

матрицы и таким образом влиять на получение заданного напряженного состояния.

Литература

1. Крутина Е.В. Разработка технологических процессов холодной объемной штамповки осесимметричных деталей комбинированием поперечного выдавливания и высадки. // Дисс.канд.техн.наук. М., 2003.
2. Калпин Ю.Г., Крутина Е.В. Построение диаграммы пластичности методом комбинированного поперечного выдавливания и высадки. Сборник научных трудов «Механика деформируемого твердого тела и обработка металлов давлением». Тула: ТГУ, 2000, с. 150-154.
3. Игнатенко В.Н., Молодов А.В., Крутина Е.В. Кинематика течения металла при комбинированном радиальном и обратном выдавливании в конической матрице. Сборник трудов международной научно-технической конференции. Ассоциации автомобильных инженеров (ААИ) «Автомобиле и тракторостроение в России: приоритеты развития и подготовка кадров», посвященная 145-летию МГТУ «МАМИ», 2010.
4. Петров М.А., Петров П.А., Калпин Ю.Г. Исследование кинематики процесса радиального выдавливания с «бегущим» очагом деформации. Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. М., МГТУ «МАМИ», 2007, с. 164-168.
5. Воронцов А.Л. Анализ напряженного и кинематического состояния сплошной и трубной заготовок при радиальном выдавливании. Вестник машиностроения, 1998, № 3, с. 33-35.
6. Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф., Никитин М.Ю., Типалина А.В. Экспериментальное исследование механических свойств демпфирующего материала. / Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал. М., МГТУ «МАМИ», 2010, № 1, с. 166-170.
7. Шпунькин Н.Ф., Типалин С.А., Гладков В.А., Никитин М.Ю. Исследование обтяжки с растяжением листового материала. // Известия МГТУ «МАМИ». Научный рецензируемый журнал.-М., МГТУ «МАМИ», 2008, № 1, с. 206-212.
8. Ларин С.Н., Соболев Я.А. Двухосное растяжение анизотропной листовой заготовки в режиме кратковременной ползучести. // Известия ТулГУ. Сер. Технические науки. Тула: Изд-во ТулГУ. 2011. Вып. 5. с. 151-160.

Особенности расчета и оптимизации сварной станины для уникальных станков

д.т.н. проф. Максимов Ю.В., к.т.н. Порхунов С.Г., Кузьминский Д.Л.
Университет машиностроения
rkb@mami.ru

Анотация. В настоящее время, когда выпуск металлорежущих станков осуществляется единичными или мелкосерийными партиями, актуальной является проблема перевода базовых деталей станков с литого на сварное исполнение. Однако отсутствие экспериментально проверенной методики, позволяющей производить расчеты и оптимизацию сварных базовых деталей станков в зависимости от условий, поставленных в каждом конкретном случае, сдерживает процесс их повсеместного внедрения в станкостроении.

Ключевые слова: базовые детали станков, сварное исполнение, методы расчета и оптимизации

Научные исследования выполнялись при финансовой поддержке Министерства образования и науки РФ в рамках Государственного контракта № 16.740.11.0439 от 26 ноября 2010г.

Наиболее ярким примером уникального станка со сварной станиной является станок ОКШ-1436, разработанный конструкторским бюро ООО «РКБ-МАМИ» (рисунок 1). Данный станок позволяет обрабатывать детали диаметром до 1436 мм. и массой 7586 кг и состоит из сварных корпусных деталей.

К корпусным деталям относятся все так называемые базовые детали машин: станины,

рамы, блоки цилиндров, корпуса, коробки и др. Все они в основном служат для обеспечения правильного взаимного расположения относительно друг друга остальных деталей машины. Эти детали в большинстве случаев являются наиболее надежными в отношении усталости и износа. Окончание срока их службы обычно совпадает с полным износом всей машины. Поэтому основными критериями работоспособности корпусных деталей машин в связи с их назначением являются прочность, жесткость, устойчивость, виброустойчивость, термопрочность и др. Особенно большое значение сварные конструкции имеют при проектировании уникальных моделей станков. Поэтому основная задача заключается в разработке метода определения показателей статического и динамического качества корпусных деталей с учетом сварных соединений.

