

34.22я73

Б44

УДК 620.18 : 669.18

Основы металлографии и пластической деформации стали / Г. И. Бельченко, С. И. Губенко. — К.; Донецк : Вища шк. Головное изд-во, 1987. — 240 с.

В учебном пособии изложены металлофизические основы пластической деформации металлов и сплавов. Особое внимание уделяется описанию дефектов кристаллического строения, их взаимодействию, а также механизмам пластической деформации. Рассмотрены основные закономерности изменения структуры и свойств металлов и сплавов при различных температурно-скоростных режимах и способах обработки давлением. Описаны структурообразование в железных сплавах при кристаллизации и охлаждении в твердом состоянии, дефекты структуры слитка.

Учебное пособие предназначено для студентов и аспирантов металлургических и машиностроительных вузов, обучающихся по специальности «Обработка металла давлением», может быть использовано научными и инженерно-техническими работниками, занимающимися исследованием деформированных сталей.

Табл. 5. Ил. 149. Библиогр.: 52 назв.

Нормативные материалы приведены по состоянию на 1 января 1986 г.

Рецензенты: кафедра металловедения и термической обработки металлов Запорожского машиностроительного института (зав. кафедрой кандидат технических наук, доцент А. Д. Коваль), доктор технических наук, профессор С. С. Дьяченко (Харьковский автодорожный институт)

Редакция учебной и научной общетехнической литературы при Донецком государственном университете

Зав. редакцией М. Х. Тахтаров

ПРЕДИСЛОВИЕ

Металлография — наука о структуре металлов и сплавов. Она является основной частью современного металловедения — науки о взаимосвязи структуры металлов и сплавов с их физическими, химическими, механическими, технологическими и эксплуатационными свойствами в различных условиях.Metalлография служит основой создания металлических сплавов с заданными свойствами.

XXVII съезд КПСС определил ускорение научно-технического прогресса как главный рычаг повышения эффективности производства. Намечено повсеместно внедрить в производство ресурсосберегающие виды техники и технологии. Исходя из задач создания новой прогрессивной техники и реализации ресурсосберегающего направления в развитии экономики, поставлены задачи коренного улучшения структуры и качества конструкционных материалов, развития производства экономичных видов металлопродукции.

С 1972 г. СССР занимает первое место в мире по производству проката. Свыше девяти десятых объема выплавляемой стали поступает к потребителям после ее обработки давлением. При этом около девяти десятых составляет готовый прокат, используемый в машиностроении, металлообработке, строительстве (листы, рельсы, балки, прутки, трубы, различные профили), остальное — товарные заготовки.

Рождение металлографии как науки о металлах связывают с именем выдающегося русского ученого-металлурга Д. К. Чернова, открывшего в 1868 г. полиморфизм железа и заложившего основы современной теории кристаллизации металлов. В дальнейшем большой вклад в развитие науки о металлах внесли работы Н. С. Курнакова, Г. В. Вульфа, С. С. Штейнберга, А. А. Бочвара, Д. А. Садовского, Н. Т. Гудцова, К. П. Бунина, К. Ф. Стародубова (СССР), М. Лауэ и П. Дебая (Германия), У. Г. и У. Л. Брэггов, Юм-Розери и Н. Мотта (Англия), Э. Бейна, Р. Мейла (США).

Весь период развития металлографии характеризуется совершенствованием методов исследования структуры металлов и сплавов. Основными и наиболее доступными из них являются макро- и микроскопический. Макроскопический метод позволяет изучать структуру металла невооруженным глазом, микроскопический метод — с помощью оптического (светового) микроскопа. Зернистую структуру металлов и сплавов исследуют при максимальных увеличениях до 2000 раз. Применение высокотемпературной микроскопии дает возможность наблюдать процессы, протекающие при высоких температурах. Электронный микроскоп увеличивает изображение от нескольких тысяч до сотен тысяч раз. Металлические образцы могут исследоваться с его помощью на просвет путем использования тонких металлических пленок или угольных реплик, представляющих собой тонкие слепки с поверхности образцов (трансмиссионная электронная микроскопия).

