

Технология и технологические машины

УДК 621.96


DOI: 10.18698/0536-1044-2015-11-53-61

Метод определения условий механической обработки тонкостенных деталей

С.С. Гаврюшин, А.Д. Жаргалова, Г.П. Лазаренко, В.И. Семисалов

МГТУ им. Н.Э. Баумана, 105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1

The Method of Determining the Conditions for Machining Thin-Walled Parts

S.S. Gavryushin, A.D. Zhargalova, G.P. Lazarenko, V.I. SemisalovBMSTU, 105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1 e-mail: gss@bmstu.ru, ayagma@mail.ru, gplaz@mail.ru

i Проанализирована специфика механической обработки тонкостенных деталей, связанной с повышенным риском возникновения брака вследствие их деформации под действием сил резания и закрепления. Обсуждаемая проблема актуальна для аэрокосмической отрасли, поскольку использование тонкостенных деталей позволяет снизить массу летательного аппарата. В настоящее время эта проблема недостаточно проработана и нуждается в дополнительном изучении. Рассмотрены основные подходы, применяемые для бездефектной обработки тонкостенных деталей. Основное внимание уделено изучению возможностей, создающих условия оперативной подготовки производства при минимальных материальных и ресурсных затратах. Одной из ключевых составляющих реализации такой возможности является математическое прогнозирование ожидаемых технологических деформаций детали с применением специальных вычислительных программных продуктов. Рассмотрен пример расчета для случая токарной обработки детали, закрепленной в трехкулачковом патроне, с применением системы ANSYS. Предложен общий алгоритм определения технологических условий, при которых механическая обработка упругоподатливых деталей выполняется без превышения допустимых отклонений формы.

Ключевые слова: обработка резанием, тонкостенная деталь, технологическая деформация, режим резания.

i The specifics of machining thin-walled parts is analyzed in the article with a focus on an increased risk of rejection rates due to the deformation of the parts under cutting and gripping forces. This problem is current for the aerospace industry where thin-walled parts are used to reduce the weight of aircraft. At present, this issue is not sufficiently studied and requires further research. The main approaches to defect-free machining of thin-walled parts are considered. Special attention is given to the options available for effective preparation of the machining process with minimal material and operational expenditure. One of the key components in realizing such options is mathematical prediction of expected technological deformations using special software packages. Using ANSYS software, a calculation for turning a part gripped in a three-jaw holder is given as an example. A general algorithm is

proposed for determining technological conditions when elastic-pliable parts can be machined without exceeding permissible tolerances.

Keywords: machining by cutting, thin-walled part, technological deformation, cutting mode.

Механическая обработка тонкостенных деталей на металлорежущих станках обычно сопровождается повышенным риском получения брака вследствие податливости деталей под действием сил резания и закрепления [1]. Обработку таких деталей обычно выполняют в *специальных* приспособлениях, благодаря которым механическая жесткость деталей в системе «деталь—приспособление» повышается до приемлемого «бездеформационного» уровня. Это позволяет обрабатывать тонкостенные детали на *стандартных (нормативных)* режимах резания [2, 3]. Изучается также возможность обработки тонкостенных деталей в *стандартных* приспособлениях на *специальных* «мягких» режимах с пониженными силами резания, при которых технологическая деформация деталей находится в диапазоне допустимых значений. Концепция обработки тонкостенных деталей в стандартных приспособлениях на «мягких» режимах резания базируется на известных закономерностях, математически описывающих зависимость силы резания от значений технологических параметров процесса [4, 5].

Сопоставляя эти два подхода, можно отметить следующее. Первый подход (обработка на стандартных (*нормативных*) режимах резания в *специальных* приспособлениях) позволяет применять апробированные технологические процессы. Однако необходимость создания при этом *специальных* приспособлений требует значительных материальных, производственных и временных затрат. Это удорожает технологическую подготовку производства и увеличивает ее сроки. Достоинствами второго подхода (обработка на *специальных* «мягких» режимах резания в *стандартных* приспособлениях) являются меньшие ресурсоемкость и продолжительность технологической подготовки производства. Однако данный подход в настоящее время еще не получил достаточного научного обоснования и, как следствие, не поддержан методическими рекомендациями, необходимыми для его применения в промышленных масштабах.

