

Варианты технологического процесса

T_{Σ} , тыс. ч	$J_{удопт}$, км/с	
	$\eta_T = 0.5$	$\eta_T = 0.6$
5	28.2	31
10	40.3	44
15	49	54
20	57	62.9

новки при заданных исходных данных.

$$J_{удопт} = 9.6 \sqrt{T_{\Sigma} \eta_T}.$$

Задача может решаться в несколько циклов в связи с тем, что величина $J_{удопт}$ может не реализовываться тем типом движителя, который выбран для первого варианта расчетов, или принятое в расчете значение η_T не реализуется при рассчитанном $J_{удопт}$.

Попадания в диапазон работоспособности выбранного типа ЭРД зависит от квалификации проектировщика. При предварительных оценках следует ориентироваться следующими диапазонами работоспособности различных типов ЭРД:

ПИД — $J_{уд} = 20...60$ км/с, $h_T \approx 0.4...0.7$,

СПД — $J_{уд} = 10...20$ км/с, $h_T \approx 0.3...0.4$,

ДАС — $J_{уд} = 15...30$ км/с, $h_T \approx 0.4...0.6$.

В более точных расчетах следует учитывать фун-

кциональную зависимость тягового КПД η_T от величины удельного импульса.

Вид этой зависимости разный для разных типов движителя, так что задача может решаться многими циклами с обязательным учетом реальных характеристик движителей.

1. Красников Л. А., Латышев Л. А., Пономарев-Степной Н. И., Севрук Д. Д., Тихонов В. Б. Теория и расчет энергосиловых установок космических летательных аппаратов. — М.: Изд-во МАИ, 2001.

2. Kulagin S., Statsenko I., Serebryansky V., Semenkin A. Some results of investigation of anode design influence on anode layer truster characteristics // The 24th International Electric Propulsion Conference. — Moscow, 1995.—IEPS-95-52.—P. 395—398.

ON A CHOICE OF OPTIMUM OPERATIONAL MODES OF ELECTRICAL ROCKET PROPULSION SYSTEM

V. I. Statsenko, A. N. Petrenko, I. N. Statsenko

When choosing the optimum operational modes of ERP in the composition of an engine installation it is necessary to take into account not only the mass of the propulsion system, but also the mass of the energy-plant. As the specific impulse of the traction increases, the mass of ERPS diminishes primarily at the expense of a decrease of the propulsive mass. The mass of the energy-plant increases, since with magnification of the velocity of the outflow of the propulsive mass energy expenditures for its acceleration increases as the square of the velocity. The optimum specific impulse of ERP is picked in such a way that the minimum magnitude of the aggregate mass of the power-plant is ensured. We propose the mathematical model for a choice of the optimum solution of operation of plasma drives in the composition of the mid-flight engine installation.

УДК 621.983.001

ОПТИМИЗАЦІЯ РАСЧЕТА МНОГООПЕРАЦІОННОЇ ВИТЯЖКИ ТОНКОСТЕННИХ СТАКАНОВ ПРИ ІЗГОТОВЛЕННІ СИЛЬФОНОВ

© В. В. Филипенко¹, Ю. В. Оловаренко¹, Н. Н. Убизький²

¹ДП «Виробниче об'єднання Південний машинобудівний завод ім. А. М. Макарова»

²Фізико-технічний інститут Дніпропетровського національного університету

Наводиться алгоритм проектування технологічного процесу отримання тонкостінних трубкових заготовок для формоутворення сильфонів. Забезпечується оптимальний технологічний процес виготовлення за рахунок зменшення витрат на проектування та виробництво штамповового обладнання.

Сильфоны широко используются в конструкциях ракетно-космической техники в качестве компенсаторов динамических нагрузок и компенсации несущности соединения в трубопроводах.

Сильфоны представляют собой тонкостенные сосуды с концентрическими, волнообразными складками — гофрами.

