

Итак, в сверхзвуковом потоке возмущения, исходящие из какой-либо точки, ограничены в своем распространении внутренностью конуса с вершиной в этой точке. Но и возмущения, приходящие в данную точку из других точек, также ограничены по месту своего возникновения внутренностью конуса с вершиной в данной точке, который своим углом обращен в сторону, противоположную первому (рис. 5.20). Этот конус можно назвать *конусом влияния*.

§ 13. Критическое значение числа M при обтекании тела потоком газа

Представим себе, что в сжимаемой среде движется тело конечных размеров, а не материальная точка, как это предполагалось в предыдущем параграфе. В этом случае в разных местах поверхности тела будут разные скорости, и это обстоятельство значительно осложняет,

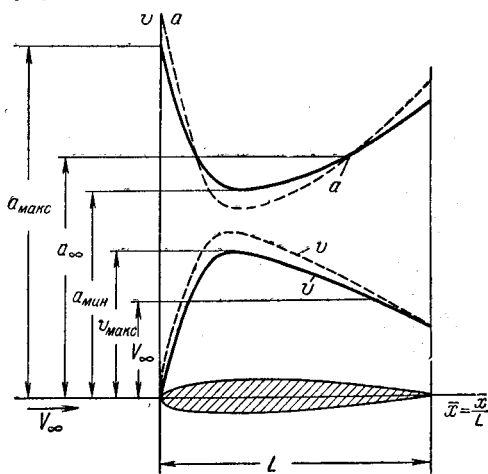


Рис. 5.21. Распределение скорости движения газа v и скорости распространения звука a вдоль контура продольного сечения тела. Случай, когда везде $v < a$.

по сравнению с движением материальной точки, всю картину явления. В носовой точке тела скорость равна нулю. При удалении от носовой точки вдоль контура продольного сечения тела скорость сначала нарастает, становится больше скорости набегающего потока V_∞ , достигает максимального для данного случая значения v_{\max} и затем убывает вплоть до хвостовой точки тела (рис. 5.21, нижний график).

Из предыдущего известно (гл. II, § 10), что скорость движения газа в данной точке связана при адиабатическом процессе со скоростью распространения звука в той же точке соотношением

$$\frac{v^2}{2} + \frac{a^2}{k-1} = \text{const.}$$

Отсюда видно, что чем больше в том или ином сечении данной струйки скорость движения газа, тем меньше в этом сечении скорость распространения звука. В носовой точке тела $a = a_{\text{макс}}$; при удалении от носовой точки вдоль контура продольного сечения тела скорость звука убывает и в точке, где $v = v_{\text{макс}}$, $a = a_{\text{мин}}$; затем скорость звука нарастает вдоль контура вплоть до хвостовой точки (рис. 5.21, верхний график). При малых скоростях набегающего потока v везде остается меньшим a , т. е. график a располагается над графиком v .

Однако по мере увеличения V_{∞} эти две кривые сближаются друг с другом в том месте, где одна имеет максимум, а другая — минимум. В самом деле, применив последнее уравнение к двум сечениям в струйке, обтекающей тело, одному, взятому на бесконечности, и другому — у поверхности тела, можем написать:

$$\frac{V_{\infty}^2}{2} + \frac{a_{\infty}^2}{k-1} = \frac{v^2}{2} + \frac{a^2}{k-1}. \quad (5.28)$$