Очевидно, что первый подход предпочтителен для применения при изготовлении однотипных тонкостенных деталей большими парти-

ями. В этом случае окупаются затраты на создание специальной технологической оснастки. Второй подход удобно применять в условиях частой сменяемости номенклатуры деталей при изготовлении их в ограниченном количестве. Однако, как уже было отмечено, изучение второго подхода находится в начальной стадии и еще не найдены решения ряда важных вопросов, касающихся данной методологии. В частности, не разработаны инженерные методы оперативного оценивания ожидаемых технологических деформаций в заданных условиях обработки.

В связи с этим целью настоящей работы являются общий анализ проблемы механической обработки тонкостенных деталей и обсуждение возможностей ее решения.

Тонкостенными условимся называть детали, у которых при их обработке на стандартных (*нормативных*) режимах резания в стандартных приспособлениях возникают упругие перемещения h обрабатываемой поверхности, соизмеримые с шириной поля допуска H или превышающие ее на размер D поверхности, подвергаемой обработке.

Предположим также, что в соответствии с центральной предельной теоремой статистики [6] случайные отклонения величины h подчиняются закону нормального распределения $N(\mu, \sigma)$. Зададимся при этом условием, согласно которому размах случайных отклонений величины h измеряется утроенным значением среднего квадратичного отклонения ($\pm 3\sigma$) функции плотности распределения вероятностей случайной величины h . Тогда, в качестве *меры* технологической деформации h тонкостенных деталей логично принять ширину *поля допуска* H на размер D .

С учетом принятых допущений масштаб упругих деформационных перемещений h обрабатываемой поверхности детали можно охарактеризовать двумя возможными исходами (рис. 1):

допустимые упругие перемещения (исход 1) — перемещения обрабатываемой поверхности детали в области h_1 , которая располагается с вероятностью, близкой к единице, в поле допуска H на размер D детали между границами его верхнего и нижнего отклонения:

