

ДУПЛЕКСНІ НЕРЖАВІЮЧІ СТАЛІ

Дуплексні нержавіючі сталі набувають все більшого поширення. Їх виготовляють всі основні виробники нержавіючої сталі і на те є цілий ряд причин:

висока міцність, що дозволяє скоротити вагу виробів;

висока корозійна стійкість, особливо до корозійного розтріскування.

Кожні 2–3 роки проводяться присвячені дуплексним сталям конференції, на яких презентуються десятки технічних статей. Йде активне просування цього типу сталей на ринку. Постійно з'являються нові марки цих сталей. Але незважаючи на весь цей інтерес, частка дуплексних сталей на світовому ринку становить, за найоптимістичнішими оцінками, від 1 до 3 %. Мета цієї статті — простими словами пояснити особливості цього типу сталі. Будуть описані як переваги, так і недоліки виробів з дуплексної нержавіючої сталі.

Ідея створення дуплексних нержавіючих сталей виникла у 1920-х роках, а перша плавка була проведена у 1930 р. в Авесті, Швеція. Проте помітне зростання частки використання дуплексних сталей припадає тільки на останні 30 років. Пояснюється це в основному удосконаленням технології виробництва сталі, особливо процесів регулювання вмісту азоту в сталі.

Традиційні аустенітні сталі, такі як AISI 304 (аналоги DIN 1.4301 і 08X18H10), і феритні сталі, такі як AISI 430 (аналоги DIN 1.4016 і 12X17), досить прості у виготовленні і легко оброблюються. Вони складаються переважно з однієї фази: аустеніту або фериту. Хоча ці типи мають велику сферу застосування, у обох є свої технічні недоліки. У аустенітних — низька міцність (умовна межа плинності 0,2 % в стані після аустенітизації — 200 МПа), низький опір корозійного розтріскування.

У феритних — низька міцність (умовна межа плинності 0,2 % становить 250 МПа), погана зварюваність при великих товщинах, низькотемпературна крихкість. Високий вміст нікелю в аустенітних сталях призводить до їх подорожчання, що небажано для більшості споживачів.

Основна ідея дуплексних сталей полягає в підборі такого хімічного складу, при якому буде утворюватися приблизно однакова кількість фериту та

аустеніту. Такий фазовий склад забезпечує наступні переваги:

- високу міцність (діапазон умовної межі плинності 0,2 % для сучасних дуплексних марок сталей становить 400...450 МПа). Це дозволяє зменшувати перетин елементів, а отже їх масу. Ця перевага особливо важлива для:

посудин під тиском і баків,

будівельних конструкцій, наприклад, мостів;

- хорошу зварюваність великої товщини (не настільки проста, як у аустенітних, але набагато краще, ніж у феритних);

- хорошу ударну в'язкість (набагато краще, ніж у феритних сталей, особливо, при низьких температурах: зазвичай до -50°C , в деяких випадках до -80°C);

- опір корозійному розтріскуванню (SCC) — традиційні аустенітні сталі особливо схильні до даного типу корозії. Це особливо важливо при виготовленні таких конструкцій, як:

баки для гарячої води;

пивоварні баки;

збагачувальні установки;

каркаси басейнів.

За рахунок чого досягається рівновага аустеніту/фериту. Щоб зрозуміти, як виходить дуплексна сталь, можна спочатку порівняти склад двох добре відомих сталей: аустенітної — AISI 304 (аналоги DIN 1.4301 і 08X18H10) та феритної — AISI 430 (аналоги DIN 1.4016 і 12X17).

Основні елементи нержавіючих сталей можна розділити на феритизуючі та аустенітизуючі. Кожен з елементів сприяє утворенню тієї чи іншої структури. Феритизуючі елементи — це хром, кремній, молібден, вольфрам, титан, ніобій. Аустенітизуючі елементи — це вуглець, нікель, марганець, азот, мідь. У сталі AISI 430 переважають феритизуючі елементи, тому її структура феритна. Сталь AISI 304 має аустенітну структуру в основному за рахунок вмісту близько 8 % нікелю. Для отримання дуплексної структури з вмістом кожної фази близько 50 % необхідний баланс аустенітизуючих та феритизуючих елементів. У цьому полягає причина, чому вміст нікелю в дуплексних сталях в цілому нижче, ніж в аустенітних.

Нижче наведено типовий склад дуплексної нержавіючої сталі.