Современная техника электронной микроскопии позволяет проводить исследования при высоких и отрицательных температурах, а также под нагрузкой. Это дает возможность расширить наши познания в области фазовых и структурных превращений, а также в области пластической деформации. С помощью растровой электронной микроскопии проводят анализ рельефа массивных образцов, необходимый при изучении поверхностей разрушения и пластической деформации. Возможности металлографии значительно расширились с применением высокотемпературного термического анализа, вакуумной дилатометрии, рентгеноструктурного и микрорентгеноспектрального анализов, нейтронографии, ионной и протонной микроскопии.

Открытие и применение в промышленности таких новых свойств металлических сплавов, в том числе сплавов на основе железа, как сверхпластичность, сверхпроводимость, уникальная прочность и другие, позволили развить металлографию железа и стали особо высокой чистоты, использовать возможности космического металловедения, изучить условия управления структурой и свойствами железных сплавов в экстремальных условиях, выбрать пути повышения прочности, надежности и долговечности стальных изделий и тем самым уменьшить расход стали на их изготовление.

Наиболее высокопрочные стали имеют предел прочности на растяжение до 3000—4000 МПа. Его можно увеличить, используя рациональное легирование и обеспечивая оптимальное структурное состояние стали. Последнее достигается сочетанием обработки давлением и термической обработки. В последнее время все более широкое распространение находят различные виды термомеханической обработки стали, позволяющие получать сталь с достаточно высоким комплексом физических, механических, технологических и эксплуатационных свойств.

В учебном пособии рассмотрен ряд вопросов, которые в учебной литературе по металлографии не освещаются вовсе или им уделено недостаточно внимания. Пособие состоит из четырех разделов.

Первый раздел включает общие вопросы строения металлов и сплавов, необходимые для понимания последующих специальных разделов. Особое внимание уделяется теории дефектов кристаллического строения. Во втором разделе рассмотрены механизмы пластической деформации и теория развития деформации металлов и сплавов при различных условиях деформирования. В третьем разделе изложены основные вопросы структурообразования в сплавах на основе железа. Знание диаграммы состояния системы железо — углерод необходимо специалистам по обработке металлов давлением для понимания закономерностей формирования структуры стали при нагреве, деформации, охлаждении после деформации, промежуточной и окончательной термической обработке проката, различных видах термомеханической обработки, позволяющих получать прокат экономичных профилей с заданной структурой и свойствами. Четвертый раздел посвящен вопросам изменения структуры и свойств стали при различных видах обработки давлением. Освещены процессы структурообразования в сталях при горячей, теплой и холодной деформации, контролируемой прокатке, термомеханической обработке, термической обработке после деформации. Рассмотрены вопросы качества деформированной стали.

РАЗДЕЛ 1. СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ

ГЛАВА 1. АТОМНОЕ СТРОЕНИЕ МЕТАЛЛОВ

Большинство из известных в настоящее время химических элементов — металлы. Металлами и металлическими сплавами называют вещества, обладающие электро- и теплопроводностью, характерным блеском и высокой пластичностью. Такой комплекс свойств обеспечивается особенностями их атомно-кристаллического строения.

На внешних оболочках атомов металлов находится небольшое число электронов, слабо связанных с ядром. В изолированных атомах электроны движутся вокруг своих ядер на определенных энергетических уровнях. Если два нейтральных атома сближать, то их электроны будут испытывать силы притяжения от ядер соседних атомов. Двигаясь по орбитам обоих атомов, электроны становятся общими для этих атомов. Энергетические уровни свободных атомов при сближении расщепляются на два уровня с различной энергией. Когда объединяется много атомов, то расщепленные уровни образуют энергетические полосы. Валентные электроны всех атомов коллективизируются и получается так называемый электронный газ. Атомная модель металла схематически может быть изображена в виде упорядоченно расположенных положительно заряженных ионов, окруженных коллективизированными свободными электронами.

Межатомные связи в металле состоят из сил притяжения между ионами и свободными электронами и сил отталкивания между одинаковыми по заряду частицами — ионами и электронами. Взаимодействие между положительными ионами и коллективизированными свободными электронами является основным фактором, определяющим металлическую связь. Потенциальная энергия взаимодействия между двумя соседними атомами U может быть представлена схемой, изображенной на рис. 1.1. Равновесное состояние между двумя атомами, соответствующее минимуму энергии системы U_0 , возможно при их сближении на расстояние, равное r_0 . Значение U_0 определяет энергию связи между атомами, которая равна работе, необходимой для удаления соседних атомов на бесконечно большое расстояние.

