

# Пособие по выбору сварочных материалов

ООО ЗСМ «ГУДЭЛ»

# Содержание

1. Материаловедение (общий обзор) .....	3
2. Электроды для сварки углеродистых и низколегированных сталей .....	9
3. Электроды для сварки высоколегированных сталей .....	17
4. Электроды для сварки теплоустойчивых сталей .....	22
5. Электроды для сварки чугуна .....	25
6. Электроды для наплавки .....	29
7. Сварочная проволока .....	32



# Материаловедение (общий обзор)

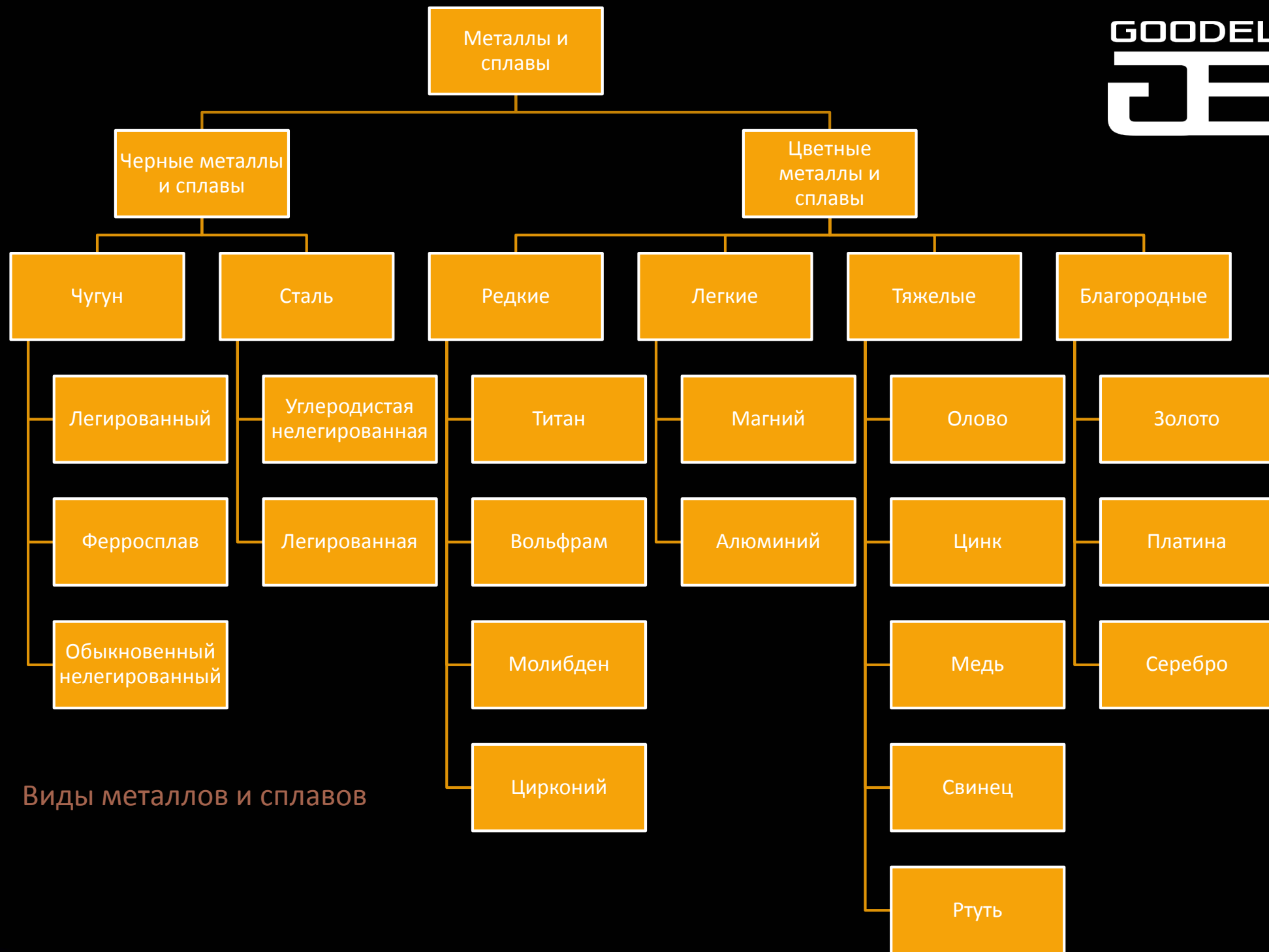
Металлические материалы делятся на **черные** и **цветные**.

К **черным** относятся железо и сплавы на его основе — стали и чугуны. Все остальные металлы относятся к **цветным**.

Цветные металлы встречаются реже, чем железо и часто их добыча стоит значительно дороже. Однако цветные металлы часто обладают такими свойствами, какие у железа не обнаруживаются, и это оправдывает их применение.

Выражение «цветной металл» объясняется цветом некоторых тяжёлых металлов: так, например, медь имеет красный цвет.

Если металлы соответствующим образом смешать (в расплавленном состоянии), то получаются сплавы. Сплавы обладают лучшими свойствами, чем металлы, из которых они состоят.



Виды металлов и сплавов

**Сталью** называется сплав железа с углеродом, в котором углерода содержится не более 2,14%. Это теоретическое определение. На практике в сталях, как правило, не содержится углерода более 1,5%.

## Классификация сталей

По химическому составу стали могут быть **углеродистыми**, содержащими железо, углерод и примеси и **легированными**, содержащими дополнительно легирующие элементы, введенные в сталь с целью изменения ее свойств.

В зависимости от содержания углерода **углеродистые стали** бывают:

- ▶ низкоуглеродистые (C до 0,25 %);
- ▶ среднеуглеродистые (C= 0,3...0,6 %);
- ▶ высокоуглеродистые (C > 0,6 %).



В зависимости от суммарного содержания легирующих элементов **легированные стали** делят на:

- ▶ низколегированные (содержание легирующих элементов в сумме не более 2,5 %);
- ▶ легированные (от 2,5 до 10 %);
- ▶ высоколегированные (более 10 %).

