

Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

ТЕХНИЧЕСКИЕ РЕКОМЕНДАЦИИ





Quard[®]

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend[®]

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

Введение

***Quard**[®] является торговой маркой линейки износостойких листовых сталей, выпускаемых компанией NLMK Clabescq, которая в настоящее время охватывает три уровня твердости по Бринеллю — 400, 450 и 500. В процессе разработки находится марка твердости 550 по Бринеллю.*

***Quend**[®] является торговой маркой линейки конструкционных листовых сталей с высоким пределом текучести, выпускаемых компанией NLMK Clabescq, начиная с марки Quend 700, имеющей минимальный предел текучести 700 МПа, за которой следуют марки Quend 900, Quend 960 и, находящаяся в данный момент в разработке, Quend 1100.*

Quard[®]

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend[®]

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

РЕЗКА



Quard[®]

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend[®]

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

1. Введение

*Резку **Quard**[®] и **Quend**[®] можно выполнять любым из традиционных методов резки, как холодной, так и термической.*

Холодная резка — это резка ножницами, пилами, методом абразивной шлифовки или абразивной водоструйной резки. Под термическими методами резки в данном руководстве подразумеваются кислородная резка, плазменная резка и резка лазером.

*Резка сталей **Quard** и **Quend** не имеет существенных отличий от резки стали традиционных марок. Тем не менее при резке толстых листов необходимо принимать во внимание ряд особенностей.*

*Данное руководство поможет вам ознакомиться с тем, как продукты **Quard** и **Quend** ведут себя при термической обработке и как избежать ошибок при различных операциях порезки.*

Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

2. Трещины на обрезанных кромках

При термической резке толстых листов закаленной и отпущенной стали, а также сталей с достаточно высоким углеродным эквивалентом могут образовываться трещины, способные распространяться от краев реза. Эти трещины могут быть вызваны теми же причинами, что и холодные трещины при сварке, а именно:

- содержанием водорода в стали;
- остаточным напряжением кромки среза;
- высоким углеродным эквивалентом.

Трещины на обрезанных кромках в сортах закаленной и отпущенной стали распространяются замедленно, то есть возникшие трещины могут стать визуально заметными лишь через несколько дней или даже недель после резки.

Растрескивание кромок среза можно предотвратить, если тщательно учесть следующие аспекты:

- метод резки;
- требование предварительного нагрева;
- скорость резки;
- медленное охлаждение/нагревание после обработки.

Во время термической резки обрабатываемая кромка листа проходит термический цикл от температуры плавления стали до температуры окружающей среды. Затронутая этими процессами область, которую называют зоной термического влияния (ЗТВ), очень ограничена и имеет размер всего несколько миллиметров. Ширина ЗТВ зависит от метода резки и толщины листа. Поскольку резка влияет на механические свойства ЗТВ, при выборе метода резки и используемой процедуры важно принять во внимание последствия.

При применении любого из методов холодной резки зона термического влияния не образуется, и механические свойства кромки остаются неизменными.

3. Предварительный нагрев

Лучший способ избежать проблем с растрескиванием кромок реза — это предварительный нагрев перед резкой. Чаще всего предварительный нагрев применяется во время кислородной резки, поскольку этот метод приводит к образованию наиболее обширной зоны термического влияния. Необходимость предварительного нагрева и его температура зависят от сорта стали и толщины листа. В табл. 1 показаны требования к предварительному нагреву для стали Quard.

Таблица 1. Рекомендации по предварительному нагреву при кислородной резке Quard

Сорт стали	Толщина листа, мм	Температура предварительного нагрева, °C
Quard 400	≥ 50	100–125
Quard 450	≥ 40	100–125
Quard 500	≥ 25	100–150

Примечание: При толщине листа до 50 мм продукты Quend не нуждаются в предварительном нагреве перед термической резкой.

В начале процесса термической резки температура листа должна быть равной температуре окружающей среды, но не ниже 0 °C.

После резки дайте отрезанным деталям медленно остыть до комнатной температуры. Ни в коем случае не ускоряйте их охлаждение.

Медленное остывание снизит риск образования трещин на кромках.

Quard[®]

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend[®]

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

4. Скорость резки

Если предварительный нагрев невозможен, существует другой способ снизить риск растрескивания краев. Снижая скорость при кислородной резке, можно добиться того, чтобы тепло, образующееся в процессе резки, действовало на еще не разрезанную сталь как предварительный нагрев. Этот метод не столь надежно предотвращает растрескивание кромок, как метод предварительного нагрева, которому следует отдать предпочтение. В целях дополнительного снижения риска растрескивания кромок можно применять предварительный нагрев в сочетании с низкой скоростью резки. Снижать скорость резки следует, начиная с той же толщины листа, при которой рекомендуется применять предварительный нагрев. См. табл. 1. Ограниченная скорость равна 50 % от нормальной* скорости резки для листа соответствующей толщины.

*Под нормальной скоростью здесь понимается скорость, рекомендованная поставщиком режущего оборудования. Она обычно зависит от горелки.

