



中南大学

“有色金属工程案例库”教学课件 No.15

AZ80镁合金空心型材工程试制

案例制作：林高用 教授
中南大学材料科学与工程学院

目录



**引言及案例
背景**



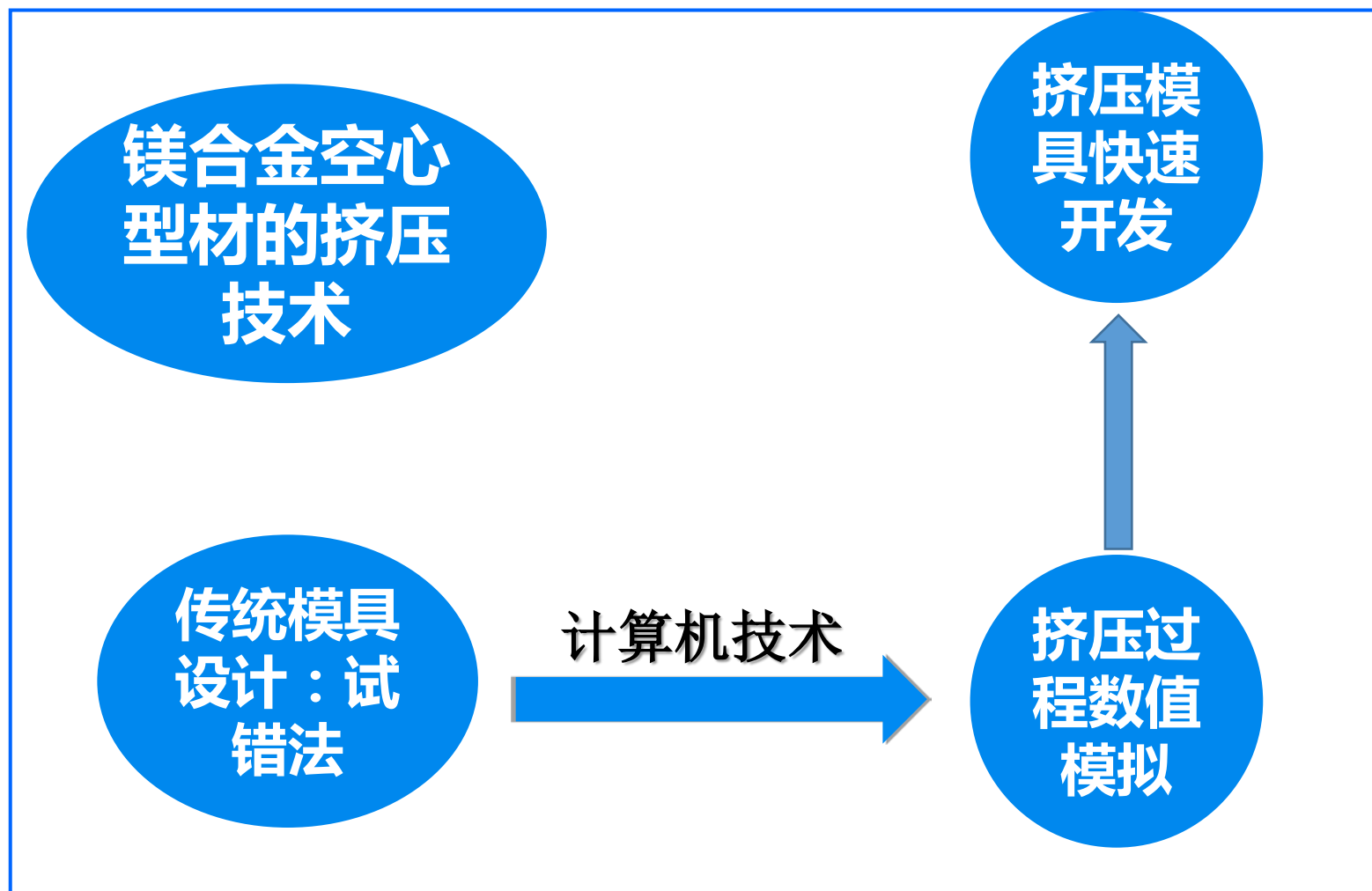
**挤压分流模
有限元模拟**



**分流挤压
实验**



总结与思考



研究内容

为了研究AZ80镁合金金属流在模具中的流动规律，指导模具设计，本案例利用型材挤压成形模拟软件 **QForm-Extrusion** 对AZ80镁合金空心型材挤压过程进行数值仿真分析，并通过分析**模具出料口型材横截面各部位的速度差值**来研究AZ80镁合金在挤压模具中的流动行为和变形规律，然后根据**模拟结果优化模具结构，减少模具设计时间**。

