

НАДЕЖНОСТЬ И ДОЛГОВЕЧНОСТЬ МЕТАЛЛУРГИЧЕСКОГО ОБОРУДОВАНИЯ

УДК 621.178.1.05

В.В. Бахметьев, В.М. Колокольцев, А.С. Савинов, П.С. Лимарев

РАСЧЕТ ЭНЕРГОСИЛОВЫХ ПАРАМЕТРОВ УСТАНОВКИ ДЛЯ ИСПЫТАНИЯ МЕТАЛЛОВ И СПЛАВОВ НА УДАРНО-АБРАЗИВНЫЙ ИЗНОС

История развития различных отраслей машиностроения показывает, что в большинстве случаев основной причиной снижения долговечности деталей машин, механизмов и инструмента является изнашивание. В результате изнашивания сокращается эффективное время их работы и расходуются огромные средства на ремонт, восстановление и замену изношенных деталей. Конечная цель изучения изнашивания – повышение износостойкости и продление срока службы машин и инструмента.

Различие условий, в которых работают пары трения при эксплуатации машин, обуславливает, в свою очередь, проявление принципиально различных видов изнашивания.

Наиболее интересным видом с точки зрения исследования является ударно-абразивное изнашивание. Оно происходит при ударе по твердым частицам, способным поражать поверхность контактирования путем образования на ней лунок – следов прямого динамического внедрения этих частиц. Качественным признаком ударно-абразивного изнашивания является специфическая по-

верхность, представляющая собой сочетание лунок, разделенных перемычками. На поверхности, подверженной ударно-абразивному изнашиванию, нет направленной шероховатости в виде рисок, а следовательно, нет относительного перемещения твердых частиц вдоль этой поверхности.

В процессе работы ударно-абразивному изнашиванию подвергаются инструменты, работающие в нефтяной и горной промышленности, машиностроении, строительстве. Процесс изнашивания происходит при соударении инструмента непосредственно с абразивом в виде горной породы, грунта, массы песка или металлической поверхностью другой детали, на которой имеется абразив в месте контакта.

В механизме ударно-абразивного изнашивания проявляется малоцикловая усталость микрообъемов металла, вызванная повторным приложением динамической нагрузки при упругом и упругопластичном контактах. В основе механизма изнашивания лежат прямое динамическое внедрение в металл твердой частицы и связанная с ним деформация, завершающаяся разрушением микрообъемов металла и образованием частиц износа. Твердая частица, внедряясь в поверхность изнашивания, стремится сдвинуть металл перемычек путем повторного деформирования или хрупкого изнашивания в зависимости от его твердости. В таких условиях взаимодействия твердой частицы с поверхностью изнашивания срез становится ведущим процессом образования частиц износа, а сопротивление срезу или отрыву – основным критерием износостойкости.

Для оценки рассматриваемого вида изнашивания была спроектирована установка, представленная на **рис. 1**. При ее создании учитывалась методическая необходимость в максимальном приближении характера нагружения испытуемых образцов к реальным условиям работы деталей машин.

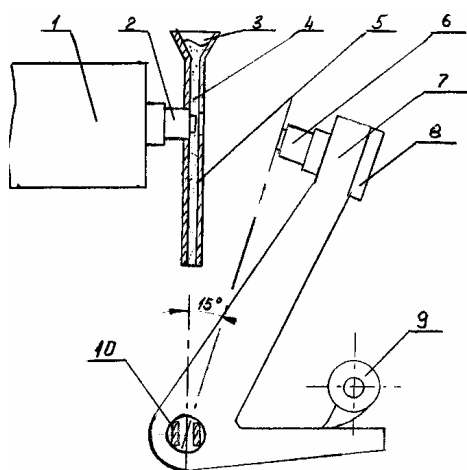


Рис. 1. Схема испытательной установки

Установка работает по принципу принудительного многократного соударения образца с контробразцом, между поверхностями которых в момент соударения подается слой абразива из дозирующего устройства.

Ударный механизм содержит приспособления для крепления образца 1 и грузов 2, с помощью которых регулируют скорость удара образца 1 о сменный вкладыш 3 наковальни 4 с погрешностью не более 2,5%, а также устройство, содержащее сменные торсионы 5, обеспечивающие задание энергии удара с погрешностью не более 2,5% при закручивании торсиона на угол не менее 15°, и ударник 6 с заданным моментом инерции относительно оси. Угол наклона ударника на заданный угол обеспечивается при помощи кулачка 7.

