

Термінологічні конференції, що проводить Технічний комітет стандартизації науково-технічної термінології у Львівській політехніці, – дуже важливі заходи, які сприяють збагаченню української термінології та розвитку мови як такої і становлять інтерес не лише для фахівців, але й для широкої громадськості.

Одержано 09.10.2014

© Канд. техн. наук В. М. Плєскач

Запорізький національний технічний університет, м. Запоріжжя
Pleskach V. Problems carriers of ukrainian terminology

МЕТОД ИСПЫТАНИЙ МЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ НА ИЗНАШИВАНИЕ ПРИ НИЗКИХ СКОРОСТЯХ СКОЛЬЖЕНИЯ ПО АБРАЗИВУ

Актуальность и цель работы

В результате исследований, представленных в работе [1] определены основные закономерности абразивного изнашивания сталей и чугунов. Установлен следующий ряд износостойкости металлической основы железуглеродистых сплавов в порядке возрастания износостойкости: феррит-мартенсит-аустенит.

Однако практическое использование данных о закономерностях абразивного изнашивания железуглеродистых сплавов без учета скорости относительного перемещения поверхности трения и абразивной поверхности может привести к ошибочным выводам, поскольку в реальных условиях эксплуатации деталей скорость скольжения по абразиву может изменяться в очень широких пределах от долей миллиметра до десятков миллиметров в секунду.

В связи с этим необходимо определить закономерности изнашивания сплавов системы железо-углерод при различной скорости скольжения по абразиву, причем основные усилия должны быть направлены на проведение испытаний при низких скоростях скольжения.

На первом этапе необходимо обосновать и разработать метод испытаний образцов на абразивное изнашивание при переменной скорости скольжения по абразиву. Нижний предел скорости скольжения изучаемого диапазона должен быть как можно меньше, вплоть до страгивания.

Разработка испытательной методики

Фиксирование скорости скольжения образцов по абразивной поверхности возможно только при испытаниях закрепленным абразивом. В связи с этим базовым методом проведения испытаний принят ГОСТ 17367-71.

Ранее установлено [2], что оптимальной схемой проведения испытаний по ГОСТ 17367-71 является схема «Барабан». Применение схемы «Барабан», позволяет устранить влияние на результаты испытаний таких факторов, как переменная скорость скольжения (схема «Диск») и многократное страгивание при возвратно-поступательном движении по абразиву (схема «Плоскость»). Кроме того, схема «Барабан» свободна от недостатков схемы «Ремень» – отсутствует перемещение абразивного полотна относительно опорных поверхностей, что исключает необходимость использования перфорации.

Схема «Барабан» тем более выгодна, что базовая установка уже создана [3] (рис. 1). Установку использовали при проведении исследований по определению влияния повышенных температур на износостойкость железуглеродистых сплавов при абразивном изнашивании [4]. Для использования установки в рамках настоящих исследований в ее конструкцию внесены изменения, обоснование которых представлено ниже.

С одной стороны исследуемый диапазон скоростей необходимо ограничить ранее установленной максимально допустимой скоростью скольжения образцов по абразиву при стандартных испытаниях на абразивное изнашивание – 86 мм/с [5]. С другой стороны диапазон должен бы быть ограничен значением 0 мм/с. Поскольку это невозможно, нижней границей принята скорость 0,001 мм/с в предположении, что при еще меньших скоростях не происходят принципиальные изменения интенсивности абразивного изнашивания железуглеродистых сплавов.

В начале движения (страгивание) скорость скольжения образца по абразиву изменяется в широком диапазоне от 0 до заданной (номинальной). Предполагается, что в момент страгивания износ материалов повышен, однако скорость скольжения, которой соответствует повышенный износ, точно неизвестна. Поэтому для воспроизведения режима повышенного износа можно использовать периодическое страгивание или постоянное скольжение со скоростью, которой соответствует экстремальный износ образцов.

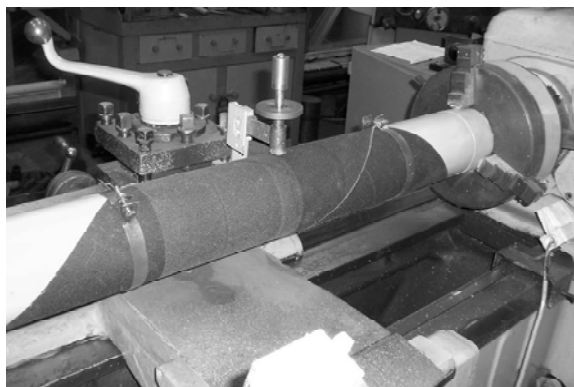


Рис. 1. Установка типа «Барaban» для проведения испытаний металлических материалов на абразивное изнашивание

При достаточно большом значении номинальной скорости скольжения образец в течение короткого промежутка времени (ускорение и замедление) движется со скоростью, соответствующей некоторой экстремальной интенсивности изнашивания. Поэтому достоинство испытаний образцов при периодическом страгивании заключается в гарантированном многократном повторении режима экстремальной интенсивности изнашивания. В то же время недостатком этого способа является неизвестность точного значения экстремальной скорости скольжения и «захват» тех скоростей, которые экстремальными не являются. Поэтому возможно искажение результатов испытаний за счет скольжения в различных режимах.

