

Московский государственный технический университет
имени Н. Э. Баумана

Учебное пособие

А. Р. Маслов

КОНТРОЛЬ И ИЗМЕРЕНИЯ ВСПОМОГАТЕЛЬНОГО ИНСТРУМЕНТА

Рекомендовано редсоветом МГТУ им. Н. Э. Баумана

Москва

Издательство МГТУ имени Н. Э. Баумана

2023

УДК 621. 7 (075.8)
ББК 34. 5я7
М34

Рецензент:

профессор кафедры технологии машиностроения
Московского Государственного технологического университета
«СТАНКИН»
д-р техн. наук, профессор, лауреат Ленинской премии
Тимирязев В.А.,

Маслов А.Р.

М34 Контроль и измерения вспомогательного инструмента:
Учебное пособие // М.: Изд-во МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2023 – 50 с.

Рассмотрены конструкции приспособлений для контроля качества изготовления присоединительных поверхностей вспомогательного инструмента, предназначенного для закрепления режущего инструмента на металлорежущих станках.

Даны сведения о приспособлениях для предварительной настройки инструмента и его балансировки вне станков.

УДК 621. 7 (075.8)
ББК 34. 5я7

© МГТУ им. Н.Э. Баумана, 2020

1. Контроль и измерения вспомогательного инструмента

Для надежного обеспечения требуемого качества обработки на металлорежущих станках необходимо выполнение требований к закреплению режущего инструмента. К ним относятся требования к качеству присоединительных поверхностей вспомогательных инструментов с шпинделями станков с ЧПУ, существенно влияющего на точность установки инструмента и жесткость технологической системы в целом.

Для контроля вспомогательного инструмента необходим выбор методов, средств и калибров, который зависит от точности измеряемых поверхностей.

Размеры и предельные отклонения линейных размеров конусов 7:24 изделий и калибров приведены в табл. 7.15, а предельные отклонения параметров этих конусов – в табл. 7.16–7.18.

Контроль конических поверхностей производится по комплексному показателю (припасовка по краске) и поэлементно (проверка отдельных параметров конуса: угол конуса, прямолинейность образующей, круглость поперечных сечений).

Комплексному контролю должны подвергаться все инструменты, а контроль отдельных элементов может быть выборочным. Объем выборки и периодичность контроля устанавливаются ОТК изготовителя или отделом метрологии у потребителя.

Конуса точнее степени точности АТ5 считаются годными, если они соответствуют нормам точности по поэлементным показателям при 100-процентном контроле.

При комплексном контроле на краску проверяется полнота прилегания сопрягаемых поверхностей. В качестве краски должна использоваться типографская красная краска № 219Т. Применение берлинской лазури возможно только для получения слоя краски 3 мкм и более. Применение сажи не допускается.

Краска разводится машинным маслом до тестообразного состояния и помещается внутрь марлевого тампона из трех слоев марли, который обертывается плотной тканью (сатин, бязь). Затем на тампон капают несколько капель масла и, водя им по металлической поверхности, оставляют на ней слой краски, которая потом растирается по всей поверхности фетром или замшей.

Необходимо оставлять без изменения шаг винтовых канавок, величина которого маркируется на хвостовике фрезы. Возможно перетачивать фрезы вручную на специальном приспособлении, но при этом фреза получится не сферической, а эллипсоидной.

Рекомендуется после переточки заново наносить износостойкое покрытие, чтобы сохранить высокую производительность и стойкость.

Контроль закупленного и переточенного инструмента осуществляют с помощью контрольно-измерительных средств (табл. 7.14).

Для контроля вспомогательного инструмента необходим выбор методов, средств и калибров, который зависит от точности измеряемых поверхностей.

Размеры и предельные отклонения линейных размеров конусов 7:24 изделий и калибров приведены в табл. 7.15, а предельные отклонения параметров этих конусов – в табл. 7.16–7.18.

Контроль конических поверхностей производится по комплексному показателю (припасовка по краске) и поэлементно (проверка отдельных параметров конуса: угол конуса, прямолинейность образующей, круглость поперечных сечений).

Комплексному контролю должны подвергаться все инструменты, а контроль отдельных элементов может быть выборочным. Объем выборки и периодичность контроля устанавливаются ОТК изготовителя или отделом метрологии у потребителя.

Конуса точнее степени точности АТ5 считаются годными, если они соответствуют нормам точности по поэлементным показателям при 100-процентном контроле.

При комплексном контроле на краску проверяется полнота прилегания сопрягаемых поверхностей. В качестве краски должна использоваться типографская красная краска № 219Т. Применение берлинской лазури возможно только для получения слоя краски 3 мкм и более. Применение сажи не допускается.

Краска разводится машинным маслом до тестообразного состояния и помещается внутрь марлевого тампона их трех слоев марли, который обертывается плотной тканью (сатин, бязь). Затем на тампон капают несколько капель масла и, водя им по металлической поверхности, оставляют на ней слой краски, которая потом растирается по всей поверхности фетром или замшей.

