

¹В. И. Тихонович, д-р техн. наук, проф.,

²В. В. Тихонович, канд. физ. мат. наук, старш. науч. сотр.,

¹К. Ю. Герман, млад. науч. сотр.

РОЛЬ ПРИНЦИПА МЕТАСТАБИЛЬНОСТИ АУСТЕНИТА ПРИ РАЗРАБОТКЕ ИЗНОСОСТОЙКИХ ВЫСОКОХРОМИСТЫХ ЧУГУНОВ (ОБЗОР)

¹Физико-технологический институт металлов и сплавов НАН Украины,
eto@ptima.kiev.ua

²Институт металлофизики им.Г.В. Курдюмова НАН Украины

Обобщены результаты исследований, в которых показана эффективность повышения износостойкости высокохромистых чугунов за счет получения в их структуре наряду с другими составляющими (мартенситом, карбидами и др.) метастабильного аустенита, превращающегося при нагружении в мартенсит (эффект самозакалки при нагружении). При этом необходимо с учетом химического, фазового состава сплавов, а также условий изнашивания регулировать соотношение структурных составляющих, развитие мартенситных превращений при изнашивании, а также использовать различные механизмы упрочнения и сопротивления разрушению сплавов.

Одной из основных тенденций современного материаловедения является создание материалов с метастабильными структурами, способными под влиянием внешних воздействий к самоорганизации. Это позволяет им адаптироваться к условиям нагружения и приобретать необходимые свойства. При этом реализуется наиболее энергетически выгодное квазистационарное состояние. Применительно к высокохромистым чугунам мы рассматриваем превращения, вызванные деформацией аустенитной матрицы при абразивном воздействии. Показательны примеры, когда сплавы в состоянии после закалки, имея нестабильную, аустенитную структуру при малом количестве карбидов (около 6 %) и относительно низкой твердости (HRC = 46), обладают в 4–5 раз более высокой износостойкостью по сравнению с мартенсито-карбидным состоянием после закалки при высокой твердости (HRC = 62–63) и большом количестве карбидов (до 16 %) [1]. В данном случае энергия,

передаваемая от абразива материалу, в значительной мере расходуется на мартенситные превращения, в результате чего сдерживаются процессы накопления в локальных объемах предельной энергии, достаточной для преодоления сил межатомных связей и образования новых поверхностей. Метастабильное состояние матрицы закладывается при выборе химического состава сплава. При этом наличие фазовых превращений должно рассматриваться с точки зрения обеспечения наиболее высокой энергоемкости. Наряду с деформационным мартенситным превращением имеет место динамическое деформационное старение аустенита и мартенсита, связанное с выделением избыточных карбидных, карбидонитридных и интерметаллидных фаз, плюс измельчение зерна, двойникование, увеличение плотности. Но во всем этом наиболее важную роль в формировании свойств играют деформационные $\gamma \rightarrow \alpha$ превращения. А вот характер превращения, количество мартенсита, образовавшегося к моменту разрушения, определяются стабильностью аустенита, которую нельзя оценить положением мартенситной точки. Факторами, стабилизирующими аустенит, являются обогащение аустенита легирующими элементами, формирование при деформации более 60 % мартенсита и ячеистой структуры [2]. При повышенной стабильности аустенита необходимо обеспечить снижение энергии дефектов установки (ЭДУ) до необходимого уровня соответствующим легированием.

Дестабилизация аустенита вызывается выделением карбидов, карбонитридов и других фаз, приводящих к обеднению аустенита углеродом, азотом и легирующими элементами. Степень деформационной метастабильности аустенита может регулироваться температурой нормализации, продолжительностью выдержки при аустенизации и изменением содержания легирующих элементов. При этом изменяется положение критических точек (M_n , M_k) под влиянием легирования, а также имеет место различная степень растворения карбидов в аустените и его насыщение углеродом и легирующими элементами [3]. В процессе деформационных мартенситных превращений происходит не только упрочнение, но и релаксация напряжений в момент бездиффузионной перестройки кристаллической решетки, что останавливает разрушение микрообъемов металла подвергнутых воздействию абразива [4]. Каждый фазовый переход сопровождается релаксацией напряжений вследствие объ-

емных изменений при образовании новых фаз. Фазовые превращения ($\gamma \rightarrow \alpha$; $\varepsilon \rightarrow \gamma$) идут с увеличением объема, $\gamma \rightarrow \varepsilon$ с уменьшением. Параллельно материал упрочняется, повышается общее сопротивление пластическим сдвигам. Матрица получает ряд “отдыхов” в процессе нагружения и это значительно увеличивает ее стойкость. При этом скорость протекания превращений в чугуна должна быть соизмерима со скоростью приложения нагрузки.

