

УДК 621.9.02

ВЛИЯНИЕ СПОСОБА ОБРАБОТКИ НА СТАТИЧЕСКУЮ ТОЧНОСТЬ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ ОСЕСИММЕТРИЧНОЙ ДЕТАЛИ

М. И. МИХАЙЛОВ, Е. А. КИРПИЧЕВ

Учреждение образования «Гомельский государственный
технический университет имени П. О. Сухого»,
Республика Беларусь

Ключевые слова: способ обработки, статическая точность, осесимметричные детали, фрезерование.

Введение

При обработке детали инструмент может перемещаться или в одной плоскости – плоская обработка, при которой используются две управляемые координаты, или иметь сложное перемещение в пространстве – объемная обработка. Однако чаще всего объемные поверхности деталей обрабатываются строчками, каждая из которых является плоской кривой [1]–[8].

При обработке сложных поверхностей на фрезерных станках с ЧПУ применяются два основных метода формирования траектории фрезы: зигзагообразный и спиралевидный (рис. 1).

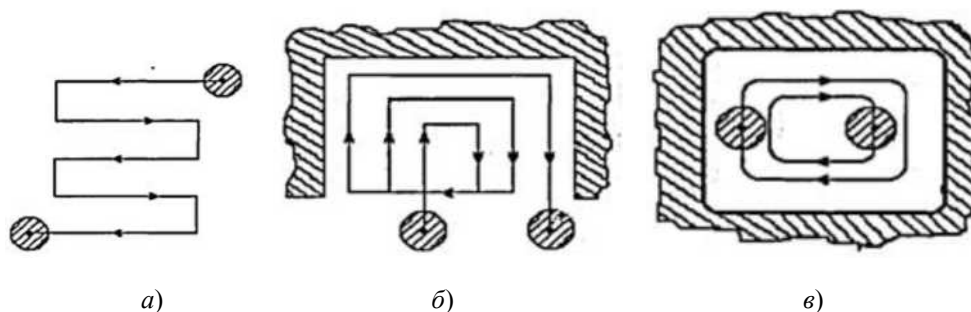


Рис. 1. Схемы обработки: а – открытых поверхностей по схеме «Зигзаг»;
б – полуоткрытых поверхностей по схеме «Ленточная спираль»;
в – закрытой поверхности

Зигзагообразный метод характеризуется тем, что инструмент в процессе обработки совершает движения в противоположных направлениях вдоль границы области. Основным недостатком данного метода заключается в переменном характере фрезерования: если вдоль одной строки инструмент работает в направлении подачи, то вдоль следующей строки он будет работать в направлении, противоположном подаче. Это приводит к изменениям сил резания и отрицательно сказывается на точности и качестве поверхности. Другим недостатком зигзагообразной схемы является повышенное число изломов на траектории инструмента. Это также отрицательно сказывается на динамике резания и приводит во многих случаях к увеличению времени обработки в связи с необходимостью выполнения операций по разгону-торможению, которые обуславливаются динамикой приводов подачи станка с программным управлением.

Спиралевидный метод отличается от зигзагообразного тем, что обработка ведется круговыми движениями инструмента, совершаемыми вдоль внешней границы об-

ласти на разном расстоянии от нее. Спиралевидная схема выгодно отличается от зигзагообразной более плавным характером обработки. Она обеспечивает неизменное направление фрезерования (по или против подачи) и не дает дополнительных (кроме имеющихся на контуре) изломов траектории.

Характерным примером применения обоих методов являются различные способы фрезерования отверстий.

В настоящее время применяются четыре способа фрезерования отверстий [1].

При первом способе фрезерования отверстия фреза вводится в центр отлитого или предварительно просверленного отверстия с ускоренной подачей. После включения вращения шпинделя фрезу с рабочей подачей перемещают по оси, перпендикулярной направлению движения. При этом осуществляется два вида подхода фрезы к точке, лежащей на круговой эквидистанте. В первом случае фрезу сразу же подводят к точке, после чего осуществляют фрезерование с использованием круговой интерполяции в плоскости. Но в этом случае при быстрой смене направления фрезерования происходит изменение жесткости технологической системы, в результате чего образуется зарез на поверхности отверстия. Чтобы избежать этого, участок подхода фрезы разбивается на два участка, и на втором участке снижают рабочую подачу. Кроме этого может быть принят такой случай, когда после касания фрезой окружности производится останов движения подачи и после некоторого промежутка времени возобновляется обработка по дуге окружности.

