

# 《汽车发动机缸体缸盖用高性能铝硅合金铸件 技术规范》（征求意见稿）

## 编制说明

### 一、工作简况

#### （一）任务来源

本文件由中国技术市场协会提出并归口，经中国技术市场协会标准化工作委员会批准，正式列入 2026 年团体标准制修订计划，标准名称为《汽车发动机缸体缸盖用高性能铝硅合金铸件技术规范》。

#### （二）项目背景

汽车发动机缸体/缸盖是汽车动力总成的核心关键零部件，铝硅合金凭借质量轻、铸造性能优良、导热性好等优势，已经成为发动机缸体/缸盖主流用材。随着国内汽车产业向高功率、轻量化、高可靠性方向发展，国六及更高排放法规实施，主机厂对缸体/缸盖铸件的力学性能、内部致密度、气密性、尺寸一致性提出越来越严苛的要求。

当前国内砂型铸造、金属型铸造、低压铸造、压铸多条工艺路线并行生产发动机缸体/缸盖铝硅合金铸件。现有国标 GB/T 1173《铸造铝合金》、GB/T 9438《铝合金铸件》等为通用铸造铝合金基础标准，面向全品类铝合金铸件，没有针对发动机缸体/缸盖这类安全关键件做专项细化；不同整车厂、铸件企业各自制定企业验收条件，合金控制区间、热处理参数、缺陷限值、无损检测判定尺度不一致，供需双方经常出现质量判定争议，造成验收周期拉长、退换货纠纷，制约产业链协同效率。行业缺少专门

针对汽车发动机缸体/缸盖高性能铝硅合金铸件统一的技术规范，不利于产品质量提升和规模化稳定配套。

为解决行业痛点，亟需制定团体标准，统一规定缸体/缸盖用高性能铝硅合金铸件的材料成分、力学性能、热处理、铸造工艺、铸件质量分级、试验检测方法，补齐细分领域标准供给，为铸件生产企业、整车主机厂、第三方检测机构提供统一技术依据，推动国内发动机铝铸件产业高质量发展。

### （三）目的意义

#### 1. 目的

##### （1）建立专项技术评价体系

针对汽车发动机缸体/缸盖安全关键件属性，明确高性能铝硅合金铸件材料牌号、化学成分、力学性能、热处理工艺参数、铸造工艺控制、铸件分级、内外在质量指标及配套试验方法，统一行业评价标尺，使不同企业产品质量具备可比性，引导企业优化熔炼、铸造、热处理全流程管控，提升铸件批次一致性。

##### （2）规范产业链质量管控秩序

为发动机缸体/缸盖铝硅合金铸件的设计、生产制造、检验验收、交付全流程提供技术依据，缓解当前企业标准各行其是、质量判定尺度不一、供需争议多发的现状，降低上下游对接成本，提升供应链运行效率。

##### （3）支撑技术迭代与产业升级

以标准为抓手，推动行业在合金成分优化、熔体精炼除气、变质处理、热处理工艺、缺陷控制、无损检测等关键环节技术提升，提升国产高性能发动机铝铸件质量水平，增强国内汽车动力

零部件供应链自主保障能力。

## 2. 意义

### （1）促进行业整体技术进步

统一的专项技术规范有利于生产企业、主机厂、科研单位开展技术交流，减少低水平重复试产，推动熔炼、低压铸造、压铸、热处理、无损检测技术迭代，降低铸件废品率，助力国内铸造行业向高性能精密铸造升级。

### （2）提升整车产业链应用效率

标准规定明确的分级要求、质量限值与检测手段，便于整车企业开展供应商准入、来料检验、零部件验收，减少零部件质量波动带来的发动机整机故障风险，缩短零部件验证周期，推动国产高性能铝硅合金铸件大规模配套。

### （3）保障汽车零部件供应链安全可控

立足国内铸造产业实际工况制定团体标准，补充细分领域标准短板，减少对国外企业技术规范的依赖，提升国产发动机铝铸件可靠性，支撑国内燃油汽车及混动汽车产业的稳定发展。

### （四）起草单位及起草人名单

本文件起草单位：内蒙古汇能硅铝新材料科技有限公司、北京中研博采技术服务有限公司。

本文件主要起草人：郭建军、马林、郝军、徐杰、乐志斌、夏卫彬。

### （五）主要起草过程

#### 1. 文本调研

2026 年 2 月启动了文本的调研工作，并于 2026 年 3 月完成

了相关资料的收集和分析工作。

## 2. 标准立项

2026 年 6 月向中国技术市场协会标准化委员会提出申请，于 2026 年 6 月 12 日获得中国技术市场协会标准化工作委员会批准立项。

## 3. 形成标准草案

2026 年 6 月，起草组对资料收集情况进行汇总处理，确定了标准框架和主要内容。2026 年 7 月 6 日，《汽车发动机缸体/缸盖用高性能铝硅合金铸件技术规范》形成标准初稿。

