第 12 卷 第 3 期 复 合 材 料 学 报 Vol. 12 No. 3
1995 年 9 月 ACTA MATERIAE COMPOSITAE SINICA Sept. 1995

# 层压减振复合钢板的拉伸剪切特性

王成国 于晓强 孙希泰 朱 静 蔡其巩
(山东工业大学，济南 250014) (冶金工业部钢铁研究总院，北京 100081)

**摘 要** 本文选用 $1.67\times10^{-2}$、$1.67\times10^{-3}$、$1.67\times10^{-4}$、$1.67\times10^{-5}s^{-1}$四种形变速率，在 20～150℃试验温度范围内研究了用酚醛树脂氯丁胶作夹层的层压减振复合钢板的拉伸剪切特性。结果指出，在较低温度和较高形变速率下，层压减振复合钢板具有较高的拉伸剪切强度，其破坏形态呈高聚物撕裂和界面破坏的混合破坏特征；在 80℃附近，拉伸剪切强度最低，其破坏形态为具有滑移特征的高聚物内聚破坏；在 80～150℃温度范围内，随温度升高，拉伸剪切强度增加，这是由于高聚物夹层材料中的氯丁橡胶发生了交联反应的缘故。

**关键词** 酚醛树脂氯丁橡胶，层压减振复合钢板，拉伸剪切特性，破坏形态

## 1 前 言

在两钢板之间夹有高聚物阻尼材料制得的层压减振复合钢板具有很好的减振降噪性能[1~4]，而其加工成形性能是决定此复合材料能否实用化的重要因素之一。层压减振复合钢板的加工成形性能与其拉伸剪切性能密切相关，拉伸剪切强度愈高，加工成形性能也愈好[5]。这样，根据层压减振复合钢板的减振性能和拉伸剪切性能这二个指标，就可判断此复合材料应用的可能性。由于层压减振复合钢板用高聚物材料作夹层，其拉伸剪切强度随成形条件和使用温度发生很大变化。明确形变速率和使用温度对层压减振复合钢板的拉伸剪切强度的影响规律，对于层压减振复合钢板的开发应用具有明显的指导意义。我们用酚醛树脂氯丁胶作夹层制得层压减振复合钢板，并研究了该复合材料的减振特性，其结构损耗因子高达 0.3，本文选用不同的形变速率，在 20～150℃温度范围内对其进行拉伸剪切试验，研究该复合材料的拉伸剪切特性。

## 2 试验方法

### 2.1 层压减振复合钢板的制作

选用酚醛树脂氯丁胶作阻尼夹层材料，酚醛树脂与氯丁橡胶之比为 80：100，将已制备好的酚醛树脂氯丁胶涂刷在经 20%$H_3PO_4$ 溶液处理的钢板表面，钢板厚度为 0.5mm，待溶剂蒸发后，将涂有胶液的两钢板压合，用轧制方法制得层压减振复合钢板，高聚物夹层厚度为 0.10mm。

本文 1994 年 6 月 29 日收到修改稿，1994 年 3 月 15 日收到初稿

### 2.2 拉伸剪切试验

拉伸剪切试样如图 1 所示,尺寸为 180×25×1.10mm,其中承受拉伸剪切载荷的中间长度为 20mm,试样左右两端的夹头部分的长度为 80mm。拉伸剪切试验在 WD－IC 电子万能试验机上进行,试验温度为 20℃、40℃、60℃、80℃、100℃、150℃六种,形变速率选用 $1.67\times10^{-2}s^{-1}$、$1.67\times10^{-3}s^{-1}$、$1.67\times10^{-4}s^{-1}$、$1.67\times10^{-5}s^{-1}$四种。试验前先在烘箱内将拉伸剪切试样预热至试验温度并保温 1h,以保证高聚物夹层材料在该试验温度下处在平衡态。然后在规定的形变速率和试验温度下进行拉伸剪切试验。对每一确定的试验,取三个试样的最大拉伸剪切强度的平均值作为层压减振复合钢板在该试验条件下的拉伸剪切强度值。

