

1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料的制备和轧制 *

毛卫民 赵爱民 云东 张乐平 康永林 钟雪友

(北京科技大学材料科学与工程学院铸造研究所, 北京 100083)

摘 要 研究了 1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料的制备和轧制规律, 结果表明: 在本实验条件下, 当搅拌时间为 2—3 min 时, 可以获得尺寸大小为 100—200 μm 、固相率为 50%—60% 的球状初生奥氏体的半固态浆料, 便于从搅拌室底孔中放出, 浆料可以实现顺利轧制, 但球状初生固相颗粒与液相发生了分离, 球状初生固相颗粒集中在轧材的心部, 而液相偏聚在轧材的四周, 经过一道次轧制, 1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料轧制板材的常温强度比常规热轧板材的强度高, 但延伸率下降。

关键词 1Cr18Ni9Ti, 半固态, 电磁搅拌, 轧制

中图分类号 TG111.4, TG33

文献标识码 A

文章编号 0412-1961(2003)10-1071-05

SEMI-SOLID SLURRY PREPARATION AND ROLLING OF 1Cr18Ni9Ti STAINLESS STEEL

MAO Weimin, ZHAO Aimin, YUN Dong, ZHANG Leping, KANG Yonglin, ZHONG Xueyou
College of Materials Science and Engineering, University of Science and Technology Beijing, Beijing 100083

Correspondent: MAO Weimin, professor, Tel: (010)62332882, Fax: (010)62327283,

E-mail:mao.weimin@263.net

Supported by National Natural Science Foundation of China (No.59995440)

Manuscript received 2002-11-29, in revised form 2003-04-14

ABSTRACT The experiments of the nondendritic semi-solid slurry preparation of 1Cr18Ni9Ti stainless steel show that when stirred for 2—3 min under the test condition, the semi-solid slurry with 50%—60% fraction solid and spherical primary austenite in the size range of 100—200 μm can be obtained and is easy to be discharged from the bottom little hole of the stirring chamber. The nondendritic slurry can be rolled into given plate form successfully, but the solid phase and liquid phase are separated in rolling process so that the solid primary austenitic grains are concentrated in the center and the residual liquid is near the edge of the rolled plate. The strength of the plate rolled only once with semi-solid slurry are higher than that of the traditionally hot-rolled plate of 1Cr18Ni9Ti stainless steel, but the elongation is lower.

KEY WORDS 1Cr18Ni9Ti, semi-solid, electromagnetic stirring, rolling

对 Al 合金、Mg 合金等低熔点合金进行半固态成形研究的同时, 也对高熔点钢铁材料的半固态成形进行了一定规模的研究, 如 Flemings 等 MIT 的学者们采用机械搅拌方法制备了 AISI440C、304、4340 等钢种的半固态浆料或坯料, 并进行了半固态压铸成形试验, 成功压铸出致密的铸件^[1-5]; 另有学者采用 Osprey 或 SIMA(strain-induced melt activation) 方法制备了 M2 高速钢的半固态坯料, 进行了半固态成形研究^[6]; Blazek 等^[7] 对高熔点黑色合金的电磁搅拌连铸坯料的制备进行了一定的研究。但是, 困扰半固态钢铁压铸等成形工艺进展的主要因

素是模具的寿命不长, 压铸模具在高熔点钢铁半固态浆料的热冲击下容易产生裂纹, 因此应开发适合高熔点半固态钢铁成形的工艺技术, 如钢铁的半固态浆料直接轧制就是一个重要发展方向。由于轧辊的形状较简单和半固态浆料的连续供给, 半固态钢铁浆料对轧辊的热冲击相对减小, 有可能经受得住半固态钢铁浆料的热冲击。为了适应钢铁半固态浆料直接轧制工艺, 机械搅拌、SIMA、Osprey 方法都不适合制备轧制所需的半固态钢铁浆料, 因为机械搅拌的搅拌室和搅拌棒寿命短, 而且易于污染钢铁浆料, SIMA、Osprey 方法只能制备钢铁半固态坯料, 所以, 电磁搅拌可能是连续制备钢铁半固态浆料的重要方法。但目前有关高熔点钢铁材料的半固态浆料电磁搅拌制备和直接轧制的研究报道很少, 本文以 1Cr18Ni9Ti 不锈钢为对象, 研究了半固态钢铁浆料的电磁搅拌制备和半固态浆料的直接轧制, 制备出固相率为 40%—80% 的 1Cr18Ni9Ti