$$(h_1 \in H) \wedge (|h_1| \leq |H|);$$

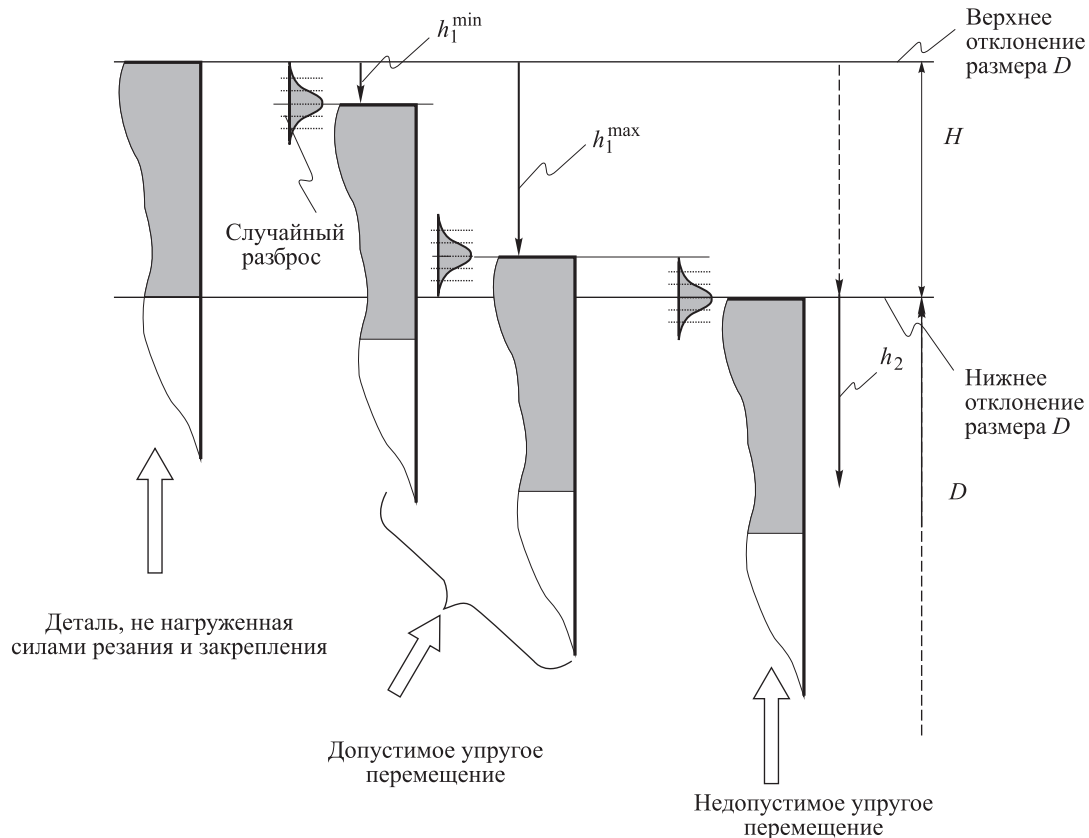


Рис. 1. Схема упругого перемещения обрабатываемой поверхности тонкостенной детали

недопустимые упругие перемещения (исход 2) — перемещения обрабатываемой поверхности детали в области h_2 , которая ограничивается сверху интервалом приемлемой деформации h_1 и лежит вне поля допуска H на границе нижнего отклонения размера D детали или ниже этой границы:

$$(h_2 \notin H) \wedge (|h_2| \geq |H|).$$

Исходим из того, что современная наука и практика развивают два базовых подхода к выбору условий механической обработки тонкостенных деталей:

- в специальных приспособлениях при использовании стандартных (нормативных) режимов резания (СпПр&СтПр);
- в стандартных приспособлениях при использовании «мягких» специальных режимов резания (СтПр&СпПр).

Дополним эти альтернативы двумя вариантами условий обработки, занимающими промежуточное положение:

- в стандартных приспособлениях при использовании стандартных (нормативных) режимов резания (СтПр&СтПр);
- в специальных приспособлениях при ис-

пользовании специальных режимов резания (СпПр&СпПр).

Выделенные четыре варианта условий обработки образуют множество базовых альтернатив изготовления тонкостенных деталей. Каждая альтернатива задается видом станочного приспособления (стандартное или специальное) и режимом резания (стандартный (нормативный) или специальный «мягкий») (табл. 1).

Чтобы оценить предпочтительность сопоставляемых вариантов обработки, в качестве понижающего оценочного критерия (чем выше его значение, тем ниже оценка варианта) выберем ожидаемые издержки на технологическую подготовку производства. Будем считать, что эти издержки складываются из затрат на оснащение процесса станочным приспособлением и затрат на разработку режимов резания.

Будем предполагать также, что:

- затраты на создание станочного приспособления всегда существенно больше, чем затраты на определение режимов резания;
- затраты на создание специального станочного приспособления всегда больше, чем затраты на наладку стандартного станочного приспособления;

Таблица 1

Базовые варианты альтернативных условий обработки тонкостенных деталей

Вариант i условий обработки	Вид приспособления	Режим резания	Обозначение условий обработки
1	Стандартный	Стандартный	СтПр&СтРр
2		Специальный	СтПр&СпРр
3	Специальный	»	СпПр&СтРр
4		»	СпПр&СпРр

• затраты на определение *специальных* («мягких») режимов резания всегда больше, чем затраты на определение стандартных (*нормативных*) режимов резания.

В условиях принятых допущений и ограничений технико-экономическую предпочтительность вариантов условий обработки можно задать вектором доминирования: «чем выше уровень стандартизации приспособления и режима резания, тем ниже затраты на технологическую подготовку производства и, следовательно, выше технико-экономическая привлекательность условий обработки», т. е.

$$\text{СтПр}\&\text{СтРр} \succ \text{СтПр}\&\text{СпРр} \succ \text{СпПр}\&\text{СтРр} \succ \text{СпПр}\&\text{СпРр}$$

Принятие решения о выборе условий обработки тонкостенных деталей может быть сведено к итерационной задаче, в каждом цикле i -й итерации которой должна быть исследована одна из альтернатив $i \mid \forall i = [1, n = 4]$ условий обработки (см. табл. 1). При этом в каждом цикле итерации необходимо определять максимальную деформацию h^{\max} обрабатываемой детали и проверять, соблюдается ли условие приемлемости ее жесткости ($h^{\max} < H$). Очевидно, что циклы итерации удобно выполнять в порядке убывания технико-экономического доминирования альтернативных условий обработки (УсОб). Алгоритм решения данной задачи представлен на рис. 2.

