

УДК 621.785.5

*к.т.н. Вишнеvский Д. А.,
к.т.н. Петров П. А.,
д.т.н. Харламов Ю. А.,
Подгорный В. Ю.
(ДонГТИ, г. Алчевск, ЛНР)*

КЛАССИФИКАЦИЯ ДЕТАЛЕЙ МАШИН ПО УСЛОВИЯМ ИЗНАШИВАНИЯ

В статье разработана классификация деталей машин в зависимости от условий трения сопрягаемых поверхностей, приведены примеры деталей и узлов для каждой группы и подгруппы. Представлены схемы распределения износов поверхностей трения.

Ключевые слова: детали машин, условия изнашивания, трибология, восстановление деталей.

Введение. Ремонтные комплексы металлургических предприятий являются одними из важнейших служб, обеспечивающих поддержание оборудования в работоспособном состоянии, своевременную замену, восстановление или ремонт изношенных деталей. Во многих случаях обеспечение надлежащего уровня эксплуатационных свойств деталей технологического оборудования основных цехов, а соответственно, снижение простоев, увеличение объемов выпуска и улучшения качества продукции обуславливают также необходимость применения упрочняющих технологий (методов инженерии поверхности).

Основными причинами выхода из строя деталей машин металлургического комплекса (ММК) являются как поломки, так и износы. Изнашиваемые детали машин отличаются по большому количеству конструктивно-технологических признаков: функциональному назначению; основному материалу и материалу поверхностных слоев; способам получения заготовок; геометрической форме, массе и размерам; точности; технологичности конструкций и пр. Номенклатура таких деталей весьма обширна, в том числе она охватывает машины агломерационного производства, доменных, сталеплавильных и прокатных цехов. Детали и узлы металлургического оборудования подвергаются различным видам изнашивания (механического, термического, усталостно-

го, коррозионного, эрозийного, химического и молекулярного). Воздействия, вызывающие износ, влекут за собой образование дефектов. При этом условия эксплуатации определяют различные доминирующие виды изнашивания, типичные для тех или иных деталей: изменение размеров и формы поверхностей; появление царапин, рисок и задиров на сопрягаемых поверхностях; появление трещин; смятие и выкрошивание рабочих поверхностей; износ и разрушение резьб и многие другие [1–4].

При проектировании новых и совершенствовании существующих конструкций машин недостаточное внимание уделяется учету трибологических факторов. Трение и износ оказывают решающее влияние на работоспособность деталей машин и их сопряжений. Однако современная наука не обеспечивает конструкторов достаточными сведениями по расчету деталей на износ. Методы физического и математического моделирования процессов изнашивания разработаны главным образом для ряда типовых деталей и узлов трения. Более широко применяют экспериментальное моделирование трения и изнашивания. Совершенствование узлов трения требует больших затрат и проведения многоступенчатых научно-исследовательских и опытно-конструкторских работ.

В последние годы большое внимание уделяется созданию научно-методических

баз данных технологического обеспечения эксплуатационных свойств восстанавливаемых деталей [5–7]. В известных работах систематизация результатов производственного опыта и научных исследований по изнашиванию деталей оборудования выполняется по типам деталей и физическим механизмам их износа. При этом не учитывается неравномерность изнашивания поверхностей деталей вследствие неравномерного распределения удельных давлений и скоростей относительного скольжения, различающихся условий смазывания, интенсивности поступления в зону трения абразивов и агрессивной среды, организации удаления частиц изнашивания и других условий в контакте деталей. Это чрезмерно затрудняет создание и совершенствование баз данных и практическое их использование при технологической подготовке восстановления деталей, внедрение новых эффективных технологий для их восстановления и упрочнения.

Процессы трения и изнашивания в значительной мере зависят от конструктивного оформления узлов и деталей, выбранных конструкционных материалов и технологии упрочнения, а также эксплуатационных условий.

Проектирование оптимальных и совершенствование существующих конструкций изнашиваемых деталей и узлов, регламентирование режимов их эксплуатации, прогнозирование ресурса и технического состояния во времени невозможны без проведения соответствующих расчетов. Многообразие конструкций и условий их эксплуатации требует классификации деталей и узлов трения по типовым группам и создания соответствующих им моделей расчета на износ.

Целью данной статьи является систематизация деталей машин и их сопряжений по условиям изнашивания и разработка принципов их классификации.

