



TALLINNA TEHNIKAÜLIKOOL
MEHAANIKATEADUSKOND

MATERJALITEHNIKA INSTITUUT

MTM40LT

Ilja Pirk

Laboratoorse lobri erosioonkatsemasina töökarakteristikute uurimine

Autor taotleb
tehnikateaduste bakalaureuse
akadeemilist kraadi

Tallinn
2014

AUTORIDEKLARATSIOON

Deklareerin, et käesolev lõputöö on minu iseseisva töö tulemus.

Esitatud materjalide põhjal ei ole varem akadeemilist kraadi taotletud.

Töös kasutatud kõik teiste autorite materjalid on varustatud vastavate viidetega.

Töö valmis *Maksim Antonov* juhendamisel

“.....”2014.a.

Töö autor *Ilja Pirk*

..... allkiri

Töö vastab bakalaureuse/magistritööle esitatavatele nõuetele.

“.....”2014.a.

Juhendaja

..... allkiri

Lubatud kaitsmisele.

..... õppesuuna kaitsmiskomisjoni esimees

“.....”2014.a.

..... allkiri

BAKALAUREUSETÖÖ ÜLESANNE

2014 aasta kevad semester

Üliõpilane: *Ilja Pirk*
Õppekava: *Tootearendus ja tootmistehnika*
Eriala: *Tootmistehnika*
Juhendaja: *Vanemteadur Maksim Antonov*
Konsultandid: ---

BAKALAUREUSETÖÖ TEEMA:

Laboratoorse lobri erosioonkatsemasina töökarakteristikute uurimine

Functional verification of the laboratory slurry erosion tester

Lõputöös lahendatavad ülesanded ja nende täitmise ajakava:

Nr	Ülesande kirjeldus	Täitmise tähtaeg
1.	<i>Kirjanduse lugemine</i>	<i>31.03.14</i>
2.	<i>Katsetamine</i>	<i>20.04.14</i>
3.	<i>Lõputöö kirjutamine</i>	<i>15.05.14</i>

Lahendatavad insenertehnilised ja majanduslikud probleemid:

Töö jooksul määratakse optimaalsed katserežiimid ja katsetakse erinevaid materjale.

Töö keel: Vene keel

Kaitsmistaotlus esitada hiljemalt 12.05.14

Töö esitamise tähtaeg 06.06.14

Üliõpilane: Ilja Pirk /allkiri/ kuupäev.....

Juhendaja: Maksim Antonov /allkiri/ kuupäev.....

Konfidentsiaalsusnõuded ja muud ettevõttepoolsed tingimused formuleeritakse pöördel

Nõuded puuduvad

СОДЕРЖАНИЕ

СОДЕРЖАНИЕ	4
EESSÕNA	6
ПРЕДИСЛОВИЕ	7
ВВЕДЕНИЕ	8
1. ТРЕНИЕ, ИЗНАШИВАНИЕ, ИЗНОС	9
1.1 Трение	9
1.2 Изнашивание и износ	11
1.3 Причины и цели изучения	11
1.4 Разновидности износа	12
1.5 Методы измерения износа	14
1.6 Приборы для измерения износа, имеющиеся в ТТУ	17
2. Поведение материалов при гидроабразивном изнашивании	19
2.1 Металлы	19
2.2 Полимеры и резины	20
2.2 Композиционные материалы	20
3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТЕСТИРОВАНИЯ	20
3.1 Методика расчётов	20
3.2 Описание применяемого прибора	24
3.3 Влияние частоты вращения основного вала на пропускную способность	26
3.4 Влияние содержания абразива на пропускную способность	29
3.5 Технология тестирования образцов на гидроабразивном ускорителе	32
3.5.1 Приборы и материалы	32
3.5.2 Подготовка к испытанию	32
3.5.3 Проведение испытаний	32
3.5.4 Обработка результатов испытаний	33
4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОБНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ	33
4.1 Материалы	33
4.1.1 Нержавеющая сталь AISI 316	33
4.1.2 Металлокерамика Cr ₂ C ₃ – NiCr	34
4.1.3 Полимер чёрного цвета	35
4.1.4 Пластик белого цвета	35
4.1.5 Пластик «Delrin»	36
4.1.6 Эпоксид. Эпоксид с добавлением базальта (20%, 40%)	36
4.1.7 «Kiiltofix». «Kiiltofix» с добавлением базальта (20%, 40%)	37
4.1.8 «Eclatin Corodur Flex 80». «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением базальта (25%, 50%). «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением SiC (25%, 50%). «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением Al ₂ O ₃ (25%, 50%)	37
4.2 Влияние продолжительности испытания на износ материалов	39
4.2.1 Нержавеющая сталь AISI 316	40
4.2.2 Металлокерамика Cr ₂ C ₃ – NiCr	41
4.2.3 Полимер чёрного цвета	42
4.2.4 Пластик белого цвета	43
4.2.5 Пластик «Delrin»	43
4.2.6 Эпоксид. Эпоксид с добавлением базальта (20%, 40%)	45
4.2.7 «Kiiltofix». «Kiiltofix» с добавлением базальта (20%, 40%)	46
4.2.8 «Eclatin Corodur Flex 80». «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением базальта (25%, 50%). «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением SiC (25%, 50%). «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением Al ₂ O ₃ (25%, 50%)	47

4.3 Износ всех образцов за 24 часа.....	48
4.4 Исследование абразива после теста.....	48
ВЫВОД.....	52
ΚΟΚΚΥΝΩΤΗ.....	54
SUMMARY.....	56
ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА.....	58
ΠΡΗΛΟΖΗΝΗΑ.....	60

EESSÕNA

Bakalaureuse töö teema „Laboratoorse lobri erosioonkatsemasina töökarakteristikute uurimine” oli pakutud minu juhendaja Maksim Antonovi poolt välja. Käesolev teema tundus mulle huvipakkuv, sest minu ees seisis ülesanne tutvuda uue katsemasinaga, läbi viia terve rida uuringuid ja leida optimaalseid parameetreid proovikehade katsetamiseks. Samuti tekkis võimalus uurida erinevate materjalide käitumist (metallid, polümeerid, kummid ja komposiitmaterjalid) hüdroabrasiivse kulu korral.

ПРЕДИСЛОВИЕ

Тема дипломной работы «Исследование рабочих характеристик гидроабразивного ускорителя для лабораторного испытания образцов» была предложена мне моим руководителем Максимом Антоновым. Данная тема показалась мне интересной, так как передо мной стояла задача на практике ознакомиться с новым прибором, гидроабразивным ускорителем, провести ряд тестов и найти оптимальные параметры для лабораторного испытания образцов. Также представилась возможность изучить поведение различных материалов (металлы, полимеры и резины, композиционные материалы) при гидроабразивном износе.

ВВЕДЕНИЕ

В нашей жизни мы постоянно сталкиваемся с таким понятием как износ. Износ встречается повсюду: будь то езда на транспортном средстве, где от трения страдают не только покрышки, а практически все детали, приводящие его в движение; будь то ходьба, где изнашивается подошва нашей обуви, суставы, одежда и многое другое.

Для изучения явления износа, была создана наука триботехника (от греческого «трибос» – трение). Триботехника – наука о контактном взаимодействии твердых тел, которое происходит при их относительном движении. Триботехника охватывает комплекс вопросов трения, изнашивания, смазки.

Целью данной работы является исследование такого явления как гидроабразивный износ. Гидроабразивный износ – это лишь малая часть науки триботехники, однако он является очень важным, так как износ при эксплуатации различных конструкций в абразивных средах наиболее велик, также его обычно увеличивает влажная среда.

Чтобы знать, насколько материал может противостоять такой агрессивной среде, нужно испытать его в условиях, максимально приближенных к реальным. Для этого на кафедре института материаловедения был создан гидроабразивный ускоритель. Целью данной работы также является изучение различных параметров ускорителя, таких как частота вращения, пропускная способность, объём и состав гидроабразива при испытании.

В будущем результаты данной работы должны помочь составить технологию тестирования различных материалов на данном гидроабразивном ускорителе, а также определить целесообразность его использования при симуляции различных сред.

1.ТРЕНИЕ, ИЗНАШИВАНИЕ, ИЗНОС

1.1 Трение

Мир, который окружает нас, находится в постоянном движении. Механическое движение – простейший вид этого движения. Он включает в себя перемещение одних тел относительно других. При всех механических движениях одни предметы соприкасаются либо с другими предметами, либо с окружающей их жидкой или газообразной средой, например, с водой или воздухом [1].

Прежде всего, следует различать внутреннее трение, как сопротивление относительному перемещению частей одного и того же тела, и внешнее трение твёрдых тел, как явление сопротивления относительному перемещению, возникающее между двумя телами в зонах соприкосновения поверхностей по касательным к ним, сопровождающееся дислокацией энергии (рассеиванием) [2].

Для осуществления процесса трения двух твердых тел необходимым условием является контакт их поверхностей или взаимодействие этих тел. Характер явлений, происходящих при контакте поверхностей твердых тел, определяется физико-механическими свойствами и микрогеометрией этих поверхностей. Физико-механические свойства поверхностных слоев деталей существенно отличаются от объемных свойств материалов, из которых они изготовлены. На поверхности металлов, как правило, имеются окисные пленки. Свойства материала в поверхностном слое зависят от характера обработки. При обработке материала режущим или абразивным инструментом на поверхности детали образуется зона пластической деформации (наклеп), которая имеет большую микротвердость и остаточные напряжения [3].

Сила сопротивления, направленная в сторону, противоположную сдвигающему усилию, называется силой трения. Как всякая сила, она связана с изменением конфигурации тел, но не с макроскопическим, а с микроскопическим изменением, локализованным в поверхностных слоях. По величине перемещения в зависимости от его сдвигающего усилия различают: силу трения движения, неполную силу трения покоя и полную силу трения покоя, которую обычно называют просто силой трения покоя. Сила трения движения соответствует очень большим необратимым относительным перемещениям, величина которых не зависит от приложенной силы [4]. Неполная сила трения покоя соответствует очень малым, частично обратимым перемещениям, величина которых пропорциональна приложенной силе. Полная сила

трения покоя соответствует предельной величине предварительного смещения, при котором предварительное смещение переходит в относительное [4].

По кинематическим признакам различают три вида трения (Рис. 1.1.1):

- Трение скольжения – одна и та же номинальная поверхность одного тела поступательно перемещается по поверхности другого тела
- Трение вращения – точки, расположенные в плоскости касания двух тел, описывают концентрические окружности вокруг центра, лежащего на оси вращения. Трение вращения является разновидностью трения скольжения.
- Трение качения – тело перемещается по другому телу под действием момента сил, вектор которого совпадает с плоскостью касания, причем в соприкосновение входят последовательно расположенные друг за другом элементы номинальной поверхности. Нередко один вид трения сопровождается другим, например, качение с проскальзыванием [4].



Рис. 1.1.1. Виды трения

Согласно молекулярно-механической теории трения сила трения определяется как сумма двух составляющих:

$$F_{\text{тр}} = F_m + F_q, \quad (1)$$

где F_m – молекулярно-адгезионная составляющая;

F_q – деформационно-механическая составляющая.

Коэффициент трения

$$f = \frac{F_{mp}}{N(F_n)} = f_m + f_q \quad (2)$$

На коэффициент трения f влияют:

1. Внешняя нагрузка N (F_n). С ростом N f_m уменьшается а f_q увеличивается. Это значит, что молекулы отталкиваются у разнородных материалов, а у однородных – притягиваются.
2. Шероховатость поверхности. Более твердое тело внедряется в более мягкое.
3. Механические свойства контактирующих тел. От свойств менее жесткого тела зависит модуль упругости контакта E .
4. Температура контактирующего тела.
5. Скорость скольжения. Влияет неоднозначно [1].

1.2 Изнашивание и износ

Негативной стороной трения является изнашивание. Изнашивание определяется как процесс отделения материала с поверхности твердого тела и (или) увеличения его остаточной деформации при трении, проявляющийся в постепенном изменении размеров и (или) формы тела. Результатом изнашивания является износ, который выражается в установленных единицах (длина, объём или масса) [3].

Отношение износа детали к пути трения или объёму выполненной работы называется интенсивностью изнашивания. Скоростью изнашивания является отношение износа детали к времени, в течение которого происходило изнашивание. Износостойкость оценивают величиной, обратной интенсивности или скорости изнашивания [2].

1.3 Причины и цели изучения

Повышенный износ деталей в одних случаях нарушает герметичность рабочего пространства машины, в других – нарушает нормальный режим смазки, в третьих – приводит к потере кинематической точности механизма. Износ инструмента и рабочих органов машин, помимо снижения производительности, обычно повышает расход энергии [2].

Износ и повреждение поверхностей снижают сопротивление усталости деталей и могут служить причиной их разрушения даже при незначительных концентраторах напряжений и весьма низких номинальных напряжениях. Повышенный износ

нарушает нормальное взаимодействие деталей в узлах, может вызвать значительные дополнительные нагрузки, удары в сопряжениях и вибрации, стать причиной внезапных разрушений [2].

Исследование поверхностных свойств твёрдых тел, изменяющихся под действием сил трения и окружающей среды, является важнейшей областью современной науки. Исследования по изучению свойств поверхности твёрдых тел позволяет выявить кинетику изменения физико-механических свойств, а также влияние внешних и конструкционных параметров [5].

1.4 Разновидности износа

Выделяется три стадии изнашивания: взаимодействие поверхностей, изменения в поверхностных слоях и повреждение поверхностей. Все эти стадии взаимосвязаны между собой [3].

Взаимодействие поверхностей может быть механическим и молекулярным (Рис. 1.4.1.) Механическое взаимодействие включает внедрение и зацепление неровностей. При относительном перемещении поверхностей происходит упругое и пластическое отеснение материала внедрившимися неровностями (Рис. 1.4.1.а). Зацепление неровностей приводит к их взаимному деформированию, а в предельном случае более мягкая неровность может даже срезаться (Рис. 1.4.1.б). Молекулярное взаимодействие проявляется в адгезии плёнок, покрывающих контактирующие поверхности (Рис. 1.4.1.в). В отдельных случаях прочность адгезионных связей столь велика, что их разрушение сопровождается глубинным вырыванием материала (Рис. 1.4.1.г) [3].

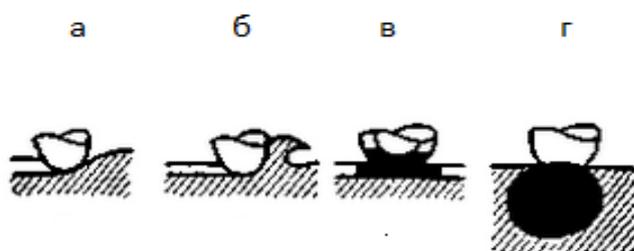


Рис. 1.4.1. Механическое и молекулярное взаимодействие поверхностей, приводящее к образованию частиц износа: а) внедрение неровностей; б) зацепление неровностей; в) адгезия поверхностных плёнок; г) схватывание [3]

Изменения в поверхностных слоях возникает под действием механических напряжений, температуры и химических реакций. Перечисленные выше механизмы и многие другие являются основой процесса изнашивания. Однако большое число этих самых механизмов и их взаимосвязь не позволяют чётко классифицировать процессы изнашивания. Фрикционное взаимодействие всегда происходит в определённой среде, которая оказывает значительное влияние на трибологические процессы. Такие реакции изменяют скорость деформирования и прочность адгезионных связей, но и при этих условиях адгезия и деформация продолжают играть ведущую роль. Именно эти обстоятельства и легли в основу классификации видов изнашивания [3].

В соответствии с ГОСТ 27674-88 установлены следующие виды изнашивания в машинах:

- Механическое изнашивание – изнашивание в результате механических воздействий. Этот вид изнашивания подразделяется на абразивное, гидроабразивное (газоабразивное), гидроэрозионное (газоэрозионное), кавитационное, усталостное и при фреттинге.
- Абразивное изнашивание – процесс микропластических деформаций и резания металла твердыми абразивными частицами, находящимися между поверхностями трения, а также в результате непосредственного контактирования с абразивной средой
- Гидроабразивное (газоабразивное) изнашивание – результат действия твердых частиц, взвешенных в жидкости (газе) и перемещающихся относительно поверхности детали.

Интенсивность зависит от угла атаки частиц:

$$J = a \times V^m, \quad (3)$$

где a – коэффициент, зависящий от материала и угла атаки;

m – безразмерный показатель степени, который зависит только от материала (для Ст3 $m = 2,3$; для стали 45 $m = 2,5$; для чугуна $m = 2,8$; для базальта $m = 2,5$);
 V – скорость.

- Гидроэрозионное (газоэрозионное) изнашивание – эрозионное изнашивание в результате действия (трения) потока жидкости (газа) о металл.
- Усталостное изнашивание – механическое изнашивание в результате усталостного разрушения при повторном деформировании микрообъемов материала поверхностного слоя. Под действием больших удельных повторно-переменных нагрузок, превышающих предел текучести металла, появляются

микротрещины, которые развиваются и приводят к усталостному отслаиванию и выкрашиванию частиц металла.

