

УДК 621.671

Кавітаційно-стійкі сталі для передвключених коліс перших ступенів відцентрових насосів

П. Ю.Ткач; В. О. Куценко; О. С. Косторной
АТ «ВНДІАЕН», м. Суми, Україна

***Анотація.** У роботі розглянута проблема руйнування робочих органів відцентрових насосів, що виникає внаслідок впливу кавітації. Як відомо, під час досягнення рівня розвитої кавітації виникає явище кавітаційної ерозії, внаслідок дії якої руйнуються елементи проточної частини. Спираючись на багаторічний досвід боротьби з негативними наслідками кавітаційної ерозії, спеціалісти АТ «ВНДІАЕН» прийшли до висновків, що найбільш ефективним способом підвищення кавітаційних властивостей проточних частин відцентрових насосів є застосування першого шнековідцентрового ступеня. Виходячи з цього, дослідження якостей кавітаційно-стійких сталей проводилося саме для передвключених коліс перших ступенів відцентрових насосів, які працюючи в режимі розвитою кавітації, найбільше піддаються кавітаційному зношуванню. Наводяться результати досліджень на експериментальних модельних стендах та показано взаємозв'язок хімічних і механічних властивостей сталей з опором кавітаційному впливу.*

***Ключові слова:** кавітаційна ерозія; властивості сталей; відцентровий насос; передвключене колесо (шнек); характеристики кавітаційної ерозії.*

Проблема кавітації з моменту її відкриття привертала серйозну увагу дослідників. Багато в чому це пов'язано з тим, що її наслідок - кавітаційна ерозія завдає величезної шкоди економіці і в багатьох випадках стає перешкодою в створенні високоефективних машин і агрегатів. Дослідження кавітації показали, що це дуже складний процес, що важко піддається аналітичному вивченню, а механізм кавітаційної ерозії досі перебуває на стадії вивчення [1,2,3,4 та ін.]. У зв'язку з тим, що кавітаційний вплив на деталі гідравлічних машин під час кавітаційної ерозії має складний характер і різну природу впливу, вченими розроблено безліч різних механізмів захисту від цих впливів. Розвиток насособудування для теплової та атомної енергетики, хімічної і нафтової промисловості йде по шляху зниження матеріаломісткості і трудомісткості. Найбільш ефективним способом досягнення цього є зменшення кількості ступенів. Однак зменшення кількості ступенів без підвищення частоти обертання ротора призводить до зниження коефіцієнта швидкохідності і, отже, до зниження економічності. Підвищенню частоти обертання ротора перешкоджають кавітаційні явища у першому ступені. Для вирішення цієї проблеми в насосах загальнопромислового призначення знаходять застосування шнековідцентрові ступені. На сьогоднішній день відцентрові насоси промислового призначення з шнековідцентровими ступенями складають значну частину в загальному обсязі розроблених і освоєних АТ «ВНДІАЕН» насосів, де їх налічується понад 60 типорозмірів. З накопиченого досвіду експлуатації цих насосів, а також, з численних досліджень відомо, що інтенсивність кавітаційної ерозії залежить від сукупності різних факторів. Найбільш важливими є наступні фактори: фізичні властивості рідини, величина окружної швидкості і абсолютні розміри робочих органів, тип профілю лопаті і кількість лопатей включеного колеса, режим роботи за подачею та величина надкавітаційного напорі на вході, характеристика матеріалу з якого виготовлені робочі органи і ряд інших чинників. Залежно від комбінації цих факторів інтенсивність кавітації руйнування може змінюватися в десятки разів. В окремих випадках руйнування може бути і зовсім відсутнім. Всі перераховані вище фактори, якщо врахувати, що умови експлуатації будуть однаковими, можна розділити на 2 основні групи: гідродинамічні особливості кавітаційного обтікання і характеристики матеріалу з якого виготовлені робочі органи.

Гідродинамічні особливості кавітаційного обтікання передвключених коліс були досліджені фахівцями АТ «ВНДІАЕН» у сімдесятих - вісімдесятих роках минулого століття.

