



# SeverHARD

**Руководство**  
по обработке стали

**Северсталь** 

# Руководство по обработке стали SeverHARD

## Раздел 1. Гибка

<b>Общие положения</b> .....	2
<b>Материал</b> .....	3
Размеры листа	
Механические свойства листа	
Качество подготовки поверхности листа	
Качество подготовки кромок листа	
<b>Оборудование и оснастка</b> .....	4
Оснастка	
Ширина зева матрицы (расстояние между опорами)	
Оборудование (пресс)	
<b>Условия проведения процесса</b> .....	6
Трение	
Угол сгиба	
Направление гибки	

## Раздел 2. Резка

<b>Общие положения</b> .....	7
<b>Газовая (кислородная) резка</b> .....	8
Основные факторы	
Подготовка материала	
Ведение процесса (резка кислородом низкого давления)	
Требуемое качество реза и возможные основные дефекты	
<b>Плазменная резка</b> .....	12
Основные факторы	
Подготовка материала	
Ведение процесса	
Требуемое качество реза и возможные основные дефекты	



# Гибка

## Общие положения

Высокопрочные стали, к которым относится марка SeverHARD, отличаются высоким значением предела прочности, высокой твердостью, но довольно низким относительным удлинением.

При проведении гибки таких материалов возникает опасность трещинообразования, поэтому при гибке металлопроката из таких сталей важно учитывать следующие важные показатели, которые можно разделить на три группы:

Рекомендации ПАО «Северсталь» касательно проведения процесса гибки, в частности по минимальным радиусам гибки, основаны на результатах испытаний на изгиб по стандарту ISO 7438 «Металлические материалы – Испытания на изгиб».

Приведенные данные по минимальным радиусам гибки строго рекомендованы как минимальные величины.

### 1 Материал для гибки

- a) механические свойства металла,
- b) размеры,
- c) качество поперечного сечения и поверхности металла.

### 2 Условия проведения процесса

- a) направление гибки (с учетом направления прокатки листа),
- b) скорость гибки,
- c) температура металла перед гибкой,
- d) трение,
- e) упругое пружинение.

### 3 Оборудование

- a) радиус гибки,
- b) ширина зева матрицы.

# Материал

## Размеры листа

### Почему это важно

От геометрических параметров листа зависит величина упругого пружинения, которую необходимо учитывать при гибке листа на требуемый угол. Также размеры листа влияют на величину требуемого изгибающего усилия, а следовательно, и на мощность оборудования, на котором производится гибка.

### Рекомендации

- толщина: чем толще лист, тем больше величина упругого пружинения и больше изгибающее усилие;
- ширина: чем шире лист, тем более он подвержен образованию растрескиваний, даже при одинаковом радиусе гибки.

## Механические свойства листа

### Почему это важно

Высокопрочные стали обладают высоким значением предела прочности, высокой твердостью, но низким относительным удлинением, что делает их весьма чувствительными к трещинообразованию. Кроме того, от механических свойств зависят величина упругого пружинения, а также величина изгибающего усилия, а следовательно, мощность оборудования (пресса) и размеры оснастки (пуансона и матрицы).

### Рекомендации

- чем выше прочность и твердость листа, тем больше величина упругого пружинения, больше изгибающее усилие, больше радиус пуансона, больше ширина зева матрицы.

## Качество подготовки поверхности листа

### Почему это важно

Поверхность листа со следами окалины или продуктов коррозии, а также дефекты (царапины и т.д.) и неровности поверхности оснастки (пуансона или матрицы), которые могут отпечатываться на поверхности листа, способны вызывать напряжение при деформации и дальнейшее образование трещин.

### Рекомендации

- очистка поверхности листа от окалины (следов ржавчины) путем шлифовки, зачистки обнаруженных дефектов или путем дробеструйной обработки и последующего промасливания;
- отсутствие поверхностных повреждений (как на листе, так и на оснастке).

## Качество подготовки кромок листа

### Почему это важно

Напряжение при пластической деформации концентрируется на кромках после газовой резки или неровностях обрезной кромки, что может привести к образованию трещин при гибке.

