

Опыт выбора кавитационно – стойких сталей для предвключённых колес центробежных насосов специализации АО “ВНИИАЭН”

А. С. Косторной¹ • В. А. Куценко¹ • М. А. Лактионов¹ • П. Ю. Ткач¹ •
Н. Н. Подопригра¹ • Т. В. Маханева²

Received: 23 April 2021 / Accepted: 24 May 2021

Цель исследования. Сформулировать проблематику повышения устойчивости к кавитационной эрозии рабочих органов центробежных насосов за счет поиска наиболее подходящих марок сталей и провести обзор по опыту использования кавитационно – стойких сталей для предвключённых колес центробежных насосов специализации АО “ВНИИАЭН”.

Метод исследования. Аналитический и статистический анализ проводился с использованием материалов по исследованию и экспериментальной отработке кавитационно – стойких сталей для предвключённых колес центробежных насосов в АО “ВНИИАЭН”, а также с использованием материалов открытых публикаций.

Результаты исследования. Данная статья посвящена проблеме разрушения рабочих органов центробежных насосов, возникающей вследствие воздействия кавитации. Продемонстрировано, что для центробежных насосов наиболее эффективным способом повышения кавитационных свойств является применение первой шнекоцентробежной ступени, поэтому исследование кавитационно – стойких сталей проводилось на предвключенных колесах, которые работая в режиме развитой кавитации наиболее подвергаются кавитационному воздействию. Приводятся результаты исследований на экспериментальных модельных стендах и натурных насосах. Проведена оптимизация выбора сталей, стойких против кавитационного воздействия. Показана взаимосвязь химических и механических свойств сталей с сопротивлением кавитационному воздействию. Помимо этого, на примере плавки стали 08X15H4ДМЛ показана важность структурных свойств стали.

Выводы. В статье приведено обоснование того, что потенциал повышения кавитационно – эрозионных свойств рабочих органов центробежных насосов исключительно за счет улучшения гидродинамических характеристик проточной части практически исчерпан, поэтому большее внимание необходимо уделить поиску кавитационно-стойких сталей для изготовления рабочих органов. Показано, что для достижения лучших кавитационно – эрозионных качеств необходимо выдерживать определенное взаимодействие выбранных химических и механических свойств материалов. Продемонстрирована возможность за счет доработки технологического процесса плавки достижения лучшей стойкости к кавитационной эрозии на примере стали 08X15H4ДМЛ.

Ключевые слова: кавитационное воздействие, предвключенное колесо (шнек) насоса, параметры кавитационной эрозии, свойства сталей, отливки и поковки стали 08X15H4ДМЛ.

Введение

Проблема кавитации с момента её открытия привлекала серьёзное внимание исследователей. Во многом это связано с тем, что её следствие – кавитационная эрозия причиняет огромный ущерб экономике и во многих случаях становится препятствием в создании высокоэффективных машин и агрегатов. Исследо-

вания кавитации показали, что это очень сложный процесс, трудно поддающийся аналитическому изучению, а механизм кавитационной эрозии до сих пор находится на стадии изучения [1–4 и др.]. В связи с тем, что кавитационное воздействие на детали гидравлических машин при кавитационной эрозии имеет сложный характер и различную природу влияния учеными разработано множество различных механизмов защиты от этих воздействий. Развитие насосостроения для тепловой и атомной энергетики, химической и нефтяной промышленности идет по пути снижения материалоемкости и трудоемкости. Наиболее эффективным способом достижения этого является уменьшение количества ступеней. Однако уменьшение количества

