

图2所示为13机架成型钢板时的弯曲变形过程。单层钢板所制成的百叶板,其断面成型需要12个或13个机架。因此,本实验的目的在于通过13机架成型机将减震钢板成型为百叶板。

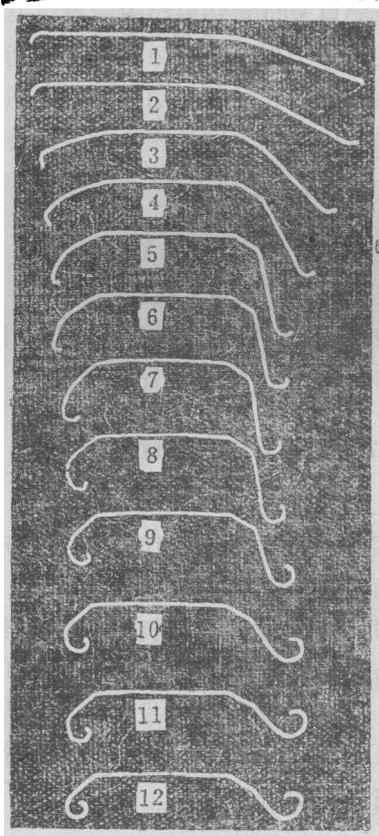


图2 13机架成型时的成型过程

2.2 试验材料

表2所列为实验用的各种减震钢板。1~4号试件由两层0.27mm厚的钢板与0.05mm的氯乙烯树脂粘结而成;5号、6号、7号的上板厚0.27mm,下板厚0.23mm;8~14号的两层钢板厚度均为0.23mm;15号钢板厚0.22mm。表2所列值为试验材料的屈服强度、抗拉强度、延伸率和粘结剪切强度。

2.3 产品缺陷及其测量方法

如图3所示,减震钢板成型时出现的典型缺陷是连接边皱折。此外,在两层钢板的边缘还易发生宽度偏差(图4)和板间分离

试验材料 表2

试验材料号	厚度构成(mm)	拉伸试验			剪切强度(MPa)
		屈服强度(MPa)	抗拉强度(MPa)	延伸率(%)	
1	0.27/0.05/0.27	330	334	36.6	212
2	0.27/0.05/0.27	311	336	32.8	194
8	0.27/0.05/0.27	215	329	37.8	242
4	0.27/0.05/0.27	189	296	45.4	263
5	0.27/0.05/0.23	329	361	33.0	220
6	0.27/0.05/0.23	221	340	39.3	218
7	0.27/0.05/0.23	178	288	44.3	237
3	0.23/0.05/0.23	319	320	23.8	249
9	0.23/0.05/0.23	311	315	25.2	202
10	0.23/0.05/0.23	297	357	30.9	209
11	0.23/0.05/0.23	261	338	34.1	236
12	0.23/0.05/0.23	233	332	36.6	223
13	0.23/0.05/0.23	202	323	38.9	225
14	0.23/0.05/0.23	164	284	44.0	228
15	0.22/0.05/0.22	160	279	46.9	213

(图5)。由于皱折间隔和皱折程度取决于孔型方案,轧件总长(2.5m)上的皱折数在测量后要折算成代表单位长度(1m)上皱折数的N值,因此,对于板宽偏差和板边分离,检测连接边皱折的方法为:先用快速

