

УДК 669.14.018.4 (075.8) + [621.78: 669.14] (075.8)

Ушаков В.Г., Филатов В.И., Ибрагимов Х.М. Выбор марки стали и режима термической обработки деталей машин: Учебное пособие для студентов-заочников машиностроительных специальностей. – Челябинск: Изд-во ЮУрГУ, 2001. – 23 с.

Учебное пособие по курсу «Материаловедение» предназначено для студентов-заочников, выполняющих контрольную работу по выбору материалов для деталей машин и инструментов и режимов их термической обработки.

Ил. 5, табл. 4, список лит. – 12 назв.

Одобрено учебно-методической комиссией физико-металлургического факультета.

Рецензенты: доц., к.т.н. Р.К. Галимзянов и к.т.н. Д.В. Шабуров.

© Издательство ЮУрГУ, 2001.

Введение

Из всех известных в технике материалов лучшее сочетание прочности, надёжности и долговечности имеет сталь, поэтому она является основным материалом для изготовления ответственных изделий, подвергающихся большим нагрузкам. Свойства стали зависят от её структуры и состава. Совместное воздействие термической обработки, которая изменяет структуру, и легирования - эффективный способ повышения комплекса механических характеристик стали.

Выбор стали для изготовления той или другой детали и метод её упрочнения определяется в первую очередь условиями работы детали, величиной и характером напряжений, возникающих в ней в процессе эксплуатации, размерами и формой детали и т.д.

1. Выбор марки стали для деталей машин

При выборе марки стали для конкретной детали конструктор должен учитывать требуемый уровень прочности, надёжности и долговечности детали, а также технологию её изготовления, экономию металла и специфические условия службы детали (температура, окружающая среда, скорость нагружения и т.п.).

Единых принципов при выборе марки стали пока не разработано, поэтому каждый конструктор выполняет эту задачу в зависимости от своего опыта и знаний; вследствие этого при выборе марки стали случаются и ошибки, что может привести к нежелательным последствиям.

Решая эту задачу, прежде всего, необходимо знать форму, размеры и условия работы детали. Предположим, что чисто конструктивно оптимальное решение найдено. Если сила, действующая на деталь, известна, то можно определить уровень напряжений в наиболее опасных сечениях детали (чем сложнее конфигурация изделия, тем точность такого расчёта меньше). Так как модули упругости для всех сталей практически одинаковы ($E \sim 2 \cdot 10^5$ МПа, $G \sim 0,8 \cdot 10^5$ МПа), то во многих случаях можно подсчитать упругую деформацию при максимальной нагрузке. При невозможности проведения таких расчётов необходимо провести натурные испытания. Если эта деформация находится в допустимых пределах, то следует перейти к основному вопросу – выбору марки стали, а если нет, то необходимо изменить конфигурацию детали: увеличить сечение, ввести рёбра жесткости и др. Следует помнить, что путём подбора марки стали упругую деформацию уменьшить практически невозможно. После этого следует перейти к оценке прочности, надёжности и долговечности детали.

Прочность характеризует сопротивление металла пластической деформации. В большинстве случаев нагрузка не должна вызывать остаточную пластическую деформацию выше определённого значения. Для многих деталей машин (за исключением пружин и других упругих элемен-

тов остаточной деформацией, меньшей 0,2 %, можно пренебречь, то есть, условный предел текучести ($\sigma_{0,2}$) определяет для них верхний предел допустимого напряжения [1].

Надёжность - это свойство материала противостоять хрупкому разрушению. Деталь должна работать при соблюдении условий, предусмотренных проектом (напряжение, температура, скорость нагружения и т.п.) и преждевременный её выход из строя свидетельствует о том, что она выполнена не из того металла, были нарушения технологии её изготовления или допущены серьёзные ошибки в расчётах прочности и т.д. Но в процессе эксплуатации возможны кратковременные отклонения некоторых параметров от пределов, установленных проектом, и если при этом деталь выдержала экстремальные условия, то она надёжна. Следовательно, надёжность зависит от температуры, скорости деформации и других выходящих за пределы расчёта параметров.