5. Градиент твердости в зоне реза

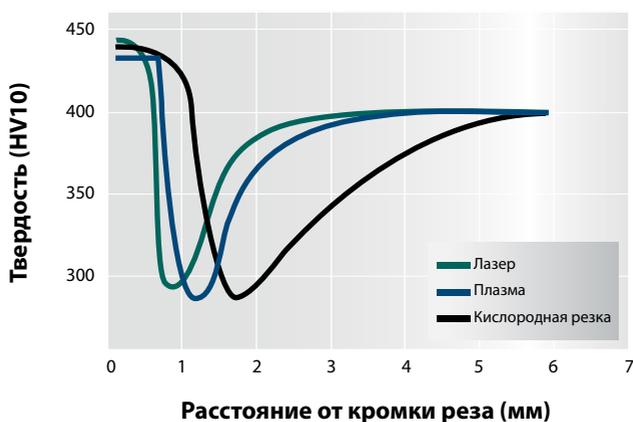
В зависимости от применяемого метода резки количество тепла, подводимого к листу и накапливающегося в нем, варьируется. Чем больше тепла подводится к листу, тем обширнее зона термического влияния. Наиболее обширная зона термического влияния получается при кислородной резке, а самая узкая — при лазерной резке.

Во всех случаях применения термического метода резки, твердость имеет пик у края реза, за которым следует минимум на расстоянии примерно 1–3 мм от кромки реза.

Нетрудно понять, что вариация твердости приводит к определенному напряжению в ЗТВ, способному спровоцировать появление микротрещин (особенно в присутствии водорода).

Еще один эффект пиковой твердости кромки реза обнаруживается при фрезеровке этой кромки. Чтобы предотвратить чрезмерный износ режущего инструмента, важно, чтобы глубина фрезерной обработки была больше, чем глубина твердого слоя поверхности.

Рис. 1. Зависимость твердости по Бринеллю от расстояния от поверхности кромки при различных методах резки.



Quard[®]

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend[®]

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

6. Медленное охлаждение и нагрев после резки

Как упоминалось выше, всегда следует применять медленное охлаждение деталей после термической резки.

Для того чтобы дополнительно замедлить охлаждение, рекомендуется сложить отрезанные детали (еще теплыми) в стопку и укрыть их теплоизолирующим материалом.

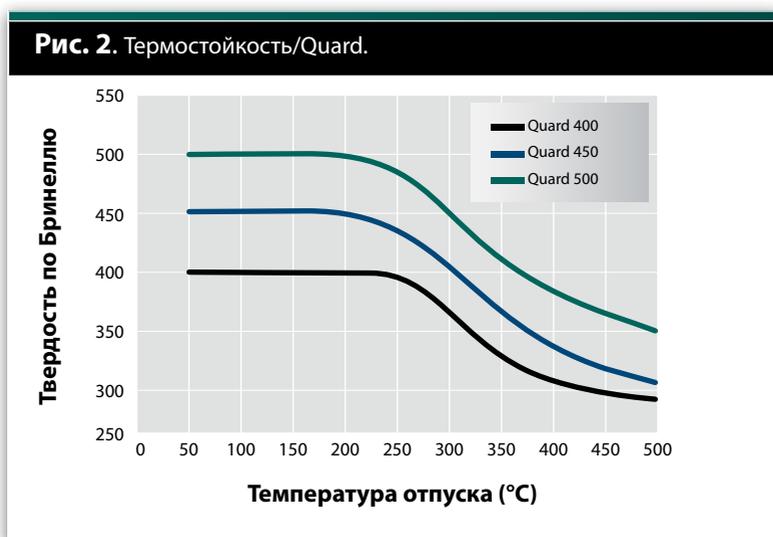
При необходимости можно дополнительно нагреть отрезанные детали. Такой нагрев следует выполнять после завершения резки. Температура при этом должна быть в диапазоне от 100 до 200 °С, а время нагрева должно соответствовать пяти минутам на миллиметр толщины листа. Дополнительный нагрев лучше всего производить в печи для термообработки, но можно это сделать и с помощью кислородных горелок.

Применяя медленное охлаждение или дополнительный нагрев, можно снизить остаточное напряжения в срезе и в то же время дать больше времени водороду для диффузии из зоны реза. Такие действия окажут дополнительную помощь в предотвращении появления трещин на обрезанных кромках.

7. Резка мелких деталей из Quard

При резке деталей небольшого размера тепло, выделяющееся в процессе резки, накапливается в разрезаемой детали. Чем меньше деталь и/или чем больше толщина листа, тем больше вероятность чрезмерного отпуска (размягчения) детали.

Термостойкость Quard показана на рис. 2 как зависимость твердости от температуры отпуска.



Для сохранения твердости, а значит и износостойкости, при резке небольших деталей важно ограничить накопление тепла в детали.

Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

Сократить накопление тепла при резке небольших деталей можно следующим способами:

- подбором надлежащего метода резки, такого как лазерная резка или гидроабразивная резка, при этом выделение тепла будет минимальным;
- использовании плазменной или кислородной резки с погружением в воду на специальном столе для резки под водой; в этом случае вода будет эффективно отводить тепло от листа*.

