

ВІДГУК

офіційного опонента на дисертаційну роботу Сніжного Геннадія Валентиновича «Наукові основи впливу магнітного стану структури на властивості аустенітних сталей», подану на здобуття наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.01 – металознавство та термічна обробка металів

Актуальність роботи

Можливість прогнозування механічних і корозійних властивостей аустенітних сталей шляхом, який може використовуватися в різних галузях промисловості, зумовлює актуальність дисертаційної роботи Г.В. Сніжного. В роботі пропонується новий підхід вивчення вказаних сталей з позицій атомно-магнітного стану. Тобто розглядати аустеніт передусім як парамагнетик, який характеризується своєрідною електронною будовою і описується надчутливим параметром - питомою магнітною сприйнятливістю аустеніту χ_0 . Цей параметр є інтегральною характеристикою аустеніту і залежить від хімічного складу сплаву, умов виплавлення, деформації, термообробки тощо. При цьому більшість досліджень присвячено саме вивченню магнітної сприйнятливості χ сталі (а не χ_0 аустеніту), яка може містити одночасно аустеніт і α -фазу (δ -ферит, мартенсит).

Потребують подальшого дослідження початкові стадії температурного $\gamma \rightarrow \alpha$ і деформаційного $\gamma \rightarrow \alpha'$ та $\gamma \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha'$ перетворень. Вплив малої деформації на температуру початку мартенситного перетворення також ще недостатньо вивчено. Відомості про зв'язок між магнітним станом аустеніту і механічними та корозійними властивостей практично відсутні.

Таким чином, актуальність досліджень Сніжного Г.В. мотивується новим підходом до аналізу стану аустеніту з метою одержання нових наукових і практичних результатів для прогнозування особливостей фазових перетворень, а також механічних і корозійних властивостей за питомою парамагнітною сприйнятливістю аустеніту як універсального параметра магнітного стану структури.

Наукова новизна дослідження й отриманих результатів

– Запропоновано схеми зміни питомих вільних енергій аустеніту і ϵ -, α' -мартенситів в залежності від тиску. Відповідно до термодинамічного підходу розроблена система класифікації станів аустеніту за здатністю до мартенситного перетворення: стабільний, помірно нестабільний і вкрай нестабільний.

– Визначено температурні мартенситні точки у Fe-Ni (H15...H31) сплавах та скоригована границя зміни кінетики мартенситного перетворення залежно від вмісту нікелю ($26,6 \pm 0,5$ % мас. замість 29...30 % мас. з літературних даних).

– Виявлено ефект зростання питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту (при пластичній деформації) від початкового до фіксованого максимального значення, з наступним виникненням α' -мартенситу деформації. Розроблений метод високоточного визначення дійсної деформаційної мартенситної точки D_s .

– Отримано подальший розвиток термодинамічне обґрунтування та принципи моделювання процесів утворення, розвитку та зникнення ϵ -мартенситу при пластичній деформації хромонікелевих сталей з помірно нестабільним аустенітом.

– Розроблено магнітометричну діаграму для визначення границь стабільності аустеніту хромонікелевих сталей аустенітного класу. Встановлена границя вмісту нікелю ($11,0 \pm 0,5$ % мас.), на якій відбувається перехід від структурно нестабільних до стабільних аустенітних Fe-Cr-Ni сталей.

– Експериментально підтверджено кореляційний зв'язок між параметром χ_0 аустеніту і механічними, корозійними властивостями аустенітних сталей.

Структура і загальна характеристика дисертаційної роботи

Представлена дисертаційна робота має об'єм 390 сторінок та складається з анотації, вступу, шести розділів, загальних висновків, списку використаних літературних джерел з 321 найменування та 8 додатків, серед яких 2 акта оцінки і 4 акта впровадження результатів НДР.

У **вступі** обґрунтовано актуальність теми виконаної роботи, визначено мету та основні завдання досліджень, сформульовано наукову новизну і практичну цінність одержаних результатів, вказано дані про апробацію основних положень дисертації.

Перший розділ присвячено аналітичному огляду досліджень та публікацій за напрямком теми дисертації. Показано актуальність і необхідність проведення подальшого дослідження впливу атомно-магнітного стану аустеніту на початковій стадії температурного $\gamma \rightarrow \alpha$ і деформаційного $\gamma \rightarrow \alpha'$ та $\gamma \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha'$ перетворень, механічні та корозійні властивості аустенітних сталей. На основі цих досліджень сформульовано основні напрями досліджень дисертації.