Высокая электропроводность металлов объясняется способностью электронов ускоряться под действием поля. Элементы с металлической связью вследствие ее ненаправленности (изотропности) и значительной компактности расположения атомов обладают высокой пластичностью, поскольку атомы при пластической деформации смещаются в равноценные исходным положения. Металлический блеск является результатом взаимодействия электронов со световыми волнами, падающими на поверхность металла.

Металлы могут находиться в любом из трех агрегатных состояний — твердом (кристаллическом), жидком и газообразном. Если исследовать металл при различных температурах и давлениях, то можно установить граничные условия его существования в любом из трех

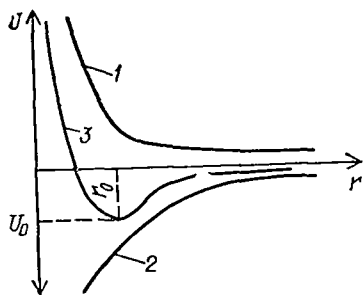


Рис. 1.1. Изменение энергий отталкивания (1), притяжения (2) и взаимодействия атомов (3) в зависимости от расстояния r между ними

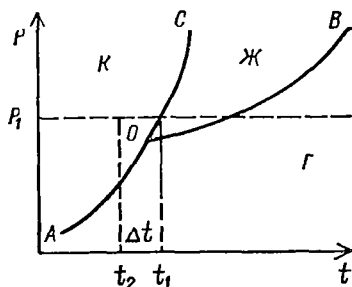


Рис. 1.2. Диаграмма состояния металла при разных температурах и давлениях

состояний. Фазой называется однородная часть системы, имеющая поверхность раздела, при переходе через которую скачкообразно изменяются свойства.

На рис. 1.2 представлена диаграмма фазового состояния металла. При условиях, отвечающих областям ниже линии AOB , внутри линии COB и между линией AOC и вертикальной осью металл устойчив соответственно в газообразном Γ , жидком Ж и твердом кристаллическом K состоянии. Двухфазные равновесия описываются линиями AO (кристалл — газ), OC (кристалл — жидкость), OB (жидкость — газ). В точке O реализуется трехфазное равновесие кристалл — жидкость — газ.

Равновесное существование каждого из трех состояний обусловлено минимальным значением его свободной энергии. В точках фазовых переходов свободные энергии соответствующих фаз равны. Например, при температуре t_1 и давлении P_1 $U_K = U_{\text{ж}}$.

Газообразный металл состоит из отдельных электрически нейтральных атомов, взаимодействие которых проявляется только при достаточном сближении их в процессе хаотического теплового движения. Среднее расстояние между атомами зависит от давления и обычно значительно превышает размеры самих атомов. Неионизированный металлический газ, как и любой другой, не проводит электрического тока.

Жидкий металл по своему атомному строению совершенно не похож на газообразный. Исследованиями установлено, что по ряду признаков жидкое состояние металла ближе к твердому, кристаллическому, чем к газообразному, хотя в расположении атомов жидкого металла нет той регулярности, которая является основным признаком кристаллического тела. В зависимости от степени нагрева выше температуры плавления расположение атомов в жидком металле все больше и больше отличается от расположения их в металле, находящемся в кристаллическом состоянии. Атомы в жидком металле перемещаются в объеме. Скорость их движения определяется температурой.

Поскольку при плавлении металла энергия межатомного взаимодействия ослабляется незначительно, в жидком металле постоянно проявляется стремление атомов к созданию группировок. В последних размещение атомов подобно их расположению в кристаллах. Такие группировки непрерывно создаются и непрерывно распадаются в различных участках объема. Чем выше температура и больше кинетиче-

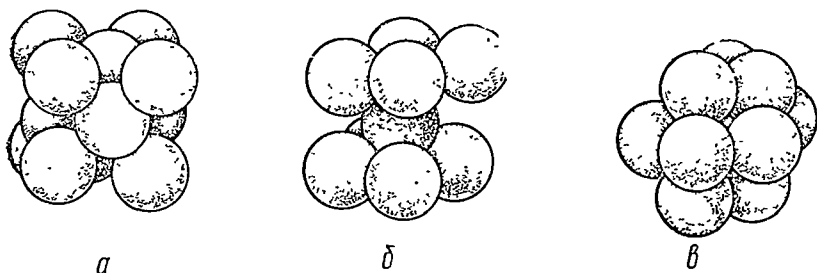


Рис. 1.3. Элементарные ячейки ГЦК (а), ОЦК (б) и ГП (в) кристаллических решеток

ская энергия движения атомов, тем меньше размер участков с упорядоченным расположением атомов и период их существования.