*Резка с погружением — это процесс, отличный от описанного в разделе о медленном охлаждении. При резке под водой зона термического влияния будет более узкой, чем при резке на воздухе. Так можно ограничить вредный эффект ЗТВ. При выполнении резки с погружением скорость резки уменьшается на 30–50 % по сравнению с обычной резкой на воздухе. Это соответствует рекомендации о применении низких скоростей резки для недопущения растрескивания кромок.

8. Лазерная резка

И **Quard**, и **Quend** допускают лазерную резку.

Quard и Quend могут выпускаться как с грунтованным покрытием поверхности, так и без покрытия. В зависимости от типа поверхности степень эффективности лазерной резки может слегка варьироваться.

Грунтованное покрытие, используемое NLMK Clabecq, представляет собой состав с низким содержанием силиката цинка, ограничивающий негативные эффекты, характерные для лазерной резки листов с грунтованным покрытием.

При лазерной резке поверхности листа с грунтованным покрытием для получения высококачественной поверхности среза может потребоваться снижение скорости резки на 5–10 % по сравнению с резкой листа без грунтованного покрытия.

Quard[®]

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend[®]

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

ХОЛОДНАЯ ФОРМОВКА



Quard[®]

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend[®]

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

1. Введение

Quard[®], износостойкая сталь, и *Quend*[®], сталь с высоким пределом текучести, рассчитаны на то, чтобы обеспечивать оптимальные характеристики при холодной формовке. Для обеспечения точного, качественного и безопасного выполнения гибки к стали предъявляются требования, относящиеся к чистоте, однородности свойств по толщине, качеству обработки поверхности, низким остаточным напряжениям и узким допускам по толщине.

При производстве сталей толщиной не более 8 мм особое внимание уделяется специализированному проектированию марок *Quard* и *Quend*, чтобы достигались отличные показатели гибки.

Конкурентоспособные качества *Quard* и *Quend*, включая узкие допуски по толщине, превосходное качество обработки поверхности и плоскостность, обеспечивают возможность холодной формовки стали.

Высокое качество обработки поверхности	Более высокая устойчивость к растрескиванию: уменьшает количество точек зарождения трещины вдоль линии изгиба
Узкие допуски по толщине	Более высокая воспроизводимость: обеспечивает постоянное упругое последствие при гибке
Плоскостность	Более высокая воспроизводимость: улучшает допуск на форму при гибке

Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

2. Гибка

Холодная формовка листовой стали включает в себя пластическую деформацию или растяжение поверхности листа на внешней растянутой стороне изгиба. Степень возможной пластической деформации без превышения предела прочности материала определяется минимальным радиусом изгиба, который может использоваться для конкретной операции.

Основные факторы, определяющие формовочные свойства стали, или способность к пластической деформации без разрушения, перечислены ниже в пунктах А–Е.

А. Тип стали:

Низкопрочная сталь обычно более пластична, чем высокопрочная, и поэтому способна изгибаться при меньших радиусах. Как правило, низкое содержание углерода является необходимым условием хороших формовочных свойств, поэтому возможность использовать обедненный состав для производства высокопрочной закаленной и отпущенной стали дает преимущество в отношении холодной формовки. Чем выше прочность стали и твердость, тем больше упругое последствие, усилие пуансона и требуемый радиус инструмента.

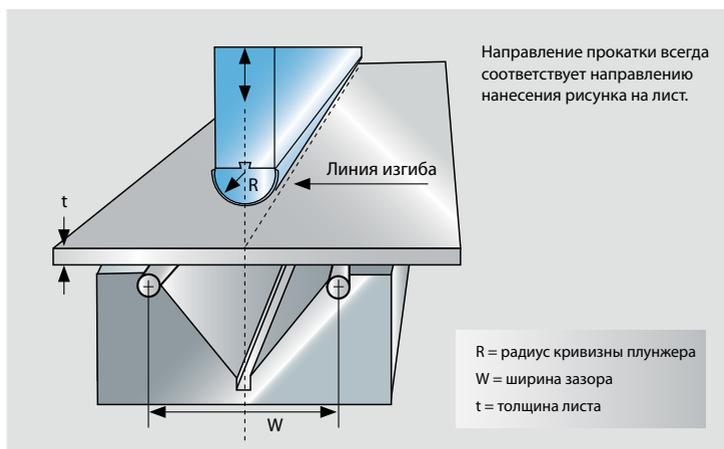
В. Направление прокатки:

Вследствие технологии прокатки, применяемой в процессе изготовления листовой стали, свойства листов будут различаться в зависимости от ориентации относительно направления прокатки. При ориентации линии изгиба поперек прокатки свойства при изгибе улучшаются за счет более благоприятной ориентировки микроструктуры листа.

С. Состояние кромки и поверхности листа:

Плохое качество кромок листа или плохое состояние поверхности вдоль линии изгиба может стать причиной появления точек зарождения трещины, ограничивая показатели качества гибки листа. По этой причине перед операцией гибки следует рассмотреть необходимость сглаживания и (или) удаления острых углов/кромки и расщепов на обрезных кромках, выемок, дроссов, образовавшихся на краях в результате газоплазменной резки, царапин и чешуек вторичной окалины вдоль линии изгиба. При гибке всегда располагайте поверхность кромки худшего качества с внутренней (сжимаемой) стороны листа.

Гибочный станок.