课题来源：湖南省某金属材料有限公司

根据用户需求开展工程试制；与学校开展合作研发。

加工需求：应用于纺织机梳栉床的镁合金空心型材，减轻设备重量。选择**AZ80镁合金**，其具有高强度，低比重，相当好的延展性，非常好的耐蚀抗氧化性能。

意义：应用于纺织机梳栉床，以取代钢质和铝质材料，可显著减轻构件重量，减低梳栉床运行能耗。经深入开发可望在该领域获得新的突破，拓展镁合金的应用范围。

创新点：采用**分流焊合**方法挤压截面较复杂的AZ80镁合金型材，具有显著创新，可望**突破传统**的AZ80镁合金不能分流焊合的认识。

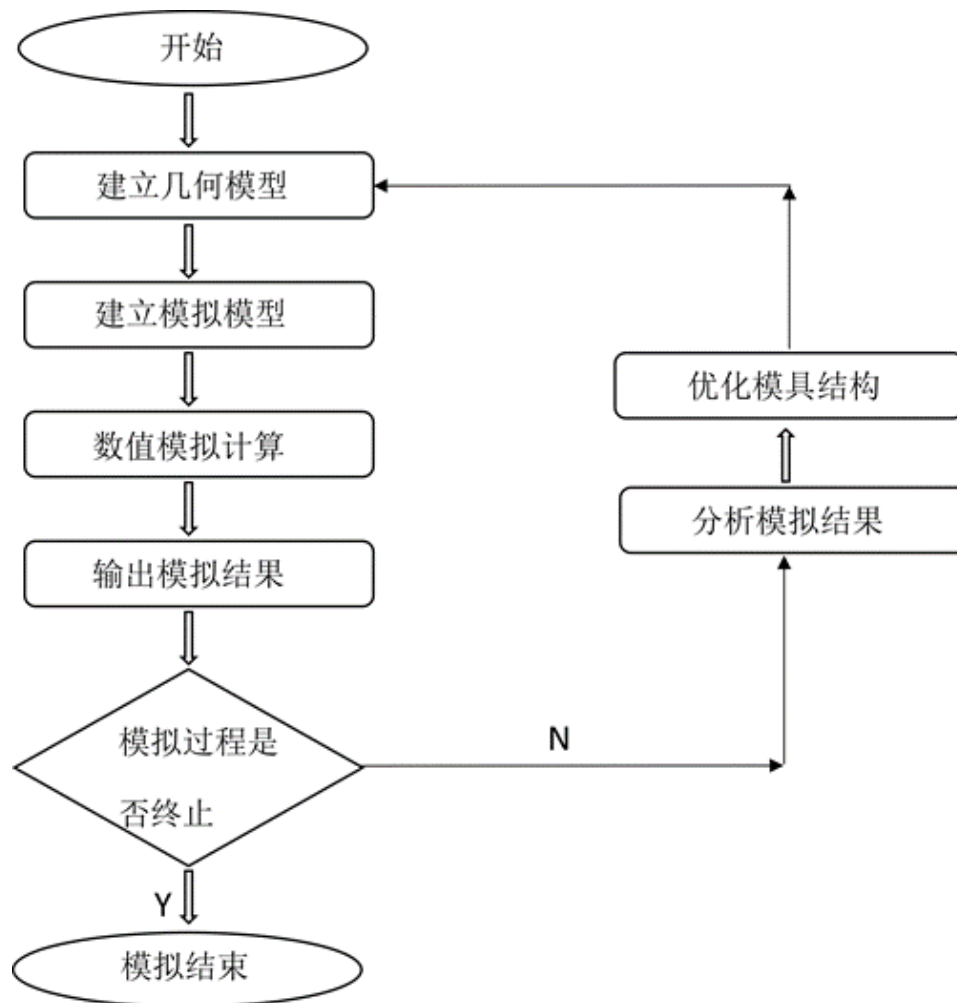


图 1 模具设计优化路线图

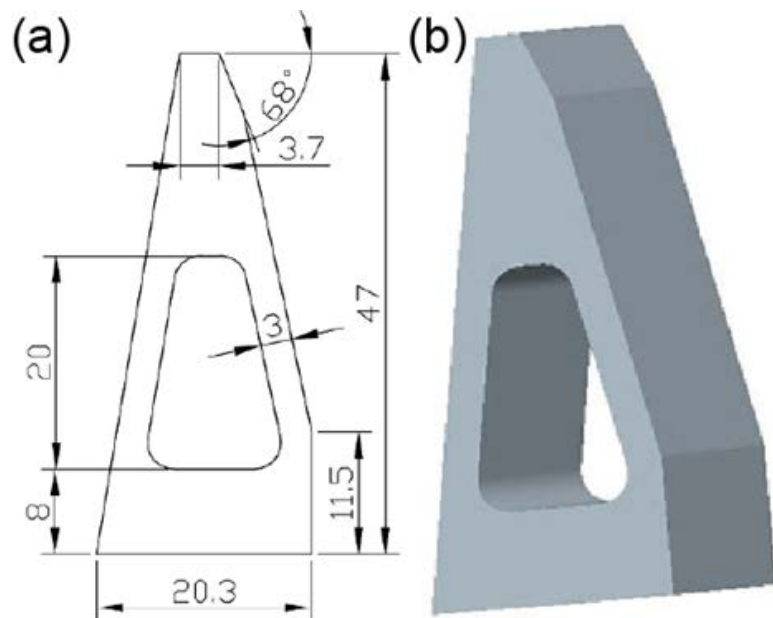


图2 AZ80镁合金空心型材尺寸和形状
(a) 截面尺寸；(b) 三维图

成品要求：长度定尺长6米，平直度要求弯扭变形率不大于0.5 mm/m。该型材最大尺寸为47 mm，厚度3~10 mm不等，断面面积达到442.02 mm²。