Если производится обработка большого предварительно полученного отверстия, то фрезу следует подводить не в центр отверстия, а к его краю, что дает возможность уменьшить время подхода к обрабатываемой поверхности.

Отличие второго способа от первого заключается в том, что фреза не прямо подходит к поверхности обрабатываемого отверстия, а по определенному радиусу, что уменьшает влияние изменения действия сил технологической системы.

Третий способ фрезерования отверстий может быть двух видов: двух- и четырехполюсные спирали [2]. Спирали удовлетворяют условию непрерывности первой производной. Двухполюсная спираль образуется из сопряжения дуг полуокружностей, центры которых поочередно находятся на двух полюсах. Расстояние между полюсами равно шагу спирали. Один из полюсов располагается в центре обрабатываемого отверстия.

Четырехполюсная спираль образуется из сопряженных четвертей с центром в полюсах, которые располагаются в вершинах квадрата со стороной, равной четверти шага спирали. Квадрат строят так, чтобы одна из его вершин совпала с центром обрабатываемого отверстия, а стороны квадрата были параллельны осям окружностей. Четырехполюсная спираль удобна для программирования, поскольку каждая из образующих дуг окружностей расположена в пределах одного квадрата.

Четвертый способ фрезерования отверстий основан на применении трехкоординатной винтовой интерполяции, при которой круговую интерполяцию в плоскости совмещают с одновременной интерполяцией по третьей координате.

Выбор способа обработки в основном зависит от полученной статической погрешности.

Цель исследования – повышение точности обработки при фрезеровании концевыми фрезами осесимметричных деталей.

Методика исследования статической точности. Расчет производился в системе КОМПАС-3D.

Анализ напряженно-деформированного состояния деталей и сборок производился в системе *APM FEM*. Работа по подготовке моделей к расчету, выполнение расчетов и визуализация результатов производилась непосредственно в пакете программ КОМПАС-3D (рис. 2).

Расчеты производились при обработке осесимметричной детали, что позволило использовать участок, на котором проходит обработка (рис. 2). Кроме этого в расчетной модели учитывались нагрузки и условия закрепления заготовки в приспособлении [9], [10].

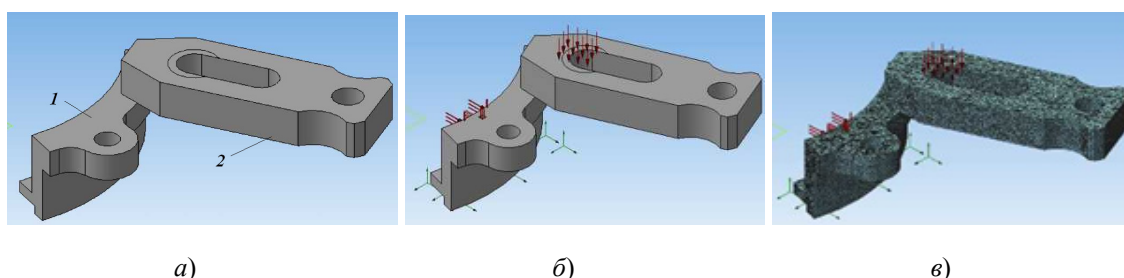


Рис. 2. 3D модель расчетной схемы (а), распределение нагрузок (б) и сетка конечных элементов (в):
 1 – заготовка; 2 – крепежный прижим

Исследования выполнялись для двух способов обработки. Рассматривался вариант, при котором обработка происходит за один проход. Зубья фрезы при этом расположены равномерно с углом, равным 60° . В зоне резания одновременно в контакте с обрабатываемой поверхностью будут находиться три зуба фрезы. Обработка по второму способу происходит в два прохода фрезой с несимметричным расположением зубьев.

Основная часть

Действие фрезы на заготовку имитировали удельной переменной нагрузкой. Эту нагрузку прикладывали на трех участках, а также прикладывалась распределенная нагрузка на прижим, которая имитировала действие зажимного винта. Кроме этого в расчетной модели задавались граничные условия и контактирующие поверхности. Результаты расчетов представлены на рис. 3–5.