Результаты исследования. Износ деталей и их сопряжения является геометрическим критерием потери их начальных пока-

зателей и выходных параметров, влияющих на надежность машин и механизмов. Актуальным направлением развития технологии ремонтного производства является создание информационных моделей, способствующих разработке рациональных технологических процессов восстановления деталей и обеспечению эксплуатационной технологичности конструкций с учетом условий их эксплуатации, характера отказов и закономерностей износа. Трибология как наука о трении и изнашивании изучает процессы, протекающие на локальных участках поверхностей на микроуровне. На этом уровне осуществляется моделирование трибологических явлений с целью выявления физических механизмов изнашивания для ограниченных сочетаний пар материалов и условий трения [8]. Широкое применение находят стендовые и эксплуатационные детали и узлы трения, а также развиваются методы математического моделирования. Тем не менее, в настоящее время отсутствуют достаточно надежные модели даже для расчета на износ типовых деталей машин. Модели процессов трения и изнашивания относятся к сложным неоднородным [9], различные части которых имеют описание с позиций механики, теплофизики, химии, теории контактного взаимодействия и пр. При моделировании, кроме учета режимов работы пар трения, физико-механических свойств материалов, конструктивных особенностей узлов и деталей и других факторов, важную роль играют как микро-, так и макрогеометрия поверхностей контакта, рациональное использование искусственных технологических баз. Для развития и совершенствования методов расчета и оценки износа основных видов изнашивающихся деталей и узлов машин металлургического комплекса необходима их систематизация и классификация по условиям изнашивания. В работе [8] предложено рассматривать две разновидности сопряжений деталей машин в зависимости от характера изменения их взаимного положения по мере изнашивания: 1) сопряжения с условием касания сопрягаемых по-

верхностей, когда при сближении вследствие изнашивания сохраняется их полный контакт; 2) сопряжения с самоустановкой сопрягаемых деталей, направление их сближения не задано. Однако этот подход не учитывает ряд других возможных условий изнашивания деталей и их сопряжений.

Сопряжения поверхностно упрочняемых и восстанавливаемых деталей по условиям изнашивания их контактирующих поверхностей можно разделить на 11 групп (табл. 1), из которых первые четыре группы относятся к подвижным сопряжениям деталей машин. Профессором Прониковым А. С. [11] предложено подразделять их по характеру взаимного сближения деталей сопряжения на две подгруппы: А — с постоянными условиями контакта; Б — с переменными условиями контакта. В сопряжениях типа Б происходит самоустановка изношенных деталей и износ больше сказывается на функциональных свойствах сопряжения.

Для сопряжений 1-й группы характерны одинаковые условия изнашивания для точек поверхностей, расположенных на одной траектории. Интенсивность и продолжительность изнашивания и износ на окружности определенного радиуса каждой из поверхностей будет одинаковой. Одна-

ко при наличии дополнительных факторов, связанных с конструктивными особенностями (организация теплоотвода и подачи смазки, удаления частиц износа из зоны трения и др.), режимами эксплуатации, внешними воздействиями и пр. условия изнашивания могут изменяться, и это потребует дальнейшей классификации на подгруппы по соответствующим признакам. Методы инженерии поверхности позволяют создавать на поверхностях трения упрочненные слои с переменными свойствами и толщиной [10]. Поэтому вполне целесообразно создание методов расчета не на износ, а рекомендаций, способствующих конструированию деталей и выбору технологий упрочнения поверхностей для более равномерного износа поверхностей трения.

К подгруппе 1А могут быть отнесены: осевые подшипники скольжения; шестерчатые насосы (торцовые поверхности шестерен и боковые стенки корпуса насоса); конические тормоза и фрикционные муфты; торцевые уплотнения и пр. Примерами сопряжений подгруппы 1Б являются: запорные прецизионные пояски деталей запорной арматуры; шаровые краны; диски фрикционных муфт; торцевые уплотнения; конусные краны и др.

Таблица 1

Классификация деталей машин и их сопряжений по условиям изнашивания

Группа	Условия изнашивания
1А	Одинаковые условия изнашивания для точек обеих поверхностей, расположенных на одной траектории, с постоянными условиями контакта
1Б	Одинаковые условия изнашивания для точек обеих поверхностей, расположенных на одной траектории, с переменными условиями контакта
2А	Постоянные условия изнашивания только для одной детали сопряжения с постоянными условиями контакта
2Б	Постоянные условия изнашивания только для одной детали сопряжения с переменными условиями контакта
3А	Переменные условия изнашивания для всех точек обеих деталей сопряжения с низшими кинематическими парами с постоянными условиями контакта
3Б	Переменные условия изнашивания для всех точек обеих деталей сопряжения с низшими кинематическими парами с переменными условиями контакта
4А	Переменные условия изнашивания для всех точек обеих деталей сопряжения с высшими кинематическими парами с постоянными условиями контакта

