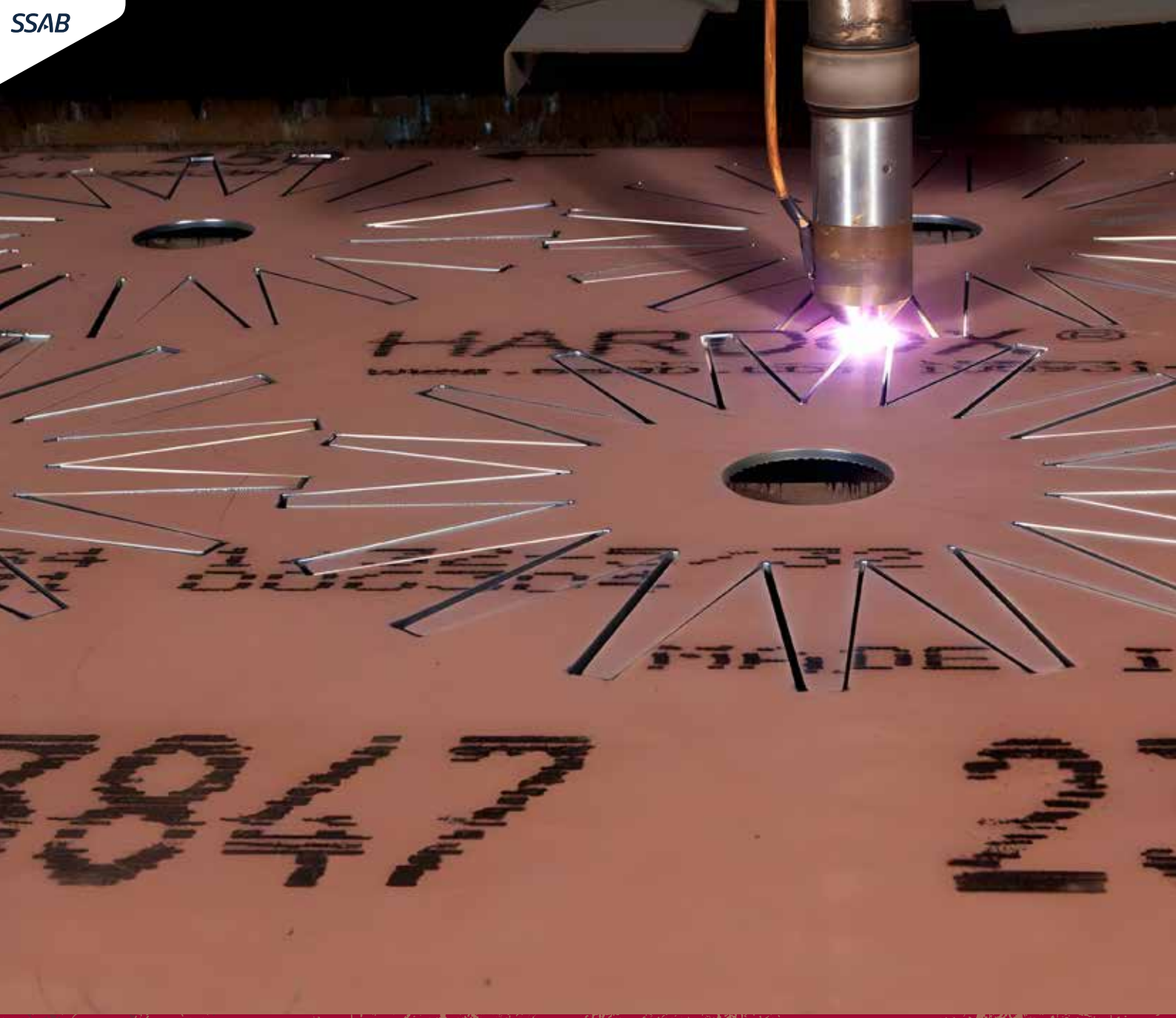
SSAB



Рязане на стомана Hardox®

HARDOX®
WEAR PLATE

СЪДЪРЖАНИЕ

Рязане на износоустойчива стомана Hardox® 3

Методи на рязане 4

Газо-кислородно рязане 4

Плазмено рязане 5

Лазерно рязане 6

Свойства на твърдостта в зоната на термично въздействие (HAZ) 7

Рискове при рязане 8

Водородни пукнатини 8

Водород 12

Мерки за избягване на водородни пукнатини 12

Предварително подгряване 13

Последващо нагряване 14

Намаляване на скоростта на рязане 15

Бавно охлаждане 15

Омекване 16

Понижаване на риска от омекване 17

Практични съвети 18

Съхранение на стоманените листове 18

Предварително подгряване и последващо нагряване 19

Рязане на износоустойчива стомана Hardox®

Класове стомана Hardox®

Класовете стомана Hardox® са подходящи за всички методи на термично рязане, включително газо-кислородно, плазмено и лазерно. Можете също така да използвате и много от обичайните процеси за студено рязане, като абразивно рязане с водна струя (AWJ) и лентово рязане.

Подобрената ефективност при термично рязане на класовете стомана Hardox® се дължи основно на ниското съдържание на легиращи елементи в комбинация с много ниските нива на примеси. Други благоприятни свойства, които са в полза на лазерното рязане, са малките толеранси за дебелината на стоманата и гладката ѝ повърхност. При много от класовете стомана Hardox® – при средна дебелина – може да се използва термично рязане със същите параметри като при обикновената стомана. В някои случаи е необходимо да адаптирате параметрите с цел минимизиране на риска от водородни пукнатини. Други въпроси, свързани с характеристиките на стоманата, които трябва да се имат предвид, са:

- Промяната в механичните свойства на частта от стоманата, засегната от термичната обработка – зона на термично въздействие (HAZ) – вследствие на рязането.
- Деформациите, причинени от термичното рязане. Поради по-високите нива на напрежение стоманите Hardox® са по-податливи на движение по време на термичното рязане, отколкото обикновената стомана.

Газовете за различните методи на термично рязане се подбират и прилагат по същия начин като при нелегирани и нисколегирани стомани с граница на провлачване до 355 MPa. За термичните методи на рязане са налице различни подходящи газови смеси и параметри на приложение. SSAB няма други допълнителни препоръки в това отношение за класовете стомана Hardox®. Методите на студено рязане, рязане с гилотина и щанцоване са ограничени до Hardox® 400 и Hardox® 450 с до 10 мм дебелина на стоманата. Абразивното рязане с водна струя (AWJ) представлява метод на студено рязане, който осигурява благоприятни механични свойства, тъй като при този метод не се образува зона на термично въздействие (HAZ).



Методи на рязане

Газо-кислородно рязане

Износоустойчивата стомана Hardox® се реже лесно чрез прилагане на процеса на газо-кислородно рязане. При този метод не се наблюдават почти никакви ограничения по отношение на дебелината на материала, поради което е възможно рязане на материал с дебелина до 1000 мм. Препоръчителната минимална дебелина за рязане е 10 мм. Рязането на по-тънки материали трябва да се извършва чрез методи с по-ниско топлинно въздействие, като плазмено или лазерно рязане, за да се сведе до минимум рискът от деформиране и загуба на твърдостта. В таблица 1 са посочени общите характеристики на газо-кислородното рязане.