困难：型材壁厚不均，且形状不对称。

挤压模具的使用要求：在挤压吨位为8 MN的挤压机上进行，挤压筒直径为125 mm，初始挤压速度为2 mm/s，挤压比为27.76。

平面分流挤
压模



包括上模、下模、定位
销、联接螺钉等部分

简化处理



只考虑上模
和下模

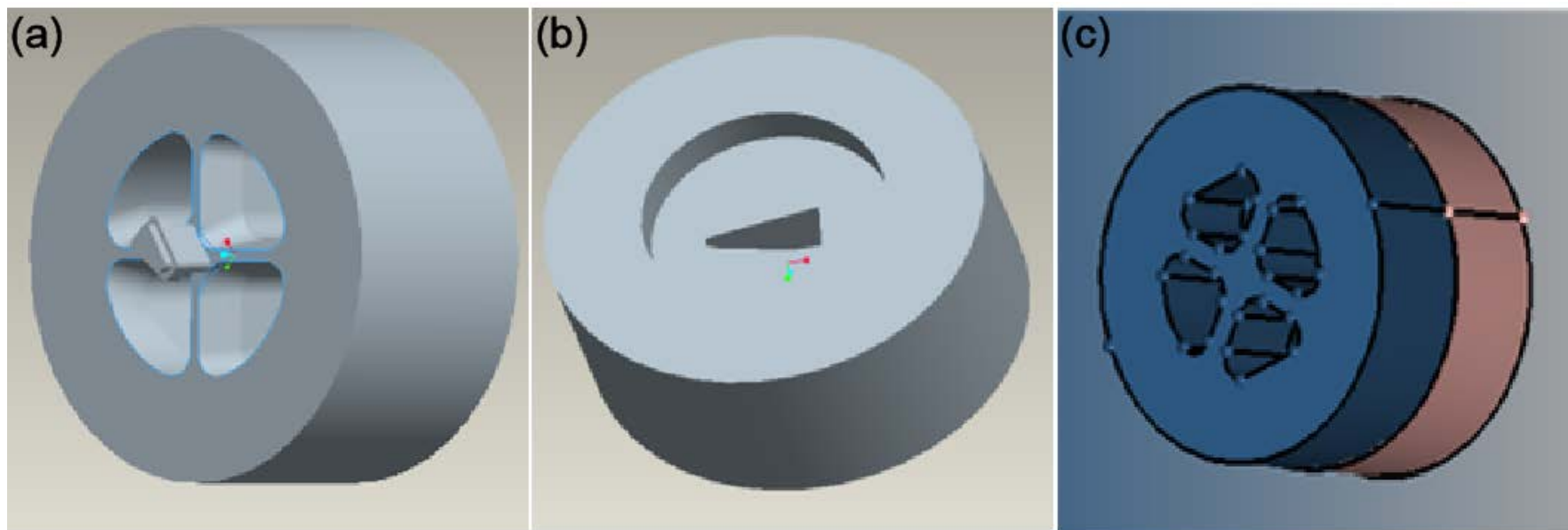


图3 模具三维设计图
(a) 上模 (b) 下模 (c) 模具装配

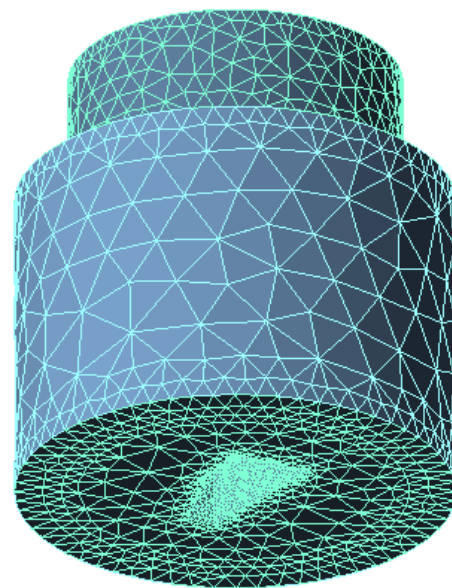


图4 Qshape建立的模拟域

将上述模拟域导入到Qform界面



设置工艺参数，包括材料属性、挤压速度、坯料和模具的预热温度及边界条件等

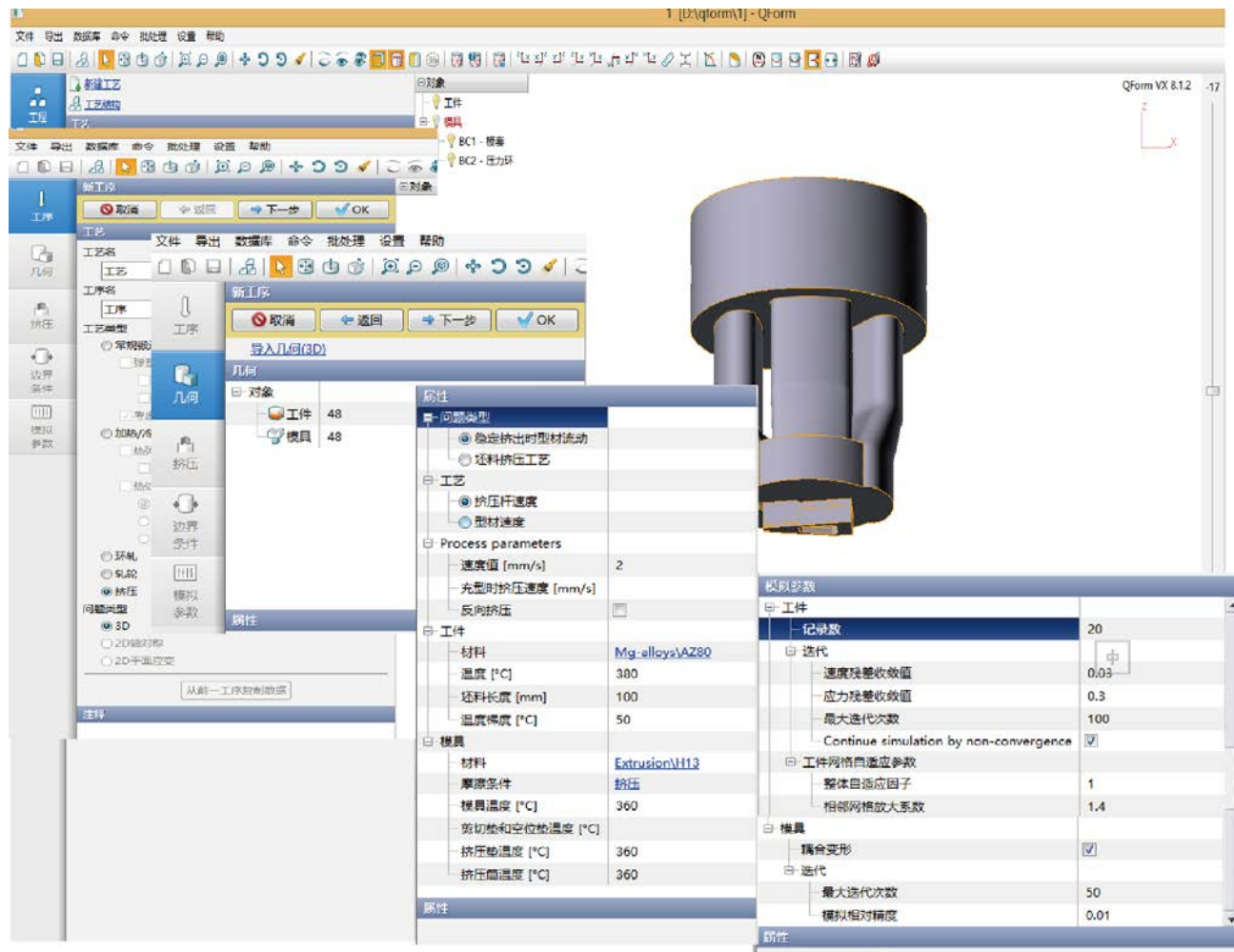


图5 程序操作流程

挤出型材弯曲：
A处往外凸
C处往内凹

影响型材平直度要求

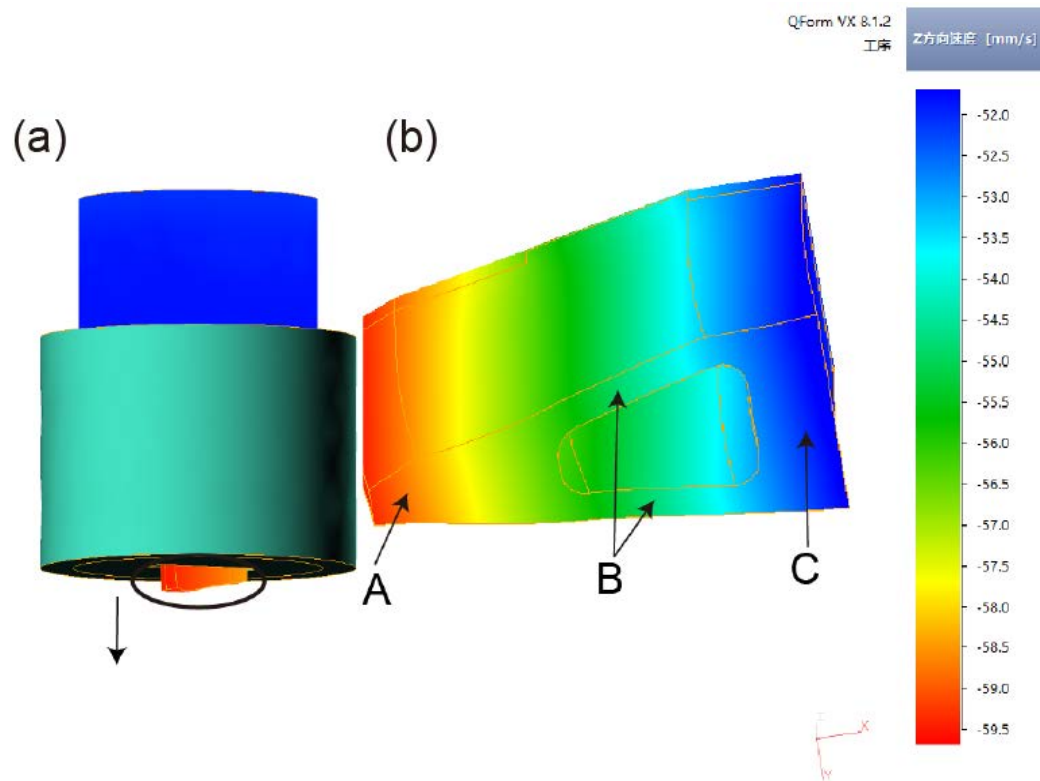


