

DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-1-121-131

***Харламов Ю.А., Вишневский Д.А., Петров П.А., Орлов А.А.**

Донбасский государственный технический институт

*E-mail: yuriy.kharlamov@gmail.com

РАЗВИТИЕ КОНСТРУКТОРСКО-ТЕХНОЛОГИЧЕСКОЙ КЛАССИФИКАЦИИ ДЕТАЛЕЙ МАШИН

Аннотация. Статья посвящена вопросу совершенствования классификации и кодирования деталей машин при автоматизированном проектировании технологических процессов их изготовления. Проанализированы подходы технологии машиностроения к классификации поверхностей деталей машин. Показана необходимость учета параметров качества поверхностных слоев при разработке технологии производства ответственных деталей. Описаны теоретические основы конструкторско-технологической классификации деталей. Рассмотрены известные подходы к оценке роли поверхностей при классификации деталей машин. Предложена система кодирования основных показателей качества поверхностных слоев. Систематизированы показатели свойств поверхностных слоев, играющие определяющее влияние на работоспособность деталей и их сопряжений. Предложена система классификации и кодирования этих показателей. Предложено включить в системы классификации деталей машин и их поверхностей коды их функционального назначения или требуемых эксплуатационных свойств. Предложены системы кодирования строения поверхностных слоев и их химического состава, показателей микрорельефа поверхности и пр. Показана необходимость учета при проектировании требований к неоднородности свойств поверхностных слоев и допустимых дефектов ответственных деталей. Предложена система кодирования основных параметров допустимых дефектов.

Ключевые слова: классификация; кодирование; параметры качества поверхностного слоя; поверхность; типизация; унификация; эксплуатационные свойства.

Введение. Развитие машиностроения и ремонтного производства во многом зависит от сокращения длительности и трудоемкости технической подготовки производства, что обуславливает необходимость дальнейшего развития и совершенствования систем автоматизированного проектирования. Ее решение обеспечивается путем комплексной автоматизации процессов проектирования (САПР) и принципов унификации и типизации [1, 2]. В известных системах САПР недостаточно эффективно применяются типовые проектные решения, обеспечивающие преемственность накопленного опыта и эффективное использование знаний [3]. Это относится к разработке и использованию унифицированных технологических процессов (ТП) изготовления деталей.

Для предприятий машиностроения и ремонтного производства характерна большая номенклатура деталей машин как объектов производства, отличающихся разнообразием конструктивно-технологических признаков и параметров. Производство деталей с требуемыми параметрами и показателями качества обеспечивается использованием различных вариантов технологий и видов оборудования. Это существенно затрудняет выбор имеющихся и разработку новых типовых и унифицированных ТП прежде всего для ответственных деталей. Используемые в настоящее время в автоматизированных системах САПР конструктивно-технологические клас-

сификаторы деталей не учитывают многие показатели их качества и, прежде всего, параметры качества поверхностных слоев (ПС).

Обоснованному оперативному заимствованию проектных решений способствует использование систем классификации и кодирования объектов производства обезличенным кодом (вне зависимости от их функционального назначения). Известный классификатор ЕСКД охватывает широкую номенклатуру деталей машин и приборов, которая по основным конструкторским принципам подразделена на шесть частей [4, 5]. Попытки внедрения ЕСКД в производство привели к разработке автоматизированных экспертных систем кодирования и классификации деталей [2, 3].

Классический подход, используемый в технологии машиностроения для выделения четырех основных видов поверхностей (исполнительные (рабочие), основные базирующие, вспомогательные базы и свободные), не обеспечивает информационные возможности разработки технологических процессов обработки отдельных поверхностей с выбором технологических упрочняющих операций. В модульной технологии [6] модули поверхностей подразделяются на три класса: базирующие (МПБ), рабочие (МНР), связующие (МПС) и деталь представляется собой совокупностью базирующих, рабочих и связующих модулей поверхностей. Однако и здесь не учитывается необходимый полноценный комплекс параметров качества ПС.

Разрабатываются технологические классификаторы деталей и поверхностей применительно к различным методам получения заготовок и их механической обработки [7]. Эти классификаторы состоят из двух частей: базовой, описывающей конструктивные особенности детали, и технологической, определяющей требования к качественным и количественным параметрам обрабатываемых поверхностей.

Таким образом, во всех этих подходах к технологической классификации деталей машин их поверхности рассматриваются с геометрической точки зрения и не учитываются параметры качества поверхностного слоя, за исключением шероховатости поверхностей. В то же время известно существенное влияние многих параметров состояния ПС на эксплуатационные свойства деталей [8, 9].

Целью данной статьи является разработка принципов классификации и кодирования информации о деталях машин, учитывающей особенности состояния и параметры качества поверхностных слоев.

$$D = \left\{ CT; P_{d1}, \dots, P_{di}, \dots, P_{d\alpha}; P_{i1}, \dots, P_{ii}, \dots, P_{i\beta}; P_{11}, \dots, P_{dj}, \dots, P_{dn} \right. \\ \left. P_{21}, \dots, P_{2j}, \dots, P_{2n}; P_{s1}, \dots, P_{sj}, \dots, P_{sn}; P_{\mu 1}, \dots, P_{\mu j}, \dots, P_{\mu n} \right\}, \quad (1)$$

где CT – класс и тип детали по ЕСКД; P_{di} – общие конструктивные признаки детали (соотношение размеров детали; основные виды наружных и внутренних поверхностей и требования к их качеству; параметры взаимного расположения поверхностей; наличие и параметры ступеней на поверхностях; наличие и параметры специальных конструктивных элементов – закрытых уступов, наружных и внутренних резьб, кольцевых пазов, шлицев и прочего, основной материал и его параметры и пр.); α – общее количество конструкторских признаков детали; P_{ii} – общие технологические признаки детали по видам: материалов, способов получения заготовок, термической обработки, массы и др.; β – общее количество технологических признаков детали; P_{11}, \dots, P_{sn} – s -й признак j -й поверхности детали; n – общее количество признаков поверхностей детали; μ – количество поверхностей детали.

