

Секция
«Обеспечение качества деталей машин и оборудования»

Модернизация лазерного раскройного комплекса

За последние годы объем выпуска деталей из листового материала значительно вырос благодаря своей простоте и технологичности. Поэтому современное машиностроительное производство невозможно представить без раскройного и гибочного оборудования для листового материала. В настоящее время благодаря высокой производительности, качества обработанной поверхности, обработки практически любого материала и невысокой цены широко применяются раскройные комплексы на основе лазера. Рассмотрим применение лазерного раскройного комплекса «Навигатор» [1] на Муромских предприятиях, общий вид оборудования представлен на рисунке 1.



Рис. 1. Общий вид раскройного комплекса

Обработка на данном оборудовании начинается с установки заготовки (листа) на сменные паллеты, как правило, используя специальные приспособления или вручную. После этого паллета с заготовкой вводится в рабочую зону станка, и оператор производит окончательную установку заготовки (выставляет торцы относительно осей координат станка, а также «0» инструмента). При этом корректировка положения листа в рабочей зоне станка нарушает технику безопасности и может привести к поломке дорогостоящего оборудования или травме оператора. Особенно затруднительно корректировка положения крупногабаритных и массивных заготовок, т.к. требуется большие усилия, а доступ в рабочую зону станка для оператора ограничен.

Предлагается над зоной установки заготовок установить проектор или другое устройство, формирующее световую сетку на поверхности паллеты или заготовки и указывающий положение «0» инструмента. Проектор устанавливается таким образом, чтобы линии, проецируемые на поверхности заготовки, были параллельны осям станка.

Общая схема установки проектора на лазерном раскройном комплексе в условиях предприятия представлена на рисунке 2. Оператор при установке на сменные паллеты 2 заготовку 3 включает проектор 4 и выставляет лист заготовки в исходную точку параллельно осям перемещения режущей головки лазерного комплекса 1. Как видно на рисунке 1 оператор имеет свободный доступ с любой стороны к паллете и может безопасно и точно откорректировать положение заготовки.

Существует множество схем месторасположения и крепления проектора в зависимости от реальных возможностей предприятия, модели проектора и т.п. В данной схеме проектор жестко устанавливается с помощью кронштейна к верхней части комплекса. Это позволяет исключить поломки при установке заготовок на сменные паллеты, а также минимизирует возможность пересечения лазерного луча оператором при установке и корректировки положения заготовок.

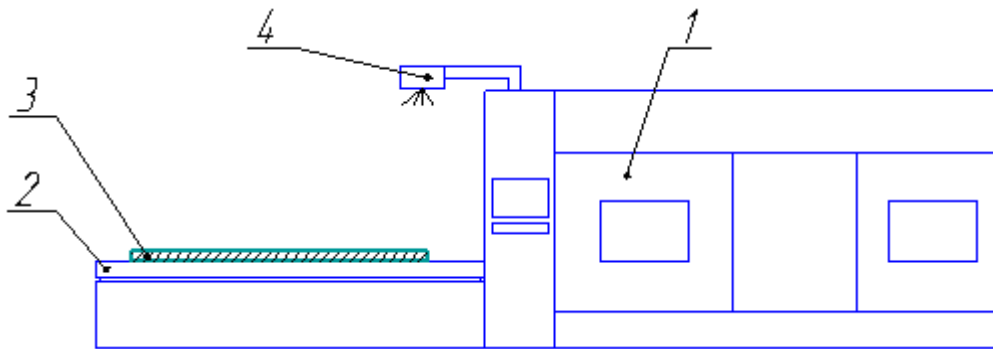


Рис. 2. Общая схема установки проектора

(1- лазерный раскройный комплекс, 2- сменные паллеты, 3- заготовка, 4- лазерный проектор)

Таким образом, установка проектора позволит: в первую очередь снизить вероятность травматизма и поломки оборудования, при установке заготовок. А также сократить подготовительно-заключительное время на установку заготовки, за счет совмещения с основным временем.

Литература

1. http://www.vnitep.ru/products/navigator_ks_3v/

Повышение долговечности деталей машин созданием гетерогенной структуры деформационным упрочнением

Потеря работоспособности большого числа деталей машин, работающих в условиях контактно-усталостного нагружения, связана с появлением локальных выкрашиваний на их рабочих поверхностях. Такими деталями являются зубчатые колеса, элементы червячных, цепных и глобоидальных, гипоидных, винтовых, передач, подшипников качения, шлицевых и направляющих соединений и т.д. Резервы повышения их срока службы заключаются в технологическом обеспечении необходимых механических характеристик поверхностного слоя, воспринимающего циклические контактные нагрузки. Для этого широко используют упрочняющую обработку, которой формируют поверхностный слой с высокой твердостью и большой толщиной.

Результаты современных исследований свидетельствуют о достаточно большом влиянии на интенсивность контактно-усталостного изнашивания поверхностного слоя равномерности его упрочнения. Значительный эффект был достигнут созданием гетерогенно упрочненной структуры, характеризующейся чередованием участков высокой и низкой твердости, полученной термообработкой и химико-термической обработкой.

Поверхностное пластическое деформирование (ППД) представляет собой один из наиболее надежных и доступных способов повышения долговечности деталей машин. Однако влияния равномерности упрочнения на сопротивление поверхностного слоя контактными нагрузкам до настоящего времени остаются неисследованным. Это связано с технологическими сложностями создания распространенными способами ППД упрочненного поверхностного слоя обладающего одновременно большой глубиной (до 3 мм и более) и требуемой равномерностью упрочнения.

В последнее время появился новый способ упрочнения ППД – статико-импульсная обработка (СИО), который за счет воздействия на упрочняемую поверхность управляемых волн деформации имеет более широкие возможности по формированию упрочненного поверхностно слоя с большой глубиной (до 6...8 мм) и высокой степенью упрочнения (до 6500 МПа). Технология СИО позволяет достаточно точно регулировать равномерность упрочнения, создавая как равномерно, так и гетерогенно упрочненную структуру. При СИО пластическое деформирование упрочняемого материала осуществляется импульсной нагрузкой, которая является следствием возникновения в ударной системе, при ударе, волн деформации и управляется геометрическими параметрами ударной системы. Статическая составляющая нагрузки практически не участвует в процессе упругопластического деформирования и предназначена для наиболее полного использования импульсной. В результате, упрочненная поверхность состоит из пластических отпечатков, которые перекрываются между собой в определенном порядке (рис. 1). Перекрытие пластических отпечатков при СИО будет определять равномерность упрочнения, которая характеризуется коэффициентом перекрытия

$$K = 1 - \frac{X}{\delta}; \quad X = \frac{s}{f60},$$

где X – расстояние между центрами отпечатков, мм; δ – размер отпечатка, измеряемого в направлении смещения очага деформации, мм; s – скорость подачи заготовки относительно инструмента, мм/мин; f – частота ударов, Гц.

Таким образом, если $K = 0$, т.е. $x = \delta$ (где x – когда расстояние между центрами отпечатков) – край одного отпечатка граничит с краем другого; если $0 < K < 1$, когда $x < \delta$ – отпечатки перекрываются; при $K = 1$ происходит многократное вдавливание инструмента в одно и то же место.

Получаемая в результате статико-импульсной обработки, поверхностным пластическим деформированием, гетерогенная структура (рис.1) содержит плавный переход от упрочненной

поверхности к неупрочненной, тем самым, исключая зарождения между ними микротрещин, приводящих к разрушению, под действием контактных циклических нагрузок.

При контактно-усталостных испытаниях гетерогенной структуры полученной СИО ППД было отмечено повышение её долговечности в 3-6 раз.

