

УДК 621.01

А. Н. Михайлов¹, д-р техн. наук, проф., Б. С. Котляров², канд. техн. наук,
В. Б. Котляров¹, аспирант, С. Б. Котляров¹, соискатель

¹ Донецкий национальный технический университет

² Москва, Россия

Тел: +7(988)-55-40-021; +7(985) 021-79-06, +7(964) 70-45-362;

E-mail: mntk21@mail.ru; boris.kotlyarov@mail.ru; velidarkotlarov@mail.ru

ЛОКАЛИЗАЦИЯ ФУНКЦИОНАЛЬНО-ОРИЕНТИРОВАННЫХ СВОЙСТВ ПО УЧАСТКАМ И ЗОНАМ ПРОФИЛЯ ТРУБЫ МАСЛООХЛАДИТЕЛЯ

В работе приведены результаты исследований, проведенных на основе анализа общего функционала детали – трубы маслоохладителя с распределением частных функций на различных участках. Разработана методика определения локализации каждого участка и зоны профильной трубы в общей системе координат детали при установлении связи с частными системами координат каждого профиля. Установлена связь функциональных целевых задач участков и зон с функционально-ориентированными свойствами, и с привязкой к ФОТ-воздействиям элементов технологической системы по обеспечению заданных ФОС детали. Приведена классификация зон и участков детали, а также разработана система формализованной записи, позволяющая увязать конструктивные признаки детали и технологические особенности инструментов.

Ключевые слова: медная труба, оребрение, система координат, ФОТ-воздействие, функционально-ориентированные свойства, инструменты, формализация записи, локализация участков и зон, профиль.

A. N. Mihailov, B. S. Kotlyarov, V. B. Kotliarov, S. B. Kotliarov

LOCALIZATION OF FUNCTIONAL-ORIENTED PROPERTIES BY SECTIONS AND ZONES OF OIL COOLER PIPE PROFILE

The paper presents the results of studies conducted on the basis of the analysis of the general functionality of the oil cooler pipe part with the distribution of particular functions in various sections. A method has been developed for determining the localization of each section and zone of the profile pipe in the general coordinate system of the part when establishing a connection with the particular coordinate systems of each profile. The connection of functional target tasks of sites and zones with functionally oriented properties, and with reference to the PHOTO effects of the elements of the technological system to ensure the specified FOS of the part is established. The classification of zones and sections of the part is given, and a system of formalized recording is developed that allows linking the design features of the part and the technological features of the tools.

Keywords: copper pipe, finning, coordinate system, FOT-impact, functionally oriented properties, tools, record formalization, localization of sites and zones, profile.

1. Введение

Общая целевая функция всей детали определяет набор частных целевых функций для каждого участка и зоны детали. При этом целевая предназначенность каждого участка имеет свои особенности, которые выражаются ФОС - функционально-ориентированными свойствами, обеспечивающими исполнение эксплуатационных функций каждым участком и деталью в целом. Различие свойств участков и зон, принадлежащих геометрическим формам и поверхностям деталей, предполагает приложение различных технологических воздействий с целью формирования этих свойств [1, 2, 3].

В работе рассматриваются назначение элементов и поверхностей детали с учетом приемлемой структуры материала, и необходимые свойства этих элементов,

которые могут обеспечить функционирование детали для выполнения эксплуатационной задачи.

Назначение детали для выполнения заданных функций в механизме или машине определяет придание тех или иных свойств, обеспечивающих в конечном счете выполнение возложенных на механизм задач.

Проведены исследования возможных способов создания требуемых свойств для ограниченных участков и зон профилированной трубы маслоохладителя, локализацию которых определенным образом можно определить в общей системе координат детали и зафиксировать путем формализованной записи.

2. Цель и задачи

Целью настоящей работы является определение функционально-ориентированных направленных технологических воздействий, применимых для формирования заданных свойств детали отдельных участков и зон детали путем реализации обработки холодной объемной и поверхностной пластической деформации - ХОППД.

Для достижения цели работы решен ряд частных конкретных технических задач.

1. Установить эксплуатационные принципиально важные функциональные особенности элементов поверхностей профиля оребренной трубы.

2. Определить и зафиксировать формальную связь атрибутов и конструктивных качественных показателей готовой детали физико-механическими и иными свойствами элементов и поверхностей трубы.

3. Установить и формализовать связь свойств элементов и поверхностей детали с технологическими аспектами инструментального обеспечения процесса накатки и свойствами технологической системы, включая кинематические цепи системы образования требуемой геометрии и поверхностных свойств.

4. Разработать порядок формализованной записи связей конструктивных свойств и признаков, частей, участков и зон деталей с технологическими аспектами ФОРТ-систем для реализации необходимых ФОРТ-воздействий.

