

Направляющие фирмы «Bosch Rexroth» могут дополнительно оснащаться защитой, скребками и уплотнениями при работе в неблагоприятных условиях.

*** Рисунки и технические характеристики направляющих публикуются с разрешения фирмы «Bosch Rexroth».*

**** Представленные в таблицах данные по нагрузкам и рабочим скоростям направляющих получены экспериментально.*

УДК 621.9

Е.Э. Фельдштейн, М.А. Корниевич

СОВРЕМЕННЫЕ ТЕНДЕНЦИИ В РАЗВИТИИ ИНСТРУМЕНТАЛЬНОЙ ОСНАСТКИ СТАНКОВ С ЧПУ

Зеленогурский университет

Зелена Гура, Польша

Белорусский национальный технический университет

Минск, Беларусь

Неотъемлемой частью станка с ЧПУ является комплект вспомогательного инструмента, состоящий из резцедержателей, патронов, оправок и втулок различных конструкций, предназначенных для крепления режущего инструмента. Такой комплект вместе с прибором предварительной настройки должен обеспечивать быструю наладку и подналадку инструмента при работе в условиях ГПС.

В настоящее время разработаны системы инструментальной оснастки для станков с ЧПУ, представляющие собой наборы унифицированного вспомогательного и специального режущего инструмента (резцедержателей, оправок, втулок, зажимных патронов и т.п.). Это обеспечивает качественное крепление всего стандартного режущего инструмента, необходимое для полной реализации технологических возможностей станков с ЧПУ.

К системе инструментальной оснастки предъявляются следующие требования:

- 1) номенклатура вспомогательного и специального режущего инструмента, входящего в систему, должна быть сведена к минимуму;
- 2) элементы системы должны обеспечивать крепление режущего инструмента с требуемой точностью, жесткостью и виброустойчивостью (с учетом интенсивных режимов работы);

3) элементы, входящие в систему, должны обеспечивать в необходимых случаях регулирование положения режущих кромок инструмента относительно координат технологической системы;

4) элементы системы инструментальной оснастки должны быть удобными в обслуживании и технологичными в изготовлении.

В станках сверлильно-фрезерно-расточной группы наиболее широко используется соединение конических поверхностей с конусностью 7:24 ГОСТ25827-83 [1]. Такой конус не является самотормозящимся и позволяет легко извлечь оправку из шпинделя. Крутящий момент со шпинделя передается с помощью торцовых шпонок. В шпинделе оправка удерживается с помощью тяги и тарельчатых пружин или затягивается винтом. Движение тяги или винту передается от гидроцилиндра или электродвигателя.

В связи с совершенствованием технологии обработки деталей на станках с ЧПУ, в частности с развитием сверхскоростной обработки, выявился ряд недостатков данного типа соединений, а именно:

- значительная масса и сложность балансировки, а значит, высокая вероятность возникновения вибраций в ходе обработки;
- значительные центробежные силы способствуют „вспучиванию» оправки, приводящему, с одной стороны, к ее выдвиганию из шпинделя и сокращению жесткости и надежности соединения (рис. 1), а с другой — заклиниванию в шпинделе при резком торможении последнего; для вытягивания такой оправки из шпинделя необходимы весьма значительные усилия, которые автооператор не может обеспечить;

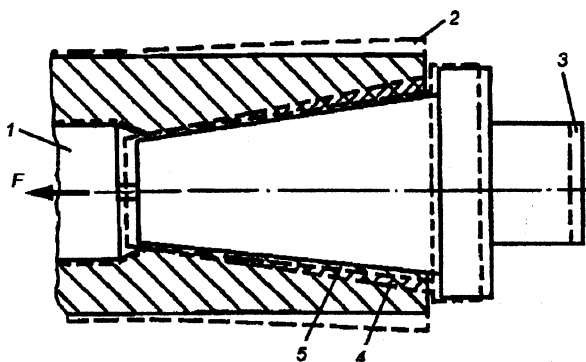


Рис. 1. Деформации в месте соединения оправка — шпиндель под действием центробежных сил [2]: 1 — тяга, действующая с силой F ; 2 — увеличение диаметра шпинделя; 3 — выдвигание оправки из шпинделя; 4 — увеличение диаметра оправки; 5 — зазор между шпинделем и оправкой