Често срещано погрешно разбиране е, че за рязане на твърди стомани е необходимо по-високо налягане на кислорода. Газо-кислородното рязане е термичен процес, при който ефективността не се влияе от твърдостта на стоманата. Износоустойчивата стомана Hardox® е нисколегирана, което в комбинация с нейната чистота я прави лесна за рязане.

Таблица 1: Общи характеристики за газо-кислородно рязане.

Метод на рязане	Ширина на сряза	Зона на термично въздействие (HAZ)	Допуск на размерите
Газо-кислородно рязане	2 – 5 мм	4 – 10 мм	± 2,0 мм

Плазмено рязане

Стоманата Hardox® се реже лесно чрез прилагане на процеса за плазмено рязане. Този процес има своите ограничения, когато става въпрос за дебелината на материала. Основната дебелина за рязане трябва да бъде по-малка от 50 мм (в зависимост от машината за плазмено рязане). Общите характеристики за плазменото рязане са посочени в таблица 2.

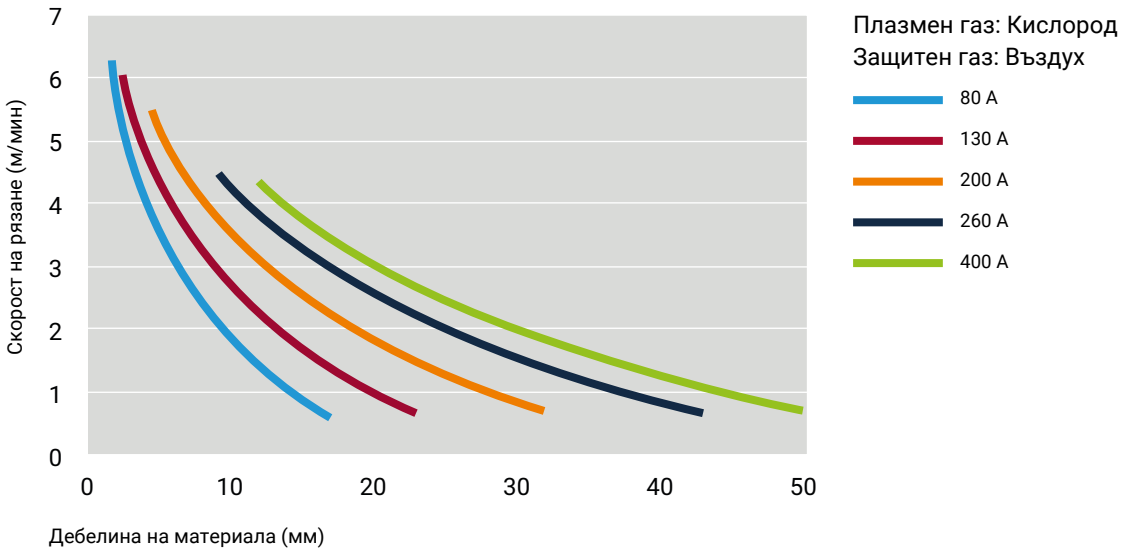
Фигура 1 показва скоростта на рязане като функция от дебелината на материала и наличната мощност за плазмено рязане.

Не съществува разлика при плазмено рязане на износоустойчива стомана Hardox® в сравнение с обикновена стомана. Необходимостта от предварително подгряване или последващо нагряване при плазменото рязане е понижена в сравнение с газо-кислородното рязане. Въпреки това при плазмено рязане на дебела стомана Hardox® с кислород като плазмен газ може да е необходимо предварително подгряване или последващо нагряване. Използвайте същите параметри като при газо-кислородно рязане (таблица 6), за да се избегне напукване на ръбовете.

Таблица 2: Общи характеристики за плазмено рязане.

Метод на рязане	Ширина на сряза	Зона на термично въздействие (HAZ)	Допуск на размерите
Плазмено рязане	2 – 6,5 мм	2 – 5 мм	± 1,0 мм

Фигура 1: Общи скорости на рязане за различни източници на плазмена енергия.







Лазерно рязане

Лазерното рязане на материали Hardox® може да се осъществява лесно чрез използване на нормални параметри за обработка на съответната дебелина на материала. Максималната дебелина трябва да бъде около 30 мм в зависимост от оборудването, използвано за лазерно рязане. Най-често се реже материал с дебелина под 25 мм. Общите характеристики за лазерното рязане са посочени в таблица 3.

Едно от предимствата на лазерното рязане е високата скорост на рязане. Фигура 2 показва скоростта на рязане като функция от дебелината на материала, вида и мощността на лазера.

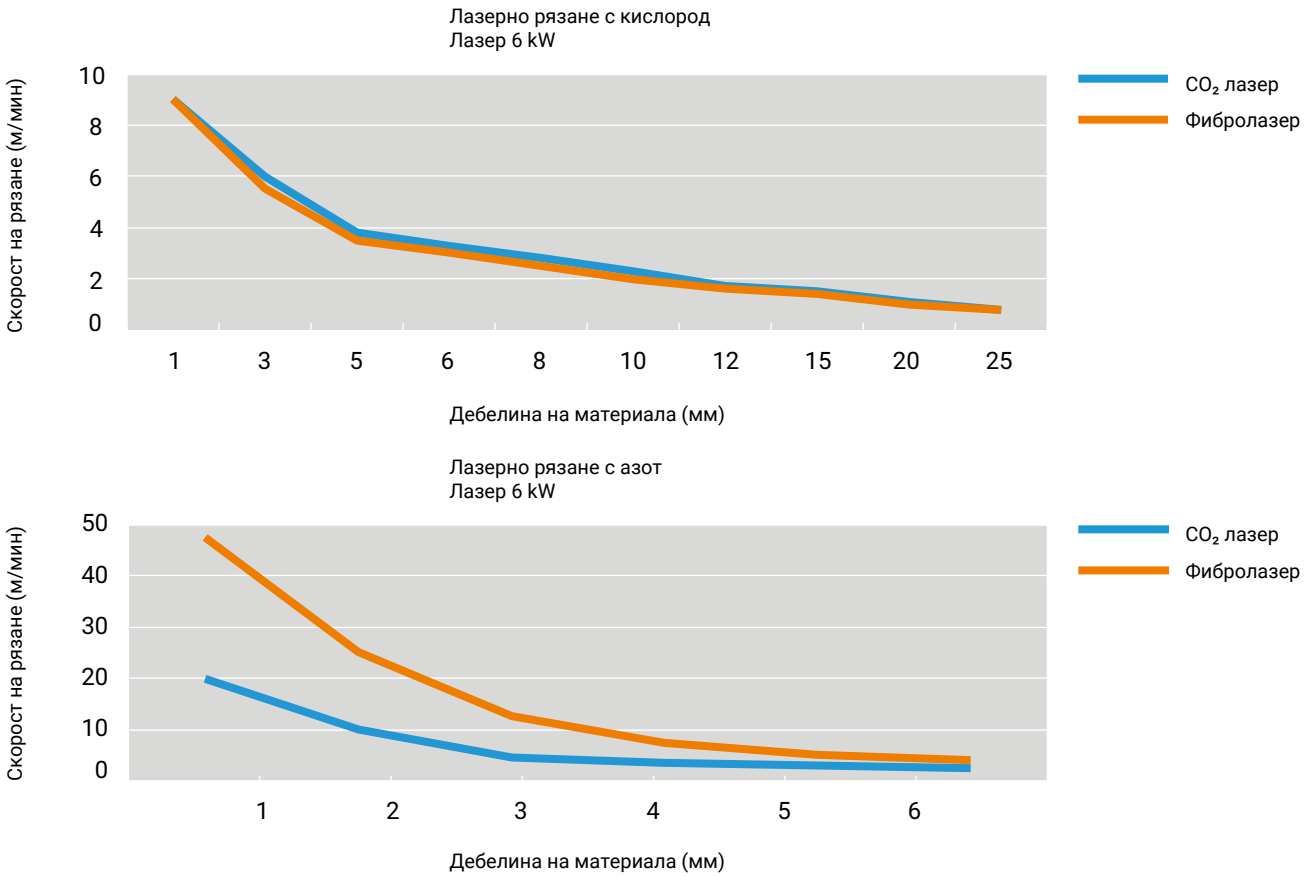
С оглед на относително малката дебелина и ниския термичен ефект не се изисква предварително подгряване или последващо нагряване на стоманите Hardox® по време на процеса на лазерно рязане. Вместо това предварителното подгряване се отразява неблагоприятно на качеството на ръбовете.

