

УДК 533.6.011.5

© 1993 г. В. И. ВОРОНИН, Г. С. УЛЬЯНОВ, А. И. ШВЕЦ

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ ИССЛЕДОВАНИЯ СВЕРХЗВУКОВОГО
ОБТЕКАНИЯ КЛИНЬЕВ С ПРОДОЛЬНЫМИ ПАЗАМИ
НА НАВЕТРЕННОЙ СТОРОНЕ

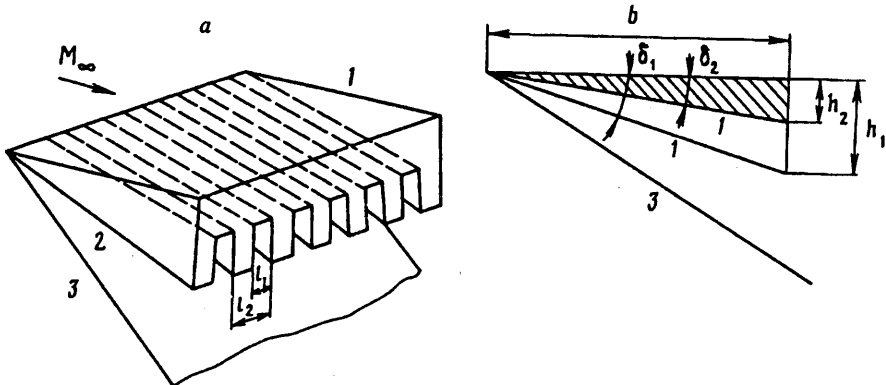
В настоящее время проводятся широкие теоретические и экспериментальные исследования обтекания наиболее перспективных гиперзвуковых летательных аппаратов-волнолетов [1—5], у которых нет явной границы между несущими элементами и корпусом с присоединенным к передней кромке скачком уплотнения. У волнолетов по сравнению с другими гиперзвуковыми летательными аппаратами наиболее эффективно используется их нижняя поверхность — поверхность сжатия, на которой при больших сверхзвуковых скоростях создается основная часть подъемной силы. В данной статье на примере клиньев экспериментально исследуется способ увеличения аэродинамического качества волнолетов.

Повысить аэродинамическое качество летательных аппаратов, у которых основная часть подъемной силы образуется за счет сжатия потока на их нижних поверхностях, можно уменьшением сопротивления без существенного изменения на этих поверхностях давления.

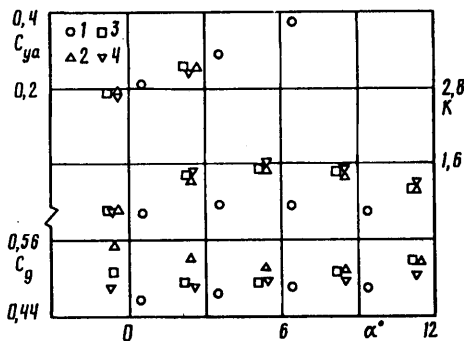
В соответствии с этим была рассмотрена простейшая гиперзвуковая несущая форма в виде клина, на нижней поверхности которой были выполнены продольные пазы (фиг. 1, *a* — общий вид клина с пазами, 1, *b* — продольное сечение, 1 — клин, 2 — поверхность сжатия, 3 — скачок уплотнения). Как показали экспериментальные исследования, при соответствующем выборе углов наклона поверхности пазов δ_2 (фиг. 1, *b*) и их относительной ширины $l_0 = l_1/b$ можно добиться снижения волнового сопротивления при практически неизменной подъемной силе, что приводит к повышению аэродинамического качества. При этом коэффициент подъемной силы может даже возрасти, так как на течение в узких пазах будет влиять все утолщающийся по потоку пограничный слой на их боковых стенках. Суживающийся сверхзвуковой поток в них будет тормозиться, возникнут внутренние системы скачков уплотнения, давление, а следовательно, и подъемная сила увеличатся. Такой характер измерения давления в пазах приводит к смещению центра давления к данной части и повышению продольной устойчивости волнолета, что также очень важно.

Для определения аэродинамических характеристик клиньев и влияния на них продольных пазов были изготовлены из стали 10 клиньев длиной $b = 0,11$ и размахом $l = 0,19$ м.

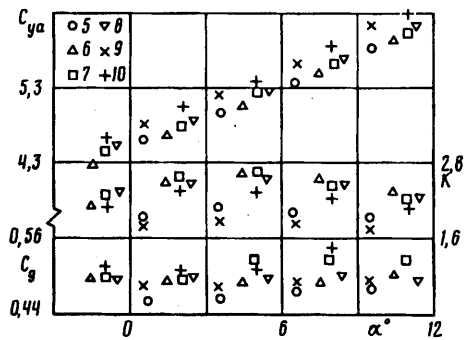
Весовые испытания проводились на клиньях с пазами различной клиновидности δ_1 при различной



Фиг. 1



Фиг. 2



Фиг. 3

клиновидности пазов δ_2 , а также различной относительной ширине пазов l_{01} . Модели были выполнены с высокой чистотой обработки поверхностей. Геометрические характеристики моделей указаны в табл. 1.