Quard[®]

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend[®]

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

D. Трение:

Для уменьшения трения между краями матрицы и листом рекомендуется снабдить матрицу свободно вращающимися стальными роликами. Дополнительно снизить трение можно за счет разбрызгивания смазочных материалов в контактных зонах между краями матрицы и листом.

Ширину канала матрицы следует приспособить для наилучшего выполнения операции гибки. При увеличении ширины канала матрицы возрастает упругое последствие, при этом изгибающее усилие уменьшится.

Е. Пуансон:

При гибке закаленной и отпущенной стали пуансон должен иметь радиус, равный или несколько больший заданного конечного радиуса формуемого листа.

Радиус инструмента следует выбирать таким образом, чтобы он точно соответствовал минимальному соотношению R/t , приведенному в числе рекомендаций по гибке Quard и Quend в таблицах 1 и 2.

Чтобы обеспечить надлежащий контакт между стальным листом и пуансоном в течение всей операции формования, радиус головки пуансона должен составлять 180° .

Предупреждение

При холодном прессовании (формовании) высокопрочной закаленной и отпущенной стали используются очень большие усилия. Учитывая риск разрушения листа или поломки гибочного пресса, персонал, работающий поблизости от станка, всегда должен соблюдать правила техники безопасности, в соответствии с которыми во время операции гибки нельзя находиться слишком близко или стоять перед станком.

Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

3. Рекомендации по выполнению гибки

А. Радиус пуансона

Минимальный рекомендуемый радиус пуансона R (мм) при гибке под углом 90° в поперечном и продольном направлении по отношению к прокатке.

Таблица 1. Износостойкая сталь Quard.

Толщина листа, мм		Направление гибки отн. прокатки	Радиус изгиба, R (мм)		
			Quard 400	Quard 450	
≤ t <					
-	8	Поперечное Продольное	2.5 x t 3.0 x t	3.5 x t 4.0 x t	3.5 x t 4.5 x t
8	20	Поперечное Продольное	3.0 x t 4.0 x t	4.0 x t 5.0 x t	4.5 x t 5.0 x t
20	-	Поперечное Продольное	4.5 x t 5.0 x t	5.0 x t 6.0 x t	6.0 x t 7.0 x t

Таблица 2. Сталь с высоким пределом текучести Quend.

Толщина листа, мм		Направление гибки отн. прокатки	Радиус изгиба, R (мм)	
			Quend 700	Quend 900 Quend 960
≤ t <				
-	8	Поперечное Продольное	1,5 x t 2,0 x t	2,5 x t 3,0 x t
8	20	Поперечное Продольное	2,0 x t 3,0 x t	3,0 x t 4,0 x t
20	-	Поперечное Продольное	3,0 x t 4,0 x t	4,0 x t 5,0 x t

В. Канал матрицы

Рекомендуемый канал матрицы (соотношение W/t) при гибке сталей **Quard** и **Quend** должен оставаться в пределах указанных в таблицах ниже.

Таблица 3. Износостойкая сталь Quard.

Толщина листа, мм		Направление гибки отн. прокатки	Канал матрицы, W/t		
			Quard 400	Quard 450	Quard 500
$\leq t <$					
-	8	Поперечное	8	10	10
		Продольное	10	10	12
8	20	Поперечное	10	10	12
		Продольное	10	12	14
20	-	Поперечное	12	12	16
		Продольное	12	14	18

Таблица 4. Сталь с высоким пределом текучести Quend.

Толщина листа, мм		Направление гибки отн. прокатки	Канал матрицы, W/t	
			Quend 700	Quend 900 Quend 960
$\leq t <$				
-	8	Поперечное	8	9
		Продольное	9	10
8	20	Поперечное	8	9
		Продольное	9	10
20	-	Поперечное	9	10
		Продольное	10	12

Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

С. Упругое последствие

Расчетное упругое последствие при гибке до 90°.

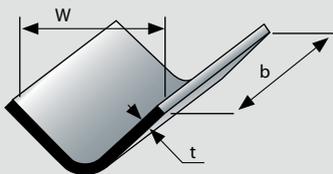
Марка стали	Типовое упругое последствие
Quard 400	8-12°
Quard 450	10-14°
Quard 500	12-18°
Quend 700	6-10°
Quend 900/960	8-12°

Упругое последствие возрастает при:

- увеличении твердости и прочности стального листа;
- увеличении ширины канала матрицы;
- увеличении радиуса пуансона.

4. Расчет изгибающего усилия

Энергия, необходимая для гибки.



$$F = C \cdot \frac{R_m \cdot b \cdot t^2}{W}$$

R_m = прочность на разрыв, (МПа)
 t = толщина листа, (мм)
 C = константа (1,5)
 b = длина сгибаемого листа, (мм)
 W = ширина канавки V , (мм)

Пример:

Quard 400:

R_m : 1250 МПа;

толщина листа (t) = 10 мм;

длина гибки (b) = 2500 мм;

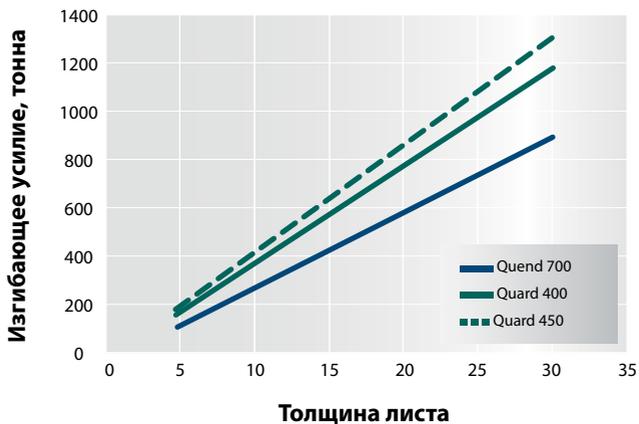
Ширина матрицы (W): 120 ($W = 12 \times t$).