Не съществува разлика при лазерно рязане на стомана Hardox® в сравнение с обикновена стомана. Ето защо можете да използвате същите параметри за процеса. Грундът понижава скоростта на рязане, но това може да се избегне, като първо изпаряваме грунда, след което контурът се изрязва с пълна скорост.

Таблица 3: Общи характеристики на лазерното рязане.

Метод на рязане	Ширина на сряза	Зона на термично въздействие (HAZ)	Допуск на размерите
Лазерно рязане	< 1 мм	0,2 – 2 мм	± 0,2 мм

Фигура 2: Скорости на лазерното рязане.



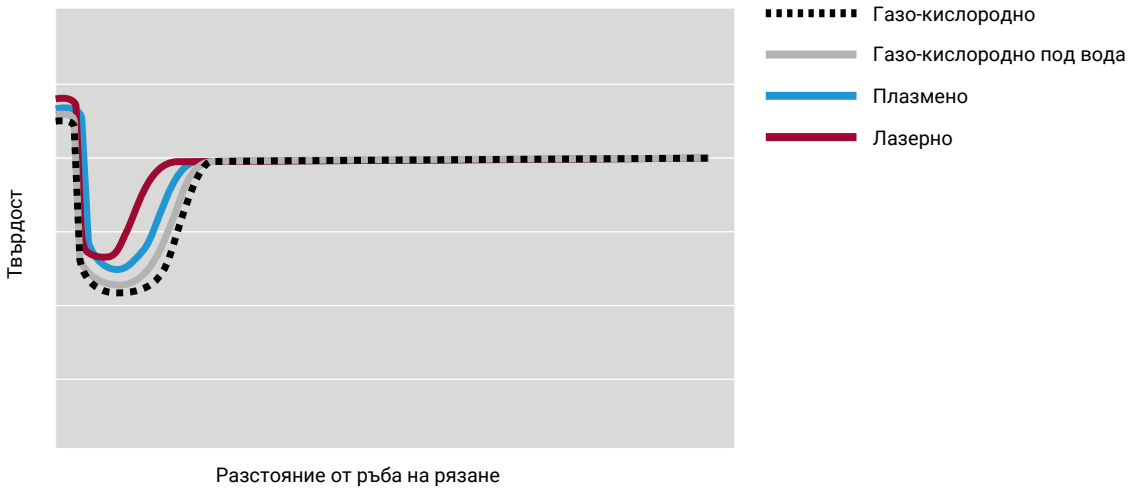
Свойства на твърдостта в зоната на термично въздействие (HAZ)

Свойствата на зоната на термично въздействие (HAZ) зависят от:

- това дали стоманата е била закалена и отвърната по време на производството и ако е така, как е било извършено това.
- химическия състав на стоманата.
- въздействието на термичната обработка в процеса на рязане.

Диапазонът на зоната на термично въздействие (HAZ) се разширява с увеличаването на термичното въздействие от процеса на рязане. Например рязането с еднаква мощност, но с по-ниска скорост води до по-широка зона на термично въздействие (HAZ). Различните процеси на термично рязане имат различно термично въздействие, което от своя страна води до по-широка или по-тясна зона на термично въздействие (HAZ). Газо-кислородното рязане има най-силно термично въздействие, след него се нареждат плазменото и лазерното рязане. Фигура 3 показва зоната на термично въздействие (HAZ) за рязането на класовете стомана Hardox® при използване на различни методи на термично рязане.

Фигура 3: Схематични профили на твърдостта в зоната на термично въздействие (HAZ) след термично рязане на износоустойчива стомана Hardox® с различни методи на рязане.





РИСКОВЕ ПРИ РЯЗАНЕ

Водородни пукнатини

Напукването на ръба при рязане е явление, което е тясно свързано с пукнатини на заваръчни шевове поради наличие на водород и най-често се появява при използване на термични методи на рязане. Ако се появят пукнатини, те стават видими между 48 часа и до няколко седмици след процеса на рязане. Рискът от пукнатини се увеличава с твърдостта на стоманата и дебелината на листовия материал, както е показано в таблица 4. Въпреки че напукването на ръба при рязане обикновено е свързано с термичното рязане, то може да възникне и при лентово рязане или абразивно рязане с водна струя на много твърди материали.

В първата фаза на образуване на пукнатини се образуват малки пукнатини в центъра на листовия материал, които се движат хоризонтално в рамките на зоната на термично въздействие (HAZ). Те се образуват точно зад ръба на рязане и обикновено се проявяват няколко часа след процеса на рязане. На този етап пукнатините не са видими с просто око.

Във втората фаза, която обикновено настъпва след няколко дни, пукнатините се разпространяват към повърхността на ръба на рязане и образуват по-дълги хоризонтални пукнатини, най-често с дължина от 5 – 10 см.

Може да настъпи и трета фаза, което обикновено се случва след няколко седмици, при която разпространението на пукнатините продължава, променя посоката си и обхваща повърхността на листовия материал. Въпреки че вертикалните пукнатини не са обичайни, рискът от появата им става по-голям с увеличаване на твърдостта и дебелината на стоманата. Водородни пукнатини образувани след рязане са показани на фигура 4.

