



STRENX® ストレンクス 高強度構造用鋼板の 曲げ加工



高強度鋼板の曲げ加工

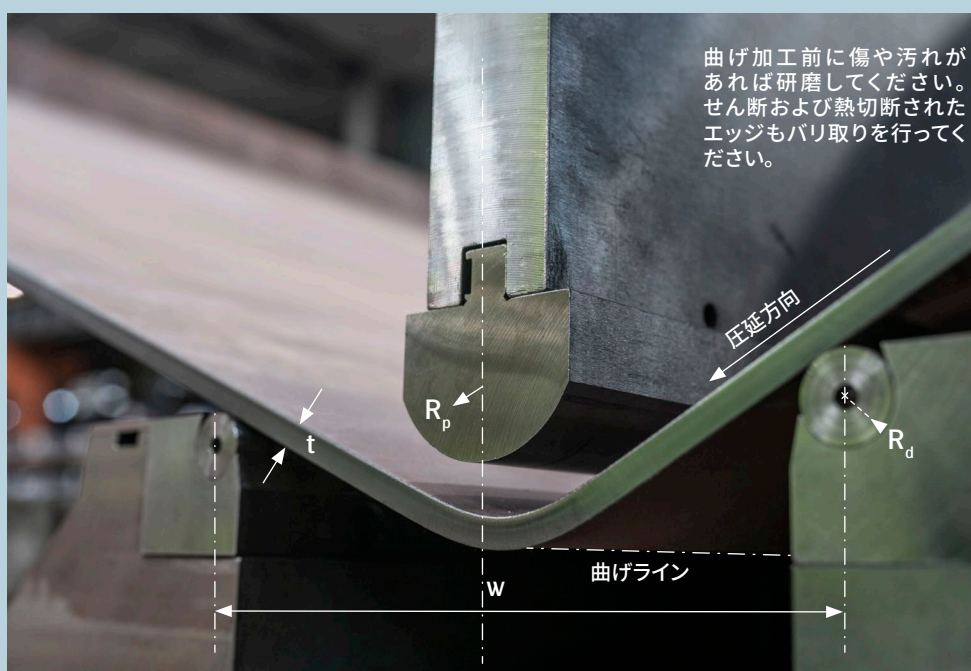
本ガイドでは、最適な曲げ加工を実現するために、Strenx®高性能鋼板の曲げ加工に関する保証と推奨事項を説明します。

高強度鋼板の曲げ加工はむずかしいはありませんが、いくつかの点を考慮する必要があります。優れた曲げ加工を実現するには、不純物が少ない高純度の材料が不可欠です。SSABの最新設備により、高い水準の表面品質、公差、機械的特性を提供しています。

曲げ加工前の準備作業

- 鋼板の圧延方向を確認します。可能であれば、圧延方向を曲げラインに対して直角に合わせます。こうすることで、圧延方向に平行で曲げるより、板をよりタイトに曲げることができます。図1を参照してください。
- 鋼板の表面品質を確認します。表面の傷などは破断の原因となるため、曲げ加工性に悪影響を及ぼす可能性があります。厚板の場合、傷や錆などの鋼板の表面不良は、丁寧にグラインダー処理をすることで除去できます。傷などのグラインダー処理は曲げ加工ラインに対して直角に行ってください。
- 熱切断やせん断されたエッジは、グラインダーでバリ取りを行い、角とりをしてください。
- 曲げ金型の状態を確認してください。
- 曲げ金型の過度の磨耗を避けるため、金型は材料よりも硬いものを使用してください。
- 金型とその設定が、このカタログに記載されている推奨事項に沿っていることを確認してください。

図1 圧延方向に対して直角曲げ



鋼板の圧延方向を確認します。可能であれば、圧延方向を曲げラインに対して直角に合わせます。こうすることで、圧延方向に平行で曲げるより、板をよりタイトに曲げることができます。

金型の状態を確認します。金型へのダメージを避けるため、金型は材料よりも硬いものを使用してください。金型とその設定が、このカタログに記載されている推奨事項に沿っていることを確認してください。

