

Ю. Н. Подрезов, О. М. Иванова, М. В. Буланова, А. А. Щерецкий

Свойства сплавов на основе интерметаллида Ti_3Sn
в диапазоне мартенситного превращения

Резюме

Исследованы сплавы на основе интерметаллида Ti_3Sn методами динамического механического анализа. В этих сплавах происходит мартенситное превращение, которое сопровождается увеличением демпфирующей способности и сильным понижением модуля упругости в окрестности температуры превращения. Сравнительный анализ показывает, что бинарный и легированный сплавы имеют похожий характер температурной зависимости этих величин, а наиболее экстремальные значения демонстрирует сплав $Ti_{75.5}Sn_{24.5}$ ($E = 3,2$ ГПа, $Q^{-1} = 0,25$).

Yu. N. Podrezov, O. M. Ivanova, M. V. Bulanova, O. A. Shcheretskyi

Properties of the Ti_3Sn -based alloys in a region
of the martensitic transformation

Summary

Ti_3Sn -based alloys have been investigated using dynamical mechanical analysis. These materials undergo martensitic transformation which accompanies by increment of damping capacity and by strong reduction of Young's modulus at the temperatures close to the transformation. According to the results the binary alloy and alloys with addition have similar character of temperature dependence of the above mentioned parameters. The composition $Ti_{75.5}Sn_{24.5}$ shows the higher value of Young's modulus and the lowest damping capacity ($E = 3.2$ ГПа, $Q^{-1} = 0.25$, respectively).

УДК 669.018.29

*Вплив системи легування на формування
структури високолегованих сталей при
гартуванні*

В. П. Горбатенко, доктор технічних наук, професор

Донецький національний технічний університет, Донецьк

Обговорюються причини виникнення максимуму твердості при певних температурах нагрівання високолегованих сталей під гартування і особливості впливу на його положення карбідоутворюючих і некарбідоутворюючих елементів. Основною причиною значного зростання твердості гартованої сталі при підвищенні температури нагрівання до певного рівня може бути виділення карбідів з аустеніту і зростання за рахунок цього долі мартенситу у структурі.

Як відомо, структура та властивості легованих сталей з високим вмістом карбідоутворюючих елементів насамперед залежать від умов розвинення

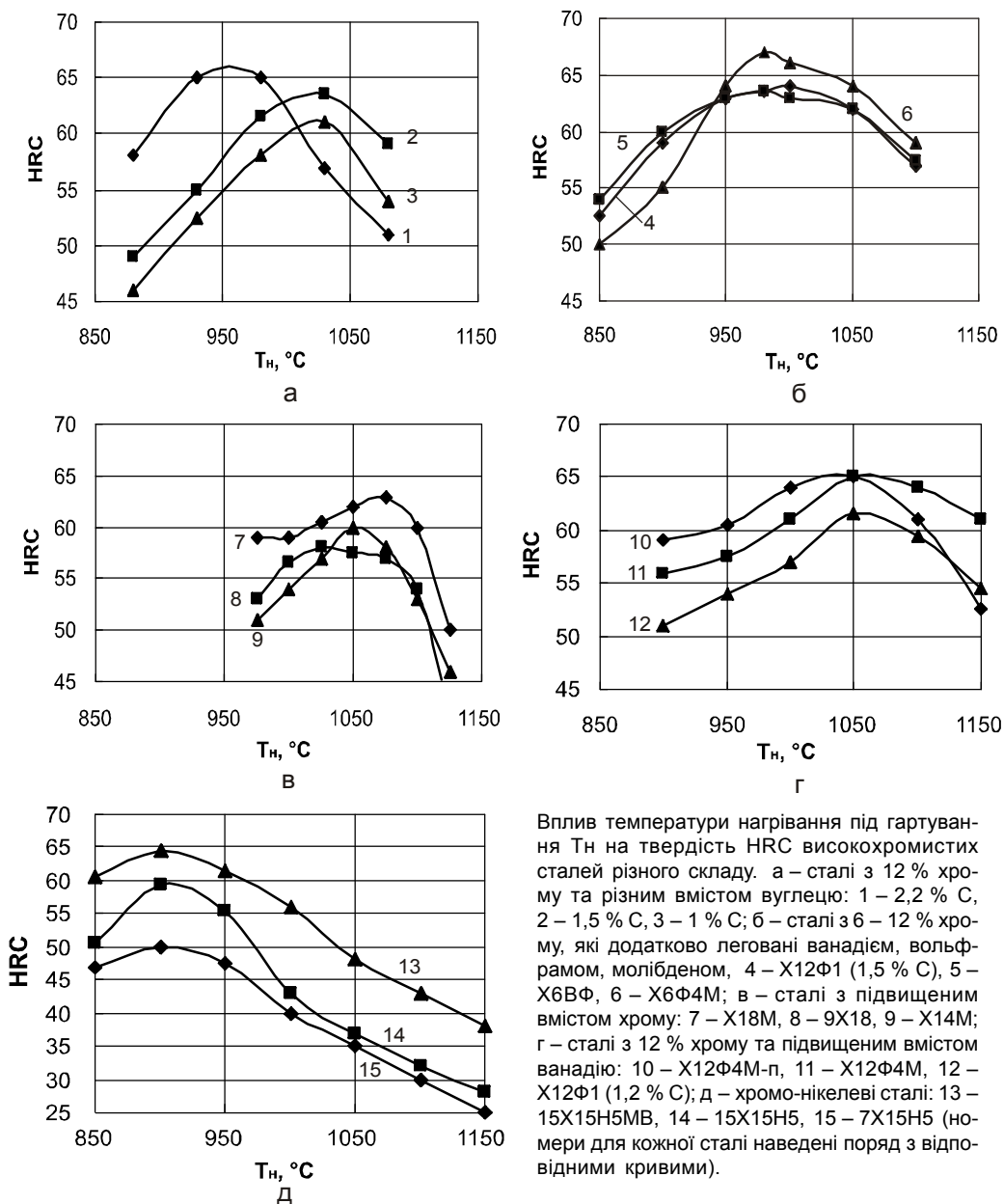
процесів розчинення та виділення карбідів на різних стадіях їх термічної обробки. Тому метою даної роботи є аналіз цих процесів при нагріванні під гартування на прикладі високохромистих сталей, у тому числі і додатково легованих елементами з більш високою, ніж у хрому, спорідненістю до вуглецю (вольфрам, молібден, ванадій), а також некарбідоутворюючим елементом – нікелем. При аналізі були використані результати власних досліджень впливу температури нагрівання під гартування на твердість нових хромо-нікелевих сталей 7X15H5, 15X15H5, 15X15H5BM, а також сталі X12Ф4М-п, отриманої методом порошкової металургії [1, 2], так і відомі з учбової та наукової літератури [3 – 5] аналогічні результати досліджень сталей X12, X12Ф1, X12Ф4М, 9X18, X18М, X14М, X6ВФ, X6Ф4М (рисунок).

