

Дуплексная нержавеющая сталь



Марки стали

Outokumpu	EN	ASTM/UNS
LDX 2101®	1.4162	S32101
2304	1.4362	S32304
LDX 2404™	1.4662	S82441
2205	1.4462	S32205/S31803
4501	1.4501	S32760
2507	1.4410	S32750

Характерные свойства

- Степень устойчивости к сплошной коррозии от хорошей до очень хорошей
- Степень устойчивости к точечной и контактной коррозии от хорошей до очень хорошей
- Повышенная устойчивость к коррозионному растрескиванию под напряжением и коррозионной усталости
- Высокая механическая прочность
- Хорошая износостойкость и эрозионная стойкость
- Хорошее сопротивление усталости
- Высокое энергопоглощение
- Низкое тепловое расширение
- Хорошая свариваемость

Области применения

- Целлюлозно-бумажная промышленность
- Опреснительные установки
- Системы очистки отходящих газов
- Грузовые цистерны и трубопроводные системы танкеров для перевозки химических продуктов
- Системы морской воды
- Защитные перегородки от пожара и взрыва на морских нефтедобывающих платформах
- Мосты
- Компоненты строительных конструкций
- Резервуары для хранения
- Сосуды, работающие под давлением
- Теплообменники
- Водонагреватели
- Роторы, рабочие колеса и валы
- Арматура для железобетонных конструкций

Общие характеристики

Аустенитно-ферритная нержавеющая сталь, которую также называют дуплексной нержавеющей сталью, сочетает в себе множество полезных свойств ферритной и аустенитной стали. Благодаря высокому содержанию хрома и азота, а также часто и молибдена, эти стали проявляют хорошую устойчивость к сплошной и местной коррозии. Дуплексная микроструктура способствует высокой прочности и высокой устойчивости к коррозионному растрескиванию под напряжением. Дуплексные стали имеют хорошую свариваемость.

Outokumpu выпускает полный ассортимент марок дуплексной стали, от низколегированной LDX 2101® до особых дуплексных марок 2507 и 4501. В настоящем издании представлены свойства марок LDX 2101®, 2304, LDX 2404™, 2205 и 2507. Свойства марки 4501 в общих чертах сходны со свойствами 2507. Марка 4501 поставляется, если оговорено особо.

Химический состав

Стандартный химический состав сталей Outokumpu приведен в Таблице 1. Химический состав определенной марки стали может слегка различаться в различных государственных стандартах. Будет обеспечено полное соответствие требуемому стандарту, указанному в заказе.

Химический состав

Таблица 1

	Название стали по номенклатуре Outokumpu	Международное обозначение марки стали		Химический состав, % Типовые значения						Национальные обозначения марок стали, замененные на обозначения EN			
		EN	ASTM/UNS	C	N	Cr	Ni	Mo	Прочее	BS	DIN	NF	SS
Дуплексная	LDX 2101®	1.4162	S32101	0,03	0,22	21	1,5	0,3	5 Mn	-	-	-	-
	2304	1.4362	S32304	0,02	0,10	23	4,8	0,3	-	-	1.4362	Z3 CN 23-04 Az	2327
	LDX 2404™	1.4662	S82441	0,02	0,27	24	3,6	1,6	3 Mn	-	-	-	-
	2205	1.4462	S32205*	0,02	0,17	22	5,7	3,1	-	318S13	1.4462	Z3 CND 22-05 Az	2377
	4501	1.4501	S32760	0,02	0,25	25	7,0	3,8	W, Cu	-	-	-	-
	2507	1.4410	S32750	0,02	0,27	25	7,0	4,0	-	-	-	Z3 CND 25-06 Az	2328
Аустенитная	4307	1.4307	304L	0,02	-	18	8,3	-	-	304S11	1.4307	Z3 CN 18-10	2353
	4404	1.4404	316L	0,02	-	17	11	2,1	-	316S11	1.4404	Z3 CND 17-11-02	2348
	904L	1.4539	N08904	0,01	-	20	25	4,3	1,5 Cu	904S13	1.4539	Z2 NCDU 25-20	2562
	254 SMO®	1.4547	S31254	0,01	0,20	20	18	6,1	Cu	-	-	-	2378

* Также поставляется как S31803

Микроструктура

Химический состав дуплексных сталей таков, что в нем содержатся примерно равные количества ферритной и аустенитной составляющей в состоянии термообработки на твердый раствор. Чем выше температура отжига, тем выше содержание ферритной составляющей.

Дуплексные стали более склонны к выделению сигма фазы, нитридов и карбидов, чем соответствующие аустенитные стали, что является причиной охрупчивания и снижения коррозионной стойкости. Образование интерметаллидных фаз, таких как сигма фаза, происходит в интервале температур 600–950°C, а разложение феррита происходит в интервале 350–525°C (475°C охрупчивание).

Таким образом, следует избегать воздействия этих температур. При правильном проведении сварки и термообработки риск охрупчивания невелик. Тем не менее, существуют некоторые риски, например, при термообработке толстостенных участков, особенно при медленном охлаждении.

На Рис.1 показано отношение времени и температуры, приводящее к снижению ударной вязкости на 50%. В связи с риском охрупчивания дуплексные стали не следует использовать при температурах выше 250–325°C. Максимальная температура и значение прочности зависят от марки стали и применяемых норм проектирования.

