

Интернет-журнал «Наукоедение» ISSN 2223-5167 <http://naukovedenie.ru/>

Том 8, №6 (2016) <http://naukovedenie.ru/vol8-6.php>

URL статьи: <http://naukovedenie.ru/PDF/117TVN616.pdf>

Статья опубликована 21.12.2016

Ссылка для цитирования этой статьи:

Жаргалова А.Д., Гаврюшин С.С., Лазаренко Г.П., Семисалов В.И. О «мягких» режимах резания для обработки тонкостенных деталей // Интернет-журнал «НАУКОВЕДЕНИЕ» Том 8, №6 (2016)

<http://naukovedenie.ru/PDF/117TVN616.pdf> (доступ свободный). Загл. с экрана. Яз. рус., англ.

УДК 621.7.01

Жаргалова Аягма Дашибалбаровна

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)», Россия, Москва¹

Старший преподаватель

E-mail: azhargalova@bmstu.ru

Гаврюшин Сергей Сергеевич

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)», Россия, Москва

Заведующий кафедрой РК9 «Компьютерные системы автоматизации производства»

Доктор технических наук, профессор

E-mail: gss@bmstu.ru

Лазаренко Григорий Павлович

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)», Россия, Москва

Старший научный сотрудник

Кандидат технических наук, доцент

E-mail: gplaz@mail.ru

Семисалов Виталий Иванович

ФГБОУ ВО «Московский государственный технический университет имени Н.Э. Баумана
(национальный исследовательский университет)», Россия, Москва

Кандидат технических наук, доцент

О «мягких» режимах резания для обработки тонкостенных деталей

Аннотация. В статье представлен алгоритм расчёта технологических параметров «мягких» режимов резания для токарной обработки тонкостенных деталей. Проведен анализ существующих методов обработки тонкостенных деталей, выявлены недостатки, которые можно разрешить с помощью создания автоматизированной системы. Авторами выявлены, что обработка тонкостенных деталей на металлорежущих станках часто сопровождается недопустимо большим деформированием деталей под действием сил резания. Для предотвращения деформаций обычно применяют специальные станочные приспособления. Это приводит к дополнительным производственным затратам. В работе обсуждается возможность предотвращения деформации деталей за счёт уменьшения сил резания, применяя для этого «мягкие» режимы обработки. Исследована зависимость силы резания от

¹ 105005, г. Москва, ул. 2-я Бауманская, 5, стр. 1

трёх технологических параметров режима обработки - глубины резания, подачи и скорости резания. Установлено, что при изменении параметров режима можно достигнуть уменьшения силы резания в два и более раза. Предложена методика расчёта значений параметров «мягкого» режима, при которых сила резания будет иметь требуемое значение. Авторами предложен алгоритм, который может быть реализован, как на базе средств автоматизированных цифровых технологий, так и с применением простого графического моделирования процедуры расчёта на номограммах.

Ключевые слова: алгоритм; обработка резанием; тонкостенные детали; деформации; режимы резания; сила резания; методы конечных элементов (МКЭ)

Введение

Тонкостенные детали (далее - ТсД), как правило, характеризуются пониженной механической жёсткостью. В связи с этим механическая обработка ТсД сопряжена с высоким риском возникновения брака от недопустимо больших технологических деформаций детали под действием сил резания и закрепления. Поэтому при механической обработке таких деталей обычно применяют специальные станочные приспособления, которые в паре «деталь - специальное приспособление», повышают жёсткость ТсД до величин, сопоставимых с жёсткостью монолитных изделий.

Технология обработки ТсД в системе «деталь - специальное приспособление» обладает важным достоинством. При таком подходе, для изготовления ТсД можно применять нормативные режимы механической обработки, проверенные опытом их практического применения и хорошо освоенные в машиностроительном производстве. Однако использование специальных приспособлений неизбежно приводит к существенным дополнительным затратам времени и средств на индивидуальную разработку и изготовление такой технологической оснастки.