Усі ці сталі характеризуються наявністю максимуму твердості після гартування від певної температури нагріву, яка залежить від їх хімічного складу. Зазвичай вважають, що підвищення температури нагрівання таких сталей призводить тільки до поступового розчинення вторинних карбідів в аустеніті, причому найбільш інтенсивно спеціальні карбіди починають розчинюватися при нагріванні вище певної температури, яка залежить від типу та складу карбіду [3, 5]. Зростання ж твердості гартованої сталі при підвищенні температури до такої, яка відповідає максимуму на наведених кривих, пояснюють звичайно підвищенням ступеня легуваності аустеніту і мартенситу. Таке пояснення є дискусійним, тому що внаслідок цього механізму зміцнення можна очікувати підвищення твердості лише на кілька одиниць HRC, але не на 10 – 20 HRC, як це спостерігали для більшості досліджених сталей (рисунок).

Основною причиною значного зростання твердості гартованих сталей в разі підвищення температури нагрівання до такої, яка відповідає максимуму твердості, слід вважати збільшення частки мартенситу в структурі і, відповідно, зменшення кількості залишкового аустеніту. Щоб таке стало можливим, вихідний аустеніт нагрітої сталі для зменшення його стійкості в процесі охолодження при гартуванні повинен не збагачуватись а, навпаки, збіднюватись за вмістом карбідоутворюючих легуючих елементів і вуглецю. Таким чином, підвищення температури нагрівання у цьому інтервалі повинно призводити до виділення з твердого розчину надлишкових фаз – спеціальних карбідів, що зменшує ступінь його легуваності. Таке твердження, яке ще не обговорювалось у технічній літературі, базується на врахуванні ряду положень термодинаміки, а також того, що сплави, які охолоджуються і нагріваються у реальних умовах, не знаходяться у рівноважному стані.

