

ПРЕДИСЛОВИЕ

В учебном пособии, которое вы держите в руках, собрана информация об особенностях сварки материалов, относящихся к группе специальных, т. е. предназначенных для эксплуатации в специфических условиях. Особое внимание уделено технологическим особенностям сварки специальных сталей и сплавов. Помимо изложения теоретических сведений о свариваемости, автор постарался по возможности полно осветить технологии, наиболее широко применяемые в современной промышленности для сварки специальных сталей и сплавов. В пособии рассмотрены как отечественные технологии сварки, так и технологии ведущих мировых производителей оборудования и разработчиков технологий в области сварочного производства, таких как Lincoln Electric, Fronius и т. д.

Издание посвящено рассмотрению материалов, традиционно относимых к специальным, — это высокопрочные, жаропрочные (низколегированные теплоустойчивые), высоколегированные стали, титановые и алюминиевые сплавы. Конечно, перечень материалов, относимых к группе специальных, в настоящее время стал гораздо обширнее, чем раньше. Особенности сварки материалов, не описанных здесь, автор постарается систематизировать и изложить в отдельной книге.

При составлении настоящего пособия автором активно использовалась информация, содержащаяся в курсе лекций по дисциплине «Сварка специальных сталей и сплавов», разработанном кандидатом технических наук, доцентом кафедры оборудования и технологии сварочного производства и пайки Тольяттинского государственного университета В. В. Масаковым.

ПОНЯТИЕ О СПЕЦИАЛЬНЫХ СТАЛЯХ И СПЛАВАХ

1.1. ПОНЯТИЕ О СПЕЦИАЛЬНЫХ СТАЛЯХ И СПЛАВАХ, ЭФФЕКТИВНОСТЬ ИХ ПРИМЕНЕНИЯ. ЦЕЛИ И ЗАДАЧИ ДИСЦИПЛИНЫ

В настоящее время в России производится более 1500 марок легированных сталей и большое количество сплавов на основе цветных металлов — алюминия (Al), титана (Ti) и других, при этом около 80% стали расходуется на производственно-эксплуатационные нужды, 20% — на капитальное строительство [1].

Главными потребителями металла являются машиностроительная и металлообрабатывающая отрасли (около 40%). В машиностроении готовый прокат используется главным образом в тракторном и сельскохозяйственном секторе, автомобильной промышленности, тяжелом и транспортном машиностроении. Значительно меньшую металлоемкость имеют станкостроение, инструментальное производство, машиностроение для легкой и пищевой промышленности, приборостроение.

Широкое распространение получили так называемые специальные стали и сплавы, доля которых в общем объеме производства металлических материалов составляет около 25%. Они весьма перспективны для использования в аэрокосмической технике, химическом машиностроении и ядерной энергетике. Сварные конструкции из этих материалов работают в особых условиях: при очень высоких и низких температурах, в агрессивных средах, при повышенных эксплуатационных нагрузках различного характера.

Специальные стали и сплавы — это стали и сплавы, предназначенные для работы в особых условиях эксплуатации, связанных с воздействием высоких и низких температур,

агрессивных сред (атмосферная, жидкостная и газовая коррозия), повышенных эксплуатационных нагрузок различного характера (статических, динамических, циклических). Специальные стали и сплавы отличаются от обычных особыми свойствами, обусловленными либо их химическим составом, либо способом производства, либо способом обработки [2].

Создание специальных сталей и сплавов потребовалось из-за неблагоприятных условий работы сварных конструкций, свойственных ряду современных отраслей: строительству, автомобилестроению, нефтяной и газовой промышленности, энергетике (в том числе и атомной), металлургии, химической промышленности, аэрокосмической технике. Для обеспечения этих отраслей качественным основным материалом и были разработаны специальные стали и сплавы [1].

В большинстве случаев специальные стали содержат легирующие элементы. *Легирующими* называют химические элементы, специально введенные в сталь для получения требуемых характеристик: строения, структуры, физико-химических и механических свойств.

