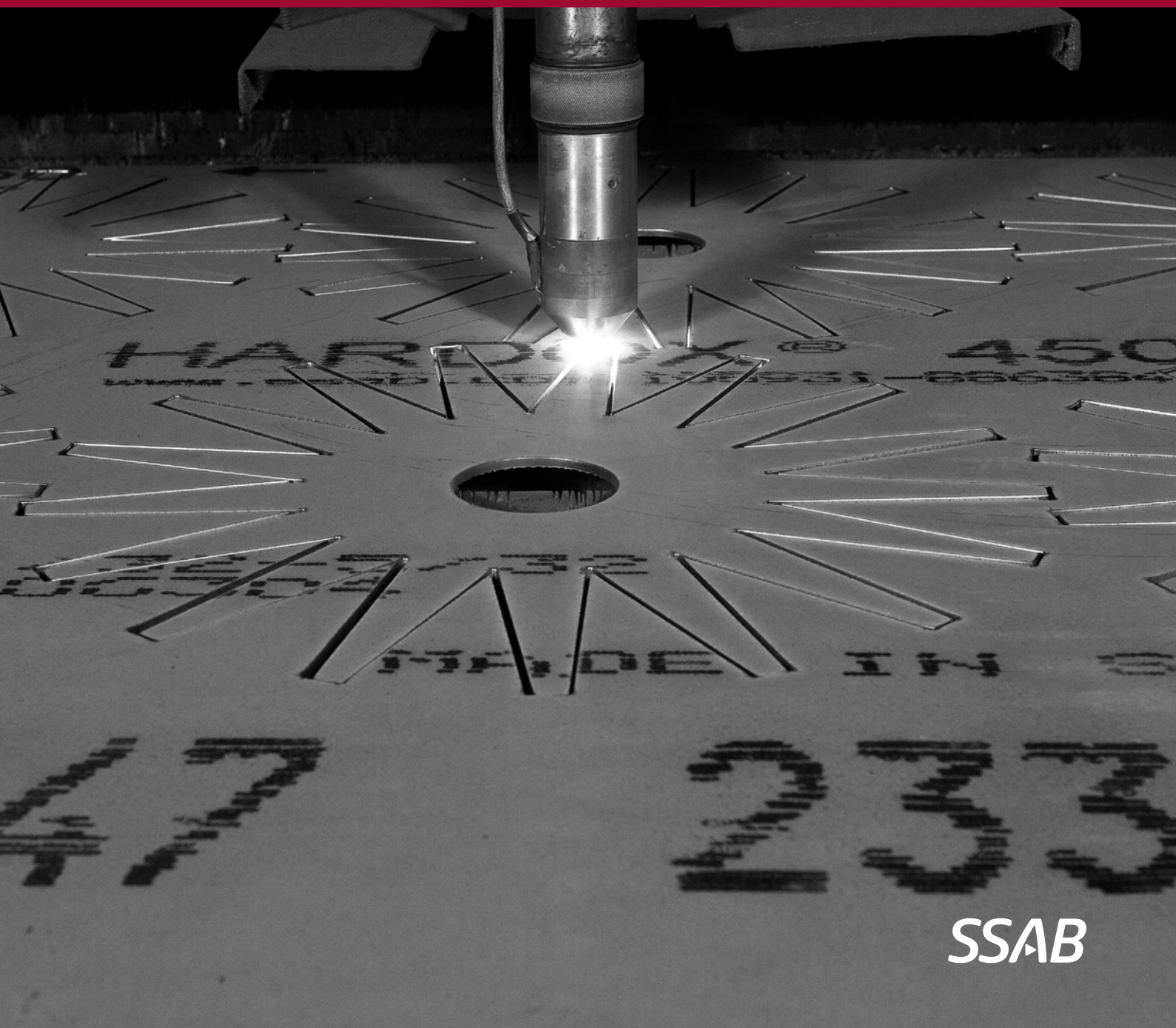


HARDOX®
WEAR PLATE

절단 HARDOX®



SSAB

목차

Hardox® 내마모 강판의 절단	3
절단 방식	4
산소 절단	4
플라스마 절단	5
레이저 절단	6
열 영향부(HAZ)의 경도 분포	7
절단 시의 위험	8
수소 균열	8
수소	12
수소 균열 방지 대책	12
예열	13
후열	14
저속 절단	15
저속 냉각	15
경도 저하	16
경도 손실 줄이기	17
유용한 정보	18
강판 취급	18
예열 및 후열	19

HARDOX® 내마모 강판의 절단

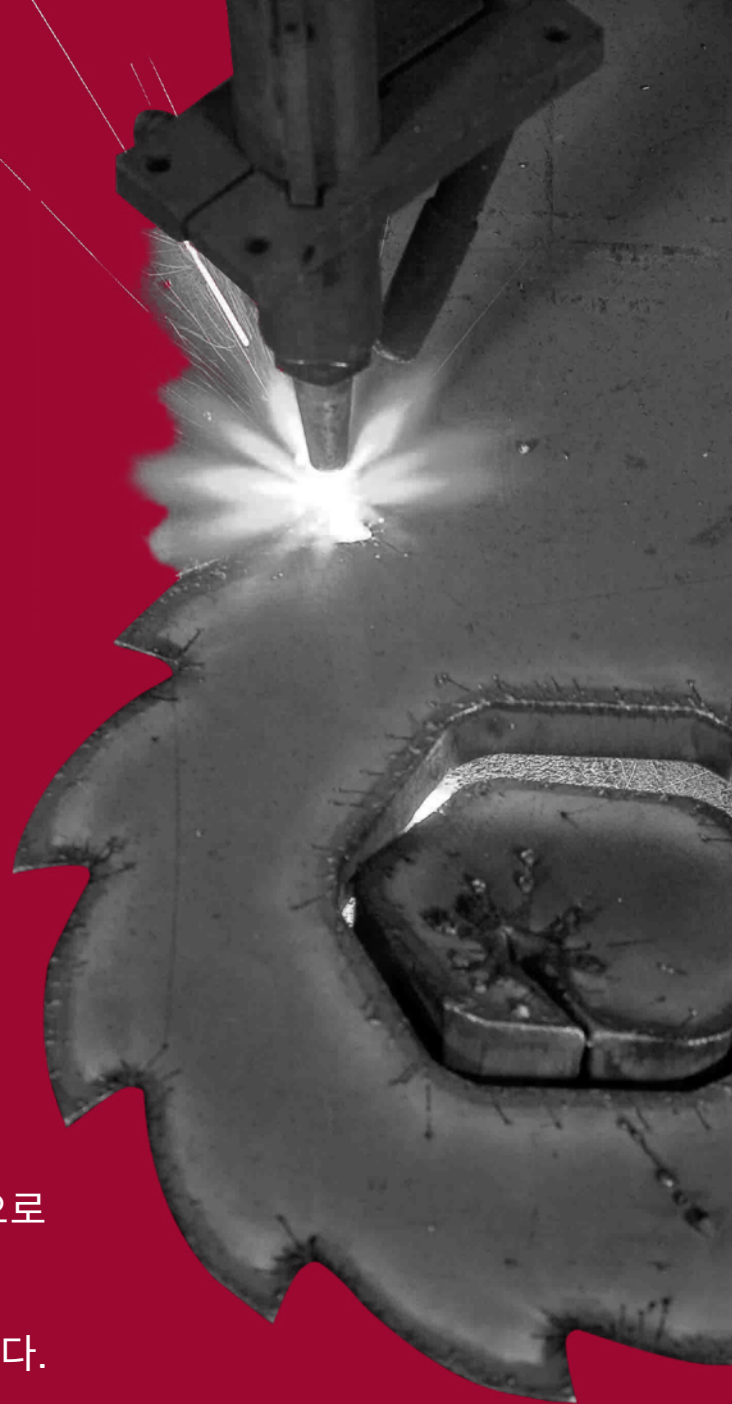
HARDOX® 강종

Hardox® 강종은 산소 절단, 플라스마 절단, 레이저 절단 등을 포함한 모든 열 절단 방식으로 절단할 수 있습니다. 당연히 연마제를 이용한 워터 제트(AWJ) 절단이나 톱 절단 등의 여러 가지 상온 절단 방식으로 절단할 수 있습니다.