Механические свойства

В Таблицах 2–4 приведены механические свойства листопрокатной продукции. Данные в соответствии с EN 10088 и EN 10028, где применимо. LDX 2404™ еще не внесена в EN 10088. Данные по LDX 2404™ соответст-

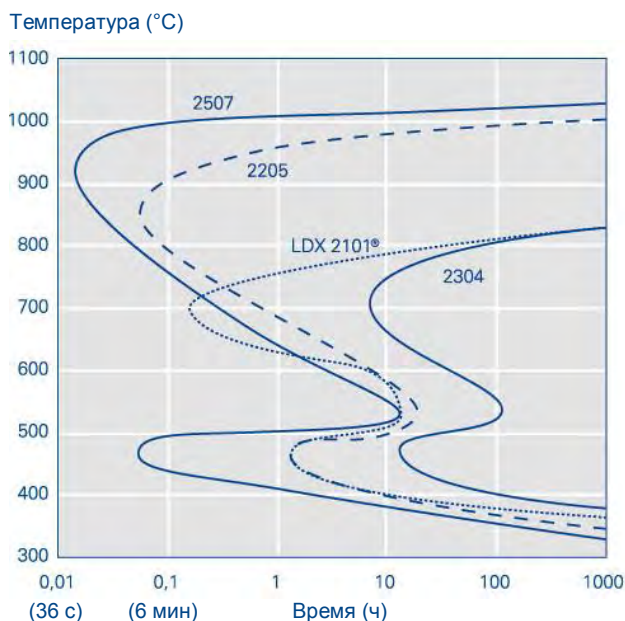


Рис. 1 Кривые снижения ударной вязкости на 50% по сравнению с состоянием термообработки на твердый раствор.

вуют внутреннему стандарту AM 641. Допустимые расчетные параметры могут отличаться для различных продуктов. Надлежащие значения указаны в соответствующих спецификациях.

Механические свойства при 20°C

Таблица 2

				Минимальные значения в соответствии с EN 10088			Типовые значения		
				P	H	C	P (15 мм)	H (4 мм)	C (1 мм)
LDX 2101®									
Условный предел текучести	R _{p0,2}	МПа		450	480	530	480	570	600
Предел прочности при растяжении	R _m	МПа		650	680	700	700	770	800
Относительное удлинение	A ₅	%		30	30	30/20 ¹	38	38	35
Твердость	HB						225	230	230
2304									
Условный предел текучести	R _{p0,2}	МПа		400	400	450	450	520	545
Предел прочности при растяжении	R _m	МПа		630	650	650	670	685	745
Относительное удлинение	A ₅	%		25	20	20	40	35	35
Твердость	HB, макс.						210	220	225
LDX 2404™*									
Условный предел текучести	R _{p0,2}	МПа		480	550	550	540	620	640
Предел прочности при растяжении	R _m	МПа		680	750	750	750	800	850
Относительное удлинение	A ₅	%		25	25	25/20 ¹	33	32	30
Твердость	HB			290	290	290	230		
2205									
Условный предел текучести	R _{p0,2}	МПа		460	460	500	510	620	635
Предел прочности при растяжении	R _m	МПа		640	700	700	750	820	835
Относительное удлинение	A ₅	%		25	25	20	35	35	35
Твердость	HB						230	250	250
2507									
Условный предел текучести	R _{p0,2}	МПа		530	530	550	550	590	665
Предел прочности при растяжении	R _m	МПа		730	750	750	820	900	970
Относительное удлинение	A ₅	%		20	20	20	35	30	33
Твердость	HB						250	265	255

P = горячекатаная листовая сталь (толстый лист). H = горячекатаная полоса.

C = холоднокатаный рулон и полоса.

* Механические свойства в соответствии с AM 641.

¹ Относится к A80 для толщин менее 3 мм.

Ударная вязкость.

Минимальные значения в соответствии с EN 10028, поперечное направление, Дж

Таблица 3

	LDX 2101®*	2304	LDX 2404™**	2205	2507
20°C	60	60	60	60	60
-40°C	27	40	40	40	40

* Значения из внутреннего стандарта AM 611.

** Значения из внутреннего стандарта AM 641.

Свойства при растяжении при повышенных температурах.

Минимальные значения в соответствии с EN 10028, МПа

Таблица 4

	LDX 2101®*		2304		LDX 2404™**		2205		2207	
	R _{p0,2}	R _m	R _{p0,2}	R _m	R _{p0,2}	R _m	R _{p0,2}	R _m	R _{p0,2}	R _m
100°C	380	590	330	540	385	615	360	590	450	680
150°C	350	560	300	520	345	590	335	570	420	660
200°C	330	540	280	500	325	575	315	550	400	640
250°C	320	540	265	490	310	560	300	540	380	630

* Значения для холоднокатаной и горячекатаной полосы в соответствии AM 611

** Значения из внутреннего стандарта AM 641.

Усталость

Высокий предел прочности дуплексных сталей также подразумевает высокую усталостную прочность. В Таблице 5 показан результат испытаний на усталость при пульсирующих растягивающих напряжениях ($R = \sigma_{\min} / \sigma_{\max} = 0,1$) на воздухе при комнатной температуре. Пре-

дел усталости оценивали при 2 миллионах циклов и вероятности разрушения 50%. Испытания проводили на круглых полированных брусках. Как видно из таблицы, предел усталости дуплексных сталей примерно соответствует условному пределу текучести материала.

Усталость, испытание при пульсирующих растягивающих напряжениях, МПа

Таблица 5

	LDX 2101®*	2304	2205	2507	4404
R _{p0,2}	478	446	497	565	280
R _m	696	689	767	802	578
Предел усталости	500	450	510	550	274

Физические свойства

Физические характеристики в соответствии с EN 10088 применимы ко всем нашим дуплексным сталям, см. Табл. 6.

