

Сто років неіржавіючої сталі

(за матеріалами публікацій ФРН)

На початку 20 ст. дослідники всього світу працювали над створенням нових неіржавіючих, зокрема кислотостійких, сталей. Можливість одержання неіржавіючої хромистої сталі вперше показана у 1913 р. англійським дослідником Гаррі Бреарлі. При виборі хімічного складу корозійностійкого сплаву керуються так званим правилом $N/8$ – якщо до металу, нестійкому до корозії, додавати метал стійкий до корозії, то захисна дія проявляється стрибкоподібно при введенні $1/8, 2/8, 3/8 \dots N/8$ моля другого металу. Для більш агресивних середовищ застосовують хромонікелеві аустенітні сталі. Дослідники концерну “Крупп” Штраус і Мауер не тільки знайшли для сталі вдалу комбінацію вмісту хрому і нікелю при низькому вмісті вуглецю, але й розробили процеси її виробництва і термічної обробки. Відповідний патент 1912 р. ввійшов до історії під назвою Pamel Patent. Насьогодні розроблена Бенно Штраусом аустенітна сталь (названа ним V2A) відома у Німеччині як матеріал 1.4301, а у світі – як сталь 18-8. У 1919 р. підприємство “Крупп Edelstahl” запатентувало цю ж сталь як матеріал для медицини. Шляхом підвищення вмісту нікелю від 8 до 10 % і добавки молібдену Штраус створив нову сталь, запатентовану ним у 1928 році. Різновиди цієї сталі з маркуванням Германії 1.4401, 1.4404 і 1.4547 нині використовують за більш значних корозійних впливів і високих температур порівняно з вихідною сталлю типу 18-8.

Швидке просування на ринку таких сталей у 20-х роках минулого сторіччя гостро поставило задачу розроблення промислових процесів її виробництва. Перші промислові плавки здійснювали у тиглях. Лише винайдення індукційної плавки спростило процес і створило передумови її масового виробництва. На початку 60-х років перейшли на двостадійні процеси із заключною стадією у вакуумі або аргоні. У 80-х роках у зв'язку з широким впровадженням безперервної розливки реалізувались можливості одержувати литі заготовки, близькі за розмірами до готових виробів. Це стало суттєвим фактором сприяння виробництву таких сталей як в економічному сенсі, так і стосовно підвищення якості продукції.

Вражаючий успіх неіржавіючих сталей показують цифри зростання об'ємів їх виробництва. Якщо у 1914 р. було вироблено 18 т, то вже в наступному виробництво неіржавіючих сталей виросло втричі і склало 56 т. У 1950 р. обсяг виробництва дорівнював 1 млн. т, а у 1987 р. вже 8,2 млн. т. Початок нового тисячоліття ознаменований суттєвим зростанням їх виробництва і використання. У 2005 р. було вироблено в світі 24,7 млн. т неіржавіючої сталі, а в 2011 р. – 33,8 млн. т. І це не дивно, оскільки важко сьогодні уявити таку сферу життя і діяльності людства, де можна було б обійтись без цього матеріалу. Це хімічна і харчова промисловості, судо- і автомобілебудування, авіація і космічна техніка, архітектура і будівництво, медицина і побут.

У медицині неіржавіючі сталі почали використовувати не лише для медичних апаратів і інструменту, але й для обладнання хірургічних приміщень. Цьому сприяла не тільки безпечність і нетоксичність сталі, але й здатність протидіяти впливу високих температур і корозійним середовищам при стерилізації і дезінфекції. У 1926 р. було створено перший імплантант з неіржавіючої сталі.

Одночасно поширювалось використання таких сталей у харчовій промисловості. Важливою їх властивістю є здатність поліруватись при наявності мартенситної структури і зберігати таку чистоту поверхні при тривалій експлуатації виробів. Це необхідно у медицині і обладнанні для м'ясної і молочної промисловості, оскільки гладкі поверхні протидіють осадженню і розмноженню на них мікроорганізмів – бактерій і грибків. При виробництві вин, пива і соків неіржавіючі сталі знайшли широке застосування.

У 1921 р. у побуті з'явилися перші столові набори, а згодом і інше кухонне обладнання – миски, каструлі, солонки тощо. У 1956 р. з'явилися леза для гоління, а через два роки почався переможний марш пральних машин з барабанами з «нержавійки». З 1985 р. феритні неіржавіючі сталі в Японії використовують для водогонів питної води, в інших країнах – для опалювальної арматури і опріснення морської води. Майже 80 років тому неіржавіючу сталь вперше було використано для оснащення круїзного лайнера Queen Mary, який вирушив у рейс у 1936 р. із Саутгемптона з 2300 пасажирами на борту.

