



施工指南 JFE的耐磨钢板

EVERHARD™

— 折弯加工 —

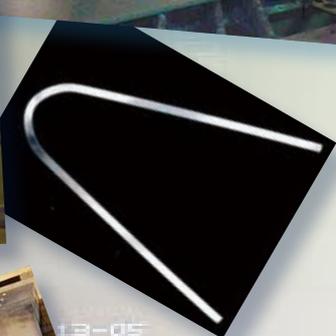
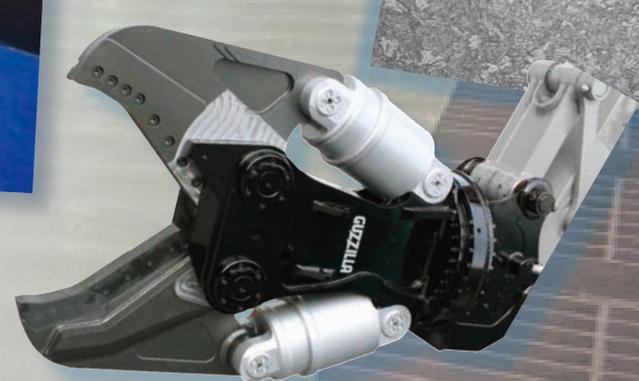
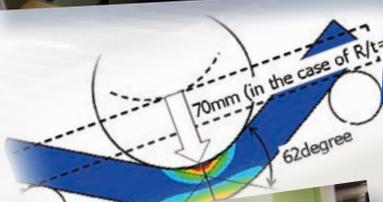
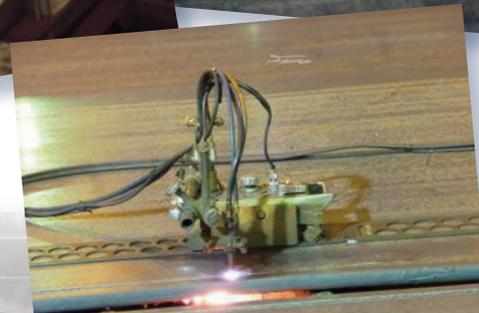


EVERHARD™

JFE's Abrasion-Resistant Steel Plate

才是硬道理





目 录

施工指南 JFE 的耐磨钢板 EVERHARD™ - 折弯加工 -	1
为了高质量地完成折弯加工	2
保管	2
折弯加工时的检查项目	3
最小折弯半径指南	4
端面形状、表面形状的准备指南	6
折弯加工的折弯力	7
弹性回复量	9

“EVERHARD”是 JFE 钢铁株式会社（仅限日本国内）的注册商标。



施工指南 JFE 的耐磨钢板

EVERHARD™

— 折弯加工 —

JFE 钢铁从 1955 年开始在日本国内率先生产耐磨钢板“EVERHARD”。从此，EVERHARD 产品在产业机械以及土木建筑机械、矿山机械以及农业机械等领域得到广泛应用。当前，EVERHARD 已被视为实现客户满意度不可缺少的产品。

为了使所有客户都能够有效、放心地使用 EVERHARD，并且运用其优异的性能，我们准备了本《施工指南 JFE 的耐磨钢板 EVERHARD — 折弯加工 —》，希望能够协助广大客户更好地使用 EVERHARD。

长期以来客户对 EVERHARD 予以大力支持，本公司在此表示衷心感谢，今后还敬请继续惠顾为盼。

EVERHARD 的特点

型号	特点	商品名称
C (标准系列)	标准通用型EVERHARD。 着眼于钢板硬度的经济型标准合金设计。 严格控制表面硬度范围，减少加工性能的不均匀。	EVERHARD-C340
		EVERHARD-C400
		EVERHARD-C450
		EVERHARD-C500
		EVERHARD-C550
		EVERHARD-C600
C-LE (高韧性系列)	保证在-40°C (-40°F)温度下的低温韧性。 最高可达布氏硬度500级耐磨性能的产品种类齐全。 考虑内部硬度的成分设计。	EVERHARD-C400LE
		EVERHARD-C450LE
		EVERHARD-C500LE
SP (超级)	超过EVERHARD的EVERHARD。 提供超过布氏硬度500级的耐磨性能。	EVERHARD-SP

本资料登载的技术信息是以目前致力于提高 EVERHARD 性能的技术为基础编制的，因此内容可能随着开发的进展而变更。本技术信息阐述了 EVERHARD 的典型特性，对个别情况不承担责任，发生问题时请与本公司商谈。

