

紧固件用A286高温合金AMS标准解读与应用

齐跃, 万志慧, 余传魁, 张晓斌, 唐伟, 林忠亮*

航天精工股份有限公司 天津 300300

摘要: 结合实际生产情况, 对紧固件用A286高温合金常用AMS标准进行了详细的解读, 为产品设计和工艺编制提供指导, 形成A286材料选用建议表, 方便科研生产活动的使用。

关键词: A286; AMS标准; 性能等级; 热处理制度; 应用

1 序言

A286是Fe-25Ni-15Cr铁基高温合金, 加入钼、钛、铝、钒及微量硼元素综合强化。在650℃以下具有较高的屈服强度和持久的高温蠕变强度, 并且具有较好的加工塑性和良好的焊接性能, 适合制造在650℃以下长期工作的航空发动机高温承力部件, 如涡轮盘、压气机盘、转子叶片和紧固件等。相近的材料牌号为我国的GH2132、法国的ZbNCT25等。

A286是美国牌号, 常用的材料标准^[1-6]主要有AMS 5731—2006等6项, 不同的标准对应的材料状态、热处理制度以及性能等级存在很大的差异, 因此在使用时应格外注意。

采用A286生产紧固件种类繁多, 其主要产品集中在900MPa级的螺母、1100MPa级的HB系列螺栓、1300MPa级的NAS系列的高强度螺栓以及试验芯棒等。由于A286的沉淀硬化作用与原材料的变形强化程度息息相关, 所以根据不同产品的性能等级要求, 需要在生产准备时注意选择不同标准的原材料。而在实际生产中, 经常出现因工艺编制人员以及生产准备人员对标准理解不到位, 引起产品性能不满足技术条件要求而重新投产甚至报废的情况。

为了避免因为选材不当带来的不必要麻烦和损失, 本文主要针对A286合金的标准进行解读, 并结合实际生产应用情况, 对A286的选用给出材料专业方面的建议, 希望对行业的技术发展起到促进作用。

2 A286标准概况

目前, 常用的A286材料主要形式为棒材或线材, 下面将常用的标准概况在表1中进行简要汇总。

表1 进口材料A286标准概况

标准	材料形式	材料状态	尺寸/mm	服役条件
AMS 5726—2006	棒材、线材	固溶+冷加工	≤31.8	538℃下保持强度; 649℃下抗氧化
AMS 5731—2006		固溶	—	704℃下保持强度; 816℃下抗氧化
AMS 5732—2006		固溶+时效	—	
AMS 5734—2006		固溶	—	
AMS 5737—2006		固溶+时效	—	538℃下保持强度; 649℃下抗氧化
AMS 5853—2006		固溶+冷加工	≤31.8	

3 各标准推荐的热处理制度

根据不同标准的要求, 形成了对应的热处理工艺建议制度及其工艺, 详见表2。

表2 各标准对应的热处理制度及工艺

标准	牌号	标准推荐热处理制度
AMS 5726—2006	A286	982℃±14℃固溶+649~704℃±14℃时效不少于8h
AMS 5731—2006	A286	982℃±14℃固溶+718℃±8℃时效不少于16h
AMS 5732—2006	A286	982℃±14℃固溶+704~760℃时效不少于16h
AMS 5734—2006	A286	899℃±14℃固溶+718℃±8℃时效不少于16h
AMS 5737—2006	A286	899℃±14℃固溶+704~760℃时效不少于16h
AMS 5853—2006	A286	982℃±14℃固溶1~2h+649~704℃±14℃时效不少于8h