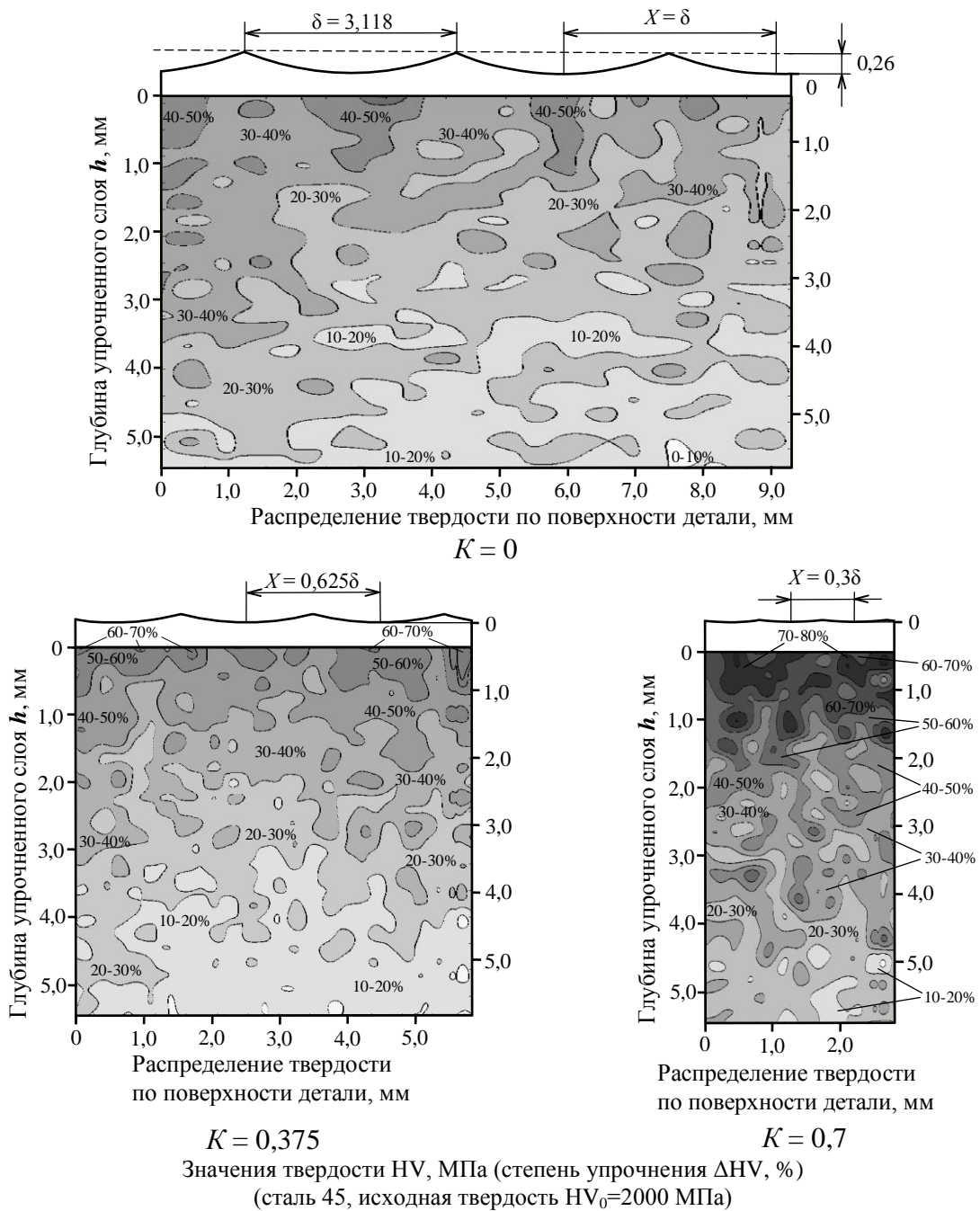


Рис.1. Влияние коэффициента перекрытия отпечатков K на равномерность упрочнения СИО
(энергия удара $A=56$ Дж, δ - размер единичных отпечатков, X – расстояние между центрами отпечатков,
сталь 45, исходная твердость $HV_0=2000$ МПа)
а) $K=0$; б) $K=0,375$; в) $K=0,7$.

К вопросу интерпретации приработки при трении

В процессе приработки часть подводимой механической энергии затрачивается на структурную трансформацию поверхностных слоев материалов деталей. Особенности преобразования энергии определяются комплексом свойств контактирующих материалов и зависят от физико-химической активности смазки. Контакт поверхностей при трении дискретен и состоит из отдельных, изолированных друг от друга участков непосредственного соприкосновения. При приработке последовательно происходит пластическое, упруго-пластическое и упругое передеформирование микронеровностей, которое формирует некоторый уровень напряжений, локализованный в активном прирабатываемом слое.

Энергетические превращения в поверхностных слоях обуславливаются характером взаимодействия волн напряжений с элементами реальной структуры: вакансиями, порами, включениями фаз. Распределение поглощаемой активным слоем энергии по составляющим баланса предопределяет кинетику изменения фрикционных характеристик.

Направление и масштабы структурной трансформации поверхностных слоев зависят, в первую очередь, от уровня напряжений, который определяется силовыми, кинетическими и прочими параметрами. Определяющими являются также изменение свойств окружающей среды, активация адгезионных эффектов и т.п..

Процесс трансформации энергии при приработке можно разделить на несколько фаз – формирование фактической площади контакта, образование некоторого энергетического поля вследствие протекания упругопластических деформаций, распределение энергии между элементами трибосистемы.

Распределение энергии происходит между всеми элементами трибосистемы – поверхностями, смазкой, окружающей средой - причем известно, что для открытых систем, чем больше значение рассеиваемой энергии, тем выше их работоспособность. Подводимая в контакт энергия E частично рассеивается и частично поглощается активным поверхностным слоем. Энергетический баланс в этом случае определяется через составляющие:

$$E = E_{\text{дисс}} + E_{\text{зан}}$$

Запасаемая поверхностным слоем энергия $E_{\text{зан}}$ составляет несколько процентов всей подводимой энергии и распределяется между структурными составляющими в зависимости от свойств прирабатываемых материалов и текущих значений напряжений. Образование точечных дефектов, в том числе вакансий, является весьма малоэнергоемким процессом. Основным источником поглощения энергии являются дислокации. В случае чрезмерно жестких условий приработки, когда активируются процессы разрушения, энергия расходуется в основном на образование новых поверхностей. Таким образом, лучше прирабатываемым следует считать тот материал, у которого поглощение энергии осуществляется за счет образования точечных и линейных дефектов в активном слое при минимуме доли энергии, идущей на образование новых поверхностей, то есть на износ.

Рассеиваемая энергия может быть разделена на составляющие, связанные с диссипацией при колебаниях атомов в решетке и на дефектах структуры, с излучением и протеканием трибохимических реакций в активном слое. Основным источником диссипации энергии являются, в первую очередь, дислокации.

Теплообразование является вторичным процессом при пластической деформации. Теплообразующими являются процессы перестройки кристаллической структуры. При этом кинетическая энергия возбужденных атомов, вакансий, дислокаций и других несовершенств переходит в теплоту. Теплота при этом может отдаваться в окружающую среду, а также сохраняться в теле. В этом случае она выступает как энергия активации диффузионных процессов, химических реакций, изменения физических и механических свойств материала. Температура теплообразования является характеристикой возникающего теплового слоя.

Варианты конструкций манипуляторов для крепления горных выработок

Механизация крепления проводимых горных выработок оказывает значительное влияние на работу щитовых проходческих комплексов. Для её выполнения до настоящего времени не разработано единого конструктивного решения, позволяющего механизировать эту операцию и снизить трудозатраты обслуживающего персонала. Этот недостаток может быть устранён применением в составе щитовых проходческих комплексов для крепления выработок манипуляторов, обладающих расширенной зоной обслуживания, имеющих необходимую и достаточную металлоёмкость и высокую надёжность, а также повышенную точность позиционирования доставляемого груза. Поэтому проведение научно-исследовательских работ в этом направлении является актуальным.

Сборная чугунная обделка тоннеля представляет собой ряд соединенных в трубу широких колец, каждое из которых собрано из отдельных элементов — тубингов.

Чугунный тубинг имеет вид ребристой коробки, дно которой — выполнено по круговой кривой, соответствующей радиусу кольца обделки тоннеля. Тубинг имеет два продольных борта, плоскость которых образует продольные стыки в готовой обделке, а также два поперечных борта, которые в готовой обделке образуют кольцевые стыки. Края бортов тубинга, обращенные внутрь кольца обделки, имеют специальные выемки — фальцы, которые при сборке обделки образуют так называемые чеканочные канавки. Внутри тубинга, между радиальными и кольцевыми бортами, расположены ребра жесткости. Болтовые отверстия в бортах тубинга служат для соединения смежных тубингов в кольцо, а колец — в обделку тоннеля. В спинке тубинга имеется завинчивающееся металлической пробкой отверстие для нагнетания за обделку специальных уплотняющих и гидроизолирующих растворов.

Для выбора наиболее перспективной схемы манипулятора для крепления горных выработок проведём анализ применяемых в настоящее время в составе щитовых комплексов крепеукладчиков. Распространение получили следующие конструктивные схемы [1]: рычажный (с подъёмной опорой вала, а также с опорой вала на подвижной тележке): расчётный крутящий момент, кН·м – 3,76...82, частота вращения – до 3 об/мин, наибольшее усилие при подъёме блока – до 96 кН, скорость выдвижения штанги, м/мин – 0,9...3,5, ход выдвижения штанги, мм – 280...2200, ход осевой доводки, мм – 150...170; кольцевой (на наружных опорах; на внутренних опорах); канатный; дуговой; кондукторный.

Основным недостатком используемых схем рычажных крепеукладчиков является ограничение зоны обслуживания плоскостью, в которой установлен манипулятор. Применение кольцевых крепеукладчиков сопряжено с возможностью возникновения значительных погрешностей позиционирования из-за значительной сложности конструкции крепеукладчика.

В качестве одного из основных недостатков канатного, дугового и кондукторного крепеукладчиков можно назвать сложность их конструкции, возможность возникновения погрешностей позиционирования, а также ограниченность зоны обслуживания.

От этих недостатков свободна конструкция манипулятора, представленная на рис. 1. Её практическое применение позволит значительно расширить зону обслуживания при простоте конструкции манипулятора.

В качестве привода, определяющего поворот манипулятора, может быть использован гидропривод, реализованный, например, в виде высокомоментного гидромотора, либо нескольких аксиально поршневых гидромоторов, на выходных звеньях которых смонтированы зубчатые колёса, взаимодействующие с цевками закреплёнными на опоре базового звена манипулятора.

