

КАВИТАЦИЯ (от лат. *cavitas* — пустота), образование в капельной жидкости полостей, заполненных газом, паром или их смесью (т. н. кавитац. пузырьков или каверн). **Кавитац. пузырьки** образуются в тех местах, где давление в жидкости становится ниже некоторого критич. значения $p_{кр}$ (в реальной жидкости $p_{кр}$ приibl. равно давлению насыщ. пара этой жидкости при данной темп-ре). Если понижение давления происходит вследствие больших местных скоростей в потоке движущейся капельной жидкости, то К. наз. гидродинамической, а если вследствие прохождения звук. волн большой интенсивности — акустической.

Гидродинамическая К. Для идеальной однородной жидкости вероятность образования пузырьков за счёт разрыва жидкости становится заметной при больших растягивающих напряжениях; так, напр., теор. прочность на разрыв воды равна

$1,5 \cdot 10^8$ Па (—1500 кгс/см²). Реальные жидкости менее прочны. Макс. растяжение тщательно очищенной воды, достигнутое при растяжении воды при 10°C, составляет — $2,8 \cdot 10^7$ Па (— 280 кгс/см²). Обычно же разрыв возникает при давлениях, лишь немного меньших давления насыщ. пара. Низкая прочность реальных жидкостей связана с наличием в них т. н. кавитац. зародышей: микроскопич. газовых пузырьков, тв. ч-ц с трещинами, заполненными газом, и др. Мельчайшие пузырьки газа или пара, двигаясь с потоком и попадая в область давления $p < p_{кр}$, сильно расширяются в результате того, что давление содержащегося в них пара и газа оказывается больше, чем суммарное действие поверхностного натяжения и давления в жидкости. В результате на участке потока с пониженным давлением (напр., в трубе с местным сужением) создаётся довольно чётко ограниченная “кавитац. зона”, заполненная движущимися пузырьками.

После перехода в зону повыш. давления рост пузырька прекращается, и он начинает сокращаться. Если пузырёк содержит достаточно много газа, то по достижении им мин. радиуса он восстанавливается и совершает неск. циклов затухающих колебаний, а если газа мало, то пузырёк захлопывается полностью в первом периоде жизни.

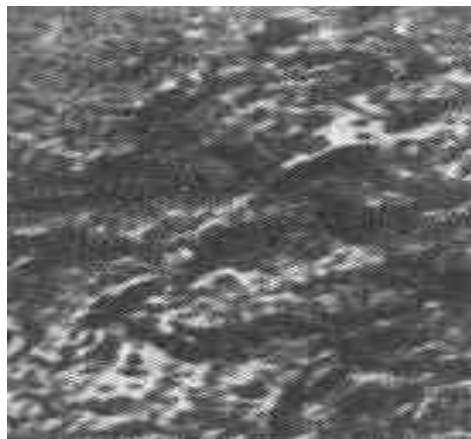
Сокращение кавитационного пузырька происходит с большой скоростью и сопровождается звуковым импульсом (своего рода гидравлическим ударом) тем более сильным, чем меньше газа содержит пузырёк. Если степень развития Кавитации такова, что в случайные моменты времени возникает и захлопывается множество пузырьков, то явление сопровождается сильным шумом со сплошным спектром от нескольких сотен Гц до сотен и тысяч кГц. Если кавитационная каверна захлопывается вблизи от обтекаемого тела, то многократно повторяющиеся удары приводят к разрушению (к так называемой кавитационной эрозии) поверхности обтекаемого тела —

лопастей гидротурбин, гребных винтов кораблей (смотри рисунок в тексте) и других гидротехнических устройств.

При данной форме обтекаемого тела кавитация возникает при некотором, вполне определённом для данной точки потока, значении безразмерного параметра

$$\chi = 2 \frac{p - p_n}{\rho v_\infty^2},$$

где p — гидростатическое давление набегающего потока, p_n — давление насыщенного пара, ρ — плотность жидкости,



Участок разрушенной поверхности гребного винта

v_∞ — скорость жидкости при достаточном удалении от тела. Этот параметр называется “числом кавитации”, служит одним из критериев подобия при моделировании гидродинамических течений. Увеличение скорости потока после начала кавитации вызывает быстрое возрастание количества кавитационных пузырьков, затем происходит их объединение в общую кавитационную каверну, после чего течение переходит в струйное (см. *Струя*).

Если внутрь каверны через тело, около которого возникает кавитация, подвести атмосферный воздух или иной газ, то размеры каверны увеличатся. При этом установится течение, которое будет соответствовать числу кавитации, определяемому уже не давлением насыщенного водяного пара p_n , а давлением газа внутри каверны p_k , т. е. $\chi = (p_\infty - p_k) / \rho v_\infty^2$. Т. к. величина p_k может быть много больше p_n , то в таких условиях при малых скоростях набегающего потока можно получать течения, соответствующие очень низким значениям χ , т. е. сильному развитию К. Так, при движении тела в воде со скоростью 6—10 м/с хар-р его обтекания может соответствовать скоростям до 100 м/с. Кавитац. течения, получающиеся в результате подвода газа внутрь каверны, наз. искусственной К.