В алгоритме выбора условий обработки тонкостенных деталей ключевыми элементами, требующими особого рассмотрения, являются подготовка исходных данных (блок 1) и определение максимальных значений технологической деформации обрабатываемой детали (блок 3).

Подготовка исходных данных начинается с ознакомления и анализа информации, содержащейся в конструкторско-технологической документации на изготавливаемую деталь. Ре-

зультаты такого анализа позволяют сформировать три вида ограничительной информации:

- 1) схемы установки (базирования и закрепления) детали на станке;
- 2) расчетная схема технологического нагружения детали;
- 3) ожидаемые значения сил резания при заданном режиме обработки.

Разработка схемы установки детали на станке является, по сути, задачей с многовариантным решением. Например, если ограничиться рассмотрением деталей токарной группы, обрабатываемых по внешней поверхности, то морфологическая модель установки (рис. 3) порождает более 10 возможных решений: Варианты схем установки токарной детали

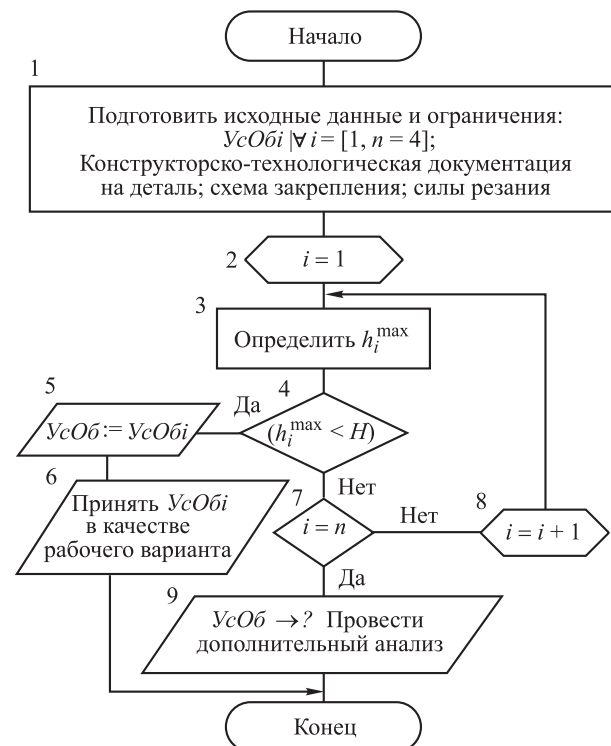


Рис. 2. Алгоритм определения условий обработки тонкостенной детали

Схемы установки токарной детали

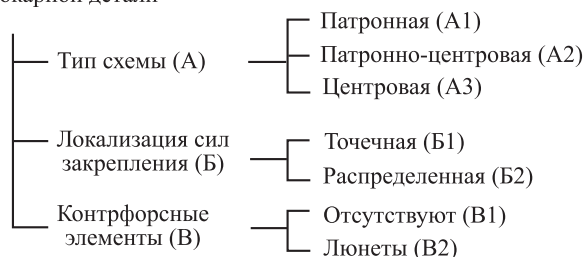


Рис. 3. Морфологическая модель схем установки (базирования и закрепления) деталей на станках токарной группы

= {A1B1B1, A1B1B2, A1B2B1, A1B2B2, A2B1B1, A2B1B2, A2B2B1, A2B2B2, A3B1B1, A3B1B2, A3B2B1, A3B2B2}. В связи с этим разработку схемы установки детали можно отнести к числу эвристических задач технологического проектирования.

При разработке схемы технологического нагружения детали силами резания и закрепления учитывают две группы факторов:

1) возможности использования базирующих и закрепляющих компонентов станочного приспособления для связывания пространственных координат детали с управляемыми координатами рабочей зоны станка. Требования к взаимосвязи между этими двумя группами компонентов приспособления определяются картами наладок технологического процесса;

2) возможности станка по выполнению технологических перемещений детали и инструментов, обеспечивающих механическую обработку в соответствии с заданной управляющей программой.