В цілому, матеріал, що викладений в цьому розділі, достатньо повний та відбиває сучасний стан проблем, що розглядаються в роботі.

У другому розділі розглянуто і обґрунтовано методи досліджень, які були використані для досягнення поставлених у роботі цілей, що включає обрані сталі і сплави, послідовність застосування експериментальних методів досліджень із використанням розробленої автоматизованої магнітометричної установки.

У третьому розділі наведено результати дослідження фазових перетворень під впливом температури (гартування, нагрів вище та охолодження нижче критичних точок, кріогенне оброблення) аустенітних сталей і сплавів. Для Fe-Ni (Н15...Н31) сплавів визначено температуру T_S (дійсну температурну мартенситну точку) фазового $\gamma \rightarrow \alpha$ перетворення. Уточнено границю вмісту нікелю, при якій відбувається зміна механізму мартенситного перетворення. Одержані результати узгоджуються зі зміною феромагнітної й антиферомагнітної взаємодії між атомами. Виявлено кореляцію між кількістю утвореної карбідної фази (Fe_3C) і питомою парамагнітною сприйнятливістю χ_0 аустеніту. Встановлено, що кріогенна обробка сталі 08X20H9Г2Б підвищує здатність до $\gamma \rightarrow \alpha'$ перетворення.

У четвертому розділі запропоновано термодинамічний підхід до оцінки дійсної деформаційної мартенситної точки в сталях аустенітного класу під впливом пластичної деформації. Автором запропоновано експериментальний метод визначення дійсної деформаційної мартенситної точки D_S (верхня деформаційна границя інтервалу стабільності аустеніту). Показано, що атомно-магнітний стан аустеніту при пластичній деформації характеризується збільшенням χ_0 аустеніту до максимального значення χ_0^{max} . Встановлена границя вмісту нікелю (~11,0 % мас.) переходу від структурно нестабільного до стабільного аустеніту в хромонікелевих сталях. Запропоновано магнітометричну

діаграму $\chi_0(\text{Ni})$, що дозволяє встановити області стабільності аустеніту Fe-Cr-Ni сталей. Експериментально встановлено, що із підвищенням вмісту Mn у високомарганцевих сталях зростає здатність аустеніту до виникнення ϵ -мартенситу, при цьому точка початку $\gamma \rightarrow \alpha'$ перетворення зміщується в область підвищених деформацій.

Запропоновано модель утворення, розвитку і зникнення ϵ -фази при пластичній деформації помірно нестабільних аустенітних сталей.

У п'ятому розділі представлено результати досліджень зв'язку між механічними властивостями аустенітних сталей і попередньо сформованим атомно-магнітним станом аустенітної матриці (за параметром χ_0). На обраних автором п'яти плавках сталі AISI 321 виявлено, що із збільшенням питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту зменшуються значення механічних властивостей (σ_b , $\sigma_{0.2}$, δ). Механічні властивості (σ_b , видовження δ , звуження Ψ , KCU) високомарганцевих сталей 110Г(8...13)Л зростають при зменшенні питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту.

Автором рекомендовано величину χ_0 використовувати як ефективний параметр оцінки механічних властивостей.

Шостий розділ роботи відображає результати дослідження зв'язку корозійної поведінки аустенітних хромонікелевих сталей і атомно-магнітного стану аустеніту, попередньо сформованого ще до взаємодії з агресивним середовищем (розчин хлориду, суміш кислот HCl:HNO₃). Експериментально встановлено, що швидкість пітингової корозії узгоджується з величиною χ_0 аустеніту. Для сталей з кількістю δ -фериту до 0,5 % AISI 304, 08X18H10, AISI 321, 08X18H10T виявлено, що чим більша χ_0 , тим менша швидкість корозії сталі.

У висновках викладено найбільш важливі наукові і практичні результати, одержані в дисертаційному дослідженні.

Ступінь обґрунтованості наукових положень, висновків і рекомендацій, сформульованих у дисертації, їх достовірність і новизна

Обґрунтованість представлених у дисертаційній роботі Сніжного Г.В. наукових положень, висновків і рекомендацій полягає перш за все у комплексному підході до вирішення поставлених наукових задач, який вклучас

використання значних обсягів експериментальних даних. Наукові положення, висновки і рекомендації дисертаційної роботи ґрунтуються на всебічному аналізі отриманих результатів та використанні фундаментальних положень фізичного металознавства з використанням взаємодоповнюючих методів вивчення структури і властивостей аустенітних сталей, застосуванням прецизійного експериментального обладнання і статистичних методів для оцінки кореляції експериментальних залежностей.