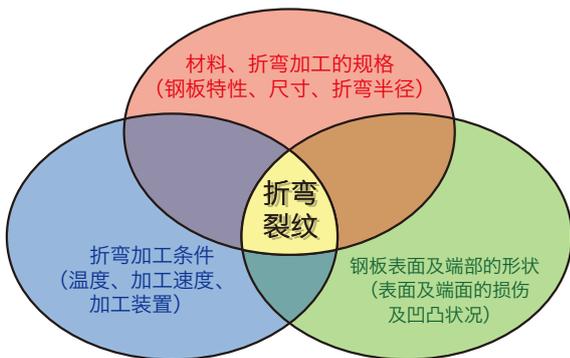
为了高质量地完成折弯加工

本资料总结了有关材料的选择、折弯加工条件、钢板表面及端部性状等基本方面的加工指南，旨在安全、经济、放心地进行 EVERHARD 的加工。

耐磨钢板与一般的结构用钢板相比，强度和硬度较高，因此在进行折弯加工时，对折弯半径以及切断面的质量等需要选择适当的折弯加工条件。折弯加工是采用机械加压至钢板的屈服点以上，通过加工产生塑性变形使形状发生变化，加工时在钢板外表面产生的加工变形随着板厚的增加和折弯半径的减小而增大。作用于钢板外表面的加工变形超过钢板的允许变形限值时将发生折弯裂纹，钢板的机械特性、折弯方向、板材宽度、端面及表面状况以及加工温度等对是否会发生折弯裂纹将产生影响。

