

高压压铸铝结构件 (HPDC) 模具材料的关键特性

为降低油耗，减少对环境的影响，汽车领域对轻质部件的需求不断增加，利用高压压铸 (HPDC) 制造铝结构件的机会来了。通常，结构钢部件若重量较轻，且具备相符的机械性能，则其竞争优势较大。不同于传统的 HPDC 部件，轻质部件通常尺寸更大，由于集成多个部件，设计结构也更复杂。传统的 HPDC 铝制部件通常屈服强度较低，因此通常用于对冲击韧性和屈服强度要求不高的部位。图 1. 显示采用结构性 AI-HPDC (高压压铸铝件) 制造的车身部件类型。

与制造传统 AI HPDC (高压压铸铝件) 零件相比，AI HPDC (高压压铸铝件) 结构件的模具寿命有缩短的趋势。其原因各异，但最大的失效机制来自热疲劳或热裂。因此，需要模具材料的解决方案，延长加工大尺寸模具的模具使用寿命，以满足对 AI HPDC (高压压铸铝件) 结构件的要求。针对 AI HPDC (高压压铸铝件) 结构件的模具寿命，设定了三个标准。模具材料需要具有抗热疲劳性的化学成分。整体需具有高度的同质性和相符的特性。需要研究热处理参数，确保大尺寸模具实现最佳性能。

材料

在对两个热作钢种的热疲劳强度进行化学成分对比试验的基础上，研制出了 HPDC 常用的 H13 ESR 和 Dievar。结果表明，与 Dievar 相比，H13 ESR 在三个循环测试后产生的裂纹更深（见图 2）。H13 ESR 裂纹的平均深度也比 Dievar 深（图 3）。