Hardox® 강종은 합금 함량이 적고 불순물 함유량이 매우 낮아 열 절단 성능이 매우 좋습니다. 레이저 커팅의 속도를 높이는데 도움이 되는 특성들에는 제품의 두께 공차가 매우 작고 판재의 표면이 미려하다는 점입니다. 많은 Hardox® 강종들은 일반적인 두께일 경우 연강과 동일한 매개변수를 사용하여 열 절단을 할 수 있습니다. 하지만, 일부 두께의 경우에는 수소 균열 위험을 최소화하기 위해 매개 변수들을 조정해야 합니다. 본 강재의 특성과 관련하여 알아야 할 기타 사항들은 다음과 같습니다:

- ▶ 절단 공정으로 인해 강재 중 열 영향을 받는 부분 – 열 영향부(HAZ) – 기계적 물성치 변화.
- ▶ 열 절단으로 인한 변형. Hardox® 후판 제품은 일반 강재보다 내부 응력이 더 높기 때문에 열 절단 시 움직이는 양이 더 많을 수 있습니다.

최대 355 MPa의 항복 강도를 가진 비합금강 및 저합금강과 동일하게 다양한 열 절단 방법에 적용하는 가스를 선택해 사용하십시오. 열 절단 방법에 적합한 다양한 가스 조합들 및 적용할 파라미터들이 있습니다. SSAB는 이와 관련하여 Hardox® 강종에 대한 별도의 추가적인 권장사항은 없습니다. 전단 및 펀칭과 같은 냉간 절단 방식은 Hardox® 400 및 Hardox® 450 제품의 강판 두께 최대 10 mm(0.394")까지만 가능합니다. AWJ 절단은 HAZ를 발생시키지 않기 때문에 부품의 기계적 속성을 유지하는데 좋은 냉간 절단 방식입니다.





절단 방법

산소 절단

Hardox® 내마모강재는 산소 절단 공정을 통해 손쉽게 절단할 수 있습니다. 산소 절단의 특징은 재료 두께에 거의 제한이 없기 때문에 두께가 최대 1000 mm(39.370")인 재료까지도 절단할 수 있습니다. 10 mm(0.394")이상 제품의 절단에 권장됩니다. 두께가 이보다 얇은 소재들은 플라스마 또는 레이저 절단과 같이 열 영향을 적게 주는 절단 방법을 통해 변형 및 경도 손실 위험을 최소화 해야 합니다. 산소 절단의 일반적인 특징은 표 1에서 확인할 수 있습니다.

흔히 경도가 높은 강재를 절단하려면 절단 산소 압력이 더 높아야 한다고 오해하고 있습니다. 산소 절단은 강재의 경도와 상관 없이 절단 성능을 유지할 수 있는 열절단 공정입니다. Hardox® 내마모 강판은 저합금 강재이므로, 강재의 높은 청정도와 함께 절단 작업을 용이하게 하는데 도움이 됩니다.

절단 방법	절단선 폭	열 영향부(HAZ)	절단 치수 공차
산소 절단	2-5 mm(0.079-0.197")	4-10 mm(0.157-0.394")	± 2.0 mm(0.079")

표 1: 산소 절단의 일반적 특징.

플라즈마 절단

Hardox® 강재는 플라즈마 절단 공정을 이용해 쉽게 절단할 수 있습니다. 플라즈마 절단은 재료 두께에 제한이 있습니다. 절단할 제품의 두께 50 mm(1.969") 미만에 대해 주로 사용됩니다 (플라즈마 절단기 성능에 따라 다름). 플라즈마 절단의 일반적인 특징은 표 2에서 확인할 수 있습니다.

그림 1은 절단 속도를 플라즈마 절단에 사용할 수 있는 전력과 재료 두께의 함수로 나타낸 것입니다.

Hardox® 내마모강을 플라즈마로 절단할 경우 일반 연강과 비교해 다른 점은 없습니다. 플라즈마 절단 방법은 산소 절단과 비교 시 예열이나 후열 처리의 필요성이 감소합니다. 그러나 플라즈마 가스로 산소를 사용하여 두꺼운 Hardox® 후판을 플라즈마 절단할 경우에는 예열 또는 후열이 필요할 수도 있습니다. 이 경우는 산소 절단(표 6)과 동일한 매개변수를 사용하여 절단면의 균열을 방지하십시오.

절단 방법	절단선 폭	열 영향부(HAZ)	절단 치수 공차
플라즈마 커팅	2-6.5 mm(0.079-0.256")	2-6.5 mm(0.079-0.256")	± 1.0 mm(0.039")

표 2: 산소 절단의 일반적 특징.

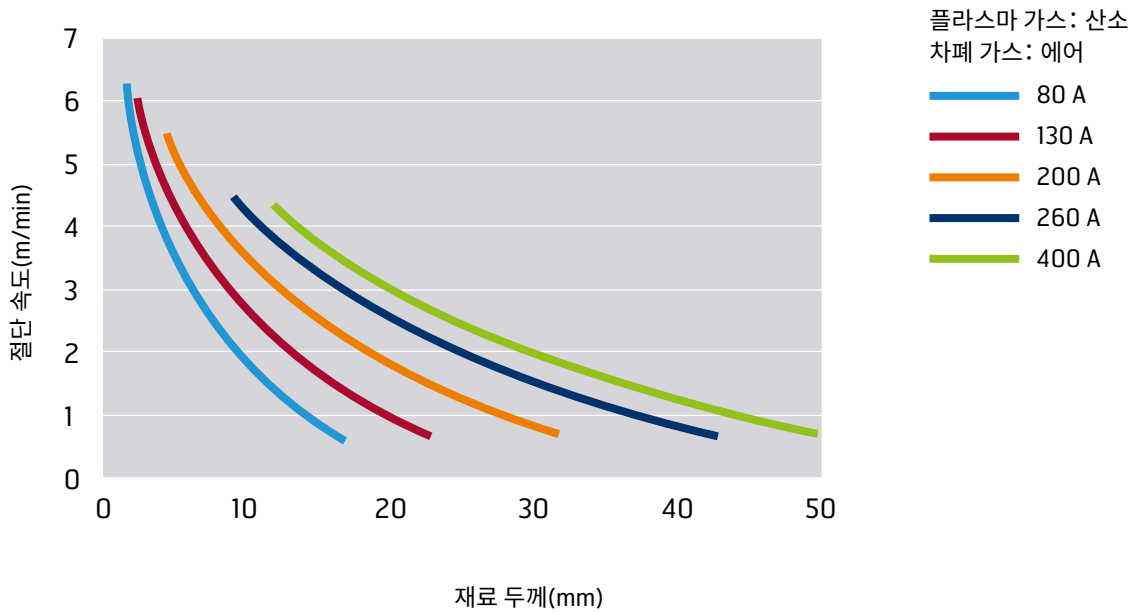


그림 1: 플라즈마 전원 파워에 따른 일반적인 절단 속도.





레이저 절단

Hardox® 소재에 대한 레이저 절단은 소재 두께에 따라 정해진 일반적인 공정 매개변수를 사용하여 쉽게 절단할 수 있습니다. 레이저 절단 장비의 성능에 따라 차이가 있으나 두께는 최대 약 30 mm(1.181")까지입니다. 가장 일반적인 절단 두께는 25 mm (0.984") 미만 제품입니다. 레이저 절단의 일반적인 특징은 표 3에서 확인할 수 있습니다.

레이저 절단의 장점 중 하나는 높은 절단 속도입니다. 그림 2는 절단 속도를 재료 두께, 레이저 유형 및 레이저 출력의 함수로 나타낸 것입니다.

두께가 비교적 얇고 열 영향이 작기 때문에 Hardox® 강재를 레이저로 절단할 경우 예열 또는 후열이 필요하지 않습니다. 예열은 절단면 품질 유지에 오히려 악영향을 끼칩니다.

Hardox® 강재는 일반 연강과 비교 시 레이저 절단에는 차이가 없으므로, 동일한 공정 매개변수를 사용해 절단할 수 있습니다. 표면의 프라이머는 절단 속도를 감소시키지만, 프라이머를 먼저 기화시킨 다음 최대 속도로 윤곽을 절단하여 이를 해결할 수 있습니다.