Хімічний склад елементів, мас. %

Структура	Марка	Позначення по EN	C	Si	Mn	P	S	N	Cr	Ni	Mo
Феритна	430	1,4016	0,08	1,00	1,00	0,040	0,015	—	16,0...18,0	—	—
Аустенітна	304	1,4301	0,07	1,00	2,00	0,045	0,015	0,11	17,5...19,5	8,0...10,5	—

У деяких знедавна розроблених марок сталей для значного зниження вмісту нікелю використується поєднання азоту і марганцю. Це позитивно позначається на стабільності цін.

В даний час технологія виробництва дуплексних сталей ще тільки розвивається. Тому кожен виробник просуває власну марку. На загальну думку, марок дуплексної сталі зараз дуже багато. Але судячи з усього, таку ситуацію ми будемо спостерігати поки серед них не виявляться «переможці».

Корозійна стійкість дуплексних сталей. Через різноманіття дуплексних сталей при визначенні корозійної стійкості їх зазвичай приводять разом з аустенітними та феритними марками сталей. Єдиної міри корозійної стійкості поки не існує. Однак для класифікації марок сталей зручно користуватися числовим еквівалентом стійкості до корозії (PREN):

$$\text{PREN} = \% \text{Cr} + 3,3 \% \text{Mo} + 16 \% \text{N}.$$

Нижче наведена таблиця корозійної стійкості дуплексних сталей в порівнянні з аустенітними та феритними марками.

Слід зазначити, що дана таблиця може служити тільки орієнтиром при виборі матеріалу. Завжди необхідно розглядати наскільки підходить певна сталь для експлуатації в конкретному корозійному середовищі.

Корозійне розтріскування (SCC — Stress Corrosion Cracking) — це один з видів корозії, що виникає при наявності певного набору зовнішніх факторів, таких як:

розтягуюча напруга;

корозійне середовище;

досить висока температура (зазвичай це 50 °C, але в деяких випадках, наприклад в плавальних

басейнах, вона може проявлятися і при температурі близько 25 °C).

Нажаль звичайні аустенітні сталі, такі як AISI 316 (аналог 10X17H13M2) найбільш схильні до SCC. Наступні матеріали мають набагато більш високу стійкість до КР — це:

феритні нержавіючі сталі;

дуплексні нержавіючі сталі;

аустенітні нержавіючі сталі з високим вмістом нікелю.

Опір SCC дозволяє використовувати дуплексні сталі в багатьох конструкціях, що використовуються при високих температурах, зокрема, в: водонагрівачах; пивоварних баках; опріснювальних установках.

Каркаси басейнів з нержавіючої сталі відомі своєю схильністю до SCC. Використання для їх виготовлення звичайних аустенітних нержавіючих сталей, таких як AISI 304 (аналог 08X18H10) та AISI 316 (аналог 10X17H13M2), заборонено. Для цієї мети найкраще підходять аустенітні сталі з високим вмістом нікелю. Однак в деяких випадках в якості альтернативи можна розглядати дуплексні сталі, такі як AISI 2205 (DIN 1.4462) та супердуплексні.

Фактори, що перешкоджають поширенню дуплексних сталей. Привабливе поєднання високої міцності, широкого діапазону значень корозійної стійкості, середньої зварюваності повинно нести в собі великий потенціал для збільшення частки дуплексних нержавіючих сталей на ринку. Однак необхідно розуміти, які у дуплексних нержавіючих сталей недоліки і чому вони, судячи з усього, будуть залишатися в статусі «місцевих гравців». Така перевага, як висока міцність, миттєво перетворюється в недолік, як тільки справа доходить до технологічності обробки матеріалу тис-

Корозійна стійкість сталей

Марка	Номер по EN/UNS	Тип	Орієнтовний PREN
430	1.4016/S43000	Феритна	16
304	1.4301/S30400	Аустенітна	19
441	1.4509/S43932	Феритна	19
RDN 903	1.4482/S32001	Дуплексна	22
316	1.4401/S31600	Аустенітна	24
444	1.4521/S44400	Феритна	24
316L 2.5 Mo	1.4435	Аустенітна	26
2101 LDX	1.4162/S32101	Дуплексна	26
2304	1.4362/S32304	—"	26
DX2202	1.4062/S32202	—"	27
904L	1.4539/N08904	Аустенітна	34
2205	1.4462/S31803/S32205	Дуплексна	35
Zeron 100	1.4501/S32760	—"	41
Ferrinox 255/Uranus 2507Cu	1.4507/S32520/S32550	—"	41
2507	1.4410/S32750	—"	43
6 % Mo	1.4547/S31254	Аустенітна	44

