

ЛС определять на оси  $O$  угол наклона  $\alpha$ -линии и компоненты с точностью до постоянной интегрирования. Определены скорости течения металла в очаге деформации при ГП.

Анализ накопленных деформаций и распределения напряжений в очаге деформации при ГП показывает, что в окрестности оси наблюдается неблагоприятная область: в ней действуют растягивающие напряжения и накапливаются (после конкретного значения циклов нагружения) критические деформации, приводящие к разрушению металла.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Кожевникова Г.В. Развитие теории и технологии формообразования осесимметричных ступенчатых деталей поперечной прокаткой. – Мн.: Издательский дом «Белорусская наука», 2005. – 250 с.
2. Щукин В.Я. Основы поперечно-клиновой прокатки. – Мн.: Наука и техника, 1986. – 223 с.
3. Хилл Р. Математическая теория пластичности. – М.: ГИТТЛ, 1956. – 407 с.

УДК 621.833

*Кане М.М.*

## НАДЕЖНОСТЬ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ СИСТЕМ И МЕТОДЫ ЕЁ ОЦЕНКИ

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Начиная с 1969 г. в технических журналах и других публикациях кроме работ по надежности изделий стали появляться статьи и монографии, посвященные вопросам технологической надежности, надежности технологических систем, надежности технологических процессов и операций. Во всех этих работах ставится вопрос о применении общих методов теории надежности к исследованию основных закономерностей изменения параметров технологических систем в процессе изготовления продукции.

Впервые термин «технологическая надежность станков» был введен А. С. Прониковым [1]. Это понятие определено А. С. Прониковым как «способность станка сохранять качественные показатели технологического процесса (точность обработки и качество поверхности) в течение заданного времени». В работах [2, 3, 4] были рассмотрены некоторые количественные оценки технологической надежности токарно-револьверных автоматов, прецизионных токарных станков, бесцентровых внутришлифовальных, радиально-сверлильных и других видов станков. В этих работах исследуется в основном только способность сохранять точность обработки в течение определенного периода времени. Но, очевидно, что точностные характеристики обработанных деталей зависят не только от состояния станка, но и от многих других факторов (состояние инструмента, оснастки, характеристики материалов и т. д.). Поэтому логическим развитием понятия «технологическая надежность станка» явилось введение термина «технологическая надежность». И. В. Дунин-Барковский [3] определил это понятие как «свойство технологического оборудования и производственно-технических систем, таких, как станок — приспособление-инструмент — деталь (СПИД), система литейного, кузнечно-прессового или другого производственно-технического оборудования или автоматических линий, сохранять на заданном уровне выходные параметры качества производимого изделия в течение требуемого времени» [3]. Затем А.С. Проников ввел понятие «надежность технологических процессов». Он пишет, что «большой процент отказов различных машин связан с недостаточной надежностью технологического процесса», что «...технологический процесс должен быть надежным, т.е. не допускать таких показателей, которые могут влиять на качество выпускаемых изделий» [4]. Вопросы оценки надежности технологических процессов и безотказности рассматриваются также в работах П.И. Бобрика [5], А.Л. Меерова и др., причем только с точки зрения способности технологических систем, про-

цессов и операций обеспечивать (в течение заданного времени) изготовление продукции с показателями качества в соответствии с установленными требованиями.

Одной из первых работ, посвященных оценке надежности технологических систем по производительности, является статья Ю.К. Беляева [6], в которой впервые дана классификация типов отказов с точки зрения выполнения заданий по параметрам производительности и изложены общие подходы к решению отдельных случаев. Г.Н. Черкесов [7] рассматривает решение этих же задач с позиций анализа систем с временной избыточностью.

Обобщение двух направлений оценки надежности ТС выполнено А.И. Кубаревым [8] и отражено в стандартах [9, 10]. Надо сказать, что оценка надежности ТС по параметрам качества тесно связана с оценкой надежности ТС по параметрам производительности, т. к. несоблюдение требований к качеству продукции является одним из видов отказа ТС и влечет за собой потерю ее производительности.

Технологическая система – это совокупность средств технологического оснащения, объектов производства и, в общем случае, исполнителей, необходимая и достаточная для выполнения определенных технологических процессов и операций и находящаяся в состоянии готовности к функционированию или в состоянии функционирования в соответствии с требованиями технической документации. Таким образом, можно рассматривать технологическую систему для выполнения одной операции и технологическую систему для выполнения некоторого процесса, состоящего из отдельных операций. Объектом исследования могут быть также ТС одного производственного подразделения (цех, участок) или предприятия в целом.

