HARDOX®
WEAR PLATE

HARDOX®の曲げ加工

SSAB

目次

曲げ加工前の準備 4

注意点 5
金型 5

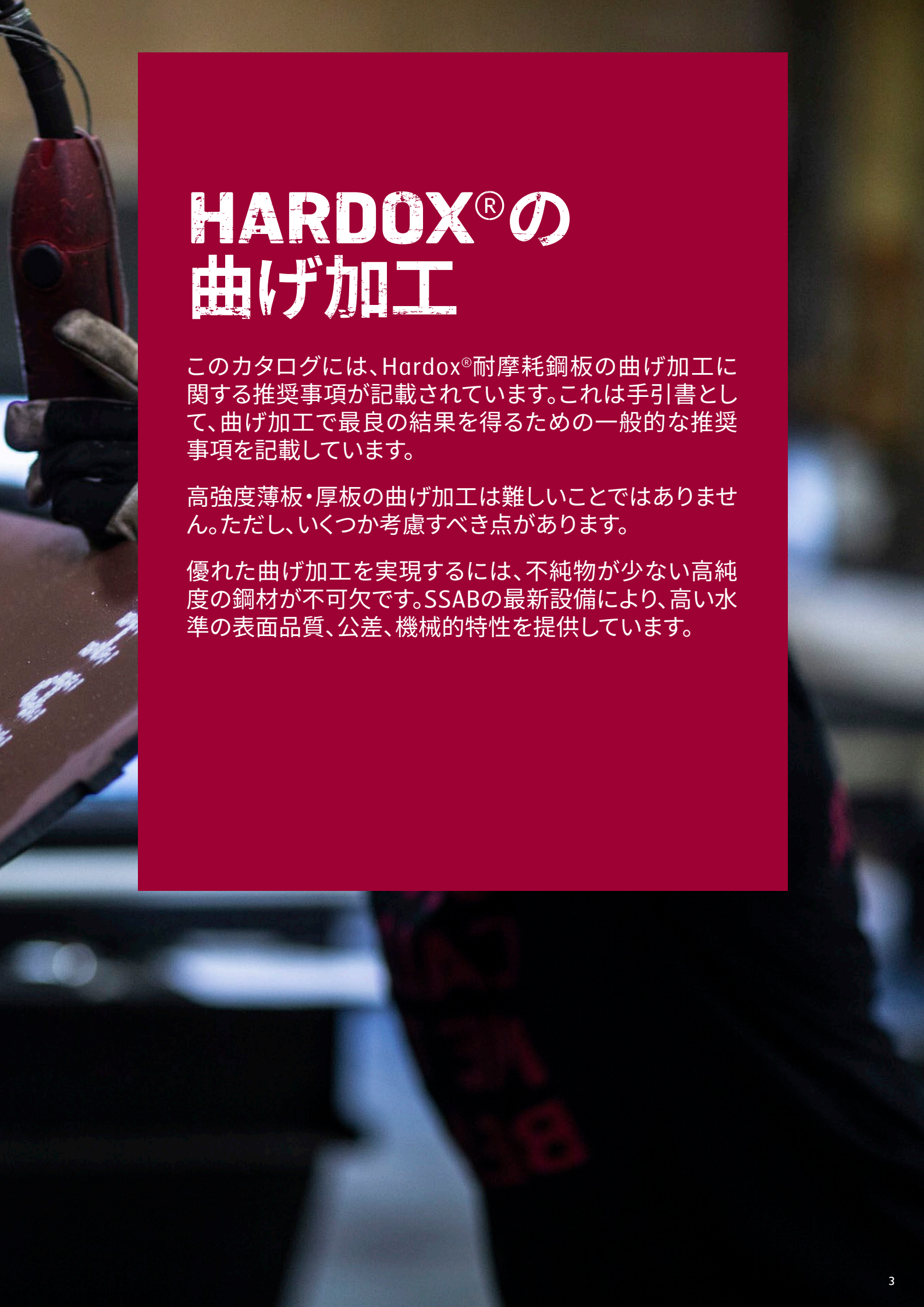
金型の状態 7
プレス機の安定性 7
クラウニング 7

曲げ圧 8
スプリングバック 8

曲げに関する推奨事項 9

Hardox®耐摩耗厚板鋼板、曲げに関する推奨事項 10

Hardox® 耐摩耗薄板鋼板、曲げに関する推奨事項 11



HARDOX®の曲げ加工

このカタログには、Hardox®耐摩耗鋼板の曲げ加工に関する推奨事項が記載されています。これは手引書として、曲げ加工で最良の結果を得るための一般的な推奨事項を記載しています。