7.14. Контрольно-измерительные средства для режущего инструмента

Тип, модель	Диапазон измерений	Цена деления, мм	Контролируемый параметр
Приборы КО-17, КО-18, КО-19, КО-20*	Конус Морзе 1-4; степень точности АТ6-АТ8 по ГОСТ 2848-75 (в ред. 1991 г.)	0,001	Отклонение от прямолинейно- сти образующих конусов Морзе
Прибор БВ-5077М**	Конус Морзе 1-6; степень точности АТ7 и АТ8	0,001	Отклонение от круглости хво- стовиков с конусом Морзе
Прибор БВ-3366М**	Конус Морзе 1-6	0,001 – шкалы конусности; 0,005 – шкалы непрямоли- нейности	Радиальное и торцовое биения относительно поверхности конусного хвостовика. Кон- троль конусности и отклоне- ния от прямолинейности обра- зующей конусов
Прибор КЗ3-4*	Фрезы концевые и шпо- ночные диаметром 2... 20 мм с цилиндрическим хвостовиком и конусом Морзе 1-3, ручные и ма- шинно-ручные метчики М14-М20	1°	Передние и задние углы кон- цевого инструмента (концевых фрез, шпоночных фрез и мет- чиков)

Продолжение табл. 7.14

Тип, модель	Диапазон измерений	Цена деления, мм	Контролируемый параметр
Прибор КЛО-17*	Сверла с цилиндрическим и коническим хвостовиками диаметром 6...20 мм	0,01 — линейной шкалы; 30' — угловой шкалы	Измерение угла при вершине и осевого биения главных режущих кромок сверл
Прибор К10-6*	Сверла с цилиндрическим и коническим хвостовиками диаметром 15...50 мм	—	Угол наклона винтовых канавок сверл
Приборы К10-И, К10-12, К10-13, К10-14*	Сверла с цилиндрическим и коническим хвостовиками диаметром 3...50 мм	0,01	Измерение симметричности сердцевины профиля канавок сверл
Прибор К33-7*	Фрезы с цилиндрическими и коническими хвостовиками диаметром 2...50 мм	1°	Передний и задний углы фрез концевых и шпоночных
Прибор К30-3*	Отрезные фрезы диаметром 63...250 мм	1°	Углы в плане и задние углы на переходных режущих кромках фрез

Окончание табл. 7.14

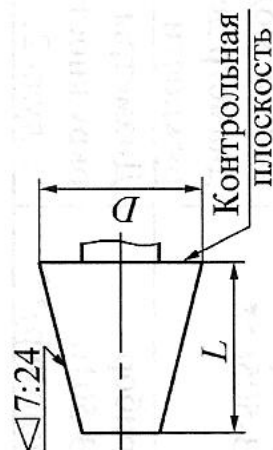
Тип, модель	Диапазон измерений	Цена деления, мм	Контролируемый параметр
Прибор КЗ2-1*	Стандартные торцовые и дисковые фрезы диаметром 100...250 мм	30'	Задний угол и угол наклона зубьев фрез
Прибор 2РМ*	Метчики с наружным диаметром резьбы М3-М20	0,002	Средний диаметр резьбы трехканавочных метчиков
Прибор РМ*	Метчики с наружным диаметром резьбы М3-М33	0,01	Средний диаметр резьбы пятиканавочных метчиков
Прибор БВ-5080**	Модуль 0,2...1,5 мм; диаметр 20...100 мм	—	Контроль мелко модульных червячных фрез
Прибор БВ-5056**	Червячные фрезы, шевелы, долбяки, зубчатые колеса, модуль 1...12 мм; диаметр делительной окружности 30...400 мм	0,001	Радиальное биение накопленной погрешности шагов, шага по колесу и отклонения шага
Прибор БВ-5010 (ходомер)**	Диаметры делительной окружности 40...400 мм; модуль 2...10 мм	0,001	Отклонения направления зуба и окружных шагов

* Приборы серийно не изготавливают. Техническая документация имеется в ОАО "ВНИИ-инструмент".

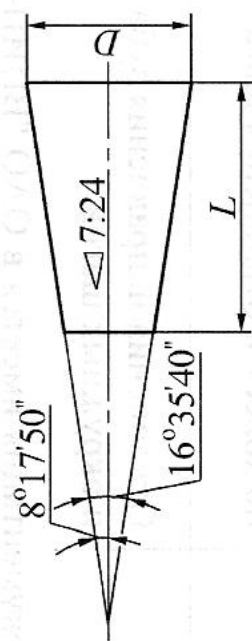
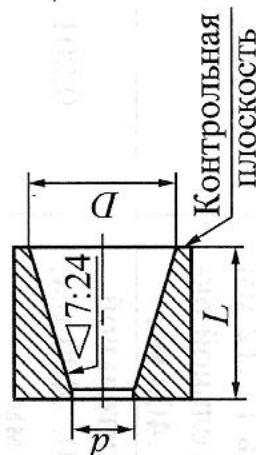
** Приборы изготавливают по заказу в "НИИИзмерения".