## Классификация сталей

По назначению различают стали **конструкционные**, идущие на изготовление деталей машин, конструкций и сооружений и **инструментальные**, идущие на изготовление различного инструмента, а также стали **специального назначения** с особыми свойствами: нержавеющие, жаростойкие, жаропрочные, износостойкие, с особыми электрическими и магнитными свойствами и др.

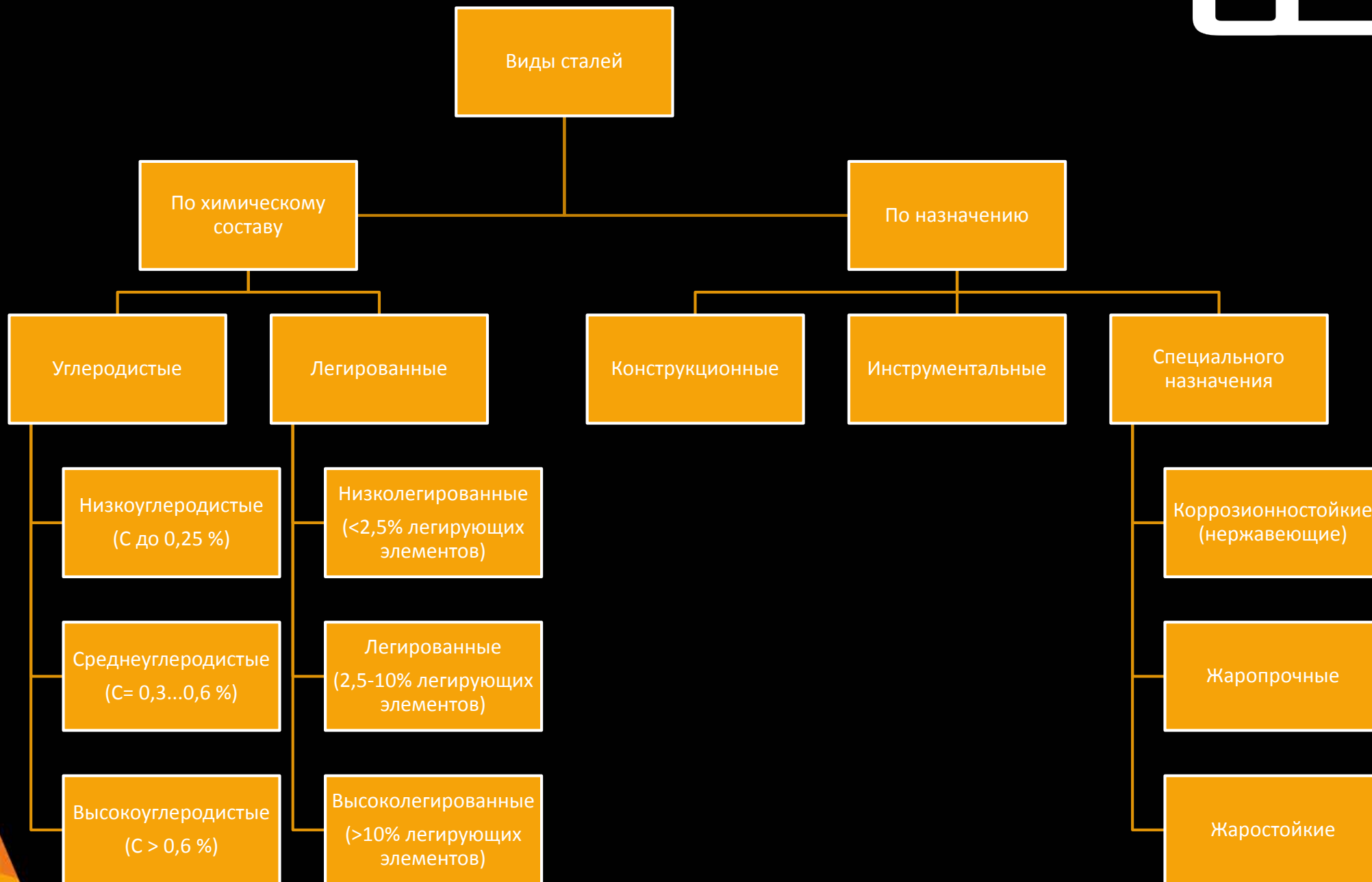
Нержавеющая сталь — легированная сталь, устойчивая к коррозии в атмосфере и агрессивных средах.

Основной легирующий элемент нержавеющей стали — хром Cr (12-20 %).

Металлический хром



# Классификация сталей



**Чугуном** называют сплав железа с углеродом, содержащий от 2,14 до 6,67% углерода. Но это теоретическое определение. На практике содержание углерода в чугунах находится в пределах 2,5-4,5%.

Чугун имеет низкую пластичность, твердость, прочность и является очень хрупким материалом. Чтобы улучшить эти свойства, чугун легируют или термообработывают.

## Классификация чугунов

В зависимости от состояния углерода в чугуне различают:

- ▶ **Белый чугун**, в котором весь углерод находится в связанном состоянии в виде **карбида**;
- ▶ **Серый чугун**, в котором углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в форме **пластинчатого графита**;
- ▶ **Высокопрочный чугун**, в котором углерод в значительной степени или полностью находится в свободном состоянии в форме **шаровидного графита**;
- ▶ **Ковкий чугун**, в котором весь углерод или значительная часть его находится в свободном состоянии в форме **хлопьевидного графита**.

Таким образом, чугун (кроме белого) отличается от стали наличием в структуре графитовых включений, а между собой чугуны различаются формой этих включений.



## Электроды для сварки углеродистых и низколегированных сталей

Выбирая сварочные электроды следует учитывать, что их характеристики и область применения во многом зависят от **вида покрытия**, которое представляет смесь порошкообразных материалов, нанесенных на стержень из металлической проволоки. Основные задачи покрытия электродов – это обеспечение стабильности горения дуги, защита сварочной ванны и обеспечение заданных механических характеристик сварного шва.

В состав покрытия электродов входят металлы, органические материалы, минералы и связующие вещества.