Кодирование деталей требует применения соответствующих систем классификации как по видам конструктивно-технологических параметров, так и по их количественным показателям. Однако в существующих системах классификации учитывается ограниченное количество параметров качества ПС, что исключает возможность автоматизированного выбора рациональной технологии обработки соответствующих поверхностей.

1. Теоретические основы классификации деталей.

Рациональный подход к классификации деталей должен основываться на разработке информационных моделей деталей (ИМД), учитывающих их основные конструктивно-технологические характеристики.

Для описания и анализа конструктивно-технологических особенностей детали D в базе данных используется определенная совокупность (множество) признаков [3], однако для ответственных деталей их явно недостаточно для выбора и обоснования дополнительных технологических операций, а также переходов упрочняющей и сопутствующей обработки. Для проектирования оптимальных технологических процессов изготовления ответственных деталей необходимо систематизировать и классифицировать признаки качества ПС. Представляется более целесообразным отнести эти признаки к отдельным поверхностям и тогда детали могут быть описаны следующей совокупностью (множеством) признаков

Создание ИМД связано с отбором достаточных и необходимых классификационных признаков $X = (x_1, \dots, x_i)$ из доступной совокупности конструкторско-технологических параметров деталей $Y = (y_1, \dots, y_i)$. Это достигается наложением множества Y на множество X [3].

Состав классификационных признаков X_j (или область значений отображения v) для создания ИМД можно описать выражением:

$$X_j = \left\{ \left(\bigcup_{n \in N} v(y_i) \in X \right) \right\} \subseteq X_{kl}, \quad (2)$$

где N – множество образов элементов $(y_{1j}, \dots, y_{ij}) \in Y_j$ при отображении v ; X_{kl} – множество классификационных признаков.

Известны системы классификации и кодирования деталей [3, 7, 10, 11], в которых конструкторский код определяет геометрию деталей и их конструктивных элементов, а технологический – размерные характеристики, материал, заготовки и прочее. Такое разделение является довольно условным и является результатом отдельной конструкторской и технологической подготовки производства деталей.

Аналогичный подход можно использовать для разработки информационной модели модуля поверхностей (ИММП) и описывать их совокупностью признаков:

$$МП_q = \left\{ P_{мп1}, \dots, P_{мпw}, \dots, P_{мпl} \right\}, \quad (3)$$

где $P_{мпw}$ – w -й признак детали; $q = 1, 2, \dots, l$; l – общее количество признаков модуля поверхности.

Деталь D в базе данных может быть охарактеризована и соответственно описана некоторой совокупностью (множеством) модулей поверхностей:

$$\left\{ \begin{array}{l} МПБ_1, \dots, МПБ_e, \dots, МПБ_t; МПР_1, \dots, МПР_y, \dots, МПР_u; \\ МПС_1, \dots, МПС_p, \dots, МПС_s \end{array} \right\}.$$

Здесь $МПБ_e$, $МПР_y$, $МПС_p$ – модули поверхностей детали соответственно базирующие рабочие и связующие; t , u , s – количество модулей поверхностей детали соответственно базирующих, рабочих и связующих.

Для высоконагруженных ответственных поверхностей деталей целесообразно использовать информационные модели поверхностей, которые могут быть охарактеризованы и соответственно описаны некоторой совокупностью (множеством) признаков:

$$П = \{P_{п1}, \dots, P_{пj}, \dots, P_{пl}\}, \quad (4)$$

где $P_{пj}$ – j -й признак поверхности; l – общее количество признаков поверхности.

2. Целесообразность классификации конструктивно-технологических особенностей и параметров качества поверхностного слоя деталей машин. Интенсивность отказов деталей машин связана с одним или несколькими эксплуатационными показателями (износо- и коррозионной стойкостью, прочностью и др.). В свою очередь большая часть эксплуатационных свойств деталей зависит от качества поверхностных слоев [6].

По многочисленным литературным данным [8, 9] эксплуатационные свойства деталей машин, определяющие их надежность, зависят от системы параметров качества их рабочих поверхностей: макроотклонения; волнистости; шероховатости; субшероховатости; физико-химических свойств (табл. 1). Изучением поверхностей твердого тела, в том числе деталей и рабочих органов машин, занимается ряд научных дисциплин – физика и химия поверхности твердого тела, трибология, материаловедение, теория надежности машин и др. Исследования и разработки по конструированию и технологическому обеспечению параметров поверхностных слоев сформировали обширное научно-техническое направление – инженерии поверхности [8, 9, 12, 13]. Современные методы инженерии поверхности активно внедряются в промышленности.

