

中华人民共和国国家标准

GB/T XXXXX—XXXX

风能发电系统 风力发电机组环形锻件 技术规范

Wind energy generation systems—Specification for ring forgeings of wind turbines

(征求意见稿)

2023 - XX - XX 发布

2023 - XX - XX 实施

国家市场监督管理总局
国家标准化管理委员会

发布

目 次

前 言	II
1 范围	1
2 规范性引用文件	1
3 术语和定义	2
4 技术要求	2
5 检验规则	7
6 标志和质量证明书	9
7 包装、贮存和运输	10
附录 A （规范性附录） 常用锻造比计算和表示方法	11

前 言

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》的规定起草。

本文件由中国机械工业联合会提出。

本文件由全国风力发电标准化技术委员会（SAC/TC 50）归口。

本文件起草单位：伊莱特能源装备股份有限公司等。

本文件主要起草人：XXX。

风能发电系统 风力发电机组环形锻件技术规范

1 范围

本文件规定了风力发电机组塔架法兰、回转支承环等环形锻件的技术要求、试验方法、检验规则、标志和质量证明书、包装、贮存和运输。

本文件适用于兆瓦级风力发电机组塔架法兰、回转支承环等环形锻件。

2 规范性引用文件

下列文件中的内容通过文中的规范性引用而构成本文件必不可少的条款。凡是注日期的引用文件，仅所注日期的版本适用于本文件。凡是不注日期的引用文件，其最新版本（包括所有的修改单）适用于本文件。

- GB/T 222 钢的成品化学成分允许偏差
- GB/T 223（所有部分） 钢铁及合金化学分析方法
- GB/T 225 钢 淬透性的末端淬火试样方法（Jominy 试验）
- GB/T 228.1 金属材料 拉伸试验 第1部分：室温试验方法
- GB/T 229 金属材料 夏比摆锤冲击试验方法
- GB/T 231.1 金属材料 布氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 1184 形状和位置公差 未注公差值
- GB/T 1591 低合金高强度结构钢
- GB/T 1804 一般公差 未注公差的线性和角度尺寸的公差
- GB/T 3077 合金结构钢
- GB/T 4336 碳素钢和中低合金钢 多元素含量的测定 火花放电原子发射光谱法（常规法）
- GB/T 5313-2010 厚度方向性能钢板
- GB/T 6394 金属平均晶粒度测定方法
- GB/T 10561 钢中非金属夹杂物含量的测定—标准评级图显微检验法
- GB/T 13320 钢质模锻件金相组织评级图及评定方法
- GB/T 17394.1 金属材料 里氏硬度试验 第1部分：试验方法
- GB/T 20066 钢和铁 化学成分测定用试样的取样和制样方法
- GB/T 34474.1 钢中带状组织评定 第1部分：标准评级图法
- NB/T 47013.3 承压设备无损检测 第3部分：超声检测
- NB/T 47013.4 承压设备无损检测 第4部分：磁粉检测
- AMS 2750 航空材料规范 高温测定法（Aerospace Material Specification - Pyrometry）
- EN 10025-3 结构钢热轧产品 第3部分 正火/正火轧制焊接用细晶粒结构钢交货技术条件 (Hot rolled products of structural steels – Part 3: Technical delivery conditions for normalized/ normalized rolled weldable fine grain structural steels)
- EN10083-3 淬火钢和回火钢 合金钢的交货技术条件 (Steels for quenching and tempering – Part 3: Technical delivery conditions for alloy steels)

3 术语和定义

下列术语和定义适用于本文件。

3.1

锻件公称厚度 Nominal thickness

锻件最终精加工后的公称宽度 b_{tot} 与公称高度 t_{tot} 中的较小者 ($\text{Min} \{b_{tot}, t_{tot}\}$), 参见图1。