发生折弯裂纹的条件模式如下图所示。钢板自身的特性、进行折弯加工的尺寸和折弯半径以及钢板表面及端面的形状、折弯加工的环境等也会造成影响。

按不同要因将一般性注意事项进行整理如下页所示。



折弯加工时发生裂纹的示例

保管

保管时请避免钢板发生弯曲、扭曲。为了防止腐蚀造成的点蚀和生锈引发裂纹，请使用防水布遮盖。为了排除防水布内部的湿气，请经常通风换气。

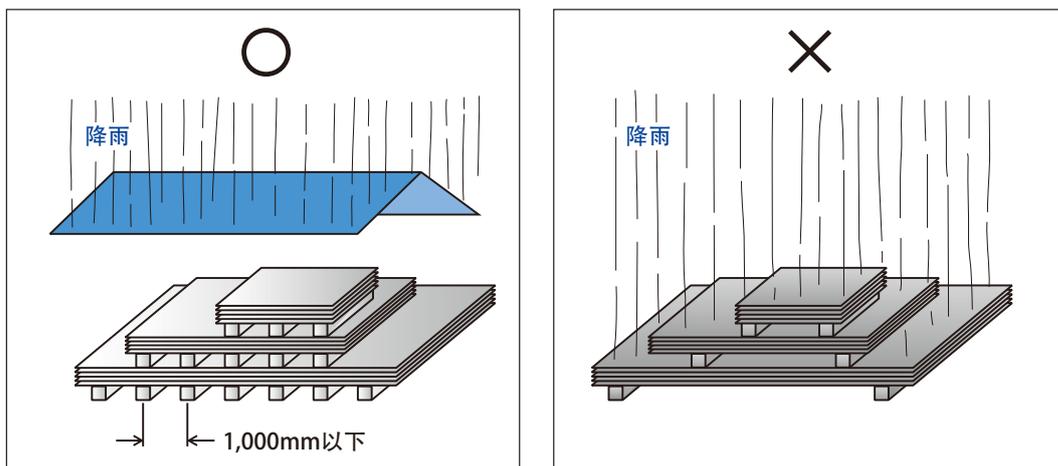


图 推荐的保管方法

折弯加工时的检查项目

■ 一般性注意事项

项 目	主要的建议事项与注意事项
1 钢材种类的选择	<ul style="list-style-type: none"> ● 为了减少客户在折弯加工时发生不均匀, 建议采用限定表面硬度上限、并在较窄范围提供保证的 EVERHARD 的 C 系列。 ● 板材的硬度越高, 折弯加工越困难, 越容易发生折弯裂纹, 因此对于 EVERHARD-C550 和 EVERHARD-C600 不建议进行折弯加工。 ● 对 EVERHARD 的 C 系列以外的钢板进行折弯加工时, 请提前与本公司商谈。
2 折 弯 半 径	<ul style="list-style-type: none"> ● 板材的硬度越高, 折弯加工越困难。请参考在下页推荐的最小折弯半径。
3 折 弯 方 向	<ul style="list-style-type: none"> ● 建议按与钢板的轧制方向*、即长度方向成直角折弯。 (※对于采用表面标记的钢板, 标记的方向为钢板的长度方向)
4 板 材 宽 度	<ul style="list-style-type: none"> ● 钢板宽度较宽时, 与较窄时相比, 即使折弯半径相同, 有时也发生折弯裂纹。一般而言, 板宽超过板厚的 7~10 倍以上时呈现这种影响。
5 端 面 形 状	<ul style="list-style-type: none"> ● 对于气割断面的缺口和剪切断面的毛边, 折弯加工时在该部位发生应力集中, 有时以该处为起点产生折弯裂纹(称为缺口效应)。 ● 对于缺口和毛边, 建议在折弯加工前使用机械砂轮等进行圆角加工或倒棱加工, 尽可能将其去除。
6 表 面 形 状	<ul style="list-style-type: none"> ● 由于表面损伤及生锈可能成为发生折弯裂纹的起点, 因此建议在折弯加工前采用研磨去除。 ● 如果折弯加工装置的加压模具或者承载模具上有损伤或凹凸, 可能在 EVERHARD 钢板表面形成损伤或凹凸。在表面上产生的加压损伤或凹凸将导致变形集中而成为折弯裂纹的起点, 因此建议在折弯加工的前一道工序采用研磨去除。
7 环 境 温 度	<ul style="list-style-type: none"> ● 如果在环境温度低于 0°C 时进行折弯加工, 建议预热到常温 (20°C 左右) 的程度。 ● 进行预热时, 如果加热使温度超过 200°C, EVERHARD 的特性会发生变化, 所以请通过实际测温等方法妥善控制, 防止温度超过 200°C。 ● 关于预热后的折弯加工, 请在钢板温度恢复到常温 (20°C 左右) 后再进行加工。
8 折 弯 复 原	<ul style="list-style-type: none"> ● 一旦折弯超过最终形状, 如果再向其相反方向折弯(即折弯复原)加工易发生折弯裂纹, 因此请避免发生这种情况。



No.6 的补充：在加工装置的模具上存在损伤的示例

最小折弯半径指南

对 EVERHARD 的折弯加工推荐的最小折弯半径（曲率）因钢材的等级和折弯方向而有所不同。最小折弯半径的指南如下表所示。

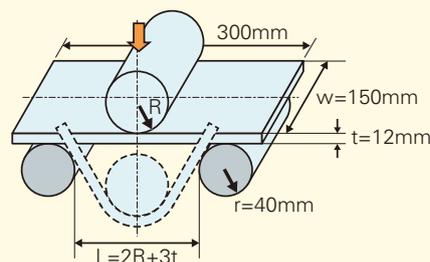
■ 推荐的最小折弯半径

商品名称 (等级)	折弯方向	
	与轧制方向成直角	与轧制方向平行
JFE-HITEN780LE	2.0 t	2.0 t
JFE-HITEN980S	2.5 t	2.5 t
EVERHARD-C340	3.0 t	4.0 t
EVERHARD-C400	3.5 t	4.5 t
EVERHARD-C400LE		
EVERHARD-C450	4.5 t	5.5 t
EVERHARD-C450LE		
EVERHARD-C500	5.5 t	6.5 t
EVERHARD-C500LE		
EVERHARD-C550	不推荐折弯加工	
EVERHARD-C600		
EVERHARD-SP	5.5 t	6.5 t

※ 推荐的最小折弯半径是各等级的 EVERHARD 不发生裂纹的折弯半径限值的大致标准。例如，将板厚为 20mm 的 EVERHARD-C400 按与轧制方向成直角折弯时，根据上表， $3.5 \times 20 = 70\text{mm}$ ，因此请选择大于该半径的折弯半径。

金属材料折弯试验方法 (JIS Z 2248)

JFE 钢铁推荐的折弯半径限值指南是按照在 JIS Z 2248 中记载的金属材料折弯试验方法实施的结果决定的。最小折弯半径受试件的宽度和板厚的影响。本公司设定的最小折弯半径根据这些试件形状的解析结果，采用宽 150mm、厚 12mm 的实际 EVERHARD 试件求出，作为严格的安全侧的最小折弯半径推荐。



折弯试验的形状 (JIS Z 2248)

■ 特性示例

采用压力机进行的折弯加工示例

采用压力机进行的折弯加工示例如下所示。以下是为了测量极限特性的试验结果，加工时建议采用推荐的最小折弯半径。

商品名称 (等级)	产品厚度 mm	折弯加工条件							
		试件厚度 mm	试件宽度 mm	折弯方向 及角度	折弯半径 / 试件厚度				
					1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
JFE-HITEN780LE	12	12	150	与轧制方向成 直角 180°	○	○			
JFE-HITEN980S	8	8			○	○			
EVERHARD-C340	140	12*			×	○	○		
EVERHARD-C400	12	12				×	○	○	
EVERHARD-C450	12	12					×	○	○
EVERHARD-C500	12	12						×	○
EVERHARD-SP	35	12*						×	○