3. Основное содержание и результаты работы

Техническая система, включающая в себя машину для выполнения определенной работы, технологическую систему для ее изготовления, объект труда и систему утилизации отработавшей машины, имеет общую техническую линию, определяемую первоначальным замыслом, вызванным развитием технического прогресса [4]. В частном случае рассмотрения технической системы, предназначенной для создания оребренных труб маслоохладителя, получаемого путем накатки витков винтообразного профиля на цельной медной трубе [5, 6], в цепь технической системы включаются следующие составляющие элементы:

- объект труда – цельная медная труба-заготовка;
- технологическая система в составе инструментального обеспечения, энергетического привода и вспомогательного оснащения.

Систему утилизации на данном этапе не рассматриваем. Подробно рассматриваем технологическую систему обеспечения профилирования.

Состав технологической системы оребрения цельной медной трубы путем накатывания профиля роликами представлен на рис. 1, на котором отражено наличие объекта обработки, инструмента, энергетического обеспечения кинематической цепи и динамического взаимодействия элементов системы.

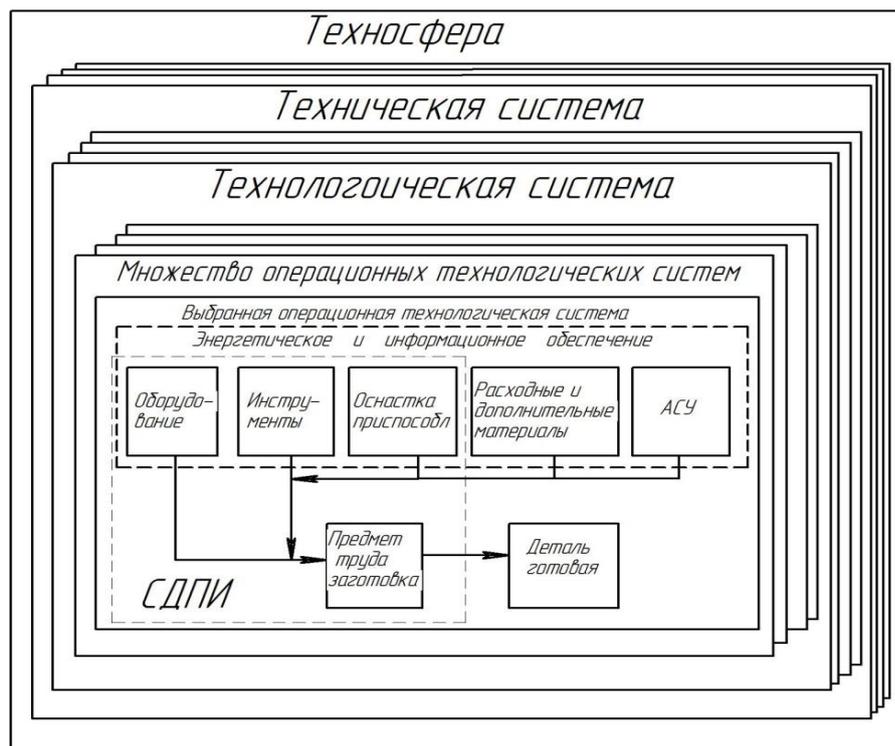


Рисунок 1. Схема организации операционной технологической системы накатки труб

В общей техносфере существует множество технических систем, каждая из которых включает множество технологических систем различного назначения. В составе технологической системы оребрения имеется несколько операционных систем, позволяющих достичь технического результата в формировании геометрии и свойств, в некотором приближении удовлетворяющего требуемым эксплуатационным характеристикам готовой детали. Путем рекуррентного итеративного выбора определена операционная технологическая система для изготовления оребренных труб маслоохладителя методом накатки цельной медной трубы-заготовки головкой с роликами, размещенными на скрещенных осях методом ХОППД.

Выбранная из установленного множества вариантов ФОР-воздействий технологическая система для осуществления оребрения медной трубы раскладывается для детального исследования на элементы СДПИ с приведением энергетического, информационного, управленческого обеспечения. Это ФОР-система профилирования цельной трубы без снятия стружки методом ХОППД, состав которой более детально представлен на рис. 2 с указанием придания кинематических воздействий отдельным элементам системы.

Основой технологической системы для профилирования принят станок токарно-винторезный ДИП-300. На станине станка установлено приспособление в качестве опорной системы для крепления головки накатной, в которой размещены три накатных ролика на скрещивающихся под углом 3 градуса осях. Ролики комплектным набором на шпонках размещены в подшипниковых узлах под углом 120 градусов в поперечной плоскости головки. Вращение осей передается от патрона через узел шестерен и карданов, расположенных на опоре приспособления. Осевая подача осуществляется суппортом станка через упор на заданный размер трубы и соответствующую длину

хода, а первичное центрирование и поддержка трубы в процессе накатки на станке обеспечивается дорном, размещенным на струне, закрепленной в пиноли задней бабки станка.