절단 방법	절단선 폭	열 영향부(HAZ)	절단 치수 공차
레이저 절단	< 1 mm(0.039")	0.2-2 mm(0.008-0.079")	± 0.2 mm(0.008")

표 3: 레이저 절단의 일반적인 특징.

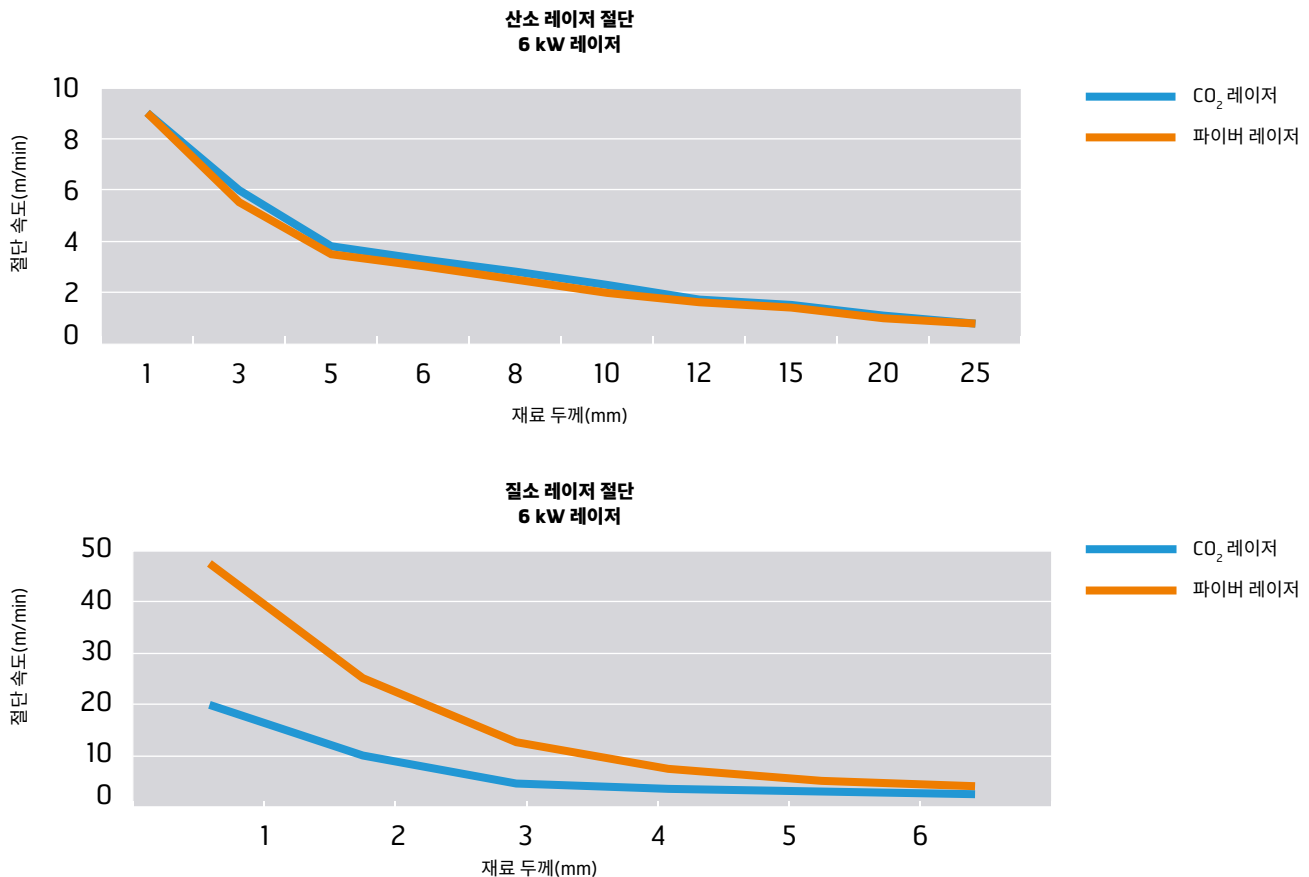


그림 2: 레이저 절단 속도.

열 영향부(HAZ)의 경도 속성

HAZ의 속성은 다음에 따라 달라집니다:

- ▶ 제조 시 강재의 템퍼링 여부 및 템퍼링된 경우 해당 수행 방식
- ▶ 강재의 화학적 조성
- ▶ 열 절단 공정으로 발생한 열 영향

절단 공정에서 수반되는 열 영향이 증가함에 따라 HAZ의 폭은 증가합니다. 예를 들어, 동일한 파워로 절단하면서 절단 속도가 낮으면 HAZ가 더 넓어집니다. 열 절단 방식마다 열 영향이 다르기 때문에, 이에 따라 HAZ 폭은 넓어지거나 좁아집니다. 산소 절단은 플라즈마 절단 및 레이저 절단 다음으로 열 영향이 가장 높습니다. 그림 3은 다양한 열 절단 방식을 사용하여 절단된 Hardox® 강종의 HAZ를 보여 줍니다.

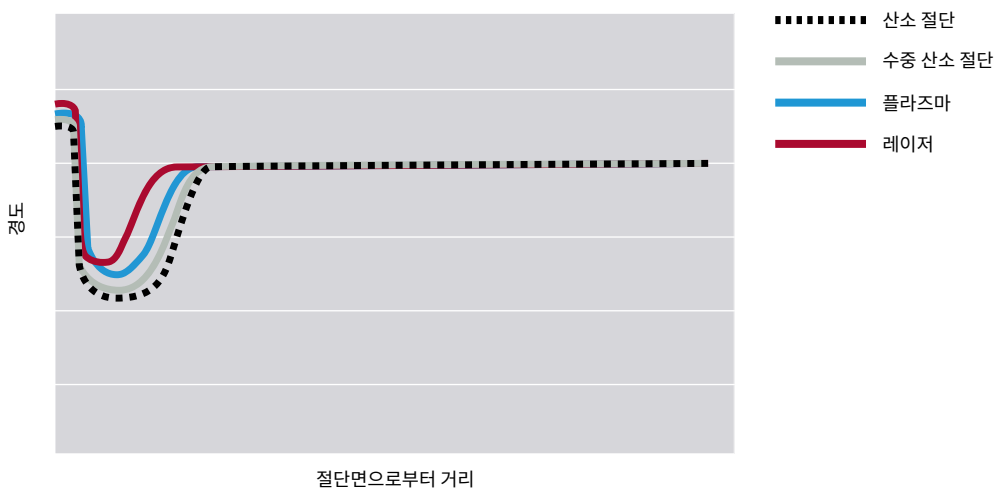


그림 3: 다양한 절단 방식으로 Hardox® 내마모강재를 열 절단한 후 HAZ의 개략적인 경도 추이.

CUTTING RISKS

수소 균열

컷 엣지 균열은 용접부에서 발생하는 수소 균열과 매우 비슷한 현상으로, 열 절단 방법을 사용할 때 가장 흔하게 발생합니다. 절단면에서 균열이 발생하면 절단 후 48시간에서 최대 몇 주 사이에 육안으로 확인할 수 있습니다. 컷 엣지 균열의 위험성은 표 4와 같이 강재의 경도와 강판 두께가 커짐에 따라 증가합니다. 일반적으로 컷 엣지 균열은 열 절단 공정에서 발생하지만, 경도가 매우 높은 재료의 톱 절단 또는 연마제를 이용한 워터 제트 절단에서도 발생할 수 있습니다.

첫 번째 균열 형성 단계에서는 작은 균열이 강판 중앙 부위에 형성된 후 HAZ를 따라 수평으로 이어집니다. 이러한 균열은 절단면 바로 안쪽에 형성되며 일반적으로 절단 후 몇 시간 내에 나타납니다. 이 단계에서는 육안으로 균열을 확인할 수 없습니다.

일반적으로 2~3일 후에 발생하는 두 번째 단계에서 균열은 절단면 표면으로 확산되며 일반적으로 최대 5-10 cm(1.969-3.937")의 더 긴 수평 균열선을 형성합니다.