Основными легирующими элементами в современных сталях являются марганец (Mn), кремний (Si), хром (Cr), никель (Ni), молибден (Mo), вольфрам (W), кобальт (Co), медь (Cu), титан (Ti), ванадий (V), цирконий (Zr), ниобий (Nb), алюминий (Al), бор (B). В некоторых сталях легирующими элементами могут быть фосфор (P), сера (S), азот (N), селен (Se), теллур (Te), свинец (Pb), лантан (La) и др. Перечисленные элементы, а также водород (H), кислород (O), олово (Sn), сурьма (Sb), мышьяк (As), висмут (Bi) могут быть примесями в стали. Содержание легирующих элементов может колебаться от тысячных долей процента до десятков процентов.

Примесями называются химические элементы, перешедшие в состав стали в процессе ее производства как технологические добавки или как составляющие шихтовых материалов. Содержание примесей в стали обычно ограничивается следующими пределами: $Mn < 0,8\%$, $Si < 0,4\%$, $Cr < 0,3\%$, $Ni < 0,3\%$, $Cu < 0,3\%$, $Mo < 0,10\%$, $W < 0,2\%$, $P < 0,025...0,040\%$, $S < 0,015...0,050\%$.

Как видно, примесями и легирующими добавками могут быть одни и те же химические элементы. Отнесение их к той или иной категории зависит от их количества и роли в стали.

Легированные стали — это сплавы на основе железа, в химический состав которых специально введены легирующие элементы, обеспечивающие при определенных способах производства и обработки требуемую структуру и свойства.

Некоторые легирующие элементы (ванадий, ниобий, титан, цирконий, бор) могут оказывать существенное влияние на структуру и свойства стали при содержании их в сотых долях процента (бор — в тысячных долях процента). Такие стали иногда называют микролегированными.

Из приведенных определений видно, что понятие специальных сталей более широкое, чем понятие легированных сталей, так как к специальным сталям, кроме легированных, могут относиться и углеродистые стали, если им приданы специальные свойства определенными способами производства и обработки. Так, к специальным сталям относятся высококачественные конструкционные, инструментальные, термически упрочненные, стали для холодной штамповки и др.

Как уже отмечалось, доля производства и применения специальных сталей в общем объеме металлических материалов составляет около 25%. При таких масштабах производства и применения специальных сталей особое значение приобретает рациональный выбор легирующих элементов по их стоимости и дефицитности и экономическая эффективность использования самих специальных сталей.

Так, большие запасы марганца сделали его дешевым и широко используемым элементом в металлургии. В России благодаря огромным запасам и растущему производству ванадия из числа особо дефицитных элементов становится материалом, который все больше используется для легированных сталей различного назначения.

В настоящее время наиболее широко применяемые легирующие элементы можно разделить на относительно доступные (марганец, кремний, хром, алюминий, титан, ванадий, бор) и дефицитные (ниобий, молибден, медь, свинец, никель, вольфрам, таллий, кобальт). Особо дефицитными считаются вольфрам, никель, кобальт из-за большой потре-

ности в них для производства сплавов специального назначения, прежде всего жаропрочных.

Из-за огромного разнообразия марок стали факторы, от которых зависит технико-экономическая эффективность применения специальных сталей, в каждом случае будут свои, однако можно указать несколько общих факторов, определяющих техническую и экономическую целесообразность применения специальных легированных сталей.

На эффективность применения специальных сталей для изготовления того или иного изделия или конструкции влияют следующие технико-экономические факторы:

- получение новых эксплуатационных и технологических свойств металла (коррозионная стойкость, жаропрочность, свариваемость, штампуемость и т. п.);
- обеспечение необходимой надежности и долговечности (хладостойкость, износостойкость, сопротивление усталости и т. п.);
- уменьшение массы (веса);
- снижение расходов на изготовление, монтаж, транспортирование и эксплуатацию.

При использовании легированной стали чаще всего имеет место одновременное действие нескольких из перечисленных технико-экономических факторов.

Выбор той или иной марки стали для конкретного изделия или конструкции будет рациональным и экономически эффективным, если сталь при минимальном легировании обеспечивает требуемый уровень конструктивной прочности, а удорожание материала в результате легирования и изменения технологии производства не будет превышать экономического эффекта, достигаемого за счет перечисленных технико-экономических факторов.