Толщина покрытия, как правило, составляет от 1 до 3 мм, что равнозначно 15-30% от его веса.



# Виды покрытия электродов по ГОСТ 9466-75

Тип покрытия	Обозначение по ГОСТ 9466-75	Международное обозначение ISO
Кислое	А	А
Основное	Б	В
Рутиловое	Р	R
Целлюлозное	Ц	С
Смешанные покрытия		
Кисло-рутиловое	АР	AR
Рутилово-основное	РБ	RB
Рутилово-целлюлозное	РЦ	RC
Прочие (смешанные)	П	S
Рутиловые с железным порошком	РЖ	RR

# Назначение электродов по типам и маркам

Тип электрода по ГОСТ 9467-75	Тип покрытия по ГОСТ 9466-75	Марка электрода	Основное назначение
Э42А	Основное	УОНИ-13/45	Сварка конструкций из углеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрыву не более 412 МПа (42 кгс/мм <sup>2</sup> ), когда к металлу шва предъявляются повышенные требования по пластичности и ударной вязкости
Э46	Рутилово-целлюлозное	GOODEL-OK46 GOODEL MP-3 GOODEL MP-3C GOODEL O3C-12 GOODEL АНО-4 АНО-21 O3C-12	Сварка конструкций из углеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрыву не более 451 МПа (46 кгс/мм <sup>2</sup> )
	Рутильное	MP-3 MP-3C АНО-4 O3C-4 O3C-6	
Э46А	Основное	УОНИ-13/55К	Сварка особо ответственных жестких конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, с временным сопротивлением разрыву до 451 МПа (46 кгс/мм <sup>2</sup> ), работающих при знакопеременных нагрузках и пониженных температурах

# Назначение электродов по типам и маркам

Тип электрода по ГОСТ 9467-75	Тип покрытия по ГОСТ 9466-75	Марка электрода	Основное назначение
Э50А	Основное	УОНИ-13/55	Сварка ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрыву 500-640 МПа
		GOODEL-52U	Рекомендуются для односторонней сварки корневого шва трубопроводов из сталей с нормативным пределом прочности до 588 МПа включительно
		GOODEL-OK48 АНО-11	Рекомендуются для сварки конструкций работающих в условиях статических и динамических знакопеременных нагрузках
		ТМУ-21У ЦУ-5	Рекомендуются для сварки ответственных металлоконструкций и трубопроводов
		АНО-25	Рекомендуются для сварки конструкций из низколегированных сталей работающих при отрицательных температурах до -60°C
Э55	Основное	УОНИ-13/55У	Сварка ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрыву до 539 МПа
Э60	Основное	УОНИ-13/65	Сварка ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрыву до 590 МПа, в том числе конструкций, работающих при пониженных температурах
Э85	Основное	УОНИ-13/85	Сварка ответственных и особо ответственных конструкций из легированных сталей повышенной и высокой прочности с временным сопротивлением разрыву 690-980МПа

# Популярные электроды типа Э46

Марка	ГОСТ 9466-75	Одобрения	Предел текучести, МПа	Предел прочности на разрыв, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость КСU при +20°С, Дж/см <sup>2</sup>	Ударная вязкость КСV при -20°С, Дж/см <sup>2</sup>
GOODEL-OK46	<u>Э46-GOODEL-OK46-Ø-УД</u> Е 430(3) – РЦ 11	НАКС, РРР, ГОСТ Р	400	500	26	140	>35
GOODEL MP-3	<u>Э46-GOODEL MP-3-Ø-УД</u> Е 430(3) – РЦ 11	НАКС, ПромТехСтандарт	370	470	24	130	>35
АНО-21	<u>Э46-АНО-21-Ø-УД</u> Е 435 – РЦ 11	ГОСТ Р	390	490	25	140	>35
MP-3	<u>Э46-MP-3-Ø-УД</u> Е 431(3) – Р 26	НАКС, РРР, ГОСТ Р	390	490	25	140	>35

Электроды этой группы предназначены для сварки рядовых и ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрыву до **451 МПа**. Применяются для прихваток, корневых швов, заварки широких зазоров.

Электроды марок **GOODEL-OK46**, **GOODEL MP-3** и **АНО-21** характеризуются высокими сварочно-технологическими свойствами: легким возбуждением дуги, стабильностью её горения во время процесса сварки, легкой отделяемостью шлаковой корки, хорошим формированием сварного шва и низкой чувствительностью к окисленной поверхности. Допускается сварка средней дугой.

Электроды марки **MP-3** обеспечивают лёгкое перекрытие зазоров при сварке на монтаже. Допускается сварка средней дугой и по окисленной поверхности. Характеризуются высокими сварочно-технологическими свойствами.

Сварка этими марками электродов может выполняться как на переменном, так и на постоянном токе.

# Популярные электроды типа Э50А

Марка	ГОСТ 9466-75	Одобрения	Предел текучести, МПа	Предел прочности на разрыв, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость КСU при +20°С, Дж/см <sup>2</sup>	Ударная вязкость КСV при -40°С, Дж/см <sup>2</sup>
УОНИ-13/55	<u>Э50А-УОНИ-13/55-Ø-УД</u> Е 515 – Б 20	ИНТЕРГАЗСЕРТ, НАКС, РРР, ГОСТ Р	460	580	28	240	>50
GOODEL-52U	<u>Э50А-GOODEL-52U-Ø-УД</u> Е 516 – Б 10	ИНТЕРГАЗСЕРТ, НАКС, ГОСТ Р	450	560	29	180	>50
ЦУ-5	<u>Э50А-ЦУ-5-Ø-УД</u> Е 513 – Б 20	ГОСТ Р	450	560	28	240	>35
ТМУ-21У	<u>Э50А-ТМУ-21У-Ø-УД</u> Е 513 – Б 20	ГОСТ Р	450	560	28	200	>35

Электроды этой группы предназначены для сварки ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрыву до **490 МПа** (50 кгс/мм<sup>2</sup>). Но каждая марка имеет свою специфику назначения.