Гидродинамическая кавитация может сопровождаться рядом физико-химических эффектов, например, искрообразованием и люминесценцией. Обнаружено влияние электрического тока и магнитного поля на кавитацию, возникающую при обтекании цилиндра в гидродинамической трубе.

Кавитация оказывает вредное влияние на работу гидротурбин, жидкостных насосов, гребных винтов кораблей, жидкостных систем высотных самолётов и т. д., снижает их к.п.д. и приводит к разрушениям. Кавитация может быть уменьшена при увеличении гидростатического давления, например: помещением устройства на достаточной глубине по отношению к свободной поверхности жидкости, а также подбором соответствующих форм элементов конструкции, при которых вредное влияние кавитации уменьшается. Экспериментальные исследования кавитации проводятся в гидродинамических трубах, оборудованных системой регулирования статического давления (так называемые кавитационные трубы).

А. Д. Перник

Акустическая кавитация

При излучении в жидкость интенсивной звуковой волны с амплитудой звукового давления, превосходящей некоторую пороговую величину, во время полупериодов разрежения возникают кавитационные пузырьки на т. н. кавитац. зародышах, к-рыми чаще всего явл. газовые включения, содержащиеся в жидкости и на колеблющейся поверхности акустич. излучателя. Поэтому кавитац. порог повышается по мере снижения содержания газа в жидкости, при увеличении гидростатич. давления, после обжата жидкости высоким ($\sim 10^3$ кгс/см² = 10^8 Па) гидростатич. давлением и при охлаждении жидкости, а кроме того, при увеличении частоты звука и при сокращении продолжительности озвучивания. Порог для бегущей волны выше, чем для стоячей. Пузырьки захлопываются во время полупериодов сжатия, создавая кратковременные (длительностью $\sim 10^{-6}$ с) импульсы давления (до 10^8 Па и более), способные разрушить даже весьма прочные материалы. Такое разрушение наблюдается на поверхности мощных акустич. излучателей, работающих в жидкости. Давление при захлопывании кавитац. пузырьков повышается при снижении частоты звука и при повышении гидростатич. давления; оно выше в жидкостях с малым давлением насыщ. пара. Захлопывание пузырьков сопровождается адиабатич. нагревом газа в пузырьках до темп-ры $\sim 10^4$ °С, чем, по-видимому, и вызывается свечение пузырьков при К. (т. н. звуколюминесценция). К. сопровождается ионизацией газа в пузырьках. Кавитац. пузырьки группируются, образуя кавитац. область сложной и изменчивой формы. Интенсивность К. удобно оценивать по разрушению тонкой алюминиевой фольги, в к-рой кавитирующие пузырьки пробивают отверстия. По кол-ву и расположению

этих отверстий, возникающих за определ. время, можно судить об интенсивности К. и конфигурации кавитац. области.

Если жидкость насыщена газом, то газ диффундирует в пузырьки и полного захлопывания их не происходит. Всплывая, такие пузырьки уносят газ и уменьшают содержание его в жидкости. Интенсивные колебания под действием звук. волны газонаполненных пузырьков как в свободной жидкости, так и вблизи поверхности тв. тел создают микропотоки жидкости. К. оказывает вредное воздействие

на работу подводных излучателей, ограничивая возможность дальнейшего повышения интенсивности звука, излучаемого в жидкость. Акустич. К. и связанные с ней физ. явления вызывают, напр., разрушение и диспергирование тв. тел, эмульгирование жидкостей, и поэтому применяется для очистки поверхностей деталей. Эти эффекты обязаны своим происхождением ударам при захлопывании пузырьков и микропотокам вблизи них. Другие эффекты (напр., инициирование и ускорение хим. реакций) связаны с ионизацией газа в пузырьках. Благодаря этому акустич. К. всё шире используется в технол. процессах.

Акустич. К. используется в биологии. Импульсы давления, возникающие в кавитац. пузырьках, обуславливают мгновенные разрывы микроорганизмов и простейших, находящихся в водной среде, подвергаемой действию УЗ. К. используют для выделения из животных и растит. клеток ферментов, гормонов и др. биологически активных в-в.

• Перник А. Д., Проблемы кавитации, 2 изд., Л., 1966; К н э п п Р., Д е й л и Дж., Хэммит Ф., Кавитация, пер. с англ., М., 1974; Мощные ультразвуковые поля, М., 1968 (Физика и техника мощного ультразвука, кн. 2); Л е в к о в с к и й Ю. Л., Структура кавитационных течений, Л., 1978.

К. А. Наугольных