

УДК 658.512.011.56

Ю. А. Еремина, магистрант, Ижевский государственный технический университет

А. В. Щенятский, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет

ПРЕДПОСЫЛКИ К СОЗДАНИЮ МЕТОДИКИ ОБЕСПЕЧЕНИЯ ТОЧНОСТИ ОБРАБОТКИ МАЛОЖЕСТКИХ ДЕТАЛЕЙ (МЖД) НА ОСНОВЕ РЕЗУЛЬТАТОВ ЧИСЛЕННОГО МОДЕЛИРОВАНИЯ

Приведен обзор методов и способов металлообработки по обеспечению точности обработки мало жестких деталей. Составлена классификация МЖД по их геометрии. Рассмотрены факторы, влияющие на обеспечение точности МЖД. На основе анализа сделан вывод, что дальнейшие исследования следует проводить в направлении создания динамической системы. Корректировку управляющей программы станка с ЧПУ надлежит осуществлять на основе результатов численного моделирования процесса обработки и деформации детали.

Ключевые слова: точность, мало жесткая (не жесткая) деталь, управляющая программа станка с ЧПУ, динамическая система, металлообработка, корректировка управляющей программы, численное моделирование.

В машиностроении получили широкое распространение материалы с высокими прочностными и специальными свойствами. В связи с этим наметилась тенденция к снижению металлоемкости и массы машин, и как следствие – образование большого числа мало жестких деталей (МЖД) с различными геометрическими параметрами.

Следует отметить, что производство МЖД и оптимизация их изготовления требует повышения надежности и точности оборудования. МЖД используются в областях ответственного назначения: оборонная, автотранспортная, горнорудная отрасли, отрасли ракетостроения, станкостроения, авиации, сельскохозяйственной техники.

Конструкции деталей характеризуются тем, что все или большинство поверхностей являются рабочими и как правило связаны с высокими требованиями к отклонению от плоскостности, параллельности, округлости, цилиндричности, перпендикулярности (взаимному расположению поверхностей), шероховатости, волнистости (качеству поверхностей) и т. д.

Особенности конструкций ряда МЖД (различные геометрические формы сечений, тонкостенность несущих конструкций, широкий диапазон размеров длин и поперечных сечений, большое количество точно заданных посадочных и сопрягаемых элементов, малые значения моментов инерции и жесткости), способы их крепления, режимы и виды их обработки необходимо принимать во внимание при составлении и корректировке управляющей программы станка с ЧПУ.

Для обеспечения малой деформации при закреплении и обработке, получения более высокой точности и назначения высокопроизводительных режимов резания применяют различные конструктивные способы повышения жесткости детали, основанные на изменении схем установки [1], введении дополнительных опор [2] и т. д.

В настоящее время принято относить к МЖД детали, которые деформируются под действием собст-

венной силы тяжести до такой степени, что выходит за пределы допусков размеров и (или) формы и расположения. К деталям такого типа относят как детали из жестких материалов (например, тонкие металлические детали – титан, бронза, стали), так и детали из гибких материалов (таких как резина, пластики и т. д.) [3].

Классификация МЖД по геометрическим особенностям представлена на рис. 1.

Требуемая точность МЖД может быть обеспечена в том случае, когда заготовка соответствует предъявляемым требованиям по геометрии, шероховатости, остаточным напряжениям.

Следует отличать упругие свойства мало жестких заготовок и мало жестких деталей. В первом случае речь идет о заготовке как подсистемы технологической системы, а во втором – об эксплуатационных свойствах детали (ее работоспособность, надежность, долговечность).

После предыдущих технологических операций, таких как литье, штамповка, разделительное резание, прокат, сварки, клепка, заготовки поступают на последующие операции обработки с возникшими посредством воздействия обрабатывающей силы внутренними остаточными напряжениями в металле [4]. Остаточные деформации возникают в результате нарушения равновесия напряженного состояния в ходе технологического процесса и составляют основную долю суммарной погрешности обработки. Суммарные остаточные напряжения приводят к остаточным деформациям, а впоследствии – к большому проценту брака. Борьбе с остаточными напряжениями и деформациями уделяется особое внимание [5].

