

美国 MPIF 标准 35—《金属注射成形零件材料标准》

一、MIM 零件材料标准的注释和定义

(1) MIM 材料命名

在制定 MIM 材料的技术规范时，MIM 协会采用的牌号系统和 AISI-SAE 相同。之所以选用这些牌号名称是因为 MIM 零件多用于替代已在使用的相应锻轧材料的制品。当表示某种材料是用 MIM 工艺制造时，应在材料之前加“MIM”。例如，用 MIM 工艺制造的 316L 不锈钢，可用“MIM-316L”来表示。

在选择某一具体材料之前，需要仔细分析零件的设计与其最终用途，其中包括尺寸公差、零件设计及模具设计。另外，MIM 零件的制造厂家和买方必须商定对成品零件的最终性能要求。也可规定诸如静态与动态负载、耐磨性、切削性及耐蚀性之类的问题。

(2) 一些基本概念与定义

最小值概念 金属粉末工业联合会对于用于结构零件的粉末冶金材料采用了最小力学性能值概念。采用这些值作为用户选择具体应用材料的一个依据。为有助于选择材料，除最小力学性能值外，还列出了其它性能得标准值。从而，使用户可选择与确定合适的 MIM 材料与对具体用途最合适的性能。提供的数据规定了材料的最小力学性能值，并列出了在工业生产条件下可达到的标准力学性能值。通过较复杂的工艺过程可增强力学性能和改进其它使用性能。要选择一种在性能与价格两方面都可行的最佳材料，用户与 MIM 零件制造厂家一起讨论零件的用途最为重要。

最小值 MIM 材料的最小值，对于烧结态和（或）热处理态的所有材料都是用屈服强度（0.2%残余变形法）、极限抗拉强度及伸长率来表示的。因为 MIM 材料的密度接近真密度，故其性能和锻轧材料相似。

为建立本标准，所用拉伸性能都是由拉伸试样测定的，拉伸试样是为评定材料 MIM 料专门制备的（关于 MIM 材料试样的详情见 MPIF 标准 50）。由批量生产的零件切削加工的试样或由非标准的 MIM 试样测定的拉伸性能，可能和按照 MPIF 标准 50 制备的试样测定的结果不同。

在编制 MIM 材料的技术规范时，表明最小强度值的实际方法是由制造厂家和用户利用生产的第一批零件和相互商定的对零件施加力的方法，进行静态或动

态验收试验。例如，根据一给定零件的设计，商定破坏负荷必须大于某一给定的力。倘若在验收试验中，超过了该规定值，就表明达到了最小强度值。也可用第一批零件在使用中进行试验表明是合格的。静态和动态断裂负荷是分别测定的，并要对这些数据进行统计分析，以确定将来批量生产零件的最小破断力。将来批量生产的零件只要超过了该最小力，就表明达到了技术规范规定的强度。也可用拉伸试样来证明强度合格。这些试样和零件应该是由同一批材料制造的，并且和零件的材料密度相同。可是，实际零件成形时产生的缺陷，可能会限制用拉伸试样测定的性能。倘若不采用验收试验，为了能达到符合最小性能值，可能会对零件进行补充质量检验，诸如 X 射线分析。

利用 MPIF 标准 35 来制定 MIM 材料技术条件，意味着除非买方和制造厂家另有协议，材料将具有标准中规定的最小性能值。当然，若用试样来测定这个值，试样就应该具有由制造厂家确定的和为在与零件生产相同条件下评定这类材料专门制备的形状与其它特性。

标准值 对于列出的每一种 MIM 材料都对应一组性能（即密度、硬度、伸长率等）的标准值，对于某一具体应用，其中一些或全部性能可能都是很重要的。对所列密度下的标准值都是用内插法由平均力学性能-密度曲线来确定的。力学性能数据来源于试样的“循环”烧结和热处理。

列出标准值只是为了一般性指导，不得将它们视为最小值。当用于一般制造工艺时，依据所选择的零件测试区域或采用的具体制造工艺会稍有变化。对于买方要求的每一种材料，在制定技术条件以前都必须和 MIM 零件制造厂家对“标准值栏”下面所列的性能进行充分讨论。对于每一种 MIM 零件，除了以最小值表示的性能外，对于所要求的性能值，都应根据其预定用途分别规定。

化学成分 对于每一种材料的化学成分都列出了主要元素的最小与最大含量。“其它元素”用差减法其包括的其它元素（以最大含量进行报告）。这些元素可能包括为达到目的而添加的一些微量元素

力学性能 力学性能数据表明了最小性能值与标准性能值，若试样所列的密度与化学成分符合标准，预计这些性能值是能达到的。当然，在这个标准中采用的力学性能。都是要通过为材料评价特别制造的专用试样以及在工业生产条件