Проведение испытаний образцов в режиме непрерывного страгивания возможно и фактически соответствует испытаниям при такой скорости скольжения, когда интенсивность изнашивания достигает экстремума. Очевидно, что величина критической скорости скольжения мала, но определение ее точного значения требует проведения экспериментов.

Не только интенсивность изнашивания, но и другие характеристики процесса трения зависят от скорости скольжения образцов по абразиву. В связи с этим логично предположить, что при некоторой скорости скольжения наблюдается одновременный экстремум как для интенсивности изнашивания, так и для других характеристик.

Таким образом, способ проведения испытаний образцов на абразивное изнашивание в режиме страгивания состоит в испытаниях при непрерывном скольжении, но с такой скоростью, при которой наблюдается экстремум другой характеристики, например силы трения. Поэтому проведены исследования по определению силы трения в диапазоне скоростей 0,001–86 мм/с. Предварительно разработана установка для проведения испытаний в требуемом диапазоне скоростей.

Для обеспечения возможности изменять скорость скольжения образцов в столь широком диапазоне в испытательной установке должны быть использованы цилиндрические, червячные и винтовые передачи. С помощью уже имеющейся установки типа «Барaban» и понижающего редуктора имеется возможность проводить испытания образцов в диапазоне скоростей скольжения 5–86 мм/с. При этом для уменьшения скорости вращения барабана и, соответственно, скорости скольжения образцов по абразиву используются коробка передач станка 1К62 (цилиндрические передачи) и понижающий редуктор (червячная передача).

Проведение испытаний в области меньших скоростей скольжения требует создания установки с винтовыми передачами, позволяющими уменьшить скорость скольжения до 0,001 мм/с, т. е. в 5000 раз. Поэтому принципиальная схема испытательной установки, которая позволяла бы проводить испытания образцов на абразивное изнашивание в диапазоне 0,001–5 мм/с, должна включать в себя следующие элементы.

Крутящий момент от основного вала передается на вспомогательный вал-винт, на котором крепится суппорт-гайка. На суппорт-гайке жестко устанавливается державка для цанги с образцом. При вращении основного вала суппорт-гайка движется линейно со скоростью, зависящей от частоты вращения основного вала, передаточного числа между основным валом и вал-винтом, а также шага резьбы вал-винта. При значениях этих величин соответственно $(1/60) \text{ с}^{-1}$, 1:1 и 1 мм линейная скорость перемещения суппорт-гайки составит 0,017 мм/с. Снижение линейной скорости до 0,001 мм/с может быть обеспечено применением дополнительного редуктора для передачи крутящего момента от основного вала на вал-винт. Повышение линейной скорости обеспечивается увеличением частоты вращения основного вала.

При проведении испытаний по определению силы трения в зависимости от скорости скольжения образцов по абразиву величина пути трения является единственным параметром, подлежащим корректировке. В данном случае нет необходимости истирать образец на пути трения, который предусматривает ГОСТ 17367-71 (15 м). Даже для максимальной скорости скольжения вполне достаточно пути 200–300 мм. Это значительно упрощает схему установки и позволяет использовать в качестве базового оборудования токарный станок 1К62. Абразивное полотно крепится

на станине станка, а цанга с образцом – на суппорте. Скорость скольжения образца относительно абразива задается частотой вращения шпинделя станка и величиной продольной подачи суппорта. Расчет показывает, что при минимальной частоте вращения (дополнительный редуктор) для обеспечения линейной скорости суппорта 0,001 мм/с необходима подача 0,07 мм/оборот. Минимальная подача, обеспечиваемая конструкцией станка, составляет 0,07 мм/оборот, что позволяет проводить испытания по определению силы трения во всем необходимом диапазоне скоростей скольжения.