Привод должен обеспечивать частоту соударений образца 1 и сменного вкладыша 3 наковальни 4 в количестве 100 мин⁻¹ с погрешностью поддержания заданной частоты не более 1 мин⁻¹.

Бункер 8 с направляющим каналом 9 предназначен для подачи потока частиц абразивного материала 10 в зону соударения. Неподвижная наковальня должна иметь массу не менее 50 кг. Сменный вкладыш, устанавливаемый в наковальне, выполняют из стали 45 по ГОСТ 1050-74 твердостью HV 640–675 (закалка 840°С в воде, температура отпуска 100°С).

Эталонные образцы выполняют из стали 45Л по ГОСТ 1050-74 с твердостью HV=598–622 (закалка 840°С в воде, температура отпуска 200°С).

Сменные вкладыши наковальни и образцы из эталонного и испытываемого материалов изготавливают по 3-му классу точности.

Непараллельность закрепленных в установке и взаимно прижатых рабочих поверхностей сменного вкладыша наковальни и испытываемого образца – не более 0,05 мм.

Абразивный материал – карбид кремния черный по ГОСТ 3647-71, зернистостью 0,03 мм и с относительным содержанием влаги не более

0,15% по массе используют для общей сравнительной оценки износостойкости материалов при стандартных режимах испытаний.

Для оценки износостойкости применительно к конкретным условиям изнашивания допускается использовать абразивный материал, соответствующий воздействию материалу при эксплуатации изделия.

Износ образцов определяют взвешиванием их с погрешностью не более 0,0002 г до и после испытаний. Потеря массы образца вследствие износа при испытаниях должна составлять не менее 0,005 г.

Для промывки образцов перед испытаниями и взвешиванием используют бензин или ацетон по ГОСТ 2768-79.

В пределах одной серии испытаний технология изготовления образцов должна быть одинаковой.

При общей сравнительной оценке износостойкости материала проведение эксперимента регламентируется следующими параметрами ГОСТ 23.207-79 «Метод испытаний машиностроительных материалов на ударно-абразивное изнашивание»:

энергия удара $E_{уд}$	4,9 Дж;
скорость бойка в момент соударения V	1 м/с;
частота соударений n	100 мин ⁻¹ .

При этом энергия удара $E_{уд}$ напрямую зависит от потенциальной энергии бойка, получаемой при скручивании торсионной пружины установки.

Так как крутящий момент и жесткость стержня не меняются по длине пружины, то потенциальную энергию торсиона при кручении можно найти из следующей формулы [1]:

$$U_{пруж} = \frac{M_{кр}^2 L}{2GI_p}, \quad (1)$$

где $M_{кр}$ – внутренний сосредоточенный момент, возникающий при скручивании торсиона, кН·м; L – длина торсиона, м; G – модуль сдвига, коэффициент, учитывающий сопротивление материала деформации при кручении, МПа; I_p – полярный момент инерции, м⁴.

Торсионная пружина может рассматриваться как балка с заземленным концом (рис. 2), поэтому внутренний момент $M_{кр}$, исходя из метода сечений [2], будет распределен равномерно по всей длине пружины и численно равен внешнему $M_{внеш}$.

Учитывая, что боек под действием силы P переместится на абсолютный угол закручивания φ , а длина бойка a , то внешний момент будет равен [1]

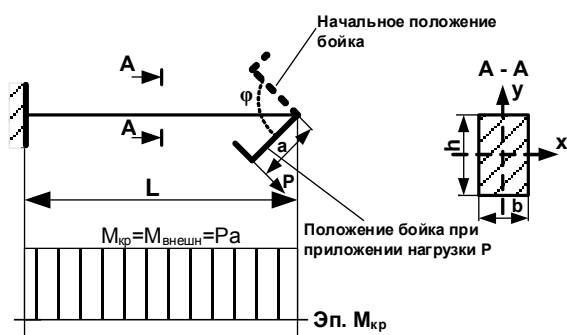


Рис. 2. Расчетная схема нагружения бойка ударно-абразивной установки

$$M_{\text{внешн}} = Pa. \quad (2)$$

Полярный момент инерции торсиона, имеющего в поперечном сечении форму прямоугольника высотой h и шириной основания b (см. рис. 2), можно рассчитать по формуле [1]

$$I_p = I_x + I_y, \quad (3)$$

где I_x и I_y – осевые моменты инерции относительно центральных осей x и y соответственно, м^4 .