R_d = 受け型エントリー半径
 R_p = パンチ曲げ率半径

注意点

- 常に安全対策を講じ、現場の安全規則に従ってください。有資格者のみがプレス機械の周辺で作業してください。高強度鋼板を曲げるときは、決してプレスブレーキの前に立たないようにしてください。
- 押し型と曲げる材料が受け型の底部につかないようにします。図2を参照してください。
- スプリングバックを考慮してください。一度曲げた部分は角度を修正するための曲げ直しは避けてください。曲げ加工を行った箇所は、著しく加工性が劣化しています。
- 曲げ力、スプリングバック、推奨の最小曲げ押し型径は、鋼板の強度に比例して増加します。
- 多くのStrenx®厚板鋼板では、圧延方向に対して垂直に鋼板の刻印があります。割れのリスク回避のため、曲げラインを刻印の上に合わせるのを避けてください。
- 過度のプラスト処理は、曲げ加工性に悪影響を及ぼす可能性があります。Strenx®厚板鋼板に関する推奨事項は、プラスト処理および防錆塗装処理後のテストに基づいています。
- 高い引張率は、曲げによる局所的な温度上昇を引き起こす原因になります。これは、特に厚さが20 mmを超える場合、曲げ性に悪影響を及ぼす可能性があります。可能であれば、曲げる材料の熱影響を避けるため、曲げ速度を落としてください。

曲げ金型

受け型の幅

受け型の幅を広げると、曲げ圧は少なくて済みますが、スプリングバックが増加します。受け型の開きで、曲げる鋼板が受け型の底部に接触することなく、スプリングバックを考慮したオーバー・ベンディングを可能にすることを理解してください。金型の開き幅を広げると、多くの場合、曲げ部分の応力を低くできます。また、曲げ加工中に曲げる鋼板と押し型の間に十分な空きがあることを確認し、押し型と受け型に変形が出ないようにしてください。受け型の最小推奨幅については、表2および表3に記載されています。

受け型両端の半径は、少なくとも板厚の半分以上にしてください。一方で、受け型の開きは受け型の両端の圧力を減らすために大きくする必要があり、結果として金型跡がつくりスクをへらすことができます。

押し型

Strenx®を曲げる場合、適切な押し型は金型幅と並んで最も重要なパラメータです。Strenx®を曲げる場合、最終的な内径は押し型よりやや小さくなるがよくあります。図3を参照してください。鋼板と曲げ型の間の摩擦が小さいと、この現象はより顕著になります。

降伏強度が約600MPaを超える鋼板の場合、押し型は曲げたい内Rよりも、少し大きい押し型を使用する必要があります。7ページの表2と3には、90°に曲げる際の最小推奨押し型径と、希望する仕上がりの内半径が記載されています。

図 2 エアベンディングとボトムベンディングの違い

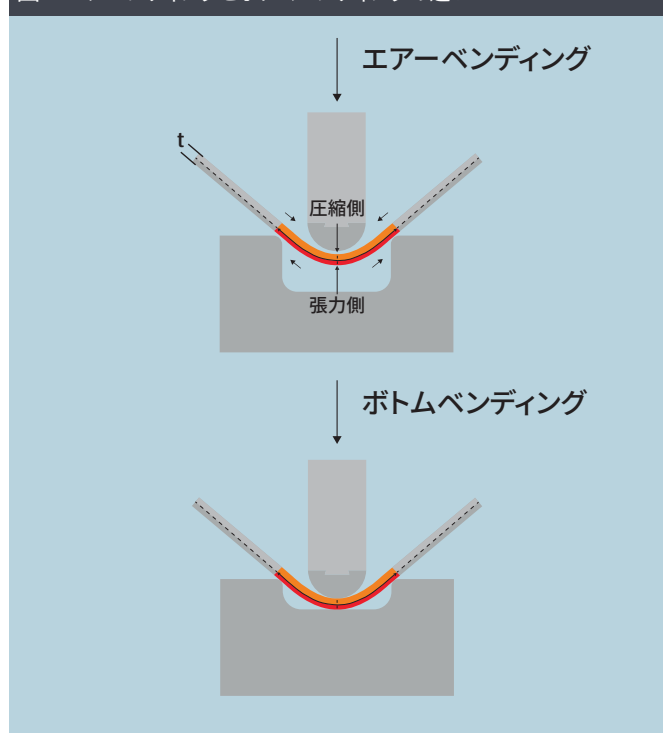
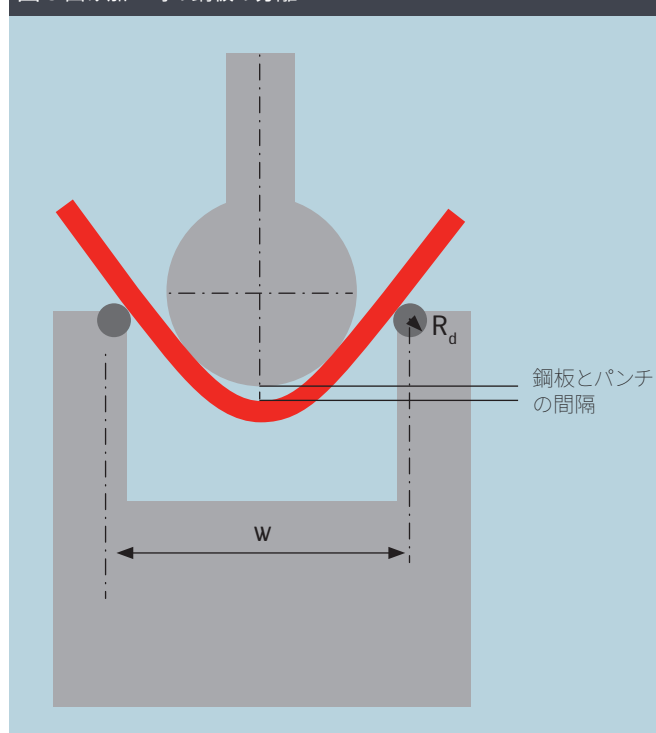