Параллельно с применением специальных приспособлений, изучается возможность обработки ТсД в стандартных приспособлениях [1]. При этом исходят из того, что в зависимости от конструкторского решения конкретной тонкостенной детали, упругая податливость ТсД может проявляться в различной степени. В этой связи представляется логичным рассматривать различные потенциально существующие возможности обработки ТсД, включая обработку в универсальных приспособлениях с применением «мягких» режимов. Условимся здесь и далее применять термин «мягкий» режим, подразумевая при этом такой режим резания, при котором сила резания имеет меньшую величину по сравнению с силой резания при обработке в нормативных условиях.

Теоретической платформой для применения такого подхода может служить количественное оценивание величины ожидаемой технологической деформации ТсД, возникающей при обработке на нормативных режимах [2]. При таком подходе прогнозная оценка ожидаемой деформации детали позволяет сопоставлять несколько возможных альтернативных вариантов обработки (табл. 1) и обоснованно выбирать рациональное технологическое решение.

Таблица 1

Альтернативы условий обработки ТсД

| Группа жесткости ТсД | Результат моделирования Технологической деформации ТсД | Рекомендуемые условия обработки | |
|----------------------|---|---------------------------------|----------------|
| | | Приспособление | Режим резания* |
| 1 | Деформация ТсД существенно меньше допустимого уровня | Универсальное | Нормативный |
| 2 | Деформация ТсД соизмерима с допустимым уровнем | | «Мягкий» |
| 3 | Деформация ТсД несущественно больше допустимого уровня | Специальное | Нормативный |
| 4 | Деформация детали существенно больше допустимого уровня | | «Мягкий» |

* *Нормативный режим резания - это стандартный режим, рекомендованный нормативными технологическими документами для обработки жёстких монолитных деталей. «Мягкий» режим резания - это режим, который формируется на базе нормативного режима с внесением в него изменений, приводящих к уменьшению сил резания до требуемой величины.*

Применение прогнозной оценки деформации ТсД открывает возможность для взвешенного выбора предпочтительного технологического решения из числа существующих альтернатив и может служить инструментом для назначения рациональных условий обработки ТсД. Прогнозная оценка деформации является также критерием для отказа от необоснованных производственных расходов на создание специального приспособления в случаях, когда формально утверждается возможность обработки ТсД в стандартном приспособлении на нормативных или «мягких» режимах резания.

Однако современный уровень разработки данной методологии является недостаточным для её практического воплощения в условиях производства и требует проведения ряда дополнительных исследований. Одним из вопросов, нуждающихся в дополнительном изучении, является вопрос о «мягких» режимах резания. Эта тема и является предметом обсуждения в настоящей работе.

1. Постановка задачи

Целью настоящего исследования является изучение и количественное оценивание возможностей управления силой резания на «мягких» режимах за счёт варьирования технологических параметров процесса обработки.

Описание процедуры управления «мягкими» режимами резания является одним из необходимых компонентов в идеологии автоматизированного проектирования техпроцессов обработки ТсД. Поэтому ожидаемые результаты работы ориентированы на использование их в составе создаваемых САПР ТП.

При обсуждении данной проблемы решались следующие задачи.

- 1) Анализ математической модели теории резания, описывающей связь между силой резания и параметрами режима обработки.
- 2) Выбор метода и разработка алгоритма для определения значений параметров «мягкого» режима обработки, при которых процесс будет протекать с требуемой величиной силы резания.

Поставленные задачи решались в рамках следующих ограничений.

- 1) В качестве процесса механической обработки рассматривалось точение внешней поверхности цилиндрической ТсД типа «труба». Материал детали - среднеуглеродистая сталь (сталь 45);
- 2) Схема установки ТсД на станке - патронная, в стандартном трёхкулачковом патроне;
- 3) В качестве нормативных режимов резания рассматривались режимы, выбираемые из данных, содержащихся в работах [3-5];
- 4) Инструмент - токарный проходной резец, заточка резца: главный угол в плане - 45°; угол при вершине 90°; радиус при вершине - 0.5 мм; инструментальный материал - твёрдый сплав Т15К6.

