

## ПРО ФОРМУВАННЯ ДВОФАЗНИХ МАРТЕНСИТНИХ СУМІШЕЙ ( $\epsilon$ - І $\alpha'$ - МАРТЕНСИТІВ) В АУСТЕНІТНИХ СТАЛЯХ СИСТЕМ Fe-Cr-Ni ТА Fe-Mn ПРИ ХОЛОДНІЙ ДЕФОРМАЦІЇ СТИСНЕННЯМ

У хромонікелевих і особливо марганцевих аустенітних сталях спостерігається утворення мартенситу деформації двох типів:  $\epsilon$  - мартенситу з ГЦП та  $\alpha'$  - мартенситу з ОЦК гратками навіть при незначних силових діях (наприклад при стисненні). Згідно з нашими експериментами формування обох цих фаз відповідає спрощеній термодинамічній схемі, яку наведено на рис. 1.

Представлена на рис. 1 діаграма має реальний вигляд, бо (як і у випадку чистих речовин) для точок перетину прямих термодинамічних потенціалів (залежності типу  $G(p)$ ) для неї відсутні інтервали перетворення, оскільки хімічні склади сумішей, а також утворюваних попередніх фаз відповідають складу матричної фази (тобто хімічний склад суміші  $\epsilon$  - та  $\alpha'$  - мартенситів і окремо  $\gamma$  - фази для цих точок перетворення цієї фази в суміш є однаковим, незважаючи на різницю у складах самих  $\epsilon$  і  $\alpha'$  - фаз).

Тепер розглянемо безпосередньо механізм утворення мартенситних фаз означеного типу, спираючись на отримані раніше експерименти [1] та схему на рис. 1.

Як було показано раніше, появи передусім  $\epsilon$  - мартенситу передують наявність дефектів пакування у складі розтягнутих дислокацій у ГЦК гратці матриці. Цьому сприяє присутність у сталях вказаного типу інших елементів (нікель, титан тощо), завдяки яким енергія дефектів пакування аустеніту може суттєво зменшитись. Це передбачає наявність їх певної кількості в аустенітній матриці ще до здійснення пластичної деформації. Однак ці дефекти слугують зародками кристалів  $\epsilon$  - мартенситу в основному під час пластичної деформації сталей.

Міжфазна енергія, що виникає в результаті встановлення певного кристалогеометричного зв'язку при сполученні гратки аустеніту з поверхнею пластинчатого зародка – мартенситу, обумовлена незбалансованістю сил міжатомних взаємодій по обидва боки кожної міжфазної межі  $\gamma/\epsilon$ . Це, природно, усуває можливість виникнення чистої епітаксії однотипних атомно-кристалічних площин ( $\{111\}$  і  $\{0001\}$ ) в зоні контакту обох фаз.

При деякому внутрішньому тискові відбувається зміна стійкості аустеніту відносно мартенситного перетворення зазначеного типу, оскільки такий інтенсивний параметр, як тиск, є фактором, що впливає на хімічну вільну енергію металеві матриці, в якій внаслідок цього відбувається зміна розподілів електронних квантових станів [2] при проходженні деформаційної точки  $M_d$  [3] фазового переходу в процесі пластичної деформації при здійсненні значних тисків. За цих умов з'являється загальна рушійна сила, яка є необхідною для початку формування  $\epsilon$  - мартенситу на дефектах пакування. Поява такої сили сприяє розштовхуванню часткових дислокацій, що обмежують ці дефекти пакування з граткою. В результаті довжина прошарків [4]  $\epsilon$  - мартенситу збільшується і обмежується тільки границями зерен аустеніту [5]. Одночасно з цим з'являється додаткова рушійна сила, що сприяє накопиченню атомно-кристалічних площин типу АВ АВ ... (ГЦП структура) і обумовлена підвищеною стійкістю кристалічної структури саме цього типу. Аналогічно тиску можуть діяти і деякі мікролегувальні добавки, які здатні змінити міжфазну енергію границі ГЦК/ГЦП у потрібному напрямку. При цьому після попереднього утворення  $\epsilon$  - мартенситу формується суміш, що складається з  $\epsilon$  - та  $\alpha'$  - мартенситів внаслідок бездифузійного перетворення  $\gamma$  фази в обидві мартенситні фази. Цікавим на погляд авторів є і те, що деформаційна точка утворення «чистої» фазової суміші  $\epsilon + \alpha'$  ( $P_{\epsilon + \alpha'}$ ) відповідає точці  $P_{\epsilon + \alpha'}$  в інтервалі тисків  $P_\epsilon$  і  $P_{\alpha'}$ , а поза неї до точки  $P_{\alpha'}$  виникає квазісуміш, схожа, за механізмом утворення, з квазіевтектоїдом, який спостерігається, наприклад, у вуглецевих заевтектоїдних сталях.