通信作者: 林忠亮, 高级工程师, 硕士研究生, 主要研究方向为先进制造, E-mail: 25858801@qq.com。

4 性能等级差异性分析

不同的材料标准，对材料的性能等级规定

不同，常用的等级有900MPa级、1100MPa级和1300MPa级，对应的标准要求见表3中列举。

表3 A286热处理后的力学性能

标准	室温性能					温度/℃	持久性能	
	R_m /MPa	$R_{p0.2}$ /MPa	A (%)	Z (%)	硬度		R_m /MPa	t/h
	≥							≥
AMS 5731—2006	896	586	15	20	248~341HBW	649	483	23
AMS 5732—2006	896	586	15	20	248~341HBW	649	483	23
AMS 5734—2006	965	655	12	15	277~363HBW	649	448	23
AMS 5737—2006	965	655	12	15	277~363HBW	649	448	23
AMS 5853—2006	1103	827	12	18	≥32HRC	—	—	—
AMS 5726—2006	1379	1241	8	15	≥40HRC	—	—	—

性能等级的差异，主要取决于材料在制备时选择的拉拔工艺。不同性能等级的材料，对应不同的拉拔量，即变形量。变形量越大，在材料中形成的孪晶数量越多。

研究表明^[7]，A286为铁基时效强化型高温合金，合金经过热轧+固溶后，各种强化相和析出相都回溶到 γ 奥氏体基体中，表现出低强度高塑性。经过时效后，合金力学性能发生显著变化，抗拉强度、屈服强度迅速增加，伸长率、断面收缩率迅速降低。这主要是因为合金在时效过程中，固溶于过饱和固溶体中的元素在 γ 基体上弥散均匀析出 $Ni_3(Ti, Al)$ 型 γ' 相以及TiN或TiC等析出相，这些析出相在基体中阻碍位错移动，起到了良好的强化作用，合金时效后，强度得到迅速提高。随着时效时间的延长，合金组织形成不同数量的孪晶，使得合金在时效过程中抗拉强度、屈服强度先增加再降低，伸长率与断面收缩率略有变化。孪晶数量越多，合金强度越高，这主要是因为孪晶阻碍位错运动而起到强化作用，所以孪晶越细越多，其切割晶体的作用越显著，金属基体的强化程度也越高。由以上分析可以得出，合金在时效前期，沉淀硬化起主要作用；时效后期，沉淀硬化与孪晶共同作用起到强化作用。

变形孪晶界形成于合金的变形过程中，虽然在某些层错能低的合金中，可以通过变形获得含量很高的变形孪晶界，但由于其形成于变形过程中，合金中存在较大的应变和应力，处于不稳定状态，而合金通常是热处理后（应力较低）才能应用。另

外，变形孪晶界之间间距细小，易在热处理过程中因回复或再结晶而湮灭。也就是说，由于合金的变形组织降低了变形孪晶界的稳定性，导致其含量难以控制，所以变形孪晶界在未解决其稳定性之前难以得到有效的应用。

由以上分析可以推断，不同标准规定的服役条件不同的原因，即对于变形量较大的A286高温合金而言，使用温度相对变形量小的A286高温合金略低，表1中的服役条件给出了很好的解释。

5 不同标准材料应用举例及生产使用建议

5.1 性能等级的区分

1) 当产品标准中的性能等级要求为900MPa级时，可以选择AMS 5731—2006、AMS 5732—2006、AMS 5734—2006以及AMS 5737—2006四种标准的原材料。

2) 当产品标准中的性能等级要求为1100MPa级时，可以选择AMS 5853—2006标准的原材料。

3) 当产品标准中的性能等级要求为1300MPa级时，可以选择AMS 5726—2006标准的原材料。

5.2 同种性能等级状态的区分

1) 当产品选择固溶状态的材料标准时，在产品加工作业指导书编制时，需要热处理时效工序。

2) 当产品选择固溶时效状态的材料标准时，在产品的机加工作业指导书编制时，不需要热处理时效工序。

5.3 使用实例

典型案例1：某型号抗剪型高锁螺母产品，属于纯机加工产品，应该优先选择AMS 5732—2006固

溶时效状态材料。但在实际的工艺编制中，如果选择了AMS 5731—2006标准，则对应的原材料为固溶态，这时就需要再对产品增加一道时效工序，这是完全没有必要的。

典型案例2：某型号开槽螺栓产品，由于性能等级要求 $R_m \geq 1100\text{MPa}$ ，因此只能选择AMS 5853—2006和AMS 5726—2006，选择其他标准的材料则

