

# 行业标准《变形镁及镁合金扁铸锭》解读

刘金学<sup>1, 2, 3</sup>, 陈黎松<sup>3</sup>, 张振<sup>4</sup>, 马宝平<sup>5</sup>, 肖阳<sup>1, 2, 3</sup>, 孙本双<sup>1, 2</sup>

(1. 郑州大学材料科学与工程学院, 河南郑州 450001; 2. 郑州大学, 稀有金属特种材料全国重点实验室, 河南郑州 450001; 3. 郑州轻研合金科技有限公司, 河南郑州 450041; 4. 河南省核技术应用中心, 河南郑州 450001; 5. 中铝洛阳铜加工有限公司, 河南洛阳 471000)

**摘要:** 针对YS/T 695—2009标准不能满足行业使用需求的现状, 开展了修订工作。本文简述了YS/T 695—2025《变形镁及镁合金扁铸锭》新行业标准的制定背景与发展历程, 介绍了修订的主要过程与核心内容, 包括新增7个合金牌号、规范产品形状与尺寸偏差、加强低倍组织与显微组织要求、引入超声波探伤及质量保证附录等关键技术修订点及其依据, 评价了该标准在整合国内外先进生产实践、细化技术指标后的标准水平, 有效解决了原标准的滞后问题。

**关键词:** 镁及镁合金; 扁铸锭; 行业标准; 质量保证

**中图分类号:** TG27; TF807 **文献标识码:** A **文章编号:** 1001-4977 (2026) 04-0433-06

**DOI:** 10.27014/j.cnki.zhuzao.2026.0060

## Interpretation of the Industrial Standard *Wrought Magnesium and Magnesium Alloy Rectangle Ingots*

LIU Jin-xue<sup>1, 2, 3</sup>, CHEN Li-song<sup>3</sup>, ZHANG Zhen<sup>4</sup>, MA Bao-ping<sup>5</sup>, XIAO Yang<sup>1, 2, 3</sup>, SUN Ben-shuang<sup>1, 2</sup>

(1. School of Materials Science and Engineering, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, Henan, China; 2. National Key Laboratory of Special Rare Metal Materials, Zhengzhou University, Zhengzhou 450001, Henan, China; 3. Zhengzhou Light Alloy Institute Co., Ltd., Zhengzhou 450041, Henan, China; 4. Henan Nuclear Technology Application Center, Zhengzhou 450001, Henan, China; 5. Chinalco Luoyang Copper Processing Co., Ltd., Luoyang 471000, Henan, China)

**Abstract:** In view of the fact that the YS/T 695—2009 standard level cannot meet the industry application requirements, the revision work was carried out. This paper briefly describes the formulation background and developing process of the new industrial standard YS/T 695—2025 *wrought magnesium and magnesium alloy rectangle ingots*, and introduces the main revision process and the core contents including new additions of 7 alloy designations, specifications of product shapes and dimensional tolerances, tightening of macrostructure and microstructure requirements, introduction of ultrasonic testing and quality assurance appendices, and other key technical revision points and their basis. The standard level was evaluated after it integrated advanced production practices from both domestic and international sources and refined the technical indicators, effectively solving the outdated problem of the original standard.

**Key words:** magnesium and magnesium alloy; rectangle ingot; industrial standard; quality assurance

随着我国国防军工和3C电子等前沿领域对结构材料轻量化及节能降本增效的需求日益迫切, 镁合金作为重要的轻质金属结构材料, 在国际竞争中已逐渐显现优势<sup>[1-2]</sup>。目前, 我国已形成完整的镁工业产业链, 并在部分装备技术上达到世界领先水平, 承担了全球超过80%的镁产品生产与消费。

在从原镁到精深加工的完整产业链中, 变形镁及镁合金铸锭的标准化居于承上启下的关键环节, 镁铸锭既是上游原镁冶炼产品的延伸, 又是下游轧制、挤

压等精深加工的基础原料, 此环节标准的完善程度, 直接关系到全产业链的协同效率与质量水平。近年来, 镁及镁合金应用领域日益拓宽、生产装备水平不断提高、铸造工艺逐步提升、产业化水平不断完善, 市场对镁及镁合金扁铸锭的牌号、产品规格和性能状态等也提出了更高、更多样的要求。因此, 为适应我国变形镁及镁合金加工产业的发展, 规范铸锭质量要求, 工业和信息化部相继下达了编制《变形镁及镁合金圆铸锭》和《变形镁及镁合金扁铸锭》行业标准的

