

316L(1.4404)

316 (1.4401)



Общие характеристики

Классическая нержавеющая сталь марок 316L/316 относится к группе аустенитных марок с низким содержанием углерода и дополнительным легированием молибденом. Углерод обычно выдерживается на низком уровне ($C \leq 0,07\%$ для марки 316/1.4401 и $C \leq 0,03$ для марки 316L/1.4404). Содержание хрома находится в границах от 16,5% до 18,5%, никель колеблется от 10% до 13% и молибден в интервале 2,0%-2,5%. Большинство заводов производителей производит только низкоуглеродистую марку 316L, которая одновременно сертифицируется как марка 316. К этой же группе (обозначение по АСТМ 316L) относятся марки стали 1.4432; 1.4435; 1.4436. Молибден в нержавеющих сталях может достигать содержания 8%, однако, подавляющее большинство используемых нержавеющих марок имеют содержание молибдена 2%-4% максимум. Даже такое малое содержание молибдена оказывает сильнейшее воздействие на сопротивление питтинговой (точечной) коррозии в хлоридных средах, и на сопротивление к щелевой коррозии как для ферритных, так и для аустенитных марок сталей. Молибден снижает интенсивность окислительного эффекта, необходимого для обеспечения пассивации и уменьшает склонность к разрушению ранее образовавшихся пассивирующих плёнок. Такой химический состав позволяет поддерживать аустенитную структуру от криогенных температур до температуры плавления сплава. Эти стали не могут упрочняться термообработкой. Ключевыми характеристиками этих марок является превосходное коррозионное сопротивление, особенно в средах с присутствием галогенов (в частности соединений хлора), пластичность и вязкость.

Общими применениями выступает оборудование для процессов пищевой промышленности (ёмкости, трубы, насосы, фланцы, фитинги); военно-морская техника; дорожная техника (перевозка жидких и сжиженных продуктов, сменные кузова, прицепы); строительная отрасль (архитектурные компоненты, крыши, фасады); водоподготовка, водоочистка и питьевое водоснабжение; химическая и фармацевтическая промышленность; нефтегазовая индустрия; текстильное и целлюлозно-бумажное производство. Данные марки хорошо подходят для применений, в которых требуется хорошая формоваемость и свариваемость. Марка стали 316L с пониженным содержанием углерода минимизирует выпадение карбидов в зонах повышенного термического влияния, например, во время сварки, и придаёт улучшенное сопротивление межкристаллитной коррозии. Также показывает превосходное сопротивление точечной и щелевой коррозии. Благодаря высокой ударной вязкости при низких температурах хорошо подходит для криогенной техники. Обладает пластичностью при любых способах холодной деформации, отличной свариваемостью, хорошей способностью к шлифовке. Поставляется в широком исполнении отделок (холоднокатаная, горячекатаная, светлоотожженная, шлифованная, полированная).

Продукция и размеры

- листовой и рулонный холоднокатаный и горячекатаный прокат;
- прецизионные ленты;
- сварные круглые, профильные (квадратные, прямоугольные, овальные) трубы;
- бесшовные трубы;
- сортовой прокат (круг, квадрат, полоса, шестигранник, уголок, швеллер, тавр, двутавр,...);
- фитинги (отводы, переходы, тройники);

- запорно-регулирующая арматура;
- люки, донышки;
- насосы;
- сварочные материалы;
- трубчатые и пластинчатые теплообменники;
- клапаны, системы управления и контроля.

Химический состав

Марки стали 316(1.4401) и 316L(1.4404) широко представлены в большинстве применений и доступны потребителям. Большинство заводов производителей выплавляют 316(1.4401) и/или 316L(1.4404) с содержанием хрома близким к 17% и никеля чуть более 10%. Некоторые применения требуют иногда определённые свойства и характеристики, которые можно достичь лёгким изменением легирующих элементов. Это наблюдается при дополнительном легировании титаном и/или повышением содержания никеля для улучшения сопротивления межкристаллитной коррозии, что актуально при производстве удобрений. Повышение содержания никеля позволяет использовать их в специальных криогенных применениях и повышает способность к глубокой вытяжке. Повышение содержания азота приводит к повышению механических характеристик. Добавление молибдена до уровня 2,5%-3,0% (марки 1.4432, 1.4435, 1.4436), приводит к улучшению сопротивления межкристаллитной коррозии и повышению формруемости. Снижение содержания никеля в производных марках сталей 316-семьи приводит к ускоренному упрочнению при механической обработке. Стабилизация титаном или ниобием повышает коррозионное сопротивление при повышенных температурах.