Кроме изменения фазового состава на перераспределение напряжений в микрообъемах оказывает влияние дробление блоков мозаики, измельчение зерен, движение и взаимодействие дислокаций.

На мартенситное превращение расходуется большая часть энергии внешнего воздействия и лишь часть ее идет на разрушение. Можно отметить, что даже при небольшом количестве остаточного аустенита (9~20 %) его превращение при деформации в мартенсит обеспечивает повышение энергоемкости разрушения более чем в два раза по сравнению со стабильной мартенситной структурой [5].

В зависимости от выбранной системы легирование хромистого чугуна в матрице сплава может быть хромомарганцевый либо хромоникелевый аустенит. Марганцевый и никелевый аустенит имеют различную склонность к упрочнению, причем эти различия усиливаются с увеличением скорости деформации. При локальном динамическом и импульсном нагружении марганцевый аустенит упрочняется значительно сильнее, чем никелевый [4]. Микрообъемы марганцевого аустенита принимают более активное участие в пластической деформации, чем у никелевого. Происходит волнообразующее перемещение максимальной деформации от одного объема к другому, в результате чего локальность деформации снижается, деформация более равномерно распределяется, чем в никелевом аустените [6]. Различие в упрочнении марганцевого и никелевого аустенита связано с разной энергией дефектов упаковки и разной подвижностью дислокаций в них. Марганцевый аустенит имеет более низкую энергию дефектов упаковки, меньшую величину блоков и большую величину микроискажений [7]. Подвижность дислокаций в марганцевом аустените меньше, чем в никелевом [8]. Наблюдается различная способность атомов марганца и никеля сегрегировать на разного рода несовершенствах кристаллического строения и, соответственно, влиять на электронную струк-

туру твердого раствора на основе железа [5]. Причем важной оказывается не только сегрегационная способность самих атомов легирующих элементов, но и их влияние на сегрегационную способность углерода [9]. Установлено, что мартенсит деформации отличается от мартенсита термообработки большей дисперсностью. Показано [10], что при значительных внешних напряжениях, сопровождаемых большими степенями деформации, которые имеют место в реальных условиях гидроабразивного изнашивания при наличии в пульпе 50 – 60 % абразивных частиц, структура мартенсита становится настолько дисперсной, что теряет характерное игольчатое строение. Дисперсность игл мартенсита деформации обеспечивает его большую пластичность и способствует увеличению износостойкости. Для различных условий нагружения следует иметь разные количество и степень стабильности остаточного аустенита. Высокий уровень прочностных свойств при достаточной пластичности обеспечивает структура нижнего бейнита и небольшое количество остаточного аустенита, постепенно превращающегося при нагружении в мартенсит [11]. Для обеспечения же высокого уровня абразивной износостойкости следует стремиться иметь в структуре повышенное количество метастабильного аустенита ($\geq 50\%$), превращающегося интенсивно в мартенсит ($\Delta M \geq 40\%$) под воздействием абразивных частиц. Сопоставление кривых износа и кинетики мартенситного превращения в процессе изнашивания хромистых чугунов [12] с различным содержанием хрома показало, что между ними существует определенная связь. Чем выше интенсивность мартенситообразования, особенно при установившемся износе, тем ниже интенсивность износа и выше, в конечном итоге, износостойкость чугунов. Управление кинетикой и степенью деформационной метастабильности позволяет компенсировать необходимость легирования дефицитными легирующими элементами при создании высокоизносостойких чугунов предназначенных для работы в абразивных средах.

Список литературы

1. Попов В.С., Нагорный П.Л., Шумикин А.Б. Связь между износостойкостью и энергией разрушения упрочняющей фазы сплавов //ФХММ. – 1971. – № 1. – С. 41–47.