7.15. Размеры и предельные отклонения линейных размеров конусов 7:24 калибров и инструмента, мм

Калибр-пробка



Калибр-втулка



Обозначение конуса	Калибры для конусов по ГОСТ 20305–94					Калибры-втулки			Конусы инструмента по ГОСТ 15945–82	
	Калибры-пробки			Калибры-втулки					D	L*
	D		L	D		L	d (H10)			
	номин.	пред. откл.		номин.	пред. откл.					
30	31,703		49,6	31,739		52	17,4	31,75	49,2	
35	38,053	±0,0055	57,6	38,069	±0,055	60	21,4	38,10	57,2	
40	44,403		66	44,439		70	25,3	44,45	65,6	
45	57,105	±0,0065	85,2	57,137	±0,065	90	32,4	57,15	84,8	
50	69,805		104,1	69,837		108	39,6	69,85	103,7	
55	88,850	±0,0075	132	88,885	±0,075	135	50,5	88,90	132	
60	107,907		164,1	107,935		168	60,2	107,95	163,7	

* Размер для справок.

* Размер для справок.

Краска наносится на предварительно очищенную поверхность наружного конуса. Калибр осторожно сопрягают с проверяемым конусом и поворотом приблизительно на одну четверть оборота при легком нажатии вдоль оси растирают краску в местах плотного прилегания сопрягаемых поверхностей.

Изделие считается годным, если краска растерлась по поверхности окрашенного конуса. Допускаются кольцеобразные остатки нетронутой краски при условии, что пятна контакта охватывают среднюю и крайние части проверяемых поверхностей.

7.16. Предельные отклонения угла конуса на длине поверхности, мкм

Обо- значе- ние конуса	Калибры для степе- ней точности			Контр- калиб- ры	Конусы инструмента степе- ней точности				
	АТ4 и АТ5	АТ6 и АТ7			АТ3	АТ4	АТ5	АТ6	АТ7
		проб- ки	втул- ки						
30; 35	±1,2; ±1,4	-6; -7	+6; +7	+2,5; +3	±2,5	±4	±6	±10	±15
40; 45	±1,5; ±1,7	-8	+8	+3; +3,5	±3	±5	±8	±12	±20
50; 55	±2,0	-10	+10	+4	±4	±6	±10	±16	±25
60	±2,5	-12	+12	+5	±5	±8	±12	±20	±30

7.17. Допуски прямолинейности образующей конуса на длине поверхности, мкм

Обозначение конуса	Калибры степеней точности		Контркалибры	Изделия степеней точности				
	АТ4 и АТ5	АТ6 и АТ7		АТ3	АТ4	АТ5	АТ6	АТ7
30; 35	0,6	1,6	0,8	0,6	1,0	1,6	2,5	4
40; 45	0,8	2,0	1,0	0,8	1,2	2,0	3,0	5
50; 55	1,0	2,5	1,2	1,0	1,6	2,5	4,0	6
60	1,2	3,0	1,5	1,2	2,0	3,0	5,0	8

7.18. Допуски круглости поперечного сечения конуса, мкм

Обозначение конуса	Калибры степеней точности		Контркалибры	Изделия степеней точности				
	АТ4 и АТ5	АТ6 и АТ7		АТ3	АТ4	АТ5	АТ6	АТ7
30–40	0,6	1,6	0,8	0,6	1,0	1,6	2,5	4
45; 50	0,8	2,0	1,0	0,8	1,2	2,0	3,0	5
55; 60			1,2	1,0	1,6	2,5	4,0	6

При комплексном контроле калибров по контркалибрам пятно контакта должно занимать не менее 90 % поверхности при наличии более плотного контакта (менее интенсивной окраски) малого диаметра. Плотный контакт должен обеспечиваться по большому диаметру. Зоны поверхности у торцов изделия шириной 3 мм во внимание не принимаются.

Толщина слоя краски при комплексном контроле рекомендуется согласно табл. 7.19.

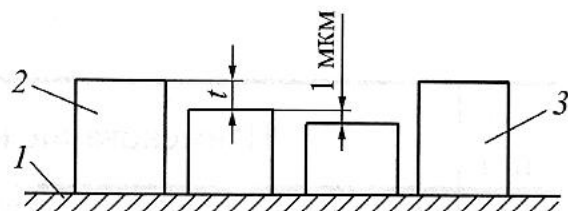
Для оценки правильности нанесения слоя краски и накопления опыта в визуальной оценке рекомендуется использовать указанный ниже способ.

7.19. Рекомендуемая толщина слоя краски при комплексном контроле, мкм

Обозначение конуса	Калибры степеней точности		Контркалибры	Конусы инструмента степеней точности				
	АТ4 и АТ5	АТ6 и АТ7		АТ3	АТ4	АТ5	АТ6	АТ7
30–45	1	2	1	1	1	2	4	6
50–60	2	3	2	2	2	3	6	6

Примечание. Толщина слоя краски свыше 6 мкм не рекомендуется, так как в этом случае затруднительно получить равномерный слой краски.

Рис. 7.16. Способ оценки толщины краски



На плоскую стеклянную пластину 1 (рис. 7.16) притираются четыре концевые меры. Две крайние меры (2 и 3) должны быть одинакового размера, одна из средних меньше, чем крайние на заданную толщину слоя краски, а другая средняя меньше ее еще на 1 мкм.

При контроле толщины слоя краски на калибре или наружном конусе изделия стекло с притертыми к нему концевыми мерами прижимается к поверхности конуса (предварительно в местах прилегания крайних концевых мер удаляется краска) и передвигается на небольшое расстояние в направлении, перпендикулярном его оси. После этого, если толщина слоя краски соответствует заданной, на большей из средних концевых мер должны быть видны следы краски, а на меньшей таких следов быть не должно.