Марка	Номер по EN/UNS	Тип	Приблизний склад						
			Cr	Ni	Mo	N	Mn	W	Cu
LDX 2101	1.4162/S32101	Низьколегована	21,5	1,5	0,3	0,22	5	–	–
DX 2202	1.4062/S32202	–"–	23	2,5	0,3	0,2	1,5	–	–
RDN 903	1.4482/S32001	–"–	20	1,8	0,2	0,11	4,2	–	–
2304	1.4362/S32304	–"–	23	4,8	0,3	0,10	–	–	–
2205	1.4462/S31803/S32205	Стандартна	22	5,7	3,1	0,17	–	–	–
2507	1.4410/S32750	Супер	25	7	4	0,27	–	–	–
Zeron 100	1.4501/S32760	–"–	25	7	3,2	0,25	–	0,7	0,7
Ferrinox255/Uranus 2507Cu	1.4507/S32520/S32550	–"–	25	6,5	3,5	0,25	–	–	1,5

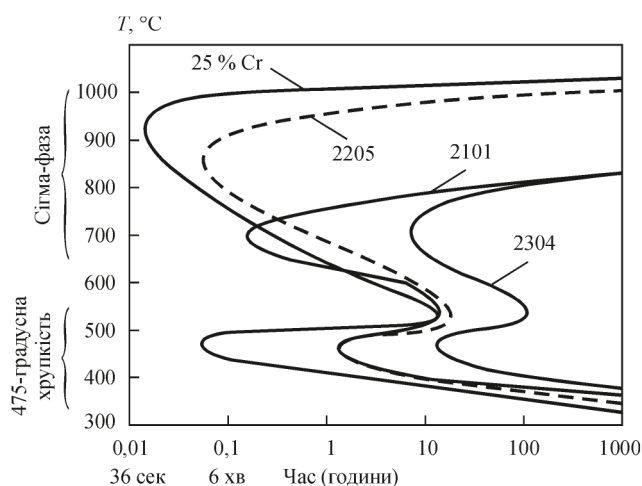
ком і механічної обробки. Висока міцність також означає нижчу, ніж у аустенітних сталей, здатність до пластичної деформації. Тому дуплексні сталі практично непридатні для виробництва виробів, в яких потрібна висока пластичність. І навіть коли здатність до пластичної деформації на прийнятному рівні для надання необхідної форми матеріалу (наприклад, при згинанні труб) потрібно більше зусилля. Відносно поганої оброблюваності різанням є один виняток з правил — марка LDX 2101 (EN 1.4162), виробник Outokumpu.

Процес виплавки дуплексних нержавіючих сталей набагато складніший, ніж аустенітних і феритних сталей. При порушенні технології виробництва, зокрема, термообробки, крім аустеніту та фериту в дуплексних сталях може утворюватися цілий ряд небажаних фаз. Дві найбільш значимі фази зображені на наведеній нижче діаграмі.

Обидві фази призводять до появи крихкості, тобто втрати ударної міцності. Утворення σ -фази (більш 1000 °C) найчастіше відбувається при недостатній швидкості охолодження в процесі виготовлення або зварювання. Чим більше в сталі легуючих елементів, тим вище ймовірність утворення σ -фази. Тому найбільш схильні до цієї проблеми супердуплексні сталі.

Крихкість з'являється внаслідок утворення α -фази. Хоча найбільш небезпечна температура 475 °C, вона може утворюватися і при більш низьких температурах, аж до 300 °C. Це накладає обмеження на максимальну температуру експлуатації дуплексних сталей, яке ще більше звужує коло можливих областей застосування.

З іншого боку, є обмеження по мінімальній температурі експлуатації дуплексних сталей, для яких вона вище, ніж у аустенітних. На відміну від аустенітних сталей у дуплексних при випробу-



Області виділення фаз в дуплексних сталях

вання на удар має місце крихко-в'язкий перехід. Стандартна температура випробувань сталей, що використовуються в конструкціях для шельфового видобутку нафти і газу, становить мінус 46 °C. Зазвичай дуплексні сталі не використовуються при температурах нижче мінус 80 °C.

Висновки

Властивості дуплексних сталей наступні:

- розрахункова міцність в два рази вище, ніж у аустенітних і феритних нержавіючих сталей;
- широкий діапазон значень корозійної стійкості, що дозволяє підібрати марку під конкретну задачу;
- хороша ударна міцність до мінус 80 °C, що обмежує застосування в криогенних середовищах;
- виняткова стійкість до корозійного розтріскування;
- хороша зварюваність великого перерізу;
- більша складність при механічній обробці і штампуванні, ніж аустенітних сталей;
- максимальна температура експлуатації обмежена 300 °C.

Матеріал з сайту
www.bssa.org.uk