- Кавитационное изнашивание – механическое изнашивание при движении твердого тела относительно жидкости, при котором пузырьки газа захлопываются вблизи поверхности, что создает местное высокое удельное давление или температуру, под действием которых происходит разрушение поверхности.
- Изнашивание при фреттинге возникает в соприкасающихся поверхностях при малых колебательных относительных перемещениях.
- Коррозионно-механическое изнашивание происходит в результате механического воздействия, сопровождаемого химическим и (или) электрическим взаимодействием материала со средой.
- Изнашивание при фретпитг-коррозии возникает при трении скольжения с очень малыми колебательными относительными перемещениями. В результате на рабочих поверхностях в местах контакта появляется резко выраженное разрушение [2].

1.5 Методы измерения износа

Измерение величины износа производят различными методами, в основе которых лежит требование минимальной затраты времени, возможности улавливания износа за короткий промежуток времени. Например, метод микрометража заключается в измерении микрометрами, индикаторами и другим мерительным инструментом линейного износа. Преимущества этого метода: простота, доступность, возможность дифференцировать износ по разным точкам поверхности. Недостатки метода: относительно большая погрешность приборов, которая, если величина износа невелика, может оказаться соизмеримой с величиной износа; необходимость разборки сопряжения для каждого измерения, что приводит к нарушению процесса изнашивания [6].

Методом взвешивания измеряют суммарный износ (суммарную потерю массы) по поверхности трения. Преимущества этого метода: простота, доступность, относительно высокая точность. Недостатки метода: невозможность дифференцирования износа по разным точкам поверхности; необходимость разборки сопряжения для каждого взвешивания; неприменимость данного метода к материалам, шаржируемым

продуктами износа или посторонними частицами, а также к материалам, поглощающим влагу или масло [6].

Метод обнаружения продуктов износа в масле. Суть его заключается в том, что периодически отбирают пробы масла и по количеству находящихся в нем продуктов износа судят о степени износа. Количество продуктов износа в масле определяют химическим или спектральным анализом. Преимущества этого метода: возможность измерения износа без разборки сопряжения; высокая чувствительность. Недостатки метода: невозможность определения износа каждой детали в отдельности (метод позволяет измерить суммарный износ всего сопряжения); сложность [6].

Методом встроенных датчиков определяют износ детали по изменению линейных размеров (или положения) этой детали, фиксируемому датчиком, встроенным в сопряжение. В качестве датчиков применяют различные датчики перемещений (индукционные, пневматические, тензометрические и др.), сигнал от которых записывают при помощи самописца, осциллографа и т. д. Преимущества метода: относительно высокая точность; возможность измерения износа без разборки сопряжения, а также непрерывного или периодического измерения износа. Недостатки: сложность метода, потребность в специальном оборудовании; затруднительное, а в отдельных случаях и невозможное раздельное измерение износа деталей сопряжения [6].

Карты износа в настоящее время являются одним из значимых способов представления данных, полученных в ходе испытания некоторого материала на износ. Карты износа, которые представляют данные износа в графическом виде, обеспечивают глобальную картину того, как материалы ведут себя при различных износах, они также определяют доминирующие механизмы износа, происходящие в различных условиях, и обеспечивают визуальную картину ожидаемого показателя износа. Карты износа похожи на фазовые диаграммы в том, что их построение, как правило, очень трудоемкий процесс. Помимо значительного количества тестовых данных, требуются соответственно калиброванные модели износа, которые необходимы для прогнозирования поведения и темпа износа [7].

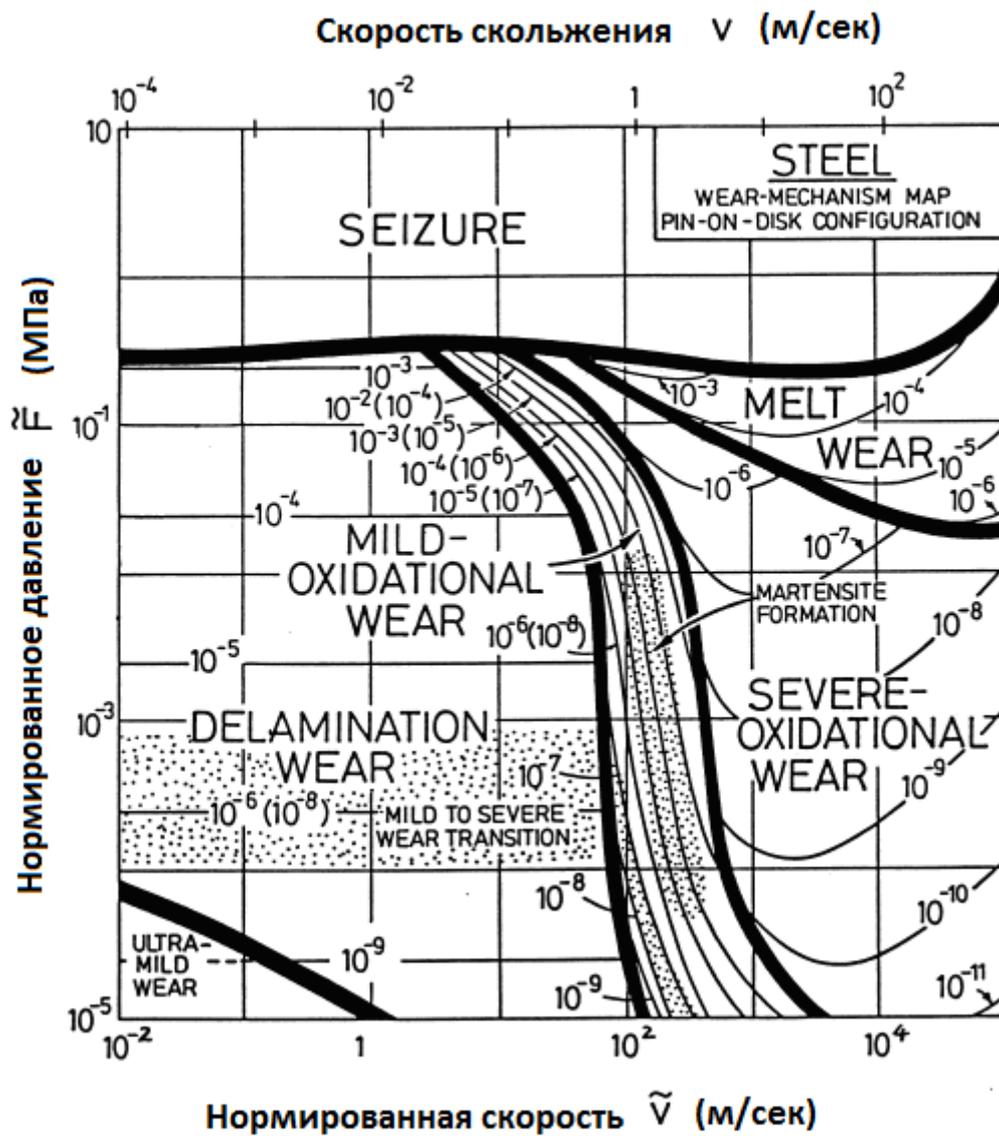
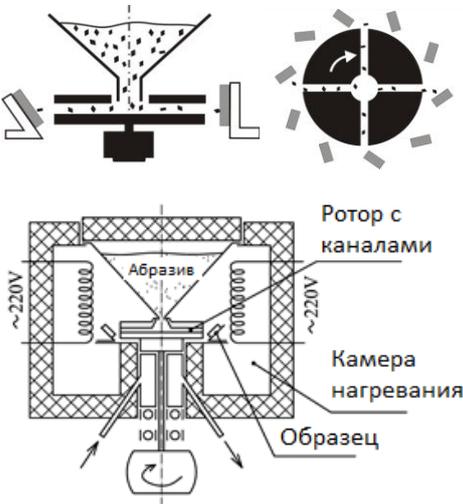
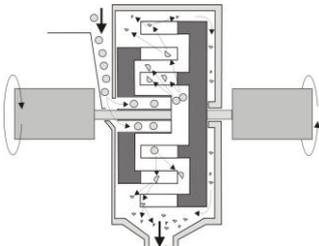
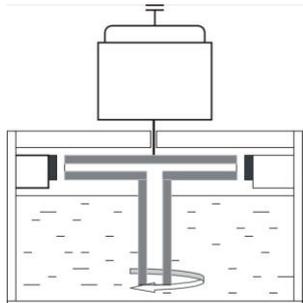
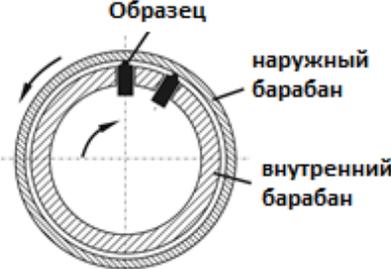
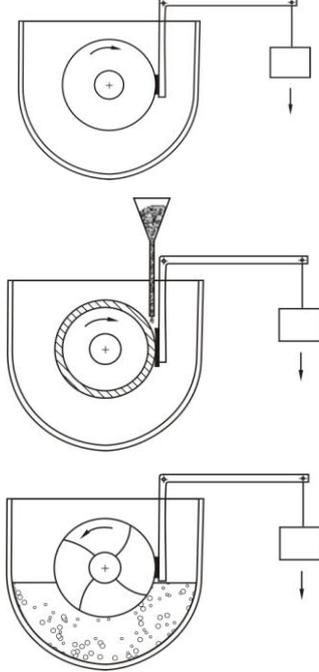
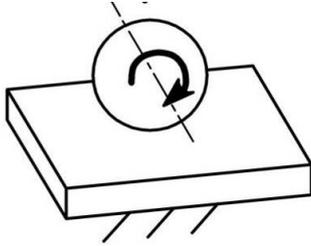
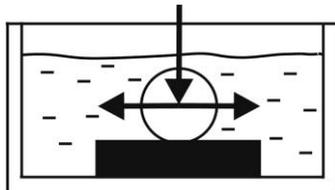


Рис. 1.5.1. Карта механизмов изнашивания для сталей [7]

1.6 Приборы для измерения износа, имеющиеся в ТТУ

Тип износа	Схема	Описание/Параметры	Стандарт
<p>Абразивная эрозия</p> <p>► При комнатной температуре</p> <p>► При высокой температуре</p> <p>20 – 650 °С</p> <p>(Возможность провести опыт с инертным газом)</p>	<p>Центрифугальный ускоритель</p> 	<p>угол атаки 15-90°</p> <p>скорость струи частиц 0-80 м/сек</p> <p>Размер абразива до 1.0 мм</p> <p>15 / 20 образцов за тест</p>	<p>GOST 23.201-78</p> <p>ASTM G76-07</p> <p>BS EN 60587:2007</p>
<p>Абразивный износ с ударом</p>		<p>Скорость первого соударения 40-125м/сек, второго 200м/с</p> <p>Размер абразива до 7 мм</p> <p>14+14 образцов за тест</p>	<p>-</p>
<p>Гидроабразивная эрозия</p>		<p>Скорость: 3-35 (обычно 20) м/сек</p> <p>Содержание абразива до 60 %</p> <p>30-35 образцов одновременно</p>	<p>ASTM G75-07</p> <p>G73-04</p>
<p>Трение скольжения</p>	<p>Трибометр центрифугального типа</p> 	<p>Скорость вращения регулируется по наружному барабану</p> <p>12 / 16 образцов за тест</p> <p>Скорость до 30 м/сек</p>	<p>ASTM G132-96</p> <p>G99-05</p>

Тип износа	Схема	Описание/Параметры	Стандарт
<p>► Трение скольжения (без абразива)</p> <p>► С абразивом</p> <p>► С гидроабразивом</p>	<p>Прибор для испытаний «Block-on-Ring»</p> 	<p>Диски: $\varnothing 228.6$ мм (сталь) $\varnothing 228.6$ или 80.0 мм (резина).</p> <p>Скорость $0.1-15$ м/сек</p> <p>Усилие $1-250$ Н</p> <p>Тест одного образца</p>	<p>ASTM G65-04 B611-85 G105-02 G137-97 G77-05e1</p>
<p>Трение скольжения (с абразивом или без абразива)</p>		<p>Нормальное усилие зависит от размера шарика</p> <p>Размер шарика $1.5 - 30$ мм</p> <p>Скорость $20 - 500$ об/мин</p> <p>Типичный абразив – алмазная паста 1 микрон</p> <p>Тест одного образца</p>	<p>KaloMax method</p>
<p>Износ при фреттинге</p> <p>Wazau SVT500 с аэростатическими подшипниками</p>	<p>Трибометр износа при фреттинге</p> 	<p>Шарик $\varnothing 6$</p> <p>Ход ± 2.0 мм</p> <p>Частота $0.1 - 40$ Гц</p> <p>Температура $20 - 150^\circ\text{C}$</p> <p>Нормальное усилие $0 - 500$ Н</p>	<p>ASTM D4170-97 G133-05 D5706 D5707</p> <p>DIN 51834-1 51834-2</p>

2. Поведение материалов при гидроабразивном изнашивании

Гидроабразивное изнашивание является важной формой эрозионного изнашивания. Это такой вид изнашивания, при котором материал подвергается воздействию высокоскоростного потока суспензии твёрдых частиц в жидкости с такой консистенцией, что её ещё можно перекачивать [7].

Влажность увеличивает интенсивность абразивного изнашивания, так же как и агрессивность среды [8].

При допущении, что среда неагрессивна к поверхности детали, следует различать два случая взаимодействия абразивных частиц с материалом:

- Прямой удар (угол атаки $\alpha = 90^\circ$). В зависимости от массы частиц, скорости их падения, свойств абразива и физико-механических свойств материала детали возникают упругая деформация, пластическая деформация, крупное разрушение, перенаклеп с отделением материала в виде чешуек.
- Косой удар ($0 < \alpha < 90^\circ$). При углах атаки не больше угла трения на характер повреждений поверхности сильно влияют касательная составляющая импульса и сопротивление материала воздействию касательных сил на поверхность.

В некоторых случаях износостойкость резины в несколько раз выше, чем закаленной стали, в других случаях (при нулевом угле атаки) износостойкость резины ниже, чем стали, в связи с фрикционной природой усталостного повреждения поверхности [2].

2.1 Металлы

Допустим, что абразивные частицы входят в контакт с поверхностью металлической детали по касательной. Механизм изнашивания в этом случае представляется таким. Абразивные частицы (зерна) упруго деформируют металл, оставаясь целыми или разрушаясь; в зависимости от структуры абразивного материала и среды зерна могут вдавиться в эту среду, повернуться или даже выйти из зоны контакта. Частота внедрения абразивных частиц мала, а основное количество внедряющихся частиц производит царапающее действие с отгеснением материала в стороны. По пути царапания свободная частица может повернуться и прекратить выдавливание материала; она может дойти до твердой структурной составляющей сплава, "перешагнуть" через нее и вновь начать царапание. Ее выступ может вырвать твердую составляющую, обломиться, частица может раздробиться [8].

2.2 Полимеры и резины

Механизм абразивного изнашивания полимерных материалов определяется степенью их эластичности. В высокоэластичный материал – резину, вулканлан, полиуретановый вулканизат и другие абразивные частицы легко вдавливаются, не вызывая пластической деформации даже при глубоком внедрении. Абразивное зерно, перемещаясь по поверхности, прилагает к ней силы трения. Силы трения впереди зерна вызовут сжатие, а сзади него – растяжение. Если в высокоэластичных полимерах изнашивание по своей природе является фрикционным (повреждение обусловлено силами трения), то изнашивание более жестких и хрупких полимеров происходит в основном в результате микрорезания [8].

2.2 Композиционные материалы

Композиционные материалы по своей сути являются комбинацией материалов, имеющих макроскопическую границу раздела фаз. Компоненты композиционных материалов можно выбрать из любых классов материалов. Именно возможность многочисленных комбинаций обеспечивает разнообразие свойств композитов.

Например:

1. Композиты с металлической матрицей (сочетание металла с неорганическими и органическими наполнителями или армирующими добавками)
2. Композиты с керамической матрицей (металлы или другие неорганические составляющие, а также углерод)
3. Композиты с полимерной матрицей (комбинации полимеров с металлами, углеродом, другими полимерами и т.д.)

В связи с широким спектром компонентов композиционных материалов, нет возможности выявить какие либо общие признаки изнашивания при гидроабразивном износе [9].