- изменения в условиях контактирования шпинделя и оправки может вызвать заклинивание хвостовика режущего инструмента либо, наоборот, появление зазоров;
- центробежные силы могут вызвать подвижки в шпоночном соединении, что недопустимо при весьма высоких частотах вращения.

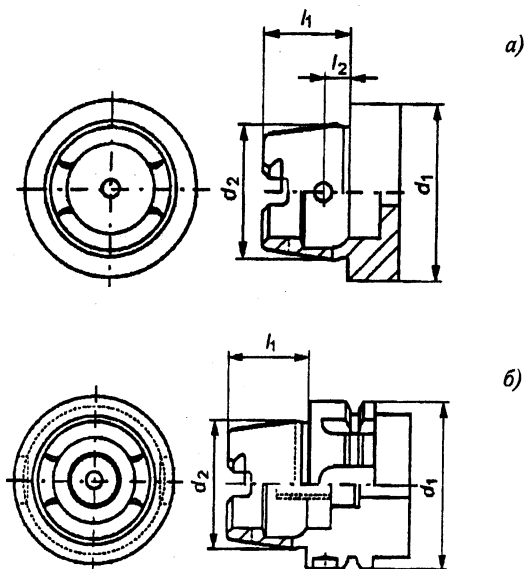


Рис. 2. Хвостовики HSK:

а — для ручного крепления; б — для автоматического крепления

В связи с этим было предложено и получает все более широкое распространение соединение типа HSK — *Hollow Shank Kegel* (рис. 2), разработанное в Аахенском техническом университете (Германия). Такое соединение имеет значительно меньшие диаметр и длину конуса (табл. 1), причем базирование осуществляется как по конической, так и по торцевой поверхностям. Последнее обстоятельство предотвращает слишком глубокое затягивание оправки в шпиндель. Конус внутри пустой, в результате хвостовик и шпиндель под действием центробежных сил работают в одинаковых условиях. В условиях высокоскоростной обработки оправки изготавливают из легких сплавов, что существенно снижает их массу.

В связи с возрастанием скоростей резания и усложнением конструкции режущих и вспомогательных инструментов важную роль играют возникаю-

щие при работе станка колебания. Они резко снижают стойкость режущих инструментов, отрицательно действуют на шпиндельные опоры станка, ухудшают качество обработанной поверхности. Поэтому борьба с вибрациями в условиях работы гибкого автоматизированного оборудования приобретает важное значение.

Таблица 1

Габаритные размеры соединения типа HSK

Наружный диаметр d_1 , мм	32	40	50	63	80	100
Диаметр конуса d_2 , мм	24	30	38	48	60	75
Длина конуса l_1 , мм	16	20	25	32	40	50
Конусность хвостовика	1:10					

Имеется много пассивных и активных методов, позволяющих снизить статические деформации и/или повысить виброустойчивость консольных инструментальных оправок, особенно большой длины. Это возможно [3]:

- путем снижения уровня сил резания;
- использованием оправок с высокой демпфирующей способностью;
- периодическим изменением режимов резания, изменяя частоту вращения инструмента или обрабатываемой детали, шаг зубьев многолезвийных инструментов и т.д.;
- применением систем адаптивного управления.

Снижение уровня сил резания может быть обеспечено правильным выбором геометрии инструмента, химического состава СОЖ или тонкопленочных покрытий на режущих инструментах, подогревом зоны резания; введением в зону резания дополнительных ультразвуковых колебаний (два последних способа — при обработке деталей из труднообрабатываемых материалов).