일반적으로 몇 주 후에 세 번째 단계가 발생할 수 있습니다. 이 때는 균열 확산이 계속되고 방향이 변하면서 후판재의 표면까지 진행되게 됩니다. 수직 균열은 드물기는 하지만, 강재의 경도와 두께가 높아지면서 수직 균열의 위험성은 더 증가하게 됩니다. 절단으로 인한 발생하는 수소 균열은 그림 4에 묘사되어 있습니다.

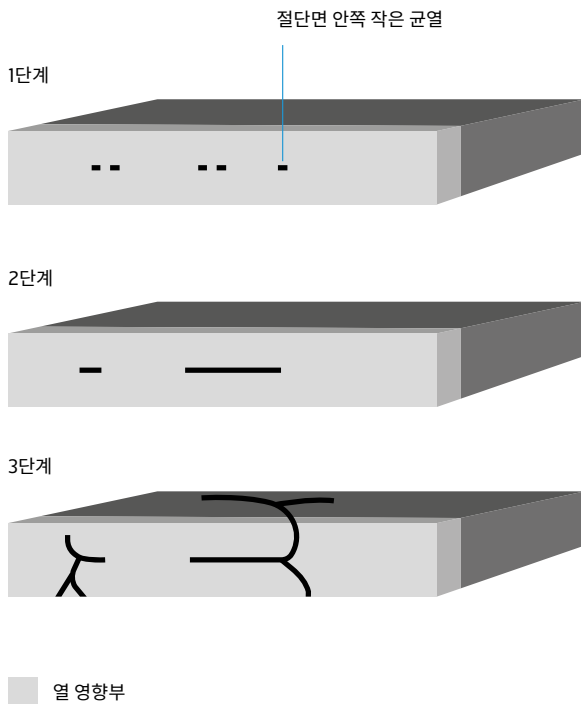
표 4: 열 절단에 따른 절단면 균열에 대한 민감성

강판 두께 mm (in.)	10 (0.394)	15 (0.591)	20 (0.787)	30 (1.181)	40 (1.575)	50 (1.969)	60 (2.362)	70 (2.756)	80 (3.150)	90 (3.543)	100 (3.937)	125 (4.921)	160 (6.299)
Hardox® HiTemp													
Hardox® HiTuf													
Hardox® 400													
Hardox® 450													
Hardox® HiAce													
Hardox® 500													
Hardox® 550													
Hardox® 600													
Hardox® Extreme													

	민감하지 않음
	약간 민감함
	상당히 민감함
	매우 민감함



그림 4: 절단면 및 주변에서의 수소 균열 형성.



강판을 부품으로 절단하면 공급된 제품 상태에서의 잔류 응력이 더 작아집니다. 부품이 크기가 작을수록 제품 인도 상태의 잔류 응력은 더 줄어들게 됩니다. 매우 작은 소형 부품의 경우에는 열 절단 공정에서 발생하는 잔류 응력만 남게 됩니다. 또한 소형 부품은 대형 부품보다 절단 길이가 더 짧습니다. 따라서 소형 부품이 더 유리합니다. 절단된 부품의 크기가 작을 수록 균열은 생기지 않습니다(표 5).

비스듬한 절단면이 직각 절단면보다 옛지 균열에 더 취약합니다.

확률적 특성으로 인해 열 절단면에서의 균열은 정확하게 예측할 수 없습니다. 그러나 어느 절단 공정을 선택하느냐에 따라 균열이 발생할 가능성에 큰 영향을 줄 수 있습니다.

수소 균열이 발생하려면 강재에 동시에 세 가지 조건이 작용해야 합니다. 해당 조건들은 다음과 같습니다:

- ▶ 상대적으로 높은 합금 원소 함량.
- ▶ 높은 인장 응력.
- ▶ 상대적으로 높은 소재 내 수소 함유량.

이러한 인자들은 서로 간에 상호작용합니다. 이러한 요인들의 수준을 적절히 낮게 유지하면 수소 균열의 위험을 최소화할 수 있습니다.

표 5: 영향을 미치는 부품의 크기에 따른 절단면 균열 가능성

부품 크기	200x200 mm (7.874x7.874")	400x400 mm (15.748x15.748")	800x800 mm (31.496x31.496")	1600x1600 mm (62.992x62.992")	더 큰 크기
단일 부품의 상대적 절단면 균열 위험성	1	10	100	1000	5000

강재의 합금 원소에 의한 영향

합금 원소에 의한 영향은 용접에서와 같이 열 절단도 동일합니다. 이는 강재의 탄소 당량이 높을 수록 수소균열에 대한 민감도가 증가한다는 것을 의미합니다. 일반적으로 탄소 당량은 Hardox® 강종의 두께와 경도, 강도가 증가함에 따라 증가합니다.

그 결과:

- ▶ 경도가 높아짐에 따라 Hardox® 강종의 절단 관련 제약 조건들이 더 많아집니다.

두께가 더 두꺼운 Hardox® 강종의 경우 절단 시 수소 균열의 위험을 최소화하기 위해 더 많은 제약 조건들이 있습니다.

특정 합금들은 수소 균열 형성을 촉진할 수 있습니다. 이러한 원소들의 함량 수준이 높아지면 강재의 크랙 발생에 대한 민감도가 증가하므로, 수소 균열의 위험을 최소화하기 위해 더 많은 절단 제약 사항들이 필요하게 됩니다.

Hardox® 내마모강의 수소 균열을 방지하기 위한 권장사항은 SSAB에서 자체적으로 실시한 세심한 평가를 바탕으로 합니다. 이 연구들의 목적은 각 Hardox® 강종들의 개별 특성과 관련하여 최적화된 권장 사항들을 확보하기 위한 것입니다.

SSAB의 권장 사항에 대한 보완 자료로 다른 일반 모델을 사용하여 다양한 유형의 고장력강의 수소 균열에 대해 평가할 수 있습니다. 기존 확립된 모델들은 해당 후판 제품의 화학 성분 함량에 따라 계산되는 탄소 당량에 따른 특정 강재의 수소균열에 대한 저항성을 설명합니다. 탄소 당량이 낮을수록 수소균열에 대한 저항성이 높습니다.

탄소 당량에 대한 여러 모델이 존재하며 각 공식은 특정 강재에 기반한 연구에서 파생되었습니다. 가장 일반적으로 활용되는 국제적인 탄소 당량은 CET 및 CEV 모델을 따릅니다.

SSAB는 Hardox® 내마모강의 경우는 CET 공식을 선호합니다. 이 탄소 당량이 특히 Hardox® 내마모 강판과 같은 고장력강에 적합하게 설계되어 있기 때문입니다. CEV 공식 역시 고장력강에 적용됩니다. 그렇지만 이 강종의 탄소 당량은 Hardox® 내마모강보다 강도가 낮은 비합금강 및 저합금강 제품들에 중점을 두고 있습니다.

CET 및 CEV 값 계산을 위한 공식은 아래에 정의되어 있습니다. CEV의 동의어 명칭은 CE입니다. 탄소 당량을 계산하기 위해서는 강판의 품질 검사 성적서에 명시된 합금 함량을 사용해야 합니다. 모든 합금 원소는 아래에 제시된 공식에서 백분율로 표시되어 있습니다.

CET = C + (Mn + Mo) / 10 + (Cr + Cu) 20+ Ni / 40 [%] 공식 4.1

CEV = C + (Cr + Mo + V) / 5 + Mn / 6 + (Ni + Cu) / 15 [%] 공식 4.2

탄소 당량 계산은 수소 균열을 방지하기 위해 예열이 필요한지 여부 및 어느 정도 필요한지를 결정하기 위한 수단입니다. 이와 관련하여 예열 온도를 결정하는 방법은 CET 방법과 CEV 방법이 있으며, 이는 각각의 탄소 당량에 따릅니다. 이러한 두 가지 방법은 유럽 표준 EN1011-2에 설명되어 있습니다.