2. Исследование зависимости силы резания от режима обработки

При исследовании зависимости силы резания от режима обработки было принято допущение о том, что технологическое деформирование ТсД обусловлено двумя группами факторов - силой резания и силами закрепления детали в приспособлении. Причём в случаях минимизации технологических силовых нагрузок на обрабатываемую деталь активная роль принадлежит силе резания и минимально достаточные для удержания детали в приспособлении силы закрепления зависят от сил резания. В этой связи при изучении «мягких» режимов обработки в условиях принятых ограничений, в качестве ведущего технологического фактора, принят параметр сила резания.

В соответствии с существующими научными представлениями [5-7], при токарной обработке, расчётная величина силы резания P описывается формулой

$$P = \{P_z, P_x, P_y\}, \quad (1)$$

где: P_z - тангенциальная составляющая силы резания; P_x - осевая составляющая силы резания; P_y - радиальная составляющая силы резания.

Зависимость компонентов P_z , P_x , P_y силы резания от технологических условий процесса точения может быть описана эмпирическими зависимостями

$$\begin{aligned} P_z &= 100 C_p t^x s^y V^n K_{mp}, \\ P_x &\approx 0,35 P_z, \\ P_y &\approx 0,45 P_z, \end{aligned} \quad (2)$$

где: P_x , P_y , P_z - компоненты силы резания, Н; t , s , V - технологические параметры режима резания: t - глубина резания, мм, s - подача резца, мм/об, V - скорость резания, м/мин; C_p , x , y , n - эмпирические коэффициенты; K_{mp} - коэффициент поправки на материал обрабатываемой детали.

Зависимость скорости резания V от условий обработки, в свою очередь, описывается соотношением

$$V = C_v K_v / T^m t^x s^y, \quad (3)$$

где: T - период стойкости инструмента, мин; t - глубина резания, мм; s - подача резца, мм/об; C_v , x , y , m - эмпирические коэффициенты; K_v - коэффициент поправки на материал обрабатываемой детали.

Соотношения (2, 3) позволяют выделить в общем множестве технологических параметров, определяющих величину силы резания, два подмножества: (а) вариативные параметры режима резания $\{t, s, V\}$, значения которых могут активно варьироваться при настройке станка и при работе станка по управляющей программе; (б) - статические параметры $C = \{C_p, C_v, T, x, y, m, n, K_{mp}, K_v\}$, значения которых в процессе обработки детали остаются неизменными. Статические параметры задают технологический контекст условий обработки и в решаемой нами задаче могут рассматриваться как постоянные элементы комплексной константы C исследуемого процесса.

С учётом этого для анализа возможностей активного управления силой резания P при изучении понятия «мягкий» режим резания можно ограничиться исследованием мультипликативной зависимости (4), в которой варьируемые параметры t, s, V являются аргументами, а эмпирические величины x, y, n играют роль коэффициентов весомости этих аргументов:

$$P = C(t^x s^y V^n). \quad (4)$$

Здесь C - комплексная константа условий обработки; t, s, V - варьируемые технологические параметры режима резания; x, y, n - эмпирические коэффициенты весомости параметров t, s, V .

Для конкретизации характера зависимости силы резания P от параметров режима резания t, s, V был проведён численный эксперимент. Использовалось выражение (4), в котором технологические параметры t, s, V варьировались в диапазонах (табл. 2, рис. 1), применяемых при точении углеродистых конструкционных сталей на стадиях черновой, получистовой и чистовой обработки [3-5, 8].