* 国家自然科学基金资助项目 59995440

收到初稿日期: 2002-11-29, 收到修改稿日期: 2003-04-14

作者简介: 毛卫民, 男, 1958 年生, 教授, 博士

不锈钢浆料,并在半固态状态下轧制出了 1Cr18Ni9Ti 不锈钢板材,为高熔点钢铁半固态浆料直接轧制成形提供了实验依据。

1 实验方法

熔化所用原材料为 1Cr18Ni9Ti 不锈钢,成分(质量分数,%)为: C0.1, Si \leq 1.0, Mn \leq 2.0, P \leq 0.035, S \leq 0.03, Cr17.43, Ni10.63, Ti0.59。熔炼设备为 100 kW 中频无芯感应电炉。每次熔炼 15 kg 1Cr18Ni9Ti 不锈钢;出钢前用适量的硅钙粉对钢水进行脱氧,为了便于浇注和加热搅拌室内衬,1Cr18Ni9Ti 不锈钢的出炉温度控制在 1600 ℃;钢水出炉后,直接浇入钢铁材料半固态流变浆料的制备装置中,立即通电进行电磁搅拌。

钢铁半固态浆料制备与轧制装置如图 1 所示。该装置的工艺路线是采用电磁搅拌器对浇入搅拌室中的钢水进行连续变温搅拌,控制搅拌室中钢水的冷却速度,使其处于液相线温度 T_l 和固相线温度 T_s 之间的时间足够长,以便能对其进行较充分的电磁搅拌,获得球状或近球状初生固相(先析出固相)的钢铁材料半固态浆料,并通过中间塞杆及其提升机构将半固态浆料定量输送出来,将半固态 1Cr18Ni9Ti 不锈钢流变浆料送到空心水冷双辊轧机的辊缝,进行半固态浆料直接轧制实验。

首先实验确定合适的 1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料制备工艺参数。在本实验中,在浇注 1Cr18Ni9Ti 不锈钢之前,首先将搅拌室预热至 1080 ℃;为了控温精确,分别用 PtRh-Pt 热电偶测量搅拌室底部和顶部的预热温度,同时为了减少实验消耗,在浇注钢水之前将测温热

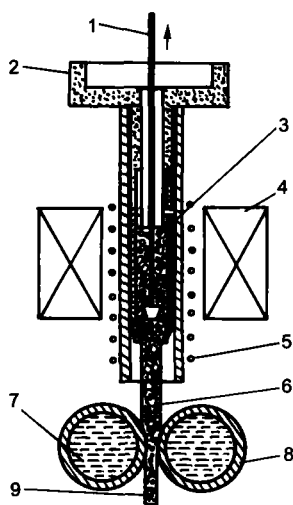


图 1 半固态钢铁浆料制备与轧制示意图

Fig.1 Schematic of preparation and rolling of the semi-solid steel slurry (1—Center block bar, 2—Pouring basin, 3—Chamber, 4—Electromagnetic stirrer, 5—Heating element, 6—Slurry, 7—Cooling water, 8—Roller, 9—Rolled plate)

电偶取出;每搅拌一定时间,将石英管吸样器插入半固态 1Cr18Ni9Ti 不锈钢浆料中,吸取适量的半固态浆料并将其淬入水中;将经过搅拌和淬火的不锈钢金相试样经过预磨、抛光,最后用 (75% $\text{HCl}+25\%\text{HNO}_3$, 体积分数) 试剂对 1Cr18Ni9Ti 不锈钢金相试样进行侵蚀,观察一次结晶的奥氏体形态与分布,对比分析试样淬火前初生奥氏体的固相率,确定合适的半固态浆料制备条件。第一组试样电磁搅拌实验条件:搅拌功率 9.8 kW,搅拌时间 60, 120, 180, 240, 300 s;第二组试样电磁搅拌实验条件:搅拌功率 5.9 kW,搅拌时间 60, 200, 395, 440 s。

按实验确定的最佳制备工艺参数制备 1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料和直接轧制浆料。本实验轧机为双辊不可逆单道轧机,轧辊为铸铁辊,辊径为 240 mm,辊缝为 5 mm,轧辊外表温度约为 50 ℃,轧制线速度为 1173 mm/min,轧辊内部通水冷却。

对 1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态轧制坯的组织与常温力学性能进行检测,取样部位为轧板的中部稳定区。