Анализ возможных способов и устройств для измерения силы трения скольжения показал, что для исключения случайных погрешностей необходимо использовать один из серийно выпускаемых датчиков силы. Для проведения испытаний выбран датчик серии K200 (Германия). Ожидаемые значения силы трения составляют единицы ньютонов, поэтому необходимо использовать наиболее чувствительный из датчиков данной серии – KM 200K 10N с диапазоном измерения до 10Н (рис. 2). Для регистрации и записи сигналов датчика (напряжение в зависимости от силы трения) используются измеритель и АЦП, сопряженные с ПЭВМ. Преобразование «напряжение – сила трения» выполняется позже, после окончания эксперимента, что позволяет записать максимально возможное количество данных в процессе испытаний.

Проведена градуировка системы измерения силы трения. Державку цанги, которая жестко соединяется с датчиком силы, нагружали стандартными грузами, обеспечивая силу от 0,5 до 10 Н и одновременно фиксируя показания измерителя. По полученным данным построена градуировочная зависимость (рис. 3). Также создан программный модуль, который обеспечивает считывание данных с измерителя и запись их в файл. Система измерения обеспечивает измерение/запись силы трения с частотой 5 с⁻¹.

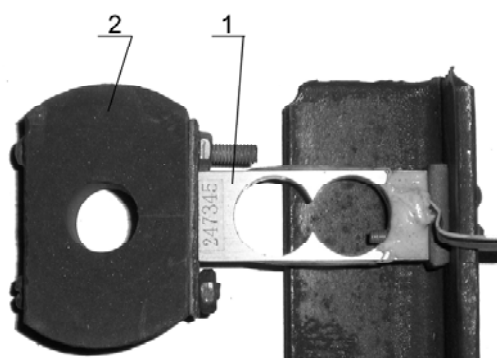


Рис. 2. Датчик KM 200K 10N (1) в сборе с державкой для цанги (2)

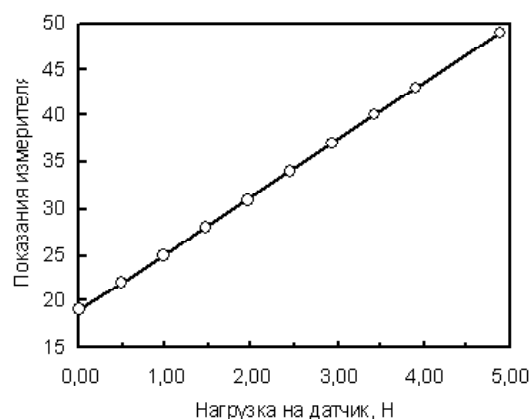


Рис. 3. Результат градуировки системы для измерения силы трения

Смонтирована кинематическая часть установки. Изготовлена новая державка для цанги с образцом (см. рис. 2), которая сопряжена с датчиком силы. Датчик силы в сборе с державкой жестко закреплен на суппорте станка таким образом, что отверстие державки находится над плоской поверхностью направляющей станины. При этом продольная ось датчика силы перпендикулярна направлению движения суппорта. Выполнен монтаж измерительной системы, включающей датчик KM 200K 10N, блок питания 12В, устройство измерения и записи сигнала от датчика.

В процессе скольжения образца по абразивной поверхности происходит периодическое считывание данных с датчика силы трения, измерение сигнала и запись результата в файл. Каждый результат измерения записывается вместе с показанием текущего системного времени компьютера, поэтому после проведения каждого эксперимента получают таблицу вида «системное время – показание измерителя». Фрагмент файла, полученного при скольжении ферритного образца по абразиву со скоростью 0,0018 мм/с представлен в табл. 1.

После окончания эксперимента данные из файла импортируются в приложение Microsoft Excel, где системное время переводится в относительное время испытаний, а показания измерителя – в силу трения с помощью градуировочной зависимости (см. рис. 3). Результат обработки также представлен в табл. 1.

На рис. 6.4 графически представлена зависимость силы трения от времени испытаний при скольжении образца железа по абразивной поверхности со скоростью 0,0018 мм/с.

В первый момент после включения установки сила, действующая на датчик, не увеличивается. На этом промежутке времени выбирается люфт в передачах, поэтому образец не испытывает усилий смещения.

На следующем этапе постепенно увеличивается усилие на образец, но срагивания еще не происходит, поскольку усилие недостаточно велико для преодоления силы трения покоя. Здесь сила, регистрируемая датчиком, непрерывно увеличивается.

В определенный момент происходит страгивание образца, при этом сила, регистрируемая датчиком, скачкообразно уменьшается. Этому соответствует первый локальный минимум на графике (см. рис. 4). В дальнейшем образец непрерывно скользит по абразивной поверхности, и датчик регистрирует силу трения скольжения.