○：无裂纹 ×：有裂纹
*从产品厚度留下黑皮表面，对背面进行减厚加工。

采用辊弯机进行的折弯加工示例

采用辊弯机进行的折弯加工示例如下所示。采用辊弯机进行折弯加工时，由于受到设备的限制难以计算最小折弯半径，所以没有推荐的最小折弯半径，但可按以下采用辊弯机进行折弯加工。

商品名称 (等级)	产品厚度 mm	折弯加工条件				
		轧辊直径 mm	试件厚度 mm	试件宽度 mm	折弯方向	折弯半径 / 试件厚度
						8.3
EVERHARD-C400LE	12	200	12	200	与轧制方向成 直角	加工至轧辊直径 不发生裂纹
EVERHARD-C450LE						
EVERHARD-C500LE						

端面形状、表面形状的准备指南

在损伤部分发生变形集中，因此容易产生折弯裂纹。如“折弯加工时的检查项目”所示，如果钢板的端面及表面形状较差，请使用机械砂轮等打磨，将该损伤部分加工平滑。

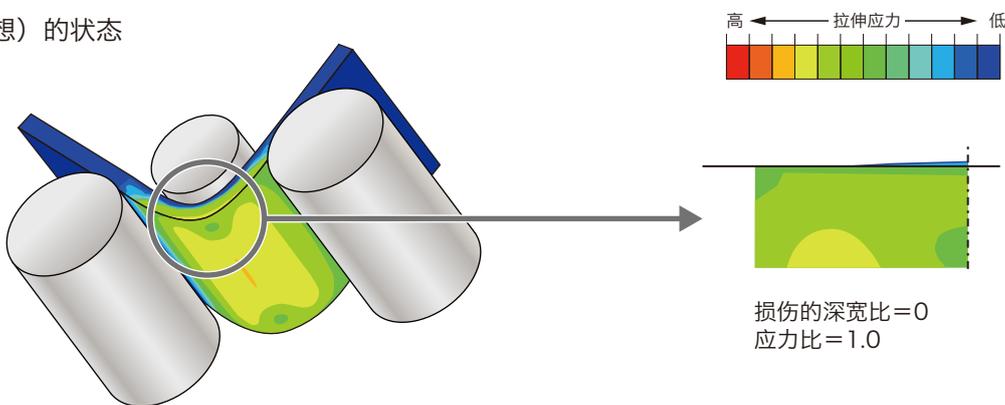
以下是改变钢板端面加工形状时的 FEM 解析结果的示例。

结果表明，存在损伤时 (b)，凹入处的底部发生应力集中。

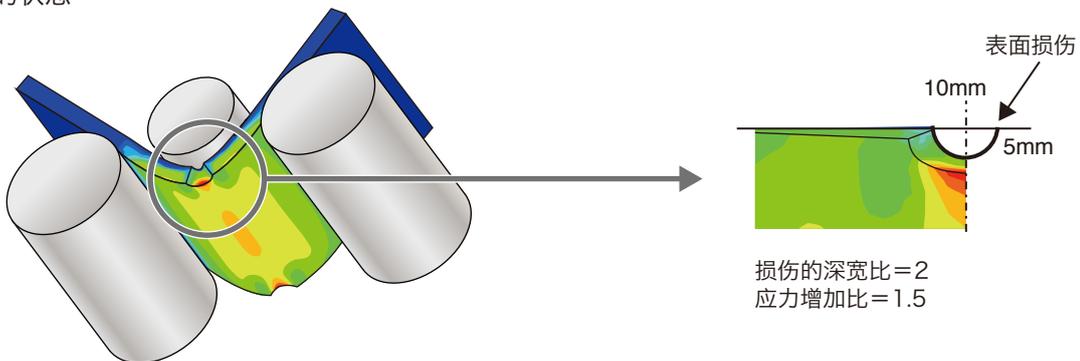
一般而言，关于损伤的深度与宽度的比例，通过磨平使损伤的深宽比大于 10 倍后，可消除损伤处的影响。

