

УДК 621.81

Канд. техн. наук Є. Т. Білий

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя

ОСОБЛИВОСТІ ОПТИМІЗАЦІЇ ПРОЕКТУВАННЯ ВАЛІВ

Розглянуто особливості проектування суцільних і порожнистих валів. Запропонований варіант визначення діаметра у небезпечному перетині вала, який забезпечує запас міцності на рівні нормованого та інших перетинах з мінімальним наднормованим перебільшенням, що дозволяє підвищити техніко-економічні показники конструкцій та удосконалити процес проектування валів.

Ключові слова: вал, діаметр, оптимізація, запас міцності, перетин, методика, розрахунок, напруження, етюра, момент крутіння, момент вигину.

Актуальність

Сучасним проектуванням валів передбачені попередні, основні та перевірні розрахунки [1–3]. Результатом попередніх розрахунків є ескіз вала для побудови епюр розподілу навантажень вздовж вала у вигляді крутих – T та згинальних – M моментів від дії зовнішніх сил.

Орієнтовне визначення діаметра вала здійснюється з урахуванням умов роботи з використанням емпіричних залежностей, або з умовного розрахунку на кручення ділянок, де вплив згинання незначний і враховується шляхом зменшення припустимих напружень $[\tau]$ [2]. Розміри інших ділянок вала – d_{iop} визначаються необхідністю закріплення на них деталей та наближенням до форми бруса рівного опору.

Уточнення діаметрів ділянок вала d_i потребує визначення небезпечного перетину вала, оскільки найбільш навантажений перетин не завжди є небезпечним. За звичай, визначення відбувається на підставі досвіду проектування, без розрахунків, або виконуються порівняльні розрахунки двох перетинів, обраних за результатами попереднього проектування [1].

У більшості випадків такого визначення вал має залишкові запаси міцності у порівнянні з нормованими, тобто знижені техніко-економічні показники матеріаломісткості та енерговитратності. Вдосконалення методики проектування валів з урахуванням наведеного, є актуальним.

Репрезентація варіанту оптимізації проектування валів

З метою підвищення техніко-економічних показників валів та оптимізації їх проектування в частині зменшення кількості ітерацій, необхідне аналітично-розрахункове визначення небезпечного перетину та проектних розмірів усіх ділянок вала. З означеною метою після розрахунку орієнтовних розмірів у перетинах вала d_{icp} необхідно визначити:

– мінімальні розміри у перетинах вала – d_{imin} з урахуванням характеристик обраного матеріалу, запасів міцності та фактичних навантажень;

– небезпечний перетин вала, як такий, у якому різниця між орієнтовним та мінімальними діаметрами є найменшою;

– діаметр вала у небезпечному перетині з урахуванням мінімально достатнього – d_{imin} та обмежень згідно з чисельним рядом R40 або обмежень до розмірів опорних ділянок під підшипники;

– проектні розміри вала d_i з урахуванням діаметра у небезпечному перетині.

Запропонований варіант оптимізації проектування розглянемо на прикладі вала на рис. 1.

Орієнтовні розміри вала у перетині III–III з переважною дією кручення та суттєво зменшених значень допустимих напружень $[\tau] = 1220$ МПа, що визначені за умовою (1.1), дозволяють визначити розміри інших ділянок валу d'_{1op} , d'_{2op} відповідно необхідності розміщення на валу колес, шківів, підшипників та мінімізації концентрації напружень (рис. 1, в, орієнтовний контур):

$$d'_{3op} \geq 10^3 \sqrt{\frac{16T}{\pi[\tau]}} \quad (1)$$

Відповідно орієнтовним діаметрам у перетинах та повздовжнім розмірам деталей, розміщених на валу (рис. 1, в) створюють розрахункову схему вала (рис. 1, а), визначають епюри розподілу навантажень вздовж вала у вигляді моментів згинання M_{ix} , M_{iy} та їх рівнодіючого – $M_{i\Sigma}$ (2) і моменту кручення – T_i .