Продолжение таблицы 1

Группа	Условия изнашивания
4Б	Переменные условия изнашивания для всех точек обеих деталей сопряжения с высшими кинематическими парами с переменными условиями контакта
5А	Поверхности деталей, контактирующие с внешней средой — почвой, породой, обрабатываемой деталью или заготовкой, потоком жидкости или гидроабразивной среды и пр., — с постоянными условиями контакта
5Б	Поверхности деталей, контактирующие с внешней средой — почвой, породой, обрабатываемой деталью или заготовкой, потоком жидкости или гидроабразивной среды и пр., — с переменными условиями контакта
6	Сопряжения деталей с гарантированным натягом (повреждения вследствие фреттинг-коррозии). Неподвижные разъемные соединения
7	Подвижные сопряжения деталей, контактирующие через твердую среду
8	Поверхности контакта в подвижных и неподвижных сопряжениях деталей с эластичным контртелом
9	Запорные и регулирующие устройства, работающие в режиме замыкания и размыкания и предназначенные для перекрытия потоков среды
10	Электрические контакты (разрывные, скользящие и неподвижные). Одновременное действие механических, тепловых и электрических факторов приводит к существенному изменению свойств контактирующих материалов и их фрикционно-износостойких характеристик
11	Специальные сопряжения. Работа в условиях трения в вакууме, при низких или высоких температурах, в радиационной среде и пр.

На рисунке 1, а показана схема износа I по радиусу круговой площади контакта сопрягаемых деталей подгруппы 1А. Конструкция таких узлов, например осевых подшипников скольжения, обеспечивает сближение деталей при износе по оси вращения и суммарная величина износа $I = I_1 + I_2$ сопрягаемых деталей 1 и 2 одинакова при любых значениях радиуса R . Однако из-за различия износостойкости материалов сопрягаемых деталей, условий теплоотвода и пр. значения $I_1 \neq I_2$. Подбором более рационального варианта сочетания материалов деталей и технологий упрочнения деталей можно уменьшить износ отдельных деталей I_1 и I_2 , а также суммарный износ I (кривые 1' и 2').

Крайне неравномерное распределение износа по круговым траекториям контакта возможно у деталей подгруппы 1Б, а также при наличии больших зазоров в дополнительных направляющих сопряжениях группы 1А.

У сопряжений 2-й группы условия изнашивания сохраняются только для одной детали. К сопряжениям типа 2А можно от-

нести: колодочные тормоза с жестким закреплением колодки; ходовой винт-гайку; шестеренчатые насосы (контакт головок зубьев и корпуса насоса) и др. Равномерный износ проявляется у одной из сопрягаемых деталей, а для другой — неравномерный или даже имеет локальный характер. Примерами сопряжений типа 2А являются: вал-подшипник скольжения; осевые опоры скольжения с самоустанавливающимися несущими поверхностями (колодками); колодочные тормоза с самоустановкой колодок; круговые направляющие скольжения при эксцентричной нагрузке; центробежная колодочная муфта; тормозные диски; дисковый тормоз и др. На рисунке 1, б показана схема изменения износа вдоль поверхностей контакта деталей подгруппы 2А. Износ равномерен вдоль поверхности контакта только у детали 1. Более оптимальный выбор материалов и технологий упрочнения позволяет снизить износ деталей (кривые 1' и 2').

Переменные условия изнашивания для всех точек контакта обеих деталей харак-

терны для деталей сопряжений с низшими кинематическими парами (3-я группа). Величина износа на поверхностях трения распределена неравномерно. К сопряжениям подгруппы 3А относятся: золотниковые пары в гидрораспределителях; поршневые кольца-гильзы цилиндра; линейные подшипники скольжения и др. Примерами сопряжений подгруппы 3Б являются: пластинчатый насос; поступательные направляющие скольжения; кулиса — камень; пластины — корпус и пластины — ротор в пластинчатых насосах и гидромоторах; пазы полумуфт и выступы промежуточного диска крестовых муфт; пружинно-кулачковая предохранительная муфта и др.