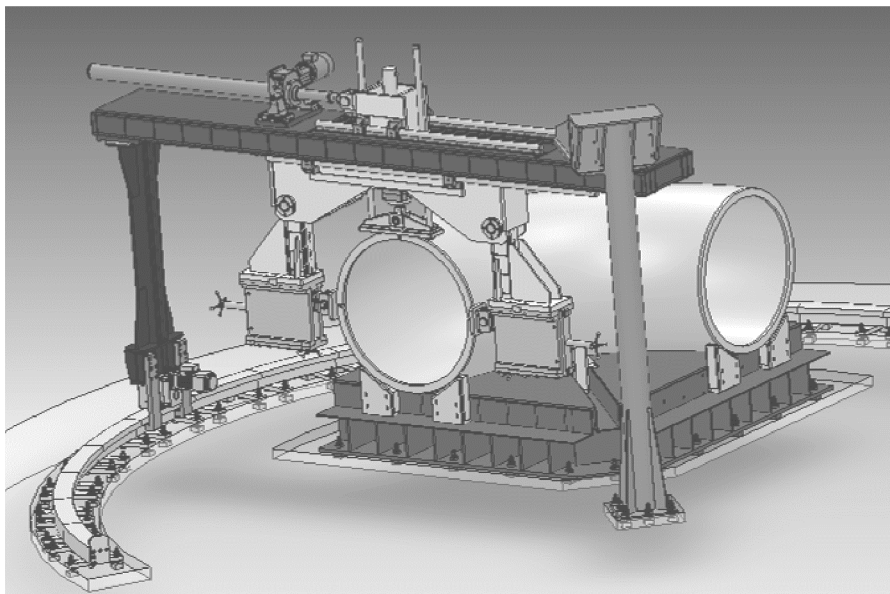


Рисунок 1 – Общий вид станка ОКШ-1436

Для оптимального расчета сварных корпусных деталей за счет применения метода конечных элементов в форме метода суперэлементов для моделирования сварных швов производится разработка специальной подпрограммы для программного комплекса Ansys. Необходимость создания данной программы обусловлена тем, что при создании множества суперэлементов с использованием стандартных процедур программного комплекса Ansys, задание их свойств, выбор конечных элементов, образующих суперэлемент, основных степеней свободы, приложение нагрузок и закреплений к подструктуре. При этом запуск решателя для генерации суперэлемента и процедуры их решения необходимо будет повторять для каждого создаваемого суперэлемента. Основными действиями пользователя при решении суперэлементной задачи стандартными средствами программного комплекса Ansys будут:

- выбор конечных элементов (КЭ) образующих суперэлемент (СЭ);
- выбор узлов с основными степенями свободы.

Допустим, КЭ модель состоит из 500 КЭ, и пользователю необходимо создать 10 суперэлементов. Получается, что, если пользователь будет выбирать КЭ по одному, ему предстоит, как минимум сделать 500 кликов мышкой.

Следовательно, при расчете корпусных деталей, имеющих большое количество сварных швов, а следовательно, и суперэлементов, пользователю, использующему стандартные функции программного комплекса Ansys, придется тратить огромное количество времени на создание суперэлементов, что приводит к неэффективности расчета МКСЭ. Поэтому для обеспечения эффективной работы с суперэлементами необходимо разработать подпрограмму, облегчающую процесс создания суперэлементов в программном комплексе Ansys.

В ходе исследований была разработана программа «Модуль генерации Суперэлементов (MGS 2010)». Разработанная система обладает полностью графическим интерфейсом и обеспечивает следующую последовательность действий: создание общей модели; генерация суперэлемента или нескольких, реализованная полностью в графическом интерфейсе; автома-

тизированное создание суперэлементной модели на основе исходной; решение модели; получение решений для всех использованных суперэлементов «в одно нажатие»; просмотр любых полученных результатов «в одно нажатие».

