



ЛЕГИРОВАНИЕ

Авторы: С. Б. Маслёнков

ЛЕГИРОВАНИЕ (нем. legieren – сплавлять, от лат. ligo – связывать, соединять), введение добавок (легирующих элементов) в металлы и сплавы для придания им определённых физич., химич. или механич. свойств. Подвергнутые Л. материалы называются легированными (напр., [легирующая сталь](#)). Для Л. используют металлы, неметаллы (

C, S, P, Si, B и др.) и вспомогат. сплавы, содержащие легирующий элемент, – [ферросплавы](#) и [лигатуры](#). Осн. легирующие элементы в сталях и чугунах –

C, r, Ni, Mn, Si, Mo, W, V, Ti; в алюминиевых сплавах –

Si, Mn, Mg, Cu, Zn, Li; в магниевых сплавах –

Al, Mn, Zn, Zr, Cd; в медных сплавах –

Al, Mn, Fe, Ni, Zn, Pb, Be, Si, P; в никелевых сплавах –

Cr, Co, Ti, Al, W, Mo, V; в титановых сплавах –

Al, Zr, Mo, V, C, r. Легирующие элементы целенаправленно вводятся в металл (сплав) в определённом количестве, в отличие от примесей, которые попадают из исходного сырья или из-за особенностей производств. процесса и не могут быть удалены процессами рафинирования.

При Л. металлов и сплавов могут образовываться твёрдые растворы, разл. фазы, интерметаллиды, карбиды, нитриды, оксиды, сульфиды, бориды и др. соединения легирующих элементов с основой сплава или между собой. В результате Л. существенно меняются как физико-химич. характеристики исходного металла или сплава, так и электронная структура. Легирующие элементы влияют на темп-ру плавления, область существования полиморфных модификаций и кинетику фазовых превращений, характер дефектов кристаллич. решётки, дислокац. структуру (затрудняется движение дислокаций), а также на формирование зёрен и тонкой кристаллич. структуры, жаростойкость и коррозионную стойкость, технологические

(напр., свариваемость, шлифуемость, обрабатываемость резанием) и др. свойства сплавов. Л. несколькими элементами, определенное содержание и соотношение которых позволяет получить требуемый комплекс свойств, называется комплексным Л., а сплавы – соответственно комплексно-легируемыми. Напр., в результате Л. аустенитной хромоникелевой стали вольфрамом её жаропрочность возрастает в 2–3 раза, а при совместном использовании W, Ti и др. элементов – в 10 раз.

Различают (условно) собственно Л., микролегирование и модифицирование. При собственно Л. в сплав вводят от 0,2% и более (по массе) легирующего элемента, при микролегировании – обычно до 0,1%, при модифицировании – меньше (или столько же), чем при микролегировании. Однако микролегирование и модифицирование оказывают разл. воздействие на структуру и свойства сплавов. Микролегирование эффективно влияет на строение и энергетич. состояние границ зёрен, при этом предполагается, что в сплаве будут реализованы два механизма упрочнения – благодаря Л. твёрдого раствора и в результате дисперсионного твердения. Модифицирование способствует в процессе кристаллизации измельчению структуры, изменению геометрич. формы, размеров и распределения неметаллич. включений, изменению формы эвтектич. выделений, в целом улучшая механич. свойства. Для микролегирования используют элементы, обладающие заметной растворимостью в твёрдом состоянии (более 0,1 атомного %), для модифицирования обычно служат элементы с меньшей растворимостью.

Л. подразделяют на объёмное и поверхностное. При объёмном Л. легирующий элемент распределён во всём объёме металла, при поверхностном – сосредоточен на поверхности металла. Осн. способ объёмного Л. – сплавление осн. металла сплава с легирующими элементами в печах (конвертеры, дуговые, индукционные, плазменные, электронно-лучевые и др. печи). При этом возможны большие потери активных элементов (Mg, Cr, Mo, Ti и др.), взаимодействующих с

O или

N^2 . С целью уменьшения потерь при выплавке и обеспечения более равномерного N^2 распределения легирующего элемента в расплаве (в объёме жидкой ванны)

используют лигатуры и ферросплавы. Среди др. способов объёмного Л. широко применяют механич. Л., совместное восстановление, электролиз, плазмохимические реакции. Поверхностное Л. осуществляют в слое до 1–2 мм и используют для создания особых свойств на поверхности изделия. В основе большинства процессов (в сочетании с термич. обработкой) лежит диффузионное насыщение из газовой или жидкой (напр., цементация) фазы, химическое осаждение из газовой фазы. К таким процессам относят алитирование (насыщающий элемент Al), азотирование (N), борирование (B) и др. По твердофазному методу на поверхность металла наносят легирующий элемент или сплав в виде слоя нужной толщины, далее к.-л. источником энергии (лазерное облучение, плазменная горелка и др.) поверхность оплавляется и на ней образуется новый сплав.

Особое место среди методов Л. занимает ионная имплантация, основанная на бомбардировке поверхности металла (или полупроводника) в вакууме потоком ионов к.-л. элемента. С помощью ионной имплантации производят материалы с равномерным распределением не растворяющихся друг в друге элементов и т. о. получают структуры, которые нельзя получить никакими др. способами; наиболее широко используется для легирования полупроводников.

Л. применялось уже в глубокой древности (о чём свидетельствуют исследования образцов холодного оружия, найденного при археологич. раскопках), в России – с 1830-х гг. Широкое пром. значение Л. получило в годы 1-й мировой войны, когда для воен. целей (изготовления арт. орудий, корабельной брони) потребовалось большое количество хромоникелевой, молибденовой и др. сталей.

Литература

Лит.: Гуляев А. П. *Металловедение*. 6-е изд. М., 1986.