Средства контроля и измерения отклонений угла конуса, прямолинейности образующих и отклонений от круглости приведены в табл. 7.20–7.23.

7.20. Средства контроля и измерений отдельных параметров конусов 7:24

№ п/п	Наименование измерительного средства
<i>Средства измерения угла конуса</i>	
1	Пневматический прибор модели БВ-7310
2	Синусная линейка $L = 200$ мм кл. 1 по ГОСТ 4046–80 (в ред. 1996 г.)
	Концевые меры кл. 2 ГОСТ 9038–90 (в ред. 1997 г.)
	Головка 1ИПМ или 01ИГПВ ГОСТ 28798–90
3	Плита поверочная кл. 0 ГОСТ 10905–86 (в ред. 1989 г.)
	Синусная линейка $L = 300$ мм кл. 1 ГОСТ 4046–80 (в ред. 1996 г.)
	Концевые меры кл. 3 ГОСТ 9038–90 (в ред. 1997 г.)
	Головка 05ИПМ или 05ИГПВ ГОСТ 28798–90

Окончание табл. 7.20

№ п/п	Наименование измерительного средства
3	Плита поверочная кл. 0 ГОСТ 10905–86 (в ред. 1989 г.)
4	Прибор модели БВ-6084 или модели 819К фирмы С.Мahr (Германия) при десятикратном измерении с перестановкой детали
5	Прибор модели БВ-6084 или модели 819К фирмы С.Мahr (Германия) при трехкратном измерении с перестановкой детали
<i>Средства контроля отклонений от прямолинейности образующих</i>	
6	Прибор БВ-7312
7	Прибор БВ-6084
<i>Средства измерения отклонений от круглости</i>	
8	Кругломер модели 255 или 289
9	Кругломер модели 256
10	Кругломер модели 258

7.21. Средства контроля и измерения угла конусов инструмента

Обозначение конуса	Степень точности		
	АТ3	АТ4	АТ5
30	4	3; 5	4; 5
35	4	3; 5	1; 2; 5
40	4	3; 5	1; 3; 5
45	4	3; 5	1; 3; 5
50	4	3; 5	1; 3; 5
55	3; 4	3; 5	1; 3; 5
60	3; 4	3; 5	3; 5

Примечание. Указаны номера средств контроля и измерения по табл. 7.20.

7.22. Средства контроля отклонений от прямолинейности образующей конуса

Обозначение конуса	Калибры по ГОСТ 20305–94			Конусы инструмента по ГОСТ 15945–82 степеней точности		
	степеней точности		Контр-калибры	АТЗ	АТ4	АТ5
	АТ4 и АТ5	АТ6 и АТ7				
30	—	7	—	—	—	7
35	6	6; 7	6	6	6	6; 7
40	6	6; 7	6	6	6	6; 7
45	6	6; 7	6	6	6	6; 7
50	6	6; 7	6	6	6; 7	6; 7
55	—	6; 7	—	—	6; 7	6; 7
60	—	7	7	—	7	6; 7

Примечание. Указаны номера средств контроля по табл. 7.20.

7.23. Средства контроля круглости

Объекты измерения	Модели кругломеров		
	255 (289)	256	258
Конусы инструмента по ГОСТ 15945–82 при общей длине инструмента, мм:			
до 400	+	+	+
до 1300	—	+	+
св. 1300	—	—	+

Отклонения угла наружных конусов калибров и вспомогательного инструмента могут измеряться на синусных линейках.

На синусных линейках $L = 200$ мм кл. 1, используемых совместно с концевыми мерами длины кл. 2, поверочной плитой кл. 0 и

пружинной отсчетной головкой с ценой деления 0,001 мм (1ИПМ или 1ИГПВ), могут контролироваться наружные конусы № 30, 35, 40 степени точности АТ5 и грубее, в том числе, калибры-пробки для степеней точности АТ6 и АТ7 и наружные конусы № 45–60 степеней точности АТ6 и АТ7.

Точность измерения может быть повышена при использовании синусных линеек $L = 300$ мм кл. 1 и пружинных отсчетных головок с ценой деления 0,0005 мм (05ИПМ или 05ИГПВ). При этом могут контролироваться наружные конусы степени точности АТ4 и грубее.

Дальнейшее повышение точности достигается при настройке синусной линейки $L = 300$ мм не по концевым мерам, а по установочной мере в виде конуса. При наличии установочной меры на одну степень точнее проверяемого конуса, можно контролировать наружные конусы № 50–60 степени точности АТ3 и грубее и контркалибры для конусов № 40–60. Поскольку при этом синусная линейка и концевые меры играют роль только установочного узла, требования к их точности могут быть снижены.

Достижимые значения предельных погрешностей измерения конусов конусностью 7:24 на синусной линейке указанными выше способами приведены в табл. 7.24.

Для контроля угла и прямолинейности наружных и внутренних конических поверхностей предназначен прибор мод. БВ-6084 (рис. 7.17).