Типовые значения*

Таблица 6

		20°C	100°C	200°C	300°C
Плотность	г/см ³	7,8			
Модуль упругости	ГПа	200	194	186	180
Коэффициент Пуассона		0,3			
Линейное расширение при (RT → T)°C	X10 ⁻⁶ /°C	-	13,0	13,5	14,0
Теплопроводность	Вт/м°C	15	16	17	18
Теплоемкость	Дж/кг°C	500	530	560	590
Электрическое сопротивление	μΩм	0,80	0,85	0,90	1,00

* Значения могут немного различаться для различных марок дуплексных сталей

RT = Комнатная температура

Коррозионная стойкость

Дуплексные стали обеспечивают широкий спектр коррозионной стойкости в различных условиях. Более подробная информация по коррозионной стойкости приведена в Справочнике Outokumpu по коррозионной стойкости.

Ниже дана краткая характеристика коррозионной стойкости в различных средах.

Сплошная коррозия

Сплошной коррозией называют равномерное поражение поверхности стали при контакте с агрессивной средой. Коррозионная стойкость обычно считается хорошей, если скорость коррозии менее 0,1 мм/год. Благодаря высокому содержанию хрома дуплексные стали обладают превосходной коррозионной стойкостью во многих средах.

LDX 2101® в большинстве случаев имеет лучшую коррозионную стойкость, чем 4307, и в некоторых случаях, такую же, как и 4404. Марка 2304 в большинстве случаев эквивалентна 4404, тогда как другие более высоколегированные дуплексные стали проявляют лучшую коррозионную стойкость.

Серная кислота

Кривые изокоррозии в серной кислоте представлены на Рис. 2. В серной кислоте с примесью хлорид-ионов марка 2205 проявляет намного лучшую коррозионную стойкость, чем 4404, и примерно такую же, как и 904L, Рис. 3.

Соляная кислота

Такие марки нержавеющей стали, как 4307 и 4404, имеют очень ограниченное применение в среде соляной кислоты из-за высокого риска сплошной и местной коррозии. Высоколегированные марки стали, как, например, 2507 и, в некоторой степени, 2205, могут использоваться в разбавленной соляной кислоте, Рис. 4. Обычно точечная коррозия не является проблемой в области ниже линии раздела на кривой изокоррозии, но щелевой следует опасаться.

Азотная кислота

В сильных кислотах, как например, азотная, молибденовые стали часто проявляют лучшую стойкость, чем молибденовые стали. LDX 2101® и 2304 являются хорошей альтернативой благодаря высокому содержанию хрома в сочетании с низким содержанием молибдена.

Точечная и щелевая коррозия

Стойкость к точечной и щелевой коррозии повышается с повышением содержания в стали хрома, молибдена и азота. Это часто выражают эквивалентным показателем устойчивости к точечной коррозии материала (PRE), который можно рассчитать по формуле: $PRE = \%Cr + 3,3 \times \%Mo + 16 \times \%N$. Значения PRE для различных марок стали представлены в Таблице 7.

Значение PRE можно использовать для приблизительного сравнения различных материалов. Намного более надежным способом классификации сталей является сравнение по критической температуре точечной коррозии (CPT). Для измерения CPT имеется несколько методов. Электрохимический метод, используемый Outokumpu, позволяет измерять стойкость к точечной коррозии без наложения щелевой коррозии (ASTM G 150). Результаты даны как критическая температура точечной коррозии, CPT, при которой начинается точечная коррозия.

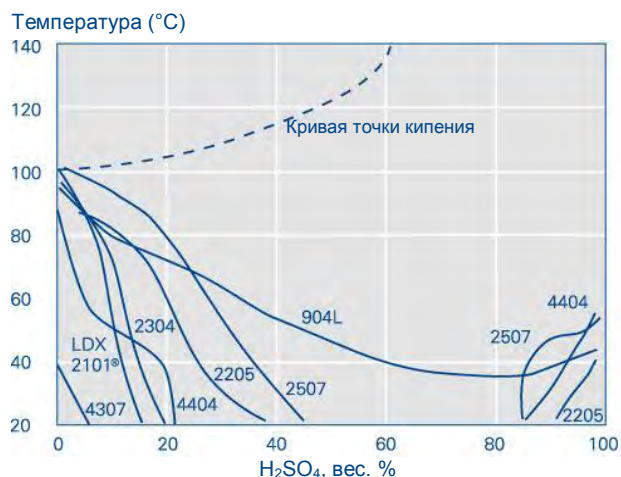


Рис. 2 Изокоррозионные кривые, 0,1 мм/год, в серной кислоте

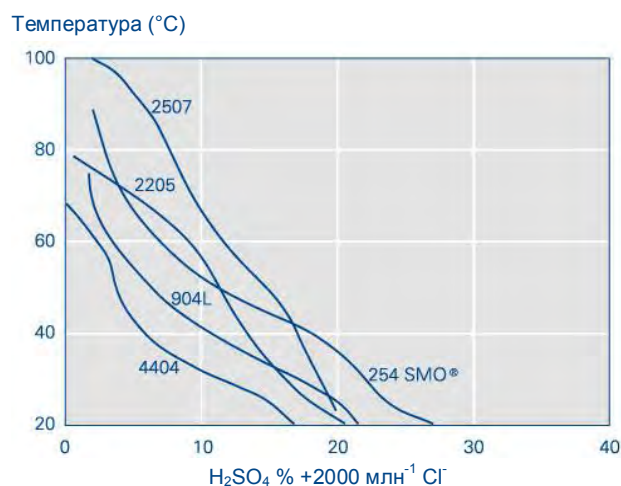


Рис. 3 Изокоррозионные кривые, 0,1 мм/год, в серной кислоте, содержащей 2000 мл/л хлорид-ионов