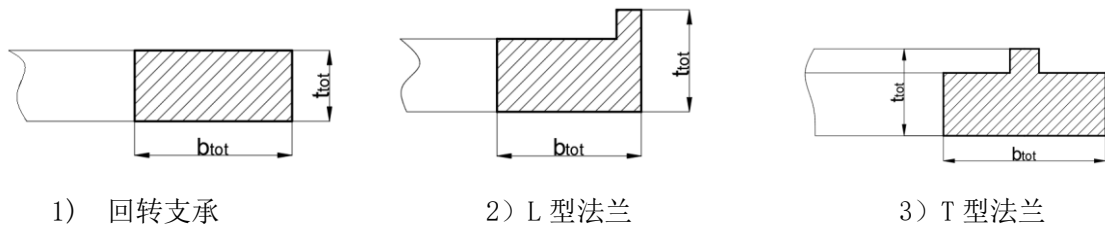


图1 锻件公称厚度示意图

3.2

炉批次 Inspection batch

同一冶炼炉号、同一热处理批号、同一公称厚度范围 (见表2、表3) 为同一炉批次。

3.3

取样方向 Sampling direction

沿锻件的主变形方向为切向 (圆周方向), 也称为纵向, 一般情况下沿此方向取样。沿锻件半径方向为径向, 也称为横向; 沿锻件高度方向为轴向, 也称为Z向, 参见图2。

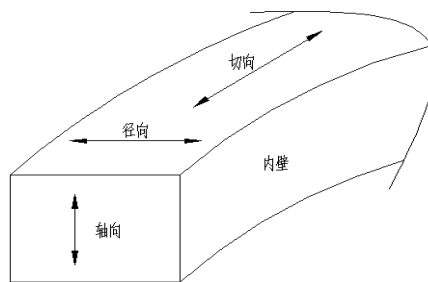


图2 环形锻件取样方向示意图

3.4

径向锻造比 K_m

环形锻件完成冲孔后的横截面积与完成轧环的横截面积之比。

4 技术要求

4.1 原材料

4.1.1 锻件用钢冶炼方法

锻件用钢应采用经电炉或氧气转炉冶炼，并经炉外精炼和真空处理的细晶粒镇静钢；经供需协商，可采用电渣重熔或其它更好的冶炼方法。

4.1.2 锻件用钢化学成分

4.1.2.1 锻件用钢的牌号应符合 GB/T 1591、EN10025-3、GB/T 3077、EN10083-3 的规定，化学成分（熔炼分析）应符合表 1 的规定。供方应提供表 1 中有成分范围规定的化学元素熔炼分析结果。Q355ND、Q355NE、S355NL、Q390NE、Q420NE、S420NL、Q460NE、S460NL 钢应至少含有 Al、Nb、V、Ti 中的一种，加入的细化晶粒元素应在质量证明书中注明含量。锻件的成品化学成分允许偏差应符合 GB/T 222 的规定。

表1 锻件原材料牌号和化学成分表（熔炼分析）

材料 牌号	化学成分（质量分数）/%																
	C	Si	Mn	P	S	Nb	V	Ti	Al _s	Cr	Ni	Cu	Mo	N	CEV		
	不大于		-	不大于		-	-	-	不小于	不大于							
Q355ND	0.20	0.50	0.90~	0.015	0.005	0.005~	0.01	0.006~	0.015	0.30	0.50	0.20	0.10	0.015	0.43		
Q355NE	0.18		1.65													0.050	~0.12
S355NL			1.10~													0.03~	0.12
Q390NE	0.20		1.70			0.01~		0.05							0.46		
Q420NE		0.60	1.20~	0.020	0.04~	0.20	0.020	0.80	0.48								
S420NL																	
Q460NE																	
S460NL	0.60								0.50*								
42CrMo	0.38~	0.17~	0.50~	0.025	0.025	—	—	—	0.010~	0.90~	0.30	0.20	0.15~	0.010	—		
42CrMo4	0.45	0.37	0.80						0.040	1.20	—					0.009	0.30
			0.60~										0.30				
			0.90														

注1：Q355ND、Q355NE、S355NL、Q390NE、Q420NE、S420NL 钢中至少含有 Al、V、Nb、Ti 等细化晶粒元素中的一种，单独加入或组合加入时，应保证至少有一种合金元素含量不小于表中规定含量的下限。可用全铝 Al_t 代替铝含量，此时全铝含量最小为 0.020%；当钢中添加了 V、Nb、Ti 等细化晶粒元素且含量不小于表中规定含量最下限时，Al 含量下限值不限。

