Рекомендации по сварке
Quend и Quard

ВЕАР СЕРВИС™
Просто Надежно

Рекомендации по сварке

1. Введение

Quard, износостойкая сталь, и Quend, сталь с высоким пределом текучести, сочетают в себеуникальные 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.**

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.

4. Как не допустить водородного растрескивания

Марки стали Quard и Quend, изготавливаются согласно концепции низколегированных сплавов, что обеспечиваеточень низкие углеродные эквиваленты при данной твердости и прочности и, в свою очередь, обусловливает 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 избавитесь 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.

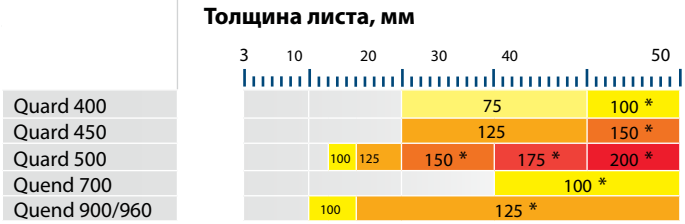
5. Рекомендуемые температуры предварительного нагрева

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 т олщину одного листа. Метод испытаний, с помощью которого определяют рекомендованные параметры предварительного нагрева — это проба Теккен.

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



* Расчетнные температуры предварительного нагрева.

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 °C 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 °C, рекомендованную температуру предварительного нагрева следует увеличить на 25 °C.**

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

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.

Пониженный подвод тепла

- Повышенная прочность и вязкость ЗТВ
- Пониженные остаточные напряжения и искажение
- Меньшее расширение ЗТВ.

Повышенный подвод тепла

- Уменьшенная прочность ЗТВ
- Большая область размягчения ЗТВ
- Большее искажение листа

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.

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

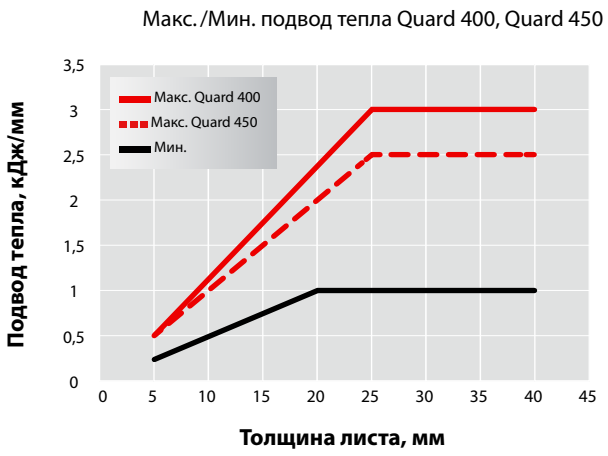
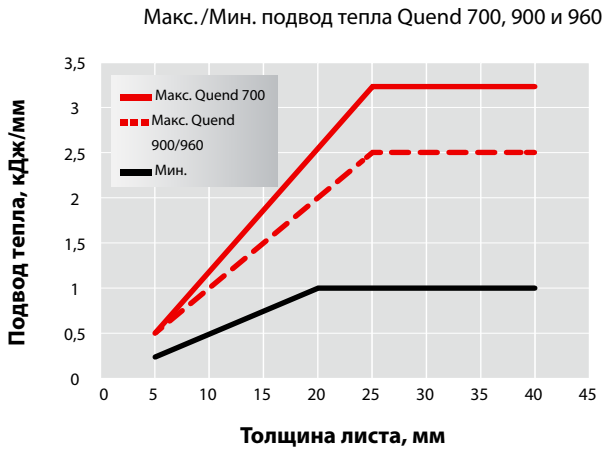


Рис. 2. Рекомендуемый макс./мин. подвод тепла при сварке Quend 700 / 900 / 960. (Минимальное значение относится к традиционным способам сварки).



Рекомендуемая Δt8/5	
Сорт стали	**Время охлаждения от 800 °C до 500 °C**
Quend 700	5–25 с
Quend 900/960	5–15 с

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 газоэлектросварка
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

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 Clabecq 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

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.

ООО"ВЕАР СЕРВИС" является официальным Партнером компании ОАО "НЛМК" в области представления услуг по обработке износостойких и высокопрочных сталей марок QUEND и QUARD на территории ЦФО РФ.