На рис. 3, а приведена картина распределения перемещений в направлении оси X.

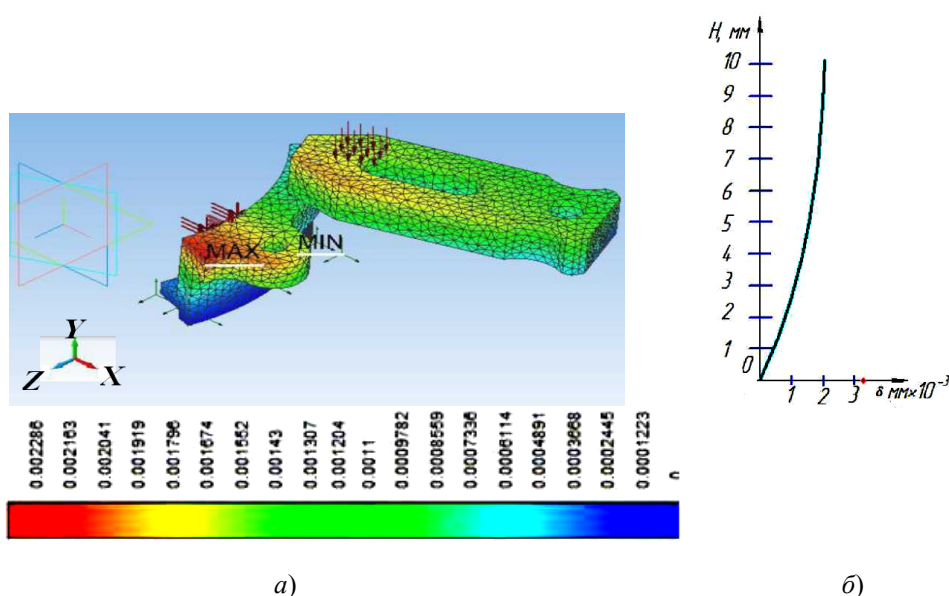


Рис. 3. Картина перемещений в направлении оси X (а) и график перемещений (б)

Максимальные перемещения по оси X составили $\delta_x = 0,002403$ мм. Характер распределения перемещений обусловлен общими деформациями детали и приспособления, а также их взаимными перемещениями.

Картина распределения перемещений в направлении оси Y приведена на рис. 4.

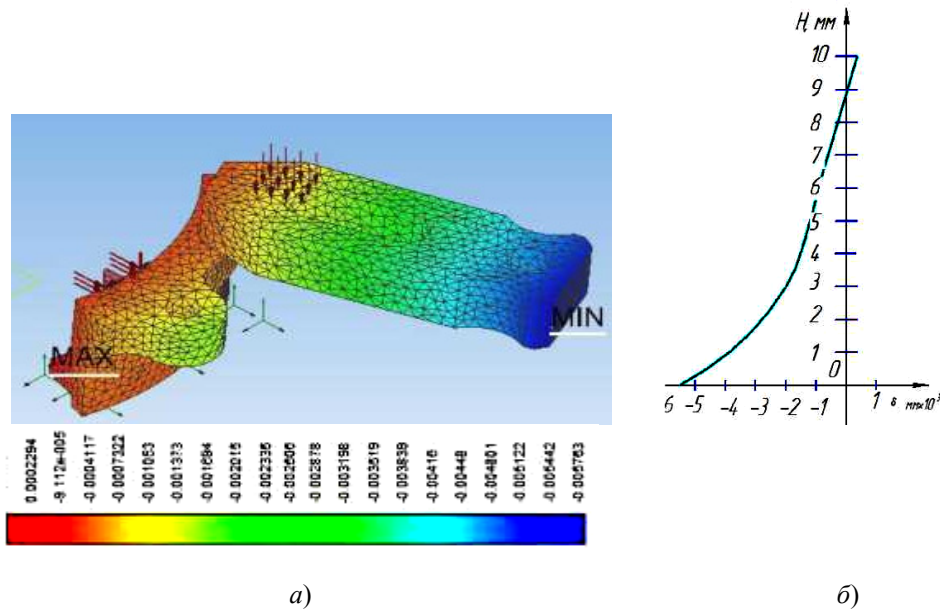


Рис. 4. Картина перемещений в направлении оси Y (а) и график перемещений (б)

Максимальные перемещения по оси Y составили $\delta_y = -0,005763$ мм. Как видно из рис. 4, заготовка получила плоское движение. При этом верхняя граница перекошена, что привело к перемещению вниз остальной ее части.