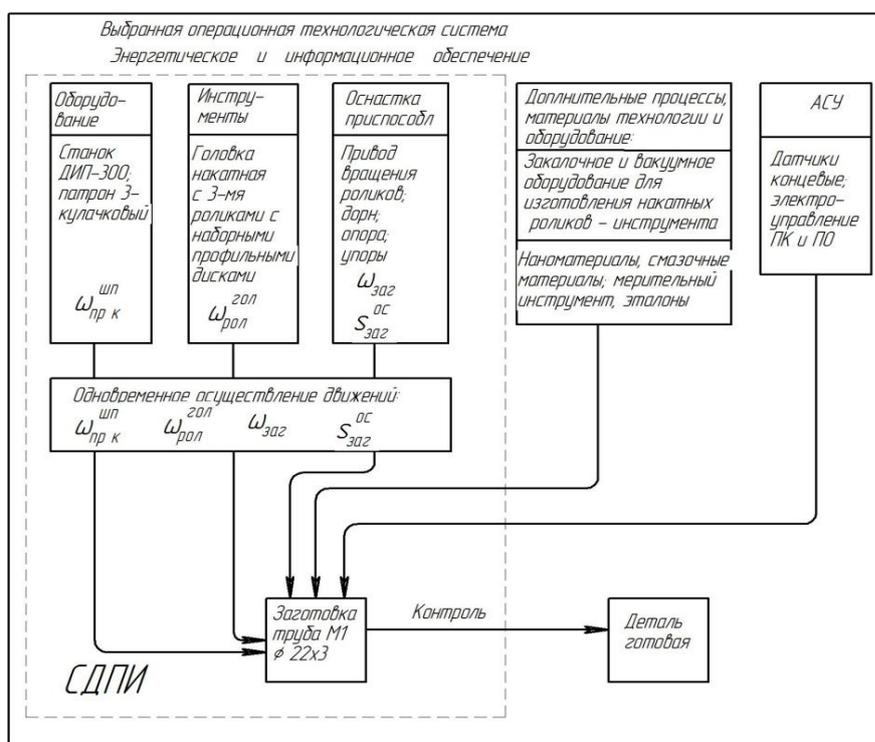


Рисунок 2. Выбранная схема ФОТ-системы накатки профиля медной трубы маслоохладителя

Подвижными элементами рассматриваемой ФОТ-системы профилирования являются следующие детали и узлы, описание которых приведено в табл. 1.

Вращение со скоростью $\omega_{рол}$ на накатные ролики передается зубчатой передачей от центральной шестерни, установленной в патроне станка через 3 зубчатых колеса. Зубчатые колеса установлены в подшипниковых узлах опоры, а три карданных вала крепятся болтовым соединением к торцам зубчатых колес, размещенных в подшипниках, с возможностью осевого перемещения относительно осей роликов для компенсации люфтов карданных валов при их вращении.

Заготовка в процессе накатывания осуществляет сложное винтовое движение за счет передаваемого вращения от роликов и осевой подачи суппорта станка. Вращение со скоростью $\omega_{заг}$ происходит вследствие врезания роликов в металл трубы, при этом за счет трения поверхности роликов и поверхности трубы в местах контакта создается усилие выдавливания металла в направлении, нормальном к поверхности контакта трубы. При вращении роликов одновременно возникает тангенциальная составляющая на контактной поверхности трубы, которая приводит трубу во вращательное движение вокруг оси.

Продольное линейное движение трубы со скоростью $V_{заг}^{ос}$ осуществляется за счет ходового винта и кинематической схемы станка, обеспечивающей осевую шаговую подачу трубы, которая определяется шагом винтовой линии профиля.

Таблица 1. – Подвижные элементы ФОТ-системы, виды движений и состав кинематических цепей.

Подвижный элемент	Вид осуществляемого движения	Цепь передачи движений	Примечание
Ролики	Вращательное $\omega_{рол}$	Патрон станка - зубчатая передача - карданная передача - ось ролика	Привод от двигателя станка
Заготовка	Вращательное $\omega_{заг}$	Ролики - заготовка От роликов посредством триботехнического взаимодействия	Силы трения при неизменном осевом расстоянии
	Продольное $V_{заг}^{oc}$	От суппорта - упор - с центрированием по дорну	С подачей на шаг винтовой линии
Дорн	Вращательное $\omega_{дорн}$	Заготовка - дорн От роликов посредством триботехнического взаимодействия внутренней поверхности трубы и наружной поверхности дорна	Силы трения при деформировании заготовки и уменьшения внутреннего диаметра трубы в процессе накатки

Вращательное движение дорна не влияет на шаг винта и может осуществляться только за счет сил трения, возникающих в контакте трубы и дорна при деформировании стенок трубы с уменьшением толщины сплошной стенки и с уменьшением внутреннего диаметра трубы в процессе перемещения объемов металла при накатке профиля и соответствующем профилировании трубы маслоохладителя. Дорн обеспечивает своими геометрическими размерами сохранение размера внутреннего диаметра оребренной трубы в заданных пределах полей допусков. Графически кинематическая схема технологической системы накатки ребер представлена на рис. 3.