**基金项目:** 中原关键金属实验室研究基金 (GJSGFZD202305); 郑州大学科研启动基金项目 (35220183); 山东省自然科学基金创新发展联合基金项目 (ZR2025LGY006)。

**收稿日期:** 2025-12-18 收到初稿, 2025-12-24 收到修订稿。

**作者简介:** 刘金学 (1991-), 男, 博士生, 工程师, 主要研究方向为镁合金材料研发及镁标准化。E-mail: liujx28@163.com

**引用格式:** 刘金学, 陈黎松, 张振, 等. 行业标准《变形镁及镁合金扁铸锭》解读 [J]. 铸造, 2026, 75 (4): 433-438.

LIU Jinxue, CHEN Lisong, ZHANG Zhen, et al. Interpretation of the industrial standard *wrought magnesium and magnesium alloy rectangle ingots* [J]. Foundry, 2026, 75 (4): 433-438.

任务，由全国有色金属标准化技术委员会负责归口，其中《变形镁及镁合金扁铸锭》由郑州轻研合金科技有限公司、郑州大学、中铝洛阳铜加工有限公司、有色金属技术经济研究院有限责任公司等单位组成标准起草工作组进行修订。目前，YS/T 695—2025《变形镁及镁合金扁铸锭》标准修订工作已于近期完成，本文主要对YS/T 695标准实施以来镁合金扁铸锭发展历程、存在的问题，以及合金牌号、产品形状、尺寸偏差、低倍组织、显微组织要求、超声波探伤和质量保证等关键核心内容的修订进行了述评。

## 1 标准概况

YS/T 695—2009《变形镁及镁合金扁铸锭》行业标准自2009年首次发布实施已超过14年，期间我国镁及镁合金产业及精深加工技术快速发展，航空航天及3C电子等领域用高性能镁合金AZ91D、AZ80A、ZM51M等牌号的制备技术日趋成熟<sup>[3-6]</sup>，LZ91N、LA93M等新型超轻镁锂合金实现产业化<sup>[7]</sup>，相关棒材、板材、锻件等产品的标准均已完成更新，这对上游铸锭规格尺寸、冶金质量等提出了更高的要求，YS/T 695—2009标准与当前实际生产工艺及技术要求已脱节。为有效规范和引导生产企业，确保扁铸锭产品能够满足下游高端制造领域的质量需求，2023年5月，工业和信息化部办公厅《关于印发2023年第一批行业标准制修订和外文版项目计划的通知》（工信厅科函〔2023〕18号）下达了编制《变形镁及镁合金扁铸锭》行业标准的任务，计划号为2023-0239T-YS，计划完成时间为2024年10月，技术归口单位为全国有色金属标准化技术委员会，这是该标准的第一次修订。

编制组充分调研了材料生产企业、应用单位和科研院所等，先后开展了实地考察、数据调研、试验测试和讨论论证等工作，至2024年10月，先后起草了标准的草案稿、讨论稿、征求意见稿、预审稿、审定稿和报批稿等，共组织召开了5次标准工作会议，最终顺利通过技术专家审定、标准技术审查和报批。2025年9月中华人民共和国工业和信息化部第19号公告发布，《变形镁及镁合金扁铸锭》标准号为YS/T 695—2025，将于2026年3月正式实施。

## 2 标准的主要内容

YS/T 695—2025共分为九个部分，包括变形镁及镁合金扁铸锭的范围、规范性引用文件、术语和定义、产品分类、技术要求、试验方法、质量保证、检验规则，以及标志、包装、运输、贮存及质量证明书等内容。该标准主要增加了国内外有实际生产的牌号