Демпфирование колебаний может быть достигнуто различными способами:

- путем армирования материала оправок твердосплавными волокнами (анизотропия механических свойств);
- правильным выбором самого материала оправки (согласно имеющимся данным, изменения в стойкости инструмента в этом случае достигают 50%);
- комбинацией двух разнородных материалов, например карбида вольфрама и металлического вольфрама, имеющего высокую демпфирующую способность;

- использованием предварительно напряженных оправок. Такая оправка (рис. 3) состоит из трубчатого стержня 3 из алюминиевого сплава с центральным отверстием, замкнутым с двух сторон заглушками 1 с уплотнениями [3]. Отверстие заполняется легкоплавким сплавом 4, например, висмута, который при отвердевании увеличивает объем, т.е. может расширяться. Между трубкой и сплавом имеется слой масла 2. Расширение твердеющего сплава приводит к расширению трубчатого стержня, изменяя его жесткость. Так, при длине оправки 710 мм и диаметре 13 мм отмечено увеличение жесткости на 40 %. Оно может быть увеличено при использовании тонкостенных трубок, а также в случае приложения больших растягивающих усилий при изменении материала трубки;
- зажимом инструмента с помощью упругих элементов — резинометаллических цанг или прокладок, тонкостенных втулок и т.п. [3];
- введением в конструкцию оправки масляных [4], механических [5] и прочих демпферов.

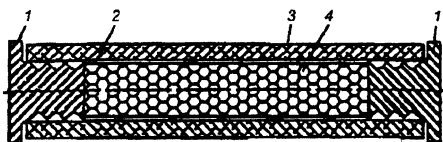


Рис. 3. Схема оправки, заполненной легкоплавким сплавом, расширяющимся в отвердевании

В некоторых современных конструкциях инструментальных блоков используются устройства адаптивного управления [6]. Схема одного из таких устройств для обработки отверстий большого диаметра приведена на рис. 4. В оправке установлены два резца: черновой 1 и чистовой 2. Последний закреплен в оправке с помощью упругого прижима 4. Внутри оправки вмонтирован полупроводниковый лазер 5. Его излучение через разделитель 6 и зеркало 7 попадает на детекторы 8. Деформации оправки под действием сил резания фиксируются с помощью отклонения положения лазерного луча, а также с помощью сенсоров (датчиков касания) 10. Изменение положения вершины чистового резца осуществляется под действием пьезоэлектрического устройства 11 и рычага 9. Возникающие перекосы оси оправки регулируются с помощью двух шаговых двигателей и шарико-винтовых пар. Для направления оправки служат направляющие 12.

В современных станках даже относительно крупные шпиндели, с диаметрами шеек подшипников 100...120 мм и конусом 50, работают с частотами 20000...30000 об/мин. Такие высокие частоты предъявляют очень

жесткие требования к инструментальной оснастке, в том числе по степени ее динамической балансировки, так как центробежные силы могут достигать очень высоких значений. Например, для инструмента, имеющего массу 10 кг и эксцентриситет только 1 мкм, дисбаланс достигает 10^7 кгм, и при частоте вращения 30000 об/мин центробежная сила равна 100 Н [3]. Такая сила может существенно воздействовать на динамическое состояние станка, особенно если частоты резания близки к частотам собственных колебаний. Степень балансировки может влиять на точность и качество обработанной на станке поверхности, стойкость инструмента и ресурс шпиндельных подшипников. В условиях сверхскоростного резания в ряде случаев наблюдалось разрушение режущих инструментов в результате дисбаланса.

