

里推移。也可以设置这样一种条件：液态金属注入模具后，让其镇静缓冷至半固态，再行合模施压，以造成典型的半固态加工过程。但事实证明，理论研究可以，实际生产却很难达到。②液态轧制。图3为液态轧制示意图。液态金属直接注入两轧辊（起结晶器作用）组成的辊缝之间，并随着轧辊的旋转进入变形区，实现半固态轧制。③实际应用。液态模锻的发展史已有一个世纪，但其应用仍然方兴未艾。目前正向汽车、摩托车和航天器方向扩展。最有代表性的产品是汽车铝轮毂，图4a为某铝轮毂实物照片。更可喜的是，液态模锻正逐步向航天领域渗透。图4b为哈尔滨工业大学为航天总公司某院研制的液态模锻铝合金三通照片，其内腔形状与外部形状可同时制出。

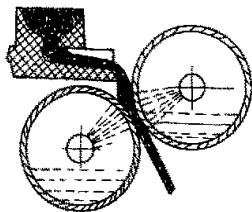
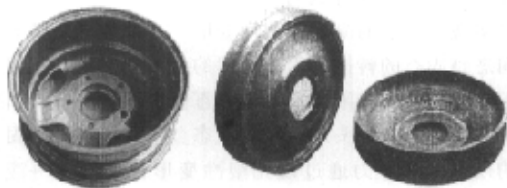


图3 液态轧制示意图



(a) 铝合金汽车轮毂 (b) 铝合金三通管连接件

图4 液态模锻制件照片

液态挤压的生产应用刚刚开始，预计在金属复合材料管、型材成形等领域具有潜在的应用前景；至于连续铸挤，英国某公司已应用于生产，而我国还处在研究阶段；液态轧制在我国50年代就已进行过低碳钢板液态轧制实验，并取得进展。

(2) 半熔融法 半熔融法是将铸坯或已变形的锻坯加热至半固态，即在毛坯内部固相与液相处于稳定共存状态时，直接施加外力，使其产生变形、流动充填、压入等过程，从而获得一定形状和尺寸制件的加工方法。即固态加热至半熔融态时，可进行挤压、模锻（见图5）和轧制。

该过程的主要特点：①金属不需要加热至熔化

状态，可减少气体吸入，净化材质。而液相的存在，可在坯料与工具间产生润滑作用。②加工耗能与固态比大大降低，同时显著地改善了工具的工作条件（包括温度和受力），提高了模具的寿命。③制件组织性能好，尺寸精度高，同时比较容易实现难加工材料的成形。半熔融法有三种形式：同时加热。将坯料直接置于安装在压力机上的模具中，两者均加热，待坯料至半固态后直接施压，以实现半固态加工；半同时加热。将坯料与模具局部（例如可更换的凹模块）在模具外加热至半固态，然后置于模具中，实现半固态加工；简单加热。在模具外将坯料加热至半固态，然后移入模具中，实现半固态加工。

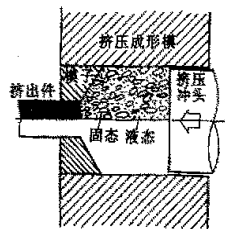


图5 半熔融模锻法

图6为半熔融挤压压力与位移曲线，表明变形力在相同固相分数下，随挤压比的增大而增加。

半熔融挤压尚未达到实用程度，有许多技术难点有待解决。其中固相率很关键，一般主要控制温度。温度取合金液相线和固相线温度中间值为好。另外，坯料高温氧化问题也应重视，应采用保护气体加热或快速加热来解决。

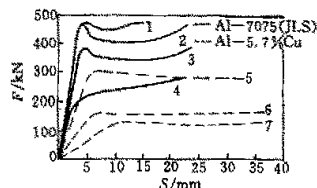


图6 半熔融挤压压力-位移曲线

- 1— $f_s = 88.5\%$, $\phi 2 \times 4$ B.L
- 2— $f_s = 88.5\%$, $\phi 4 \times 8$ B.L
- 3— $f_s = 88.5\%$, $\phi 6 \times 12$ B.L
- 4— $f_s = 88.5\%$, $\phi 10 \times 30$ B.L
- 5— $f_s = 100\%$, $\phi 10 \times 30$ B.L
- 6— $f_s = 90\%$, $\phi 10 \times 30$ B.L
- 7— $f_s = 80\%$, $\phi 10 \times 30$ B.L

(待续) (20031029)