

螺柱焊机焊接质量检验方法

□ 中国重型汽车集团有限公司/宋献进 王文建 黄晶晶 黄栋梁



通过对螺柱焊接产品件及试验样板逐步进行目视、弯曲试验、拉力试验和金相组织分析的方法探究螺柱焊接质量，提供了一套汽车行业对螺柱焊接质量检测的方法，这套检验方法能有效的分析造成焊接质量缺陷的原因，进而改进参数，改进生产工艺，提升螺柱焊接质量。

随着工艺要求及产品焊接质量要求的提高，螺柱焊机近年来特别是在汽车行业得到广泛应用。由于汽车行业缺乏完善的检验检测标准，产品焊接质量参差不齐。本文就参照DVS 0905及DIN267中有关检测方法标准，并以中国重汽为例，对汽车行业螺柱焊接质量检测方法进行探究。

螺柱焊机工艺参数

某重型车车身的焊接工艺要求中多处涉及螺柱焊接，其螺柱焊机采用德国SOYER公司生产的BMK-12W螺柱焊机，有关焊机关键参数见表1。

从工艺要求上看，母材板厚与螺柱直径的比最小为1:8，

表1 BMK-12W焊机关键参数

螺柱尺寸/mm	M3-11
焊接电流/A	400~480
输入电流/A	0.3/相
额定功率/kV·A	8

GB15579—1995规定的焊接电流和负载电压的约定关系式对普通电弧螺柱焊不适用，根据相关文献给出

的大气中铁极电弧给出的弧压和焊接电流的关系式比较符合实际。即：当弧长 $L=0\sim0.6\text{cm}$ 时，弧压 $U_0=I+22L$ （V）。负载电压是电弧电压和焊接电缆以及连接部分的接触压降之和，一般情况（焊接电缆导线截面合理、电缆长度10m）这两部分压降之和约2~4V。当电缆过长时这部分压降相应增大。

对于焊接电流和焊钉直径的关系，目前国内尚无标准给出，相关文献给出如下关系式可供参考：当焊钉直径 $D\leq 16\text{mm}$ 时， $I=80D$ （A）；当焊钉直径 $D>16\text{mm}$ 时， $I=90D$ （A）。ISO/DIN14555，1995给出，当 $D\leq 14\text{mm}$ 时，焊钉下落速度以200mm/s左右为宜； $D>14\text{mm}$ 时，焊钉下落速度以100mm/s左右为宜。

螺柱焊机的工艺质量测试方法

1.螺钉机械特性检测

根据螺柱螺钉产品参考手册或者对螺柱螺钉进行化学成分分析，确定现场使用的螺柱螺钉的特性等级，某公司目前用的凸焊螺柱参数，符合DIN EN ISO 898-1中Table2中碳钢4.8级。

根据DIN267 Part5中有关焊接螺钉有关螺钉质量抽样数量的有关标准，参照上单车用量累计为59，以每生产100辆白车身为基本检测单元，随机选取的螺柱数量参照“Sample sizes for destructive testing of mechanical properties”（力学性能破坏性试验的样品大小），每生产100辆白车身随机检测螺柱数量为7个，这里对供应商螺柱检测不

是作为本文的研究重点，不作讨论，认为所选用的焊接螺柱的机械特性100%满足使用要求。

2.试样

（1）生产样本选取。根据我车间2014年车型年产量分布表（见表2），按照美国ANSI/ASQ Z1.4-2008 Table I，综合考虑所需抽检费用，根据工艺质量要求，选取军品检验等级Special inspection levels s-2，则Sample size code letter值为D；参照DIN 267 Part5 1986中关于Dimensions表格中关于Characteristic的标准要求查得AQL（接收质量限）的值为1.5。

表2 某重型车2014年年产分布表

车型	LSP	LLH	LLP	FLH	FLP
年产量/辆	76	92	1253	4 592	1 406

2014年某重型车产量大约为7 400辆，由ANSI/ASQ Z1.4-2008 Table I 确定样本数量为8，Special inspection levels s-2，则Sample size code letter值为D；查Table II -A不同料厚的产品件每年测试试样样本为8， $A_c=0$ ， $R_c=1$ ，DIN267 Part5 Table2中标准一致，参照DIN267 Part5 Table2查得Ratio(LQ_{10}/AQL)=16.5。则 $LQ_{10}=\text{Ratio}(LQ_{10}/AQL)\times AQL=16.5\times 1.5=24.75$ 。

统计某重型车FLH车型的单车用量见表3。

参照DIN267 Part5中有关

LQ_{10} 的说明允许的不合格数量D（defects）计算参照公式（1）：

$$D=N-N\times [P+(1-P)LQ_{10}/100]$$
(1)