EN	ASTM	ГОСТ	C, %	Cr, %	Ni, %	Mo, %	<1%
1.4404	316L		0,02	17,2	10,1	2,1	-
1.4401	316	08X16H11M3	0,04	17,2	10,1	2,1	-
1.4571	316Ti	08X17H13M2T	0,04	16,8	10,9	2,1	Ti
1.4406	316LN		0,02	17,2	10,1	2,1	N
1.4432	316L		0,02	16,9	10,6	2,7	
1.4435	316L	03X17H14M3	0,02	17,3	12,6	2,7	
1.4436	316		0,04	16,9	10,6	2,7	

Механические свойства

Прочностные характеристики этих марок растут с увеличением содержания углерода, азота и при определённых условиях молибдена и марганца. Аустенитные марки демонстрируют очень высокую пластичность, наблюдается высокий процент удлинения до разрушения. Обладая высокой прочностью эти марки применяются при криогенных температурах. Повышенная температура определяется как температура в интервале 500-600°C. Большинство продуктов одобрено для применения в сосудах высокого давления до температур 400°C. В нагревательных элементах, каталитических конвертерах, печах, где высокое давление не является главным фактором, аустенитные марки могут использоваться до 800°C в зависимости от иных обстоятельств. Аустенитная сталь демонстрирует подобные углеродистой стали характеристики в условиях пожарной нагрузки, а при температурах до 550°C демонстрирует лучшие пропорции прочности по отношению к комнатной температуре и лучшие характеристики жёсткости во всём диапазоне температур. В отожжённом состоянии при криогенных температурах они демонстрируют неустойчивость к хрупкому разрушению.

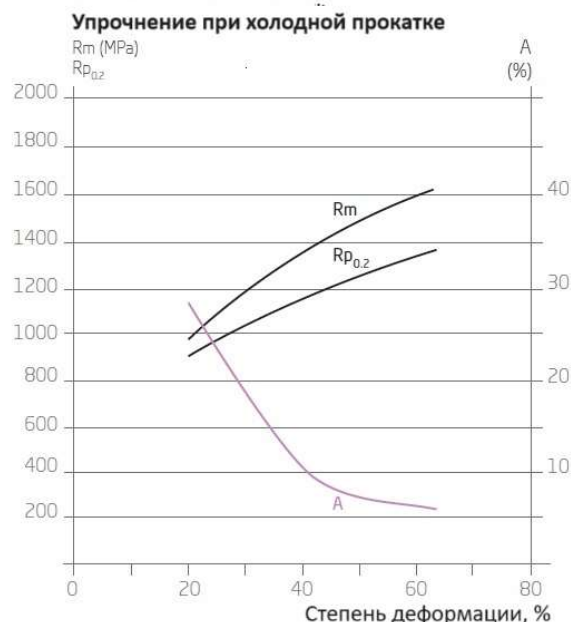
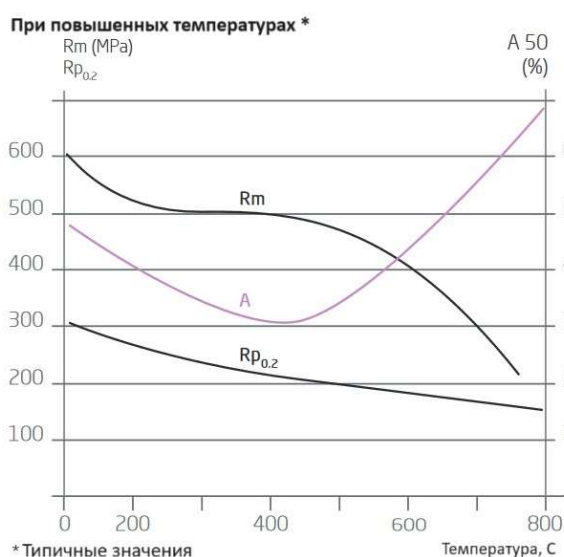
Поведение нержавеющей стали отличается от поведения большинства иных металлов при пожарах, во время которых механические свойства (модуль упругости и предел прочности) ведут себя сравнительно хорошо по отношению к температурам, возникающим во время 30-минутного пожара. Температура незащищённой нержавеющей стали после 30-минутного пожара достигает