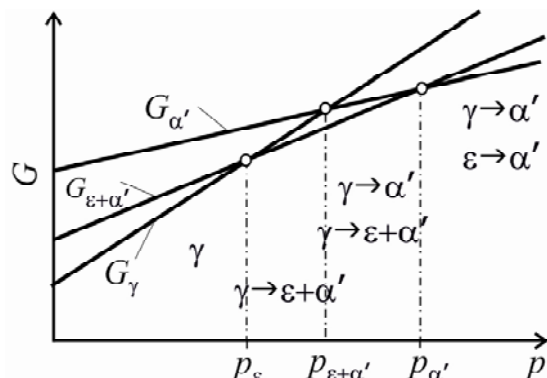


Рис. 1. Схеми зміни питомих вільних енергій аустеніту  $G_\gamma$  і суміші мартенситних фаз  $G_{\epsilon + \alpha'}$  залежно від тиску  $p$  (тут усі  $G$  є питомими характеристиками, різниці яких відповідають певним рушійним силам)

Що стосується квазісуміші попереднього типу, що існує в інтервалі тисків між точками  $P_\varepsilon$  і  $P_{\varepsilon+\alpha'}$ , то до її складу входить  $\varepsilon$ -мартенсит, який утворюється раніше за появу означеної суміші, бо з чисто кінетичних міркувань його утворення не пов'язано з будь-якими актами дифузії атомів (передусім атомів вуглецю). Це виглядає достатньо природним, не зважаючи на те, що утворення надлишкових мартенситів згідно наведеної схеми (рис. 1) характеризується меншим (на прикладі  $\alpha'$ -мартенситу) термодинамічним стимулом [4].

#### Список літератури

1. Ol'shanetskii V. E. Structural and magnetic stability of austenite in chromium-nickel and manganese steels with cold deformation / V. E. Ol'shanetskii, G. V. Snezhnoi, V. N. Sazhnev // Metal Science and Heat Treatment. – 2016. – Vol. 58. – № 5. – P. 311–317.
2. Юм-Розери В. Введение в физическое металловедение / Юм-Розери В. – М. : Metallurgiya, 1965. – 203 с.
3. Гольдштейн М. И. Специальные стали / Гольдштейн М. И., Грачев С. В., Векслер Ю. Г. – М. : Metallurgiya, 1985. – 408 с.
4. Ольшанецкий В. Е. О закономерностях формирования мартенситных фаз в марганцовистом аустените при деформации сжатием / В. Е. Ольшанецкий, Г. В. Снежной, В. Н. Сажнев // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. – 2012. – № 2. – С. 8–14.
5. Strain-induced  $\varepsilon/\alpha'$  martensitic transformation behavior and solid particle erosion resistance of austenitic Fe-Cr-C-Mn/Ni alloys / M. Park, J. Yun, G. Shin, S. Kim // Tribology Letters. – 2014. – Vol. 54. – № 1. – P. 51–58.

Одержано 18.04.2017

© Д-р техн. наук В. Е. Ольшанецкий<sup>1</sup>, канд. физ.-мат наук Г. В. Снежной<sup>1</sup>,  
канд. физ.-мат. наук В. Л. Снежной<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Запорожский национальный технический университет, <sup>2</sup>Запорожский национальный университет;  
г. Запорожье

**Ol'shanetskii V., Snizhnoi G., Snizhnoi V. On the formation of two-phase martensitic mixtures ( $\varepsilon$  - and  $\alpha'$  - martensite) in austenitic steels of Fe-Cr-Ni and Fe-Mn systems under cold compression**

---