Система представляет собой набор кнопок на панели инструментов, сгруппированных в функциональные подблоки, общий вид системы представлен на рисунке 2. Всего в системе четыре функциональных блока, которые выполняются пользователем последовательно и предназначены, соответственно, для: инициализации начальных параметров; генерации суперэлементов; использования суперэлементов; получения решения внутри суперэлементов и просмотра результатов.

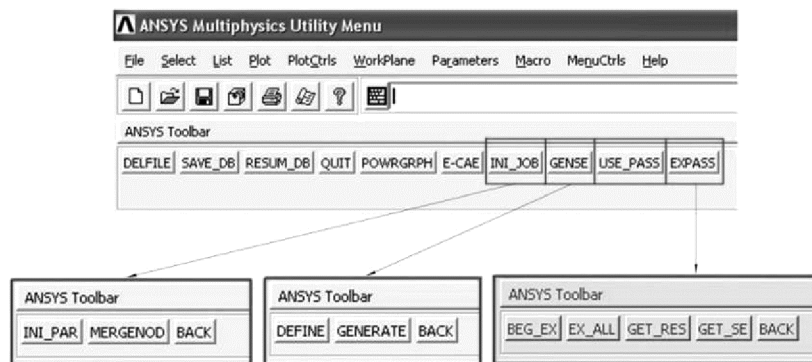


Рисунок 2 – Общий вид MGS 2010

Также существует функциональный блок, позволяющий автоматизированно удалять файлы, созданные в результате работы.

При работе с программой MGS 2010 пользователь выполняет следующие действия:

- а) инициализация параметров. При инициализации параметров пользователь указывает основу имени суперэлементов. Информация, хранящаяся в файле настроек, обнуляется. Также здесь происходит удаление совпадающих узлов и перенумерация;
- б) генерация суперэлементов. На этом этапе происходит создание файлов, содержащих суперэлементы и вектора нагрузок. Этот процесс итерационный – пользователь после создания СЭ перемещается обратно в рабочий проект, и может после этого создавать дополнительные СЭ. Пользователь может создавать любое число СЭ;
- в) использование суперэлементов. На этом этапе пользователю предоставляется возможность выбрать часть модели, состоящую из стандартных КЭ, и приложить к ней нагрузки и закрепления. Все СЭ вставляются в модель автоматически;
- г) получение результатов внутри суперэлементов. Самый трудоемкий этап работы с суперэлементами благодаря программе MGS 2010 происходит автоматически. После получения решения для модели, в которой использованы СЭ, система автоматически производит все действия с ними для получения результатов расчета.

Для более детального рассмотрения работы подпрограммы «Модуль Генерации Суперэлементов (MGS 2010)» был произведен расчет модели типового сварного корпуса коробчатой формы с использованием метода суперэлементов для расчета сварных швов, а также произведен расчет корпуса без учета сварных швов.

Моделирование сварных швов выполнено с использованием подпрограммы «Модуль Генерации Суперэлементов (MGS 2010)».

Результаты моделирования представлены на рисунке 3.

Для подтверждения необходимости учета в расчетной схеме сварных швов был смоделирован корпус, идентичный ранее рассмотренному, но без элементов, моделирующих сварные швы. Для конечно-элементной модели использовалась сетка из тетраэдрических элементов второго типа SOLID 92. Прикладываемые нагрузки и ограничения были аналогичны используемым при расчете корпуса с учетом сварных швов. Результаты моделирования представлены на рисунке 4.

Для подтверждения данных моделирования были произведены экспериментальные исследования типового сварного корпуса коробчатой формы.