Легендарному американському конструктору Едварду Бадду (Edward G. Budd) належить ідея використання неіржавіючої сталі у літакобудуванні. Ним був створений у 1931 р. перший літак «ВВ-1 – Піонер» з широким використанням цього матеріалу. У 1943 р. цю традицію продовжив транспортний літак RB1-Conestoga, а у 1969 р. надзвуковий лайнер Concorde. В тому ж році неіржавіюча сталь з'явилася на Місяці разом з космічним кораблем «Аполон II» і першою людиною на Місяці Нілом Армстронгом. І сьогодні такі сталі широко використовують у різних галузях космічної техніки.

Широке застосування знаходять неіржавіючі сталі у будівництві та архітектурі. Найновіший проект у цьому відношенні є One World Center в Манхеттені у Нью-Йорку на місці веж-близнюків, зруйнованих терактом у 2001 році. Будівля задумана як найвищий хмарочос у США (541 м), як один із знакових об'єктів держави, що відповідає 1776 футам і цим символічно повинна нагадувати про рік оголошення незалежності США. Фасад будівлі буде виготовлено з неіржавіючої хромонікелевої аустенітної сталі, а також певне обладнання всіх 71 ліфтів і 9 ескалаторів. У будівництві об'єкта в цьому напрямі активно задіяні фірми ФРН. Говорячи про інші приклади використання неіржавіючих сталей у будівництві і архітектурі не можемо не вказати на відомий брюссельський Атоміум.

Розглянемо на прикладах основні класи і марки неіржавіючих сталей, що застосовуються в наш час.

Аустенітні хромонікелеві сталі становлять 55 % від загального виробництва неіржавіючих сталей. Як приклад розглянемо сталь 1.4404, а за



Баржа з Німеччини везе металеві конструкції для будівництва One World Trade Center у Нью-Йорку.



One World Trade Center у Нью-Йорку.

класифікацією ЄС X2CrNiMo 17-12-2, яку виробляє “Thyssen Krupp Nirosta”. Хімічний склад її: до 0,03 % С, до 1 % Si, до 1 % Mn, 16,5 – 18,5 % Cr, 2,0 – 2,5 % Mo, 10 – 14 % Ni. Виробляється у вигляді холоднокатаних або гарячекатаних смуг товщиною до 6 і 12 мм, відповідно. Термічна обробка – нагрів до 1030 – 1110 °С з наступним охолодженням у воді або на повітрі. $\sigma_T = 240 - 220$ МПа, $\sigma_B = 530 - 680$ МПа, $\delta \leq 40$ % у холодно- або гарячекатаному стані, відповідно. Сталь добре зварюється, піддається холодному

деформуванню, добре полірується. Обробка її різанням дещо ускладнюється у зв'язку із високим зміцненням і низькою теплопровідністю. Використовують сталь у хімічній і фармацевтичній промисловості, при виробництві штучних волокон, вуглекімії, обробці текстилю, будівництві і архітектурі. Незважаючи на прекрасні властивості аустенітних сталей об'єми їх виробництва дещо знижуються у зв'язку з високою вартістю нікелю. З цієї причини розробляються і поширюються сталі із частковою заміною в них нікелю на марганець. У загальному об'ємі світове виробництво таких сталей складає приблизно 10 %. Такі сталі знаходять застосування, коли вимоги щодо корозійної стійкості дещо знижені.



Атоміум (Брюссель).

Альтернативою аустенітним сталям можуть бути в певній мірі безнікелеві феритні. Високий вміст хрому в них дозволяє досягати достатньої корозійної стійкості. Механічні властивості їх близькі до властивостей вуглецевих нелегованих сталей. Обсяг феритних сталей на світовому ринку складає близько 30 % і має тенденцію до зростання.

За хімічним складом феритні сталі поділяють на п'ять груп. До першої групи відносять сталі з вмістом 10 – 14 % Cr, до другої – 14 – 18 % Cr. Сталі третьої групи при тому ж вмісті хрому додатково легують стабілізуючими елементами типу титан і ніобій. У четвертій групі використовують додаткове легування молібденом до 0,5 %. В сталях п'ятої групи вміст хрому 18 – 30 %, вуглецю 0,10 – 0,12 %.