✉ O. S. Kostornoi
kostornoy@vniiaen.sumy.ua

¹ АО “ВНИИАЭН”, Сумы, Украина

² АО “СЗ “Насосэнергомаши”, Сумы, Украина

ступеней без повышения частоты вращения ротора приводит к снижению коэффициента быстроходности и, следовательно, к снижению экономичности. Повышению частоты вращения ротора препятствуют кавитационные явления в первой ступени. Для решения этой проблемы в насосах общепромышленного назначения находят применение шнекоцентробежные ступени. На сегодняшний день центробежные насосы промышленного назначения с шнекоцентробежными ступенями составляют значительную часть в общем объеме разработанных и освоенных АО «ВНИИАЭН» насосов, где их насчитывается более 60 типоразмеров. Из накопленного опыта эксплуатации этих насосов, а также, из многочисленных исследований известно, что интенсивность кавитационной эрозии зависит от совокупности различных факторов. Наиболее важными являются следующие факторы: физические свойства жидкости, величина окружной скорости и абсолютные размеры рабочих органов, тип профиля лопасти и количество лопастей предвключенного колеса, режим работы по подаче и величина надкавитационного напора на входе, характеристика материала из которого изготовлены рабочие органы и ряд других факторов. В зависимости от комбинации этих факторов интенсивность кавитационного разрушения может меняться в десятки раз. В отдельных случаях разрушение может и вовсе отсутствовать. Все вышеперечисленные факторы, если учесть, что условия эксплуатации будут одинаковыми, можно разделить на 2 основные группы: гидродинамические особенности кавитационного обтекания и характеристики материала из которого изготовлены рабочие органы.

Гидродинамические особенности кавитационного обтекания предвключенных колёс были исследованы специалистами АО «ВНИИАЭН» в семидесятых – восьмидесятых годах прошлого столетия. Исследования выполнены на модельных и натурных насосах с визуализацией кавитационных течений и замером уровня вибрации [5]. По результатам этих работ, выделили наиболее существенные параметры, к которым прежде всего отнесли скорость, характерный линейный размер и тип профиля лопасти. Были определены параметр кавитационной эрозии и его пороговые значения [6], из выражения которого следует, что для безэрозийной работы предвключенного колеса необходимо чтобы параметр кавитационной эрозии не превышал его пороговое значение. Было также установлено, что пороговое значение параметра кавитационной эрозии зависит от типа профиля, материала, из которого изготовлено предвключенное колесо и физических свойств жидкости. Исходя из того, что наиболее интенсивная кавитационная эрозия происходит на холодной воде, было проведено ряд испытаний предвключенных колёс, изготовленных из лучшей из имеющихся сталей с точки зрения стойкости к кавитационной эрозии стали 20X13Л ГОСТ 977-88, с самым устойчивым типом профиля предвключенные колеса, с выступом на тыльной

поверхности лопасти. В результате испытаний было получено наилучшее пороговое значение при этих условиях $Kn = 20$.

Однако, в связи с тенденцией к непрерывному увеличению энергоёмкости конденсатных, питательных и других насосов, возрастает параметр кавитационной эрозии, который превышает пороговое значение $Kn = 20$. Поэтому даже кратковременная работа этих насосов на холодной воде невозможна. Обеспечение хотя бы кратковременной работы на холодной воде, а также увеличение требований к надежности насосов привели к необходимости поиска более стойких материалов к кавитационному воздействию, чем сталь 20X13Л.

Так в процессе совместного сотрудничества АО «ВНИИАЭН» с фирмой KSB были изготовлены три предвключенных колеса из предоставленных ими марок сталей 1.4405, 1.4550 и 1.4550 с наплавками на тыльной поверхности лопастей из сплава Stellite 6. Для определения стойкости к кавитационной эрозии были проведены ресурсные испытания этих предвключенных колёс в составе шнекоцентробежной ступени на модельном высокооборотном насосе ($n = 6000$ об/мин) в течении 18 часов. В качестве базы для сравнения использовались результаты ранее проведенных на этом стенде ресурсных испытаний предвключенного колеса из стали 20X13Л одинаковой геометрии (рис. 1). При испытаниях выдерживались одни и те же режимные и временные составляющие, параметры перекачиваемой среды. Предвключенные колеса имели одинаковые размеры и традиционный тип профиля лопастной системы – пластину. В результате проведенных ресурсных испытаний предвключенные колеса получили различные разрушения вследствие действия кавитационной эрозии, которые представлены на рисунках 1–4.

На рис.1 приведена фотография с типичной картиной кавитационных разрушений поверхности лопасти предвключенного колеса с типом профиля лопастной системы – пластина. Лопасть, изготовленная из стали 20X13Л, разрушилась обширно и интенсивно.