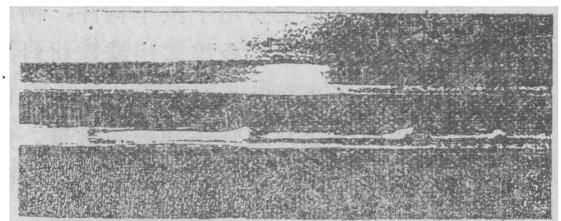


图3 皱折

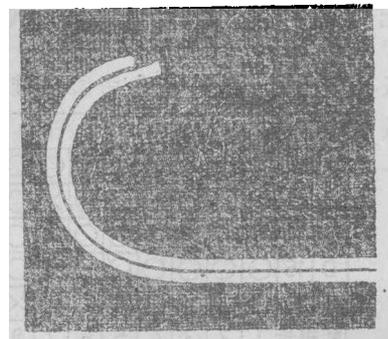


图4 宽度偏差

砂轮切割机将含有这两种缺陷的部分从轧成的产品上切去，再用塑料树脂封边并进行表面抛光，最后用显微镜检查。

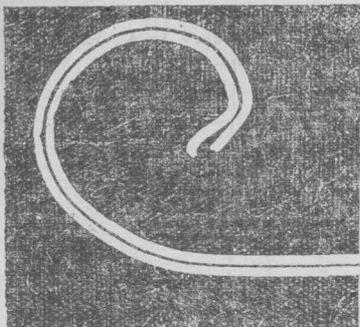


图5 板间分离

3. 结果和探讨

3.1 连接边皱折

(a) 孔型方案和连接边皱折

图6所示为材料的屈服强度和成型所用的机架数与所产生的皱折之间的关系。即使材料的强度为261MPa，24机架成型也不会产生皱折。但在13机架成型中，每米即有7处皱折。然而，当材料的屈服强度 ≤ 160 MPa时，即使在13机架成型，也能避免皱折。在减震钢板中，屈服强度越大，越易产生皱折。在普通单层钢板中也会出现这种现象。

(b) 连接边皱折

在辊式成型具有这种断面的板材时，可按图7所示的方法将变形分解成X和Y坐标进行分析。这样，如图中表示皱折方式的小图所示，因皱折受力部分要经受压缩-剪切力的作用，并且连接边缘部的断面呈半圆形，故产品断面末端在纵向上便具有很高的刚度。如果压应力作用在这部分上，如图所示，就会产生皱折现象。槽形断面的减震钢板或单层钢板在辊式成型时，会轻微起皱，但不会皱折。据此，可以认为，连接边边缘的纵向刚性与皱折有关。此外，下述减震钢板所特有的状况可能诱致并促使皱折发生。如图8所示，当以0.5mm的间隔在减

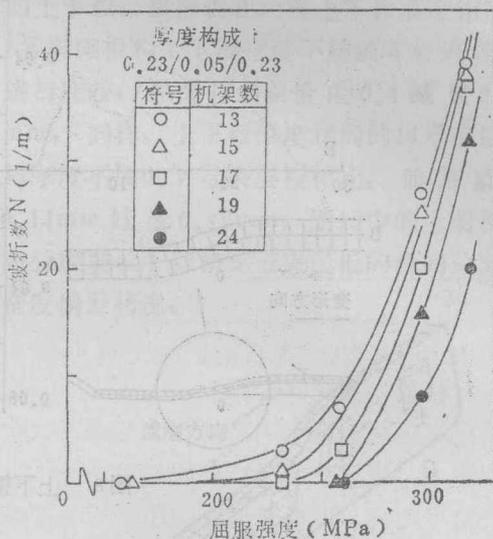


图6 屈服强度和成型机架数与皱折数之间的关系

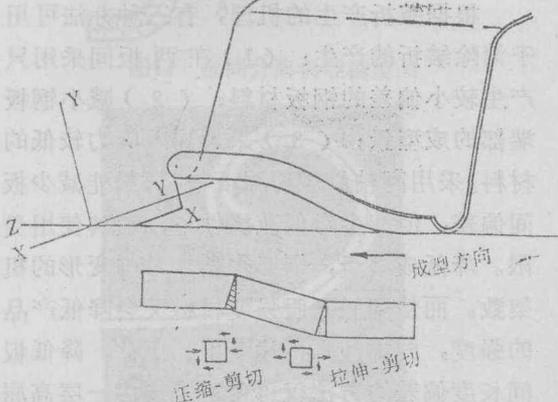


图7 表示连接边皱折的折纸模型

震钢板的末端标上分界线条时，此末端在辊式成型后，即可测量出上下钢板的长度偏差分布。亦即，在减震钢板的弯曲部分，对下钢板作用的弯曲力应滞后于作用在上钢板的弯曲力，同时，应使滞后逐渐减小。在随后的下板弯曲区，以相反的方式施加弯曲力。但上述状况应在成型结束时恢复，以便消除长度偏差。在长度偏差出现和消失的过程中，上下钢板均会产生残余弯矩。而上述压应力又正好作用在此由消除上下板之间的长度偏差而产生的残余弯矩之上，加之板材断面边缘又具有较高的刚度，因此，极有可