**УОНИ-13/55** – для сварки особо ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей, работающих при отрицательных температурах до -40 °С и знакопеременных нагрузках (**наиболее универсальные электроды**).

**GOODEL-52U** – для сварки корневого шва поворотных и неповоротных стыков трубопроводов класса прочности до К60 включительно, а также для сварки всех слоев шва трубопроводов класса прочности до К54 включительно. Также применяются для сварки ответственных конструкций, работающих при отрицательных температурах до -50 °С.

**ЦУ-5** – для сварки трубных деталей и сборочных единиц поверхностей теплообмена котлоагрегатов, а также корневых швов стыков толстостенных трубопроводов из углеродистых и низколегированных кремнемарганцовистых сталей.

**ТМУ-21У** – для сварки металлоконструкций и трубопроводов, а также энергетического оборудования электростанций из углеродистых и низколегированных (типа 15ГС) сталей.

## Особенности электродов типа Э50А

Электроды с **основным** видом покрытия типа **Э50А** характеризуются высокими показателями пластичности и ударной вязкости при нормальных и низких температурах, а также обладают повышенной стойкостью против образования горячих трещин.

Это достигается за счет низкого содержания газов, неметаллических включений и вредных примесей. Также газозащитная среда минерального происхождения, состоящая в основном из СО и СО<sub>2</sub>, лишена водорода, приводящего к образованию холодных трещин в наплавленном металле. Перенос металла в сварочную ванну происходит средними и крупными каплями, расплавленный металл получается вязкотекучим.

Металл шва характеризуется низким содержанием водорода и высокой стойкостью против образования кристаллизационных трещин. Сварка выполняется **короткой дугой** по **тщательно очищенной** от ржавчины, окалины, масла и других загрязнений поверхности на **постоянном токе обратной полярности**.

Электроды этого типа требуют **строгого соблюдения условий хранения** (в сухом вентилируемом помещении) и **обязательной прокалки** при высоких температурах перед применением.

# Электроды УОНИ

Марка	ГОСТ 9466-75	Одобрения	Предел текучести, МПа	Предел прочности на разрыв, МПа	Относительное удлинение, %	Ударная вязкость КСU при +20°С, Дж/см <sup>2</sup>	Ударная вязкость КСV при -40°С, Дж/см <sup>2</sup>
УОНИ-13/45	Э42А-УОНИ-13/45-Ø-УД Е 412(4) – Б 20	НАКС, РРР, ГОСТ Р	410	520	26	220	>35
УОНИ-13/55	Э50А-УОНИ-13/55-Ø-УД Е 515 – Б 20	ИНТЕРГАЗСЕРТ, НАКС, РРР, ГОСТ Р	460	580	28	240	>50
УОНИ-13/65	Э60-УОНИ-13/65-Ø-УД Е 513 – Б 20	ГОСТ Р	480	610	26	220	>35
УОНИ-13/85	Э85-УОНИ-13/85-Ø-ЛД Е – 12Г2СМ – 0 – Б 20	-	640	840	18	140	-

Производство сварочных электродов «УОНИ» в России было начато в 40-х годах XX века, после их изобретения выдающимся ученым Петранем Константином Вацлавовичем.

В авторском свидетельстве была записана марка «УОНИИ-13» (Универсальная Обмазка Научно-Исследовательского Института №13), но с течением времени последнюю букву «И» стали сокращать для простоты обозначения. Сегодня можно встретить разное обозначение марки, как «УОНИ-13», так и «УОНИИ-13», что является **одним и тем же** обозначением одной марки. Цифры после «/», например, УОНИ-13/55 обозначают временное сопротивление разрыву металла шва.

**УОНИ-13/45** – для сварки особо ответственных конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрыву до 412 МПа, когда к металлу сварных швов предъявляются повышенные требования по пластичности и ударной вязкости.

**УОНИ-13/55** – для сварки особо ответственных конструкций из углеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрыву до 490 МПа, работающих при отрицательных температурах и знакопеременных нагрузках.

**УОНИ-13/65** – для сварки ответственных конструкций из низкоуглеродистых и низколегированных сталей с временным сопротивлением разрыву до 590 МПа, в том числе и для сварки конструкций, работающих в условиях пониженных температур.

**УОНИ-13/85** – для сварки ответственных конструкций из легированных сталей повышенной и высокой прочности с временным сопротивлением разрыву 690-980 МПа.



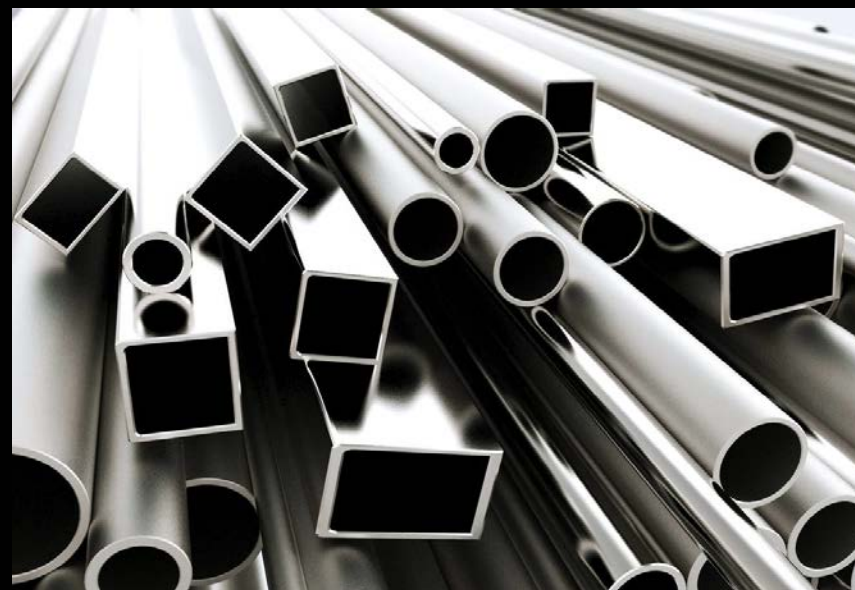
# Электроды для сварки высоколегированных сталей

Электроды группы для сварки **коррозионно-стойких сталей и сплавов** обеспечивают получение сварных соединений, обладающих требуемой стойкостью против коррозии в атмосферной, кислотной, щелочной и других агрессивных средах.