На рисунке 1, в показана схема изменения износа поверхностей контакта деталей подгруппы 3А по направлению относительного движения. Наиболее неравномерный износ наблюдается у более протяженной поверхности контакта у детали 1. Неравномерность износа меньше у сопрягаемой детали 2. В подгруппе 3Б неравномерность износа таких деталей резко увеличивается (рис. 1, г). Подбором более рационального сочетания материалов и технологий упрочнения можно добиться повышения износостойкости деталей этой группы (кривые 1' и 2').

Сопряжения деталей 4-й группы (в отличие от 3-й) являются высшими кинематическими парами, в которых идеальным контактом поверхностей трения является место касания по линии или в точке. Также здесь высока вероятность неравномерного износа поверхностей. Примерами сопряжений подгруппы 4А являются: зубчатые зацепления; кулачок — толкатель; шестеренчатые насосы (зубья шестерен) и др. К сопряжениям подгруппы 4Б относятся: колесо — рельс; подшипники и направляющие качения; обгонная фрикционная роликовая муфта; фрикционные катки; шариковый винт и др.

К 5-й группе относят детали, поверхности которых контактируют с внешней средой — почвой, породой, обрабатываемыми

детальями или заготовками, потоком жидкости или гидроабразивной среды и пр. Рабочие поверхности этих деталей преимущественно подвергаются абразивному изнашиванию вследствие трения деталей (или рабочих органов) о более твердые тела или частицы минерального происхождения. Характер взаимодействия с этой средой и будет определять форму изношенной поверхности. Примерами деталей подгруппы 5А являются: режущий инструмент с жесткой установкой; зуб ковша экскаватора и пр. Износ формообразующих поверхностей деталей обычно неравномерен. Оценка распределения износа по поверхности обусловливает целесообразное распределение упрочненного поверхностного слоя по толщине. К деталям подгруппы 5Б могут быть отнесены: лопасти мешалок; лемехи плугов; плавающий режущий инструмент; рабочие молотки молотковых и роторных дробилок; рабочие детали машин струйно-абразивной обработки; загрузочные устройства доменных печей и др. Распределение износа по поверхностям этих деталей обычно неравномерно и зависит от их геометрии, интенсивности изнашивания по поверхности и пр. Например, в конусах засыпных устройств доменных печей износ распространяется концентрическим поясом шириной 1200÷1400 мм на расстоянии 350 мм от кромки усеченной части. Представления о постоянстве или переменчивости условий контакта деталей 5-й группы являются условными, поскольку, например, процесс резания жестко установленным инструментом может быть прерывистым, могут колебаться значения глубины резания при выполнении прохода и пр. В подгруппе 5Б взаимодействие может быть статистическим, пульсирующим или ударным.

Детали и сопряжения этих подгрупп также могут отличаться по ряду других признаков: направление воздействия среды (нормальное, касательное, одно- или двухстороннее и пр.); вид среды и ее параметры: твердая (компактная, дробленая, измельченная), жидкая, гидроабразивная и пр.; вре-

менные параметры процесса (непрерывные, пульсирующие, импульсные и пр.) и др.

В 6-ю группу входят сопряжения деталей с гарантированным натягом, поверхности которых подвергаются фреттинг-коррозии. Такое изнашивание происходит при малых взаимно колебательных движениях в пределах упругих деформаций микронеровностей поверхностей контакта. В качестве примеров таких сопряжений можно привести: посадки подшипников на вал или в корпус; соединение бронзового венца червячного колеса со стальной ступицей; поршневые пальцы; сопряжения поверхностей валов со ступицами лопаток турбин, компрессоров бандажей железнодорожных

колес, импеллера с валом в химическом реакторе и т. д.; клиновые, заклепочные, штифтовые и др. соединения и пр.

В 7-ю группу включены подвижные сопряжения деталей, контактирующие через твердую среду, в отличие от пар трения подгруппы 5Б. В качестве примеров можно привести взаимодействие инструментов с обрабатываемыми материалами при прокатке, штамповке, притирке (притир — абразивная среда — деталь); конусные дробилки; щековые дробилки; валковые дробилки и пр. Поверхности трения также изнашиваются неравномерно, даже у элементов трибологической системы, работающих в паре.