注2：Q355ND、Q355NE、S355NL、Q390NE、Q420NE、S420NL 钢熔炼分析的 H≤0.0002%、O≤0.002%；42CrMo、42CrMo4 钢熔炼分析的 H≤0.0002%、O≤0.002%，可用全铝 Al_t 代替铝含量，此时全铝含量最小为 0.015%。

注3：Q460NE、S460NL 碳当量需方有要求时，按需方要求执行。

4.1.2.2 碳当量 $CEV=C+Mn/6+(Cr+Mo+V)/5+(Cu+Ni)/15$ 。如采用成品分析，Q355ND、Q355NE、S355NL、Q390NE、Q420NE、S420NL、Q460NE、Q460NL钢的CEV(碳当量)上限可提高0.01%。42CrMo、42CrMo4碳当量(CEV)供需双方协商决定。

4.1.2.3 锻件使用的原材料应有熔炼单位的质量证明书，质量证明书符合EN10204的要求。

4.1.2.4 锻件使用的原材料入厂后应进行复检，复检结果应符合表1的规定。

4.2 锻造

4.2.1 锻造切除量

锻件使用钢锭进行锻造时，钢锭头尾应有足够的切除量，冒口去除量 $\geq 12\%$ ，水口去除量 $\geq 3\%$ ，利用率 $\leq 85\%$ ，以确保锻件无缩孔及严重偏析等缺陷。

4.2.2 锻造比

环形锻件应采用模铸钢锭或连铸圆坯锻造，模铸钢锭的总锻比应大于等于3，连铸圆坯的总锻造比应大于等于5。其中径向锻造比(Km)应大于等于2.5。

4.3 热处理要求

4.3.1 热处理炉要求

热处理炉应按照SAE AMS 2750的要求进行炉温均匀性(TUS)和系统精度(SAT)检测，保温期间炉温均匀性 $\leq \pm 10^\circ\text{C}$ 。炉温均匀性检测应至少每半年实施一次；精度检测应至少每季度实施一次。

4.3.2 热处理方式

4.3.2.1 除需方另有要求外，Q355ND、Q355NE、S355NL、Q390NE、Q420NE、S420NL、Q460NE、S460NL钢锻件应进行正火或正火加高温回火处理，42CrMo、42CrMo4钢锻件应进行调质热处理。

4.3.2.2 分段法兰锯切前为控制变形宜进行高温回火热处理，对变形量有要求的应增加去应力退火。

4.4 力学性能

4.4.1 拉伸

Q355ND、Q355NE、S355NL、Q390NE、Q420NE、S420NL、Q460NE、S460NL锻件的拉伸性能应符合表2规定，42CrMo、42CrMo4锻件拉伸性能应符合表3的规定。

4.4.2 冲击

Q355ND、Q355NE、S355NL、Q390NE、Q420NE、S420NL、Q460NE、S460NL锻件的冲击试验温度及冲击性能应符合表2的规定；42CrMo、42CrMo4锻件的冲击试验温度及冲击性能应符合表3的规定。冲击能量为3个试样实验结果的算术平均值，允许一个试样的冲击能量低于表2、表3中的规定值，但不得低于规定值的70%。冲击温度的选择按照供需双方协议进行。

4.4.3 轴向性能

根据需方要求，并在订货合同中注明，Q355ND、Q355NE、S355NL、Q390NE、Q420NE、S420NL、Q460NE、S460NL钢锻件可附加保证厚度方向(轴向)性能要求，并分为Z25、Z35两个级别，其断面收缩率应分别符合表4的规定。