Некоторые марки данной группы **имеют более широкую область применения** и их можно использовать не только для получения соединений с требуемой коррозионной стойкостью, но и в качестве электродов, обеспечивающих высокую жаростойкость и жаропрочность металла шва.

Особые характеристики нержавеющей стали, а также несколько особенностей сваривания данного материала требуют **применения специальных сварочных материалов**.

Сварка нержавеющей стали простыми электродами отрицательно сказывается на качестве соединения и повышает вероятность появления микротрещин.



# Особенности сварки высоколегированных сталей

На свариваемость нержавеющей сталей влияет ряд свойств, которыми они обладают:

- ▶ **Пониженная в 1,5-2 раза** по сравнению с низкоуглеродистыми сталями теплопроводность, вызывающая концентрацию теплоты и увеличение проплавления металла в зоне сварки. Это свойство диктует необходимость уменьшения при сварке нержавеющей стали силы тока на 15-20% в сравнении с током для обычных сталей.
- ▶ **Большой коэффициент линейного расширения** и обусловленная этим значительная литейная усадка увеличивают деформацию металла в процессе и после сварки. При отсутствии достаточного зазора между свариваемыми деталями, обладающими значительными толщинами, это может приводить даже к трещинам.
- ▶ **Высокое электрическое сопротивление** приводит к сильному нагреву электрода из высоколегированной стали. Для снижения отрицательного эффекта, электроды с хромоникелевыми стержнями выпускаются длиной не более 350 мм.

# Содержание ферритной фазы в наплавленном металле

**Феррит** — твёрдый раствор внедрения углерода в  $\alpha$ -железе с объёмно-центрированной кубической решёткой.

**Аустенит** — твёрдый раствор внедрения углерода в  $\gamma$ -железе с гранецентрированной кубической решёткой.

**Присутствие ферритной фазы** меняет технологические и эксплуатационные свойства стали и изделий из нее.

При **отсутствии ферритной фазы**, или при малом ее содержании, обнаружена склонность к образованию горячих трещин в сварных швах.

При **более высоких показателях ферритной фазы** наблюдается тенденция к снижению пластичности и ударной вязкости после выдержки при повышенных температурах (600 – 800° С) и к снижению коррозионной стойкости в некоторых агрессивных средах.

Присутствие ферритной фазы может ухудшать рабочие свойства стали в области криогенных температур, но положительно влиять на них в условиях коррозии под напряжением.

Содержание ферритной фазы в наплавленном металле регламентирует **ГОСТ 10052-75**.

# Популярные марки электродов для сварки высоколегированных сталей

Марка	ГОСТ 10052-75	Ферритное число, %	Назначение
ОЗЛ-6	<u>Э-10Х25Н13Г2-ОЗЛ-6-Ø-ВД</u> Е – 2975 – Б 20	2-10	Предназначены для сварки конструкций из жаростойких сталей марок 10Х23Н18, 20Х23Н13, 20Х23Н18 и др., работающих при температуре до 1000°С, в средах не содержащих сернистые соединения, а также сварки двухслойных сталей со стороны легированного слоя без требований по стойкости против МКК
ОЗЛ-8	<u>Э-07Х20Н9-ОЗЛ-8-Ø-ВД</u> Е – 2004 – Б 20	2-8	Предназначены для сварки конструкций из коррозионностойких сталей марок 08Х18Н10, 08Х18Н10Т, 0818Н12Б и им подобных, когда к металлу шва не предъявляются жёсткие требования по стойкости против МКК
ЦЛ-11	<u>Э-08Х20Н9Г2Б-ЦЛ-11-Ø-ВД</u> Е – 2005 – Б 20	2-10	Предназначены для сварки конструкций из коррозионностойких сталей марок 12Х18Н10Т, 12Х18Н10, 09Х18Н12Б и им подобных, работающих в агрессивных средах, когда к металлу шва предъявляются жёсткие требования по стойкости против МКК
ЦТ-15	<u>Э-08Х19Н10Г2Б-ЦТ-15-Ø-ВД</u> Е – 2453 – Б 20	2,0-5,5	Предназначены для сварки конструкций из коррозионностойких сталей марок 12Х18Н10Т, 12Х18Н10, 09Х18Н12Б и им подобных, работающих при температурах 570-650°С и высоком давлении, а также для сварки сталей тех же марок, когда к металлу шва предъявляются требования по стойкости против МКК

Электроды марок **ОЗЛ-6**, **ОЗЛ-8**, **ЦЛ-11**, **ЦТ-15** имеют свидетельство НАКС (группы технических устройств: ГО, КО, НГДО, ОХНВП).

# Популярные марки электродов для сварки высоколегированных сталей

Марка	ГОСТ 10052-75	Ферритное число, %	Назначение
НЖ-13	<u>Э-09Х19Н10Г2М2Б-НЖ-13-Ø-ВД</u> Е – 2005 – Б 30	2-8	Предназначены для сварки конструкций из коррозионностойких хромоникелемолибденовых сталей марок 10Х17Н13М3Т, 08Х17Н15М3Т, 08Х21Н16М2Т и им подобных, работающих при температуре до 350°С, когда к металлу шва предъявляются требования по стойкости против межкристаллитной коррозии (в частности, для сред типа серной кислоты)
НИИ-48Г	<u>Э-10Х20Н9Г6С-НИИ-48Г-Ø-ВД</u> Е – 0050 – Б 20	-	Предназначены для сварки конструкций из низколегированных специальных сталей и сварки высокомарганцевистой стали типа 110Г13-Л; пригодны для сварки разнородных сталей (конструкционных углеродистых и низколегированных с высокохромистыми 08Х13, 12Х17 и аустенитными 12Х18Н9Т, 10Х18Н10 и др.). Металл шва жаростоек до температуры 800°С
ЭА-395/9	<u>Э-11Х15Н25М6АГ2-ЭА-395/9-Ø-ВД</u> Е – 000 – Б 20	-	Предназначены для сварки ответственных конструкций из легированных высокопрочных и разнородных сталей, а также для выполнения наплавки первого слоя при двух или трехслойной наплавке коррозионностойкого покрытия и для облицовки кромок изделий из сталей перлитного класса в их соединениях с аустенитными сталями
ЭА-400/10	<u>Э-07Х19Н11М3Г2Ф-ЭА-400/10У-Ø-ВД</u> Е – 2004 – Б 20	2-8	Предназначены для сварки оборудования из коррозионностойких хромоникелевых и хромоникелемолибденовых сталей, работающих в агрессивных средах при температуре до 350°С и не подвергающегося термообработке после сварки, а также для наплавки второго (коррозионностойкого) слоя на поверхность изделий из перлитных сталей, облицовки кромок таких сталей в их соединениях с аустенитными сталями