Прибор состоит из гранитного основания, по которому перемещается стол. На столе установлена синусная линейка (см. табл. 7.20, № 3), на ней рабочий стол с призмой. На стойке, прикрепленной к основанию, установлена каретка, несущая измерительный рычаг и отсчетное устройство.

Контролируемая деталь устанавливается в призму. К нижней образующей конуса подводят измерительный наконечник. Поперечным перемещением призмы находят наивысшую точку, контактирующую с измерительным наконечником сначала в одном, потом в другом крайних сечениях, совмещая, таким образом, образующую конуса с плоскостью измерения.

Поворачивая рабочий стол и контролируя его по двум крайним точкам, выставляют образующую конуса параллельно направляющим стола. Такая установка исключает влияние поверхностей, используемых для закрепления детали, на точность измерения. При перемещении стола отсчетное устройство показывает отклонение от прямолинейности образующей контролируемой детали.

Для измерения угла синусный стол поворачивают на угол, равный номинальному углу контролируемой детали. К верхней образующей подводят измерительный наконечник и проверяют ее положение. Разность показаний отсчетного устройства в двух крайних точках показывает отклонение контролируемого угла от номинального значения.

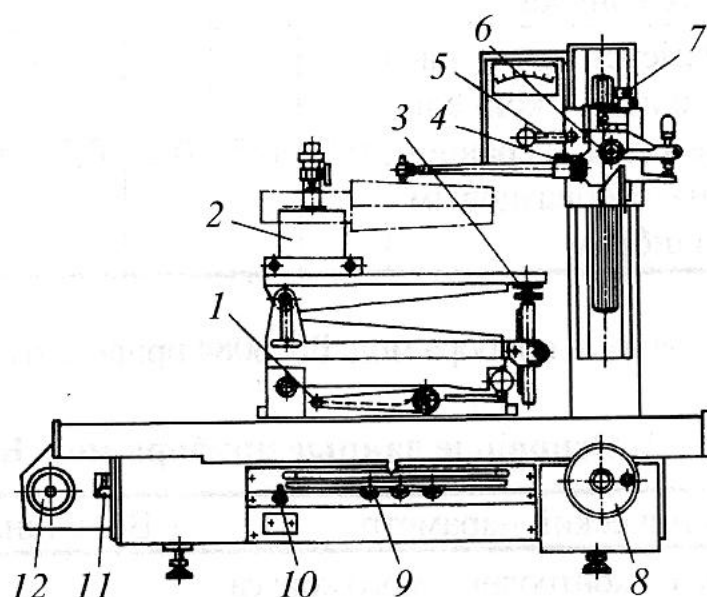


Рис. 7.17. Устройство прибора мод. БВ-6084

1 – рукоятка для поворота синусной линейки; 2 – призма для базирования контролируемой детали; 3 – винт установочный; 4 – винт фиксации измерительного рычага; 5 – ручка для фиксации положения измерительного устройства; 6 – барабан для переключения измерительного усилия; 7 – винт тонкой настройки измерительного устройства; 8 – маховик привода измерительного устройства; 9 – кнопки для включения и отключения электропривода; 10 – тумблер для подключения электропривода; 11 – ручка для переключения скоростей привода; 12 – маховик ручного привода стола

7.24. Достижимые значения предельных погрешностей измерения конусов 7:24 на синусной линейке

Обозначение по табл. 7.20	Метод измерения	Обозначение конуса						
		30	35	40	45	50	55	60
		Предельные погрешности измерения, мкм						
2	Абсолютные измерения наружных конусов	2,0	2,0	2,5	3,0	3,0	4,0	5,0
3	Абсолютные измерения наружных конусов	0,7	1,0	1,0	1,2	1,5	2,0	2,5
7	Измерения наружных конусов методом сравнения с образцовым калибром	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7

Основные данные прибора мод. БВ-6084 приведены в табл. 7.25.

7.25. Основные данные прибора мод. БВ-6084

Технический параметр	Величина параметра
Наибольший угол контролируемого конуса, °	22
Наибольшая длина образующего конуса, мм	200
Погрешность измерения, мкм:	
разности диаметров	не более 1
прямолинейности (на длине 200 мм)	0,5
Максимальный ход стола, мм	270
Напряжение питающей сети, В	220
Потребляемая мощность, кВт	0,50
Расстояние между роликами синусной линейки, мм	300

Окончание табл. 7.25

Технический параметр	Величина параметра
Отсчетное устройство	Электронная измерительная система модели 214
Пределы измерения, мкм	± 3 ; ± 6 ; ± 15 ; ± 30 ; ± 60
Цена деления, мкм	0,1; 0,2; 0,5; 1; 2
Габариты, мм	950×390×710
Масса, кг	140

Достижимые значения предельных погрешностей измерения отклонений угла конуса на приборе мод. БВ-6084 приведены в табл. 7.26.

Приборы пневматические для измерения отклонений угла наружного конуса мод. БВ-7310 предназначены для контроля конических поверхностей с конусностью 7:24 № 35, 40, 45, 50, 55 по ГОСТ 15945–82 (рис. 7.18 и табл. 7.27).

В состав прибора модели БВ-7310 входят: калибр-втулка, установочная мера (пробка); в качестве отсчетного устройства используется прибор мод. 318.