Пример рационального внедрения специальной стали.
Низколегированные строительные стали обычно применяются взамен углеродистых строительных сталей. Низколегированные стали типа 09Г2, 14Г2, 15ГФ, 09Г2ФБ, 16Г2АФ обеспечивают повышение предела текучести в 1,3...1,8 раза по сравнению с углеродистой сталью СтЗсп. Благодаря этому расход металла сокращается на 15...50%. Однако себестоимость проката из низколегированных сталей на 10...15%

выше, чем из углеродистой стали: из-за расхода легирующих элементов, большего удельного расхода слитков (на 40...50 кг/т) и повышенной трудоемкости производства. Из приведенных данных видно, что себестоимость низколегированных сталей возрастает в меньшей степени, чем экономия от снижения массы за счет увеличения прочности. Вследствие этого применение металлопродукции из низколегированных сталей более эффективно, чем из углеродистых. Однако эффективность применения низколегированных сталей обусловлена не только этим. Так, ряд низколегированных сталей (15ГФ, 09Г2ФБ, 16Г2АФ и др.) обеспечивает новые свойства, в частности снижается порог их хладноломкости до $-40...-70^{\circ}\text{C}$, т. е. уменьшение склонности к хрупким разрушениям. Это делает возможным применение данных сталей в районах с холодным климатом и обеспечивает высокую надежность и долговечность металлоконструкций (например, магистральных газопроводов). Строительство таких газопроводов из углеродистых сталей практически невозможно из-за их сильной склонности к хрупким разрушениям при температуре -40°C и ниже.

Таким образом, эффективность применения низколегированных сталей определяется снижением массы конструкций, повышением их надежности и долговечности, сокращением расходов на транспортирование металла, монтаж оборудования и конструкций и т. д.

В силу того, что подавляющее большинство специальных сталей являются легированными, а зачастую используются и специальные сплавы на основе алюминия, титана и других элементов, эти мате-

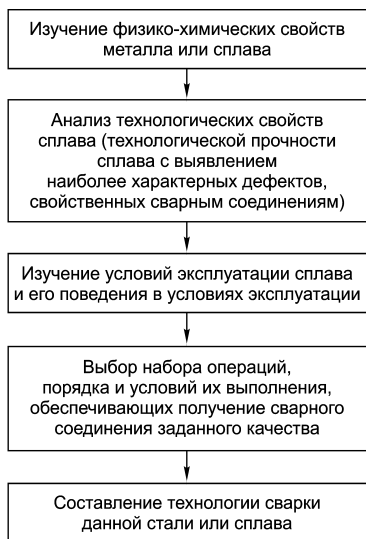


Рис. 1.1
Алгоритм решения
технологической задачи
по разработке технологии сварки
специальной стали или сплава

риалы имеют существенные отличия по свариваемости от углеродистых сталей. Специфический состав или обработка определяют реакцию специальных сталей и сплавов на термомеханический цикл сварки. Возможна повышенная склонность к образованию холодных или горячих трещин, снижение прочностных характеристик, увеличение зерна при сварке, интенсивное развитие коррозии в зоне термического влияния (ЗТВ), активное порообразование, насыщение поверхности вредными примесями и др. Поэтому для получения качественного сварного соединения требуется ряд специальных технологических приемов, от которых, в свою очередь, зависят особенности технологии сварки той или иной группы специальных сталей и сплавов.

Таким образом, *целью* изучения дисциплины «Сварка специальных сталей и сплавов» является овладение навыками рационального выбора технологии сварки материалов, созданных для работы в особых условиях эксплуатации.

Алгоритм решения задачи по рациональному выбору технологии для того или иного материала может быть представлен так, как это показано на рис. 1.1.

1.2. ОСНОВНЫЕ КЛАССЫ СПЕЦИАЛЬНЫХ СТАЛЕЙ И СПЛАВОВ, ИХ ФИЗИЧЕСКИЕ И ХИМИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ И СВЯЗЬ С УСЛОВИЯМИ ЭКСПЛУАТАЦИИ

В учебном пособии рассмотрены следующие основные классы специальных сталей и сплавов и особенности технологии их сварки: высокопрочные, жаропрочные, жаростойкие стали; нержавеющие стали, алюминиевые и титановые сплавы.

1.2.1. ВЫСОКОПРОЧНЫЕ СТАЛИ

Легированные конструкционные стали с $\sigma_T = 900 \dots 1500 \text{ МН/м}^2$ (МПа).

Характерные марки сталей: 30ХГСА, 25ХГСА, 30ХГСНА, 42Х2ГСНМ, 30Х2ГСНВМ и т. д.

