

УДК 669.1: 539.538: 539.4.019.3: 537.621.4

В.Е. Ольшанецкий, профессор, д-р техн. наук,

Г.В. Снежной, доцент, канд. физ.-мат. наук

Запорожский национальный технический университет,

ул. Жуковского, 64, г. Запорожье, Украина

E-mail: snow@zntu.edu.ua

МЕТОД ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ МАРГАНЦА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА АУСТЕНИТНЫХ СТАЛЕЙ С ПОМОЩЬЮ ПАРАМАГНИТНОГО КРИТЕРИЯ χ_0

Показана связь механических свойств высокомарганцевых сталей с магнитным состоянием аустенитной матрицы, а именно с парамагнитной восприимчивостью χ_0 . Предлагается использовать эту характеристику в качестве эффективного фактора прогнозирования механических свойств аустенитных материалов в зависимости от содержания в них марганца.

Ключевые слова: *аустенит, удлинение, сужение, износостойкость, дислокация, мартенсит деформации, парамагнитная восприимчивость.*

Высокомарганцевым сталям присущ комплекс ценных свойств, обуславливающих их применение в металлургии и машиностроении для производства траков гусеничных машин, коронок землеройных машин, износостойких мелющих тел и т.д. В процессе эксплуатации этих изделий происходят фазово-структурные превращения, например при пластической деформации – мартенситное $\gamma \rightarrow \alpha'$ превращение (α' – мартенсит деформации), которое вместе с отдельными группами дислокаций может оказывать существенное влияние на механические и технологические характеристики аустенитных материалов.

Известно, что на мартенситное превращение в аустенитных высокомарганцевых сталях существенно влияют химический состав, микроструктура, температура деформации, величина механического напряжения, облучение частицами и др. Поэтому повышение качества изделий из таких материалов возможно с помощью формирования требуемой структуры путем варьирования содержания марганца.

В качестве высокоточного индикатора структурных изменений и механических свойств может служить парамагнитная восприимчивость χ_0 аустенита, которая как высокочувствительная характеристика способна отражать особенности влияния температуры и давления [1], а также еще и химического состава (т.е., содержания Mn, C, Si и др. элементов) на общее состояние и свойства аустенитной фазы.

Объекты исследования и методы их испытаний. Высокомарганцевые стали с различным содержанием марганца были получены в индукционных тигельных электропечах в виде слитков 100x100x200 мм, а затем для аустенизации подвергнуты закалке в воду от 1050°C (выдержка 3 часа). Содержание других элементов выдерживалось в пределах химического состава для стали 110Г13Л по стандарту ГОСТ 977-88. Химический состав исследуемых сталей приведен в таблице. Образцы для механических испытаний и магнитометрических исследований вырезали из средней части слитков, которые представляли однородную исходную микроструктуру.

Таблица – Химический состав исследуемых аустенитных сталей

№ стали	Марка стали	Элемент, масс. %						
		C	Mn	Si	S	P	Cr	Al
1	Г8Л	1,14	8,6	0,66	0,04	0,088	0,1	0,019
2	Г10Л	1,20	9,7	0,47	0,016	0,09	0,1	0,018
3	Г10Л	1,19	10,5	0,45	0,015	0,10	0,01	0,022
4	Г10Л	1,30	10,7	0,87	0,014	0,084	0,1	0,021
5	Г13Л	1,16	13,8	0,76	0,016	0,092	0,1	0,018

Испытания на разрыв проводили на машине УРМ-50, а предел прочности при растяжении на разрыв, относительные удлинение и сужение определяли в соответствии с ГОСТ 1497-84. Микротвердость измеряли с использованием прибора ПМТЗ при нагрузке 50г по стандартной методике. Относительную износостойкость K после ударно-абразивного изнашивания определяли в лабораторной шаровой мельнице по относительной потере веса эталонного и опытного образцов, а в качестве эталона использовали сталь 20 (деформированный пруток сечением 10x10 мм²) с химическим составом (масс. %): C – 0,19; Mn – 0,56, Si – 0,26, Cr – 0,25 и твердостью HB = 126 ед.

Для построения номограмм, на основании которых возможно прогнозировать механические свойства, исходя из величины удельной парамагнитной восприимчивости χ_0 аустенита, использованы

значения показателей предела прочности (σ_b), относительного удлинения (δ) и сужения (ψ), ударно-абразивной износостойкости (K) и микротвердости. Определение парамагнитной восприимчивости χ_0 аустенита производили на специальной высокоточной аппаратуре [2] с использованием экстраполяционных методов [3].