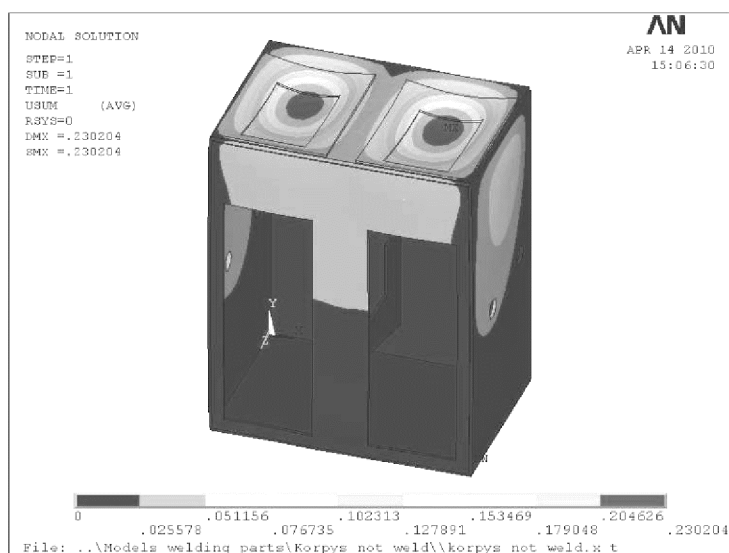


Рисунок 3 – Перемещения, возникающие в сварном корпусе

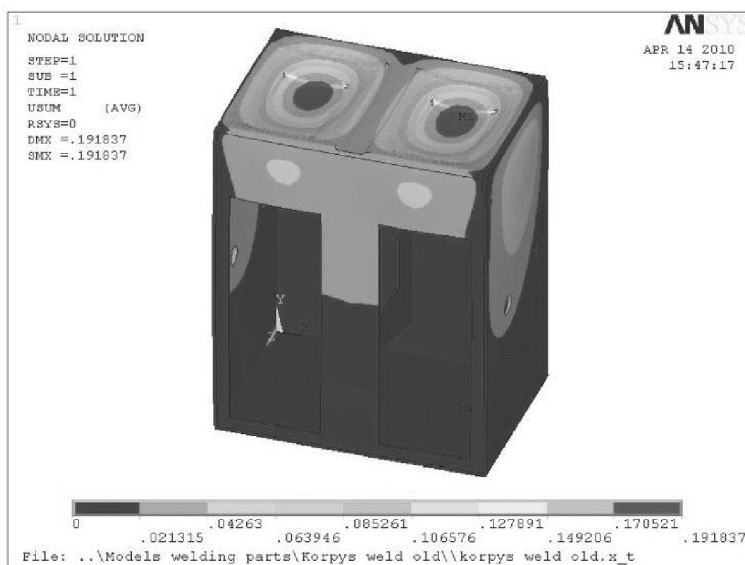


Рисунок 4 – Перемещения, возникающие в корпусе без учета сварных швов

Экспериментальная установка показана на рисунке 5. Она состоит из:

- сварного корпуса;
- радиально-сверлильного станка мод. Cshepel HR-F100
- удлиненных измерительных стоек – 2 шт;
- индикаторов часового типа с ценой деления 0,01 мм ГОСТ6933-72 – 2 шт;
- динамометра сжатия мод. ДОСМ-3-50У;
- специальной технологической оснастки.

Корпус закрепляется на столе станка с помощью трех винтов М24 с одной стороны и двух прихватов с другой, используя Т-образные пазы стола радиально-сверлильного станка.

При измерении перемещений плоскостей Б и Г стойки в сборе закрепить в пазах пола отдельно со стороны каждой плоскости и зажать четырьмя винтами, установленными в пазах. При измерении перемещений плоскостей А и В стойки в сборе установить на станину радиально-сверлильного станка отдельно со стороны каждой плоскости и закрепить с помощью двух винтов, установленных в Т-образных пазах, и двух прихватов. Удлиненные индикаторные стойки закрепить с помощью двух прихватов каждую.

Нагружение производилось с помощью домкрата, состоящего из винта М16, закрученного во втулку, установленную в шпинделе станка. Устройство нагружения изображено на рисунке 6.