Враховуючи вищевказане, обґрунтованість і достовірність викладених в роботі положень не викликає сумніву.

Зв'язок дисертаційного дослідження з науковими програмами, планами, темами

Дослідження за темою дисертації проводилися в межах тематичних планів Запорізького національного технічного університету в період з 2009 по 2018 рр.: „Теоретичне та експериментальне дослідження мікро- та наноструктурних матеріалів” (виконавець); „Магнетометричні дослідження аустенітних криць та стопів з метою контролю якості їх фізичних та службових властивостей”, № держ. реєстр. 0112U005942 (керівник); „Розробка металевих матеріалів і технологій їх обробки з метою отримання підвищених механічних та службових характеристик” (виконавець); „Магнітно-фазові перетворення в аустенітних сталях і сплавах при температурно-силових впливах та нормативне забезпечення організацій-розробників авіаційної техніки” (керівник); „Структурно-магнітні зміни аустеніту, моделювання інформаційно-вимірювальних систем та метрологічне забезпечення контролю якості” (керівник).

До найвагоміших науково-практичних результатів, отриманих в роботі, слід віднести:

- термодинамічний підхід (з експериментальним підтвердженням) до оцінки дійсних температурної й деформаційної мартенситних точок в аустенітних сталях;

- запропоновані схеми зміни питомих вільних енергій аустеніту і мартенситних (ϵ , α') фаз залежно від тиску за здатністю аустеніту до мартенситного перетворення: стабільний ($\gamma \rightarrow \gamma'$), помірно нестабільний ($\gamma \rightarrow \epsilon \rightarrow \alpha'$) і вкрай нестабільний ($\gamma \rightarrow \alpha'$);

- експериментальне уточнення вмісту нікелю ($26,6 \pm 0,5$ % мас.), при якому відбувається зміна кінетик мартенситного перетворення у Fe-Ni сплавах;
- встановлення граничного вмісту нікелю ($11,0 \pm 0,5$ % мас.) переходу від структурно нестабільного до стабільного аустеніту в хромонікелевих сталях;
- виявлення ефекту зростання питомої парамагнітної сприйнятливості χ_0 аустеніту від початкового до фіксованого максимального значення, в якому при подальшій деформації виникає й накопичується α' -мартенсит деформації;
- розроблений і апробований метод високоточного визначення дійсної деформаційної мартенситної точки D_s ;
- вирішення науково-практичної проблеми прогнозування механічних і корозійних властивостей аустенітних сталей.

Практична цінність отриманих результатів підтверджена наведеними у додатках актами оцінки і впровадження від металургійних і машинобудівних підприємств України.

Результати дисертаційної роботи знайшли застосування у навчальному процесі Запорізького національного технічного університету.

Повнота викладу результатів дисертації в опублікованих працях

Основні результати досліджень і сформульовані у дисертації наукові положення у повному обсязі викладено у 73 наукових працях (з них 19 одноосібних). В тому числі: 45 статей, 21 тези доповідей, 7 патентів. Серед яких: 10 статей у міжнародних наукових журналах з відповідним імпаکت-фактором, які включено до баз Scopus та Web of Science; 2 статті у фахових виданнях закордонних держав; 19 статей у фахових виданнях України, які включено до баз Index Copernicus та Google Scholar; 14 статей у фахових виданнях України; 21 тези міжнародних конференцій; патентів на винахід 2 і корисну модель 5.

Відповідність автореферату основним положенням дисертації

Зміст автореферату достатньо повно відображає основні положення та результати дисертаційної роботи, а висновки автореферату і дисертації повністю ідентичні.

Зауваження до дисертації

1. У розділі 1 на рис. 1.20 (с.82) на мікроструктура сталі Fe-17 Mn-0.10 C, пояснення виконано занадто маленькими літерами, що ускладнює розуміння структури.

2. У розділі 2 для аналізу зміни кінетики мартенситного перетворення вибрано сплави H15...H31 за хімічним складом, наведеним у табл. 2.1 (с. 96), однак залишається не зрозумілим критерій вибору концентрацій.

3. На с. 105 відзначено, що для визначення питомої намагніченості σ_v феромагнітної α -фази використано формули С.Д. Ентіна, О.П. Гуляєва і І.Б. Черненко. Відсутність самих формул ускладнює розуміння фізико-математичних розрахунків.