及其状态，根据镁及镁合金扁铸锭应用领域的消费特点、产品工艺成熟程度、技术发展水平及测试数据确定了技术指标取值范围，并进一步明确了扁铸锭形状类型、显微组织和超声波探伤要求。同时，为引导企业强化扁铸锭品质升级，新增了资料性附录B扁铸锭典型低倍组织缺陷照片、规范性附录C典型镁合金铸锭外观形貌和资料性附录D质量保证，从原材料选择、熔炼铸造过程、低倍组织到外观质量等全流程予以保证，力求做到标准的合理性与实用性，使标准编制更科学，方便生产、质检到用户全链条关键环节工作者更直观地使用本标准。

### 2.1 合金牌号

通过对国内变形镁合金主要生产和使用企业进行调研，YS/T 695—2025在原标准7个牌号基础上，增加了Mg99.95C、AZ61A、AZ91D、ZM51M、LZ91N、LA93M和LA93Z等7个正在产业化的镁合金牌号，共14个牌号。新增牌号中，Mg99.95C高纯镁主要用于骨植入镁板、高纯镁溅射靶材等医用、半导体用功能结构件<sup>[8]</sup>；AZ61A、AZ91D为Mg-Al系高强度镁合金，是航空航天结构件轻量化的重要材料，AZ91D亦是3C产品如笔记本电脑壳体的理想材料，其强度高、耐腐蚀性优异，可轧制成0.4 mm薄板，军用和民用市场前景好；ZM51M是近几年新开发的高导热高强度镁合金，用于军工武器装备如卫星系统承载结构件等，可有效减重和快速散热，提高装备运行的稳定性及可靠性，延长使用寿命；镁锂合金是目前世界上最轻的金属结构材料，相比于铝合金可减重40%以上，LZ91N、LA93M、LA93Z在卫星、军工装备上均有大量应用，如卫星蒙皮、光电吊舱、导弹用陀螺仪、导弹内模块控制器、手持通信设备和航空电子设备壳体等<sup>[7, 9]</sup>。另外，由于镁锂合金具有超轻、高比强度和高阻尼特征，在民用领域也得到规模化应用，包括笔记本电脑外壳、VR/AR眼镜等，终端客户主要有宏碁、华硕、惠普、华为、富士通、东芝和雷龙等一众3C厂商，极大提高了设备便携性。表1为国内部分典型牌号镁合金扁铸锭的产量及用途统计结果。

### 2.2 截面形状

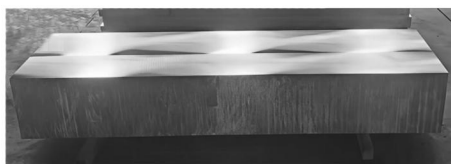
镁合金具有极高的化学活性，在熔炼、铸造等高温过程中易与氧气发生剧烈反应，导致氧化甚至燃烧。因此，生产过程必须采取严格的保护措施，如使用SF<sub>6</sub>、CO<sub>2</sub>等混合保护气体或熔剂覆盖，以隔绝空气。即便如此，铸造过程中铸锭表面仍难以避免产生较深的氧化层、冷隔和热裂等外观缺陷，这是当前工

表1 典型镁合金扁铸锭产量及用途  
Tab. 1 Output and applications of typical magnesium alloy rectangle ingots

合金牌号	年产量/t	用途
AZ31B	3 000	军工用锻件、板材及机加工零部件；民用锻件、板材及机加工零部件，如雕刻版、烫金印刷版、各类电器及电子产品壳体、汽车等工业领域仪器仪表壳体和通信基站壳体等
AZ61A	200	军工用锻件及机加工零部件等
AZ91D	2 500	军工用锻件、板材及机加工零部件，如液压缸飞机发动机零件、增压器组件、螺丝机配件、无人机部件和航空部件等；民用锻件、板材及机加工零部件，如雕刻版、各类电器及电子产品壳体等
AZ40M	1 200	军工用锻件、板材及机加工零部件，如飞机舱门、壁板及导弹蒙皮
AZ41M	800	军工用锻件、板材及机加工零部件，如舰船、航空等领域仪器仪表外壳等非主要承重件
ZK61M	2 700	军工用锻件、板材及机加工零部件，是军工领域用量最大的一类高强度镁合金
ZM51M	150	军工用锻件、板材及机加工零部件，主要用于航空航天承载结构件
LZ91N	200	航空航天和兵器用各类锻件、板材及机加工壳体件；3C产品壳体
LA93M	150	航空航天和兵器用各类锻件、板材及机加工壳体件；3C产品壳体
LA93Z	80	航空航天和兵器用各类锻件、板材及机加工壳体件