图6 初始模具方案型材挤出模孔速度分布图

优化：

修改方案是在A处型材流速较大的地方添加阻流块，阻流块的基本高度和基本厚度均为3 mm。

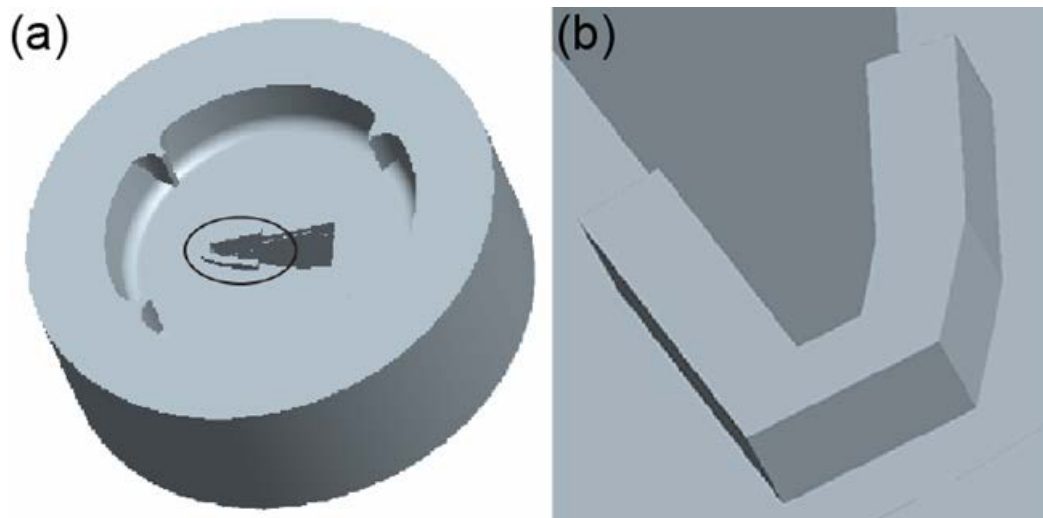


图7 阻流块设计方案
(a) 下模阻流块 (b) 阻流块放大图

A处：最大流速减至56.90mm/s
C处：最小流速增至53.96mm/s
速度差：8.01mm/s → 2.94mm/s



模具优化方案可行

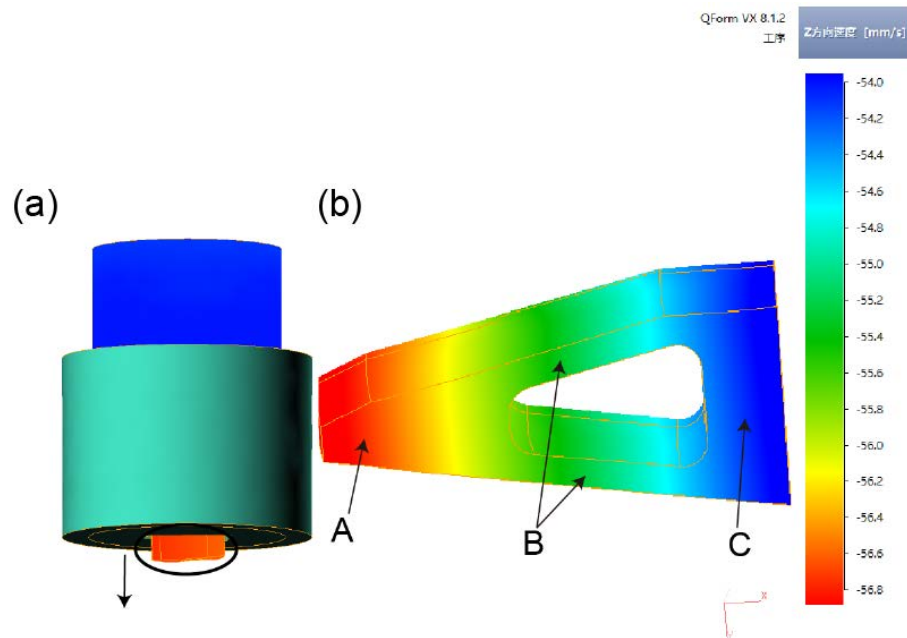


图8 第一次模具优化后型材挤出模孔速度分布图

(a) 型材挤出模孔 (b) 型材放大图

第一次优化的基础上：

阻流块的高度：3mm → 5mm

厚度不变

C处厚壁工作带长度：7mm → 5mm

A处工作带长度精

细分区

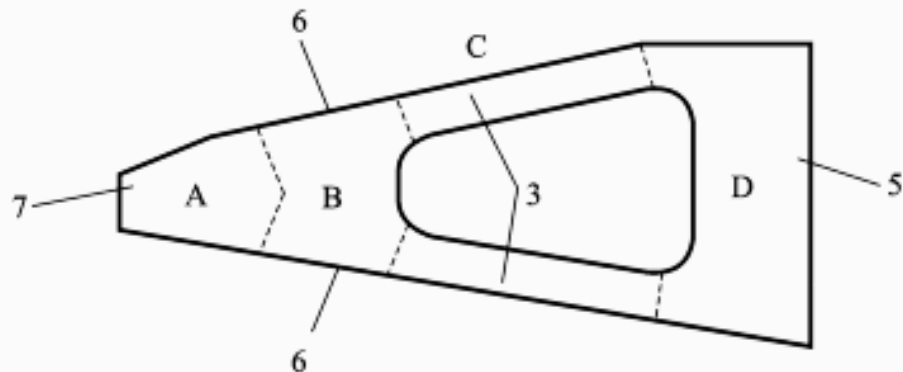
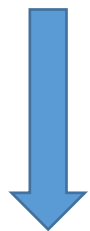