高強度薄板・厚板の曲げ加工は難しいことではありません。ただし、いくつか考慮すべき点があります。

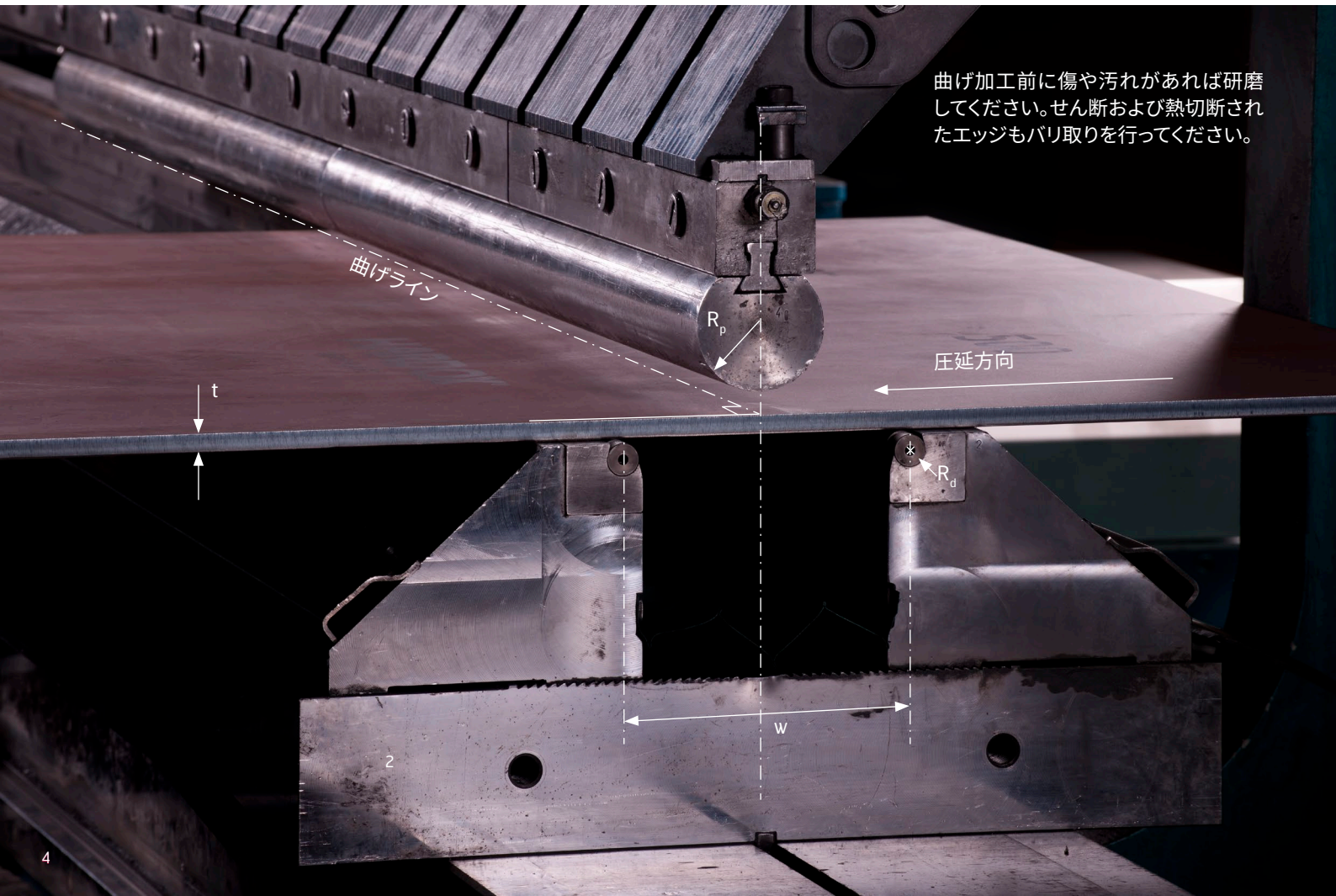
優れた曲げ加工を実現するには、不純物が少ない高純度の鋼材が不可欠です。SSABの最新設備により、高い水準の表面品質、公差、機械的特性を提供しています。