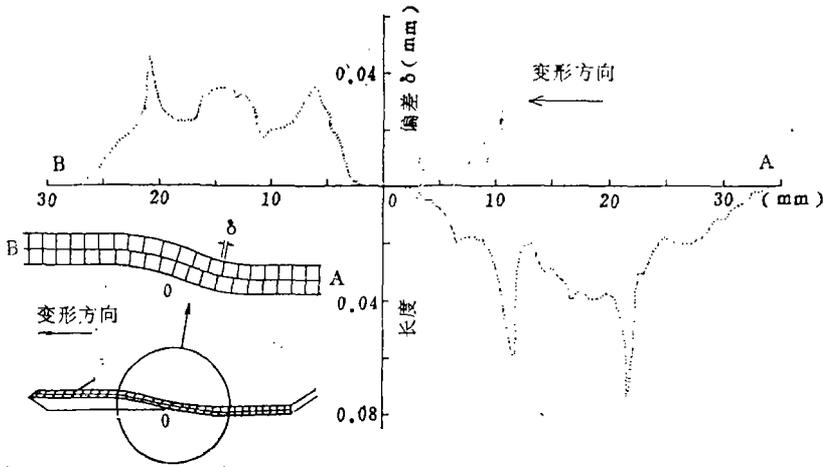


图8 上下钢板间的长度偏差

能产生连接边皱折。

(c) 消除皱折的方法

根据皱折产生的机理，有三种办法可用于消除皱折的产生：(1)在两板间采用只产生较小偏差的钢板材料；(2)减小钢板端部的成型量；(3)采用屈服应力较低的材料。采用高粘结剪切强度材料，虽能减少板间偏差，但却会降低减震性能，使其使用受限。降低成型量，则必须增加参与变形的机架数。而使用低屈服强度材料又会降低产品的强度，同样使其用途受限。因此，降低板间长度偏差的方法仅可使用：或由一层高屈服强度钢板与一层低屈服强度钢板相配合，或由一层厚钢板与一层薄钢板相配合，并且，在成型时，钢板的一面发生变形另一面也应同时发生变形。

从表2可知，在13机架辊式成型后，具有相同屈服强度和相同钢板厚度的8号夹层钢板(0.23/0.05/0.23)与第5号夹层钢板(0.27/0.05/0.23)相比较，其皱折数从24处降为19处，即8号钢板为24处，5号钢板为19处。而将经13机架成型后的14号夹层板(0.23/0.05/0.23)与7号夹层板(0.27/0.05/0.23)相比较，其皱折数则由3处降为0处。因此，上述所介绍的有效方法得到

了验证。

3.2 宽度偏差和板间分离

(a) 宽度偏差与粘结剪切强度

图9给出了上下板之间在连接边尾部的宽度偏差与剪切强度的关系。剪切强度的增大将有效地减小宽度偏差。表2中所列的1号钢板因剪切强度较低，故使上下板完全分离(见图5)。

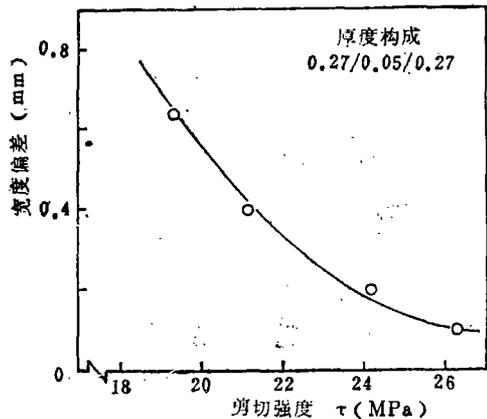


图9 剪切强度对板宽偏差的影响

(b) 宽度偏差和板间分离

如图10所示，为了分析上下板间的偏差，在钢板的尾部以0.5mm的间隔标出区分线，并将夹层板成型为槽形型钢。图10给出了屈服强度几乎相同、但剪切强度各不相同的两种材料宽度偏差的测量结果。图中，低