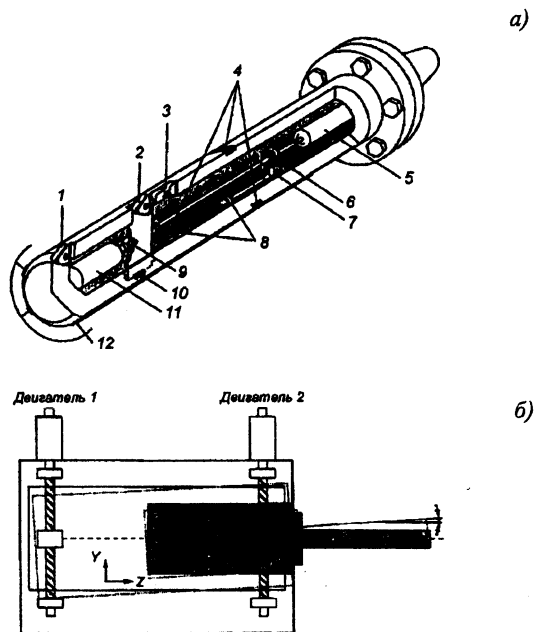


Рис. 4. Схема оправки с адаптивным управлением (а) и устройства для компенсации положения вершины резца (б) [6]

В системе инструментальный блок — шпиндель именно первый отвечает за появление дисбаланса, поскольку шпиндель точно сбалансирован на станкозаводе. Дисбаланс в инструментальном блоке возникает вследствие целого ряда причин (рис. 5) [7]:

- переменного положения винта, закрепляющего инструмент во вспомогательной оправке;
- отклонениями от оси симметрии винтов, расположенных вдоль оси оправки;
- асимметрией вершин режущего инструмента относительно оси, например, в расточных резцах и головках, сверлах с МНП и т.п.;
- асимметрией оправки вследствие наличия торцовых и продольных шпонок, пазов для захватов манипулятора и т.п.;
- асимметрией хвостовиков режущих инструментов, например сверл с МНП и др.;
- погрешностями изготовления тяги или гнезда для закрепления оправки в шпинделе;
- погрешностями формы конуса оправки и ее расположения относительно гнезда шпинделя;
- погрешностями изготовления зажимных цанг;
- различиями в пространственном положении зажимных гаек;
- износом вершин режущих инструментов;
- погрешностями заточки режущих инструментов (осевое и радиальное биения, асимметрия и т.п.);
- произвольной заменой неперетачиваемых пластин (изменения в форме передней поверхности, радиусах вершин и пр.) в многолезвийных режущих инструментах;
- погрешностями сборки инструментальных блоков.

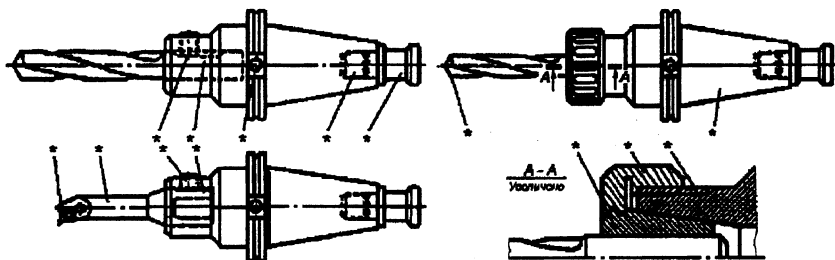


Рис. 5. Источники появления дисбаланса в инструментальном блоке (обозначены звездочкой)

Точность балансировки для станков, работающих в традиционном диапазоне скоростей, должна быть не ниже, чем класс G2.5 по стандарту ISO 1940/1-1986; для высокоскоростных станков — в пределах классов G1 —

G0.4 (номер в обозначении класса представляет допустимый дисбаланс в мм на 1 кг массы, вращающейся с частотой 10000 об/мин).

Уменьшение дисбаланса инструментального блока может быть достигнуто уменьшением неуравновешенных масс или балансировкой блока. Масса может быть уменьшена, например:

- путем уменьшения размеров оправок (вместо типовых конусов 7:24 конусы HSK);
- заменой материала оправок (использование вместо стали легких сплавов);
- повышением точности изготовления оправок (кавалитет *IT3* вместо обычно используемых *IT4* и *IT5*).

