

# ПРИМЕР ВЫПОЛНЕНИЯ ЭКЗАМЕНАЦИОННОГО БИЛЕТА

## БИЛЕТ №n

### Модуль №1

1 Влияние динамического нагружения на изменение упругой деформации рабочей клетки и точность проката

2 Тест

### Модуль №2

## ОТВЕТ

### Модуль №1

#### 1 Влияние динамического нагружения на изменение упругой деформации рабочей клетки и точность проката

Точность геометрических характеристик готового металлопроката определяется во время прокатки. Изменение размеров полосы происходит вследствие изменения упругих деформаций нагруженных частей рабочей клетки, которые являются результатами изменения давления металла на валки и динамического нагружения упругой системы рабочей клетки.

Факторы, влияющие на изменение давления при прокатке, а следовательно, упругой деформации клетки:

- изменение температуры металла;
- неоднородность металла (химический состав и структура);
- непостоянство размеров подката;
- натяжение полосы;
- трение между валками и полосой;
- биение валков и т.д.

Итак, все причины, вызывающие изменение давления металла на валки, будут одновременно оказывать влияние и на изменение деформации рабочей клетки, а следовательно, и на точность геометрических характеристик подката.

При обычных расчётах величины пружины клетки не учитывают характер изменения нагрузки во времени, т.е. задачу рассматривают как статическую.

Однако в реальности переходные и неустановившиеся процессы, имеющие место при прокатке, могут использоваться для статических расчётов только с очень большим допущением.

Рассмотрим рабочую клетку прокатного стана.

Система является достаточно сложной, однако её можно представить в виде одностепенной расчётной схемы (рисунок 1.1).

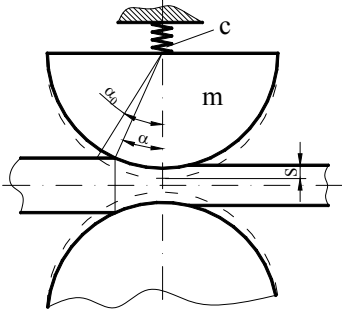


Рисунок 1.1 – Расчётная схема для определения упругой деформации рабочей клетки

Дифференциальное уравнение движения массы такой системы будет иметь следующий вид:

$$m \frac{d^2 S}{dt^2} + cS = F(\tau), \quad (1.1)$$

где  $m$  – приведенная масса валков с подушками, уравновешивающего механизма и других элементов;  $S$  – упругая деформация рабочей клетки;  $c$  – жесткость связи (клетки);  $F(\tau)$  – возмущающая сила, изменяющаяся во времени.

Рассмотрим процесс захвата металла валками. В начальный момент времени ( $t=0$ ) нагрузки отсутствуют.

Для анализа процесса захвата металла валками примем линейный характер нарастания нагрузки в системе (давление металла на валки) (рисунок 1.2):

$$\begin{aligned} F(\tau) &= P \frac{\tau}{t_0} \quad \text{— при } \tau = 0 \dots t_0; \\ F(\tau) &= P \quad \text{— при } \tau > t_0, \end{aligned} \quad (1.2)$$

где  $P$  – полная сила прокатки;  $t_0$  – время захвата металла валками.

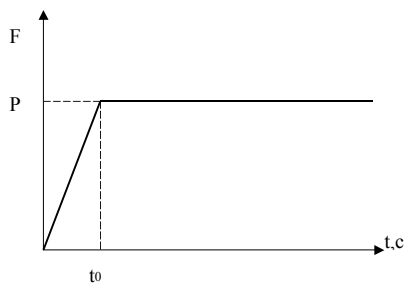


Рисунок 1.2 – Закон нарастания нагрузки при захвате металла валками

Подставив значение  $F(\tau)$ , имеем:

$$S = \frac{P}{mp^2} - \frac{P}{mp^2} \frac{\sin pt_0}{pt_0} \cos pt_0 + \frac{P}{mp^2} \frac{1 - \cos pt_0}{pt_0} \sin pt_0. \quad (1.3)$$

Выразив через одну тригонометрическую функцию, будем иметь:

$$S = S_{ст} + S_{ст} \frac{\sin \pi \lambda}{\pi \lambda} \sin(pt + \gamma), \quad (1.4)$$

где  $S_{ст} = P / mp^2$  – статическая деформация рабочей клетки;  $\lambda = \frac{t_0}{T}$  – отношение времени захвата к периоду колебаний упругой системы

клетки;  $p = \sqrt{c/m}$  – частота собственных колебаний системы;  $\gamma = -\arctg \frac{\sin 2\pi \lambda}{1 - \cos 2\pi \lambda}$  – вспомогательный параметр;  $T = p / 2\pi$  –

частота колебаний системы.