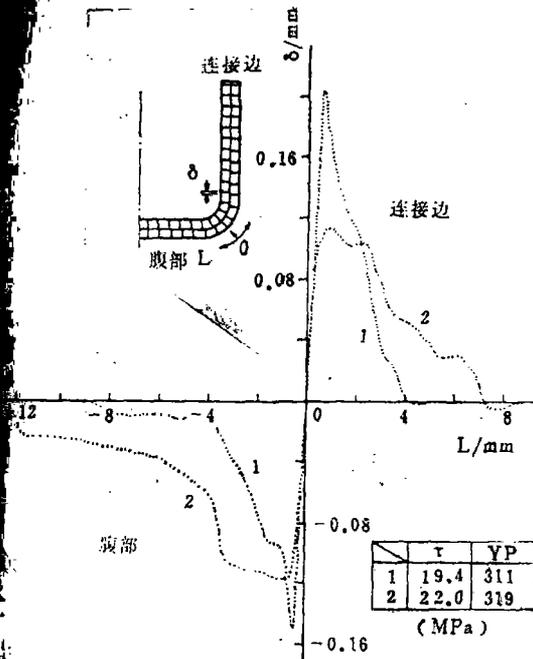


图10 由夹层钢板成型的槽形型钢的板宽偏差

剪切强度材料①同高剪切强度材料②相比，低剪切强度材料的连接边和腹部的弯曲中心部位均发生了显著偏移。但这种偏差会迅速消失且偏差的范围很小。相反，在高剪切强度材料中，偏差消除缓慢，且偏差发生的范围很宽。虽然高剪切强度材料同低剪切强度材料一样，在中心部分可见最大偏差，但试验结果证明，尽管材料的剪切强度不同，而偏差的大小和偏差范围的长度却几乎不变。显然，当钢板的宽度达不到足以吸收因弯曲而引起的宽度偏差时，钢板则会发生宽度偏差。

上下板之间的板间分离现象可解释为：板间分离可能缘于3.1(c)节所述的皱折及上述宽度偏差的综合效应，即图11中虚线A、B、C和D所示的长度和宽度偏差的综合效应。

3.2 宽度偏差和板间分离的解决方法
根据上述机理，宽度偏差和板间分离均可通过减少上下板之间的长度和宽度偏差的解决方法。为此，可采用3.1(d)节所述的方法，即采用不同材料和厚度

的上下板。根据表2，将上下板厚度相同的1号夹层板和上下板厚度不同的5号夹层板进行比较，结果是偏差量由0.4减至0.28mm，同样，上下板厚度相同的14号夹层板与厚度不同的7号夹层板相比，偏差量由0.14mm减至0.12mm。图12中的上图和下图分别表示1号和5号夹层板的板间分离和宽度偏差状况。

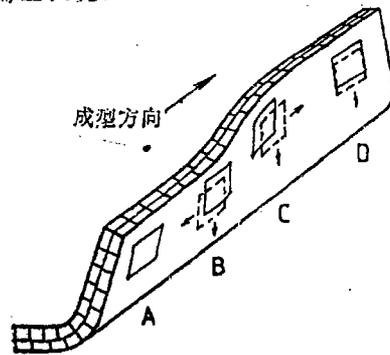


图11 板间分离机理模型图

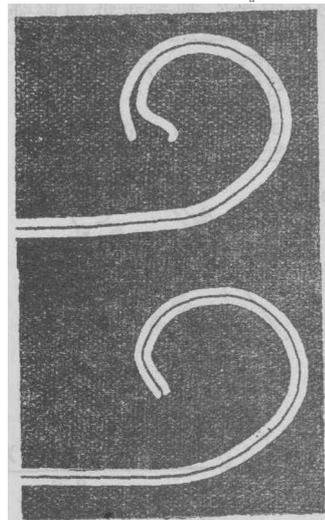


图12 1号(上图)和5号(下图)夹层板制成的挡板断面实例

3.3 弯曲强度试验

将减震钢板的弯曲强度与普通单层钢板进行比较，进行了一系列弯曲试验，试验结果如图所示。试验时，将百叶板置于两个固定支点间距为600mm，

最大弯曲负荷的影响，图中点画线代表单层钢板的试验值，单层钢板的厚度和屈服强度分别为 0.51 mm 和 330 MPa。试验结果表明：无论是减震钢板还是单层钢板，若屈服强度和厚度均相同，其产品的强度也就相同。