4.4.4 硬度

42CrMo、42CrMo4钢锻件的硬度值应符合表3的规定。硬度检测位置应满足圆周均布4个位置，每个位置检测3次，取平均值。需方有特殊要求应在合同中注明。

4.4.5 末端淬火试验

根据需方要求，并在订货合同中注明，42CrMo、42CrMo4钢应按照GB/T 225的规定进行末端淬火试验并符合本文件表5的规定。

表2 法兰锻件的性能

牌号	上屈服强度 R_{eH} /MPa						抗拉强度 R_m /MPa		断后延伸率 A%	切向 冲击能量/J	
	公称厚度/mm						公称厚度/mm		公称厚度/mm	温度/°C	
	>60~80	>80~100	>100~150	>150~200	>200~250	>250	>60~150	>150	>60	-20	-50
Q355ND	325	315	295	285	275	275	470~630	450~600	≥21	54	-
Q355NE	325	315	295	285	275	275				-	54
S355NL	325	315	295	285	275	275				-	54
Q390NE	340	340	320	310	300	300	490~650	470~620	≥19	-	27
Q420NE	370	360	340	330	320	320	520~680	500~650	≥18	-	27
S420NL	370	360	340	330	320	320				-	27
Q460NE	410	400	380	370	370	370	540~720	530~710	≥17	-	27
S460NL	410	400	380	370	370	370	540~720	530~710	≥17	-	27

注：需方有特殊要求时，按需方要求执行。

表3 42CrMo、42CrMo4 锻件的性能

钢号	厚度 mm	抗拉强度 R_m /MPa	屈服强度	断后伸长率	断面收缩率	冲击能量 A_{kv} (J)		硬度试验
			$R_{p0.2}$ /MPa	A%	Z%	室温	-40°C	布氏硬度
			≥			≥	≥	HB
42CrMo、 42CrMo4	≤100	900~1100	650	12	50	35	27	269~321
	101~160	800~950	550	13	50			241~302
	161~250	750~900	500	14	55			225~269
	251~500	690~840	460	15	55			207~255
	501~750	590~740	390	16	55			176~241

表4 厚度方向（轴向性能）

厚度方向（轴向）性能级别	断面收缩率Z, % (3个试样平均值, 不小于)	断面收缩率Z, % (单个试样, 不小于)
Z25	25	15
Z35	35	25

表5 末端淬火试验 HRC 硬度值

距离mm		1.5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35
42CrMo、 42CrMo4	最大	61	61	61	60	60	59	59	58	56	53	51	48
	最小	56	56	55	54	52	48	46	44	41	39	38	36

4.5 晶粒度、显微组织和非金属夹杂物

4.5.1 晶粒度

Q355ND、Q355NE、S355NL、Q390NE、Q420NE、S420NL、Q460NE、S460NL、42CrMo、42CrMo4钢锻件应按照GB/T 6394进行晶粒度评定，平均晶粒度级别应达到6级或更细。

4.5.2 金相组织

Q355ND、Q355NE、S355NL、Q390NE、Q420NE、S420NL、Q460NE、S460NL钢锻件的显微组织应为铁素体+珠光体，不允许存在魏氏组织；42CrMo、42CrMo4钢锻件的显微组织应为回火索氏体，允许存在少量铁素体，不允许存在块状、针状铁素体。按GB/T 13320标准进行金相评定，1~3级合格。

4.5.3 带状组织

按照GB/T 34474.1的要求进行带状组织评定。法兰要求带状组织均应不大于的2级要求；42CrMo、42CrMo4钢锻件应平衡态下进行带状组织检测，带状组织均应不大于GB/T 34474.1评定的3级。

4.5.4 非金属夹杂物

非金属夹杂物检验应按GB/T 10561中A法的规定，在锻坯或锻件上取样进行，每个冶炼炉号取1个试样。Q355ND、Q355NE、S355NL、Q390NE、Q420NE、S420NL、Q460NE、S460NL、42CrMo、42CrMo4钢锻件的非金属夹杂物应符合本文件表6的规定。

表6 非金属夹杂物（级）

钢号	A类		B类		C类		D类		DS类
	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	细系	粗系	粗系
Q355ND、Q355NE S355NL、Q390NE、 Q420NE、S420NL、 Q460NE、S460NL	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5	1.0	1.5
42CrMo、42CrMo4	2.5	1.0	2.0	1.0	0.5	0.5	1.0	1.0	2.0