Развитие инженерии поверхности и ужесточение требований к обеспечению качества поверхностного слоя (ПС) обуславливает необходимость введения в маршрутные технологические процессы изготовления дополнительных технологических операций обработки и контроля поверхностей и соответствующих ПС. Это прежде всего относится к поверхностям деталей

с высокой вероятностью изнашивания и возникновения повреждений, ведущих к возникновению отказов деталей. Решение этой проблемы требует расширения номенклатуры показателей качества ПС. Информация о показателях качества поверхностей, оказывающих существенное влияние на эксплуатационные свойства деталей машин и их соединений весьма противоречива. Коды наиболее распространенных показателей качества поверхностных слоев (ПС) [8, 9, 12, 13] приведены в таблице 1.

Полная оценка значимости и назначение параметров качества ПС деталей машин представляет весьма сложную проблему при конструкторско-технологической подготовке их производства. Существующие аналитические подходы приемлемы для ограниченного круга реальных задач. Они часто не учитывают всего комплекса технологических и эксплуатационных факторов, влияющих на надежность деталей. Поэтому для подтверждения расчетных значений параметров качества ПС наиболее ответственных деталей широко используются экспериментальные методы исследований на моделях и натуральных образцах. Наиболее распространенными являются опытно-статистические методы, основанные на обобщении опыта изготовления и эксплуатации деталей и их сопряжений с подобными и близкими значениями влияющих факторов. Особый интерес представляет статистика по надежности, полученная при эксплуатации подобных деталей, их сопряжений и условий эксплуатации.

На стадиях конструирования и анализа конструкций деталей на технологичность выявляют и уточняют реальные условия их функционирования (нагрузка, скорость, температура, окружающая среда и пр.) и требуемые показатели надежности. При этом учитывают наиболее нагруженные и подверженные интенсивному воздействию рабочей среды детали изделия. Особое внимание уделяется определению эксплуатационных свойств деталей машин и их соединений, лимитирующих надежность и точность узлов и машины в целом, например, допустимый износ сопрягаемых деталей. На этой основе ведется поиск и изучение соответствующей научно-технической информации, подбор теоретических и эмпирических зависимостей и табличных данных, характеризующих качественную и количественную взаимосвязь между данными эксплуатационными свойствами и параметрами качества рабочих поверхностей. В ряде случаев выбор параметров качества рабочих поверхностей ответственных дорогостоящих деталей, обеспечивающих требуемые значения эксплуатационных свойств изделия в допустимых преде-

лах их изменения, требует проведения специальных исследований. Параметры качества поверхностного слоя, определяющие основное влияние

на эксплуатационные свойства деталей машин и их соединений, приведены в таблице 2

Таблица 1

Кодирование основных показателей качества поверхностных слоев

Код	Обозначение	Параметр состояния поверхностного слоя
01	H_{max}	максимальное макроотклонение, мкм
02	H_p	высота сглаживания макроотклонения
03	W_z	средняя высота волн, мкм
04	W_p	высота сглаживания волнистости
05	Sm_w	средний шаг волн, мм
06	Ra	среднее арифметическое отклонение профиля, мкм
07	Rz	высота неровностей профиля по десяти точкам
08	R_{max}	наибольшая высота профиля
09	R_p	высота сглаживания профиля шероховатости, мкм
10	tp	относительная опорная длина профиля, %
11	Sm	средний шаг неровностей профиля, мм
12	S	средний шаг местных выступов профиля, мм
13	R_{max}'	наибольшая высота профиля субшероховатости
14	Sm'	средний шаг неровностей профиля субшероховатости
15	$\sigma_{ост}$	остаточные напряжения, МПа
16	h_σ	глубина залегания остаточных напряжений, мм
17	$H_{\mu 0}$	поверхностная микротвердость
18	h_μ	толщина поверхностного слоя
19	ε	упругая деформация кристаллической решетки
20	l_3	размер, форма и распределение зерен по слою и их кристаллографическая ориентация
21	ρ_D	плотность дислокаций

Таблица 2

Коды параметров качества поверхностного слоя, определяющие основное влияние на эксплуатационные свойства деталей машин и их соединений

Эксплуатационные свойства	Коды параметров поверхностного слоя
Контактная жесткость при нагружении: первом повторном	02; 04; 09; 10; 15; 17; 19; 20; 21 03; 09; 10; 11; 19; 20; 21
Коэффициент трения	04; 09; 10; 17
Износостойкость	02; 04; 09; 10; 11; 15; 19; 20; 21
Герметичность соединений	02; 04; 09; 10; 11
Прочность посадок	02; 04; 09; 10
Прочность деталей	09; 11; 16; 18; 20; 21
Усталостная прочность	08; 11; 14; 15; 16; 17; 18; 19; 20; 21
Коррозионная стойкость	06/07; 10; 11; 13; 14; 15; 19; 20; 21
Поверхностная теплопроводность	01; 02; 03; 04; 06/07; 09; 10; 13
Термостойкость	20; 21

Выбор параметров качества ПС желательно выполнять с использованием параллельного проектирования, совмещающего: конструирование и выбор основного материала детали, определение размеров и их точности, параметров состояния поверхностного слоя и пр. Распространена практика, когда при конструировании деталей машин

обычно учитывается влияние состояния поверхности на циклическую прочность и коррозионную стойкость [14]. Причем под качеством ПС часто понимают параметры макро- и микрогеометрии, точность размеров поверхности и твердость. Однако для нагруженных поверхностей

ответственных деталей важную роль играют физико-механические характеристики ПС: степень и глубина наклепа, остаточные напряжения, искажения кристаллической решетки, плотность дислокаций, структурно-фазовые превращения, накопление пластической деформации, изменение химического состава и др. [8–10, 15]. Это обуславливает целесообразность разработки теоретических и поиск эмпирических зависимостей между параметрами качества ПС и точности обработки и эксплуатационными свойствами деталей машин. В настоящее время подобные зависимости существуют для весьма ограниченных условий и параметров эксплуатации деталей машин.