Надежностью технологической системы будем называть свойство технологической системы выполнять заданные функции, сохраняя показатели качества и ритм выпуска годной продукции в течение требуемых промежутков времени эксплуатации или требуемой наработки. Ритм выпуска – это количество изделий определенного наименования, типоразмера и исполнения, выпускаемых в единицу времени.

Под понятием «надежность технологического процесса» и «надежность технологической операции» понимается надежность технологической системы, обеспечивающей функционирование рассматриваемого процесса или операции в соответствии с требованиями технической документации.

При проведении исследований можно оценивать работоспособность системы как отдельно – по ее способности обеспечивать требуемый уровень качества изготовленной продукции и по параметрам производительности, так и по обоим свойствам одновременно с учетом зависимости между ними.

Будем говорить, что технологическая система работоспособна по параметрам качества, если обеспечивает изготовление продукции с показателями качества, соответствующими требованиям технической документации, и работоспособна по параметрам производительности, если обеспечивает установленный ритм выпуска.

В определенные моменты технологическая система может быть работоспособна по параметрам (показателям) качества и неработоспособна по параметрам производительности (и наоборот). В каждом из этих случаев технологическую систему следует считать неработоспособной.

К технологическим системам можно применять термин «исправность». Это понятие шире, чем понятие «работоспособность», так как предполагает, что отдельная система в определенный момент времени может относиться к категории работоспособных, но в то же время находиться в состоянии неисправности. Например, отдельные отклонения в технологических процессах, не влияющие в данный момент на его производительность и показатели качества продукции, приводят систему в неисправное состояние, не нарушая при этом работоспособности (повреждения окраски оборудования, нарушения в подаче смазки и т. д.).

Отдельные нарушения в технологической системе будем относить к категории повреждений, если они переводят систему из исправного состояния в неисправное, и к отказам, если они переводят систему из работоспособного состояния в неработоспособное.

Таким, образом, отказ технологической системы – это событие, заключающееся в потере работоспособности.

Отказы в технологических системах могут быть внезапными и постепенными, происходить по внутренним (износ и деформация оборудования и оснастки и др.) и внешним (нарушение электроснабжения, отсутствие или низкое качество заготовок и др.) причинам.

Оценка надежности технологических систем сводится к дифференцированной оценке показателей безотказности, долговечности и ремонтпригодности или к вычислению, при необходимости, комплексных показателей, характеризующих одновременно все составные свойства надежности.

Оценка безотказности сводится к определению:

вероятности того, что рассматриваемый технологический процесс (или операция) обеспечит изготовление продукции в соответствии с требуемыми технической документацией показателями качества в течение заданного интервала времени без вынужденных перерывов при одновременном обеспечении заданного объема производства в единицу времени (ритма выпуска);

средней наработки до отказа;

параметра потока отказов.

При оценке показателей безотказности не учитываются вынужденные простои оборудования, обусловленные организационными причинами.

Для непрерывных технологических операций за наработку принимается продолжительность работы (ч); для дискретных технологических операций (обработка резанием, штамповка и т.д.) – число обработанных деталей или число обработанных прутков (при изготовлении деталей из пруткового материала).

При оценке безотказности автоматических линий, а также технологических операций, за единицу наработки принимается количество изготовленных деталей после финишной операции.

Операция контроля должна рассматриваться как неотъемлемая часть соответствующих технологических операций.

Отказом технологической системы по показателям качества не следует считать произошедшее после операции обработки отклонение от требований технической документации по одному из показателей качества, выявленное при контрольной операции, в результате чего дефектная деталь или изолирована или направлена на доработку (переработку). При оценке безотказности по параметрам производительности время изготовления дефектной продукции должно учитываться как время, затраченное на устранение отказа.

Для дорогостоящих и трудоемких в изготовлении изделий безотказность должна оцениваться для операции обработки и отдельно для контрольной операции.

Оценка долговечности сводится к определению:

календарной продолжительности функционирования технологической системы до отказа, капитального ремонта, между ремонтами, до полной замены;

наработок системы до тех же периодов.