Следует отметить, что выбор χ_0 в качестве критерия (индикатора механических свойств) позволяет учесть при прогнозировании механических свойств не только влияние содержания марганца (который является основным аустенизатором в исследуемых материалах), но и содержания некоторых других входящих в состав стали элементов (прежде всего углерода).

Результаты и их обсуждение. После обработки результатов экспериментальных исследований были построены номограммы, на основании которых можно прогнозировать механические свойства высокомарганцевых сталей. В левой части первой номограммы (рис.1) представлены значения управляющего параметра (содержание Mn) и критерия χ_0 . В правой ее части содержатся прогнозируемые механические свойства: предел прочности σ_b , относительное удлинение δ и сужение ψ . На номограмме указаны четыре сектора (маркировка от I до IV), каждый из которых ограничен экспериментально найденными значениями. Например, если удельная парамагнитная восприимчивость χ_0 аустенита исследуемой высокомарганцевой стали лежит в пределах интервала I, т.е. от 2,37 до 2,81 $\cdot 10^{-8}$ м³/кг, то прогнозируемая величина предела прочности будет находиться в интервале от 72,3 до 82,8%. Аналогичные рассуждения справедливы и для относительного удлинения (сужения).

Предложенная номограмма может быть использована в производственных условиях для прогнозирования механических свойств, а именно показателей прочности и пластичности.

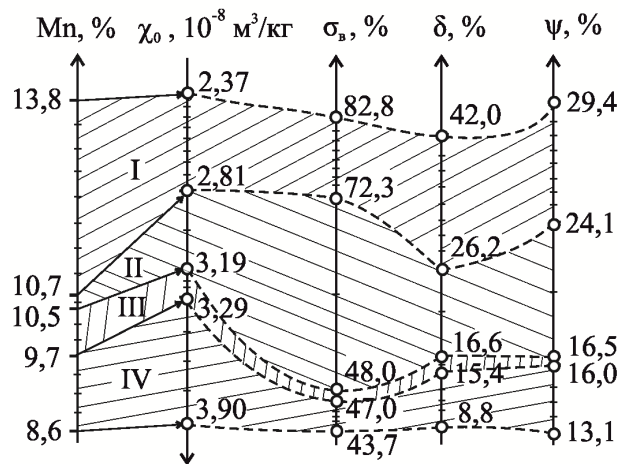


Рисунок 1 – Номограммы для прогнозирования механических (пластичных) свойств высокомарганцевых сталей с помощью парамагнитного критерия χ_0

Из номограммы на рисунке 1 видно, что с увеличением содержания марганца параметр χ_0 уменьшается, а показатели пластичности возрастают. Эту особенность в поведении указанных механических характеристик можно объяснить следующим образом. По литературным данным [4], марганец эффективно снижает энергию дефектов упаковки и тем самым облегчает образование и скольжение растянутых дислокаций с одновременным увеличением прочности (благодаря явлению твердорастворного упрочнения аустенита легирующей добавкой марганца). Расщепление элементарных решеточных дислокаций позволяет обеспечить возможность легкого скольжения при переходе растянутых дислокаций в аналогичные плоскости пересекающие начальные.

Следует отметить, что ударно-абразивная износостойкость изменяется в противоположную сторону относительно характера изменения содержания марганца (вторая номограмма на рисунке 2). Т.е. при содержании Mn 8,6% этот показатель K оказывается более высоким, чем при содержании 13,8% того же элемента.

Такой неожиданный факт в поведении рассматриваемой механической характеристики можно попытаться объяснить следующим образом. Поскольку, как уже отмечалось выше, марганец уменьшает энергию дефектов упаковки и тем самым способствует расщеплению большого числа полных (элементарных) дислокаций, то это стимулирует процесс переброса скольжения из одной плоскости в другую. Кроме того, в указанной стали (13,8% Mn), при ударно-абразивном изнашивании практически не образуется мартенсит деформации, что также уменьшает степень наклепа поверхностного слоя.

