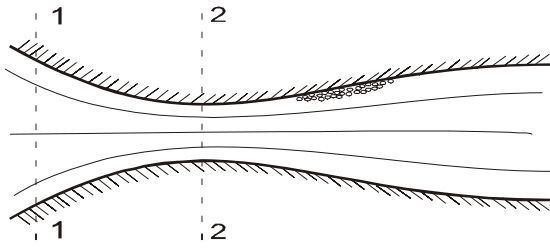


Лекция 10 Кавитация



Фиг. 1. Кавитация

вида:
$$\frac{V_1^2}{2g} + \frac{p_1}{g\rho} + z_1 = \frac{V_2^2}{2g} + \frac{p_2}{g\rho} + z_2$$

Ако приемем, че каналът е хоризонтален, то $z_1 = z_2$ и горното уравнение се записва като:

$$\frac{V_1^2}{2} + \frac{p_1}{\rho} = \frac{V_2^2}{2} + \frac{p_2}{\rho}$$
. От това равенство може да се определи налягането в сечението 2-2:

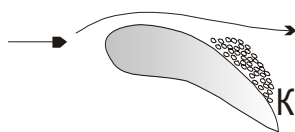
$$p_2 = p_1 - \frac{\rho}{2}(V_2^2 - V_1^2)$$
. Налягането p_2 е по-ниско от налягането p_1 и тази разлика расте

с увеличаване на разликата в скоростите V_1 и V_2 . От уравнението на непрекъснатостта е известно, че скоростта нараства с намаляване на сечението на канала и обратно. Следователно, при намаляване на сечението, налягането p_2 намалява. То обаче не може да достигне много ниски стойности, защото течностите изменят плътността си малко и прекомерното спадане на налягането довежда до нарушаване на вътрешно молекулните връзки. Предел на намаляване на налягането в канала е стойността, при която започва парообразуване (кипене) в течността.

Стойността на налягането на кипене зависи от типа на течността и температурата на флуида. За водата например, налягането на кипене е 1 атмосфера при температура 100°C . При понижаване на налягането водата кипи при по ниски температури. При налягане например от 0.00146 атмосфери водата кипи при стайна температура 20°C .

Ако налягането на течността в най-тясното сечение достигне налягането на кипене, започва изпарение на течността и в областта около това сечение се образуват обеми запълнени с пари (наричат се каверни). Явлението, при което се получава кипене на течностите при понижено налягане, вследствие ускорението на потока и образуването на обеми с пари на течността се нарича кавитация.

Кавитация може да възникне при движение на всяка течност, включително и при движение на течни метали. Това се случва понякога в атомите реактори, които използват течни метали като топлоносител.



Фиг. 2. Външно обтичане

Когато след най-тясното сечение следва разширение (фиг.1), основната маса течност се движи в разширяващия се канал като свободна струя, обкръжена от пенообразна смес от пара и течност. По течението паровата зона се притиска към стената и постепенно изчезва.

Кавитация възниква не само при движение на течности в канали, но и при външно обтичане на тела. Такива примери има при лопатките на гребни винтове на плавателни съдове, работни колела на водни турбини и помпи и други. При обтичане

на телата се получава ускоряване на потока поради стесняване на сечението през което преминава течността. Това ускоряване на потока води до намаляване на налягането и до възможност за възникване на кавитация.

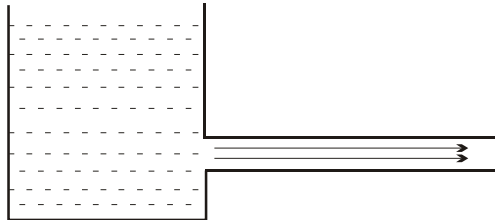
Появата на кавитация винаги предизвиква увеличаване на хидравличното съпротивление и следователно изразходване на допълнителна енергия. Освен това, при продължително действие на кавитацията се стига до разрушаване на материала на лопатките и поява на така наречените кавитационни шумове. Последствията от кавитацията са толкова съществени, че при проектиране на лопатки за витла и турбини винаги се правят проверки за избягване на кавитацията.

Кавитационната коризия на материала обикновено се появява в местата където кавитационната каверна се затваря (точка К на фигурата). Природата на разрушаване на материала все още не е изучена достатъчно, но в основата стоят мощните механически удари на капки течност и пари удрящи се в повърхността на тялото, химическо въздействие на богатата на кислород течност и електрически полета възникващи в паровата каверна.

