

Г. П. Кислая

Теплота плавлення тугоплавких боридов, образующих квазибинарные системы с гексаборидом лантана

Резюме

Предложен метод определения теплоты плавления тугоплавких соединений одного типа химической связи по координатам их эвтектик с другим веществом. Установлено теплоты плавления боридов переходных металлов по зависимости их теплоты плавления от температуры плавления эвтектик систем бориды – гексаборид лантана методом интерполяции.

G. P. Kisla

The heat of fusion of refractory borides forming quasibinary systems with lanthanum hexaboride

Summary

The paper presents a method for determining the heat of fusion of refractory compounds of the same type of chemical bond in the coordinates of eutectic with another substance. Melting heat of transition metal borides were determined from the dependence of the heat of fusion on the melting point of eutectic systems borides – lanthanum hexaboride by interpolation method.

УДК 669.15-194.57:621.983

*Визначення коефіцієнта нормальної
анізотропії для прогнозування
штамповності листового металопрокату
феритних корозійностійких сталей*

Грешта В.Л., кандидат технічних наук

Запорізький національний технічний університет, Запоріжжя

Оцінено здатність до формозмінювання листових феритних корозійностійких сталей за результатами дослідження коефіцієнта нормальної анізотропії R холоднокатаних зразків із попередньо термообробленим гарячекатаним підкатом. Встановлено, що при виборі термодформаційних режимів обробки слід враховувати характер напружено-деформованого стану, який реалізується в заготовці при конкретних операціях штампування. Так, при виготовленні виробів методом ротаційного гнуття задовільна стійкість процесу пластичної деформації буде забезпечуватися при проведенні відпалювання підкату при 800 °С і витримці 4 години. Якщо при формозмінюванні виробів переважає глибока витяжка, то

доцільним буде режим термічної обробки, який сприяв би частковому очищенню високохромистого фериту від надлишкових атомів вуглецю і азоту без порушення структури гарячого наклепу (гартування від 1000 °С).

Вибір оціночних критеріїв для прогнозування поведінки листової заготовки при операціях формозмінювання визначається характером напружено-деформованого стану, що реалізується в різних її частинах при конкретних операціях штампування.

Обмеження якоюсь конкретною групою характеристик, що визначаються при одноосьовому, двоосьовому чи складному напруженому стані, не може гарантувати позитивних результатів при виготовленні виробів шляхом штампування. У зв'язку з цим проведено комплексну оцінку впливу структурних змін, що відбуваються при відповідних термодформаційних режимах обробки, на механічні і технологічні властивості.

Одним з найбільш складних видів штампування є глибока витяжка. В процесі цієї операції плинність матеріалу в матриці має реалізовуватись без утворення зморшок. Позитивні результати забезпечуються, якщо матеріал досить легко деформується в площині листа і має значний опір деформації в напрямку товщини.

Для оцінки здатності матеріалу до глибокої витяжки зазвичай використовують критерій Ленкфорда (коефіцієнт нормальної анізотропії R):

$$R = \ln \varepsilon_n / \ln \varepsilon_w ,$$

де ε_n – деформація по ширині листа, ε_w – деформація по товщині листа.

По своїй сутності коефіцієнт нормальної анізотропії в першу чергу визначається орієнтаційним характером кристалічної будови. При цьому формування в матеріалі сприятливих компонент текстури, що характеризуються високими значеннями R , є досить складним процесом і визначається рядом структурних факторів. Встановлення чітких закономірностей в механізмах управління текстурою потребує проведення спеціальних досліджень, які передбачають аналіз полюсних фігур.

Мета даної роботи полягала у встановленні оптимальних термодформаційних параметрів (варіювання режимів попередньої термічної обробки гарячекатаного (г/к) підкату та ступеня деформації під час холодної прокатки) отримання холоднокатаного листового металопрокату з феритної корозійностійкої сталі 08X18T1 із високими значеннями коефіцієнта нормальної анізотропії R , що, в свою чергу, повинно сприяти забезпеченню більшої стійкості процесу пластичного деформування при різних операціях формозмінювання (ротаційне гнуття, глибока витяжка тощо).

В роботі намагались непрямим способом, а саме шляхом дослідження залежності коефіцієнта нормальної анізотропії від зовнішніх факторів оцінити характер орієнтаційних співвідношень при певних варіаціях термодформаційних параметрів з отриманням практичних рекомендацій щодо вибору регламентованих режимів обробки. Дослідження проводили

на зразках, виготовлених з листових заготовок феритної корозійностійкої сталі 08X18T1, отриманих в умовах виробництва холоднокатаного листового металопрокату.