曲げ加工前の準備

- 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、圧延方向に平行な曲げラインよりも、板をきつく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。表面の傷やダメージは割れの原因となるため、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。できれば、曲げラインに対して直角に傷をグラインダー除去してください。
- 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して角とりをしてください。
- 曲げ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。
- 曲げ金型とその設定が、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ます。

図1 圧延方向に対して直角に曲げる。

金型へのダメージを防ぐため、受け型のエッジは常に曲げる鋼板と同じ硬度、またはそれよりも硬度が高い必要があります。
金型のエッジに溝を作り、その溝に硬化鋼などの滑りをよくするための丸棒をはめ込むのが簡単な方法です。
金型エッジの半径は、少なくとも板厚の半分は必要です。



曲げ加工前に傷や汚れがあれば研磨してください。せん断および熱切断されたエッジもバリ取りを行ってください。

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。有資格者のみが機械の近く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金型の底についていないことを確認します。
- 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、そして一般的に推奨される最小押し型径は、鋼材の強度に比例して増加します。
- 多くのHardox®厚板鋼板では、圧延方向に対して直角に鋼板の刻印がされています。割れのリスクを避けるため、この刻印の箇所に曲げラインがこないようにしてください。
- 過度のブラスト処理は、曲げ加工性に悪影響を及ぼす可能性があります。Hardox®鋼板製品に関する推奨事項は、ブラスト処理および防錆塗装処理を施した鋼板で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、特に板厚が20 mm (0.787”) を超える場合、曲げ加工性に悪影響を及ぼす可能性があります。
- 曲げる材料への熱影響を避けるため、可能な限り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、曲げ加工圧は少なくて済みますが、スプリングバックが大きくなります。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、金型を変形させることなく、選択した押し型と鋼板が金型内に収まる十分なスペースがあることを確認してください。金型の開き幅の最小推奨値については、表2および表3をご覧ください。

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リスクをへらすことができます。

押し型

パンチ曲げ率半径は受け型の開き幅と並んで最も重要なパラメーターです。高強度鋼板を曲げる場合、最終的な内径はパンチの半径よりやや小さくなることがあります (図3)。鋼板と金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。

図2 曲げ加工。

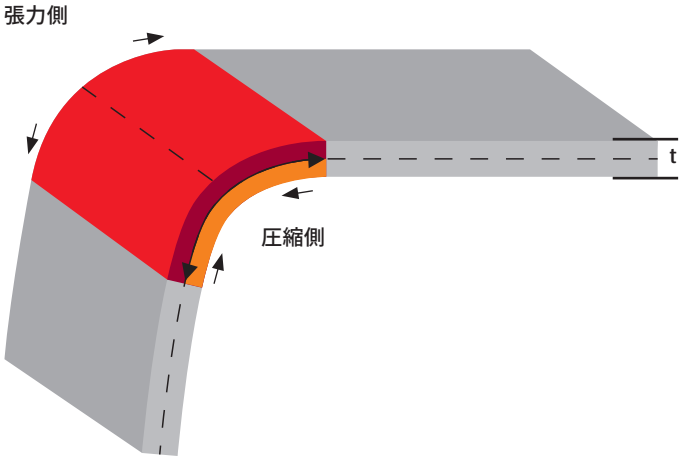
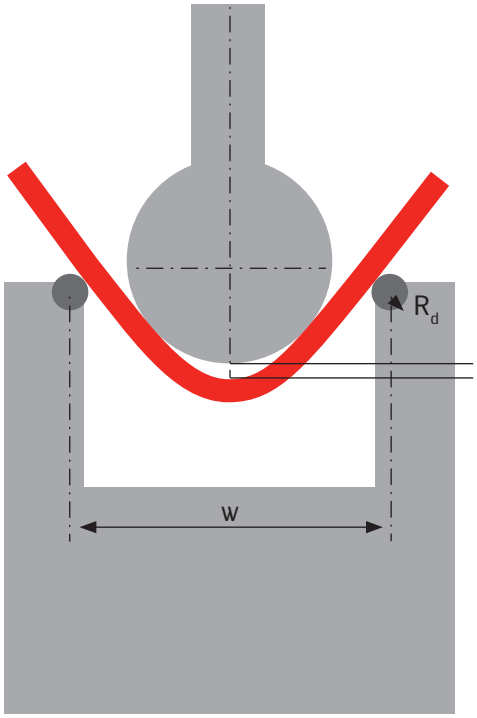