Оценка ремонтпригодности технологической системы сводится:

к определению показателей, характеризующих продолжительность и стоимость выявления и устранения отказов;

к установлению времени, потребного для приведения системы в рабочее состояние;

к устранению показателей, характеризующих трудоемкость и стоимость операций технического обслуживания технологических систем, подналадок, смены инструмента.

Классификация показателей надежности технологических систем дана в таблице 1.

Таблица 1 – Укрупненная классификация показателей надежности технологических систем

Признаки классификации	Виды показателей надежности	Примечание
1. По количеству характеризующих свойств	1.1. Единичные	Характеризуют одно из свойств надежности: безотказность, долговечность или ремонтпригодность
	1.2. Комплексные	Характеризуют одновременно несколько свойств надежности (например, долговечность и ремонтпригодность)
2. По стадиям определения	2.1. Планируемые	Устанавливаются перед разработкой новых процессов, задаются в технических заданиях, конкретизируются в планах организационно-технических мероприятий по совершенствованию технологии изготовления
	2.2. Нормативные	Задаются и определяются на этапах технологической подготовки производства
	2.3. Оперативные	Характеризуют реально функционирующие процессы, в условиях существующего на предприятии порядка организации производства. Определяются для некоторого фиксированного момента времени
	2.4. Послеремонтные	Характеризуют технологические системы после проведения капитального ремонта основных элементов
3. По уровню дифференцированности	3.1. По показателям качества продукции	Характеризуют степень соответствия в определенный момент времени показателей качества производимой продукции требованиям технической документации
	3.2. По уровню производительности за определенный промежуток времени	Характеризуют степень соответствия фактической производительности за определенный промежуток времени действующим нормативам
	3.3. Интегральные	Характеризуют одновременно и меру соответствия показателей качества производимой продукции требованиям технической документации и фактическую производительность за тот же промежуток времени
4. По области применения	4.1. Надежность технологических операций изготовления	Характеризуют надежность отдельной технологической операции без учета влияния на надежность контрольной операции, если последняя не входит в систему адаптивного управления
	4.2. Надежность контрольных операций Виды показателей надежности	Характеризуют надежность системы контроля после определенной операции обработки
Признаки классификации	4.3. Надежность технологических операций	Характеризуют надежность отдельной технологической операции, послеоперационный контроль рассматривается как неотъемлемая часть технологической операции
	4.4. Надежность технологических процессов	Характеризуют надежность технологических процессов, состоящих из нескольких операций; конечными операциями могут быть сборочные

Оценка надежности технологических систем проводится путем вычисления показателей надежности на этапах технологической подготовки производства, серийного изготовления, а также после капитального ремонта или модернизации важнейших элементов технологических систем.

Обработка технологических операций и процессов по показателям надежности на этапе подготовки производства должна проводиться путем отыскания лучшего технологического решения по экономическим критериям и вероятности выполнения задания по показателям качества изготовленной продукции и параметрам производительности [8].

Основная цель оценок надежности технологических систем – приведение технологических процессов в такое состояние, при котором обеспечивается изготовление продукции в соответствии с установленными в технической документации параметрами и показателями качества при одновременном обеспечении максимальной производительности и минимуме потерь от брака. В зависимости от этапа проведения оценок могут решаться частные задачи:

при планировании – установление объемов производства отдельных участков и цехов, определение экономически обоснованных норм точности;

при технологической подготовке производства – выбор оптимальных технологических процессов (выбор режимов обработки, установление мест контрольных операций в технологическом процессе и планов контроля);

при серийном производстве – определение соответствия параметров технологической системы установленным требованиям, выявление отрицательных факторов и разработка мероприятий по повышению надежности или точности и стабильности технологических процессов;

после проведения ремонтов технологических систем – оценка качества ремонта [8].

Методы и периодичность оценки надежности ТС устанавливаются в отраслевой нормативно-технической документации (НТД) или в стандартах предприятия.