Для определения факторов действующих на манипулятор во время его работы целесообразно выделить два различных этапа:

Период доставки объекта манипулирования (элементов обделки выработки) до заданной точки по сложной пространственной траектории. Этот период может быть охарактеризован участком возрастания ускорения, участком с постоянным ускорением и участком с уменьшением ускорения.

Период непосредственного закрепления объекта манипулирования (элементов обделки). Основной характеристикой работы манипулятора в этот период является усилия, затрачиваемые на удержание объекта манипулирования в заданной точке.

Анализ проведённых исследований [1, 2, 3, 4, 5] позволил установить, что в работах [2, 3, 4, 5] представлены математические модели для определения геометрических, кинематических и позиционных параметров роботов – манипуляторов. Инерционные параметры рассматриваются как сосредоточенные в точках или сечениях звена, а податливость звена представляется как упругая связь между этими массами или моментами инерции. Кроме того, разработанные модели не учитывают полностью параметров сжимаемости жидкости, податливости звеньев манипулятора и рассеяния энергии.

В работе [2] справедливо отмечено, что одной из основных задач, которые приходится решать при проектировании роботов – повышение их динамической точности. В работе [2] предпринята попытка разработать модель для исследования динамических характеристик проектируемого робота-манипулятора. Однако, двухмассовая динамическая модель, описанная в работе не отражает в полной мере распределение сил и масс в пространственных механизмах робота.

В статье [3] представлена разработанная математическая модель для описания работы манипулятора с гидроприводом, эксплуатируемого в лесной промышленности. В работе исследованы вопросы совмещения движения трёх звеньев манипулятора. Необходимо отметить, что данная модель не обладает универсальностью, так как составлена под конкретную кинематическую схему. Для учёта особенностей работы гидропривода использованы уравнения расхода рабочей жидкости, учитывающие утечки в гидросистеме. Проведённый в работе [4] анализ исследования динамики гидропривода лесных манипуляторов позволил установить, что рабочие процессы механизмов подъёма стрелы сопровождаются большими нагрузками, вызывающими значительные динамические изменения давления рабочей жидкости в переходных режимах. Захват переносимых материалов не всегда осуществляется по центру их тяжести, поэтому при остановках манипулятора в промежуточных положениях происходит раскачивание груза, которое вызывает колебательные процессы и знакопеременные напряжения в металлоконструкции, что снижает их надёжность и производительность. Отказы в работе гидропривода составляют 30 % от общего количества отказов по машинам манипуляторного типа.

Представленные результаты будут использованы при проведении дальнейших исследований разработанной конструкции манипулятора для крепления горных выработок.

Литература

1. Бреннер В.А. Щитовые проходческие комплексы [Текст]/ В.А. Бреннер, А.Б. Жабин, М.М. Щеголевский, Ал.В. Поляков, Ан.В. Поляков – М.: Изд-во «Горная книга», 2009. – 447 с.
2. Червяков Г.Г. Основы автоматизации технологических процессов [Текст]/ Г.Г. Червяков // Международный журнал фундаментальных и прикладных исследований, 2012. №9. – с.96.
3. Хуако З.А. Теоретическое описание движений звеньев гидроманипулятора без учета податливости рабочей жидкости и элементов гидропривода [Текст]/ З.А. Хуако // Научный журнал КубГАУ, 2012. №80(06). – 5 с.
4. Сидоров А.А. Обоснование и оптимизация параметров демпфера механизма подъема стрелы лесного манипулятора сортиментовоза [Текст] / А.А. Сидоров // Автореферат дисс. к.т.н. Воронеж, 2011. – 16 с.
5. Воробьев Е.И. Механика промышленных роботов [Текст] / Е.И. Воробьев, А.В. Бабич, К.П. Жуков, С.А. Попов, Ю.И. Семин – М.: Изд-во «Высшая школа», 1989. Том 3. – 382 с.

Система управления технологическим процессом производственного предприятия с полным технологическим циклом

Разрабатываемая система управления (СУ) сложным технологическим процессом промышленного производства основана на структурном исследовании конкретного завода, относящегося к классу предприятий оборонного назначения.

Системы управления представляют собой различные потоки информации, материалы и энергию (на входе и выходе из системы), различные процессы преобразования, а также процедуры сравнения[1]. В докладе представлен вариант построения СУ технологическим процессом производственного предприятия с полным технологическим циклом (подразумевает наличие заготовительных, вспомогательных и сборочных подразделений) на примере изготовления изделий, выпускаемых на ОАО «Муромский приборостроительный завод» (ОАО «МПЗ»).

Одним из основных производственных процессов ОАО «МПЗ» является изготовление капсюль-воспламенителей (КВ) для стрелкового, спортивного и охотничьего оружия[2]. Технологический процесс изготовления данной продукции затрагивает практически все подразделения предприятия, является сложным и тем самым представляет интерес с точки зрения оптимизации СУ. Схема, представленная на рис. 1 отображает основной технологический процесс, не учитывая вспомогательные операции, выполняемые на других участках и подразделениях предприятия.

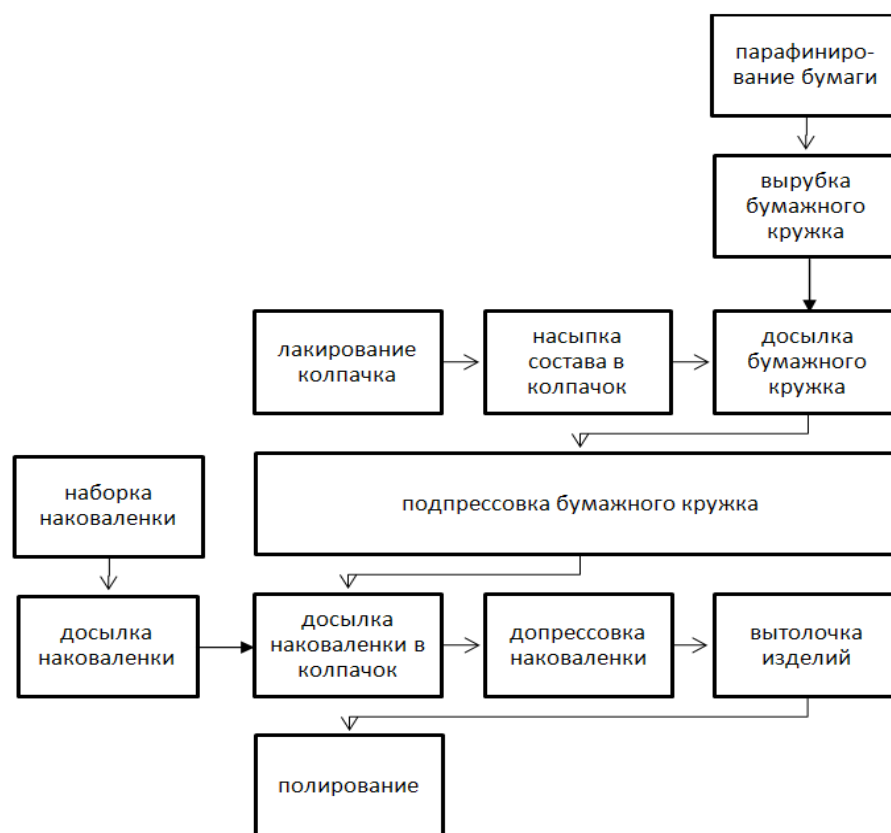


Рис.1. Схема изготовления КВ на полуавтоматической линии

Структурная схема вспомогательного производства изображена на рис. 2.

фрезерно-токарный участок
гальваническое производство
роторная линия
цех по изготовлению ударного состава
лакокрасочный участок
транспортные услуги

Рис.2. Структурная схема вспомогательного производства

Система управления сложным производственным процессом [3] изготовления КВ представлена на рис 3.

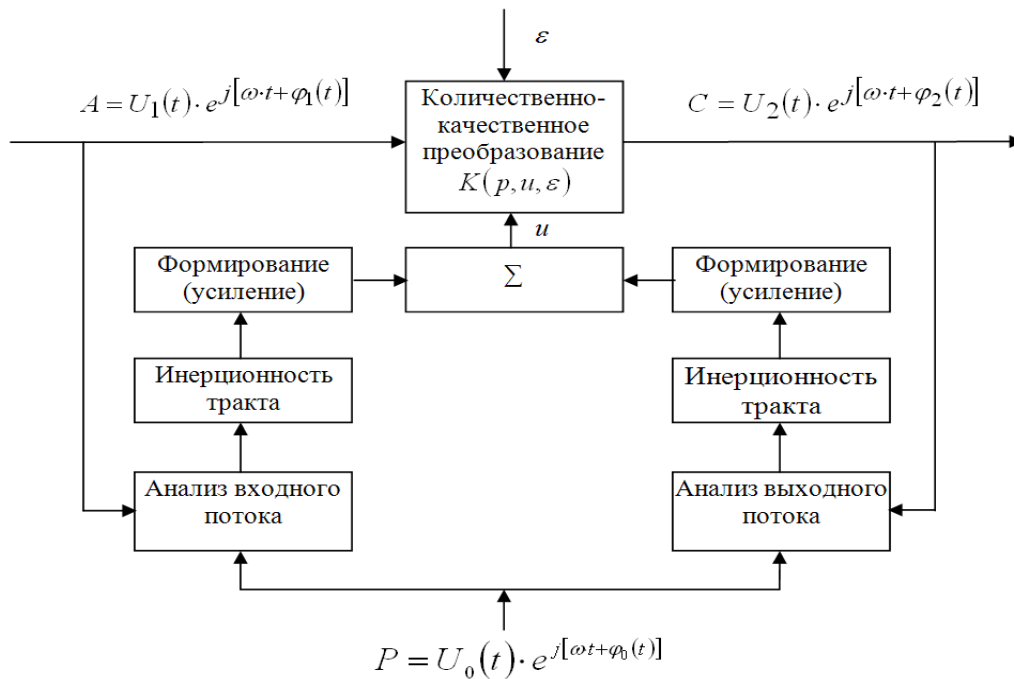


Рис.3. Система управления технологическим процессом

На входе в систему материальные и энергетические ресурсы, поставляемые вспомогательным производством, отображенным на рис 2. Центральная (основная) процедура СУ и процесс преобразования в данном случае - это процесс изготовления изделий на полуавтоматической линии, изображенный на рис. 1. Процедуры сравнения в СУ представляют собой эталонное сравнение с идеальным ходом технологического процесса. На выходе изделие соответствующее стандартам качества.