### Рекомендации

- удаление неровностей (скругление кромок листа шлифовкой) перед гибкой;
- зачистка кромок от заусенцев перед гибкой;
- зачистка микротрещин по кромке (если они образовались) после гибки;
- скругление кромки после гибки (если необходимо).

# Оборудование и оснастка

## Оснастка

### Радиус пуансона

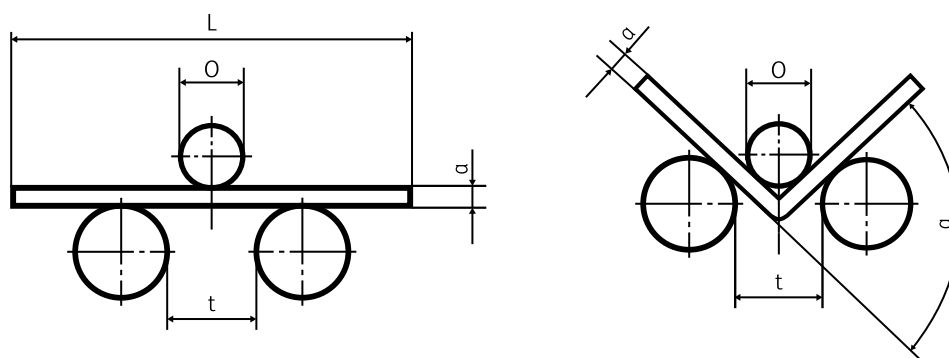
Для стали SeverHARD рекомендуется применять пуансоны с радиусом равным или несколько большим, чем требуемый.

Рекомендуемый минимальный радиус гибки – минимальный радиус пуансона, при котором не возникает растрескивание. Минимальные рекомендуемые радиусы пуансона, которые позволяют избежать растрескивания при сгибании листа на угол  $90^\circ$ , приведены в таблице 1.

### Ширина зева матрицы

(расстояние между опорами)

Увеличение ширины зева матрицы (расстояния между опорами) приводит к уменьшению требуемого изгибающего усилия, но в то же время влечет за собой увеличение величины упругого пружинения.



Общая схема процесса гибки согласно стандарту ISO 7438  
«Металлические материалы – Испытания на изгиб»

Таблица 1

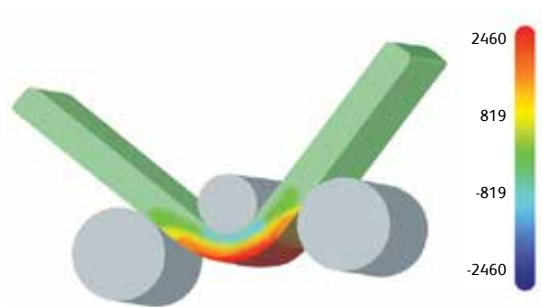
Толщина, мм	Поперек R/t	Вдоль R/t	Поперек W/t	Вдоль W/t
8–10	2,5	3,0	11	11
12–14	2,8	3,3	14	14
16–18	3,3	3,5	16	18
20–22	3,8	4,1	19	21
24–26	4,2	4,6	22	25
28–30	4,5	5,0	25	28
32–34	5,3	5,4	27	30
36–38	5,8	6,0	30	32
40–42	6,1	6,3	33	35
44–46	6,3	6,7	36	38
48–50	6,5	7,0	38	40