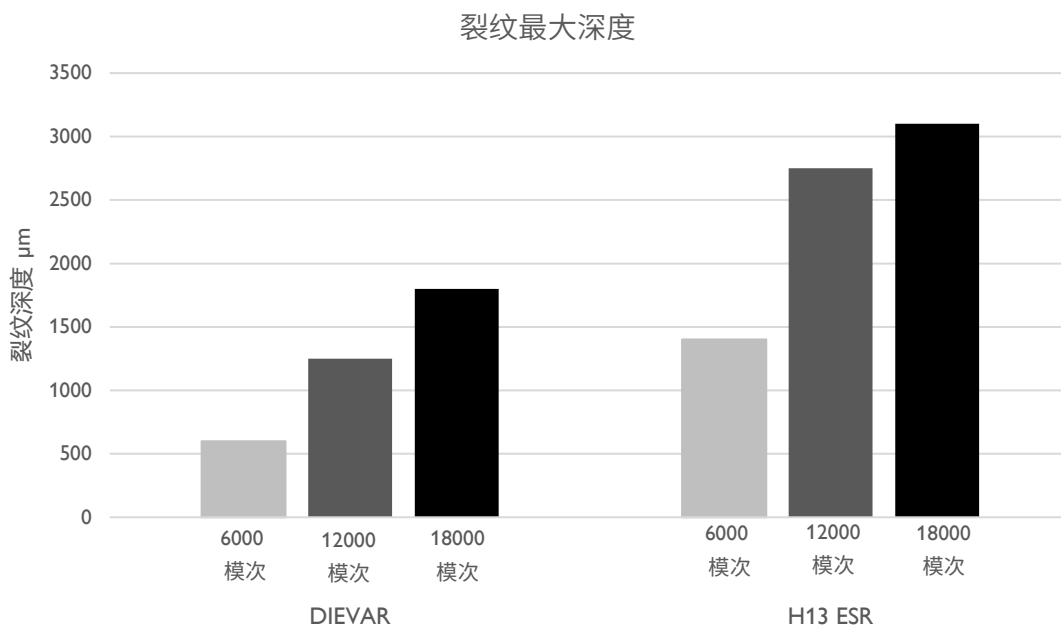


图 2. 显示最大裂纹深度

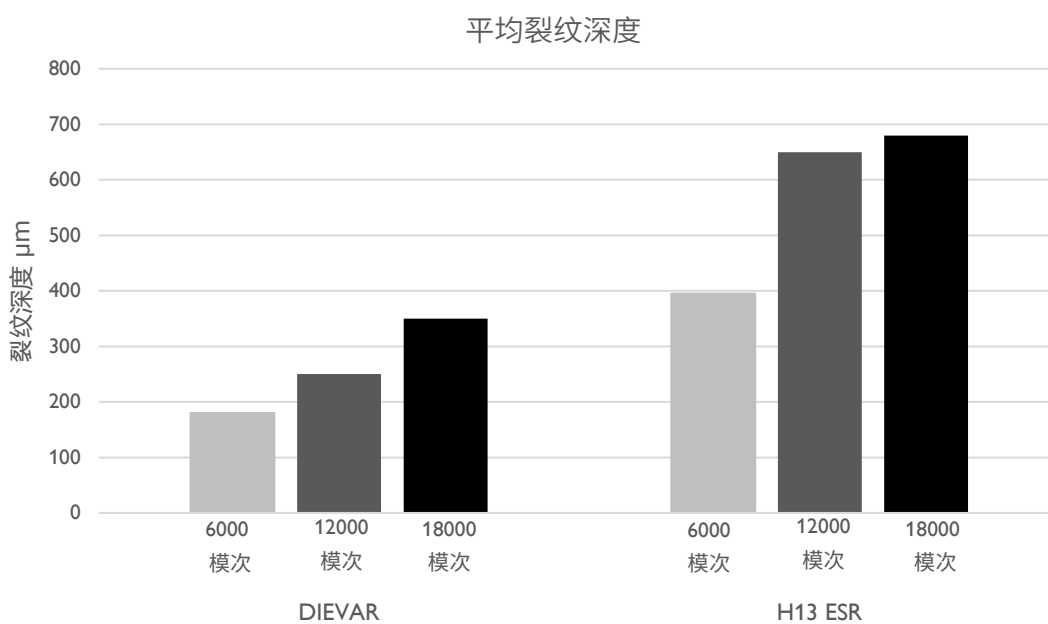


图 3. 显示平均裂纹深度

从材料自外到内的硬度测量表明，与 Dievar 相比，H13 ESR 硬度更低，裂纹更深。随着周期循环次数的增加，两种材料的硬度都有所降低。H13 ESR 回火抗力较低，因此硬度下降也更多。