Технологічна пластичність листового металу феритних корозійностійких сталей визначається структурним станом холоднокатаного листа. У попередніх дослідженнях [1] було доведено, що холоднокатаний листовий металопрокат, отриманий за нині діючою на виробництві технологією, знаходиться у структурно-нерівноважному стані із пересиченими домішками впровадження твердим розчином. Це негативно позначається на технологічній пластичності зазначених матеріалів, у зв'язку зі зміцненням твердого розчину за рахунок локальної деформації кристалічної ґратки.

Одним із напрямків покращення штамповності листових хромистих корозійностійких сталей може бути створення умов, які б сприяли очищенню твердого розчину високо хромистого фериту (ВХФ) від надлишкових атомів вуглецю і азоту [2]. Практичною реалізацією цього процесу може бути впровадження в технологічну низку додаткової термічної обробки підкату, яка б забезпечувала виділення із пересиченого ВХФ атомів домішок у вигляді вторинної дисперсної фази.

Отже необхідно було встановити як впливатиме попередня термічна обробка листової феритної корозійностійкої сталі на коефіцієнт нормальної анізотропії матеріалу.

На етапі отримання гарячекатаного підкату проводили додаткову термічну обробку за такими режимами: відпалювання рулонів гарячекатаного підкату при температурі 800 °С впродовж 4 годин у ковпакових печах; гартування гарячекатаної штаби від температур 900, 1000, 1100 °С (витримка 1 хв/мм здійснювалось у безперервному гартувальному агрегаті).

Заготовки вирізали вздовж, перпендикулярно і під кутом 45° до напрямку прокатки, здатність до формозмінювання визначалась відповідно для певної орієнтації волокон. При цьому розраховували середнє значення R за формулою:

$$R = (R_0 + 2R_{45} + R_{90})/4,$$

де R_0 , R_{90} , R_{45} – коефіцієнти нормальної анізотропії із відповідною орієнтацією волокон вздовж, перпендикулярно і під кутом 45° по відношенню до напрямку прокатки.

Рівняння квадратичної регресії для коефіцієнта нормальної анізотропії мають наступний вигляд [3]:

поздовжна орієнтація волокон

$$R = 0,120 \cdot 10^{-4} T^2 h - 0,270 \cdot 10^{-4} T^2 - 0,023 Th + 0,053 T + 10,558 h - 23,787 ;$$

діагональна орієнтація волокон

$$R = 0,230 \cdot 10^{-4} T^2 h - 0,495 \cdot 10^{-4} T^2 - 0,042 Th + 0,093 T + 19,115 h - 42,063 ;$$

поперечна орієнтація волокон

$$R = 0,155 \cdot 10^{-3} T^2 h - 0,328 T^2 - 0,293 Th + 0,621 T + 135,060 h - 284,663 .$$

Задовільна збіжність експериментальних і розрахункових даних, певною мірою підтверджує адекватність отриманих аналітичних рівнянь фізичної реальності [3].

Аналіз представлених в роботі [4] кореляційних залежностей відношення полюсних густин (P_{111}/P_{100} сприятливих і несприятливих з точки зору штампування) із коефіцієнтами нормальної анізотропії для різних кутів вирізки зразків, свідчить що найбільш чітко це співвідношення відповідає R_{90} . Саме при такій орієнтації волокон, як правило, спостерігаються максимальні значення коефіцієнта нормальної анізотропії R .

Подібну картину спостерігали при дослідженні графічних залежностей R в феритних корозійностійких сталях після відповідних режимів термодформаційної обробки. При цьому в зразках товщиною 1,0 і 1,5 мм, із поперечною орієнтацією волокон, фіксували значення R на рівні 5,2 і 3,0 відповідно, що не характерно для матеріалів із структурою ОЦК (тому ці дані неодноразово перевірялись на більшій базі випробувань). Неоднорідність значень R в зразках різної товщини слід пов'язувати із певним впливом інтенсивності холодної деформації на текстуроутворення.

Згідно із загальною схемою утворення переважних кристалографічних орієнтувань, неоднорідність росту зародків обумовлена певною їх орієнтацією по відношенню до матриці [5]. При цьому процес утворення зародків з більшою швидкістю росту, буде проходити тим краще, чим більша загальна кількість зародків будь якої орієнтації [5]. В свою чергу кількість зародків збільшується із ростом ступеня пластичної деформації [6]. При високих ступенях деформації (60 – 80 %) комірочки набувають витягнутої форми і загальний об'єм матеріалу розподіляється тільки між двома орієнтуваннями, а саме $\langle 111 \rangle$ і $\langle 100 \rangle$ [5, 6]. Кристаліти з орієнтацією $\langle 111 \rangle$ характеризуються більшим рівнем пружної енергії і тому мають переважну здатність до росту в процесі рекристалізаційного відпалування [7 – 9].