2 实验结果及讨论

2.1 半固态浆料的制备

在传统的凝固条件下,1Cr18Ni9Ti 不锈钢的奥氏体将凝固成树枝晶,但在电磁搅拌下凝固,初生奥氏体却变成了球状或粒状形态,如图 2 所示。在图 2 中,较大的颗粒为初生奥氏体,细小的组织为液相的淬火组织。从图 2 中可以看出,在其它条件一致的情况下,电磁搅拌功率是一个非常重要的参数。当搅拌室和中间塞杆预热到 1080 ℃,电磁搅拌功率为 9.8 kW,浇入的 1600 ℃ 不锈钢钢水的凝固组织发生了根本性变化,初生奥氏体转变为球状颗粒,这些颗粒大小较均匀,形貌很圆整,如图 2a—d 所示。当搅拌时间为 2—3 min 时,球状初生奥氏体颗粒已经很圆整,这时的固相率约 50%—60%,当升起中间塞杆时,1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料很容易从搅拌室底部的小孔中放出,再经过一个垂直通道直接进入双辊板坯轧机的两辊中间。如果继续进行连续降温电磁搅拌,组织中的固相率不断升高,如图 2d 所示,半固态浆料的固相率约有 60%—80%,该浆料从搅拌室底部的小孔中放出时较为困难,因为这时半固态浆料的粘度较高,许多半固态浆料粘附在搅拌室内壁上。所以,从本组实验看,对于 1Cr18Ni9Ti 不锈钢的半固态浆料轧制,比较恰当的半固态浆料制备条件是:搅拌室和中心塞杆预热 1080 ℃、浇注温度为 1600 ℃、搅拌功率为 9.8 kW、搅拌时间 2—3 min。

当搅拌室和中心塞杆的预热温度和 1Cr18Ni9Ti 钢水的浇注温度不变,只将搅拌功率降为 5.9 kW 时,1Cr18Ni9Ti 不锈钢熔体虽然也在搅拌中凝固,但初生奥氏体球化的不理想,组织中既存在许多的球状初生奥氏体,也有许多初生奥氏体颗粒形貌呈蔷薇状,类似不太发