4.6 外观检查、表面质量、尺寸和形位公差

4.6.1 锻件表面应无裂纹、折叠、夹渣等缺陷；锻件不允许采用补焊方式进行修复。

4.6.2 锻件表面粗糙度应至少不大于 Ra12.5，需方有特殊要求时应在订货合同中注明。

4.6.3 塔架法兰的形状、尺寸、形位偏差和表面质量应逐件检查并满足订货图样的要求。除图样另有规定外，塔架法兰各部位线性和角度尺寸的公差应符合本文件表7的要求，其线性和角度的公差应符合GB/T 1804中的m级要求，形状和位置公差应符合GB/T 1184中的k级要求。

4.6.4 回转支承环锻件尺寸和形位偏差应满足需方技术和图纸要求，图纸和技术规范没有要求时其线性和角度的公差应符合 GB/T 1804 中的 m 级要求，形状和位置公差应符合 GB/T 1184 中的 k 级要求。

4.6.5 分段法兰完成切割后每段法兰弦长公差应满足不大于 10mm 的要求。

4.7 无损检测

4.7.1 超声波检测

每件产品都应进行超声检测，锻件应逐件在外周360°以及上平面或下平面采用超声波检测锻件内部缺陷，检测面的表面粗糙度应不大于Ra6.3，应满足NB/T 47013.3中I级或与需方约定的其它标准的规定。

4.7.2 磁粉检测

必要时，应在锻件精加工后、钻孔之前进行100%的磁粉检测，验收标准符合NB/T 47013.4中的 I 级或与需方约定的其它标准的规定。

5 检验规则

5.1 取样件的位置

用于取样的锻件热处理时一般应位于最不利的位置，如井式炉中间位置、台车炉和箱式炉炉门口位置。

5.2 锻件检验

锻件检验按本文件和订货合同进行检验。检验规则按表 8 以及 6.2、6.3、6.4、6.5、6.6 条的规定执行。

表7 锻件检验规则

序号	检验项目	取样频次	试样数量	试样位置	试验方法
1	化学成分	每个冶炼炉号	1	截面外边和中心之间的中间部位的位置	GB/T 223（所有部分）、GB/T 4336
2	拉伸	炉批次	1	切向，位置见图 3	GB/T 228.1
3	冲击	炉批次	1 组 3 个	切向，位置见图 3	GB/T 229
4	厚度方向拉伸	炉批次	1 组 3 个	厚度方向（轴向），位置同拉伸	GB/T 5313
5	末端淬火试验	每个冶炼炉号	1	GB/T 225	GB/T 225
6	硬度检验	每件	4	环形锻件表面（拉伸或冲击取样部位）	GB/T 231.1 GB/T 17394.1
7	晶粒度	炉批次	1	试环横截面	GB/T 6394
8	显微组织		1	试环横截面	GB/T 13320
9	非金属夹杂物	每个冶炼炉号	1	试环纵截面	GB/T 10561
10	带状组织	每个冶炼炉号	1	试环纵截面	GB/T 34474.1
11	超声检测	每件	—	端面及外周表面	NB/T 47013.3

12	磁粉检测	根据需要	—	根据需要	NB/T 47013.4
13	外观	每件	—	锻件可及表面	目视
14	尺寸和形位公差	每件	—	塔架法兰（或环形锻件）	量具

5.3 化学成分、晶粒度、显微组织和非金属夹杂物

5.3.1 化学分析用的试样按 GB/T 20066 的规定制取，每个冶炼炉号取 1 个试样。

5.3.2 钢的晶粒度和显微组织评定应在完成热处理的锻件上进行，每批次锻件取 1 个试样。

5.3.3 钢的非金属夹杂物检验应按 GB/T 10561 中 A 法的规定执行，在锻坯或锻件上取样进行，每个冶炼炉号取 1 个试样。

5.4 拉伸、冲击

5.4.1 取样数量

每批锻件应取三套试样。一套用于制造企业自检、一套供需方复检、一套存档。每套试样包括1个拉伸、3个冲击。如需进行厚度方向断面收缩率检验，每批锻件应取一组3个轴向拉伸试样。