Человек занимает одно из значимых мест в мире не потому, что он есть «вершина» эволюционного процесса, а потому что человек может стать фактором «направляемости» или «управляемости» развития, при этом направляя последнее в сторону повышения стабильности. А именно нестабильность техносферы способствует актуальности разработок всевозможных СУ. Представленная СУ предназначена в первую очередь на принятие мер по увеличению уровня роста производственного труда, снижению количества бракованной продукции, экономии материальных и трудовых ресурсов, оптимизации затрат на производство, тем самым является весомой на нынешнем этапе развития техносферы.

Литература

1. Потапова Т.Б. Структурный анализ системы управления непрерывным замкнутым производством // Приборы и системы управления. 1999, №12. – С.16-24.
2. Открытое Акционерное Общество «Муромский Приборостроительный Завод» // Режим доступа: <http://mpzflame.ru/primers.php>.
3. Курилов И.А., Григорюк Е.Н., Калинин М.В., Кириллов И.Н., Лашин А.Е., Булкин В.В. Принципы управления информационными потоками в технологических процессах // Методы и устройства передачи обработки информации. 2013, №1. – С.13-18.

Разработка конструкции кожухотрубного теплообменного аппарата для условий химических производств

В настоящее время стремительное развитие химических производств создает необходимость совершенствования различных конструкций теплообменного оборудования для самых разнообразных условий работы. Диапазон температур, давлений, а также свойств сред, в которых работают теплообменники, непрерывно расширяется и поэтому число задач, с которыми сталкивается проектировщик, несмотря на большое количество выполняемых экспериментальных и теоретических разработок, все время возрастает.

Применение систем автоматизированного проектирования (САПР) дает возможность проектировщику варьировать размеры конструкции, экспериментировать с эскизами, создавать модели и чертежи разрабатываемого оборудования, а также позволяет сократить время и повысить точность проектирования.

Рассмотрим процесс разработки конструкции кожухотрубного теплообменного аппарата с использованием САПР.

В кожухотрубных теплообменниках одна из обменивающихся теплом сред движется по трубам (в трубном пространстве), а другая – в межтрубном пространстве, омывая наружную поверхность труб [1].

Процесс разработки конструкции кожухотрубного теплообменного аппарата в системе автоматизированного проектирования заключается в создании трехмерных моделей каждой детали аппарата с их последующей сборкой.

В первую очередь по требуемым размерам проектируется трубная решетка, причем, выполняя эту работу в САПР, представляется возможным равномерно распределить необходимое количество отверстий под трубки, что упрощает процесс проектирования.

Далее моделируются сами трубки, а в связи с тем, что они все одинаковы, система автоматизированного проектирования позволяет смоделировать одну трубку, а остальные получить методом копирования, что значительно сокращает время проектирования.

После сборки трубного пучка (рис. 1) разрабатывается обечайка аппарата со штуцерами, лапами и фланцами. Благодаря трехмерному моделированию проектировщик анализирует каждый элемент оборудования в пропорциях, согласно заданному масштабу.

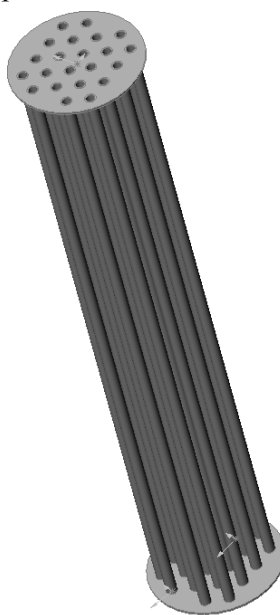


Рис. 1. Сборка трубного пучка

Далее моделируются нижнее и верхнее днища теплообменника. Заключительным этапом разработки конструкции является сборка деталей, при этом САПР автоматически проверяет взаимные наложения элементов. Эта функция позволяет избежать установку деталей на уже занятые места, что значительно облегчает труд проектировщика и сокращает число ошибок.

В связи с тем, что кожухотрубный теплообменный аппарат разрабатывается для условий химических производств, конструкционный материал основных его элементов должен обладать высокой коррозионной стойкостью к агрессивным средам, а также стойкостью к параметрам рабочего процесса. Для этого в САПР существует возможность применить метод конечных элементов (МКЭ).

Методом конечных элементов сложные детали конструкции расчленяют на простые основные элементы, которые легко поддаются расчету. Путем стыковки соседних элементов получают большое число уравнений (систему) со многими неизвестными, часто многими тысячами неизвестных. Решение таких систем доступно только высокопроизводительным ЭВМ, т.к. для этого требуется выполнение огромного количества арифметических операций [2].

МКЭ позволяет определить напряжения, возникающие в теплообменнике от различной температуры труб и кожуха. Анализируя полученные результаты, выбирается конструкционный материал, а также определяется наиболее рациональный вид опор теплообменника, причем в случае необходимости на всех этапах проектирования существует возможность оперативного внесения изменений в проект. После выбора конструкционного материала и проведения необходимых расчетов, создается комплект документации для изготовления оборудования.

Разработанная конструкция кожухотрубного теплообменного аппарата представлена на рис. 2.

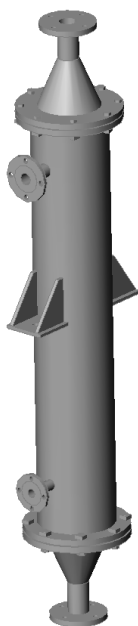


Рис. 2. Разработанная конструкция кожухотрубного теплообменного аппарата

Таким образом, разработав конструкцию кожухотрубного теплообменного аппарата для условий химических производств, установлено, что использование систем автоматизированного проектирования позволяет без проведения дорогостоящих натурных экспериментов выбирать конструкционный материал, обеспечивающий стойкость к рабочей среде, а также сократить время в процессе проектирования и внесения изменений при согласовании документации.

Литература

1. Машины и аппараты химических производств / под ред. А.С. Тимонина. – Калуга: Изд-во Н.Ф. Бочкаревой, 2008. – 872 с.
2. Основы проектирования химических производств / под ред. А.И. Михайличенко. – М.: ИКЦ «Академкнига», 2010. – 373 с.

Исследование рабочего режима грунтопроходчика

Для установления взаимосвязи выходных параметров ударного устройства и механизма осевой подачи, влияющей на характер процесса взаимодействия инструмента с грунтом, определялось соотношение статической и динамической нагрузки за один цикл работы ударного устройства в зависимости от скорости осевой подачи инструмента в забой. При этом фиксировалось изменение плотности грунта в стенках кротовины.