3. РАЗРАБОТКА ТЕХНОЛОГИИ ТЕСТИРОВАНИЯ

3.1 Методика расчётов

$$(4) \quad G_w = \frac{V_w}{t}, \text{ где}$$

G_w – пропускная способность (вода) [л/сек]

V_w – объём прокаченной воды [л]

t – время теста [сек]

$$(5) \quad \bar{G}_w = \frac{\sum_1^n G_w}{n_{Gw}}, \text{ где}$$

G_w – средняя пропускная способность (вода) [л/сек]

G_w – пропускная способность (вода) [л/сек]

n_{Gw} – количество тестов

$$(6) \quad V = \frac{\pi d n}{\sin \beta}, \text{ где}$$

V – скорость выхода струи [м/сек]

d – диаметр диска ускорителя [м]

n – частота вращения

β – угол выхода гидроабразива [$\beta=55^\circ$] [10]

$$(7) \quad m_t = m_w + m_a, \text{ где}$$

m_t – масса гидроабразива [кг]

m_w – масса воды [кг]

m_a – масса абразива [кг]

$$(8) \quad V_w = \frac{m_w}{\rho_w}, \text{ где}$$

V_w – объём воды [л]

m_w – масса воды [кг]

$\rho_w = 1$ – плотность воды [кг/л]

$$(9) \quad V_a = \frac{m_a}{\rho_a}, \text{ где}$$

V_a – объём абразива [л]

m_a – масса абразива [кг]

$\rho_a = 2,65$ – плотность абразива [кг/л]

$$(10) \quad V_t = V_w + V_a, \text{ где}$$

V_t – объём гидроабразива [л]

V_w – объём воды [л]

V_a – объём абразива [л]

$$(11) \quad C_{vw} = \frac{V_w}{V_t} \cdot 100, \text{ где}$$

C_{vw} – процентное содержание воды по объёму [%]

V_w – объём воды [л]

V_t – объём гидроабразива [л]

$$(12) \quad C_{va} = \frac{V_a}{V_t} \cdot 100, \text{ где}$$

C_{vw} – процентное содержание абразива по объёму [%]

V_a – объём абразива [л]

V_t – объём гидроабразива [л]

$$(13) \quad \rho_t = \frac{m_t}{V_t}, \text{ где}$$

ρ_t – плотность гидроабразивной смеси [кг/л]

m_t – масса гидроабразива [кг]

V_t – объём гидроабразива [л]

$$(14) \quad m_{aw} = m_{t-w} - m_b, \text{ где}$$

m_{aw} – масса мокрого абразива [кг]

m_{t-w} – масса гидроабразива со слитой водой [кг]

m_b – масса пустой ёмкости [кг]

$$(15) \quad m_{ad} = m_{aw} \cdot k_d, \text{ где}$$

m_{ad} – масса сухого абразива [кг]

m_{aw} – масса мокрого абразива [кг]

k_d – коэффициент изменения веса при просушке

$$(k_d = \frac{m_2}{m_1}, \text{ где } m_2 \text{ – масса абразива после просушки}$$

$m_1 \text{ – масса абразива до просушки})$

$$(16) \quad V_{ad} = \frac{m_{ad}}{\rho_a}, \text{ где}$$

V_{ad} – объём сухого абразива [л]

m_{av} – масса сухого абразива [кг]

$\rho_a = 2,65$ – плотность абразива [кг/л]

$$(17) \quad m_s = m_{s+b} - m_b, \text{ где}$$

m_s – масса прокаченного гидроабразива [кг]

m_{s+b} – масса прокаченного гидроабразива с ёмкостью [кг]

m_b – масса пустой ёмкости [кг]

$$(18) \quad V_s = \frac{m_s}{\rho_t}, \text{ где}$$

V_s – объём прокаченного гидроабразива [л]

m_s – масса прокаченного гидроабразива [кг]

ρ_t – плотность гидроабразива [кг/л]

$$(19) \quad C_{vsa} = \frac{V_{ad}}{V_s} \cdot 100, \text{ где}$$

C_{vsa} – объёмная концентрация абразива в прокаченном гидроабразиве [%]

V_{ad} – объём сухого абразива [л]

V_s – объём прокаченного гидроабразива [л]

$$(5) \quad \bar{C}_{vsa} = \frac{\sum_1^n C_{vsa}}{n_{Cvsa}}, \text{ где}$$

\bar{C}_{vsa} – средняя объёмная концентрация абразива в прокаченном гидроабразиве [%]

C_{vsa} – объёмная концентрация абразива в прокаченном гидроабразиве [%]

n_{Cvsa} – количество тестов

$$(21) \quad G_s = \frac{V_s}{t}, \text{ где}$$

G_s – пропускная способность прибора при работе с гидроабразивом [л/сек]

V_s – объём прокаченного гидроабразива [л]

t – время теста [сек]

$$(22) \quad \bar{G}_s = \frac{\sum_1^n G_s}{n_{G_s}}, \text{ где}$$

\bar{G}_s – средняя пропускная способность прибора при работе с гидроабразивом [л/сек]

G_s – пропускная способность гидроабразива [л/сек]

n_{G_s} – количество тестов

$$(23) \quad \rho_k = \frac{100}{\frac{C_{m1}}{\rho_1} + \frac{C_{m2}}{\rho_2}}, \text{ где}$$

ρ_k – плотность композиционного материала [мг/мм³]

C_{m1} – процентное содержание по массе первого вещества [%]

C_{m2} – процентное содержание по массе второго вещества [%]

ρ_1 – плотность первого вещества [мг/мм³]

ρ_2 – плотность второго вещества [мг/мм³]

$$(24) \quad W_v = \frac{\Delta m}{\rho}, \text{ где}$$

W_v – объёмный износ [мм³]

Δm – изменение массы образца во время испытаний [мг]

ρ – плотность испытуемого образца [мг/мм³]

$$(25) \quad W_h = \frac{W_v}{t}, \text{ где}$$

W_h – интенсивность изнашивания [мм³/ч]

W_v – объёмный износ [мм³]

t – время испытания [ч]

3.2 Описание применяемого прибора

Гидроабразивный ускоритель это прибор для испытания образцов на гидроабразивный износ. Данный гидроабразивный ускоритель был спроектирован на кафедре материаловедения Галлиннского Технического Университета.

Прибор для гидроабразивных испытаний содержит приводной механизм в виде электродвигателя, соединенный с валом испытываемого насоса, ёмкость, в которой непосредственно находится гидроабразив, наконечник для подачи гидроабразива, ротор с каналами для выхода гидроабразива, держатель испытуемых образцов. Прибор размещен в подвешенном состоянии посредством закрепления рамы к столу (Рис. 3.2.1).

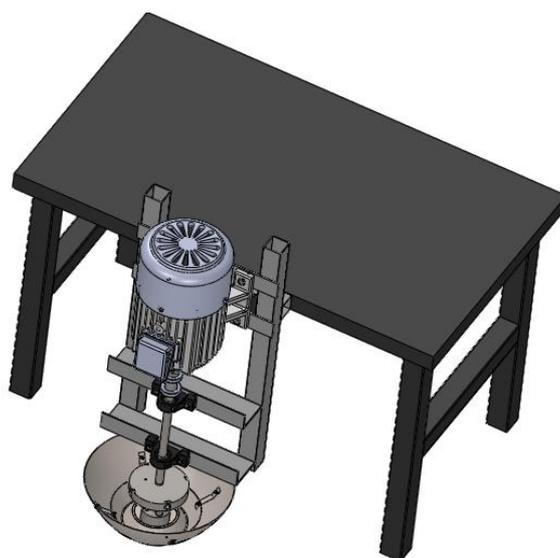


Рис. 3.2.1. Гидроабразивный ускоритель (держатель испытуемых образцов не показан для лучшей видимости)

Сущность испытания образцов в обычном режиме заключается в следующем. В ёмкость помещается абразив и жидкость в нужных для проведения опыта пропорциях. В съёмный держатель устанавливается до 38 образцов. Далее аппарат приводится в рабочее положение посредством опускания наконечника для подачи гидроабразива в ёмкость. После приведения гидроабразивного ускорителя в рабочее положение происходит установка параметров испытания, а именно, скорость вращения и продолжительность теста. Все эти параметры задаются с помощью контроллера,

подсоединённого к электромотору. Далее производится запуск аппарата, после чего ротор с радиально расположенными каналами начинает вращаться вокруг вертикальной оси. В радиальные каналы ротора поступает гидроабразив (посредством закачивания через наконечник), который под действием центробежной силы выбрасывается из ротора и ударяется о поверхность закреплённых вокруг него испытуемых образцов, после чего стекает в ёмкость для гидроабразива и процесс повторяется заново.

Основными параметрами гидроабразивного ускорителя, определяющими режим испытания, являются частота вращения, пропускная способность, размер частиц и содержание абразива.

Для определения влияния частоты вращения на пропускную способность, а также влияние содержания абразива на пропускную способность, было создано специальное приспособление, которое ставилось вместо ёмкости для абразива. Смысл его использования был в том, что в ёмкость вставлялась другая ёмкость, которая задерживала тот гидроабразив, который разбрасывал ротор (Рис. 3.2.2).

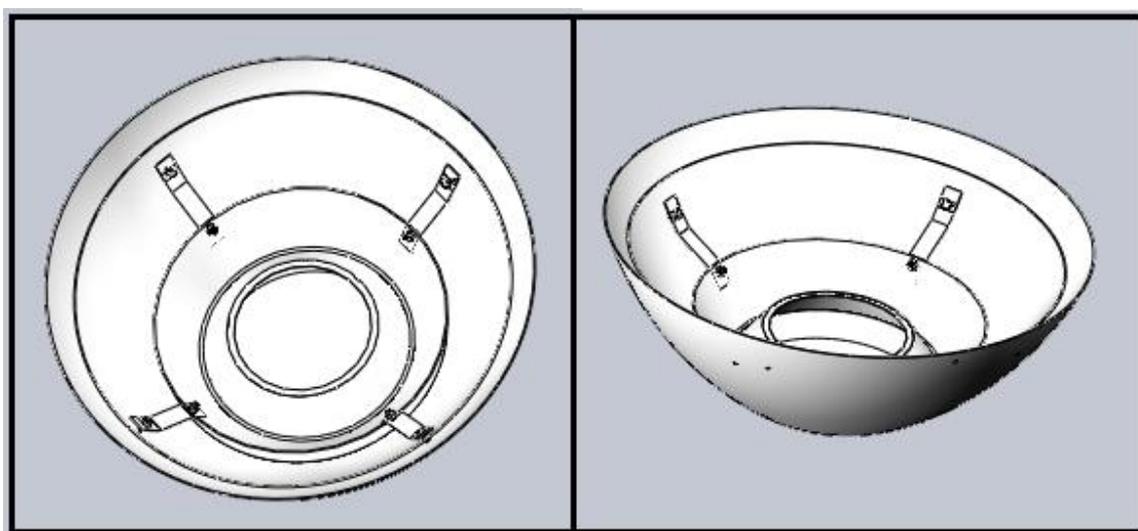


Рис. 3.2.2. Ёмкости для определения пропускной способности

Это позволило определить: при какой частоте вращения пропускная способность ротора наиболее эффективна. После этого проводился анализ влияния содержания абразива на пропускную способность, при полученной выше эффективной частоте вращения. Также была проверена способность абразива образовывать взвесь.

3.3 Влияние частоты вращения основного вала на пропускную способность

Для испытания было решено использовать воду в объёме 2.0 л, согласно требуемому уровню жидкости, необходимому для стабильной работы. Это было определено в ходе предварительного опыта. Испытания проводились при частотах вращения в промежутке от 5 до 50 Гц. Данный промежуток был выбран исходя из конструктивных особенностей аппарата. При скорости вращения до 5 Гц, вода попадала в ротор в маленьком объёме, так как центробежной силы было недостаточно для её подъема из нижнего бункера. При скорости вращения выше 50 Гц завихрения, создаваемые ускорителем, препятствовали вхождению смеси в ускоритель.

Испытания проводили два человека: первый производил манипуляции с ёмкостью и гидроабразивным ускорителем, а именно подносил ёмкость к вращающемуся наконечнику и давал команду второму человеку, который отсчитывал время заполнения ёмкости, после чего производилось взвешивание прокаченной воды. Результаты испытаний приведены в таблице ниже. Для расчетов были использованы формулы (4), (5), приведенные в разделе 3.1.

Таблица 3.3.1. Влияние частоты вращения основного вала на пропускную способность (вода)

Частота вращения (n)	Объём прокаченной воды (V_w)	Время (t)	Пропускная способность (вода) (Gw)	Средняя пропускная способность (вода) (w)
Гц	л	сек	л/сек	л/сек
5,0	0,39	8,559	0,046	0,045
	0,38	9,802	0,039	
	0,39	8,567	0,046	
	0,36	7,837	0,046	
	0,36	7,606	0,047	
7,5	0,40	6,596	0,061	0,064
	0,40	6,403	0,062	
	0,47	7,621	0,062	
	0,38	5,517	0,069	
	0,38	5,693	0,067	
10,0	0,34	4,900	0,069	0,077
	0,28	3,408	0,082	
	0,30	3,814	0,079	
	0,32	3,881	0,082	

Таблица 3.3.1. Влияние частоты вращения основного вала на пропускную способность (вода) (Продолжение)

Частота вращения (n)	Объём прокаченной воды (V _w)	Время (t)	Пропускная способность (вода) (Gw)	Средняя пропускная способность (вода) (w)
Гц	л	сек	л/сек	л/сек
12,5	0,32	3,763	0,085	0,083
	0,33	3,907	0,084	
	0,27	3,349	0,081	
	0,29	3,548	0,082	
	0,26	3,089	0,084	
15,0	0,27	2,589	0,104	0,087
	0,30	3,668	0,082	
	0,32	4,225	0,076	
	0,28	3,013	0,093	
	0,29	3,526	0,082	
20,0	0,23	2,323	0,099	0,096
	0,24	2,826	0,085	
	0,25	2,408	0,104	
	0,24	2,625	0,091	
	0,24	2,344	0,102	
25,0	0,17	1,493	0,114	0,104
	0,18	1,546	0,116	
	0,19	1,848	0,103	
	0,18	1,853	0,097	
	0,18	1,996	0,090	
30,0	0,21	2,290	0,092	0,090
	0,19	2,380	0,080	
	0,19	2,087	0,091	
	0,22	2,323	0,095	
	0,22	2,425	0,091	
35,0	0,13	1,418	0,092	0,080
	0,14	1,748	0,080	
	0,18	2,178	0,083	
	0,22	3,101	0,071	
	0,21	2,856	0,074	
40,0	0,14	1,447	0,097	0,086
	0,14	1,900	0,074	
	0,13	1,471	0,088	
45,0	0,14	1,831	0,076	0,075
	0,13	1,877	0,069	
	0,14	1,758	0,080	
50,0	0,12	1,830	0,066	0,058
	0,12	2,224	0,054	
	0,11	2,050	0,054	

После этого была рассчитана скорость выходной струи и составлен график влияния скорости выходной струи на пропускную способность [10], [11]. Для расчетов была использована формула (6), приведенная в разделе 3.1.

Таблица 3.3.2. Влияние скорости выходной струи на пропускную способность (вода)

Диаметр диска ускорителя (d)	Частота вращения (n)	Скорость выхода струи (V)	Средняя пропускная способность (вода) (w)
<i>м</i>	<i>Гц</i>	<i>м/сек</i>	<i>л/сек</i>
0,15	5,0	2,9	0,045
	7,5	4,3	0,064
	10,0	5,8	0,077
	12,5	7,2	0,083
	15,0	8,6	0,087
	20,0	11,5	0,096
	25,0	14,4	0,104
	30,0	17,3	0,090
	35,0	20,1	0,080
	40,0	23,0	0,086
	45,0	25,9	0,075
	50,0	28,8	0,058

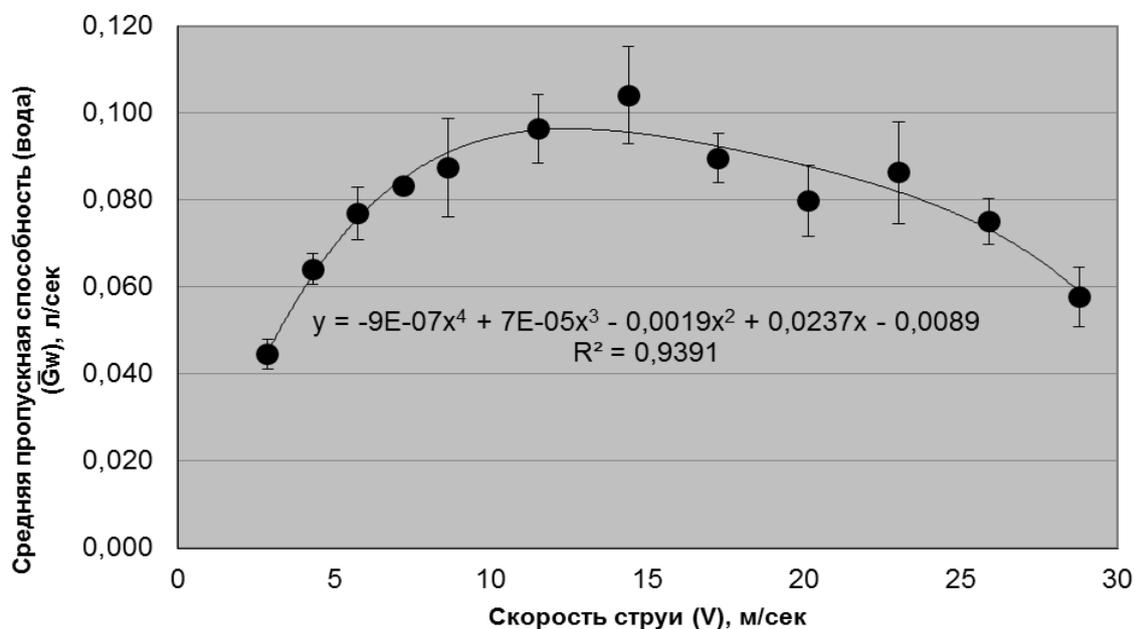


График 3.3.1. Влияние скорости выходной струи на пропускную способность

Из графика видно, что максимальная пропускная способность наблюдается при скорости струи в 14.4 м/сек, что соответствует скорости вращения 25 Гц.