Таким образом, конструкторско-технологическая документация (чертеж детали, операционная технологическая карта, карта инструментальных наладок и управляющая программа) создает необходимые информационные предпосылки для формирования схемы технологического нагружения детали силами резания и закрепления. Например, расчетная схема нагружения цилиндрической тонкостенной детали для случая обработки ее на токарном станке проходным резцом по внешней поверхности при установке в трехлапчатом патроне может быть задана эскизом, приведенным на рис. 4.

Третьим компонентом подготовки исходных данных (блок 1 алгоритма) является определение ожидаемых значений сил резания. В процессах механической обработки нежестких

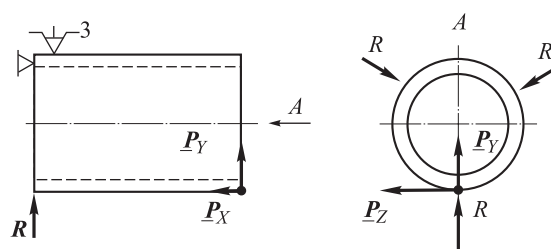


Рис. 4. Расчетная схема технологического нагружения цилиндрической тонкостенной детали при ее обработке на токарном станке: R — сила закрепления; P_x, P_y, P_z — составляющие силы резания P

тонкостенных деталей силы резания кардинально влияют на силы закрепления и, как следствие, на общую картину упругого перемещения обрабатываемой поверхности детали. В силу этого математическое прогнозирование сил резания служит важнейшим инструментом в процедуре выбора условий обработки. В настоящее время существует научно обоснованная и практически апробированная методология, предлагающая математическое описание зависимости силы резания от параметров режима обработки. В частности, при токарной обработке деталей силы и скорость резания для наружного продольного точения можно рассчитать по следующим формулам [7]:

$$P_z = 100C_p t^x s^y V^n K_{MP},$$

$$P_x = 0,35P_z, \quad P_y = 0,45P_z,$$

$$V = C_v K_{MV} / (T^m t^x s^y V^n),$$

где P_x, P_y, P_z — компоненты силы резания, Н; C_p, C_v, x, y, m, n — эмпирические коэффициенты; t — глубина резания, мм; s — подача, мм/об; V — скорость резания, м/мин; K_{MP}, K_{MV} — коэффициенты поправки на материал заготовки; T — период стойкости инструмента, мин.

Аналогично, заданными условиями обработки можно аналитически спрогнозировать значения сил резания при других методах механической обработки (сверление, фрезерование и др.).

Таким образом, в настоящее время существуют формализованные механизмы для количественного оценивания и математического моделирования совокупности факторов, образующих достаточное множество данных и ограничительных условий, на основе которых можно построить процедуру определения деформации обрабатываемой детали.

В современной практике решения сложных технических задач с использованием компьютерных технологий широко применяют конечно-элементные программные комплексы. В настоящей работе для анализа использовали прикладной программный комплекс ANSYS [8, 9] — универсальное средство конечно-элементного анализа, которое обладает большими возможностями и применяется как при научных исследованиях, так и при выполнении инженерных расчетов высокой сложности. Систему ANSYS используют для математического моделирования процессов, не поддающихся анализу на уровне традиционных классических инженерных методик. Она обладает большой гибкостью и широкими возможностями для автоматизации последовательного моделирования с помощью написания APDL-сценариев и позволяет получать данные, необходимые для решения многовариантных задач. В контексте рассматриваемой задачи к особенностям системы следует отнести недостаточно удобный интерфейс и сложность написания сценариев для неподготовленного пользователя. Однако это компенсируется возможностью работы без графического интерфейса (через APDL-скрипты). Кроме того, имеется большое количество литературы и интернет-ресурсов, посвященных ANSYS, а также подробное справочное приложение, встроенное в систему. К достоинствам относится и возможность интеграции ANSYS-модели с другими перспективными программными средствами.

Таким образом, делаем вывод, что система ANSYS может быть использована как средство математического моделирования при анализе многих технологических аспектов.

