

2 лекция

Материалы ДМ. Выбор материала. Понятие о технологичности. Инженерные подходы к расчётам по ОКР – допускаемые напряжения и коэффициенты запаса. Расчёт на прочность при постоянных напряжениях. 8-13

Материалы ДМ

Для изготовления ДМ находят применение практически все материалы, освоенные промышленностью.

КОНСТРУКЦИОННЫЕ СТАЛИ

- углеродистая общего назначения Ст0 ... Ст6
- углеродистая качественная Сталь 08, ... , Сталь А12 (автоматная)...
- легированная 20Х, 40ХФА, 38Х2МЮА, ШХ15СГ, 60С2
- для стальных отливок 15Л, 20Л, ... , 55Л...

По содержанию углерода (в значительной степени определяет свойства и термическую обработку) различают стали и назначают режимы термообработки (цементация, закалка, отпуск...) для изменения свойств:

- малоуглеродистые $\leq 0,25C$ Цем Зак Отп низкий $\approx 200^0$
- среднеуглеродистые $\leq 0,25C \dots 0,6C$ Зак Отп низк и высок $\approx 500^0$
- высокоуглеродистые $> 0,6C$ Зак Отп низк и высок $\approx 500^0$

Конструкционная *сортовая сталь* поставляется в виде проката (брус, лист, полоса, лента, круг, квадрат, шестигранник, уголок, швеллер, тавр, двутавр, труба...).

ЧУГУНЫ

- серый СЧ 10...35 (СЧ35 — $\sigma_B = 35 \text{ кгс/мм}^2 \approx 350 \text{ Н/мм}^2 = 350 \text{ МПа}$; углерод в виде пластинок графита, отсюда серый цвет в изломе)
- высокопрочный ВЧ35...100 (шаровидный углерод)
- белый и отбелённый (углерод в связанном состоянии)
- ковкий (отжиг белого) КЧ30-6...65-3 (КЧ 65-3 — $\sigma_B = 650 \text{ МПа}$, $\delta = 3\%$)
- антифрикционный

ЦВЕТНЫЕ МЕТАЛЛЫ, ИХ СПЛАВЫ И БИМЕТАЛЛЫ

- медные (бронза, латунь)
- баббиты
- алюминиевые (дюралюминий Al+Cu+Mg+Mn, силумин – до 20% кремния)
- титановые
- биметаллы (совместная прокатка)

КОМПОЗИЦИОННЫЕ МАТЕРИАЛЫ – из высокопрочных волокон (тонкая проволока $\sigma_B = 4500 \text{ МПа}$, нитевидные кристаллы – например стеклянные диаметром 1 мкм $\sigma_B = 10000 \text{ МПа}$, сетка) + связующая основа (металлическая, полимерная, керамическая).

РЕЗИНА – обладает высокой деформируемостью, упругостью, демпфированием и энергоёмкостью, хорошо сопротивляется истиранию и агрессивным средам, допускает армирование.

ГРАФИТ

КЕРАМИКА И МЕТАЛЛОКЕРАМИКА (спекание из порошков – безотходное формование, новые свойства) – до 40% пор, прочность достигает прочности исходного материала.

ПЛАСТМАССЫ – материалы на основе высокомолекулярных органических соединений, обладающих в определённой фазе пластичностью, позволяющей формовать изделия + наполнитель 40...70% + добавки.

Типичные свойства: малая плотность, высокая тепло и электроизоляция, химическая стойкость, красивый внешний вид.

Недостатки: низкие прочность, жёсткость, ударная вязкость, твёрдость, теплостойкость, теплопроводность; холодная ползучесть; старение.

Отдельные группы имеют высокую удельную прочность, высокую антифрикционность или фрикционность, прозрачность.

Изготовление деталей – прессование горячее и холодное, литьё под давлением и без, снятием стружки.

Бывают: *термоактивные* – слоистые (текстолит, гетинакс, асботекстолит, древеснослоистые пластики, стеклопласты); *термопластичные* – допускают повторное прессование (органическое стекло – плексиглас, полиэтилен, полипропилен, винипласт, фторпласт, полиамиды – нейлон и капрон, полиформальдегид, полиуретан, эпоксидные полимеры, поликарбонаты); *композитные* – фенопласты, текстолитовая крошка, волокнит.

УСИЛЕННАЯ ДРЕВЕСИНА

БЕТОН И ЖЕЛЕЗОБЕТОН, в том числе с заливкой в сварные тонколистовые оболочки

СИТАЛЛЫ – стекло с мелкокристаллической структурой (0,02...1 мкм), получаемой добавкой веществ, образующих центры кристаллизации.

Выбор материала

Выбор материала производят с учётом

- соответствия ОКР,
- требований к массе,
- условий эксплуатации,
- масштаба выпуска,
- дефицитности,
- возможности изготовления в конкретных условиях,
- стоимости.