3.4 Влияние содержания абразива на пропускную способность

Испытания проводились при частоте вращения 35 Гц по той же самой технологии, как и в первом случае (для определения влияния скорости вращения на пропускную способность). Разница заключалась лишь в том, что в воду добавлялся абразив в различных пропорциях.

Было принято решение использовать для испытаний два различных абразива:

- SIBELCO EUROQURZ M4 A2700
- A.F.S. OTTAWA Testing Sand 50 – 70

В ходе испытания с A.F.S. OTTAWA Testing Sand 50 – 70 невозможно было добиться получения однородной взвеси. Это было связано с тем, что данный абразив имеет довольно крупную фракцию 0.2 – 0.3 мм и быстро опускается на дно ёмкости, что влияет на концентрацию смеси.

SIBELCO EUROQURZ M4 A2700 образовывал однородную взвесь, с заданным содержанием абразива, и именно поэтому было принято решение все дальнейшие тесты производить с этим абразивом.

Для изготовления гидроабразивной смеси различных концентраций были произведены расчёты, приведённые в таблице 3.4.1 (формулы (7) – (13), приведенные в разделе 3.1). Основным условием теста было то, что объём гидроабразива остаётся постоянным – 2.0 л.

Таблица 3.4.1. Соотношение воды и абразива при различных гидроабразивных смесях.

Масса воды (m_w)	Масса абразива (m_a)	Масса гидроабразива (m_t)	Объём Воды (V_w)	Объём абразива (V_a)	Объём гидроабразива (V_t)	Процентное содержание воды по объёму (C_{vw})	Процентное содержание абразива по объёму (C_{va})	Плотность гидроабразива (ρ_t)
кг	кг	кг	л	л	л	%	%	кг/л
1,90	0,27	2,17	1,90	0,10	2,00	95	5,0	1,09
1,80	0,53	2,33	1,80	0,20	2,00	90	10,0	1,17
1,60	1,06	2,66	1,60	0,40	2,00	80	20,0	1,33
1,40	1,59	2,99	1,40	0,60	2,00	70	30,0	1,50
1,20	2,12	3,32	1,20	0,80	2,00	60	40,0	1,66
1,00	2,65	3,65	1,00	1,00	2,00	50	50,0	1,83
0,80	3,18	3,98	0,80	1,20	2,00	40	60,0	1,99

Для того чтобы узнать содержание сухого абразива в прокаченной смеси, был проведён дополнительный опыт: был взят мокрый абразив ($m_1=0.76$ кг), затем он был оставлен на 7 суток при комнатной температуре и после высыхания масса его была измерена

снова ($m_2=0.56$ кг). Из результатов видно, что процентное содержание воды мокром абразиве составляет 25%, следовательно 75% это процентное содержание сухого абразива (коэффициент $k_d=0.75$, формула (15)).

Результаты испытаний записаны в таблицу 3.4.2. Для расчетов были использованы формулы (14) – (22), приведенные в разделе 3.1.

Таблица 3.4.2. Влияние содержание абразива на пропускную способность

Процентное содержание абразива по объёму (C_{va})	Плотность гидроабразивной смеси (ρ_t)	Масса прокаченного гидроабразива + ёмкость (m_{s+cb})	Масса гидроабразива со слитой водой (m_{s-w})	Масса пустой ёмкости (m_b)	Масса мокрого абразива (m_{aw})	Масса сухого абразива (m_{ad})	Объём сухого абразива (V_{ad})	Масса прокаченного гидроабразива (m_s)	Объём прокаченного гидроабразива (V_s)	Объёмная концентрация абразива в прокаченном гидроабразиве (C_{vsa})	Время (t)	Пропускная способность (Gs)	s	Средняя объёмная концентрация абразива в прокаченном гидроабразиве (C_{vsa})
%	кг/л	кг	кг	кг	кг	кг	л	кг	л	%	сек	л/сек	л/сек	%
5,0	1,09	0,60	0,46	0,43	0,03	0,02	0,01	0,17	0,09	9,94	3,715	0,0230	0,03	7,04
		0,57	0,45	0,43	0,02	0,02	0,01	0,14	0,13	4,39	3,715	0,0292		
		0,55	0,46	0,43	0,03	0,02	0,01	0,12	0,11	7,68	4,425	0,0237		
		0,58	0,46	0,43	0,03	0,02	0,01	0,15	0,14	6,14	4,670	0,0279		
10,0	1,17	0,68	0,50	0,43	0,07	0,05	0,02	0,25	0,21	9,23	5,256	0,0408	0,04	7,31
		0,73	0,49	0,43	0,06	0,05	0,02	0,30	0,26	6,59	6,715	0,0383		
		0,70	0,49	0,43	0,06	0,05	0,02	0,27	0,23	7,33	6,584	0,0352		
		0,71	0,49	0,43	0,06	0,05	0,02	0,28	0,24	7,07	5,608	0,0429		
20,0	1,33	0,69	0,48	0,43	0,05	0,04	0,01	0,26	0,22	6,34	5,961	0,0374	0,04	14,43
		0,75	0,55	0,43	0,12	0,09	0,03	0,32	0,24	14,12	6,914	0,0348		
		0,75	0,55	0,43	0,12	0,09	0,03	0,32	0,24	14,12	5,824	0,0413		
		0,73	0,55	0,43	0,12	0,09	0,03	0,30	0,23	15,06	6,101	0,0370		
30,0	1,50	0,72	0,54	0,43	0,11	0,08	0,03	0,29	0,22	14,28	5,498	0,0397	0,04	17,89
		0,79	0,56	0,43	0,13	0,10	0,04	0,36	0,27	13,59	6,374	0,0425		
		0,77	0,58	0,43	0,15	0,11	0,04	0,34	0,23	18,67	6,657	0,0342		
		0,78	0,57	0,43	0,14	0,11	0,04	0,35	0,23	16,92	6,939	0,0337		
40,0	1,66	0,84	0,60	0,43	0,17	0,13	0,05	0,41	0,27	17,54	6,931	0,0396	0,04	20,75
		0,82	0,60	0,43	0,17	0,13	0,05	0,39	0,26	18,44	6,329	0,0412		
		0,94	0,67	0,43	0,24	0,18	0,07	0,51	0,31	22,11	7,502	0,0410		
		0,87	0,63	0,43	0,20	0,15	0,06	0,44	0,27	21,36	6,650	0,0399		
		0,88	0,61	0,43	0,18	0,14	0,05	0,45	0,27	18,79	7,392	0,0367		

Таблица 3.4.2. Влияние содержание абразива на пропускную способность
(Продолжение)

Процентное содержание абразива по объёму (C_{va})	Плотность гидроабразивной смеси (ρ_s)	Масса прокаченного гидроабразива + ёмкость (m_{s+b})	Масса гидроабразива со слитой водой ($m_{t,w}$)	Масса пустой ёмкости (m_b)	Масса мокрого абразива (m_{aw})	Масса сухого абразива (m_{ad})	Объём сухого абразива (V_{ad})	Масса прокаченного гидроабразива (m_s)	Объём прокаченного гидроабразива (V_s)	Объёмная концентрация абразива в прокаченном гидроабразиве (C_{vsa})	Время (t)	Пропускная способность (Gs)	s)	Средняя объёмная концентрация абразива в прокаченном гидроабразиве (C_{vsa})
%	кг/л	кг	кг	кг	кг	кг	л	кг	л	%	сек	л/сек	л/сек	%
50,0	1,83	1,01	0,69	0,43	0,26	0,20	0,07	0,58	0,32	23,15	8,575	0,0371	0,04	26,15
		0,90	0,71	0,43	0,28	0,21	0,08	0,47	0,26	30,77	7,911	0,0326		
		1,02	0,71	0,43	0,28	0,21	0,08	0,59	0,32	24,51	8,268	0,0391		
60,0	1,99	0,89	0,77	0,43	0,34	0,26	0,10	0,46	0,23	41,63	20,480	0,0113	0,01	40,49
		0,95	0,80	0,43	0,37	0,28	0,10	0,52	0,26	40,07	18,884	0,0138		
		0,94	0,79	0,43	0,36	0,27	0,10	0,51	0,26	39,76	17,050	0,0150		

Из полученных данных был составлен график зависимости содержания абразива на пропускную способность.

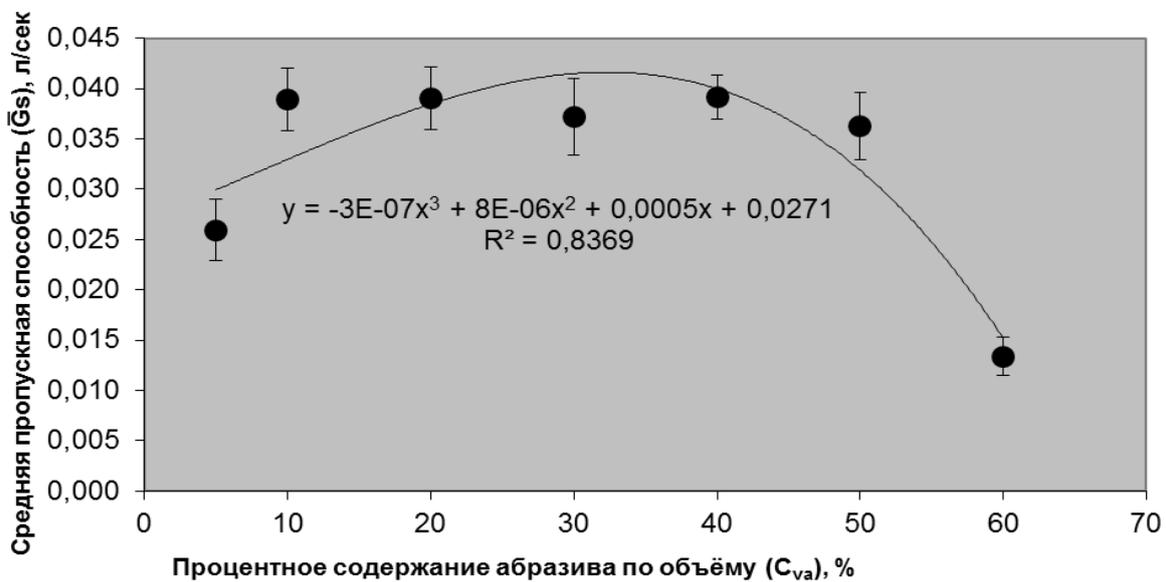


График 3.4.1. Влияние содержания абразива на пропускную способность

Из графика видно, что при частоте вращения 35 Гц ($V=20,1$ м/сек) наибольшая пропускная способность наблюдается при содержании абразива в 40%, а стабильная работа наблюдается в диапазоне от 10% до 50%.

3.5 Технология тестирования образцов на гидроабразивном ускорителе.

3.5.1 Приборы и материалы

Гидроабразивный ускоритель содержит вращающийся вокруг вертикальной оси ротор с радиально расположенными каналами. В радиальные каналы ротора из ёмкости, посредством закачивания через вращающийся наконечник, поступает гидроабразив, который под действием центробежных сил выбрасывается из ротора и ударяется о поверхность закрепленных вокруг него испытуемых образцов.

В качестве абразива может выступать порошок любых твердых частиц, образующий в воде взвесь

Исследуемые образцы изготовляют в виде пластин, без острых кромок. Так как при проведении теста острые кромки могут отломаться, что приведёт к недостоверным результатам.

3.5.2 Подготовка к испытанию

Перед испытаниями образцы маркируются, так, чтобы после проведения теста можно было определить, с каким образцом мы имеем дело. Образцы последовательно промывают под струёй воды, и просушивают в печи при температуре 50°C в течение 4 часов. После чего продувают сжатым воздухом и взвешивают, заноса результаты в протокол. Затем испытуемые образцы устанавливают на гидроабразивном ускорителе. Установка образца в держателе должна обеспечивать ширину участка рабочей поверхности образца, открытую воздействию гидроабразива. Гидроабразивная смесь изготавливается в соответствии с той средой, которую необходимо симулировать для испытания.

3.5.3 Проведение испытаний

Устанавливают частоту вращения ротора и время теста. При использовании различных абразивов скорость вращения, как и концентрация абразива, устанавливаются опытным путём. При испытаниях необходимо обеспечивать непрерывную подачу гидроабразива в ротор. Смеси в камере должно быть больше чем находится внутри ускорителя и меньше, чем уровень, который может привести к излишнему разбрызгиванию. Для

этого определяется объём гидроабразива. Затем включают привод вращения ротора. После выключения ротора образцы снимают, промывают под струёй воды, просушивают в печи при температуре 50°С в течение 4 часов и взвешивают. Результаты взвешивания образцов до и после испытаний заносят в протокол. При установке и съеме образцов не допускается повреждение их поверхностей. Рекомендуется использовать пластиковые клинья для снижения коррозии.

3.5.4 Обработка результатов испытаний

По результатам взвешивания образцов до и после испытаний определяют среднюю потерю объёма испытуемых образцов, согласно формуле (24), приведенной в разделе 3.1.

4. РЕЗУЛЬТАТЫ ПРОБНОГО ТЕСТИРОВАНИЯ

4.1 Материалы

Плотности композиционных материалов рассчитывались согласно формуле (23), приведенной в разделе 3.1.

4.1.1 Нержавеющая сталь AISI 316

Для тестирования было подготовлено 10 образцов нержавеющей стали AISI 316 (Рис 4.1.1.1). Нержавеющая сталь AISI 316 имеет в своем составе высокое содержание никеля, молибден и титан – благодаря этому она отличается повышенной устойчивостью к межкристаллитной коррозии в обычных и агрессивных средах. Данная сталь AISI 316 считается основной сталью пищевой промышленности, а также хорошо подходит для изготовления различных сварных конструкций. Плотность составляет 8 мг/мм³ [12].

Таблица 4.1.1.1. Химический состав AISI 316 (% к массе) [13]

Марка	C	Si	Mn	P	S	Cr	Ni	Mo
AISI 316	≤0.080	≤0.75	≤2.0	≤0.045	≤0.030	16.00-18.00	10.00-14.00	2.00-3.00



Рис. 4.1.1.1. Тестовые образцы нержавеющей стали AISI 316

4.1.2 Металлокерамика $\text{Cr}_2\text{C}_3 - \text{NiCr}$

Металлокерамика $\text{Cr}_2\text{C}_3 - \text{NiCr}$ была нанесена на поверхность испытуемого образца (Рис. 4.1.2.1) при помощи высокоскоростного напыления HVOF (High Velocity Oxy-Fuel).

Этот способ является одним из современных в области горячего напыления, когда источником тепловой энергии является смесь кислорода и керосина. Кислород и керосин подаются в камеру сгорания, где происходит их атомизация и зажигание от искры свечи зажигания. Продукты сгорания после этого ускоряются в конвергентно-дивергентном сопле до сверхзвуковых значений. Высокая скорость частиц порошка при падении вызывает равномерное распространение и закрепление частиц в основном материале и благодаря этому возникает высокая плотность и связность напылённого слоя [14].

При тестировании использовался 1 образец.

Плотность составляет 7 мг/мм^3 .



Рис. 4.1.2.1. Тестовый образец металлокерамики $\text{Cr}_2\text{C}_3 - \text{NiCr}$

4.1.3 Полимер чёрного цвета

Точное название не разглашается в интересах фирмы, заказавшей исследование данного материала.

В дальнейшем будет именоваться как «полимер №1» (Рис. 4.1.3.1). При тестировании использовался 1 образец.

Плотность составляет 1.41 мг/мм^3 .



Рис. 4.1.3.1 Тестовый образец «Полимер №1»

4.1.4 Пластик белого цвета

Точное название не разглашается в интересах фирмы, заказавшей исследование данного материала.

В дальнейшем будет именоваться как «пластик №2» (Рис. 4.1.4.1). При тестировании использовался один образец.

Плотность составляет 1.19 мг/мм^3 .



Рис. 4.1.4.1. Тестовый образец «Пластик №2»

4.1.5 Пластик «Delrin»

Пластики «Delrin» являются полиформальдегидами (полиацетальями) (Рис. 4.1.5.1). Данный вид полимера имеет высокую прочность и износостойкость, и был создан для замены металла. «Delrin» обеспечивает более высокую прочность на разрыв и значительно превосходит по ударпрочности аналогичные металлические изделия, это позволяет делать различные конструкции легче и тоньше [15].

Плотность составляет 1.42 мг/мм^3 [16].

При тестировании использовался 1 образец.