Рассмотрим пример применения системы ANSYS в качестве инструмента для математического прогнозирования податливости детали типа «тонкостенный цилиндр». Исходные данные для расчета следующие:

- материал детали — сталь 45;
- деталь устанавливается на станке в трехкулачковом патроне (см. рис. 4) и должна быть обработана по внешней поверхности, вид обработки — продольное точение;
- длина детали 50 мм, внешний диаметр 60 мм, толщина стенки задается в трех вариантах — 4, 5 и 6 мм;
- обработка выполняется проходным резцом с главным углом в плане 45° и с пластиной из твердого сплава T15K6;

Таблица 2

Расчетные значения скорости и силы резания

Стадия обработки	Силы резания, Н			Скорость резания V, м/мин
	P_z	P_x	P_y	
Черновая	1 520	532	684	113
Чистовая	450	158	203	130
Тонкая	90	31.5	41	238

• стойкость инструмента задана периодом $T = 60$ мин.

Расчет упругого перемещения обрабатываемой поверхности детали проведем для девяти вариантов условий обработки, варьируя три значения толщины детали (4, 5 и 6 мм) и три режима обработки: *черновая обработка (IT10)* — глубина резания $t = 1,50$ мм, продольная подача $s = 0,90$ мм/об; *чистовая обработка (IT8)* — глубина резания $t = 1,25$ мм, продольная подача $s = 0,35$ мм/об; *тонкая обработка (IT6)* — глубина резания $t = 1,00$ мм и продольная подача $s = 0,10$ мм/об.

Для заданных условий скорости резания и силы резания имеют расчетные значения, приведенные в табл. 2.

Результаты моделирования в ANSYS показывают, что упругие перемещения обрабатываемой поверхности рассматриваемой нами детали, имеют вид и значения, приведенные на рис. 5 и в табл. 3. Эти результаты дают однозначный ответ на вопрос о допустимости или недопустимости заданных условий обработки для изготовления конкретного типа детали.

Основные альтернативы выбора:

- если $h \geq H$, то заданные условия обработки неприемлемы;
- если $h < H$, то заданные условия обработки приемлемы.

По итогам выполненного в настоящей работе общего анализа может быть предложен подход, предусматривающий выбор предпочтительной альтернативы условий обработки по заданному ограничению на допустимую технологическую деформацию детали. Описан алгоритм определения условий обработки и рассмотрены механизмы его реализации.

Выводы

1. В современной технологической практике механическая обработка нежестких тонкостенных деталей обычно выполняется на стандарт-

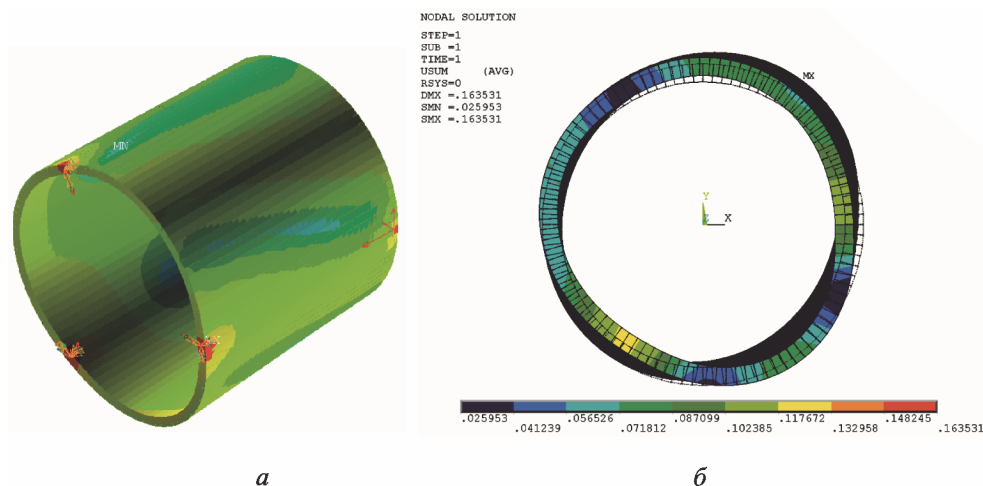


Рис. 5. Цветографическая диаграмма деформированной детали (а) и диаграмма масштабированных радиальных перемещений (б) при черновом точении ($h = 5$)