图9 第二次模具优化后工作带尺寸

A处：最大流速减至
56.14mm/s
C处：最小流速增至
55.30mm/s
速度差：
8.01→2.94→0.84mm/s



第二次模具优化方案进一步提高了产品质量

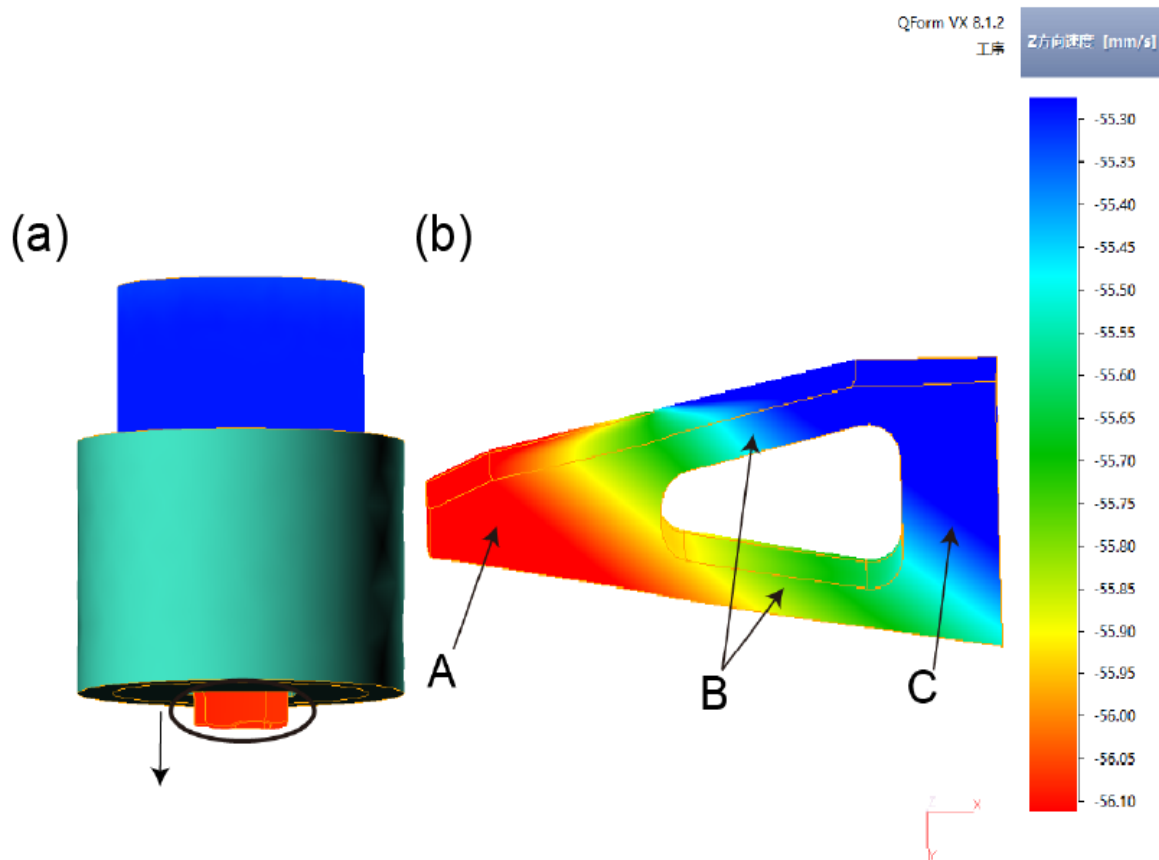
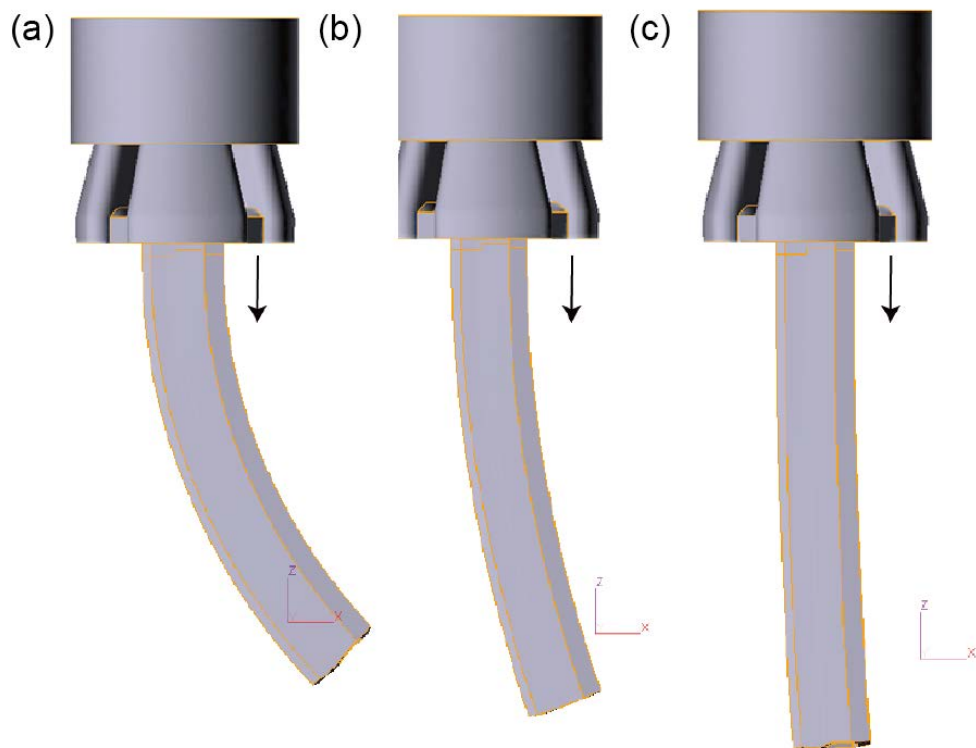


图10 第二次模具优化后型材挤出模孔速度分布图
(a) 型材挤出模孔 (b) 型材放大图



从初始方案到第二次优化，平直度越来越高，第二次优化后得到的型材完全可以满足用户需求。

图11 三次模具方案得到的挤压完成时的型材成形图

(a) 初始方案 (b) 第一次优化 (c) 第二次优化

表1 挤压工艺参数

工艺方案	挤压锭加热温度	模具预热温度	挤出速度	挤压比
1	350℃	320℃	3 mm/s	29
2	380℃	360℃	3 mm/s	29
3	300℃	380℃	3 mm/s	29