## 4. 形成征求意见稿

2026 年 7 月 16 日至 2026 年 8 月 24 日，起草组根据反馈的意见和建议，对草案内容进行了修改和调整，形成标准征求意见稿。

# 二、确定标准主要内容的论据

## （一）编制原则

本文件按照 GB/T 1.1—2020《标准化工作导则 第 1 部分：标准化文件的结构和起草规则》以及《中国技术市场协会团体标准工作程序》的规定起草。

## （二）标准主要内容及适用范围

本文件规定了汽车发动机缸体/缸盖用高性能铝硅合金铸件的技术要求、试验方法等内容。

本文件适用于采用砂型铸造、金属型铸造、低压铸造及压力铸造生产的汽车发动机缸体/缸盖用铝硅合金铸件。

## （三）确定标准主要内容的论据

## 1. 工作要求的确定依据

### (1) 原辅料要求

标准选取了三种在汽车发动机缸体/缸盖领域具有典型代表意义的高性能铝硅合金牌号：YZAlSi11Cu3(YL113)、ZAlSi9Cu2Mg(ZL111)、ZAlSi7Mg1A(ZL101A)。

(1) YZAlSi11Cu3(YL113)：属于共晶型铝硅合金，硅含量 9.50%~11.50%，铜含量 2.00%~3.00%，具有良好的铸造流动性和抗热裂性能，主要用于压铸工艺生产的缸体铸件，F 态（铸态）即可满足使用要求，适合大批量生产。

(2) ZAlSi9Cu2Mg(ZL111)：属于亚共晶型铝硅合金，硅含量 8.00%~10.00%，铜含量 1.30%~1.80%，镁含量 0.40%~0.60%，通过 T6 热处理可获得较高的强度和硬度，适用于承受重载荷的缸体、缸盖铸件。

(3) ZAlSi7Mg1A(ZL101A)：属于亚共晶型铝硅合金，硅含量 6.50%~7.50%，镁含量 0.45%~0.60%，杂质元素控制严格 ( $\text{Fe} \leq 0.20\%$ )，添加微量 Be (0.04%~0.07%) 改善铸件致密度，经 T6 热处理后具有良好的综合力学性能和优良的延展性，适用于对可靠性要求极高的缸盖铸件。

各元素的杂质限量参考了 GB/T 1173《铸造铝合金》及行业主流企业的内控标准，结合发动机缸体/缸盖对材料纯净度的要求确定。其中对 Fe 元素的严格控制 (ZAlSi7Mg1A 要求  $\text{Fe} \leq 0.20\%$ ) 是基于 Fe 在铝硅合金中易形成针状富铁相，严重降低铸件塑性的事实。

## 2. 力学性能指标的确定依据

抗拉强度、屈服强度、断后伸长率及布氏硬度指标的确定，综合了以下因素：

(1) 参考 GB/T 1173 中对应牌号的力学性能要求，结合高性能铝硅合金铸件的性能提升目标，将指标设定在行业先进水平；

(2) 收集了国内主要铸造企业批量生产的发动机缸体/缸盖铸件的实测数据，确保指标既具有先进性又具备可达性；

(3) 参考 GB/T 9438《铝合金铸件》中关于附铸试样和本体试样验收指标的规定，明确了不同取样方式的验收依据。

YZAlSi11Cu3(F 态) 要求抗拉强度 $\geq 230\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 150\text{MPa}$ 、伸长率 $\geq 1.0\%$ ，满足压铸缸体的常规性能需求；ZAlSi9Cu2Mg(T6 态) 要求抗拉强度 $\geq 320\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 250\text{MPa}$ 、伸长率 $\geq 2.0\%$ ，适用于高强度发动机缸体；ZAlSi7Mg1A(T6 态) 要求抗拉强度 $\geq 290\text{MPa}$ 、屈服强度 $\geq 230\text{MPa}$ 、伸长率 $\geq 2.0\%$ ，兼顾强度与韧性，适合缸盖铸件。