Участки с правильным расположением атомов следует называть фазами или флуктуациями. Термином флуктуация обозначают области с временными, местными отклонениями физических величин от их средних значений. Количество фазовых флуктуаций, образующихся в единице объема в единицу времени, тем больше, чем меньше их размеры, однако в условиях равновесия при каждой температуре в жидком металле будет определенный равновесный набор фазовых флуктуаций.

В твердых металлах атомы занимают постоянные позиции, поэтому каждый атом окружен другими атомами, расположенными в определенном порядке. Характерное трехмерное периодическое расположение атомов, получаемое путем трансляции атома вдоль трех координатных осей, называется кристаллической решеткой. Узлы решетки соответствуют равновесным положениям атомов.

Из известных 14 типов кристаллических решеток в металлах наиболее часто встречаются три кристаллические решетки: гранецентрированная кубическая (ГЦК) — у меди, железа, алюминия, золота, свинца; объемноцентрированная кубическая (ОЦК) — у лития, железа, калия, натрия; гексагональная плотная (ГП) — у цинка, магния, кадмия (рис. 1.3). Кроме того, существуют простая кубическая, ромбическая, тетрагональная, тригональная, моноклинная и другие кристаллические решетки. Например, тетрагональную решетку имеют уран, протактиний, нептуний, плутоний.

При очень быстром охлаждении тонких металлических пленок удастся перевести металл из жидкого состояния в твердое, но не в кристаллическое, а в аморфное. Аморфные металлы, или металлические стекла, не имеют кристаллической решетки, расположение атомов в них близко к размещению атомов в жидкости. Такие материалы обладают уникальными свойствами, в том числе высокой прочностью.

Контрольные вопросы

1. Раскройте физическую сущность металлической связи.
2. Объясните характерные свойства металлов в связи с природой их межатомной связи.
3. Чем отличаются атомные строения твердого, жидкого и газообразного металлов?

4. Что такое кристаллическая решетка?
5. Перечислите основные типы кристаллических решеток металлов
6. Дайте определение фазовой флуктуации.

ГЛАВА 2. ЭЛЕМЕНТЫ КРИСТАЛЛОГРАФИИ

Различные кристаллические решетки имеют определенное расположение атомов в пространстве. Об этом можно судить по виду элементарной ячейки (рис. 1.4). Атомы в ОЦК решетке располагаются в вершинах и центре элементарной ячейки, в ГЦК решетке — в вершинах элементарной ячейки и в центрах ее граней. В плоскости базиса элементарной ячейки ГП решетки атомы образуют шестиугольники с атомом в центре, а между соседними базисными шестиугольниками располагается по три атома.

Элементарная ячейка кристаллической решетки — это простейший ее элемент, при многократном перемещении которого относительно осей координат можно построить пространственную кристаллическую решетку. Описывая какой-либо тип решетки, достаточно рассматривать ее элементарную ячейку, так как последней присущи все особенности строения пространственной решетки.

Длина ребра элементарной ячейки называется параметром, или периодом решетки, определяемым как расстояние между центрами соседних атомов: по осям $x — a$, $y — b$ и $z — c$. В кубической ячейке все три ребра равны ($a = b = c$), поэтому все три периода решетки обозначаются одной буквой a ; в гексагональной системе величина параметра решетки вдоль всех трех осей, находящихся в одной плоскости под углами, равными 120° , обозначается буквой a , на перпендикулярной оси — буквой c .

Величина атома характеризуется атомным радиусом, который измеряется половиной расстояния между соседними атомами. Радиус отдельного атома нельзя установить вследствие размытости электронного облака. С увеличением порядкового номера для элементов одной группы атомный радиус возрастает. Максимальное значение атомных радиусов наблюдается у щелочных металлов. В случае кубической решетки атомный радиус равен $a/2$, для ОЦК решетки $a\sqrt{3}/4$, для ГЦК решетки $a\sqrt{2}/2$.

