**Low-Carbon Steels (Hypoeutectoid Steels)**

The iron-carbon phase diagram provides a temperature-composition map of where the two phases, austenite and ferrite, will occur. It also indicates where mixtures of these two phases can be expected, just like the slush region on the ice-salt phase diagram. A portion of the iron-carbon phase diagram is shown in Fig. 3.3, and it is seen that there is a strong similarity to the salt diagram of Fig. 2.2. In pure iron, austenite transforms to ferrite on cooling to 912 °C (1674 °F). This transition temperature is traditionally called the A3 temperature, and the diagram shows that, just as adding salt to water lowers the freezing point of water, adding carbon to iron lowers the A3 temperature. Whereas the maximum lowering occurs at what is called the eutectic point in water-salt, a similar maximum lowering occurs in iron-carbon, but here it is called the eutectoid point and also the pearlite point. The eutectoid point represents the temperature and composition on the phase diagram where a eutectoid reaction occurs, that is, a reaction where one solid transforms into two solids. The eutectoid point in the iron-carbon system has a composition of 0.77% C, and steels with compositions less than this value are called hypoeutectoid steels. The eutectoid temperature is traditionally called the A1 temperature.

Steels that are 100% austenite must have temperature-composition coordinates within the upper central dark area of Fig. 3.3. Steels that are ferrite must have temperature-composition coordinates in the skinny dark region at the left side of Fig. 3.3. The maximum amount of carbon that will dissolve into ferritic iron is only 0.02%, which occurs at the eutectoid temperature of 727 °C (1340 °F). This means that ferrite is essentially pure iron, because it is always 99.98% or purer with respect to carbon. Notice, however, that austenite may dissolve much more carbon than ferrite. At the eutectoid temperature, austenite dissolves 0.77% C, which is roughly 38 times more carbon than ferrite will hold at this temperature. Austenite holds more carbon than ferrite, because the holes between iron atoms are larger in the fcc structure than the bcc structure.

Remember that in the salt-water phase diagram, the shaded slush region mapped the temperature-composition points where one obtains slush, a mixture of water and ice. Similarly, the central shaded region of Fig. 3.3 labeled α + γ maps temperature-composition points where steel consists of a mixture of ferrite and austenite. Suppose a hot stage microscope is used to look at a polished steel having a composition of 0.4% C after it had been heated to 760 °C (1400 °F). Because this temperature-composition point lies in the central haded region labeled α + γ, the steel must be a mixture of ferrite and austenite, an example of which is shown at the bottom of Fig. 3.3. The phase diagram also gives information about the composition of the two phases. The austenite grains must have the composition given as N and the ferrite the composition given as M in Fig. 3.3.

As a further illustration of the usefulness of the phase diagram, consider the following simple experiment. A steel of composition 0.4% C is ﬁrst heated to 850 °C (1560 °F) and held for approximately 10 min. After this short hold, all the grains in this steel would consist of pure fcc austenite grains with a composition of 0.4% C. To make the illustration simple, imagine looking at the steel in a hot stage microscope and seeing a region of only three grains, as shown in Fig. 3.4. Now, imagine the hot stage temperature is reduced to 760 °C (1400 °F), and the sample slowly cools to this temperature. What happens to the microstructure? According to the phase diagram, the steel, after cooling, must become two phases, a mixture of austenite and ferrite. Experiments show that the ferrite that forms in the pure austenite as it cools virtually always forms on the austenite grain boundaries. This is illustrated in the lower microstructure of Fig. 3.4, where the ferrite has formed as a number of α grains along the prior-austenite grain boundaries. Comparing the microstructure at the right side of Fig. 3.4 to that at the bottom of Fig. 3.3 reveals similarities and differences. They are similar in that both contain a mixture of ferrite and austenite grains with the same volume fraction of each, but they are different in that the distribution of the ferrite grains is quite different. The microstructure of Fig. 3.3 will generally be formed on heating the steel from room tem- perature to 760 °C (1400 °F). Thus, this example illustrates one of the fascinating aspects of steels: the microstructure is controlled by heat treatment. As is shown later, the mechanical properties of steels are controlled by microstructure. The microstructure of a steel generally refers to the speciﬁc shape, size, distribution, and phase types of the grains in the steel. Remember, the phases present in Fig. 3.3 and 3.4 are only present at the high temperature of 760 °C (1400 °F), not at room temperature. Room-temperature phases are discussed later.