Картина распределения перемещений в направлении оси Z приведена на рис. 5.

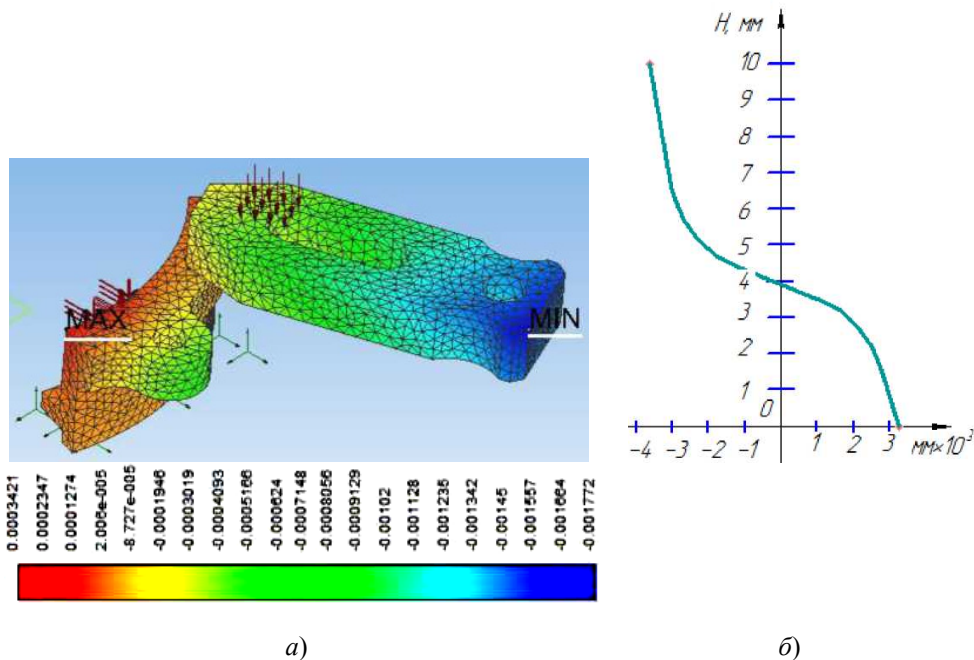


Рис. 5. Картина перемещений в направлении оси Z (а) и график перемещений (б)

Максимальные перемещения по оси Z составили $\delta_z = -0,000342$ мм. Полученные перемещения обусловлены перекосом заготовки, который привел к перемещению нижней грани в направлении действия сил резаний, а верхнюю грань – в обратном направлении.

Результаты расчетов при обработке с несимметричным расположением зубьев фрезы представлены на рис. 6–8.

На рис. 6 приведена картина распределения перемещений в направлении оси X .