2. Малинов Л.С. Использование принципа получения метастабильного аустенита, регулирование его количества и стабильности при разра-

ботке экономнолегированных сплавов и упрочняющих обработок//МиТОМ, 1996. –№2. – С. 35–39.

3. *Чейлях А.П., Олейник И.М., Локишина Е.Б., Тельця А.В.* О влиянии фазовых превращений на износостойкость сплавов с метастабильным аустенитом //Металлы. – 2000. – № 1. – С. 66–71.

4. Малинов Л.С. Стали и чугуны с метастабильным аустенитом и эффектом самозакалки при нагружении – разновидность адаптационных материалов, повышающих свои свойства при внешнем воздействии за счет самоорганизации структуры // Металл и литье Украины. – 2003. –№ 11–12. – С. 3–9.

5. *Гольдштейн М.И.* Металлофизика высокопрочных сплавов / М.И. Гольдштейн, В.С.Литвинов, Бронфин Б.М // – М.: Металлургия, 1986. – 342 с.

6. *Богачев И.Н.* Особенности пластической деформации марганцевого и никелевого аустенитных сплавов / И.Н. Богачев, В.С. Литвинов, Р.И. Минц // ФММ. – 1963. – Т. 16, №4. – С.596–602.

7. *Литвинов В.С.* Изучение некоторых дефектов кристаллической структуры никелевого и марганцовистого аустенита сплавов // В.С. Литвинов, Д.А. Мирзоев, Р.С. Шкляр // ФММ.– 1964. – Т.3 17, №4. – С.467–468.

8. *Марьевич В.Н.* Внутреннее трение в никелевом и марганцевом аустените / В.Н. Марьевич, Р.С.Шкляр // ФММ. – 1963. – Т. 15, №6. – С.914–918.

9. *Петров Ю.Н.* О влиянии легирования на энергию дефекта упаковки аустенита в сталях / Ю.Н. Петров // Металлофизика. – 1984. – Т.6, № 4. – С. 53–57.

10. *Бобро Ю.Т.* Особенности износа поверхностных слоев деталей песковых насосов / Ю.Т. Бобро, М.Ф. Баранов, О.И. Коваленко, П.Е. Порядченко //Трение и износ. – 1981. – Т. 11, № 6. – С. 1108–1111.

11. *Малинов Л.С., Чейлях А.П., Харланова Е.Я. и др.* Повышение абразивной износостойкости цементированных сталей 18ХГТ и 12ХНЗА за счет получения метастабильного аустенита.

12. *Чейлях А.П., Олейник И.М., Локишина И.М., Лукьянскова А.Н.* Износостойкие чугуны с метастабильным аустенитом /Мета-лы и литье Украины, 1/95. – С. 30–35.

Тихонович В.І., Тихонович В.В., Герман К.Ю. Роль принципу метастабільності аустеніту при розробці зносостійких високохромистих чавунів (Огляд)// Проблеми тертя та зношування: наук. – техн. зб. –К.: НАУ, 2012. – Вип. 58. –С. 180–185.

Узагальнені результати досліджень, в яких показана ефективність підвищення зносостійкості високохромистих чавунів за рахунок отриман-

ня в їх структурі поряд з іншими складовими (мартенситом, карбідами та ін.) метастабільного аустеніту, що перетворюється при навантаженні в мартенсит (ефект самогартування при навантаженні). При цьому необхідно з урахуванням хімічного, фазового складу сплавів, а також умов зношування регулювати співвідношення структурних складових, розвиток мартенситних перетворень при зношуванні, а також використовувати різні механізми зміцнення і опору руйнуванню сплавів.

Tikhonovich V.I., Tikhonovich V.V., German K.Yu. **The role of the principle of metastability of austenite in the development of wear-resistant high-chromium cast iron (Review).**

The results of research, in which the effectiveness of increasing wear resistance of high-chromium cast irons due to their structure in line with other components (martensite, carbides, etc.) metastable austenite, turning under weight in the martensite (the effect of self-hardening under weight). For this is necessary to take in account the chemical and phase composition of the alloy, as well as the conditions of wear adjust the ratio of the structural components, development of martensite transformations with wear, and also use different mechanisms of strengthening and resistance to the destruction of the alloys.

Стаття надійшла до редакції: 13.11.2012