В данном случае осевые моменты инерции находятся по формуле [3]

$$I_x = \frac{bh^3}{12}; \quad (4)$$

$$I_y = \frac{hb^3}{12}. \quad (5)$$

Иногда при проектировании установки значение модуля сдвига G не совпадает со справочными данными. В этом случае значение модуля сдвига необходимо проверить по следующей формуле [2]:

$$G = \frac{M_{\text{внешн}}L}{\varphi \cdot I_p}, \quad (6)$$

где φ – абсолютный угол закручивания (см. рис. 2), рад.

Полная энергия бойка, полученная при приложении к нему усилия P , состоит из потенциальной энергии скрученной пружины $U_{\text{пруж}}$ и потенциальной энергии плеча a . При ударе данная энергия переходит в потенциальную энергию сжатия образца, отбойника и энергию, затраченную на пластическую деформацию. При этом полная энергия бойка в момент удара есть регламентированный параметр энергии $E_{\text{уд}}$, (Дж).

То есть

$$E_{\text{уд}} = U_{\text{пруж}} + U_{\text{изг}}^{\text{бойка}} = U_{\text{деф}}^{\text{обр}} + U_{\text{деф}}^{\text{отб}} + U_{\text{пл.деф}}, \quad (7)$$

где $E_{\text{уд}}$ – регламентированная ГОСТ 3.207-79 энергия удара бойка; $U_{\text{изг}}^{\text{бойка}}$ – потенциальная энергия при изгибе плеча бойка; $U_{\text{деф}}^{\text{обр}}$ – потенциальная энергия при деформации образца; $U_{\text{деф}}^{\text{отб}}$ – потенциальная энергия при деформации отбойника; $U_{\text{пл.деф}}$ – энергия, затраченная на пластическую деформацию.

Вследствие того, что крутильная жесткость пружины GI_p много меньше жесткости плеча бойка при изгибе EI , потенциальной энергией изгиба плеча бойка можно пренебречь.

Так как величина энергии, затраченной на пластическую деформацию, мала по сравнению с потенциальной энергией системы «боек-отбойник», то данную потерю энергии можно приравнять к нулю. Исходя из данных допущений формула (7) примет вид:

$$E_{\text{уд}} = U_{\text{пруж}} = U_{\text{деф}}^{\text{обр}} + U_{\text{деф}}^{\text{отб}}. \quad (8)$$

При соударении отбойника и бойка сила воздействия на образец меняется от максимального значения F_{max} в момент соприкосновения с отбойником до нулевого $F_0=0$ в момент получения образцом максимальной потенциальной энергии деформации $U_{\text{деф}}^{\text{обр}}$, откуда среднее значение воздействия усилия на образец равно

$$F_{\text{cp}} = \frac{F_{\text{max}} + F_0}{2} = \frac{F_{\text{max}}}{2}, \quad (9)$$

где F_{cp} – среднее усилие воздействия на образец, Н; F_{max} – максимальное усилие на образец, Н; F_0 – усилие при получении системой «боек-отбойник» максимальной потенциальной энергии, Н.

Так как силы, воздействующие на боек и отбойник, равны между собой, то полную деформацию системы «боек-отбойник» найдем по формуле [2]

$$\Delta l_{\text{сист}} = \frac{F_{\text{cp}}L_{\text{обр}}}{E_{\text{обр}}S_{\text{обр}}} + \frac{F_{\text{cp}}L_{\text{отб}}}{E_{\text{отб}}S_{\text{отб}}}, \quad (10)$$

где $\Delta l_{\text{сист}}$ – полная деформация системы при сжатии, м; $L_{\text{обр}}$, $L_{\text{отб}}$ – соответственно длина образца и отбойника от свободного конца до места заземления, м; $E_{\text{обр}}$, $E_{\text{отб}}$ – соответственно модуль упругости образца и отбойника, МПа; $S_{\text{обр}}$, $S_{\text{отб}}$ – соответственно площадь поперечного сечения образца и отбойника, м^2 .

Учитывая, что энергия торсионной пружины полностью переходит в работу, выполненную при деформации системы, а направление вектора усилия удара бойка совпадает с направлением перемещения деформации образца, то работу, выполненную бойком при сжатии стержня, найдем по формуле [4]

$$A_{\text{уд}} = F_{\text{cp}} \cdot \Delta l_{\text{сист}} = U_{\text{пруж}}, \quad (11)$$

где $A_{\text{уд}}$ – работа, выполненная бойком при ударе, Дж.