Балансировка инструментального блока обычно производится перед его установкой на станок. Она может осуществляться, в частности [7]:

- введением в систему дополнительных масс (винты, перемещающиеся перпендикулярно к оси блока и расположенные друг относительно друга под определенным углом;
- удалением определенной массы материала оправки (сверленис отверстий определенного диаметра на определенную глубину); используется крайне редко;
- взаимным вращательным перемещением двух эксцентричных колец определенной массы;
- взаимным перемещением двух грузов в канавке корпуса оправки (аналогично статической балансировке шлифовальных кругов).

Согласно данным фирмы „Kennametal Hertel» использование шпиндельных оправок с комплектом балансировочных колец обеспечивает устойчивую работу при частотах вращения до 40000 об/мин, тогда как для обычных оправок частоты не превышают 8000 об/мин.

Наиболее перспективна динамическая балансировка системы «двигатель — шпиндель — инструментальный блок». В последнем случае используют роторы, установленные на шпинделе, которые могут вращаться под действием постоянного магнитного поля [3]. Магнитное поле изменяется синхронно с возбуждающим сигналом (колебаниями) и вызывает циклические повороты роторов. Как следствие, уменьшается дисбаланс оправки.

Таким образом, совершенствование технологии обработки деталей на станках с ЧПУ и их конструкции приводит к принципиальным изменениям в конструкции инструментальной оснастки, направленным на повышение их жесткости и виброустойчивости.

ЛИТЕРАТУРА

1. Кузнецов Ю.И., Маслов А.Р., Байков А.Н. Оснастка для станков с ЧПУ. — М.: Машиностроение, 1990. — 512 с. 2. Schulz H.

Hochgeschwindigkeitsbearbeitung. High-Speed Machining. München — Wien: Carl Hanser Verlag, 1996. — 286 s. 3. Rivin E.I. Tooling System: Interface between Cutting Edge and Machine Tool// Annals of CIRP. — 2000. — Vol. 49. — № 2. — P. 591 — 634. 4. Weck M., Hennes N., Krell M. Spindle and Toolsystems with High Damping// Annals of CIRP. — 1999. — Vol. 48. — № 1. — P. 297 — 302. 5. Huston M.F., Knobloch G.W. Cutting Materials, Tools, Market Trends in USA//VDI Berichte. — 1998. — № 1399. — P. 21 — 53. 6. Koren Y., Pasek Z.J., Szuba P. Design of Precision, Agile Line Boring Station// Annals of CIRP. — 1999. — Vol. 48. — № 1. — P. 313 — 316. 7. Cichosz P., Petyniak A. Wyważanie obrotowych narzkdzi skrawajnych// Mechanik. — 2003. — № 10. — S. 595 — 600.

УДК 621. 793

М.Л. Хейфец, А.А. Лысов, Н.Л. Грецкий

ВЛИЯНИЕ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПАРАМЕТРОВ НА ВИБРОУСТОЙЧИВОСТЬ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ТВЕРДЫХ НЕМЕТАЛЛИЧЕСКИХ МАТЕРИАЛОВ

*Полоцкий государственный университет,
Новополоцк, Беларусь*

Повышение прочности железобетонных конструкций требует использования специального алмазного инструмента для их обработки, в частности для сверления монтажных и технологических отверстий, каналов, уступов и т.д.

Работающее кольцевое алмазное сверло можно представить как круг, вышлифовывающий отверстие своей торцевой поверхностью. Конструкцией сверла является тонкостенное алмазосодержащее кольцо, расположенное на торце трубы.

Вследствие высокой хрупкости алмазного слоя радиальное биение боковой поверхности кольца относительно наружной поверхности трубы должно быть не более 0,4 мм для сверл диаметром свыше 50мм, а торцевое биение алмазного слоя не должно превышать 0,5 мм. [1].

Опыт использования высокопроизводительных алмазных инструментов в производстве показал, что вследствие большого количества стыков при недостаточной виброустойчивости технологической системы в процессе сверления возникает интенсивная вибрация, значительно ухудшающая качество