Расчет изгибающего усилия:

$$F \text{ (Ньютон)} = 1.5 \times \frac{(1,250 \times 2,500 \times 10^2)}{120}$$

$$F = 3906250 \text{ Ньютон} / 10\,000 \\ = 391 \text{ тонна, (см. график)}$$

Изгибающее усилие, необходимое для гибки стальных листов Quard 400, 450 и Quend 700 длиной 2 500 мм, показано в зависимости от толщины листов.



Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

СВАРКА



Quard[®]

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend[®]

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

1. Введение

Quard[®], износостойкая сталь, и *Quend*[®], конструкционная сталь с высоким пределом текучести, сочетают в себе уникальные потребительские характеристики и превосходную пригодность к сварке. В основе как *Quard*, так и *Quend* лежит низколегированная сталь, углеродный эквивалент которой всегда является низким. *Quard* и *Quend* можно сваривать со всеми поддающимися сварке сортами стали с помощью любого из традиционных методов сварки, как ручной, так и автоматической.

Quard и *Quend* свариваются так же легко, как и стали других сортов, имеющиеся на рынке. Однако для получения высококачественных сварных соединений при работе с *Quard* и *Quend* необходимо уделять особое внимание следующим аспектам:

- необходимости предварительного нагрева перед сваркой;
- подводу тепла при сварке;
- выбору электрода.

Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

2. Предварительный нагрев

При сваривании толстых листов закаленной и отпущенной стали возникает необходимость предварительного нагрева зоны соединения перед сваркой в целях недопущения образования трещин.

Наличие такой необходимости, а также требуемая температура предварительного нагрева, зависят от нескольких факторов: 1) углеродного эквивалента стали, 2) условий напряжения в сварном шве и 3) типа используемого электрода.

Углеродный эквивалент вычисляется по составу стали, указанному в паспорте листа. Углеродный эквивалент обычно указывают в CEV или CET. Показатель CEV традиционно чаще используется для выражения углеродного эквивалента стали. Показатель CET, с другой стороны, разработан для более точного отражения свойств стали, подвергнутой закалке и отпуску. Оба эквивалента указываются во всей технической документации по сварке Quard и Quend.

Независимо от типа углеродного эквивалента, общее правило таково: чем выше углеродный эквивалент, тем большего внимания требует предварительный нагрев.

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

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

Примечание:

Сравнивая углеродные эквиваленты различных сортов стали, проследите за тем, чтобы сравнивались эквиваленты одного и того же типа. Рассчитывая углеродный эквивалент листа Quard или Quend, обязательно используйте плавочный химический состав, указанный в паспорте продукции, а не максимальные данные, указанные в руководстве.

3. Водородное растрескивание / холодное растрескивание

Если не соблюдать рекомендации по предварительному нагреву при сварке толстых листов **Quard** или **Quend**, могут возникнуть проблемы с растрескиванием сварного шва. Трещины такого типа называют водородным растрескиванием, или холодным растрескиванием. Они появляются примерно через 48 часов после завершения сварки.

Проблему водородного растрескивания можно полностью устранить, тщательно учитывая требования к предварительному нагреву стали, а также рекомендации по выбору расходных материалов.

Водородные трещины, в основном, возникают в результате влияния одного или одновременно нескольких факторов:

- **слишком высокий углеродный эквивалент;**
- **слишком высокое напряжение в месте сварного шва;**
- **слишком высокое содержание водорода в наплавленном металле шва.**

Главная цель предварительного нагрева — замедлить скорость охлаждения в зоне термического влияния и сваривать металл таким образом, чтобы водород мог медленно диффундировать из стали. Предварительный нагрев наиболее важен при выполнении корневого валика и прихваточного шва, так как лист в начале процесса сварки холодный.

Quard[®]

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend[®]

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

4. Как не допустить водородного растрескивания

Марки стали **Quard** и **Quend**, изготавливаются согласно концепции низколегированных сплавов, что обеспечивает очень низкие углеродные эквиваленты при данной твердости и прочности и, в свою очередь, обуславливает превосходные качества сварки.

Если хорошо подогнать свариваемые детали и применять сбалансированную технику сварки, то напряжение, возникающее при сварке, можно свести к минимуму. Следуя нашим инструкциям, можно подобрать подходящий электрод, идеально соответствующий вашим требованиям. Так вы избежите от ненужных напряжений, возникающих в сварном соединении.