Решение этих задач часто связано преодолением ряда противоречий и ограничений. Так, например, требуемые физико-механические свойства поверхностного слоя детали не могут быть достигнуты при заданном ее основном материале, отсутствии соответствующих марок сталей, отсутствии технологических возможностей достижения выбранных точности размеров и параметров качества поверхностного слоя и пр. Для высоконагруженных ответственных деталей и сопряжений часто необходимо проведение оригинальных теоретических и экспериментальных исследований для определения влияния различных параметров качества поверхностного слоя на те или иные эксплуатационные свойства.

Преобладающими в производстве точных ответственных деталей являются операции механической обработки лезвийным и абразивным инструментом. Однако во многих случаях совершенствование этих операций не приводит к достижению требуемых параметров ПС. Этим объясняется более широкое применение известных и разработка новых методов инженерии поверхности – нанесения защитных и функциональных покрытий, модифицирования ПС, обработки высококонцентрированными источниками энергии и пр. Тем не менее, не исключается и даже затрудняется предварительная и последующая после выполнения операций поверхностного упрочнения размерная обработка поверхностей механическими и другими методами. Таким образом, достижение высокого качества машин, и прежде всего их надежности, требует решения сложных задач обеспечения соответствующих параметров качества поверхностных слоев.

Разработка технологических процессов (ТП) изготовления деталей с поверхностным упрочнением затруднена ограниченностью сведений об особенностях их обработки. Это требует корректировки существующих САПР ТП ответственных деталей для более плотного учета конструктивно-технологических особенностей строения

поверхностных слоев и параметров их качества и прежде всего классификации и кодирования поверхностей и деталей.

3. Классификация и кодирование деталей машин по типам и параметрам качества поверхностных слоев. ИМД должны обеспечивать достаточную информативность о наличии поверхностей с высокими требованиями к качеству поверхностных слоев. Принятая система классификации и кодирования деталей должна иметь коды, характеризующие строение и требуемые параметры ПС. Причем система кодирования должна обеспечивать возможность расширения множества кодируемых деталей, имеющих поверхности, подвергаемые при эксплуатации интенсивным нагружению и воздействию окружающей среды.

В классификаторе ЕСКД [4] детали подразделяются на пять классов, главным образом по геометрическим признакам, а также их служебному назначению и наличию определенных конструктивных элементов (зубчатое зацепление). При этом не учитываются требования к точности формы и размеров деталей, строению и параметрам поверхностных слоев. Это касается, прежде всего, деталей машин с большими размерами и массой, со сложной геометрией, при наличии поверхностей с повышенными требованиями к качеству ПС, при использовании в качестве основного материала труднообрабатываемых сплавов, при наличии защитных и функциональных покрытий и модифицированных поверхностных слоев, обработка которых имеет специфические особенности [16–18].

Анализ конструкций деталей на технологичность должен включать проверку соответствия строения и параметров качества поверхностных слоев их функциональному назначению. Условия работы технических поверхностей весьма разнообразны и развитие фундаментальных наук о поверхности твердого тела стимулировало разработку поверхностных слоев с разнообразными эксплуатационными свойствами. Кодирование поверхности по ее функциональному назначению или эксплуатационным свойствам выполняется двумя разрядами (табл. 3), а в случае многофункционального назначения комплексом таких разрядов. По функциональному назначению и требуемым эксплуатационным свойствам осуществляют выбор и проверку назначения конструктивно-технологических особенностей и параметров состояния поверхностного слоя. Для этого необходимо использование и создание соответствующих баз данных.

Методы инженерии поверхности позволяют создавать различные конструкции поверхност-

ных слоев из различных материалов. Их кодирование выполняется одной цифрой по данным таблиц 4 и 5.

Каждый из параметров геометрии поверхности и физико-химического состояния поверхностного слоя кодируется одной цифрой по данным таблиц 6 и 7.

Таблица 3

Кодирование поверхностей по их требуемым эксплуатационным свойствам

Код	Требуемое эксплуатационное свойство поверхности
00	Контактная жесткость
01	Износостойкость
02	Антифрикционность
03	Фрикционность
04	Герметичность соединений
05	Прочность посадок
06	Прочность деталей
07	Усталостная прочность
08	Коррозионная стойкость
09	Поверхностная теплопроводность (термическое сопротивление)
10	Термостойкость (жаростойкость)
11	Антиадгезионность
12	Термобарьерные свойства
13	Диэлектрические свойства
14	Электропроводность
15	Интенсификация теплообмена
16	Уплотняемость соединений
17	Восстановление размеров и свойств поверхности
18	Радиационная стойкость
19	Повышение адгезионных свойств сухих поверхностей
20	Антипригарные свойства
21	Самовосстанавливаемость
22	Супергидрофобность
23	Контролируемая смачиваемость
24	Снижение гидросопротивления
25	Противообрастающие свойства
26	Работоспособность в условиях вакуума
27	Сенсорные свойства
28	Оптические свойства
29	Многофункциональные свойства
30	Прочие свойства и функции

Таблица 4

Кодирование типа поверхностного слоя (ПС)