艺尚未完全解决而造成的问题。

为尽可能减少铸造缺陷，生产企业会依据不同镁合金牌号的铸造特性及自身工艺水平，开发多种结晶器结构，如弧角形、弧形、锥形和长方形等，因此生产出的扁铸锭毛坯形状各异。但与铝合金扁铸锭可直接以毛锭交付不同，基于生产运输安全性及降低后续轧制开裂风险的考虑，镁合金扁铸锭必须切除表面较深的氧化层、冷隔等缺陷，并经过切边或铣面处理后方可交付，最终用于交付的普遍为直边扁铸锭和梯形扁铸锭两种，如图1所示。YS/T 695—2009版并未明确铸锭截面形状，本次修订结合生产实际，为防止纠纷，进行了直边扁铸锭和梯形扁铸锭两种形状规定。



(a) 直边扁铸锭



(b) 梯形扁铸锭

图1 不同截面形状的镁合金扁铸锭

Fig. 1 Magnesium alloy rectangle ingots with different cross section shapes

### 2.3 尺寸偏差

YS/T 695—2025在厚度、宽度与长度偏差要求方面，与2009版保持一致。扁铸锭切斜度包含垂直切斜度和水平切斜度，而原标准中未进行区分，只规定了

切斜度不大于10 mm。在实际生产中，按照原标准对切斜度进行检验和测量时，并不能真实明了地表征各方向上的切斜度，且易混淆。因此，本次修订将扁铸锭端面切斜度进行了细分，并规定“扁铸锭切去头部、尾部后的端面水平切斜度应不大于10 mm，垂直切斜度应不大于10 mm”。在YS/T 695—2009中，弯曲度规定为“对角线弯曲度、长度弯曲度、侧面弯曲度、横断面弯曲度”四种，但横断面为冒口和尾部加工后的面，其主要考虑的是切斜度问题，横断面弯曲度与切斜度之间存在冲突；长度弯曲度则指代不明确，其本意应是大面的弯曲度。为此，YS/T 695—2025版本进行修订时，删除了相关定义与内容，将弯曲度修改为“大面弯曲度、侧面弯曲度、对角线弯曲度”，并规定了“扁铸锭的对角线弯曲度应不大于10 mm，大面弯曲度应不大于10 mm，侧面弯曲度应不大于15 mm”，使其更简单易懂，且更科学合理。

### 2.4 低倍组织

镁合金扁铸锭低倍组织缺陷是衡量铸锭冶金质量最重要的标志，主要包括裂纹、柱状晶、非金属夹杂（夹渣）和化合物初晶等，这些缺陷将直接影响后续的轧制、挤压等变形加工性能和最终产品的性能。YS/T 695—2025对铸锭低倍组织中各种缺陷的容许程度进一步加严了要求，不允许存在裂纹、疏松和柱状晶等缺陷，同时，在非金属夹杂（夹渣）中新增不允许有熔剂夹渣。同时，新增对化合物初晶的要求：单个面积应不大于4 mm<sup>2</sup>，最大线尺寸大于0.3 mm的化合物初晶总面积应不大于10 mm<sup>2</sup>。此外，增加了资料性附录B扁铸锭典型低倍组织缺陷照片，主要涉及扁铸锭的裂纹、非金属夹杂、疏松、气孔、化合物初晶和柱状晶

等内容,对缺陷的典型形貌及特征进行了描述,可更清晰地分辨不同缺陷。

## 2.5 显微组织

为改善铸锭成分和组织均匀性,提高镁合金扁铸锭可加工性,变形加工前通常需进行均匀化退火。但均匀化退火工艺处理不当或局部温度过高则可能会发生过烧,使得金属晶界熔化,晶粒间的结合被破坏,导致材料性能恶化,无法通过常规热处理方法修复,只能报废。过烧的组织特征包括晶界局部熔化、显微空洞、三叉晶界出现复熔球等。为避免过烧发生,在金属加工中应严格控制加热温度与时间<sup>[10]</sup>。因此,YS/T 695—2025中增加了均匀化退火镁合金扁铸锭显微组织要求,规定了“经过均匀化处理的镁合金扁铸锭显微组织不允许有过烧”。