図3 曲げ加工時の鋼板の間隔。



押し型の状態

高強度のHardox®耐摩耗鋼板の曲げ加工では、耐摩耗鋼板と金型の接触圧が増加するため、金型の摩耗が多少増加します。押し型と受け型のRの両方の状態を定期的に確認してください。対象加工品内部に亀裂が入った曲げの場合、多くの場合、亀裂は曲げの圧縮側から広がっています（図2）。これは多くの場合、押し型の状態が悪いことが原因です。曲げ型の端は清潔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

高強度鋼を曲げる場合、強い押し圧が必要になります。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ひっかかり、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、しっかりと金型を固定してください。金型エッジに潤滑剤を塗布するか、回転金型エッジ半径を使用すると、スティックスリップを回避し、ポンチ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曲げ加工機の弾性たわみを補正します（図4）。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）。板厚上の応力分布は縦応力の原因となります。このような応力がプロファイルに歪が生じます。歪の程度は主にフランジの高さとプロファイル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 直線プレス仕上げ
B 曲げ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、金型幅、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。

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

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

SSAB Bending Formula©は90°の曲げ試験で検証されています（図5参照）。

スプリングバック

スプリングバックは、鋼材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、スプリングバックのとなって現れます。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ディ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。より厚みの小さい鋼板や薄板（t < 10 mm（0.394”））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。

Hardox®鋼種	引張強度代表値（MPa）
Hardox® 400	1250
Hardox® 450	1400
Hardox® 500	1650
Hardox® 500 Tuf	1600
Hardox® HiTemp	1250
Hardox® HiAce	1400

表1 曲げ力を計算するための引張強度代表値。

Hardox®耐摩耗鋼板の適切な曲げ設定を行うには、SSAB BendCalcアプリのご利用をご検討ください。スプリングバックとポンチ深さを予測する初のソフトウェア！

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：

- 最大曲げ圧
- スプリングバック
- 受け型の深さ
- 最大ストローク時開き角度
- 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。
- 受け型開き幅 - 開き幅が大きいほどスプリングバックが大きくなります。
- 材料のひずみ硬化。

曲げ加工に関する推奨事項

曲げ試験とその評価には多少の違いがあります。Hardox®厚板鋼板の場合の押し型Rと厚板/薄板の板厚（R/t）の最小推奨関係は表2に、薄板に対応する推奨事項は表3に示します。これらの曲げ推奨事項は曲げ処理後の90°ワンステップ曲げ試験に基づきます。受け型の開き幅はガイドラインであり、若干の誤差が生じても曲げ加工の結果に影響はありません。

その他の素材に関する情報および技術情報の詳細については、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。Hardox®はHardox®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。

HARDOX®耐摩耗鋼板、曲げに関する推奨事項

表2 Hardox®耐摩耗鋼板の曲げ保証は、丸金型および一般的な摩擦（グリースなし）曲げ推奨事項
R/tはパンチ径（R）÷鋼板の板厚（t）。

Hardox®鋼種	板厚レンジ [mm]	圧延方向に対して直角 最小Rp/t	圧延方向最小Rp/t	金型開き幅（W）最小W/t
Hardox® 400	t<8	2.5	3.0	12
	8 ≤ t < 20	3.0	4.0	14
	20 ≤ t < 50	4.0	5.0	16
Hardox® 450	t<8	3.0	3.5	12
	8 ≤ t < 20	3.5	4.5	14
	t ≥ 20	4.5	5.0	16
Hardox® 500	t<8	3.5	4.5	12
	8 ≤ t < 15	4.0	4.5	14
	15 ≤ t < 20	4.5	5.0	14
	t ≥ 20	5.5	6.0	16
Hardox® 500 Tuf	t< 8	3.0	3.5	12
	8 ≤ t < 20	3.5	4.5	14
	t ≥ 20	4.5	5.0	16
Hardox® 550	8 ≤ t < 65	SSABの技術サポートにお問い合わせください		
Hardox® 600	6 ≤ t < 65	SSABの技術サポートにお問い合わせください		
Hardox® HiTemp	t < 8	3.0	3.5	12
	8 ≤ t < 20	3.5	4.5	14
	t ≥ 20	4.5	5.0	16
Hardox® HiAce	t< 8	3.0	3.5	12
	8 ≤ t < 20	3.5	4.5	14
	t ≥ 20	4.5	5.0	16