Улучшение показателей материала дают различные операции: **обработка термическая** — *нормализация* (обычно прокат в состоянии поставки); *отжиг* (полное снятие внутренних напряжений); *закалка*; *отпуск* низкий 150-200⁰С, средний 350-500⁰С и высокий 500-650⁰С; *закалка* токами высокой частоты ТВЧ;

химико-термическая обработка — *цементация* низкоуглеродистой стали (твёрдая, газовая, жидкая диффузионным насыщением поверхности углеродом и последующей закалкой и высоким отпуском); *азотирование* (диф. насыщ. пов. в среде потока аммиака с предварительной закалкой и высоким отпуском); *цианирование* (диф. насыщ. пов. углеродом и азотом в расплаве солей с последующей закалкой и низким отпуском); *нитроцементация* (диф. насыщ. пов. углеродом и азотом в газовой среде с предварительной закалкой и низким отпуском)

механический наклёп (обкатка роликами, «обдув дробью» – более чем вдвое повышает усталостную прочность);

концентрированные потоки энергии, покрытия.

Например для стали 20Х параметры	НВ	σ_B МПа	σ_T МПа
<i>Нормализация</i>	180	480	220
<i>Цемент.+Зак.+Низк. Отп.</i>	580	650	400
УВЕЛИЧЕНИЕ	3,1	1,3	1,8

Большой выигрыш даёт «принцип местного качества – нужное свойство в нужном месте» (материал коленчатого вала должен иметь достаточную прочность и ударную вязкость в объёме, но быть твёрдым под вкладышами – применяют горячую штамповку для получения сложной формы и после нормализации выполняют закалку ТВЧ коренных и шатунных шеек).

Понятие о технологичности

Знание свойств материала и возможностей производства должно постоянно сопровождать процесс проектирования.

К концу 19 века в России возникло принципиально новое конструктивно-технологическое направление, связанное с деятельностью в МВТУ профессора Худякова П.К. и его сотрудников – профессоров Сидорова А.И., Гавриленко А.П. и Шухова В.П.

По Сидорову А.И., «...изучение машины должно затрагивать все стороны дела, все обстоятельства работы машины, все физические свойства реальных тел, так как инженер строит машины и сооружения не из воображаемых упрощённых материалов, ...конструктор должен быть хорошо знаком со всеми процессами изготовления и обработки проектируемых машин, сооружений или вообще всяких изделий. Без такого знакомства он может напроектировать таких деталей, которые будет или совсем невозможно отлить, отковать или обработать, или же обработка которых окажется неудобной, дорогой и продолжительной».

Разработка деталей и всей конструкции при удовлетворении ОКР и учёте требований эксплуатации и ремонта обязательно увязывается с процессом изготовления и оценивается **технологичностью**, под которой понимают изготовление с наибольшей эффективностью в конкретных условиях.

Общие подходы к технологичности:

1. Простота и целесообразность формы.
2. Соответствие способа изготовления масштабу выпуска и условиям производства.
3. Точность изготовления и чистота поверхности – не выше необходимой.
4. Заготовка (литьё, поковка, прокат или штамповка) как можно ближе к рабочей детали.
5. Механическая обработка минимальная и надо стремиться к применению высокопроизводительных методов.

(*Всем прочесть Грабин Василий Гаврилович «Оружие Победы»*).

Инженерные подходы к расчётам по ОКР

Определение размеров ДМ производят по ОКР *при проектных* расчётах, а затем уточняют правильность разработок *при проверочных* расчётах. Такая схема двойного расчёта позволяет оценить результат и избежать ошибок в вычислениях.

При определении величин действующих сил и моментов пользуются зависимостями теоретической механики и теории механизмов и машин, при определении размеров – зависимостями сопромата.

В приводах машин идут по кинематической цепи от двигателя к рабочей машине (или наоборот) и находят кинематические и силовые параметры через передаточное отношение передач и КПД составляющих.

РАСЧЁТ НА ПРОЧНОСТЬ выполняют по:

- допускаемым напряжениям, условие прочности

$$\sigma \leq [\sigma], \quad \tau \leq [\tau]$$

- коэффициенту запаса прочности, условие прочности

$$s \geq [s]$$

При этом $[\sigma]$, $[\tau]$ и $[s]$:

1. Принимают по аналогичным, хорошо себя зарекомендовавшим конструкциям – **табличный метод**.
2. Определяют расчётом – **дифференциальный метод**

$$[s] = S_1 \begin{array}{l} \text{достоверности} \\ \text{расчётных схемы,} \\ \text{нагрузок, напряжений} \\ 1,2 \dots 1,5 \end{array} \cdot S_2 \begin{array}{l} \text{качества} \\ \text{материала} \\ \text{сталь 1,2 поковка} \\ \text{1,5 прокат} \\ \text{чугун 1,5 \dots 2,5} \end{array} \cdot S_3 \begin{array}{l} \text{ответственности} \\ \text{детали (безопасность)} \\ 1 \dots 1,5 \end{array}$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{\text{предельное}}}{[s]}$$

где $\sigma_{\text{предельное}}$ – предельное напряжение, зависит от материала и характера нагружения.

