

УДК 669.017.07

Ткаченко К.И.¹, Мирошніченко В.И.², Ткаченко Н.В.³

ВЛИЯНИЕ МАРГАНЦА И НИКЕЛЯ НА РОСТ АУСТЕНИТНОГО ЗЕРНА И ЕГО СВЯЗЬ С ЭЛЕКТРОННОЙ СТРУКТУРОЙ

В статье выполнен анализ зависимости размера аустенитного зерна в двойных Fe-Mn и Fe-Ni сплавах от концентрации Mn и Ni, полученных на основе установленной связи между энергией активации миграции границ зерен и параметрами электронного газа. Установлены особенности влияния Mn и Ni на рост зерна.

Ключевые слова: Энергия активации самодиффузии, энергия электронного газа, рост зерна.

Ткаченко К.И., Мирошніченко В.И., Ткаченко Н.В. Вплив марганцю та нікелю на зростання аустенітного зерна та його зв'язок з електронною будовою. У статті виконаний аналіз залежності розміру аустенітного зерна в подвійних Fe-Mn і Fe-Ni сплавах від концентрації Mn і Ni, отриманих на основі встановленого зв'язку між енергією активації міграції границь зерен і параметрами електронного газу. Встановлені особливості впливу Mn і Ni на зростання зерна.

Ключові слова: Енергія активації самодифузії, енергія електронного газу, зростання зерна.

K.I.Tkachenko, V.I. Miroshnichenko, N.V. Tkachenko. Influence of manganese and nickel on growth of austenitic grain and his connection with an electronic structure. The analysis of dependence austenitic grain size in binary Fe-Mn and Fe-Ni alloys from the concentration of Mn and Ni is executed, on the basis of the set connection between activation energy of migration scopes grains and parameters of electronic gas in the article are got. The influence Mn and Ni on growth of grain are set.

Keywords: activation energy of self-diffusion, energy of electronic gas, growth of grain.

Постановка проблемы. Размер зерна в стали в различных структурных состояниях существенно влияет на уровень важнейших показателей механических и эксплуатационных свойств, таких как σ_T , KCV и T_x . Поэтому разработка способов управления зеренной структурой является актуальной научной и прикладной проблемой, решение которой требует нового подхода.

Анализ последних исследований и публикаций. К последним публикациям по этой проблеме следует отнести монографии профессора, д.т.н. Пилюшенко В.Л. и профессора, д.т.н. Троцана А.И., изданные в 2000 – 2010 гг.. В монографиях изложены материалы, отражающие современные состояние основного способа регулирования размера зерна за счет микролегирования, из которых следует, что при анализе процессов формирования зеренной структуры в сталях не рассматриваются вопросы, связанные с механизмом и кинетикой роста зерна.

Цель статьи. Исследовать особенности роста зерна в двойных Fe-Mn и Fe-Ni сплавах при изменении температуры и содержания марганца и никеля с учетом влияния параметров электронного газа на энергию активации граничной самодиффузии Fe.

Изложение основного материала. Исследованию влияния марганца и никеля на физические, химические, технологические и эксплуатационные характеристики сталей и сплавов специального назначения уделяется весьма большое внимание. Это объясняется тем, что оба эти элемента, образуя сплавы с железом, позволяют за счет варьирования содержания их в Fe-Mn, Fe-Ni, Fe-Mn-Ni и более сложных сплавах, а также режимов их термической обработки, в широких пределах изменять фазово-структурное состояние и обеспечить получение требуемого уровня свойств. Следует отметить, что несмотря на большое число работ, посвященных выявлению факторов, определяющих особенности влияния этих элементов на фазовые превраще-

¹ канд. техн. наук, ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ аспирант, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

ния, формирование структуры и свойств сталей различного назначения, многие вопросы остаются недостаточно изученными. К ним, в частности, относятся вопросы, связанные с ростом зерна в Fe-Mn и Fe-Ni сплавах в высокотемпературной области. В связи с тем, что выполнение таких исследований в лабораторных условиях на чистых металлах сопряжено с большими трудностями, в настоящей работе выполнен сравнительный анализ роста зерна в Fe-Mn и Fe-Ni сплавах в высокотемпературной области исходя из общеизвестных положений термодинамики, согласно которым рост зерна - это самопроизвольный термически активируемый процесс, обусловленный стремлением системы к снижению уровня свободной энергии. Рост зерна осуществляется путем миграции границ и контролируется процессом самодиффузии, протекающей преимущественно по вакансионному механизму. В соответствии с этими положениями, закон роста зерна представляется в виде:

$$d^2 = k \cdot \tau \cdot \exp\left(-\frac{Q_M}{R \cdot T}\right) + d_0^2, \quad (1)$$