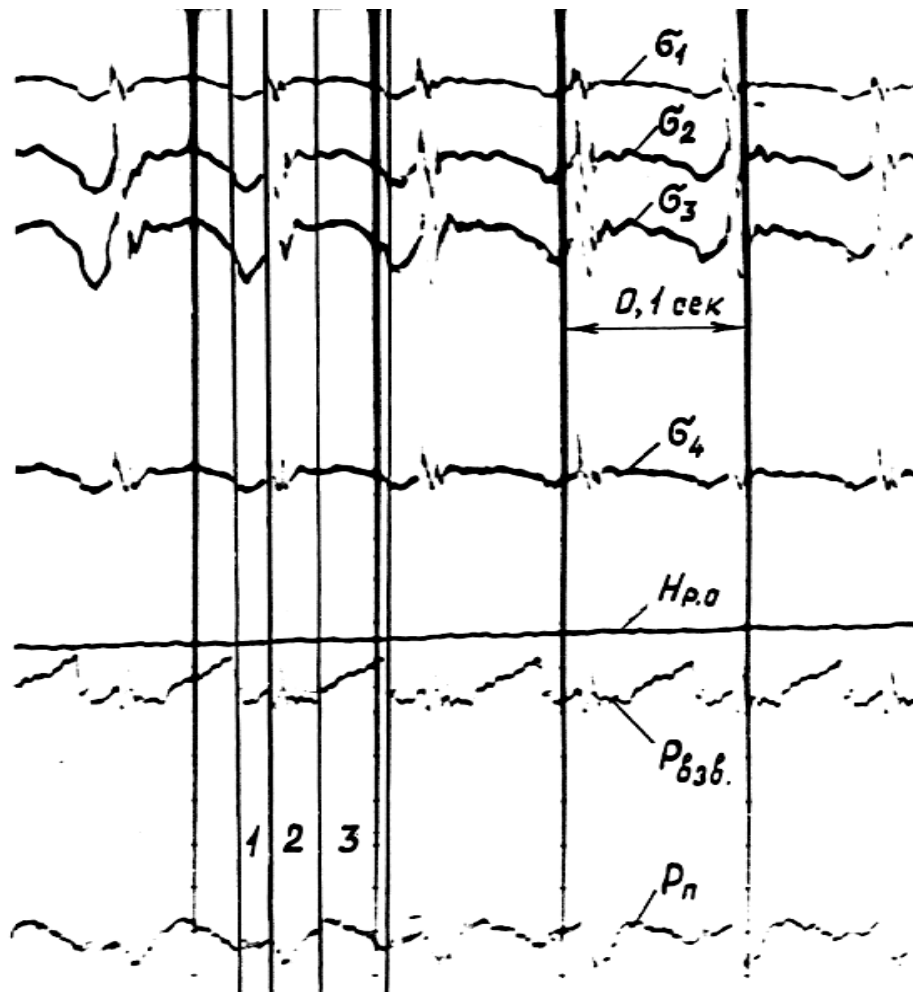


Рис. 1. Оциллограмма рабочего процесса:

$\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3, \sigma_4$ - показания месдоз, фиксирующих изменение напряжений в грунте с шагом установки от инструмента 10, 10, 15, 20 мм; $H_{p.o}$ - перемещение рабочего органа; $P_{взб.}$ - давление рабочей жидкости в напорном трубопроводе ударного устройства; P_p - давление в поршневой полости гидроцилиндра осевой подачи рабочего органа

При анализе оциллограмм было установлено, что в момент разгона бойка (участок 1) возникает реактивная сила отдачи корпуса дренера. Об этом свидетельствует незначительный кратковременный рост давления рабочей жидкости в поршневой полости гидроцилиндра осевой подачи рабочего органа, зафиксированный тензометрическим датчиком давления. Кроме того, заметен спад напряжений в грунте по всему объему в зоне упругих и пластических деформаций, так как не происходит нагружения грунта. Момент удара по инструменту и, следовательно, динамическое нагружение грунта, зафиксирован одновременно на всех кривых

характерными всплесками. После динамического внедрения инструмента (участок 2) корпус дрены вслед за инструментом перемещается без сопротивлений. Об этом свидетельствуют резкий спад и более плавный, по мере нарастания сил сопротивления при статическом нагружении, рост давления в поршневой полости гидроцилиндра осевой подачи. За время взвода бойка (участок 3) происходит статическое нагружение грунта. При этом наблюдается характерное падение напряжений в грунте и, как следствие этого, снижение давления рабочей жидкости в поршневой полости гидроцилиндра осевой подачи. Следует отметить, что это явление наблюдалось во всех опытах, где скорость осевой подачи рабочего органа была достаточной для того, чтобы корпус дрены успел за время взвода и разгона бойка переместиться на расстояние, равное динамическому внедрению, и, оперевшись в инструмент, произвести посредством последнего статическое нагружение грунтового полупространства. Причиной снижения сопротивления грунта во время статического воздействия является падение сил сцепления при взаимном перемещении частиц грунта. Это является следствием изменения состояния грунта после приложения ударной нагрузки, т.е. тиксотропного разупрочнения. А участок 3 приведенной осциллограммы следует считать временем тиксотропного разупрочнения. Затем цикл повторяется. Зона тиксотропного разупрочнения ограничивается размерами уплотненного ядра, границы которого при углах заострения конусной части инструмента $60^\circ \leq \gamma \leq 90^\circ$ определяются симметричными кривыми, близкими к параболе [1]. В процессе лабораторных опытов исследовалось продольное сечение кротовины и на основании прямых измерений было установлено, что наибольшие размеры грунтового уплотненного ядра достигали 0,085 м. Учитывая обобщенную схему формирования кротовины [2], ближайшая междоза была установлена на расстоянии 0,01 м от инструмента. Это позволило оценить состояние грунта в момент статико-динамического воздействия инструмента. Анализ численных значений напряжений показал, что при статическом воздействии инструмента радиальные напряжения σ_r не превышали значения 0,9 кГс/см². При динамическом процессе формирования кротовины пиковые напряжения достигали значений $\sigma_t = 3,72$ кГс/см², а при статико-динамическом – фон статического нагружения $\sigma_t = 0,6$ кГс/см², пиковые значения 3,57 кГс/см². Полученные значения показывают, что суммарные напряжения при статико-динамическом формировании меньше, чем сумма напряжений зафиксированных при статическом и динамическом нагружении грунта. Это можно объяснить тем, что при статическом воздействии на тиксотропно разупрочненный грунт наблюдалось падение напряжений до 12% от общего фона статического нагружения. При этом плотность стенок кротовины была получена на 11,7% выше, чем при динамическом формировании кротовины. Энергия удара ударного устройства во всех случаях была постоянной и равнялась 325,9 Дж. Скорость изменения напряженного состояния грунта при статическом нагружении тиксотропно разупрочненной зоны не превышала 25 кгс/с см², что соответствует диапазону, при котором деформация грунта развивается одновременно с приложениями нагрузки [3, 4, 5].

Таким образом, динамическая нагрузка является средством для введения грунта в состояние тиксотропного разупрочнения. Основная роль в процессе статико-динамического формирования кротовины отводится статическому проколу грунта, характеризующему малыми скоростями изменения напряженного состояния и достаточно большими по сравнению с ударом временем действия нагрузки. Следовательно, реализуется большая часть пластических деформаций, приводящая к повышению плотности грунта в стенках кротовины, что и было зафиксировано в процессе лабораторных исследований.

Литература

1. Зеленин А.Н., Баловнев В.И., Керов И.П. Машины для земляных работ. – М.: Машиностроение, 1975. – 416 с.
2. Вазетдинов А.С. Исследование методов и оборудования подземной проходки при прокладке труб для кабелей связи; Дис. ... канд. техн. наук. – М., 1959. – 215 с.
3. Лазуткин С.Л., Лазуткина Н.А. Результаты теоретических исследований гидромолота с системой управления золотникового типа // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №7, 2009. – С.114-119.

4. Лазуткин С.Л., Лазуткина Н.А. Характеристика процесса статико-динамического формирования кротовины // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №1, 2012. – С.68-72.
5. Лазуткина Н.А., Лазуткин С.Л. К вопросу методики расчета тягово-скоростных характеристик пневмоколесных горных машин с регулируемой гидрообъемной передачей // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №2, 2011. – С.51-54.

Определение геометрических параметров инструмента грунтопроходчика

При определении рациональных размеров конического инструмента получен ряд данных, по которым была построена графическая зависимость изменения плотности грунта в стенках кротовины от диаметра конического инструмента (рис.). Как видно из графика, возрастание плотности до определенного значения, соответствующего диаметру, равному 0,115 м. Увеличение диаметра ведет к увеличению длины образующей конусной части, поэтому при постоянстве скорости внедрения инструмента в грунт увеличивается время действия контактных напряжений и их величина. Следовательно, полнее реализуется быстропотекающая часть пластических деформаций, так как максимально приближаются друг к другу время действия напряжений и время реализации быстропотекающей части пластической деформации.

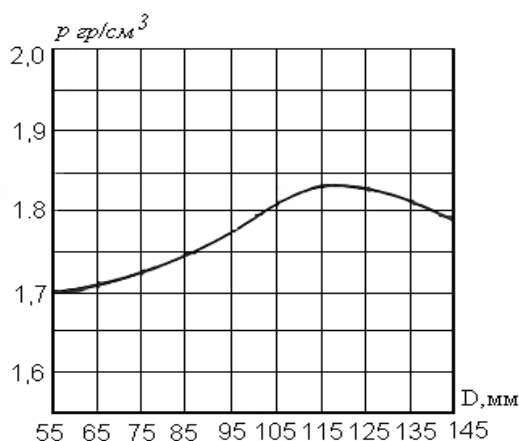


Рис. 1. Зависимость грунта в стенке кротовины от диаметра формирующего ее инструмента

Дальнейшее увеличение диаметра (свыше 0,115 м) не приводит к увеличению плотности из-за наступающего снижения скорости пластической деформации несмотря на то, что при увеличении диаметра инструмента общий фон напряжений становится больше. Причем большие контактные напряжения приводят даже к частичному разупрочнению, а в ряде опытов наблюдалось даже разрушение стенок кротовины. Подобный эффект имел место в исследованиях, проводимых Хархутой Н.Я. и другими учеными, на основании которых была разработана методика уплотнения грунтов статическим способом, в соответствии с которой недопустимо статически уплотнять грунт сразу большими нагрузками, вызывающими разупрочнение и разрушение поверхностного слоя грунта. При диаметрах свыше 0,115 м реализация быстропотекающей части пластических деформаций грунта завершается на конусном участке инструмента, что подтверждается стабилизацией и даже некоторым падением плотности грунта. Таким образом, можно считать, что наиболее рациональный диаметр инструмента находится в интервале 0,1...0,112 м, причем длину цилиндрической части можно сделать меньше существующей пропорции [1, 2, 3], что ведет к уменьшению сил трения грунта о поверхность инструмента.