5.4.2 取样方向

锻件应取切向试样，其它要求应在合同或协议中注明。

5.4.3 取样位置

试样应取自完成热处理的锻件本体延伸部位，经需方允许也可在同冶炼炉号经相同变形、热处理的锻打试块上进行取样，法兰的取样位置如图3所示，回转支承环和变桨轴承环锻件按照内齿内径取样，外齿外径取样的原则进行取样。试样中心距离最近热处理表面至少15mm，切向试样、径向试样的V形缺口朝向环形锻件下端面，轴向冲击试样的V型缺口朝向环形锻件中心，参见图3。

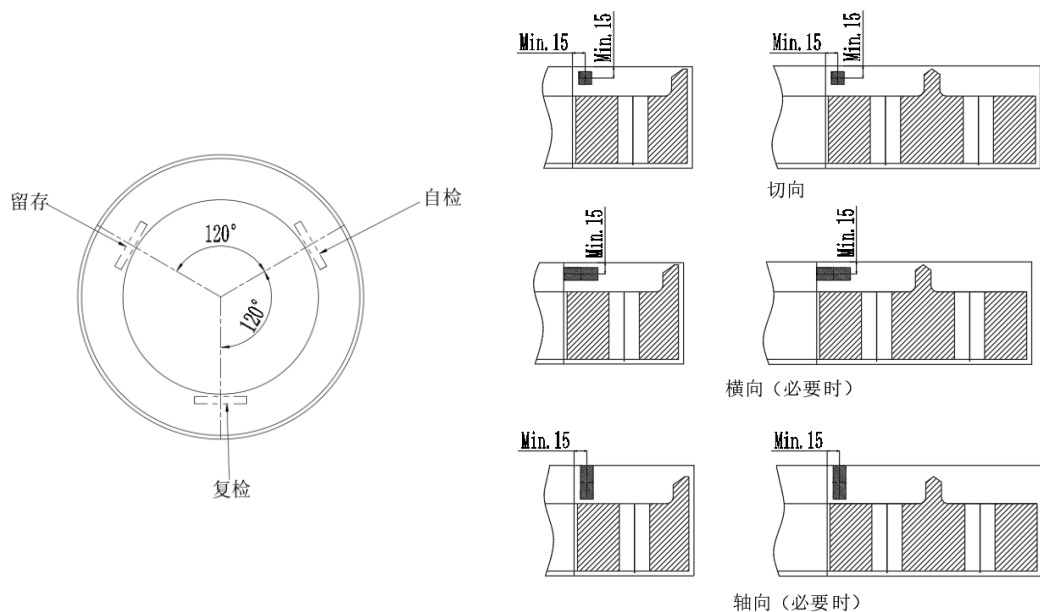


图3 法兰拉伸和冲击试样取样位置示例

5.4.4 试样尺寸要求

5.4.4.1 拉伸试样应按 GB/T 228.1-2021 中的 R04 号试样（圆试样平行长度的原始直径 $d_0=10\text{mm}$ ，原始标距 $L_0=50\text{mm}$ ）。厚度方向拉伸试样采用 GB/T 5313-2010 中的圆形试样（ $d_0=10\text{mm}$ ， $L_0\geq 20\text{mm}$ ）。取样尺寸受限时可采用小试样进行检测。

5.4.4.2 冲击试样采用 GB/T 229 中的标准试样。

5.5 硬度

5.5.1 试块硬度

取自锻件本体延伸部位或锻打试块的试样应按 GB/T 231.1 的规定进行硬度检测。

5.5.2 产品硬度

42CrMo、42CrMo4 钢交货锻件应逐件进行硬度检验。硬度检测位置应在端面圆周均布 4 点上检测硬度，内齿检测端面靠近内径位置，外齿检测端面靠近外径位置，检测位置应接近齿根位置。每个位置检测 3 次，取平均值。同一锻件的硬度差应 $\leq 30\text{HB}$ ，同一批次硬度差应 $\leq 40\text{HB}$ 。