где k – постоянная величина, $\text{см}^2/\text{с}$;
 τ – время выдержки, с;
 Q_M – энергия активации миграции границ;
 R – газовая постоянная;
 T – температура, К;
 d_0 – начальное зерно, см.

Выражение (1) выражает температурную зависимость размера зерна при известном значении Q_M . Очевидно, что использование выражения (1) для анализа концентрационной зависимости, возможно при известной зависимости Q_M от концентрации второго компонента в твердом растворе. Такая зависимость получена на основе установленной в работе [2] тесной, $R^2 = 1$ корреляционной связи между коэффициентами объемной самодиффузии металлов и кинетической энергией электронов проводимости E_3 :

$$Q_{o.c.d.}^{Me} = 0,18 \cdot \bar{E}_{эл.}^{Me} + 84,8 \quad (2)$$

Так как энергия миграции границ Q_M равна энергии активации граничной самодиффузии Q_G , то в соответствии с [3] можно записать:

$$Q_M = 0,5 \cdot Q_{o.c.d.}^{Me} = 0,5 \cdot [0,18 \cdot \bar{E}_{эл.}^{Me} + 84,8] \quad (3)$$

Таким образом, для анализа температурной зависимости размера зерна в чистых металлах значение Q_M следует определять по формуле (3). Для исследования температурной и концентрационной зависимости величины Q_M в твердых растворах энергия активации миграции границы будет определяться выражением

$$Q_M^p = 0,5 \cdot \{0,18 \cdot [\bar{E}_{эл.}^{Fe} (1-x) + x \cdot \bar{E}_{эл.}^{Me}] + 84,8\} \quad (4)$$

где $\bar{E}_{эл.}^{Fe}$ – средняя энергия электронного газа железа.;
 $\bar{E}_{эл.}^{Me}$ – средняя энергия электронного газа растворенного компонента;
 x – концентрация второго компонента.

Для анализа температурной и концентрационной зависимостей среднего размера зерна в двойных Fe-Mn и Fe-Ni растворах с использованием выражений (1) и (4) приняты значения $k = 0,1 \text{ см}^2/\text{с}$; $\tau = 3600 \text{ с}$; $x = 0..0,5$; $T = 1100-1400 \text{ К}$; $\bar{E}_{эл.}^{Fe} = 1086 \text{ кДж/моль}$ и $\bar{E}_{эл.}^{Mn} = 389 \text{ кДж/моль}$. Результаты компьютерного исследования влияния температуры и концентрации марганца и никеля в Fe-Mn и Fe-Ni сплавах приведены на рисунке 1. Как видно из рисунка 1, а, повышение температуры от 1100 до 1400К сопровождается монотонным увеличением диаметра зерна, с возрастающей интенсивностью при увеличении концентрации марганца от 0 до 0,5.

Влияние концентрации марганца на размер зерна в Fe - Mn –твердом растворе после выдержки в течении 60 минут в интервале температур 1200-1400К характеризуется увеличением интенсивности роста по мере возрастания содержания марганца от 0 до 50% (ат.) (рисунок 1, б).

Анализ аналогичных зависимостей роста зерна от температуры и концентрации Ni в тех же пределах приведенных на рисунке 1 в и г, показывает, что при повышении температуры при всех концентрациях никеля размер зерна возрастает с одинаковой интенсивностью (рисунок 1, в). В то же время, как видно из рисунка 1 г, влияние концентрации никеля при изменении её в пределах от 0 до 5 в области температур 1200-1400 К характеризуется слабым снижением размера зерна.