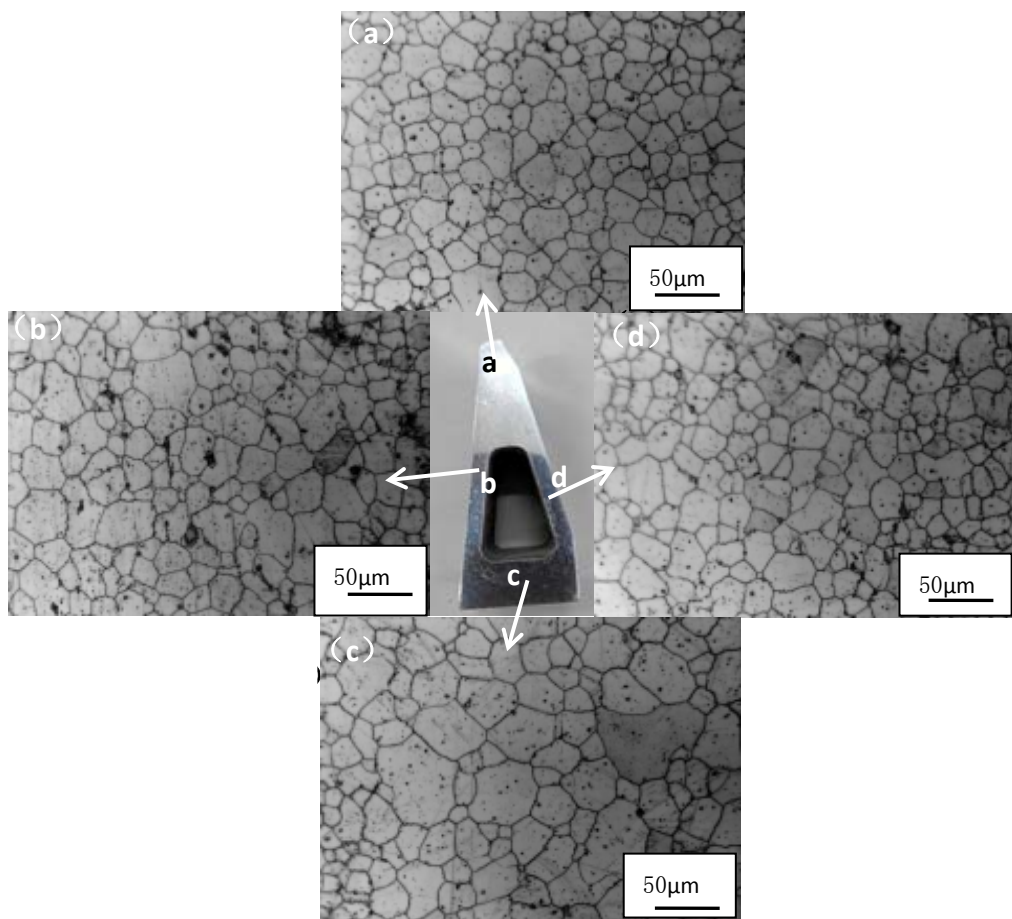


图12 不同挤压温度的型材实物图
(a) 350℃；(b) 380℃；(c) 400℃

由图12可知，在坯料温度为350℃时，由于温度过低，镁合金挤压过程中变形抗力过大，导致镁合金型材**无法成功挤出**，同时也不能实现良好的**固态焊合**。在坯料温度为400℃时虽然可以成功挤出，能够实现良好的固态焊合，但由于温度过高使得型材表面出现很多**周期性裂纹**，这种产品也无法满足实际生产的需求。**只有**在坯料温度为380℃时，**才能成功挤出固态焊合良好和表面完好的型材。**



图13 满足用户需求的挤压成品



由图14可知，区域a和区域c型材较厚，在挤压过程中变形量小于区域b和区域d，因此区域a和区域c的晶粒尺寸大于区域b和区域d的晶粒尺寸。AZ80镁合金在挤压过程中，挤压温度达到再结晶温度，加工后的组织未表现出明显的加工态，而是由于发生完全再结晶，晶粒得到细化，整个横截面的晶粒均为细小的等轴晶，细小的等轴晶组织能够有效地提高合金的强度、塑性等力学性能。