Сила трения для других скоростей исследуемого диапазона определяется аналогично. Увеличение скорости скольжения образцов по абразивной поверхности достигается увеличением подачи суппорта на один оборот шпинделя и увеличением частоты вращения шпинделя.

Например, график силы трения при скорости скольжения образца железа 3,7 мм/с показан на рис. 5.

Видно, что при постоянной скорости скольжения значения силы трения изменяются в широком диапазоне. Это вполне естественно для абразивного изнашивания, поскольку суммарная сила сопротивления скольжению складывается из сил, которые возникают при взаимодействии отдельных зерен абразива с поверхностью трения. Когда вдавленное зерно только начинает пластическую деформацию поверхности трения, сила сопротивления движению минимальна. При дальнейшем перемещении сила увеличивается, аналогично случаю испытания материалов на разрыв. В момент, предшествующий разрушению микрообъема, сила достигает максимума и скачкообразно уменьшается сразу после разрушения и отделения микрообъема от основного металла.

Этот процесс особенно четко проявляется при минимальной скорости скольжения (см. рис. 4). Здесь нагружение микрообъемов происходит медленно, соответственно происходит медленное и практически непрерывное увеличение силы сопротивления движению. Моменты разрушения микрообъемов четко видны на графике, когда сила трения скачкообразно уменьшается от абсолютного максимума до абсолютного минимума за очень короткое время.

Таблица 1 – Результаты измерения силы трения скольжения образца железа по абразивной поверхности со скоростью 0,0018 мм/с

Системное время, с	Показания измерителя	Время эксперимента, с	Сила трения, Н	Примечание
69584,83	19	0,00	0,00	Период времени до включения установки
69585,05	19	0,22	0,00	
69585,27	19	0,44	0,00	
69585,49	19	0,66	0,00	
69585,71	19	0,88	0,00	
69782,89	24	198,06	0,82	Период увеличения силы, прикладываемой к образцу, до момента страгивания
69783,11	24	198,28	0,82	
69783,33	25	198,50	0,98	
69783,55	25	198,72	0,98	
69783,77	25	198,94	0,98	
70030,16	35	445,33	2,62	Период установившегося скольжения
70030,38	35	445,55	2,62	
70030,60	36	445,77	2,78	
70030,82	36	445,99	2,78	
70031,04	36	446,21	2,78	

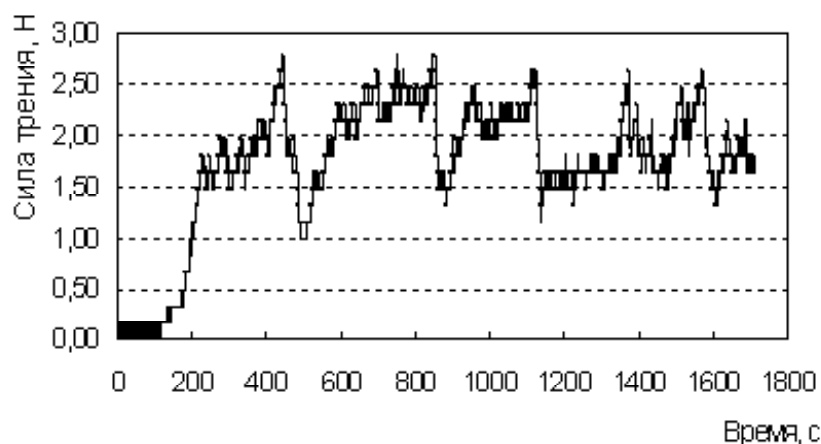


Рис. 4. Сила трения скольжения образца железа при скорости 0,0018 мм/с

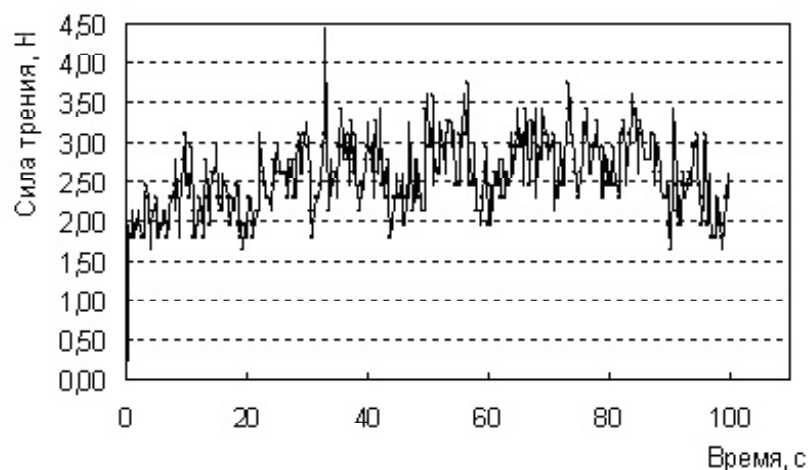


Рис. 5. Сила трення скользящего образца железа при скорости 3,7 мм/с

Тем не менее, несмотря на столь широкий диапазон колебания силы трения, можно проводить сравнение этой характеристики для различных скоростей скользящего по абразиву. Даже визуальное сопоставление графиков показывает существенное различие сил трения для различных скоростей (рис. 6).