Все существующие типы и конструкции металлических сильфонов можно разделить на две группы, принципиально различные по способу изготовления и по роду исходной заготовки:

- 1) поперечношовные, сварные из мембран;
- 2) бесшовные или продольношовные, формованные механическим, гидравлическим или механо-

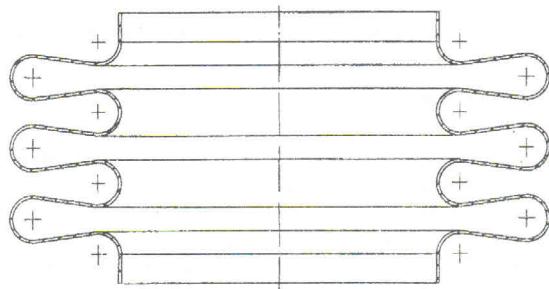


Рис. 1. Сильфон бесшовный

гидравлическим способом из тонкостенных заготовок [1].

К сильфонам, в зависимости от условий их эксплуатации, предъявляются ряд требований: коррозионная стойкость, высокие упругие свойства, малый гистерезис, прочность при высоких давлениях и др. При изготовлении металлических гофрированных шлангов — сильфонов (рис. 1) из тонкостенных труб, последние получают путем многооперационной вытяжки стаканов с последующей отрезкой дна.

При разработке технологического процесса вытяжки стаканов — заготовок сильфонов осуществляется перебор различных вариантов, отличающихся толщиной листовой заготовки и числом сильфонов, получаемых из одного стакана. Чем больше толщина заготовки, тем больше требуется операций вытяжки с утонением и меньше операций вытяжки без утонения.

При вытяжке на торце заготовки возникают неровности вследствие анизотропии материала исходной плоской листовой заготовки. Необходимо периодически подрезать торец стакана, неровность которого может быть причиной надрыва металла.

Определение оптимальных значений числа сильфонов и толщины заготовки связано с большим объемом вычислений, циклический характер которых говорит о целесообразности применения ПЭВМ. Разработана программа на ПЭВМ расчета вытяжки тонкостенных стаканов для выбора наиболее экономичного.

Согласно технологическому процессу первые 2—4 операции производятся на прессе двойного действия, последующие — на прессе простого действия с использованием шарнирного закрепления пuhanсонов на ползуне пресса. На последних операциях осуществляют вытяжку с утонением, при этом внутренний диаметр стакана уменьшают за каждую операцию на весьма малую величину S (порядка 0.1 мм), чтобы стакан легко одевался на пuhanсон.

Цель работы — автоматизировать трудоемкий расчет многооперационной вытяжки и выбрать оптимальный вариант технологического процесса, обеспечивающий минимальную себестоимость продукции.

Расчет диаметра D плоской заготовки производится методом последовательных приближений, поскольку заранее не известно число вытяжных операций, а следовательно, и число подрезок, от которого зависит V_n — суммарный объем отрезаемых припусков и донной части стакана. В первом приближении V_n принимают равным 0.4—0.5 объема трубы V_r :

$$V_n = 0.5 V_r. \quad (1)$$

Диаметр заготовки равен

$$D = 2\sqrt{(V_n + V_r)/\pi T}, \quad (2)$$

где T — толщина заготовки.

После определения числа вытяжных и подрезных операций может возникнуть необходимость корректировки суммарного объема отрезаемых припусков V_n (1) и диаметра заготовки D (2), тогда расчет повторяется.

Длина трубы равна

$$L = nl, \quad (3)$$

где l — длина образующей сильфона; n — число сильфонов, изготавливаемых из одной трубы.

С увеличением числа сильфонов растет число вытяжных операций, необходимых для получения стакана; увеличивается длина и стоимость пuhanсонов, но, с другой стороны, изготовление коротких труб сопряжено с низким коэффициентом использования материала. При разработке технологического процесса изготовления сильфона рассматриваются варианты с различным числом сильфонов в трубе, и выбирается наиболее экономичный из них. При этом может варьироваться толщина заготовки T . Чем больше T , тем больше требуется операций вытяжки без утонения.