Последовательность передачи вращения от патрона станка ДИП-300 на ролики видна из расположения всех промежуточных элементов кинематической цепи. Вся цепь включает промежуточные зубчатые колеса $Z_{к(1,2,3)}$, воспринимающие вращательное движение $\omega^{виз}$ от установленной в патроне станка шестерни и соединенные карданными валами с осями накатных роликов, которые теперь имеют вращение $\omega_{р(1,2,3)}$. Опорные элементы конструкции на рисунке не указаны. Показано дополнительное соединение карданов с осями роликов, примененных с целью компенсации биения, полученного вследствие углового размещения осей вращения роликов относительно осей вращения зубчатых колес. Компенсация осуществляется путем осевого перемещения опор карданных вилок относительно осей роликов.

Важнейшим элементом технологического обеспечения процесса накатки является конечный рабочий орган системы – инструмент. Это накатная головка с накатными роликами, которые и формируют окончательный профиль оребренных труб. Ранее в работах авторов рассмотрены нюансы процесса формообразования геометрии профиля оребрения [6], относящиеся к решению вопроса локализации перемещаемых масс металла заготовке в процессе формирования геометрии профиля оребрения. Следует отметить, что необходимо отдельно рассмотреть вопрос формирования профиля самих накатных роликов в части геометрии и поверхностных свойств более подробно.

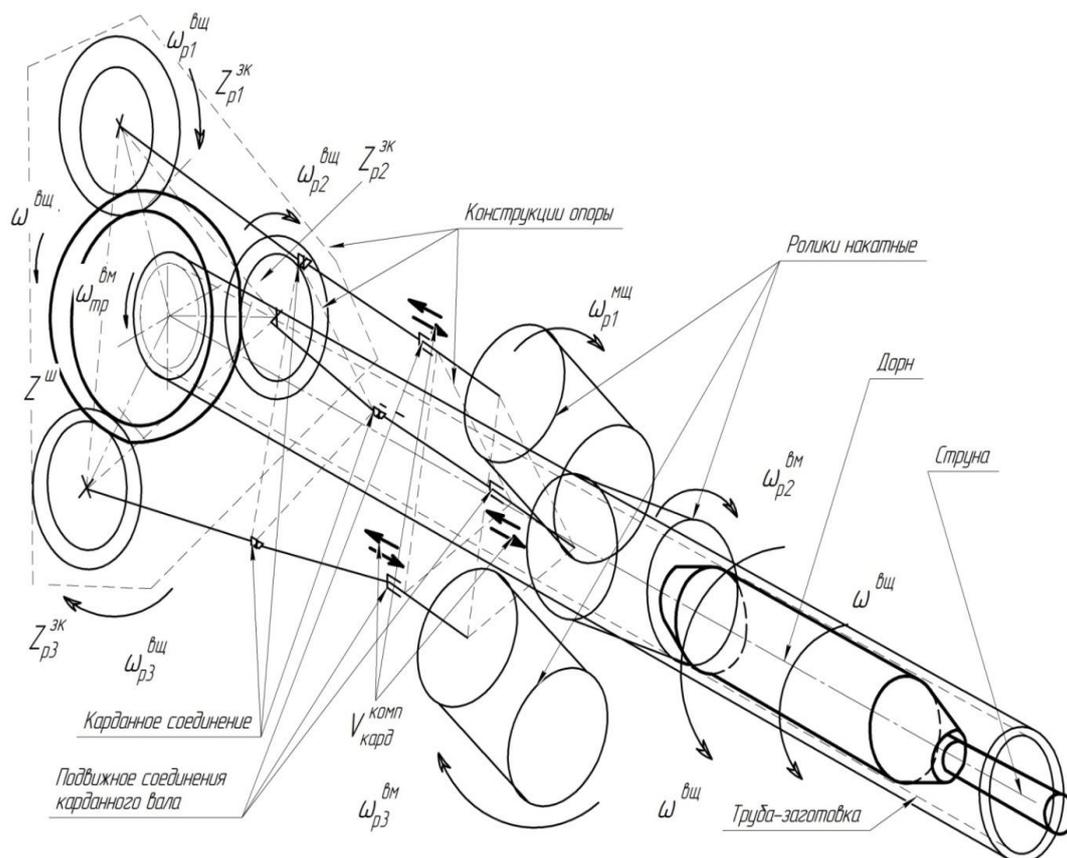
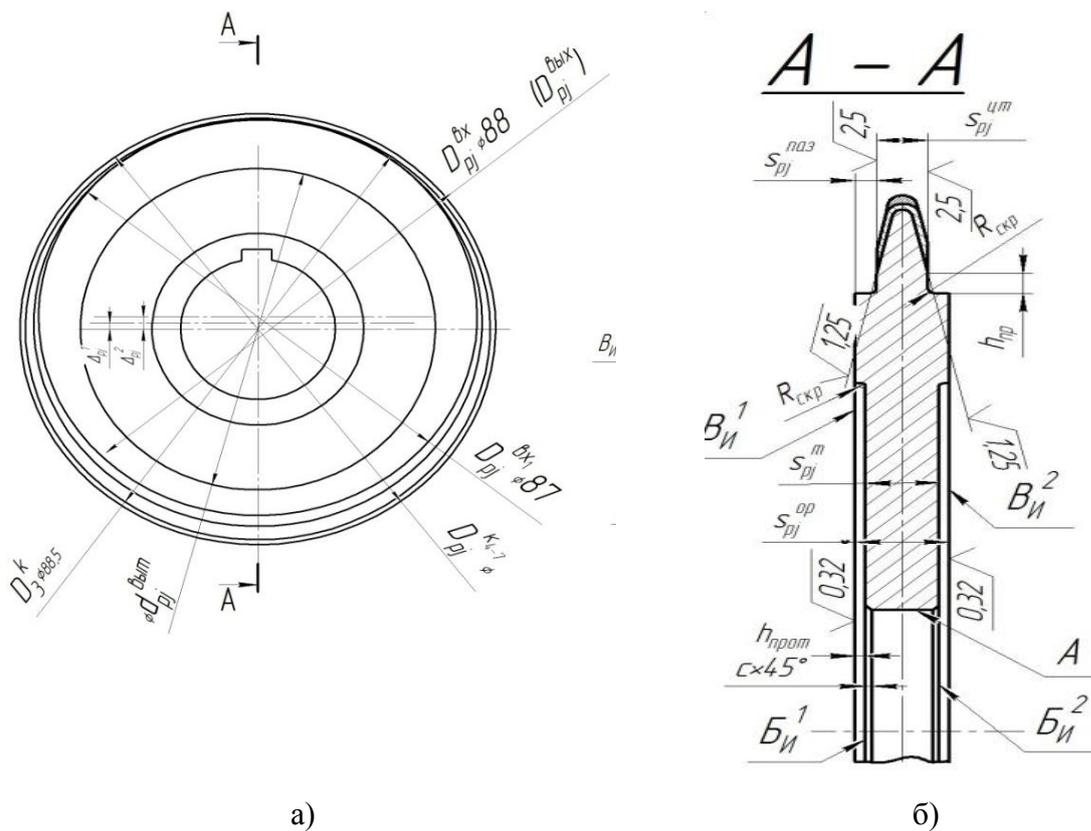