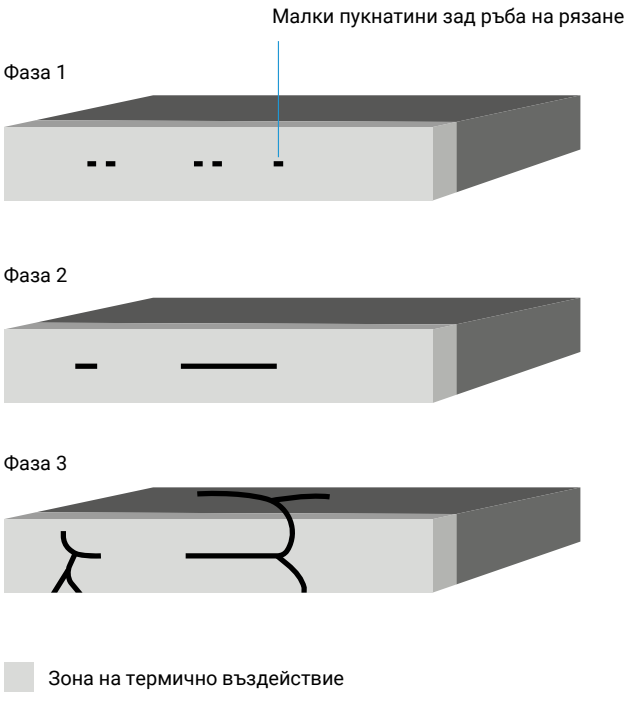
Таблица 4: Чувствителност към термично напукване на ръбовете

Дебелина на стоманения лист мм	10	15	20	30	40	50	60	70	80	90	100	125	160
Hardox® HiTuf													
Hardox® 400													
Hardox® 450													
Hardox® HiAce													
Hardox® 500													
Hardox® 550													
Hardox® 600													
Hardox® Extreme													

Нечувствителен
По-ниско чувствителен
По-силно чувствителен
Високо чувствителен



Фигура 4: Образуване на водородни пукнатини при и около ръба на рязане.



Ако листът се нареже на детайли, реалните остатъчни напрежения се понижават. Колкото е по-малък детайлът, толкова по-малко остатъчни напрежения остават. Достатъчно малък детайл ще съдържа само остатъчни напрежения от процеса на термично рязане. Също така малките детайли имат по-малка дължина на рязане в сравнение с големите. Следователно вероятността от напукване при малките детайли е по-ниска. Достатъчно малък детайл за рязане е вероятно да не се напука (таблица 5).

Скосените ръбове са по-податливи на напукване в сравнение с правите ръбове.

Поради вероятностния си характер пукнатините в термично отрязаните ръбове не могат да бъдат прогнозирани с точност. Но имаме възможност да повлияем силно на шансовете за напукване чрез избора на процес на рязане.

В стоманата трябва да са налице три условия в един и същи момент, за да се образуват водородни пукнатини. Те са:

- Относително високо съдържание на легиращи елементи.
- Високо ниво на напрежение при опън.
- Относително високо съдържание на водород в материала.

Тези фактори взаимодействат помежду си. Ако нивото им се поддържа достатъчно ниско, се минимизира рискът от образуване на водородни пукнатини.

Таблица 5: Влияние на размера на детайли върху вероятността от напукване на ръба на рязане

Размер на детайли	200 x 200 мм	400 x 400 мм	800 x 800 мм	1600 x 1600 мм	По-големи
Относителен риск за напукване на ръба за един компонент	1	10	100	1000	5000

Влияние на легиращите елементи в стоманата

Влиянието на легиращите елементи е еднакво както при термичното рязане, така и при заваряването. Това означава, че по-високите стойности на въглеродния еквивалент в стоманата съответстват на увеличена чувствителност към водородни пукнатини. Като цяло, въглеродният еквивалент се увеличава с увеличаване на дебелината, твърдостта и якостта на класа стомана Hardox®.

Вследствие на това:

- С увеличаване на стойностите на твърдостта са налице повече ограничения по отношение на рязането на класовете стомана Hardox®.

По-голямата дебелина на даден клас стомана Hardox® води до повече ограничения с цел минимизиране на риска от водородни пукнатини при рязане.

Определени легиращи елементи могат да увеличат вероятността от образуване на водородни пукнатини. С увеличаването на съдържанието на тези елементи се повишава и чувствителността на стоманата, което налага повече ограничения при рязане, за да се сведе до минимум рискът от появата на водородни пукнатини.

Препоръките за предотвратяване на водородни пукнатини в износоустойчивата стомана Hardox® се базират на детайлни проучвания, извършени от SSAB. Целта на тези изследвания е да предложат оптимизирани препоръки с оглед на индивидуалните характеристики на всеки клас стомана Hardox®.

Като допълнение към препоръките от SSAB могат да се използват други общи модели за оценяване на водородните пукнатини в различни видове високоякостни стомани. Изградените модели описват устойчивостта спрямо водородни пукнатини за определен лист стомана в съответствие с неговия въглероден еквивалент, който се изчислява от химическия състав на стоманения лист. По-ниска стойност на въглероден еквивалент съответства на по-висока устойчивост спрямо водородни пукнатини.

Съществуват няколко модела за въглероден еквивалент, като всяка формула е извлечена от изследвания на конкретни стомани.

Най-обичайните международни въглеродни еквиваленти са съгласно моделите CET и CEV.

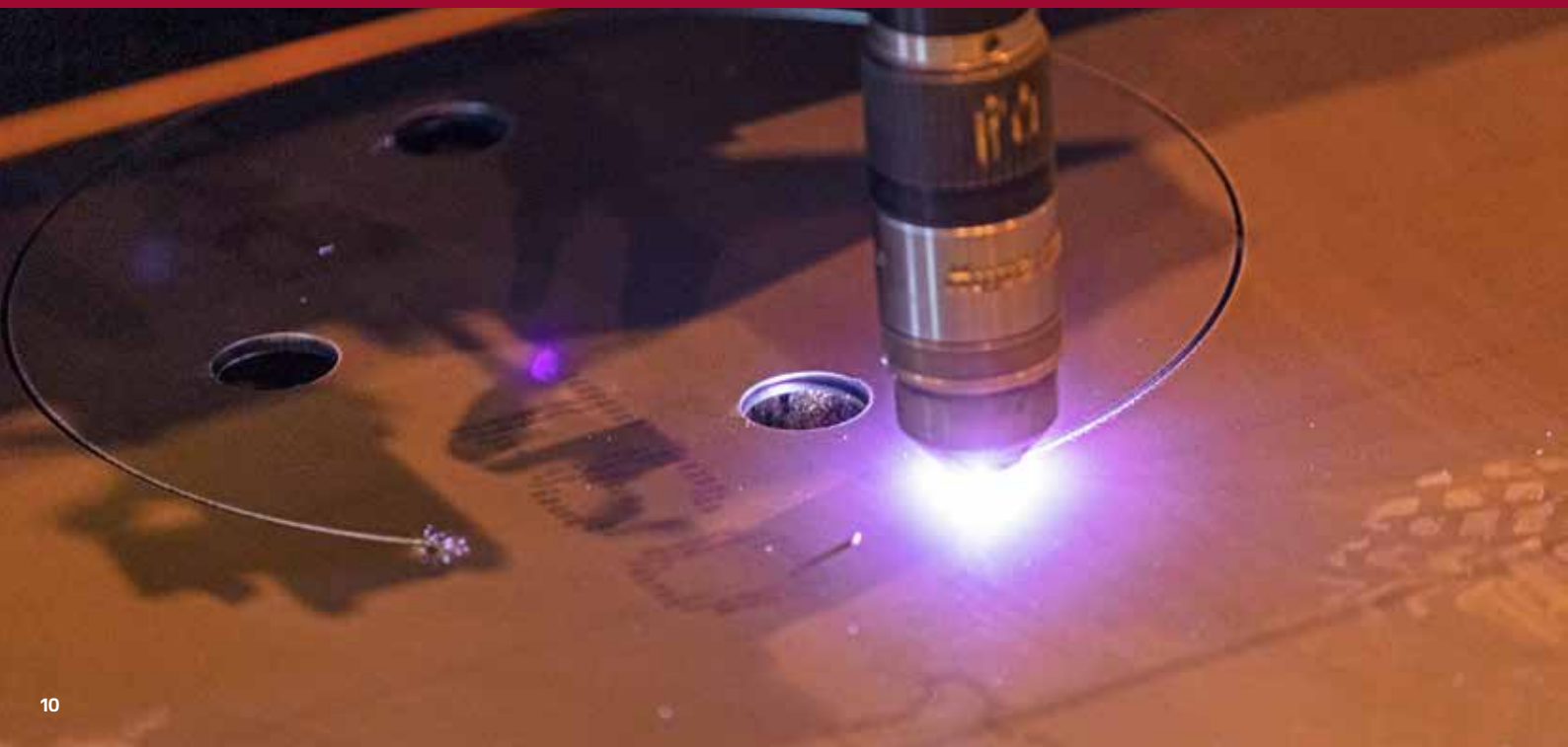
SSAB предпочита формулата на CET за износоустойчивата стомана Hardox®, тъй като този въглероден еквивалент е разработен специално за високоякостни стомани, каквато е стоманата Hardox®. Формулата на CEV също е валидна за високоякостни стомани. Въпреки това обаче нейният въглероден еквивалент е фокусиран върху нелегирани и нисколегирани стомани с по-ниска якост от тази на износоустойчивата стомана Hardox®.