Результатом измерения силы трения является множество дискретных значений. Поэтому можно построить распределение частоты для каждого из возможных значений силы трения в установленном диапазоне (рис. 7).

С использованием распределений частот определены математические ожидания силы трения для каждой из скоростей скользящего образцов железоуглеродистых сплавов различной структуры. Это позволяет определить зависимости силы трения от скорости скользящего для каждого структурного состояния.

Установлено, что для образцов железоуглеродистых сплавов в каждом из структурных состояний наблюдаются максимумы силы трения при скоростях скользящего до 5 мм/с. Например, на рис. 8 показана зависимость силы трения от скорости скользящего образцов со структурой феррита (железо) для разных диапазонов скорости.

Аналогичные зависимости получены для образцов со структурой мартенсита и аустенита. Совместное рассмотрение зависимостей для образцов в различном структурном состоянии позволяет сравнить величины сил трения и положение максимумов (рис. 9).

Скорость скользящего, при которой достигаются максимальные значения силы трения, для разных структур несколько различна. Тем не менее, результаты измерений позволяют утверждать, что при скоростях, меньших 0,2 мм/с, происходит монотонное снижение силы трения для всех типов структурного состояния железоуглеродистых сплавов. Поэтому устанавливать нижний предел диапазона скоростей скользящего при проведении основного объема испытаний на слишком малом уровне (0,001 мм/с) нецелесообразно. Вполне допустимо ограничить нижний предел значением 0,1 мм/с.

Таким образом, по результатам измерения силы трения образцов железоуглеродистых сплавов определен диапазон скоростей скользящего, который должна обеспечивать основная испытательная установка. Минимальная скорость должна составлять 0,1 мм/с. Максимальная не должна быть менее 86 мм/с, т.к. данная скорость является нижним пределом ранее исследованного скоростного диапазона.

Этим требованиям отвечает уже имеющаяся установка на базе токарного станка 1К62 (см. рис. 1) в комплекте с дополнительным одноступенчатым червячным редуктором. Однако с помощью этого редуктора можно снизить скорость скользящего лишь до 5 мм/с. Для уменьшения скорости скользящего до 0,1 мм/с предложено использовать двухступенчатый червячный редуктор с передаточным числом не менее 800. Таким образом, при использовании двухступенчатого редуктора обеспечивается диапазон скоростей 0,1–3,5 мм/с, а с помощью одноступенчатого – 5–86 мм/с, что позволит провести запланированный объем испытаний.

Изготовлен и смонтирован второй дополнительный привод установки (рис. 10).

Крутящий момент передается от электродвигателя 1 через двухступенчатый червячный редуктор 2 с передаточным числом 1250 на основной вал станка 3. Электродвигатель в сборе с редуктором (мотор-редуктор) крепится к станине станка 1К62 с помощью специального кронштейна. При эксплуатации установки с дополнительным приводом основной двигатель отключают. Фактическое передаточное число редуктора даже больше, чем планировали (1250 вместо 800), поэтому минимальная скорость скользящего образца по абразиву при испытаниях составляет 0,06 мм/с.

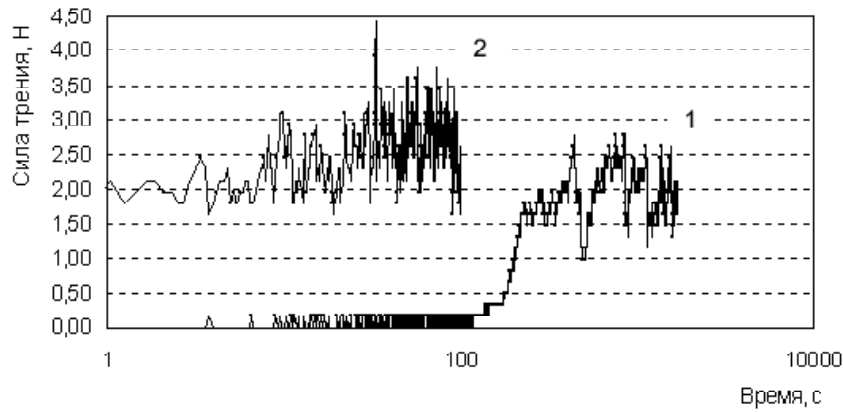


Рис. 6. Сила трения скольжения образца железа при скорости 0,0018 мм/с (1) и 3,7 мм/с (2)