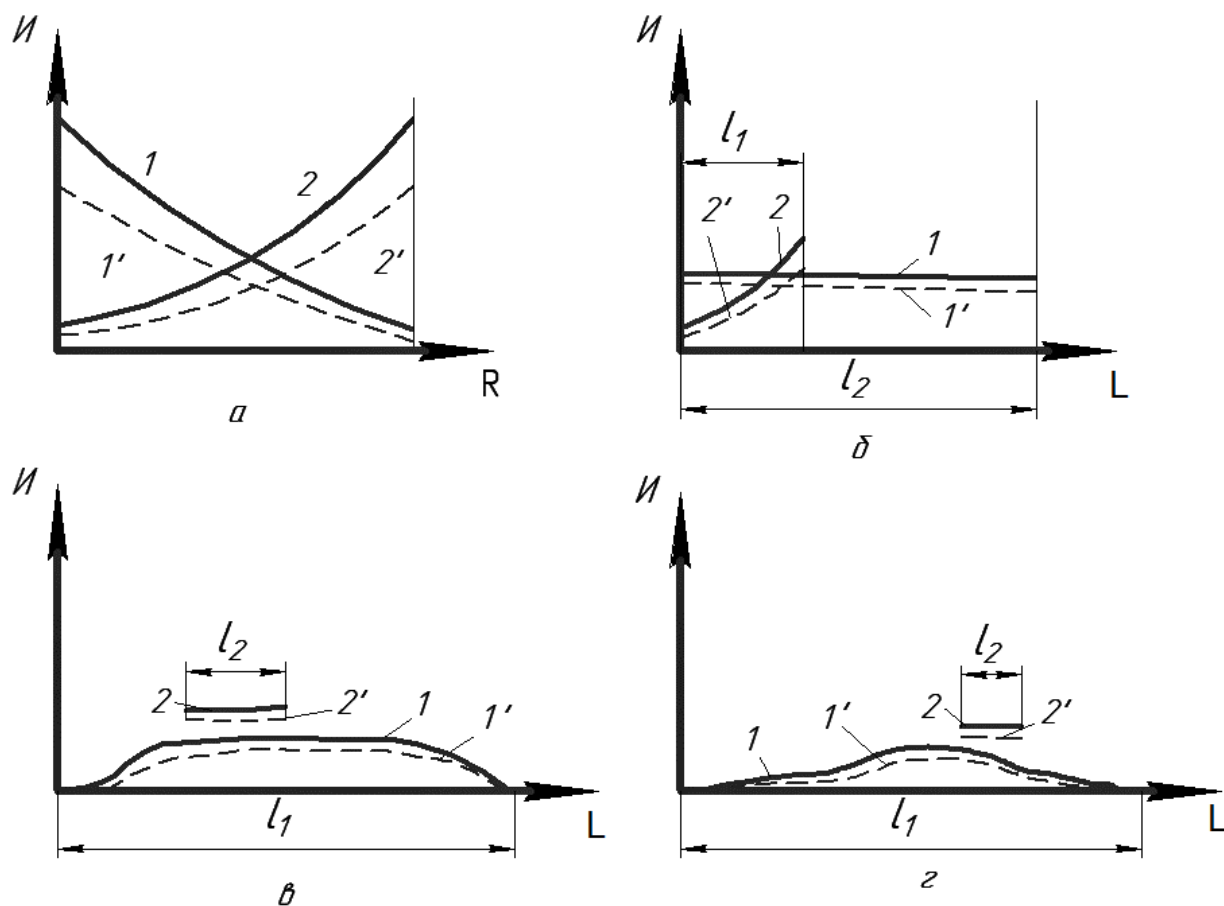


Рисунок 1 Схема распределения износов поверхностей трения для сопрягаемых деталей: а — подгруппы 1А; б — подгруппы 2А; в — подгруппы 3А; г — подгруппы 3Б

В 8-ю группу входят подвижные и неподвижные сопряжения деталей, контактирующие через эластичную среду. В случае если одним из контактирующих тел является эластомер, обладающий способностью к эластической деформации, добавляется дополнительный (гистерезисный) компонент, вносящий вклад в процессы взаимодействия поверхностей трущихся тел. Для пар трения, в которых одним из контактирующих тел является эластомер, характерно эластогидродинамическое или вязкоупругое трение, если в качестве одного из элементов пары трения используются эластомеры. В качестве примера можно привести герметизирующие устройства, а также различные запорные устройства. Например, важной задачей является обеспечение высокой степени герметичности и надежности манжетных уплотнений валов при давлении жидкостей выше 5÷10 МПа и скорости скольжения более 10 м/с, а для торцовых уплотнений — при удельном давлении более 20 МПа и скорости скольжения более 40 м/с.