Таблица 3

Результаты ANSYS-моделирования условий обработки тонкостенной детали

Толщина стенки детали, мм	Стадия обработки	Поле допуска H , мкм	Максимальное перемещение h^{max} , мкм	Вывод о приемлемости (+) и неприемлемости (-) условий обработки
4	Черновая	120	213	-
	Чистовая	40	60	-
	Тонкая	19	21	-
5	Черновая	120	119	+
	Чистовая	40	34	+
	Тонкая	19	9,6	+
6	Черновая	120	76	+
	Чистовая	40	22	+
	Тонкая	19	5,4	+

ных (нормативных) режимах резания в специальных станочных приспособлениях, которые повышают жесткость деталей до требуемого «бездеформационного» уровня.

2. Существует альтернативный вариант «бездеформационной» обработки тонкостенных деталей, при котором их устанавливают на станке в стандартных приспособлениях, но обрабатывают на специальных «мягких» режимах резания. Достоинствами этого подхода являются более высокая оперативность технологической подготовки производства и отсутствие издержек на создание специальной станочной оснастки. Недостаток — отсутствие методик реализации данного подхода в условиях производства.

3. В настоящей работе сформирован один из вариантов концепции определения рациональ-

ных условий «бездеформационной» обработки тонкостенных деталей и проанализированы методы математического прогнозирования их технологической деформации в заданных условиях обработки.

4. Одним из перспективных инструментов для оперативного определения ожидаемого поведения тонкостенных деталей является вычислительная программная система ANSYS.

5. Полученные в работе результаты создают определенные предпосылки для дальнейшего изучения проблемы, создания ее теоретической базы и формирования на их основе методических рекомендаций и инженерных инструментов, обеспечивающих применение обсуждаемой методологии в производственных условиях.

Литература

- [1] Дальский А.М., Косилов А.Г., Мещеряков Р.К., Суслов А.Г., ред. *Справочник технолога-машиностроителя*. В 2 т. Т. 1. Москва, Машиностроение-1, 2001. 912 с.
- [2] Ансеров М.А. *Приспособления для металлорежущих станков: Расчет и проектирование*. Москва-Ленинград, Машиностроение, 1996. 341 с.
- [3] Вардашкин Б.Н., Данилевский В.В., ред. *Станочные приспособления: Справочник*. Москва, Машиностроение, 1984, т. 1. 591 с., т. 2. 655 с.
- [4] Гузеев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В. *Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением. Справочник*. Москва, Машиностроение, 2007. 536 с.
- [5] Ластовский П.Н. *Обеспечение заданных требований точности при автоматизированной токарной обработке тонкостенных деталей*. Дис. ... канд. техн. наук. Омск, ОмГТУ, 2010. 226 с.
- [6] Орлов А.И. *Прикладная статистика*. Москва, Экзамен, 2007. 672 с.
- [7] Дальский А.М., Сулов А.Г., Косилов А.Г., Мещеряков Р.К., ред. *Справочник технолога-машиностроителя*. В 2 т. Т. 2. Москва, Машиностроение-1, 2001. 944 с.
- [8] Гаврюшин С.С., Барышникова О.О., Борискин О.Ф. *Численный анализ элементов конструкций машин и приборов*. Москва, Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. 479 с.
- [9] Половко А.М., Бутусов П.Н. *MATLAB для студента*. Санкт-Петербург, ВВХ-Петербург, 2005. 320 с.