При достижении предельного напряжения «деталь выбывает из строя либо вследствие возникновения недопустимо большой остаточной деформации, либо вследствие разрушения» – Добровольский Виктор Афанасьевич.

При расчётах напряжений, действующих в сечении деталей

$$\sigma_{\text{предельное}} = \sigma_{\text{T}}(\sigma_{0,2}); \sigma_{\text{B}}; \sigma_{-1}; \sigma_0 \dots$$

Для контактных напряжений

$$\sigma_{\text{предельное}} = \sigma_{\text{H предельное}} = C_{\text{B}} \cdot \text{HB} + a_{\text{HB}}$$

$$\sigma_{\text{предельное}} = \sigma_{\text{H предельное}} = C_{\text{R}} \cdot \text{HRC} + a_{\text{HRC}}$$

где HB и HRC – твёрдость поверхности по Бринелю или Роквеллу;

C_{B} и C_{R} , a_{HB} и a_{HRC} – числовые величины, принимают по источникам.

1. Расчёт на прочность при постоянных напряжениях

а) пластичных материал ($\delta_5 \geq 6\%$ $\psi \geq 10\%$ $a_{\text{H}} \geq 50 \text{ Дж/см}^2$)

$$\sigma_{\text{E}} = \sqrt{\sigma^2 + \left(\frac{\sigma_{\text{T}}}{\tau_{\text{T}}}\right)^2 \cdot \tau^2} \approx \sqrt{\sigma^2 + (3 \div 4)\tau^2} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{\text{T}}}{[s]}$$

где σ_{E} - эквивалентное или приведённое напряжение,

σ - действующее нормальное напряжение,

τ - действующее касательное напряжение.

При определении действительных напряжений концентраторы не учитывают (за исключением надрезов). Условие прочности:

растяжение (сжатие) $\sigma = F / A \leq [\sigma]$

сдвиг, срез $\tau = Q / A \leq [\tau]$

изгиб $\sigma = M / W \leq [\sigma]$

кручение $\tau = T / W_{\text{P}} \leq [\tau]$

где σ , τ , $[\sigma]$, $[\tau]$ — соответственно действительные напряжения (нормальные, касательные) и допускаемые, Н/мм^2

F — сила, действующая вдоль оси стержня, Н

A — площадь поперечного сечения, мм^2

Q — сила, действующая перпендикулярно оси стержня, Н

M — изгибающий момент, $\text{Н}\cdot\text{мм}$

W — осевой момент сопротивления, мм^3

T — крутящий (вращающий) момент, $\text{Н}\cdot\text{мм}$

W_{P} — полярный момент сопротивления, мм^3

б) хрупкий материал ($\delta_5 \leq 3\%$ $\psi \leq 6\%$ $a_{\text{H}} \leq 30 \text{ Дж/см}^2$)

По теории прочности Мора:

$$\sigma_E = \frac{1 - \frac{\sigma_B}{\sigma_{B\text{СЖ}}}}{2} \cdot \sigma + \frac{1 + \frac{\sigma_B}{\sigma_{B\text{СЖ}}}}{2} \sqrt{\sigma^2 + 4\tau^2} \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{\text{предельное}}}{[s]}$$

где $\sigma_B, \sigma_{B\text{СЖ}}$ - предел прочности при растяжении, сжатии,

$\frac{\sigma_B}{\sigma_{B\text{СЖ}}}$ - для серого чугуна 0,25; для закалённых сталей 0,75,

$\sigma_{\text{предельное}}$ - при растяжении σ_B , при сжатии $\sigma_{B\text{СЖ}}$, при изгибе $\sigma_{B\text{и}}$.

При определении действующих напряжений концентраторы учитывают (за исключением серого чугуна, у которого пластинчатый графит по всему объёму уже является концентратором) введением перед силовым фактором множителя в виде эффективного коэффициента концентрации напряжений:

$$\sigma = K_\sigma F/A \leq [\sigma] \quad \tau = K_\tau Q/A \leq [\tau] \quad \sigma = K_\sigma M/W \leq [\sigma] \quad \tau = K_\tau T/W_P \leq [\tau]$$

ВНИМАНИЕ !

Конспект аккуратно переписывается, прорабатывается, дополняется по рекомендуемой литературе и показывается на практическом занятии.

Также по учебно-методическому пособию «Детали машин и основы конструирования. Тестовые задания по вводной части» прорабатываются Блоки 5.2,6,7 и 8.1 согласно указаний ПРЕДИСЛОВИЯ. Проработанное также показывается на практическом занятии (*далее будет проведено контрольное тестирование*).