

УДК 621

О.Н. Шагарова, к.т.н., доц., Московский государственный горный университет

E-mail: kaftmr@msmu.ru

Характеристика структуры металлической матрицы и износостойкость поверхностей при микроударном воздействии

Проанализировано влияние типа металлической матрицы на сопротивляемость железоуглеродистых сплавов абразивному изнашиванию. Показано влияние углерода и легирующих элементов на износостойкость железоуглеродистых сплавов.

Ключевые слова: структура металлической матрицы, абразивное изнашивание, износостойкость поверхностей, микро ударное воздействие.

O.N. Shagarova

The Characteristic of Structure of a Metal Matrix and Wear Resistance of Surfaces at Micro Shock Influence

The analysis influence of type of a metal matrix on resistibility of alloys of iron with carbon to abrasive wear process is resulted. Influence of carbon and alloying elements on wear resistance of these alloys is shown.

Keywords: structure of a metal matrix, abrasive wear process, wear resistance of surfaces, micro shock influence

Основную роль сопротивляемости железоуглеродистых сплавов при микроударном воздействии большинство исследователей отводят карбидам [1,2,3]. Однако, как следует из работы [4] влияние типа металлической матрицы на сопротивляемость железоуглеродистых сплавов абразивному изнашиванию имеет не меньшее значение. Матрица должна сама противостоять абразивному воздействию и прочно удерживать карбиды, не допуская их выкрашивание и вымывание.

В принципе, все многообразие железоуглеродистых сплавов основано на сочетании карбидов и трех видов матриц:

1. Феррита – твердого раствора углерода в низкотемпературной (<727⁰C) модификации α -Fe. Растворимость углерода не более 0,02%.
2. Мартенсита – пресыщенного раствора углерода в α -Fe.
3. Аустенита – твердого раствора внедрения углерода в высокотемпературной модификации γ -Fe. Переохлажденный аустенит обладает высокой ударной вязкостью. Растворимость углерода при

температуре 1147⁰С составляет 2,14% по массе, при температуре 727⁰С – 0,8%.

Не являются исключением и промежуточные структуры матриц, представляющие собой смесь феррита с карбидами различной дисперсности. Это перлит, сорбит, тростит, бейнит.

В табл. 1 приведены данные по сопротивляемости металлических матриц микроударному разрушению.

Таблица 1

Сопротивляемость металлических матриц микроударному разрушению

Структура матрицы	Твердость, НВ	Потери массы за 10 часов испытаний, мг.
Феррит	8	996,4
Аустенит	170	218
Перлит	235	246
Сорбит	302	164,9
Тростит	430	89,5
Бейнит	460	44,2
Мартенсит (углерода >1%)	683	6,9

Из приведенных в табл. 1 данных видно, что однофазовые железоуглеродистые сплавы феррит и аустенит подвержены максимальному изнашиванию. Гетерогенные структуры перлит, сорбит, тростит, бейнит с наличием карбидов увеличивает износостойкость по мере увеличения дисперсности структуры. Мартенсит, как пресыщенный твердый раствор γ -Fe является однофазовой структурой, обладающей большой твердостью и прочностью, что связано с большим содержанием углерода (>1%).

В гетерогенных сплавах при микроударном воздействии вначале деформируются менее твердые составляющие, например, в железоуглеродистых материалах разрушение начинается с феррита, имеющего твердость НВ8 единиц, а затем распространяется на зерна более твердого перлита, степень деформации которого зависит от его строения. Пластинчатый перлит оказывает большее сопротивление пластической деформации, чем зернистый. При зернистой форме основное поле в структуре перлита занято ферритом, вследствие чего сопротивление пластической деформации уменьшается. В перлитных сталях очаги разрушения сначала возникают в ферритной сетке или на границе раздела между ферритом и карбидами [5].

Разрушение аустенита и феррита чаще всего начинается с границ зерен. Прочность границ зависит от их строений. При микроударном воздействии на процесс изнашивания большое влияние оказывает величина зерна.