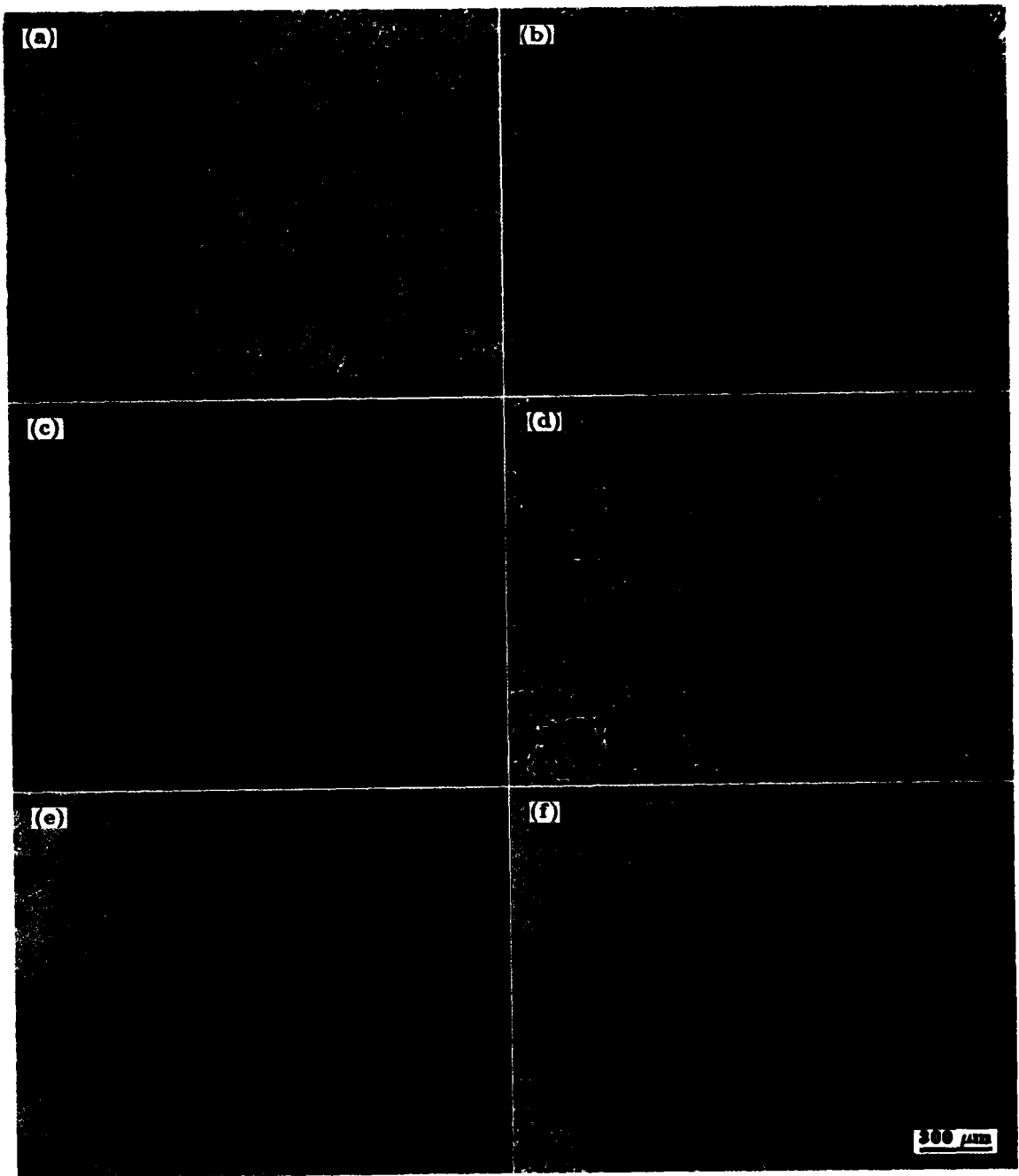


图 2 1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态淬火组织

Fig.2 Microstructures of semi-solid 1Cr18Ni9Ti stainless steel stirred at 9.8 kW for 60 s (a), 120 s (b), 180 s (c), 240 s (d) and at 5.9 kW for 395 s (e) and 440 s (f)

达的等轴枝晶, 即使搅拌时间增长, 这种形貌的初生奥氏体依然存在, 如图 2e 和 f 所示. 再进一步降低电磁搅拌功率, 1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料的组织更不理想, 初生奥氏体往往形成一个尺寸较大的团, 也有较大的树枝晶存在.

2.2 半固态浆料的直接轧制

将不同固相率的 1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料输

送到双辊不可逆单道轧机的辊缝中进行轧制实验, 半固态浆料被轧制成了板材, 板材尺寸为 120 mm×5 mm. 板材的外观平整、表面质量较好. 如果半固态浆料输送过快, 半固态浆料就会在轧辊上面堆积而流向孔型以外, 致使板材的宽度方向容易出现毛边. 对半固态轧制板材横向断面进行组织检测, 板材的显微组织如图 3 所示. 可以看出, 经过轧制以后, 半固态浆料的球状初生固相颗粒和液相产

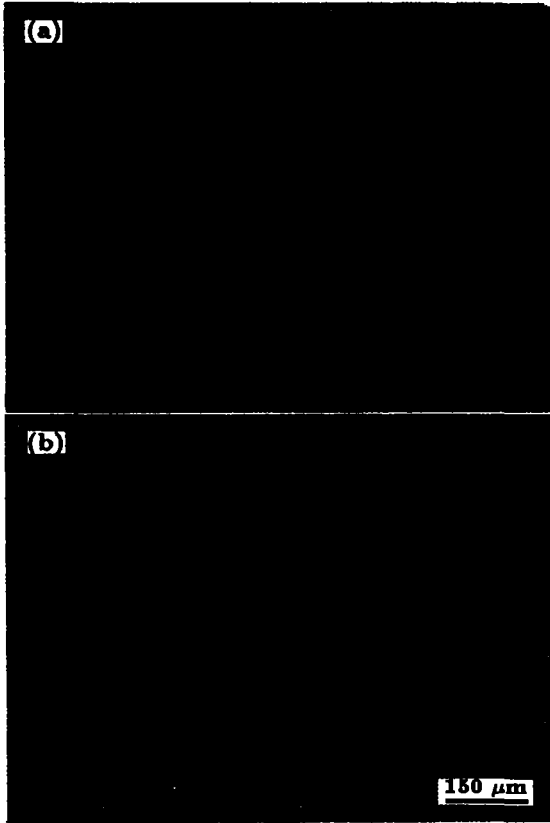


图3 1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态轧制坯件的组织

Fig.3 Microstructures of semi-solid rolled plate of 1Cr18Ni9Ti stainless steel in the middle of the plate (a) and near the edge of the plate (b)

生了分离和偏聚,球状初生固相颗粒集中在轧件的中间,而液相则集中在轧件的四周.实验还表明,不论1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料的固相分数是多少,经过轧制以后,都有不同程度的液相偏聚现象;当固相分数较低时,液相偏聚较严重,随着固相分数增高,液相偏聚减轻.当半固态1Cr18Ni9Ti 不锈钢浆料的固相分数较低时,在轧制过程中,球状初生固相颗粒基本不发生变形,如图3a所示.但当半固态1Cr18Ni9Ti 不锈钢浆料的固相分数较高时,在轧制过程中,球状初生固相颗粒将发生变形.