응력

절단으로 인한 인장 응력

절단 작업은 절단면 및 그 주변에서 균일하지 않은 열처리 결과를 초래합니다. 예를 들어 절단선에서의 거리가 멀어지면 절단 작업에서 강재의 피크 온도가 떨어집니다. 이러한 균일하지 않게 발생하는 열처리 효과로 HAZ부에서의 기계적 특성들이 달라지게 됩니다. 열 절단 방법은 항상 절단 영역 및 그 주변에서의 인장 응력을 초래합니다. Hardox® 내마모강을 열로 절단하면 HAZ가 발생하며, 이를 두 개의 영역으로, 즉 재퀸칭된 영역과 템퍼링된 영역으로 나눌 수 있습니다.

절단면으로부터 대략 1-2 mm(0.039 - 0.079") 떨어진 곳에 위치하는 HAZ의 외측 부분은 절단이 진행되는 동안 900°C(482°F) 이상으로 가열됩니다. 절단 토치가 통과한 후에는 열이 강판으로 빠르게 흡수 확산되면서, 영역 1의 재료가 빠르게 냉각되므로 강재가 재퀸칭(급냉)됩니다.

이 구역에서의 경도와 강도는 HAZ 부의 다른 부분 및 열영향을 받지 않는 모재의 경도보다 더 높습니다.

영역 1과 영향을 받지 않는 모재 사이에 위치한 영역 2는 절단이 진행되는 동안 900°C(1,652°F) 미만의 온도로 가열됩니다. 이 영역의 경도 값은 강종과 절단 성능에 따라 달라집니다. 이 영역의 강재는 절단 작업으로 인한 열에 의해 템퍼링(연화)됩니다.

냉각이 진행되는 동안, 영역 1은 두께 방향으로 확장하려고 하는 한편, 영역 2는 영향을 받지 않거나 심지어 수축됩니다. 그 결과, 잔류 인장 응력이 영역 2에서 두께 방향으로 생성됩니다. 이 영역이 수소 균열이 시작될 수 있는 인장 응력이 높은 영역입니다. 일반적인 경향은 이러한 응력 수준이 강판 두께가 두꺼울수록 높아집니다.

그림 5는 열 절단된 Hardox® 450 제품 HAZ부의 다른 영역들을 묘사합니다.

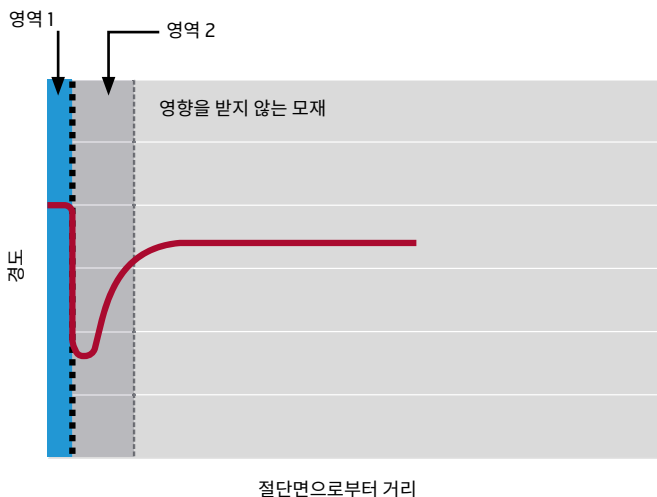


그림 5: Hardox® 450 제품의 열 절단에 따른 개략적인 HAZ부 경도 묘사.

전체적으로 작용하는 응력으로 인한 인장 응력

내마모강재는 퀸칭 공장에서 잔류 응력이 형성됩니다. 날카로운 코너를 가진 부품을 절단하면, 제조 공정에서의 잔류 응력이 코너 부위에 집중됩니다. 이렇게 집중된 응력은 수소 균열을 발생시키기에 충분할 정도로 높을 수 있으므로 날카로운 모서리가 있으면 절단면 균열의 위험이 증가합니다. 이는 열간 절단은 물론이고 AWJ 절단과 같은 냉간 절단 방법에도 해당되는 사항입니다. 다음의 조치들을 따르면 균열의 위험을 낮출 수 있습니다(그림 6):

1. 가능하다면, 부품의 안쪽으로 향한 날카로운 모서리를 피하십시오.
2. 가능하다면, 부드러운(유연한) 형상을 사용하십시오.
3. 부품의 날카로운 모서리를 피할 수 없다면, 가능할 경우 바깥쪽을 향하는 모서리 주변을 원형 루프 형태로 따십시오.
4. 작업 도중 절단 작업을 중단해야 하는 경우(예: 밤사이)는 일직선으로 깨끗하게 절단하여 응력을 증가시킬 수 있는 요인들을 제거하십시오.

Hardox® HiTuf 및 Hardox® HiTemp 제품을 제외하고 모든 Hardox® 강종은 날카로운 형상에서는 절단 엣지 균열에 민감하므로 주의해야 합니다.

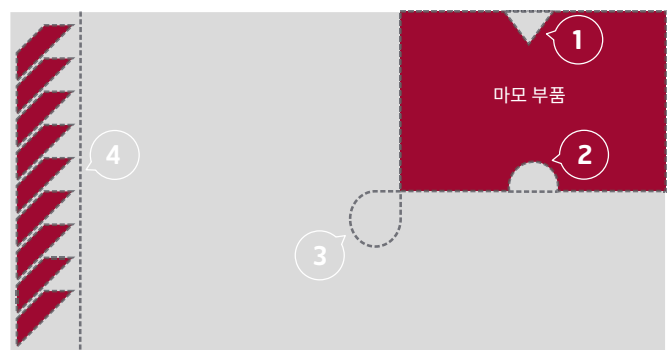


그림 6: 날카로운 코너 절단을 위한 적절한 절차. 안정적인 절단 작업을 위해 절단 경로가 교차하는 곳에서는 일반적으로 절단 속도를 감속해야 한다는 점을 고려하십시오.

수소

절단 균열은 수소와 밀접하게 연관되어 있습니다. 이러한 절단 균열은 절단 후 시간이 지나면서 발생합니다. 강판이 약 200°C(392°F) 정도로 뜨거운 상태에서는 균열이 발생하지 않습니다. 온도가 200°C(392°F) 미만으로 떨어지면 시간이 지나면서 균열이 발생할 수 있습니다. 균열이 발생하면 절단 후 몇 시간 후에 발생하며, 균열 형성 과정은 보통 2일 후에 완료됩니다. 최악의 경우에는 균열 시작이 몇 주가 지난 후 시작될 수도 있습니다. 수소는 강판에 용해되어 있습니다. 수소 함량이 낮을수록 강판의 균열에 대한 민감도는 낮아집니다. 강판이 수소를 전혀 함유하지 않고 있으면 절단으로 인한 균열은 발생하지 않습니다. 수소가 절단 균열을 일으키는 과정은 지금까지도 정확히 규명되지 않고 있습니다.

고온으로 절단하면 절단면은 절단 후 상대적으로 더 오랜 시간 온도를 유지합니다. 강재가 뜨거울수록 절단 부위 밖으로 수소가 더 빨리 확산됩니다. 약 100°C(212°F) 미만의 온도에서는 수소 확산이 너무 느리므로 별 의미가 없습니다. 강재가 몇 시간 동안 100°C(212°F) 이상으로 유지될 경우, 수소가 절단부에서 배출되므로 균열 위험이 줄어듭니다.



수소 균열 방지 대책

절단면에서 균열을 방지하려면 HAZ에서의 수소 함량과 인장 응력을 최대한 낮게 유지하는 것이 중요합니다.

다음과 같은 조치를 이용하여 HAZ에서의 잔류 응력은 물론 수소 함량을 최소화할 수 있습니다.

