)	95	{[Me <sub>2</sub> SiCH <sub>2</sub> ] <sub>3</sub> [Me <sub>2</sub> SiCH(SiMe <sub>2</sub> CH <sub>2</sub> Cl)] <sub>n</sub> }; 粘性油状液体;溶于乙烷
776 (6.92)	2.84 (6.92)	CH <sub>3</sub> (20.5)	98	{[Me <sub>2</sub> SiCH <sub>2</sub> ] <sub>3</sub> [Me <sub>2</sub> SiCH(SiMe <sub>3</sub> )] <sub>n</sub> }; 粘度非常大的油状液体,并且几天后呈玻璃态
776 (6.92)	2.84 (6.92)	Et <sub>3</sub> SiCl (20.02)	98	{[Me <sub>2</sub> SiCH <sub>2</sub> ] <sub>3</sub> [Me <sub>2</sub> SiCH(SiEt <sub>3</sub> )] <sub>n</sub> }; 粘性油状液体;溶于乙烷
1 550 (13.83)	5.67 (13.83)	H (42.2)		流动性液体;NMR 峰非常复杂
1 550 (13.83)	5.67 (13.83)	CH = CH <sub>2</sub> (42.0)		流动性液体;NMR 峰非常复杂
2 330 (20.8)	8.52 (20.8)	CH = CH <sub>2</sub> (61.6)		流动性液体;NMR 峰非常复杂
3 880 (34.7)	14.22 (34.7)	CH <sub>2</sub> Cl (106.3)		流动性液体;NMR 峰非常复杂

其反应一般过程如下式:



## 2.5 共混法 (Polyblend Method) [41,42]

在先驱体转化法制备 SiC 陶瓷纤维中,由于 PCS 是一种脆性材料,支化强度高,结晶性差,而适合于纺丝的 PCS 分子量较低,但所得先驱丝强度却差,这就给 SiC 陶瓷纤维的制备带来困难,也给先驱丝后处理工作带来困难。据此国防科技大学利用合适的高聚物与 PCS 共混作为先驱体,可以提高 PCS 的可纺性及先驱丝的强度,这是实现连续 SiC 陶瓷

纤维生产的有效途径之一,如表 6。

这种方法存在明显的不足,即随着 PCS 中共混物的增加, SiC 纤维强度明显下降,这主要是由于共混物组分的大量挥发,使最终 SiC 纤维表面及内部产生大量缺陷,致使 SiC 纤维的强度明显降低,而且产率较低,如果使用挥发性小残留率高的高聚物,可使这些不良后果都有不同程度的减少。

表 6 PCS 与其它高聚物共混结果

Tab.6 Properties of mixture of PCS with other polymers

共混物 *	先驱体纤维		SiC 纤维		可纺性
	平均强度 /MPa	平均直径 /μm	平均强度 /MPa	平均直径 /μm	
PCS	约 0	-	1 813	10.2	较好
PCS + 10 %PP	25.4	10.5	1 298	7.8	好
PCS + 10 %PS	8.9	10.9	1 550	7.9	较好
PCS + 5 %LPPE	7.2	20.7	1 030	17.2	较差
PCS + 10 %HTPB	8.5	13.9	1 976	10.3	好
PCS + 10 %Nylon6	-	-	-	-	差

\* PP 为聚丙烯, PS 为聚苯乙烯, LPPE 为低密度聚乙烯, HTPB 为端羟基聚丁二烯, Nylon6 为尼龙-6。

## 3 结束语

在以上提及的几种方法中,虽然各有特点,但只有矢岛法实现了连续工业化生产并开发出名为 Nicalon 的陶瓷纤维。随着现代工业技术的发展,对材料性能的要求越来越高, SiC 陶瓷纤维将面临新的挑战,因此提高 SiC 陶瓷纤维的性能也就势在必行。目前,国防科技大学已先后开发出含 C、Ti、Zr、Al 等改性的 SiC 陶瓷纤维,其先驱体是含 Si—O—Ti 和 Si—Ti—C—O 键等改性聚碳硅烷。生产出的碳化硅陶瓷纤维性能明显改善并可以小批量生产。当前的工作重点主要还有以下几个方面:(1)降低 SiC 陶瓷纤维的含氧量;(2)降低游离 C 的含量;(3)提高陶瓷纤维产率。而先驱体的结构和性质是影响这些

方面的最原始因素,因此合成出一种更为理想的先驱体以改善 SiC 陶瓷纤维的产率和性能将是以后研究的一个方向。

### 参考文献

- 1 Buch M E. Mater. Res. ,1987 ;8(5) :272
- 2 Wei G C, Becher P F. Am. Ceram. Soc. Bull. ,1985 ;64 (2) :298
- 3 Lewinsoh C A et al. In:7th Proc. Am. Soc. Compos. Tech. Conf. ,1992 :779
- 4 Nunn S D et al. J. Am. Ceram. ,1993 ;76(10) :2 460
- 5 Halloran J W et al. J. Am. Ceram. Soc. ,1994 ;75(4) :903
- 6 Cass R B. Am. Ceram. Soc. Bull. ,1991 ;70(3) :24
- 7 Krishnarao R V et al. J. Mater. Sci. Lett. ,1996 ;15 :232
- 8 Kaoru Okada. J. Am. Ceram. Soc. ,1994 ;76(6) :1 691