## Оборудование (пресс)

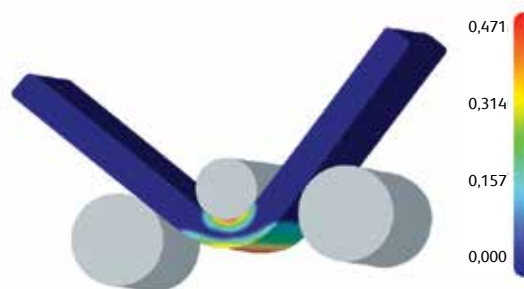
При выборе оборудования для гибки необходимо знать изгибающее усилие, которое может быть рассчитано по следующей формуле:

$$P = 1,7 \times \frac{B \cdot t^2 \cdot \sigma_B}{9865 \cdot W}$$

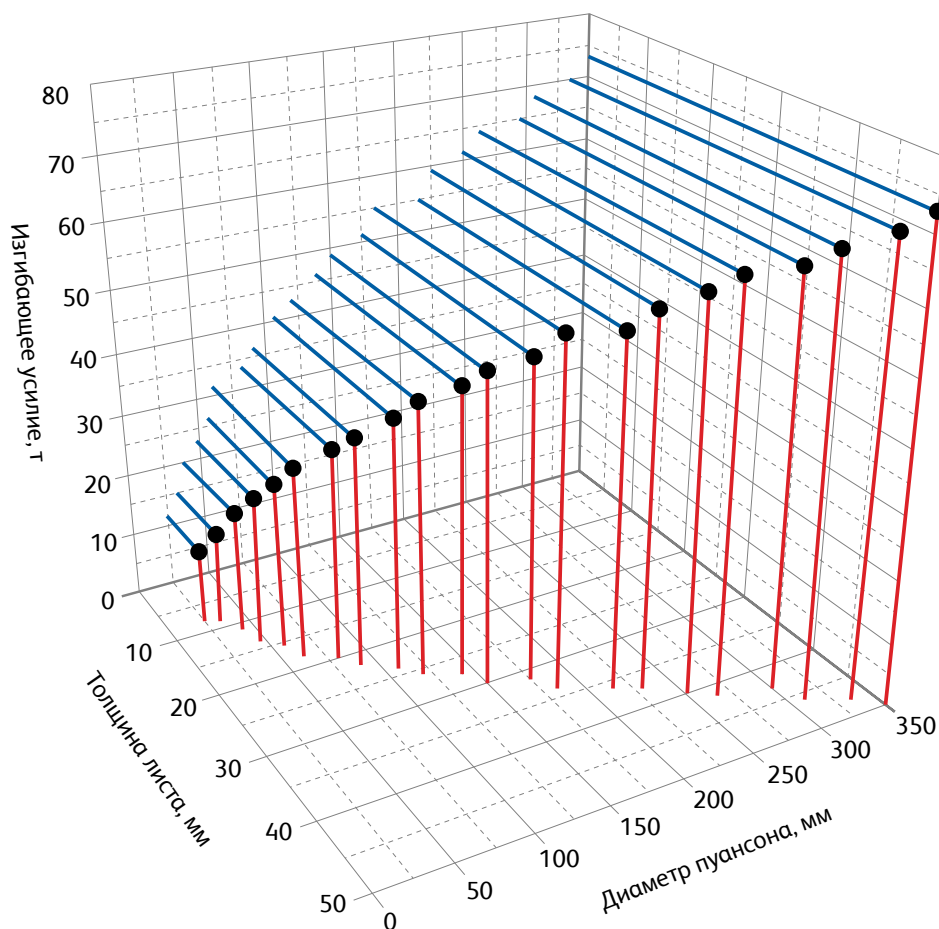
где  $P$  – изгибающее усилие, т,  
 $\sigma_B$  – прочность стального листа, МПа,  
 $t$  – толщина стального листа, мм,  
 $W$  – ширина зева матрицы, мм,  
 $B$  – ширина листа, мм.



Главные напряжения при гибке образца толщиной 10 мм, шириной 40 мм



Главные деформации при гибке образца толщиной 10 мм, шириной 40 мм



Диаметр пуансона и изгибающее усилие в зависимости от толщины листа (для испытаний образца шириной 40 мм)

## Условия проведения процесса

### Трение

Трение при проведении процесса гибки влияет на величину изгибающего усилия. Чем выше коэффициент трения, который зависит в данном случае от свойств, температуры и состояния поверхности материала, скорости процесса, состояния и формы кромок матрицы, наличия и свойств смазки, тем выше требуемое изгибающее усилие.