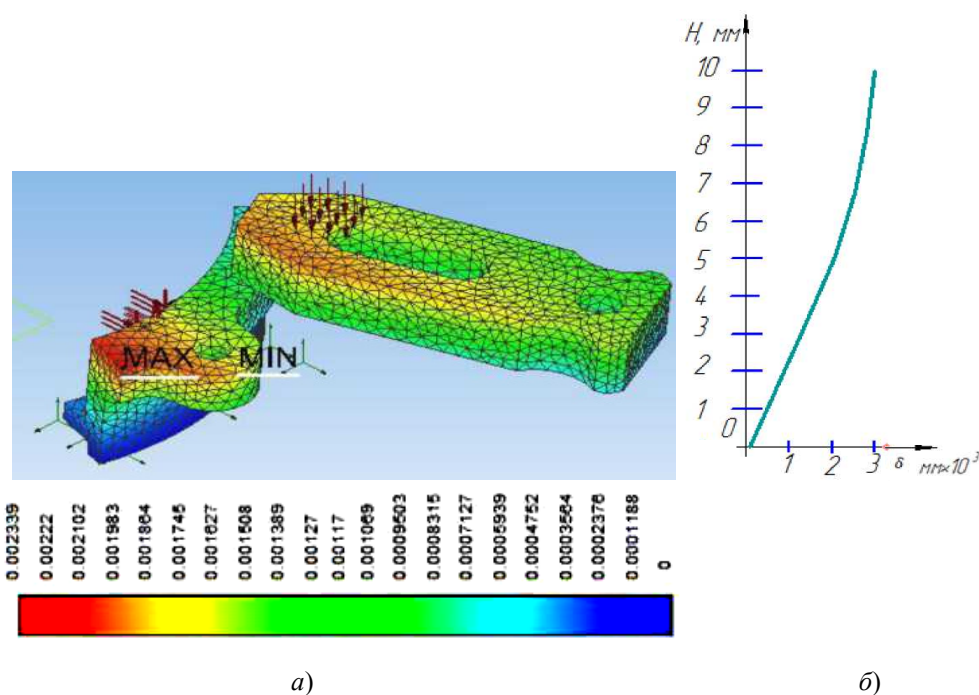


Рис. 6. Картина перемещений в направлении оси X (а) и график перемещений (б)

Максимальные перемещения по оси X составили 0,002339 мм. Сравнив перемещения по оси X при обработке с симметричным расположением зубьев и с несимметричным расположением зубьев фрезы, получили, что перемещение в 1,02 раза меньше при обработке с несимметричным расположением зубьев.

Результаты расчетов перемещений в направлении Y приведены на рис. 7.

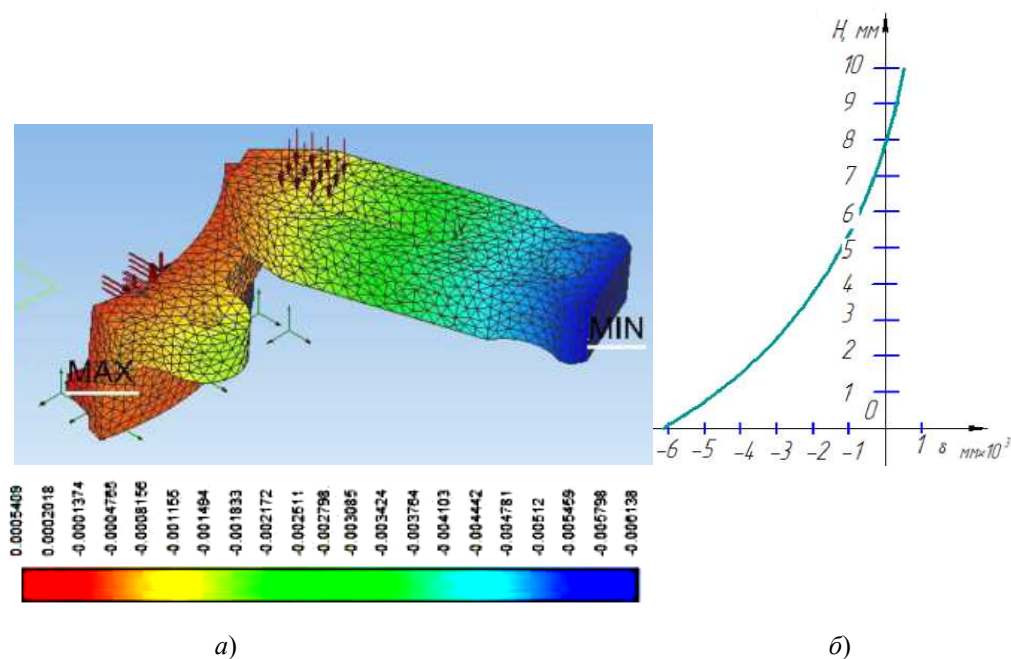


Рис. 7. Картина перемещений в направлении оси Y (а) и график перемещений (б)

Максимальные перемещения по оси Y составили $\delta_y = -0,006138$ мм. По оси Y перемещения с симметричным расположением зубьев в 1,06 раза меньше перемещения с несимметричным расположением. Полученные перемещения обусловлены деформацией и пространственным расположением обрабатываемой детали.