Долговечность – это свойство материала сопротивляться развитию постепенного разрушения, и она оценивается временем, в течение которого деталь может сохранять работоспособность. Это время не бесконечно, т.к. в процессе эксплуатации могут изменяться свойства материала, состояние поверхности детали и т.п. Другими словами, долговечность характеризуется сопротивлением усталости, износу, коррозии, ползучести и другим воздействиям, которые определяются временными показателями.

1.1. Определение допустимого напряжения

Показателем, наиболее обобщённо характеризующим прочность материала, является условный предел текучести $\sigma_{0,2}$, определённый на гладком образце при одноосном растяжении. В этом случае сталь имеет наиболее низкие значения $\sigma_{0,2}$ (при вязком разрушении), чем при других видах нагружения. Рассмотрим такой пример. Имеем 3 стали с разными значениями условного предела текучести: $\sigma'_{0,2} < \sigma''_{0,2} < \sigma'''_{0,2}$ (рис.1). Выясним, будет ли экономия материала, если вместо стали 1 применить более прочную сталь 3. Это целесообразно, если могут быть использованы напряжения, равные $\sigma'''_{0,2}$, а это возможно, если допустима возникающая при таком напряжении деформация, равная Δl_3 . Если же при эксплуатации детали допустима деформация не более чем Δl_1 , то при напряжениях, больших $\sigma'_{0,2}$, размеры детали выйдут за допустимые пределы. Следовательно, в этом случае замена стали 1 сталью 3 не эффективна.

Таким образом, степень допустимой деформации (упругой и пластической) определяет и допустимый уровень напряжения, что является основным для выбора марки стали по прочности.

Данные ГОСТа (гарантируемые механические свойства) могут быть заложены в расчёты прочности деталей машин, если сталь на машиностроительных заводах не подвергается обработке, приводящей к изменению её структуры (холодная или горячая пластическая деформация, тер-

мическая обработка и т.п.), т.е. свойства металла в исходном состоянии и в изделии остаются неизменными.

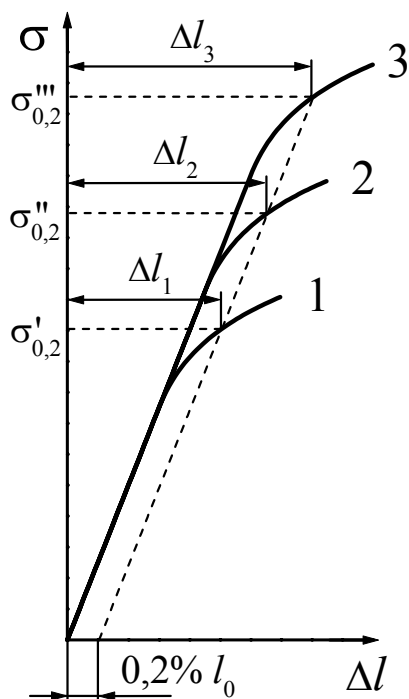


Рис.1. Начальный участок диаграммы деформации в координатах «Условное растягивающее напряжение (σ) – абсолютное удлинение (Δl)» трёх сталей (1,2,3), где

$$\sigma = \frac{P}{F_0}, P - \text{растягивающая нагрузка}$$

в данный момент испытания,

F_0 – начальная площадь поперечного сечения образца;

$\Delta l = l_i - l_0$, l_i – длина образца на расчётном участке в данный момент испытания, а l_0 – начальная расчётная длина образца

При повышении температуры отпуска от 200 до 600⁰С условный предел текучести углеродистых сталей с 0,2%С уменьшается от ~1200 до ~600 МПа, а сталей с 0,4%С – от ~1600 до ~800 МПа [2], следовательно, варьированием температуры отпуска можно изменить прочностные свойства стали примерно в 2 раза.