Код	Тип поверхностного слоя
0	ПС основного материала в состоянии предшествующей обработки
1	Модифицированный ПС основного материала (ОМ)
2	Дискретно модифицированный ПС ОМ
3	Сплошное однослойное покрытие
4	Сплошное покрытие с подслоем
5	Сплошное композиционное покрытие
6	Сплошное градиентное покрытие
7	Сплошное многослойное покрытие
8	Дискретное покрытие
9	Комбинированный ПС (сочетание покрытий с модифицированием ПС)

Поверхности, полученные большинством методов размерной и упрочняющей обработки, характеризуются образованием существенной неоднородности параметров качества ПС (химического, структурного и фазового состава, остаточных напряжений, микротвердости, параметров микро- и субшероховатости и др.). Например, при шлифовании поверхностей качения колец и роликов подшипников качения распространенными дефектами являются: трооститное пятно,

забоина, металлическая, закалочная или шлифовальная трещины, штриховой или пятнистый прижоги [19, 20]. В процессе профильной механической обработки поверхностей сложного профиля деталей образуются локальные технологические концентраторы напряжений, способствующие зарождению, росту усталостных трещин и последующему разрушению деталей в эксплуатации [21].

Таблица 5

Кодирование материала поверхностного слоя (ПС) по химическому составу

Код	Материал поверхностного слоя (ПС)
0	Основной материал (в соответствии с соответствующими таблицами кодирования)
1	Покрытие из Fe, Ni, Cr, Al, Ti и сплавов на их основе
2	Покрытие из самофлюсующихся сплавов систем Ni-Cr-B-Si-C и Fe-Cr-B-Si-C
3	Покрытие из Cu, Pb, Cd, Sn, бронзы, баббитов
4	Покрытие из Al, Zn
5	Покрытие из оксидов Al ₂ O ₃ , ZrO ₂ , TiO ₂ , Cr ₂ O ₃ , SiO ₂ , CaO, Y ₂ O ₃ , MgO, Fe ₂ O ₃
6	Покрытие из карбидов вольфрама в смеси с Co, самофлюсующимися сплавами, интерметаллидами Al, Ti, Ni
7	Покрытие из карбидов хрома и титана в смеси с самофлюсующимися сплавами, интерметаллидами Al, Ni, Ti и никельхромистыми сплавами
8	Покрытие из тугоплавких металлов W, Mo, Nb, Ta в чистом виде и в смеси с самофлюсующимися сплавами
9	Покрытие из керметов на основе смесей BN-Al-NiCr, Mg-ZrO ₂ -NiCr, MgO-ZrO ₂ с Al и Ni, графита с Al, Al ₂ O ₃ , Ni, алюминидом никеля, ZrO ₂ с алюминидом никеля

Таблица 6

Кодирование параметров геометрии поверхности

Код параметра	Hmax, мкм	Wz, мкм	Sm _w , мм	Ra, мкм	Rp, мкм	Sm, мм	S, мм
0	400...500	50...60	12...15	25...40	100...125	10...12,5	3,5...5
1	300...400	40...50	9...12	16...25	85...100	8...10	2,75...3,5
2	250...300	30...40	6,5...9	12...16	60...80	6...8	2...2,75
3	200...250	20...30	4,5...6,5	8...12	50...60	4...6	1,25...2
4	150...200	15...20	3...4,5	5...8	40...50	2,5...4	0,75...1,25
5	100...150	10...15	2...3	2,5...5	30...40	1,25...2,5	0,5...0,75
6	50...100	5...10	1,2...2	1,6...2,5	20...30	0,5...1,25	0,25...0,5
7	20...50	3...5	0,4...1,2	0,8...1,6	10...20	0,2...0,5	0,032...0,25
8	10...20	1,5...3	0,2...0,4	0,1...0,8	5...10	0,032...0,2	0,016...0,032
9	3...10	0,08...1,5	0,08...0,2	0,01...0,1	0,032...5	0,0006...0,032	0,002...0,016

Таблица 7

Кодирование параметров физико-химического состояния поверхностного слоя

Код параметра	$\pm\sigma_{\text{ост}}$, МПа	h _σ , мм	u _n , %	h _n , мм
0	500...600	1,5...2,0	65...80	2,5...4
1	450...500	1...1,5	55...65	1,5...2,5
2	400...450	0,75...1,0	45...55	1...1,5
3	350...400	0,5...0,75	35...45	0,5...1
4	300...350	0,4...0,5	25...35	0,25...0,5
5	250...300	0,3...0,4	20...25	0,15...0,25
6	200...250	0,2...0,3	15...20	0,05...0,15
7	150...200	0,1...0,2	10...15	0,02...0,05
8	100...150	0,01...0,1	5...10	0,01...0,02
9	60...100	0,005...0,01	0...5	0,005...0,01

Локальные дефекты и неоднородность физико-химического состояния ПС также влияют на работоспособность поверхностей деталей, работающих в сложных условиях эксплуатации. Основными видами дефектов поверхности являются [22]: *углубления* (риски, царапины, трещины, поры, раковины, разрывы, расщелины, щели (трещины), закругления, выбоины); *выпуклости* (наросты, вздутия, чешуйки, включения, заусенцы, налеты), *комбинированные* (кратеры,

нахлестки, задиры, остатки стружки), поверхностные и внешнего вида (отпечатки, разрушения и разъедания, корродирование, точечная коррозия, волосные трещины, пятна, обесцвечивание, полосы, слоистость, шелушение). Для наиболее нагруженных поверхностей ответственных деталей машин возможно также нормирование параметров допустимых дефектов поверхности. Один из возможных вариантов перечня параметров допустимых дефектов поверхности приведен в таблице 8.