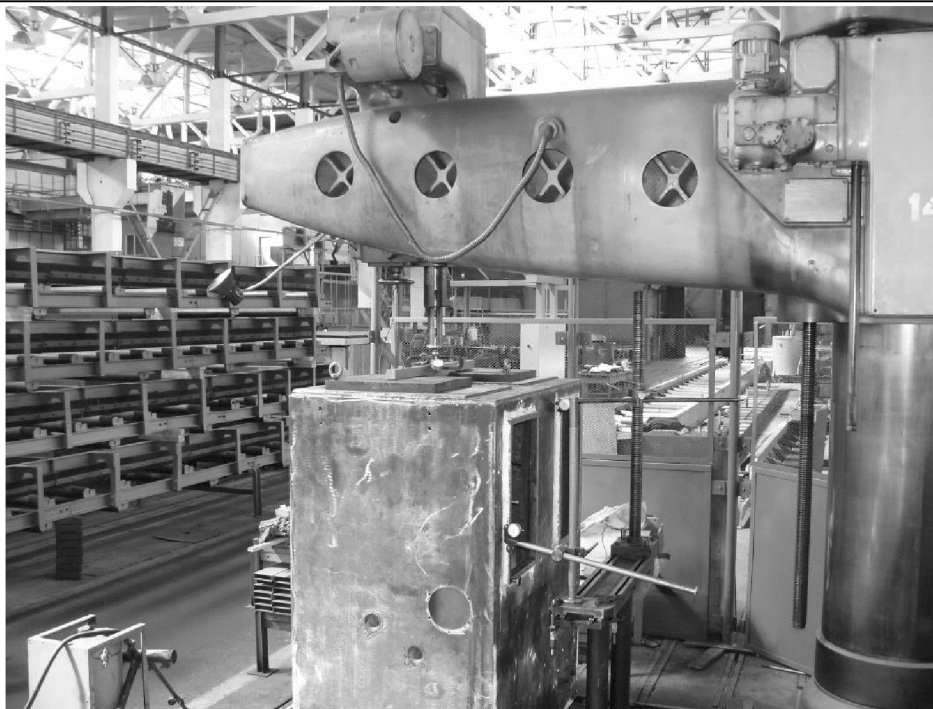


Рисунок 5 – Общий вид экспериментальной установки

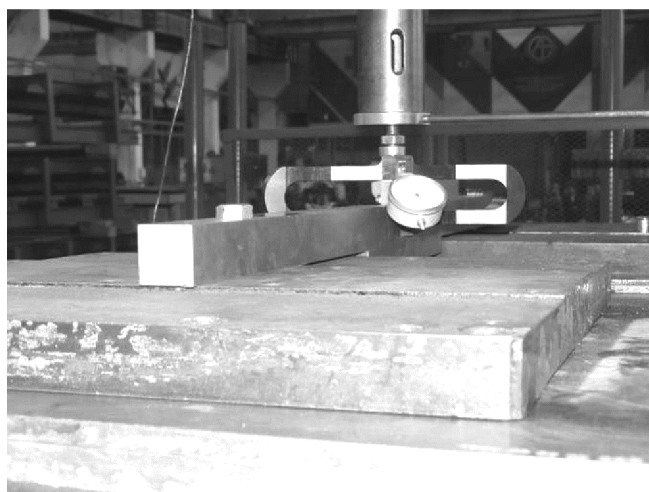


Рисунок 6 – Устройство нагружения

Для сравнения опытных данных с данными моделирования воспользуемся дисперсионным анализом. Для сравнения выберем точки с А1 по А24. При этом результаты моделирования – таблица значений перемещений, возникающих в корпусе под действием нагрузки в 20 кН, рассматривается как выборка из нормально распределенной генеральной совокупности со средними значениями \bar{R}_m^i и дисперсией σ_{Rt}^2 , экспериментальные данные \bar{R}_g^i – как выборка из нормально распределённой генеральной совокупности с $N(\bar{R}_g^i, \sigma_{Rg}^2)$. Данные σ_{Rt}^2 и σ_{Rg}^2 будем считать независимыми от i .