Однако в общем случае не следует стремиться к получению прочности выше необходимой, т.к. при этом, как правило, снижается вязкость стали, т.е. уменьшается надёжность стали как конструкционного материала. Другими словами, большой запас прочности, достигаемый применением более прочных материалов, - не гарантия надёжности, скорее наоборот.

1.2. Обеспечение надёжности

Случаи неожиданных разрушений наблюдаются нередко при напряжениях в 2...4 раза меньших, чем допустимые, и ещё в большее число раз меньших, чем $\sigma_{0,2}$. При этом возможна лишь незначительная упругая деформация и практически полное отсутствие пластической. Как же объяснить это противоречие?

Работа разрушения $A = A_3 + A_p$, где

A_3 – работа, затраченная на зарождение трещины;

A_p – работа микропластической деформации в устье растущей трещины.

Любой поверхностный дефект приводит к уменьшению A_3 , и могут наблюдаться случаи, когда $A_3 = 0$ (внутренние дефекты менее существенны, т.к. наибольшие напряжения сосредотачиваются на поверхности детали). В этом случае только A_p материала определяет надёжность детали. Для оценки надёжности материала чаще всего используют следующие параметры [3]:

1) $KCU = \frac{A}{S_0}$, где S_0 – площадь поперечного сечения ударного образца в месте надреза радиусом 1 мм и глубиной 2 мм;

2) $KCT = \frac{A}{S_{\text{нетто}}}$, где $S_{\text{нетто}}$ – площадь поперечного сечения ударного образца, в котором перед испытанием наведена усталостная трещина глубиной ~ 1 мм;

3) порог хладноломкости;

4) критерий Ирвина (K_{1c}).

Ударная вязкость **KCU** оценивает работоспособность материала в условиях ударного нагружения при комнатной температуре при наличии в металле U – образного концентратора напряжения. Параметр **KCT** характеризует работу развития трещины в этих же условиях нагружения и оценивает способность материала тормозить начавшееся разрушение. Если материал имеет **KCT** = 0, то это означает, что процесс его разрушения идёт за счёт упругой энергии системы «образец – нож маятника копра». Такой материал хрупок, эксплуатационно ненадёжен. И, наоборот, чем больше параметр **KCT**, определённый при рабочей температуре, тем выше надёжность материала в условиях эксплуатации.

Порог хладноломкости характеризует влияние снижения температуры на склонность материала к хрупкому разрушению. Его определяют по результатам испытаний образцов с надрезом при понижающейся температуре. Сочетание при таких испытаниях ударного нагружения, надреза и низких температур – основных факторов, способствующих охрупчиванию, важно для оценки поведения материала при экстремальных условиях эксплуатации.

На переход от вязкого разрушения к хрупкому указывают изменения строения излома и резкое снижение ударной вязкости (рис.2), наблюдаемое в интервале температур ($t_b - t_n$). Строение излома изменяется от волокнистого матового при вязком разрушении ($t_{\text{испыт.}} \geq t_b$, где t_b – верхний порог хладноломкости), до кристаллического блестящего при хрупком разрушении ($t_{\text{испыт.}} \leq t_n$, где t_n – нижний порог хладноломкости). Порог хладноломкости обозначают интервалом температур ($t_b - t_n$), либо одной температурой t_{50} , при которой в изломе образца сохраняется 50% волокнистой составляющей и величина **KCU** снижается на половину.

О пригодности материала для работы при заданной температуре судят по температурному запасу вязкости, равному разности температуры эксплуатации и t_{50} . При этом, чем ниже температура перехода мате-

риала в хрупкое состояние по отношению к рабочей температуре, тем больше температурный запас вязкости и выше гарантия от хрупкого разрушения.