Отсюда следует:

$$a^2 = a_{\infty}^2 + \frac{k-1}{2} (V_{\infty}^2 - v^2).$$

В идеальной среде при малых скоростях с изменением V_{∞} изменяются пропорционально V_{∞} и все местные скорости v : $v = KV_{\infty}$, где K — безразмерный коэффициент пропорциональности. Предыдущее соотношение можно поэтому представить в виде

$$a^2 = a_{\infty}^2 + \frac{k-1}{2} V_{\infty}^2 (1 - K^2). \quad (5.29)$$

Из этого равенства видно, что если $K < 1$, то с возрастанием V_{∞} местная скорость звука a увеличивается, а если $K > 1$, то с возрастанием V_{∞} скорость звука уменьшается. Поэтому при увеличении V_{∞} кривые распределения скорости v и скорости звука a примут вид, изображенный на рис. 5.21 пунктирными линиями. При заданном a_{∞} и определенной для данного тела величине V_{∞} эти кривые соприкоснутся; это означает, что на поверхности тела достигнута местная скорость движения, равная местной скорости звука (несмотря на то, что скорость набегающего потока еще *дозвуковая*). Значение числа M_{∞} , при котором на поверхности тела достигается местная скорость течения, равная местной скорости звука, называется *критическим значением числа M_{∞}* для данного тела. Оно всегда меньше или равно единице и зависит прежде всего от относительной толщины тела: чем тоньше тело, тем больше значение $M_{\text{кр}}$; для продольно обтекаемой бесконечно тонкой пластинки оно равно единице.

По величине $M_{\text{кр}}$ можно определить критическую скорость на поверхности тела (т. е. скорость движения, равную местной скорости распространения звука). В том месте, где достигается критическая

скорость, должно быть:

$$v = a = v_{кр}.$$

Подставляя вместо v и a их общее значение $v_{кр}$ в уравнение энергии (5.28), находим:

$$\frac{1}{2} \frac{k+1}{k-1} v_{кр}^2 = \frac{V_{\infty}^2}{2} + \frac{a_{\infty}^2}{k-1},$$

откуда

$$v_{кр} = a_{\infty} \sqrt{\frac{k-1}{k+1} \left(M_{\infty}^2 + \frac{2}{k-1} \right)}.$$

При дальнейшем увеличении V_{∞} , когда $1 > M_{\infty} > M_{кр}$, величины v будут расти, а величины a в средней части тела будут уменьшаться. Кривые распределения v и a пересекутся. Это означает, что у поверхности тела при обтекании его потоком газа, имеющим на бесконечности дозвуковую скорость,

но $M > M_{кр}$, образуются области сверхзвукового движения. Чем больше число M_{∞} набегающего потока, тем больше протяженность этой области вдоль контура тела.

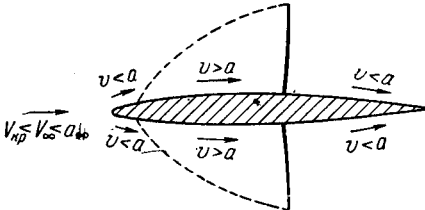


Рис. 5.22. При обтекании тела потоком газа, имеющим на бесконечности дозвуковую скорость, у поверхности тела образуются в случае $M_{\infty} > M_{кр}$ замкнутые области, где газ движется со сверхзвуковой скоростью.

Если удаляться от той части поверхности тела, где $v > a$, в окружающую среду, то скорость течения газа будет уменьшаться и, наконец, станет дозвуковой. Таким образом, при

$1 > M_{\infty} > M_{кр}$ у поверхности тела располагаются замкнутые области сверхзвукового течения газа (рис. 5.22). Одновременное существование в потоке газа при этих значениях M_{∞} областей с дозвуковым и со сверхзвуковым течением очень осложняет механический анализ движения (ибо, как известно из предыдущего, законы течения газа различны при дозвуковых и при сверхзвуковых скоростях).

По мере роста M_{∞} и приближения его к единице сверхзвуковая область у поверхности тела расширяется, и ее границы приближаются к носу и хвосту.

§ 14. Возникновение и развитие скачков уплотнения при числах M_{∞} , больших критического. Способы визуального изучения потока газа

Опыты показывают, что нарастание скорости течения газа при переходе от дозвуковых скоростей к сверхзвуковым происходит плавно, тогда как уменьшение скорости при переходе от сверхзвуковых скоростей к дозвуковым (в случае $M_{\infty} > M_{кр}$) происходит не