図 3 曲げ加工時の鋼板の分離



押し型の状態

高強度鋼板の曲げ加工では、鋼板と曲げ型の接触圧が増加するため、曲げ金型も多少摩耗します。押し型と受け型のRの両端の状態を定期的に確認してください。部品やコンポーネントの製造中に曲げ加工された材料に亀裂が入った場合、多くの場合、亀裂は曲げ部の圧縮側から伝播します。これはほとんどの場合、押し型の状態が悪いことが原因です。曲げ型の端はクリーンで損傷のない状態に保つ必要があります。

プレス機の安定性

高強度鋼の曲げ加工には大きな力がかかります。押し型からの力は鋼材の表面に作用し、鋼材と金型の間の摩擦が曲げの結果と必要な力に影響します。

静的摩擦係数は通常、動的摩擦係数よりも高くなります。そのため、鋼板が受け型の片端に引っかかり、同時にもう一方が滑ってしまうことがあります。これにより、曲げ加工中に曲げる鋼板がゆらゆらと揺れながら受け型へ沈んでいきます。「スティックスリップ」と呼ばれるこの現象は、曲げ部のひずみを大きくします。安定したプレス機を使用し、しっかりと曲げ型を固定してください。受け型のエッジにグリースを塗布し、回転式の丸棒の受け型を使用して、スティックスリップを回避し、曲げ力を下げることができます。

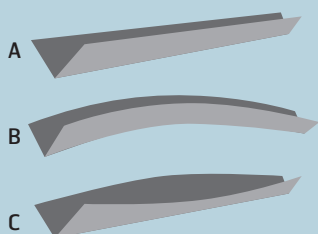
クラウニング

クラウニングは、負荷がかかった際のプレス機の弾性たわみを補う方法です。図4を参照してください。受け型と押し型の中心部分が最もたわみます。クラウニングにより、たわみ(C)を補正し、板全体にわたって同じ曲げ角度を実現することができます。曲げライン(B)に沿って曲がった形状は、クラウニングによって補正できません。

加工後とりだすと、伸び側には圧縮応力が発生し、同時に圧縮側には引張応力が発生します。図2を参照してください。板厚上の応力分布は縦応力の原因となります。このような応力が板全体に歪みが生じます。歪みの程度は主にフランジの高さとプレスの剛性に依存します。

長尺材の段階的な曲げ加工でクラウニングを設定する際には、追加で考慮すべき点があります。

図4 クラウニング



- A 直線プレス加工。
- B 曲げ線に沿ってカーブしたプレス仕上げ。
- C カーブして角度をつけたプレス仕上げ。





曲げ圧

曲げ時に必要なパワーの設定には、曲げ長さ、板厚、受け型の幅、引張強度だけでなく、曲げ時に変化する力も考慮します。最大負荷は、通常の摩擦（グリースなし）で曲げ開度120°で到達すると推定しています。試し曲げを必ずしてください。

$$P = \frac{b \times t^2 \times R_m}{(W - R_d - R_p) \times 9\,800}$$

P = 曲げ圧、トン
t = 板厚、mm
W = 受け金型開き幅、mm (図1)
b = 曲げ加工長さ、mm
R_m = 引張強度MPa (表1)
R_d = 受け金型エントリー半径、mm
R_p = パンチ曲率半径、mm