Таблица 2

Расчетные значения компонентов $t^x s^y V^n$

| № | t, мм | x | t^x | s, мм/об | y | s^y | V, м/мин | n | V^n |
|----|-------|------|-------|----------|------|-------|----------|-------|-------|
| 1 | 2,2 | 0,16 | 1,13 | 1,0 | 0,45 | 1,00 | 140 | - 0,2 | 0,35 |
| 2 | 2,0 | 0,16 | 1,11 | 0,9 | 0,43 | 0,96 | 130 | - 0,2 | 0,36 |
| 3 | 1,8 | 0,16 | 1,10 | 0,8 | 0,40 | 0,91 | 120 | - 0,2 | 0,38 |
| 4 | 1,6 | 0,16 | 1,08 | 0,7 | 0,38 | 0,87 | 110 | - 0,2 | 0,39 |
| 5 | 1,4 | 0,16 | 1,06 | 0,6 | 0,35 | 0,84 | 100 | - 0,2 | 0,40 |
| 6 | 1,2 | 0,16 | 1,03 | 0,5 | 0,32 | 0,80 | 90 | - 0,2 | 0,41 |
| 7 | 1,0 | 0,16 | 1,00 | 0,4 | 0,30 | 0,76 | 80 | - 0,2 | 0,42 |
| 8 | 0,8 | 0,16 | 0,97 | 0,3 | 0,28 | 0,71 | 70 | - 0,2 | 0,43 |
| 9 | 0,6 | 0,16 | 0,92 | 0,2 | 0,25 | 0,67 | 60 | - 0,2 | 0,44 |
| 10 | 0,4 | 0,16 | 0,87 | 0,1 | 0,22 | 0,60 | 50 | - 0,2 | 0,48 |

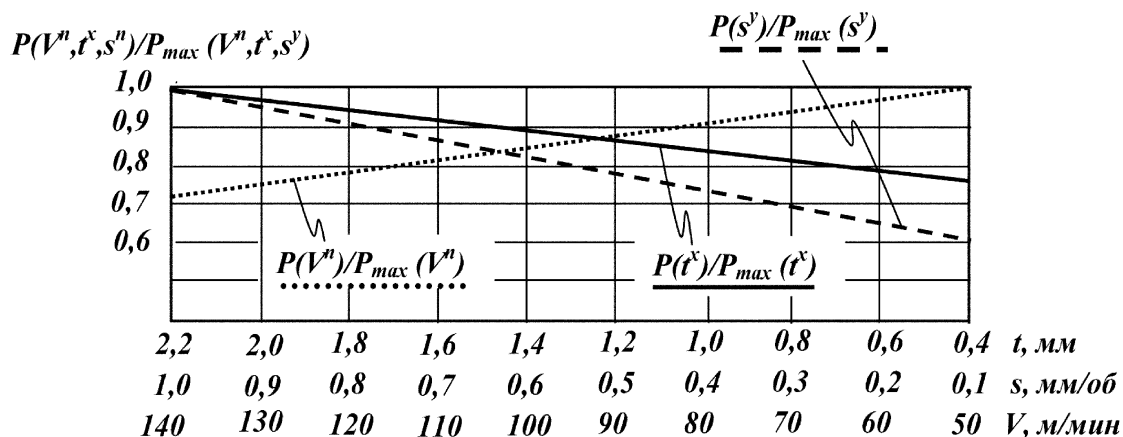


Рисунок 1. Нормализованная зависимость силы резания от параметров режима обработки

Анализ зависимости (4) и результатов эксперимента (табл. 2, рис. 1) позволяют констатировать следующее.

- 1) Если отдельно варьировать каждый из параметров t, s, V в направлении уменьшения силы резания P , ограничив варьирование диапазонами, показанными в таблице 2, то можно понизить значение силы резания P на величины $\Delta P(t)=23\%$, $\Delta P(s)=40\%$, $\Delta P(V)=27\%$. В этой связи предпочтительность параметров режима резания по эффективности их воздействия на уменьшение силы резания P может быть задана последовательностью $s \rightarrow V \rightarrow t$.
- 2) При совокупном варьировании параметров s, t, V в направлении уменьшения силы резания P можно достигнуть более чем двукратного уменьшения силы резания.

Таким образом, результаты эксперимента дают основание для рассмотрения процедуры варьирования параметров s, t, V в качестве инструмента для управления силой резания P и, как следствие, в качестве средства для реализации «мягких» режимов резания для снижения технологических деформаций ТсД.