Рисунок 3. Кинематическая схема устройства оребрения труб маслоохладителя накаткой

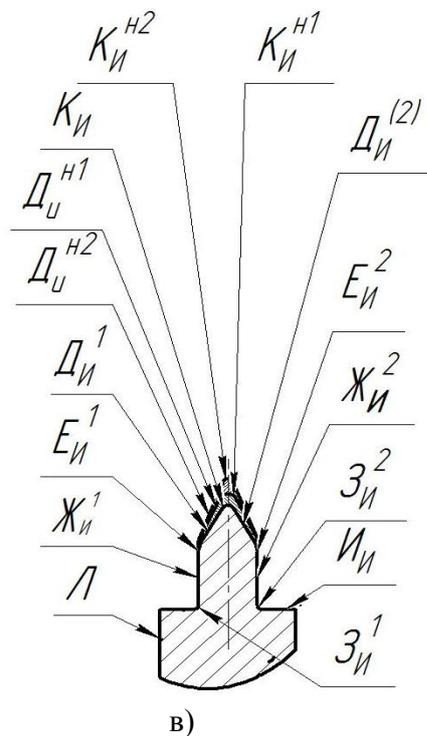
На рис. 4 приведен комплект роликов (рис. 4, а), и профиль ролика (рис. 4, б, в), где литерами русского алфавита указаны основные опорные поверхности (А, В), основные и вспомогательно-переходные поверхности (Б), сохраняющие геометрию изделия, и функционально ориентированные поверхности, предназначенные для профилирования оребрения трубы. При этом профилирующие поверхности разделены по переходным зонам с учетом различной нагрузки и обратной реакции при формировании разных зон профиля. Эти зоны поверхностей роликов исполняются с различными ФОС, в данном случае отличающиеся чистотой обработанной поверхности и твердостью поверхностного и подповерхностного слоя материала роликов. Наиболее нагруженная зона профиля формообразующих роликов является вершина профиля. Именно в этой зоне прилагаются максимальные усилия воздействия на материал трубы при перемещения масс в другие зоны профиля оребрения.