表1 曲げ力を計算するための引張強度代表値

鋼種	引張強度代表値 (MPa)
Strenx®100	840
Strenx®100 XF	800
Strenx®110 XF	850
Strenx® 700 E/F	850
Strenx® P700	850
Strenx® 700 OME	850
Strenx® 900 E/F	1 020
Strenx® 960 E/F	1 060
Strenx® 1100 E/F	1 420
Strenx® 1300 E/F	1 520
Strenx® 600MC D/E	730
Strenx® 650MC D/E	800
Strenx® 700MC D/E	850
Strenx® 700MC Plus	820
Strenx® 700 CR	1 090
Strenx® 900MC	1 070
Strenx® 900 Plus	1 040
Strenx® 960MC	1 110
Strenx® 960 Plus	1 090
Strenx® 960 CR	1 200
Strenx® 1100MC	1 320
Strenx® 1100 CR	1 400
Strenx® 700 HR W	870
Strenx® 700 CR W	1 090
Strenx® 960 HR W	1 150

SSAB



SSAB BendCalc

Strenx®の正しい曲げ設定を得るには、SSABのBendCalcアプリ（スプリングバックと受け型の深さを予測する初のアプリ）を参照してください。

鋼材の特徴、金型と受け型の対称性、最終的な曲げ形状、摩擦条件に基づいて計算した結果をわずか数秒で表示します：

- 最大曲げ加工圧
- スプリングバック
- 受け型深さ
- 最大加圧時の開き角度
- フランジ最小高さ

結果はPDFファイルとして保存・共有できます。

スプリングバック

スプリングバックは、鋼板の強度と受け金型開き幅と板厚の比率 (W/t) によって大きくなります。材料の降伏強度が最も大きな影響を与えます。

曲げ加工では、曲げ加工断面において様々な残留応力がみられます。塑性ひずみの度合いやこれらの応力の分布により、スプリングバックとなって現れます。全てのスプリングバックは弾性変形によるものです。

スプリングバックを補正するために、材料を圧印なくオーバーベンドニングできるような受け型の形状にする必要があります。

曲げ加工時の材料のスプリングバックを正確に予測することは非常に難しいことです。なぜならスプリングバックはそれぞれの金型の設定により大きく変わるからです。そのため、試し曲げを行うことをお勧めします。板厚の小さい鋼板や薄板 ($t < 10\text{mm}$) の場合、引張強度 (MPa) を100で割ることで材料のスプリングバックを推定できます。

前提条件として、受け型の開き幅が板厚の約10～12倍であることが必要です。

スプリングバックに影響を与えるパラメータ:

- 材料の降伏強度 - 降伏強度が高いほどスプリングバックが大きくなります。
- パンチ曲げ率半径 - パンチ曲げ率半径を大きくすると、スプリングバックが大きくなります。
- 受け金型開き幅 - 受け金型の開き幅が大きいほど大きなスプリングバックの原因になります。
- 材料のひずみ硬化。