В мелкозернистой структуре границы зерен могут быть настолько прочными, что разрушение развивается только в теле зерна [6]. Разрушение кристалла происходит по линиям скольжения. Установлено,

что с уменьшением размера зерен число трещин, разрушающих кристаллы по линиям скольжения, уменьшается [6]. Можно предположить, что мелкие зерна более правильно ориентированы одно по отношению к другому, чем крупные. Границы мелких зерен более совершенны, и следовательно, более прочны, чем границы крупных зерен. Этим и объясняется, что металлы с мелкозернистой структурой как правило имеют более высокую сопротивляемость микроударному разрушению, чем металлы с крупнозернистой структурой.

С позиции дислокационной теории это можно связать со следующим выражением [7]:

$$\sigma = \frac{\delta B}{Z},$$

где σ - напряжение, необходимое для движения дислокации; δ - модуль сдвига; B – вектор Бюргерса; Z – расстояние между частицами твердой среды в плоскости скольжения.

Анализ представленной зависимости показывает, что чем меньше расстояние между частицами упрочняющей фазы, тем выше напряжение, необходимое для движения дислокации и, следовательно, меньше интенсивность изнашивания материала. Поэтому с повышением дисперсности зерен усиливается эффект торможения дислокаций, что вызывает рост износостойкости. Этот вывод о величине зерна структуры является основополагающим и распространяется не только на структуру металлических матриц, но и зерна твердой фазы (карбидов), которые она удерживает на изнашиваемой поверхности при микроударном воздействии.

В случае разрушения кристалла по линии скольжения сначала зарождаются усталостные трещины, они начинают развиваться и распространяться в соседнем кристалле, в направлении линии пересечения плоскости скольжения с верхней поверхностью кристалла, причем, при мелкозернистом строении трещины чаще всего проходят через зерна, а не по их границам [8].

При деформации микрообъемов аустенита (твердость HB170 единиц) происходит его распад с образованием мартенсита (твердость HB683 единицы) вследствие чего его сопротивляемость возрастает. При наличии в структуре феррита и аустенита разрушению подвергаются вначале зерна феррита, а затем аустенита.

Наиболее высокое сопротивление разрушению при микроударном воздействии оказывает мартенсит. Пластическая деформация мартенсита вызывает его распад, что приводит вначале к некоторому его упрочнению, а затем - разупрочнению и разрушению.

С увеличением содержания углерода в стали растет коэффициент упрочнения аустенита при деформации. Это обусловливается выделением дисперсных карбидов из аустенита. При этом углерод резко снижает мартенситную точку и при соответствующем его содержании обуславливает получение матрицы, способной при комнатной температуре

к превращению в процессе микроударного воздействия образовывать мелкодисперсные карбиды. Эти карбиды не только увеличивают твердость, но и способствуют ее более равномерному распределению по объему матрицы, что значительно повышает энергоемкость металлической поверхности и этим увеличивает сопротивляемость изнашиванию.

Кроме углерода для увеличения износостойкости железоуглеродистых сплавов применяют легирующие элементы. Их по отношению к углероду в железоуглеродистых сплавах можно разделить на две группы [9]:

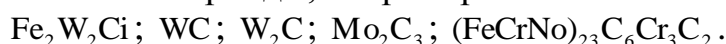
1. Элементы, не образующие карбиды. Это никель, кремний, кобальт, алюминий, медь.

2. Карбидообразующие элементы. Сюда относятся: хром, марганец, вольфрам, молибден, ванадий, титан, ниобий, тантал, цирконий.

Карбидообразующие элементы по степени возрастающего сродства к углероду располагаются в следующий ряд:



В железоуглеродистых сплавах они могут образовывать как простые, так и сложные карбиды, например:



В табл. 2 приведены данные по сопротивляемости легированных металлических матриц микроударному воздействию при абразивном изнашивании.