Результаты оценки надежности ТС должны использоваться для:

нормирования показателей надежности разрабатываемых ТС;

разработки и определения эффективности мероприятий по повышению надежности ТС;

оптимизации методов эксплуатации, обслуживания и ремонта средств технологического оснащения;

выбора оптимального варианта проектируемого технологического процесса (операции);

оптимизации технологических маршрутов и режимов обработки;

выбора средств технологического оснащения;

определения периодичности замены инструмента;

установления факторов, приводящих к отказам ТС.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Проников А.С. Основы надежности и долговечности машин. –М.: Изд-во стандартов, 1969.
2. Вопросы технологической надежности / Под ред. И.В. Дунина-Барковского. Вып. XI. –М.: Изд-во стандартов, 1974.
3. Дунин-Барковский И.В. Статистические исследования точности операции в связи с оценкой технологической надежности станков. В сб. «Взаимозаменяемость и технические измерения в машиностроении». – Л.: Машиностроение, 1972, № 6.
4. Технологическая надежность станков / Под ред. А.С. Проникова. –М.: Машиностроение, 1971.
5. Бобрик П.И. К расчету надежности технологического процесса. – «Надежность и контроль качества», 1971, № 8, с.41-49.
6. Беляев Ю.К. Производительность при наличии двух типов отказов. Сб. «Кибернетику – на службу коммунизму», том 2. –М.– Л.: Изд-во «Энергия», 1964.
7. Черкесов Г.Н. Надежность технических систем с временной избыточностью. –М.: Изд-во «Советское радио», 1974.
8. Кубарев А.И. Надежность в машиностроении. Изд-во стандартов, 1977.
9. ГОСТ 27.202-83. Надежность в технике. Технологические системы. Методы оценки надежности по па-

УДК 621.833

Кане М.М., Медведев А.И., Ковальков А.Т.

## РЕНТГЕНОГРАФИЧЕСКИЕ ИССЛЕДОВАНИЯ ЛЕГИРОВАННЫХ КОНСТРУКЦИОННЫХ СТАЛЕЙ НА ОПЕРАЦИЯХ ЗУБОШЕВИНГОВАНИЯ И ХИМИКО-ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ (ХТО) ЦИЛИНДРИЧЕСКИХ ШЕСТЕРЕН

*Белорусский национальный технический университет  
Минск, Беларусь*

Нами выполнено исследование изменения величины относительной микродеформации кристаллической решетки  $\Delta a/a$ , размеров блоков мозаики зерен металла  $D$  и остаточных напряжений второго рода  $\sigma_2$  в поверхности зубьев цилиндрических шестерен, изготовленных из сталей 25ХГТ и 20ХНЗА на указанных операциях.

Описание схемы строения блоков и методика расчета указанных параметров приведены в работах [1] и [4].

На рисунке 1 и в таблицах 1 и 2 представлены основные результаты выполненного исследования. В таблицах 1 и 2 приняты следующие обозначения:  $X_1$  и  $Y_1$  – значения  $\Delta a/a$  в мм;  $X_2$  и  $Y_2$  – значения  $D$  в мм;  $X_3$  и  $Y_3$  – значения  $\sigma_2$  в МПа на операциях шевингования и ХТО;  $a$  и  $b$  – коэффициенты уравнения  $y = a + bx$  (1);  $F$  – критерий Фишера адекватности предложенной модели (1);  $R^2$  – коэффициент детерминации, характеризующий адекватность модели, степень влияния  $X$  на дисперсию  $Y$ .

Расчет критериев Фишера и  $R^2$  производился по формулам, приведенным в работе [1].

Критическое значение критериев Фишера  $F_{кр} = 4,26$  при  $N = 12$ ,  $k = 4$  и Стьюдента  $t_{кр} = 5,78$  [3]. Предельное значение  $R^2 \geq 0,9$ , что говорит об адекватной зависимости опытных данных расчетным.

Затем был выполнен расчет параметров нелинейных моделей (зависимости 2 – 7) изменения рассмотренных характеристик поверхностного слоя зубьев цилиндрических шестерен при ХТО.

Результаты данного расчета приводятся в таблице 2.

$$Y = b_0 + b_1X + b_2X^2 \quad (2)$$

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X^2 + b_3X^3 \quad (3)$$

$$Y = b_0 + b_1X_1 + b_2X^2 + b_3X^3 + b_4X^4 \quad (4)$$

$$Y = a \cdot \ln X - b, \quad (5)$$

$$Y = a \cdot X^b \quad (6)$$

$$Y = a \cdot \ell^{bX} \quad (7)$$

Анализ данных, приведенных на рисунке 1 и в таблицах 1 и 2 позволят отметить следующие особенности изменения параметров кристаллической решетки материалов шестерен на операциях шевингования и ХТО:

1. Имеет место увеличение значений  $\Delta a/a$  в равной степени как для стали 25ХГТ, так и для стали 20ХНЗА примерно в 3,3 – 3,5 раза.