Дослідження виконані на модельних і натурних насосах з візуалізацією кавітаційних течій і виміром рівня вібрації [5]. За результатами цих робіт, виділили найбільш суттєві параметри, до яких насамперед віднесли швидкість, характерний лінійний розмір і тип профілю лопаті. Був визначений параметр кавітаційної ерозії і його порогові значення [6], з виразу якого випливає, що для безерозійної роботи передвключеного колеса необхідно, щоб параметр кавітаційної ерозії не перевищував його граничне значення. Було також встановлено, що граничне значення параметра кавітаційної ерозії залежить від типу профілю, матеріалу, з якого виготовлено передвключене колесо і фізичних властивостей рідини. Виходячи з того, що найбільш інтенсивна кавітаційна ерозія відбувається на холодній воді, було проведено ряд випробувань передвключених коліс, виготовлених з кращої з наявних сталей з точки зору стійкості до кавітаційної ерозії - сталі 20Х13Л ГОСТ 977 - 88, із найстійкішим типом профілю передвключеного колеса - з виступом на тильній поверхні лопаті. В результаті випробувань було отримано найкраще порогове значення при цих умовах $K_p = 20$.

Однак, у зв'язку з тенденцією до безперервного збільшення енергоємності конденсатних, живильних та інших насосів, зростає параметр кавітаційної ерозії, який перевищує порогове значення $K_p = 20$. Тому навіть короткочасна робота цих насосів на холодній воді неможлива. Забезпечення хоча б короткочасної роботи на холодній воді, а також збільшення вимог до надійності насосів привели до необхідності пошуку більш стійких матеріалів до кавітаційного впливу, ніж сталь 20Х13Л.

Так в процесі спільної співпраці АТ «ВНПАЕН» з фірмою KSB були виготовлені три передвключених колеса з наданих ними марок сталей 1.4405 і 1.4550. Для визначення стійкості до кавітаційної ерозії були проведені ресурсні випробування цих передвключених коліс в складі шнековідцентрових ступенів на модельному високооборотному насосі ($n = 6000$ об/хв) протягом 18 годин. За базу для порівняння використовувалися результати раніше проведених на цьому стенді ресурсних випробувань передвключеного колеса зі сталі 20Х13Л з однаковою геометрією. При випробуваннях витримувалися одні і ті ж режимні і тимчасові складові, параметри середовища, що перекачується. Передвключені колеса мали однакові розміри і традиційний тип профілю лопатевої системи - пластину. В результаті проведених ресурсних випробувань передвключені колеса отримали різні руйнування внаслідок дії кавітаційної ерозії. Нижче в таблиці наведені втрати маси цих передвключених коліс від кавітаційних руйнувань. Найбільш кавітаційно-стійкою виявилася сталь 1.4405. Для неї втрата маси майже в 6 разів менше, ніж для сталі 20Х13Л, яка взята як базова.

Таблиця 1

Втрати маси передвключених коліс від кавітаційної ерозії

Матеріал	Час випробування, год. / втрата маси, г					
	0	2	6	10	14	18
20Х13Л	0	1,4	10,8	22,2	30,85	38,25
1.4405	0	0	0,68	2,23	4,56	6,718
1.4550	0	0,489	6,11	11,465	-	20,63

Для аналізу причини різної стійкості зазначених матеріалів від кавітаційної ерозії необхідно скористатися кінетичними кривими кавітаційної ерозії [7]. Для досліджуваних матеріалів були побудовані кінетичні криві кавітаційної ерозії - залежність втрати маси металу Δm від часу T кавітаційного впливу.