下烧结的专用试样进行测定的。关于热处理试样的硬度值，首先给出了表观硬度，其次，可能的话，给出等效的颗粒或基体硬度值。残留于 MIM 零件中孔隙对表观硬度读数会有影响。以 HRC 所表示的基体硬度值都是由负荷为 100gf(0.981N)的努氏显微硬度测量值换算的。

热处理 除奥氏体不锈钢外，MIM 材料都可进行热处理，以增高强度、硬度及耐磨性。化合碳含量为 0.3%或更高的 MIM 铁基零件可以淬火硬化与回火。碳、合金元素及残留孔隙的百分含量决定了在任何一给定的淬火条件下可淬硬的程度。通过采用淬火可以将硬度提高到 55HRC (650HK) 或更高。为了得到最佳强度与耐磨性，淬火后需要进行回火或消除应力，回火温度对于决定最终硬度是一个重要因素。当制造的 MIM 铁基零件表面含碳量低时，可进行表面渗碳-淬火，以提高表面硬度和保持一定的韧性。奥氏体与沉淀硬化不锈钢也可用热处理来提高硬度与强度。

对于 MIM 铁基零件进行热处理和(或)渗碳推荐采用煤气类气氛或真空处理。为保证具有规定的含碳量，对热处理过程必须很好地进行控制。大多数 MIM 材料都很适应于采用常规锻轧材料的热处理工艺。为使零件的最终性能达到理想平衡，建议对于任何 MIM 材料的热处理工艺都要和 MIM 零件的制造厂家共同制定。

表面粗糙度 MIM 材料总的粗糙度与表面反射能力取决于密度、模具状态、颗粒大小以及后续加工。由于 MIM 材料的表面状态和锻轧材料的切削加工或磨削加工表面不同，所以常规轮廓仪读数给出的表面粗糙度轮廓曲线是不正确的。

显微组织 MIM 零件的显微组织分析是一种诊断工具，可用于揭示零 MIM 件的烧结程度与对 MIM 工艺极为关键的其它冶金信息。因为用 MIM 工艺可达到高密度，故 MIM 材料的显微组织和相应的锻轧材料相似。对于大部分烧结 MIM 材料有几项检验是相同的，此简述如下：

MIM 材料的孔隙度一般不大于 5%。只有考虑到形成缺陷时，选取 MIM 零件的特定横截面才是重要的。粗抛光和细抛光要一直进行到将残余孔隙都显露出来为止。孔隙度的面积百分率(指 MIM 零件)应控制在 5%以下。

往往首先分析未腐蚀状态的 MIM 零件。零件正常时，在“200×”下看不到原颗粒界。孔隙呈均匀分布的、细小的、适当圆孔的状态者，其材料的强度、塑性及冲击强度就比较高。

对于 MIM 钢, 可根据珠光体的面积百分率比例来判断其大致的含碳量。珠光体含量较少就意味着含碳量比例较低。元素镍合金化添加剂应充分地进行扩散, 不要将富镍区误判为铁素体区。一般应避免表面脱碳, 因为表面脱碳的话, 硬度较低且耐磨性较差。若零件的含碳量在 0.6%~0.9%, 则表层的含碳量低于 0.6% 时就是明显脱碳。少量的表面脱碳问题不大, 但若脱碳层深度大于 0.254mm, 可能需要验证对功能有没有损害。



MIM 低合金钢热处理状态通常为回火马氏体。在淬硬的零件中, 若出现网状碳化物, 会使马氏体脆化, 因此, 一般要避免这种情况。在零件外表层 0.127mm 处含有少量碳化物一般是允许的, 对于少量的残余奥氏体和马氏体组织也是如此。因为残余奥氏体在使用中会转变为脆性马氏体, 故一般要避免其百分含量较高。

MIM 不锈钢的显微组织一般和相应锻轧材料一样均匀弥散的、充分圆化的孔隙表明烧结正常。晶界中的氧化物、氮化物或碳化物可能降低其性能。

在制备显微组织分析用的 MIM 试样时, 推荐采用下列腐蚀剂和方法。含碳的铁基零件通常在 2% 硝酸、乙醇腐蚀液中腐蚀。奥氏体不锈钢与沉淀硬化不锈钢可采用 glyceresia(10ml HNO₃, 20ml HCl, 30ml 甘油)腐蚀液中擦洗 1~2min 来腐蚀, 这种腐蚀液 30min 后就应丢弃。