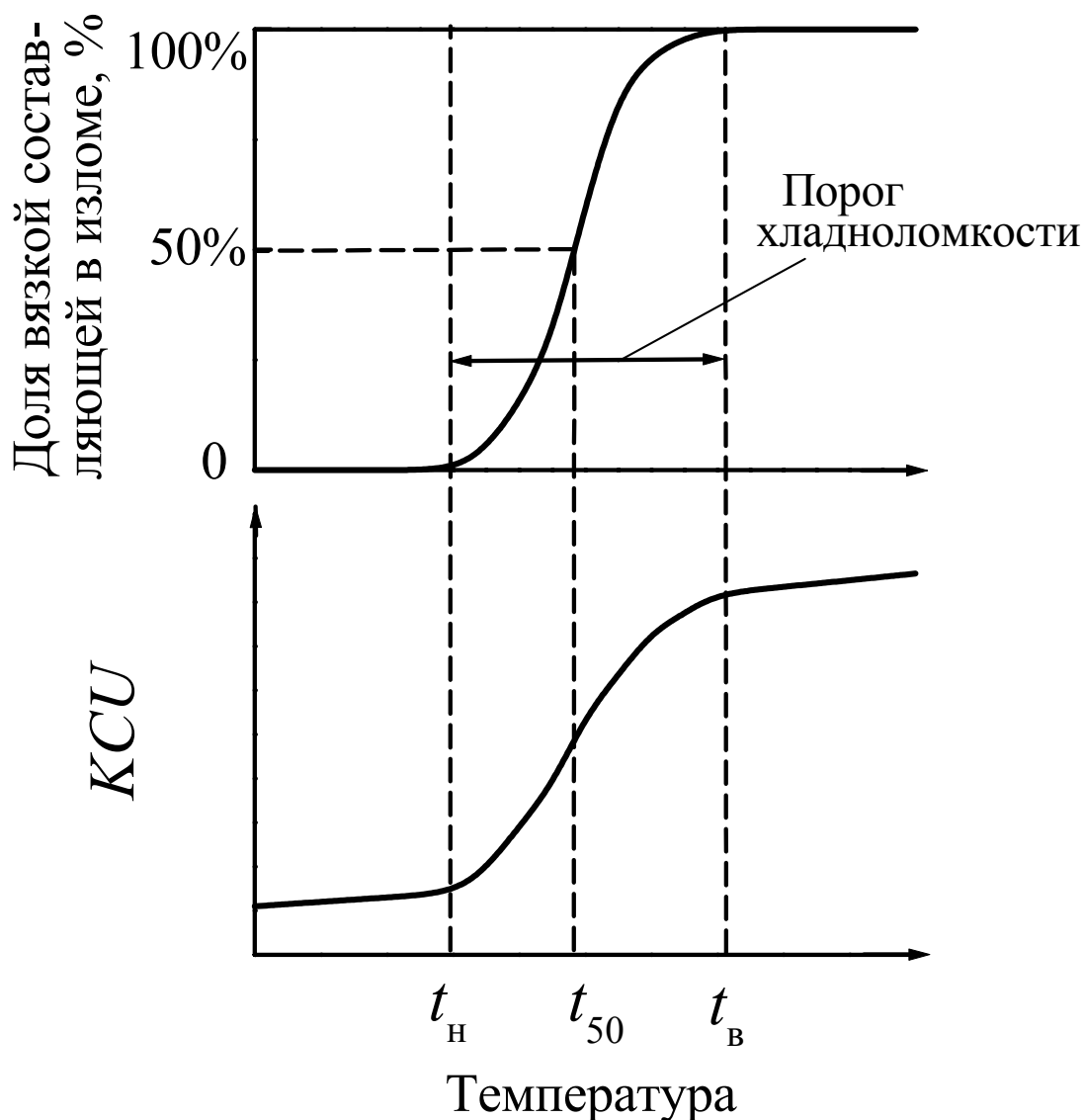


Рис.2 Влияние температуры испытания на процент вязкой составляющей в изломе и ударную вязкость (**КСУ**) стали.

Запас вязкости для ответственных деталей, испытывающих динамические нагрузки, принимается равным 60° , для неответственных деталей и промежуточного случая соответственно 20° и 40° .

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что следует выбирать такой режим обработки, чтобы порог хладноломкости (t_{50}) детали, работающей при комнатной температуре, был бы не выше, чем $-20^{\circ} \dots -40^{\circ}\text{C}$.