У перетинах з одночасною дією згинання і кручення згідно з енергетичною теорією міцності навантаженням є зведений момент – $M_{i3\phi}$ (3)

$$M_{iz} = \sqrt{M_{ix}^2 + M_{iy}^2}, \quad (2)$$

$$M_{i3\phi} = \sqrt{M_{i\Sigma}^2 + 0,75T_i^2}. \quad (3)$$

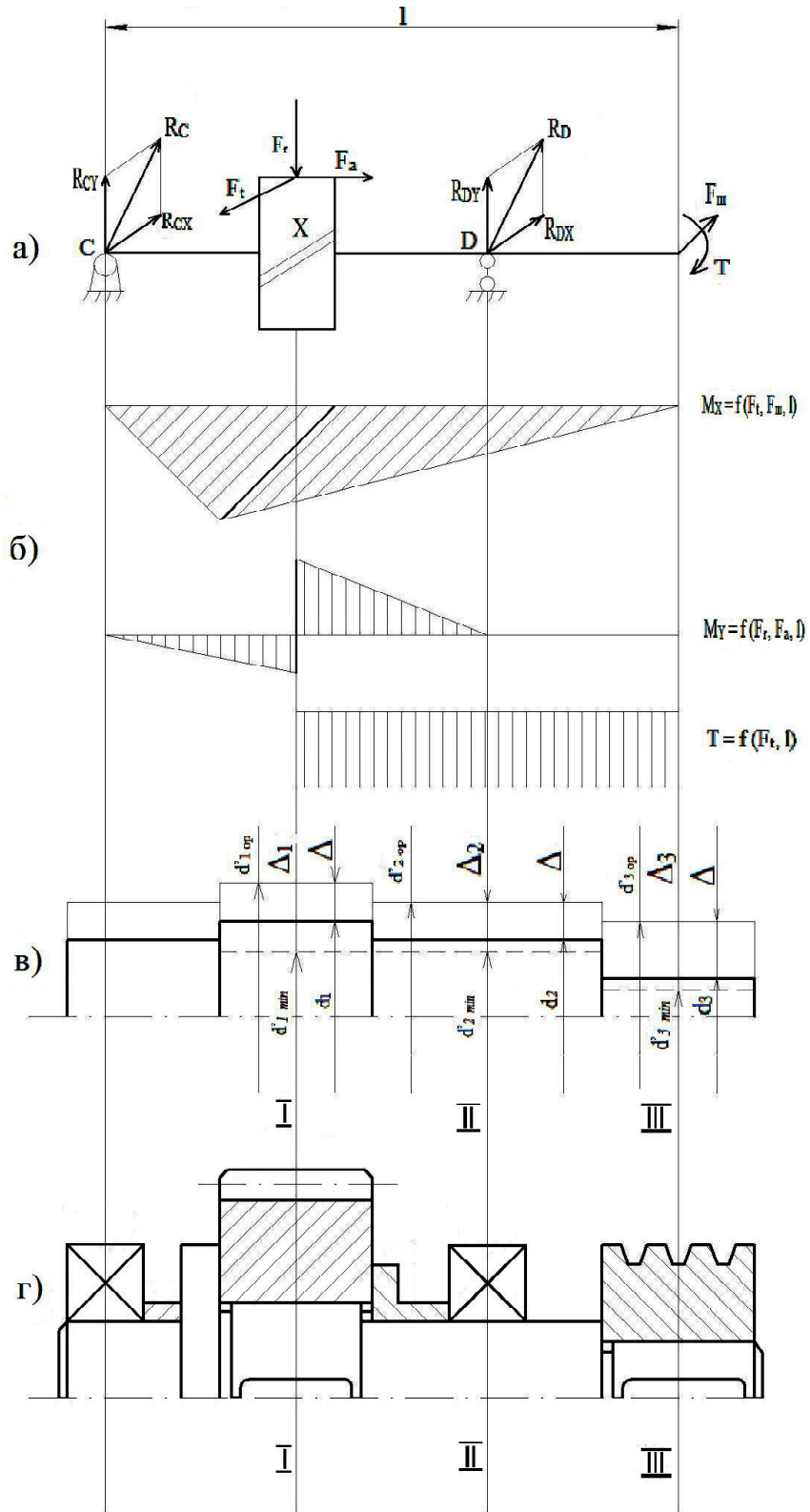


Рис. 1. До проектування валу

— — орієнтовні розміри; - - - - мінімальні розміри; — — — — остаточної розміри;