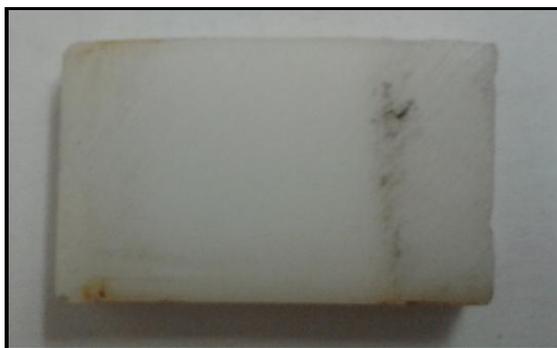


Рис. 4.1.5.1. Тестовый образец пластик «Delrin»

4.1.6 Эпоксид. Эпоксид с добавлением базальта (20%, 40%).

При тестировании использовались 2 образца эпоксиды, 2 образца эпоксиды с содержанием базальта 20% и 2 образца эпоксиды с содержанием базальта 40% (Рис. 4.1.6.1).

Плотность эпоксиды составляет 1.2 мг/мм^3 [17].

Плотность базальта составляет 2.9 мг/мм^3 [18].

Плотность эпоксиды с добавлением базальта 20% составляет 1.36 мг/мм^3

Плотность эпоксиды с добавлением базальта 40% составляет 1.57 мг/мм^3



Рис. 4.1.6.1. Тестовые образцы: а) эпоксид 100%; б) эпоксид 80% базальт 20%; в) эпоксид 60% базальт 40%

4.1.7 «Kiiltofix». «Kiiltofix» с добавлением базальта (20%, 40%).

«Kiiltofix» – однокомпонентная клеящая масса, является очень эластичным клеем, произведенным по новой полимерной технологии. Масса подходит для склеивания и уплотнения различных материалов во внутренних и наружных помещениях, а также в помещениях пищевой промышленности, если она напрямую не соприкасается с продуктами питания [19].

При тестировании использовался 1 образец Kiiltofix 100%, 1 образец «Kiiltofix» с содержанием базальта 20% и 1 образец «Kiiltofix» с содержанием базальта 40% (Рис. 4.1.7.1).

Плотность «Kiiltofix» составляет 1.5 мг/мм^3 [19].

Плотность базальта составляет 2.9 мг/мм^3 [20].

Плотность «Kiiltofix» с добавлением базальта 20% составляет 1.66 мг/мм^3

Плотность «Kiiltofix» с добавлением базальта 40% составляет 1.86 мг/мм^3



Рис. 4.1.7.1. Тестовые образцы: а) «Kiiltofix» 100%; б) «Kiiltofix» 80% базальт 20%; в) «Kiiltofix» 60% базальт 40%

4.1.8 «Eclatin Corodur Flex 80». «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением базальта (25%, 50%). «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением SiC (25%, 50%). «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением Al_2O_3 (25%, 50%).

«Eclatin Corodur Flex 80» является герметиком, который обладает очень высокой износостойкостью, кроме того очень хорошими звукоизоляционными качествами [21]. При тестировании использовались: 2 образца «Eclatin Corodur Flex 80» 100%; 2 образца «Eclatin Corodur Flex 80» с содержанием базальта 25%, 2 образца «Eclatin Corodur Flex 80» с содержанием базальта 50%; 2 образца «Eclatin Corodur Flex 80» с содержанием Al_2O_3 25%, 2 образца «Eclatin Corodur Flex 80» с содержанием Al_2O_3 50%; 2 образца «Eclatin Corodur Flex 80» с содержанием SiC 25%, 2 образца «Eclatin Corodur Flex 80» с содержанием SiC 50% (Рис. 4.1.8.1).

Плотность «Eclatin Corodur Flex 80» составляет 1.3 мг/мм^3 [21].

Плотность базальта составляет 2.9 мг/мм^3 [20].

Плотность Al_2O_3 составляет 3.95 мг/мм^3 [22].

Плотность SiC составляет 3.21 мг/мм^3 [23].

Плотность «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением базальта 25% составляет 1.23 мг/мм^3

Плотность «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением базальта 50% составляет 1.52 мг/мм^3

Плотность «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением Al_2O_3 25% составляет 1.26 мг/мм^3

Плотность «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением Al_2O_3 50% составляет 1.63 мг/мм^3

Плотность «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением SiC 25% составляет 1.24 мг/мм^3

Плотность «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением SiC 50% составляет 1.56 мг/мм^3

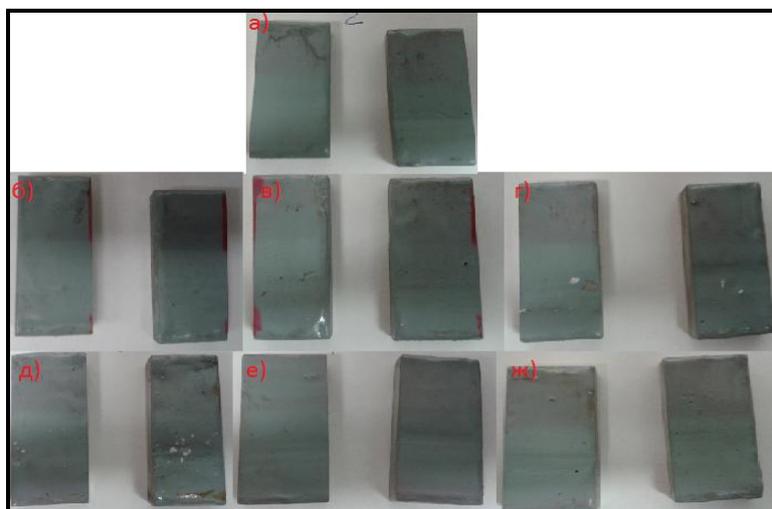


Рис. 4.1.8.1 Тестовые образцы: а) «Eclatin Corodur Flex 80» 100%; б) «Eclatin Corodur Flex 80» с содержанием базальта 25%; в) «Eclatin Corodur Flex 80» с содержанием базальта 50%; г) «Eclatin Corodur Flex 80» с содержанием Al_2O_3 25%, д) «Eclatin Corodur Flex 80» с содержанием Al_2O_3 50%; е) «Eclatin Corodur Flex 80» с содержанием SiC 25%, ж) «Eclatin Corodur Flex 80» с содержанием SiC 50%

4.2 Влияние продолжительности испытания на износ материалов.

Для проведения тестов было решено использовать абразив SIBELCO EUROQURZ M4 A2700.

Параметры испытаний:

- Объём гидроабразива – 2,0 л
- Процентное отношение воды и абразива – 60% воды, 40% абразива
- Частота вращения – 35 Гц
- Кол-во образцов – 37 шт.

Всего было проведено 6 последовательных тестов с использованием одних и тех же образцов. Первый тест длительностью 1 час, добавочный тест длительностью 1 час, добавочный тест длительностью 2 часа, добавочный тест длительностью 2 часа, добавочный тест длительностью 2 часа и добавочный тест длительностью 16 часов. Время было выбрано таким, так как предполагалось, что абразив имеет наибольшие изнашивающие свойства в первые 8 часов. В течение всех 6 тестов абразив не менялся. После каждого испытания образцы промывались под проточной водой и помещались в печь на 4 часа при температуре 50°C, после чего очищались сжатым воздухом, и только после этого фиксировалась потеря массы, путём взвешивания на электронных весах A&D GR-202 с точностью 0.1 мг.

При оценке образцов после испытания бралось среднее значение по образцам, если их было больше одного. Для составления выводов по каждому материалу было построено два графика. Первый график описывает износ, который наблюдался при испытании образцов в течение 24 часов. По этому графику можно оценить общую картину износа на протяжении 24 часов. Износ считался по потерянной объёму (мм³). Второй график описывает интенсивность износа. Для этого было решено брать значение износа при каждом тесте в расчёте за один час. Другими словами, износ, полученный во время теста, делился на время проведения теста. Получалось некоторое значение, которое выражалось в мм³/ч. Этот график должен был дать ответ: через какой промежуток времени абразив теряет свои изнашивающие свойства.

4.2.1 Нержавеющая сталь AISI 316

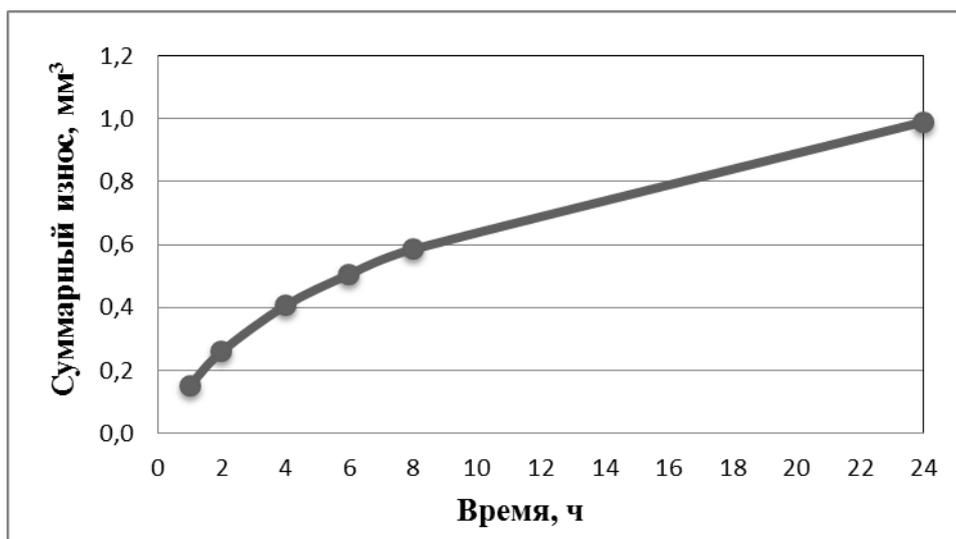


График 4.2.1.1. Влияние продолжительности тестирования на суммарный износ нержавеющей стали AISI316

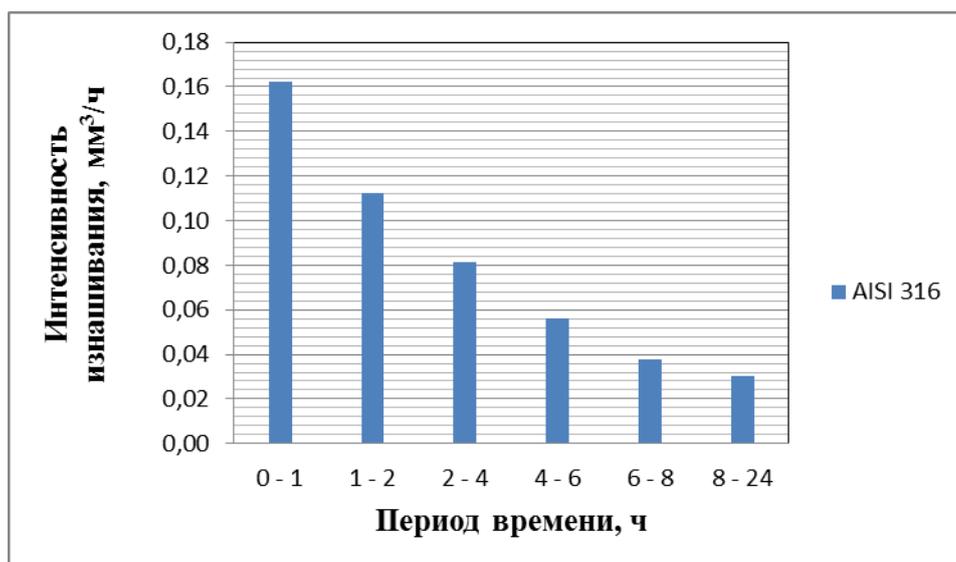


График 4.2.1.2. Влияние продолжительности тестирования на интенсивность износа нержавеющей стали AISI 316

Из графика 4.2.1.1 видно, что износ нержавеющей стали происходит на протяжении всех 24 часов. Интенсивность в свою очередь падает, это хорошо видно из того, что износ в последнем 16-ти часовом тесте приблизительно равен износу полученному в предыдущем 2-ух часовом тесте (График 4.2.1.2).

4.2.2 Металлокерамика $\text{Cr}_2\text{C}_3 - \text{NiCr}$

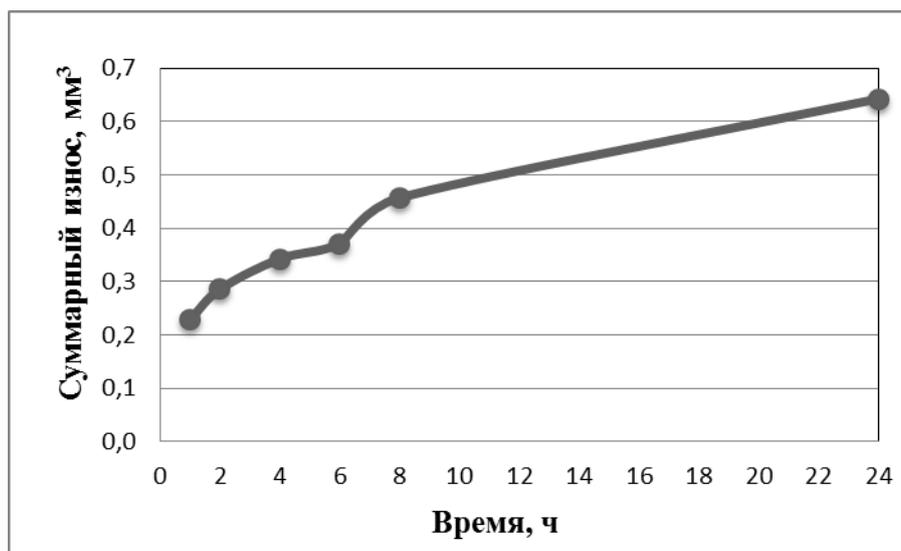


График 4.2.2.1. Влияние продолжительности тестирования на суммарный износ металлокерамики $\text{Cr}_2\text{C}_3 - \text{NiCr}$

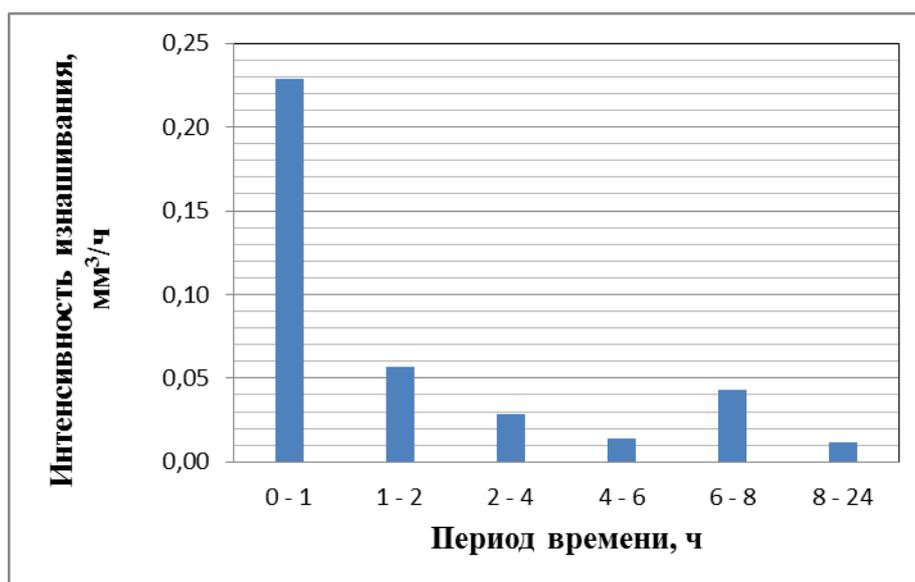


График 4.2.2.2. Влияние продолжительности тестирования на интенсивность износа металлокерамики $\text{Cr}_2\text{C}_3 - \text{NiCr}$

Из графика 4.2.2.1 видно, что износ происходит на протяжении всего теста, интенсивность в свою очередь значительно упала уже после первого теста (График 4.2.2.2).

