

Оптимальное проектирование трубчатых валов бумагоделательных машин

Питухин А.В.¹
Данилова М.В.

Петрозаводский государственный университет

В статье излагается постановка задачи оптимального проектирования трубчатых валов бумагоделательных машин и дано описание программы их поверочного расчета и оптимального проектирования. Задача оптимального проектирования ставится как монокритериальная и многопараметрическая задача нелинейного программирования при наличии ограничений в виде неравенств. В качестве целевой функции принята масса вала, а в качестве критерия - ее минимум. Функциональные ограничения в виде неравенств накладываются на запас статической прочности, запас усталостной прочности и относительный прогиб. Областные ограничения накладываются на толщину стенки, наружный и внутренний диаметр трубы вала.

Ключевые слова: бумагоделательная машина, трубчатый вал, оптимальное проектирование, компьютерная программа.

ВВЕДЕНИЕ

Автоматизация процесса проектирования элементов конструкций бумагоделательных машин позволяет сократить время на подготовку и создание документации, необходимой для производства бумагоделательных машин, дает возможность вносить изменения в проект на всех стадиях проектирования, не требуя при этом больших затрат времени и средств. Можно выделить следующие основные направления развития автоматизации процесса проектирования:

- создание единой информационной среды, охватывающей процесс разработки конструкторской документации, подготовки производства и выпуска готовой продукции, на основе компьютерной сети в масштабе предприятия и с возможным выходом на региональные, общероссийские и международные сети;
- создание единого каталога типовых деталей в параметрическом виде и информационных баз данных для конструкторской подготовки производства;
- создание или приобретение современных программ универсального характера (например, по конечноэлементному анализу, численным методам, текстовых и графических редакторов и т.д.);
- создание пакетов прикладных программ, ориентированных на расчеты конкретных конструкций.

¹ Авторы, соответственно, заведующий и преподаватель кафедры технологии металлов и ремонта

Трубчатые валы являются наиболее распространенными и ответственными элементами бумагоделательной машины и поэтому разработка методик и компьютерных программ по их поверочному расчету и оптимальному проектированию является важным направлением автоматизации проектирования бумагоделательных машин.

ПОСТАНОВКА ЗАДАЧИ ОПТИМИЗАЦИИ

При проектировании машин показателей эффективности может быть несколько, поэтому в общем случае они образуют вектор. Использовать концепцию оптимизации можно лишь в том случае, когда показатель эффективности - скаляр. Поэтому применяют операцию свертывания (агрегирования) вектора в скалярную целевую функцию. Одним из таких методов является метод главного показателя. Предполагается при этом, что эффект достигается в основном вследствие увеличения (уменьшения) одного, так называемого главного, показателя и задача оптимизации может быть сведена к задаче оптимизации по единственному (главному) показателю при условии, что значения остальных - не ниже требуемых для них уровней. Для трубчатых валов, учитывая их большое количество в бумагоделательной машине, в качестве главного показателя эффективности целесообразно выбрать массу (вес), наложив ограничения снизу на прочностные показатели. Иногда задачу в такой постановке называют обратной задачей оптимизации. Итак, постановка задачи оптимизации с ограничениями может быть математически описана следующим образом:

Минимизировать вес трубы вала

$$G = G(A)$$

при условиях:

$$A^L \leq A \leq A^U \text{ - областные ограничения,}$$

$$F(A) \leq 0 \text{ - функциональные ограничения,}$$

где

$A = (a_1, \dots, a_n)$ - вектор переменных проектирования (управляемых переменных, оптимизируемых параметров);

a_i - оптимизируемые параметры, индексы L и U обозначают нижнюю и верхнюю границы переменных проектирования.

В качестве управляемых переменных проектирования принимаем внутренний d и наружный D диаметры вала, на которые накладываем областные ограничения. Функциональными ограничениями будут являться минимальный запас статической прочности, максимальный относительный прогиб, минимальная толщина стенки вала, максимальная толщина стенки вала.

Целевая функция выразится в следующем виде:

$$G = \frac{\pi}{4} b \gamma (D^2 - d^2),$$

где

b - ширина сукна (длина бочки);
 γ - удельный вес.

Областные ограничения:

$$\begin{aligned} D^L &\leq D \leq D^U, \\ d^L &\leq d \leq d^U. \end{aligned}$$

Функциональные ограничения:

$$\begin{aligned} n_{\min} - n &\leq 0, \\ n_{\sigma \min} - n_{\sigma} &\leq 0, \\ f - f_{\max} &\leq 0, \\ h_{\min} - h &\leq 0, \\ h - h_{\max} &\leq 0, \end{aligned}$$

где

n - запас статической прочности;

n_{σ} - запас усталостной прочности;

$n_{\min}, n_{\sigma \min}$ - минимально допустимые значения коэффициентов запаса;

f, f_{\max} - относительный прогиб и его максимальное значение;

$h = (D-d)/2$ - толщина стенки вала;

h_{\min}, h_{\max} - минимальное и максимальное значения для толщины стенки.

Методики расчета n, n_{σ}, f базируются на классических методах сопротивления материалов и в данной статье не излагаются [1,2].

ОПИСАНИЕ ПРОГРАММЫ ПОВЕРОЧНОГО РАСЧЕТА И ОПТИМИЗАЦИИ ТРУБЧАТЫХ ВАЛОВ БУМАГОДЕЛАТЕЛЬНЫХ МАШИН

Программа "SHAFT" предназначена для поверочного расчета и оптимизации сукноведущих и сетководущих трубчатых валов бумагоделательных машин. Вал представляет собой пустотелую трубу, в которую запрессовывается патрон. В патрон запрессовывается цапфа.