Кромки матрицы должны быть чистыми и не иметь повреждений. Чем выше шероховатость поверхности листа, подвергающегося гибке, и выше шероховатость поверхности матрицы, тем выше изгибающее усилие.

Если производится гибка предварительно подогретого листа, то изгибающее усилие меньше. Чем меньше радиус скругления кромок матрицы, тем выше требуемое изгибающее усилие.

Наличие смазки позволяет уменьшить требуемое изгибающее усилие.

### Угол сгиба

Рекомендованные величины, приведенные в таблице 1, применимы для гибки на угол  $90^\circ$ . Если угол сгиба меньше  $90^\circ$ , то можно использовать пуансон с меньшим радиусом.

Пружинение может быть скомпенсировано перегибом на угол пружинения.

### Направление гибки

Гибку можно осуществлять как вдоль, так и поперек направления прокатки листа. Значения  $R/t$  для гибки поперек направления прокатки ниже значений гибки вдоль направления прокатки.



# Резка

## Общие положения

Для раскроя стали марки SeverHARD могут использоваться различные типы резки:

- газовая,
- плазменная,
- механическая,
- гидроабразивная,
- лазерная.

Однако при порезке (а также после нее) износостойких сталей с повышенной твердостью возможно растрескивание металла по кромке среза с последующим расслоением. Растрескивание и расслоение кромки во время газовой и плазменной резки возникает из-за выделяющегося диффузного водорода и остаточных напряжений. Кроме того, при использовании термических способов резки происходит снижение твердости металла в зоне термического влияния.

Предложения ПАО «Северсталь» по режимам резки носят рекомендательный характер и могут быть использованы с некоторыми поправками, вытекающими из производственных условий предприятия.



# Газовая (кислородная) резка

## Основные факторы

Процесс кислородной резки основан на горении металла в струе кислорода и удалении этой струей твердых продуктов горения. Основные факторы, влияющие на ведение процесса и качество реза:

- скорость резки,
- мощность подогревающего пламени,
- давление и соотношение газов,
- температура металла перед порезкой,
- свойства и состав металла,
- наличие предварительного подогрева.

## Подготовка материала

- Плоскостность металла должна соответствовать требованиям, указанным в документации на продукт.
- Поверхность металла перед порезкой должна быть очищена от окалины, следов ржавчины и прочих загрязнений. При наличии загрязнений необходимо механически зачистить поверхность.
- Если на поверхности металла присутствует влага, то влага должна быть удалена.
- При отрицательных температурах металл желательно прогревать до комнатной температуры не менее 12 часов.



## Ведение процесса (резка кислородом низкого давления)

Для металла толщиной от 14 мм производят предварительный подогрев пламенем резака с целью уменьшения скорости охлаждения для уменьшения остаточных напряжений.

Для металла толщиной до 14 мм предварительный подогрев не требуется, кроме того, он может привести к короблению листа.

Для тонкого листа можно применять пакетную резку (количество листов в пакете от шести до 10 шт. в зависимости от толщины листа). При этом листы плотно укладывают один на другой и сжимают струбцинами, однако значительные воздушные зазоры (более 3 мм) между листами в пакете ухудшают резку. В случае проведения пакетной резки скорость резки ниже, чем при резке одиночных листов (0,165–0,180 м/мин).

Рекомендуется выбирать температуру предварительного подогрева в зависимости от толщины и значения углеродного эквивалента: чем толще лист и выше углеродный эквивалент, тем выше температура подогрева.

Резка осуществляется от края листа. Резак с режущей струей кислорода требуется равномерно передвигать по контуру реза. При порезке толстого металла (30–50 мм) перемещение резака начать после некоторой выдержки, чтобы струя режущего кислорода прорезала металл по всей толщине.

От поверхности металла резак должен находиться на таком расстоянии, чтобы металл нагревался восстановительной зоной пламени, отстоящей от ядра на 1,5–2,0 мм, т.е. наиболее высокотемпературной точкой пламени подогрева.