800-830 °С и зависит от толщины материала в конструкции. Имеется существенная разница в значениях предела прочности, используемых в расчётах для разных марок. Например, для стабилизированной титаном марки 316Ti (1.4571) предел прочности имеет более высокое значение при повышенных температурах, чем у других марок.

В таблице приведены данные в отожжённом состоянии по ISO 6892-1, часть 1. Отбор образцов производился перпендикулярно направлению прокатки. Для холоднокатаных материалов длина образцов для испытания взята 80 мм для толщин менее 3 мм. Для толщин более 3 мм длина образцов = $5,65 \sqrt{S_0}$.

Прокат, поставляемый по ASTM, регламентируется по умолчанию по максимальным значениям твёрдости по шкале Бринелля HB и твёрдости Роквелла по шкале В (HRB). Прокат, поставляемый по евронорме, регламентируется по умолчанию по значениям ударной вязкости (ISO-V) для толщин более 10 мм в продольном и поперечном направлениях. Относительное удлинение при разрыве определяется на 50 мм образцах по ASTM и на 80 мм образцах по евронорме.

EN	ASTM	ГОСТ	Rm (МПа), min Временное сопротивление	Rp0,2 (МПа) Предел текучности	A, % min Относительно е удлинение	Твёрдость, макс HB/HRB
1.4404	316L		515	170	40	217/95
1.4401	316	08X16H11M3	485	205	40	217/95
1.4571	316Ti	08X17H13M2T	515	205	40	217/95
1.4406	316LN		515	205	40	217/95
1.4432	316L		550	220	40	
1.4435	316L	03X17H14M3	550	220	40	
1.4436	316		550	220	40	



Физические свойства

Холоднокатаный в отожжённом состоянии листовой прокат имеет

Плотность	ρ	Кг/дм3	20°С	8,0
Температура плавления		°С	ликвидус	1420-1450

Теплоёмкость	с	Дж/(кг К)	20°С	500
Теплопроводность		Вт/(м2 К)	20°С	15
Температурный коэф линейного расширения	α	$10^{-6}/\text{К}$	20-100°С	16,0
			20-200°С	16,5
			20-400°С	17,0
			20-600°С	17,5
			20-800°С	18,0
Электрическое сопротивление	ρ	Ω мм2/м	20°С	0,75
Магнетизм	μ	отсутствует		
Модуль Юнга	E	МПа 10^3	20°С	200
Коэффициент Пуассона: 0,30				

Коррозионное сопротивление

Марка стали **316L(1.4404)** имеет отличное коррозионное сопротивление и подходит для широкого круга применений. Особенно хорошо эта марка проявляет себя в средах, содержащих хлориды либо иные галогены. Таким образом чаще всего используется для производства частей и деталей, которые находятся в контакте с морской водой при пониженных температурах. Рекомендуется для использования в контакте с пищевыми продуктами, такими как вино, пиво, молоко (творог, простокваши и т.д.), натуральные фруктовые соки, сиропы, патока и т.д. Принимая во внимание существующие в России нормы СанПиН по обязательному хлорированию питьевой воды, является незаменимым решением для систем водоподготовки, водоочистки и водоснабжения.

Общая коррозия.

Общая коррозия характеризуется равномерной коррозией поверхности в контакте с коррозионной средой. Коррозионное сопротивление считается хорошим при скорости коррозии менее 0,1 мм в год. **316L (1.4404)** имеет хорошее сопротивление к общей коррозии во многих органических и неорганических средах. Дополнительное легирование молибденом усиливает коррозионное сопротивление во многих кислотных средах. Как следствие, зачастую марки, легированные молибденом, называют кислотостойкими. Однако, это не значит, что материал не будет подвергаться коррозии при любых условиях.



