

ПРОЕКТУВАННЯ ШАТУНІВ

Шатун – відповідальна деталь *ГВМу*, за допомогою якої здійснюється передача зусилля від повзуна на колінчатий вал. Конструкція шатуна певною мірою залежить від способу його з'єднання з повзуном. Шатун постійної довжини з'єднується з повзуном через сполучний палець, а шатун перемінної довжини – за допомогою кульової опори на кінці регульовального гвинта. Початкові розміри шатуна визначаються компонованням *ГВМу*. Довжина шатуна L визначається при синтезі виконавчого механізму. Товщина тіла шатуна вибирається по довжині шатунної шийки головного вала. У більшості випадків виконується перевірочний розрахунок шатунів. Шатуни перемінної довжини розраховуються при їхній максимальній довжині. Матеріали для виготовлення шатунів приведені в табл. 5.1.

6.1. Розрахункові зусилля, що діють на шатун

При розрахунку однокривошипних пресів передбачається, що шатун піддається дії повного стискаючого зусилля $P_p = P_n$, при розрахунку двокривошипних пресів – на один шатун діє зусилля $P_p = (0,63 \dots 0,75)P_n$, при розрахунку чотирьох кривошипних пресів – на один шатун діє зусилля $P_p = 0,63P_n$. Таке збільшення навантаження застосовують для обліку можливого нерівномірного навантаження шатунів при ексцентричному додатку навантаження.

Шатуни пресів для розділових операцій після відколу металу витримують напруги розтягування σ_p , що спільно зі стискаючими напруженнями приводять до його знакозмінного навантаження. Приймається, що розтяжне зусилля складає

$$P_{\text{рас}} = 0,3P_n. \quad (6.1)$$

У швидкохідних прес-автоматах при зворотному ході розтяжне зусилля, обумовлене тертям у напрямних повзуна і подоланням сил опору допоміжних механізмів, приймається рівним $P_{\text{рас}} = 0,1P_n$. 6.1

У диференціальних кривошипно-шатунних механізмах зусилля, що розтягують і стискають мають зворотні знаки.

При числі ходів повзуна більш 200 у хвилину варто враховувати сили інерції, що діють разом зі стискаючими чи силами, що розтягують, тобто мають з ними однакові напрямки.

Величина сили інерції ГВМу визначається по формулі

$$P_u = 1,097 \cdot 10^{-2} \cdot M_n n_n^2 R(1 + \lambda), \quad (6.2)$$

де M_n – маса повзуна, збільшена на 30% для обліку маси шатуна і штампа, кг;

n_n – номінальне число ходів повзуна в хвилину.

Крім сил, шатун піддається дії згинальних моментів, що виникають від сил тертя в ГВМі і від прогину шатуна в площині головного вала при зсуві зусилля на повзуні. Згинальні моменти визначається таким чином.

Згинальний момент від сил тертя знаходиться по формулі

$$M_u^\mu = \mu P_p \left(r_B - x \frac{r_{BA}}{L} \right). \quad (6.3)$$

де x – відстань від центра нижньої головки шатуна до небезпечного перетину.

Поточний згинальний момент від прогину шатуна в площині осі головного валу ZOY для одно шатунного повзуна з хоботом

$$M_u^y = \frac{2E_w J_w}{LL_n} \left\{ 0,5(\Delta_{HZ} + \Delta_{BZ}) + \frac{P_p x - \left[\frac{E_w J_w (\Delta_{HZ} + \Delta_{BZ})}{LL_n} \right]}{\frac{3E_x J_{x_{max}}}{L_x^2} + \frac{2E_w J_w}{LL_n}} \right\}. \quad (6.4)$$

Для одно шатунного повзуна без додаткових напрямних

$$M_u^y = \frac{E_w J_w \Delta_{HZ}}{LL_n} + P_p x_c. \quad (6.5)$$

Тут x_c позначає ексцентриситет додатка навантаження. Позначення інших параметрів у формулах (6.2) і (6.3) приведені в попередній лекції. Якщо шатун з повзуном з'єднується через кульову опору, чи відсутній ексцентриситет навантаження, а також для багато кривошипних пресів згинальний момент M_u^y дорівнює нулю.