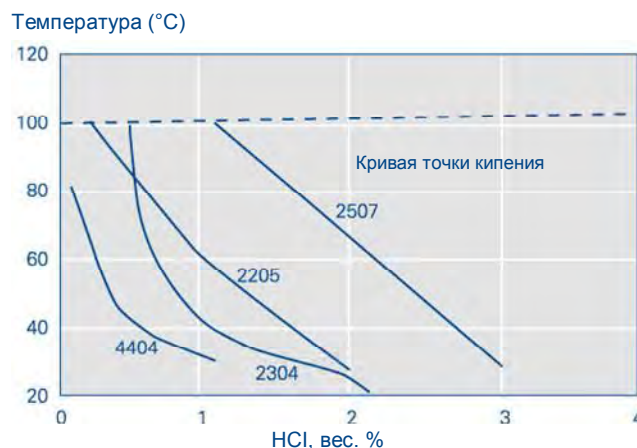


Рис. 4 Изокоррозионные кривые, 0,1 мм/год, в соляной кислоте

На Рисунке 5 показана стойкость сталей к точечной коррозии в условиях шлифовки (P320 меш).

Фактическое значение поверхности в состоянии поставки может отличаться в зависимости от формы продукта.

При классификации стойкости к щелевой коррозии, обычно измеряют критическую температуру, при которой начинается коррозия в однозначно определенном растворе. Характерные критические температуры щелевой коррозии (CCT) измеренные в 6% FeCl₃ + 1% HCl соответствии с ASTM G48 метод F, представлены на Рис. 6. Различные продукты с различной чистотой обработки поверхности, например, поверхности после прокатки, могут иметь значения CCT, отличающиеся от тех, что представлены на рисунке. В связи с различной степенью легирования, пять марок дуплексной стали демонстрируют различную стойкость к точечной и щелевой коррозии.

LDX 2101® имеет стойкость между 4307 и 4404, 2304 наравне с обычными молибденовыми легированными марками типа 4404, тогда как LDX 2404™ и 2205 наравне с 904L и 2507 с 254 SMO®.

Значения эквивалентного показателя устойчивости PRE для различных марок аустенитной и дуплексной стали

Таблица 7

Марка стали	PRE
4307	18
4404	24
LDX 2101®	26
2304	26
LDX 2404™	33
904L	34
2205	35
254 SMO®	43
2507	43

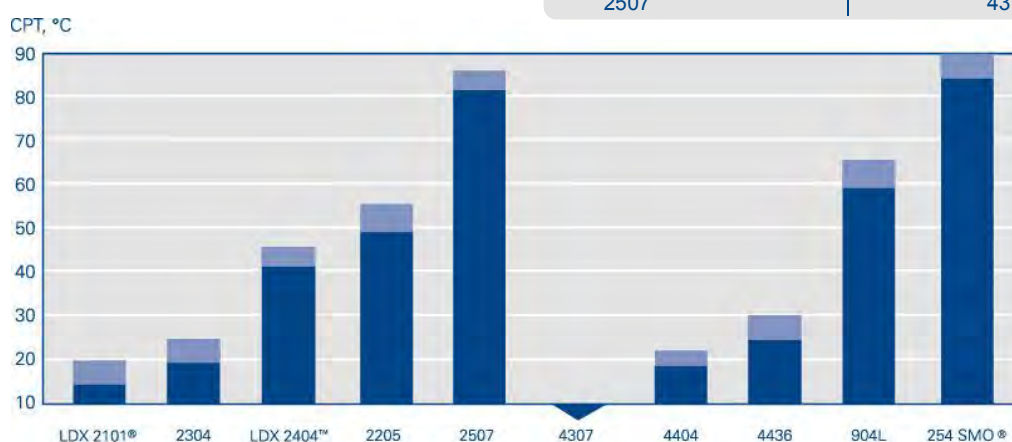


Рис. 5 Характерные критические температуры точечной коррозии (CPT) в 1M NaCl, измеренные в соответствии с ASTM G150 с использованием оборудования завода Авеста. Испытуемые поверхности мокрая шлифовка 320 меш CPT изменяется в зависимости от формы продукта и чистоты обработки поверхности.

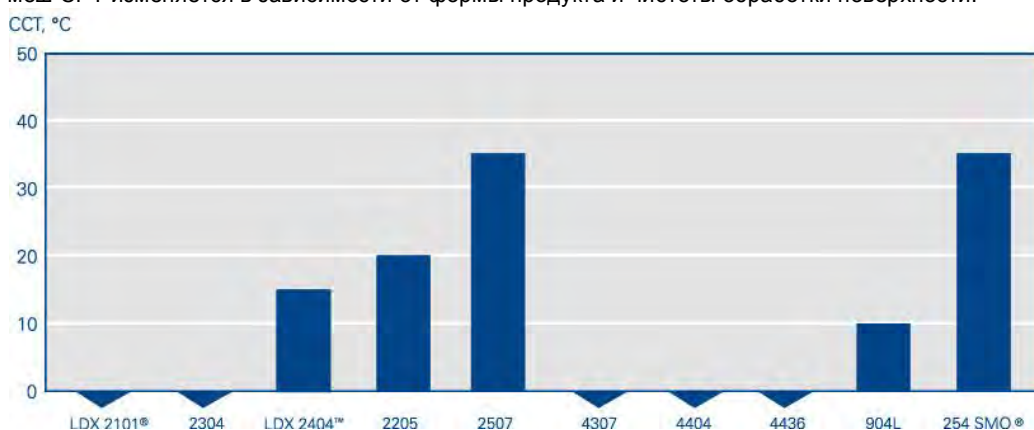


Рис. 6 Характерные критические температуры щелевой коррозии (CCT) в соответствии с ASTM G48 метод F. Испытуемые поверхности сухая шлифовка 120 меш CCT изменяется в зависимости от формы продукта и чистоты обработки поверхности.