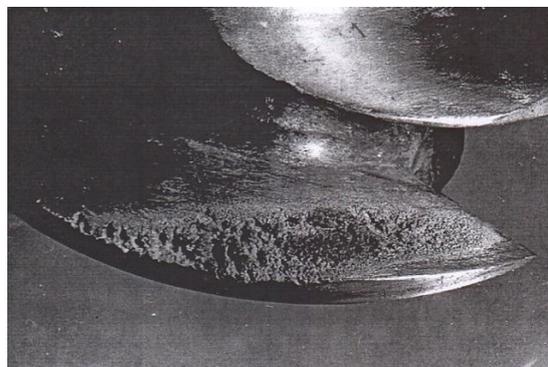


Рис. 1. Предвключенное колесо из стали 20X13Л. Тыльная поверхность

Из рис. 2 и 3 видно, что предвключенные колеса, изготовленные из сталей 1.4405 и 1.4550 получили меньшие разрушения по сравнению с предвключенным колесом, изготовленным из стали 20Х13Л при этом наименее интенсивно разрушились поверхности лопасти предвключённого колеса из стали 1.4405 (рис. 2).

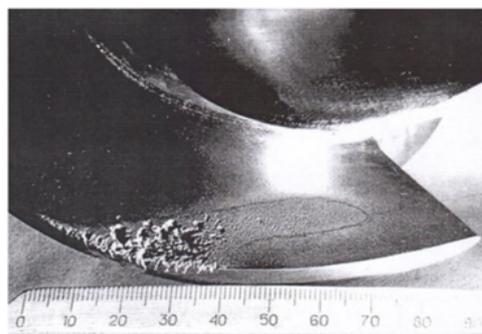
Что касается предвключённого колеса из стали 1.4550, тыльная поверхность лопастей которого была покрыта сплавом Stellite 6, то были незначительные разрушения на тыльной поверхности лопасти в районе торца входной и выходной кромки только материала 1.4550 (смотри рис. 4, а).

При заданной кавитационной нагрузке эрозия наплавки Stellite 6 практически отсутствовала. Следы кавитационного воздействия проявились в виде наклепа поверхности на площади примерно в 8 раз меньшей, чем для стали 20Х13Л. Дать количественную характеристику кавитационной эрозии наплавки Stellite 6 не представлялось возможным, так как произошли разрушения на рабочей поверхности лопасти, которая была без покрытия (смотри рис. 4, б).

В Таблице 1 приведены потери массы этих предвключённых колес от кавитационных разрушений. Наиболее кавитационно – стойкой оказалась

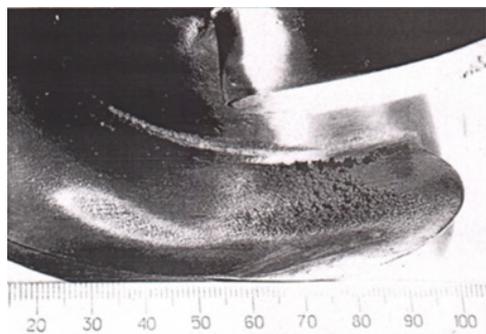


а

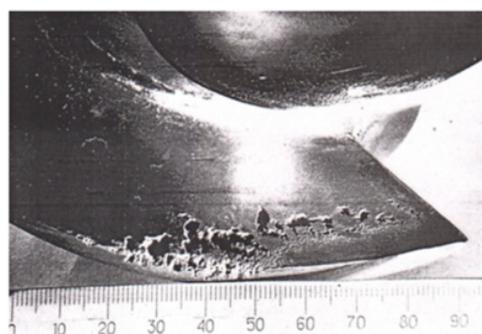


б

Рис. 2. Предвключённое колесо из стали 1.4405: а) рабочая поверхность; б) тыльная поверхность

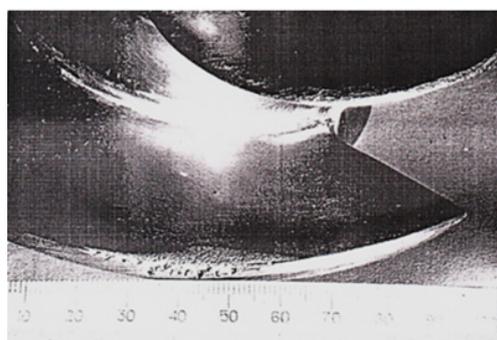


а

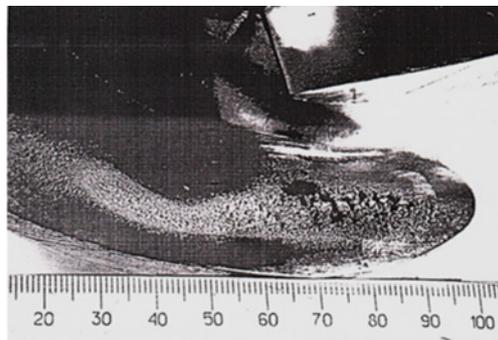


б

Рис. 3. Предвключённое колесо из стали 1.4550: а) рабочая поверхность; б) тыльная поверхность



а



б

Рис. 4. Предвключённое колесо: а) тыльная поверхность с покрытием Stellite 6; б) рабочая поверхность без покрытия Stellite 6

Таблица 1. Потеря массы предвключённых колес от кавитации

Материал	Время испытания, ч / потеря массы, г					
	0	2	6	10	14	18
20X13Л	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

сталь 1.4405. Для неё потеря массы почти в 6 раз меньше, чем для стали 20X13Л, которая взята как базовая.

