

直流电弧等离子体球化 U_3Si_2 粉体

孔常静, 宁伟建, 吴彬, 纪崇甲

(中国科学院力学研究所, 北京 100081)

摘要: 研制了直流电弧等离子体球化 U_3Si_2 粉体装置。在 Ar + He 气氛下对粒度为 10 ~ 150 μm 范围内不规则形状的 U_3Si_2 粉体进行了球化, 球化率达 90 %。

关键词: U_3Si_2 粉体; 等离子体; 球化

中图分类号: O539 **文献标识码:** B

文章编号: 1008 - 5548(2000)04 - 0044 - 03

U_3Si_2 是一种高密度、低浓度核燃料。经真空熔炼配制的 U_3Si_2 合金须制成粉末使用。以机械法获得的 U_3Si_2 颗粒, 其形状不规则, 为条状、多边状、片状等。在制造铀硅化合物燃料元件时, 若将颗粒变成球形, 将提高粉体在基体中的分布均匀性, 提高燃料元件在横截面上的扩散系数和电导率; 改善挤压流动性, 可以克服挤压工艺中存在的困难。

等离子体法制备球状粉体是近年来被广泛应用的方法。直流电弧等离子体法能量转化率高、产品产量高、资本投入少、易实现大规模工业化生产。目前等离子体法制备球状粉体的报道很多, 大部分集中在粉体的超细化上, 等离子体法用于球化粉体的报道较少, 特别是将等离子技术应用于核燃料的球化在国内文献中均未见报道。因此研究 U_3Si_2 粉体的球化具有特别重要的意义。

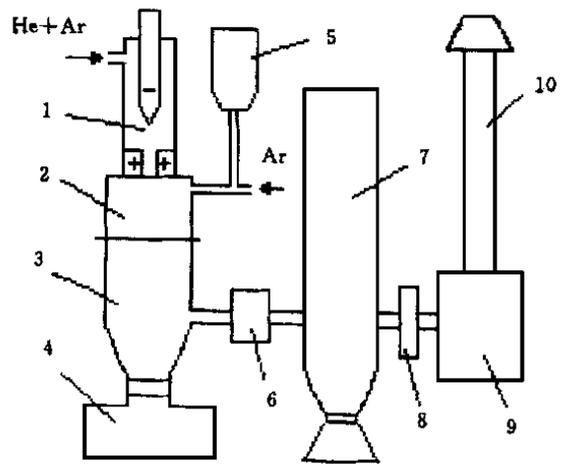
本文在用等离子体技术球化 U_3Si_2 粉体的球化装置与球化工艺方面做了一定的探讨。

1 实验过程

1.1 试验装置

图 1 为自行设计球化装置示意图。等离子体发生器的阴极采用钨钨合金, 阳极采用铜合金。用 Ar + He 为等离子体载气, 气体纯度为 99.99 %。送粉系统为振动式送粉器, 用 Ar 气作为粉体的载气。球化炉与骤冷器以及收集系统均采用为不锈钢壁面。骤冷器采用水冷, 收集器为双碟阀快速拆卸结构。集尘器采用超细滤布。高压抽风机将过滤后的