Як відомо, термодинамічна активність вуглецю у твердому розчині (фериті, аустеніті) залежить від системи легування [5]: карбідоутворюючі елементи (у випадку досліджених сталей це хром, вольфрам, молібден, ванадій; елементи розміщені у порядку зростання їх спорідненості до вуглецю і посилення впливу на його термодинамічну активність) цю активність збільшують, а некарбідоутворюючі – нікель – навпаки, зменшують. Таким чином, карбідоутворюючі легуючі елементи будуть сприяти зниженню рухливості атомів вуглецю у твердому розчині внаслідок

Фазові перетворення



Вплив температури нагрівання під гартування T_n на твердість HRC високохромистих сталей різного складу. а – сталі з 12 % хрому та різним вмістом вуглецю: 1 – 2,2 % С, 2 – 1,5 % С, 3 – 1 % С; б – сталі з 6 – 12 % хрому, які додатково леговані ванадієм, вольфрамом, молібденом, 4 – X12Ф1 (1,5 % С), 5 – X6ВФ, 6 – X6Ф4М; в – сталі з підвищеним вмістом хрому: 7 – X18М, 8 – 9X18, 9 – X14М; г – сталі з 12 % хрому та підвищеним вмістом ванадію: 10 – X12Ф4М-п, 11 – X12Ф4М, 12 – X12Ф1 (1,2 % С); д – хромо-нікелеві сталі: 13 – 15X15Н5МВ, 14 – 15X15Н5, 15 – 7X15Н5 (номери для кожної сталі наведені поряд з відповідними кривими).

їх взаємодії з атомами легуючого елементу і зростання сил зв'язку між ними. Це може сприяти затримці процесів виділення карбідів з твердого розчину, зміщенню температури нагрівання, яка відповідає максимуму твердості сталі після гартування, у бік більш високих температур, що у цілому підтверджується даними, які наведені на рисунку. Некарбідоутворюючі елементи, навпаки, будуть збільшувати рухливість атомів вуглецю у твердому розчині і сприяти виділенню карбідів з нього, але заважати їх розчиненню. Слід враховувати, що ступінь впливу окремого легуючого елементу на вказані вище процеси залежить і від його

термодинамічної активності у твердому розчині, яка залежить не тільки від його концентрації, але й від самої системи комплексного легування. Кінетика процесів виділення і розчинення карбідів буде залежати і від концентрації самого вуглецю, оскільки його термодинамічна активність буде зростати зі збільшенням власної концентрації.

В реальних умовах нагрівання і охолодження перерозподіл компонентів між фазами при розвиненні фазових перетворень не завершується повністю. Тому як вихідний легований ферит, так, очевидно, і легований аустеніт, який утворюється при нагріванні в процесі зворотнього евтектоїдного перетворення, будуть мати склад, який відрізняється від рівноважного. Поки вміст карбідоутворюючих легуючих елементів чи вуглецю у легованому аустеніті буде таким, що їх термодинамічна активність буде перевищувати таку, яка є характерною для стану рівноваги при відповідних температурах нагрівання, розчинення у ньому надлишкових карбідів буде неможливим, але їх виділення може мати місце.

Зменшення концентрації легуючих елементів і вуглецю в аустеніті може відбуватися як шляхом простого виділення карбідів з легованого твердого розчину, так і за більш складним механізмом розчинення карбідів одного типу і виділення карбідів іншого типу, які можуть забезпечити більший ступінь збіднення аустеніту за легуючими елементами. Такий механізм може мати місце у високохромистих сталях у зв'язку з одночасною присутністю в їх структурі карбідів хрому двох типів: Me_{23}C_6 і Me_7C_3 . Вже у процесі нагрівання таких сталей до початку процесу аустенітизації карбід типу Me_{23}C_6 може розчинятись у фериті, а карбід типу Me_7C_3 – одночасно виділятися з фериту. Такий же процес буде мати місце і після утворення аустеніту, якщо ще збережеться карбід типу Me_{23}C_6 . Після його повного розчинення в процесі подальшого нагрівання виробу до температури, яка відповідає максимуму твердості, буде реалізовуватися лише процес виділення з аустеніту карбіду типу Me_7C_3 , а при додатковому легуванні сталі іншими карбідоутворюючими елементами, можливо, і карбідів типу MeC чи Me_2C .

Нижче наведено адекватне рівняння, яке характеризує вплив хімічного складу досліджених сталей на температуру нагрівання, яка відповідає максимуму твердості гартованої сталі ($T_{\text{макс}}$) :

$$T_{\text{макс}} = 935 - 28,90 \cdot [\text{C}] + 8,88 \cdot [\text{Cr}] + 7,74 \cdot [\text{W}] + 10,83 \cdot [\text{Mo}] + \\ + 17,47 \cdot [\text{V}] - 27,14 \cdot [\text{Ni}] \pm 29,6 \text{ } ^\circ\text{C}.$$

Для цього рівняння коефіцієнт множинної кореляції $R = 0,933$, доля поясненої варіації $R^2 = 0,87$, критерій Фішера $F = 9$ (рівень надійності 0,95).

Сумісний аналіз експериментальних і розрахункових даних дозволяє зробити ряд узагальнень, що у цілому підтверджують ті положення, які обговорювали раніше. Так, суттєвому зниженню $T_{\text{макс}}$ сприяє додаткове легування сталі нікелем (рисунок а, д), та підвищення концентрації вуглецю

в сталі (рисунок а), очевидно, внаслідок підвищення термодинамічної активності вуглецю в аустеніті і активізації процесу виділення карбідів.