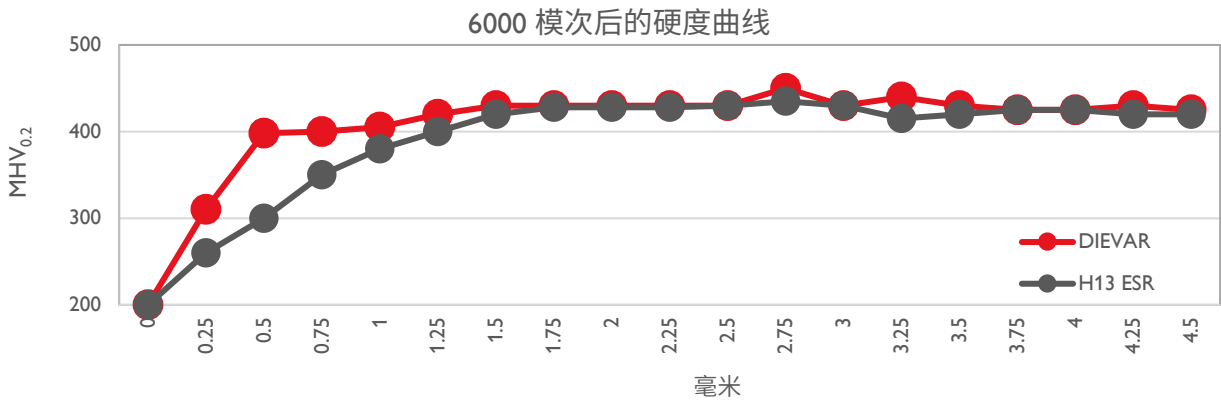


图 4. 6000 模次后的硬度曲线

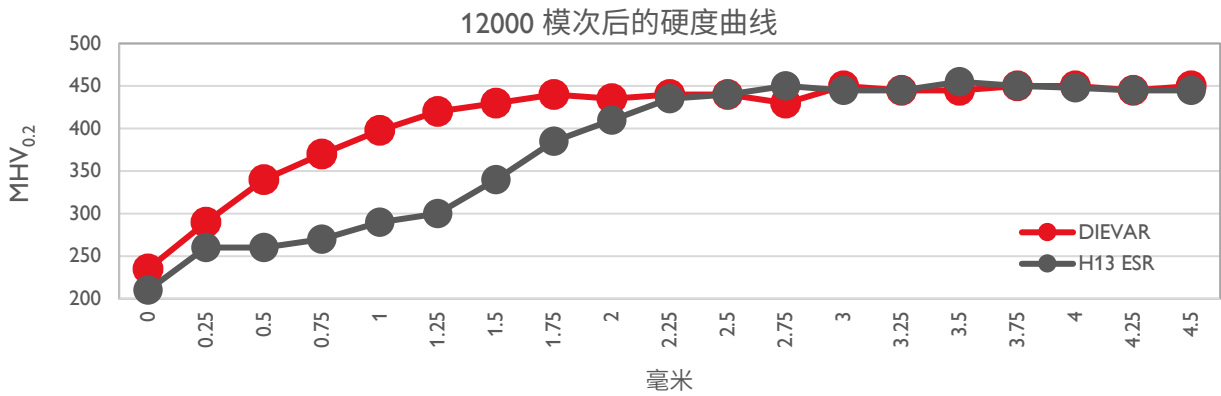


图 5. 12000 模次后的硬度曲线

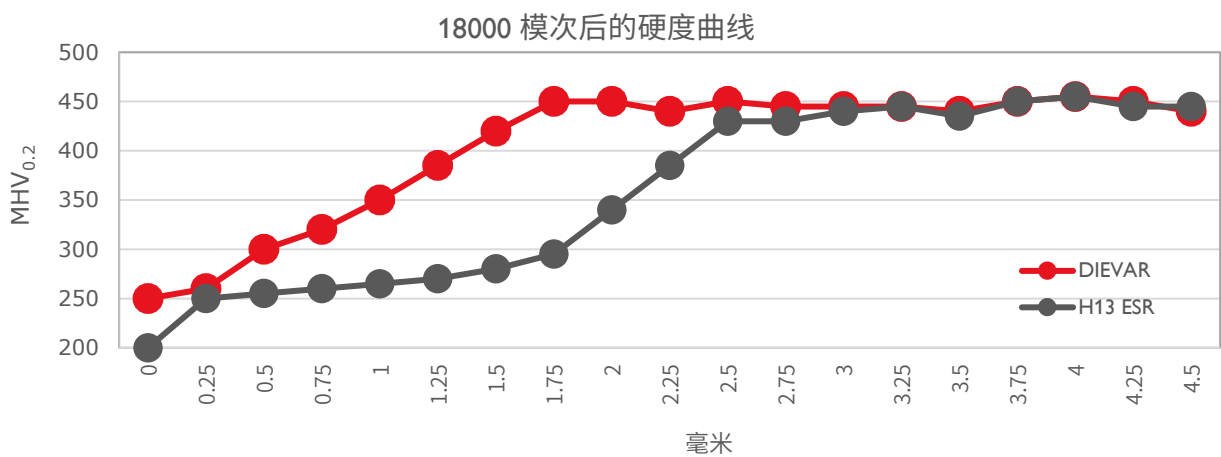


图 6. 18000 模次后的硬度曲线

方法阶段 1

根据热疲劳测试结果，Dievar 具有最佳的抗热疲劳性能。为了让更大尺寸的部件获得类似的特性，延长大型铸件（如AI HPDC 高压压铸铝件）的模具寿命，对更大尺寸的模块进行了试验。

1550 毫米 X 550 毫米大小的模块经电渣重熔，获得均质特性，按适当锻造比进行锻造。

从模块中心与表面取样，研究达到的特性（图 7）。基于机械性能，在硬化条件下对韧性和延展性进行测试。



图 7. 采样点

方法阶段 2 热处理

第二阶段的实验，通过分级淬火，来研究整体模块的淬透性及其可能性。以接近真空热处理期间模具表面和中心的实际淬火率，进行淬透性试验。

分级淬火

淬火将材料从奥氏体转变为马氏体。奥氏体是材料在加热到特定温度时所处的阶段，从而溶解碳化物。为获得所需的马氏体结构，最大限度地减少降低机械性能的贝氏体，淬火速度要快。