Формулите за изчисляване на стойностите CET и CEV са посочени по-долу. CE е синоним на CEV. Когато се изчислява стойността на въглеродния еквивалент, трябва да се използва съдържанието на легиращи елементи, посочено в сертификата на стоманата. Легиращите елементи са посочени с тегловния си процент във формулите по-долу:

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

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

Изчисляването на въглеродния еквивалент е средство за определяне дали – и до каква степен – се изисква предварително подгряване с цел избягване на водородни пукнатини. Методите за определяне на температурата на предварително подгряване в този контекст са методите на CET и CEV, които се отнасят за съответните въглеродни еквиваленти. Тези два метода са описани в европейски стандарт EN1011-2.



Напрежения

Напрежения при опън предизвикани от рязане

Процесът на рязане води до неравномерно топлинно въздействие върху ръба на рязане и околната повърхност. Например пиковите температури в стоманата се понижават с увеличаване на разстоянието от ръба на рязане. Това неравномерно топлинно въздействие е причина за промяната на механичните свойства в зоната на термично въздействие (HAZ). Термичните методи на рязане винаги причиняват напрежения при опън във и около зоната на рязане. В резултат на термичното рязане на стомана Hardox® се образува зона на термично въздействие (HAZ), която може да се раздели на две зони – зона на повторно закаляване и зона на отвръщане.

Външната част на зоната на термично въздействие (HAZ), която се намира на около 1 – 2 мм от ръба на рязане, се нагрява до над 900°C по време на процеса на рязане. След като режещата горелка премине, топлината бързо се разпространява в стоманата, което води до толкова бързо охлаждане на материала в зона 1, че той се закалява повторно.

Твърдостта, както и якостта в тази зона са по-високи в сравнение с другите части на зоната на термично въздействие (HAZ) и незасегнатия основен метал.

Зона 2, разположена между зона 1 и незасегнатия основен материал, се нагрява до температури под 900°C по време на рязане. Стойностите на твърдостта в тази зона се променят в зависимост от класа на стоманата и процеса на рязане. Материалът в тази зона се отвръща вследствие на топлината от процеса на рязане.

По време на охлаждането зона 1 се стреми да се разшири по посока на дебелината, докато зона 2 не е засегната или дори се свива. В резултат на това в зона 2 се създават остатъчни напрежения на опън по посока на дебелината. Точно в тази зона на силни напрежения при опън възникват водородните пукнатини. Общата тенденция е, че тези нива на напрежение се увеличават при стомани с по-голяма дебелина.

Фигура 5 показва различните части на зоната на термично въздействие (HAZ) при термично рязане на стомана Hardox® 450.

Напрежения при опън предизвикани от общо напрежение

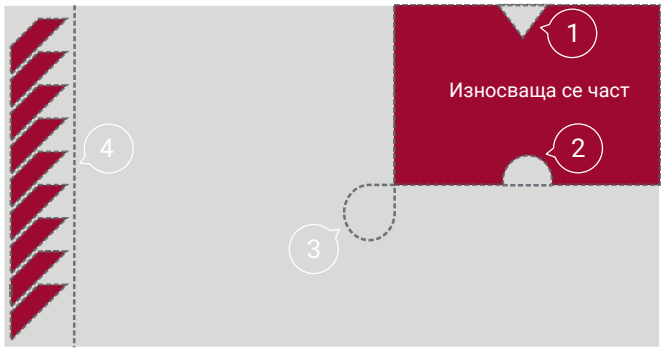
Закаляването на износоустойчивата стомана е причина за остатъчни напрежения. Когато се изрязват детайли с остри ъгли, остатъчните напрежения от производството се концентрират в тези зони. Тези концентрирани напрежения може да бъдат толкова високи, че да станат причина за появата на водородни пукнатини. Ето защо острите ръбове увеличават риска от напукване на ръбовете на рязане. Това важи за методи на термично и студено рязане, като абразивно рязане с водна струя (AWJ). Прилагането на следните действия ще понижи риска от пукнатини (вж. фигура 6):

1. Ако е възможно, избягвайте остри обърнати навътре ъгли.
2. Ако е възможно, използвайте гладки геометрични форми.
3. Ако острите ъгли не могат да бъдат избегнати, направете кръгли контури около ъглите обърнати навън.
4. Ако процесът на рязане трябва да бъде спрян (напр. през нощта), направете чисто отрязване, за да избегнете причинителите на напрежение.

С изключение на Hardox® HiTuf, всички класове стомана Hardox® са чувствителни към напукване на ръбовете на рязане при остри геометрични форми.

Фигура 5: Схематичен профил на твърдост на зоната на термично въздействие (HAZ) вследствие на термично рязане на Hardox® 450.





Фигура 6: Подходяща процедура за рязане на ъгли. Имайте предвид, че обикновено скоростта на рязане се понижава в точката, в която пътят на рязане се пресича, с цел да се осигури стабилен процес на рязане.

Водород

Пукнатините при рязане са тясно свързани с водорода. Тези напуквания се появяват със закъснение след процеса на рязане. Докато стоманата е гореща – около 200°C, тя няма да се напуква. Когато температурата се понижи под 200°C, пукнатините може да се появяват със закъснение. Ако се появят пукнатини, те ще се появят няколко часа след рязането, а процесът на образуване на пукнатини обикновено приключва след два дни. В най-лошия случай появата на пукнатини може да отнеме няколко седмици. Водородът се разтваря в стоманата. Колкото е по-ниско съдържанието на водород, толкова по-ниско чувствителна към пукнатини е стоманата. Ако стоманата не съдържа водород, няма да се образуват пукнатини. Все още не е напълно изяснено точно по какъв начин водородът е причина за появата на пукнатини.