Механічні властивості феритних неіржавіючих сталей $\sigma_v = 400 - 600$ МПа, $\sigma_t = 200 - 320$ МПа, $\delta = 20 - 30$ %. Переваги феритних сталей порівняно з аустенітними у невисокій ціні, теплопровідності, хорошій оброблювальності. Недоліки – нижча корозійна стійкість і більша крихкість. Основні галузі застосування феритних сталей – виробництво побутового вжитку, пральні машини, бойлери, вихлопне обладнання автомобілей тощо.

Насьогодні перспективними представляються двофазні (дуплексні) ферито-аустенітні сталі, хоча обсяг їх виробництва в світі поки не перевищує 5 %. Головні галузі їх застосування: паперово-целюозна, нафтова і газова промисловості, установки опріснення морської води, будівельна техніка, моторобудування. Ці сталі були відкриті у 1933 році і одразу ж знайшли застосування завдяки більш високим механічним властивостям порівняно із

класичними аустенітними хромонікелевими. Вони добре протистоять, наприклад, навантаженням від морських хвиль і зовнішніх тисків на морських глибинах до 3000 м, а також і хімічному впливу нафти і газу з внутрішньої сторони труби, а морської води – із зовнішньої.

З 80-х років почалась розробка нового класу двофазних неіржавіючих сталей – Lean-Duplex із зниженим вмістом нікелю, високою корозійною стійкістю і виключно високими механічними властивостями. Їх з повним правом можна назвати матеріалом 21 сторіччя. Дочірнє підприємство “Nirosta” концерну “Thyssen Krupp” виробляє кілька таких сталей. Так сталь Nirosta 4462 містить у своєму складі не більш 0,030 % С, до 1,0 % Si, до 2 % Mn, 21 – 23 % Cr, 2,5 – 3,5 % Mo, 4,5 – 6,5 % Ni, 0,10 – 0,22 % N, не більше 0,030 % P і 0,020 % S. Механічні властивості гарячекатаного листа цієї сталі: $\sigma_T = 460$ МПа, $\sigma_B = 700 - 950$ МПа, $\delta = 25$ %. Процеси прокатування і наступної обробки цих сталей повинні забезпечити структуру з послідовно розташованими шарами зерен фериту і аустеніту у процентному співвідношенні фаз 50 : 50. Якщо це співвідношення в результаті того чи іншого процесу обробки порушується, то це може бути відновлено відпалюванням при температурі 1040 – 1100 °С. Такі сталі широко використовуються в хімічній промисловості і в теплотехнічних агрегатах.

Наступним важливим класом неіржавіючих сталей є мартенситні. З останніх розробок у цьому напрямі відзначили сталь 1.4542 (X5CrNiCuNb16-4) хімічного складу: до 0,07 % С, 1 % Si, 1 % Mn, 14,0 – 15,5 % Cr, 2,5 – 4,5 % Cu, 0,5 % Mo, 3,5 – 5,5 % Ni, добавки ніобію або танталу не більше 0,45 %, не більше 0,030 % P і 0,015 % S. Сталь знаходить широке застосування в авіаційній і космічній техніці, приладобудуванні, хімічній та нафтопереробній промисловості, суднобудуванні. При виготовленні виробів для авіаційної і космічної техніки велика увага приділяється чистоті металу. Для цього деякі підприємства ФРН, наприклад “DEW Stahlwerk Siegen”, розробляють спеціальні процеси плавлення, які включають поетапне вакуумування і електрошлаковий перепад. Сталь поставляють після кування і нормалізації з наступним відпаленням або у загартованому стані від 1020 – 1050 °С з охолодженням у воді, маслі або на повітрі залежно від перерізу заготовки. При цьому забезпечується високий рівень механічних властивостей: $\sigma_B = 110$ МПа, $KCU \leq 40$ Дж/см² при температурі – 20 °С. Сталь добре полірується, що важливо при виготовленні точних виробів, але погано обробляється різанням. Цей недолік усувається підтримуванням вмісту сірки в межах 0,015 – 0,025 %. На думку дослідників така кількість сірки не знижує корозійної стійкості і механічних властивостей сталі, але сприяє її покращенню і оброблюваності. За рахунок варіювання режиму термічної обробки реалізується можливість одержання оптимального поєднання різних механічних властивостей.

*О. Л. Геллер, доктор технічних наук, професор,
м. Дортмунд, ФРН*