4.2.3 Полимер чёрного цвета

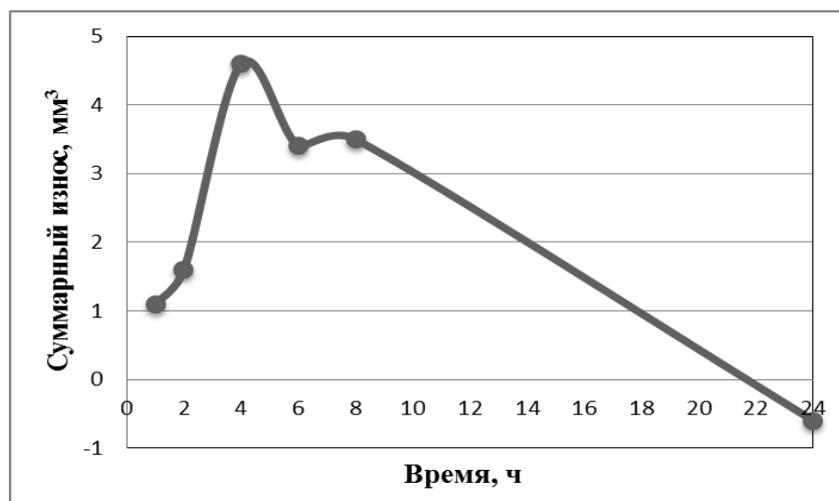


График 4.2.3.1. Влияние продолжительности тестирования на суммарный износ полимера №1

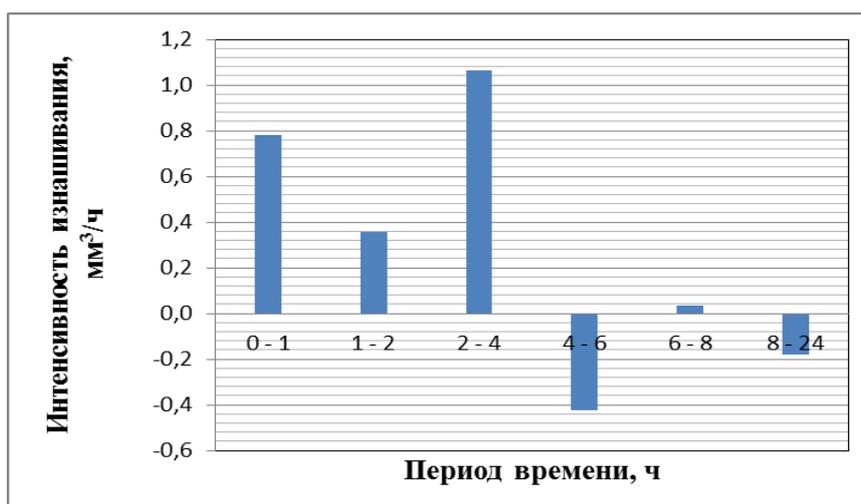


График 4.2.3.2. Влияние продолжительности тестирования на интенсивность износа полимера №1

Из графика 4.2.3.2 видно, что износ полимера №1 происходил на протяжении первых трёх тестов, затем он начал набирать массу. Это связано с тем, что абразив, скорее всего уже после первых трёх тестов, потерял свои изнашивающие качества, которые могли бы воздействовать на данный полимер. Кроме того абразив мог измельчиться и заполнить собой пустоты, что обуславливает набор массы и соответственно объёма. Также возможно набухание данного материала.

4.2.4 Пластик белого цвета

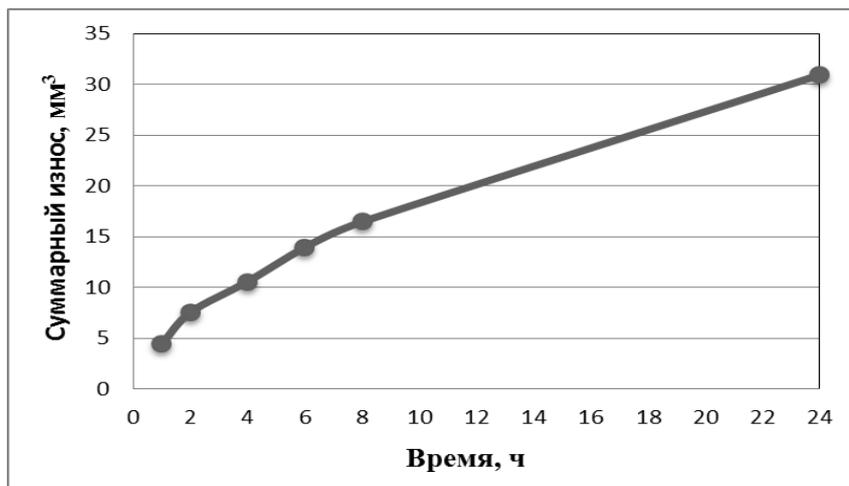


График 4.2.4.1. Влияние продолжительности тестирования на суммарный износ пластика №2

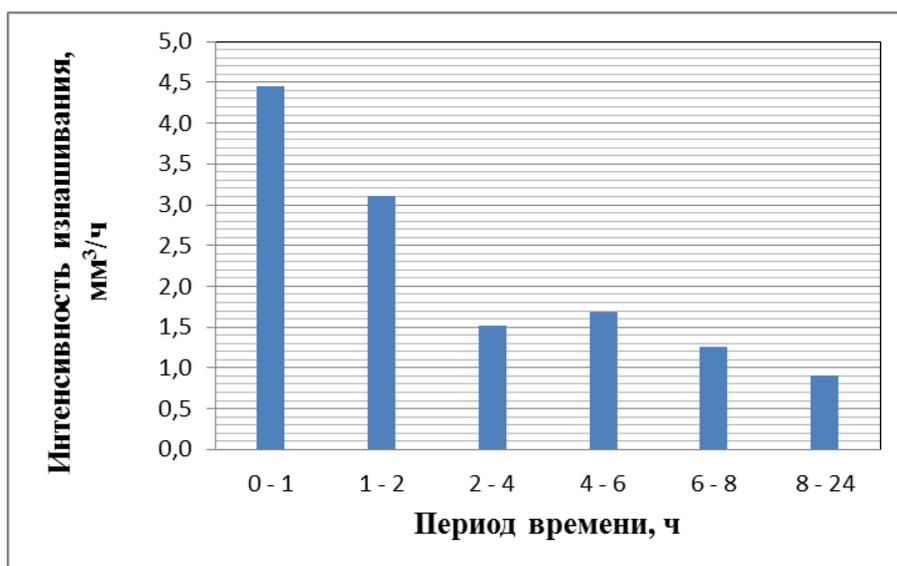


График 4.2.4.2. Влияние продолжительности тестирования на интенсивность износа пластика №2

Из графика 4.2.4.2 видно, что износ на протяжении всего теста довольно стабилен. Интенсивность падает после второго теста, однако в дальнейшем остаётся почти на одинаковом уровне (График 4.2.4.2).

4.2.5 Пластик «Delrin»

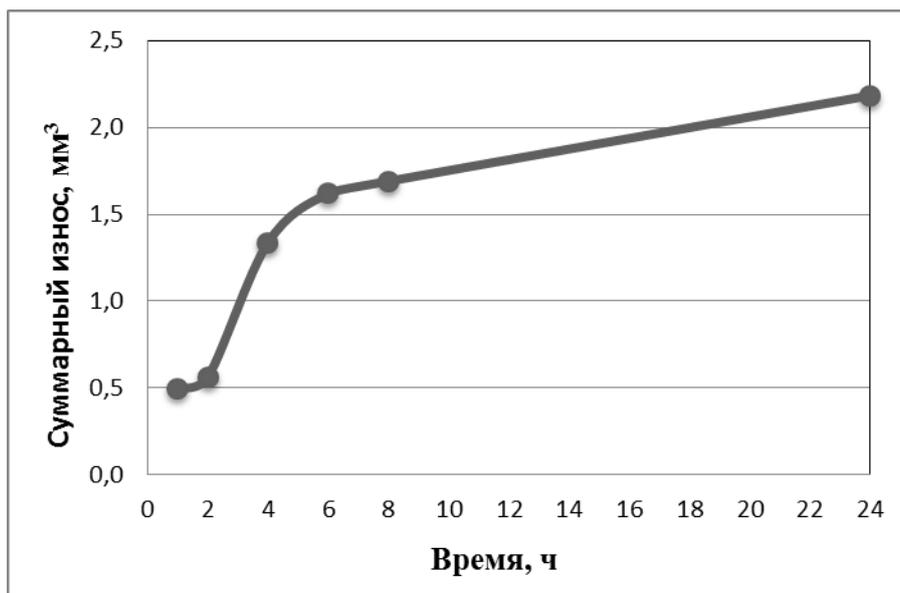


График 4.2.5.1. Влияние продолжительности тестирования на суммарный износ пластика «Derlin»

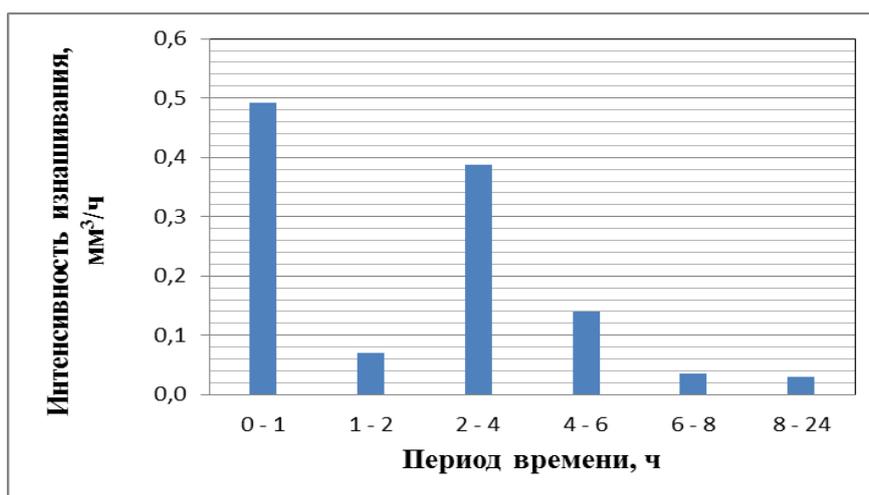


График 4.2.5.2. Влияние продолжительности тестирования на интенсивность износа пластика «Derlin»

Из графика 4.2.5.1 видно, что износ на протяжении всего теста очень не стабилен. Интенсивность износа резко падает после второго теста, однако в третьем тесте резко возрастает, хотя и не дотягивает до интенсивности износа первого теста. В дальнейшем же износ уменьшается и в последних двух тестах остаётся практически на одном уровне (График 4.2.5.2).

4.2.6 Эпоксид. Эпоксид с добавлением базальта (20%, 40%).

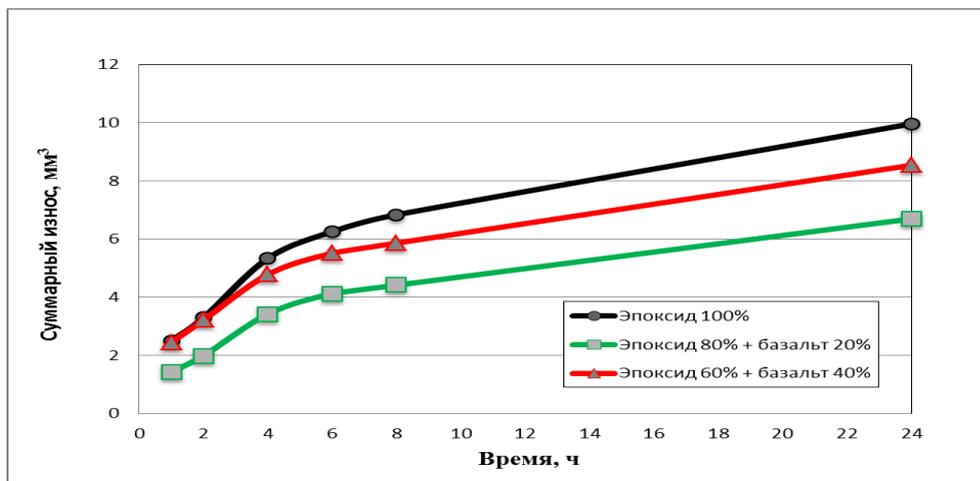


График 4.2.6.1. Влияние продолжительности тестирования на суммарный износ эпоксидов, эпоксидов с добавлением базальта (20%, 40%)

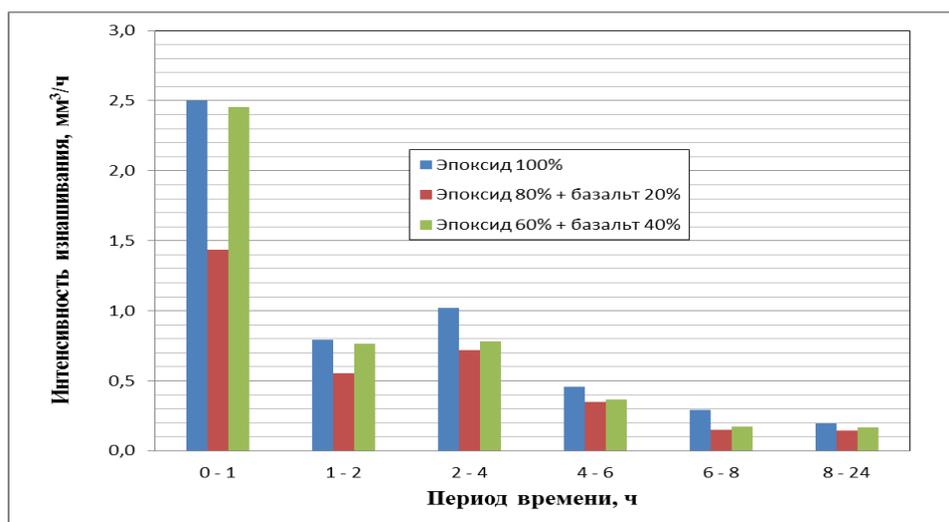


График 4.2.6.2. Влияние продолжительности тестирования на интенсивность износа эпоксидов, эпоксидов с добавлением базальта (20%, 40%)

Из графиков 4.2.6.1 и 4.2.6.2 мы можем наблюдать, что износ, как и интенсивность износа меньше в случае с добавлением 20% базальта. После первых двух тестов износ эпоксидов и износ эпоксидов с добавлением 40% базальта практически остаются на одном уровне. В дальнейшем у эпоксидов без добавления базальта наблюдается увеличение износа.

4.2.7 «Kiiltofix». «Kiiltofix» с добавлением базальта (20%, 40%).

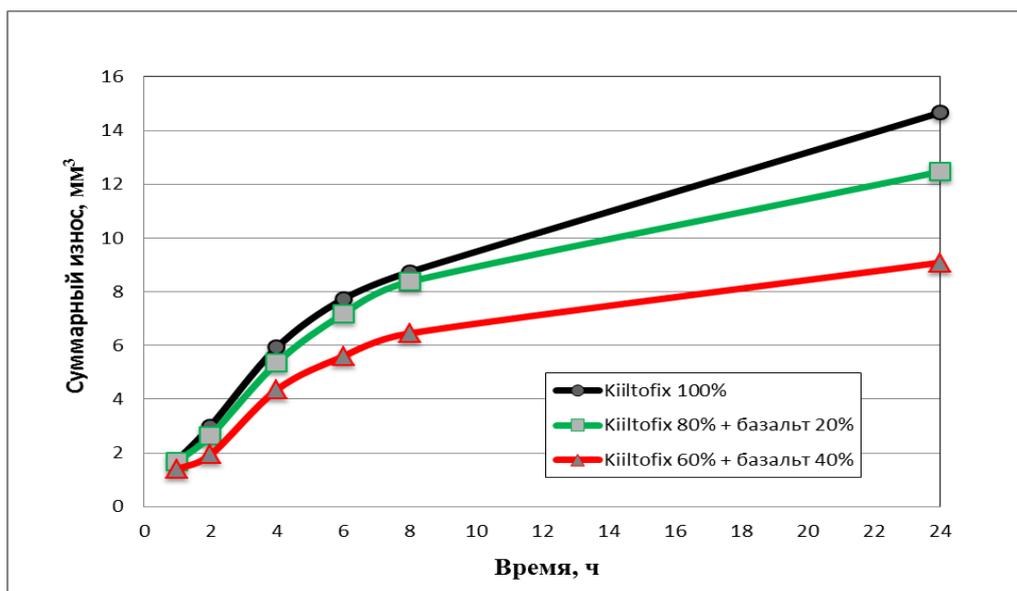


График 4.2.7.1. Влияние продолжительности тестирования на суммарный износ «Kiiltofix». «Kiiltofix» с добавлением базальта (20%, 40%)

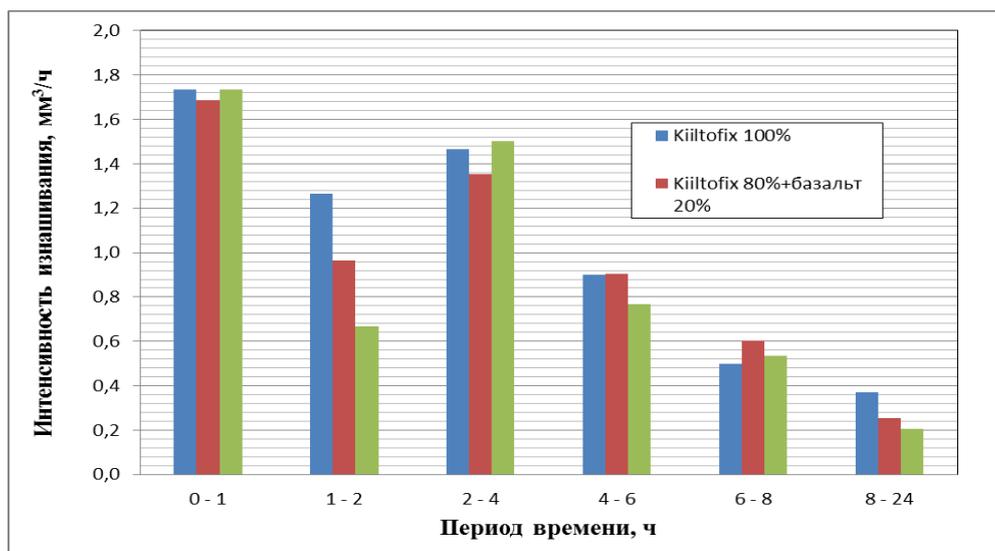


График 4.2.7.2. Влияние продолжительности тестирования на интенсивность износа «Kiiltofix». «Kiiltofix» с добавлением базальта (20%, 40%)

Из графиков 4.2.7.1 и 4.2.7.2 мы можем наблюдать, что износ, как и интенсивность износа меньше в случае с добавлением 40 % базальта. В свою очередь при тестировании «Kiiltofix» 100%, как и при добавлении в него 20% базальта износ практически не изменяется.