二、检验方法

(1) 验收试验

大力推荐用户与 MIM 零件制造厂家共同制定验收试验和(或)破坏试验方法, 以保证实际零件符合设计意图, 可能的话, 应将 MIM 零件的实际应用情况联系起来, 如破坏负荷、弯曲试验、拉伸试验等。验收试验的数据必须通过实际试验来确定, 建议将这类试验增补在图纸上规定的材料技术条件中。

(2) 密度

MIM 材料的孔隙度一般不大于 5%, 因此, 浸渍法不适用。一般使用的方法如下:

$$D=A\rho_w \div (A-C+E)$$

式中 D—密度, g/cm³;

A—试样



C—试样在水中的质量，g；

E—悬挂丝或筐在水中的质量，g；

ρ_w —在试验温度下水的密度，g/cm³。

要注意：①质量 A、C 及 E 应测量到 1mg；

②水中必须添加 0.1%润湿剂，以将称量试样时水的表面张力效应减小到最小值；

③测定时水的温度与密度如表 1 所示。买卖双方同意的话，也可用气体比重计测定密度。

表 1 水的温度与密度的关系

温度 °C	试验温度下水的密度 ρ_w g/cm ³	温度 °C	试验温度下水的密度 ρ_w g/cm ³
15	0.9991	23	0.9975
16	0.9989	24	0.9973
17	0.9988	25	0.9970
18	0.9986	26	0.9968
19	0.9984	27	0.9965
20	0.9982	28	0.9962
21	0.9980	29	0.9959
22	0.9978	30	0.9956

注：所列 ρ_w 值取自 Metrological Handbook 145, Quality Assurance for Measurements 1990, NIST, P. 9. 10 和表示在空气中于 1atm(1atm=101325Pa)

(3) 极限抗拉强度、屈服强度及伸长率

极限抗拉强度、屈服强度及伸长率的测定方法与常规钢铁材料相同。

(4) 表观硬度

当用一般压痕硬度计测定时，MIM 零件的硬度值叫做表观硬度，这时它表示的是基体硬度与残余孔隙度效能的综合值。对于 MIM 零件，残留孔隙对硬度值的影响很小，表观硬度测定的是压痕抗力。测定 MIM 材料表观硬度时要注意：

- 1、规定测定区域；
- 2、除去可能会因与压头或支承表面接触而影响压痕硬度读数的任何毛刺。
- 3、取五个硬度读数的最小值；

**FOR PUBLIC
RELEASE**

4、取读数的平均值；

5、报告平均结果到最接近的整数倍。

制造厂家和买方对于每一试验的零件都应商定硬度、测定方法及硬度标度。



(5) 基体硬度（显微硬度）

基体硬度是用显微硬度计以努氏（KHN）或金刚石角锥硬度（DPH）压头测定的。通过将孔隙度的影响降低到最低限度，可测定组织的实际硬度。为了和其它材料相比较，可将显微硬度的测定值换算为等效的洛氏硬度值。

在将努氏硬度换算成 HRc 硬度时应注意，一般的换算图表都基于负荷为 500gf (4.9N)，而对于 MIM 材料，推荐的负荷为 100gf (0.98N)。鉴于热处理的材料会形成马氏体、细珠光体以及贝氏体区域，故必须报告测试的相。将试样抛光到已显露全部孔隙这一点是很重要的。在压头压入一潜隐的孔隙，则压头印痕的边缘将成曲线状，这个读数必须舍弃。

三、MIM 材料技术标准

(1) 低合金钢

包括由预合金粉和铁粉与其它合金元素（如 Ni、Al 及 C）粉末的混合粉制造的 MIM 材料。为获得各种各样的性能，每种元素添加的比例及热处理条件可能不同。合金可通过淬硬获得很高的强度与适当的韧度。为了使表面耐磨和心部具有韧性，含碳量较低的合金可进行表面渗碳-淬火。

材料特性 一般是烧结时合金元素进行充分扩散。组织均一者具有优异的强度性能。用 MIM 工艺可获得高密度，因此这些材料也具有良好的韧性。

应用 低合金钢一般用于轻型结构零件，特别是经过渗碳-淬火处理时，它们可用于需要高强度与硬度的场合。

显微组织 残余孔隙应该很小，分布均匀并且相对圆化。烧结体的显微组织依据含碳量应含有数量不同的铁素体与共析体。

化学成分 标称化学成分见表 2，低合金钢 MIM 材料的性能与 MIM 低合金钢的物理-力学性能见表 3。

表 2 MIM 低合金钢的标称化学成分（质量分数）

材料牌号	Fe	Ni	Mo	C	其它
MIM-2200	余量	1.5~2.5	≤0.5	0.7~0.9	Si: ≤1.0
MIM-2700	余量	6.5~8.5	≤0.5	0.7~0.9	Si: ≤1.0
MIM-4600	余量	1.5~2.5	≤0.5	≤0.1	Si: ≤1.0