Откуда

$$\Delta l_{\text{сист}} = \frac{U_{\text{пруж}}}{F_{\text{cp}}}. \quad (12)$$

Приравняв выражение (10) и (12), нетрудно найти результирующую силу удара бойка:

$$F_{cp} = \sqrt{U_{пруж} \left(\frac{L_{обр}}{E_{обр} S_{обр}} + \frac{L_{отб}}{E_{отб} S_{отб}} \right)^{-1}} \quad (13)$$

Полная энергия системы складывается из потенциальной энергии сжатия образца и отбойника (8):

$$U_{пот}^{сист} = U_{деф}^{обр} + U_{деф}^{отб} \quad (14)$$

где $U_{пот}^{сист}$ – полная энергия системы «боек–отбойник», Дж.

При условии, что удар приходится в центре тяжести поперечного сечения стержня, потенциальную энергию деформации при сжатии образца и отбойника можно рассчитать по формулам [2]:

$$U_{деф}^{обр} = \frac{\Delta l_{обр} \cdot E_{обр} \cdot S_{обр}}{2L_{обр}} \quad (15)$$

$$U_{деф}^{отб} = \frac{\Delta l_{отб} \cdot E_{отб} \cdot S_{отб}}{2L_{отб}} \quad (16)$$

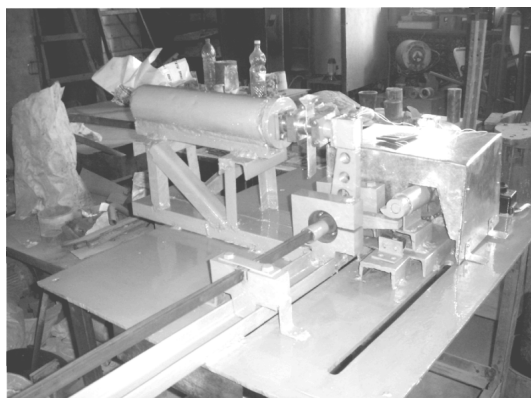


Рис. 3. Установка для определения ударно-абразивной износостойкости металлов и сплавов

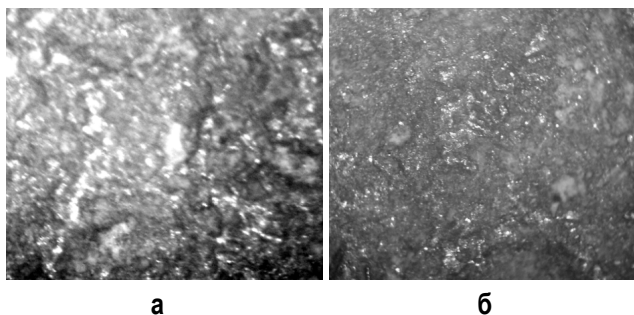


Рис. 4. Фотографии поверхности разрушения стальных образцов после испытаний магнетитом (а) и кварцевым песком (б)

где $\Delta l_{обр}$, $\Delta l_{отб}$ – абсолютное уменьшение длины образца и отбойника при ударе соответственно, м.

Искомые деформации рассчитаем по формулам [1]:

$$\Delta l_{обр} = \frac{F_{cp} L_{обр}}{E_{обр} S_{обр}} \quad (17)$$

$$\Delta l_{отб} = \frac{F_{cp} L_{отб}}{E_{отб} S_{отб}} \quad (18)$$

Подставив значения, полученные по формулам (15)–(18), в формулу (14), найдем $U_{пот}^{сист}$.

Полная потенциальная энергия сжатия системы равна кинетической энергии бойка в момент удара

$$U_{пот}^{сист} = U_{кин}^{бойка} \quad (19)$$

где $U_{кин}^{бойка}$ – кинетическая энергия бойка, Дж.

Следовательно [4],

$$U_{пот}^{сист} = \frac{m_{бойка} v_{бойка}^2}{2} \quad (20)$$

где $m_{бойка}$ – масса бойка, кг; $v_{бойка}$ – скорость бойка в момент удара, м/с.

Из формулы (20) нетрудно рассчитать скорость бойка и сравнить ее с регламентированной.

$$v_{бойка} = \sqrt{\frac{2U_{пот}^{сист}}{m_{бойка}}} \quad (21)$$

Все полученные расчеты позволяют выбрать необходимые параметры проектируемой установки, что дает возможность проводить испытания образцов с хорошей достоверностью.

На основе представленных расчетов спроектирована и изготовлена установка, общий вид которой приведен на рис. 3.

На изготовленной установке проведены испытания образцов из литейных сталей на ударно-абразивный износ при воздействии двух различных абразивов – магнетита и кварцевого песка. Полученные результаты представлены в таблице, а фотографии поверхности разрушения – на рис. 4.

Полученные результаты подтвердили правильность вышеизложенных расчетов и возможность использования установки для получения достоверных результатов испытаний.