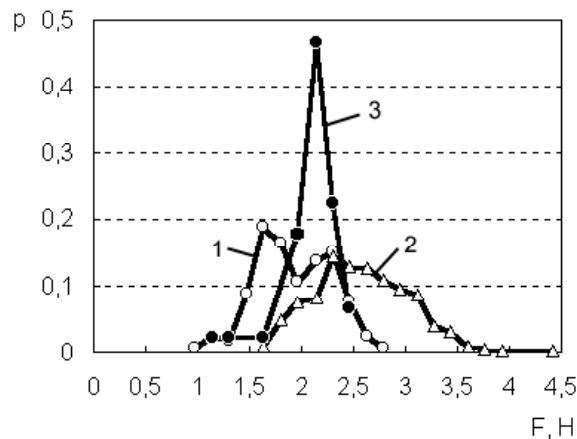


Рис. 7. Распределение частоты результата измерения силы трения при скорости скольжения образца железа 0,0018 мм/с (1), 3,7 мм/с (2) и 86 мм/с (3)

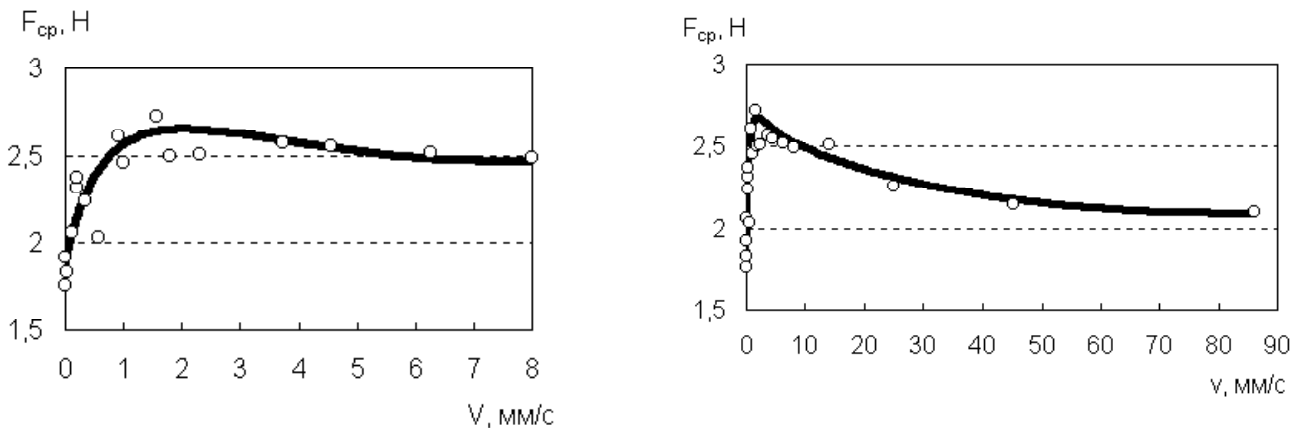


Рис. 8. Зависимость силы трения от скорости скольжения для образцов железа

Следует отметить, что второй дополнительный привод дает еще одну возможность снижения скорости скольжения. При минимальной частоте вращения шпинделя и минимальной подаче суппорта 0,07 мм/оборот линейная скорость движения суппорта составляет 10^{-5} мм/с. Несмотря на то, что испытания с такой малой скоростью не входят в задачи настоящей работы, эта возможность может быть использована в дальнейшем, например, при исследованиях взаимодействия одиночного индентора с металлической поверхностью.

При проведении испытаний образцов при малой скорости скольжения по абразиву необходим способ определения интенсивности их изнашивания, который обладает требуемой точностью и, в то же время, позволяет свести к возможному минимуму время эксперимента. Известный способ определения интенсивности изнашивания образца по потере массы является наиболее надежным, но минимально допустимый износ в нашем случае слишком велик (5,0 мг).