Для анализа причины различной стойкости указанных материалов от кавитационной эрозии необходимо воспользоваться кинетическими кривыми кавитационной эрозии. Как известно [8] классическая кинетическая кривая кавитационной эрозии, приведенная на рис. 5, имеет следующие периоды:

- T_0 – инкубационный период, в котором потери массы металла практически нет. В этот период изменяется состояние поверхности (помутнение, наклёп);
- T_1 – период, в котором начинается медленное разрушение металла, на его поверхности появляются язвины, сыпь;
- T_2 – в третьем периоде скорость разрушения увеличивается. Вся поверхность покрывается язвинами и раковинами различной глубины и размеров.

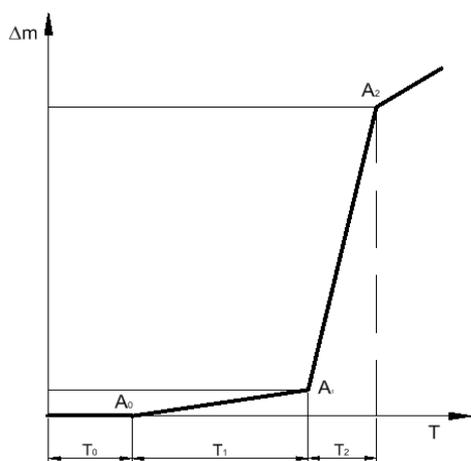


Рис. 5. Кинетическая кривая кавитационной эрозии

Существует еще и 4-й период T_4 – когда скорость разрушения уменьшается. По – видимому, это связано с тем, что раковины заполнены водой и поверхность становится демпфером для каверны.

Для исследуемых материалов были построены кинетические кривые кавитационной эрозии – зависимость потери массы металла Δm от времени T кавитационного воздействия (рис. 6).



Рис. 6. Кинетические кривые кавитационной эрозии

Проанализировав кинематические кривые кавитационной эрозии, приведенных на рис. 6, можно сделать следующие выводы: наибольший инкубационный период имеет сталь 1.4405, менее наклонные у неё и следующие периоды, где происходит разрушение металла. В работе [9] автор отмечает, что при выборе материала наибольшее внимание следует уделить исследованию связи между сопротивлением эрозии и твёрдостью материала, с которым связаны как инкубационный период, так и период высокой скорости эрозии. Чем больше твёрдость и ударная вязкость материала, тем ниже скорость эрозии и больше инкубационный период. Из рисунка 6 видно, что для стали 1.4405 инкубационный период значительно больше и скорость разрушения (период T_4) значительно меньше, чем для стали 20X13Л.

Сталь 1.4405 по сравнению со сталями 1.4550 и 20X13Л имеет значительно выше показатели твердости, ударной вязкости и стойкости при кавитационном воздействии. Поэтому она была определена как наиболее приемлемая для изготовления предвключённых колес, работающих в режимах развитой кавитации. Из отечественных аналогов была подобрана близкая по химическому составу сталь 08X15H4ДМЛ по ГОСТ 977-88. Эта сталь аустенитно-мартенситного класса применяется для отливок гребных винтов, лопастей и втулок, где также актуальны вопросы борьбы с кавитацией.

АО "ВНИИАЭН" применил сталь 08X15H4ДМЛ при изготовлении предвключённого колеса с выступом на тыльной поверхности лопасти для насоса ПЭА 1840-80 ($D_{п.к} = 0,363$ м, $n = 3000$ об/ми). В результате были проведены ресурсные испытания двухступенчатого варианта указанного насоса в течение 16 часов на подаче и надкавитационном напоре с наиболее сильной кавитационной эрозией. Испытания проводились на холодной воде. На рис. 7 приведены результаты исследований в виде топограмм с повреждениями лопастной системы предвключённого колеса.

Как видно из рис. 7 лопасть в месте воздействия каверн имеет наклеп, язвины, раковины. Максимальная глубина разрушения материала 6–7 мм при

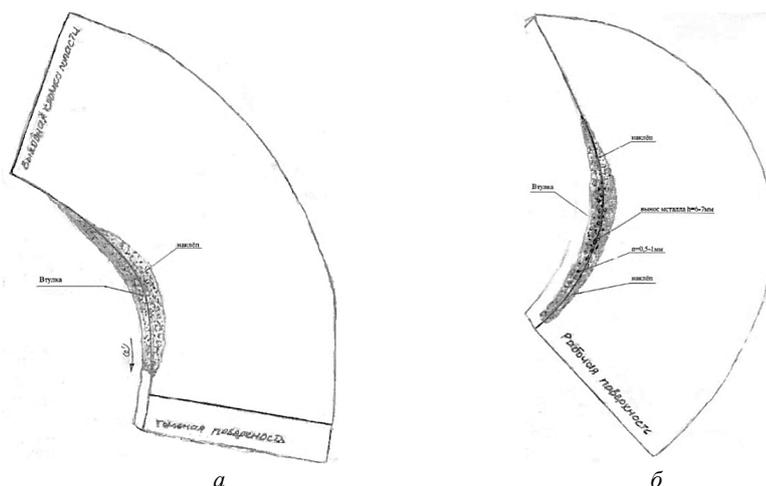


Рис. 7. Вид кавитационного воздействия на лопасти предвключенного колеса из стали 08X15N4ДМЛ. Время испытаний 16 часов, вода $t \leq 40$ °С: а) тыльной поверхности; б) рабочей поверхности

толщине профиля в месте разрушения лопасти 24 мм. Проведенные эксперименты показали, что выбранная сталь не дала ожидаемых результатов по стойкости кавитационной эрозии. Анализ кавитационных разрушений показал, что одной из причин являлась проблема обеспечения регламентированных требований уровня ударной вязкости – по ГОСТ 977-88 КСУ > 981 кДж/м². Производство получило отливки с более низким значением ударной вязкости (КСУ < 700 кДж/м²). Многочисленные эксперименты с применением различных режимов термообработки отливок из стали 08X15N4ДМЛ не позволили достичь регламентированного уровня ударной вязкости.

По данным, приведенным авторами в статье [10], получению механических свойств отливок стали 08X15N4ДМЛ на уровне требований ГОСТ 977-88 способствуют:

- понижение в плавке содержания углерода, молибдена, хрома и кремния;
- при плавке для измельчения зерна отливки использование модификатора - церия;
- выполнение оптимальной термообработки, которая включает высокотемпературную закалку (1040 °С), после два отпуска (610 °С).

Выполнение указанных рекомендаций позволяет получить оптимальную структуру матрицы стали – отпущенный мелкодисперсный мартенсит с мизерным содержанием остаточного аустенита и незначительным присутствием вредной сигма-фазы. Повышению механических свойств будет способствовать также и выполнение гомогенизирующего отпуска отливки для снижения в структуре количества дельта-феррита, наличие которого существенно снижает ударную вязкость.

Для дальнейшего анализа возможности улучшения кавитационно-эрозионных качеств деталей проточных частей центробежных насосов от характеристик материалов, из которых они изготовлены,

приведем химические составы и механические свойства вышеперечисленных сталей (Таблицы 2 и 3), по которым проводится анализ.

Авторы работы [10] указывают на то, что в настоящее время для изготовления отливок гребных винтов применяется сталь мартенситного класса марки 06X15N4ДМЛ, в которой пониженное содержание углерода, хрома и молибдена в сочетании с оптимальной термообработкой обеспечивают высокие прочностные и пластические свойства (Таблицы 2 и 3). Эта сталь по сравнению со сталью 08X15N4ДМЛ имеет существенно выше показатели ударной вязкости и технологичнее при производстве отливок. По химическому составу эта сталь отличается в основном низким содержанием углерода. Известно, что судостроители при заказе отливок из стали 08X15N4ДМЛ для гребных винтов ограничивают содержание углерода до 0,04 %.

АО «Насосэнергомаш» учел вышеприведенные рекомендации при выплавке предвключенных колес из стали 08X15N4ДМЛ и в результате получил отливки (плавка 1055) с высокими механическими свойствами, удовлетворяющими требованиям ГОСТ 977-88 (Таблица 1 и 2). Структура оптимизированных отливок – мелкодисперсный отпущенный мартенсит с отдельными включениями дельта-феррита (рис. 8).

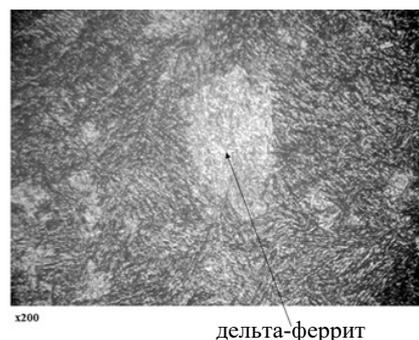


Рис. 8. Структура оптимизированных отливок из стали 08X15N4ДМЛ

Таблица 2. Химический состав сталей

№ п/п	Марка стали	Содержание элементов в %									
		C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo	Cu	Др.
1	20X13Л	0,16 – 0,25	0,2 – 0,8	0,3 – 0,8	< 0,03	< 0,03	12 – 14	–	–	–	–
2	1.4405	< 0,06	< 0,8	< 1,0	< 0,04	< 0,03	15 – 17	4,0 – 6,0	0,7 – 1,5	< 0,3	–
3	1.4550	< 0,08	< 1,0	< 2,0	< 0,045	< 0,015	17 – 19	9 – 12	–	–	< 1,0Nb
4	08X15H4ДМЛ ГОСТ 977-88	< 0,08	< 0,4	1,0 – 1,5	< 0,03	< 0,03	14 – 16	3,5 – 3,9	0,3 – 0,45	1,0 – 1,4	–
5	06X15H4ДМЛ (ТУ)	< 0,06	< 0,4	0,6 – 0,9	< 0,015	< 0,015	14 – 16	4,0 – 4,4	0,11 – 0,28	1,0 – 1,5	0,01–0,06Zr
6	08X15H4ДМЛ пл.1478	0,08	0,36	1,41	0,02	0,018	15,4	3,68	0,4	1,25	< 0,05Zr
7	08X15H4ДМЛ пл.1055	< 0,06	0,36	0,3 – 0,8	0,02	0,02	15,21	3,82	0,37	1,28	< 0,05Zr
8	08X15H4ДМЛ пл.1К – 451	< 0,08	0,21	< 1,0	0,02	0,01	14,84	3,75	0,42	1,09	–

Таблица 3. Механические свойства сталей

№	Марка стали	σ_b , МПа	σ_T , МПа	δ , %	ψ , %	KCU, KCV кДж/м ²
1	20X13Л	441	589	16	40	392 – U
2	1.4405	540	760 – 960	15	–	720 – V
3	1.4550	205	510 – 740	40	–	1200 – V
4	08X15H4ДМЛ (ГОСТ)	≥ 600	≥ 750	≥ 17	≥ 45	981 – U
5	06X15H4ДМЛ (ТУ)	≥ 620	≥ 790	≥ 19	≥ 48	1800 – V
6	08X15H4ДМЛ (пл.1478)	858	955	18	60	1050 – U
7	08X15H4ДМЛ (пл.1055)	640	920	23	60	1150 – U
8	08X15H4ДМЛ (пл.1К – 451)	740	830	18	55	1220 – U

Примечание: U, V – тип надреза

Известно, что при испытании литья и поковок одной марки стали механические свойства последних существенно выше. Стандарт на поковки из стали 08X15H4ДМ отсутствует. Это объясняется тем, что сталь склонна к растрескиванию при проковке в связи с образованием легкоплавких эвтектик меди с серой и наличием значительных включений дельта-феррита.

В условиях минимизации содержания серы в плавке и применения гомогенизирующего отжига для снижения количества дельта-феррита в отливке возможно получение бездефектной поковки. Учитывая небольшие габариты предвключенных колес, в данном случае реально получить качественную поковку. АО “Насос-энергомаш” в процессе первоначальных экспериментов

получило хорошие механические свойства на стали 08X15H4ДМЛ, удовлетворяющие требования ГОСТ 977-88, только на плавке 1478 после закалки, двойного отпуска и опытной перековки литейной заготовки (Таблица 2 и 3). Поэтому АО “Насосэнергомаш” разработало ТУ на поковки из стали 08X15H4ДМ, в соответствии с которыми получило заготовки и изготовило три предвключенных колеса. Химический состав и механические свойства поволовок приведены в Таблице 2 и 3 (пл. 1 К-451).

При стендовых испытаниях натуральных насосов ПЭА 1840-80 были установлены в двух насосах предвключенные колеса, изготовленные из оптимизированных литейных заготовок стали 08X15H4ДМЛ, а в трех насосах предвключенные колеса изготовленные из поволовок стали 08X15H4ДМ. Испытания проводились на холодной воде. При снятии частных кавитационных характеристик, давление на входе в насос понизилось до 75–80 % вакуума, то есть предвключенные колеса работали в режиме развитой кавитации в течение 3

часов. После испытаний проводилась ревизия насосов, при которой на предвключенных колесах следов кавитационных разрушений не было обнаружено. Запланировано с указанными предвключенными колесами провести ресурсные испытания насосов в течение 16 часов.

Выводы

В статье приведен опыт использования кавитационно – стойких сталей для изготовления предвключенных колес, которые в составе щнекоцентрибежной ступени работают в условиях развитой кавитации. Показана важность взаимодействия выбранных химических и механических свойств материалов для получения лучшей стойкости к кавитационной эрозии. На примере плавки стали 08X15H4ДМЛ показана возможность достижения лучших кавитационно–стойких свойств стали за счет доработки технологического процесса плавки.

References

- [1] R. Knepp, J. Daly, F. Hammit, *Kavitatsiia*, Moscow: Mir, 1974.
- [2] A.D. Pernik, *Problemy Kvitatsii*, 2nd ed., Leningrad: Sudostroenie, 1966.
- [3] A. Thiruvengadam, *Obshchaia teoriia kavitatsionnykh razrushenii*, *Proceedings of ASME. Series D. Technical Mechanics*, No.3, 1983.
- [4] J. F. Gulich, *Centrifugal Pumps*, Springer-Verlag, Berlin: Heidelberg, 2010. doi: 10.1007/978-3-642-12824-0
- [5] J. Steller, B.G. Gireń, *International Cavitation Erosion Test : 560/1519/2015. Final Report*. Gdańsk, 2015.
- [6] V.M. Zhukov et al., *Issledovanie gidrodinamicheskikh problem primeneniia shneko-tcentrobeznykh stupenei dlia uluchsheniia kavitatsionnykh kharakteristik nasosov i vydacha rekomendaczij*, Report on NIR, VNIIAEN: Sumy, No. GR81018040. No. 02.86.0029800, 1985
- [7] N.K. Rzhebaeva et al., “Shneko-tcentrobeznaia stepen nasosa”, *Metodicheskie ukazaniia k kursovomu i diplomnomu proektirovaniu*, Kharkiv, 1990.
- [8] V.M. Zhukov and S.P. Surmach, “*Predvkluchennoe osevoe koleso*”, A.S. 731075 (USSR), *the Bulletin of Inventions*, No. 16, 1980.
- [9] I. Pirsol, *Kavitatsiia*, Moscow: Mir, 1975 (Transl.: in Yu.F. Zhuravlev, L.A. Epstein Ed.).
- [10] A. I. Petrov, M. M. Skobelev and A. G. Hanychev, “Issledovanie sravnitel'noj stojkosti k kavitatsionnoj erozii obrazcov materialov i pokrytij protochnoj chasti gidromashin”, *Vestnik MGTU im. N.E. Baumana. Ser. Mashinostroenie*, No.2 (101), pp.128–137, 2015.
- [11] M. S. Stechyshyn et al., “Ustanovka ta metodyka provedennia elektrokhimichnykh doslidzhen, kavitatsiino-eroziinoi znososti poverkhon metaliv ta pokryttiv”, *Problemy tertia ta znoshuvannia*, No. 1. pp. 110–117, 2017.
- [12] I.N. Bagachev, *Kavitatsionnoe razrushenie i kavitatsionno-stoikie splavy*, Moscow: Metallurgiya, 1972.
- [13] V.V. Tcukanov et al., “Strukturnye prevrashcheniia pri termicheskoi obrabotke liteinoy korrozionno-stoikoi stali martensitnogo klassa”, *Metalloobrabotka*, No. 3.pp. 42–47, 2004.

Experience in Selection of Cavitation – Resistant Steels for Inducers of Centrifugal Pumps of JSC “VNIIAEN” Specialization

O. S. Kostornoi, V. O. Kutsenko, M. O. Laktionov, P. Yu. Tkach, N. M. Pidoprygora, T. V. Makhaneva

Abstract. To formulate the problems of increasing the resistance to cavitation erosion of the hydraulic parts of centrifugal pumps by selecting the most suitable steel grades and to review the experience of using cavitation – resistant steels for inducers of centrifugal pumps of JSC “VNIIAEN” specialization. Analytical and statistical analyses were carried out using research and experimental development data of cavitation – resistant steels for inducers of centrifugal pumps at JSC “VNIIAEN”, as well as using data from open access publications. The article deals with the problem of centrifugal pump hydraulic part failure caused by cavitation. It has been

actually demonstrated that the most effective way to improve the cavitation performance of centrifugal pumps is to use an inducer upstream of the first stage impeller. Therefore, the study of cavitation – resistant steels was carried out on inducers which are most exposed to cavitation when operating under condition of developed cavitation. The results of tests carried out on experimental model test rig and full – scale pumps are presented. The selection of steels resistant to cavitation has been optimized. The relationship between the chemical and mechanical properties of steels and resistance to cavitation is shown. In addition, the essential role of structural properties of steel is shown in terms of heat of steel 08X15H4ДМЛ. The article provides a rationale for the fact that the potential for improving the cavitation – erosion properties of the hydraulic parts of centrifugal pumps solely by improving their hydrodynamic characteristics is practically exhausted; therefore, more attention should be paid to the search for cavitation-resistant steels used for the manufacture of hydraulic parts. It is shown that in order to achieve the best cavitation – erosion properties, it is necessary to provide a certain interaction of the selected chemical and mechanical properties of materials. The possibility of achieving better resistance to cavitation erosion by modifying the melting process is shown in terms of steel 08X15H4ДМЛ.

Keywords: cavitation, pump inducer, parameters of cavitation erosion, properties of steels, castings and forgings of steel 08X15H4ДМЛ.

Досвід вибору кавітаційно – стійких сталей для передвключених коліс відцентрових насосів спеціалізації АТ “ВНДІАЕН”

О. С. Косторной, В. О. Куценко, М. О. Лактіонов, П. Ю. Ткач, Н. М. Підпригора, Т. В. Маханева

Анотація. Сформулювати проблематику підвищення стійкості до кавітаційної ерозії робочих органів відцентрових насосів за рахунок пошуку найбільш придатних марок сталей і провести огляд за досвідом використання кавітаційно – стійких сталей для передвключених коліс відцентрових насосів спеціалізації АТ “ВНДІАЕН”. Аналітичний і статистичний аналіз проводився з використанням матеріалів за дослідженнями і експериментальними відпрацюваннями кавітаційно – стійких сталей для передвключених коліс відцентрових насосів в АТ “ВНДІАЕН”, а також з використанням матеріалів відкритих публікацій. Ця стаття присвячена проблемі руйнування робочих органів відцентрових насосів, що виникає внаслідок впливу кавітації. Продемонстровано, що для відцентрових насосів найбільш ефективним способом підвищення кавітаційних властивостей є застосування першого шнековідцентрового ступеня, тому дослідження кавітаційно – стійких сталей проводилося на передвключених колесах, які працюючи в режимі розвинутої кавітації найбільш піддаються кавітаційному впливу. Наводяться результати досліджень на експериментальних модельних стендах та натурних насосах. Проведено оптимізацію вибору сталей, стійких до кавітаційного впливу. Показано взаємозв'язок хімічних і механічних властивостей сталей з опором до кавітаційного впливу. Крім цього, на прикладі плавки сталі 08X15H4ДМЛ показано важливість структурних властивостей сталі. У статті наведено обґрунтування того, що потенціал підвищення кавітаційно – ерозійних властивостей робочих органів відцентрових насосів виключно за рахунок поліпшення гідродинамічних характеристик проточної частини практично вичерпаний, тому більшу увагу необхідно приділити пошуку кавітаційно-стійких сталей для виготовлення робочих органів. Показано, що для досягнення кращих кавітаційно – ерозійних якостей необхідно витримувати певну взаємодію обраних хімічних і механічних властивостей матеріалів. Продемонстровано можливість, за рахунок доопрацювання технологічного процесу плавки, досягнення кращої стійкості до кавітаційної ерозії на прикладі сталі 08X15H4ДМЛ.

Ключові слова: кавітаційний вплив, передвключене колесо (шнecк) насоса, параметри кавітаційної ерозії, властивості сталей, вилвки і поковки сталі 08X15H4ДМЛ.