На процес бажаної еволюції текстури прокатки в текстуру відпалу із збереженням переважної кількості орієнтувань $\langle 111 \rangle$, окрім характеру комірчастої структури можуть впливати і інші структурні фактори. Наприклад, уповільнення рекристалізаційних процесів, як один із механізмів збільшення кількості зерен з орієнтацією площин $\{111\}$, може забезпечуватись як наявністю домішок впровадження, розчинених у твердому розчині, так і пограничними виділеннями вторинної фази [10].

Немонотонний характер політермічних кривих зміни коефіцієнтів нормальної анізотропії слід пов'язувати із пріоритетним впливом одного із вищенаведених механізмів. Адже при певних варіаціях режимів термічного впливу на структуру г/к підкату відбуваються певні зміни в структурному стані ВХФ щодо домішок впровадження. При цьому, мінімальні значення коефіцієнта нормальної анізотропії спостерігали як у випадку присутності в структурі холоднокатаного (х/к) листа вторинних карбідів (відпал 800 °С, витримка 4 години), так і після фіксування найвищого ступеня легованості ВХФ атомами домішок при гартуванні з 1100 °С.

Присутність домішок впровадження у твердому розчині певним чином впливає на уповільнення рекристалізаційних процесів. Але в даному випадку

низькі значення R в зразках із найвищим ступенем пересиченості ВХФ вказують на те, що даний фактор не є визначним в механізмі формування сприятливої орієнтації матриці $\langle 111 \rangle$.

Логічним поясненням немонотонної залежності R в політермічних перерізах, вочевидь буде особливий вплив кожного із рекомендованих режимів термічної обробки підкату на характер змін кристалічної текстури гарячої деформації.

Згідно [8] при умові збереження в матеріалі перед холодною деформацією текстури гарячої прокатки (112), в рекристалізованому тонколистовому металі спостерігається значна кількість зерен із орієнтацією, паралельною напрямку прокатки $\langle 111 \rangle$.

Отже з цих позицій, низькі значення R за умови проведення відпалювання при 800 °С, витримка 4 години і гартування з 1100 °С є наслідком того, що в процесі цих операцій структура гарячого наклепування повністю замінюється на рекристалізовану [11].

Термочасові умови обробки г/к підкату, при яких в х/к листі спостерігаються максимальні значення R (гартування від 900 і 1100 °С) майже не порушують орієнтаційної направленості матриці, яка утворилась під час гарячої прокатки [11].

У свою чергу створення умов для реалізації процесів виділення вторинної фази в структурі феритних корозійностійких сталей також може бути використане як спосіб створення текстури із високим значенням R .

Ефект уповільнення рекристалізаційних процесів частинками вторинних фаз буде максимальним, якщо рівень термічної активації дифузійних процесів при рекомендованих режимах обробки не призводить до порушення комірчатої структури, що утворилась під час гарячої або холодної деформації.

В плані практичних рекомендацій слід зазначити, що операцією, яка б сприяла покращенню технологічних властивостей матеріалу, може бути проведення низькотемпературного відпуску при 500 °С, витримка 3 години перед завершальною рекристалізаційною обробкою. Як було показано в процесі досліджень характеру карбідних перетворень, шляхом вимірювання коерцитивної сили H_c , при цій температурі в деформованій матриці феритних корозійностійких сталей з'являються низькотемпературні модифікації карбонітридних фаз, без порушення текстури деформації.

Загалом процес управління текстурою і відповідно значеннями R , вимагає високої культури виробництва, адже навіть при незначних відхиленнях від оптимальних технологічних режимів (встановлених експериментальним шляхом) виробництва тонколистового металу важко передбачити і спрогнозувати рівень кінцевих значень R .

Тому при виборі регламентованих режимів проведення термодформаційної обробки не слід керуватись тільки умовами забезпечення високих значень R . Необхідно також враховувати і рівень інших оціночних критеріїв, таких як s_s/s_B , d_p і n (показник ступеня зміцнення), які також певною мірою визначають здатність листового матеріалу до бездефектного штампування.

Так, наприклад, штамповність деталей змішаного типу, в яких в процесі формозмінювання реалізуються напруження стиснення і розтягнення, слід прогнозувати з урахуванням значень як R , так і n . Встановлено [12], що при штампуванні завжди отримують гарні результати при високому значенні n незалежно від R , але при низькому n результат залежить від R . Таким чином, при штампуванні деталей складної форми поведінка матеріалу визначається, по-перше, ступенем її складності, по-друге – комбінацією значень R і n , котрі обов'язково необхідно враховувати при виборі конкретних режимів термодетонаційної обробки.

Висновки При виборі термодетонаційних режимів обробки необхідно враховувати характер напружено-деформованого стану, який реалізується в заготовці при конкретних операціях штампування.

При виготовленні виробів методом ротаційного гнуття задовільна стійкість процесу пластичної деформації буде забезпечуватися при проведенні проміжної термічної обробки відпалювання г/к підкату при 800 °С, витримка 4 години.