Коррозионное растрескивание под напряжением

Обычная аустенитная нержавеющая сталь может подвергаться коррозионному растрескиванию под напряжением (SCC) в хлоридных средах при повышенных температурах. Нержавеющие стали дуплексного типа менее восприимчивы к этому типу коррозии.

В целях классификации марок нержавеющей стали по их устойчивости к SCC применяют различные методы. Результаты могут различаться в зависимости от метода и условий проведения испытаний. Стойкость к коррозионному растрескиванию под напряжением в растворе хлорида в условиях испарения может определяться по мето-

ду испарения капли. Это означает, что раствор соли медленно капает на нагретый образец, который при этом подвергается растягивающему напряжению.

При использовании этого метода пороговое значение определяется для минимального напряжения разрушения после 500 часов испытаний при 80–120°C. Пороговое значение обычно выражают как процент условного предела текучести стали при 200°C. На Рис. 7 показаны результаты такого испытания. Очевидно, что дуплексные стали превосходят обычную аустенитную нержавеющую сталь, как например, 4307 и 4404.

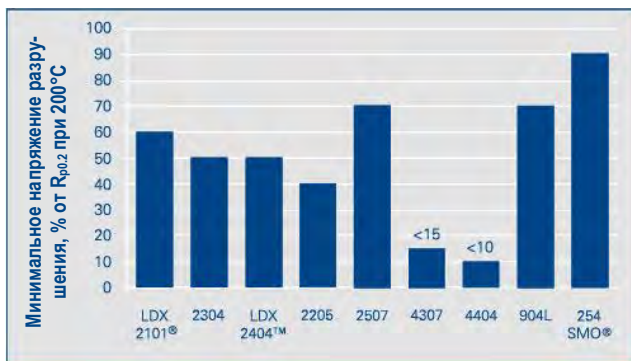


Рис. 7 Характерные пороговые напряжения, определенные методом испарения капли.

Коррозионное растрескивание под напряжением, под действием сульфидов

В присутствии сероводорода и хлоридов при низкой температуре риск коррозионного растрескивания под напряжением возрастает. Такие среды могут иметь место, например, в буровых скважинах при добыче нефти и газа. Марки дуплексных сталей, такие как 2205 и 2507, демонстрируют хорошую стойкость, тогда как марки, содержащие 13% хрома, показывают склонность к коррозионному растрескиванию под напряжением. Однако следует соблюдать осторожность в отношении условий с высоким парциальным давлением сероводорода и там, где сталь подвергается высокому внутреннему напряжению.

Обе марки 2205 и 2507 соответствуют стандарту NACE MR0175 / ISO 1515 *Нефтяная и газовая промышленность – Материалы, используемые в средах, содержащих H₂S при добыче нефти и газа*.

Коррозионная усталость

Сочетание высокой механической прочности и очень хорошей коррозионной устойчивости придает дуплексной стали высокую коррозионно-усталостную прочность. На Рис. 8 показаны кривые S-N для марок 2205 и 4404 в синтетической морской воде. Коррозионно-усталостная прочность марки 2205 значительно выше, чем у марки 4404.

Межкристаллитная коррозия

Благодаря дуплексной микроструктуре и низкому содержанию углерода дуплексная сталь имеет очень хорошую стойкость к межкристаллитной коррозии. Состав стали обеспечивает преобразование аустенита в зоне термического влияния после сварки. Таким образом, риск нежелательного образования карбидов и нитридов на границах зерен сводится к минимуму.

Амплитуда напряжения (S), МПа

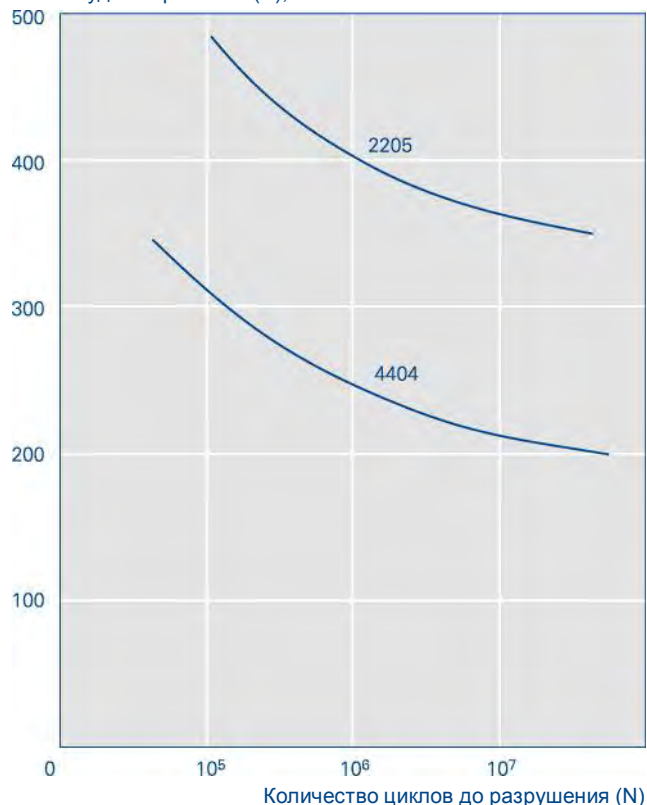


Рис. 8 Коррозионная усталость нержавеющей стали в синтетической морской воде. Испытание на изгиб при вращении, 1500 об/мин, на гладких образцах из листа толщиной 15 мм.

Эрозионная коррозия

Как правило, нержавеющая сталь проявляет хорошую стойкость к эрозионной коррозии. Марки дуплексной стали особенно устойчивы благодаря сочетанию высокой твердости поверхности и высокой коррозионной стойкости. Примерами случаев, где это имеет пользу, являются системы, подверженные воздействию частиц, вызывающих износ, например, трубопроводные сети, содержащие воду с песком или кристаллами соли.