Данные марки применяются в основном в тех областях, где решающее значение имеет отношение прочности к удельному весу материала. Это стали, легированные одним или несколь-

кими элементами при их суммарном содержании 2,5...10%, предназначенные для работы при температурах до 500°C.

Широкое применение этих сталей в сварных конструкциях связано с их высокой прочностью (после упрочняющей термической обработки: закалка + отпуск) при сохранении достаточной пластичности и вязкости. Данная группа сталей относится в основном к перлитному классу. Однако некоторые стали этой группы (содержащие 5...6% легирующих элементов) относятся к мартенситному классу. Высокие механические свойства достигаются легированием элементами, упрочняющими феррит и повышающими прокаливаемость стали.

Высокие прочностные и пластические свойства сочетаются с высокой стойкостью против перехода в хрупкое состояние, что определяет применение данных сталей для конструкций, работающих в сложных условиях, например при ударных и знакопеременных нагрузках.

1.2.2. ЖАРОПРОЧНЫЕ СТАЛИ

Теплоустойчивые стали — стали, предназначенные для длительной работы при температурах до 600°C.

К ним относятся, в частности, хромомолибденовые и хромомолибденованадиевые стали перлитного класса марок 12МХ, 15ХМ, 20ХМЛ, 15Х5М с ферритно-перлитной структурой (для работы при 500...550°C), 12Х1МФ, 15Х1М1Ф, 20ХМФЛ, 15Х1М1ФЛ (для работы при 550...580°C).

Данные стали обладают сопротивлением ползучести, длительной прочностью, стабильностью свойств во времени и жаростойкостью. Указанные свойства способствуют их применению при изготовлении энергетических и нефтехимических установок.

Теплоустойчивые стали характеризуются образованием метастабильных структур в околошовной зоне (ОШЗ) при сварке и разупрочнении участков, нагретых до температуры отпуска стали. Образование хрупких структурных составляющих может привести к исчерпанию пластичности металла и вызвать разрушение конструкции в период ее изготовления.

Высокохромистые мартенситные стали предназначены для работы при температуре до 650°C и используются для

изготовления рабочих направлений лопаток, дисков паровых турбин, газотурбинных установок.

Марки: 15X11МФ, 15X12ВНМФ и др.

Аустенитные жаропрочные стали (основные марки — X14H16B, X18H12T, X23H18, X16H9M2, работающие под напряжением при температуре до 500°C, и X12H20T3P, 40X18H25C2, работающие под напряжением при температуре до 700°C) предназначены для изготовления теплоэнергетических, химических и атомных установок.

Аустенитная коррозионно-стойкая сталь типа 18-10 — высоколегированная сталь при содержании Cr = 18%, стойкая в большинстве сред окислительного характера.

1.2.3. ЖАРОСТОЙКИЕ СТАЛИ

Обладают стойкостью против химического разрушения поверхности под действием окружающей среды при высоких температурах.

Высокохромистые ферритные стали (08X17T, 15X25T, 08X23C2Ю) по сопротивляемости коррозии не уступают самым дорогим хромоникелевым аустенитным сталям, но превосходят их по стойкости к коррозионному растрескиванию. Широко применяются для внутренних устройств химических аппаратов, деталей высокотемпературного оборудования, работающего в условиях газовой коррозии.

Аустенитные жаропрочные стали, которые наряду с высокой жаропрочностью обладают высокой жаростойкостью.

Аустенитная коррозионно-стойкая сталь типа 18-10 — высоколегированная сталь при содержании Cr = 18%, стойкая в большинстве сред окислительного характера.

1.2.4. НЕРЖАВЕЮЩИЕ СТАЛИ

Это стали, обладающие высокой коррозионной стойкостью, т. е. способностью не разрушаться под воздействием окружающей среды — при 20°C и повышенной температуре как в газовой среде, так и в водных растворах кислот, щелочей и в жидкометаллических средах.

Аустенитная коррозионно-стойкая сталь типа 18-10 — высоколегированная сталь при содержании $\text{Cr} = 18\%$, стойкая в большинстве сред окислительного характера.

Аустенитно-ферритные нержавеющие стали типа 08Х22Н6Т, 12Х2Н5Т, 03Х23Н6, обладающие увеличенным пределом прочности и пределом текучести, высокой коррозионной стойкостью, хорошей свариваемостью. Используются в химической аппаратуре.