Кроме того, точность изготовления детали уменьшается вследствие накопления погрешностей на разных технологических операциях. Их также необходимо учитывать при составлении управляющей программы станка с ЧПУ для осуществления последующих операций.

Нередко мало жесткие заготовки перед последующей обработкой проходят термомеханические [6] опе-

рации. Также некоторые маложесткие заготовки поступают на следующую технологическую операцию с покрытием. Решение задачи о влиянии операции

термообработки и нанесения покрытий по макропогрешности детали требуют отдельного рассмотрения.



Рис. 1. Классификация МЖД

Маложесткие заготовки подвергают следующим операциям для получения необходимой точной геометрии, качества поверхности, соотношения плоскостей, обеспечения функциональных характеристик:

1. Токарная обработка.
2. Нарезание пазов (на координатно-фрезерном станке).
3. Шлифование, притирка (на кругло-шлифовальном станке).
4. Лезвийная обработка.
5. Операции доводки.
6. Обработка многолезвцовыми головками.

Малая жесткость деталей создает серьезные технологические трудности при их изготовлении. Обработка резанием осложняется низкой виброустойчивостью технологической системы «станок – приспособление – инструмент – деталь» (СПИД) [7, 8]. Вибрации оказывают значительное влияние на условия обработки детали и зависят от жесткости системы СПИД, т. е. от способности системы препятствовать перемещению ее элементов под действием изменяющихся нагрузок. Жесткость системы СПИД является одним из основных критериев работоспособности и точности станка под нагрузкой. Наличие динамической обратной связи позволяет снизить влияние технологических режимов жесткости СПИД-системы на точность изготовления МЖД.

Геометрия некоторых обрабатываемых деталей, например оболочки сложной формы, имеющей собственную резонансную частоту, накладывает определенные требования на параметры технологического процесса. Изменение силы резания обуславливает

соответствующее изменение деформаций системы СПИД, нагрузки на механизмы станка и условий работы электропривода, что позволяет контролировать колебания заготовки и инструмента.

Для получения высокоточных МЖД необходимо знать не только точную геометрию получаемого изделия, но и ее математическую модель, позволяющую найти упругие деформации детали во время всего процесса обработки и учесть эти данные в управляющей программе. Таким образом, можно сформулировать требования к оборудованию, применяемому для обработки конкретного вида маложестких заготовок. Методы учета и возможности устранения деформаций во многом зависят от типа и класса станка. Так, универсальные станки предполагают использование дополнительных приспособлений. Автоматические станки позволяют осуществить многопроходность обработки. Станки с ЧПУ реализуют обратную связь и позволяют автоматически изменять рабочую программу в соответствии с полученными данными. Однако обеспечить точность изготовления МЖД только за счет ресурсов станка не всегда представляется возможным.

Анализ современного состояния методов и способов обработки МЖД показал, что в качестве основных факторов, влияющих на точность обработки, выступают:

1. Геометрия детали.
2. Собственная жесткость детали.
3. Внутренние напряжения поверхностного материала с предыдущей операции.
4. Материал детали и инструмента.

5. Контакт с резцом.
6. Сила резания.
7. Малая жесткость системы СПИД.
8. Возможности станка.
9. Способ дальнейшей обработки.

Существует множество способов достижения точности обработки МЖД. Приведем их классификацию по видам устранения влияния воздействующих факторов (рис. 2).