Порог хладноломкости стали существенно зависит от её чистоты, т.е. содержания в ней примесей. В табл. 1 приведено изменение t_{50} стали при увеличении на 0,01% содержания некоторых примесей [4].

Таблица 1

Влияние некоторых элементов на порог хладноломкости стали

Химический элемент	Смещение t_{50} , °C	Химический элемент	Смещение t_{50} , °C
O	+ 15	Cu	+ 1
N	+ 10	Sn	+ 30
C	+ 2	Zn	+ 7
P	+ 7	Bi	+ 25
S	- 10	Sb	+ 20

Следует отметить, что влияние примесей на порог хладноломкости стали наиболее сильно проявляется при их содержании до ~ 0,05%. При большей концентрации примесей интенсивность их влияния резко снижается. Обычно количество вредных примесей в стали составляет тысячные или десятитысячные доли процента. Наиболее значительно из них на температуру хладноломкости влияет кислород. Поэтому способ раскисления и вакуумная обработка - очень важные металлургические приёмы повышения качества стали, т.к. они приводят к снижению содержания кислорода и азота в стали.

Помимо чистоты стали на порог хладноломкости влияют и структурные факторы, в частности, размер зерна: чем оно крупнее, тем t_{50} выше. Измельчить зерно можно путём проведения термической обработки. Поэтому при выборе марки стали необходимо решить, что в данном конкретном случае более целесообразно: получить сталь более высокой чистоты и удовлетвориться свойствами металла, полученными в состоянии поставки, или ориентироваться на термическую обработку. Для сталей, применяющихся в высокопрочном состоянии ($\sigma_{0,2} = 1400...1800$ МПа), необходимо использование всех способов повышения их надёжности.

Высокопрочные стали являются уже не столь надёжными, т.к. они полностью вязко не разрушаются, а имеют хрупко-вязкий излом, однако их также необходимо оценить с точки зрения надёжности. При этом следует иметь в виду, что они обычно применяются для тонких деталей, а с уменьшением толщины (< 10 мм) t_{50} резко понижается. В этом случае целесообразно воспользоваться критерием Ирвина G_{1c} (интенсивность напряжений в устье трещины). Величина его зависит от силы, необходимой для продвижения вершины трещины на единицу длины. По своему смыслу и размерности (Н/м или Н·м/м²) критерий G_{1c} аналогичен удельной работе распространения трещины (КСТ, Н·м/м² или Дж/м²). При расчётах пользуются коэффициентом интенсивности напряжений: $K_{1c} = \sqrt{E \cdot G_{1c}}$, МПа·м^{1/2}. Высокопрочные материалы, как показал

А.Гриффитс, потому и являются не надёжными, что они при хрупком и хрупко-вязком разрушении чрезвычайно чувствительны к различным дефектам. Следовательно, не идеальная прочность такого материала, которая равна теоретической (для стали ~ 20.000 МПа), а величина дефекта (длина трещины) определяет допустимую нагрузку. Поэтому для высокопрочных материалов допустимы не почти мифические свойства прочности идеального материала, а размер дефекта и способность к затуплению трещины (косвенно характеризуемая значением K_{1c}), что и определяет допустимую нагрузку (рис.3).