В 9-ю группу входят запорные и регулирующие устройства, работающие в режиме замыкания и размыкания и предназначенные для перекрытия потоков среды. *Краны* (шаровые и конусные), у которых запирающий или регулирующий элемент, имеющий форму тела вращения или его части, поворачивается вокруг собственной оси, произвольно расположенной по отношению к направлению потока рабочей среды. *Клапаны* (вентили), у которых запирающие элементы (тарельчатые (золотниковые) или конические) перемещаются параллельно оси потока рабочей среды. *Задвижки*, у которых запирающий или регулирующий элемент пе-

ремещаются перпендикулярно оси потока рабочей среды. Клиновые задвижки с двухдисковым или упругим клином. *Дисковые затворы*, у которых запирающий или регулирующий элемент имеет форму диска, поворачивающегося вокруг оси, перпендикулярной или расположенной под углом к направлению потока рабочей среды.

В 10-ю группу включены электрические контакты, которые могут быть разрывными, скользящими и неподвижными. Электрокоррозионное изнашивание происходит при прохождении через контакт поверхностей трения электрического тока. Особую сложность представляет работа скользящих контактов. Одновременное действие механических, тепловых и электрических факторов приводит к существенному изменению свойств контактирующих материалов и их фрикционно-износостойких характеристик.

В 11-ю группу следует выделить специальные сопряжения, работающие в условиях трения в вакууме, высоких и низких температур и пр. Особую проблему представляет обеспечение работоспособности узлов сухого трения, работающих без жидкой и пластичной смазки. Это обусловило создание твердых смазывающихся и самосмазывающихся материалов и покрытий. Для повышения долговечности смазывающие покрытия наносят на деталь, имеющую меньший путь трения скольжения. Возможно создание конструкций с непрерывно возобновляющимися покрытиями с ротационным способом подачи твердой смазки.

Примеры типовых деталей машин с различными условиями изнашивания приведены в таблице 2, а для машин металлургического комплекса — в таблице 3.

Таблица 2

Примеры типовых деталей машин с различными условиями изнашивания

Группа	Детали типовые и машин других отраслей
1А	Осевые подшипники скольжения; шестеренчатые насосы (торцовые поверхности шестерен и боковые стенки корпуса насоса); конические тормоза и фрикционные муфты; торцевые уплотнения и пр.
1Б	Запорные прецизионные пояски деталей запорной арматуры; шаровые краны; диски фрикционных муфт; торцевые уплотнения; конусные краны и др.

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

Продолжение таблицы 2

Группа	Детали типовые и машин других отраслей
2А	Колодочные тормоза с жестким закреплением колодки; ходовой винт-гайка; шестеренчатые насосы (контакт головок зубьев и корпуса насоса); контакт заготовок с инструментом дорнования и др.
2Б	Вал-подшипник скольжения; осевые опоры скольжения с самоустанавливающимися несущими поверхностями (колодками); колодочные тормоза с самоустановкой колодок; круговые направляющие скольжения при эксцентричной нагрузке; центробежная колодочная муфта; тормозные диски и др.
3А	Золотниковые пары в гидрораспределителях; поршневые кольца-гильзы цилиндра; линейные подшипники скольжения и др.
3Б	Пластинчатый насос; поступательные направляющие скольжения; кулиса — камень; пластины — корпус и пластины — ротор в пластинчатых насосах и гидромоторах; пазы полумуфт и выступы промежуточного диска крестовых муфт; пружинно-кулачковая предохранительная муфта и др.
4А	Зубчатое зацепление; кулачок — толкатель; шестеренчатые насосы (зубья шестерен) и др.
4Б	Колесо — рельс; подшипники и направляющие качения; обгонная фрикционная роликовая муфта; фрикционные катки; шариковый винт и др.
5А	Режущий инструмент с жесткой установкой; зуб ковша экскаватора; контакт заготовок с инструментом при волочении, экструзии, дорновании; лопасти мешалок и пр.
5Б	Лемехи плугов; плавающий режущий инструмент; дробилки молотковые и роторные; струйно-абразивная обработка и др.
6	Посадки подшипников на вал или в корпус; соединение бронзового венца червячного колеса со стальной ступицей; поршневые пальцы; сопряжения поверхностей валов со ступицами лопаток турбин, компрессоров бандажей железнодорожных колес, импеллера с валом в химическом реакторе и т. д.; клиновые, заклепочные, штифтовые и др. соединения; шлицевые, шпоночные сопряжения; плавающие опоры; поверхности контакта толкателей с заготовками в металлургических печах и пр.
7	Взаимодействие инструментов с обрабатываемыми материалами при прокатке, штамповке, притирка (притир — абразивная среда — деталь); конусные дробилки; щековые дробилки; валковые дробилки и пр.
8	Герметизирующие устройства, ременные передачи, а также различные запорные устройства
9	Краны (шаровые и конусные); клапаны (вентили); задвижки, у которых запирающий или регулирующий элемент перемещается перпендикулярно оси потока рабочей среды; клиновые задвижки с двухдисковым или упругим клином; дисковые затворы
10	Скользящие контакты электрических машин (электрощетки, кольца, токосъемные устройства и пр.); разъёмные контакты
11	Детали пар трения, работающие в вакууме, условиях агрессивной среды, радиационного облучения, при низких или высоких температурах и пр.