Помимо выбора электрода соответствующей прочности важно также, чтобы содержание водорода в свариваемом металле оставалось низким. Используйте только электроды, обеспечивающие содержание водорода в металле шва не более 5 мл/100 г сваренного металла. Типичное содержание водорода в металле сварного соединения всегда указывается на заводской упаковке.

Для получения сварных соединений высокого качества со сталями Quard и Quend рекомендуется соблюдать стандарты подготовки и очистки материалов для сварочных работ, следя за тем, чтобы на соединениях не было ржавчины, масла, смазки и влаги.

5. Рекомендуемые температуры предварительного нагрева

Необходимость предварительного нагрева повышается при следующих условиях:

- рост углеродного эквивалента;
- увеличение толщины листа;
- повышение содержания водорода в наплавленном металле шва;
- уменьшение количества подводимого тепла.

Рекомендуемый минимальный предварительный нагрев указывают в расчете на толщину одного листа. Метод испытаний, с помощью которого определяют рекомендованные параметры предварительного нагрева — это проба Теккен.

Таблица 1. Сварка с подводом тепла $\geq 1,7$ кДж/мм. Содержание водорода в наплавленном металле шва: ≤ 5 мл / 100 г металла шва.

	Толщина листа, мм					
	3	10	20	30	40	50
Quard 400				75	100*	
Quard 450				125	150*	
Quard 500		100	125	150*	175*	200*
Quend 700					100*	
Quend 900/960		100		125*		

*Расчетные температуры предварительного нагрева. Марки находятся в стадии разработки в 2014

Quard[®]

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend[®]

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

ВАЖНОЕ ПРИМЕЧАНИЕ!!!

- Если планируется применять предварительный нагрев, это необходимо делать как во время выполнения первичного прихваточного шва, так и при подгонке/фиксации листов.
- Длина прихваточных швов должна быть не менее 50 мм.
- Если углеродный эквивалент расходного материала больше, чем у листа, температура предварительного нагрева должна быть примерно на 25 °С выше температуры, указанной в таблице 1.
- Если применяется предварительный нагрев, температура сварного соединения не должна падать ниже указанной температуры предварительного нагрева в течение всего процесса сварки.
- Если температура окружающей среды или температура листа во время выполнения сварочного соединения остается ниже +5 °С, рекомендованную температуру предварительного нагрева следует увеличить на 25 °С.

6. Рекомендуемая температура между проходами

В многопроходных сварных швах и при малых длинах последовательных швов выделяемое тепло накапливается и повышает температуру в зоне сварки. В результате температура сварного соединения перед нанесением очередного шва может быть очень высокой. Для того чтобы не допустить слишком высоких температур между проходами, которые могли бы повлиять на механические свойства материала в зоне термического влияния, необходимо соблюдать рекомендованную максимальную температуру между проходами, указанную в табл. 2.

Таблица 2. Рекомендуемая максимальная температура между проходами

Сорт	Температура между проходами
Quard 400 / 450	225 °C
Quend 700 / 900 / 960	325 °C

Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

7. Рекомендуемый подвод тепла

Подвод тепла — это тепловая энергия, подводящаяся к свариваемому соединению при выполнении одного сварного шва.

Чем выше подвод тепла, тем больше тепла должно быть отведено от сварного соединения в сталь.

Расчет подвода тепла при сварке.

$$Q = \frac{k \times U \times I \times 60}{v \times 1000}$$

Q = подвод тепла (кДж/мм)

U = напряжение (В)

I = ток (А)

v = скорость сварки (мм/мин.)

k = степень термического влияния

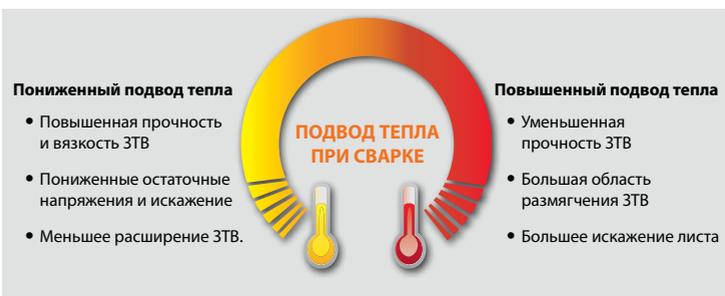
Степень термического влияния

k

MMA	0,8
MAG, все типы	0,8
SAW	1,0
TIG	0,6

Стали Quard и Quend приобретают свои механические свойства в процессе закалки, а также, когда это предусмотрено, во время последующего отпуска. Если зона термического влияния (ЗТВ) подвергается воздействию очень высоких температур, это может отразиться на механических свойствах готового изделия.

Влияние подвода тепла на механические свойства шва.



Высокий подвод тепла позволяет повысить производительность. Однако если он будет слишком большим, это негативно отразится на прочности сварного соединения, ударной вязкости, качестве сварного соединения и расширении зоны термического влияния.

Общее количество тепла, поступающего в ЗТВ, зависит от подвода тепла, температуры предварительного нагрева и температуры между проходами. Ограничения максимального подвода тепла (рис. 1 и 2) вводятся для того чтобы не допустить возможного ухудшения свойств материала в зоне термического влияния.

Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

Рис. 1. Рекомендуемый макс./мин. подвод тепла при сварке Quard 400 / 450. (Минимальное значение относится к традиционным способам сварки).

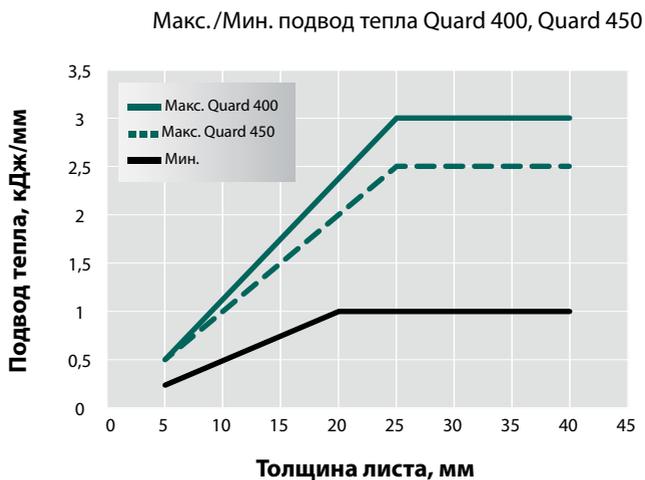
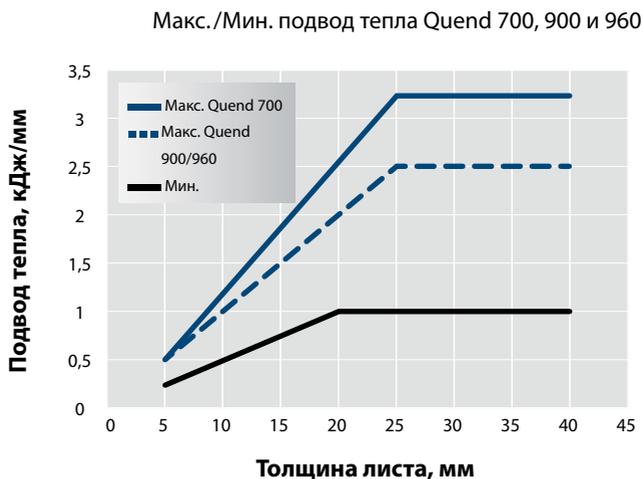


Рис. 2. Рекомендуемый макс./мин. подвод тепла при сварке Quend 700 / 900 / 960. (Минимальное значение относится к традиционным способам сварки).



Рекомендуемая $\Delta t_{8/5}$

Сорт стали	Время охлаждения от 800 °C до 500 °C
Quend 700	5–25 с
Quend 900 / 960	5–15 с

Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

8. Подбор электродов

Электроды, рекомендуемые для сварки сталей **Quard** и **Quend**, относятся к группе нелегированных или низколегированных ферритных расходных материалов. В зависимости от применяемого способа сварки электрод может быть с твердой проволокой (GMAW) или в сочетании с флюсом (как в случае сварки покрытым электродом, дуговой сварки под флюсом и дуговой сварки порошковой проволокой). Если применяется флюс, рекомендуется использовать основной флюс. Дело в том, что основной флюс обычно дает более чистый сварной шов и большую ударную вязкость металла, при этом он менее восприимчив к накоплению водорода.

Для того чтобы свести к минимуму риск образования водородных трещин, сварку всегда следует производить с использованием безводородных сварочных электродов, обеспечивающих содержание водорода в металле сварного шва не более 5 мл/100 г металла шва.

При сварке износостойких сталей марки **Quard** следует использовать электроды с пределом текучести не более 500 МПа. При использовании электродов с более высоким пределом текучести повышается уровень напряжения в шве, что, в свою очередь, повышает вероятность образования холодных трещин. Использование электродов с ограниченным пределом текучести позволяет металлу шва ослабить напряжения после выполнения шва с высокими напряжениями.

При выполнении сварных соединений конструкционных сталей марки **Quend** необходимо соблюдать требования соответствующего стандарта в отношении поперечной прочности сварного соединения. В этом случае следует подбирать расходные материалы, соответствующие указанному пределу текучести или слегка превышающие его. Это означает, что прочность наплавленного металла должна быть равна прочности основного металла или слегка превосходить ее. Для **Quend 700** такие электроды найти легко, но что касается **Quend 960-1100** — лишь немногие производители выпускают расходные материалы с таким высоким пределом текучести.

В табл. 3–5 указаны электроды, рекомендуемые для сварки сталей Quard и Quend в зависимости от выбранного метода сварки. В таблицах также указаны обозначения класса AWS и класса EN, соответствующие прочности стали, пределу текучести и составу соответствующих расходных материалов.

Обозначение методов сварки:	
MMA	Ручная дуговая сварка металлическим электродом
MAG / GMAW	Сварка металлическим электродом в среде газа — дуговая газозэлектросварка
MIG	Сварка плавящимся электродом в инертном газе
FCAW	Дуговая сварка порошковой проволокой
SAW	Дуговая сварка под флюсом

Таблица 3. Ферритные расходные материалы, пригодные для сварки Quard 400 / 450 / 500.