由于中心淬火比表面慢，为减少贝氏体，进行了阶梯淬火试验。以每分钟 28 °C 进行冷却，在产生马氏体之前停止，并开始分级淬火温度试验。按照三种不同的温度进行分级淬火：350 °C、425 °C 和 500 °C，保温 30 分钟（图 8）。之后，以每分钟 30 °C 的冷却速度降至 50 °C。为了研究分级淬火的影响，对显微组织与韧性进行观测与测量。

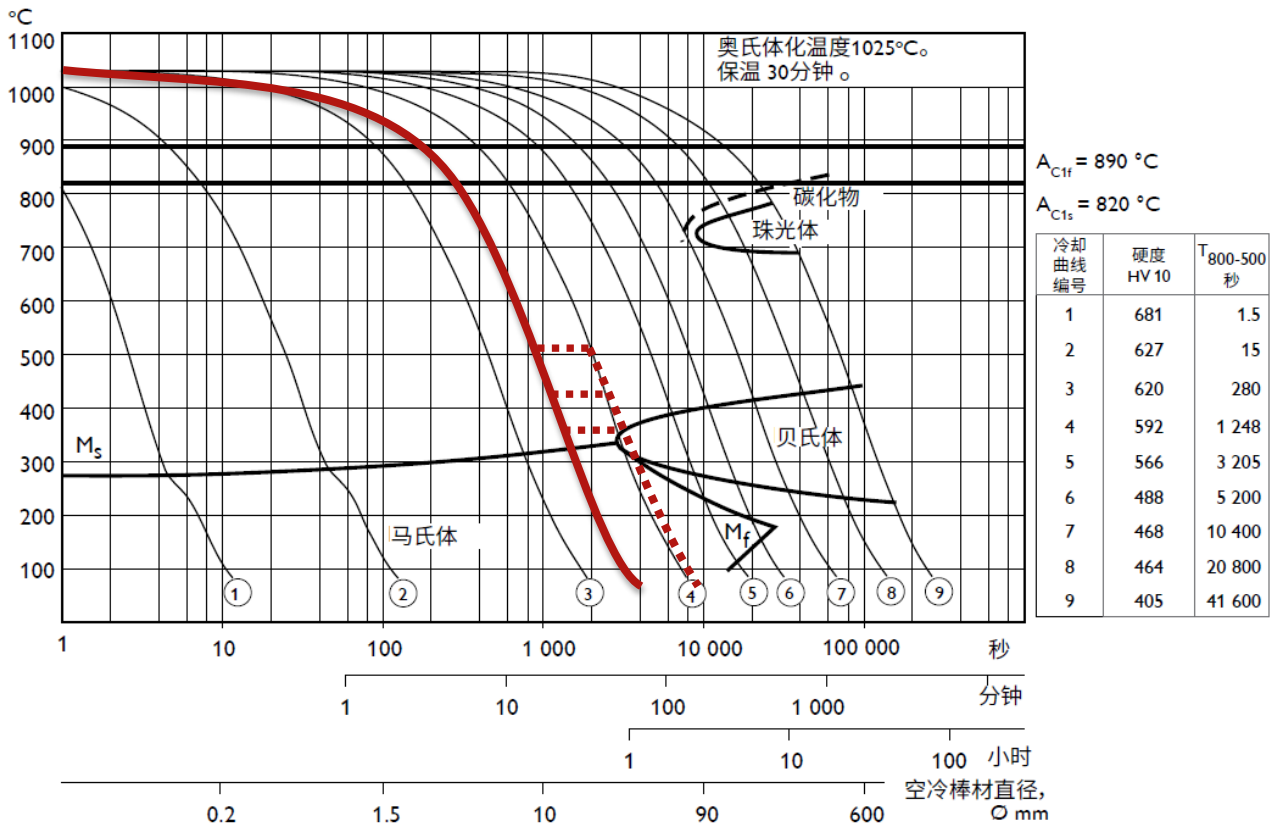


图 8. Dievar 在 1010 °C 下奥氏体化 30 分钟的 CCT 图。红色曲线对应 T8-5 = 650s (28°C/min) 的稳定冷却。虚线仅表示本研究中测试的分段淬火温度。