■ 折弯加工时的变形状态的 FEM 解析结果

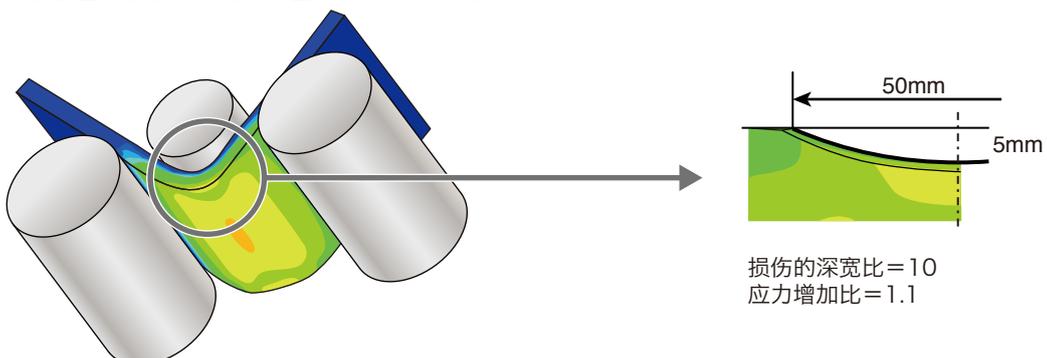
(a) 平滑（理想）的状态



(b) 存在损伤的状态



(c) 使用机械砂轮处理使损伤的深宽比达到 10 倍的状态



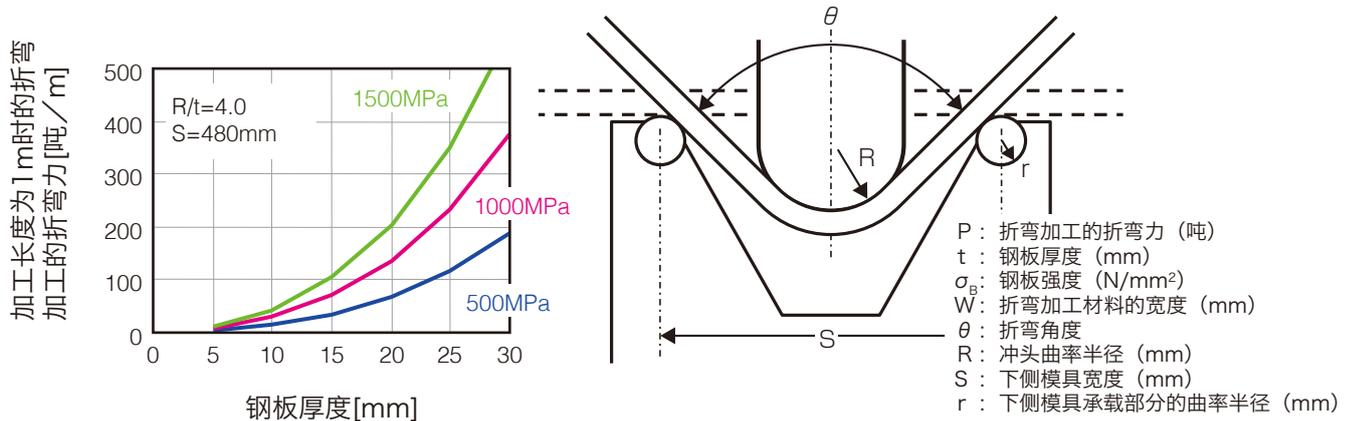
折弯加工的折弯力

对折弯加工时的荷载可概略计算。请计算必要的荷载，妥善选择加工设备。此外，如果加压模具或承载模具上有损伤等，表面形状较差，也存在转移到EVERHARD钢板的表面发生应力集中的可能性，因此建议在加工前检查模具表面，保证其平滑的状态。