式中，D为允许的不合格数量；N为单车用量；P为螺柱焊接整体焊接合格率（P为统计概率0.99）。

（2）试样板料选取。根据SOYER公司产品说明书的要求，试制的样板板料尺寸最小为700mm×200mm，根据产品件特质特性，综合所有边缘距离尺寸，1.5mm、2mm、3mm料厚的板料尺寸分别为700mm×400mm、700mm×200mm、700mm×200mm，要求针对不同的板料，涵盖所有焊接螺柱尺寸、边缘距离、螺柱焊机焊枪，数量、直径、比例和边缘尺寸参数均来自工艺。

3.测试

根据DIN267 Part5中的规定只对螺柱焊接质量进行机械特性的检测。通过视觉测试，主要针对焊接质量外观的进行100%目视，检测外观焊接质量缺陷；对于没有明显外观缺陷的产品件及试样再进行弯曲试验，检测焊接的螺柱是否存在焊缝区360°不连续、有气孔、夹渣或者发生断裂等质量缺陷；对通过弯曲试验的试样进行拉力试验，通过拉力试验测试螺柱焊接强度是否不低于母材强度；对于那些断裂发生在焊缝区进行金相

表3 某重型车FLH车型螺柱焊机的单车用量

螺柱直径/mm	6	5	6	5	6
产品件厚/mm	1.5	1.5	2	2	3
单车用量/个	10	25	25	1	7
单车允许的不合格数量/个	7.525 (1-P)	18.8125 (1-P)	0.7525 (1-P)	5.2675 (1-P)	

组织观察，分析焊接强度降低的原因。

(1) 视觉测试。首先，对焊接件外观表面进行检查。一般来说，焊接零部件(焊接螺柱和母材)的表面涂层不得对焊接效果造成不利影响。在焊接之前，要对焊接母材与焊接螺柱间的接头区进行适当的准备(清洁)。接头区的清洁度应达到M 3161规定的2级(金属光泽)，而对于常见的0.8~1.2g/m²的油保护层(临时防锈油层)，如果可以证明不会对接头区产生不利影响，则不必在焊前强制去除。表面是热镀锌层的平面工件，其双面镀层质量在200g/m²以下，或(每面的)金属涂层厚度15 μ m以下的，则视为是适于焊接的。其次，视觉测试用来粗略检验主要存在的焊接缺陷及操作不当引起的质量缺陷等，测试对象产品件分析焊接缺陷形成的原因及如何改善焊接质量，具体参见BMK-12W螺柱焊机手册。

(2) 扭力试验。表4的要求适用于扭转应力。对于其他材料组合和板厚，必要时需对最小检验扭矩进行特别规定。判断标准为：在检验中将具有合适测量范围的扭力扳手放置于螺母上，并将相应的检验

表4 非合金结构钢的最小检验扭矩

板材最低厚度/mm	螺柱直径/mm	扭矩/N·m
0.7	M3	1.2
	M4	3
	M5	6
	M6	9
1.5	M8	24
	M10	46
	M12	80

扭矩加载于螺母上。如果接头在达到表4规定的最小扭矩之前剪断，则焊接接头的质量为不合格。

(3) 弯曲试验。弯曲试验(非破坏性)是一个简单的动作，用来粗略检验所选试样的参数。在试验中，以一个未限定的拉力、压力和弯曲的合力作用于焊缝区域。

1) 圆管弯曲测试。测试内容如下：

方法及标准：BP-1 SOYER Bend Testing Device或者DMS-1 SOYER Torque Wrench将焊接的螺柱弯曲角度A(一般选取30°~60°)，如果焊缝区域没有发生裂纹或者断裂，则说明焊接质量可靠，检验遵循AQL4标准中的DIN267第5部分，不合格螺柱焊接数量如果超过AQL4标准中的DIN267第5部分(见表3)规定的允许数量，分析产生质量缺陷的原因，如果焊缝区360°不连续、有气孔、夹渣或者发生断裂等质量缺陷，可以调节焊接电流、焊接时间、伸出长度、提升高度或者微调焊接速度来改善焊接质量，否则进行拉伸试验进一步分析焊接缺陷存在的原因，改进焊接操作后重新试验。

测试对象：产品件。

测试工具：BP-1 SOYER Bend Testing Device或者DMS-1 SOYER Torque Wrench。

测试方法：BP-1 SOYER Bend Testing Device或者DMS-1 SOYER Torque Wrench将焊接的螺柱弯曲角度A(一般选取30°~45°)，查看焊缝区域有没有发生裂纹或者断裂。

判断标准：AQL4标准中的DIN267第5部分，参照表3。

2) 锤检。锤检细则：针对试样板料测试：统计所有车型单车用量情况，按不同料后的用量比例确定试样板料样本。

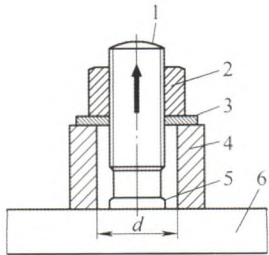
测试对象：试验样板。

测试工具：榔头。

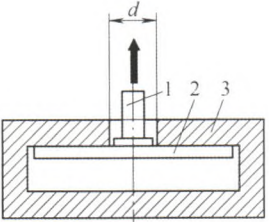
测试方法：用榔头将焊接的螺柱弯曲A(30°~60°)左右，如果采用气体保护的应选择60°，查看焊缝区域有没有发生裂纹或者断裂。