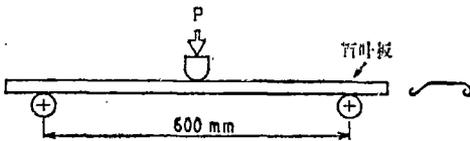


图13 百叶板弯曲强度试验方法

3.4 最佳成形条件的确定

在对13机架辊式成型的百叶板进行试验的基础上，研究了减震钢板的成型性能，其结果绘于图15。图中用线条划出了“强度极限带”和“轧制变形极限带”。这两个极限带的含义如下：“强度极限带”是指选择高屈服强度的薄板或低屈服强度的薄板所生产的产品强度都保持在如图15所示的极限带内；“变形极限带”则表示低屈服强度的减

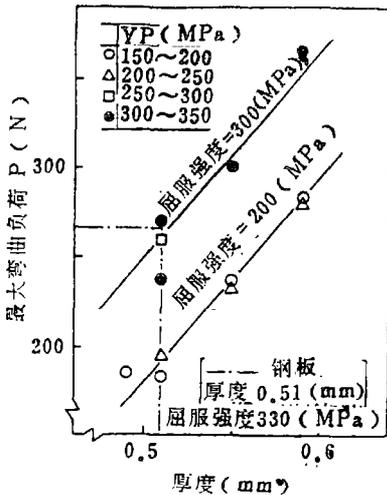


图14 百叶板弯曲强度比较

震薄钢板易于成型，而低屈服强度的减震厚钢板难以成型，但高屈服强度的减震厚钢板却易于成型。据此，便可画出如图15所示的稳定变形的极限带，此极限带表示在此极限范围内能稳定变形。图15中 G 所表示的部位为强度和变形性能都能令人满意的区域。在此区域内，13机架辊式成型钢板的屈服强

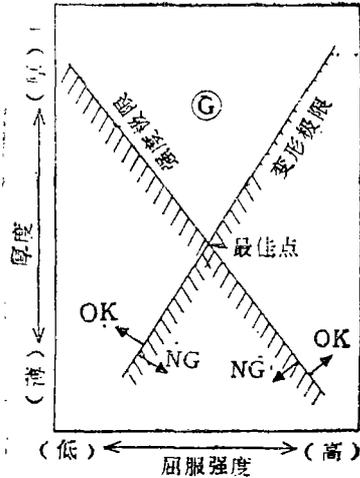


图15 夹层钢板最佳成形条件

度和上板厚度的最佳结合分别为 220~230 MPa和 0.22~0.23mm。此外，若增加辊式成型的机架数，“变形极限带”就会向右向下平移，于是，高屈服强度的薄板便可取代厚板，从而减轻产品重量。

4. 结论

(1) 在夹层钢板上下板之间偏差产生和消除过程中要出现残余弯矩，作用在此残余弯矩上的纵向压应力和作用在夹层钢板刚性部位上的纵向压应力相互作用，导致皱折发生。

(2) 宽度偏差是夹层板上下板周长不等所致，此偏差发生在因夹层板尾部成型时导致的弯曲部分的附近区域内。

(3) 板边分离是上下板间的长度偏差和宽度偏差共同作用的结果。

(4) 为了解决上述问题，应从材料本身消除减震钢板的皱折、宽度偏差和板边分离，有效的方法是夹层钢板分别采用不同厚度和不同屈服强度的上下板。

(5) 减震钢板的最佳变形条件是基于“变形性能”和“产品强度”的观点来研究的，该研究揭示了能满足上述要求的钢板厚度和屈服强度之间的相互关系。

(吴捷 吴瑾译 曾幼宗校)