Электрохимическая коррозия

Электрохимическая коррозия может произойти при соединении двух разнородных металлов. Более благородный материал защищен, тогда как менее благородный материал сильнее подвержен разрушению. Поскольку дуплексные стали более инертны, в большинстве сред они являются более благородными, чем другие металлические конструкционные материалы, что означает, что нержавеющая сталь оказывается защищенной, тогда как скорость коррозии, например, углеродистой стали возрастает.

Электрохимической коррозии не происходит между двумя различными марками нержавеющей стали, так как они обе инертны.

Изготовление изделий

Нержавеющая дуплексная сталь годится для всех процессов штамповки, существующих для нержавеющей стали. Высокий условный предел текучести по сравнению с аустенитной и ферритной нержавеющей сталью может обуславливать некоторые отличия в поведении материала в процессе деформации в зависимости от выбранной технологии штамповки, как например, склонность к упругому последствию. Это особенно относится к штамповке всех марок высокопрочной стали. Если технология процесса штамповки еще не разработана, то, безусловно, возможно выбрать наиболее подходящую для марок дуплексной стали. Более того, превосходное сочетание высокого условного предела текучести, степени деформационного упрочнения и относительного удлинения способствует применению марок дуплексной стали для легких и экономичных изделий сложной конфигурации.

Влияние высокой прочности меняется в зависимости от технологии штамповки. Общим для всех является то, что расчетные силы пластического деформирования будут выше, чем у соответствующих марок аустенитных и ферритных нержавеющих сталей. Этот эффект, как правило, будет ниже, чем ожидается просто от повышения прочности, так как выбор дуплексной нержавеющей стали часто связан с уменьшением толщины. Важно иметь в виду, что дуплексная нержавеющая сталь также может предъявлять более высокие требования к смазке и материалам инструмента. Также в этом случае следует уделить внимание уменьшению толщины.

Outokumpu, исследовательский центр Avesta, могут оказать клиентам содействие в проведении подробных компьютерных расчетов влияния на процессы штамповки при выборе марок нержавеющей стали.

Холодная штамповка

Высокая прочность марок дуплексной стали наглядно видна при сравнении кривых «напряжение – деформация» марок дуплексной стали Outokumpu и соответствующих марок аустенитной стали, см. Рис. 9–10. Соотношение $R_{p0.2} / R_m$ также показывает более низкую степень деформационного упрочнения для марок дуплексной стали при более высоких значениях пластической деформации.

Способность листового материала препятствовать утончению при штамповке демонстрируют значения r , анизотропии, в различных направлениях растяжения, при этом чем выше значение r , тем лучше, см. Рис. 11–12.

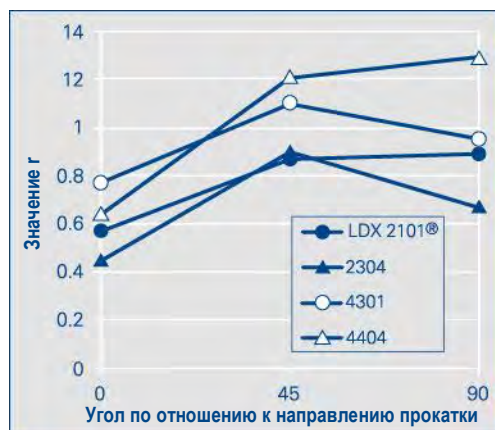


Рис. 11 Значения r для марок аустенитной и дуплексной стали с соответствующей коррозионной стойкостью.



Рис. 9 Кривые «напряжение – деформация» для марок аустенитной и дуплексной стали с соответствующей коррозионной стойкостью.



Рис. 10 Кривые «напряжение – деформация» для марок аустенитной и дуплексной стали с соответствующей коррозионной стойкостью.

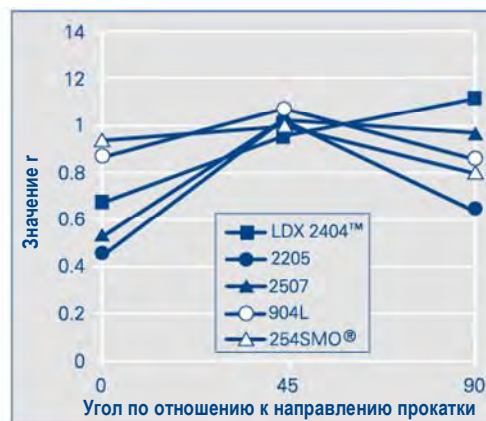


Рис. 12 Значения r для марок аустенитной и дуплексной стали с соответствующей коррозионной стойкостью.

Способность дуплексной нержавеющей стали к деформации при штамповке можно охарактеризовать различными способами. На Рис. 13 показано относительное положение марок дуплексной стали Outokumpu по сравнению с некоторыми марками аустенитной стали. Это соотношение совпадает с наблюдаемым в наиболее критическом режиме разрушения при штамповке листового материала.

При чистой вытяжке марки дуплексной стали сравнимы с марками аустенитной стали в том, что имеют примерно такой же предельный коэффициент вытяжки.

Горячая штамповка

Горячую штамповку проводят при температурах, показанных в Таблице 8. Следует, однако, принимать во внимание, что прочность дуплексных материалов низка при высоких температурах, и детали в процессе производства требуются удерживать в нужном положении. Горячая штамповка обычно должна сопровождаться закалочным отжигом.

Термообработка

В Таблице 8 показаны температуры для проведения термообработки. Термообработка должна сопровождаться последующим быстрым охлаждением в воде или на воздухе. Такая обработка применяется как при отжиге для получения твердого раствора, так и для снятия напряжений. Последнее в особых случаях может проводиться при 500–550°C. За более подробной информацией по этим операциям можно обратиться на Outokumpu.