Таблица 8

Перечень параметров допустимых дефектов поверхности

№ п/п	Параметры допустимых дефектов поверхности
1	Вид допустимого дефекта
2	Относительный размер дефектов
3	Общее число допустимых дефектов на данной поверхности детали с учетом установленных ограничений
4	Число допустимых дефектов на единицу площади поверхности
5	Общая площадь допустимых дефектов поверхности с учетом установленных ограничений
6	Площадь единичного дефекта поверхности, спроектированная на поверхность
7	Длина дефекта
8	Ширина дефекта
9	Форма и четкость границы пятна дефекта
10	Ориентация дефекта на поверхности
11	Высота (глубина) дефекта
12	Группирование и периодичность дефектов

Заключение. Разработаны принципы и методика классификации и кодирования поверхностей деталей машин на основе их конструктивно-технологических особенностей и качества поверхностных слоев. Применение предложенных принципов дополнительной конструкторско-технологической классификации деталей машин позволяет: 1) присваивать кодовые обозначения типовым обрабатываемым поверхностям с учетом их функционального назначения по условиям работы в процессе эксплуатации машины и выбора оптимальных конструктивно-технологических решений; 2) выполнять анализ конструкций деталей на технологичность по обеспечению их надежности и предупреждения их физических отказов, развивающихся в поверхностных слоях; 3) систематизировать опыт создания и применения поверхностно упрочненных деталей машин; 4) для типизации технологических процессов распределять детали по типам, видам, функциональному назначению и требуемым строению и показателям качества поверхностных слоев; 5) стимулировать разработку и применение технологий поверхностного упрочнения деталей; 6) совершенствовать методологию автоматизированного проектирования технологических процессов.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Норенков И.П. Основы автоматизированного проектирования. М.: МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2009. 434 с.
2. Акулович Л.М., Шелег В.К. Основы автоматизированного проектирования технологических процессов в машиностроении. М.: Новое знание, 2012. 488 с.
3. Епифанов В.В., Афанасьев А.Н. Автоматизированная система кодирования и классификации объектов производства // Автоматизация процессов управления. 2017. № 3 (49). С.49–55.
4. Классификатор ЕСКД. Классы 71, 72, 73, 74, 75. Иллюстрированный определитель деталей. М.: Изд-во стандартов, 1988. 401 с.
5. Технологический классификатор деталей машиностроения и приборостроения. М.: Изд-во стандартов, 1988. 256 с.
6. Суслов А.Г. Наукоемкие технологии в машиностроении. М.: Машиностроение, 2012. 528 с.
7. Кудряшов Е.А., Алтухов А.Ю., Лунин Д.Ю. Технологический классификатор деталей и поверхностей, подлежащих обработке резанием // Обработка металлов. 2009. №. (45). С. 3–8.
8. Суслов А.Г. Инженерия поверхности деталей. М.: Машиностроение, 2008. 320 с.

9. Суслов А.Г. Качество поверхностного слоя деталей машин. М.: Машиностроение, 2000. 320 с.
10. Вивденко Ю.Н., Ляшков А.А., Резин С.А., Кусик Б.В. Конструкторско-технологическая классификация деталей как исходная база технологии их изготовления // Омский научный вестник. 2007. № 2. С.106–108.
11. Ширялкин А. Ф., Угасин А. Н. Разработка методики классификации и кодирования информации о детали для технической подготовки и управления производством в авиастроении // Вестник УлГТУ. 2012. №2. С.24–31.
12. Сулима А.М. Поверхностный слой и эксплуатационные свойства деталей машин. М.: Машиностроение, 1988. 240 с.
13. Харламов Ю.А. Основы инженерии поверхностей трения. Вологда: Инфра-Инженерия, 2022. 288 с.
14. Орлов П.И. Основы конструирования: справочно-методическое пособие. Книга 1. М.: Машиностроение, 1988. 560 с.
15. Безъязычный В.Ф. Метод подобия в технологии машиностроения: монография. 2-е изд. М.; Вологда: Инфа-Инженерия, 2021. 356 с.
16. Харламов Ю.А., Хейфец М.Л. Формирование газотермических покрытий при производстве деталей; Нац. Акад. наук Беларуси, Отд. Физ.-техн. Наук, Нац. акад. наук Украины, Ин-т сверхтвердых материалов им. В. Н. Бакуля. Минск: Белорусская наука, 2020. 416 с.
17. Харламов Ю.О. Обработка деталей при відновленні і зміцненні : Навчальний посібник. Луганськ: Вид-во СНУ ім. В. Даля, 2007. 500 с.
18. Кожуро Л.М. Обработка износостойких покрытий. Мн.: Дизайн ПРО, 1997. 208 с.
19. Шумарова О.С., Игнатъев С.А., Самойлова Е.М. Автоматизация распознавания дефектов шлифовальных поверхностей деталей подшипников при вихретоковом контроле с обоснованием выбора вида вейвлета // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2015. № 1 (33). С. 121–132.
20. Горбунов В.В., Самойлова Е.М., Игнатъев А.А. Автоматизация вихретокового контроля поверхностного слоя деталей подшипников с применением технологии нейронных сетей // Известия высших учебных заведений. Поволжский регион. Технические науки. 2016. №4 (40). С. 114–122. DOI 10.21685/2072-3059–2016-4-11
21. Макаров В.Ф., Никитин С.П., Песин М.В., Горбунов А.С. Влияние локальных технологических концентраторов напряжений на эксплуатационные свойства обрабатываемых деталей // Научно-технические технологии в машиностроении. 2017. № 5. С. 31–37. DOI: 10.12737/article_591947e238a398.97451989
22. Табенкин А.Н. Шероховатость, волнистость, профиль. Международный опыт. Санкт-Петербург: изд-во политехн. ун-та, 2007. 136 с.