气体抽出排放。



1. 等离子体发生器 2. 球化炉 3. 骤冷器 4. 收集器 5. 送粉器
6. 螺旋收集器 7. 集尘器 8. 碟阀 9. 高压抽风机 10. 烟筒

图 1 直流等离子体球化 U_3Si_2 装置

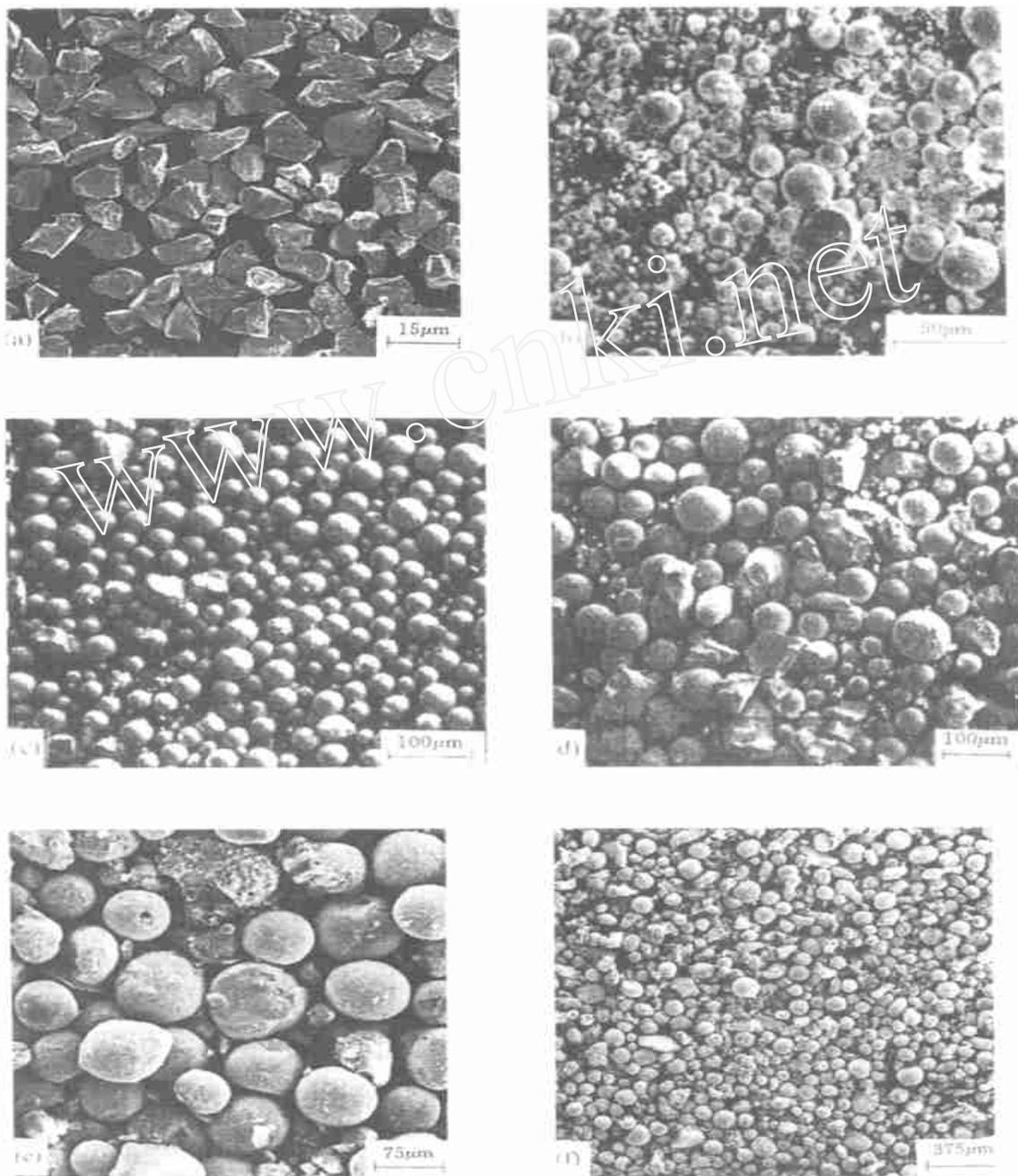
1.2 试验条件

原材料是机械破碎制备的 U_3Si_2 粉体, 粒度在 10 ~ 150 μm 之间, 颗粒呈不规则形状。粉体用筛子分级后球化, 分别为小于 500 目 (10 ~ 150 μm), 320 ~ 500 (25 ~ 45 μm), 200 ~ 320 目 (45 ~ 75 μm), 150 ~ 200 目 (75 ~ 100 μm), 100 ~ 150 目 (100 ~ 150 μm)。球化工艺基本参数为: 电流 400A, 弧电压 70V, 功率 28kW, 等离子体载气为 Ar + He, 送粉载气为 Ar 气, 送粉量 3kg/h。用扫描电镜 (SEM) 观察球化前与球化后粉体的形貌。

1.3 结果

图 2(a) 为球化前的 U_3Si_2 粉体 SEM 形貌照片。图 2(b) ~ (f) 分别为小于 500 目 (10 ~ 15 μm), 320 ~ 500 目 (25 ~ 45 μm), 200 ~ 320 目 (45 ~ 75 μm), 150 ~ 200 目 (75 ~ 100 μm), 100 ~ 150 目 (100 ~ 150 μm) 的 U_3Si_2 粉体球化后的扫描电镜照片。

从图 2(b) ~ (f) 可以看到, 不同粒度范围的 U_3Si_2 粉体均能球化。经不同视场观测可以得到球化率 90 % 以上, 并且球度很好。



(b) < 500 目 (10 ~ 20 μ m) , (c) 320 ~ 500 目 (25 ~ 45 μ m) , (d) 200 ~ 320 目 (45 ~ 75 μ m) ,
 (e) 150 ~ 200 目 (75 ~ 100 μ m) , (f) 100 ~ 150 目 (100 ~ 150 μ m)

图 2 U_3Si_2 粉体球化前(a)与球化后(b) —(f)的 SEM 照片

2 讨 论

直流电弧等离子体球化 U_3Si_2 粉体是将不规则形状的 U_3Si_2 粉体由 Ar 气作载气送入等离子体火焰中,粒子受热、熔融,在内聚力的作用下收缩成球状液滴,液滴进入骤冷器后凝固固化而形成球状颗粒。

U_3Si_2 粉体在空气中易燃烧,在球化过程中要用惰性气体加以保护。 U_3Si_2 粉体最大存放量为 3kg,

因此设计了每小时 3kg 的送粉球化速度。

等离子体发生器与球化器中往往有巨大的温度梯度和速度梯度存在。直流电弧等离子体虽然中心温度高,但高温区尺寸小, U_3Si_2 只有在等离子体火焰中心区,吸收足够的能量才能完成加热、熔融、球化过程。球化炉中气流速度高,颗粒在高温区停留时间短,而 U_3Si_2 密度大(12.2g/cm²),增加粉体在等离子体中的停留时间,才能使粉体能充分吸收能量。