**Низьковуглецеві сталі (Гіперевтектоїдні сталі)**

На діаграмі фазового стану залізо-вуглецю представлена карта температурного складу, в якій будуть присутні дві фази, аустеніт і ферит. Вона також показує, де можна очікувати змішування цих двох фаз, так само, як область сльоти на діаграмі фазового стану льоду і солі. Частина діаграми фазового стану залізо-вуглецю зображена на рис. 3.3, і видно, що присутня сильна схожість з сольовою діаграмою рис. 2.2. У чистому залізі аустеніт перетворюється на ферит при охолодженні до 912 ° C (1674 ° F). Ця температура (фазового) переходу традиційно називається температурою A3, і на діаграмі показано, що, як додавання солі до води знижує температуру замерзання води, додавання вуглецю до заліза знижує температуру A3. У той час як максимальне зниження відбувається при так званій евтектоїдній точці (температурі) в водно-сольовий структурі, аналогічне максимальне зниження відбувається в залізо-вуглеці, але в цьому випадку воно називається евтектоїдною точкою, а також точкою перліту. Евтектоїдна точка являє собою температуру і склад на фазовій діаграмі, де відбувається евтектоїдна реакція, тобто реакція, при якій одне тверде тіло перетворюється в два твердих тіла. Евтектоїдна точка в залізовуглецевій системі має склад 0,77% С, а сталі зі складом меншим цієї величини, називаються доевтектоїдними сталями. Евтектоїдну температуру зазвичай називають температурою А1.

відношенню до вуглецю. Однак, зверніть увагу, що аустеніт може розчиняти набагато більше вуглецю, ніж ферит. При евтектоїдній температурі аустеніт розчиняє 0,77% С, що приблизно у 38 разів більше вуглецю, ніж ферит буде утримувати при цій температурі. Аустеніт містить більше вуглецю, ніж ферит, тому що отвори між атомами заліза більше у ГЦК структурі, ніж у ОЦК.

Пам'ятайте, що на діаграмі солоної води заштрихована область сльоти відображає точки температурного складу, де отримують сльоту, суміш води і льоду. Аналогічно, центральна заштрихована область на рис. 3.3, позначеному α + γ, відображає температури, де сталь складається з суміші фериту і аустеніту. Припустимо, що мікроскоп для високотемпературних досліджень використовується для огляду полірованої сталі, що має склад 0,4% С, після того як вона була нагріта до 760 °С (1400 °F). Оскільки ця точка температурного складу знаходиться у центральній заштрихованої області, з позначкою α + γ, сталь повинна бути сумішшю фериту і аустеніту, приклад якої показано внизу рис. 3.3. Фазова діаграма також дає інформацію про склад двох фаз. Зерна аустеніту повинні мати склад, зазначений як N, а ферит - склад, зазначений як M на рис. 3.3.

В якості ще одного підтвердження практичності фазової діаграми розглянемо наступний простий експеримент. Сталь складу 0,4% C спочатку нагрівається до 850 °С (1560 °F) і витримується протягом приблизно 10 хв. Після цієї короткої витримки всі зерна в цій сталі будуть складатися з чистих ГЦК аустенітних зерен зі складом 0,4% C. Щоб ілюстрація була простою, уявіть собі, що ви дивитеся на сталь в мікроскоп для високотемпературних досліджень і бачите область тільки трьох зерен, як показано на рис. 3.4. Тепер уявіть, що температура гарячої стадії знижується до 760 °C (1400 °F), і зразок повільно охолоджується до цієї температури. Що відбувається з мікроструктурою? Згідно фазовій діаграмі сталь після охолодження повинна перейти до двох фазових станів, суміші аустеніту і фериту. Експерименти показують, що ферит, який утворюється в чистому аустеніті при його охолодженні, практично завжди утворюється на межах зерен аустеніту. Це проілюстровано на нижній мікроструктурі на рис. 3.4, де ферит утворився у вигляді ряду α зерен вздовж меж колишнього аустенітного зерна. Порівняння мікроструктури правої частини рис. 3.4 з нижньою частиною рис. 3.3 показує їх подібності та відмінності. Вони подібні тим, що обидві містять суміш зерен фериту і аустеніту з однаковим об'ємним вмістом кожного, а відмінність полягає в зовсім іншому розподілі зерен фериту. Мікроструктура на рис. 3.3, як правило, утворюється при нагріванні сталі від кімнатної температури до 760 °C (1400 °F). Таким чином, цей приклад ілюструє один з найцікавіших аспектів сталей: мікроструктура контролюється термічною обробкою. Як показано нижче, механічні властивості сталей знаходяться під контролем мікроструктури. Мікроструктура сталі зазвичай відноситься до конкретної форми, розміру, розподілу і типам стану зерен у сталі. Пам'ятайте, що фази, представлені на рис. 3.3 і 3.4 присутні тільки при високій температурі 760 °C (1400 °F), а не при кімнатній температурі. Фази кімнатної температури обговорюються пізніше.