折弯加工时的荷载可按式概略计算。

$$P[\text{ton}] = 1.7 \times \frac{W \cdot t^2 \cdot \sigma_B}{9865 \cdot S}$$

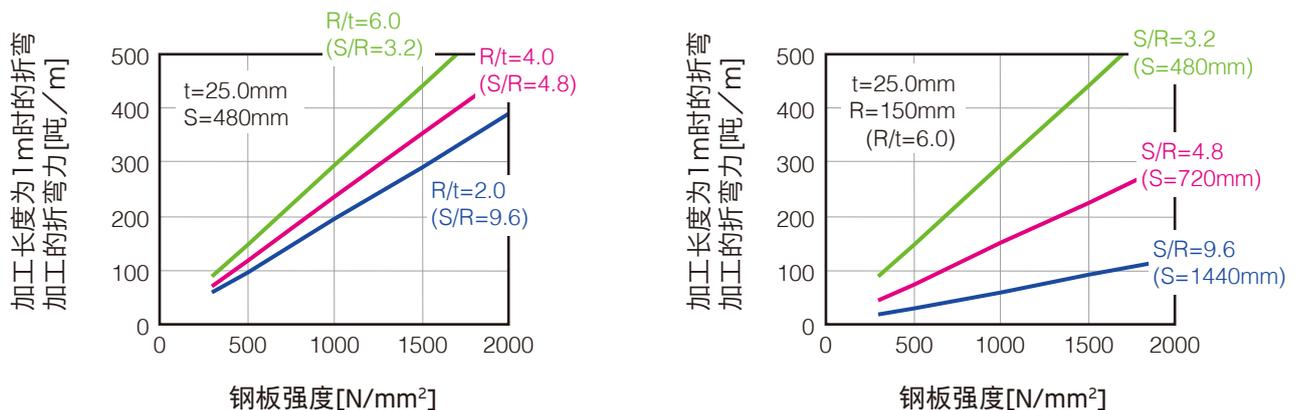
- 钢板强度： σ_B 为1.5倍时，折弯力也为1.5倍。
- 钢板厚度： t 为2.0倍时，与其2次方成正比，折弯力约为4.0倍。
- 折弯力随钢板强度、板厚的变化状况如下图所示。



板厚、钢板强度与必要的折弯加工的折弯力

但是，作为折弯半径限值较大的EVERHARD等高强度材料，由于冲头曲率半径较大，荷载比上式进一步增加。在这种情况下，加大下侧模具的宽度，冲头与下侧模具的间隙增加，折弯加工的折弯力的增加减少。对此可按下式概略计算。

$$P[\text{ton}] = \frac{1}{9865} \cdot \frac{W \cdot t \cdot \sigma_B}{\frac{S}{R} \cdot \frac{R}{t} - 2 \cdot \left(\frac{R}{t} + \frac{r}{t} + 1 \right) \cdot \cos\left(\frac{\theta}{2}\right)}$$



对于不同冲头曲率半径、下侧模具宽度的折弯力的差异

■ 标准折弯荷载的大致标准

与轧制方向成直角折弯、板厚 20mm、下侧模具宽度 $S/R = 4$ 时

商品名称	抗拉强度 N/mm ²	冲头曲率半径 R/t	每 1m 板宽的折弯荷载 吨 / m
JFE-HITEN780LE	875	2.0	537(S=160mm)
JFE-HITEN980S	1075	2.5	487(S=200mm)
EVERHARD-C340	1080	3.0	388(S=240mm)
EVERHARD-C400	1316	4.5	291(S=360mm)
EVERHARD-C400LE	1312	4.5	290(S=360mm)
EVERHARD-C450	1459	5.5	257(S=440mm)
EVERHARD-C450LE	1463	5.5	258(S=440mm)
EVERHARD-C500	1711	6.5	250(S=520mm)
EVERHARD-C500LE	1737	6.5	254(S=520mm)
EVERHARD-SP	1349	5.5	237(S=440mm)

与轧制方向成直角折弯、板厚 20mm、下侧模具宽度 $S = 400\text{mm}$ ($S/t = 20$) 时

商品名称	抗拉强度 N/mm ²	冲头曲率半径 R/t	每 1m 板宽的折弯荷载 吨 / m
JFE-HITEN780LE	875	2.0	130
JFE-HITEN980S	1075	2.5	166
EVERHARD-C340	1080	3.0	174
EVERHARD-C400	1316	4.5	245
EVERHARD-C400LE	1312	4.5	244
EVERHARD-C450	1459	5.5	302
EVERHARD-C450LE	1463	5.5	303
EVERHARD-C500	1711	6.5	400
EVERHARD-C500LE	1737	6.5	406
EVERHARD-SP	1349	5.5	279

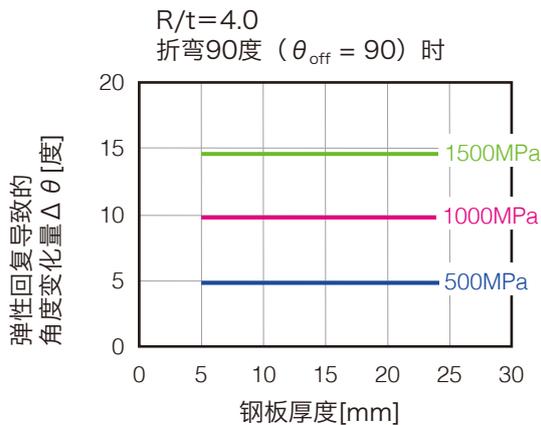
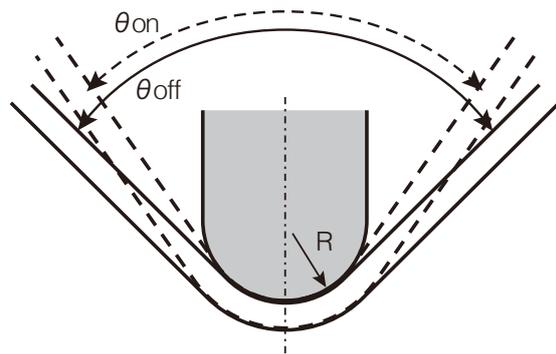
弹性回复量