Механическая обработка

Дуплексные стали, как правило, труднее поддаются механической обработке, чем обычная аустенитная нержавеющая сталь, как например, 4404, в связи с более высокой твердостью. Однако, LDX 2101® проявляет превосходные свойства в отношении механической обработки.

Обрабатываемость материала можно охарактеризовать показателем обрабатываемости, как показано на Рис. 14. Этот показатель увеличивается с улучшением обрабатываемости и основан на совокупности опытных данных, полученных при различных операциях по механической обработке. Он обеспечивает хорошее описание обрабатываемости относительно 4404. За более подробной информацией обратитесь на Outokumpu.



Рис. 14 Показатель обрабатываемости для дуплексных и некоторых других нержавеющих сталей.

Характеристические температуры, °C

Таблица 8

	LDX 2101®	2304	LDX 2404™	2205	2507
Горячая штамповка	1100–900	1100–900	1120–900	1150–950	1200–1025
Закалочный отжиг	1020–1080	950–1050	1000–1120	1020–1100	1040–1120
Отжиг для снятия напряжений	1020–1080	950–1050	1000–1120	1020–1100	1040–1120

См. также «Сварка»

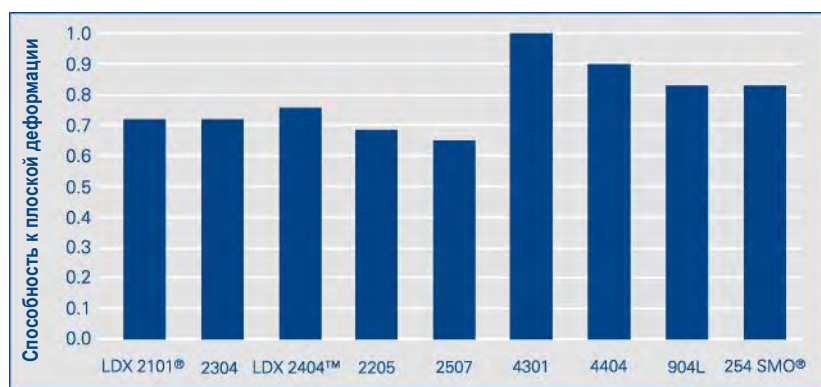


Рис. 13. Классификация по способности к деформации некоторых марок дуплексной и аустенитной стали относительно марки 4301.

Сварка

Дуплексные стали, как правило, имеют хорошую свариваемость и могут свариваться при помощи большинства методов сварки, применяемых для аустенитной нержавеющей стали:

- Сварка защищенной дугой (SMAW)
- Дуговая сварка вольфрамовым электродом в защитном газе TIG (GTAW)
- Дуговая сварка металлическим электродом в среде защитного газа MIG (GMAW)
- Дуговая сварка порошковой проволокой (FCW)
- Плазменная дуговая сварка (PAW)
- Дуговая сварка под флюсом (SAW)
- Лазерная сварка
- Контактная сварка
- Высокочастотная сварка

Благодаря сбалансированному составу зона термического влияния получает достаточно высокое содержание аустенита для сохранения хорошей устойчивости к местной коррозии. Отдельные марки дуплексной стали имеют несколько отличные сварочные характеристики. Более подробную информацию по сварке отдельных марок можно найти в справочнике Outokumpu по сварке или обратиться прямо на Outokumpu. Необходимо выполнять следующие общие указания:

- При сварке материал не требует предварительного подогрева.
- Между проходами при сварке необходимо дать материалу остыть, предпочтительно до температуры ниже 150°C.
- Для получения хорошего качества металла сварного шва в состоянии непосредственно после сварки, необходимо использовать присадочный материал. Для марки LDX 2101® довольно хорошие свойства могут быть получены также и без присадочного материала.

- Рекомендуемую энергию дуги следует поддерживать в определенных пределах для достижения хорошего баланса между ферритом и аустенитом в сварном шве. Погонная энергия должна соответствовать марке стали и быть скорректированной пропорционально толщине свариваемого материала.
- При сварке с присадочным материалом послесварочный отжиг необязателен. В случаях, где рассматривается термообработка, т. е. для снятия напряжения, она должна проводиться в соответствии с температурами, указанными в Таблице 8, но при минимальной температуре, увеличенной на 30–50°C для обеспечения полного разложения интерметаллидной фазы в металле сварного шва.
- Для обеспечения оптимальной устойчивости к точечной коррозии при сварке методами GTAW и PAW, рекомендуется дополнительно вводить в защитный / продувочный газ азот.

Обработка изделий после изготовления

Для восстановления поверхности нержавеющей стали и получения хорошей устойчивости к коррозии, часто необходимо проводить обработку изделий после изготовления.

Имеются различные методы, как механические, например, обработка металлическими щетками, струйная обработка и шлифовка, так и химические, например, травление. Выбор применимого метода зависит от того, какие последствия для металла имеет изготовление изделия, т. е. тип дефектов, требующих удаления; а также от требований по коррозионной стойкости, гигиенических требований и требований к внешнему виду. Более подробная информация приведена в справочнике по сварке Outokumpu.