1.2.5. АЛЮМИНИЕВЫЕ СПЛАВЫ

Основными достоинствами алюминиевых сплавов как конструкционных материалов являются малая плотность, высокая удельная прочность и коррозионная стойкость. Основные марки алюминиевых сплавов: АМц, сплавы типа АМг, дюралю и т. д.

По показателям отношения прочности и текучести к плотности алюминиевые сплавы значительно превосходят чугун, низкоуглеродистые и низколегированные стали, чистый титан и уступают лишь высоколегированным сталям повышенной прочности и сплавам титана. Особенно большое значение алюминиевые сплавы приобрели в авиа- и судостроении, производстве химической аппаратуры и строительстве.

1.2.6. ТИТАНОВЫЕ СПЛАВЫ

В России и за рубежом используется множество конструктивных титановых сплавов различного назначения.

В зависимости от предела прочности различают:

- **малопрочные высокопластичные титановые сплавы** (ВТ1-0, ОТ4-1, ОТ4-0), которые применяются в изделиях, длительно работающих при низких ($-250 \dots -196^\circ\text{C}$) и высоких ($300 \dots 350^\circ\text{C}$) температурах;
- **среднепрочные титановые сплавы** с пределом прочности $75 \dots 80 \text{ кгс/мм}^2$ (ОТ4, АТ3) и сплавы с пределом прочности $95 \dots 105 \text{ кгс/мм}^2$ (ВТ20, ТС5, ОТ4-2), имеющие пониженную пластичность и предназначенные для деталей, работающих при температурах до $400 \dots 500^\circ\text{C}$;

- **высокопрочные титановые сплавы (BT6, BT23, BT15, ТС6), предназначенные для применения в термически упрочненном состоянии.** Они могут работать в конструкциях, испытывающих длительный нагрев до 400°C, но их использование ограничивается отдельными деталями и небольшими конструкциями, что связано с трудностями упрочняющей термической обработки крупногабаритных конструкций.

КОНТРОЛЬНЫЕ ВОПРОСЫ

1. Дайте определение понятия «специальные стали и сплавы».
2. Назовите известные вам классы специальных сталей и сплавов.
3. Что понимается под технологией сварки?
4. К легирующему элементу или примеси будет относиться марганец при содержании его в стали около 1,5%?
5. Могут ли углеродистые стали относиться к специальным сталям?
6. Чем вызвана необходимость разработки специальных сталей и сплавов?
7. Какие элементы, входящие в состав сталей, называются легирующими?
8. Укажите основные критерии рациональности применения в конструкции специальной стали или сплава.

СВАРКА ВЫСОКОПРОЧНЫХ СТАЛЕЙ

2.1. ВЫСОКОПРОЧНЫЕ СТАЛИ. КЛАССИФИКАЦИЯ, СОСТАВ, СВОЙСТВА

Одним из способов обеспечения работоспособности и надежности сварных конструкций является использование в них высокопрочных сталей. В настоящее время создано множество материалов различного состава с высоким пределом прочности. Основными технико-экономическими факторами, определяющими эффективность применения высокопрочных сталей в металлоконструкциях, являются:

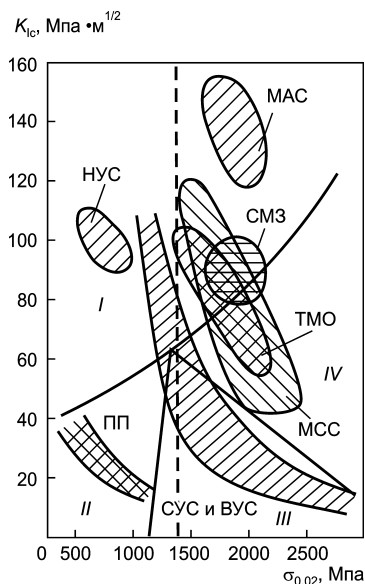
- получение новых эксплуатационных характеристик в виде повышенной прочности металла (и зачастую повышенной хладостойкости);
- повышение надежности и долговечности конструкций из высокопрочных сталей;
- уменьшение массы (веса) конструкций.