折弯加工后会发生弹性回复（折弯回复），尤其对于高强度钢板的折弯加工无法避免。弹性回复的大小可按下式计算，请作为加压折弯形状的大致标准。

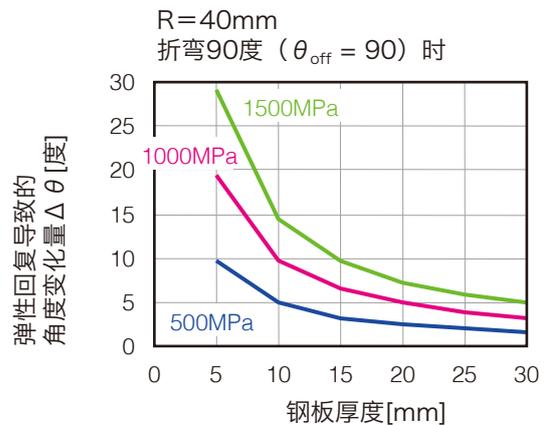
此外，以折弯 90 度（ $\theta_{\text{off}} = 90$ ）为例，不同的钢板强度、钢板厚度的弹性回复量如下图所示，请在加工中利用。

$$\Delta\theta = \theta_{\text{off}} - \theta_{\text{on}} = 5 \cdot \frac{\sigma_B \cdot R}{E \cdot t} \cdot (180 - \theta_{\text{on}})$$

$\Delta\theta$: 弹性回复导致的角度变化
 σ_B : 钢板强度(N/mm²)
 t : 钢板厚度(mm)
 R : 冲头曲率半径(mm)
 θ_{on} : 加压折弯时的折弯角度
 θ_{off} : 弹性回复后的折弯角度
 E : 钢板的杨氏模量(=206000 N/mm²)



(a) R/t为一定时



(b) R为一定时

板厚、钢板强度与弹性回复产生的角度变化量

不同的钢板强度、板厚以及折弯条件将产生以下变化。

- 将钢板强度为 1000MPa 材料折弯 90 度（ $\theta_{\text{off}} = 90$ ）时，弹性回复大约为 10 度。*
- 钢板强度为 1.5 倍时，弹性回复也为 1.5 倍。
- 冲头曲率半径/板厚比相同时，钢板厚度几乎没有影响。
- 冲头曲率半径相同、钢板厚度为 1/2 倍时，弹性回复大约为 2.0 倍。
- 冲头曲率半径为 1.5 倍时，弹性回复大约为 1.5 倍。
- 折弯角度为 1.5 倍时，折弯回复大约为 1.5 倍。

* 此时，加压时的折弯角度（ θ_{on} ）大约为 80 度。

JFE 钢铁 株式会社<https://www.jfe-steel.co.jp/ch/>**HEAD OFFICE**

Hibiya Kokusai Building, 2-3 Uchisaiwaicho 2-chome, Chiyodaku, Tokyo 100-0011, Japan Phone: (81)3-3597-3111 Fax: (81)3-3597-4860