Таблица 2

Сопротивляемость легированных металлических матриц микроударному разрушению

Структура матрицы	Степень легирования	Твердость, НВ	Потери массы за 10 часов испытаний, мг.
Феррит	Легированный		
	Хромом – 25% Молибденом – 2%	168 153	284,8 168,2
Аустенит	Легированный		
	Никелем – 25%	170	218,3
	Никелем – 9%; хром – 18% Марганец – 12%; хром – 14%	179 183	198,6 64,4
Перлит	Легированный		
	Хром – 0,8%; никель – 1,5%	248	204,8
	Никель – 1,5%; молибден – 0,8% Хром – 1%; ванадий – 0,5%	255 241	198,2 242,3
Мартенсит	Легированный		
	Хром – 12%; ванадий – 0,8%	627	8,2
	Хром – 12%; молибден – 0,6% Хром – 12%	652 683	5,9 7,5

Сравнивая данные по потере массы нелегированных металлических матриц (табл.1) и легированных (таблица 2) можно сделать вывод, что легирование значительно повышает износостойкость металлических матриц. В тоже время следует заметить, что твердость матрицы не всегда сопутствует ее меньшей потере матрицы. Потеря массы зависит не только от твердости структуры матрицы, но и от дисперсности самих структур.

Меньшая дисперсность предполагает меньшие потери массы, а некоторые легирующие элементы способствуют измельчению структурного зерна. К таким легирующим элементам относятся: бор, титан, молибден, цирконий и ванадий. Они помимо обеспечения образования карбидов, боридов и нитридов, способствуют созданию мелкозернистых структур.

Следует особо остановиться на легировании железуглеродистых сплавов марганцем. Он способствует упрочнению аустенита и образованию из него мартенситной структуры.

Широкое применение, особенно при ударно-абразивном изнашивании, получили литые высокомарганцовистые стали типа *110Г13Л*. В исходном литом состоянии они имеют аустенитную структуру с незначительным содержанием мартенсита и включением карбидов. После закалки, фиксирующей аустенитную структуру, эти стали приобретают высокую прочность при значительной вязкости, и могут переносить большие удельные внешние и ударно-импульсные нагрузки. Достигнутые высокие показатели ударной вязкости, прочности и пластичности, обеспечиваются соотношением легирующих элементов $\frac{Mn}{C} \geq 10$. Этот комплекс свойств, с учетом микроударного воздействия абразивных частиц и переходом в результате этого аустенитной структуры в мартенсит, придает стали высокую износостойкость при ударных нагрузках и больших удельных давлениях.

Целенаправленно применяя металлические матрицы различных структур железуглеродистых сплавов, исходя из их твердости и дисперсности, полученных методом легирования, можно управлять в определенных пределах износостойкостью поверхности при микроударном воздействии.

Список литературы

1. **Хрущев М.М., Бабичев М.А.** Сопротивление абразивному изнашиванию и твердость материалов. Доклады А.Н.ССР, 53. т.88, №3, с.445-448.
2. **Виноградов В.Н., Сорокин Г.Н.** Износостойкость стали и сплавов, М. Нефть и газ, 1994, с.413
3. **Шагарова О.Н.** Обоснование свойств карбидокремниевых композитов. М. МГТУ, ГИАБ, №6, 2010
4. **Брыков М.Г.** Влияние типа металлической матрицы на сопротивляемость железуглеродистых сплавов абразивному изнашиванию. Новые материалы и технологии в металлургии и машиностроении. Сб. научн. статей. ЗГТУ, 1997, №1, с. 26-27.
5. **Фомин В.В.** Гидроэрозия металлов. М. Машиностроение, 1977.
6. **Кларк R.N.** Recent Invesligatios of Cavitation and cavitation Damage "Transaction of the A.S.M.E.", V.76, 1954.
7. **Нотт Дж.Ф.** Основы механики разрушения. Пер. с англ. Лаптева Д.В. под ред. Кудряшова В.Г. М. Металлургия, 1978, 257 с.
8. **Фомин В.В., Маринин А.А.** Сопротивляемость перлитных сталей гидроэрозионному разрушению. В сб. статей мурманского областного НТО, вып. VII, М Пищевая промышленность 1968, с. 58-64.
9. **Химическая** энциклопедия. Том 2, М. Советская энциклопедия 1990.