4. У розділі 3 (рис. 3.12, 3.13, 3.14, 3.15, 3.17, 3.19) при аналізі температурної залежності магнітної сприйнятливості сталі 12X18H10T від кількісного фазового складу (A+Ф+M або A+Ф) стабільно спостерігаються два температурні ефекти при 470 °C у вигляді суттєвого перегину кривих. При цьому швидкість зміни магнітної сприйнятливості змінюється майже в три рази. Ясно, що це дуже інтересне спостереження пов'язане з суттєвим структурним або фазовим перетворенням. Тому для пояснення цих ефектів потрібно було би провести додаткові структурні дослідження.

5. При аналізі кореляційної залежності між вмістом утворених карбідів цементитного типу і магнітним станом аустеніту обрано сталь 10X13H16Б. При цьому відзначається, що зразки після гартування від 850, 950, 1000 °C були повністю парамагнітними, але будь-яке підтвердження (наприклад мікроструктура) цього відсутня.

6. При аналізі деформаційної залежності питомої магнітної сприйнятливості сталі 10X16H13 (рис. 4.25, 4.26) дисертант припускає, що зміна нахилу різних ділянок кривої пояснюється тим, що на цих ділянках проходять певні фазові реакції, наприклад, в інтервалі 15-21 маємо $\varepsilon + \alpha' + \gamma' \rightarrow \gamma'_{\max} + \alpha'$. При цьому залишаються не ідентифікованими перехідні ділянки, на яких змінюються кут нахилу дотичних, наприклад, 5-6, 14-15. Але зважаючи на те, що різка зміна швидкості зміни величини фізичної властивості системи, тобто $\delta^2\chi/\delta D^2$, свідчить

про якісну зміну в системі, можна припустити, що фазові перетворення відбуваються в околиці точок 5, 6 та в інтервалі 14-15,

7. У розділі 4 на рис. 4.40 (с. 219) наведена екстремальна залежність D/χ від деформації D заздалегідь повністю аустенізованої сталі. Наявність максимуму пояснюється зміною негативної обмінної взаємодії між атомами на позитивну. Бажано, для пояснення максимуму, додатково розглянути такі фактори, як фазові перетворення, зміну тонкої субструктури, тощо.

8. Автору дисертації не вдалося уникнути повторень. Схема зміни питомих вільних (рис. 4.12, с. 178) енергій аустеніту, ϵ -мартенситу і α' -мартенситу залежно від тиску з незначними змінами наведено на рис. 4.34 (с. 208).

9. В авторефераті помічено багатослівні вирази та невдалі формулювання, наприклад, « ϵ - фаза вже повністю трансформувалась у результаті перетворення $\epsilon \rightarrow \alpha'$ » замість « ϵ - фаза повністю перетворилася в α' - фазу»; «Кількість δ -фериту перебуває в термодинамічній рівновазі зі станом аустеніту» замість «рівноважна кількість δ -фериту».

Наведені зауваження не мають принципового характеру та не знижують загальної високої оцінки дисертаційної роботи.

Висновки щодо відповідності дисертації встановленим вимогам МОН України

В цілому подана дисертація виконана на високому науковому рівні і є цілісною завершеною кваліфікаційною науковою працею, в якій одержано нові наукові результати, що у сукупності є вагомим внеском у розвиток наукових основ впливу магнітного стану структури на властивості аустенітних сталей.

Загальні висновки дисертаційної роботи повністю відповідають меті та поставленим завданням. Оформлення дисертації і автореферату відповідають вимогам МОН України. Тема, зміст та результати дисертації відповідають паспорту спеціальності 05.16.01 – металознавство та термічна обробка металів (пункти 4, 9, 10, 13).

Вважаю, що за актуальністю теми, високим науковим рівнем виконаних досліджень, новизною, науковим та прикладним значенням одержаних

результатів дисертаційна робота Сніжного Г.В. «Наукові основи впливу магнітного стану структури на властивості аустенітних сталей» відповідає вимогам МОН України до докторських дисертацій, а її автор заслуговує присудження наукового ступеня доктора технічних наук за спеціальністю 05.16.01 – металознавство та термічна обробка металів.

Офіційний опонент: заслужений діяч науки і техніки України,
завідувач кафедри високотемпературних матеріалів
та порошкової металургії Національного технічного
університету України «Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського»,
доктор технічних наук, професор

 В.І. Мазур

Підпис проф. Мазура В.І. засвідчую.

Учений секретар Національного технічного
університету України «Київський політехнічний
інститут ім. Ігоря Сікорського»





А.А. Мельніченко

Вх. №70 від 21.03.2019 р.