Якщо при формозмінюванні виробів переважає глибока витяжка, то найбільш доцільним буде проведення термічної обробки, яка сприяла б частковому очищенню ВХФ від надлишкових атомів вуглецю і азоту без порушення структури гарячого наклепу (гартування 1000 °С, витримка 1 хв/мм).

Література

1. Ольшанецький В.Ю., Бондаренко А.Л., Грешта В.Л. Деякі особливості процесів розчинення-виділення карбідних фаз у феритних нержавіючих сталях з титаном // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2003. – № 1. – С. 7 – 10.
2. Бондаренко А.Л., Климов А.В., Грешта В.Л. Совершенствование технологии горячей прокатки толстолистовых нержавеющей сталей ферритного класса // Совершенствование процессов и оборудования обработки давлением в металлургии и машиностроении. – Краматорск: ДГМА, 1998. – С. 175 – 177.
3. Ольшанецький В.Ю., Грешта В.Л., Бондаренко А.Л. Математичне моделювання зв'язків між показниками штамповності неіржавіючих феритних сталей і технологічними параметрами їх виробництва // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2002. – № 2. – С. 78 – 83.
4. Нестеренко А.М., Сторотева Л.М., Богачева А.В. Оценка способности листовой низколегированной стали к глубокой вытяжке // Кузнечно-штамповочное производство. – 1987. – № 10. – С. 3 – 4.
5. Хеснер Ф. Рекристаллизация металлических материалов. – М.: Металлургия, 1982. – 352 с.
6. Tsuge N., Shinmiya T., Saito Y. Deformation microstructure and nucleation of recrystallization in hot-deformed single crystals of 18 % Cr ferritic steel // SIS Int. – 1998. – 38, № 4. – P. 380 – 389.
7. Park Y.B., Lee D.N., Gottstein G. The evolution of recrystallizations textures in body centred cubic metals // Acta Mater. – 1998. – № 10. – P. 3371 – 3379.
8. Samaidar I., Verlinden B., Van Houtte P. Development of recrystallizations texture in if-steel: An effort to explain developments in global texture from microtextural studies. // Acta Mater. – 1998. – 46, № 8. – P. 2751 – 2763.

9. Shi Sing, Vong Xiangin. Annealing texture evolution of Ti-IF steel during batch annealing // J Univ. Sci and Technol. Beijing. – 1998. – 5, № 3. – P. 175 – 179.
10. Engler O. On the influence of orientation pinning on growth selection of recrystallization // Acta Mater. – 1998. – 46, № 5. – P. 1555 – 1568.
11. Грешта В.Л., Климов О.В., Вініченко В.С. Дослідження процесів рекристалізації у пересиченому елементом впровадження високохромистому фериті сталі 08X18T1 // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2005. – № 2. – С. 102 – 106.
12. Poney Gillers, Grumbach Marc. Recherches recenty sur h' emboutissabilite des toles mihces // Gronpem. avancem. met. Industr. – 1966. – № 3. – P. 1 – 4.

Одержано 31.12.14

В. Л. Грешта

Определение коэффициента нормальной анизотропии для прогнозирования штампуемости листового металлопроката ферритных коррозионностойких сталей

Резюме

Оценена способность к формоизменению листовых ферритных коррозионностойких сталей по результатам исследования коэффициента нормальной анизотропии R холоднокатаных образцов с предварительно термообработанным горячекатаным подкатом. Установлено, что при выборе термомодеформационных режимов обработки необходимо учитывать характер напряженно-деформированного состояния, которое формируется в заготовке при конкретных операциях штамповки. Так, при изготовлении изделий методом ротационной гибки удовлетворительная устойчивость процесса пластической деформации будет обеспечиваться при проведении отжига подката при 800 °С, выдержка 4 часа. Если при формоизменении изделий преобладает глубокая вытяжка, то наиболее целесообразным будет режим термической обработки, который способствовал бы частичной очистке высокохромистого феррита от избыточных атомов углерода и азота при частичном сохранении структуры горячего наклепа (закалка 1000 °С).

V. L. Greshta

Study of normal anisotropy coefficient for the prediction of sheet metal formability of ferritic corrosion resistant steel

Summary

The ability of form changing the sheet ferrite corrosive resistant steels based on the results of investigation of the coefficient of normal anisotropy of cold-rolled samples with pre-treated hot-rolled ones is estimated in this paper. It was established that the choice of the thermodeformation processing influences the nature of stress-strain state which is realized in a workpiece at the specific stamping operations. Thus, satisfactory resistance of plastic deformation process will be provided during the manufacture of products by rotary bending using the annealing of rolling at 800 °C for 4 hours. If deep drawing dominates at form changing of products, then the heat treatment will be the most appropriate that helps high-chromium ferrite partial clearing from carbon and nitrogen atoms excesses without disturbing the structure of the hot work hardening (hardening 1000 °C).