При этом для зоны первичного контакта вершины ролика с материалом трубы, который подвержен вытеснению и переносу в другие зоны профиля, предусматривается повышение твердости и износостойкости путем нанесения твердого покрытия – рис. 4, в.



а)

б)



в)

Рисунок 4. Профиль ролика накатного.

а - вид в плане – комплект роликов; б - сечение профиля ролика с упрочненным слоем;
в - послойное напыление карбида титана на вершине ролика.

Важным моментом при реализации накатки при вращающихся роликах является обеспечение самозахвата трубы-заготовки роликами и придания вращения в процессе формирования профиля при одновременной осевой подаче с шагом винтовой линии профиля вдоль оси вращения трубы. Такой захват обеспечивается конструктивным исполнением первых двух роликов комплекта, наружный диаметр которых в некоторой угловой зоне диска заборного ролика. Диаметр ролика в этой зоне выполняется с занижением на 0,5 мм за счет создания технологического эксцентриситета при шлифовании профиля, с постепенным переходом к основному диаметру $D_{p1-p2}^{K_{1-2}}$. При этом основной диаметр первых роликов $D_{p1-p2}^{K_{1-2}}$ также выполняется с общим занижением относительно диаметра калибрующих профилирующих роликов $D_{p3-p7}^{K_j}$ - с 3-го по 7-й ролик комплекта. Относительное расположение комплекта роликов частично приведена на рисунке 4а, на котором указаны и направления создания эксцентриситета осей первого и второго роликов.

Наиболее нагруженная зона на вершине профиля ролика - поверхности D_i и K_i на рис. 4в с индексами «н1» и «н2», означающих принадлежность к разным сторонам профиля, подвергается многослойному напылению с высокой твердостью поверхности. Внутренняя структура материала за счет термообработки приобретает более жесткий порядок организации, и придает несколько меньшую подповерхностную твердость в зонах, чем твердость наружных поверхностей формообразующих зон профиля ролика.

Очевидно, что такие разные требования к разным зонам профиля диктуются теми требованиями зон деталей в эксплуатации, которые необходимы для равномерного износа и прочности элементов. В данном случае это относится к рабочим поверхностям профилеобразующих накатных роликов, т. е. – инструментальному обеспечению технологической системы.

Формализация такой причинно-следственной связи может быть обеспечена на основе разработанной ранее системы установления формальных связей функционально-ориентированных признаков деталей, и функционально-ориентированных технологических воздействий, формирующих свойства этих деталей [1, 2, 5, 6].

Иллюстрировать схему приведения ФОС детали и качественных аспектов инструмента при обеспечении технологического обеспечения профилирования труб методом накатки можно с помощью рис. 5.

На рис. 5, а приведены обозначения буквами русского алфавита функционально значимых участков и зон детали, а на рис. 5, б – аналогичными буквами с индексацией букв по принадлежности к инструменту по сторонам профиля.

Буквами А, Б, В и Г обозначены посадочные и свободные поверхности детали, мы их опустим из рассмотрения в данной работе. Буквами от Д до К обозначены функциональные зоны и поверхности участков, взаимодействующих в контактной зоне при накатывании профиля детали. Сущность постановки эксплуатационных ФОС детали по локации в системе координат детали технологическим показателям технологического обеспечения, формирующим эти свойства, в частности – поверхностям инструментов, заключается в способности достижения требуемых показателей детали.