3. Определение значений параметров «мягкого» режима обработки для получения требуемой величины силы резания

Процедура определения значений параметров s, t, V , обеспечивающих «мягкие» режимы резания, может рассматриваться, как задача, имеющая следующую постановку. Задана форма и геометрические размеры детали и схема её закрепления в станочном приспособлении. Известны физико-механические свойства материала ТсД и тип режущего инструмента. Требуется найти значения параметров «мягкого» режима обработки, при которых технологическая деформация детали не выходит за пределы допустимых значений. В качестве средства для оценивания ожидаемых технологических деформаций ТсД в процессе её обработки используется система математического моделирования процесса обработки детали, например, система ANSYS [9-10].

Допустим, что в результате моделирования установлено, что при использовании нормативных режимов резания ожидается возникновение недопустимо больших деформаций. Установлено также, что для «бездеформационной» обработки детали необходимо обеспечить уменьшение силы резания до некоторой величины $[P]$.

Необходимо найти значения параметров s, t, V , задающих «мягкий» режим обработки с силой резания P при соблюдении условия $P < [P]$. Формальное описание сформулированной задачи в заданной постановке имеет следующий вид.

$$\text{Целевая функция: } (P(s, t, V) < [P]) \mid (s \cdot t \cdot V) \rightarrow \max. \quad (5)$$

$$\text{Ограничения: } P = C \cdot (t^x \cdot s^y \cdot V^n),$$

$$C, x, y, n \rightarrow \text{const},$$

$$s, t, V \rightarrow \text{var}, \quad (6)$$

$$[s]^{\min} \leq s \leq [s]^{\max} \ \& \ s > 0,$$

$$[t]^{\min} \leq t \leq [t]^{\max} \ \& \ t > 0,$$

$$[V]^{\min} \leq V \leq [V]^{\max} \ \& \ V > 0.$$

Здесь $[s]^{\min, \max}$, $[t]^{\min, \max}$, $[V]^{\min, \max}$ - минимально и максимально допустимые значения параметров режима резания s, t, V ограниченные технологическими возможностями станка и инструментов.

Специфика проблемы заключается в том, что искомое значение функции P находится в математической зависимости (5) от трёх независимых переменных s, t, V . Для решения данной задачи может быть применён принцип последовательного приближения к целевой функции движением по градиенту функции $P(s, t, V)$.

В исходном состоянии всем параметрам присваиваются нормативные значения. Выполнение условия $P \rightarrow [P]$ достигается последовательно повторяемыми циклическими прогонами зависимости (5) с соблюдением ограничений (6). В каждом прогоне варьируется один из параметров s, t, V при неизменном значении остальных. Варьирование, (уменьшение параметров s, t или увеличение параметра V) осуществляется с заданной дискретностью. Последовательность варьирования назначается по выбранному критерию. Например, если в качестве критерия значимости параметров s, t, V выбрать обеспечение заданного уровня шероховатости обрабатываемой поверхности, то предпочтительность последовательности может иметь вид: $V \rightarrow t \rightarrow s$.

Один из вариантов решения поставленной задачи (5, 6) может быть описан алгоритмом, приведённом на рисунке 2.

Решение, описанное приведённым выше алгоритмом, может быть реализовано на базе автоматизированных цифровых технологий, а также, с использованием номограмм в качестве инструмента графической интерпретации рассмотренных здесь математически формализованных моделей.

