

В.В. Шевеля, В.И. Дворук, А.С. Посташ, А.В. Радченко

МОДЕЛИРОВАНИЕ ГИДРОАБРАЗИВНОГО ИЗНАШИВАНИЯ МАТЕРИАЛОВ ЛАБОРАТОРНЫМ МЕТОДОМ

Предложена методика сокращения продолжительности испытаний за счет совмещения в одном эксперименте двух видов взаимодействия образцов с гидроабразивной средой.

Износ оборудования под воздействием потока жидкости, содержащей абразивные частицы, является одним из самых интенсивных видов поверхностного разрушения материалов. Физико-механические процессы, происходящие в поверхностных слоях материалов, подвергающихся гидроабразивному изнашиванию, очень сложны, и в настоящее время отсутствуют общепризнанные и достоверные методы расчета износа. Поэтому выбор износостойких материалов, конструирования и оптимизации эксплуатационных режимов оборудования, исключающих гидроабразивное изнашивание, как правило, производится опытным путем. Долгое время было распространено убеждение, что решение задач борьбы с износом нужно выполнять на таких установках, которые воспроизводят натурные условия работы узла трения, а в качестве образца использовать его детали.

Позднее выяснилось, что этот путь решения задач в лабораторных условиях не эффективен из-за трудоемкости изготовления образцов и сложности установок, а главное, он не позволяет проверить в короткий срок влияния многих факторов на закономерности изнашивания. Чтобы выяснить основные закономерности изнашивания достаточно смоделировать его условия на лабораторном образце, форма и размеры которого значительно упрощены и уменьшены по сравнению с натурными деталями. Однако создание установок для испытания на гидроабразивное изнашивание остается проблемой, не получившей той степени методической законченности, какую имеют методы механических испытаний материалов.

Известно [1], что лабораторные установки, применяемые в настоящее время для исследования гидроабразивного изнашивания можно условно разделить на две группы. В установках первой группы образец неподвижен и подвергается воздействию движущейся гидроабразивной среды. Ко второй группе можно отнести установки, в которых движущийся образец взаимодействует с неподвижной гидроабразивной средой. Поскольку испытательные возможности установок обеих групп различны, то полная и всесторонняя оценка гидроабразивной износостойкости материалов может быть получена по результатам испытаний на установках каждой из указанных групп. Однако проведение таких испытаний требует больших затрат труда, времени и средств. Поэтому необходимы установки, которые позволяли бы оценить износостойкость материалов при двух видах взаимодействия материала с гидроабразивной средой в одном эксперименте. Таким требованиям удовлетворяет созданная нами установка (рис. 1).

Она состоит из привода и испытательного узла, соединенных между собой. Приводом служит сверлильный станок мод. 2М II 2. Испытательный узел включает в себя камеру 1, обойму 2, крышку 3 и манжетное уплотнение 4. Камера служит емкостью для рабочей среды. Снаружи ее боковая поверхность опоясана водяной рубашкой охлаждения для регулирования температурного режима испытаний. Герметизация камеры обеспечивается крышкой и резиновым манжетным уплотнением. К крышке крепятся четыре неподвижных пластинчатых образца 5, которые, наряду со своим прямым назначением, выполняют функции вертикальных ребер, способствующих стабилизации потока рабочей среды.

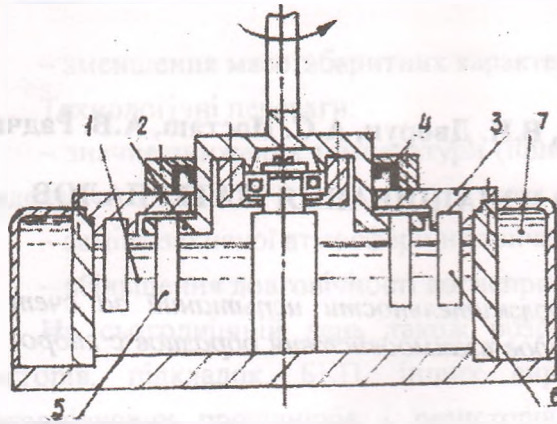


Рис. 1. Принципиальная схема установки:

1 – камера; 2 – обойма; 3 – крышка;
4 – манжетное уплотнение; 5 – движущийся образец; 6 – неподвижный образец;
7 – рубашка охлаждения

Обойма служит для передачи вращательного движения от привода к четырем подвижным образцам 5, закрепленным в ней. Технические характеристики установки:

1. Частота вращения шпинделя, c^{-1} : $n_1 = 8,33$; $n_2 = 13,33$; $n_3 = 23,33$; $n_4 = 41,66$; $n_5 = 75$.
2. Скорость перемещения движущихся образцов, м/с: $V_1 = 3,6$; $V_2 = 5,7$; $V_3 = 10$; $V_4 = 18$; $V_5 = 32$.
3. Мощность электродвигателя, кВт: $N = 0,75$.
4. Расстояние между осями движущихся образцов, м: $L = 0,137$.
5. Габаритные размеры камеры, мм: $D \times h = 0 \times 8 \times 0,18$

Частота вращения движущихся образцов регулируется ступенчато с помощью шкивов различных диаметров клиноременной передачи. Сущность испытаний заключается в том, что при заданных условиях нагружения производится вращательное движение образцов в гидроабразивной среде, под действием которой гидроабразивная среда приводится в вынужденное движение и воздействует на неподвижные образцы. В результате таких испытаний обеспечивается возможность оценки гидроабразивной износостойкости материала как в условиях его перемещения в среде, так и при перемещении среды относительно него.

Испытуемые образцы изготавливаются в форме пластин с габаритными размерами $(6 \times 10 \times 3) \cdot 10^{-3}$ м и шероховатостью поверхности R_{z32} . Учитывая специфику и сложность рельефа поверхности образцов при гидроабразивном изнашивании, в качестве основного был принят критерий оценки износа, определяемый по изменению массы образца.

Для установления режимов испытаний, обеспечивающих удовлетворительную сходимость экспериментальных результатов были проведены методические опыты, на основании которых определены общие закономерности, присущие гидроабразивному изнашиванию.

Перед проведением испытаний образцы обезжировали и просушивали в сушильном шкафу при температуре $T = 373\text{K}$ в течение $t = 900$ с. После чего их взвешивали на аналитических весах с точностью 0,001 г и устанавливали в испытательном узле: движущиеся в обойме, а неподвижные – в крышке. В обойме и крышке устанавливали по четыре образца из испытуемого материала. В камеру заливали расчетное количество жидкости, куда затем добавляли абразив в необходимой объемной пропорции. Образцы полностью погружались в рабочую среду. Далее производили сборку испытательного узла. Затем после предварительной регулировки скорости вращения шпинделя включали привод и проводили испытания в течение требуемой продолжительности времени. В процессе испытаний периодически контролировали работу манжетного уплотнения камеры, не допуская его перегрева. При перегреве уплотнения установка останавливалась на непродолжительное время. После окончания испытаний производили разборку испытательного узла.

Предварительно промытые и просушенные образцы повторно взвешивали.

Так как движущиеся и неподвижные образцы находились в разных условиях взаимодействия с гидроабразивной средой, то результаты испытаний для них рассчитывались отдельно. Количество опытов с каждым материалом определялось методами математической статистики [2].

Учитывая перспективность и распространенность наплавки как способа восстановления и упрочнения деталей машины в условиях гидроабразивного изнашивания [1], для проведения испытаний были выбраны следующие наплавочные материалы: порошковые проволоки ПП-АН170 (ТУ 14-4-80-77) ПШ-БН (опытная) и порошковая лента АН-ЛЗ (ТУИЭС677-88).

Наплавка порошковых проволок производилась электродуговым способом посредством станка УД-209, а порошковой ленты – плазменной наплавки, посредством станка УД-417. После наплавки указанных материалов на рабочей поверхности образца формировались сплавы 80Х20РЗТ (твердость HRC50–56), 350Х10Б8Т2 (твердость HRC50–56) и макрогетерогенный композит типа “зерна релита–матрица на основе железа” (твердость матрицы HRC50–58), которые являются представителями трех основных классов износостойких сплавов: сталей, белых чугунов и композитов.

Критериями выбора режима испытания являлись точность опытов и сопоставимость результатов испытаний движущихся и неподвижных образцов.

В результате опытов установлено, что зависимость износа ΔG от внешних факторов F : крупности абразивных частиц d_{cp} (рис. 2), концентрации абразива C (рис. 3), показателя абразивности частиц ПА (рис. 4), скорости перемещения образцов V (рис. 5) и продолжительности испытаний t (рис. 6) может быть представлена степенной функцией

$$\Delta G = a_F \cdot F^{b_F},$$

где ΔG – массовый износ; F – внешний фактор; a_F, b_F – постоянные коэффициенты, определяющие зависимость износа от внешних факторов.