### 3. 铸件状态及热处理工艺参数的确定依据

(1) 供应状态：规定由需方在图样中规定铸件供应状态（铸态或热处理态），既满足了不同应用场景的需求，又保持了标准的灵活性。

(2) 热处理工艺参数：针对 ZAlSi9Cu2Mg 和 ZAlSi7Mg1A 两种需热处理的合金，分别规定了固溶处理温度、保温时间、淬火介质和时效处理参数。固溶温度的选择基于合金系中共晶温度及固溶度曲线，确保强化相充分固溶；时效温度和时间基于峰值时效条件。其中 ZAlSi9Cu2Mg 的固溶温度为  $500^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，时效温度为  $180^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ；ZAlSi7Mg1A 的固溶温度为  $535^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ ，时效温

度为  $160^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 。固溶处理后转移时间不超过 15s 的规定，是为了防止在转移过程中发生显著的时效沉淀，影响后续热处理效果。上述参数综合了 GB/T 9452《热处理炉有效加热区测定方法》和行业成熟工艺数据。

#### 4. 铸造工艺要求的确定依据

(1) 熔炼温度( $720^{\circ}\text{C} \sim 760^{\circ}\text{C}$ )和浇注温度( $680^{\circ}\text{C} \sim 720^{\circ}\text{C}$ ): 熔炼温度过低不利于合金化元素的充分溶解和熔体均匀化, 过高则增加吸气氧化倾向; 浇注温度需根据铸造方法和铸件结构确定, 该温度范围经行业长期验证可兼顾充型能力和凝固质量。

(2) 液态氢含量 ( $\leq 0.20 \text{ mL}/100\text{g Al}$ ): 氢是铝硅合金中最主要的气体来源, 氢含量过高会导致铸件产生针孔缺陷。参考国内外先进铸造企业的控制标准, 该指标可有效保障铸件致密度, 该要求与 GB/T 32183 等标准协调一致。

(3) 模具温度: 金属型模具预热温度  $150^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$ 、压铸模具温度  $180^{\circ}\text{C} \sim 250^{\circ}\text{C}$  的设定, 基于保证合金液在型腔中良好充填和顺序凝固的需要, 过低易产生冷隔, 过高则延长生产周期并降低模具寿命。

#### 5. 铸件质量要求的确定依据

(1) 铸件分类: 参照 GB/T 9438《铝合金铸件》的分类原则, 结合汽车发动机缸体/缸盖的实际工况, 将铸件分为 I 类(关键件)、II 类(重要件)、III 类(一般件), 并分别规定检验项目。I 类和 II 类铸件需进行外观质量、内在质量(化学成分、力学性能、内部缺陷)的全面检验, III 类可适当简化检验内容。该分类既保证了关键部位的质量可控, 又兼顾了经济性。

(2) 外观质量：表面粗糙度要求参考 GB/T 1031 及行业通用要求；尺寸精度按 GB/T 42124.3 执行，未注尺寸公差 CT7~CT9 级，与 GB/T 6414《铸件尺寸公差与机械加工余量》协调一致；浇冒口残留量要求参考铝合金铸件通用标准确定，确保清理后不超出加工余量范围。

(3) 内部缺陷：气孔/缩松、裂纹、夹杂、疏松的允许程度参考 GB/T 11346《铝合金铸件射线照相检测缺陷分级》，结合发动机缸体/缸盖对可靠性的严格要求确定。其中不允许存在任何裂纹的规定，是基于裂纹在交变载荷下极易扩展并导致灾难性失效的考虑。

(4) 致密度要求：密度不低于理论密度的 98.5% 的要求，参考了国内外高端铸件对致密度的通用控制标准，是确保铸件气密性和力学性能的基础指标。气密性试验（I 类和 II 类铸件在 0.3MPa 气压下保压 3min 无渗漏）模拟了发动机缸体/缸盖在实际使用中的密封工况，是检验铸件整体致密性的有效手段。

### 三、主要试验[或验证]情况分析、技术经济论证、预期经济效果

#### (一) 主要试验[或验证]情况分析

起草工作组联合国内铸造企业、第三方检测机构选取不同工艺（压铸、低压铸造、金属型铸造）的缸体/缸盖铸件样品开展多批次验证，累计完成试验项目 130 余项，获取有效试验数据 700 余组，验证标准指标合理性。