При максимальному перекошені повзуна використовується наближена формула

$$M_u^y = \frac{4 \cdot E_w J_w \theta_z}{L}, \quad (6.6)$$

де θ_z – кут повороту повзуна при максимальному перекошені $\theta_z = \Delta_{HZ} / 2L_n$.

6.2. Розрахунок стрижня шатуна на статичну міцність

тискаючі напруги в будь-якому перетині стрижня

$$\sigma_{сж} = \frac{P_p}{F}, \quad (6.7)$$

де F – площа розглянутого поперечного перерізу.

Напруга вигину в загальному випадку

$$\sigma_u = \frac{M_u^x}{W_z} + \frac{M_u^y}{W_y}, \quad (6.8)$$

де W_z, W_y – відповідно моменти опору вигину обраного перетину щодо осі Z і Y .

Статична міцність шатуна визначається з умови

$$n_c = \frac{\sigma_m}{\sigma_u + k_{dc}\sigma_{сж}} \geq [n], \quad (6.9)$$

Коефіцієнт динамічності по статичних напругах k_{dc} вибирається по табл. 6.1, припустимий запас міцності $[n_c]$ приймається рівним 1,8...2,0. Границя текучості σ_T матеріалу шатуна вибирається по табл. 5.1 попередньої теми.

Таблиця 6.1 Коефіцієнти динамічності

Тип преса	k_{dc}	k_{dk} валу		
		1	2	3
Листоштампувальні преси з числом ходів повзуна до 30 за хвилину:	1	1	1	1
Універсальні листоштампувальні з числом ходів повзуна більше 30 за хвилину:	1,1	1,1	–	1,2
Спеціалізовані преси для розділових операцій	1,3	1,4	1,5	1,8
Листоштампувальні автомати з числом ходів повзуна в хвилину:				
до 200	1,2	1,3	–	–
200...500	1,3	1,4	–	–
500...1000	1,4	1,5	–	–
більше 1000	1,5	1,6	–	–
КГШП і гаряче штампувальні багатопозиційні автомати	1,03	1,1	–	1,5
ГКМ і гаряче штампувальні висаджувальні автомати	1,02	1,06	–	1,2

Преси для холодного видавлювання	1,01	1,05	1,1	1,2
Карбувальні преси	1	1,06	1,2	1,3
Холодновисаджувальні автомати з числом ходів повзуна в хв.:				
до 100	1,1	1,1	–	–
100...250	1,2	1,4	–	–
250...500	1,3	1,5	–	–
більше 500	1,4	1,6	–	–
Ножиці для сортового прокату	1,2	1,3	1,4	1,7

Примітка: стовпці для коефіцієнта динамічності по дотичних напруженнях позначені: 1 – для головного вала; 2 – для проміжного вала; 3 – для прийомного вала.

6.3. Розрахунок стрижня шатуна на витривалість

Міцність шатуна на витривалість визначається з умови

$$n_e = \frac{2\sigma_{-1}}{k_3(1+k_{p\sigma})(\sigma_{сж}+\sigma_u)k_\sigma/(\varepsilon\beta)} \geq [n_e], \quad (6.10)$$

де σ_{-1} – границя витривалості матеріалу на вигин, приймається по табл. 5.1 попереднього розділу;

k_3 – коефіцієнт еквівалентного навантаження, вибирається по табл. 5.9, як для головного вала;

$k_{p\sigma}$ – коефіцієнт реверсивного навантаження по нормальних напругах, вибирається по табл. 6.2;

k_σ – ефективний коефіцієнт концентрації напруг; для місця переходу шатуна в голівку $k_\sigma=1,6$, для стрижня $k_\sigma=1,2$;

ε – масштабний фактор; для шатунів зі сталі $\varepsilon=0,9$, для шатунів з чавуна $\varepsilon=0,4$;

β – коефіцієнт, що враховує якість поверхні; при наявності ливарних дефектів і $\sigma_B=600$ МПа $\beta=0,65$, при $\sigma_B=800$ МПа $\beta=0,53$, при $\sigma_B=1000$ МПа $\beta=0,45$;

Коефіцієнт запасу міцності $[n_e]$ приймається рівним 1,6...1,8.