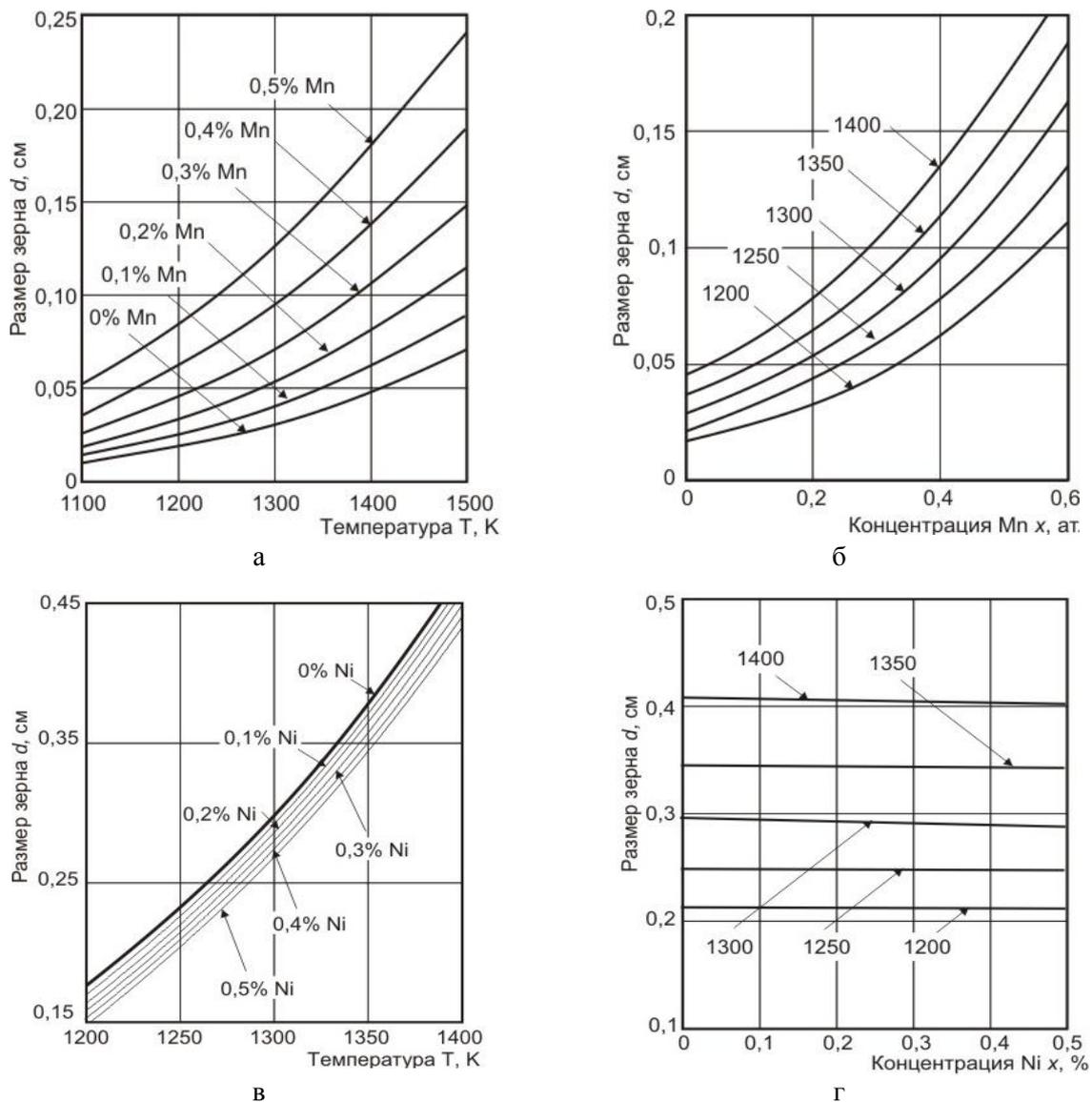


Рис 1 – Концентрационные и температурные зависимости в системах Fe – Mn и Fe – Ni: а, в – влияние температуры в Fe – Mn и Fe – Ni твердых растворах на размер зерна; б, г – влияние концентрации Mn и Ni на размер зерна.