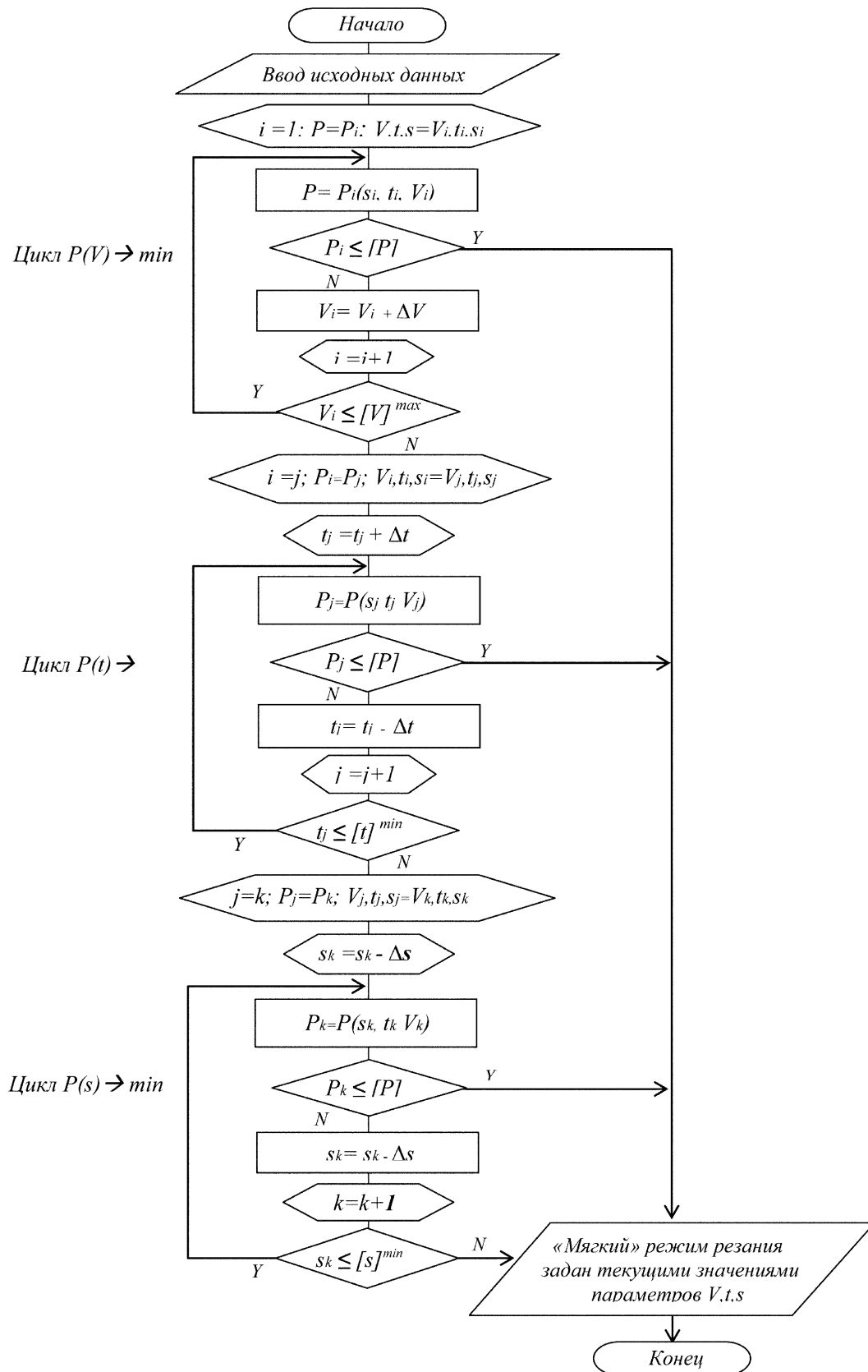


Рисунок 2. Алгоритм определения параметров «мягкого» режима резания

Выводы

- 1) Анализ рассматриваемой в работе проблемы показывает, что практика механической обработки тонкостенных деталей сформировала два метода снижения их технологической деформации: применение специальных станочных приспособлений и использование «мягких» режимов резания. Вторым методом привлекательно тем, что он не требует дополнительных временных и производственных затрат на создание специальной технологической оснастки. Однако, в настоящее время, при глубокой фундаментальной разработке общей теории резания, вопрос целевого управления силой резания за счёт контролируемого варьирования параметрами режима резания остаётся недостаточно формализованным.
- 2) Описанный в работе численный эксперимент показывает, что, при отдельном варьировании технологических параметров режима обработки, сила резания может быть уменьшена на величину до 20-40%. При одновременном варьировании параметров, уменьшение силы резания может достигнуть величины 50% и более.
- 3) Обсуждается возможность определения конкретных значений технологических параметров режима, при которых обеспечивается требуемое уменьшение силы резания. Такая процедура, имеющая понятную логическую схему, описана достаточно простым алгоритмом и поддержана аналитически известными фундаментальными закономерностями теории резания металлов.
- 4) Полученные в работе результаты могут быть использованы при разработке автоматизированных систем проектирования технологических процессов обработки тонкостенных деталей.