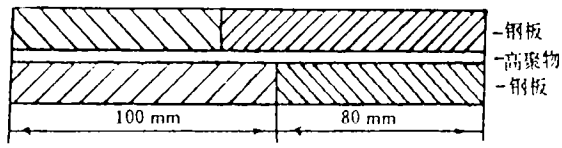



图 1　拉伸剪切试样

### 2.3 拉伸剪切破坏形态分析

从拉伸剪切破坏的试样上剪取 10×10mm 左右的试片,放入 IB-3 型离子溅射仪中喷金 3min,真空度为 16～26Pa,电压,电流分别为 700V、3mA。将喷金后的试片放入 JAX-840 扫描电子显微镜样品室,观察拉伸剪切破坏区的特征,研究分析其破坏形态。

### 2.4 高聚物溶解试验

为明确高聚物夹层材料随试验温度的变化情况,对酚醛树脂、氯丁橡胶及高聚物夹层材料分别进行溶解试验。将用作层状减振复合钢板的夹层的酚醛树脂氯丁胶液的溶剂蒸发掉,得到具有一定强度的固态高聚物。从酚醛树脂、氯丁橡胶和固态高聚物上分别切取尺寸为 20×20×4mm 右左的薄片各 4 片,在室温、80℃、100℃、150℃四种温度下分别加热后,各放入 200ml 的甲苯中进行溶解试验,仔细观察这些高聚物材料的溶解特点。

## 3 试验结果及分析

图 2(a)～(d)分别示出了用酚醛树脂氯丁胶作夹层的层压减振复合钢板在不同试验条件下的拉伸剪切曲线。可以看出,这些曲线和典型的高聚物材料的拉伸曲线具有类似的规律,这说明层状减振复合钢板的拉伸剪切变形在很大程度上依赖于酚醛树脂氯丁胶高聚物。高聚物材料强度低,在拉伸剪切过程中,层压减振复合钢板中的高聚物夹层首先发生变形,当外加应力超过高聚物材料的屈服强度时,高聚物材料破坏并导致层压减振复合钢板拉伸剪切破坏。

| 加热温度 / 高聚物 | 室　温 | 80℃ | 100℃ | 150℃ |
|---|---|---|---|---|
| 酚醛树脂氯丁胶(夹层材料) | 30min 后溶解 | 30min 后溶解 | 3h 后溶解,有丝状物 | 溶　胀 |
| 酚醛树脂 | 30min 后溶解 | 30min 后溶解 | 30min 后溶解 | 20min 后溶解 |
| 氯丁橡胶 | 4h 后溶解 | 4h 后溶解 | 24h 后溶解,有粘稠物 | 溶　胀 |

图 3 示出了层压减振复合钢板拉伸剪切强度随形变速率和试验温度的变化。由图可见,形变速率增加,层压减振复合钢板的拉伸剪切强度明显增加。而随试验温度升高,拉伸剪切强度降低;在 80℃附近,拉伸剪切强度具有极小值;在 80～150℃温度范围内,随试验温度增加,拉