а) розрахункова схема; б) опори розподілу моментів для зовнішнього навантаження; в) співставні розміри на етапах проектування; г) остаточної конструкція

Орієнтовна конструкція дозволяє обрати матеріал валу, його механічні характеристики $\sigma_m, \sigma_e, \sigma_{-1}$ [2] згідно з орієнтовними розмірами $d'_{i\ op}$, відповідні запаси міцності за умов (4) та визначити допустимі напруження (5)

$$[S_T] = 1,8 \dots 2,5, \text{ якщо } \sigma_B / \sigma_T \geq 1,4,$$

$$[S'_T] = 2,4 \dots 3,0, \text{ якщо } \sigma_B / \sigma_T < 1,4; \quad (4)$$

$$[\sigma] = \frac{\sigma_T}{[S'_T]}; \quad [\tau] = \frac{\tau_T}{[S'_T]}, \quad (5)$$

тут $\tau_T = (0,5 \dots 0,6) \sigma_T$.

Згідно з фактичними навантаженнями у перетинах $M_{1\ зб} M_{2\ зб}$ та T_3 обрахунок мінімально припустимих $d'_{i\ min}$ (6) дозволяє визначити розрахункові контури валу (рис. 1, контур - -) з нормованою статичною міцністю з урахуванням рівня перевантажень ψ

$$d'_{1,2\ min} = 10^3 \sqrt{\frac{\Psi M_{1,2\ зб}}{0,1[\sigma]}}; \quad d'_{3\ min} = 10^3 \sqrt{\frac{\Psi T_3}{0,2[\tau]}}. \quad (6)$$

Небезпечний перетин валу виявляється за умов (7) як такий, де різниця між орієнтовним та мінімальним діаметрами Δ є найменшою

$$d_{i\ op} - d_{i\ min} = 2\Delta_i,$$

$$\Delta_{\min} = f(\Delta_i).$$

Для подальших перевірних розрахунків проєктні діаметри валу d_i у перетинах визначаються за умов (8) з урахуванням вимог до опорних ділянок валу під підшипники, чисельного ряду R_{40} та наближення до мінімальних розмірів у небезпечному перетині валу

$$d_i = d_{i\ op} - 2\Delta,$$

$$\Delta \leq \Delta_{\min}.$$

Якщо за умов конструювання або техніко-економічних вимог вал потрібно виконати порожнистим, то після визначення діаметру у небезпечному перетині суцільного валу перехід до порожнистого валу здійснюється за допомогою відносних параметрів за умов рівномірності $W_c = W_n$ (рис. 2, а), а також за умови рівножорсткості $l_c = l_n$ для ділянок скручування та згинання (рис. 2, б). Це коефіцієнти:

$$\text{- порожнистості} \quad \varphi = \frac{d_0}{d_3};$$

тут d_0 – діаметр отвору валу;

d_3 – зовнішній діаметр валу.

- відносного зовнішнього діаметра порожни-

$$\text{стого валу} \quad K_n = \frac{d_3}{d_c};$$

- відносного діаметра отвору порожнистого

$$\text{валу} \quad K_o = \frac{d_o}{d_c};$$

- відносної ваги порожнистого валу $K_G = \frac{G_n}{G_c}$,

де G_n – вага порожнистого валу;

G_c – вага суцільного валу.

Після визначення альтернативних параметрів порожнистого валу – внутрішнього – d_0 та зовнішнього – d_3 діаметрів у небезпечному перетині