References

- [1] *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelia* [Directory technologist-machinist]. Ed. Dal'skii A.M., Kosilov A.G., Mesheriakov R.K., Suslov A.G. Vol. 1. Moscow, Mashinostroenie-1 publ., 2001. 912 p.
- [2] Anserov M.A. *Prisposobleniia dlia metallorezhushchikh stankov: Raschet i konstruirovaniie* [Accessories for machine tools: The calculation and design]. Moscow-Leningrad, Mashinostroenie publ., 1996. 341 p.
- [3] *Stanochnye prisposobleniia: Spravochnik* [Machine-tool accessories: Handbook]. Ed. Vardashkin B.N., Danilevskii V.V. Moscow, Mashinostroenie publ., 1984, vol. 1. 591 p., vol. 2. 655 p.
- [4] Guzeev V.I., Batuev V.A., Surkov I.V. *Rezhimy rezaniia dlia tokarnykh i sverlil'no-frezerno-rastochnykh stankov s chislovym programmnyim upravleniem. Spravochnik* [Cutting data for turning and drilling, milling and boring machines with CNC. Directory]. Moscow, Mashinostroenie publ., 2007. 536 p.
- [5] Lastovskii P.N. *Obespechenie zadannykh trebovaniy tochnosti pri avtomatizirovannoi tokarnoi obrabotke tonkostennykh detalei*. Diss. kand. tekhn. nauk [Ensuring the accuracy of specified requirements with regard to Automatic turning thin-walled parts. Cand. tehn. sci. diss.]. Omsk, OmGTU publ., 2010. 226 p.
- [6] Orlov A.I. *Prikladnaia statistika* [Applied Statistics]. Moscow, Ekzamen publ., 2007. 672 p.
- [7] *Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelia* [Directory technologist-machinist]. Ed. Dal'skii A.M., Suslov A.G., Kosilov A.G., Mesheriakov R.K. Vol. 2. Moscow, Mashinostroenie-1 publ., 2001. 944 p.
- [8] Gavriushin S.S., Baryshnikova O.O., Boriskin O.F. *Chislennyi analiz elementov konstruktsii mashin i priborov* [Numerical analysis of structural elements of machines and devices]. Moscow, Bauman Press, 2014. 479 p.
- [9] Polovko A.M., Butusov P.N. *MATLAB dlia studenta* [MATLAB to students]. St. Petersburg, BVKh-Peterburg publ., 2005. 320 p.

Информация об авторах

ГАВРЮШИН Сергей Сергеевич (Москва) — доктор технических наук, профессор, зав. кафедрой «Компьютерные системы автоматизации производства». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: gss@bmstu.ru).

ЖАРГАЛОВА Аягма Дашибалбаровна (Москва) — старший преподаватель кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: ayagma@mail.ru).

ЛАЗАРЕНКО Григорий Павлович (Москва) — кандидат технических наук, старший научный сотрудник, доцент кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1, e-mail: gplaz@mail.ru).

СЕМИСАЛОВ Виталий Иванович (Москва) — кандидат технических наук, доцент кафедры «Компьютерные системы автоматизации производства». МГТУ им. Н.Э. Баумана (105005, Москва, Российская Федерация, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1).

Information about the authors

GAVRYUSHIN Sergey Sergeevich (Moscow) — Doctor of Science (Eng.), Professor, Head of Department, Computer Systems of Manufacture Automation. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: gss@bmstu.ru).

ZHARGALOVA Ayagma Dashibalbarovna (Moscow) — Senior Lecture, Department of Computer Systems of Production Automation. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: ayagma@mail.ru).

LASARENKO Grigoriy Pavlovich (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Senior Researcher, Associate Professor, Department of Computer Systems of Production Automation. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1, e-mail: gplaz@mail.ru).

SEMISALOV Vitaliy Ivanovich (Moscow) — Candidate of Science (Eng.), Associate Professor, Department of Computer Systems of Production Automation. Bauman Moscow State Technical University (105005, Moscow, Russian Federation, 2nd Baumanskaya St., Bldg. 5, Block 1).



В Издательстве МГТУ им. Н.Э. Баумана
вышла в свет монография

**Г.А. Бигуса, Ю.Ф. Даниева, Н.А. Быстровой,
Д.И. Галкина**

«Основы диагностики технических устройств и сооружений»

В монографии приведены основные понятия технической диагностики — области знаний, охватывающей теорию, методы и средства определения технического состояния объектов. Значительное внимание уделено методам неразрушающего контроля, правильное применение которых позволяет получить исходные данные для анализа, проводимого при техническом диагностировании. Изложены элементы теории надежности и методы расчета показателей надежности в приложении к технической диагностике. Рассмотрены вопросы идентификации состояния объекта по измеренным диагностическим параметрам и оценки его ресурса.

По вопросам приобретения обращайтесь:

105005, Москва, 2-я Бауманская ул., д. 5, стр. 1.
Тел.: +7 499 263-60-45, факс: +7 499 261-45-97;
press@bmstu.ru; www.baumanpress.ru