无法满足性能等级要求。如果产品技术条件要求强度或者硬度上限为1200MPa时，则不能选择AMS 5726—2006标准的原材料。

5.4 选择建议

在进行产品设计、工艺编制以及生产备料时，应根据产品所需要达到的性能等级进行不同标准A286材料的选择，详见表4。

表4 A286材料选用建议

标准	材料形式	材料状态	性能等级/MPa	服役条件	推荐使用	推荐热处理制度
AMS 5731—2006	棒材、线材	固溶	896	704℃下保持强度； 816℃下抗氧化	900MPa级产品，需要锻制成型的产品	720℃±5℃保温16h
AMS 5734—2006			965			
AMS 5732—2006		固溶+时效	896		900MPa级产品，纯机加工的产品	不热处理
AMS 5737—2006			965			
AMS 5853—2006		固溶+冷加工	1103	538℃下保持强度； 649℃下抗氧化	1100MPa级产品	680℃±5℃保温8h
AMS 5726—2006			1379		1300MPa级产品	

参考文献：

- [1] Society of Automotive Engineers. Steel, Corrosion and Heat-Resistant, Bars, Wire, Forgings, Tubing and Rings 15Cr-25.5Ni-1.2Mo-2.1Ti-0.006B-0.30V Consumable Electrode Melted, 1800 (982℃) Solution Heat Treated; SAE AMS 5731L—2006[S]. USA: SAE, 2018.
- [2] Society of Automotive Engineers. Steel, Corrosion and Heat-Resistant, Bars, Wire, Forgings and Tubing 15Cr-25.5Ni-1.2Mo-2.1Ti-0.006B-0.30V Consumable Electrode Melted, 1650 (899℃) Solution Heat Treated; SAE AMS 5734K—2006[S]. USA: SAE, 2018.
- [3] Society of Automotive Engineers. Steel, Corrosion and Heat-Resistant, Bars, Wire, Forgings, Tubing and Rings 15Cr-25.5Ni-1.2Mo-2.1Ti-0.006B-0.30V Consumable Electrode Melted, 1800 (982℃) Solution and Precipitation Heat Treated; SAE AMS 5732J—2006[S].USA: SAE, 2018.
- [4] Society of Automotive Engineers. Steel, Corrosion and Heat-Resistant, Bars, Wire, Forgings and Tubing 15Cr-25.5Ni-1.2Mo-2.1Ti-0.006B-0.30V Consumable Electrode Melted, 1650 (899℃) Solution and Precipitation Heat Treated; SAE AMS 5737P—2006[S].USA: SAE, 2018.
- [5] Society of Automotive Engineers. Steel, Corrosion and Heat-Resistant, Bars and Wire 15Cr-25.5Ni-1.2Mo-2.1Ti-0.006B-0.30V Consumable Electrode Melted, 1800 (982℃) Solution Treated and Work-Strengthened 160 ksi (1103MPa) Tensile Strength; SAE AMS 5835C—2006[S].USA: SAE, 2018.
- [6] Society of Automotive Engineers. Steel, Corrosion and Heat-Resistant, Bars and Wire 15Cr-25.5Ni-1.2Mo-2.1Ti-0.006B-0.30V 1800 (982℃) Solution Heat Treated and Work-Strengthened Consumable Electrode Remelted 200 ksi (1379MPa) Tensile Strength Capability; SAE AMS 5726E—2006[S].USA: SAE, 2018.
- [7] 胡隆伟，叶文君，齐跃，等.紧固件材料手册[M].北京：中国宇航出版社，2014：195-198.