对于扁铸锭的允许最大平均晶粒尺寸,YS/T 695—2009规定不大于300 μm。然而,镁合金不同成分体系存在较大差异性,产品生产和客户需求对不同产品体系的晶粒尺寸容许程度也不同,故不能一概而论。对于Mg-Al系,目前还没有行之有效的晶粒细化剂和合金化元素,受冷却速度、电磁搅拌工艺等物理因素影响,晶粒尺寸普遍偏大,但Mg-Al系普遍具有优异的加工成形性能;对于Mg-Mn系,一般会加入少量稀土元素充当细化剂,晶粒尺寸相对较小,但Mn含量增多易形成Mn夹杂、Mn偏析;对于Mg-Zn系,一般可以引入金属元素Zr,该元素细化效果十分显著,合金晶粒尺寸较细小<sup>[11]</sup>;对于Mg-Li系,Li质量分数在5%~10%区间内,基体组织由α-Mg和β-Li双相组成,金相浸蚀后,β-Li相内能够出现晶界,但α-Mg相内的晶界很难观察到,晶粒尺寸统计存在难度,但是Mg-Li合金成形性能好,甚至可进行冷加工,不影响后续轧制或锻造。因此,编制组通过收集大量铸锭试片,并按GB/T 4296—2022《变形镁合金显微组织检验方法》的规定,对Mg-Al系、Mg-Mn系和Mg-Zn系的平均晶粒尺寸分别进行调研、测试和统计,规定Mg-Al系允许最大平均晶粒尺寸为450 μm、Mg-Mn系允许最大平均晶粒尺寸为350 μm、Mg-Zn系允许最大平均晶粒尺寸为300 μm。Mg-Li系双相合金,加工成形能力优异,晶界难以腐蚀出,只能看到明显相界,故不做规定<sup>[12]</sup>。

## 2.6 外观质量

铸锭外观质量虽然没有低倍组织与显微组织关键,但是同样影响着产品性能,在镁合金铸锭生产过程中常见的外观缺陷包括夹杂物、气孔、缩孔、裂纹和成层(冷隔)等。

YS/T 695—2025与2009版相比,删除了“铸锭表面允许存在深度不大于3.0 mm的拉痕、成层(冷隔)、缩松等缺陷”“允许有不多于四处经过修整且不大于3.0 mm的机械碰伤”。这是由于当铸锭表面有较大拉痕和机械碰伤缺陷时,板材轧制过程中容易开裂,严重影响成品率。YS/T 695—2025将外观质量要求更改为铸锭应铣面或锯切,表面应清洁、无油污及灰尘,刀痕均匀,且刀痕深度不超过0.1 mm。不允许有拉裂、冷隔(或成层)、疏松、气孔、腐蚀斑点、飞边及毛刺。如有特殊需求,供需双方对于铸锭外观质量可提出明确要求。同时,增加了资料性附录C典型镁合金铸锭外观形貌,主要涉及扁铸锭的冷隔、拉裂等内容,对缺陷的典型形貌及特征进行了描述,有助于更清晰地分辨不同外观缺陷。

## 2.7 超声波探伤

熔融镁合金凝固成铸锭时,若熔铸工艺控制不当会产生严重成分偏析,造成铸锭化学成分和组织不均匀,甚至内部出现裂纹、熔剂夹渣、气孔、疏松及氧化夹杂等缺陷,采用超声波探伤方法能够无损检测铸锭内部缺陷,避免不合格铸锭进入下道工序。

对于超声波探伤等级要求,YS/T 695—2009规定由双方协商并在合同中注明,这会造成扁铸锭生产企业良莠不齐,陷入低价低质竞争困局。为保障镁合金扁铸锭的质量,YS/T 695—2025版明确要求除LZ91N、LA93M、LA93Z镁锂合金外,其他镁合金的超声波检验验收等级均应符合或优于GB/T 6519—2024<sup>[13]</sup>中B级要求。LZ91N、LA93M、LA93Z镁锂合金扁铸锭未作规定,是因其存在特殊双相组织,超声波探伤无法穿透较厚的扁铸锭,也无法区分双相组织与各类缺陷,且此类合金加工成形性能优异,一般可不进行超声波检验。