Проверяется нулевая гипотеза H_0 : $\sigma_{Rt}^2 = \sigma_{Rg}^2$ для $i = 1, 2, \dots, 24$, т.е. совпадение средних значений генеральных совокупностей. Чтобы проверить гипотезу H_0 для измерений вычислим разность $A_{ip} = R_m - R_g$. Полученный ряд разностей считается выборкой, для которой определяются статистические характеристики по формулам:

$$A_{cp} = \frac{1}{N} \cdot \sum_{i=1}^N A_i; S^2 = \frac{1}{N-1} \cdot \sum_{i=1}^N (A_i - A_{cp})^2.$$

По расчетам получается $A_{cp} = 0,001208$; $S^2 = 0,000012$. Если сформулированная гипотеза

верна, то ряд значений $i = 1, 2, \dots, 24$ являются выборкой объема N из нормально распределенной генеральной совокупности со средним значением, равным нулю. Поэтому воспользуемся критерием с выборочной функцией:

$$t = \frac{A_{\text{ср}} - 0}{S_A} \cdot \sqrt{N}.$$

Полученная функция имеет распределение Стьюдента с $\nu = N - 1$ степенями свободы. Предельное значение t для критической области $t_{\text{кр}} = 2.0687$ (для $\nu = 23$, уровень значимости 0,95). Расчётное значение критерия Стьюдента $t = 1,69$. Так как $t_{\text{кр}} > t$, то нулевая гипотеза принимается, т.е. средние значения генеральной совокупности попарно совпадают, и, следовательно, результаты теоретических и экспериментальных исследований практически не отличаются друг от друга.

Для сравнения перемещений, возникающих под действием нагрузки в 20 кН в типовой сварной корпусной детали коробчатой формы, применяемой в уникальных станках при моделировании без учета сварных швов с экспериментальными данными, был использован дисперсионный анализ, из результатов которого следует, что $A_{\text{ср}} = 0,003625$; $S^2 = 0,0000061$, а расчётное значение критерия Стьюдента $t = 4,183$. Предельное значение критерия Стьюдента для критической области $t_{\text{кр}} = 2,0687$ (для $\nu = 23$, уровень значимости 0,95). Так как $t_{\text{кр}} < t$, то нулевая гипотеза не принимается, т.е. средние значения генеральной совокупности попарно не совпадают, и, следовательно, результаты моделирования типовой сварной корпусной детали без учета сварных швов и экспериментальных исследований отличаются друг от друга.

Для сравнения перемещений, возникающих под действием нагрузки в 20 кН в типовой сварной корпусной детали коробчатой формы, применяемой в уникальных станках, полученных при моделировании в разработанной программе «Модуль генерации Суперэлементов (MGS 2010)» с экспериментальными данными, был использован дисперсионный анализ, из результатов которого следует, что $A_{\text{ср}} = 0,001208$; $S^2 = 0,000012$. Предельное значение критерия Стьюдента для критической области $t_{\text{кр}} = 2.0687$ (для $\nu = 23$, уровень значимости 0,95). Расчётное значение критерия Стьюдента $t = 1,69$. Так как $t_{\text{кр}} > t$, то нулевая гипотеза принимается, т.е. средние значения генеральной совокупности попарно совпадают, и, следовательно, результаты теоретических и экспериментальных исследований по перемещению типовой сварной корпусной детали коробчатой формы, применяемой в уникальных станках, практически не отличаются друг от друга.

Выводы

1. Разработана подпрограмма «Модуль генерации суперэлементов (MGS 2010)» для системы конечноэлементного анализа ANSYS, которая за счет использования метода конечных элементов в форме метода суперэлементов позволяет существенно упростить учет в расчетной схеме сварных швов и увеличить скорость расчета в среднем в 2 – 3 раза в зависимости от количества сварных швов.
2. Выполнен расчет типовой сварной корпусной детали коробчатой формы, применяемой в уникальных станках с применением разработанной методики моделирования сварных швов с использованием метода конечных элементов в форме метода суперэлементов, а также без учета сварных швов стандартными средствами программного комплекса ANSYS.
3. Данные моделирования перемещений, сварной корпусной детали станка, полученные с использованием метода суперэлементов для моделирования сварных швов, совпадают с экспериментальными данными.
4. Данные моделирования перемещений в сварной корпусной детали станка с учетом и без учета сварных швов отличаются друг от друга.