Высокопрочные стали применяются прежде всего в изделиях, для которых важно уменьшение массы при сохранении большой прочности. Это могут быть высокопрочные болты и крепежные изделия, некоторые виды тросов и прядей, высокоскоростные роторы, валы и многие другие детали машин и механизмов. Высокопрочные стали используются в космической, ракетной, авиационной технике, а также в ряде отраслей приборостроения — везде, где при необходимой прочности требуется достаточная пластичность, сопротивление динамическим нагрузкам, ударная вязкость, усталостная прочность, а для сварных конструкций — и хорошая свариваемость.

Требуемые свойства высокопрочных сталей достигаются выбором рациональной системы легирования сплава в со-

Рис. 2.1
Обобщенная диаграмма
конструктивной прочности
конструкционных сталей
(О. И. Романив, А. Н. Ткач):

МАС — метастабильные аустенитные стали; НУС — низкоуглеродистые стали; СУС, ВУС — средне- и высокоуглеродистые стали; МСС — мартенситно-старееющие стали; СМЗ — стали со сверхмелким зерном; ТМО — стали после термомеханической обработки; ПП — эвтектоидные стали со структурой пластинчатого перлита. Характер разрушения: I — область вязкого разрушения; II — транскристаллитный скол; III — интеркристаллитный скол; IV — квазископ.



четании с различными способами обработки сталей, такими как закалка на мартенсит с низким отпуском (300...350°C), вторичное твердение в интервале температур 500...650°C, а также ряд специальных технологических процессов, к которым можно отнести термомеханическую обработку, волочение сталей, получение сталей со структурой сверхмелкого зерна и некоторые другие.

Получение сталей высокой прочности неизбежно ведет к понижению характеристик пластичности, прежде всего сопротивления хрупкому разрушению. Поэтому надежность стали в конструкции (изделии) может быть охарактеризована конструктивной прочностью. Для большинства высокопрочных сталей параметрами конструктивной прочности являются предел текучести σ_t (или условный предел текучести $\sigma_{0,2}$) и параметр вязкости разрушения (трещиностойчивости) K_{1c} .

Конструктивную прочность сталей можно оценить по диаграмме конструктивной прочности, построенной в координатах «условный предел текучести $\sigma_{0,2}$ — вязкость разрушения K_{1c} ». На рис. 2.1 представлена обобщенная диаграмма

конструктивной прочности конструкционных сталей различных классов и способов упрочнения [2].

Высокопрочные стали можно разделить на несколько групп:

- высокопрочные строительные стали;
- высокопрочные машиностроительные стали;
- мартенситно-стареющие стали.

К высокопрочным также можно отнести пружинные стали и метастабильные износ- и кавитационно-стойкие аустенитные стали.

2.1.1. ВЫСОКОПРОЧНЫЕ СТРОИТЕЛЬНЫЕ СТАЛИ

К высокопрочным строительным сталям относятся низколегированные стали с пределом текучести $\sigma_T = 400...750$ МПа. Высокая прочность низколегированных строительных сталей должна сочетаться с малой склонностью к хрупким разрушениям. Как отмечалось ранее, одновременное повышение прочности и снижение хладноломкости — трудная задача, которая решается несколькими путями: карбонитридным упрочнением сталей, термической обработкой, контролируемой прокаткой, созданием малоперлитных и бейнитных сталей [2].

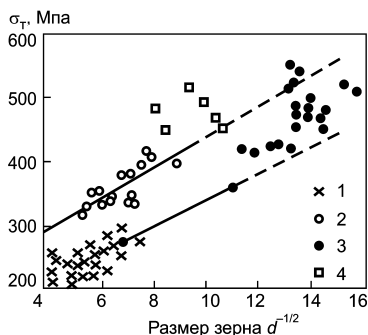


Рис. 2.2

Зависимость предела текучести от размера зерна углеродистой стали Ст3 (1), низколегированной 09Г2С (2) и стали 16Г2АФ (3, 4) с карбонитридным упрочнением

Карбонитридное упрочнение сталей представляет собой способ воздействия на их структуру и свойства посредством образования упрочняющих дисперсных карбонитридных фаз при легировании стали ванадием и ниобием (иногда дополнительно алюминием и титаном) в сочетании с повышенным содержанием азота (до 0,03%).

Главными факторами карбонитридного упрочнения являются собственно дисперсионное упрочнение и измельче-

Конец ознакомительного фрагмента.

Приобрести книгу можно

в интернет-магазине

«Электронный универс»

e-Univers.ru