При рязане с повишена работна температура ръбът на рязане ще бъде горещ сравнително дълго време след рязането. Колкото по-гореща е стоманата, толкова по-бързо се разпространява водородът извън разреза. При температури под около 100°C дифузията на водород е толкова бавна, че почти не оказва никакво влияние. Ако температурата на стоманата се запази над 100°C за повече часове, водородът ще напусне разреза и рискът от напукване ще се понижи.

Мерки за избягване на водородни пукнатини

За да се избегне напукването в ръба на рязане, е важно както съдържанието на водород, така и напреженията при опън в зоната на термично въздействие (HAZ) да се поддържат възможно най-ниски.

С цел минимизиране на съдържанието на водород и на остатъчните напрежения в зоната на термично въздействие (HAZ) могат да се прилагат следните действия.

1. Предварително подгряване на стоманата
2. Последващо нагряване на стоманата
3. Понижена скорост на рязане (газо-кислородно)
4. Комбинация от предварително подгряване, последващо нагряване и понижена скорост на рязане, заедно с удължен процес на охлаждане на зоната на термично въздействие (HAZ)

Предварително подгряване

Един от методите за избягване на водородни пукнатини е предварителното подгряване на материала. Топлината дава възможност за разпръскването на повече водород от ръба на рязане и това ще намали скоростта на охлаждане на ръба на рязане, което от своя страна понижава въведените напрежения при опън.

За предпочитане е да се използва предварително подгряване преди газо-кислородното рязане и плазменото рязане с кислород като плазмен газ. По отношение на всички видове лазерно рязане и плазмено рязане с азот не се препоръчва предварително подгряване поради отрицателния му ефект върху качеството на ръба на рязане.

Фигура 7: Подгряващи дюзи.



В зависимост от ситуацията може да се нагрее или част от листа или целият лист стомана. Най-обичайните начини за предварително подгряване на стоманата са:

- Термична пещ
- Подгряващи дюзи
- Електрически подложки

Нагряването в пещ е най-добрият начин за предварително подгряване на стоманата, тъй като се постига равномерна температура по цялата повърхност.

За предварително подгряване на стомана Hardox® могат да се използват също така и подгряващи дюзи, вж. фигура 7. Важно е дюзите да са в движение, за да не може температурата на стоманата да надвиши максималната допустима температура на предварително подгряване.

Също така температурата на подгряване се измерва от противоположната страна на тази, която се подгрява. Електрическите подложки са бавен метод за предварително подгряване, поради което добра практика за предварително подгряване до 150–200°C е това да се извършва през нощта, а процесът на рязане да започне на следващата сутрин.

Препоръките за предварително подгряване за газо-кислородно рязане са посочени в таблица 6.

Таблица 6: Температури за предварително подгряване за газо-кислородно рязане на класовете стомана Hardox®.

Клас	Дебелина на стоманения лист, мм	Минимална температура на предварително подгряване, °C	Максимална температура на предварително подгряване, °C
Hardox® HiAce	< 40	Без предварително подгряване	225
	40-49,9	100	
	50-69,9	150	
	≥ 70	175	
Hardox® HiTuf	< 90	Без предварително подгряване	300
	≥ 90	100	
Hardox® 400	< 45	Без предварително подгряване	225
	45-59,9	100	
	60-80	150	
	> 80	175	
Hardox® 450	< 40	Без предварително подгряване	225
	40-49,9	100	
	50-69,9	150	
	≥ 70	175	
Hardox® 500 Tuf	≤ 38,1	Без предварително подгряване	180
Hardox® 500	< 25	Без предварително подгряване	225
	25-49,9	100	
	50-59,9	150	
	≥ 60	175	
Hardox® 550	< 20	Без предварително подгряване	200
	20-51	150	
	> 51	175	
Hardox® 600	< 12	Без предварително подгряване	180
	12-65	170	
Hardox® Extreme*	8-19	100	100

*SSAB препоръчва абразивно рязане с водна струя (AWJ). Ако се използва само газо-кислородно рязане, следвайте препоръките в таблица 6.

Последващо нагряване

Последващото нагряване е надежден метод за избягване на напукване на ръба на рязане. Може да се извършва или в пещ, или с газови горелки. Важното е процесът на последващо нагряване да се извърши възможно най-скоро след рязането. Интервалът между началото на процеса на рязане и началото на процеса на последващо нагряване трябва да бъде възможно най-кратък и никога не трябва да надвишава 60 минути.

Когато използвате пещ, температурата не трябва да надвишава максимално допустимата температура, посочена в таблица 6, и стоманеният лист трябва да остане в пещта, докато достигне тази температура. В зависимост от дебелината на стоманения лист времето за престой в пещта е различно. Като общо правило, продължителността на последващото нагряване трябва да бъде най-малко 5 минути за всеки мм дебелина на стоманата (напр. 50 минути за стоманен лист с дебелина 10 мм). Последващото нагряване в пещ позволява повече водород да се оттегли от зоната термично въздействие (HAZ), както известно намаляване и на напреженията при опън в тази зона.

Когато използвате газови горелки (фигура 9), е важно да се избягва прегряване. Температурата на ръба на рязане не трябва да надвишава 700°C, за предпочитане е да бъде 300 до 500°C. Обикновено последващото нагряване чрез газови горелки се извършва ръчно, поради което е важно да знаете как да контролирате температурата. Това се извършва чрез проверка на цвета на ръба на рязане при горелката – той трябва само да започва да се нажежава (много тъмночервено).

Ако цветът е яркочервен или тъмнооранжев, температурата е твърде висока и последващото нагряване няма да е успешно, вж. фигура 8.

Контролирането на температурата е също така възможно с помощта на инфрачервен термометър, насочен директно към ръба на рязане в точката на пламъка (фигура 10).

Топлината от горелката ще отвърне повторно закалената зона на термично въздействие (HAZ), което ще намали напреженията на опън при ръба на рязане. Използваната горелка трябва да е с голям пламък с нисък интензитет. По този начин топлината достига по-дълбоко в материала, без да го нагрява прекалено.

Фигура 8: Цвят на ръба на рязане под горелката за последващо нагряване.



Фигура 9: Ръчно последващо нагряване.



Фигура 10: Измерване на температурата по време на последващо нагряване.



Понижаване на скоростта на рязане

Понижаването на скоростта на рязане е удобен метод за намаляване на риска от пукнатини по време на газо-кислородно рязане. Когато се понижи скоростта на рязане, материалът се нагрява по челната линия на рязане и зоната на термично въздействие се разширява. Това оказва влияние върху остатъчните напрежения, като намалява риска от напукване на ръба на рязане. Имайте предвид обаче, че понижената скорост на рязане не е толкова надежден метод като предварителното подгряване или последващото нагряване, и трябва да се използва само като заместител, ако например не разполагате с подходящото оборудване за предварително подгряване или последващо нагряване.