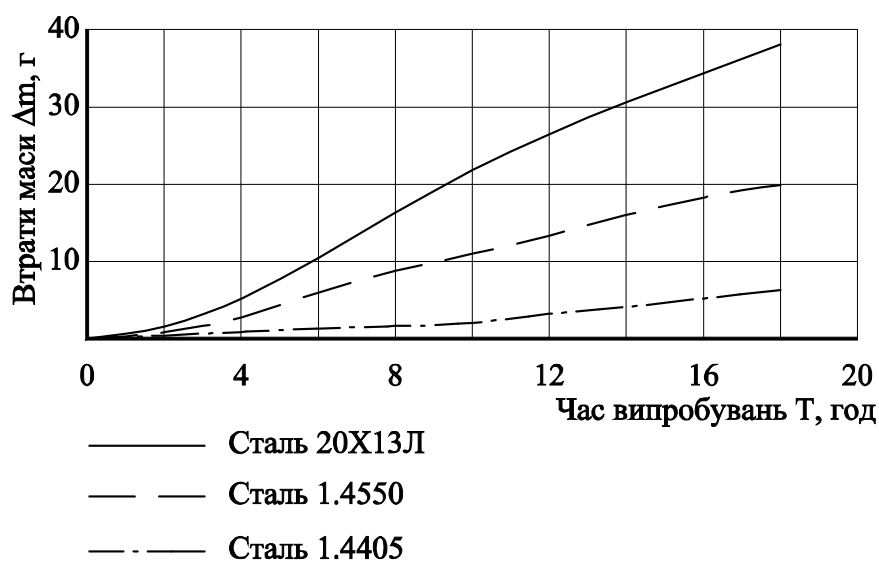


Рис. 1 Кінетичні криві кавітаційної ерозії

Проаналізувавши кінематичні криві кавітаційної ерозії, можна зробити наступні висновки: найбільший інкубаційний період має сталь 1.4405, менш похилі у неї і наступні періоди, де відбувається руйнування металу. В роботі [8] автор зазначає, що при виборі матеріалу найбільшу увагу слід приділити дослідженню зв'язку між опором ерозії і твердістю матеріалу, з яким пов'язані як інкубаційний період, так і період високої швидкості ерозії. Чим більше твердість і ударна в'язкість матеріалу, тим нижче швидкість ерозії і більше інкубаційний період. З рисунку видно, що для сталі 1.4405 інкубаційний період значно більше і швидкість руйнування значно менше, ніж для сталі 20X13Л.

Сталь 1.4405 порівняно зі сталями 1.4550 і 20X13Л має значно вищі показники твердості, ударної в'язкості і стійкості при кавітаційному впливі. Тому вона була визначена як найбільш прийнятна для виготовлення передвключених коліс, що працюють в режимах розвинутої кавітації. З вітчизняних аналогів була підібрана близька за хімічним складом сталь 08X15N4ДМЛ по ГОСТ 977-88. Ця сталь аустенитно-мартенситного класу застосовується для виливків гребних гвинтів, лопатей і втулок, де також актуальні питання боротьби з кавітацією.

Список літератури

1. Кнэпп Р. Кавитация / Р. Кнэпп, Дж. Дейли, Ф. Хэммит. – М.: Мир, 1974. – 687с.
2. Перник А.Д. Проблемы кавитации 2-е изд. испр. и доп./ А.Д. Перник. – Л.:Судостроение, 1966. – 440с.
3. Тирувенгадам А. Обобщенная теория кавитационных разрушений/ А. Тирувенгадам // Труды амер. о-ва. инж. - мех. Серия Д. Техническая механика – 1983. – №3. – 48 с.
4. Gulich J. F. Centrifugal Pumps Springer – Verlag / Gulich . – Berlin: Heidelberg, 2010. – p 964.
5. Исследование гидродинамических проблем применения шнеко-центробежных ступеней для улучшения кавитационных характеристик насосов и выдача рекомендаций [Текст]: отчет о НИР / ВНИИАЭН; В.М. Жуков, В.А. Куценко и др. – Сумы, 1985. – 134 с. – № ГР81018040. – Инв. №02.86.0029800.
6. Ржебаева Н.К. Методические указания к курсовому и дипломному проектированию «Шнеко-центробежная степень насоса» / Н.К. Ржебаева, В.М. Жуков, В.А. Куценко. – Харьков, 1990. – 40 с.
7. Жуков В.М. Предвключенное осевое колесо / В.М. Жуков, С.П. Сурмач // А.С. 731075 (СССР) / Опубликовано в Бюллетне изобретений № 16, 1980.
8. Багачев И.Н. Кавитационное разрушение и кавитационно-стойкие сплавы / И.Н. Багачев. – М.: Металлургия, 1972. – 189 с.

Cavitation-Resistant Steels for Inducers of First Stages of Centrifugal Pumps

P.Yu. Tkach; V.O. Kutsenko; O.S. Kostornoi

***Abstract.** This article deals with the problem of cavitation damage of hydraulic parts of centrifugal pumps. It is known that cavitation erosion can occur when the stage of fully-developed cavitation is reached, which results to failure of hydraulic parts. Based on many years of experience in combating the negative effects of cavitation erosion, specialists of JSC "VNIIAEN" have concluded that the most effective way to increase the cavitation performance of centrifugal pump hydraulic parts is to use an inducer upstream of the first stage impeller. Based on this, the properties of cavitation-resistant steels were studied for inducers fitted upstream of the first stage impellers of centrifugal pumps, which, operating under fully-developed cavitation, are most susceptible to cavitation wear. The article presents the results of study carried out on bench-scale test stand and the interrelation of chemical and mechanical properties of steels resistant to cavitation.*

Keywords: cavitation erosion; steel properties; centrifugal pump; inducer; cavitation erosion characteristics.