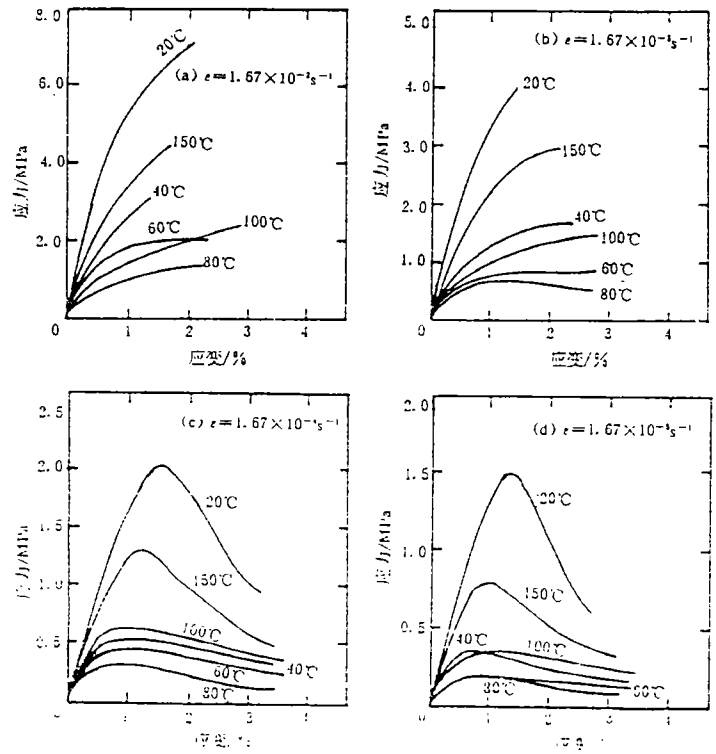



图 2 层压减振复合钢板的拉伸剪切曲线

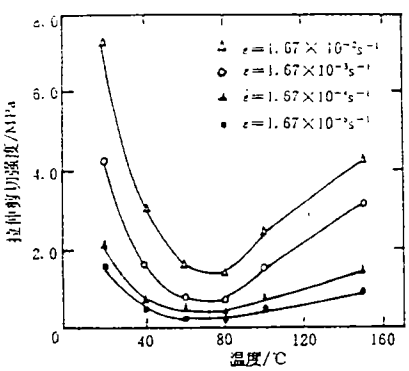
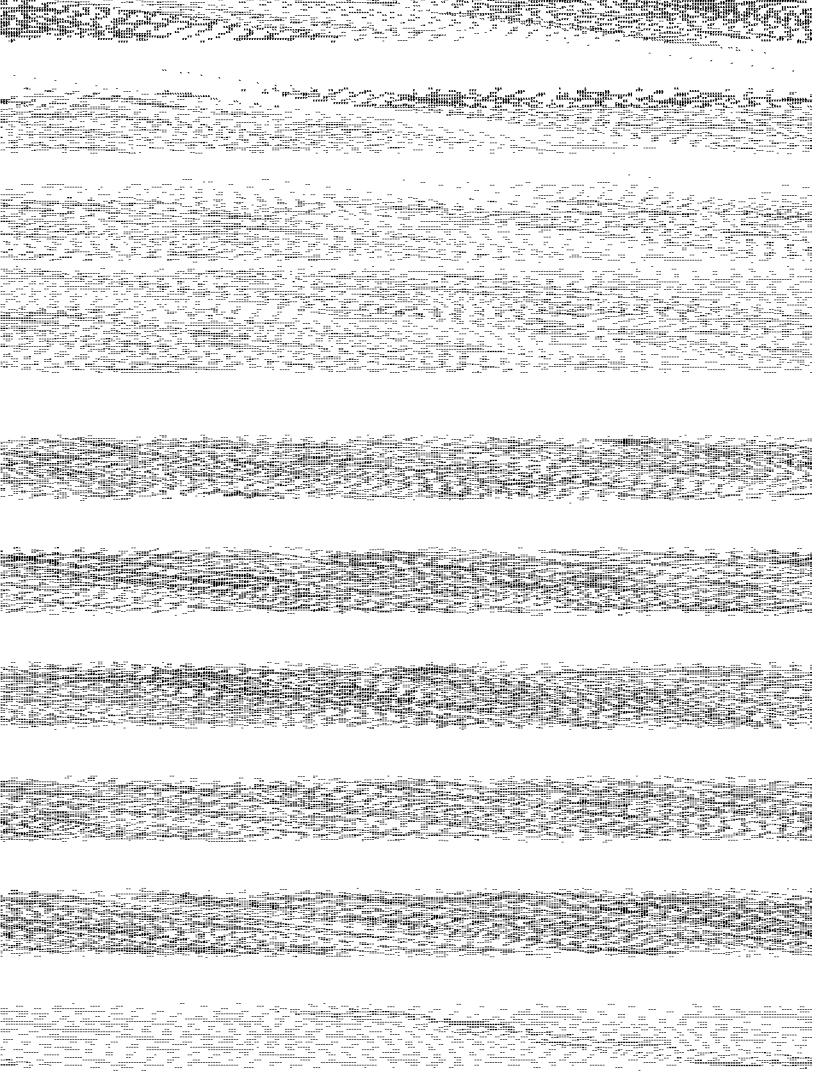