5.6 末端淬火

42CrMo、42CrMo4 钢的末端淬火试验应按 GB/T 225 的规定，每个冶炼炉号取 1 个试样，在锻坯或锻件上取样进行，硬度数值应满足表 5 的要求。

5.7 复验

5.7.1 拉伸试验不合格时，可从被检验锻件取样部位附近再取 2 个拉伸试样进行复验，复验结果的所有数据均符合规定时，则为合格。当拉伸试样断裂面与标记端点之间距离小于 $L_0/3$ ，而伸长率未达到标准要求时，试验无效。允许补做同样数量试样的试验。

5.7.2 冲击试验不合格时，可从被检验锻件原取样部位附近取 3 个冲击试样进行复验，合格条件为前后两组共 6 个试样的实验数据算数平均值不应低于规定值，允许有 2 个实验数据低于规定值，其中低于规定值 70% 的数据只允许有 1 个。

5.7.3 厚度方向断面收缩率的平均值或某单个值不合格时，可从被检验锻件原取样部位附近取 3 个试样进行复检，合格条件为前后两组共 6 个试样的算数平均值不得低于规定值，而且 3 个复验试样的单个值都必须符合规定。如果不符合，该检验批的锻件，允许逐件检验交货。

5.7.4 当力学性能试验或复验不合格时，允许对该批（件）锻件重新热处理后进行检验，但重新热处理的次数不得超过 2 次，回火次数不计。

5.7.5 根据需方要求，并在合同中注明，供方应提供需方复验的试料，复验的试料应取自原取样部位附近。需方收到锻件之日起 3 个月内为复验有效期。

5.7.6 因裂纹和白点等缺陷引起的不合格不允许复验。

6 标志和质量证明书

6.1 标志

标志应使用无应力钢印打在锻件的内圆表面或需方指定的部位,打印标志位置和方式应无损于锻件(或法兰)的最终使用。

6.2 锻件内侧标注

应按本文件检验合格交货的锻件在内侧标注下列永久性标志:

- a) 供方厂名(或代号);
- b) 牌号及锻件厚度方向(轴向)性能级别(需要时)、炉批号和锻件编号、数量;
- c) 编号。

6.3 质量证明书

锻件交货时,应附有质量证明书。其内容包括:

- a) 供方厂名(或代号);
- b) 订货合同号;
- c) 标准编号、钢号、锻件厚度方向(轴向)性能级别(需方时)、炉批号和锻件编号、数量;
- a) 化学成分、显微组织、晶粒度、非金属夹杂物、力学性能、无损检测检验结果;
- d) 化学成分、显微组织、晶粒度、非金属夹杂物、力学性能、无损检测检验结果;
- e) 热处理类型及记录、保温温度、保温时间和冷却方式;
- f) 法兰(或锻件)尺寸检验结果;
- g) 检测单位和检验人员盖章。

7 包装、贮存和运输

7.1 锻件的包装应保证在仓储、运输过程中防止变形、锈蚀或损伤,并便于吊装、运输、存放和识别。

7.2 每件锻件之间应放置多块等高垫木,防止变形。每件锻件用拉伸膜包装,防止锈蚀或损伤。

7.3 需方对包装等其他要求应在合同中注明。

附 录 A
(规范性)
常用锻造比计算和表示方法

A.1 锻造比

A.1.1 锻造比是锻造时金属变形程度的一种表示方法。现规定用字母“K”表示。

A.1.2 通常将X、Y、Z三个方向中最大变形方向的变形比视为锻造比。

A.1.3 锻造比分为工序锻造比、火次锻造比和总锻造比。不同的锻造工序，锻造比计算方法不同。

A.2 常用工序的锻造比计算方法

A.2.1 镦粗

A.2.1.1 截面增大、高度减小，也称为镦粗比，计算方法为镦粗前后的高度之比，用“ K_h ”表示。计算方法见公式A.1。

$$K_h = \frac{D'^2}{D^2} \text{ 或 } \frac{L}{L'} \dots\dots\dots \text{公式(A.1)}$$