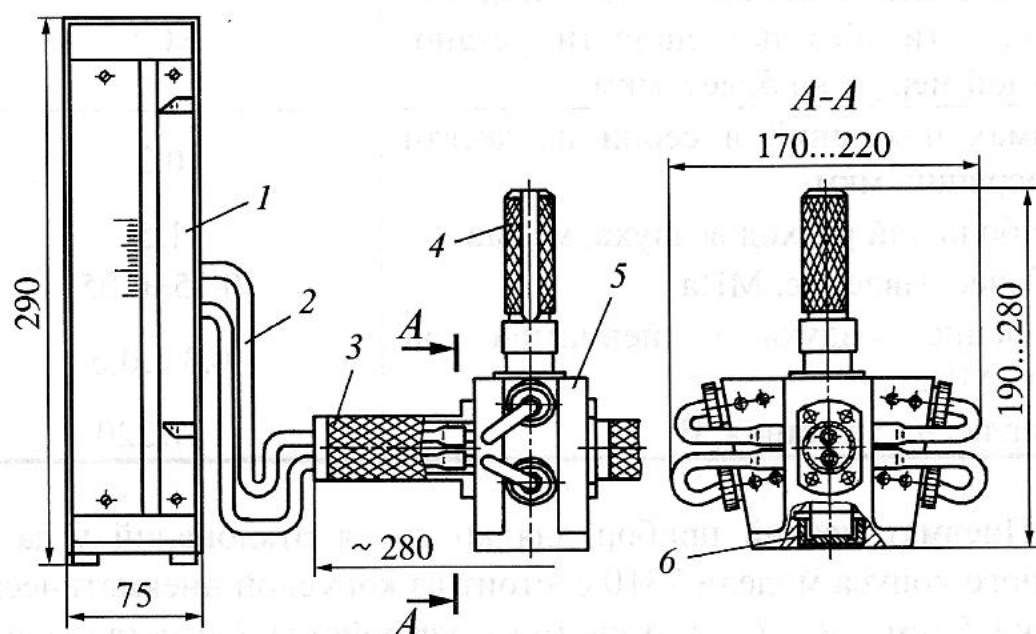


Рис. 7.18. Прибор мод. БВ-7310

7.26. Предельные погрешности измерения

Вид измерения	Обозначение конуса						
	30	35	40	45	50	55	60
	Предельные погрешности, мкм						
Десятикратное измерение наружных конусов	0,3	0,3	0,3	0,3	0,4	0,5	0,5
Трехкратное измерение наружных конусов	0,5	0,5	0,5	0,5	0,6	0,8	0,8
Десятикратное измерение внутренних конусов	0,5	0,5	0,8	0,8	1,0	1,2	1,5
Трехкратное измерение внутренних конусов	1,0	1,0	1,2	1,2	1,5	1,8	2,0

7.27. Основные данные прибора мод. БВ-7310

Технический параметр	Величина параметра
Диапазон показаний, мкм	± 10
Цена деления, мкм	0,2
Предел допускаемой абсолютной погрешности (без погрешности установочной меры), не более, мкм	$\pm 0,5$
Размах показаний в серии из десяти измерений, мкм	0,2
Наибольший расход воздуха, м ³ /час	1,5
Рабочее давление, МПа	$0,15 \pm 0,05$
Давление воздуха в пневматической сети, МПа	0,3...0,6
Напряжение питания, В	127/220

Пневматический прибор для контроля отклонений угла наружного конуса модели 7310 состоит из конусной пневматической втулки 5 (см. рис. 7.17), отсчетного устройства 1 и установочной меры 4.

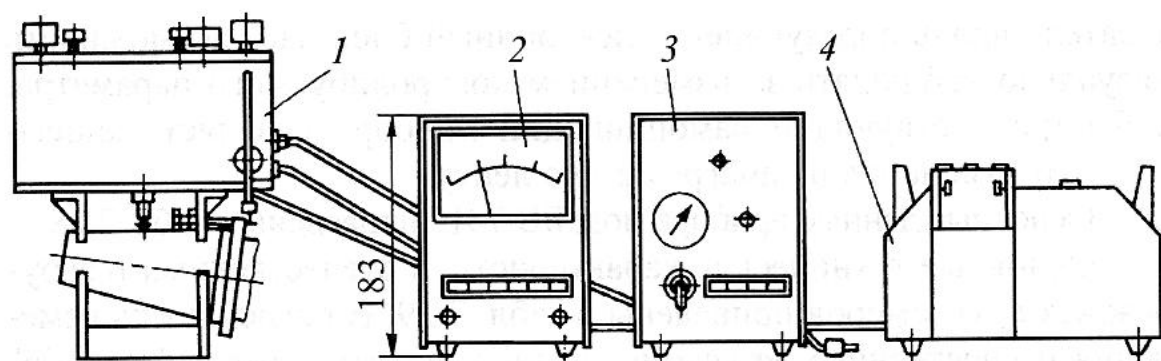


Рис. 7.19. Прибор мод. БВ-7312

Вдоль оси калибра-втулки расположены две пары измерительных регулируемых сопел 3, которые максимально приближены к наибольшему и наименьшему диаметрам конической поверхности.