1. 강판의 예열
2. 후열 처리
3. 절단 속도 낮추기(산소 절단 시)
4. 예열, 후열 및 절단 속도 낮추기와 함께 HAZ 부의 냉각 시간을 연장함

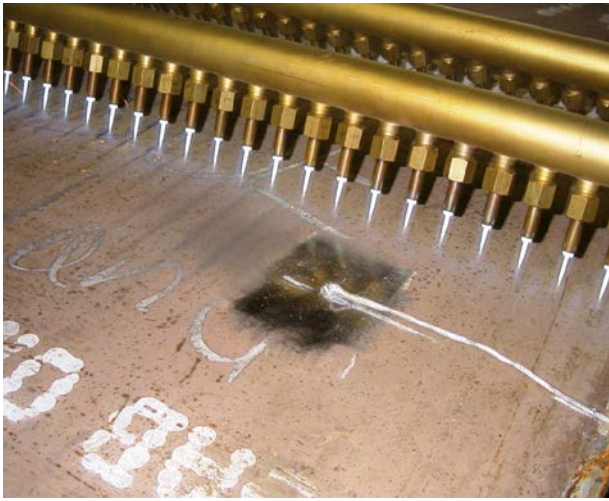


그림 7: 예열 랜스.

예열

절단 시 수소 균열을 방지하는 방법 중 하나는 판재를 예열하는 것입니다. 열을 가하면 더 많은 수소가 절단면에서 확산되어 나가게 되고, 절단면의 냉각 속도가 늦춰지며, 잔류하는 인장 응력도 낮아집니다. 예열은 산소 절단 및 플라즈마 절단 시 매질로 산소를 이용할 경우 절단 전에 실시하는 것이 바람직합니다.

모든 유형의 레이저 절단 및 질소를 이용한 플라즈마 절단의 경우는, 예열하면 절단면 품질에 부정적인 영향을 미치므로 권장하지 않습니다.

상황에 따라 강판의 일부 또는 강판 전체를 가열할 수 있습니다. 가장 흔히 사용되는 강판 예열 방법은 다음과 같습니다:

- ▶ 가열로에서 가열
- ▶ 예열 랜스로 가열
- ▶ 전기 매트로 가열

가열로를 이용한 예열은 강판 전체에 균일한 온도를 유지할 수 있기 때문에 판재를 예열하는 가장 좋은 방법입니다. 예열 랜스 역시 Hardox® 내마모 강판의 예열에 적용할 수 있습니다, 그림 7 참조. 이때 내마모강판의 온도가 최대 예열 온도를 초과하지 않도록 랜스를 움직이면서 실시하는 것이 중요합니다. 또한, 예열 온도는 예열이 실시되는 면의 반대편에서 측정합니다.

전기 매트는 천천히 예열하는 방식이므로, 150-200°C(302-392°F)로 예열하기 좋은 방법은 밤사이 예열을 실행해 놓은 후 다음날 아침에 절단을 시작하는 것입니다.

산소 절단을 위한 예열 권장사항들은 표 6을 참조하십시오.

표 6: Hardox® 강종의 산소 절단을 위한 예열 온도.

강종	강판 두께, mm(in.)	최소 예열 온도, °C(°F)	최대 예열 온도, °C(°F)
Hardox® HiAce	4 < 25 mm(0.157" < 0.984")	예열 불필요	
Hardox® HiTemp	5 – 51 mm(0.197 – 2.008")	예열 불필요	500(932)
Hardox® HiTuf	< 90 mm(< 3.543")	예열 불필요	300(572)
	≥ 90 mm(≥ 3.543")	100(212)	
Hardox® 400	< 45 mm(< 1.772")	예열 불필요	225(437)
	45-59.9 mm(1.772 – 2.358")	100(212)	
	60-80 mm(2.362-3.150")	150(302)	
	> 80 mm(> 3.150")	175(347)	
Hardox® 450	< 40 mm(< 1.575")	예열 불필요	225(437)
	40-49.9 mm(1.575-1.965")	100(212)	
	50-69.9 mm(1.969-2.752")	150(302)	
	≥ 70 mm(≥ 2.756")	175(347)	
Hardox® 500 Tuf	4 – 25.4 mm(0.157 – 1")	예열 불필요	
Hardox® 500	< 25 mm(< 0.984")	예열 불필요	225(437)
	25-49.9 mm(0.984-1.965")	100(212)	
	50-59.9 mm(1.969-2.358")	150(302)	
	≥ 60 mm(≥ 2.362")	175(347)	
Hardox® 550	< 20 mm(< 0.787")	예열 불필요	200(392)
	20-51 mm(0.787-2.008")	150(302)	
	> 51 mm(> 2.008")	175(347)	
Hardox® 600	< 12 mm(< 0.472")	예열 불필요	180(356)
	12-65 mm(0.472-2.559")	170(338)	
Hardox® Extreme*	8-19 mm(0.315-0.748")	100(212)	100(212)

* SSAB에서는 AWJ 절단을 더 권장합니다. 부득이 산소 절단만 가능할 경우에는 표 6의 권장 사항을 따르십시오.

후열

후열처리는 절단면 균열을 방지하기 위한 신뢰할 수 있는 방안입니다. 이는 가열로 또는 토치를 이용하여 수행할 수 있습니다. 부품을 절단한 후 가능한 한 빨리 후열 공정을 수행하는 것이 중요합니다. 절단 공정의 시작과 후열 처리의 시작 사이의 시간은 가능한 짧아야 하며, 절대로 60분을 초과하지 않도록 하십시오.

가열로를 사용해 가열할 때 온도는 표 6에 나열된 최대 허용 온도를 초과해서는 안 되며 강판은 이 온도에 도달할 때까지 가열로에 있어야 합니다. 강판 두께에 따라 홀딩 타임은 달라질 수 있습니다. 일반적으로 대략적인 후열 시간은 두께의 각 mm당 최소 5분이어야 합니다(예: 10 mm(0.394") 두께인 강판의 경우 50분). 가열로에서 후열하면 HAZ부에서의 수소 배출이 증가할 뿐만 아니라 HAZ에서의 인장 응력을 약간 낮출 수 있습니다.

토치를 사용할 때는(그림 9), 과열되지 않도록 주의해야 합니다. 절단면의 온도는 700°C(1,292°F)를 초과해서는 안 되며, 300 - 500°C(572-932°F)가 바람직합니다. 일반적으로 토치를 이용한 후열 처리는 수동으로 이루어지며, 이 경우 온도를 제어하는

방법을 아는 것이 중요합니다. 이는 토치로 가열하면서 절단면의 색상을 보면 알 수 있습니다, 즉 막 새빨간색을 띄기 시작해야 합니다(매우 진한 빨간색). 색깔이 밝은 체리 레드 또는 짙은 오렌지색이면 온도가 너무 높아서 후열 처리가 제대로 이뤄지지 않습니다, 그림 8을 참조하십시오.

또한 적외선 온도계로 불꽃이 닿는 절단면을 직접 조준하면서 온도를 제어할 수 있습니다(그림 10).

토치로 열을 가하면 HAZ부의 재퀀칭된 영역이 템퍼링(연화)되므로 절단면에서의 인장 응력을 낮출 수 있습니다. 사용되는 토치의 불꽃은 강도가 낮고, 비교적 큰 확산형 불꽃이어야 합니다. 이를 통해 열이 재료를 과하게 가열하지 않고도 내부로 깊이 잘 전달될 수 있습니다.



그림 8: 후열 처리용 토치가 지나간 뒤쪽 절단면 색상.



그림 9: 수동 후열 처리.



그림 10: 후열 처리 도중 온도 측정.

절단 속도 저하

산소 절단 시 절단 속도를 낮추는 것은 균열 위험을 줄이기 위한 손쉬운 방법입니다. 절단 속도를 낮추면, 소재의 절단선 앞쪽 주변이 더 가열되고, 열 영향부의 폭도 넓어집니다. 이렇게 하면 잔류 응력에 변화를 주게 되고, 절단면에서의 균열 위험이 줄어듭니다. 그러나 절단 속도를 낮추는 방법은 예열이나 후열 처리만큼 안정적인 방법은 아니며, 예를 들어 작업장에 예열 또는 후열 처리 장비가 구비돼 있지 않은 경우에만 대체용으로 사용해야 한다는 점을 유념하시기 바랍니다.

SSAB는 절단 속도를 낮춰 절단하는 방법 보다는 예열을 실시할 것을 강력히 권장합니다. SSAB는 절단 속도를 낮춰 절단할 경우 균열이 생기지 않을 것이라고 보장하지는 않지만, 이러한 균열의 위험은 상온 상태의 강판을 정상 속도로 절단할 경우와 비교해 줄어든다고 합니다.