Из выражения (1.4) следует, что в общем случае при динамическом захвате упругая деформация рабочей клетки состоит из статической деформации и динамической составляющей (рисунок 1.3). Амплитуда колебаний деформаций зависит от параметра  $\lambda$ : чем меньше  $\lambda$ , тем больше динамическая амплитуда и общая деформация клетки в момент захвата (рисунок 1.4). При  $\lambda \geq 5$  динамическая составляющая деформаций не превышает 5% от статической.

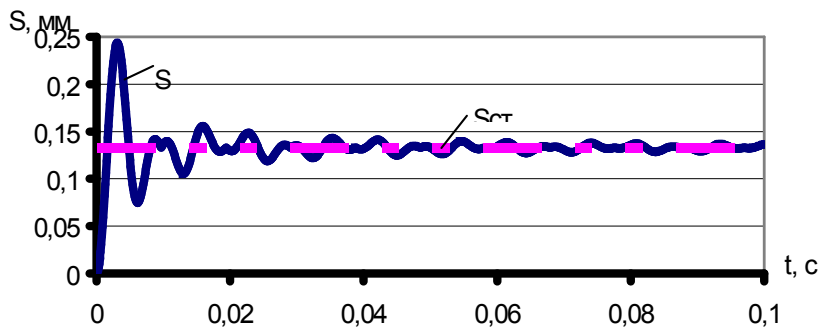


Рисунок 1.3 – Характер изменения упругой деформации клетки при захвате металла валками

Колебания суммарной упругой деформации рабочей клетки могут сказаться на точности размеров проката, особенно при сравнительно больших деформациях и малой толщине полосы. Соответственно перемещению  $S$  будут изменяться напряжения и усилия в упругих связях рабочей клетки, что необходимо учитывать при расчетах.

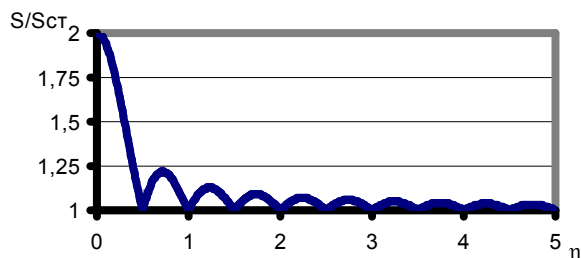
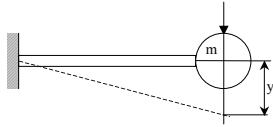


Рисунок 1.4 – Зависимость динамической составляющей деформации от параметра её нагружения

# ТЕСТ

1. По какой из формул определяется жёсткость на изгиб консоли?



- a)  $\frac{l^2}{3EI}$ ; б)  $\frac{3EI}{l^3}$ ; в)  $\frac{l^3}{3EI}$ ; г)  $\frac{3EI}{l^2}$ .

2. Чему равна величина момента инерции ротора электродвигателя, если  $GD^2=400 \text{ т} \cdot \text{м}^2$ ?

- а)  $10,2 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2$ ; б)  $10,2 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2$ ; в)  $10,2 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2$ ; г)  $0,102 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2$

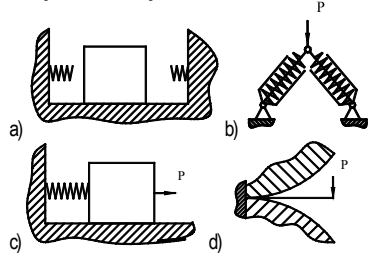
3. Укажите число степеней свободы (1, 2, 3, 4) у балки с распределенной нагрузкой, изогнутая ось которой может быть описана уравнением

$$y = a_1(t) \sin \frac{\pi x}{l} + a_2(t) \sin \frac{2\pi x}{l}$$



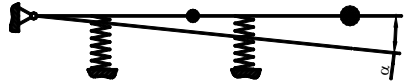
Ответ: 1

4. В каких системах силы упругости связей имеют линейную зависимость, нелинейную затухающую, нелинейную возрастающую, нелинейную с зоной нечувствительности?



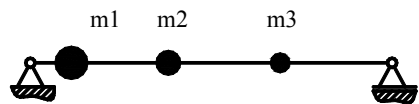
Ответ: cbda

5. Укажите число степеней свободы упругой системы (1, 2, 3 и 4).