Общая коррозия относительно хорошо измеряется, предсказуема и почти никогда не приводит к катастрофическим последствиям. Она может быть легко ограничена или предотвращена

правильным выбором марки стали. Единственным нежелательным последствием такой коррозии является поблёкший внешний вид стали. Соляная кислота, например, может приводить к общей коррозии, точечной коррозии, щелевой коррозии даже при низких концентрациях и умеренных температурах.

Атмосферная коррозия.

316L (1.4404) марка обладает хорошим сопротивлением к атмосферной коррозии в применениях, где поверхностное помутнение от зарождающейся точечной и щелевой коррозии нежелательно. Продукция из этой марки используется в умеренных агрессивных промышленных, городских и береговых зонах. При наличии большого количества хлоридов и загрязнений, как например промышленные зоны или агрессивные атмосферы морских побережий, может понадобиться марка стали с более высоким уровнем легирующих элементов. Особенно, это важно в зонах с теплым климатом и повышенной влажностью. Одновременно, регулярная мойка (очистка) помогает защитить от возникновения отложений, способствующих коррозии. Гладкая, ровная поверхность помогает очистке поверхности дождями и удлиняет сервисные интервалы. Данная марка не подходит для несущих конструкции зданий крытых бассейнов, таких как балки перекрытий и поддерживающие конструкции крыш. Во избежание риска коррозионного растрескивания под напряжением, в соответствии с нормами EN 1993-1-4, необходимо выбрать иные марки нержавеющей стали для работы под нагрузкой во внутренних несущих конструкциях бассейнов.

Точечная и щелевая коррозия.

Точечная и щелевая коррозии могут проявляться в кислотных или нейтральных, содержащих хлориды (или галогены) средах, в зависимости от разных параметров, таких как концентрация хлоридов, температура, значение pH, окислительно-восстановительного потенциала и геометрии щелей. Продукция из **316L (1.4404)** марки обеспечивает отличное сопротивление точечной и щелевой коррозии. Повышение содержания хрома, молибдена и азота улучшает сопротивление точечной и щелевой коррозии. Никель понижает распространение точечной коррозии и способствует пассивации после начала питинговой (точечной) коррозии.

Щелевая коррозия – такой тип коррозии, который может быть разделён на две стадии. Во время первой стадии (инициализация) формируются изолированные ямки в щелевых зонах там, где локально pH становится ниже pH депассивации данной марки. На втором этапе идёт распространение этих зон с вовлечением в растворение стали. Для снижения скорости этого процесса используют легирование молибденом, либо повышение содержания хрома, либо азота. Повышение содержания никеля приводит к снижению процесса распространения щелевой коррозии.

Межкристаллитная коррозия (МКК).

Этот вид коррозии также называют атакой границ зёрен. Он характеризуется коррозией в узком промежутке вдоль границ зёрен. Низкое содержание углерода, которое при современных технологиях (аргонно-кислородное обезуглероживание), достигается на этапе выплавки стали повышает сопротивление МКК. Риск МКК также снижается при стабилизации химического состава, легируя титаном или ниобием. Сварка материалов с большой толщиной, а также термообработка в интервале критических температур 550-850°C с медленным охлаждением после термообработки или горячей деформации, может приводить к возникновению риска МКК. **316L (1.4404)** удовлетворяет требованиям стандартных испытаний на межкристаллитную коррозию, определённых в EN ISO 3651-2 (провоцирующие обработки T2) и считается не склонной к МКК.

Коррозионное растрескивание под напряжением.

Этот тип коррозии характеризуется растрескиванием материала при одновременном воздействии напряжения и коррозионной среды. Такой средой для нержавеющей стали достаточно часто выступают растворы, содержащие хлориды. Кроме наличия хлоридов и приложенной нагрузки, повышенная температура $>50^{\circ}\text{C}$ может приводить к появлению коррозионного растрескивания под напряжением. Такое же может происходить в горячих сильно щелочных растворах при температурах $>110^{\circ}\text{C}$. Риск появления коррозионного растрескивания под напряжением сильно зависит от содержания никеля в стали и микроструктуры. Наличие молибдена в данной марке, и как следствие улучшенное сопротивление воздействию галогенов, минимизирует риск возникновения коррозионного растрескивания под напряжением. И повышенное и пониженное содержание никеля дают лучшее сопротивление к такой коррозии. Как следствие ферритные (безникелевые) стали имеют превосходное сопротивление к коррозионному растрескиванию в присутствии хлоридов.