- 9 Marc Biro ,Jean-Paul Pillot ,Jacques Dunogues. Chem. Rev. ,1995 ;95 :1 443
- 10 Weber W P. Trends Polym. Sci. ,1993 ;1 :356
- 11 Sartori P ,Habel W ,Van fferden B. Mayer ,L. Chem. Ind. ,1990 ;113 :54
- 12 Burns G T ,Taylor R B ,Xu Y ,Zangvil A ,Zank G A. Chem. Mater. ,1992 ;4 :1 313
- 13 Belot V ,Corriu R J P ,Leclerdq D ,Mutin P H ,Vioux A. J. Non-Cryst. Solides , 1992 ;144 :287 ,1992 ;147 ,148 :52
- 14 Bordeau M ,Biran C ,Pons P ,Leger M P ,Dunogues J .J. Organomet. Chem. ,1990 ;382 :C21
- 15 Renauld F A D ,Tonge J S U K. Patent 2 234 511 ,1991 , Chem. Abstr. 1991 ;114 :229 144
- 16 Seyferth D ,Yu Y F. Chem. Astr. ,1987 ;106 :120 443
- 17 Weber W P. Ultrastructure Processing of Ceramiv ,Glasses and Composites. In :Hench L L ,Ulrich D R Eds. Eirley Inter-science :New York :1984 ;1 :292
- 18 Procopio L J ,Berry D H. J. Am. Chem. Soc. ,1991 ; 113 :4 039
- 19 Dietmar Seyferth ,Timothy G Wood ,Henry J Tracy. J. Am. Ceram. Soc. ,1992 ;75 ( 5 ) :1 300 ~ 1 302
- 20 Tazi H A ,Pillot J P ,Briot M ,Dunogues J ,Pailler R J. Chem. Soc. ,Chem. Commun. 1994 :2 337
- 21 Schilling C L Jr ,Williams T C. Chem. Abstr. ,1986 ;104 : 6 568
- 22 West R J. Organomet. Chem. ,1986 ;300 :327
- 23 Miller R D ,Michl J. Chem. Rev. ,1989 ;6 :1 359
- 24 Yajima S ,Hayashi J. Chem. Lett. ,1975 :931
- 25 Yajima S. Am. Ceram. Soc. Bull. ,1983 ;62 (8) :897
- 26 Yajima S ,Liaw C F ,Omori M ,Hayashi J. Chem. Lett. , 1976 :435
- 27 Yajima S ,Ocamura K ,Hayashi J ,Omori M. J. Am. Cer-am. Soc. ,1976 ;59 :324
- 28 Yajima S ,Omori M ,Hayashi J ,Ocamura K ,Matsuzawa T. Liaw C F. Chem. Lett. ,1976 ; 551
- 29 Yajima S ,Hasegawa Y ,Hayashi J ,Imura M. J. Mater. Sci. ,1978 ;13 :2 569
- 30 Yajima S. In : Kuhlmann-Wilsdorf D ,Harrigan W C ,Jr eds. New Dev. Appl. Compos. Proc. Symp. Metall. Soc. AIME ,War-rendale ,PA ,1979 :241
- 31 Yajima S. In :Ahmad I ,Noton B R eds. Adavanced Fibers and Composites for Elevated Temperature ,Metall. Soc. AIME War-rendale ,PA ,1980 :29
- 32 Yajima S ,Philos Trans R. Soc. London A , 1980 ;294 :491
- 33 Ishikawa T ,Ichikawa H ,Machino F ,Matsumura T ,Mit-suno S. Chem. Abstr. ,1988 ;109 :111 146
- 34 Ichikawa H ,Okamura K ,Hasegawa Y. J. Mater. Sci. , 1986 ;21 :4 352 ~ 4 358
- 35 Smith T L. Jr. Chem. Abstr. ,1987 ;106 :106 920
- 36 Mare Briot ,Learnaul Pillot ,Jacques Dunogues. Chem. Rev. ,1995 ;95 :1 443
- 37 (a) J. Am. Chem. Soc. ,1956 ;78 :1 686 (b) J. Org. Chem. ,1958 ;23 :1 219
- 38 (a) Chem. Abstr. ,1989 ;111 :8 038 (b) Angew. Chem. , 1990 ;102 :818
- 39 Organometallics ,1991 ;10 :1 457
- 40 Dietmar Seyferth ,Heinrich Lang. Organometallics ,1991 ; 10 :551
- 41 杨一明等.用聚碳硅烷与聚丙烯共混纤维烧成 SiC 纤维.宇航材料工艺 ,1987 ;5 :14
- 42 杨一明 ,陆逸 ,谭自烈 ,冯春祥等.用聚碳硅烷与聚 合物的共混物制造 SiC 纤维.材料科学进展 ,1988 ;2 (1) :19

## 眼镜框铰链热置技术

本项工艺技术采取双程动作 ,自动连续地将铰链热置于眼镜框的左右两侧 ,交叉进行 ,节省工时。加工过程中钻孔、加热、铰链热置均可自动完成。铰链距离、深浅、加热时间长短、铰链倾斜角度可任意调节。为提高热置铰链的质量 ,亦可根据需要采用手动方式进行单独动作。调整维修方便。

该工艺技术先进 ,热置铰链装置质量可靠 ,优于国外同类设备。产品合格率可达 99 % 以上。采用本项技术可制造多种规格产品。本项工艺与传统工艺相比 ,不但生产效率大大提高 ,而且可减少返修 ,节约费用 ,降低成本 ,经济效益十分明显。

· 李连清 ·