Информация об авторах

Харламов Юрий Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры машин металлургического комплекса. E-mail: yuriy.kharlamov@gmail.com. Донбасский государственный технический институт. Луганская Народная Республика, 94204, Алчевск, пр. Ленина, 16.

Вишневский Дмитрий Александрович, доктор технических наук, профессор кафедры машин металлургического комплекса. E-mail: dimavish.79@mail.ru. Донбасский государственный технический институт. Луганская Народная Республика, 94204, Алчевск, пр. Ленина, 16.

Петров Павел Александрович, кандидат технических наук, доцент кафедры машин металлургического комплекса. E-mail: pavelpetrov@list.ru. Донбасский государственный технический институт. Луганская Народная Республика, 94204, Алчевск, пр. Ленина, 16.

Орлов Андрей Андреевич, аспирант кафедры машин металлургического комплекса. E-mail: orlov.orlov-andrey193@yandex.ru. Донбасский государственный технический институт. Луганская Народная Республика, 94204, Алчевск, пр. Ленина, 16.

Поступила 17.06.2022 г.

© Харламов Ю.А., Вишневский Д.А., Петров П.А., Орлов А.А., 2023

*Kharlamov Yu.A., Vishnevskiy D.A., Petrov P.A., Orlov A.A.

Donbass State Technical University

*E-mail: yuriy.kharlamov@gmail.com

DEVELOPMENT OF DESIGN-ENGINEERING CLASSIFICATION OF MACHINE PARTS

Abstract. The problems of classification and coding of machine parts in computer-aided design systems of technological processes are described. The approaches of mechanical engineering technology to the classification of surfaces of machine parts are analyzed. It is shown that it is necessary to take into account the quality parameters of the surface layers when developing the technology for the production of critical parts. The theoretical foundations of the design and technological classification of parts are described. The existing approaches to the assessment of the role of surfaces in the classification of machine parts in existing automation systems for the design of technological processes are considered. A system of coding the main indicators of the quality of surface layers is proposed. The quality parameters of the surface layer are considered, which have a major impact on the operability and various operational properties of parts, including contact stiffness, wear resistance, static and fatigue strength, tightness of interfaces, etc. A system of classification and coding of types and quality parameters of surface layers of machine parts is proposed. It is proposed to apply coding of surfaces of machine parts according to their functional purpose or operational properties. The necessity of taking into account the requirements for the heterogeneity of the properties of surface layers and permissible defects of critical parts in the design is shown.

Keywords: classification, coding, quality parameters of surface layer, surface, typing, unification, operational properties.

REFERENCES

1. Norenkov I.P. Basis of computer-aided design [Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya]. M.: MSTU named after N.E.Bauman, 2009. 434 p. (rus)
2. Akulovich L.M. Basis of computer-aided design of technological processes in mechanical engineering [Osnovy avtomatizirovannogo proektirovaniya tekhnologicheskikh processov v mashinostroenii]. M.: Novoe znanie, 2012. 488 p. (rus)
3. Epifanov V.V. Automated system of coding and classification of production objects [Avtomatizirovannaiya sistema kodirovaniya i klassifikacii ob'ektov proizvodstva]. Automated Management Processes. 2017. No. 3(49). Pp. 49–55. (rus)
4. Classifier of ESKD. Classes 71, 72, 73, 74, 75. Illustrated parts identifier [Klassifikator ESKD. Klassy 71, 72, 73, 74, 75. Illustrirovannyj opredelitel' detalej]. M.: Publishing House of Standards, 1988. 401 p. (rus)
5. Technological classifier of mechanical engineering and instrument parts [Tekhnologicheskij klassifikator detalej mashinostroeniya i priborostroeniya]. M.: Publishing House of Standards, 1988. 256 p. (rus)
6. Suslov A.G. High-tech technologies in mechanical engineering [Naukoemkie tekhnologii v mashinostroenii]. M.: Mashinostroenie, 2012. 528 p. (rus)
7. Kudryashov E.A., Altukhov A.Yu., Lunin D.Yu. Technological classifier of parts and surfaces to be processed by cutting [Tekhnologicheskij klassifikator detalej i poverhnostej, podlezhashchih obrabotke rezaniem]. Metal processing. 2009. No. (45). Pp. 3–8. (rus)
8. Engineering of the surface of parts [Inzheneriya poverhnosti detalej]. Collective auth.; edited by A.G. Suslov. M.: Mechanical Engineering, 2008. 320 p. (rus)
9. Suslov A.G. The quality of the surface layer of machine parts [Kachestvo poverhnostnogo sloya detalej mashin]. M.: Mechanical Engineering, 2000. 320 p. (rus)
10. Vivdenko Yu.N., Lyashkov A.A., Rezin S.A., Kusik B.V. Design and technological classification of parts as the initial basis of their manufacturing technology [Konstruktorsko-tekhnologicheskaya klassifikaciya detalej kak iskhodnaya baza tekhnologii ih izgotovleniya]. Omsk Scientific Bulletin. 2007. No. 2. Pp.106–108. (rus)
11. Shiryalkin A.F., Ugasin A.N. Development of methods of classification and coding of information about parts for technical training and production management in aircraft engineering [Razrabotka metodiki klassifikacii i kodirovaniya informacii o detali dlya tekhnicheskoy podgotovki i upravleniya proizvodstvom v aviastroenii]. Bulletin of UISTU. 2012. No. 2. Pp. 24–31. (rus)
12. Sulima A.M. Surface layer and operational properties of machine parts [Poverhnostnyj sloj i ekspluatacionnye svoystva detalej mashin]. M.: Mechanical Engineering, 1988. 240 p. (rus)
13. Kharlamov Yu.A. Fundamentals of engineering of friction surfaces [Osnovy inzhenerii