Обработка

Отжиг.

Отжиг проводится при температурах $1000-1100^{\circ}\text{C}$ с дальнейшим быстрым охлаждением на воздухе или закалкой в воду для восстановления микроструктуры (рекристаллизация и растворение карбидов) и снятие внутренних напряжений. Для стабилизированных титаном марок нагрев выше 1070°C может привести к ослаблению сопротивлению межкристаллитной коррозии. **316Ti** (стабилизированная титаном) может быть подвергнута стабилизирующей обработке при более низких температурах. Однако, температура ниже 980°C применима только с учётом должного внимания к предполагаемой среде эксплуатации стали. В тех случаях, когда высокие остаточные напряжения недопустимы, необходимо провести обработку для снятия напряжений. Это достигается термообработкой (отжигом) как описано выше. Аустенитные марки не упрочняются термообработкой, но они упрочняются при холодной деформации.

Травление и пассивация.

Травление производится: - в смеси азотной и плавиковой кислот ($10\% \text{HNO}_3 + 2\% \text{HF}$) при повышенной температуре до 60°C ; - в смеси серной и азотной кислот ($10\% \text{H}_2\text{SO}_4 + 0,5\% \text{HNO}_3$) при 60°C ; - травильными пастами, гелями, растворами для сварочных швов.

Пассивация производится: - в 20-25% растворе азотной кислоты HNO_3 при комнатной температуре; - пассивационной пастой, гелем, раствором в зоне сварных швов.

Шлифовка, полировка.

Поверхность **316L(316)** подходит для всех видов шлифовки (щетками, ремнями, всухую, влажная, электро-полировка и др).

Гибка и раскатка.

316L легко подвергается гибке до температуры 180°C , с очень малым радиусом закругления до толщин ниже 0,8 мм. Для большей толщины рекомендуется радиус изгиба, по крайней мере, равный половине от толщины изгибаемого материала, при это необходимо помнить об упругой обратимой деформации. **316L** марка хорошо подходит для раскатки.

Глубокая вытяжка и вытягивание.

Коэффициент вытяжки достаточен для проведения деформаций до степени 1,92. Глубина вытяжки по Эриксену примерно 11 мм. Для случаев очень глубокой вытяжки и для многоступенчатых процессов обработки предпочтительнее использовать марки с повышенным содержанием никеля.

Формуемость.

В термообработанном состоянии **316L (1.4404)** марка может быть подвергнута холодной деформации с применением всех стандартных процессов, таких как гибка, профилирование, формовка, вытяжка, раскатка и т.д. Все марки стали из этой группы демонстрируют превосходную формуемость при растяжении; высокую степень упрочнения при обработке; средний коэффициент деформации близок к 1.

Стабильность аустенитной фазы снижается с уменьшением содержания легирующих элементов, больше мартенсита может появляться при холодной деформации. Мартенситные превращения зависят не только от химического состава, но и от температуры обработки. При температуре 150 °С мартенсит не образуется даже в нестабильных марках сталей. Таким образом, обрабатываемость метастабильных аустенитных нержавеющей сталей может быть изменена управляемым нагревом детали, подлежащей обработке.

Если пластическая деформация выполнялась при повышенных температурах, то после этого необходимо провести травление. Для более сложных операций формовки предпочтительно использовать марки стали с модифицированным химическим составом.

Горячая деформация.

Горячая деформация проводится при температурах 850–1150 °С. Для достижения максимального коррозионного сопротивления поковки должны быть подвергнуты термообработке при 1070 °С и быстрому охлаждению на воздухе или в воду после горячей деформации. Медленное охлаждение может привести к неблагоприятным последствиям по снижению пластичности и коррозионных свойств продукта.

Механическая обработка.