Таблица 3

Примеры деталей ММК с различными условиями изнашивания

Группа	Примеры деталей
2А	Тяга-винт ЧГ; винт, гайка ЭП, МНЛЗ, Ш, РКПС; сухарь и вкладыш универсального шпинделя ГЛПС; нажимные винты и гайки ПС; контакт заготовок с инструментом при волочении, экструзии и др.
2Б	Подшипниковые узлы дробилок, СОГ; вкладыши подшипников скольжения открытого типа РКПС
3А	Поршень, кольцо поршня, цилиндр ЭП

Продолжение таблицы 3

Группа	Примеры деталей
3Б	Канатные блоки и канаты ПБВО, СП; желоб для подачи лома ГН; вкладыши универсальных шпинделей механизма поворота КК; механизм центрирования фурмы МПКК; стенки кристаллизаторов МНЛЗ
4А	Коническая зубчатая передача КД; зубчатые шестерни ЧГ, ПСВО, СМ; приводные зубчатые рейки ДЭ; зубчатые шестерни и колеса шестеренных клеток и редукторов ГЛПС; зубчатые рейки рычажного печного кантователя
4Б	Опорные ролики ШМ, БСО, ПСВО; зубья звездочек, втулки, валики, ролики, оси цепей, звенья цепей ПК; звенья затравки МНЛЗ; ролики АКОМ; ходовые колеса ПБВО, ПСВО; скаты скипов СП; опорные ролики ЗУДП; станинный ролик АН; опорные ролики СМ; ходовые ролики, направляющие МПКК; ролики проводок и рольгангов МНЛЗ; опорные и упорные ролики, ролики каретки ДЭ; ходовые ролики ФП; ходовые колеса ЗМП; ролики ПМ; ролики рольгангов; фрикционные толкатели, опоры кольцевых нагревательных печей
5А	Сверло МВЧЛ; ножи АЛН, ГН, МНЛЗ; ножи летучих ножниц; ножницы; диски дисковых ножниц
6	Трефовые шпиндели ГЛПС
7	Подвижные и неподвижные щеки ШД; конический и рабочий корпусы КД; бандажи валков МВД; диски ВГ; кольцевая матрица, пресс-штемпель, трамбовки ПБСт; валки РКПС; прошивные валки и др.
8	Ролики ЛК; механизмы уплотнения вращающихся печей
9	Контактные поверхности конуса с чашей, тарели и седла ЗУДП; захваты МНЛЗ
10	Хомуты зажима электрода ДЭ; щеки зажимов электродов ФП

В таблице использованы следующие обозначения: АКОМ — агломерационные и конвейерные обжиговые машины; АН — аллигаторные ножницы для разделки крупногабаритного лома; БСО — барабанные смесители и окомкователи; ВалГ — валковые грохоты; ВибГ — вибрационные грохоты; ВСтД — вальцовые стружкодробилки; ГЛПС — главные линии прокатных станов; ГН — гидравлические ножницы; Д — дробилка; ДЭ — дуговые электропечи; ЗМП — завалочные машины печей; ЗУДП — загрузочные устройства доменной печи; КД — конусная дробилка; КК — кислородные конвертеры; ЛК — ленточный конвейер; МВД — двух- и четырехвалковые дробилки; МВЧЛ — машины для вскрытия чугунной летки; МППК — машины для подачи кислорода в конвертер; МСтД — молотковые стружкодробилки; НДП — ножницы и дисковые пилы; ОЗД — одновалковые зубчатые дробилки; ПБВО — передвижные башенные вагонопрокидыватели; ПБСт — прессы для брикетирования стружки; ПК — пластинчатые конвейеры; ПМ — правильные машины; ПС — прошивные станы; ПСВО — передвижные и стационарные вагонопрокидыватели; ПУ — подшипниковые узлы; РКПС — рабочие клетки прокатных станов; СМ — стационарные миксеры; СОГ — самобалансные откатные грохоты; СП — скиповые подъемники; СтДА — стружкодробильные агрегаты; УКЗУ — уравнивательные клапаны загрузочного устройства; ФП — ферросплавные печи; ФСтД — фрезовые стружкодробилки; ЧГ — чашевые грануляторы; Ш — шлаковозы; ШД — щековая дробилка; ЭП — электропушки.