Литература

1. Мацепуро М.Е., Пилкаускас К.А. Изменения сил, действующих на дренир, в зависимости от его параметров // Вопросы сельскохозяйственной механики. Т. 3. – Минск: Редакция сельскохозяйственной литературы, 1960. – С.211-274.
2. Лазуткин С.Л., Лазуткина Н.А. Характеристика процесса статико-динамического формирования кротовины // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №1, 2012. – С.68-72.

3. Лазуткина Н.А., Лазуткин С.Л. К вопросу методики расчета тягово-скоростных характеристик пневмоколесных горных машин с регулируемой гидрообъемной передачей // Машиностроение и безопасность жизнедеятельности, №2, 2011. – С.51-54.

Упрочнения цилиндрических отверстий малого диаметра деталей машин волной деформации

В машиностроении существует широкая номенклатура деталей имеющих внутренние цилиндрические отверстия, к качеству и механическим свойствам поверхности которых предъявляются высокие требования. К таким деталям относятся гильзы гидро и пневмоцилиндров, втулки, траки гусеничных машин и т.д. Эксплуатационные свойства этих деталей во многом определяются физико-механическими свойствами их поверхностного слоя, непосредственно участвующего в работе и формируемого упрочняющей обработкой.

Для повышения эксплуатационных свойств поверхностей деталей машин широко применяют способы упрочнения поверхностным пластическим деформированием (ППД), которые отличаются низкой энергоемкостью и простотой реализации. В результате упрочнения ППД создается твердый наклепанный слой формируются остаточные напряжения сжатия, может быть снижена шероховатость поверхности, что благоприятно сказывается на повышении износостойкости, контактной выносливости и усталостной прочности деталей машин. При ППД отверстий малого диаметра в основном используется дорнование, которое обычно создает низкую шероховатость и глубину упрочненного слоя не более 0,5...1 мм. Однако для деталей работающих в сложных экстремальных условиях, например траки гусеничных машин, такой глубины упрочнения не достаточно.

Статико-импульсная обработка (СИО) новый способ упрочнения ППД. Технология СИО заключается в предварительном статическом и последующем ударно-импульсном нагружении, в результате чего возникает волна деформации. Ударная нагрузка при СИО более эффективно воздействует на упрочняемый материал за счет использования волновых процессов, возникающих при ударе [1, 2]. Дорнование послужило прототипом созданного авторами способа, только вместо статической нагрузки, прикладывается ударная волна деформации, которая позволяет значительно увеличить глубину упрочненного слоя и расширить номенклатуру упрочняемых деталей. Энергия создаваемой волны деформации может изменяться в пределах 10...160 Дж, глубина упрочнения достигает 20 мм, а степень упрочнения 90%, что выгодно отличает данный способ от имеющихся в промышленности для упрочнения отверстий (рис.1).

Для определения технологических возможностей дорнования ударной волной деформации были проведены экспериментальные исследования. В качестве инструментов для упрочнения отверстий использовались шары диаметром $D = 12,6...33$ мм. Были выбраны следующие технологические режимы: энергия ударных импульсов $A = 160$ Дж, частота $f = 18$ Гц, сила статического поджатия $P_{ст} = 40$ кН. Упрочнение происходило при натягах $i = 0,3...1,7$ мм

В результате установлено, что с увеличением толщины стенки увеличивалась максимальная степень упрочнения (рис. 2). Так, при упрочнении с натягом $i = 1,25...1,3$ мм образцов с толщиной стенки $b = 14,6...14,9$ мм, шаром диаметром $D = 23$ мм, максимальная степень упрочнения составила 30 %, а шаром $D = 13$ мм – 90 %.

Полученные результаты позволяют рекомендовать упрочнение отверстий СИО в качестве отделочно-упрочняющей и формообразующей операции для широкой номенклатуры деталей машин. Применение новой технологии и оборудования, основанных на деформационном упрочнении волной деформации, позволяет повышать долговечность внутренних цилиндрических поверхностей тяжело нагруженных деталей машин, при внедрении данного способа в тех. процесс сокращаются расходы на производство на 30-50%, а выпускаемые изделия имеют увеличенный в 3-5 раз ресурс.

Исследование выполнено при финансовой поддержке Фонда содействия развитию малых форм предприятий в научно-технической сфере в рамках инновационного проекта по программе «Участник молодежного научно-инновационного конкурса-2013».



Рис.1. Глубина и степень упрочнения получаемые при различных способах пластической деформации

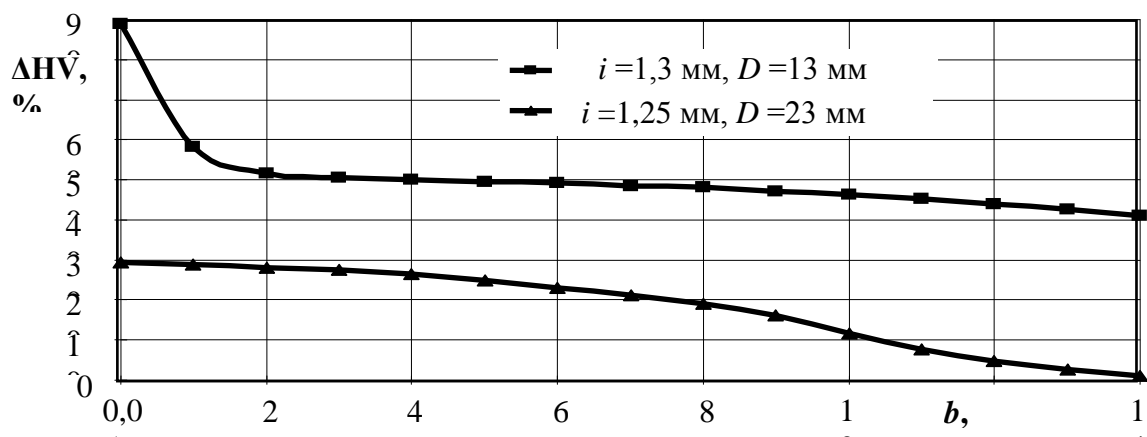


Рис. 2. Изменение степени упрочнения ΔHV по толщине стенки b при упрочнении отверстий волной деформации

Литература

1. Киричек А.В., Соловьев Д.Л. Деформационное упрочнение отверстий статико-импульсной обработкой // Упрочняющие технологии и покрытия. 2007. № 5. – С. 3-5
2. Киричек А.В., Соловьев Д.Л., Поляков А.В. Упрочнение отверстий статико-импульсным дорнованием // Упрочняющие технологии и покрытия. 2009. № 6. – С.14-16
3. Особенности формирования упрочненного поверхностного слоя отверстий статико-импульсной обработкой / А.В. Киричек, Д.Л. Соловьев, С.А. Силантьев, А.В. Поляков, А.В. Волобуев // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. № 6. – С. 84-89.
4. Соловьев Д.Л., Киричек А.В., Медведев М.Н. Возможности повышения долговечности траков гусеничных машин деформационным упрочнением // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. 2011. № 2 (286). – С.89-92

Анализ теплового состояния мотор-шпинделя с рубашкой охлаждения

В современных станках приводом главного движения является мехатронный узел, представляющий собой шпиндельную бабку со встроенным регулируемым электродвигателем, ротор которого установлен на шпинделе между его опорами. Такую конструкцию называют мотор-шпинделем (МШ).

Наличие в корпусе шпиндельной бабки дополнительных источников тепловыделения (ротора и статора) увеличивают теплонапряженность шпиндельного узла и обуславливает существенные температурные деформации, непосредственно влияющие на положение оси шпинделя.

Работоспособность МШ (по критерию допустимого нагрева обмотки статора и подшипников) может быть обеспечена лишь при использовании систем охлаждения.

Одним из способов охлаждения МШ является применение рубашки охлаждения, выполненной в корпусе над статором. В качестве охладителя, циркулирующего в теплообменном канале, рационально использовать техническую воду, обладающую большей эффективностью теплосъема, в отличие от воздуха.

Система принудительного жидкостного охлаждения МШ состоит из рубашки охлаждения, подводящего и сливного трубопровода. Циркуляцию воды обеспечивает центробежный насос.

Уравнение теплового баланса для жидкости, протекающей через рубашку охлаждения, имеет вид

$$N = Q_{ж} \cdot c \cdot \rho \cdot \Theta_{ж}$$

где N – величина тепловых потерь, отводимая рубашкой охлаждения;

$Q_{ж}$ – расход жидкости;

$\Theta_{ж}$ – избыточная температура жидкости в канале

c и ρ – соответственно удельная теплоемкость и плотность воды.

Исходя из уравнения и с учетом малого влияния расхода воды на эффективность теплоотвода необходимый и достаточный расход охлаждающей воды для МШ (выходная мощность 7 кВт) равен объему 5 л/мин, при условии что избыточная температура воды в канале не должна превышать 5°С.

Конструктивно водяную рубашку выполняют гладкой кольцевой, либо с винтовым каналом. Коэффициент теплоотдачи α , характеризующий интенсивность теплоотвода с учетом необходимого расхода воды и геометрии канала равен 776 Вт/м²·°С. В расчетной схеме водяная рубашка учитывается назначением коэффициента теплоотдачи на длине корпуса статора, равном длине рубашки. Теплоотдача поверхностей, образующих внутренний контур охлаждения равноценна теплоотдаче поверхностей при радиальной одноконтурной вентиляции.

Размещение в корпусе статора водяной рубашки существенно изменяет тепловое состояние обмотки статора и сердечника, в связи с этим тепловой поток от статора к шпиндельным опорам уменьшается, снижается температура нагрева стенок корпуса статора, формирующих смещение шпинделя.

Водяная рубашка, выполненная в виде гладкого кольцевого канала, отводит до 80% теплоты, образовавшейся в статоре. При этом в области номинальных частот вращения угловое смещение снижается, а в области верхних частот вращения оно увеличивается. Последнее происходит вследствие снижения влияния тепловыделения в статоре на нагрев радиальных стенок корпуса. Линейные смещения оси шпинделя снижаются во всем диапазоне регулирования частоты вращения.

Для уменьшения угла поворота шпинделя φ в области верхних частот вращения шпинделя необходимо снизить нагрев передней стенки корпуса МШ путем варьирования геометрических

параметров водяной рубашки (ее длины в корпусе и расположением относительно статора и шпиндельных опор) и увеличения площади теплоотдающих поверхностей.

Расчетное исследование показало, что наименьшие линейные и угловые смещения шпинделя при частоте вращения выше номинальной характерны для конструкции МШ, в которой водяная рубашка размещена над статором и удлинена к передней стенке корпуса МШ.

Другим параметром водяной рубашки является конструктивное исполнение ее канала. Винтовой канал обладает рядом преимуществ перед гладким кольцевым: не происходит застоя воды в отдаленных от слива зонах. Изменяя геометрические параметры нарезки канавок можно подобрать рациональные условия охлаждения. При параметрах винтовой нарезки:

шаг винтового канала, 15 мм; высота винтового канала, 5 мм; толщина ребра, 10 мм; коэффициент теплоотдачи канала $1800 \text{ Вт/м}^2 \text{ } ^\circ\text{C}$.

При выбранных параметрах винтового канала теплоотвод от корпуса статора увеличивается в 2.5-3 раза при том же расходе воды (по сравнению с теплоотводом с помощью гладкого кольцевого канала). Значения угла поворота оси шпинделя снижается в 2-4 раза в области номинальной частоты вращения и на 20-26% в области верхних частот вращения.

Для увеличения быстроходности МШ необходимо использовать интенсивное охлаждение непосредственно опор шпиндельного узла.

Полученные результаты свидетельствуют о существенных резервах повышения точности МШ и подтверждают перспективность использования МШ в качестве привода главного движения металлорежущих станков.

Литература

1. Никитина Л.Г., Сегида А.П. Снижение тепловых деформаций мотор-шпинделей // Станки и инструмент. 1993. № 6. – С. 8-11.

Оценка пластичности стали в условиях объемного нагружения

Обобщенно, нагружение конструкционного материала можно свести к четырем компонентам: механическому, трибологическому, термическому и химическому. В настоящее время инженерные расчетные методики разработаны не для всех видов нагружения материалов, поскольку для случаев комплексного нагружения, когда значимым являются несколько компонентов, отсутствуют методики определения эксплуатационных свойств.

Как видно видов нагружения много, а механических свойств недостаточно. Поэтому для обоснованного выбора материалов необходима дополнительная информация о свойствах.

Поэтому целью эксперимента являлось разработка методики оценки пластичности стали в условиях объемного нагружения. Объемное нагружение осуществлялось внедрением шарикового индентора на твердомере Бринелля ТШ-2М [1].

Пластичность – это способность материала без разрушения изменять свои размеры и форму под воздействием внешней нагрузки и сохранять эти изменения после прекращения ее действия.

Одной из характеристик пластичности является относительное удлинение δ при испытании металла на разрыв. В справочной литературе информация по пластичности приводится на основании результатов испытаний на растяжение по ГОСТ 1497-84 «Методы испытаний на растяжение». Однако, в ряде случаев разрушение материала происходит в условиях, отличных от условий нагружения разрывного образца. К таким видам нагружения относятся, например, нагружение трущихся деталей машин, в частности: трение штока поршня о сальниковую набивку и т.д.

Представляло интерес исследование пластичности в условиях объемного напряженного состояния. В нашем случае объемное напряженное состояние реализовывалось в условиях нагружения шариковым индентором на твердомере Бринелля ТШ-2М.

Объектом исследования являлись металлические цилиндры из стали 40Х. Для подготовки к проведению эксперимента металлические цилиндры были расточены на токарном станке.

После механической обработки образцов их подвергли термической обработке: закалке с последующим отпуском, отжигом. Термообработка проводилась в муфельных печах. Для получения большего диапазона значений три образца были подвергнуты закалке при температуре 850°C и последующего отпуска при температуре 550°C, другие три образца были подвергнуты закалке при температуре 850°C и последующего отпуска при температуре 300°C, и два образца были подвергнуты отжигу при температуре 850°C. После термической обработки образцы были зачищены от нагара и отшлифованы.

После того, как образцы были полностью готовы, на них была приложена нагрузка шариковым индентором диаметром 10 мм на твердомере ТШ-2М. В результате на поверхности цилиндрических шайб образовывались лунки (рис.1.а) и были пересчитаны значения твердости поверхностного слоя по отпечаткам индентора.

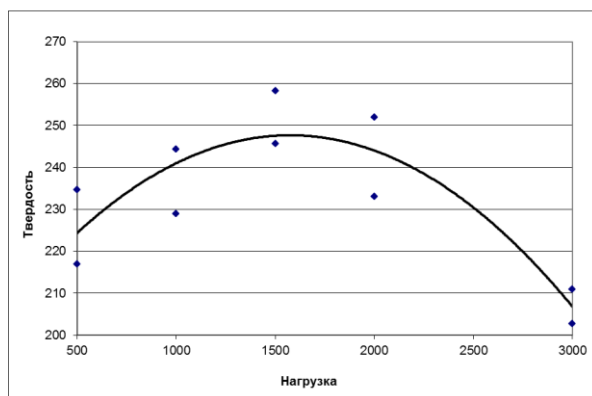
В программе Excel были посчитаны значения длины дуги лунки, относительного удлинения и наклепа.

При этом на каждом образце использовалась разная нагрузка для получения разной степени деформации: 500, 1000, 1500, 2000, 3000 (кгс). Отпечатки были сделаны таким образом, чтобы наплывы после нагрузки не заходили на другие отпечатки. Далее по методу Роквелла была измерена твердость материала в лунках, образовавшихся после измерения твердости по методу Бринелля (рис.1.б) [2].

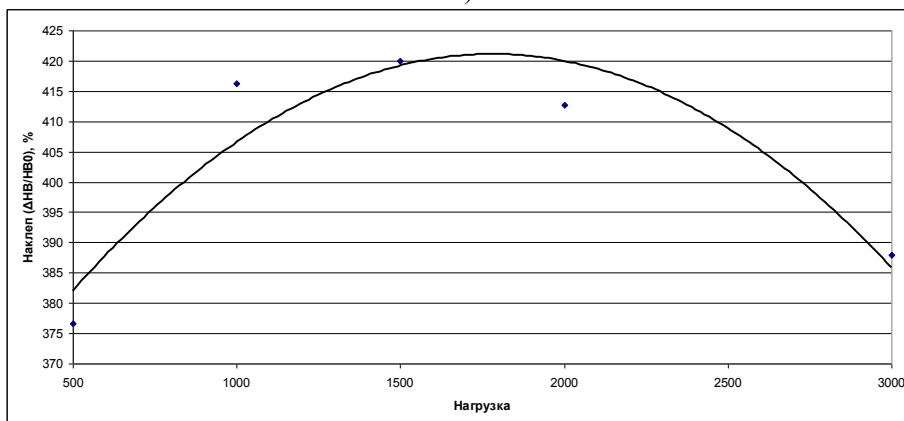


Рис.1. Экспериментальные образцы: а – после испытания по методу Бринелля, б – после испытания по методу Роквелла

Данные эксперимента были занесены в соответствующие таблицы и построены зависимости изменения твердости НВ и наклепа металла образцов в зависимости от нагрузки на индентор (рис.2).



а)



б)

Рис.2. Зависимость твердости НВ (а) и наклепа (б) металла образцов в зависимости от нагрузки на индентор

Исходя из анализа графиков, были сделаны следующие выводы. Относительная деформация поверхности для всех видов термообработки растет в зависимости от нагрузки, достигает определенного максимума и плавно снижается. Максимум наблюдается в диапазоне нагрузок от 1500 до 2000 кгс.

Характер изменения наклепа в зависимости от нагрузки имеет такую же тенденцию.

Литература

1. ГОСТ 9012-59. Металлы. Метод измерения твердости по Бринеллю.
2. ГОСТ 9013-59. Металлы. Метод измерения твердости по Роквеллу.