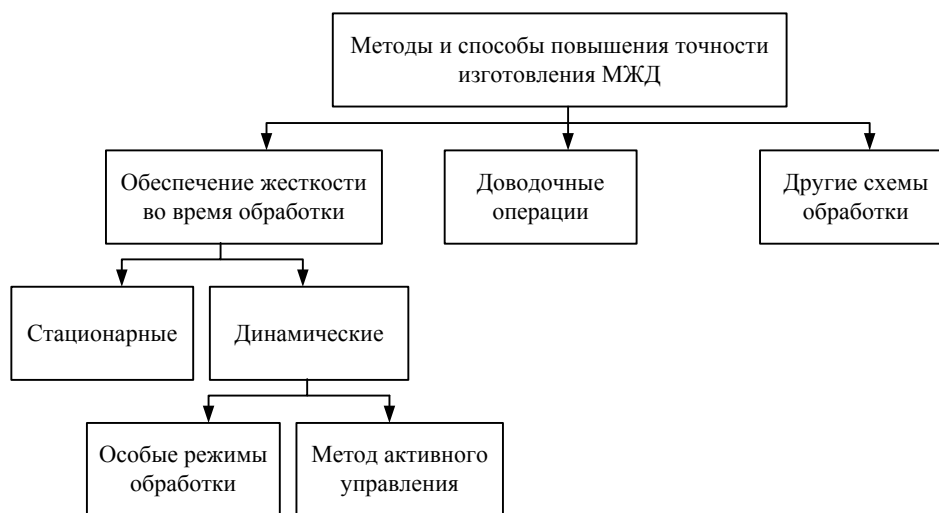


Рис. 2. Классификация методов и способов обеспечения точности МЖД

1. Обеспечение жесткости делала во время обработки.

1.1. Стационарный способ:

1.1.1 использование вспомогательных механизмов, поддерживающих люнет разной конструкции (с регулируемыми по высоте призмами, самоцентрирующийся гидравлический) [1, 3];

1.2. Динамический способ с использованием:

1.2.1 особые режимы резания, применение специализированного инструмента (упорные с длиной режущей кромкой 6–25 мм с разной глубиной резания, многорезцовая головка) [2];

1.2.2 методы активного управления:

1.2.2.1 управление напряженным состоянием МЖД при обработке методами поверхностного пластического деформирования [1];

1.2.2.2 метод изменения управляющей программы станка с ЧПУ на основе данных о силе резания, оказывающей влияние на напряженно-деформированное состояние, и геометрии получаемой детали;

1.2.2.3 учет результатов предварительного численного моделирования при составлении управляющей программы для станка с ЧПУ для повышения точности обработки МЖД.

2. Применение доводочных операций после обработки.

2.1. Доводочные операции (полирование, центробежная абразивная обработка, ручная доводка):

2.1.1 внедрение в производство методов снижения остаточных деформаций (правка поверхностным пластическим деформированием) [7];

2.1.2 пооперационный контроль неразрушающим методом технологической наследственности по остаточным напряжениям металла поверхностного слоя деталей в процессе их изготовления [9];

2.1.3 метод алмазного выглаживания, тонкое шлифование [10].

3. Применение других схем обработки.

3.1. Применение инструментом из композитов с применением магнитной технологической оснастки [11].

3.2. Пневмовибродинамическая отделочно-упрочняющая обработка поверхности детали [10].

3.3. Замена механообработки альтернативными операциями (осуществление лазерной резки для плоских деталей).

Анализ современных методов и способов обработки МЖД показал, что не все предлагаемые подходы позволяют осуществлять автоматизацию процесса обработки.

При использовании дополнительного оборудования возникает необходимость его обслуживания, хранения. Следствием являются возникающие в связи с этим вопросы экономического плана: содержание персонала для создания, ремонта, наладки, хранения дополнительного оборудования, снижения производительности, поддержание качества оборудования, трудности переналадки оборудования для серийного производства, значительные затраты временных ресурсов. Технологии имеют ограничения применений по видам и металлам деталей; кроме того, необходима долгая наладка оборудования, зачастую громоздкого, при смене типов изготавливаемых МЖД. Анализ производственного опыта и существующих методов изготовления МЖД показал: перечисленные методы изготовления МЖД являются трудоемкими и неэкономичными.

При алмазном выглаживании появляется микро-рельеф, способствующий повышению контактной жесткости и прочности сопрягаемых деталей, повышается надежность, долговечность. Отрицательной

стороной этого метода являются относительно низкая производительность и повышенные требования к жесткости технологической системы, высокая стоимость алмазов, последующая очистка от СОЖ.

Достижения современной науки показывают, что основными путями интенсификации процессов обработки резанием являются: применение систем автоматического управления, создание высокопроизводительного оборудования с числовым программным управлением (ЧПУ).