Из-за высокой вязкости и склонности к упрочнению при деформировании, аустенитные марки труднее обрабатывать на станках по сравнению с углеродистой сталью, но всё же значительно легче по сравнению с высоколегированными марками стали. Требуется более высокое усилие реза, чем на углеродистой стали. Наблюдается сопротивление к ломке стружки и высокая тенденция к упрочнению кромки. Наилучшие результаты получаются с использованием мощного оборудования, острого инструмента и жёстких настроек.

Эта марка соответствует

- Стандарту NFA 36 711 «Нержавеющая сталь, предназначенная для использования в контакте с продовольственными товарами, продуктами и напитками для потребления людьми и животными».
- Требованиям международного стандарта NSF/ANSI 51-2009 «Материалы для пищевого оборудования» и FDA (Администрация США по продуктам питания и лекарствам) в отношении материалов, находящихся в контакте с продуктами питания.
- Указ №92-631 от 08 июля 1992 и Правила №1935/2004 от 27 октября 2004 по материалам и изделиям, находящимся в контакте с продуктами (с повторными директивами 80/590/ЕЕС и 9/109/ЕЕС).
- Итальянский Указ от 21 марта 1973: Список видов нержавеющей стали подходящих для «Положение о гигиенических требованиях к упаковке, таре инвентарю и средствам, предназначенных для контакта с веществами в продуктах питания и веществами для личного пользования».
- Французский Нормативный документ от 13 января 1976 в отношении материалов и изделий, изготовленных из нержавеющей стали для контакта с продуктами питания.
- Директивы и стандарты для применения в сосудах, работающих под давлением.
- Регистры судоходства.

Сварка

Марка стали **316L** имеет превосходную свариваемость и подходит для всех обычных методов сварки, за исключением кислородо-ацетиленового метода. В случае наличия риска межкристаллитной коррозии, а также при сварке тонких материалов, можно использовать автогенную сварку. Для толстых сечений предпочтительнее использовать продукт с пониженным содержанием углерода. Для обеспечения той же прочности и коррозионного сопротивления, предпочтительнее использовать сварочный материал эквивалентный (либо более легированный) марке стали материнского материала. В некоторых случаях, разная композиция может улучшить свариваемость и стабилизацию структуры.

Аустенитные марки имеют на 50% более высокий коэффициент термического расширения и более низкую теплопроводность по сравнению с ферритными и дуплексными марками. Это означает, что при сварке могут возникнуть большие деформации и напряжения усадки. В большинстве случаев термообработка после сварки не требуется. Однако, для полного восстановления коррозионного сопротивления металла, окалина сварного соединения должна быть механически или химически удалена с дальнейшей пассивацией и очисткой. В случае эксплуатации изделия при температурах выше 500 °С необходим присадочный материал, который гарантирует содержание феррита в шве ниже 8%.

Технология сварки	Без присадочного материала	С присадочным материалом		Защитный газ*	
		Толщина	Толщина		Пруток
Сварка сопротивлением: точечная, шовная	≤ 2 мм				*Водород и азот запрещены
TIG (дуговая неплавящимся)	< 1,5 мм	>0,5 мм	ER316L*	ER316L*	Аргон Аргон+5%Водород Аргон+Гелий
Плазма	< 1,5 мм	>0,5 мм		ER316L*	Аргон Аргон+5%Водород Аргон+Гелий
MIG (дуговая плавящимся)		>0,8 мм		ER316L(Si)*	Аргон+2%CO ₂ Аргон+2%O ₂ Аргон+2%CO ₂ +1%H ₂ Аргон+2%CO ₂ +Гелий
Дуговая под флюсом		>2 мм		ER316L*	
Электрод		ремонт		ER316L*	
Лазер	< 5 мм				Гелий При определённых условиях Аргон

Применения:

- В пищевом, фармацевтическом оборудовании
- В химическом машиностроении, криогенной технике
- В молочной промышленности и производстве напитков, ёмкости, молоковозы и др
- В трубопроводах и обвязках
- В сварных конструкциях, в текстильной и целлюлозно-бумажной промышленности
- В ёмкостном, теплообменном оборудовании, фитинги, фланцы, запорная арматура