Сварочные материалы

Таблица 9

Марка стали	Сварочный материал обозначение по ISO	Типовой состав, % вес.				
		C	Cr	Ni	Mo	N
LDX 2101®	23 7 NL	0,02	23,5	8,0	0,3	0,14
	22 9 3 NL	0,02	22,5	8,5	3,0	0,15
2304	23 7 NL	0,02	23,5	8,0	0,3	0,14
	22 9 3 NL	0,02	22,5	8,5	3,0	0,15
LDX 2404™	22 9 3 NL	0,02	22,5	8,5	3,0	0,15
	22 9 3 NL	0,02	22,5	8,5	3,0	0,15
2205	22 9 3 NL	0,02	22,5	8,5	3,0	0,15
2507	25 9 4 NL	0,02	25	9,5	3,5	0,25

Продукты

Таблица 10

Горячекатаный лист (толстый и тонкий) и полоса
Холоднокатаный лист (тонкий) и полоса
Прокат и поковки
Трубы большого и малого диаметра и фитинги

См. www.outokumpu.com/prodprog

Стандарты на материалы

EN 10028-7	Плоский прокат для применения в условиях под давлением – нержавеющая сталь различных марок
EN 10088-2	Нержавеющая сталь различных марок – коррозионностойкие листы (толстые и тонкие) / полосы общего и конструкционного назначения
EN 10088-3	Нержавеющая сталь различных марок – коррозионностойкие полуфабрикаты / прутки / стержни / проволока / профили общего и конструкционного назначения
EN 10088-4	Плоский прокат из нержавеющей стали, технические условия поставки, марки конструкционной стали
EN 10088-5	Длинномерный прокат из нержавеющей стали, технические условия поставки, марки конструкционной стали
EN 10217-7	Сварные стальные трубы для применения в условиях под давлением – трубы из нержавеющей стали
EN 10272	Сортовой прокат из нержавеющей стали для применения в условиях под давлением
EN 10296-2	Сварные круглые стальные трубы для механического оборудования и общего назначения – трубы из нержавеющей стали
ASTM A182 / ASME SA-182	Кованые или прокатанные трубные фланцы, кованые фитинги и т. д. для эксплуатации в условиях высоких температур
ASTM A240 / ASME SA-240	Жаростойкие Cr и Cr-Ni листы (толстые и тонкие) / полосы для применения в условиях под давлением
ASTM A276	Жаростойкий и нержавеющий сортовой прокат / фасонный профиль
ASTM A479 / ASME SA-479	Сортовой прокат из нержавеющей стали для котлов и прочих сосудов работающих под давлением
ASTM A789 / ASME SA-789	Бесшовные и сварные трубы общего назначения из нержавеющей дуплексной стали
ASTM A790 / ASME SA-790	Бесшовные и сварные трубы малого диаметра из нержавеющей дуплексной стали
ASTM A815 / ASME SA-815	Трубопроводная арматура из деформированной ферритной, дуплексной, мартенситной нержавеющей стали
ASTM A928	Трубы малого диаметра из нержавеющей дуплексной стали, сваренные с добавкой присадочного металла.
VdTUV WB 418	Ferritisch-austenitischer Walz- und Schmiedestahl, 1.4462
VdTUV WB 496	Ferritisch-austenitischer Walz- und Schmiedestahl, 1.4462
VdTUV WB 556	Аустенитно-ферритная сталь X2CrMnNi21-5-1, Материал No. 1.4162, Обозначение производителя: LDX 2101®
NACE MR0175 / ISO 1515	Нефтяная и газовая промышленность – Материалы, используемые в сероводородных средах при добыче нефти и газа.
Norsok M-CR 630, MDS D45, MDS D55	
Кодекс ASME дополнение 2418	21Cr-5Mn-1.5Ni-Cu-N (UNS S32101), Аустенитно-ферритная нержавеющая дуплексная сталь Секция VIII, Раздел 1

Марка Outokumpu 2205 в американских стандартах соответствует двум различным обозначениям стали; UNS S31803 и UNS S32205. Последняя имеет более узкие пределы допусков по некоторым легирующим элементам для оптимизации свойств, таких как коррозионная стойкость и прочность, свойства, описанные в данной спецификации соответствуют UNS S32205.

Приведенная в данной брошюре информация может быть подвергнута изменениям без предварительного уведомления. Были приняты меры для обеспечения точности приведенной в данной публикации информации, однако Outokumpu и подконтрольные ей компании не несут ответственности за ошибки или за недостоверность информации. Предложения или описания по конечному назначению или применению продуктов или методов работы даны только для информации, Outokumpu и подконтрольные ей компании не несут никаких обязательств в их отношении. Перед тем как использовать продукцию, поставленную или изготовленную компанией, заказчик должен убедиться в возможности ее применения..

Outokumpu является мировым лидером в производстве нержавеющей стали. Наша цель – быть бесспорно лучшими в области нержавеющей стали, наш успех основан на высоких стандартах ведения бизнеса. Заказчики по всему миру в различных отраслях промышленности используют нашу нержавеющую сталь и пользуются нашими услугами. Будучи полностью пригодным для вторичной переработки, не требующим эксплуатационного ухода, а также прочным и долговечным материалом, нержавеющая сталь является одной из ключевых составляющих нашего надежного будущего.

Что особенно отличает Outokumpu – это полная ориентированность на клиента, начиная с исследований и разработок и кончая поставкой. У вас есть идея. Мы предлагаем нержавеющую сталь мирового класса, техническое ноу-хау и поддержку. Мы активизируем ваши идеи. (www.outokumpu.com)

ЗАО «Оутокумпу»

Россия, 197101
Санкт-Петербург, ул. Чапаева, 15
тел. (812) 321-29-29
факс (812) 321-29-42
outokumpu.spb@outokumpu.ru

Россия, 123022
Москва, ул. Большая Декабрьская, 10, стр.2
тел. (495) 225-98-80
факс (495) 925-53-59
outokumpu.msk@outokumpu.ru



Outokumpu Stainless AB, Avesta Research Centre
(Исследовательский центр Авеста)
Box 74, SE-774 22 Avesta, Sweden
Тел. +46 (0)226 810 00, Факс +46 (0)226 810 77
research.stainless@outokumpu.com