	MMA Ручная дуговая сварка металлическим электродом	GMAW Дуговая сварка металлическим электродом в среде газа	FCAW Дуговая сварка порошковой проволокой	SAW Дуговая сварка под флюсом
Класс EN	EN ISO 2560 E4X	EN 440 G4X	EN 758 T4X	EN 756 S4X
Класс AWS	A5.5 E70	A5.28 ER70S	A5.29 E7XT	A5.23 F7
ESAB	OK 48.00	OK Autrod 12.51	OK Tubrod 14.11	12.22 + 10.71
Oerlikon	Tenacito 70	Carbofil 1 (a)	Fluxofil 31/41	L-70 / OP121TT
Bohler	FOX EV47, EV48	EMK&, NiCu-1G	Kb 52-FD	EMS2 / BB22

Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

Таблица 4. Ферритные расходные материалы, пригодные для сварки Quend 700.

	MMA Ручная дуговая сварка металлическим электродом	GMAW Дуговая сварка металлическим электродом в среде газа	FCAW Дуговая сварка порошковой проволокой	SAW Дуговая сварка под флюсом
Класс EN	EN 757 E69	EN 12534 G69	EN ISO 18276 T69	EN 14295 S69
Класс AWS	A5.5 E110	A5.28 ER110-S	A5.29 E11XT	A5.23 F11
ESAB	OK 75.75	OK Autrod 13.29	OK Tubrod 14.03	13.43 + 10.62
Oerlikon	Tenacito 100	Carbofil NiMoCr	Fluxofil 42	--
Bohler	FOX EV85	Union NiCrMo	Union MV NiMoCr	--

Таблица 5. Ферритные расходные материалы, пригодные для сварки Quend 900/960.

	MMA Ручная дуговая сварка металлическим электродом	GMAW Дуговая сварка металлическим электродом в среде газа	FCAW Дуговая сварка порошковой проволокой	SAW Дуговая сварка под флюсом
Класс EN	EN 757 E89	EN 12534 G 89	EN ISO 18276 T89	EN 14295 S89
Класс AWS	Св. нет	Св. нет	Св. нет	Св. нет
ESAB	OK 75.78	--	Coreweld 89	--
Bohler	--	Union X90 / X96	--	--

Проконсультируйтесь с отделом технической поддержки NLMK Clabescq при выборе электродов для сварки Quend 900 и Quend 960.

9. Аустенитные расходные материалы

Аустенитные расходные материалы (из нержавеющей стали) можно использовать для сварки как стали Quard, так и Quend. Главное преимущество использования аустенитных электродов заключается в том, что можно сваривать более толстые листы Quard и Quend без предварительного нагрева, в то время как для этого обычно требуется предварительный нагрев. Аустенитные электроды намного дороже ферритных, но если невозможно обеспечить предварительный нагрев, аустенитные электроды позволят обойтись без него. Аустенитные электроды, которые рекомендуется использовать для сварки Quard, должны соответствовать классификации AWS 307 (или 309), как указано в табл. 6 ниже.

Таблица 6. Аустенитные расходные материалы, пригодные для сварки Quard 400/450/500.

	MMA Ручная дуговая сварка металлическим электродом	GMAW Дуговая сварка металлическим электродом в среде газа	FCAW Дуговая сварка порошковой проволокой	SAW Дуговая сварка под флюсом
Класс EN	EN 1600 E18 8	EN 12072 G18 8	EN I2073 T18 8	EN 12072 S18 8
Класс AWS	A5.4 E307	A5.9 ER307	A5.9 EC307	A5.9 ER307
ESAB	OK 16.45	OK Autrod 16.95	OK Tubrod 14.71	16.97 + 10.93

Quard®

ABRASION RESISTANT STEEL

Quend®

HIGH YIELD STRENGTH STEEL

10. Повышенная износостойкость сварных соединений

Во время сварки листов износостойкой стали Quard шов следует располагать в таком месте, где он будет подвергаться лишь малым напряжениям и малому износу под действием трущего и ударного действия абразивов. Если шов будет располагаться в местах, подверженных сильному износу, то износостойкость сварного соединения можно повысить с помощью наплавления твердого сплава в верхнем слое шва. Электроды для наплавления твердого сплава обычно имеют очень высокое содержание хрома (3–13 % Cr); именно поэтому углеродный эквивалент металла шва всегда превышает эквивалент основного материала. В связи с этим важно соблюдать рекомендации поставщика таких электродов и правильность параметров предварительного нагрева и сварки.

11. Лазерная сварка Quard и Quend

Со сталями Quard и Quend можно применять лазерную сварку как с добавлением расходных материалов, так и без них. Для обеспечения должных характеристик прочности и предела текучести сварного соединения рекомендуется использовать лазерную сварку с расходными материалами. Проверенный метод сварки, позволяющий получать соединения с превосходными механическими свойствами — это лазерная гибридная сварка. Подробнее о лазерной сварке Quard и Quend можно узнать у специалистов технической поддержки компании NLMK Clabecq.





ПРИМЕЧАНИЯ:

A series of horizontal dotted lines for writing notes.



ПРИМЕЧАНИЯ:

A series of horizontal dotted lines for writing notes.





Rue de Clabecq, 101
B-1460 Ittre
Belgium

www.quard.me
www.quend.me