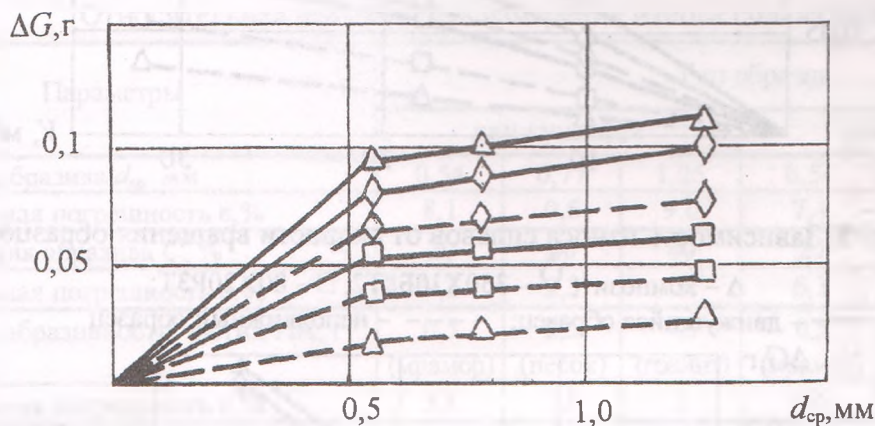


Рис. 2. Зависимость износа сплавов от крупности абразивных частиц:

Δ – композит; \diamond – 350Х10Б8Т2; \square – 80Х20РЗТ;
 — — — — — движущийся образец; - - - - - неподвижный образец

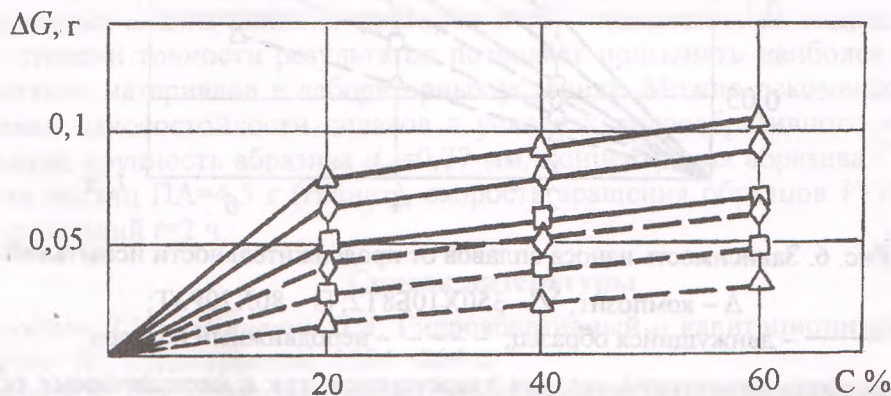


Рис. 3. Зависимость износа сплавов от концентрации абразивных частиц:

Δ – композит; \diamond – 350Х10Б8Т2; \square – 80Х10РЗТ;
 — — — — — движущийся образец; - - - - - неподвижный образец