Результаты расчетов перемещений в направлении Z приведены на рис. 8.

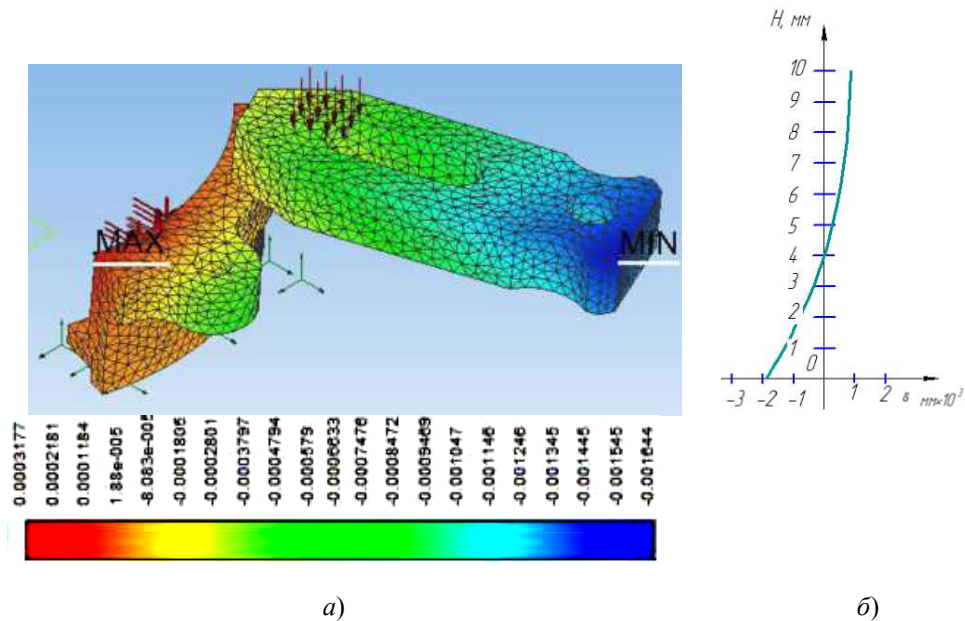


Рис. 8. Картина перемещений в направлении оси Z (а) и график перемещений (б)

Максимальные перемещения по оси Z составили $\delta_z = -0,001644$ мм. По оси Z перемещения с несимметричным расположением зубьев в 1,03 раза меньше перемещения с симметричным расположением зубьев. Полученные перемещения обусловлены переменной толщиной срезаемого слоя.

Во время обработки по второму способу в зоне резания одновременно участвует два зуба.

Результаты расчетов перемещений в направлении X приведены на рис. 9.

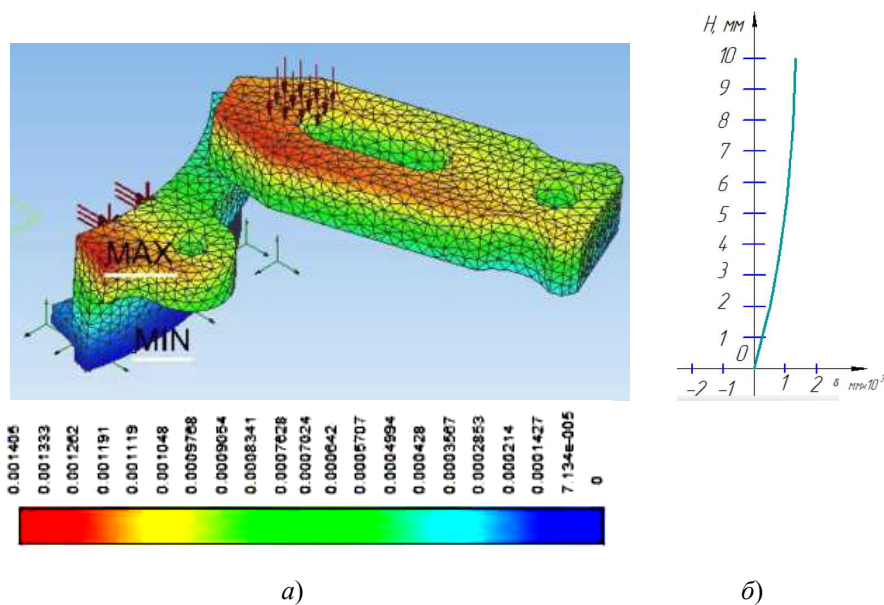


Рис. 9. Картина перемещений в направлении оси X (а) и график перемещений (б)

Максимальные перемещения по оси X составили $\delta_x = 0,001405$ мм. Сравнив перемещения при обработке с симметричным расположением зубьев и с несимметричным расположением зубьев фрезы по оси X , получили, что перемещения в 1,7 раза меньше при обработке с несимметричным расположением зубьев.