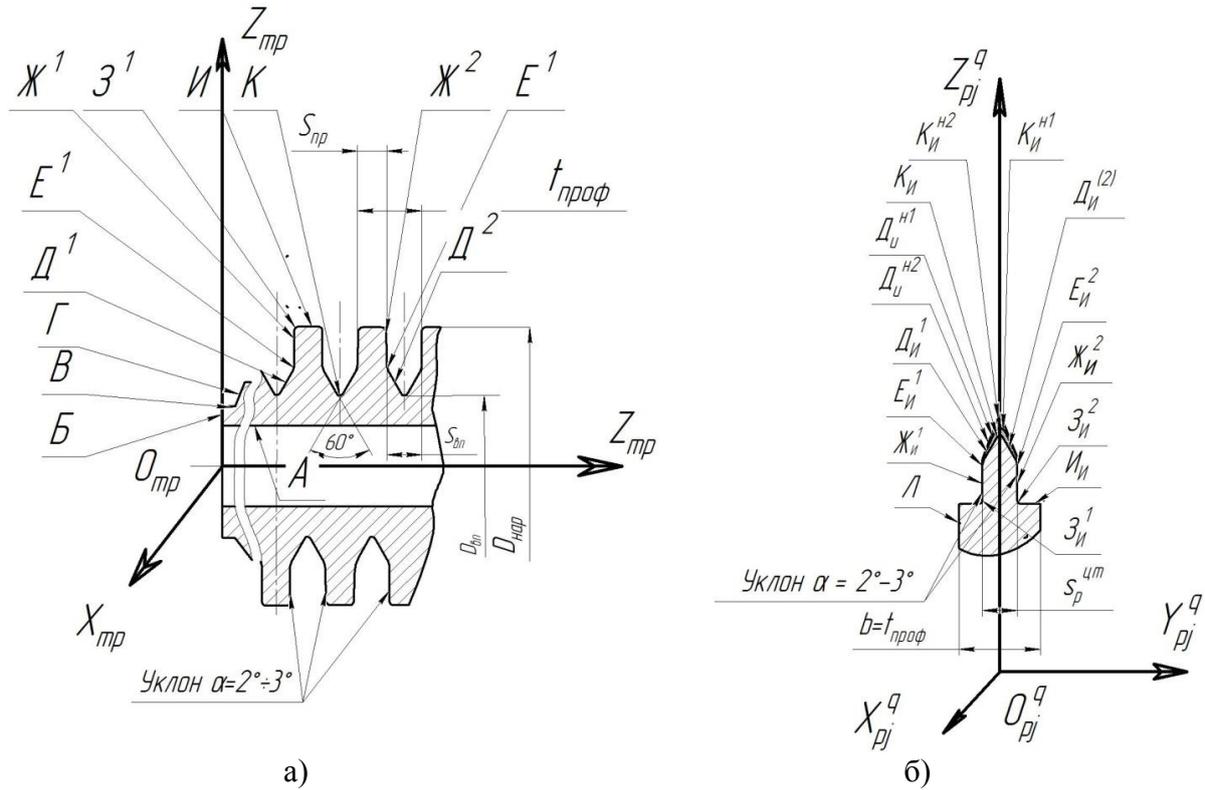


Рисунок 5. Порядок взаимосвязи поверхностей профиля детали и инструмента

Функциональные участки и зоны детали следует обозначить в виде:

$$3_j^{F_{xyz}^{yч}} = 3_{1-b} \Gamma_{xyz}^{(A...C)} \cap 3_{1-n} \Pi_{xyz}^{(A...D)} \cap 3_{1-m} M_{xyz}^{(C...Ж)} \quad (1)$$

где в левой части приведено общее обозначение рассматриваемой зоны детали, а в правой части приведено выражение конъюнкции обозначений свойств геометрии «Г», т.е. формы, свойств поверхности «П» и свойств материала «М» отдельно для каждого участка или функционально значимой зоны детали. Символами 3_j при этом обозначены номера зон и участков детали с указанием координат каждого участка в общей системе координат детали. Специфические ограниченные зоны со специальными требованиями отражаются верхней частью записи в выражении (1), и относятся к геометрии «Г», поверхности «П», или к свойствам материала «М» в заданной зоне, и локализация границ этих участков отражается в частных системах координат элементов детали.

Для участков и зон профилирующих роликов соответствующие поверхности контакта в зоне взаимодействия записываются в аналогичном виде с соответствующей индексацией участков, зон и поверхностей по формируемым свойствам. Локализация участков и зон отражается в декартовой системе координат накатного ролика.

$$3_{g_{xyz}}^p = 3_{j(1,2,...,m)}^{\Gamma(A,B,...,\Phi)} \cap (\cup) 3_{j(1,2,...,n)}^{\Pi(A,B,...,\Phi)} \cap (\cup) 3_{j(1,2,...,q)}^{M(A,B,...,\Phi)} \quad (2)$$

где в левой части выражения (2) представлена общая запись зон накатного ролика, а в правой части конъюнкция или дизъюнкция зон формообразования геометрии или свойств поверхности и структуры подповерхностного слоя материала в зонах профилирования.

Переход от ФОС, отраженных выражением (2), к ФОТ-воздействиям в их множестве и выборе лучших вариантов по рекуррентно-итеративной схеме [2, 3, 5, 6], которые формируют ФОС инструмента в заданных локализациях. Такой подход позволяет выстроить цепь перехода от ФОС деталей к схеме технологического обеспечения через комплексное решение не только технологии изготовления деталей на финишной стадии, но и через технологию расчета и изготовления инструмента, в данном случае путем рационального подхода к изготовлению накатных роликов. Схема, которая отражает указанный подход к накате труб, иллюстрируется следующим выражением:

$$Z_{L_{xyz}}^{F_{xyz}^{yч}} \Rightarrow Z_{j(1,2,\dots,m)}^{G_{xyz}^{(A,B,\dots,\Phi)}} \cap (\cup) Z_{j(1,2,\dots,n)}^{П_{xyz}^{(A,B,\dots,\Phi)}} \cap (\cup) Z_{j(1,2,\dots,q)}^{M_{xyz}^{(A,B,\dots,\Phi)}} \Rightarrow T_{3_j}^{F_{xyz}^{\Phi \cap П \cap M}},$$