ЛИТЕРАТУРА

1. Арбузов Е.В., Жаргалова А.Д., Лазаренко Г.П., Семисалов В.И. / К вопросу о деформации тонкостенных деталей при обработке на станках токарной группы // Наука и образование. МГТУ им. Н.Э. Баумана. Электрон. журн. 2012. №4. Режим доступа: <http://technomag.edu.ru/doc/353914.html> (дата обращения 14.04.2016).
2. Гаврюшин С.С., Жаргалова А.Д., Лазаренко Г.П., Семисалов В.И. Метод определения условий механической обработки тонкостенных деталей // Известия высших учебных заведений. Машиностроение. 2015, №11, с. 53 - 60.
3. Гузеев В.И., Батуев В.А., Сурков И.В. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением. Справочник. - М.: Машиностроение, 2007. - 536 с.
4. Барановский Ю.В. Режимы резания металлов: справочник. - М.: Машиностроение, 1972. - 407 с.
5. Справочник технолога-машиностроителя / В 2-х т. Под ред. А.М. Дальского, А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова, А.Г. Сулова. 5-е изд. Перераб. и доп. - М.: Машиностроение-1, 2001. - 918 с.
6. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. - М.: Высшая школа, 1985. - 304 с.
7. Аршинов В.А., Алексеев Г.А. Резание металлов и режущий инструмент. - М.: Машиностроение, 1967. - 500 с.
8. Евгеньев Г.Б., Гаврюшин С.С., Грошев А.В., Овсянников М.В., Шильников П.С. Основы автоматизации технологических процессов и производств // под ред. Г.Б. Евгеньева. М. - Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2015. - 441 с.
9. Гаврюшин С.С., Барышникова О.О., Борискин О.Ф. Численный анализ элементов конструкций машин и приборов (2-е издание). - М.: Издательство МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2014. - 480 с.
10. Басов К.А. ANSYS в примерах и задачах / Под общ. ред. Д.Г. Красковского. - М.: КомпьютерПресс, 2002. - 224 с.

Zhargalova Ayagma Dashibalbarovna

Bauman Moscow state technical university, Russia, Moscow
E-mail: azhargalova@bmstu.ru

Gavriushin Sergei Sergeevich

Bauman Moscow state technical university, Russia, Moscow
E-mail: gss@bmstu.ru

Lazarenko Grigoriy Pavlovich

Bauman Moscow state technical university, Russia, Moscow
E-mail: gplaz@mail.ru

Semisalov Vitaliy Ivanovich

Bauman Moscow state technical university, Russia, Moscow

About soft modes of cutting for processing thin-walled parts

Abstract. Processing thin-walled parts on machine tools is often accompanied by an unacceptably high deformation of the parts under the action of cutting forces. To prevent deformations usually use a special machine accessories. This leads to additional production costs. The paper discusses the possibility of preventing deformation of parts due to reduction of cutting forces, using the "soft" modes of processing. The dependence of the cutting force of three technological parameters of processing mode - depth of cut, feed and cutting speed. Found that when changing settings it is possible to achieve reduction of the cutting force in two and more times. The methods of calculating the values of the parameters are "soft" regime, in which the cutting force will have the desired value. The developed algorithm of calculation of technological parameters of soft mode. The algorithm can be implemented as on the basis of automated digital technologies, and using simple graphic modeling procedure is based on the nomograms.

Keywords: algorithm; machining; thin-walled parts; deformation; modes of cutting; cutting force; finite element method