SSAB силно препоръчва използването на предварително подгряване вместо понижаване на скоростта на рязане. SSAB не гарантира, че няма да се появят пукнатини при рязане с понижена скорост. Въпреки това рискът за появата на такива пукнатини е по-малък в сравнение с рязане с нормална скорост на студени листове стомана.

Ако се прилага понижена скорост на рязане, е важно скоростта да не надвишава посочената в таблица 7. В противен случай рискът от пукнатини няма да бъде намален изобщо.

Не използвайте твърде голяма дюза. Използвайте дюза 25–50 мм вместо 50–100 мм за стомана Hardox® с дебелина от 50 мм. За да постигнете добро качество на ръба на рязане, налягането при газо-кислородно рязане трябва да бъде понижено. Необходимото налягане зависи от вида и размера на дюзата. Винаги правете пробен разрез и регулирайте налягането при газо-кислородно рязане, докато не получите добро качество на ръба.

Уверете се, че стоманеният лист Hardox® е възможно най-топъл преди началото на рязането. Например през зимата съхранявайте стоманения лист за известно време в работилницата, преди да започнете процеса на рязане.

Понижената скорост на рязане не е приложима за плазмено рязане.

Таблица 7: Максимална скорост на рязане в мм/мин за газо-кислородно рязане без предварително подгряване. По-бавното рязане само по себе си не е метод, който е достатъчен за противодействие на появата на пукнатини в Hardox® Extreme. Ако единственият наличен метод е газо-кислородно рязане, използвайте предварително подгряване в комбинация с последващо нагряване чрез газова горелка.

Макс. дебелина на стоманения лист мм	Hardox® HiTuf	Hardox® 400	Hardox® 450	Hardox® 500	Hardox® 550	Hardox® 600	Hardox® Extreme
12	без ограничения	без ограничения	без ограничения	без ограничения	без ограничения	без ограничения	**
15	без ограничения	без ограничения	без ограничения	без ограничения	без ограничения	300	**
20	без ограничения	без ограничения	без ограничения	без ограничения	без ограничения	200	**
25	без ограничения	без ограничения	без ограничения	300	270	180	
30	без ограничения	без ограничения	без ограничения	250	230	150	
35	без ограничения	без ограничения	без ограничения	230	190	140	
40	без ограничения	без ограничения	230	200	160	130	
45	230	230	200	170	140	120	
50	210	210	180	150	130	110	
60	200	200	170	140	*	*	
70	190	190	160	135	*	*	
80	180	180	150	130			
>80	*	*	*	*			

*Приложимо е само предварително подгряване. **SSAB препоръчва абразивно рязане с водна струя (AWJ).

Бавно охлаждане

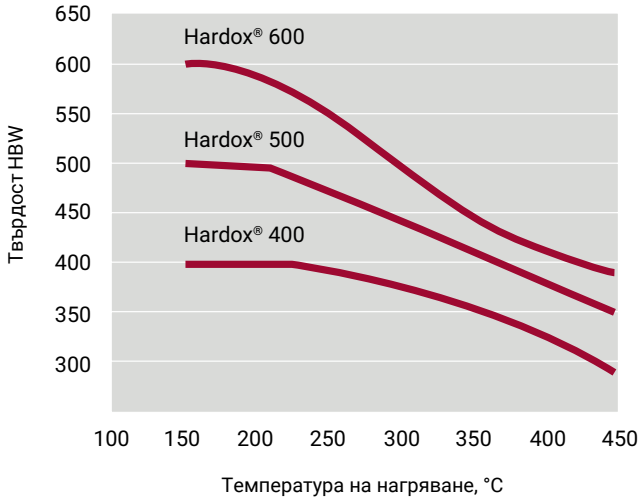
Независимо от това дали изрязаните детайли са предварително подгряти, или не, бавното охлаждане ще намали риска от напукване на ръба на рязане. Бавно охлаждане може да се постигне, ако детайлите се подредят един върху друг, докато са все още топли от процеса на рязане, и се покрият с изолационно одеяло. Оставете детайлите да се охладят бавно до стайна температура.

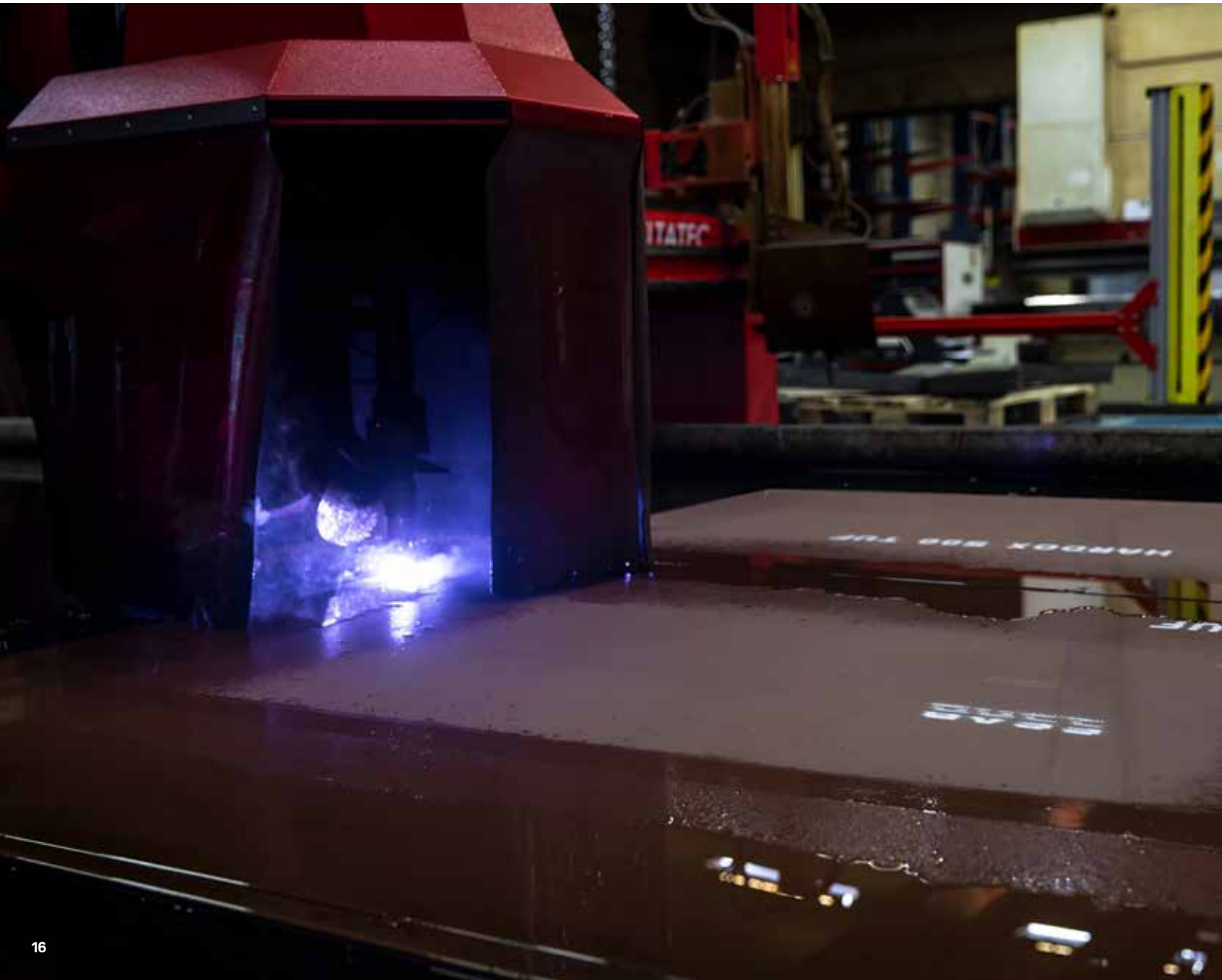


Омекване

Устойчивостта на стоманата на омекване зависи от нейния химичен състав, микроструктура и начина на обработка. Колкото по-малки са детайлите, изрязани чрез термично рязане, толкова е по-голям рискът от омекване на детайла. Ако температурата на стоманата се повиши твърде много, твърдостта ѝ ще се понижи, както е посочено във фигура 11 (проверете максимално разрешената температура в таблица 6).