对于超声波探伤方法,YS/T 695—2009对超声检验仪器的选择与调节、检验步骤进行了详细规定,但并未明确采用何种超声波检验方法,这给操作员带来一定的困扰。YS/T 695—2025则明确规定“宜采用纵波接触法检验”,该方法可直接参考GB/T 6519—2024执行,同时给出了备选方法,即在征得用户同意并有除水和防腐措施情况下,可采用水浸法探伤。

## 2.8 质量保证

即使铸锭所有检测项目均符合或高于YS/T 695—2025要求,仍无法保证其不存在质量问题<sup>[14]</sup>。镁合金铸锭的制备具有复杂性,关联因素较多,如原生镁锭、中间合金等原材料的选用、回炉料的配比以及杂

质含量的控制都会对铸锭质量造成影响。回炉料是生产环节产生的废料<sup>[15]</sup>，如铸锭冒口、轧裂板材、锻裂锻件及成品裁切后的边角料等，使用回炉料能够降低生产成本，一般可添加10%~30%，且回炉料应符合GB/T 20926—2007<sup>[16]</sup>中Ⅰ类块状回收物的要求，以免影响扁铸锭质量。对于质量要求高的军工、3C板带材用扁铸锭，回炉料会影响板带材的成品率，增加生产成本，降低用户使用意愿，因此应避免添加。为避免二次污染熔体，对于熔剂、精炼剂、保护气氛等辅助材料的添加量，甚至熔剂和精炼剂的水分含量也应进行控制<sup>[17]</sup>。熔炼温度、精炼温度、精炼时间、搅拌速度和浇注温度等熔铸工艺参数对熔体质量和铸锭质量会造成重大影响。因此，为了保证扁铸锭的生产质量，引导铸锭生产企业良性发展，给出了资料性附录D质量保证，对镁合金熔炼工艺中原材料与辅助材料的选择、烘炉、装料、熔化、合金化、炉前化学成分分析、精炼和高温静置等步骤，以及铸造工艺中铸造温度、冷却水温及水量、结晶器液面高度、结晶器液穴深度等进行了细化梳理和规范，以确保铸锭均质化制备成形。

## 2.9 取样要求

对于化学成分检验取样，YS/T 695—2009版规定“熔融状态取样或每批任取一根铸锭的首尾各取一个试样”。但熔融为中间状态，铸锭成品浇注前的中间检测环节，不能作为铸锭交付结果，需对铸锭成品取样分析。为使取样位置更清晰直观，YS/T 695—2025规定在铸锭的头部和尾部的中心点、中心到宽度方向的边部、中心到厚度方向的边部等距离取样，每熔次取任意一根铸锭，头、尾部位各切取一块试片进行化学成分分析，充分考虑了铸锭从中心到边部、从头部到尾部的成分偏析情况，取样方法合理、可行，且实施起来能够减少用户疑虑，增加可信度，减少第三方复验。

对于低倍组织检验取样，YS/T 695—2025中规定每熔次取任意一根铸锭，头、尾部位各切取一块试

片，并在沿试片宽度方向边部、厚度方向边部和1/2范围内等距离分布的位置（共至少5个点）上取样，且增加了取样位置示意图。

对于显微组织检验取样，YS/T 695—2009中未对测算晶粒平均直径的取样位置做规定，YS/T 695—2025中明确规定晶粒尺寸试样于扁铸锭宽度方向1/4处取样。

## 3 标准水平分析

国际标准ISO，美国ASTM、ASME、AMS，日本JIS，欧洲EN等标准体系中未检索到变形镁及镁合金扁铸锭相关标准。YS/T 695—2025在修订过程中根据行业发展，收集了近年来国内研制成功并批量生产的合金牌号，同时纳入了国内市场广泛使用的国外牌号，保证了标准在变形镁及镁合金领域的全覆盖。与YS/T 695—2009相比，在尺寸规格方面，基于国内生产水平的提升，扩大了厚度、宽度及长度范围；在扁铸锭形状方面，增加了市场通用的直边和梯形两种形状，便于标准使用者按需选择；在晶粒尺寸方面，根据不同合金体系分类细化了指标；增加了超声波探伤等级要求，以保障高端镁合金扁铸锭内部质量；增加了质量保证、典型低倍组织缺陷照片及典型镁合金铸锭外观形貌，能够促进扁铸锭生产使用过程中购销双方对产品质量判断达成共识。综上，该标准整体技术水平达到了国内先进水平。