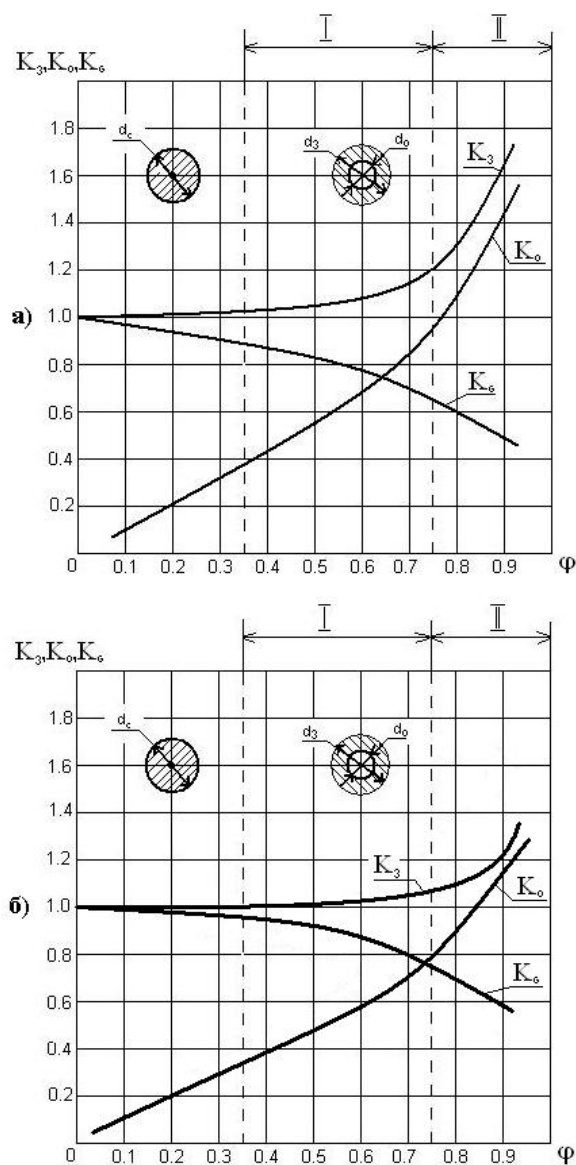


Рис. 2. Відносні параметри порожнистих валів з суцільними валами за умов однакових: міцності $W_A = W_c$ (а) та жорсткості $l_n = l_c$ (б)

подальше його конструювання відбувається, у більшості, за рахунок надання ступінчастої форми зовнішній поверхні відповідно умовам розміщення на валу інших деталей, при збереженні постійності внутрішнього діаметру на протязі усього вала.

Висновки

Запропонований варіант проектування суцільних та порожнистих валів забезпечує створення валів з нормованим запасом міцності у небезпечному перетині та мінімальним перевищенням його в інших перетинах, що обумовлено технологічними умовами.

Застосування наведеного варіанту проектування дозволяє підвищити техніко-економічні показники валів та підвищити ефективність проектування за рахунок формалізації визначення небезпечного перетину вала та проектування у цілому.

Список літератури

1. Решетов Д. Н. Конструирование узлов и деталей машин / Д. Н. Решетов. — М. : Высш. шк., 1989. — 496 с.
2. Дунаев П. Ф. Конструирование узлов и деталей машин / П. Ф. Дунаев, О. П. Леликов. — М. : Академия, 2003. — 496 с.
3. Иванов М. Н. Конструирование узлов и деталей машин / М. Н. Иванов. — М. : Высш. шк., 2008. — 408 с.
4. Павлище В. Т. Основы конструирования та розрахунок деталей машин / В. Т. Павлище. — К. : Афіша, 2003. — 560 с.
5. Орлов П. И. Основы конструирования. Т. 1. / П. И. Орлов. — М. : Машиностроение, 1977. — 623 с. с ил.

Поступила в редакцию 29.04.2011

Белый Е.Т. Особенности оптимизации проектирования валов

Рассмотрены особенности проектирования сплошных цельных и полых валов. Предложен вариант определения диаметров в опасном сечении вала, который обеспечивает запас прочности на уровне нормативного и в других сечениях с минимальным превышением нормативного запаса прочности, что позволяет повысить технико-экономические показатели конструкций и усовершенствовать процесс проектирования валов.

Ключевые слова: вал, диаметр, оптимизация, запас прочности, сечение, методика, расчет, напряжение, эпюра, момент кручения, момент изгиба.

Bily E. Different features of shaft designing

Different features of solid and hollow shafts designing are observed. The method to define diameters of dangerous and others cross sections of shaft in order to provide a sufficient margin of strength is offered. Cross section diameter definition is performed based on minimal exceeding of normative margin of strength. Thus this method considerably improves the shaft designing process.

Key words: shaft, diameter, optimization, strength margin, section, methodic, calculation, tension, diagram, torsional moment, bending moment.