# Электроды для сварки теплоустойчивых сталей

Основными характеристиками электродов, работающих с теплоустойчивыми сталями, являются **химический состав металла** и **механические свойства шва** нанесенного электродами. При выборе электродов для сваривания сталей, работающих при высоких температурах, руководствуются максимальной рабочей температурой, при которой прочность сварочного шва не будет снижаться.

**Жаростойкими** сварными соединениями являются соединения, обладающие высокой стойкостью против химического разрушения поверхности в газовых средах при температурах свыше 550-600 °С.

**Жаропрочными** сварными соединениями являются соединения, работающие при температурах свыше 550-600 °С в нагруженном состоянии в течение определенного времени (жаропрочные соединения должны обладать при этом достаточной жаростойкостью).



## Особенности сварки теплоустойчивых сталей

Для того чтобы избежать риска появления холодных трещин, а, соответственно, в целом улучшить показатели свариваемости теплоустойчивых сталей, детали из такого металла перед началом сварочного процесса **поддают подогреву** местному или общему.

В процессе подогрева таких сталей водород убирается из сварного шва, что позволяет повысить показатели деформационной способности соединения.

Следует учитывать, что подогрев теплоустойчивых сталей должен производиться в строго допустимом диапазоне температур.

Меньшие температуры ведут к тому, что закалочные структуры не исчезают, а более высокие снижают длительность прочности соединения и ударную вязкость стали.



# Популярные марки электродов для сварки теплоустойчивых сталей

Марка	ГОСТ 9466-75	Max t, °C	Назначение
ТМЛ-1У	<u>Э-09Х1М-ТМЛ-1У-Ø-ТД</u> Е – 04 – Б 20	525	Предназначены для сварки оборудования и трубопроводов из сталей марок: 12МХ, 15ХМ, 20ХМЛ, 12Х2М1, 12Х1МФ, 12Х2МФБ и 12Х2МФСР, работающих при температурах до 525°С и элементов поверхностей нагрева котлов из сталей марок: 12Х1МФ, 12Х2М1, 12Х2МФСР, независимо от рабочей температуры
ТМЛ-3У	<u>Э-09Х1МФ-ТМЛ-3У-Ø-ТД</u> Е – 16 – Б 20	565	Предназначены для сварки оборудования и паропроводов из сталей, марок типа 12МХ, 15МХ, 20МХЛ, 12Х1МФ, 20ХМФ1, 15Х1М1Ф, 15Х1М1ФЛ и им подобных, работающих при температуре не более 565°С
ЦЛ-39	<u>Э-09Х1МФ-ЦЛ-39-Ø-ТД</u> Е – 16 – Б 20	565	Предназначены для сварки элементов поверхностей нагрева котлов и стыков труб диаметром не более 100 мм с толщиной стенки до 8 мм из сталей марок типа 12Х1МФ, 12Х2ФСР, 12Х2МФБ и им подобных работающих при температуре не более 565°С
ЦУ-5	<u>Э50А-ЦУ-5-Ø-УД</u> Е 513 – Б 20	400	Предназначены для сварки трубных деталей и сборочных единиц поверхностей теплообмена котлоагрегатов, а также корневых швов стыков толстостенных трубопроводов из углеродистых и низколегированных кремнемарганцовистых сталей
ТМУ-21У	<u>Э50А-ТМУ-21У-Ø-УД</u> Е 513 – Б 20	-	Предназначены для сварки металлоконструкций и трубопроводов, а также энергетического оборудования электростанций из углеродистых и низколегированных (типа 15ГС) сталей

Электроды марок **ТМЛ-1У**, **ТМЛ-3У**, **ЦЛ-39** обладают высокими показателями теплоустойчивости, электроды марок **ЦУ-5** и **ТМУ-21У** применяются для вспомогательных работ, где нет повышенных требований к теплоустойчивости.



# Электроды для сварки чугуна

Высокое содержание углерода отрицательно сказывается на свариваемости чугунов. Некоторые чугуны имеют непостоянную свариваемость или вообще не свариваются.

**Чугун обладает плохой технологической свариваемостью:**

- ▶ **быстрое охлаждение сварного шва** и околошовной зоны приводит к возникновению отбеленных участков (обладающих высокой твердостью), что крайне затрудняет последующую механическую обработку металла;
- ▶ в связи с **высокой хрупкостью чугуна** при его неравномерном нагреве и охлаждении высока вероятность появления трещин в сварном шве и околошовной зоне;
- ▶ чугун является **жидкотекучим сплавом**, не имеет тестообразного состояния при переходе от жидкого к твердому, что усложняет удержание расплавленного металла от вытекания и затрудняет формирование шва;
- ▶ из-за **интенсивного выделения газов** из жидкой сварочной ванны, продолжающегося и на стадии кристаллизации, в сварном шве могут образовываться поры;
- ▶ в результате **окисления кремния**, а иногда и других элементов на поверхности сварочной ванны могут образовываться тугоплавкие оксиды, приводящие к непроварам.