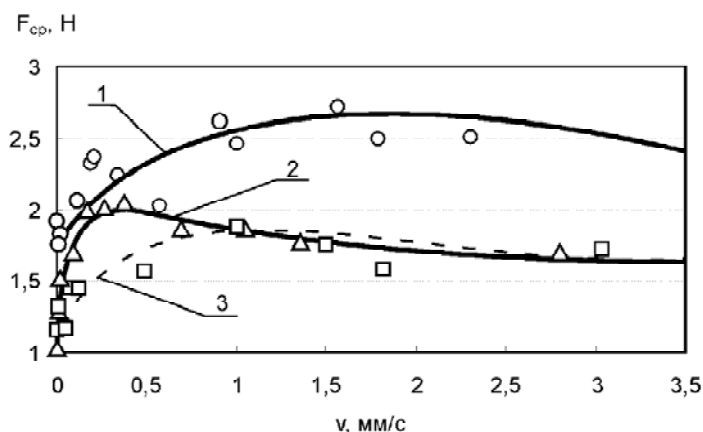


Рис. 9. Область максимума зависимостей силы трения от скорости скольжения по абразивной поверхности образцов железо-углеродистых сплавов в различном структурном состоянии: 1 – феррит; 2 – мартенсит; 3 – аустенит

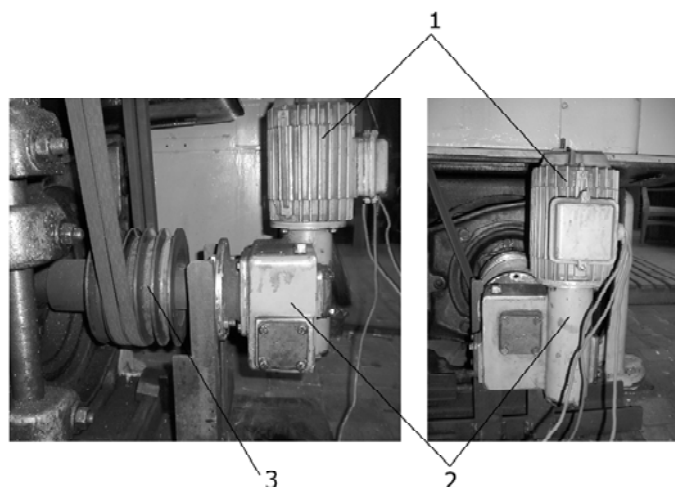


Рис. 10. Дополнительный привод испытательной установки: 1 – электродвигатель; 2 – редуктор; 3 – входной вал

Известны косвенные способы оценки интенсивности изнашивания металлических материалов с помощью анализа акустических сигналов [6], измерения профиля поверхности трения до и после изнашивания [7], а также по изменению размеров следа от индентора на изнашиваемой поверхности [8].

Акустический метод крайне ненадежен и требует специальной аппаратуры. Поэтому время, которое необходимо затратить на отработку применения этого метода, может значительно превышать время, «экономленное» с его помощью.

Метод измерения профиля позволяет достаточно точно определять изношенный объем небольшой величины, однако требует наличия на образце неизношенного участка, что в нашем случае обеспечить невозможно.

Единственным потенциально приемлемым способом определения интенсивности изнашивания образцов остается определение износа по изменению размеров следа от индентора на поверхности трения. Теоретически этим способом можно определять измерение линейного размера образца порядка 1 мкм.

На поверхность трения образца, полученную после скольжения по абразивной поверхности нанесли отпечаток алмазной пирамидой (твердомер Виккерса). Несмотря на грубую шероховатость поверхности, контуры отпечатка были четко видны, и можно измерить его диагональ при помощи оптической системы твердомера. Далее этот образец истирали на небольшом участке пути трения с таким расчетом, чтобы износ образца был менее глубины отпечатка. Предполагалось измерить износ образца по изменению размера отпечатка после изнашивания.

Анализ поверхности образца после изнашивания с отпечатком показал, что достоверно определить размер оставшегося отпечатка невозможно. Если сразу после нанесения отпечатка его контур был четко виден, то даже после непродолжительного скольжения по абразиву контур был сильно искажен бороздами и наплывами металла, образованными в процессе его пластической деформации абразивными зернами.

Таким образом, метод определения износа образца по изменению размеров отпечатка в нашем случае неприемлем. Поэтому при проведении испытаний интенсивность изнашивания образцов следует определять по потере массы, несмотря на достаточно длительное время, которое при низких скоростях скольжения необходимо для достижения износа, подлежащего измерению.

При испытаниях на абразивное изнашивание обязательным является использование образца эталонного материала, чтобы избежать влияния непостоянства свойств абразивной поверхности. Как правило, эталон испытывают в тех же условиях, что и исследуемые образцы.

Такой способ корректен при исследовании влияния свойств материалов на их износ при постоянных условиях изнашивания. Если же проводят исследования влияния на износ самих условий изнашивания, то изменять условия изнашивания эталона нельзя. В противном случае невозможно будет определить влияние условий изнашивания на износ самого эталонного материала.