曲げ保証と推奨事項

SSABの製品は、さまざまな用途に合わせて開発され、特化されているため、曲げ試験やその評価には多少の違いがあります。

厚板のパンチ曲げ率半径と板厚 (R/t) の最小推奨事項、ならびに薄板に対応する推奨事項が表2および表3に記載されています。

これらの曲げ推奨事項は荷重開放後の90°ワンステップ曲げ試験に基づきます。受け型開き幅はガイドラインであり、若干の誤差が生じる場合があります。

その他の素材や技術情報については、技術サポートにお問い合わせいただくか、www.ssab.comをご覧ください。

Strenx®は、Strenx保証に基づく曲げ性能保証付きで納品されます。詳しくは地域のSSAB営業担当者にお問い合わせください。

**SSAB技術サポートにご連絡ください。
当社のエキスパートがサポートいたします。**



表2 STRENX®厚板鋼板、曲げ加工の保証と推奨事項

Strenx®鋼板の曲げ保証は、丸型および通常の摩擦（グリースなし）に基づきます。
R/tはパンチ曲率半径 (R) ÷ 鋼板の板厚 (t)。

鋼種 / 製品	公称板厚 (t) (mm)	鋼板の保証最小最終内半径		推奨される最小パンチ曲げ率半径		受け金型開き幅 (W) 最小W/t
		圧延方向に対して 直角R _t /t	圧延方向R _t /t	圧延方向に対して 直角R _p /t	圧延方向R _p /t	
Strenx® 700E/F	t < 8	1.3	1.8	1.5	2.0	10
Strenx® 100	8 ≤ t < 15	1.3	1.8	1.5	2.0	10
Strenx® P700	15 ≤ t < 20	1.7	2.1	2.0	2.5	12
Strenx® 700 OME	t ≥ 20	1.7	2.1	2.0	2.5	12
Strenx® 900E/F	t < 8	2.3	2.5	2.5	3.0	12
Strenx® 960E/F	8 ≤ t < 15	2.3	2.6	2.5	3.0	14
	15 ≤ t < 20	2.4	2.7	2.5	3.0	14
	t ≥ 20	2.8	3.4	3.0	3.5	16
Strenx® 1100E/F	t < 8	2.8	3.3	3.0	3.5	12
	8 ≤ t < 15	2.6	3.2	3.0	3.5	14
	15 ≤ t < 20	2.5	3.1	3.0	3.5	14
	t ≥ 20	3	3.5	3.5	4.0	16
Strenx® 1300E/F	t < 8	3.1	3.8	3.5	4.0	14
	8 ≤ t ≤ 15	3.6	4.3	4.0	4.5	14

表3 STRENX®薄板鋼板、曲げ保証と推奨事項

Strenx®薄板鋼板の曲げ保証は、丸型および通常の摩擦（グリースなし）に基づきます。
R/tはパンチ曲率半径 (R) ÷ 鋼板の板厚 (t)。

鋼種 / 製品	公称板厚 (t) (mm)	薄板の保証最小最終内半径		推奨される最小パンチ曲げ率半径		受け金型開き幅 (W) 最小W/t
		圧延方向に対して 直角R _t /t	圧延方向R _t /t	圧延方向に対して 直角R _p /t	圧延方向R _p /t	
Strenx® 600MC D/E	t ≤ 3	0.7	0.7	0.7	0.7	10
	3 < t ≤ 6	1.1	1.1	1.1	1.1	10
	t > 6	1.4	1.4	1.4	1.4	10
Strenx® 650MC D/E	t ≤ 3	0.8	0.8	0.8	0.8	10
Strenx® 650MC D/E	3 < t ≤ 6	1.2	1.2	1.2	1.2	10
Strenx® 100 XF	t > 6	1.5	1.5	1.5	1.5	10
Strenx® 700MC D/E	t ≤ 3	0.8	0.8	1	1	10
Strenx® 110 XF	3 < t ≤ 6	1.2	1.2	1.4	1.4	10
	t > 6	1.6	1.6	1.7	1.7	10
Strenx® 700 HR W	3.0 ≤ t ≤ 6.1	2	2	2.2	2.2	10
Strenx® 700MC Plus	3 ≤ t ≤ 10	1.0	1.0	1.3	1.3	10
	t > 10	1.5	1.5	1.8	1.8	10
Strenx® 900MC	3 ≤ t ≤ 8	3.0	3.0	3.0	3.25	12
	t > 8	3.5	3.5	3.5	3.75	12
Strenx® 900 Plus	2 ≤ t ≤ 8	3.0	3.0	4	4	12
Strenx® 960MC	3 ≤ t ≤ 10	3.5	3.5	3.6	4	12
Strenx® 960 Plus	2 ≤ t ≤ 8	3.5	3.5	4	4.2	12
Strenx® 960 HR W	3.0 ≤ t ≤ 6.1	3.5	3.5	4	4	12
Strenx® 1100MC	3 ≤ t ≤ 8	4.0	4.0	4.7	5	14
Strenx® 1100 Plus	4 ≤ t ≤ 6	3.5	3.5	3.9	4	12
	t > 6	4.0	4.0	4.4	4.5	14
Strenx® 700 CR	0.7 ≤ t ≤ 2.1	2.0	2.0	2.5	2.5	10
Strenx® 960 CR	0.8 ≤ t ≤ 2.1	3.5	3.5	4.5	4.5	12
Strenx® 1100 CR	0.8 ≤ t ≤ 2.1	3.5	3.5	4.5	4.5	14

SSABは北欧および米国を拠点に展開する鉄鋼メーカーです。より強く、より軽く、より持続可能な世界の実現を目指して、SSABはお客様との密接な協力のもとで開発した製品を提供しています。世界50カ国以上で従業員が働き、生産設備をスウェーデン、フィンランドと米国で運営しています。SSABはナスダックOMXストックホルム(大型株)に上場しているほか、ナスダックOMXヘルシンキに二部上場しています。

www.ssab.com

SSAB
P.O. Box 70
SE-101 21 Stockholm
SWEDEN

住所:
Klarabergsviadukten 70

電話: +46 8 45 45 700
Eメール: contact@ssab.com

strenx.com

SSAB