Условием устойчивости кристаллической структуры является минимум ее потенциальной энергии. Для достижения последнего каждая частица должна взаимодействовать с возможно большим числом других частиц, т. е. число ближайших соседей должно быть максимальным. Одним из факторов, уменьшающих потенциальную энергию, является максимальное сближение структурных единиц, их плотнейшая упаковка, которая свойственна всем типам кристаллических структур, но сильнее всего выражена в металлах, где связи не направлены, атомы и ионы можно считать сферическими. Плотность упаковки атомов определяется координационным числом.

Координационное число — это количество соседних равноудаленных атомов, окружающих каждый атом в решетке. Оно характеризует ближний порядок размещения атомов в пространстве. Для ГЦК и ГП решеток координационное число равно 12, для ОЦК 8.

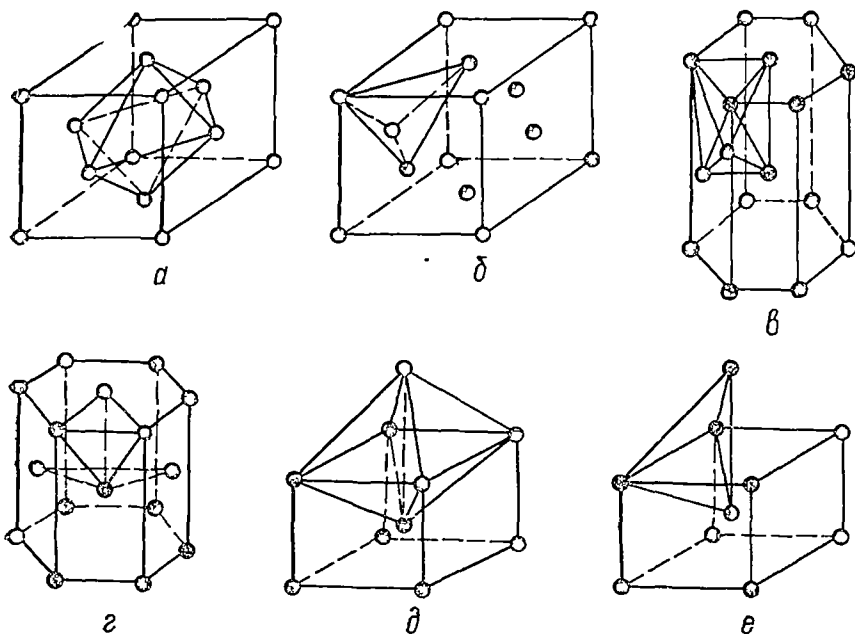


Рис. 1.4. Октаэдрические (*a*, *б*, *в*) и тетраэдрические пустоты (*б*, *г*, *д*) в решетках ГЦК (*a*, *б*), ГП (*в*, *г*), ОЦК (*д*, *е*)

Встречаются и менее плотные упаковки — простая кубическая, гексагональная неплотная, тетрагональная и другие, имеющие координационное число 2—4.

Относительная плотность упаковки определяется отношением объема, занимаемого атомами, к общему объему структуры, включающему объем атомов и пустот. Плотность упаковки ОЦК решетки согласно соотношению $\pi \sqrt{3}/8$ равна 0,68. Из соотношения $\pi \sqrt{2}/6$ находим, что плотность упаковки ГЦК решетки составляет 0,74. ОЦК решетка является менее плотноупакованной, чем ГЦК и ГП решетки. «Рыхлость» решетки характеризуется величиной пустот. Плотноупакованные слои можно изобразить с помощью шаров, прилегающих друг к другу, причем между шарами обязательно будут пустоты. Если шары второго слоя укладывать в лунки первого, образуются пустоты двух типов: тетраэдрические, окруженные четырьмя шарами, и октаэдрические, окруженные шестью шарами. Шары третьего слоя должны укладываться в лунки, образованные шарами второго слоя, и т. д.