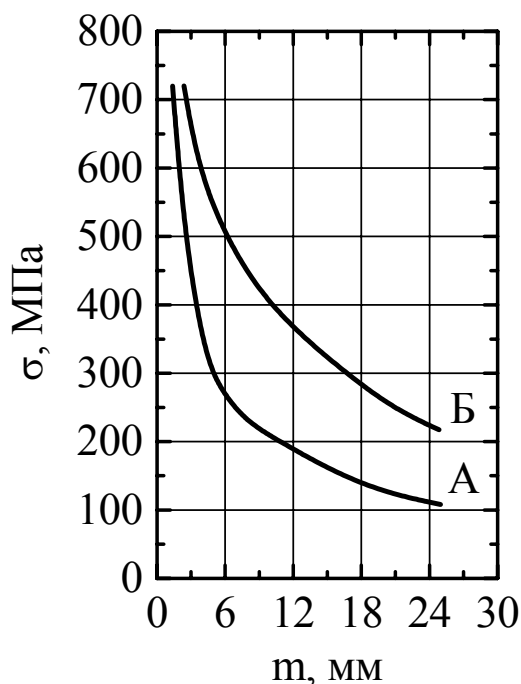


Рис.3 Зависимость критического напряжения (σ) от размера дефекта (m) для двух сталей (А и В) с разным значением K_{1c} :
 А – $K_{1c} = 31,5 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$,
 Б – $K_{1c} = 57,0 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ [5]

Как видно из рис.3, при $\sigma = 200$ МПа дефект длиной 6 мм безопасен. При таком дефекте разрушение произойдёт при $\sigma = 260$ МПа, если $K_{1c} = 31,5 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$ и при 500 МПа, если $K_{1c} = 57,0 \text{ МПа}\cdot\text{м}^{1/2}$, хотя условный предел текучести в обоих случаях может быть и одинаковым.

Таким образом, для сталей, разрушающихся вязко, выбор материала основан на соответствии рассчитанных напряжений и условного предела текучести при условии обеспечения удовлетворительного запаса вязкости, гарантирующего малую вероятность хрупкого разрушения. Для сталей же со смешанным или хрупким разрушением выбор напряжений определяется значениями K_{1c} и предельным размером дефекта. К сожалению, не накоплены ещё данные по K_{1c} , а методы обнаружения (измерения) дефектов, особенно внутренних, недостаточно отработаны.

1.3. Обеспечение долговечности

Для большинства деталей машин их выход из строя в основном связан с двумя видами повреждений – износом и усталостью.

Износ представляет собой постепенное удаление с поверхности детали частиц металла. Чем выше твёрдость металла, тем меньше износ, хотя отдельные характеристики структуры (например, включения карбидов) или свойств (способность к наклёпу) могут внести определённый, а иногда и существенный вклад в сопротивление изнашиванию. Следовательно, способы повышения поверхностной твёрдости (поверхностная закалка или химико-термическая обработка – цементация, азотирование, цианирование и другие процессы) приводят, разумеется, в разной степени, к повышению износостойкости.

Усталостное разрушение состоит из трёх этапов:

- зарождение усталостной трещины;
- распространение трещины;
- долом детали (окончательное разрушение).

Распространение трещины и долом могут протекать по двум различным механизмам – вязкому и хрупкому (второй значительно быстрее первого). Это ещё раз свидетельствует о том, что сталь, испытывающая длительное воздействие повторно-переменных (циклических) напряжений, должна также иметь достаточный запас вязкости.

Усталостная трещина зарождается на поверхности детали в результате воздействия растягивающих напряжений. При наличии концентраторов напряжений растягивающие напряжения вокруг них повышаются, что и способствует более быстрому возникновению зародышевой трещины усталости. Наоборот, при наличии на поверхности детали остаточных сжимающих напряжений, действующие растягивающие напряжения уменьшаются и, следовательно, затрудняется образование зародышевой усталостной трещины.

Общий принцип повышения усталостной прочности металла состоит в том, что на поверхности детали создаётся слой с остаточными напряжениями сжатия за счёт поверхностного наклёпа, поверхностной закалки, химико-термической обработки и некоторых других менее распространённых способов поверхностного упрочнения. Так как эти слои обладают высокой твёрдостью, то указанные виды обработки приводят к повышению не только усталостной прочности, но и износостойкости.

Обеспечение таких параметров долговечности, как коррозионная стойкость, жаропрочность и др. в данном пособии не рассматривается.

1.4. Технологические и экономические требования

Кроме необходимого комплекса механических свойств, к конструкционным сталям предъявляются и технологические требования, суть которых в том, чтобы трудоёмкость изготовления деталей из них была минимальной. Для этого сталь должна обладать хорошей обрабатываемостью.

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.