절단 속도를 낮춰 절단하는 방법을 시행할 경우에는 절단 속도가 표 7에 나열된 속도를 초과하지 않는 것이 중요합니다. 이를 따르지 않으면 균열의 위험을 전혀 줄일 수 없습니다.

너무 큰 노즐은 사용하지 마십시오. 따라서 두께가 50 mm(1.969") 인 Hardox® 후판의 절단에는 50-100 mm(2-4")의 노즐 대신 25-50 mm(1-2")의 노즐을 사용하십시오. 우수한 절단면 품질을 확보하려면 절단 시 산소 압력을 줄여야 합니다. 필요한 압력의 양은 노즐의 종류와 크기에 따라 다릅니다. 항상 테스트 절단을 실시하고, 우수한 절단면 품질을 확보할 때까지 절단기 산소 압력을 조절하십시오.

절단하기 전에 Hardox® 강판을 가능한 한 따뜻하게 유지하십시오. 예를 들어, 겨울철에는 절단하기 전에 강판을 작업장 내부에 몇 시간 동안 보관하십시오.

절단 속도를 낮춰 절단하는 방법은 플라스마 절단에는 적용할 수 없습니다.

강판 최대 두께	Hardox® HiTemp	Hardox® HiTuf	Hardox® 400	Hardox® 450	Hardox® 500	Hardox® 550	Hardox® 600	Hardox® Extreme
12 mm (0.472")	제한 없음	제한 없음	제한 없음	제한 없음	제한 없음	제한 없음	제한 없음	**
15 mm(0.591")	제한 없음	제한 없음	제한 없음	제한 없음	제한 없음	제한 없음	300	**
20 mm (0.787")	제한 없음	제한 없음	제한 없음	제한 없음	제한 없음	제한 없음	200	**
25 mm (0.984")	제한 없음	제한 없음	제한 없음	제한 없음	300	270	180	
30 mm (1.181")	제한 없음	제한 없음	제한 없음	제한 없음	250	230	150	
35 mm (1.378")	제한 없음	제한 없음	제한 없음	제한 없음	230	190	140	
40 mm (1.575")	제한 없음	제한 없음	제한 없음	230	200	160	130	
45 mm (1.772")	제한 없음	230	230	200	170	140	120	
50 mm (1.969")	제한 없음	210	210	180	150	130	110	
60 mm (2.362")		200	200	170	140	*	*	
70 mm (2.756")		190	190	160	135	*	*	
80 mm (3.150")		180	180	150	130			
>80 mm (3.150")		*	*	*	*			

표 7: 예열 없이 시행하는 산소 절단 시의 최대 절단 속도(mm/min)(in/min). 저속 절단 자체만으로는 Hardox® Extreme의 절단 균열을 방지하기에 충분하지 않습니다. 산소 절단만이 유일하게 적용할 수 있는 방법인 경우는, 토치로 예열과 후열을 함께 적용하십시오.
*예열 방법만 적용할 수 있습니다. **SSAB는 AWJ 절단을 권장합니다.

냉각 속도 늦추기

절단 부품에 예열을 시행했던 양했든, 냉각 속도를 늦추면 절단면에서의 균열 위험을 줄일 수 있습니다. 부품들을 절단 공정 이후 온기를 유지할 수 있게 서로 쌓아 놓고, 단열 블랭킷으로 덮어 놓는 방법으로 저속 냉각을 실행할 수 있습니다. 부품을 천천히 실온까지 냉각시킬 수 있습니다.



연화

절단 시 강재의 연화 정도는 판재의 화학 조성, 미세 결정 구조 및 절단 방법에 따라 달라집니다. 열 절단된 부품의 크기가 작을수록, 부품 전체가 연화될 위험성은 더 커집니다. 강재의 가열 온도가 너무 높아지면 그림 11과 같이 강재의 경도가 저하됩니다(표 6의 최대 허용 온도 확인).

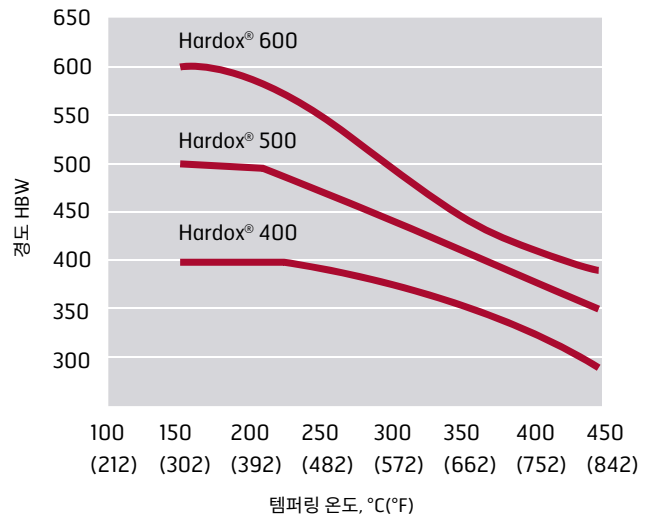
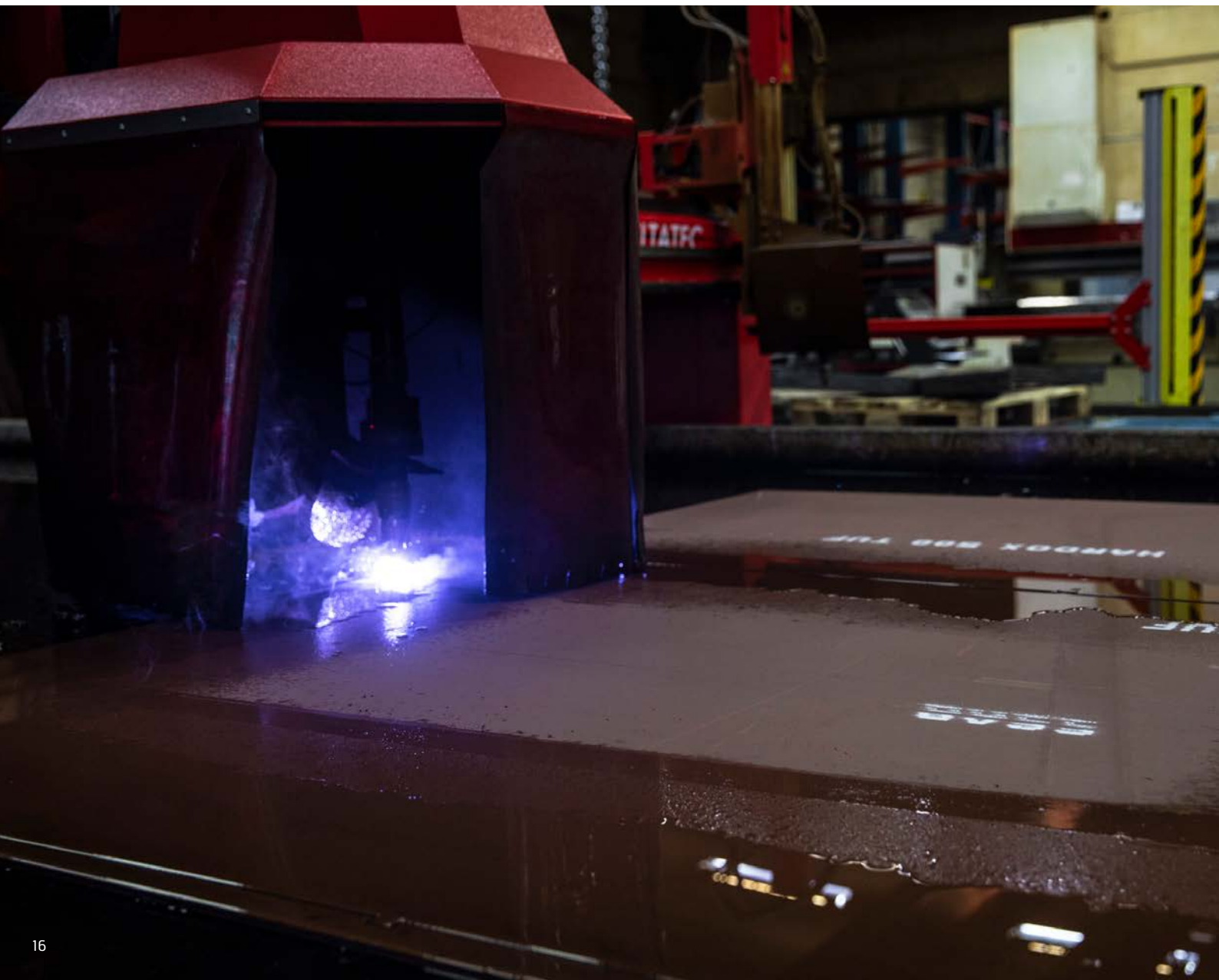


그림 11: 표면 경도 대 템퍼링 온도.