Требования к качеству МЖД могут быть учтены в процессе обработки заготовки посредством динамического изменения управляющей программы станка с ЧПУ на основе данных о силе резания, оказывающей влияние на напряженно-деформированное состояние, и геометрии получаемой детали.

Проведенный анализ процесса обработки МЖД доказал необходимость применения результатов численного моделирования процесса обработки и деформации детали, на основе результатов которого формируется управляющая программа станка с ЧПУ, учитывающая искажение геометрии при обработке заготовки. Последний способ требует применения численных методов расчета НДС, проведения натуральных и вычислительных экспериментов и разработки методики учета малой жесткости заготовки при обеспечении предъявляемых требований к детали. Создание инженерной методики обеспечения точности обработки на станке с ЧПУ МЖД будет являться целью исследований проводимых на кафедре «Мехатронные системы» ИжГТУ.

Список литературы

1. Машиностроение : энциклопедия. В 40 т. / гл. ред. К. В. Фролов. – Т. 3. Технология изготовления деталей машин ; ред.-сост. А. Г. Суслов. – М. : Машиностроение, 2000. – 841 с.
2. Исследование динамической системы токарной обработки нежестких валов / А. О. Драчев [и др.] // доклад на Междунар. науч.-техн. конф. «Машиностроение и техносфера XXI века». 14–19 сентября 2009 г., Севастополь.
3. ГОСТ 30987–2003 (ИСО 10579:1993). Основные нормы взаимозаменяемости назначение размеров и допусков для нежестких деталей : межгосуд. стандарт. – Минск : Межгосударственный совет по стандартизации, метрологии и сертификации.
4. Определение остаточных напряжений в поверхностном слое деталей после механической обработки : метод. указ. по дисциплине «Технология машиностроения». – Тольятти : Тольяттинский политех. ин-т ; Тольяттинский гос. ун-т, 2005.
5. Мураткин Г. В. Повышение точности нежестких деталей типа вал путем управления их напряженным состоянием при обработке методами ППД : дис. ... канд. техн. наук. – Тольятти, 2000. – 195 с.
6. Прогрессивная технология термосиловой обработки нежестких деталей типа вал / А. О. Драчев [и др.] // доклад на Междунар. науч.-техн. конф. «Машиностроение и техносфера XXI века». 14–19 сентября 2009 г., Севастополь.
7. Бойченко О. В. Повышение эксплуатационной точности маложестких деталей методом автоматического управления процессом виброобработки : дис. ... канд. техн. наук. – Тольятти, 2005. – 191 с.
8. Ямникова О. А. Виброустойчивость процесса лезвийной обработки нежестких валов : дис. ... д-ра техн. наук. – Тула, 2004. – 357 с. : ил.
9. Белоусова Н. Г., Колмогоров Г. Л., Кузнецова Е. В. Остаточные напряжения и деформации в прутковых металлоизделиях. – Пермь : Школа молодых ученых по механике сплошных сред, 2003.
10. Бонус А. А. Повышение качества и производительности отделочной обработки нежестких деталей высокой твердости. – Могилев, 1996.
11. Егоров Е. С. Повышение эффективности процессов обработки нежестких деталей инструментом из композитов с применением магнитной технологической оснастки : дис. ... канд. техн. наук. – Чита, 2004.

Yu. A. Eremina, Magstrand, Izhevsk State Technical University

A. V. Shchenyatskiy, Doctor of Technical Sciences, Professor, Izhevsk State Technical University

Preconditions for Creation of Methods Providing Machining Accuracy of Non-Rigid Parts on the Basis of Numerical Modeling

An overview of methods and means of metal-working manufacturing on realization of processing accuracy of non-rigid parts is presented. The classification of non-rigid parts by geometry is made. The factors influencing on maintenance of non-rigid parts precision were considered. The conclusion was drawn that the follow up study should be done to create a dynamic system on the basis of the analysis. It was recommended that the updating of the NC machine tool operating program should be carried out on the basis of results of numerical modeling of a manufacturing process and part deformation.

Key words: precision, non-rigid part, NC machine tool operating program, dynamic system, metal-working manufacturing, numerical modeling.