Hardox®鋼種	板厚レンジ - インチ	圧延方向に対して直角最小 Rp/t	圧延方向最小Rp/t	金型開き幅（W）最小W/t
Hardox® 400	t< 0.315”	2.5	3.0	12
	0.315” ≤ t < 0.787”	3.0	4.0	14
	0.787” ≤ t < 1.969”	4.0	5.0	16
Hardox® 450	t< 0.315”	3.0	3.5	12
	0.315” ≤ t < 0.787”	3.5	4.5	14
	t ≥ 0.787”	4.5	5.0	16
Hardox® 500	t< 0.315”	3.5	4.5	12
	0.315” ≤ t < 0.591”	4.0	4.5	14
	0.591” ≤ t < 0.787”	4.5	5.0	14
	t ≥ 0.787”	5.5	6.0	16
Hardox® 500 Tuf	t< 0.315”	3.0	3.5	12
	0.315” ≤ t < 0.787”	3.5	4.5	14
	t ≥ 0.787”	4.5	5.0	16
Hardox® 550	0.315” ≤ t < 2.560”	SSABの技術サポートにお問い合わせください		
Hardox® 600	0.236” ≤ t < 2.560”	SSABの技術サポートにお問い合わせください		
Hardox® HiTemp	t < 0.315”	3.0	3.5	12
	0.315” ≤ t < 0.787”	3.5	4.5	14
	t ≥ 0.787”	4.5	5.0	16
Hardox® HiAce	t< 0.315”	3.0	3.5	12
	0.315” ≤ t < 0.787”	3.5	4.5	14
	t ≥ 0.787”	4.5	5.0	16