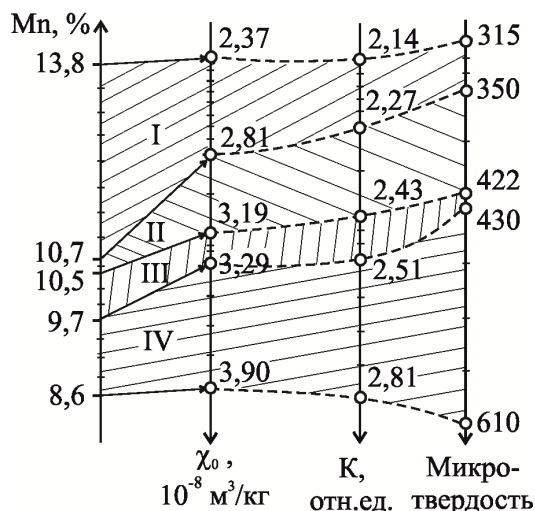


Рисунок 2 – Номограммы для прогнозирования механических (ударно-абразивных) свойств высокомарганцевых сталей с помощью парамагнитного критерия χ_0

При содержаниях же марганца порядка 8,6%, по-видимому, эффект расщепления полных дислокаций выражен слабее, что благоприятствует накоплению нерасщепленных элементарных дислокаций у препятствий с образованием дислокационных клубков и сплетений. Это должно резко увеличить твердость поверхностного слоя аустенита, и, к тому же, в этом случае следует ожидать активное образование заметных количеств очень твердых износостойких участков мартенсита деформации. Структура получаемого поверхностного слоя, по всей видимости, становится (при дальнейшем измельчении зерна в процессе деформации) аморфно-кристаллической.

Исключительный интерес представляет зависимость микротвердости от магнитного состояния аустенита, которая также представлена на этой номограмме (рисунок 2). Как видим, уменьшение микротвердости соответствует понижению параметра χ_0 .

Попытаемся объяснить уменьшение микротвердости следующим образом. Поскольку при измерении микротвердости использовались нагрузки, приводящие к исключительно малой локальной деформации (при вдавлении индентора), то из-за очень низкой энергии дефектов упаковки должно происходить активное расщепление полных дислокаций, что облегчает их легкое скольжение и повышает тем самым большую глубину проникновения индентора. При этом, несмотря на заметные длины свободного пробега дислокаций при малых локальных деформациях, растянутые дислокации не успевают создать отдельные скопления, которые были бы способны заметно повлиять на микротвердость в направлении ее увеличения.

Вывод. Исходя из приведенных номограмм, можно отметить наличие хорошей связи между механическими свойствами и парамагнитной восприимчивостью χ_0 аустенита, что дает возможность использовать эту характеристику в качестве эффективного критерия прогнозирования механических свойств аустенитных материалов в зависимости от содержания в них марганца.

Библиографический список использованной литературы

1. Снежной Г.В. О возможности контроля малых деформаций аустенитных хромоникелевых сталей магнитометрическим методом / Г.В. Снежной // Авиационно-космическая техника и технология. — 2010. — № 9 (76). — С. 131–135.
2. Сніжної Г.В. Автоматизована установка для визначення магнетної сприйнятливості криць та стопів / Г.В. Сніжної, Є.Л. Жавжаров // Збірник наукових праць "Вісник Національного технічного університету України "Київський політехнічний інститут". Серія: Радіотехніка. Радіоапаратобудування". — 2012. — № 49. — С. 136–141.
3. Ольшанецкий В.Е. О высокоточной оценке истинных мартенситных точек в специальных сталях аустенитного и аустенитно-мартенситного классов при изменении температурно-силовых факторов / В.Е. Ольшанецкий, Г.В. Снежной // Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. — 2012. — № 1. — С. 15–21.
4. Гольдштейн М.И. Специальные стали. Учебник для вузов / М.И. Гольдштейн, С.В. Грачев, Ю.Г. Векслер. — М.: Металлургия, 1985. — 408 с.

Поступила в редакцию 3.04.2013 г.

Ольшанецкий В.Ю., Сніжної Г.В. Метод оцінки впливу мангана на механічні властивості аустенітних сталей за допомогою парамагнетного критерію χ_0

Показано зв'язок механічних властивостей високоманганових сталей з магнетним станом аустенітної матриці, а саме з парамагнетною сприйнятливістю χ_0 . Пропонується використовувати цей параметр в якості ефективного чинника прогнозування механічних властивостей аустенітних матеріалів в залежності від вмісту в них мангану.

Ключові слова: аустеніт, подовження, звуження, зносостійкість, дислокація, мартенсит деформації, парамагнетна сприйнятливість.

Ol'shanetskiy V.E., Snizhnoi G.V. Method of manganese effect evaluation on the mechanical properties of austenitic steel with a paramagnetic parameter χ_0

The relationship between mechanical properties of high-manganese steel with a magnetic state of austenite matrix, namely, the paramagnetic susceptibility χ_0 , is shown. This characteristic as an effective factor for prediction of mechanical properties of austenitic materials, depending on the content of manganese is proposed to use.

Keywords: austenite, elongation, constriction, durability, stretched dislocation, deformation martensite, paramagnetic susceptibility.