在设计中采用 Ar + He 作为等离子体载气。Ar 气极易电离,但弧压梯度很低,故弧长很短。在前期工作中曾用加氮气的方法来提高弧压,但是,氮气在等离子体状态下与 U_3Si_2 粉体中的铀发生反应生成氮化铀,氮化铀为核燃料所不允许。因此选用添加 He 气来增加电弧长度,使电弧电压提高。电弧长度还与阳极与阴极内的气流状态有关,适当加大等离子体气体的气流量也可以增加电弧长度。当阳极长度一定时,阳极与阴极间的层流状态不仅和其间的内径与内壁的光滑度有关,还与管壁的冷却方式和冷却强度有关,通过合理的调整,可使阳极弧根落在距出口端面 10 ~ 15mm 的位置上,达到发生器热效率和出口火焰长度最佳的状态。使 U_3Si_2 粉体在等离子区具有足够的加热时间吸收能量,熔融、球化。

送粉位置也影响球化效果。从等离子体火焰的横截面看,距中心区越远温度越低,距离阳极出口端面越远,火焰温度越低,所以存在送粉段最佳结构尺寸问题。设计中将送粉口在结构允许的条件下尽量靠近等离子体火焰出口处,使粒子受热行程加长。

球化效果与球化炉内径有关。同等功率下,球化炉内径适当缩小,等离子体火焰相对集中,单位体积内能量密度高,有益于粉体球化,同时内壁缩小还可减少能量损失。首次设计中球化率不到 50%,适当缩小球化炉内径后,粉体的球化率可达 90% 以上。

球化效果还与内壁的散热有关,显然采用较好的内壁面保温层,等离子体火焰热损失减小,有利于受热效率的提高。设计中采用了光面不锈钢内壁,以提高能量利用率。

球化效果与颗粒粒径大小有关。粒径越小,其比表面积越大,吸收能量越多,粒子也易熔透,所以,粒

径小的粒子比粒径大的粒子易球化,因此,可以将 U_3Si_2 粉末进行分级球化。这是因为如果粉体粒度分布较宽,在小颗粒能够球化的工艺条件下,大颗粒不能球化,大颗粒能够球化的条件下小颗粒又被气化,实现不了球化的目的。这个问题与采用不同等离子体气体球化 U_3Si_2 粉末所得的不同结果将在其它文章中论述。

球化效果与球化炉内的压力也有关。气体压力高,单位体积内的能量密度越高,有利于能量的传递,对球化有利。

3 结 论

研制了功率为 28kW 的直流电弧等离子体球化装置。球化 U_3Si_2 粉体可用 Ar + He 混合气体作等离子体载气。10 ~ 15 μ m 范围内的 U_3Si_2 粉体经分级后均可有效地球化,球化率达 90%。

U_3Si_2 Powder Sphericized by Direct Current Plasma

KONG Chang-Jing, NING Wei-jian,

WU Bin, JI Chong-Jia

(Institute of Mechanics, Chinese Academy of Sciences, Beijing 100080)

Abstract The equipment of sphericized U_3Si_2 powder by direct current arc plasma is fabricated. In Ar and He mixture plasma atmosphere, the spherical U_3Si_2 powder is produced from an irregular powder of 10 ~ 15 μ m. The result shows the conversion rate of the U_3Si_2 powder can reach 90%.

Key words U_3Si_2 powder; plasma; sphericize

〔参考文献〕

- 〔1〕江旭昌,王仲春,于雪英,等.管磨机[M].北京:中国建材工业出版社,1992.
- 〔2〕陆厚根.粉体工程学概论[M].上海:同济大学出版社,1987.
- 〔3〕美国联合工业公司(UP. C. O.). Arritor 搅拌式超细磨技术资料[Z].
- 〔4〕日本 KURIMOTO 株式会社.干法超微粉碎机技术资料[Z].
- 〔5〕郑如林.非金属加工技术与设备[M].北京:中国建材工业出版社,1998.
- 〔6〕李征宇,刘箴,李文武.辊式磨在粉体工程上的应用〔J〕.中国粉体技术,1999.5(1):27-32,5(2):33-36.5(3):36-39.

(上接第 43 页)

内;二是要求设备不但具有超细搅拌磨功能,而且还要具有出料的表面改性功能,种具有双功能的超细搅拌磨结构,是粉体技术今后发展的需要;三是完成具有高能粉磨对材料的机械化学反应处理,生成新的复合材料的结构设计,其中要考虑气氛对物料的影响问题;四是要解决设备的大型化问题。任何一种成熟的设备都必须要考虑不同的规模生产,匹配不同的规格和型号,由于规格的变化,设备的结构和拖动系统要做相应的调整,就必须考虑它们之间的相互匹配以及优化结构设计问题。特别是设备的大型化之后,既要满足吨级以上产品的生产又要考虑降低设备本身成本以及系统设备的配套问题。