# Особенности сварки чугуна

Не поддаются сварке так называемые **горелые серые чугуны**, которые подверглись длительное время воздействию высоких температур, кислот, пара, масел и др. Это происходит из-за того, что металл окисляется на всю толщину, становится рыхлым и **не смачивается** никаким жидким металлом. При расплавлении такой чугун даёт больше шлака, чем металла и не позволяет получить доброкачественное сварное соединение.

Варить чугун электродом сложно ещё и по той причине, что разновидностей этого металла много. В то же время на большинство изделий не имеется конструкторской документации, и достоверно **определить состав сплава** не представляется возможным.

Поэтому сорт чугуна определяют на глаз **по цвету излома** и затем подбирают электроды и режимы сварки, максимально близкие к оптимальным.



# Особенности сварки чугуна

Различают два основных способа сварки чугуна:

- ▶ с подогревом ("горячая" сварка до температуры 300–650°C);
- ▶ без подогрева ("холодная" сварка).

**Горячая сварка** чугуна используются в случаях, когда требуется получение в металле шва чугуна со свойствами, **близкими** к свойствам основного металла детали.

**Холодная сварка** более **проста** в исполнении, но для получения качественного, прочного шва необходимо применение специальных электродов.

Для холодной сварки и наплавки характерно:

- ▶ проведение процесса с **минимальным** тепловложением;
- ▶ **короткими** валиками протяженностью 25-60 мм;
- ▶ **охлаждение** каждого наложенного валика на воздухе до температуры не более 60 °С;
- ▶ рекомендуется **проковка** каждого валика легким ударом молотка.

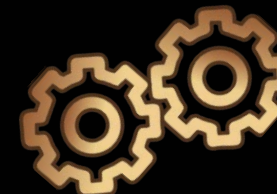


# Популярные марки электродов для сварки чугуна

Марка	Род сварочного тока	Положения сварки	Назначение и особенности
ЦЧ-4	Постоянный обратной полярности	Нижнее	<p>Предназначены для холодной сварки конструкций из высокопрочного чугуна с шаровидным графитом и серого чугуна с пластинчатым графитом, а также их сочетаний со сталью.</p> <p>Используются для сварки повреждённых деталей и заварки дефектов в отливках из высокопрочного и серого чугуна, для предварительной наплавки первых (одного или двух) слоёв на изношенные чугунные детали под последующую наплавку специальными электродами.</p> <p>Сварку производят небольшими участками длиной 25-35 мм с послойным охлаждением на воздухе до 60°C. При сварке ковкого и высокопрочного чугуна длина валика может быть увеличена до 80-100 мм.</p>
МНЧ-2	Постоянный обратной полярности	Нижнее, вертикальное	<p>Предназначены для холодной сварки, наплавки и заварки дефектов чугунного литья деталей из серого, ковкого и высокопрочного чугуна. Предпочтительны для заварки первого слоя в соединениях, требующих высокую плотность, а также для сварки соединений, к которым предъявляют повышенные требования по чистоте поверхности после обработки.</p> <p>Стержень электрода – проволока марки НМЖМц 28-2,5-1,5 по ГОСТ 492-2006. Наплавленный металл коррозионностоек в жидкостных агрессивных средах и горячих газах.</p> <p>Сварка и наплавка производятся с минимальным тепловложением короткими швами длиной 20-30 мм с послойным охлаждением на воздухе до 60°C и с проковкой каждого участка шва легкими ударами молотка.</p>

# Электроды для наплавки

Наплавка представляет собой **нанесение дополнительного слоя металла** на поверхность различных изделий и деталей посредством сварки. Данная процедура не только восстанавливает первоначальные свойства детали, но и придает ей дополнительные ценные характеристики. Является одним из самых простых и эффективных способов возвращать элементам работоспособность.



При эксплуатации изделий из металла различают следующие виды износа:

- **металл по металлу** – наблюдается при трении скольжения и качения деталей без смазочного материала либо с недостаточным его количеством;
- **износ на удар** – происходит при ударных и сжимающих нагрузках, которые приводят к смятию, сжатию и растрескиванию рабочей поверхности;
- **абразивный совместно с ударным** - износ, при котором режущее действие скользящих по изделию частиц с одновременной ударной нагрузкой вызывает выкрашивание, растрескивание и стачивание рабочей поверхности;
- **абразивный износ** – происходит, в основном, при воздействии сыпучих элементов материала, что вызывает стачивание и эрозию рабочей поверхности, и при производстве землеройных работ;
- **коррозионный износ** – распространен при коррозионном воздействии окружающей среды и при окислении из-за повышенной температуры.
- **кавитационный износ** – наблюдается в системах гидравлики.

На практике, как правило, износ происходит в результате совместного воздействия нескольких вышеуказанных типов износа, при этом один из них почти всегда превалирует.

## Особенности выбора электродов для наплавки

При выборе наплавочных электродов следует учесть следующее:

- ▶ каковы основные факторы износа;
- ▶ какая марка основного металла упрочняемой детали;
- ▶ какие способы сварки предпочтительно использовать;
- ▶ какая требуется окончательная механическая обработка детали.



У большинства деталей из высокоуглеродистых сталей после наплавки образуются трещины. Дефектом считать это не нужно. Напротив, это положительное явление, влияющее на **снятие напряжения на стыке металла** наплавленного слоя и металла основы, тем самым предотвращается растрескивание последнего. Если в последующем поверхность с трещинами будет при эксплуатации подвергаться тяжелым ударным нагрузкам, рекомендовано произвести предварительную наплавку на металл основы буферного пластичного слоя;

Износостойкие сплавы с высокой твердостью (более 50 HRC) возможно обработать только методом шлифования. Облегчается задача тем, что иногда изделия, к примеру, зубья экскаваторных ковшей, можно подвергать эксплуатации сразу после наплавки, исключая обработку наплавленной поверхности.

Необходимо отметить, что производство наплавочных работ требует применения специальной технологии, которая - в зависимости от химического состава и состояния основного и наплавляемого металлов - может включать обязательное выполнение таких операций, как предварительный и сопутствующий подогрев, термическую обработку для получения заданных эксплуатационных свойств наплавляемой поверхности.