В процессе резки следует следить за сохранением выбранного режима резки и обеспечивать своевременное удаление графа из зоны реза, чтобы граф не препятствовал равномерному ведению резака.

Рекомендуемые параметры ведения процесса приведены в таблице 2.

Ширина зоны термического влияния увеличивается с повышением скорости резки, мощности пламени, содержания углерода и других легирующих элементов, скорости охлаждения после порезки.

Таблица 2. Параметры газовой резки

Толщина, мм	Скорость резки (расчетная), м/мин		Температура подогрева (max), °C
	max	nom	
8–12	0,5–0,50	0,35–0,30	–
14–30	0,40–0,48	0,23–0,20	250
31–50	0,32–0,40	0,20–0,18	350

### Требуемое качество реза и возможные основные дефекты

- Причиной выхватов на поверхности реза могут быть хлопки резака от его неисправности, перегрева, прикасания резака к поверхности изделия, недостатка горючего или попадания окалины на отверстие мундштука.



*Выхваты на поверхности реза*

Следует работать только исправным резак, не допуская его перегревов и прикасания мундштука к разрезаемой поверхности, не допускать частых перерывов процесса резки.

Также выхваты могут образовываться при низкой скорости резки и при качании резака из-за непрочности его закрепления в держателе или люфты. Резак должен быть прочно закреплен, люфты требуется устранить.

При вынужденных перерывах резки рекомендуется начинать рез на отходе листа на расстоянии 20–30 мм от контура детали с последующим доведением резака вручную до чистовой кромки.

- Местные непрорезы в нижней части кромки, конусность реза, впадины на поверхности реза под верхней кромкой образуются при высокой скорости резки. Следует установить скорость резки соответственно разрезаемой толщине и поддерживать ее постоянной в процессе резки.
- Причинами оплавления верхних кромок реза являются сильное пламя (в том числе и при предварительном нагреве), низкая скорость резки, увеличенное расстояние от конца мундштука до поверхности листа.



*Оплавления кромок реза*

В таком случае требуется отрегулировать пламя, чтобы оно было нейтральным или слегка окисленным; установить скорость резки соответственно разрезаемой толщине (при таком дефекте требуется увеличение скорости); поддерживать постоянным расстояние от мундштука резака до изделия, при котором ядро пламени должно почти касаться поверхности металла, соответственно.

- Причиной образования шлака, прилипшего к поверхности реза, является слишком низкая скорость резания. Также если форсунка загрязнена, то поток кислорода будет поступать непараллельно и поверхность реза не будет гладкой, на ней могут появиться ямки, подрезки, тяжелый шлак или накипь.



*Шлак, прилипший к поверхности реза  
(вид с продольной кромки)*

- Слишком высокая скорость резки приводит к сильному отставанию, о чем свидетельствуют изогнутые линии отставания на поверхности среза. Шлак будет прилипать во время резки, но его можно легко удалить.
- Если сопло находится слишком высоко над работой, то происходит чрезмерное закругление верхнего края. Кроме того, требуется снизить скорость резки.

- Причинами неперпендикулярности кромок реза к поверхности являются неправильная установка резака или его погнутость, искривление рельсовых путей стационарной машины и плоскости стола, неровная поверхность листа, неподходящее давление кислорода для разрезаемой толщины, отклонение режущей струи кислорода при перекосах или засорении внутреннего мундштука.

В таком случае требуется установить исправный резак строго перпендикулярно поверхности разрезаемого листа, проверить рельсовые пути и стол, установив их строго горизонтально, выправить лист перед порезкой, отрегулировать давление кислорода, прочистить канал внутреннего мундштука, соответственно.

- Термические трещины образуются при недостаточном предварительном подогреве кромок при резке.



*Термические трещины*

## Плазменная резка

### Основные факторы

Сущность процесса заключается в использовании в качестве источника нагрева разрезаемого металла столба сжатой электрической дуги, обдуваемой газом. Основные факторы, влияющие на ведение процесса и качество реза:

- скорость резки,
- сила тока,
- факельный зазор,
- устойчивость плазменной дуги,
- диаметр и длина сопла,
- расход рабочей среды (газов),
- рабочее напряжение дуги,
- типы и расположение горелок,
- состояние поверхности металла.