MIM-4605	余量	1.5~2.5	0.2~0.5	0.4~0.6	Si: ≤1.0
MIM-4650	余量	1.5~2.5	≤0.5	0.4~0.6	Si: ≤1.0

表 3 MIM 低合金钢的物理-力学性能 (美国 MPIF 标准 35. 1993-1994 年版)

材料牌号 (状态)	最小值			标准值					
	拉伸性能			拉伸性能			密度 g/cm ³	硬度 (洛氏)	
	极限抗拉 强度 MPa	屈服强度 (0.2%) MPa	伸长率 (于 25.4mm 内) %	极限抗 拉强度 MPa	屈服强度 (0.2%) MPa	伸长率 (于 25.4mm 内) %		表观	显微 (换算的)
MIM2200 烧结态	255	110	20.0	290	125	40	7.5	45HRb	
MIM2700 烧结态	379	267	20.0	414	255	26	7.6	69HRb	
MIM4600 烧结态	255	110	20.0	290	124	40	7.6	45HRb	55HRc
MIM4605 烧结态	380	205	11	415	255	15	7.5	62HRb	
MIM4605 淬火与回火	1485	1310	<1.0	1655	1480	2	7.5	48HRb	55HRc
MIM4650 烧结态	379	172	11.0	441	207	15	7.5	62HRb	
MIM4650 淬火与回火	1482	1310	<1.0	1655	1482	2	7.5	48HRc	

(2) 不锈钢

包括由预合金分别或元素粉配制的各种牌号的不锈钢。其中有奥氏体不锈钢、双相不锈钢及沉淀硬化不锈钢。

材料特性 由于用 MIM 工艺可获得高密度, 从而提高了零件的强度和韧性及耐蚀性。应用 MIM 不锈钢有几个牌号, 每一牌号都具有特殊性能和广泛的应用范围。

1、MIM-316L 奥氏体不锈钢: 这个牌号用于需要耐蚀性极好的场合, 由这种材料制造的零件都具有良好的综合强度与韧性。

2、MIM-双相 (316L) 不锈钢: 所谓双相是指这种不锈钢具有铁素体-奥氏复合组织。它和 316L 相比, 耐蚀性相似, 但表观硬度较高, 且力学性能或多或少有所提高, 这些合金都是铁磁性的。

2、MIM-17-4PH 沉淀硬化不锈钢: 在需要高强度与硬度的场合, 可采用这种牌号的不锈钢。因含碳量低, 其耐蚀性一般比 400 系列不锈钢好, 通过在热处理

FOR PUBLIC
RELEASE

时改变时效温度，可获得各种不同的性能与硬度。

显微组织 MIM 材料除了具有的均匀弥散的、适当圆化地孔隙外，其显微组织应和锻轧材料一样，不得有原颗粒界形迹。内部的氧化物、氮化物、及碳化铬对性能都是有害的。

化学成分 标称化学成分如表 4.

表 4 MIM 不锈钢的化学成分（质量分数）

材料牌号	Fe	Ni	Cr	Mo	C	Cu	Nb+Ta	其它元素
MIM-316L	余	10-14.			≤0.03	—	—	≤2.0
MIM 双相(316L)	余	7.5-8.5			≤0.03	—	—	≤2.0
MIM-17-4PH	余			—	≤0.07			≤2.0

MIM 不锈钢的性能 MIM 不锈钢的物理-力学性能如表 5.

表 5 MIM 不锈钢的物理-力学性能（美国 MIPF 标准 35. 1993-1994 年版）

材料牌号 (状态)	最小值			标准值					
	拉伸性能			拉伸性能			密度 g/cm ³	硬度（洛氏）	
	极限抗拉 强度 MPa	屈服强度 (0.2%) MPa	伸长率（于 25.4mm 内） %	极限抗 拉强度 MPa	屈服强度 (0.2%) MPa	伸长率（于 25.4mm 内） %		表观	显微 (换算的)
MIM-316L 烧结态	448	138	40.2	517	172	50	7.6	67HRb	
MIM-双相 (316L) 烧结态	469	179	33.0	538	188	40	7.6	67HRb	
MIM-430L 烧结态	345	205	20	415	140	25	7.6	67HRb	
MIM-17-4PH 烧结态	793	605	4.0	896	731	6	7.5	27HRc	
MIM-17-4PH 固溶处理与时效	1070	965	4.0	1186	1089	6	7.5	33HRc	42HRc

FOR PUBLIC RELEASE

FOR PUBLIC RELEASE