Результаты расчетов перемещений в направлении Y приведены на рис. 10.

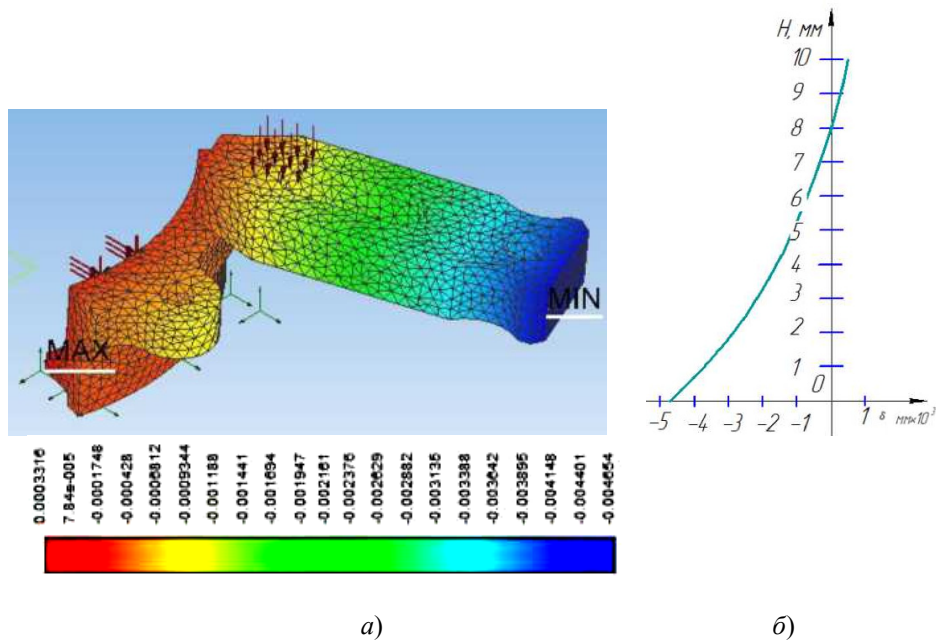


Рис. 10. Картина перемещений в направлении оси Y (а) и график перемещений (б)

Максимальные перемещения по оси Y составили $\delta_y = -0,004654$ мм. По оси Y перемещения с симметричным расположением зубьев составили в 1,3 раза меньше перемещений с несимметричным расположением.

Результаты расчетов перемещений в направлении оси Z приведены на рис. 11.