Таким образом, как показывает сравнение результатов отдельного влияния марганца и никеля на рост зерна в двойных растворах на основе железа: повышение температуры в интервале 1100–1400 К в Fe – Mn и Fe – Ni – растворах при концентрациях марганца и никеля $\leq 0,5$ сопровождается ростом зерна с различной интенсивностью. В растворах Fe – Mn увеличение содержания марганца вызывает резкий рост интенсивности, в то время как увеличение содержания никеля в двойных Fe – Ni растворах при тех же условиях вызывает слабое снижение размера зерна по сравнению с чистым железом.

Выводы

1. На основе установленной зависимости энергии активации самодиффузии в металлах от средней энергии электронов проводимости предложена методика расчета энергии активации миграции границ зерен в металлах и их твердых растворах.
2. С использованием расчетных значений энергии активации миграции границ зерен в твердых растворах Fe-Mn и Fe-Ni выполнен анализ температурных и концентрационных зависимостей роста зерна в указанных растворах.
3. Установлено, что нагрев двойных твердых растворов, содержащих $\leq 0,5$ Mn и Ni соответственно, в область температур 1100-1400К сопровождается монотонным ростом зерна с раз-

- личной интенсивностью для исследованных систем легирования.
4. Показано, что увеличение концентрации марганца в пределах $0 \div 0,5$ сопровождается увеличением зерна с возрастающей интенсивностью. В тех же условиях увеличение концентрации никеля в Fe-Ni твердом растворе сопровождается слабым уменьшением размера зерна при всех исследованных температурах.

Список использованных источников:

1. Штремель М.А. Прочность сплавов. Ч. 1./ М.А. Штремель.– М.: Металлургия, 1982. – 278с.
2. Ткаченко, И.Ф. Порівняльний аналіз електронного стану заліза і мікролегуєчих елементів: Ti, V, Nb, Zr, Al./ И.Ф. Ткаченко, В.И. Мирошниченко, К.И. Ткаченко // Вісник Призов. держ. техн. ун-ту. Сер.: Техн. науки: Зб. наук. праць. – 2010. – № 20. – С.113-116.
3. Шьюмон П. Диффузия в твердых телах / П.Шьюмон.– М.: Металлургия, 1966.–195с.

Рецензент: А.П. Чейлях
д-р техн. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 28.03.2011

УДК 669.017.07

Ткаченко Ф.К.¹, Мирошниченко В.И.², Ткаченко И.Ф.³

О ФАКТОРАХ, ОПРЕДЕЛЯЮЩИХ УРОВЕНЬ ЭНЕРГИИ АКТИВАЦИИ САМОДИФФУЗИИ В МЕТАЛЛАХ

В работе выполнен анализ тесноты корреляционной связи между энергией активации самодиффузии и теплофизическими параметрами, а также величиной активационного объёма. Установленная относительно слабая связь между энергией активации и активационным объёмом даёт основание предполагать, что активационный объём, вычисленный в рамках теории Грюнейзена, не определяет однозначно уровень энергии активации самодиффузии. Обращено внимание на высокую степень тесноты связи ($R^2=1$) энергии активации от кинетической энергии электронного газа.

Ключевые слова: энергия активации самодиффузии, электронный газ, активационный объём, температура плавления, теплота плавления, теплота сублимации.

Ткаченко Ф.К., Мирошниченко В.И., Ткаченко И.Ф. Про чинники, що визначають рівень енергії активації самодифузії в металах У роботі виконаний аналіз тісноти кореляційного зв'язку між енергією активації самодифузії і теплофізичними параметрами, а також величиною активаційного об'єму. Встановлений відносно слабкий зв'язок між енергією активації і активаційним об'ємом дає підставу передбачати, що активаційний об'єм, обчислений в рамках теорії Грюнейзена, не визначає однозначно рівень енергії активації самодифузії. Звернено увагу на високу міру тісноти зв'язку ($R^2=1$) енергії активації від кінетичної енергії електронного газу.

Ключові слова: енергія активації самодифузії, електронний газ, активаційний об'єм, температура плавлення, теплота плавлення, теплота сублимації.

F.K. Tkachenko, V.I. Miroshnichenko, I.F. Tkachenko. Factors are determining the level of energy of activating of self-diffusion in metals. The analysis of correlation tightness between activating self-diffusion energy and thermal parameters was accomplished. It was found a weak bond between activation energy and activation volume grounds to suppose that an activation volume calculated within the framework

¹ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

² ассистент, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

³ д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь