

УДК 621.9.04

**ИННОВАЦИОННЫЙ ПОДХОД К ВЫБОРУ МЕТОДОВ УПРОЧНЕНИЯ
УДАРНЫХ ГОЛОВОК ГОМОГЕНИЗАТОРА FBF 075****А.А. ПОТАПОВ***(Представлено: канд. техн. наук, доц. О.П. ШТЕМПЕЛЬ)*

В статье описывается принцип работы ударной головки гомогенизатора FBF 075, теории объясняющие природу кавитационной эрозии, и её способы уменьшения воздействия на деталь. Рассмотрены материалы и нанесение защитных покрытий методами химико-термической обработки, а также способы упрочнения высококонцентрированными потоками энергии повышающие стойкость к эрозии.

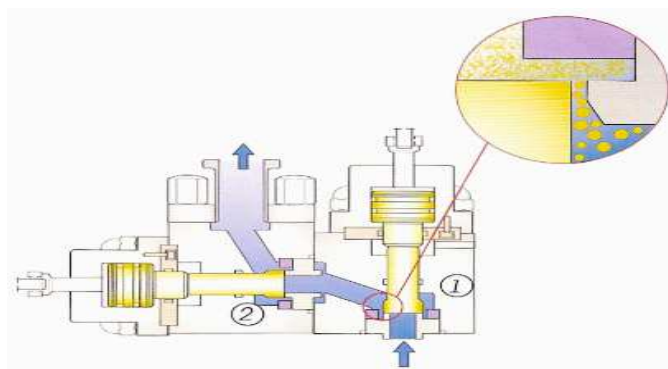
Введение. Молочная промышленность – одно из важнейших направлений сельского хозяйства. Чтобы молочный продукт сохранял полезные качества, необходимо обеспечивать технологию его правильной обработки и переработки. В которую входит не только охлаждение и транспортировка на молочный завод, но и определение кислотности и жирности, контроль качества, санитарные пробы.

На (рис. 1), представлен гомогенизатор - это аппарат, служащий для дробления шариков жира на более мелкую фракцию. В процессе гомогенизации достигается равномерное распределение жира, однородность продукта и повышенная вязкость. Продукт приобретает стойкость к отстаиванию сливок и развитию процессов окисления. Основными характеристиками процесса гомогенизации являются давление в процессе работы и производительность [1].



Рисунок 1. – Общий вид гомогенизатора FBF 075

Основной процесс гомогенизатора является диспергирование, оно достигается благодаря гомогенизирующим ступеням. Гомогенизирующая первая и вторая ступени (рис. 2) представляет собой две ударные (гомогенизирующие) головки аналогичной конструкции, связанные каналом, позволяющим продукту переходить последовательно от первой ступени ко второй.



**Рисунок 2. – Схема гомогенизирующей головки:
1 – Первая гомогенизирующая ступень; 2 – Вторая гомогенизирующая ступень**

Анализ работы гомогенизатора и ударной головки. Основными рабочими органами гомогенизирующей головки являются седло и клапан (рис. 3), от конструкции, которых в известной мере зависит степень дисперсности молока при гомогенизации. Разнообразие конструктивных исполнений гомогенизирующих устройств обусловлено стремлением повысить гомогенизирующий эффект за счет повышения турбулентности потока гомогенизируемой жидкости, усиления явлений кавитации, повышения скорости движения жидкости на входе в клапанную щель [1].

При прохождении потока молока по узкому каналу его скорость возрастает (рис. 2 и рис. 3). Скорость будет расти до тех пор, пока статическое давление не снизится до такого уровня, при котором жидкость закипает. Максимальная скорость главным образом зависит от давления на входе. Когда жидкость покидает щель, скорость снижается, а давление начинает расти. Кипение жидкости прекращается, и паровые пузырьки взрываются – такой феномен называется кавитация.

Из-за кавитации, а так же высокой скорости потока, жидкость оказывает сильное механическое действие на седло и клапан (рис. 3.), что вызывает быстрый их износ. Клапан и седло изготавливают из стали и сплавов высокой твердости. [2, 3]

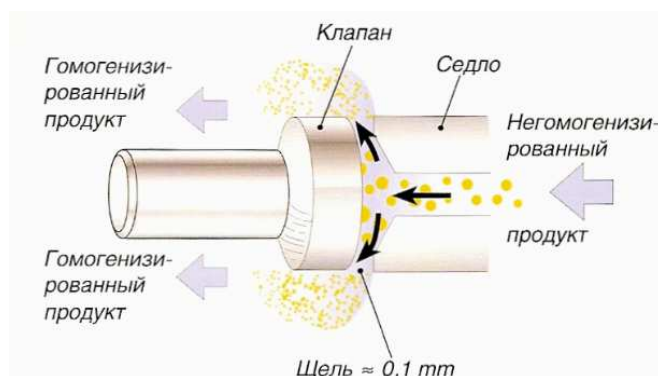


Рисунок 3. – Гомогенизирующая ступень в детальном виде

Гомогенизатор представляет собой поршневой (плунжерный) насос, продавливающий продукт под высоким давлением сквозь регулируемый зазор. Основными показателями работы гомогенизаторов являются универсальная рабочая и кавитационная характеристики. Универсальная характеристика гомогенизатора представляет зависимость между его производительностью, затрачиваемой мощностью и КПД. Она дает представление об уровне совершенства конструкции гомогенизатора и его техническом состоянии. На (рис. 4) представлено устройство гомогенизатора [2].

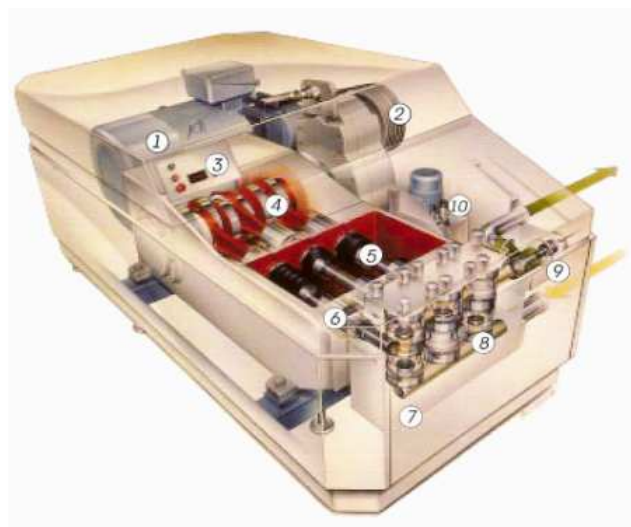


Рисунок 4. – Устройство гомогенизатора:

1 – Главный двигатель привода; 2 – Клиновременная передача; 3 – Указатель давления; 4 – Кривошипно-шатунный механизм; 5 – Поршень; 6 – Уплотнение поршня; 7 – Литой насосный блок из нержавеющей стали; 8 – Клапаны; 9 – Гомогенизирующая головка; 10 – Гидравлическая система

Основные виды кавитационной эрозии. С проблемами кавитации сталкиваются при рассмотрении широкого круга вопросов, связанных с течениями жидкостей, от исследования тока крови в сосудах до проектирования турбин и корабельных винтов. Ее возникновение зависит от физических свойств жидкости и параметров течения (давление, температура, скорость). В технике кавитация приводит к значительному снижению эффективности работы машин и к эрозии их деталей, а кавитация в крови может вызвать заболевание сердца и артерий. Кавитация уменьшает подъемную силу подводных крыльев, ухудшает характеристики насосов, турбин и других механизмов. Чтобы по возможности свести к минимуму вредное действие кавитации, обычно для каждой машины определяют ее кавитационные характеристики. Проектирование многих машин и установок осуществляется обязательно с учетом их кавитационной эрозии. Основным методом борьбы с эрозией состоит в соответствующем подборе материалов при изготовлении машин и механизмов; этот подбор производится путем сравнительных испытаний.

В действительности давление, при котором начинается кавитация, существенно зависит от физического состояния жидкости. Если жидкость содержит большое количество растворенного воздуха, то уменьшение давления приводит к выделению воздуха из жидкости и образованию газовых полостей (каверн), в которых давление выше, чем давление насыщенных паров жидкости. При наличии в жидкости микроскопических, не видимых глазом пузырьков кавитация может возникать при давлениях, превышающих давление насыщенного пара. Каждый кавитационный пузырек, формируясь из ядра, растет до конечных размеров, после чего он схлопывается. Весь процесс происходит в течение нескольких миллисекунд. Пузырьки могут появляться друг за другом настолько быстро, что кажутся одной каверной. Схлопывание пузырька происходит в течение миллисекунд или даже микросекунд. Доказано, что возникающие ударные волны могут привести к высоким перепадам давления (до 400 МПа.) в окружающей пузырька жидкости.

Основной проблемой в кавитации является эрозия. Высокие быстро меняющиеся давления и тепловые ударные волны, вызывают в материале вблизи сжимающегося пузырька разрушения, причиной которых, возможно, являются усталостные процессы. Насосы, турбины, винты, а также такие элементы, как клапаны и вентили, нередко подвергаются существенной эрозии. Процесс эрозии материала может происходить настолько быстро, что винты корабля после одного рейса, а рабочее колесо насоса после нескольких недель работы выходят из строя. Поэтому довольно часто, через регулярные промежутки времени, приходится заваривать эрозионные раковины, созданные кавитацией на лопатках турбин [4].

Существуют следующие наиболее распространенные теории, объясняющие природу кавитационной эрозии.

1. Гидромеханические теории, из которых следует, что эрозия материала происходит за счет возникновения больших давлений при разрушениях газовых пузырьков, при этом разрушение материала происходит за счет гидравлических ударов жидкости о поверхность омываемого кавитационным потоком тела.

2. Химическая теория объясняет эрозию материала как следствие химического воздействия агрессивных реагентов активизирующихся в кавитационном потоке, а механическое воздействие его лишь как создающее повышенную температуру и другие благоприятные условия для протекания химических процессов.

3. По электрической теории эрозия материала происходит вследствие электрических разрядов (Манометрический эффект) возникающих при разрушении газовых пузырьков.

4. Электрохимическая теория утверждает, что эрозия в металле происходит вследствие ионизации газов в полости каверны и активного в этих условиях электрического и химического воздействия на поверхности находящихся в потоке деталей. При этом преимущественное влияние может иметь как электрическое, так и химическое воздействие в зависимости от параметров и рода кавитационных потоков физических свойств материалов и др.

5. Термоэлектрические теории считают, что эрозия материала происходит вследствие термического и электрического воздействия [5].

Способы уменьшения кавитационной эрозии. Существуют различные способы уменьшения кавитационной эрозии, например такие как:

1. Изменение гидравлических режимов работы местного сопротивления;
2. Выбор соответствующего типа и геометрических характеристик местного сопротивления, обеспечивающих бескавитационную работу в заданных пределах изменения расхода и давления потока жидкости;
3. Многоступенчатое дросселирование потока жидкости, при котором общий перепад давлений распределяется между отдельными дроссельными элементами;
4. Выбор материалов с повышенной кавитационной стойкостью;
5. Подвод воздуха в зону кавитации;
6. Добавление в рабочую жидкость различных присадок.

В нашем случае мы не можем использовать пункты 1, 2, 3, 5 и 6 т.к. они нарушат кавитационную характеристику потока, вследствие чего изменится дисперсность и санитарно-гигиенические нормы продукта. [5, 6]

Выбор материалов для увеличения кавитационной стойкости. Большинство материалов, подвергающихся действию кавитации, обладает начальным (инкубационным) периодом, в течение которого эрозия отсутствует. За инкубационным следует период быстрого увеличения эрозионных повреждений, а затем период относительно стабильного состояния, когда скорость эрозии почти постоянна. Наконец, когда поверхность уже сильно изъедена и покрыта раковинами, скорость эрозии уменьшается.

На практике наибольший интерес представляют инкубационный период и период наибольшей скорости эрозии. Если длительность инкубационного периода будет превышать срок службы какого-либо компонента машины, то опасность эрозии этого компонента отсутствует. К сожалению, до сих пор мы еще не в состоянии предсказывать продолжительность инкубационного периода для конкретных частей машины. Однако, определяя скорость эрозии различных материалов, можно оценить относительное сопротивление этих материалов эрозии. Такой вид испытаний обычно используется в качестве ускоренного метода определения сопротивления стойкости материалов к эрозии.

Результаты лабораторных испытаний в таблице 1 показывают, что наиболее стойким к кавитационной эрозии материалом, как в пресной, так и в морской воде является алюминиевая бронза. К тому же этот материал отличается очень хорошими антикоррозионными свойствами. Однако алюминиевая бронза трудно поддается литью, поэтому в настоящее время разрабатываются другие сплавы, свободные от этого недостатка. Коррозионные и эрозионные свойства таких сплавов почти такие же, как у алюминиевой бронзы. Высоким сопротивлением эрозии обладают нержавеющие стали, лучшей из них считается мартенситная сталь.

Повреждения от кавитации могут быть уменьшены путем выбора подходящих сплавов. Часто рекомендуют применять твердые, стойкие к кавитации сплавы, в частности нержавеющие стали [4].

Таблица 1. – Эрозионные и прочностные характеристики металлов[4]

Материал	Модуль юнга, кг/см ²	Прочность на разрыв, кг/см ²	Относительное удлинение, %	Твердость HV	Скорость эрозии мм ³ /ч
Низкоуглеродистая сталь	2,11×10 ⁶	5 970	16	200	5,5
Нержавеющая сталь	2,12×10 ⁶	7 960	26	253	1,3
Высокопрочная латунь	0,915×10 ⁶	4 020	17	120	4,7
Орудийный металл	0,88×10 ⁶	2 900	22	96	4,9
Алюминиевая бронза	1,2×10 ⁶	4 730	12	155	0,8
Бронза «Новостон»	1,24×10 ⁶	7 150	21	203	1,5
Монель К-500	1,66×10 ⁶	8 400	19	289	2,8
Монель К-500 (старейший)	1,46×10 ⁶	11 300	13	396	1,2
Титан	1,18×10 ⁶	13 200	19	425	0,8
Никель	1,24×10 ⁶	4 870	35	152	4,4
Железо	1,72×10 ⁶	10 200	–	345	1,3

Так же используют твердые сплавы (ТС) – керамико-металлические материалы, состоящие из карбидов тугоплавких металлов и пластичного связующего (металла или сплава) при содержании тугоплавкой фазы 50% (объемн.). Современные ТС получают из высших карбидов тугоплавких металлов и металлов железной группы (железа, никеля, кобальта) спеканием в присутствии жидкой фазы.

Различают карбида-вольфрамовые (WC-Co), титано-вольфрамовые (WC-TiC-Co), титано-тантало-вольфрамовые (WC-TiTaC-Co) и безвольфрамовые твердые сплавы. В государственных стандартах СССР вольфрамовые (вольфрамокобальтовые) сплавы обозначаются буквами ВК с прибавлением цифры, обозначающей содержание кобальта, например, ВК6, значит 6% кобальта. Титано-вольфрамовые твердые сплавы обозначаются буквами ТК. Марки сплавов в пределах группы также характеризуют содержание компонентов.

Следует отметить, что имеющиеся в литературе данные о физико-механических и теплофизических свойствах карбидов и других тугоплавких соединений зачастую противоречивы вследствие исключительно сильного влияния дефектов кристаллического строения данных соединений на их свойства. Карбиды переходных металлов отличаются высокой химической стойкостью и не разлагаются большинством минеральных кислот, их смесей и растворов щелочей. Стойкость карбидов против окисления кислородом воздуха убывает в следующей последовательности: TiC, ZrC, VC, TaC, NbC, MoC, WC.

Микротвердость карбидов высокая, и уменьшается при переходе от карбидов металлов IV-A группы к карбидам металлов групп V-A и VI-A, а модули упругости увеличиваются. В таблице 2 приведены значения микротвердости и модули упругости некоторых карбидов.

Таблица 2. – Механические характеристики карбидов [7]

Карбид	Микротвердость, ГПа	E , ГПа	Карбид	Микротвердость, ГПа	E , ГПа
TiC	28,5	320	TaC	16,0	290
ZrC	29,3	355	Cr ₃ C ₂	13,3	380
HfC	29,1	359	MoC	15,0	544
VC	20,9	276	WC	17,3	720
NbC	19,6	345			

Области применения карбидов значительно расширились. Их используют в качестве огнеупорных материалов, коррозионностойких материалов химической промышленности; в авиационной и ракетной технике, для электротехнического и радиотехнического назначения [7].

Повышение кавитационной стойкости деталей машин нанесением защитных покрытий и обработкой высококонцентрированными потоками энергии. Одним из признанных методов повышения эксплуатационных характеристик деталей машин и механизмов является химико-термическая обработка (ХТО), которая радикальным образом изменяет состав и физико-химические свойства поверхностных слоев деталей, что позволяет значительно повысить их эксплуатационные свойства, в том числе и кавитационную стойкость. Это увеличивает надежность и долговечность машин, работающих в условиях кавитационной эрозии. Приведем примеры ХТО подходящие для кавитационной стойкости.

Азотирование – наиболее эффективный способ повышения износостойкости аустенитных нержавеющих сталей. Азотированию можно подвергать любые стали перлитного, ферритного и аустенитного классов, а также чугуны. Азотированные стали имеют высокую поверхностную прочность, не изменяющуюся при нагреве до 400–450 °С; высокую износостойкость и низкую склонность к задирам; высокое сопротивление кавитации и коррозии в атмосфере, пресной воде и паре. Деформация изделий при азотировании минимальна, азотированный слой хорошо шлифуется и полируется.

Цементацией – (науглероживанием) называют ХТО, заключающуюся в диффузионном насыщении поверхности материала углеродом при высоких температурах в углеродосодержащей среде. Процесс цементации широко применяют в промышленности благодаря его высокой эффективности и доступности. Цементации подвергаются в основном стали и в некоторых случаях тугоплавкие металлы и сплавы. Цементацию тугоплавких металлов и сплавов (Mo, W, Ti, Nb, Ta, жаропрочных сплавов на основе Co и Ni) применяют для повышения твердости и износостойкости поверхности, а также с целью повышения коррозионной стойкости и достижения особых электрохимических и электрофизических свойств.

Борирование – химико-термическая обработка насыщением поверхностных слоев стальных изделий и некоторых других металлов бором при температурах 900–950 °С. Цель борирования – это повышение твердости, износостойкости (особенно абразивной) и некоторых других свойств стальных изделий. Диффузионный слой толщиной 0,05–0,15 мм, состоящий из боридов FeB и Fe₂B, обладает весьма высокой твердостью, стойкостью к абразивному изнашиванию и коррозионной стойкостью.

Диффузионное хромирование – это процесс насыщения поверхностных слоев изделия хромом при высоких температурах. Хромирование придает поверхностному слою изделий особые физико-химические свойства, позволяющие повысить ресурс изделий, работающих в условиях:

- коррозии под напряжением в средах азотной и уксусной кислот, перекиси водорода, растворе поваренной соли, морской воды, топлив, содержащих серу и окислы ванадия;
- износа при различных видах трения;
- кавитационной эрозии;
- знакопеременных нагрузок;
- ползучести при повышенных температурах;
- термических ударов.

В ряде случаев, например, для повышения жаростойкости, эрозионной стойкости или кислотоустойчивости, хромирование применяют к никелю (никелевым сплавам), тугоплавким металлам (их сплавам) и неметаллическим материалам (графиту и металлокерамике). В таблице 3 приведем показатели твердости покрытий, полученных различными видами ХТО [7, 8].

Таблица 3. – Сравнительные показатели твердости [8]

№ п/п	Процесс ХТО	Твёрдость (HV)
1	Борирование	1800–2000
2	Диффузионное хромирование	1350–1500
3	Цементация	500–700
4	Азотирование	300–350
5	Нитроцементация	570–690

Среди методов поверхностного упрочнения высококонцентрированными потоками энергии наибольшее распространение получили, обработка лазером, плазмой, электроискровым и электронно-лучевым упрочнением. К наиболее перспективным и прогрессивно развивающимся способам поверхностной закалки следует отнести эти способы, основанные на применении высококонцентрированных источников нагрева. Их применение позволяет получить более высокие эксплуатационные свойства изделий и качество упрочнения. Внедрение высококонцентрированных источников нагрева позволяет резко сократить энергозатраты, уменьшить коробление деталей, исключить необходимость использования различных сред и при этом полностью автоматизировать процесс. В соответствии с применяемым источником нагрева различают следующие способы поверхностной термической закалки:

Лазерное упрочнение – термическое упрочнение лазерным излучением металлов и сплавов лазерным излучением, основанное на локальном нагреве участка поверхности под воздействием излучения и последующем охлаждении этого поверхностного участка со сверхкритической скоростью в результате теплоотвода теплоты во внутренние слои металла. Основной целью лазерного термоупрочнения сталей, чугунов и цветных сплавов является повышение износостойкости деталей, работающих в условиях трения, прежде всего – при трении качения и скольжения. В результате лазерной закалки достигаются высокая твердость поверхности, высокая дисперсность структуры, уменьшение коэффициента трения, увеличение несущей способности поверхностных слоев и другие параметры. В ряде случаев лазерное термоупрочнение приводит к повышению теплостойкости. В качестве основного недостатка лазерного термоупрочнения следует отметить высокую отражающую способность многих реальных металлических изделий, требующих упрочнения, что в итоге негативно отражается на коэффициенте полезного действия лазеров при реализации поверхностной упрочняющей обработки.

Плазменное упрочнение состоит в высокоскоростном нагреве потоком плазмы поверхностного слоя металла и быстром его охлаждении в результате передачи тепла в глубинные слои материала детали. Цель плазменной закалки – упрочнение поверхностного слоя деталей и инструмента с обеспечением его толщины до нескольких миллиметров при неизменном общем химическом составе материала и сохранении во внутренних слоях первоначальных свойств исходного металла деталей и инструмента. Плазменная закалка не дает деформаций, благодаря чему закаленным деталям во многих случаях не требуется финишная шлифовка, что существенно снижает трудоемкость и себестоимость производства. Материалы, подвергаемые плазменной закалке, – инструментальные стали, чугуны, твердые сплавы, цементированные и нитроцементированные стали, цветные сплавы и другие материалы. Основные преимущества плазменного упрочнения заключаются в: большой глубине упрочненного слоя по сравнению, например, с лазерной закалкой; высокий эффективный КПД нагрева плазменной дугой (до 85%), для сравнения при лазерном упрочнении – 5%; возможность ведения процесса без применения охлаждающих сред, вакуума, специальных покрытий для повышения поглотательной способности упрочняемых поверхностей.

Электроискровое упрочнение основано на использовании электрических разрядов для обработки рабочей поверхности изделия и создания поверхностного слоя (покрытия) с требуемыми эксплуатационными свойствами. Осуществляется воздействие на металлические поверхности в газовой среде короткими (до 1000 мкс) электрическими разрядами энергией от сотых долей до десятка и более джоулей и частотой не более 1000 Гц. В ходе процесса электроискрового упрочнения происходит следующее: идут процессы преимущественного разрушения материала электрода (анода) и образования вторичных структур в рабочей его части, осуществляется перенос продуктов эрозии электрода на деталь (катод), после чего на поверхности обрабатываемого изделия протекают микрометаллургические процессы, элементы материала электрода диффундируют в поверхностный слой изделия и поверхность изделия приобретает новый специфичный рельеф. Образуется на поверхности изделия измененный слой, включающий белый слой, диффузионную зону и зону термического влияния, при этом изменяются свойства поверхностного слоя, формируется поверхностный слой мелкодисперсного состава, вплоть до наноуровня. Эти свойства управляются в широких пределах и обеспечивают требуемые качества: повышение микротвердости, износостойкости, жаростойкости и другие. Достоинства метода электроискрового упрочнения в возможности локального формирования покрытий в строго указанных местах радиусом от долей миллиметра и более (без защиты остальной поверхности); высокой адгезии электроискрового покрытия с основным материалом; отсутствии нагрева и деформации изделия в процессе обработки [8].

Электронно-лучевое упрочнение представляет собой мощное эффективное средство термического воздействия на материал. В качестве энергоносителя при реализации электронно-лучевых технологий выступает электронный луч. Генератором электронного луча служит электронная пушка, обеспечивающая эмиссию свободных электронов, их ускорение в электростатическом поле, фокусировку и отклонение пучка с посредством электрического и магнитного полей. Сформированный пушкой электронный пучок выводится в рабочую камеру, из которой предварительно насосами откачивают воздух. При взаимодействии электронного пучка с поверхностью обрабатываемой детали кинетическая энергия электронов превращается в другие формы энергии (главным образом в тепловую). Часть электронов отражается

и рассеивается поверхностью объекта, появляется рентгеновское излучение, кроме того, возникают вторичные и тепловые электроны. Закалка производится электронным лучом. Достоинством процесса является: минимальное коробление изделия; независимость степени поглощения энергии от оптических свойств и шероховатости поверхности, отсутствие необходимости нанесения покрытия на поверхность для повышения поглощающей способности; возможность использования одного оборудования для проведения различных технологических процессов - сварки, поверхностной закалки, плавления; отсутствие окисления поверхности [9].

Заключение. В результате исследования были проанализированы методики уменьшения воздействия кавитационной эрозии на ударную головку путем изменения материалов и нанесения различных видов упрочнения. Актуальность темы исследования в работе определяется тем, что вопросам импортозамещения в настоящее время в Республике Беларусь уделяется весьма повышенное внимание, а ударная головка гомогенизатора FBF 075 представляется в оригинальном виде импортного производства.

ЛИТЕРАТУРА

1. Крусъ Г.Н., Тиняков В.Г. Фофанов Ю.Ф. Технология молока и оборудование предприятий молочной промышленности. М.: Агропромиздат. 1986. – 280 с.
2. Мегедь В. Справочник – Технология производства молочных продуктов – Раздел Гомогенизаторы 2005. – 7с.
3. Сурков В.Д. Липатов Н.Н., Барановский Н.В. Технологическое оборудование предприятий молочной промышленности – 2-е издание, М.: Легкая и пищевая промышленность. 1970.-547 с. Ил.
4. Пирсол И., Кавитация. Пер. с англ., Журавлева Ю.Ф. Ред., предисл. И дополн. Эпштейна. М., “Мир”, 1975. 95с. с илл.
5. Арзуматов Э.С. Кавитация в местных гидравлических сопротивлениях. – М.: Энергия, 1978. – 304 с., ил
6. Пылаев Н.И., Эдель Ю.У. Кавитация в гидротурбинах. Л., “Машиностроение” (Ленинградское отделение), 1974. – 256 с.
7. Анциферов В.Н., Бобров Г.В. и др. Порошковая металлургия и напыление покрытия. Учебник для вузов. М.; Металлургия, 1987. – 792 с.
8. Белевитин, В.А. Упрочнение и восстановление деталей машин: справочное пособие / В.А. Белевитин, А.В. Суворов. – Челябинск: Изд-во Челябинск. Гос. пед. ун-та, 2015. – 263 с.: ил.
9. Рыкалин Н.Н., Углов А.А., Зуев И.В., Кокора А.Н.. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: Справочник/ – М.: Машиностроение, 1985. – 496 с.