**ASIA PACIFIC /
亚洲及太平洋地区****SEOUL**JFE Steel Korea Corporation
16th Floor, 41, Cheonggyecheon-ro, Jongno-gu, Seoul,
03188, Korea
(Youngpung Building, Seorin-dong)
Phone: (82)2-399-6337 Fax: (82)2-399-6347**SHANGHAI (上海)**JFE Consulting (Shanghai) Co., Ltd.
Room 801, Building A, Far East International Plaza,
319 Xianxia Road, Shanghai 200051, P.R.China
(杰富意(上海)商务咨询有限公司)
200051 中华人民共和国上海市长宁区仙霞路319号
远东国际广场A座801室
Phone: (86)21-6235-1345 Fax: (86)21-6235-1346**BEIJING (北京)**JFE Consulting (Shanghai) Co., Ltd. Beijing Branch
821 Beijing Fortune Building No.5 Dongsanhuan
North Road, Chaoyang District, Beijing, 100004,
P.R.China
(杰富意(上海)商务咨询有限公司北京分公司)
100004 中华人民共和国北京市朝阳区东三环北路5号
北京发展大厦8层821室
Phone: (86)10-6590-9051**GUANGZHOU (广州)**JFE Consulting (Guangzhou) Co., Ltd.
Room 3901 Citic Plaza, 233 Tian He North Road,
Guangzhou, 510613, P.R.China
(杰富意(广州)咨询有限公司)
510613 中华人民共和国广州市天河区河北路233号
中信广场3901室
Phone: (86)20-3891-2467 Fax: (86)20-3891-2469**MANILA**JFE Steel Corporation, Manila Office
23rd Floor 6788 Ayala Avenue, Oledan Square,
Makati City, Metro Manila, Philippines
Phone: (63)2-8886-7432 Fax: (63)2-8886-7315**HO CHI MINH CITY**JFE Steel Vietnam Co., Ltd.
Unit 1704, 17th Floor, MPlaza, 39 Le Duan Street,
Dist 1, HCMC, Vietnam
Phone: (84)28-3825-8576 Fax: (84)28-3825-8562**HANOI**JFE Steel Vietnam Co., Ltd., Hanoi Branch
Unit 2314, 23rd Floor-West, Lotte Center Hanoi,
54 Lieu Giai Street, Cong Vi Ward, Ba Dinh District,
Hanoi, Vietnam
Phone: (84)24-3855-2266 Fax: (84)24-3533-1166**BANGKOK**JFE Steel (Thailand) Ltd.
22nd Floor, Abdulrahim Place 990, Rama IV Road,
Silom, Bangrak, Bangkok 10500, Thailand
Phone: (66)2-636-1886 Fax: (66)2-636-1891**YANGON**JFE Steel (Thailand) Ltd., Yangon Office
Unit 05-01, Union Business Center, Nat Mauk Road,
Bocho Quarter, Bahan Tsp, Yangon, 11201, Myanmar
Phone: (95)1-860-3352**SINGAPORE**JFE Steel Asia Pte. Ltd.
16 Raffles Quay, No.15-03, Hong Leong Building,
048581, Singapore
Phone: (65)6220-1174 Fax: (65)6224-8357**JAKARTA**PT. JFE STEEL INDONESIA
6th Floor Summitmas II, JL Jendral Sudirman Kav.
61-62, Jakarta 12190, Indonesia
Phone: (62)21-522-6405 Fax: (62)21-522-6408**NEW DELHI**JFE Steel India Private Limited
806, 8th Floor, Tower-B, Unitech Signature Towers,
South City-I, NH-8, Gurgaon-122001, Haryana, India
Phone: (91)124-426-4981 Fax: (91)124-426-4982**MUMBAI**JFE Steel India Private Limited, Mumbai Office
603-604, A Wing, 215 Atrium Building, Andheri-Kurla
Road, Andheri (East), Mumbai-400093, Maharashtra,
India
Phone: (91)22-3076-2760 Fax: (91)22-3076-2764**BRISBANE**JFE Steel Australia Resources Pty Ltd.
Level28, 12 Creek Street, Brisbane QLD 4000
Australia
Phone: (61)7-3229-3855 Fax: (61)7-3229-4377**MIDDLE EAST /
中东地区****DUBAI**JFE Steel Corporation, Dubai Office
P.O.Box 261791 LOB19-1208, Jebel Ali Free Zone
Dubai, U.A.E.
Phone: (971)4-884-1833 Fax: (971)4-884-1472**NORTH, CENTRAL and SOUTH AMERICA /
北美洲、中美洲及南美洲地区****HOUSTON**JFE Steel America, Inc.
750 Town & Country Blvd., Suite 705, Houston,
TX 77024, U.S.A.
Phone: (1)713-532-0052 Fax: (1)713-532-0062**MEXICO CITY**JFE Steel de Mexico S.A. de C.V.
Ruben Dario #281-1002, Col. Bosque de
Chapultepec, C.P. 11580, CDMX. D.F. Mexico
Phone: (52)55-5985-0097**RIO DE JANEIRO**JFE Steel do Brasil LTDA
Praia de Botafogo, 228 Setor B, Salas 508 & 509,
Botafogo, CEP 22250-040, Rio de Janeiro-RJ, Brazil
Phone: (55)21-2553-1132 Fax: (55)21-2553-3430**敬请注意**

- 本商品目录记载的特性值等技术信息，除规格值以外，没有任何保证意义。
- 本商品目录记载的产品，根据使用目的、使用条件等，其性能、性质有时与记载内容会有所不同。
- 因错误使用本商品目录记载的技术信息等，而发生损害时，本公司概不负责。