Оптимизация производится методом последовательного перебора диаметров с заданной величиной шага. Программа осуществляет вычисление веса трубы вала, коэффициентов статической и усталостной прочности, критической максимальной и рабочей скорости вращения вала. При условии выполнения проверок запоминаются вес вала и все расчетные величины. После перебора всех вариантов выдается сообщение об оптимальном минимальном весе вала и соответствующих диаметрах - наружном и внутреннем.

Программа составлена для использования на персональных ЭВМ и написана на алгоритмическом языке программирования FORTRAN. Объем занимаемой памяти составляет 50 Кбайт. Программа имеет основной модуль и одну подпрограмму - для расчета оптимального веса, наружного и внутреннего диаметров - "VES". Все исходные данные вводятся в специальный файл - "shaft.isx".

В процессе работы программы на экран выводятся промежуточные результаты расчета по основным показателям. Об окончании работы программы пользователь оповещается специальным сообщением. Данные ввода и результаты поверочного расчета выведены в файл результатов - "shaft.rez". Распечатка файла "shaft.rez" представлена ниже.

====*==*==*==*==*==*==*==*==*==*==*==*==*==*

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ

Введите значения следующих данных:

Q0=3.500	- Усилие натяжения сукна, Н/мм
B0=4050.0	- Ширина сукна (длина бочки), мм
L0=4850.0	- Расстояние между опорами, мм
A0=3.1415930	- Угол обхвата вала сукном, рад
G0=1.5707	- Угол между направлением действия силы тяжести вала и верхней ветвью сукна, рад
V0= 300.0	- Линейная скорость привода, м/мин
T0=22.	- Срок службы вала, год.
NF0= .10E+07	- Базовое число циклов испытаний материала
S01=180.00	- Предел выносливости материала трубы, МПа
K01= .90	- Коэффициент влияния шероховатости поверхности трубы
K02= .70	- Коэффициент влияния абсолютных размеров поперечного сечения
KS=2.9	- Коэффициент концентрации напряжений
S02=380.00	- Предел прочности материала трубы, МПа
S03=560.00	- Предел прочности материала цапфы на изгиб, МПа
M0= .785E-04	- Удельный вес материала трубы, Н/мм**3
BE= .200E+06	- Модуль упругости материала трубы, МПа
CE= .210E+06	- Модуль упругости материала цапфы, МПа

====*==*==*==*==*==*==*==*==*==*==*==*==*==*

ВВОД ОГРАНИЧЕНИЙ

Z1= 4.50	- Минимальный запас статической прочности
Z0= 1.00	- Минимальный запас усталостной прочности
F0= .333E-03	- Максимальный относительный прогиб

DBX= 400. - Максимальный наружный диаметр
 вала, мм
 DBN= 355. - Минимальный наружный диаметр
 вала, мм
 DMN= 350. - Минимальный внутренний диаметр
 вала, мм
 H1= 8.70 - Максимальная толщина стенки, мм
 H0= 8.50 - Минимальная толщина стенки, мм
 J1= 1.0 - Шаг для расчета наружного диамет
 ра вала
 J2= .5 - Шаг для расчета внутреннего диа
 метра вала
 J3= 1.0 - Шаг для расчета минимального
 диаметра цапфы

РЕЗУЛЬТАТЫ РАСЧЕТА

FOO= 1.181 - прогиб рабочей части вала, мм
 EPO= .244E-03 - относительный прогиб
 SGAO= .240E+02 - напряжение изгиба рабочей
 части вала, Н/мм**2
 ZO= 1.628 - запас усталостной прочности
 ZS= 15.825 - запас статической прочности
 NO= 4.337 - рабочая частота вращения вала,
 об/сек
 ALO= 164.363 - допустимая частота вращения
 вала, об/сек
 OKRO= 205.454 - критическая частота вращения
 вала, об/сек
 DMCO= 84.000 - минимальный диаметр цапфы,
 мм
 TO= 8.500 - минимальная толщина стенки
 вала, мм

ОПТИМАЛЬНЫЕ РАЗМЕРЫ И ВЕС ВАЛА

DBO= 367.000 - оптимальный наружный диа-
 метр вала, мм
 DMO= 350.000 - оптимальный внутренний диа-
 метр вала, мм
 G= .304E+04 - оптимальный вес вала, Н

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

Представленная в настоящей статье программа поворочного расчета и оптимизации трубчатых валов бумагоделательных машин позволяет сократить период их проектирования и освободить проектировщика от рутинной работы. С ее помощью можно оперативно решать возникающие вопросы при проектировании и изготовлении трубчатых валов. Данная программа может иметь практическое применение в конструкторских бюро, занимающихся проектированием валов бумагоделательных машин. Программу также можно использовать в учебном процессе как обучающую при освоении студентами курса "Расчет и проектирование бумагоделательных машин".

ЛИТЕРАТУРА

1. Эйдлин И.Я. Бумагоделательные и отделочные машины. Изд. 3-е, испр. и доп. М.: Лесная промышленность, 1970. 624 с.
2. ОСТ 12.44.097-89. Валы и оси. Расчет на прочность и жесткость. М.: Издательство стандартов, 1989. 88 с.