Литература

1. Басов К.А. ANSYS справочник пользователя. - М.: ДМК пресс, 2005. 640с.
2. Михайлов В.А., Кузьминский Д.Л. Проектирование и моделирование многоскоростного зубчатого привода станков. // Известия МГТУ «МАМИ», 2008

3. Винокуров В.А., Куркин С.А., Николаев Г.А. Сварные конструкции. Механика разрушения и критерии работоспособности. М.: Машиностроение, 1996. 576 с.
4. Михайлов В.А., Порхунов С.Г. К вопросу об особенностях проектирования и моделирования сварных конструкций корпусных деталей станков. // Известия МГТУ «МАМИ». М., МГТУ «МАМИ», № 1 (9), 2010, с. 126-132.
5. Образцов И.Ф., Савельев Л.М., Хазанов Х.С. Метод конечных элементов в задачах строительной механики летательных аппаратов. М.: Высшая школа, 1985. 392 с.
6. Порхунов С.Г., Михайлов В.А. Модуль Генерации Суперэлементов (MGS 2010) Свидетельство о государственной регистрации программы для ЭВМ № 2010617856, от 30.11.2010г.
7. Анкин А.В., Кузьминский Д.Л. Разработка программного обеспечения для расчета пространственной размерной цепи. // Известия МГТУ «МАМИ», 2011.
8. Чигарев А.В., Кравчук А.С., Смалюк А.Ф. ANSYS для инженеров: Справочное пособие. М.: Машиностроение-1, 2004. 512 с.
9. Kohnke P. ANSYS Theory Reference, Eleventh Edition. ANSYS, Inc., 1999.

Теоретические исследования зависимости геометрических параметров области контакта инструмента и заготовки от способа установки инструмента при обработке выглаживанием

д.т.н. проф. Кузнецов В.А., к.т.н. доц. Васильев В.А., Беженарь Э.Н., Заболотная И.В.,
Сазонов Д.А., Смирнов А.В.
Университет машиностроения.
8 (495) 223-05-23, доб. 1219, 1214, vak@mami.ru

Аннотация. В статье описаны теоретические исследования зависимостей геометрических параметров области контакта инструмента и обрабатываемой заготовки от способа установки инструмента при обработке выглаживанием. В качестве инструмента рассматривались токарные пластины стандартной геометрии (SNMG). Моделирование контактного взаимодействия выполнялось в программной среде КОМПАС 3Д. Представлены и проанализированы полученные в результате теоретических исследований зависимости.

Ключевые слова: обработка выглаживанием, область контакта, моделирование, геометрические параметры.

Статические характеристики процесса обработки выглаживанием, а именно углы установки многогранных неперетачиваемых пластин (МНП) и заданный технологический натяг оказывают значительное влияние на геометрические и физико-механические параметры качества поверхности обработанных выглаживанием деталей. Влияние это выражается в зависимости динамических характеристик процесса обработки (силы, давления, трения) от способа установки МНП.

Способ установки МНП определяет геометрические параметры области контакта инструмента и детали. Важность таких геометрических параметров контактной области, как площадь, длина и ширина была обоснована в работах многих исследователей метода обработки выглаживанием. В частности, В.А. Кузнецовым и Э.И. Зубковым были установлены определенные закономерности влияния способа установки МНП на площадь и конфигурацию контактной области и проведены экспериментальные исследования зависимостей качества обработанных выглаживанием деталей от рассматриваемых статических характеристик.

Детальное описание метода отделочной и упрочняющей обработки деталей выглаживанием с применением в качестве инструмента МНП приведено в публикациях, указанных в списке литературных источников к данной статье [2, 3].

Методика моделирования контактного взаимодействия инструмента с заготовкой в среде трехмерного твердотельного моделирования КОМПАС 3Д уже была подробно описана в