## 4 结束语

本次标准修订系统性地扩充了合金牌号，明确了产品形状，完善了尺寸偏差、低倍组织、显微组织和超声波探伤等要求，给出了典型低倍组织缺陷和外观质量缺陷形貌，创新性地引入了质量保证要求，显著提升了标准的科学性、先进性与实用性，将有效规范和引导我国变形镁及镁合金扁铸锭的生产与质量控制，推动镁合金材料生产工艺的规范化发展。

### 参考文献：

- [1] 樊振中，陈军洲，陆政，等. 镁合金的研究现状与发展趋势[J]. 铸造，2020，69（10）：1016-1029.
- [2] 苏阳，郝亮，李扬欣，等. 航空航天用高性能镁合金的研究进展[J]. 空天防御，2024，7（6）：1-11.
- [3] 侯健，廖启宇，贾永辉，等. 特大规格AZ系镁合金扁锭的半连续铸造工艺[J]. 铸造，2020，69（10）：1048-1054.
- [4] LI Z H, XU M N, CAO Y, et al. Current progress in strengthening, plastic deformation and thermal stability of Mg alloys [J]. Journal of Alloys and Compounds, 2025, 1018 : 179151.
- [5] 韩福年，王文礼，徐玉凌，等. 超声处理对微合金化Mg-3Al-Zn合金微观组织与力学性能的影响[J]. 塑性工程学报，2025，32（6）：278-292.
- [6] 段文超，李金宝，潘艳林，等. 基于多场耦合求解的大规格镁合金扁锭差相脉冲电磁半连续铸造[J]. 中国有色金属学报，2024，34（6）：1982-1997.
- [7] 刘兰波，李源，柴艳红，等. 镁锂合金制造工艺技术研究及应用现状[J]. 航天制造技术，2022，5（10）：74-78.

- [8] XING F, LI S, YIN D D, et al. Recent progress in Mg-based alloys as a novel bioabsorbable biomaterials for orthopedic applications [J]. *Journal of Magnesium and Alloys* [J]. 2022, 10 (6): 1428-1456.
- [9] 周雯, 章文捷, 张小兵, 等. 新型镁锂合金组织成分设计及防护体系研究 [J]. *热加工工艺*, 2025, 54 (10): 136-139.
- [10] 陈黎松, 刘金学, 解海涛, 等. 退火工艺对Mg-8Li-3Al-2Zn合金挤压板材显微组织与力学性能的影响 [J]. *材料导报*, 2025, 39 (7): 194-198.
- [11] 刘洪. Mg-Zr中间合金对ZK61镁合金组织均匀性影响 [D]. 南昌: 南昌大学, 2025.
- [12] 刘金学, 解海涛, 郭晓光, 等. 双相LZ91镁锂合金超塑性变形行为及组织演变 [J]. *中国有色金属学报*, 2022, 32 (3): 713-720.
- [13] 全国有色金属标准化技术委员会. 变形铝、镁合金产品超声波检验方法: GB/T 6519—2024 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2024.
- [14] 王强. 行业标准《变形铝及铝合金扁铸锭》述评 [J]. *轻合金加工技术*, 2015, 43 (4): 25-30, 61.
- [15] WANG L P, LIANG D, YU R, et al. Progress and prospects in magnesium alloy scrap recycling [J]. *Journal of Magnesium and Alloys*, 2024, 12 (12): 4828-4867.
- [16] 全国有色金属标准化技术委员会. 镁及镁合金废料: GB/T 20926—2007 [S]. 北京: 中国标准出版社, 2007.
- [17] 刘汪涵博, 戚文军, 黄正华. 镁合金熔体净化技术的研究进展 [J]. *铸造*, 2015, 64 (6): 521-527.