Легування сталей цього типу основним легуючим елементом – хромом – сприяє підвищенню оптимальної температури нагріву під гартування $T_{\text{макс}}$ і тим у більшій мірі, чим вищою буде його концентрація в сталі (рисунок б, в). Легування високохромистих сталей іншими карбідоутворюючими елементами забезпечує додаткове зміщення $T_{\text{макс}}$ в область більш високих температур і підвищення твердості сталей (рисунок), очевидно, у зв'язку з гальмуванням виділення карбідів хрому, які вміщують певну частку вольфраму чи молібдену, або виділення спеціальних карбідів типу MeC чи Me_2C при більш високій температурі і у більшій їх кількості. Причому, як свідчить аналіз отриманого рівняння, ефективність впливу карбідоутворюючих елементів на $T_{\text{макс}}$ зростає у відповідності з їх положенням у ряді за підвищенням їх спорідненості до вуглецю.

Висновки Встановлено, що додаткове легування високохромистих сталей нікелем і підвищення концентрації в них вуглецю сприяють суттєвому зниженню температури нагрівання, яка забезпечує отримання максимальної твердості гартованої сталі. Навпаки, додаткове легування таких сталей карбідоутворюючими елементами, як і легування самим хромом, сприяють змищенню цієї температури до більш високого рівня. Причому, ефективність впливу цих елементів зростає у напрямку: хром, вольфрам, молібден, ванадій. З позицій впливу системи легування на термодинамічну активність компонентів у твердому розчині обґрунтовується можливість виділення з аустеніту в процесі нагрівання в певному температурному інтервалі спеціальних карбідів, що забезпечує збіднення аустеніту за легувальними елементами та вуглецем і підвищення твердості гартованих сталей внаслідок зростання доли мартенситу в структурі.

Література

1. Горбатенко В.П., Горбатенко В.В., Пашинский В.В. Влияние дополнительного легирования никелем на структуру и свойства высокохромистых инструментальных сталей после закалки от различных температур // Наукові праці ДонНТУ. Серія «Металургія». – Донецьк: ДонНТУ. – 2010. – 12(177). – С. 251 – 259.
2. Пашинский В.В., Горбатенко В.В. Структура и свойства высокоуглеродистой инструментальной стали с повышенной устойчивостью переохлажденного аустенита // Строительство, материаловедение, машиностроение. Сборник научных трудов. – 2004. – 26, 2. – С. 90 – 95.
3. Геллер Ю.А. Инструментальные стали. – М.: Металлургия, 1983. – 527 с.
4. Артингер И. Инструментальные стали и их термическая обработка. – М.: Металлургия, 1982. – 312 с.
5. Гольдштейн М.И. Специальные стали. – М.: Металлургия, 1985. – 408 с.

Одержано 18.11.13

В. П. Горбатенко

Влияние системы легирования на формирование структуры высоколегированных сталей при закалке

Резюме

Обсуждаются причины возникновения максимума твердости при определенных температурах нагрева высоколегированных сталей под закалку и особенности влияния на его положение карбидообразующих и некарбидообразующих элементов. Основной причиной значительного повышения твердости закаленной стали при повышении температуры нагрева до определенного уровня может быть выделение карбидов из аустенита и увеличение вследствие этого доли мартенсита в структуре.

V. P. Gorbatenko

The alloying system influence on high-alloy steels structure formation under quenching

Summary

The reasons of hardness maximum appearing at definite quenching temperatures for high-alloy steels and the peculiarities of carbide-forming and non-carbide-forming components influence on the value of hardness maximum are discussed. It was proposed that the carbides precipitation from austenite and increasing of martensite part in structure at heating temperature growth to certain level are responsible for significant rising of quenched steels hardness.

Шановні колеги!

Триває передплата на науково-технічний журнал «Металознавство та обробка металів» на 2014 р.
Для регулярного одержання журналу потрібно перерахувати вартість заказаних номерів на розрахунковий рахунок Фізико-технологічного інституту металів та сплавів НАН України.
Вартість одного номера журналу – 30 грн., передплата на рік – 120 грн.

Ціна архівних номерів 1995 – 2013 рр. – 10 грн.

Розрахунковий рахунок для передплатників, спонсорів і рекламодавців:

банк ГУДКСУ в м. Києві, р/р 31257201112215, код банку 820019.

Отримувач – ФТІМС НАН України, ЗКПО 05417153,

з посиланням на журнал "МОМ".

Копію документа передплати та відомості про передплатника **просимо надсилати до редакції,** вказавши номер і дату платіжного документа.