где сохранена индексация символов согласно выражениям (1) и (2). При этом последний член выражения отражает ФОТ-воздействие на обрабатываемый элемент согласно ранее разработанной методике [1, 2, 3]. При условии обозначения каждого ФОТ-воздействия в соответствии с разработанной ранее схемой формализации [1, 2, 3] появляется возможность однозначно выявлять лучший вариант технологического обеспечения для рассматриваемого процесса. При этом на каждом этапе лучший вариант определяется на основе рекуррентно-итеративного выбора из установленного множества ФОТ-воздействий для обеспечения технически возможного достижения требуемых качественных показателей обрабатываемой детали.

Заключение

В настоящей работе приведены результаты исследований, касающиеся задачи формообразования, формирования свойств поверхности и свойств поверхностного и подповерхностного слоя материала в процессе изготовления оребренных труб методом ХОППД, в результате чего без образования отходов получают готовую деталь.

В процессе исследований решены следующие частные технические задачи:

1. Установлены функционально-значимые эксплуатационные признаки элементов и участков поверхностей оребренной трубы маслоохладителя и особенности формирования геометрии и свойств элементов, с локализацией в системе декартовых координат детали.

2. Определена и формализована связь атрибутов и конструктивных качественных показателей готовой детали, отражающих эксплуатационные физико-механические и иные свойства элементов и поверхностей трубы, с элементами технологического обеспечения их достижения.

3. Установлена и формализована связь свойств элементов и поверхностей детали с технологическими аспектами инструментального обеспечения процесса накатки и свойствами технологической системы, включая кинематические цепи системы образования требуемой геометрии и поверхностных свойств. Предложена схема записи цепи взаимосвязи, включающие конструктивные функциональные ФОС и признаки

детали, с элементами технологического обеспечения и ФОТ-воздействий при изготовлении специальных инструментов, с помощью которых формируются профили труб маслоохладителей методом ХОППД.

4. Разработан вид и порядок формализованной записи взаимосвязей конструктивных ФОС и признаков, частей, участков и зон деталей, с указанием локализации в общей системе координат детали, с технологическими аспектами ФОТ-систем для реализации необходимых ФОТ-воздействий.

ЛИТЕРАТУРА:

1. Михайлов, А. Н. Анализ деталей по функциональным признакам участков и зон согласно уровню и глубине технологического обеспечения целевой функции / Котляров В. Б., Котляров С. Б., Михайлов А. Н. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных работ. – Донецк: ДонНТУ, 2022. – Вып. 1 (76). – ISSN 2073-3216, (E) ISSN 2518-7120.

2. Михайлов, А. Н. Синтез структурных схем функционально-ориентированного технологического воздействия при формообразовании и формировании поверхностных свойств деталей КПП / Михайлов А. Н., Котляров Б. С., Котляров В. Б., Котляров С. Б. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных работ. – Донецк: ДонНТУ, 2020. – Вып. 2 (73). – С. 53-67. – ISSN 2073-3216, (E) ISSN 2518-7120.

3. Михайлов, А. Н. Обеспечение свойств и структуры материала детали с помощью функционально-ориентированного технологического воздействия / Михайлов А. Н., Котляров Б. С., Котляров В. Б., Котляров С. Б. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных работ. – Донецк: ДонНТУ, 2021. – Вып. № 3(74). – С. 38-49. ISSN 2073-3216, (E) ISSN 2518-7120.

4. Аронсон, К. Э. Теплообменники энергетических установок: учебное электронное издание / К. Э. Аронсон, С. Н. Блинков, В. И. Брезгин и др.: под ред. Н. В. Лутова. – Екатеринбург: УрФУ, 2015.

5. Михайлов, А. Н. К вопросу синтеза функционально-ориентированных структурных схем формообразования с использованием линейчатого контакта инструмента и заготовки / Михайлов А. Н., Котляров Б. С., Котляров В. Б., Котляров С. Б. // Прогрессивные технологии и системы машиностроения: Международный сб. научных работ. – Донецк: ДонНТУ, 2021. – Вып. № 4(75) – С. 38-58. – ISSN 2073-3216, (E)ISSN2518-7120

6. Михайлов, А. Н. Разработка структурной схемы процесса накатки профилей оребренных труб для маслоохладителей тепловозов / Михайлов А. Н., Котляров В. Б., Котляров С. Б., Котляров Б. С. // Механики XXI века. – 2022. – № 21. – С. 118–127.

Поступила в редколлегию 14.03.2022 г.