在1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料直接轧制过程中,半固态浆料从搅拌室下方的输送管道流下来,浆料熔体的直径约为16 mm,轧辊的孔型宽度只有5 mm,所以,在轧制力的作用下,半固态浆料将被压扁以充满辊缝.因为轧辊下方为已经凝固的板材,轧辊上方是半固态浆料,变形中的半固态浆料将沿轧辊轴向向两边流动而形成板材.在半固态浆料的流动过程中,液相和固相的流动阻力大小不同,液相的粘度较低,其流动阻力较小,液相会穿过固相之间的缝隙而向四周流动,但固相在流动时会相互碰撞,其流动阻力较大,固相的流动速度较慢,所以半固态浆料加压变形的结果就造成了液相和固相的分离和偏聚现象.轧辊的轧制线速度越慢,半固态浆料中液相的流动越充分,液相和固相的分离和偏聚现象就越严重,因此,半固态浆料轧制应该在合适的轧制速度下进行.

2.3 半固态浆料轧制件的性能

从1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料轧制板材的中段轧制稳定区上截取抗拉试样,取样部位如图4所示.在常温下,对1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料轧制板材试样进行拉伸实验,实验结果见表1.与普通热轧1Cr18Ni9Ti 不锈钢相比,经过半固态轧制后,1Cr18Ni9Ti 不锈钢的强度没有下降,而且处于较高的水平,但伸长率下降较多,这可能是1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料轧材中组织不均匀和轧制道次少的缘故,如果增加后续轧制道次,有可能进一步提高半固态浆料轧材的伸长率.如果采取进一步的工艺措施,使半固态浆料轧材中的初生固相颗粒均匀分布,也可以进一步提高材料性能的均匀性.

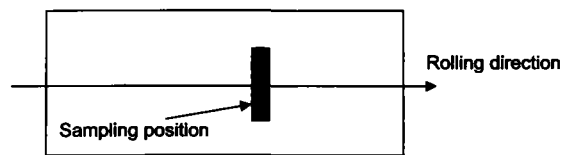


图4 拉伸试样取样部位

Fig.4 Sampling position for the tensile experiment from the rolled plate

表1 1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料轧制板材与常规热轧板材力学性能比较

Table 1 Property comparison between the semi-solid rolled plate and traditional hot-rolled plate of 1Cr18Ni9Ti stainless steel

Rolling process	Heat treatment	Tensile strength, MPa	Yield strength, MPa	Elongation, %
Traditionally hot rolling	Quenched in water at 1100 °C	541—790	196—510	40—81
SSM rolling only once	Quenched in water after rolling	766	492	27.7

3 结论

(1) 在本实验条件下, 制备 1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料的工艺条件为: 搅拌室和中心塞杆预热 1080 ℃, 钢水浇注温度为 1600 ℃, 搅拌功率为 9.8 kW, 搅拌时间为 2—3 min, 这时球状或近球状先初生奥氏体颗粒的尺寸大小为 100—200 μm, 固相率为 50%—60%, 这样的半固态浆料便于从搅拌室底孔中放出.

(2) 1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料可以实现顺利轧制, 但球状初生固相颗粒与液相发生了偏聚, 球状初生固相颗粒集中在轧材的心部, 而液相偏聚在轧材的四周, 固相分数越低, 液相偏聚现象越严重.

(3) 经过一道次轧制, 1Cr18Ni9Ti 不锈钢半固态浆料轧制板材的常温强度比常规热轧板材的强度高, 但伸长率下降.

参考文献

- [1] Flemings M C. *Metall Trans*, 1991; 22A(5): 957
- [2] Garat M, Blais S. In: Bhasin A K, Moore J J, Young K P, Midson S eds. *The 5th Int. Conf. on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, USA: the Colorado School of Mines, Colorado, 1998: 199
- [3] Eisen P, Young K. In: Chiarmetta G L, Rosso M eds, *The 6th Int Conf on Semi-Solid Processing of Alloys and Composites*, Italy: Department of Materials Science and Chemical Engineering, Politecnico Di Torino, 2000: 41
- [4] Oblak J M, Rand W H. *Metall Trans*, 1976; 7B(12): 705
- [5] Young K P, Riek R G, Flemings M C. *Met Technol*, 1979; 6(4): 130
- [6] Kapranos P, Kirkwood D H, Sellars C M. In: Kirkwood D H, Kapranos P eds, *The 4th Int Conf on Semi-Solid Processing of Alloys and Compositions*. UK: Department of Engineering Materials, University of Sheffield, 1996: 306
- [7] Blazek K E, Kelly J E, Pottore N S. *ISIJ Int*, 1995; 35(6): 813