##### 1. 合金与热处理工艺验证

对 YZAlSi11Cu3、ZAlSi9Cu2Mg、ZAlSi7Mg1A 三种合金开展

熔炼、热处理对比试验：

ZA1Si9Cu2Mg 按照 T6 参数处理，试样抗拉强度稳定 $\geq 320$  MPa，屈服 $\geq 250$  MPa，伸长率 $\geq 2.0\%$ ；固溶转移时间超过 15 s，会出现强度下降 5%- 8%，验证转移时间 15 s 限值合理性；

ZA1Si7Mg1A 执行标准 T6 工艺，性能满足 $\geq 290$  MPa 抗拉强度，同时控制热处理变形，适合复杂薄壁缸盖；

YZA1Si11Cu3 铸态试样力学性能满足铸态压铸缸体使用需求。

## 2. 熔体质量验证

铝液氢含量大于 0.20 mL/100g Al 条件下，铸件 X 射线气孔缺陷比例明显上升，气密性试验渗漏概率显著增加；控制氢含量 $\leq 0.20$  mL/100g Al，铸件气孔缺陷可得到有效抑制，证明氢含量指标设置合理。

## 3. 铸件缺陷、致密度与气密性验证

按照标准缺陷限值进行 X 射线探伤比对：当气孔、夹杂超出标准限值，I、II 类铸件气密性试验渗漏风险显著升高；关键区域致密度低于 98.5% 时，疲劳性能和气密性明显劣化；0.3 MPa 保压 3 min 气密性考核，能够有效识别缸体/缸盖水套油道的微渗漏缺陷，满足主机厂零部件考核需求。

## 4. 检测方法验证

对光谱化学分析、拉伸、硬度、X 射线探伤、渗透检测、排水法密度测试开展比对验证，证明标准选用的试验方法可复现，不同实验室之间检测结果偏差在行业允许范围，仲裁方案可行。

## （二）技术经济论证

本标准实施将从产业链、企业、产业经济层面产生价值：

## 1. 产业链层面

上游合金熔炼辅料、铸造型材、热处理装备、检测设备端：标准明确工艺与检测控制要求，倒逼上游原辅材料质量提升，推动国产精炼剂、变质剂、测温设备、无损检测装备迭代升级。

中游铸件制造企业：统一技术条件，减少供需双方因验收标准不一致产生的返工、复检、退货损失；标准化工艺窗口有利于企业优化工艺参数，降低试错成本，预计行业铸件一次良品率可提升 3%- 6%，降低废品损耗。

下游整车主机厂：统一验收依据，减少零部件技术协议编制工作量，降低零部件入厂检验判定争议，缩短零部件开发验证周期，降低供应链质量风险。

## 2. 企业层面

企业为达到标准指标需要完善熔炼除气、热处理、无损检测管控，短期会带来少量管理与检测投入；但良品率提升、质量纠纷减少可以带来收益，多数企业可在 1-2 个生产周期消化投入；符合标准的高性能铸件产品更便于进入主机厂供应商体系，提升企业市场竞争力。

## 3. 产业经济层面

发动机缸体/缸盖是汽车核心安全件，标准推动国内高性能铝硅合金铸件质量提升，减少因铸件质量缺陷造成发动机整机报废，降低全产业链资源浪费，助力汽车产业降本增效。

### （三）预期经济效果

#### 1. 产业规模效益

标准实施后，引导国内发动机铝铸件行业向高性能方向发展，

助力国产高性能缸体/缸盖铸件扩大在混动、高性能燃油发动机领域配套比例，推动铸造行业专业化分工，培育一批高质量零部件制造企业。

## 2. 成本降低效益

通过统一技术指标和检验方法，减少供需双方的质量争议与重复检测成本；提升铸件良品率，降低原材料、能源消耗，助力整车零部件降本。

## 3. 技术创新效益

标准引导企业聚焦熔体净化、变质处理、精密铸造、热处理控制、缺陷检测等核心技术研发，促进行业研发投入，推动高性能发动机铝硅合金铸件技术创新。

## 四、采用国际标准和国内外先进标准的程度

本文件不涉及国际国外标准的采标情况。

## 五、重大分歧意见处理经过及依据

本文件在制定过程中未出现重大分歧意见。

## 六、与现行相关法律、法规及相关标准的协调性

与现行相关法律、法规及相关标准相协调。

## 七、知识产权情况说明

本文件不涉及必要专利等知识产权情况。

## 八、其他应予说明的事项

无。

《汽车发动机缸体缸盖用高性能铝硅合金铸件技术规范》

团体标准工作组

2026 年 9 月 3 日