### Подготовка материала

- Плоскостность металла должна соответствовать требованиям, указанным в документации на продукт (но не более 12 мм/м).
- Поверхность металла перед порезкой должна быть очищена от окалины, следов ржавчины и прочих загрязнений. При наличии загрязнений необходимо механически зачистить поверхность.
- Если на поверхности металла присутствует влага, то влага должна быть удалена.
- При отрицательных температурах металл желательно прогревать до комнатной температуры не менее 12 часов.



## Ведение процесса

Если расстояние между резаком и изделием слишком большое, то не происходит полного проникновения дуги в заготовку и наблюдается чрезмерное искрение в верхней части заготовки. Возможные причины: установлено слишком низкое значение тока, установлена слишком высокая скорость резки, произошел износ деталей резака.

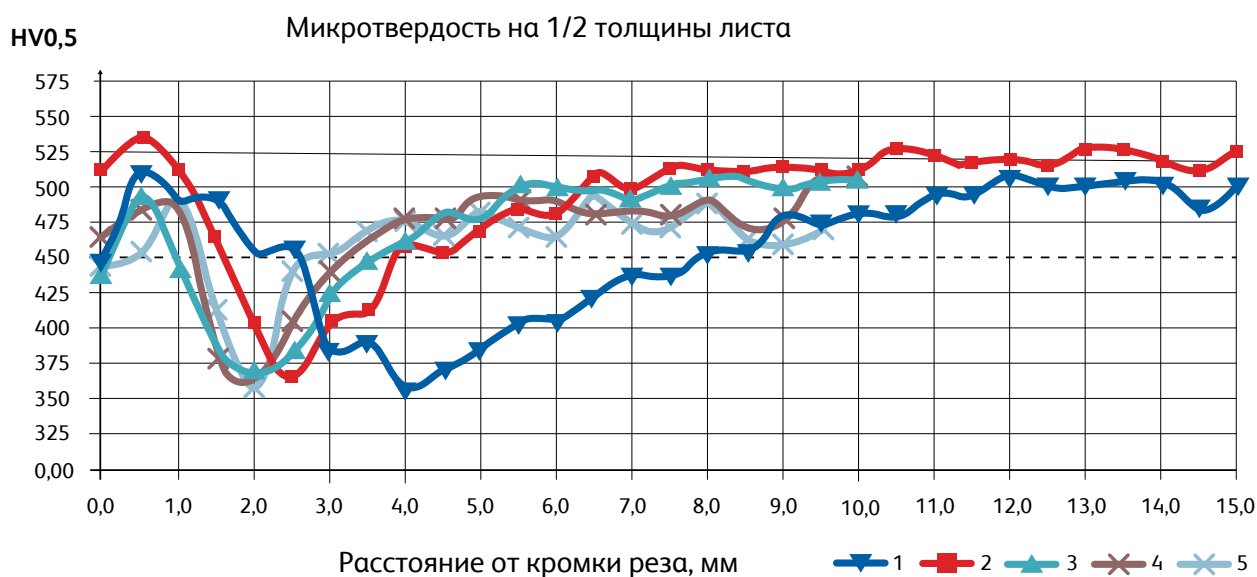
Задержка прожига должна быть достаточной для проникновения на всю глубину материала, но не настолько длительной, чтобы дуга могла «блуждать», пытаясь найти край большого отверстия прожига. По мере износа расходных деталей может понадобиться увеличение времени такой задержки.