При контроле конусности контролируемая деталь базируется либо своей конусной поверхностью, либо измерение производится с помощью специальной детали-упора 6, на которую опирается контролируемая деталь и которая жестко связана с калибром-втулкой. В этом случае между калибром и контролируемой поверхностью будет зазор. Калибр-втулка присоединяется к отсчетному устройству по дифференциальной схеме при помощи поливинилхлоридных трубок 2. По шкале отсчетного устройства отсчитывается разность диаметров конуса в двух диаметральных сечениях, проходящих через оси сопел калибра-втулки.

Для контроля непрямолинейности образующих наружных конических поверхностей, в том числе конусов № 35, 40, 50 и 55 вспомогательного инструмента для станков с ЧПУ, предназначен прибор мод. БВ-7312.

Применение специальных базирующих призм и опорных стержней позволяет использовать прибор как накладной для измерения непрямолинейности образующих различных конических и цилиндрических поверхностей деталей, а также непрямолинейности плоских деталей. Принцип измерения контактный, индуктивный.

Прибор БВ-7312 (рис. 7.19) состоит из измерительного устройства 1, электронного блока 2, самопишущего быстродействующего прибора 4 и блока питания 3. Измерительное устройство с аэростатической направляющей позволяет получить образцовое прямолинейное перемещение наконечника индуктивного преобра-

зователя вдоль образующей. Электронный блок дает возможность визуально наблюдать за изменением контролируемого параметра, а быстродействующий самопишущий прибор позволяет записывать эти изменения на диаграммную ленту.

Основные данные прибора мод. БВ-7312 приведены в табл. 7.28.

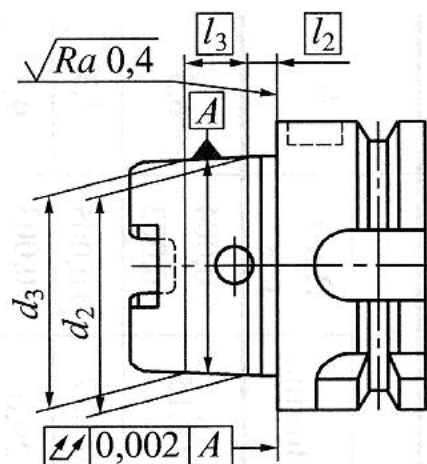
Основные технические характеристики отечественных и зарубежных кругломеров приведены в табл. 7.29. В погрешность измерения отечественных кругломеров производства завода "Калибр" мод. 255, 256 и 258 входит дополнительная погрешность в процентах от величины некруглости. Погрешность кругломеров "Talyrond" фирмы Rank Taylor Hobson (Великобритания) указана одной цифрой и соответствует погрешности прибора при проверке его по образцовой сфере на высоте 25,4 мм от поверхности стола при использовании щупа с $l = 62,5$ мм.

Контроль точности конуса хвостовика HSK по ГОСТ Р 51547–2000 заключается в измерении линейных размеров d_2 , d_3 (рис. 7.20).

7.28. Основные данные прибора мод. БВ-7312

Технический параметр	Величина параметра
Длина образующей конуса, контролируемая прибором, мм:	
без подставки	100
с подставкой	130
Диапазон измерений, мкм	$\pm 3; \pm 6$
Цена деления шкалы, мкм	0,1; 0,2
Допускаемая погрешность при длине образующих, мкм:	
до 100 мм	не более 0,2
до 130 мм	не более 1
Измерительное усилие, Н	$0,025 \pm 0,002$
Масса, кг	30

Рис. 7. 20. Контролируемые наружные размеры, допуски и требования к шероховатости поверхности хвостовика HSK



7.29. Основные технические характеристики кругломеров

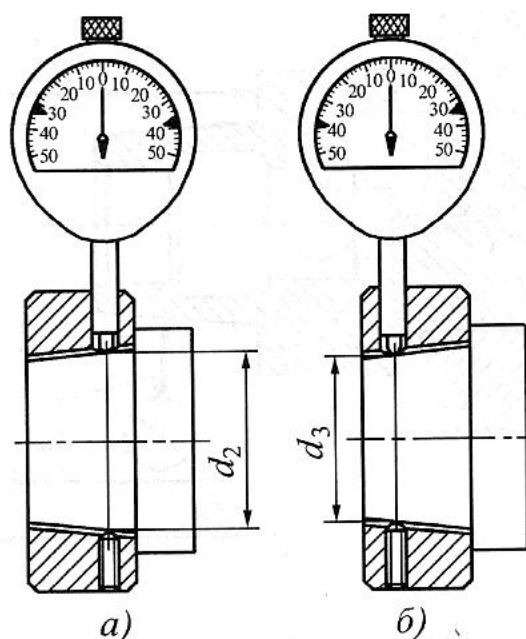
Обозначение кругломера	Пределы измеряемых отклонений, мм	Масштаб увеличения	Погрешность измерения, мкм	Параметр проверяемого изделия		
				наружный диаметр, мм	высота, мм (не более)	масса, кг (не более)
Модель 255(289)	0...200	125:1...20 000:1	0,05±3 %	0,5...350	400	80
Модель 256	0...200	125:1...10 000:1	0,12±5 %	1...350	800; 1300	450
Модель 258	0...50	500:1...10 000:1	0,12±5 %	20...350	1500	300
"Talyrond" mod.51	0...200	50:1...20 000:1	0,025	до 355	254	68
"Talyrond" mod. 2	0...50	50:1...10 000:1	0,025	до 355	1270	450
"Talyrond" mod. 3	0...200	100:1...20 000:1	0,025	до 355	1270	450
"Talyrond" mod. 73	0...200	100:1...200 000:1	0,005	до 355	406	68

Размеры l_1 и l_2 являются координирующими и устанавливают сечения, в которых измеряются предельные отклонения от номинальных значений диаметров d_2 и d_3 (табл. 7.30).