Выводы:

1. Систематизация и классификация деталей машин, их сопряжений и узлов трения по условиям изнашивания стимулирует проведение исследований и разработок более рациональных конструкций и расширяет возможности обмена технологиями и конструкторскими решениями между отраслями, предприятиями и организациями по созданию и применению перспек-

тивных конструкций, технологиями их упрочнения и восстановления.

2. Для деталей с неравномерным износом поверхностей трения важное значение приобретает выбор и разработка методов и средств измерения локального износа. В конструкциях деталей при необходимости для оценки распределения износа следует предусматривать соответствующие точечные измерительные базы.

Библиографический список

1. Гребеник, В. М. Повышение надежности металлургического оборудования [Текст] : справочник / В. М. Гребеник, А. В. Гордиенко, В. К. Цапко. — М. : Металлургия, 1988. — 688 с.
2. Золотарев, А. В. Характерные дефекты деталей металлургического оборудования и технологическое обеспечение их ремонта на примере машин непрерывной разливки стали [Текст] : справочник / А. В. Золотарев, А. И. Кондаков // Инженерный журнал. — 2013. — № 11. — С. 38–42.
3. Восстановление деталей машин [Текст] : справочник / Ф. И. Пантелеенко и др. — М. : Машиностроение, 2003. — 673 с.
4. Ловчиновский, Э. В. Эксплуатационные свойства металлургических машин [Текст] / Э. В. Ловчиновский, В. С. Вагин. — М. : Металлургия, 1986. — 160 с.
5. Кондаков, А. И. Модификация маршрутных технологических процессов изготовления деталей [Текст] : справочник / А. И. Кондаков, А. В. Золотарев // Инженерный журнал. — 2010. — № 9. — С. 8–12.
6. Кондаков, А. И. Автоматизация управления ресурсами при ремонте деталей металлургического оборудования [Текст] : справочник / А. И. Кондаков, А. В. Золотарев // Инженерный журнал. — 2013. — № 7. — С. 35–39.
7. Золотарев, А. В. Научно-методическая база технологического обеспечения эксплуатационных свойств роликов установок непрерывной разливки стали при их ремонте [Текст] : справочник / А. В. Золотарев // Инженерный журнал. — 2014. — № 12. — С. 39–45.
8. Основы трибологии (трение, износ, смазка) [Текст] / Э. Д. Браун, Н. А. Буше и др. ; под ред. А. В. Чичинадзе. — М. : Наука и техника, 1995. — 778 с.
9. Браун, Э. Д. Моделирование трения и изнашивания в машинах [Текст] / Э. Д. Браун, Ю. А. Евдокимов, А. В. Чичинадзе. — М. : Машиностроение, 1982. — 191 с.
10. Лецинский, Л. К. Слоистые наплавленные и упрочненные композиции [Текст] / Л. К. Лецинский, С. С. Самотугин. — Мариуполь : Новый мир, 2005. — 392 с.
11. Проников, А. С. Надежность машин [Текст] / А. С. Проников ; под ред. А. А. Смирнова. — М. : Машиностроение, 1978. — 590 с.

© Вишнеvский Д. А.

© Петров П. А.

© Харламов Ю. А.

© Подгорный В. Ю.

*Рекомендована к печати д.т.н., проф., зав. каф. ГЭМиО ДонГТИ Корнеевым С. В.,
д.т.н., проф., зав. каф. МОЗЧМ ДонНТУ Еронько С. П.*

Статья поступила в редакцию 24.06.2021.

PhD in Engineering Vishnevskiy D. A., PhD in Engineering Petrov P. A., Doctor of Technical Sciences Kharlamov Yu. A., Podgorniy V. Yu. (DonSTI, ALchevsk, LPR)

CLASSIFICATION OF MACHINE PARTS BY WEAR CONDITIONS

The article develops a classification of machine parts depending on the friction conditions of the mating surfaces, provides examples of parts and assemblies for each group and subgroup. Schemes of wear distribution of the friction surfaces are given.

Key words: machine parts, wear conditions, tribology, restoration of parts.