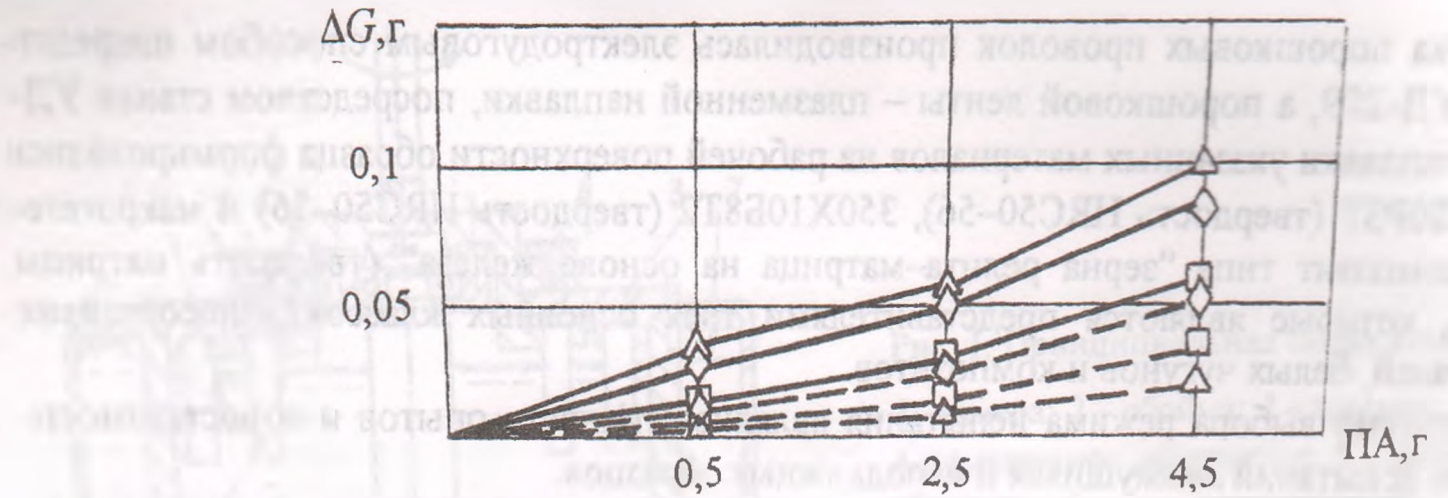


Рис. 4. Зависимость износа сплавов от показателя абразивных частиц:

Δ – композит; ◇ – 350X10B8T2; □ – 80X20P3T;
 ——— – движущийся образец; - - - - - неподвижный образец

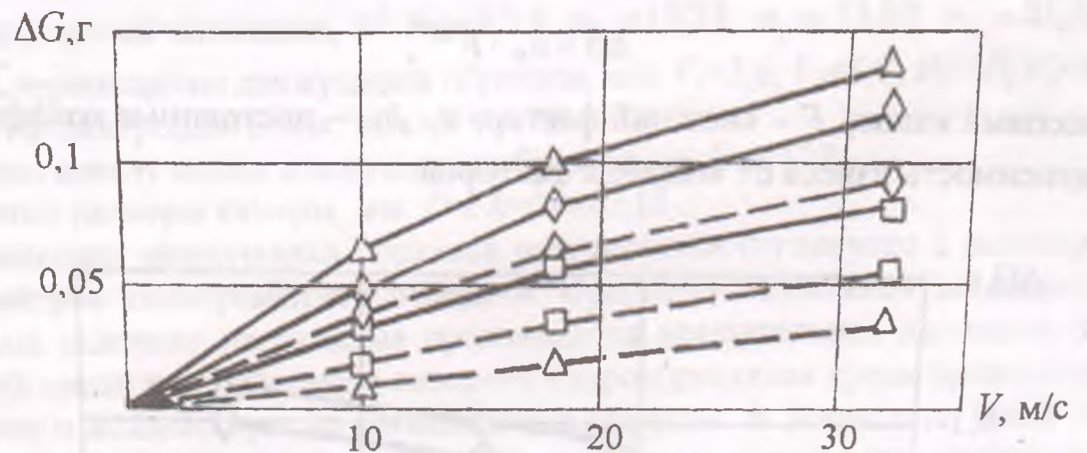


Рис. 5. Зависимость износа сплавов от скорости вращения образцов:

Δ – композит; ◇ – 350X10B8T2; □ – 80X20P3T;
 ——— – движущийся образец; - - - - - неподвижный образец

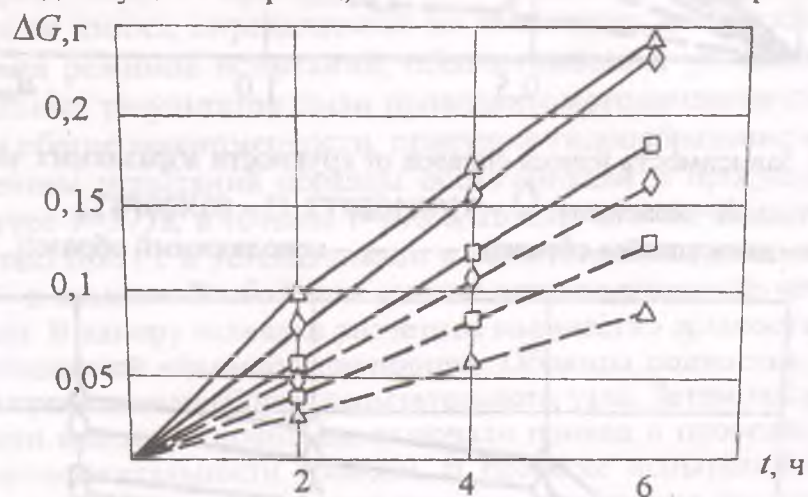


Рис. 6. Зависимость износа сплавов от продолжительности испытаний:

Δ – композит; ◇ – 350X10B8T2; □ – 80X20P3T;
 ——— – движущийся образец; - - - - - неподвижный образец

Эта зависимость характерна как для движущихся, так и неподвижных образцов. Износ движущегося образца, как правило, был выше износа неподвижного образца и расхождение между ними являлось статистически значимым. Кроме того, у движущегося образца наблюдалась неодинаковость износа его фронтальной и тыльной стороны: износ фронтальной стороны был заметно выше, чем тыльной, в то время как износ неподвижного образца

обоих сторон заметных отличий не имел. Такое распределение износа, по всей видимости, связано с более жесткими условиями взаимодействия фронтальной стороны движущегося образца с гидросмесью за счет преобладания ударного действия абразивных частиц.

Обращает на себя внимание тот факт, что гидроабразивный износ движущегося образца из макрогетерогенного композита оказался существенно выше, чем износ наплавленной стали 80Х20Р3Т и белого чугуна 350Х10Б8Т2, в то время как для неподвижного образца его износ был наиболее низким. В исследуемых условиях износ композита имел отчетливо выраженный избирательный характер, особенно на движущихся образцах. Избирательность износа связана с тем, что разрушение композита начинается с матрицы и по мере ее изнашивания зерна ренита постепенно оголяются, а затем выкрашиваются. Таким образом, исходя из полученных результатов, в легких условиях взаимодействия гидросмеси с материалом для наплавки деталей может быть рекомендован композит, а в жестких – сплав 80Х20Р3Т.

Необходимо также отметить, что полученные зависимости износа от внешних факторов (рис. 2–6) по своему виду близки аналогичным зависимостям, которые приводятся в работах других авторов [1, 3 и др.].

Результаты всех опытов оценивались по степени точности. Для каждой группы опытов рассчитывали безразмерный показатель точности – относительную погрешность измерения износа по формуле, приведенной в работе [2]. Результаты расчетов для сплава 80Х20Р3Т приведены в таблице.

Относительная погрешность измерения износа сплава 80Х20Р3Т

Параметры	Тип образца					
	движущийся			неподвижный		
Крупность абразива d_{cp} , мм	0,54	0,77	1,25	0,54	0,77	1,25
Относительная погрешность ϵ , %	8,1	0,6	9,0	7,4	1,1	6
Концентрация абразива C , %	20	40	60	20	40	60
Относительная погрешность ϵ , %	9,2	2,3	8	6,3	0,92	8,9
Показатель абразивности частиц ПА, г	0,5 (мрамор)	2,5 (песок)	4,5 (гранит)	0,5 (мрамор)	2,5 (песок)	4,5 (гранит)
Относительная погрешность ϵ , %	5,8	7,8	2	6,6	4,3	1,36
Скорость перемещения образцов, м/с	10	18	32	10	18	32
Относительная погрешность ϵ , %	5,1	2,1	7,2	9,2	2,1	4,1
Продолжительность испытаний t , ч	2	4	6	2	4	6
Относительная погрешность ϵ , %	0,82	1,94	4,3	1,8	6,3	3,9

Проведенный анализ влияния факторов и схем испытания на гидроабразивный износ сплавов по степени точности результатов позволяет применять наиболее оптимальные режимы испытания материалов в лабораторных условиях. Можно рекомендовать для лабораторной оценки износостойкости сплавов в условиях гидроабразивного изнашивания следующий режим: крупность абразива $d_{cp}=0,77$ мм, концентрация абразива $C=40\%$ показатель абразивности частиц ПА=4,5 г (гранит), скорость вращения образцов $V=18$ м/с, продолжительность испытаний $t=2$ ч.

Список литературы

1. *Погодаев Л.И., Шевченко П.А.* Гидроабразивный и кавитационный износ судового оборудования. – Л.: Судостроение, 1984. – 264 с.
2. *Степнов М.Н.* Статистические методы обработки результатов механических испытаний. – М.: Машиностроение, 1985. – 187 с.
3. *Животовский Л.С., Самойловская Л.А.* Техническая механика гидросмесей и грунтовые насосы. – М.: Машиностроение, 1986. – 224 с.