При прожиге материалов большой толщины следует учитывать, что расстояние ввода должно примерно равняться толщине прожигаемого материала (к примеру, при толщине материала в 50 мм расстояние ввода дуги должно составлять 50 мм), во избежание повреждения защитно-

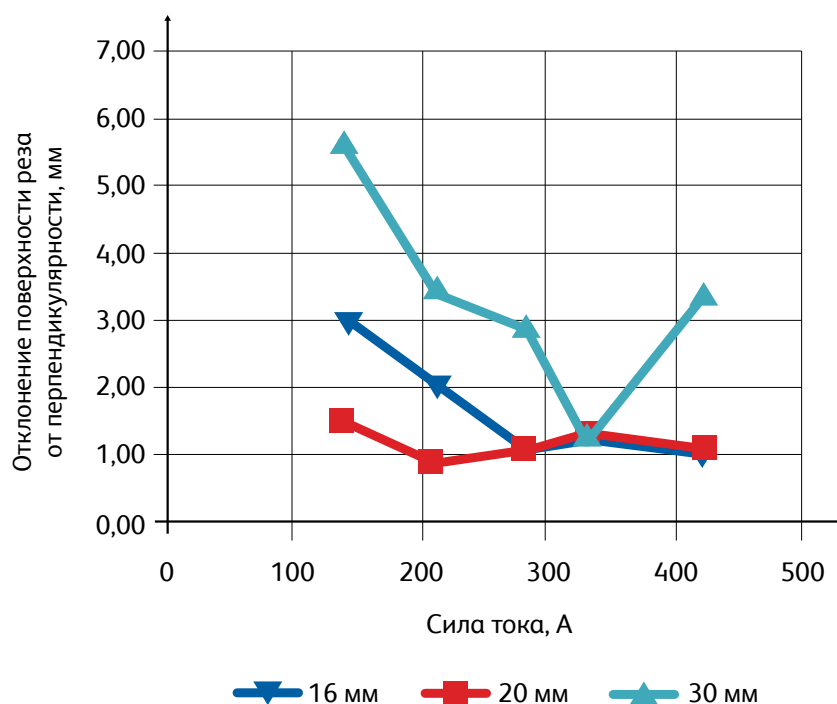
го экрана резака от накопления расплавленного материала, формируемого при прожиге, не следует допускать опускания резака на высоту резки, пока им не будет убрана ванночка расплавленного материала; различные химические составы материала могут негативно повлиять на толщину прожига (высокопрочная сталь и стали с высоким содержанием марганца или кремния могут снизить максимальную толщину прожига).

Резак не должен соприкасаться с заготовкой в процессе резки. Соприкосновение может привести к повреждению защитного экрана и сопла и негативно повлиять на поверхность резки.

Резак не должен зажигать дугу в воздухе. Допустимо начинать резку на краю заготовки при условии, что дуга не зажигается в воздухе. Для начала прожига следует использовать высоту прожига, которая в 1,5–2 раза больше расстояния между резаком и изделием.



*Зона термического влияния уменьшается при увеличении силы тока*



*Величина отклонения от перпендикулярности (косина реза) уменьшается с увеличением силы тока*

По окончании каждой операции резки дуга все еще должна находиться на заготовке во избежание гашения дуги. При возникновении гашения дуги следует попытаться снизить скорость резки на последнем этапе резки, остановить дугу до окончательного вырезания детали, чтобы дать ей возможность закончить резку во время плавного выключения, запрограммировать траекторию резака так, чтобы он выходил в область, предназначенную в лом.

По возможности следует использовать «цепную резку», при которой траектория резака идет от одной детали непосредственно к следующей без остановки и зажигания дуги. Однако не нужно допускать выхода траектории за пределы заготовки и перехода обратно на заготовку. Также важно помнить о том, что длительная цепная резка приведет к износу электрода.

Если срок службы расходных деталей снизился, то значения тока дуги, дугового напряжения, скорости перемещения, задержки перемещения, скорости потока газа или исходной высоты резака подобраны неправильно; также начало или конец резки выполняются за пределами поверхности листа. Для достижения длительного срока службы расходных деталей резку следует начинать и заканчивать на поверхности листа.

Попытки выполнять резку высокомагнитных металлических листов, таких как броневые листы с высоким содержанием никеля, приведут к сокращению срока службы расходных деталей. Сложно достичь длительного срока службы расходных деталей при резке намагниченных пластин или же листов, которые легко намагничиваются. Рекомендуемые параметры ведения процесса приведены в таблице 3.