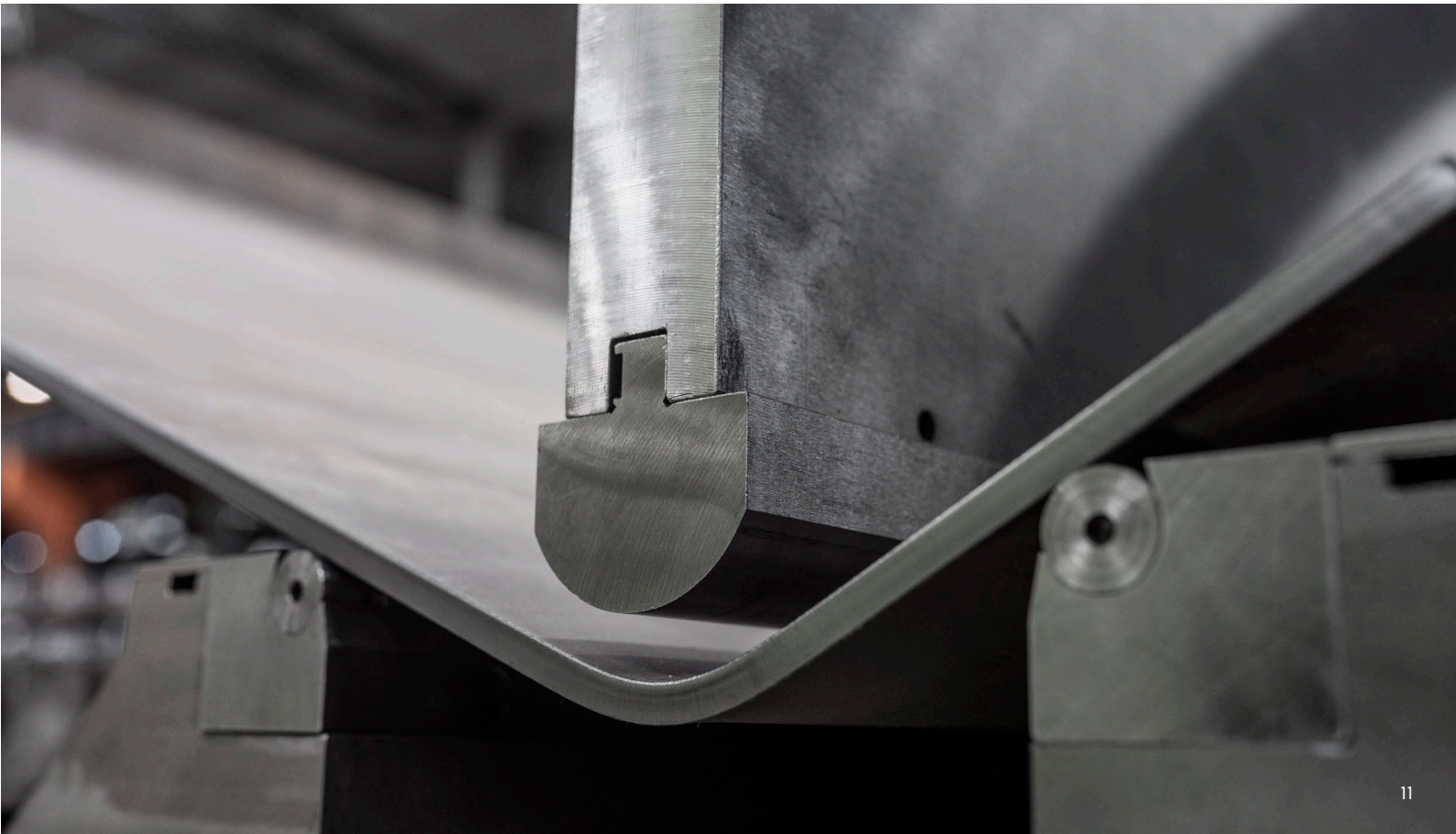
HARDOX®耐摩耗薄板鋼板、曲げに関する推奨事項

表3 Hardox®耐摩耗薄板鋼板の、丸金型および一般的な摩擦（グリースなし）での曲げ推奨条件。
1）R/tはパンチ曲げ率半径（R）÷鋼板の板厚（t）。

Hardox®鋼種	板厚レンジ [mm]	圧延方向に対して直角最小 Rp/t	圧延方向最小Rp/t	金型開き幅（W）最小W/t
Hardox® 400	2 ≤ t < 4	3.0	4.0	12
	4 ≤ t ≤ 8	3.0	3.5	12
Hardox® 450	2 ≤ t < 4	3.0	4.0	12
	4 ≤ t ≤ 8	3.0	3.5	12
Hardox® 450 CR	0.8 ≤ t ≤ 2.1	4.0	4.0	12
Hardox® 500 Tuf	3 ≤ t < 4	3.0	4.0	12
	4 ≤ t ≤ 6.4	3.0	3.5	12
Hardox® 500	2 ≤ t ≤ 7	3.5	4.0	12
Hardox® 600	3 ≤ t ≤ 6	SSABの技術サポートにお問い合わせください		

Hardox®鋼種	板厚レンジ - インチ	圧延方向に対して直角最小 Rp/t	圧延方向最小Rp/t	金型開き幅（W）最小W/t
Hardox® 400	0.079” ≤ t < 0.157”	3.0	4.0	12
	0.157” ≤ t ≤ 0.315”	3.0	3.5	12
Hardox® 450	0.079” ≤ t < 0.157”	3.0	4.0	12
	0.157” ≤ t ≤ 0.315”	3.0	3.5	12
Hardox® 450 CR	0.031” ≤ t ≤ 0.083”	4.0	4.0	12
Hardox® 500 Tuf	0.118” ≤ t < 0.157”	3.0	4.0	12
	0.157” ≤ t ≤ 0.252”	3.0	3.5	12
Hardox® 500	0.079” ≤ t ≤ 0.276”	3.5	4.0	12
Hardox® 600	0.118” ≤ t ≤ 0.236”	SSABの技術サポートにお問い合わせください		

[1] 最終的な仕上がりおよび鋼板と押し型との間隔は、金型の幅、グリース/摩擦条件、曲げ角度など、さまざまな要因に影響されます。



HARDOX®
WEAR PLATE

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ざして、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ソーシャルメディアでSSABをフォロー：
Facebook, Instagram, LinkedIn, Twitter, YouTube.

Explore the world of Hardox® wear plate

105 - En - Bending Hardox® - V3 - 2023 - AplusM - Österbergs Tryckeri

SSAB
SE-613 80 Oxelösund
Sweden

T +46 155 25 40 00
Fax +46 155 25 40 73
contact@ssab.com

www.hardox.com

Hardox®はSSABグループ企業の商標です。著作権を保持しています。本パンフレットに記載されている情報はあくまで一般的な情報です。SSAB ABはいかなる用途に対する適性に関しても一切の責任を負いません。利用者は全製品および/また用途の適性を独自に判断し、試験および検証する責任があります。以下の情報はSSAB ABが「現状」で提供するものであり、情報に係る全リスクは利用者が負います。

Copyright © 2023 SSAB AB.著作権を保持しています。

SSAB