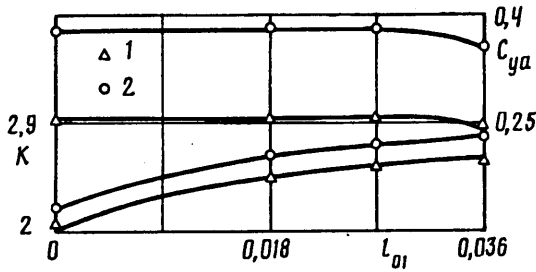
Модели имели в донной части отверстие диаметром 0,01 и глубиной 0,05 м для крепления конической державки к аэродинамическим весам установки А-8 Института механики МГУ. В результате такого крепления моделей в их центральной части располагалась область шириной 0,015 м, на которой пазы не были выполнены. Испытания проводились при числе Маха невозмущенного

Таблица 1

Номер клина	δ_1°	δ_2°	l_1 , м	l_1/l_2	h_2	h_2/h_1
1	12,7	12,7	0	—	0,025	1
2	12,7	6	0,002	0,4	0,025	0,45
3	12,7	6	0,003	0,43	0,025	0,45
4	12,7	6	0,004	0,44	0,025	0,45
5	15,2	15,2	0	—	0,03	1
6	15,2	5,1	0,003	0,43	0,03	0,33
7	15,2	7	0,003	0,43	0,03	0,45
8	15,2	8,5	0,003	0,43	0,03	0,57
9	17,7	17,7	0	—	0,035	1
10	17,7	8,1	0,003	0,43	0,035	0,45

потока $M_\infty = 3$. Число Рейнольдса для этого числа Маха, отнесенное к 1 м, $Re = 3,8 \cdot 10^8$. Неравномерность потока области установки моделей составляла 1%. В результате весовых испытаний моделей клиньев с пазами измерялись подъемная сила Y_a , лобовое сопротивление X_a и продольный момент M_x . Максимальные среднеквадратичные погрешности определения коэффициентов этих аэродинамических характеристик при изменении угла атаки $0 \leq \alpha \leq 12^\circ$ составляли: $\epsilon(C_{ya}) = 0,7 - 0,2\%$; $\epsilon(C_{xa}) = 1,1 - 0,42$; $\epsilon(m_x) = 1,02 - 0,22\%$.

На фиг. 2 и 3 представлены зависимости коэффициента подъемной силы C_{ya} , аэродинамического качества K и коэффициента центра давления C_g от угла атаки (угла между вектором скорости невозмущенного потока и верхней поверхностью клина). При незначительной разнице в коэффициенте подъемной силы между клиньями с пазами и клиньями без пазов наблюдается существенное увеличение аэродинамического качества и устойчивости клиньев с пазами. При этом с увеличением угла клиновидности δ_1 этот положительный эффект возрастает. Среди клиньев с $\delta_1 = 12^\circ$ максимальное аэродинамическое качество достигается у клина 4 с $l_{01} = 0,0036$ м, у клиньев с большим углом клиновидности $\delta_1 = 15^\circ$ наибольшее значение аэродинамического качества реализуется на клине 6 с относительной шириной пазов $l_{01} = 0,0027$. Это связано с тем, что на сопротивление клиньев влияют не только ширина и глубина пазов, но также общая смываемая поверхность, которая при малых l_{01} и δ_2 значительно увеличивает сопротивление трения. Например, для клина 4 с меньшим углом



Фиг. 4

клиновидности в общее сопротивление силы трения вносят больший вклад, чем у клиньев с большей клиновидностью (у клина б).

На фиг. 4 представлены зависимости коэффициента подъемной силы и аэродинамического качества клиньев от относительной ширины l_{01} для $\alpha = 2; 5^\circ$ (кривые 1, 2). Результаты экспериментальных исследований показывают, что максимальное значение аэродинамического качества достигается для значений $l_1 = 0,036$, хотя коэффициент подъемной силы для этого значения аэродинамического качества несколько ниже, чем у остальных клиньев этой серии.

Таблица 2

Номер клина	h_2/h_1	$\alpha = 2^\circ$		$\alpha = 5^\circ$	
		C_{ya}	K	C_{ya}	K
5	0,3	0,32	2,5	0,43	2,56
6	0,45	0,33	2,45	0,46	2,52
7	0,6	0,35	2,4	0,47	2,4
8	1,0	0,4	1,85	0,51	1,83

В табл. 2 даны аэродинамические характеристики моделей в зависимости от отношения $h_2/h_1 = \text{tg } \delta_2/\text{tg } \delta_1$. Как видно, с увеличением h_2/h_1 аэродинамическое качество уменьшается, а коэффициент подъемной силы незначительно растет. Таким образом, с увеличением глубины пазов клина аэродинамическое качество повышается.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Майханар Г. И. Сравнение волнолетов различной формы//Уч. зап. ЦАГИ. 1985. Т. 16. № 4. С. 100—104.
2. Kim B. S., Rasmussen M. L., Jischke M. C. Optimization of waverider configurations generated from axisymmetric conical flows//J. Spac. and Rock. 1983. V. 20. № 5. P. 461—469.
3. Roe P. E. Theory of Waveriders//AGARD LS-42. 1972. P. 3.1—3.17.
4. Воронин В. И., Захарченко В. Ф., Швец А. И. Волнолеты, построенные на течениях за параболическими скачками уплотнения//ПМТФ. 1988. № 3. С. 66—70.
5. Келдыш В. В. Точные решения для несущих систем с одним и двумя плоскими скачками уплотнения//Инж. журн. 1961. Т. 1. № 3. С. 22—39.

Москва

Поступила в редакцию
3.X.1991