4.2.8 «Eclatin Corodur Flex 80». «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением базальта (25%, 50%). «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением SiC (25%, 50%). «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением Al₂O₃ (25%, 50%).

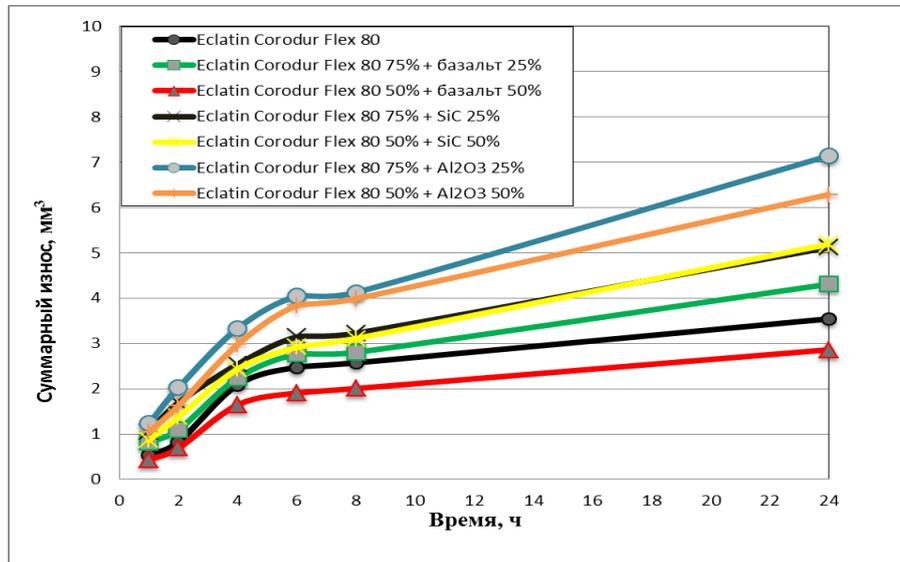


График 4.2.8.1. Влияние продолжительности тестирования на суммарный износ «Eclatin Corodur Flex 80», «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением базальта (25%, 50%), «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением SiC (25%, 50%), «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением Al₂O₃ (25%, 50%)

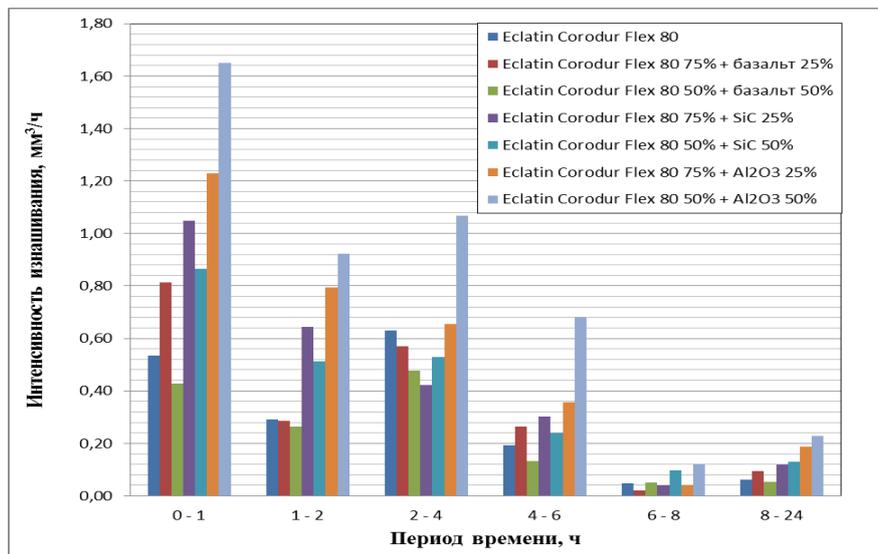


График 4.2.8.2. Влияние продолжительности тестирования на интенсивность износа «Eclatin Corodur Flex 80», «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением базальта (25%, 50%), «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением SiC (25%, 50%), «Eclatin Corodur Flex 80» с добавлением Al₂O₃ (25%, 50%)

Из графиков 4.2.8.1 и 4.2.8.2 мы можем наблюдать, что добавление различных веществ в общем случае ухудшило износостойкость «Eclatin Corodur Flex 80». Лишь добавка 50% базальта положительно сказалась на этой характеристике. В случае с добавлением 50% Al_2O_3 ухудшила «Eclatin Corodur Flex 80» практически в 2 раза.

4.3 Износ всех образцов за 24 часа.

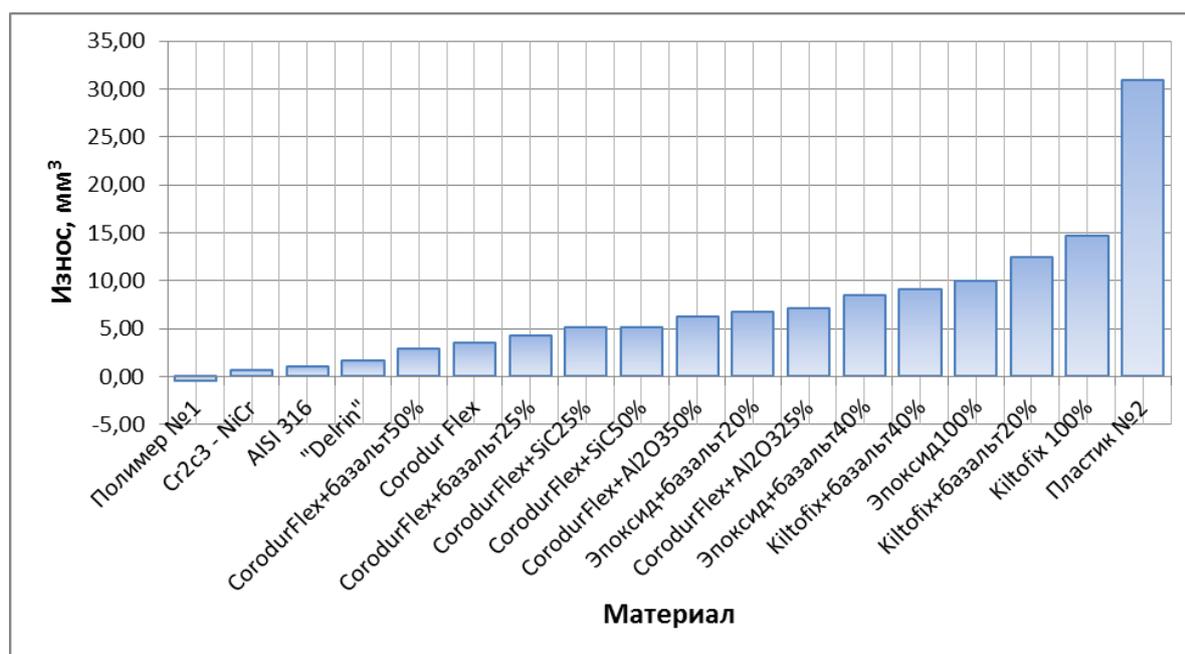


График 4.3.1. Сравнение износа материалов после двадцати четырех часового теста

Из графика 4.3.1 видно, что самым износостойким материалом оказалась металлокерамика $Cr_2C_3 - NiCr$. Полимер №1 не стоит брать в расчёт, так как его износ оценить сложно, в связи с тем, что абразив мог измельчиться и заполнить собой пустоты, также возможно набухание данного материала, что обуславливает набор массы. Пластик №2 является самым не износостойким материалом.

4.4 Исследование абразива после теста.

После проведения теста был взят использованный абразив (SIBELCO EUROQURZ M4 A2700), а также абразив до использования и проведена гранулометрия, посредством просеивания через сита.

Таблица 4.4.1. Гранулометрия абразива до и после тестирования

Сита, мм	0,355	0,250	0,180	0,125	0,090	0,063	0,045	0,002
Образцы	%							
До теста	0,0	0,3	2,5	6,0	10,6	13,8	13,6	29,7
После теста	0,0	0,1	1,2	2,9	7,4	16,8	9,6	32,1

По таблице 4.4.1 был построен график 4.4.1 из которого видно, что фракции больше 90 мкм в исходном материале истираются и переходят в мелкие фракции достаточно равномерно. Особенно сильно это заметно на частицах крупнее 125 мкм, их содержание в изношенном абразиве уменьшается в два раза. Так как при испытании некоторых образцов наблюдалось исчезновение износа, то можно сделать вывод, что влияние частиц мельче 125 мкм на износ очень мало.

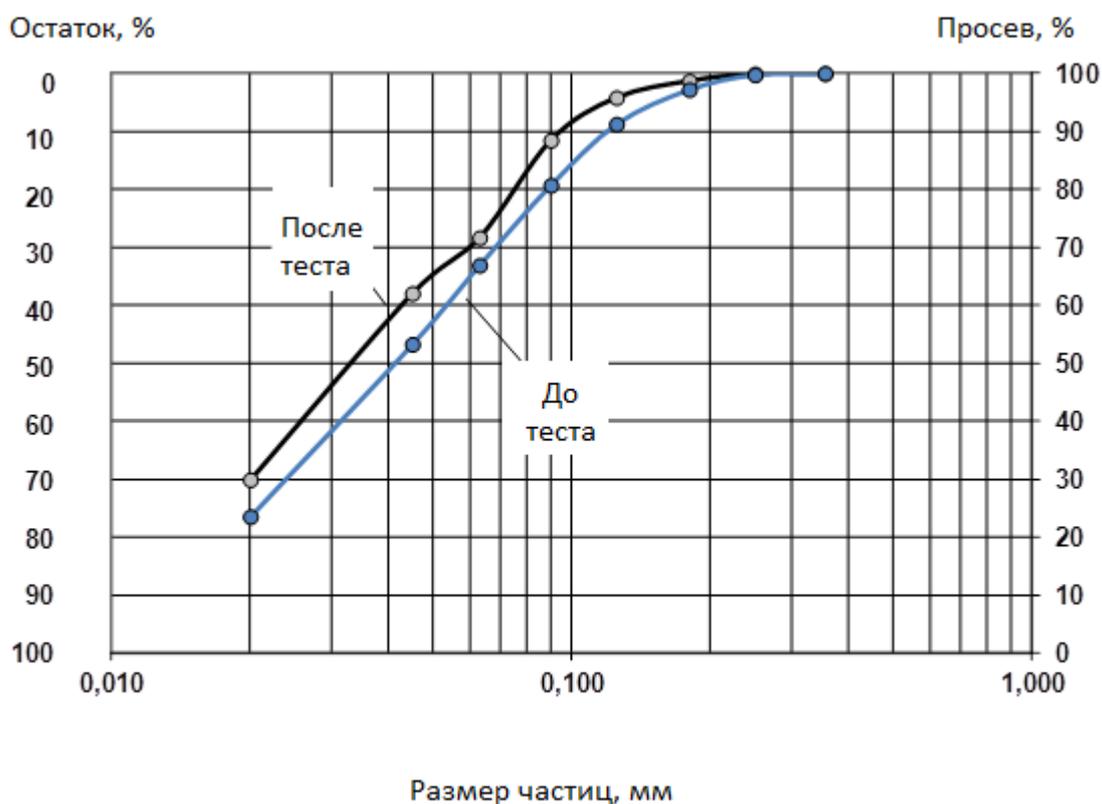


График 4.4.1. Результаты гранулометрии

Также был проведён визуальный осмотр абразива при помощи электронного микроскопа Hitachi TM 1000.



Рисунок 4.4.1. Электронный микроскопа Hitachi TM 1000 Tabletop [24]

На абразиве до тестирования наблюдаются острые края, что способствует интенсивному абразивному износу образцов.

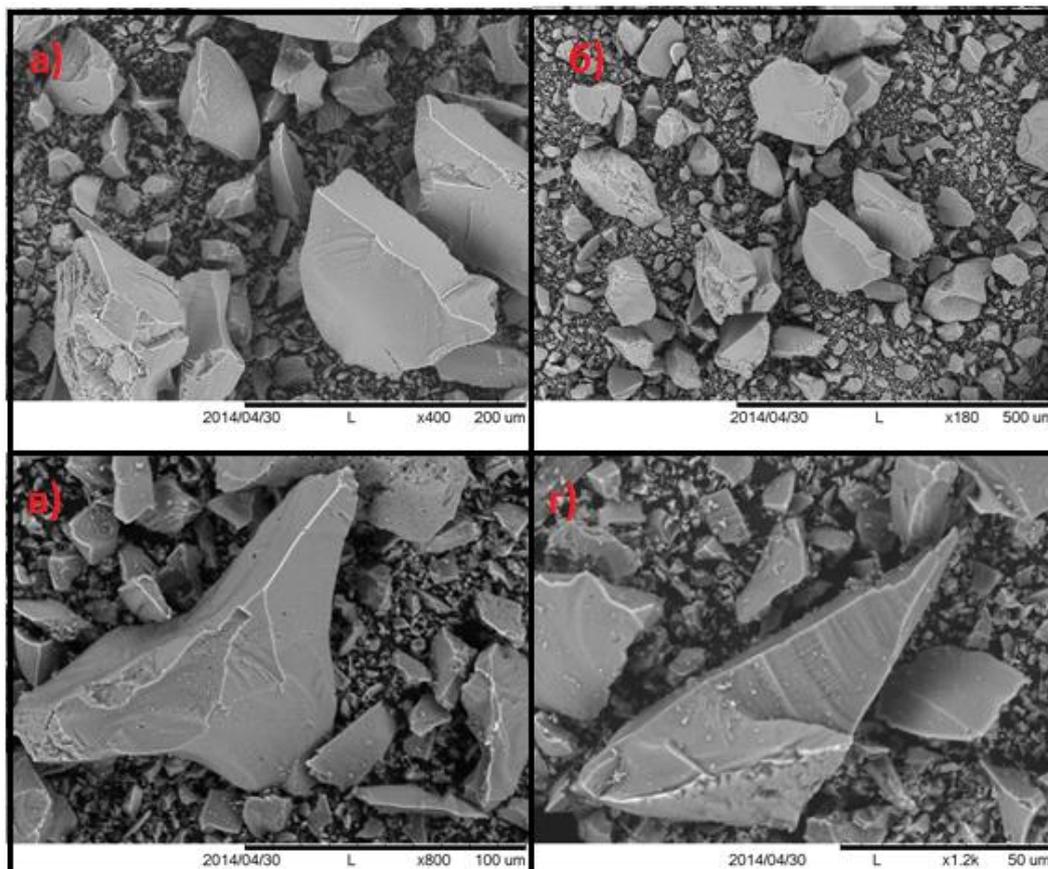


Рисунок 4.4.2. Абразив до тестирования: а) увеличение x400; б) увеличение x180; в) увеличение x800; г) увеличение x1200

Абразив после испытания не имеет заострённых краёв, видно, что в следствие, двадцати четырёх часового теста абразив начинает разрушаться, кромки скругляются.