연화 위험 감소

절단 방법

작은 크기의 부품을 절단할 경우, 절단 토치와 예열로 인한 열은 부품에 축적됩니다. 부품 크기가 작을수록 부품이 연화될 위험성은 더 커집니다. 두께가 30 mm(1.181") 이상의 강판을 산소로 절단할 경우, 결과는 대략 다음과 같습니다: 두 절단선 사이의 거리가 200 mm(7.874") 미만일 경우는 부품 전체의 경도가 손실될 위험이 있습니다. 두께가 30 mm(1.181") 미만인 판재의 경우는 경도 손실 없이 부품을 더 작은 크기로 절단할 수 있습니다. 부품 크기가 너무 작은지 확인해 볼 수 있는 편리한 방법은 절단 후에 바로 부품의 온도를 직접 측정해 보는 것입니다. 최대 가능 허용 온도는 표 6에서 확인할 수 있습니다.

연화 위험을 없애는 가장 좋은 방법은 연마성 워터 제트 절단과 같은 냉간 절단 방법을 사용하는 것입니다. 열 절단을 해야 한다면, 산소 절단보다는 레이저 또는 플라스마 절단이 더 좋습니다. 이유는 산소 절단이 플라스마 또는 레이저 절단 보다 절단 부품에 더 많은 열을 전달하기 때문입니다.

수중 절단

부품의 연화 범위를 제한하고 더 작게할 수 있는 효과적인 방법은 절단 작업 중에 강판과 절단 표면을 수냉하는 방법입니다. 이 공정은 물에 약간 담귀 절단하거나(그림 12), 절단 중 혹은 절단 후에 부품 위에 물을 분사하여 실행할 수 있습니다.

절단 중이나 절단 후에 판재를 물에 담그거나 분사하면서 절단을 해도, 연화된 영역이 절단면에서 약 5-10 mm(0.197 - 0.394")의 폭으로 생기게 됩니다.

점화 불꽃과 절단 산소 제트가 물을 밀어내므로 물이 절단선 앞부위를 냉각시킬 수 없게됩니다. 절단 이후 물이 채워져 도달하지만, 절단 엣지는 이미 연화된 상태가 됩니다. 하지만, 수냉의 냉각 효과로 부품의 "전반적인" 연화를 피할 수 있습니다.

수중 절단은 플라스마 절단과 산소 절단 모두 적용할 수 있습니다. 수중 절단의 몇 가지 장점은 다음과 같습니다:

- ▶ 부품의 전체적인 경도 손실 방지
- ▶ 절단된 부품의 변형량 감소
- ▶ 부품이 절단 직후 냉각됩니다
- ▶ 연기 또는 먼지 발생 없음
- ▶ 소음 수준 저하

예열은 수중 절단에는 적합하지 않으므로, 수소 균열의 위험을 피할 수 있는 유일한 방법들은 후열 처리 및 절단 속도를 낮추는 것입니다. 두꺼운 Hardox® 내마모성 강판에서 작은 부품을 절단할 때 산소 절단을 사용하면 연화 위험뿐만 아니라 절단면에서 균열의 위험이 있습니다. 이를 방지하기 위한 가장 좋은 방법은 낮은 절단 속도로 수중 절단을 하거나, 절단된 부품을 후열 처리하는 것입니다. 후열 처리는 토치를 이용하거나 가열로에서 수행할 수 있습니다.

그림 12: 수중 절단.



유용한 정보

강판의 취급

Hardox® 550, Hardox® 600 및 Hardox® Extreme 제품을 보관하는 동안 강판을 3점 절곡 상황이 발생하지 않도록 적재해야 합니다. 판재들이 각 번들 사이에 깔개가 끼워져 있고, 목재가 올바르게 놓여 있지 않은 경우 3점 절곡이 발생하게 됩니다. 각 번들들에 목재가 그 아래에 있는 번들의 목재 위에 가지런히 놓여 있는지 확인해야 합니다.



그림 13a: 올바르게 적층되어 있는 강판들.



그림 13b: 잘못 적층되어 있는 강판들

판재를 날카로운 모서리가 남아 있는 상태로 재고 창고로 반환해서는 안 됩니다. 이런 날카로운 모서리들은 응력을 증가시키는 역할을 하며 차후 강판에 균열을 일으킬 수 있습니다. 제품을 재고 창고로 반환할 경우 미리 이러한 날카로운 모서리를 제거하기 위해 항상 직선으로 깨끗하게 절단하십시오. 이 주의 사항은 AWJ 절단과 같은 냉간 절단 및 열 절단 방식의 모든 절단 방법에 해당됩니다. Hardox® 550, Hardox® 600 및 Hardox® Extreme 제품은 이에 대해 특히 더 민감합니다.

예열 및 후열 처리

예열을 위한 매우 간단하고 저렴한 방안은 전기 가열 매트와 단열 블랭킷(Rockwool 또는 유사 단열 제품)을 사용하는 것입니다.

작업 현장 맞춤 예열 장비



1. 바닥에 열 차단용 판재를 놓습니다
(바닥이 열에 민감한 경우)



2. 판재 받침용 서포트를 위에 놓습니다
(이 경우, U형 빔)



3. 단열재로 바닥을 덮습니다



4. 전기 가열 패드를 설치합니다



5. 강판을 올려 놓은 후 시간이 지남에 따라
온도를 기록할 열전대를 설치합니다



6. 모두를 단열재로 덮습니다

또 다른 경제적이고 실용적인 방법은 열처리 박스를 만들어 전기 가열 기능과 함께 사용하는 것입니다.



이 장치는 예열, 후열 및 저속 냉각에 용이하게 사용할 수 있습니다.

SSAB는 북유럽과 미국에 생산 공장들을 보유한 철강 회사입니다. SSAB는 보다 강하고 가벼우며 지속 가능한 세계를 구현하기 위해 고객과 밀접하게 협력하여 개발한 부가가치가 높은 제품과 서비스를 제공합니다. 50여개 국가에서 SSAB의 임직원들이 근무하고 있습니다. SSAB는 스웨덴, 핀란드 및 미국에 생산공장을 두고 있습니다. SSAB는 스톡홀름의 나스닥에 상장되어 있으며 헬싱키의 나스닥에 2차 상장되어 있습니다. www.ssab.com. 당사의 소셜 미디어에도 참여해 보시기 바랍니다: 페이스북, 인스타그램, 링크드인, 트위터 및 유튜브.

Hardox® 내마모 강판의 세계를 살펴보세요



SSAB

서울시 영등포구 국회대로 76길 22 기계회관 신관 8층
대한민국

T +82 2 369 7272
F +82 2 369 7279
contactkorea@ssab.com

www.hardox.com

Hardox®는 SSAB 그룹의 등록상표입니다.

판권 소유. 이 안내서에 포함된 정보는 개괄적인 정보만 제공합니다. SSAB AB는 각 적용 분야별 적합성 또는 적정성에 대한 책임을 지지 않습니다. 모든 제품 및/또는 적용 분야별 적합성을 독립적으로 결정하고, 이를 테스트하고 검증하는 것은 사용자의 책임입니다. 이하에서 SSAB AB가 제공하는 정보는 “있는 그대로”이며, 오류가 있을 수 있고, 이러한 정보와 관련된 모든 위험성에 대한 책임은 사용자에게 있습니다.

Copyright © 2021 SSAB AB. 판권 소유.

SSAB