Если обозначить плотноупакованные слои буквами, то ГЦК и ГП решетки можно представить соответственно так: *ABCABCABC...*, *ABABAB...* В элементарных ячейках этих решеток 74 % от общего объема заняты шарами, имеющими радиус $R_{ш}$, 26 % объема приходится на долю пустот. О величине пустот можно судить, определив радиус шара $r_{п}$, который можно в нее поместить. В ГЦК и ГП решетках пустоты имеют форму тетраэдров и октаэдров. Радиус $r_{п}$ тетраэдрических пустот равен $0,225R_{ш}$, октаэдрических $0,41R_{ш}$. Положение

пустот в решетках показано на рис. 1.4. В ОЦК решетке радиус r_{\square} тетраэдрических пустот составляет $0,291R_{\square}$, октаэдрических $0,154R_{\square}$, т. е. в ОЦК решетке поры имеют меньшие размеры, чем в плотноупакованных ГЦК и ГП решетках. Этим объясняется меньшая растворимость атомов внедрения в металлах с ОЦК решеткой по сравнению с таковой в металлах, имеющих ГЦК и ГП решетки. О «рыхлости» решетки можно судить по количеству пустот, приходящихся на один атом. В ГЦК и ГП решетках на один атом приходится две тетраэдрические и одна октаэдрическая пустота, в ОЦК решетке — три октаэдрические и шесть тетраэдрических пустот.

Поскольку пластическая деформация кристаллических материалов развивается в определенных плоскостях и направлениях, необходимо уметь определять и обозначать различные атомные плоскости и направления в кристаллической решетке. Плоскости и направления обозначаются соответствующими индексами, указывающими их ориентацию относительно прямоугольных координатных осей — x , y , z . В качестве начала координат обычно выбирают точку, находящуюся в нижнем левом углу элементарной ячейки.

Для определения положения плоскости в решетке относительно начала координат используют отрезки, отсекаемые плоскостью на трех осях, считая от начала координат. Расстояния от начала координат до точек пересечения осей плоскостями измеряются через величины a , b и c , т. е. длины ребер элементарной ячейки. Например, если плоскость пересекает ось x на расстоянии от начала координат, равном половине длины ребра элементарной ячейки, то считают, что отрезок, отсекаемый на оси x , равен $1/2a$ или просто $1/2$. Если плоскость параллельна оси, отсекаемый на ней отрезок считается бесконечно большим и обозначается знаком бесконечности.

Положение плоскости в решетке характеризуется индексами Миллера hkl . Для их определения необходимо:

1. Выбрать в качестве начала системы координат некоторую точку, которая находится вне рассматриваемой плоскости, чтобы исключить значения отсекаемых отрезков, равные нулю.

2. Вырезать отрезки, отсекаемые этой плоскостью на выбранных осях координат x , y , z , через соответствующие величины. Например, плоскость с отсекаемыми отрезками по осям x , y , z , равными соответственно $1/2a$; b ; $3c$, характеризуется величинами $1/2$; 1 ; 3 .

3. Взять обратные значения этих величин. Для нашего примера это 2 ; 1 ; $1/3$.

4. Привести полученные числа к виду наименьших возможных рациональных дробей, имеющих общий знаменатель (в этом случае равный 3), и обратные величины отсекаемых отрезков выразить как $6/3$; $3/3$; $1/3$.

5. Отбросить общий знаменатель и заключить в круглые скобки переписанные по порядку числители этих дробей, которые и будут индексами Миллера (631)..

Если плоскость отсекает отрезок на отрицательной части оси, то число имеет знак минус, так же как и индекс Миллера. Например, плоскость, для которой отсекаемые отрезки 2 ; -1 ; ∞ , имеет обратные величины отсекаемых отрезков $1/2$; -1 ; 0 , которые приводятся к виду $1/2$; $-2/2$; $0/2$, и индексы Миллера будут (120).

Металлолом

Первый научный сайт про металлы в Рунете

Большое спасибо за чтение ознакомительной версии контента с сайта “Металлолом”. Если вы заинтересованы в полной версии, пожалуйста - нажмите кнопку “Facebook” или “Twitter” и поделитесь своей находкой, чтоб остальным было легче найти наш сайт.

После этого вам нужно будет обновить страницу, где вы расшарили ссылку - и полный контент будет доступен вам для чтения онлайн прямо на сайте!

Если вы находите данный ресурс полезным - пожертвуйте, сколько можете

<https://secure.wayforpay.com/payment/mitalolom>



Важно!

Весь контент защищен авторскими правами и служит только для ознакомительных целей - например, когда вам нужно написать реферат или курсовую.

После прочтения и ознакомления, вам нужно будет удалить скачанный контент или оплатить издателю.