判断标准：AQL4标准中的DIN267第5部分，参照表3。

(4) 拉力测试。试验原理如图1所示，使用合适的拉伸工装对焊接上的螺柱进行轴向拉伸至断裂。在此，应当注意螺柱加载时，尽可能做到无扭矩力(无弯曲力)引入。图1中的中间垫块或拉伸装置的内径d越小越好。



(a) 对螺纹螺柱的拉力试验
1.螺柱 2.螺母 3.垫片 4.中间垫块
5.焊缝凸起 6.工件/母材



(b) 对光杆销钉的拉力试验
1.销钉 2.工件/母材 3.拉伸装置

图 1

测试内容如下：

目的：为了检验螺柱与母材金属的结合强度。

方法：在螺柱的轴向增加拉力，直至发生断裂。

样本：对产品件测试，综合试验费用等多方面的考虑，对各种参数、各种规格进行试片强度试验，1次/年，要求所有焊接螺柱尺寸、边缘距离、螺柱焊机焊枪；根据实际生产比例，选取主要车型样板进行拉力试验。

工具：拉力试验机WGW-50。

判断方法一：根据DIN267第三部分有关断裂载荷说明，如果断裂发生在焊缝区以外，表明焊接质量比较稳定，符合工艺要求；如果断裂发生在焊缝区，对断裂的焊缝区进行检验，未焊合面积应不超过焊接面积的20%，测试试样材料经过屈服阶段进入强化阶段后随着横截尺寸明显缩小在拉断时所承受的最大力 F_b ，参照拉伸曲线（见图2），计算单位面积的抗拉强度值 δ_b （见表5）。

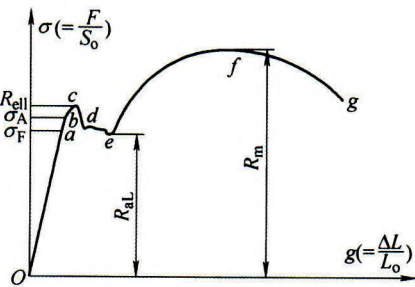


图2 材料拉伸曲线

$$\delta_b = F_b / S_0 = 4F_b / \pi D^2 \tag{2}$$

式中， F_b 为材料拉断时的最大力， δ_b 为材料的抗拉强度； S_0 为材料的横截面积； D 为螺柱直径。

与DIN267中第三部分规定的最

小抗拉强度值进行比较，由测量的 F_b 计算的 δ_b 的值不低于表4中规定的相应值，如果随机试验中，不合格螺柱的值超出了AQL4标准中的DIN267第3部分所允许的值，分析焊接失败原因，修正焊接参数，改善焊接条件。

判断方法二：查宝钢BQB408-2009关于冷轧薄钢板的机械特性确定母材强度，要求焊接质量强度

大于母材强度，其中BLD为冲压用钢，测量拉断时所承受的最大力 F_b 的最小值及断面伸长率，计算最小的抗拉强度值，不高于与实际测得的断裂拉力、断面伸长率及计算的抗拉强度（见表5）说明焊接质量合格，反之分析焊接缺陷存在的原因，必要时修改FEMA、产品和过程特殊特性清单、控制计划、检验卡片及TPM等。

表5 强度对照表

螺柱	D/mm	S ₀ /mm ²	F _b /N	δ _b /MPa	F _b /N	δ _b /MPa
M5	5	19.635	6014	306	5301	270
M6	6	28.274	9021	319	7634	270

4.金相组织分析

如果拉伸试验断裂区域发生在焊缝区，且无明显焊接缺陷，利用OLYMPUS BX60M金相显微镜对焊缝区域断裂的试样焊接接头内部组织观察，分析金相组织结构，参照专业文献中的Fe-C相图，分析推断焊接过程中焊接缺陷形成的原因。

通过OLYMPUS BX60M金相显微镜对焊缝区域断裂的试样焊接接头内部组织观察，与金相组织相图比较，找到对应的组织相变区域，分析组织相变成分，逆向推断金相组织形成过程，反思工艺存在的缺

陷，修改FEMA、产品和过程特殊特性清单、控制计划、检验卡片及TPM等。

结语

本文通过对A7平高车型螺柱焊机质量检测方法的探讨与研究，检验方法能有效地检验螺柱焊接质量缺陷，同时能够全面检测分析焊接质量缺陷存在的原因，不仅适用于汽车行业螺柱焊接质量的检测，而且提供了一种有效的检验螺柱焊接质量的方法，该检验方法具有普遍适用性。 **AUTO1950**



宋献进

设备工程师，主要从事焊接参数控制，现场设备调试维护及自动化设备集成；精通焊接工艺，擅长机器人操作编程及故障排查等。