Определение оптимальных значений 0 и T связано с большим объемом вычислений, циклический характер которых говорит о целесообразности применения ПЭВМ.

Разработана программа для расчета многооперационной вытяжки с выбором оптимального варианта технологического процесса.

Исходные данные заготовки сильфона: L — длина трубы; d_r — диаметр трубы внутренний; t_r — толщина трубы; материал — сталь 12ХН10Т.

Исходные данные для расчета по программе: d_r и t_r — внутренний диаметр и толщина трубы; $T_{1,2,\dots,m}$ — перечень толщин листового материала; l — длина образующей сильфона; L_{\max} — максимальная



Рис. 2. Блок-схема программы

Пример таблицы вариантов технологического процесса

№ п/п	Толщина заготовки, мм	Длина заготовки, мм	Число вытяжных операций		Отходы, %
			с утонением	без утонения	
1	1.0	200	6	6	57.0
2	1.0	400	7	6	45.0
3	1.2	200	5	7	59.5
4	1.2	400	7	7	47.6
5	1.3	200	5	7	60.3
6	1.3	400	6	7	44.3

длина пуансонов, устанавливаемая сообразно с возможностями их изготовления и эксплуатации.

На блок-схеме (рис. 2) показано три основных цикла: перебор всех возможных значений длины трубы L (3), кратных l ; перебор толщин листового материала T ; расчет диаметра заготовки D (2), объем которой должен быть примерно равным сумме объемов трубы, отрезаемых припусков и дна стакана.

Расчет вытяжки производится в обратном порядке по сравнению с технологической последовательностью. Сначала определяется число операций вытяжки с утонением N , что позволяет установить диаметр пуансона последней операции вытяжки без утонения, равный

$$d_r + NS. \quad (4)$$

Далее рассчитывается общее число операций вытяжки и подрезки. В программе на печать выводятся данные по всем вариантам технологического процесса. Каждая из таблиц содержит значения диаметра, толщины и длины трубы; диаметра и толщины заготовки, а также следующую информацию о каждой из вытяжных операций, относящихся к данному варианту технологического процесса:

- номер операции;
- толщину стенки стакана;
- коэффициент вытяжки;
- диаметр пуансона и матрицы;
- длину стенки стакана по образующей;
- длину отрезаемых участков, если после данной вытяжной операции назначается подрезка;
- длину стенки стакана после подрезки;
- односторонний зазор между матрицей и пуансоном.

В таблице приведены варианты технологического процесса, который относится к расчету технологии изготовления трубы $\varnothing 63$ мм, $\varnothing 74$ мм толщиной 0.38 мм и длиной, кратной $l = 200$ мм. Перечень толщин заготовок: 1.0, 1.2, 1.3 мм. В графе «Отходы» учтены только отходы, которые получаются при подрезке стакана. Они отнесены к массе круглой заготовки.

Оптимальным в данном случае является второй вариант. По сравнению с шестым вариантом второй содержит такое же число вытяжных операций — 13, почти не уступает ему в отношении использования металла, но при этом число вытяжных операций с утонением во втором варианте меньше, поэтому оснастка дешевле.

Применение программы на ПЭВМ технологическим бюро позволяет автоматизировать трудоемкий расчет многооперационной вытяжки и выбрать оптимальный вариант технологического процесса, обеспечивающий минимальную себестоимость продукции.

1. Бурцев К. Н. Металлические сильфоны. — М.—Л.: Машгиз, 1963.—161 с.

OPTIMIZATION OF CALCULATION OF MULTIOPERATIONAL DRAW-FORMING OF THIN-WALLED GLASSES IN BELLOWS MANUFACTURING

V. V. Filipenko, U. V. Olovarenko, N. N. Ubizkij

The algorithm of the designing of the technological process of producing thin-walled tubular parts for bellows manufacturing is given. The optimum technological process of the manufacturing is provided due to the decrease of the expenses for the die accessory physical design and manufacturing.