Таблиця 6.2 Коефіцієнти реверсивного навантаження

Тип преса	$k_{p\sigma}$	$k_{p\tau}$
Для листового штампування:		
число ходів менш 50 у хвилину	0,05	0,01
число ходів 50...120 у хвилину	0,01	0,02
число ходів більш 120 у хвилину	0,005	0,03
Для об'ємного штампування:		
КГШП із густим мастилом	0,02	0
КГШП із рідким мастилом	0,02	0,3
ГКМ і однопозиційні автомати	0,01	0
багатопозиційні автомати	0,03	0,1
Для холодного об'ємного штампування:		
Карбувальні преси	0	0,1
Автомати при числі ходів повзуна в хвилину:		
менш 100	0,09	0,12
100...250	0,12	0,15
більш 250	0,15	0,25
Преси для розділових операцій:		
спеціалізовані	0,3	0,4
прес-ножиці сортові	0,25	0,3
автомати для вирубання	0,15	0,3

6.4. Перевірка нарізки шатуна

Для складних шатунів виконується перевірка різьбової частини гвинта і стрижня на зминання і вигин (рис. 6.11).

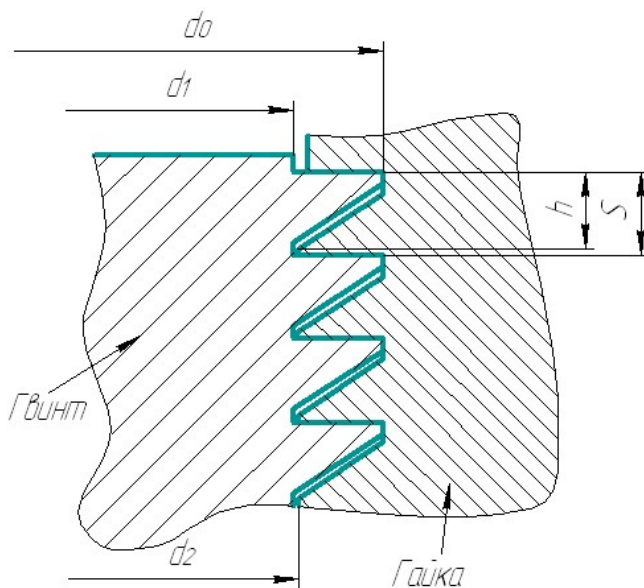


Рис. 6.1 Різьблення шатуна

Напруга змінання різьби

$$\sigma_{\text{см}} = \frac{4P_p}{\pi n (d_0^2 - d_2^2)} \leq [\sigma_{\text{см}}], \quad (6.12)$$

де n – число робочих витків різьби

$$n = \frac{H_g}{S};$$

H_g – висота гайки;

$k_n = 5s/d_0$ – коефіцієнт, що враховує нерівномірність розподілу навантаження по витках;

S – крок різьби.

Напруга вигину витків різьби

$$\sigma_u = \frac{3P_p(d_0 - d_2)}{2\pi s^2 \beta_1^2 d_0 n} \leq [\sigma_u], \quad (6.13)$$

де $\beta_1 = h / S$ – коефіцієнт товщини витка.

Допустима напруга змінання $[\sigma_{\text{см}}]$ для сталі 45у рівна 80 МПа, для сталі 40Х – 160 МПа, для сталі 40ХН – 180 МПа, для чавуну СЧ24 – 40 МПа. Допустима напруга вигину $[\sigma_u]$ приймається для сталі 45у – 80 МПа, для сталі 40Х – 180 МПа, для сталі 40ХН – 200 МПа, для чавуну СЧ24 – 50 МПа.

6.5. Розрахунок з'єднань шатунів з повзунами

Шатун з повзуном може з'єднуватися одним із трьох способів:

- кульовою опорою гвинта, що спирається на кульовий підп'ятник;
- за допомогою пальця і передачею зусилля через нього;
- за допомогою пальця і передачею зусилля через нижню циліндричну

поверхню шатуна.

При першому і третьому способах з'єднання діаметр сферичної чи циліндричної поверхні визначається по величині припустимого питомого тиску в опорі.

В другому випадку виконується розрахунок міцності пальця на вигин і змінання опорних гнізд у повзуні по відомих методиках, розглянутим у курсі опору матеріалів. Приймається розподілене навантаження пальця розрахунковим зусиллям P на довжині, рівній 0,8...0,9 ширини шатуна.