图14 AZ80镁合金空心型材横截面金相组织（OM）

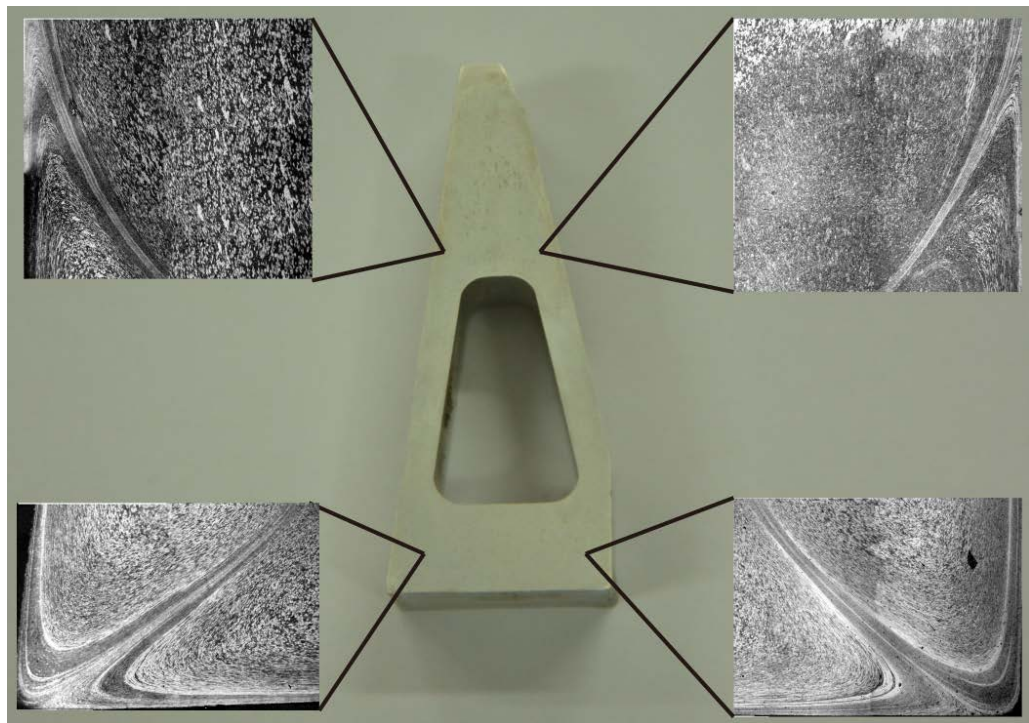


图15 AZ80镁合金空心型材焊缝处金相组织（OM）

从横截面可以清晰看到焊缝处金属的流动景象。但侧面的焊合线并不明显。

经扩口试验，扩口时胀裂的部位并没有出现在焊缝处，表明焊合良好。

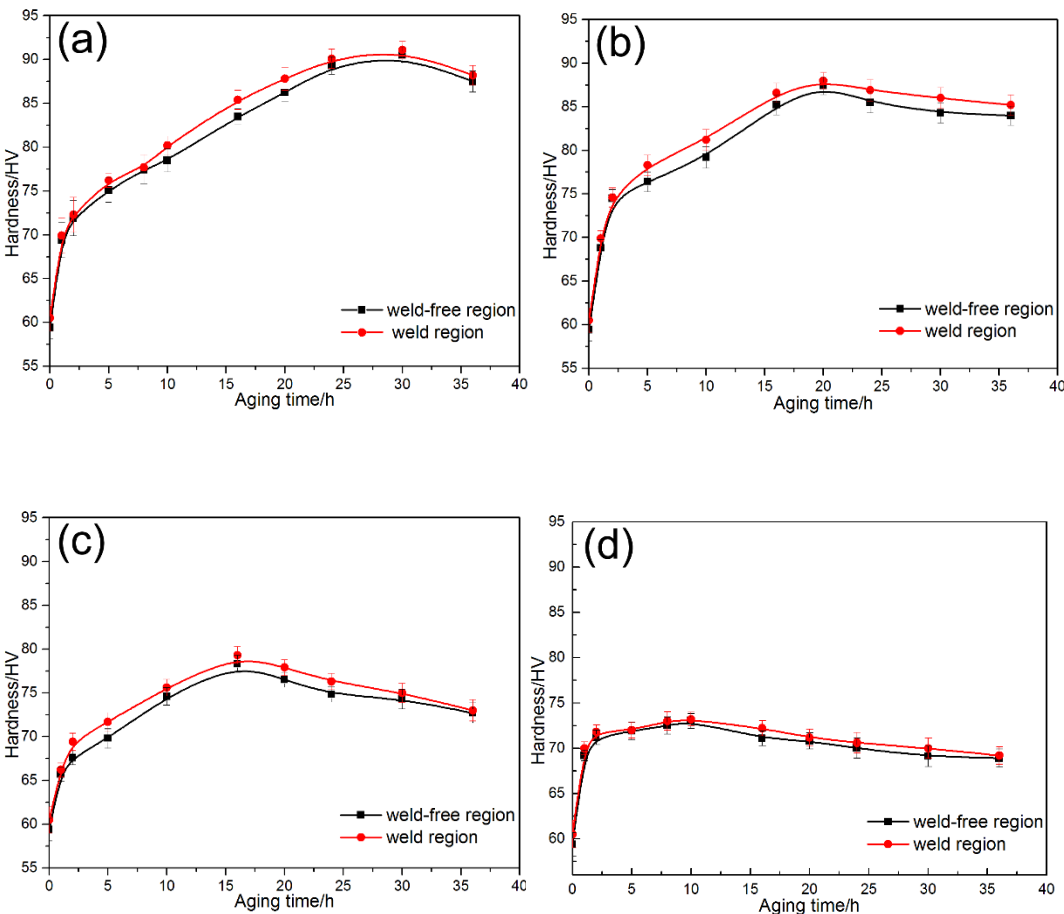


图16 AZ80镁合金空心型材焊缝处硬度测试

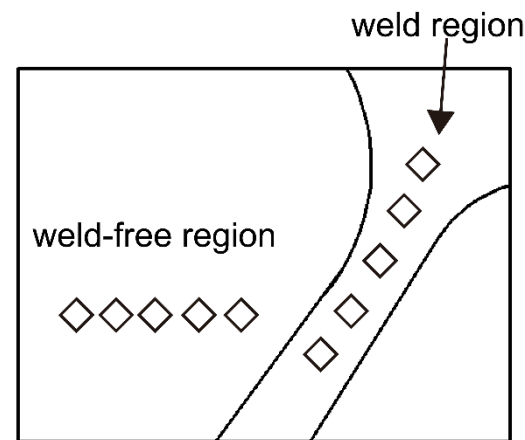


图17 焊缝处硬度测试位置示意图

在各个时效温度下，焊缝区峰值硬度分别为91.1HV、88HV、79.2HV和73.2HV，对应的非焊缝区的峰值硬度分别为90.5、87.4HV、78.3HV和73.2HV。从结果可知，无论是在挤压态还是其他热处理状态下，**焊缝区的硬度均略高于非焊缝区**，但它们之间的差距不明显。

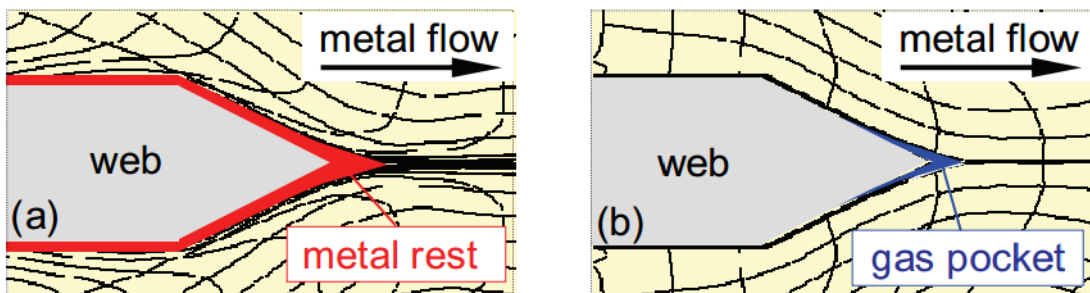


图18 挤压焊缝的形成机制
(a) 粘着摩擦机制； (b) 滑动摩擦机制

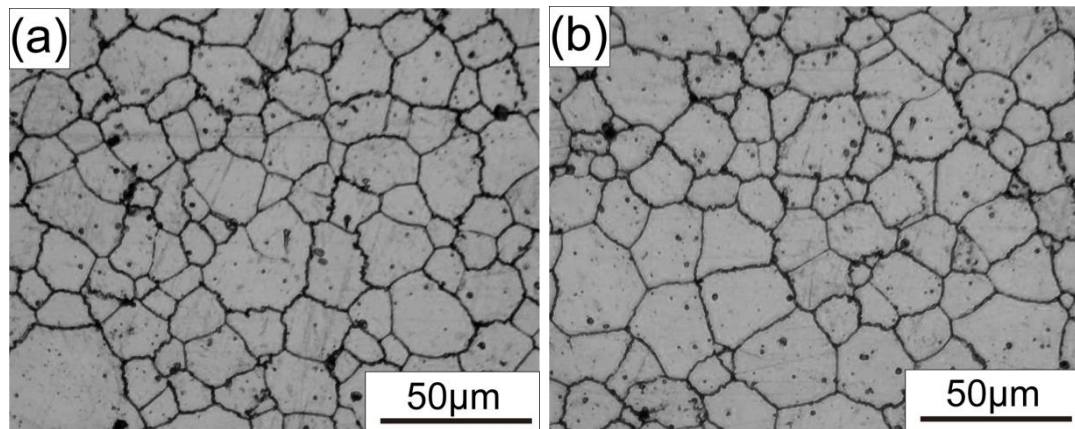


图19 焊缝区和非焊缝区金相组织 (OM)
(a) 焊缝区 (b) 非焊缝区

➤ 粘着摩擦机制

当每根铸锭挤压结束时，挤压残余无法去除，存在于模具死区内。之后新的挤压铸锭就会在之前的金属残余表面上流动。金属残余和模桥之间存在粘着摩擦，所以它们之间没有明显的滑动。粘着摩擦条件下的焊缝形成并不包括压力焊合过程，而是模桥附近的金属残余剧烈剪切作用所致，这个过程不会产生任何新的面，如图18 (a) 所示。在粘着摩擦条件下可以形成良好的死区，以至于焊缝区的金属强度高于非焊缝区。

➤ 滑动摩擦机制

由于焊合室金属的不完全填充和后续模桥表面的压力过低，不能引起粘着摩擦，使得滑动摩擦出现在模桥表面。金属在模桥后端的不完全填充会导致“气封”的形成。在“气封”下，两个自由表面首先滑出模桥，在“气封”尾部部分或完全焊合，如图18 (b) 所示。在滑动摩擦机制下，焊缝区的金属强度小于非焊缝区金属强度，分流挤压时应尽量避免此种机制的发生。