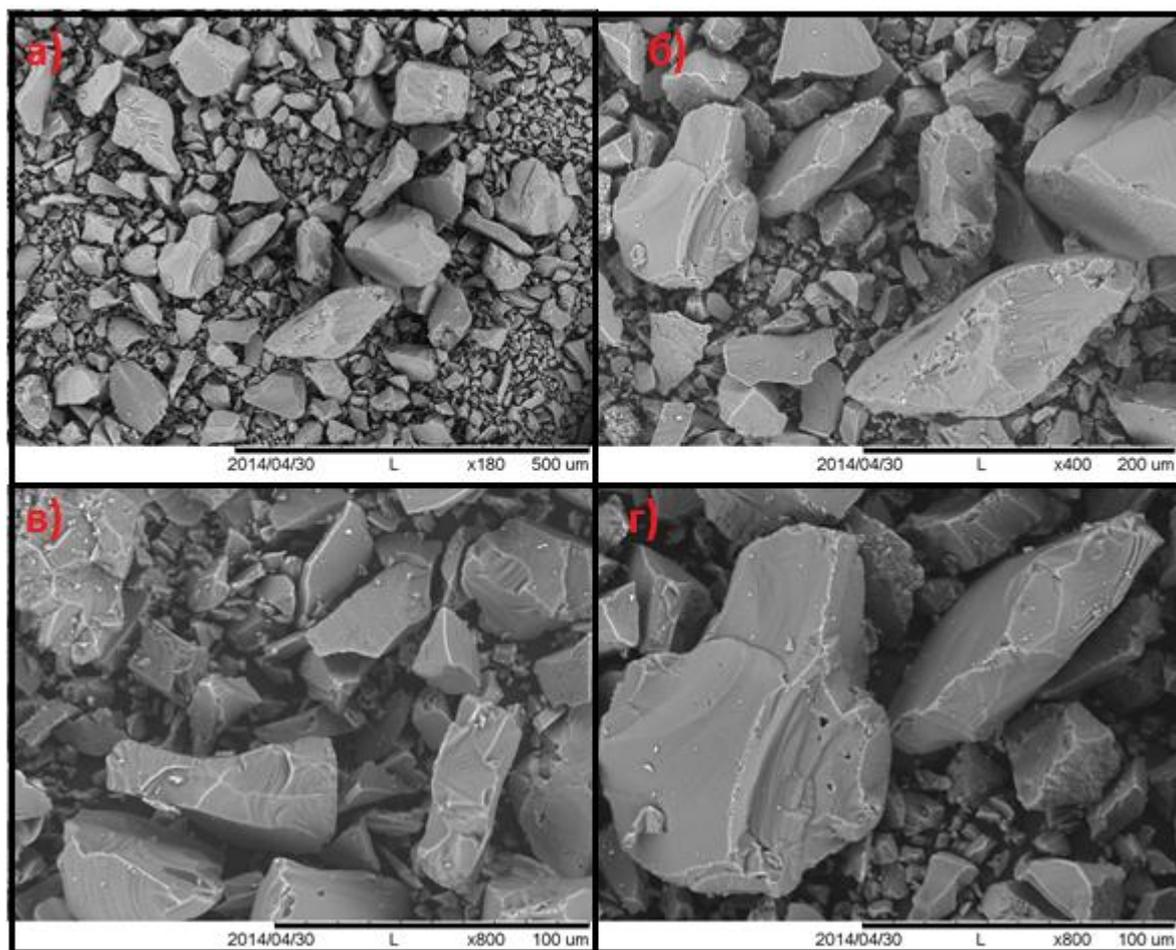


Рисунок 4.4.3. Абразив после тестирования: а) увеличение x180; б) увеличение x400; в) увеличение x800; г) увеличение x800

ВЫВОД

Целью работы было проверить рабочие характеристики гидроабразивного ускорителя, а также выяснить какие факторы влияют на работоспособность данного прибора, составить технологию тестирования образцов различных материалов и в конечном итоге протестировать различные образцы.

По ходу выполнения поставленных задач, для повышения уровня знаний по теме «трибология», было прочитано много материалов, как на английском, так и на русском языках.

При проверке рабочих характеристик гидроабразивного ускорителя, было решено два вопроса: влияние на пропускную способность таких параметров, как скорость вращения вала, а также влияние содержания абразива в гидроабразивной смеси. В ходе решения данных вопросов, было разработано специальное приспособление, которое состоит из двух ёмкостей: первая основная ёмкость, в которой находится гидроабразивная смесь и вторая съёмная, куда закачивается гидроабразив. Это позволило, меняя такие характеристики, как скорость вращения вала и содержание абразива в гидроабразивной смеси, определить параметры, при которых гидроабразивный ускоритель имеет максимальную интенсивность всасывания и разбрасывания абразивной смеси (пропускную способность), а, следовательно, в дальнейшем будет давать максимальный износ

Для тестирования было выбрано два абразива: «SIBELCO EUROQURZ M4 A2700» и «A.F.S. OTTAWA Testing Sand 50-70». В ходе испытания с «A.F.S. OTTAWA Testing Sand 50-70» невозможно было добиться получения однородной взвеси. Это было связано с тем, что данный абразив имеет довольно крупную фракцию 0.2-0.3 мм. «SIBELCO EUROQURZ M4 A2700» образовывал стабильную взвесь. Следовательно, был сделан вывод, что для тестирования на данном гидроабразивном ускорителе необходим тот абразив, который образует взвесь и не оседает полностью.

В ходе работы было испытано 37 образцов. Всего было проведено 6 последовательных тестов с использованием одних и тех же образцов.

Стоит отметить, что практически во всех случаях гидроабразив потерял свои изнашивающие свойства, уже после 8 часов испытаний.

Лучше всех, из композиционных материалов на основе «Eclatin Corodur Flex 80» показал себя образец с 50 % содержанием базальта. Следует также отметить, что

практически во всех материалах, куда добавлялся базальт, наблюдалось улучшение износостойкости.

При добавлении в «Eclatin Corodur Flex 80» таких добавок как Al_2O_3 и SiC, износостойкость упала.

Самым износостойким материалом, среди испытанных, является металлокерамика Cr₃C₂-NiCr. Низкий износ полимера №1 связан, скорее всего, с его набуханием.

В конце хочется отметить, что опробованный гидроабразивный ускоритель прошёл испытания успешно, для него была разработана методика тестирования, что в будущем может помочь найти новые материалы, которые не подвержены гидроабразивному износу или те, у которых износ наименьший.

KOKKUVÕTE

Bakalaureuse töö eesmärgiks oli kontrollida hüdroabraseeriva kiirendusseadme tööalaseid tunnusoone ning selgitada välja millised tegurid mõjuvad katsemasina jõudlusele, koostada erinevate materjalide proovikehade testimise tehnoloogiat ja ühtekokku testida erinevaid katsekehasid.

Seatud eesmärkide täitmisel ja teadmiste taseme parendamiseks teemal „triboloogia” oli läbi loetud palju õppematerjali nii inglise keeles kui ka vene keeles.

Hüdroabraseeriva kiirendusseadme tööalaste tunnusoonte kontrollimisel oli käsitletud ning lahendatud kaks põhiülesannet: selliste parameetrite, nagu võlli pöörlemise kiirus ja abraseeriva sisaldus hüdroabraseerivas segus, mõju läbilaske võimele. Antud küsimuste lahendamiseks oli välja töötatud spetsiaalne lisaseade, mis koosneb kahest mahutitest: esimene on põhimahuti, milles oli hüdroabraseeriv segu ja teine on äravõetav mahuti, kuhu hüdroabraseeriv pumbatakse. Antud seade võimaldas, muudates järgmisi parameetreid nagu, võlli pöörlemise kiirus ja abraseeriva sisaldus hüdroabraseerivas segus, määrata parameetreid, milliste korral hüdroabraseeriv kiirendi omab maksimaalset imemise intensiivsust ja abraseeriva segu läbilaske võimet, ning, järelikult, tulevikus annab maksimaalset kulu.

Testimiseks oli valitud kaks abraseerivat: «SIBELCO EUROQURZ M4 A2700» ja «A.F.S. OTTAWA Testing Sand 50-70». Katset läbi viimisel käigul «A.F.S. OTTAWA Testing Sand 50-70» polnud võimalik saavutada homogeenset suspensiooni. See oli seotud sellega, et antud abraseeriv omab üsna suurema fraktsiooni 0.2-0.3 mm. Abraseeriv «SIBELCO EUROQURZ M4 A2700» moodustas suspensiooni hästi.

Seega oli tehtud järeldus, et selle hüdroabraseeriva kiirendusseadmega testimiseks on vajalik abraseeriv, mis moodustab suspensiooni ja ei ladestu täielikult.

Katsed näitasid, et abraseerivat «SIBELCO EUROQURZ A2700» kasutamisel on testimise optimaalsed parameetrid sellised:

- Hüdroabraseeriva maht – 2.0 l
- Vee ja abraseeriva protsentuaalne suhe – 60% vett, 40% abraseerivat
- Pöörlemise kiirus – 35Hz (14.4m/s)

Kui hüdroabraseeriva kiirendusseadme põhiparameetrid olid määratletud, oli katsetatud 37 katsekeha:

- Roostevaba teras AISI 316 – 10 tk.
- Metallkeraamika Cr₂C₃ – NiCr – 1 tk.
- Musta värvi polümeer – 1 tk.

- Valge värvi plast – 1 tk.
- Plastmass «Delrin» – 1 tk.
- Epoksiid. Epoksiid basalti lisandumisel (20%, 40%). 6 tk.
- «Kiiltofix». «Kiiltofix» basalti lisandumisel (20%, 40%). – 3tk.
- «Eclatin Corodur Flex 80». «Eclatin Corodur Flex 80» basalti lisandumisel (25%, 50%). «Eclatin Corodur Flex 80» SiC (25%, 50%) lisandumisel. «Eclatin Corodur Flex 80» Al₂O₃ (25%, 50%) lisandumisel . – 14 tk.

Kokku oli läbi viidud 6 testi. Esimene test kestusega 1 tund, lisatest kestusega 1 tund, lisatest kestusega 2 tundi, lisatest kestusega 2 tundi, lisatest kestusega 2 tundi ja lisatest kestusega 16 tundi. Testimise kestus oli ajaliselt kokku 24 tundi. Testide ajal hüdroabrasiiv oli sama.

Iga katse järel katsekehad loputati vooluveega ja asetati ahju 4 tundiks temperatuuri 50°C, misjärel katsekehad puhustatakse suruõhuga, ja just seejärel fikseeriti massikadu elektrooniliste kaalude abil.

Väärrib märkimist, et peaaegu kõikidel juhtudel (kõikide materjalide puhul) kaotas abrasiiv oma löike omadusi juba 8 katsetamise tunni järel.

Kompositsioonidest materjalidest «EclatinCorodurFlex 80» põhjal näitas end kõige paremini katsekeha, mis sisaldab 50% basalti. Tasub samuti märkida, et peaaegu kõikidel materjalidel kuhu lisati basalti, täheldatakse kulumiskindluse parenemist.

Kuid mitte alati mõnede ainete lisamine mõjub positiivselt. Niisuguste lisandite, nagu Al₂O₃ ja SiC lisamisega «EclatinCorodurFlex 80»-sse, kulumiskindlus langes.

Väärrib märkimist, et musta värvi polümeer, hakkas kolme testide järel suurendama massi. Antud nähtus võiks olla seotud sellega, et esimese kolme testi käigus kaotas abrasiiv oma kulumisomadusi, mis saaksid mõjutada antud polümeeri. Lisaks, abrasiiv võis peenestuda ja täita iseendaga tühjust, mis põhjustas massi suurendamist ja vastavalt ka mahu suurendamist. Tõenäoline on ka materjali paisuvus. Kõige kulumiskindel ära katsetatud materjalide hulgast on metallkeraamika Cr₃C₂-NiCr.

Lõpuks tahaks märkida, et ära katsetatud hüdroabrasiivne kiirendusseade oli katsetatud edukalt, selle seadme jaoks oli väljatöötatud testimismetoodika, mis tulevikus aitab leida uusi materjale ilma hüdroabrasiivsekulu kalduvusteta või neid materjale, millel on kulu väiksem.

SUMMARY

The aim of this bachelor's work was to study the operating characteristics of the hydroabrasive centrifugal accelerator, to study the parameters that affect the performance of this device, to work out the procedure for testing, and to perform trial laboratory testing of different materials.

In order to improve the knowledge on the "tribology" topic and to write the literature review chapter the author has read quite a lot of materials in Estonian, English and Russian languages

Two main aims of the work were as following: (1) to study the effect of frequency of shaft rotation on the throughput of device and (2) to study the effect of abrasive content in the hydroabrasive mixture on the throughput of device. Throughput of device is the amount of liquid or hydroabrasive mixture that is ejected from the nozzles of accelerator onto the samples during the certain period of time (expressed in liters per minute). Higher throughput should result in higher wear rate of the test samples.

In order to fulfill the aims the special additional device was worked out, which consists of two containers: the first main container contains the hydroabrasive and the second one is removable, into which the hydroabrasive mixture is pumped. If the duration of the pumping and the amount of liquid or hydroabrasive mixture is known then it is possible to calculate the throughput of the device for given frequency of shaft rotation or the content of abrasive in the mixture.

Two abrasives («SIBELCO EUROQURZ M4 A2700» and «A.F.S. OTTAWA Testing Sand 50-70») were chosen for testing. During the testing with «A.F.S. OTTAWA Testing Sand 50-70» it was impossible to achieve a homogeneous suspension. This was due to the fact that the abrasive has a fairly large fraction of 0.2-0.3 mm. «SIBELCO EUROQURZ M4 A2700» formed a stable suspension (the abrasive was equally distributed throughout the liquid and tend to sink only after some time since the agitation was stopped). Consequently, it was concluded, that for testing by this hydroabrasive accelerator the abrasive, which forms suspension is required. During the laboratory testing the resistance against slurry wear of 37 samples was evaluated. In total, six sequential tests using the same samples were conducted.

It should be noted, that in cases of almost all materials investigated abrasive silica particles have lost significantly their abilities to cut or remove material after 8 hours of testing.

The most resistant material among tested was cermet $\text{Cr}_2\text{C}_3\text{-NiCr}$. Low wear rate (determined according to mass loss) of the polymer №1 is probably connected with its swelling (mass gain). Composite material based on «Eclatin Corodur Flex 80» with 50% content of basalt has shown the best performance in its group. Also it should be noted that almost in all materials, where the basalt was added, wear resistance was improved. The reinforcement of «Eclatin Corodur Flex 80» by Al_2O_3 and SiC additives was detrimental and resulted in lower wear resistant.

In conclusion it should be noted, that hydroabrasive accelerator has been tested successfully and testing procedure has been developed. The device in the future should serve as a tool to figure out the materials with lowest wear rate.

ИСПОЛЬЗОВАННАЯ ЛИТЕРАТУРА

1. G.W.Stachowiak. "Wear – Materials, Mechanisms and Practice". Chichester, 2005. pp. xx
2. Л.Л. Роганов, Р.А Кравченко. Триботехника: конспект лекций для студентов всех специальностей направления "Инженерная механика". Краматорск, 2003. Стр. 9-13, 25-32, 35-45
3. Н.К. Мышкин, М.И. Петроковец. Трение, смазка, износ. Москва, 2007. Стр. 146-154
4. И.В. Крагельский, И.Э. Виноградова. Коэффициенты трения. Москва, 1962. Стр. 5-7
5. М. Хлебда, А.В. Чичинадзе. Справочник по триботехнике. Том 1. Москва, 1989. Стр. 15-21
6. У. Икрамов, М.А. Левитин. Основы триботоники. Ташкент, 1984. 131-137
7. S. C. Lim (1998). Recent developments in wear-mechanism maps. Tribology International, Volume 31, pp. 90-97
8. Д. Н. Гаркунов. Триботехника. Износ и безызносность. Москва, 2001. Стр 206-221
9. Л.Н. Ляпина, А.М. Минаев, В.А. Пручкин. Новые композиционные материалы. Тамбов, 2011. Стр. 248
10. I. Kleis, P. Kulu. Solid Particle Erosion. Occurrence, prediction and control. TUT press, 2005.
11. Машина для исследования изнашивания свободным абразивом, Таллинн, 1958.
12. Ülevaade portaali koduleheküljest [WWW]
<http://www.goodner.ru/services/info/marks/316l-ti> (01.05.2014)
13. Ülevaade portaali koduleheküljest [WWW]
<http://diamantstal.ru/katalog/nerzhaveyushhaya-stal/> (01.05.2014)
14. Ülevaade portaali koduleheküljest [WWW]
<http://www.coating-ball.com/ru/index.php?page=high-velocity-spray> (02.05.2014)
15. Ülevaade portaali koduleheküljest [WWW]
<http://www.dupont.com/products-and-services/plastics-polymers-resins/thermoplastics/brands/delrin-acetal-resin.html> (02.05.2014)
16. Ülevaade portaali koduleheküljest [WWW]

http://www2.dupont.com/Plastics/en_US/assets/downloads/design/DELDGe.pdf

(02.05.2014)

17. Ülevaade portaali koduleheküljest [WWW]

<http://techno.x51.ru/index.php?mod=text&uitxt=814> (02.05.2014)

18. Ülevaade portaali koduleheküljest [WWW]

<http://www.mining-enc.ru/b/bazalt/> (02.05.2014)

19. Ülevaade portaali koduleheküljest [WWW]

http://www.kiilto.com/attachments/3/5/white_papers/Kiiltofix%20masa.pdf

(02.05.2014)

20. Ülevaade portaali koduleheküljest [WWW]

http://www.kiilto.com/2434/?product_group=35149&prod=36454 (03.05.2014)

21. Ülevaade portaali koduleheküljest [WWW]

<http://www.eclatin.ch/index.php?product&detail=187&header=25> (03.05.2014)

22. Ülevaade portaali koduleheküljest [WWW]

<http://www.azom.com/article.aspx?ArticleID=3382> (03.05.2014)

23. Ülevaade portaali koduleheküljest [WWW]

<http://www.ioffe.ru/SVA/NSM/Semicond/SiC/basic.htm> (03.05.2014)

24. Ülevaade portaali koduleheküljest [WWW]

<http://www.woomyoung.co.kr/main%2011-5.htm> (05.05.2014)

ПРИЛОЖЕНИЯ

Koostejoonis 1. Kooste laboratoorse lobri erosioonkatsemasina töökarakteristikute uurimiseks.