Таблица 3. Параметры плазменной резки

Сила тока, А	8–12	14–20	24–30	38–42	44–50	Толщина, мм
200	4 355	2 275	1 165	510	255	Скорость резки, мм/мин
260	4 440	2 170	1 445	895	405	
400	4 430	2 805	1 790	1 160	795	

## Требуемое качество реза и возможные основные дефекты



Правильный рез (вид с торца листа)

- Если режим резки подобран правильно, то поверхность среза гладкая, линии реза почти вертикальные, к нижнему краю прилипает мало шлака, верхний край слегка закруглен. Поверхность резки обычно немного вогнута.

Если существуют какие-либо отклонения от оптимального режима резки для той или иной толщины, возникают различные дефекты.

- Некачественная поверхность реза. Поверхность резки становится очень вогнутой при слишком низком расстоянии между резаком и изделием. В таком случае следует увеличить дуговое напряжение, чтобы в свою очередь увеличить расстояние между резаком и изделием и выпрямить поверхность резки.

Поверхность резки становится выпуклой, когда расстояние между резаком и изделием слишком велико или чрезмерно высок ток резки. В таком случае сначала следует уменьшить дуговое напряжение, а затем понизить ток резки.

Если для данной толщины возможны различные значения тока резки, то следует попробовать использовать расходные детали, предназначенные для более низкого тока.



- Угол среза (положительный или отрицательный). Существуют три варианта угла среза: прямой, положительный и отрицательный. Требуемым является прямой угол среза. Положительный угол среза возникает, если из верхней части среза удаляется больше материала, чем из нижней. Причина этого – слишком низкое расположение резака над заготовкой. Можно увеличить дуговое напряжение, чтобы поднять резак.

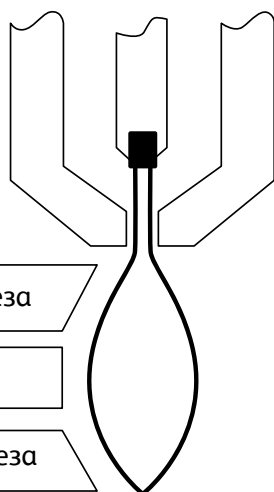
Отрицательный угол среза возникает, когда больше материала удаляется из нижней части среза. Причина этого – слишком высокое расположение резака над заготовкой. Можно уменьшить дуговое напряжение, чтобы опустить резак.

### Проблема

Отрицательный угол среза

Прямой рез

Положительный угол среза



Если угол среза не прямой, то возможными причинами могут также являться неверная скорость резки или неверный ток дуги, повреждение расходных деталей или же расположение резака к заготовке под углом, отличным от прямого. Для правильного расположения резака перпендикулярно заготовке можно воспользоваться угольником. Также резак будет перемещаться ровнее, если очистить, проверить и отладить систему рельсовых направляющих и привода на столе для резки.

- Окалина. Когда скорость резки слишком низкая – образуется окалина, в результате чего дуга уходит вперед. Окалина образуется в виде тяжелых пузырчатых отложений в нижней части среза, ее легко можно убрать. Для снижения количества образующейся окалины следует повысить скорость.

Окалина высокой скорости образуется при слишком высокой скорости резки, из-за которой дуга отстает. Такая окалина образуется в виде тонкой и узкой полоски металла, расположенной очень близко к срезу. Она закрепляется в нижней части среза, и ее сложно удалить.

Чтобы снизить образование окалины при высоких скоростях, следует снизить скорость резки, понизить дуговое напряжение, чтобы уменьшить расстояние между резаком и изделием.

Вероятность образования окалины выше на теплом или горячем металле, чем на холодном. Например, первая операция резки из серии таких операций приводит к образованию меньшего количества окалины. По мере нагревания заготовки в ходе последующих операций резки может образовываться большее количество окалины.

Использование изношенных или поврежденных расходных материалов может привести к периодическому образованию окалины.