Проведенные испытания показали, что наиболее высокую ударно-абразивную износостойкость имеет сплав следующего химического состава: С=0,5, Мп=14, Тi=0,15, Nb=0,2, В=0,006.

Результаты испытаний стали на ударно-абразивный износ

Химический состав*	Ки, уд**		HRC	
	Маг-не-зит	Кварцевый песок	до испыт-аний	после испыт-аний
C=0,9, Mn=14, Ti=0,05, Nb=0,4, B=0,006	2	1,72	17	20
C=0,5, Mn=18, Ti=0,05, Nb=0,2, B=0,006	1,63	1,42	15	18
C=0,9, Mn=18, Ti=0,05, Nb=0,2, B=0,003	1,81	1,54	19	23
C=0,5, Mn=14, Ti=0,15, Nb=0,2, B=0,006	2,3	1,99	22	25
C=0,9, Mn=14, Ti=0,15, Nb=0,2, B=0,003	1,77	1,61	18	21
C=0,5, Mn=18, Ti=0,15, Nb=0,4, B=0,003	1,83	1,76	17	19

* Также сплавы содержали Si до 0,5%, S до 0,006%, P до 0,04%

** Коэффициент износостойкости сплавов при ударно-абразивном износе

Изучение поверхности разрушения образцов позволяет сделать вывод, что на формирование ее рельефа большое влияние оказывает твердость

абразивного материала. Рельеф поверхности разрушения при воздействии магнетита характеризуется глубокими лунками, что обусловлено более глубоким проникновением частиц. При использовании в качестве абразива кварцевого песка рельеф поверхности разрушения представляет собой совокупность мелких неглубоких лунок. Такой вид рельефа характерен для стальных образцов, изношенных в присутствии абразивных материалов, незначительно превышающих по твердости материал образцов. Недостаточная твердость абразивного материала не позволяет ему глубоко внедряться в поверхность, и по этой причине величина износа незначительна.

Библиографический список

1. Дарков А.В., Широ Г.С. Сопротивление материалов. М.: Высш. шк., 1975. 654 с.
2. Степин П.А. Сопротивление материалов. М.: Интеграл-Пресс, 1997. 320 с.
3. Беляев Н.М. Сопротивление материалов. М.: Гостехиздат, 1960. 376 с.
4. Олофинская В. П. Техническая механика. М.: Форум-Инфра-М, 2005. 349 с.

УДК 621.771

В.Ф. Дьяченко, Ю.В. Жиркин, С.И. Платов, Е.И. Мироненков

ПОВЫШЕНИЕ РЕСУРСА ПОДШИПНИКОВЫХ УЗЛОВ РАБОЧИХ ВАЛКОВ СТАНА 2000 ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ОАО «ММК»

В условиях рыночной экономики для достижения высокой эффективности листовой прокатки особое значение приобретают проблемы обеспечения экономически целесообразного уровня надежности оборудования.

Среди путей решения указанной проблемы важное место занимает эффективная работоспособность подшипниковых узлов рабочих валков станов горячей прокатки.

В чистой группе клетей № 7–13 стана 2000 горячей прокатки для смазывания подшипниковых узлов рабочих валков применяется минеральное масло Mobil Vascoline 146, класс вязкости 460. Доставка смазочного материала в узлы трения осуществляется автоматизированными системами смазывания «масло-воздух».

От эффективности уплотнительных устройств зависят свойства смазочных материалов, которые, в свою очередь, являются одним из главных факторов, определяющих ресурс подшипниковых узлов рабочих валков. При проведении исследования эффективности уплотнительных устройств важно выяснить характер изменений свойств сма-

зочных материалов, находящихся непосредственно в подшипниковом узле. Мониторинг свойств минерального масла, используемого в подушках рабочих валков, проводился с 2005 по 2006 год.

С этой целью брали пробы масла (исходного, после фильтрации, после смешивания с воздухом) из всех четырех подшипниковых узлов рабочих валков для всех клетей чистой группы стана и выполняли соответствующие испытания.

При испытаниях определяли: вязкость минерального масла, содержание воды, кислотное число, количество механических примесей.

Результаты испытаний показали следующее: во всех подушках рабочих валков отработанное масло содержит воду, что свидетельствует о недостаточной эффективности уплотнительных устройств.

Наряду с содержанием воды в масле находятся и механические примеси, причем их количество возрастает при переходе от 7 к 13 клетки.

Таким образом, характер нарастания количества механических примесей коррелируется с возрастанием частоты вращения валков.