Другими словами, при исследовании влияния свойств материалов на износ в качестве эталона используют некоторый материал с постоянными свойствами. При исследовании влияния условий трения на износ необходимо дополнительно выбрать некоторый эталонный режим изнашивания, т.е. «эталонном» единичного износа служит износ эталонного материала при эталонном режиме изнашивания.

Для испытания в диапазоне скоростей 0,1–3,5 мм/с в качестве привода использован двухступенчатый червячный мотор-редуктор (см. рис. 10). Испытания в диапазоне 5–86 мм/с проводятся с другим приводом – электродвигатель и одноступенчатый червячный редуктор. При этом смена привода установки – достаточно длительная процедура. На одном листе абразивного полотна необходимо проводить испытания как на эталонной скорости, так и на некоторой произвольной, при этом не переключая приводы установки. Поэтому единственным вариантом эталонной скорости является скорость на уровне 3,5–5,0 мм/с, поскольку такую скорость можно обеспечить при проведении испытаний с любым из приводов.

В соответствии с приведенными рассуждениями испытания железоуглеродистых сплавов на абразивное изнашивание при различной скорости скольжения по абразиву следует проводить следующим образом. При испытаниях в диапазоне скоростей от 0,1–3,5 мм/с на одном листе абразивного полотна истирается эталонный образец железа на скорости 3,5 мм/с и испытуемый образец при некоторой скорости из исследуемого диапазона. При испытаниях в диапазоне скоростей 5–86 мм/с на одном листе абразивного полотна истирается эталонный образец железа на скорости 5 мм/с и испытуемый образец при некоторой скорости из исследуемого диапазона.

Таким образом, за единичный износ принимается износ образца железа при скорости скольжения 3,5 мм/с или 5,0 мм/с. Результат единичного испытания представляют в виде относительного износа, который представляет собой отношение массового износа образца к массовому износу эталона. При этом эталон и образец проходят одинаковый путь трения, соответствующий 100 оборотам барабана. Для определения величины относительного износа образца на данной скорости скольжения проводят два идентичных опыта, определяют два единичных значения относительного износа и вычисляют среднее. При этом последовательность испытания эталона и образца чередуют.

Выводы

В диапазоне скоростей 0,001–86 мм/с определены зависимости силы трения для образцов железоуглеродистых сплавов. Показано, что для каждого типа структурного состояния металлической основы наблюдается экстремум силы трения при определенной скорости скольжения. Для разных структурных состояний эта скорость различна, но при скоростях, меньших 0,2 мм/с, происходит монотонное снижение силы трения для всех образцов.

Список литературы

1. Брыков М. Н. Износостойкость сталей и чугунов при абразивном изнашивании : Научное издание / М. Н. Брыков, В. Г. Ефременко, А. В. Ефременко. – Херсон : Гринь Д.С., 2014. – 364 с.
2. Брыков М. Н. Оптимальная схема стандартных испытаний металлических материалов на изнашивание закрепленным абразивом / М. Н. Брыков // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2003. – № 1. – С. 86–89.
3. Брыков М. Н. Метод испытаний металлических материалов на изнашивание при различной скорости скольжения по абразиву / М. Н. Брыков // Problems of Tribology. – 2003. – № 2. – С. 108–111.
4. Брыков М. Н. Абразивное изнашивание железоуглеродистых сплавов при повышенных температурах / М. Н. Брыков // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2004. – № 2. – С. 31–34.
5. Брыков М. Н. Определение допустимой скорости скольжения образцов по абразиву при стандартных испытаниях на изнашивание / М. Н. Брыков // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2000. – № 1. – С. 39–41.
6. Фадин Ю. А. Оценка потери массы при абразивном изнашивании по данным акустической эмиссии / Ю. А. Фадин, Ю. П. Козырев, В. П. Булатов // Трение и износ. – 1999. – Т. 20. – № 2. – С. 193–196.
7. Cho Y. - J. Surface profile estimation by digital filtering for wear volume calculation / Y. - J. Cho, Y. - P. Koo, J. - H. Jeon // Wear. – 2002. – Vol. 252. – № 3–4. – P. 173–178.
8. Dong-Yoon Chung. A study on the precision wear measurement for a high friction and high pressurized gun barrel by using a diamond indenter / Dong-Yoon Chung, Hosung Kong, Suk-Hyun Nam // Wear. – 1999. – Vol. 225–229. – № 2. – P. 1258–1263.

Одержано 10.03.2015

© Д-р техн. наук М. Н. Брыков

Запорожский национальный технический университет, г. Запорожье

Brykov M. Development of method for testing metallic materials at low velocities of sliding against abrasive surface