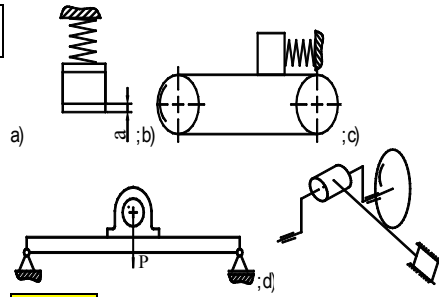
Ответ: 1

6. Укажите число степеней свободы (1, 2, 3, 4) у невесомой балки со сосредоточенными массами.



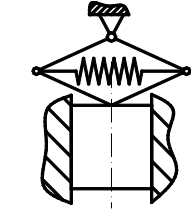
Ответ: 3

7. Укажите, какие из приведенных систем совершают свободные колебания, вынужденные колебания, параметрические колебания и автоколебания:



Ответ: acdb

8. Сколько степеней свободы (1, 2, 3 или 4) у системы?

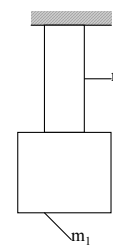


Ответ: 1

9. Чему равна податливость цилиндрического участка вала?

- а)  $\frac{G l}{I}$ ; б)  $\frac{I}{G l}$ ; в)  $\frac{l}{G I}$ ; г)  $\frac{I}{G l}$ .

10. Чему равна приведенная масса системы, если  $m_1/m_2=20$ ?



а)  $20,21 m_1$ ; б)  $m/20$ ; в)  $m/2$ ; г)  $m/21$ .

11. Момент инерции опорного вала рабочей клетки кранов  $I_{оп}=1,0 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2$ , диаметр бочки опорного вала  $D_{оп}=1500 \text{ мм}$ , диаметр бочки рабочего вала  $D_p=1000 \text{ мм}$ . Чему равен приведенный момент инерции опорного вала (к оси рабочего вала)?

- а)  $4,5 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2$ ; б)  $0,445 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2$ ; в)  $2,25 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2$ ; г)  $0,890 \text{ т} \cdot \text{м} \cdot \text{сек}^2$ .

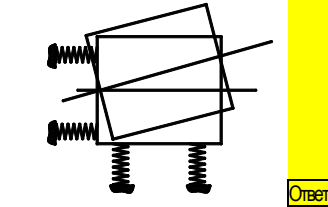
12. По какой из формул определяется собственная частота двухмассовой колебательной системы?

- а)  $\sqrt{\frac{d_1 l_2}{l_1 + l_2}}$ ; б)  $\sqrt{\frac{l_2}{d_1 + l_2}}$ ; в)  $\sqrt{\frac{d_1 + l_2}{l_1 l_2}}$ ; г)  $\sqrt{\frac{l_1 + l_2}{d_1 l_2}}$

13. По какой из формул определяется приведенная к оси вала 1 жесткость вала 2?

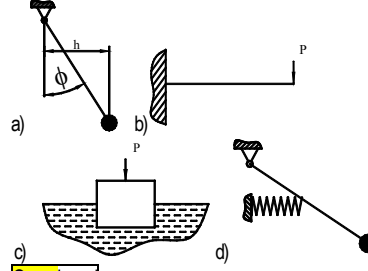
- а)  $\frac{\omega_2}{2\omega_1}$ ; б)  $\frac{\omega_1}{2\omega_2}$ ; в)  $\frac{\omega_2^2}{C_2 \omega_1^2}$ ; г)  $\frac{\omega_1^2}{C_2 \omega_2^2}$

14. Укажите число степеней свободы (1, 2, 3, 4) упругой системы.



Ответ: 3

15. В каких системах действуют силы упругости, силы плавучести, силы тяжести и смешанные силы?



Ответ: bcad

16. По какой из формул определяется собственная частота продольных колебаний  $\omega_0$  стержня массой  $m$ ?

- а)  $\sqrt{\frac{C}{m}}$ ; б)  $\sqrt{\frac{C}{2m}}$ ; в)  $\sqrt{\frac{C}{0,533m}}$ ; г)  $\sqrt{\frac{C}{0,333m}}$

17. Дать определение различным типам колебательных процессов: свободных колебаний; вынужденных колебаний; параметрических колебаний и автоколебаний:

а) вызываются периодическими изменениями параметров системы; б) колебательные процессы, поддерживаемые источниками энергии неколебательного характера; в) возникают вследствие действия на механическую систему внешних переменных сил; г) совершаются механической системой, лишенной притока энергии извне, если система выведена из состояния равновесия, а затем предоставлена самой себе.