poverhnostej treniya]. Vologda: Infra-Engineering, 2022. 288 p. (rus)

14. Orlov P.I. Fundamentals of design: a reference manual. Book 1 [Osnovy konstruirovaniya: spravochno-metodicheskoe posobie. Kniga 1]. Moscow: Mechanical Engineering, 1988. 560 p. (rus)

15. Bezyagny V.F. Similarity method in mechanical engineering technology: monograph. 2nd ed [Metod podobiya v tekhnologii mashinostroeniya: monografiya. 2-e izdanie]. M.; Vologda: Infa-Engineering, 2021. 356 p. (rus)

16. Kharlamov Yu.A., Heifetz M.L. Formation of gas-thermal coatings in the production of parts [Formirovanie gazotermicheskikh pokrytij pri proizvodstve detalej]. Nats. Academy of Sciences of Belarus, Department of Physics and Technology. Sciences, Nats. Academy of Sciences of Ukraine, V. N. Bakul Institute of Superhard Materials. Minsk: Belorusskaya navuka, 2020. 416 p. (rus)

17. Kharlamov Yu.A. Processing of parts at the recovery and hardening : Study guide. Luhansk: Publishing house of the East Ukrainian National University named after Volodymyr Dahl, 2007. 500 p. (ukr)

18. Kozhuro L.M. Processing of wear-resistant coatings [Obrabotka iznosostojkikh pokrytij]. Mn.: Design PRO, 1997. 208 p. (rus)

19. Shumarova O.S., Ignatiev S.A., Samoylova E.M. Automation of recognition of defects of grinding surfaces of bearing parts during eddy current control with justification of the choice of the type of

wavelet [Avtomatizaciya raspoznavaniya defektov shlifoval'nyh poverhnostej detalej podshipnikov pri vihretokovom kontrole s obosnovaniem vybora vida vejjvleta]. News of higher educational institutions. Volga region. Technical sciences. 2015. No. 1 (33). Pp. 121–132. (rus)

20. Gorbunov V.V., Samoiloa E.M., Ignatiev A.A. Automation of eddy current control of the surface layer of bearing parts using neural network technology [vtomatizaciya vihretokovogo kontrolya poverhnostnogo sloya detalej podshipnikov s primeneniem tekhnologii neironnyh seteij]. News of higher educational institutions. Volga region. Technical sciences. 2016. No. 4 (40). Pp. 114–122. DOI 10.21685/2072-3059-2016-4-11 (rus)

21. Makarov V.F., Nikitin S.P., Pesin M.V., Gorbunov A.S. The influence of local technological stress concentrators on the operational properties of machined parts [Vliyanie lokal'nyh tekhnologicheskikh koncentratorov napryazhenij na ekspluatacionnye svoystva obrabatyvaemyh detalej]. High-tech technologies in mechanical engineering. 2017. No. 5. Pp. 31–37. DOI: 10.12737/article_591947e238a398.97451989 (rus)

22. Tabenkin A.N. Roughness, undulation, profile. International experience [SHerohovatost', volnistost', profil'. Mezhdunarodnyj opyt]. St. Petersburg: Publishing house of the Polytechnic University, 2007. 136 p. (rus)

Information about the authors

Kharlamov, Yuri A. DSc, Professor. E-mail: yuriy.kharlamov@gmail.com. Donbass State Technical University. Lugansk People's Republic, 94204, Alchevsk, Lenin ave., 16.

Vishnevskiy, Dmitry A. DSc, Assistant Professor. E-mail: dimavish.79@mail.ru. Donbass State Technical University. Lugansk People's Republic, 94204, Alchevsk, Lenin ave., 16.

Petrov, Pavel A. PhD, Assistant Professor. E-mail: pavelpetrov@list.ru. Donbass State Technical University. Lugansk People's Republic, 94204, Alchevsk, Lenin ave., 16.

Orlov, Andrei A. Postgraduate student. E-mail: orlov.orlov-andrey193@yandex.ru. Donbass State Technical University. Lugansk People's Republic, 94204, Alchevsk, Lenin ave., 16.

Received 17.06.2022

Для цитирования:

Харламов Ю.А., Вишнеvский Д.А., Петров П.А., Орлов А.А. Развитие конструкторско-технологической классификации деталей машин // Вестник БГТУ им. В.Г. Шухова. 2023. № 1. С. 121–131. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-1-121-131

For citation:

Kharlamov Yu.A., Vishnevskiy D.A., Petrov P.A., Orlov A.A. Development of design-engineering classification of machine parts. Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov. 2023. No. 1. Pp. 121–131. DOI: 10.34031/2071-7318-2022-8-1-121-131