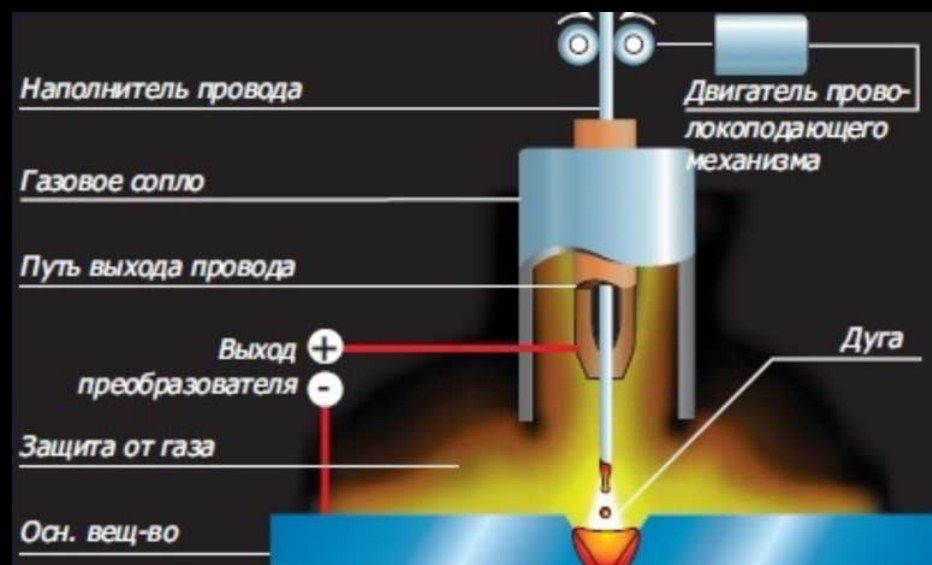
# Популярные марки электродов для наплавки

Марка	ГОСТ 9466-75, 10051-75	Твердость наплавленного металла, HRC	Назначение и особенности
T-590	<u>Э-320Х25С2ГР-Т-590-Ø-НГ</u> Е – 750/61 – 1 – П 40	58-64	<p>Предназначены для наплавки быстроизнашивающихся деталей машин из стали и чугуна, работающих в условиях абразивного изнашивания без ударных нагрузок.</p> <p>Наплавленный металл обладает высокой износостойкостью в условиях истирания абразивными материалами, пониженной сопротивляемостью ударам, склонен к образованию трещин, не снижающих обычно эксплуатационную стойкость наплавленных деталей</p>
T-620	<u>Э-320Х23С2ГР-Т-620-Ø-НГ</u> Е – 700/59 – 1 – П 40	56-63	<p>Предназначены для наплавки быстроизнашивающихся деталей машин из стали и чугуна, работающих в условиях абразивного изнашивания без ударных нагрузок.</p> <p>Наплавленный металл обладает высокой износостойкостью в условиях истирания абразивными материалами, пониженной сопротивляемостью ударам, склонен к образованию трещин, не снижающих обычно эксплуатационную стойкость наплавленных деталей</p>
УОНИ-13/НЖ 20Х13	<u>Э-20Х13-УОНИ-13/НЖ/20Х13-Ø-НД</u> Е – 450/47 – 2 – Б 40	40,5-49,5	<p>Предназначены для наплавки штампов холодной и горячей (до 400°С) обрезки, уплотнительных поверхностей деталей общепромышленной арматуры, а также быстроизнашивающихся деталей машин.</p> <p>Наплавленный металл хорошо сопротивляется истиранию при температуре до 400°С, стоек к коррозии в среде пара морской воды</p>

# Сварочная проволока

**MIG/MAG** — Metal Inert/Active Gas — дуговая сварка плавящимся металлическим электродом (проволокой) в среде инертного/активного защитного газа с автоматической подачей присадочной проволоки. Иногда этот метод сварки обозначают GMA (Gas Metal Arc).

Процессы сварки **MIG** или **MAG** подходят для сварки всех обычных металлов, таких как нелегированные и низколегированные стали, нержавеющей стали, алюминий и некоторые другие цветные металлы. Более того, этот процесс сварки может быть использован во всех пространственных положениях. Благодаря своим многочисленным преимуществам сварка МИГ/МАГ находит широкое применение во многих областях промышленности.





# Популярные марки проволоки для сварки углеродистых и низколегированных сталей

Марка	AWS, EN ISO 14341	Диаметр, мм	Назначение и особенности
ER70S-6 O	ER70S-6, G 42 2 C/M G3Si1	0,8 1,0 1,2 1,6	<p>Омедненная сварочная проволока сплошного сечения марки GOODEL ER70S-6 предназначена для автоматической и полуавтоматической сварки в защитных газах (тип C1, M21 по EN ISO 14175) углеродистых и низколегированных конструкционных сталей с пределом прочности до 420 МПа. Эта проволока достаточно универсальна и имеет широкую сферу применения. Отличается хорошими показателями качества сварного соединения.</p> <p>Омедненная проволока GOODEL ER70S-6 применяется: для сварки конструкционной и судостроительной стали; сварки деталей машин в атмосфере углекислого газа (CO<sub>2</sub>); для работы с тонким листовым металлом; для торцевой сварки, углового сочленения и сварки внахлест; для защиты от коррозии</p>
ER70S-6 П	ER70S-6, G 42 2 C/M G3Si1	1,2	<p>Универсальная полированная сварочная проволока сплошного сечения марки GOODEL ER70S-6 – поверхность с улучшенными характеристиками, предназначенная для сварки изделий из конструкционных нелегированных и низколегированных сталей с пределом текучести до 420 МПа.</p> <p>Высокая чистота поверхности и стабильный диаметр по всей длине в сочетании с низким содержанием вредных примесей, таких как S и P, обеспечивают стабильное горение проволоки с минимальным разбрызгиванием и высокое качество наплавленного металла.</p> <p>Отсутствие омеднения позволяет избежать засорения проволокопровода и пригорания чешуек меди к рабочей поверхности контактного наконечника, что значительно увеличивает срок службы расходных деталей горелки</p>