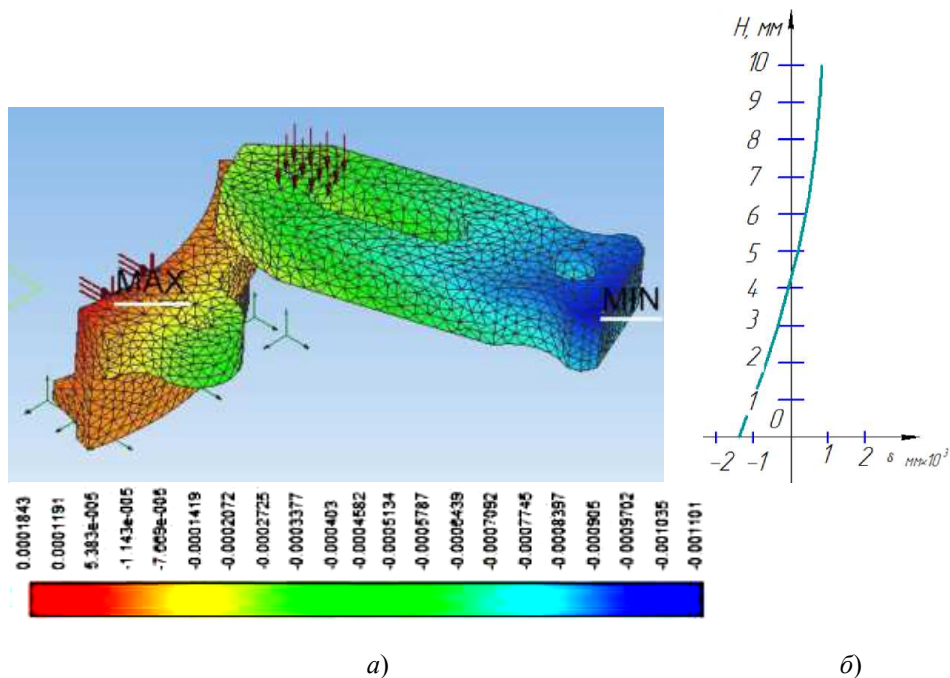


Рис. 11. Картина перемещений в направлении оси Z (а) и график перемещений (б)

Максимальные перемещения по оси Z составили $\delta_z = -0,0011$ мм.

По оси Z перемещения с несимметричным расположением зубьев в 1,4 раза меньше перемещений с симметричным расположением зубьев.

Заключение

Проведенные исследования позволили установить, что эквивалентные перемещения заготовки в 1,3 раза меньше при обработке с несимметричным расположением зубьев концевой фрезы. По оси Y перемещения с симметричным расположением зубьев в 1,1 раза меньше перемещений с несимметричным расположением. По оси Z перемещения с несимметричным расположением зубьев в 1,3 раза меньше перемещений с симметричным расположением зубьев.

Используя нагрузки, соответствующие современным режимам резания, получены распределения эквивалентных напряжений и перемещений, численные значения которых позволяют оптимизировать режимы обработки и конструкции инструментов.

Литература

1. Калинин, В. В. Автоматизированное проектирование маршрутной технологии механической обработки / В. В. Калинин // Вестн. машиностроения. – 1984. – № 10. – С. 57–59.
2. Перепелица, В. А. Отображение аффинного пространства в теории формообразования поверхностей резанием / В. А. Перепелица. – Харьков : Выща шк., 1981. – 412 с.
3. Радзевич, С. П. Условия формообразования поверхностей резанием в обобщенной аналитической форме. Сообщение 2 / С. П. Радзевич // Пути повышения эффективности процессов резания материалов. – Волгоград, 1989. – С. 56–73.
4. Пиль, Э. А. Технологическое обеспечение САПР ТП и УП на корпусные детали / Э. А. Пиль. – СПб. : МТМО, 1993. – 196 с.
5. Михайлов, М. И. Моделирование точности сборного механизированного инструмента / М. И. Михайлов // Современные проблемы машиноведения : тез. докл. Междунар. науч.-техн. конф. – Гомель, 2006. – С. 88–89.
6. Кохан, Д. Проектирование технологических процессов и переработка информации / Д. Кохан. – М. : Машиностроение, 1981. – 213 с.
7. Осипов, В. А. Об одном подходе к проектированию технологии мехобработки с применением ЭВМ / В. А. Осипов, А. В. Гришкевич, В. П. Петренко. – Ярославль : МАИ, 1985. – 25 с.
8. Михайлов, М. И. Сборный металлорежущий механизированный инструмент: Ресурсосберегающие модели и конструкции / М. И. Михайлов ; под ред. Ю. М. Плещачевского. – Гомель : ГГТУ им. П. О. Сухого, 2008. – 339 с.
9. Малыгин, В. И. Модель напряженно-деформированного состояния режущего элемента сборного инструмента / В. И. Малыгин, Н. В. Лобанов // Вестн. машиностроения. – 2000. – № 2. – С. 22–26.
10. Гречишников, В. А. Исследование деформированного состояния сборного режущего элемента методом конечных элементов / В. А. Гречишников, С. В. Лукина, А. И. Веселов // Конструкторско-технологическая информатика 2000 : материалы IV Междунар. конгр., Москва, 2000 г. / МГТУ. – М., 2000. – Т. 1. – С. 158–160.

Получено 05.03.2020 г.