А.Л. Суменков, А.И. Зимин, И.И. Сёмочкин
Новомосковский институт
Российского химико – технологического университета им. Д.И.Менделеева
301650, г. Новомосковск, Тульской обл., ул. Дружбы, д. 8
E-mail: sumenal@rambler.ru

Характеристики внешнего трения нанопорошков

Известно, что для получения многих современных материалов основой являются порошковые композиции. Так, например, оксид алюминия применяется как фильтрующий материал, как катализатор, в качестве сырья для изготовления огнеупорных материалов, абразивных и керамических режущих инструментов, в хроматографии для разделения различных веществ и т.д.

Следует отметить, что в последнее время в разных отраслях промышленности наблюдается рост потребности в новых материалах, обладающих уникальными свойствами. К числу таких материалов можно отнести и наномодифицированные порошки. Многие исследователи обращают внимание на тот факт, что модификация структуры «обычных» материалов в «нанодисперсной» области вызывает существенное улучшение эксплуатационных свойств (повышение прочности, снижение температур плавления и спекания, теплоты испарения, энергии ионизации и т.д.). В связи с этим расширяются границы использования нанопорошков, появляются новые технологии с их участием, повышенные возможности ресурсо- и энергосбережения.

В процессе получения и переработки нанопорошков осуществляется ряд механических операций: смешение, транспортирование, измельчение, уплотнение, дозирование и т.д. Для качественного проведения этих операций необходимо знание свойств наносистем, прежде всего, их структурно – механических характеристик (СМХ). Важнейшими СМХ нанопорошков являются коэффициенты внутреннего и внешнего трения, аутогезия. Структурно – механические характеристики наносистем можно изменять, «улучшать», т.к. на них существенно влияют многие параметры. К таким параметрам можно отнести дисперсный и фазовый состав, морфологические особенности частиц порошков, температуру, влажность, давление газовой среды и т.д. Учитывая вышеизложенное, можно разработать технологию управления свойствами наносистем, т.е. получать наносистемы с заранее заданными свойствами.

В представленной работе изучалось влияние качества обработки поверхности пластин, выполненных из металлических и неметаллических материалов, и среднего размера частиц нанопорошков на величину коэффициентов внешнего трения.

Исследовали плазменные нанопорошки оксида алюминия со сферической формой частиц и средним размером от 0,08 до 2,0 мкм, а также порошки с частицами губкообразной формы и величиной удельной поверхности 100 м²/г, полученные при пиролитическом разложении алюмоаммонийных квасцов. Дисперсный состав определялся на основе электронно-микроскопических исследований и по методу БЭТ.

Коэффициенты внешнего трения определялись на приборах линейного плоскостного сдвига по известной методике. В качестве материалов для пластин использовались: сталь 45, сталь 12Х18Н10Т, алюминиевый сплав Д16, латунь 63, фторопласт 4. При помощи инструментальной обработки (строгание, фрезерование, шлифование) получали шероховатость поверхности пластин с различной величиной Rz.

Выполненные исследования позволили сделать следующие выводы:

- на величину коэффициентов внешнего трения оказывает влияние соотношение размеров частиц порошков и высоты неровностей поверхности пластин;
- при уменьшении размеров частиц порошков коэффициенты внешнего трения возрастают;
- коэффициенты внешнего трения нанопорошков Al₂O₃ практически не зависят от материала пластин, по которым осуществляется сдвиг.

Результаты проведённых исследований могут быть использованы в процессах получения нанопорошков с заранее заданными эксплуатационными свойствами.

Особенности энергобаланса технологического оборудования

Современные тенденции развития станкостроения показывают, что предъявляемые требования по надежности, экономичности и производительности все более ужесточаются.

Под энергобалансом технологического оборудования понимается равенство подводимой к системе энергии E и суммы полезной энергии на исполнительном органе E_n и диссипативных потерь энергии внутри системы ΔE : $E = E_n + \Delta E$.

Слагаемое ΔE представляет собой сумму потерь энергии в отдельных элементах и кинематических парах системы. Экспериментальное определение потерь энергии в отдельных элементах в составе привода представляет огромные трудности. При аналитическом определении потерь в элементах технологического оборудования необходимо учитывать ряд особенностей. Энергия потерь, рассеиваемая в приводе машины, расходуется на преодоление сил сопротивления в зацеплении зубчатых колес, подшипниках, уплотнениях и на перемешивание масла.

Потери внутри системы можно условно разделить на две группы: условно-постоянные и переменные. К условно-постоянным относятся потери холостого хода и потери при пусках и торможениях, связанные с разгоном инерционных масс. Вторая группа потерь включает в себя потери, связанные с динамическим характером внешней нагрузки. При определении потерь необходимо рассматривать трансмиссию совместно с приводным двигателем, т.к. потери в двигателе ($\cos\varphi$) существенно зависят от загрузки его по мощности. При этом необходимо отметить, что привод ведет себя как единое целое, имея общую резонансную частоту (частоты), что объясняется наличием кинематических и других видов связей между элементами. Также при составлении математической модели оценки потерь необходимо учитывать коэффициент демпфирования как в трансмиссии, так и в самом двигателе. Поскольку при динамическом внешнем воздействии внутри системы рассеивается дополнительное количество энергии, то необходимо в модель оценки потерь в приводе включить модель формирования внешней нагрузки на исполнительном органе. Это позволит оценить потери в системе в реальных условиях эксплуатации, а также, исходя из полученных данных, разработать методы по их снижению.

Потери внутри технологического оборудования значительны и могут достигать 50-60%. Функциональную взаимосвязь между потерями энергии и ресурсом детали (узла, машины) можно определить через энергоресурс данного объекта. Для определения энергоресурса детали, узла или их совокупности достаточно знать количество энергии (работы), затраченной на их разрушение и число циклов нагружения, за которое это разрушение произошло при заданном уровне нагрузки. Величина энергоресурса является величиной постоянной и не зависит от условий эксплуатации данного элемента.

Для определения энергоресурса подшипника необходимо установить зависимость между долговечностью подшипника и величиной потерь энергии в нем:

$$P'N^{m_1} = A_{II} = const, \quad (1)$$

где P' - удельная мощность потерь, равная работе диссипативных потерь за цикл нагружения;

N - число циклов нагружения.

В логарифмических координатах кривая энергоресурса представляется в виде прямой линии:

$$\lg P' = \lg A_{II} - m_1 \lg N.$$

Очевидно, что величина энергоресурса будет равна определенному интегралу: $\mathcal{E} = \int_0^{N_{max}} P' dN$.

Учитывая выражение (1) можно записать:

$$\Theta = \int_0^{N_{max}} A_{II} N^{-m_1} dN = \frac{A_{II} N_{max}^{1-m_1}}{(1-m_1)}, \text{ Дж} \quad (2)$$

Мощность потерь, приходящихся на зацепление, распределяется поровну между двумя контактирующими зубьями. Поэтому, учитывая соотношение зубьев колеса и шестерни, можно утверждать, что расходование энергоресурса в зацеплении происходит обратно пропорционально числам зубьев шестерни и колеса. Полагая, что вся энергия диссипативных потерь расходуется на контактное разрушение: $P'N_H^{m_2} = A_H = const$. Тогда условный энергоресурс до наступления контактного разрушения определяется выражением:

$$Y\Theta = \int_0^{N_{Hmax}} A_H N^{-m_2} dN = \frac{A_H N_{Hmax}^{1-m_2}}{(1-m_2)}, \text{ Дж.} \quad (3)$$

Аналогично определяются условные энергоресурсы для остальных факторов разрушения. Условный энергоресурс при изгибе зубьев:

$$Y\Theta = \int_0^{N_{Fmax}} A_F N^{-m_3} dN = \frac{A_F N_{Fmax}^{1-m_3}}{(1-m_3)}, \text{ Дж.} \quad (4)$$

Аналогично можно записать выражение для условного энергоресурса при износе зубьев:

$$Y\Theta = \int_0^{N_{Jmax}} A_J N^{-m_4} dN = \frac{A_J N_{Jmax}^{1-m_4}}{(1-m_4)}, \text{ Дж.} \quad (5)$$

Суммируя величины энергоресурсов по всем видам разрушения для числа циклов N_{lim} , получим выражение для энергоресурса зубчатого колеса передачи:

$$\Theta = \int_0^{N_{lim}} P' dN = \sum_{i=1}^n \frac{N_{lim}^{1-m} A_i K_{Bi}}{1-m}, \quad (6)$$

где K_{Bi} - коэффициент влияния факторов по видам разрушения.

Основным критерием отказов уплотнений является их износ. Определив взаимосвязь между износом уплотнения и числом циклов нагружения, можно записать:

$$P'_y \cdot N^{m_5} = A_y = const \quad (7)$$

или
$$\Theta = \frac{A_y N_{max}^{1-m_5}}{1-m_5} \quad (8)$$

Таким образом, рассматривая трансмиссию станка как систему последовательно связанных элементов, энергоресурс системы будет определяться выражением:

$$\Theta = \sum_{j=1}^l \left[\sum_{i=1}^n \left(\frac{A_{i,j} N_{Blim}^{1-m_{i,j}}}{(1-m_{i,j})} \right) u_j \right], \quad (9)$$

где N_{Blim} - предельное число циклов нагружения входного звена, которое ограничивается элементом системы, имеющим наименьший ресурс.