式中：

K_h ——镦粗比；

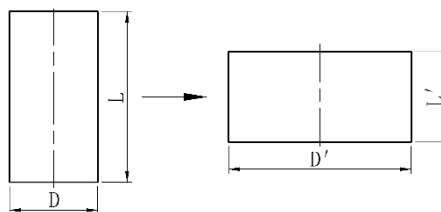
D——镦粗前工件直径，单位为毫米（mm）；

D'——镦粗后工件直径，单位为毫米（mm）；

L——镦粗前工件高度，单位为毫米（mm）；

L'——镦粗后工件高度，单位为毫米（mm）。

A.2.1.2 镦粗示意图见图A.1。



图A.1 镦粗示意图

A.2.2 拔长

A.2.2.1 截面积减小，长度增加，也称为拔长比，计算方法为拔长前后的截面积之比或拔长后的长度与拔长前的长度之比，用“ K_s ”表示。计算方法见公式A.2。

$$K_s = \frac{D_1^2}{D_1'^2} \text{ 或 } \frac{L_1'}{L_1} \dots\dots\dots \text{公式(A.2)}$$

式中：

K_s ——拔长比；

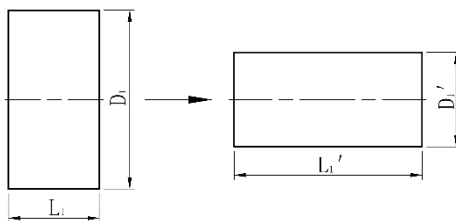
D_1 ——拔长前工件直径，单位为毫米（mm）；

D_1' ——拔长后工件直径，单位为毫米（mm）；

L_1 ——拔长前工件高度，单位为毫米（mm）；

L_1' ——拔长后工件高度，单位为毫米（mm）。

A. 2. 2. 2 拔长示意图见图A. 2。



图A. 2 拔长示意图

A. 2. 3 扩孔

A. 2. 3. 1 环形件内孔扩大的锻造方法，也称扩孔比。计算方法为扩孔前后的截面积之比，用“ K_l ”表示。计算方法见公式A. 3。

$$K_l = \frac{(D_2 - d) \times L_2}{(D_2' - d') \times L_2'} \dots\dots\dots \text{公式(A. 3)}$$

式中：

K_l ——扩孔比；

D_2 ——扩孔前工件外径，单位为毫米（mm）；

D_2' ——扩孔后工件外径，单位为毫米（mm）；

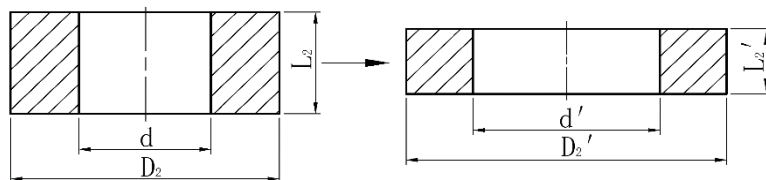
d ——扩孔前工件内径，单位为毫米（mm）；

d' ——扩孔后工件内径，单位为毫米（mm）；

L_2 ——扩孔前工件高度，单位为毫米（mm）；

L_2' ——扩孔后工件高度，单位为毫米（mm）。

A. 2. 3. 2 扩孔示意图见图A. 3。



图A. 3 扩孔示意图

A. 3 总锻造比的计算方法

当工序间只采用同方向变形方式时，比如只有镦粗或拔长，则总锻造比为各工序锻造比的乘积。当各工序的变形方向不同时，总锻造比为各工序锻造比的和。

示例1：工序1为镦粗，镦粗比为 K_n ；工序2为拔长，拔长比为 K_s ；总锻造比为 $K_{总}=K_n \times K_s$ 。

示例2：工序1为镦粗，镦粗比为 K_n ；冲孔后工序为扩孔，扩孔比为 K_l ；总锻造比为 $K_{总}=K_n+K_l$ 。

A.4 注意事项

A.4.1 如原材料为钢锭，钢锭的截面积为平均值。

A.4.2 锻造比一般采用四舍五入的方法计数，允许保留两位小数。