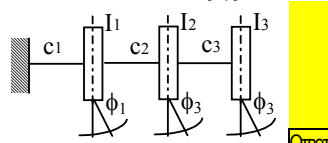
Ответ: dcab

18. Укажите определения восстанавливающей силы, диссипативной силы, возмущающей силы, силы смешанного характера

а) силы трения, совершающие необратимую работу; б) силы, заданные в виде явных функций времени, не зависящие от движения системы, но активно влияющие на него; в) силы, не разлагаемые на сумму сил  $P(y)$ ,  $P(\dot{y})$ ,  $P(t)$ ; г) силы, возникающие в связи с отклонением системы от положения равновесия, и стремящиеся вернуть систему в это положение

Ответ: dabc

19. Укажите число степеней свободы упругой системы (1, 2, 3 или 4).



Ответ: 3

20. Чему равна общая жесткость при последовательном соединении жесткостей?

- а)  $C_1 + C_2$ ; б)  $C_1 C_2$ ; в)  $\frac{C_1 + C_2}{C_1 C_2}$ ; г)  $\frac{C_1 C_2}{C_1 + C_2}$

## МОДУЛЬ №2

### 1 Факторы, влияющие на сопротивление усталости. Концентрация напряжений

В результате проведения многочисленных экспериментов по определению сопротивления усталости  $\sigma_{-1}$  для деталей натурных размеров оказалось, что сопротивление усталости для деталей натурных размеров  $\sigma_{-1D}$  обычно в 2...6 раз меньше, чем для гладкого лабораторного образца малого диаметра (около 7,5 мм).

Для оценки этой разницы используется коэффициент  $K$ , учитывающий влияние всех факторов, свойственных детали натурных размеров, работающей в определенных условиях, на сопротивление усталости:

$$K = \sigma_{-1} / \sigma_{-1D}.$$

В общем случае на сопротивление усталости оказывают влияние следующие факторы:

- концентрация напряжений;
- масштабный фактор (влияние размеров поперечного сечения);
- качество обработки поверхности;
- эксплуатационные факторы (влияние температуры, коррозии, частоты изменения нагрузки и др.);
- технологические методы поверхностного упрочнения деталей (поверхностное пластическое деформирование, химико-термические методы, поверхностная закалка и др.).

В сварных соединениях существенную роль играют также дефекты сварки (непровары, подрезы, трещины, включения) и остаточные напряжения.

Если сечение детали меняется в каком-либо месте (например, в месте ступенчатого перехода, в канавке, резьбе, у кромки отверстия, у шпунчного паза), то максимальные напряжения в этом месте будут превышать номинальные напряжения, определяемые по традиционным формулам сопротивления материалов:

$$\sigma_{изг} = M_{изг} / W_{изг}; \sigma_{p(сж)} = P / F; \tau_{кр} = M_{кр} / W_{кр}.$$

Явление местного превышения напряжений по сравнению с номинальными в зонах резкого изменения размеров и очертаний детали называют концентрацией напряжений.

Для характеристики этой разницы в напряжениях вводится теоретический коэффициент концентрации напряжений:

$$\alpha_{\sigma} = \sigma_{max} / \sigma_{ном}. \quad (1)$$

Величины  $\alpha_{\sigma}$  для различных деталей находят или методами теории упругости, или специальными экспериментальными методами. Коэффициент  $\alpha_{\sigma}$  существенно зависит от плавности переходов при изменении сечений  $\rho$  (рисунок 2.1).

Фактическое снижение предела выносливости детали вследствие концентрации напряжений характеризуется эффективным коэффициентом концентрации напряжений:

$$K_{\sigma} = \sigma_{-1d} / \sigma_{-1D}, \quad (2)$$

где  $\sigma_{-1d}$  – предел выносливости образца без концентрации напряжений с размерами поперечного сечения, равными размерам поперечного сечения детали (для отделения влияния масштабного фактора).

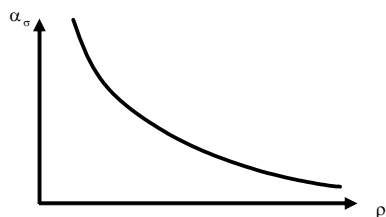


Рисунок 2.1 – Зависимость коэффициента концентрации напряжений  $\alpha_{\sigma}$  от радиуса кривизны поверхности  $\rho$