图 3 层压减振复合钢板的拉伸剪切强度与形变速率和试验温度的关系

伸剪切强度增加。这一特殊现象与高聚物夹层材料的结构变化有关。

层压减振复合钢板的夹层材料是热塑性酚醛树脂和氯丁橡胶的共混聚合体，其结构随温度发生明显变化。上页的表示出了酚醛树脂、氯丁橡胶和夹层高聚物经不同温度加热后在甲苯中的溶解结果。可见，在 80 C 以下，这些高聚物都溶于甲苯溶剂，说明这些高聚物主要以线型结构形式存在。当将这些高聚物分别在 100 C 加热 30min 后，酚醛树脂在甲苯中仍迅速溶解，而氯丁橡胶及夹层高聚物则需要较长时间才溶解，且在其溶液中可见明显的丝状粘稠物。在 150 C 将其分别加热 30min 后，酚醛树脂近乎粘流态在甲苯中很快溶解，而氯丁橡胶及夹层高聚物只发生溶胀现象。这说明氯丁橡胶在 100 C 以上开始发生交联反应，而在 150 C 时已充分交联。

根据上述试验结果，可以说明图 3 所示以酚醛树脂氯丁胶为夹层的层压减振复合钢板拉伸剪切强度的试验温度依存性。试验温度较低时，高聚物夹层材料的分子运动能量低，分子链段间结合力较高，因而夹层材料强度高；另外，夹层材料中的 OH、Cl 等极性基团与钢板有着良好的结合，结果使层压减振复合钢板在低温显示了较高的拉伸剪切强度。随试验温度升高，高



## 4 结 论

(1) 用酚醛树脂氯丁胶作夹层的层压减振复合钢板的拉伸剪切强度随形变速率增加而增加。在较低温度下,随试验温度升高,拉伸剪切强度降低;在80℃附近,层压减振复合钢板的拉伸剪切强度最低;在80～150℃温度范围内,随试验温度升高,拉伸剪切强度增加,这归因于高聚物夹层材料中的氯丁橡胶发生了交联反应。

(2) 在低温(<80℃)和高温(150℃)及高形变速率下,层压减振复合钢板的拉伸剪切破坏形态呈界面破坏和高聚物撕裂的混合破坏特征,在80℃左右和较低形变速率下,破坏形态为呈滑移形变特征的高聚物内聚破坏。

## 参 考 文 献


1 Chen Y S, Hsu T J. Chen S I. Vibration damping characteristics of laminated steel sheet. Metall Trans, 1991; 22(3): A653－656

2 Pennington N. Noise-damping sandwich. Modern Metal, 1987; (8):14－22

3 王成国,孙希泰. 层压减振复合钢板的性能及用途. 材料科学与工程,1993;(4):47－52

4 渡边裕吉,藤井康司,西本昭彦. ポリマーアロイ技术による复合型制振钢板の制振性と密着性の向上. 1989; 75(9): 252－258

5 由田征史. 树脂复合钢板のプレス成形性. 塑性と加工,1991;32(360):41－47


## TENSILE-SHEAR CHARACTERISTICS OF DAMPING LAMINATED COMPOSITE STEEL SHEET


Wang Chengguo Yu Xiaoqiang Sun Xitai

(Shandong Polytechnic University, Jinan 250014)

Zhu Jing Cai Qigong

(Central Iron and Steel Research Institute, Beijing 100081)



**Abstract** The tensile-shear characteristics of the damping laminated composite steel sheet, which uses phenolic resin-chloroprene rubber polymer for sandwich, have been studied using four strain rates of $1.67\times10^{-2}$, $1.67\times10^{-3}$, $1.67\times10^{-4}$ and $1.67\times10^{-5}s^{-1}$, in the range of testing temperature from 20℃ to 150℃. The results show that the damping laminated composite steel sheet is of high tensile-shear strength, and its destruction morphology exhibits the features of mixed destruction of polymer being torn and interface destruction, with high strain rate and low temperature. At the temperature of about 80℃, the tensile-shear strength is of the minimum value, and the destruction of polymer possesses the characteristic of slip deformation. In the range of testing temperature from 80℃ to 150℃, the tensile-shear strength increases with the rising of testing temperature; this is due to the cross linking reaction taking place in the polymer sandwich.



**Key words** phenolic resin-chloroprene rubber polymer, damping laminated composite steel sheet, tensile-shear characteristics, destruction morphology