从图17中硬度测试结果可知，AZ80镁合金金挤压过程中挤压焊缝的形成遵循粘着摩擦机制。

由图19 可见，AZ80镁合金金型材焊缝处金相组织中没有焊缝线存在，说明挤压过程中发生了良好的固态焊合，获得质量较好的挤压焊缝组织。

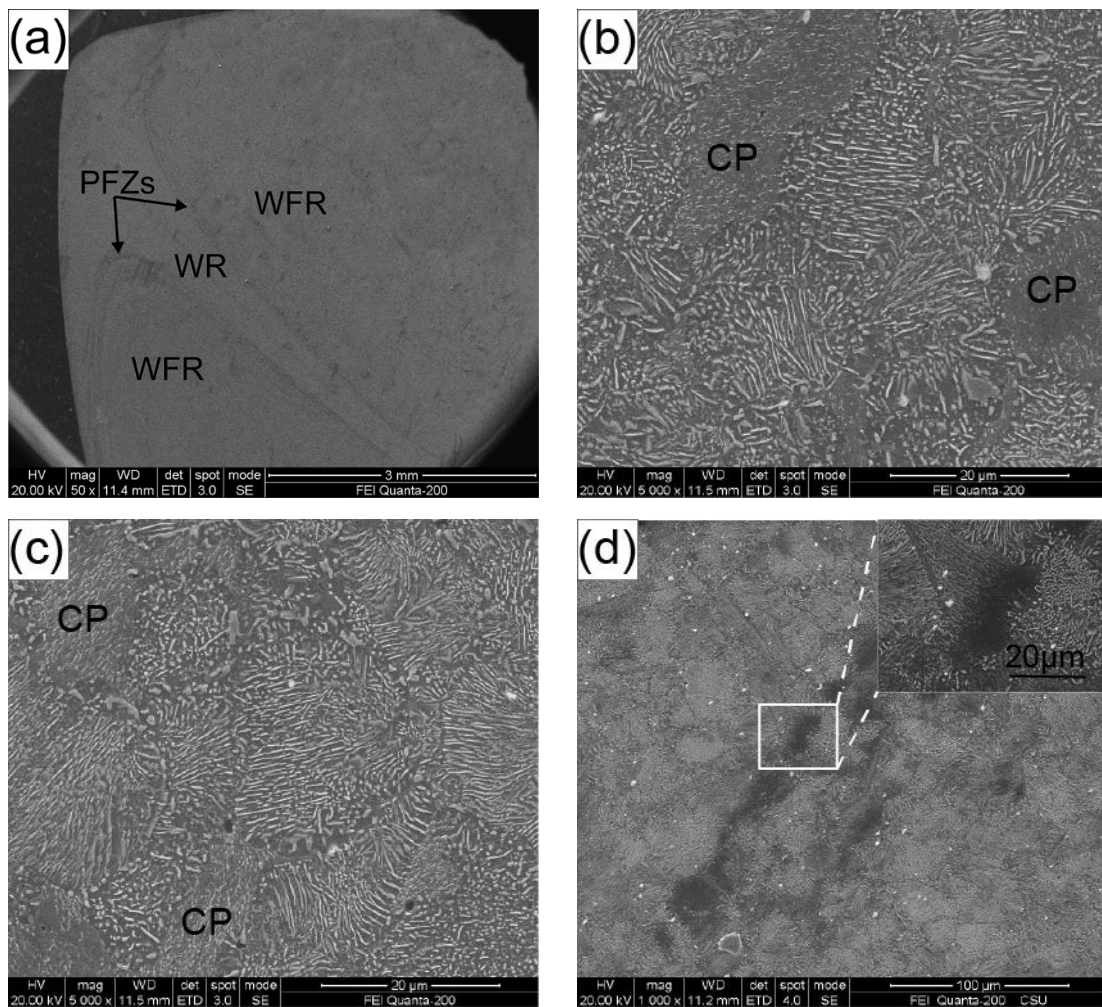


图20 AZ80镁合金在200℃时效24小时后焊缝形貌 (SEM)

(a) 低倍组织 (b) 焊缝区 (c) 非焊缝区 (d) 无沉淀带

- AZ80镁合金是Mg-Al-Zn系合金，主要由 α -Mg和 β -Mg₁₇Al₁₂相组成。
- 该合金在170℃时效30h后强度达到最优，其最大硬度、最大抗拉强度和最大屈服强度分别为91.1 HV、377.79MPa和295.72MPa。
- 在不同的时效温度下， β -Mg₁₇Al₁₂的形貌发生较大变化，在150℃-200℃的时效温度范围内，合金中依次出现不连续析出的层片状组织和椭球状组织，以及连续析出的短棒状组织，其中层片状组织是 β -Mg₁₇Al₁₂此温度区间的主要存在形式。
- 当时效温度提高到200℃以上， β -Mg₁₇Al₁₂相的形貌发生较大变化，在原先的基础上又出现了连续析出的菱形状组织和不连续析出的晶间沉淀相，且此时 β -Mg₁₇Al₁₂相主要存在形式则转变成短棒状组织。
- 在焊缝区边界形成无沉淀析出带 (PFZ)，具体机理有待深入研究。

- 针对AZ80镁合金型材的特点，设计了挤压模具的分流孔、分流桥、模芯、焊合室、工作带、空刀和阻流块等结构，数值模拟结果表明：**阻流块**可以有效调节金属流动，使流速较快的坯料向流速较慢的区域流动。
- 通过数值模拟技术对挤压过程虚拟试模，根据模具初始方案的模拟结果对模具结构进行两次优化处理，优化后的AZ80挤出型材在横截面上的**最大流速比最小流速仅快0.84 mm/s**，型材平直度可以满足用户需求。
- 采用分流焊合挤压方法，成功实现了AZ80镁合金空心型材的挤压成形，较佳的挤压工艺参数为：**坯料预热温度380℃，模具预热温度360℃，挤压速度2 mm/s，挤压比27.76。**

本案例有两个突出亮点：

- 第一，**突破传统认识**，采用分流挤压方法，实现了空心镁合金型材的挤压成形。目前国内能够挤压镁合金空心型材的公司极少。该项技术仍大有潜力可挖。
- 第二，本案例采用QForm-Extrusion挤压分析软件进行镁合金挤压过程的模拟分析，这在国内还是**首次**。QForm的一个突出特点是具有中文界面，因此适合我国技术人员使用。目前，对该软件的操作使用，我国还处于起步阶段。

思考：与**HyperXtrude**相比，**QForm**有哪些突出优势？为什么我国目前应用QForm软件的企业较应用HyperXtrude（**click2**）软件的企业少？这是我们需要深入了解和思考的问题。

The end

**Thank
you!**