结果阶段 1 材料尺寸

表1为实验阶段 1 的数值，从材料表面和中心取样。结果表明，材料表面和中心都达到了与性能相符的韧性和延展性。

表格 1 实验阶段 1 的数值

位置	韧性 ST 平均 J	延展性 ST 平均 J
表面	27	414
中心	26	362

结果阶段 2 热处理

分级淬火

表 2 呈现了 Charpy-V 冲击试验的韧性值与显微组织的观测结果。

在 425°C 下进行分段淬火的材料显示了最高冲击能，约为 26J。500°C 下分段淬火的样品的冲击能较低，约为 22J。在 350°C 下分段淬火的样品的冲击能非常低，为 12J，不到最佳条件的一半。经最低温分段淬火的样品，其冲击韧性的降低可通过干扰贝氏体显微组织的分级淬火温度和保温时间来解释。CCT 图中（图 13）可见，350°C 最有可能干扰贝氏体区。

表格 2 显示淬火状态下显微组织的韧性值和 Charpy-V 冲击韧性

分级淬火 °C	显微组织	延展性 ST 平均 J
350	存在贝氏体	12
425	马氏体	26
500	存在更明显的渗碳体沉淀	22

图 9 和图 10 分别显示了在 500 °C、425 °C 和 350 °C 下分段淬火的样品的显微组织。

在所有材料中都观察到马氏体结构，与分级淬火温度无关。然而，与其他两种分级温度相比，在 TS = 350°C 的情况下，马氏体板条明显更粗糙。在 350 °C 下分段淬火的样品展现出显著不同的显微组织。贝氏体结构与马氏体板条一起清晰可见。此类显微组织与观察到的较低冲击能量的影响密切相关。因此，韧性较低的原因与组织中的贝氏体有关。

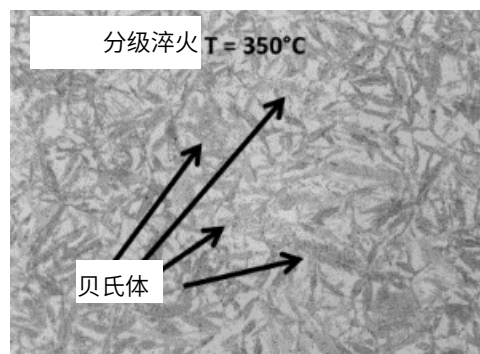


图 9 显示的分段淬火，淬火后的左侧和回火后的右侧(350 °C)

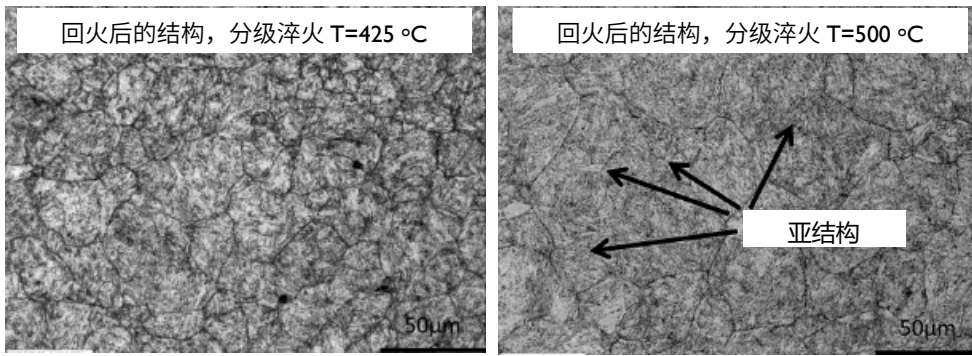


图 10 显示的分段淬火 回火后的左侧(425 °C)，回火后的右侧(500 °C)

作者：

Sebastian Siversten, Uddeholms AB 热作材料应用经理。

用以说明一胜百相应的等级。