Хидравличен удар

Когато при движение на течност в канал или тръбопровод се измени рязко скоростта на потока (затвори се или рязко се намали сечението, включи се помпа и други) в тръбопровода възниква хидравличен удар. Той е свързан с рязко нарастване на налягането в областта на затваряне, което в някои случаи може да доведе до разрушаване на съоръженията.

Най-пълни изследвания на хидравличния удар е правил руският учен Жуковски, използвайки московската водопроводна мрежа (1899 година). По това време хидравличният удар е нанасял сериозни поражения на хидравличните съоръжения. Сега съществуват много методи и средства за предотвъртяване на вредните последици от това явление.



Фиг. 3. Хидравличен удар

В някои случаи хидравличният удар се използва и като полезно явление. На основата на хидравличен удар е създадена специална помпа, която се нарича хидравличен таран.

Физическата картина на явлението може да се обясни на основата на представената на фиг.3 постановка. Разглежда се съд с флуид (течност) и изтичане от съда по тръбопровод със

скорост V_0 . В определено сечение на тръбопровода се намира затварящ механизъм, чрез който се затваря тръбопровода (намалява се рязко сечението му). В момента на затваряне на тръбопровода течността, намираща се непосредствено до затварящия механизъм, прекратява своето движение. Започва уплътняване на масата на течността в това сечение, което води до намаляване на скоростта и прекратяване на движението на съседните слоеве течност. В резултат на това се повишава налягането на течността, което предизвиква разширение на тръбопровода (в зависимост от здравината на стените на тръбопровода). Вследствие на това, в тази област на тръбопровода постъпва допълнителна течност.

Границата на повишено налягане започва да се премества към съда с течност, защото течението от съда по тръбопровода продължава. След известно време, областта с повишено налягане достига до началното сечение на тръбопровода т.е до съда. Ако резервоарът е с голям обем, нивото на течността не се изменя много и може да се смята, че налягането в съда остава постоянно ($p_0 = \text{const}$).

При достигане на вълната на повишено налягане до съда ще започне изтичане на течност от тръбопровода в съда, тъй като в тръбопровода има по-високо налягане отколкото в съда. Тогава започва втора фаза на процеса. Започва понижаване на налягането в тръбопровода, вследствие на изтичане на течност от тръбопровода към съда. Тази вълна на понижено налягане се придвижва от началото на тръбопровода

към задвижващия механизъм. При достигане на вълната на разреждане края на тръбопровода, изтичането на течност към съда продължава под действие на инерцията на флуидните частици. Това води до понижаване на налягането под налягането в съда ($p < p_0$). Понижаването на налягането се придвижва от края на тръбопровода към съда (трета фаза на процеса).

Третата фаза завършва, когато пониженото налягане достигне до началото на тръбопровода. Тогава се създават условия за изтичане от съда към тръбопровода. Започва течение на течността при условия подобни на условията в началото на процеса (първата фаза). Така се получава един колебателен процес, който постепенно затихва поради хидравличното съпротивление на течността.

При експлоатацията на тръбопровода от съществено значение е определянето на максималното налягане при хидравличен удар. Анализът на процесите протичащи в тръбопровода при хидравличен удар показва, че скоростта на разпространение на вълните на уплътняване и разреждане се пренасят със скорост a , където $a^2 = \frac{\Delta p}{\Delta \rho}$ е скоростта на звука за съответната среда (течност). За водата при стайна температура скоростта на звука е 1435 м/с.

Налягането в тръбопровода след затваряне на затварящия механизъм е:

$$p_1 = p + \nabla p = p + a\rho \nabla V = p + a\rho(V_0 - V).$$

където p е налягането в тръбопровода преди хидравличен удар; V_0 – скоростта преди хидравличния удар; V – скоростта след затваряне на затварящия механизъм (ако сечението не е изцяло закрито; a – скорост на звука; ρ – плътност на течността.

При пълно затваряне на сечението повишаването на налягането е:

$$\nabla p = p_1, p = a\rho V_0.$$

Този израз е известен като формула на Жуковски за хидравличния удар.

Направеният анализ показва, че по дължината на тръбопровода от мястото на затваряне към съда се разпространява вълна на високо налягане със скорост a . Тази вълна достига съда за време $t = \frac{l}{a}$, където l е дължината на тръбопровода. Вълната

на разреждане се пренася от съда към края на тръбопровода със същата скорост, а след това се реализира изтичане от съда и процесът се повтаря.

Ако течността се разглежда като идеална и тръбопровода е недеформируем, то колебателният процес ще бъде безкраен. В действителност поради вискозността на флуидите и деформируемостта на тръбопроводите процесите при хидравличен удар винаги са затихващи.