Фигура 11: Твърдост на повърхността спрямо температура на нагряване.





Понижаване на риска от омекване

Метод на рязане

Когато се режат малки детайли, топлината от режещата горелка и от предварителното подгряване се натрупва в детайла. Колкото по-малък е размерът му, толкова е по-голям рискът от омекване. Основното правило при газо-кислородно рязане на стоманени листове с дебелина 30 мм или повече, е: налице е риск от загуба на твърдостта на целия детайл, ако разстоянието между двата разреза е по-малко от 200 мм. За дебелина под 30 мм е възможно отрязването на по-дребни детайли без загуба на твърдостта. Удобен начин да се определи дали даден детайл е твърде малък, или не, е да се измери температурата му директно след отрязване. Максимално допустимата температура е посочена в таблица 6.

Най-добрият начин за елиминиране на риска от омекване е използването на методи за студено рязане, като абразивно рязане с водна струя. Ако трябва да се извърши термично рязане, предпочита се лазерно или плазмено рязане пред газо-кислородно рязане. Причината за това е фактът, че газо-кислородното рязане въвежда повече топлина в детайла в сравнение с плазменото или лазерното рязане.

Рязане с потапяне във вода

Ефективен начин за ограничаване и намаляване на обхвата на зоната на омекване е охлаждането с вода на стоманата и повърхността на рязане по време на процеса на рязане. Това се постига или чрез потапяне на стоманата във вода (фигура 12), или чрез пръскането ѝ с вода по време на и след рязане.

Дори и рязането да се извършва чрез потапяне на стоманата във вода или чрез пръскането ѝ с вода, в ръба на рязане възниква зона на омекване на разстояние от около 5–10 мм.

Водата се изтласква от запалителния пламък и струята кислород за рязане, така че не може да охлажда ръба на рязане. Когато в крайна сметка водата достигне до мястото, ръбът на рязане вече е омекнал. От друга страна, охлаждането с вода запазва детайла от „цялостно“ омекване.

Рязането с потапяне във вода може да се извършва чрез плазмено или газо-кислородно рязане. Някои от предимствата на рязането с потапяне във вода са:

- Предпазва детайла от цялостно омекване
- Намалява деформацията на изрязания детайл
- Детайлите се охлаждат директно след изрязване
- Не се образуват пари или прах
- По-ниско ниво на шум

Тъй като предварителното подгряване не е приложимо при рязането с потапяне във вода, единствените приложими мерки за противодействие на риска от водородни пукнатини са последващото нагряване и понижаването на скоростта на рязане. Когато от твърда стомана Hardox® се изрязват дребни детайли чрез газо-кислородно рязане, налице е риск от омекване, както и от напукване на ръба на рязане. Това се избягва най-добре чрез рязане с потапяне във вода при ниска скорост на рязане или чрез последващо нагряване на изрязаните детайли. Последващото нагряване може да се извърши или чрез горелка, или в пещ.

Фигура 12: Рязане с потапяне във вода.



Практични съвети

Съхранение на стоманените листове

При съхранение на Hardox® 550, Hardox® 600 и Hardox® Extreme се уверете, че стоманените листове не са подложени на триточково огъване. Огъване в три точки може да възникне, ако листовете са наредени един върху друг, а между тях има дървени греди, които не са поставени правилно. Винаги подреждайте дървените греди във всеки слой точно над дървените греди в долния слой.

Фигура 13а: Правилно подредени листове.



Фигура 13б: Неправилно подредени листове



Никога не връщайте в склад за съхранение лист с остри ъгли. Тези ъгли ще действат като повишаващи напрежението и може да причинят забавено напукване в листа. Винаги правете чист разрез, за да премахнете такива остри ъгли, преди да върнете листа в склада за съхранение. Това важи за всички методи на рязане – както термични, така и студени, като абразивно рязане с водна струя (AWJ). Hardox® 550, Hardox® 600 и Hardox® Extreme са особено чувствителни в това отношение.

Предварително подгряване и последващо нагряване

Много лесно и достъпно решение за предварително подгряване е използването на електрически нагревателни елементи и изолационни одеяла (каменна вата или подобен продукт за изолация).

Импровизирано решение за предварително подгряване

1. Поставете защита от нагряване за пода (ако подът е чувствителен на топлина)



2. Поставете опорни елементи за листа (в този случай U-образни релси)



3. Покрийте с материал за изолация



4. Поставете електрическите нагревателни подложки



5. Поставете листа, а върху него поставете термодвойки, които ще записват температурата във времето



6. Покрийте всичко с материал за изолация



Друго достъпно и практично решение е да се направи кутия за термична обработка и да се използва с електрическо нагряване.







Може да се използва лесно за предварително подгряване, последващо нагряване и бавно охлаждане.

HARDOX®
WEAR PLATE

SSAB е компания за стомана, базирана в скандинавските държави и САЩ. SSAB предлага продукти и услуги с добавена стойност, които са разработени в тясно сътрудничество с нашите клиенти за създаване на един по-силен, по-лек и устойчив свят. SSAB оперира в над 50 държави. SSAB има производствени бази в Швеция, Финландия и САЩ. SSAB е регистрирана на скандинавската фондова борса Nasdaq в Стокхолм, също както и на скандинавската фондова борса на Nasdaq в Хелзинки.
www.ssab.com.

106 - bg - Cutting Hardox® - V3 - 2026 - AplusM, Confetti - Sörmlands Service & Event.

SSAB
SE-613 80 Oxelösund
Швеция

Тел.: +46 155 25 40 00
Факс: +46 155 25 40 73
contact@ssab.com

hardox.com

Hardox® е търговска марка на групата компании SSAB.
Всички права запазени. Информацията, съдържаща се в тази брошура, е предоставена само като обща информация. SSAB AB не носи отговорност за пригодността или целесъобразността на всяко приложение. Потребителят е отговорен за независимото определяне на пригодността на всички продукти и/или приложения, както и за тяхното изпитване и проверка. Информацията, предоставена от SSAB AB тук, се предоставя „такава, каквато е, където е“ и с всички недостатъци, като целият риск, свързан с тази информация, е за сметка на потребителя.
Copyright© 2026 SSAB AB. Всички права запазени.

SSAB