7.30. Основные размеры полых хвостовиков, мм

Обозначения HSK						d_2		l_2	d_3		l_3
						Номин.	Пред. откл.		Номин.	Пред. откл.	
—	—	—	—	25E	—	19	+0,006 +0,004	2,5	18,15	+0,004 +0,002	6,5
32A	40B	32C	40D	32E	—	24	+0,007	3,2	23,27	+0,005	7,3
40A	50B	40C	50D	40E	50F	30	+0,005	4,0	29,05	+0,003	9,5
50A	63B	50C	63D	50E	63F	38	+0,009 +0,006	5,0	36,90	+0,006 +0,003	11,0
63A	80B	63C	80D	63E	80F	48	+0,011 +0,007	6,3	46,53	+0,007 +0,003	14,7
80A	100B	80C	100D	—	—	60	+0,013 +0,008	8,0	58,10	+0,008 +0,003	19,0
100A	125B	100C	125D	—	—	75	+0,015 +0,009	10,0	72,60	+0,009 +0,003	24,0
125A	160B	125C	160D	—	—	95	+0,018	12,5	91,95	+0,011	32,5
160A	—	160C	—	—	—	120	+0,011	16,0	116,00	+0,004	40,0

Рис. 7.21. Схема измерений предельных отклонений:
 а – диаметра d_2 ; б – диаметра d_3



В заводских условиях контроль хвостовиков HSK осуществляют с помощью наборов калибров-колец с установленными микротрами часового типа и поверочным калибром-пробкой по схеме измерений, показанной на рис. 7.21.

Контроль точности формы поперечного сечения (допуск круглости) и прямолинейности образующей может выполняться выборочно для контроля процесса изготовления конуса на тех же приборах, что используются для конусов 7:24 и описаны выше.

Допуск полного биения торца относительно фланца хвостовика базовой оси конуса является суммарным допуском формы и расположения и назначен для обеспечения требований плоскостности торца и его перпендикулярности относительно оси конуса. Эти требования направлены на обеспечение наилучшего контакта хвостовика инструмента с торцовыми поверхностями шпинделей станков.

Контроль этого допуска предусматривает определение разности наибольшего и наименьшего расстояния от точек всей торцовой поверхности до плоскости, перпендикулярной базовой оси. Схема измерения полного торцового биения предусматривает воспроизведение в пространстве положения базовой оси и последовательное измерение (сканирование) точек торцовой поверхности в направлении, параллельном базовой оси. За результат измерения принимается максимальная разность (размах) значений положений точек поверхности, т.е. расстояние между двумя точками.

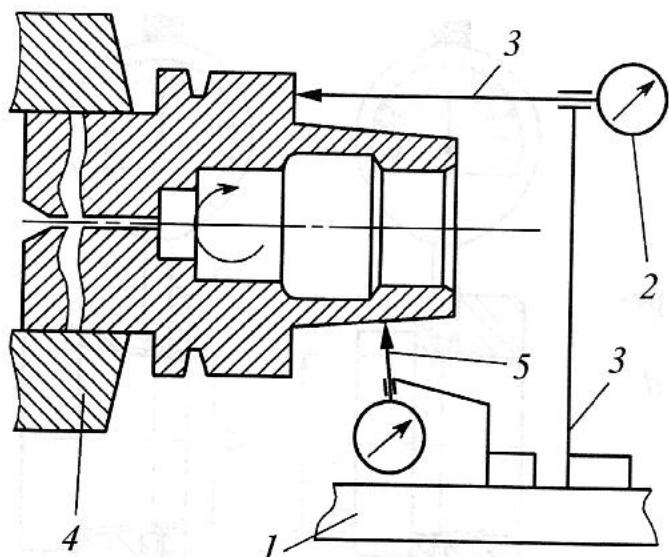


Рис. 7.22. Схема измерения точности хвостовика на станке:

- 1 – станина; 2 – измерительная головка; 3 – штатив;
4 – патрон станка;
5 – измерительное устройство для измерения биения конической поверхности

Осложнением для контроля данного допуска является требование ГОСТ Р 51547–2000 "выпуклость не допускается" и наличие на торце отверстий. Еще одним фактором, снижающим контролепригодность параметра, является незначительная ширина торца (от 4 до 20 мм в зависимости от типоразмера хвостовика) и ограниченность доступа к торцу.

Если осуществлять обработку конической части и торца хвостовика "за один установ" на прецизионных круглошлифовальных станках, то в этом случае целесообразно обеспечить точность формы и расположения торца технологически, а контроль технологического процесса проводить по обработанной детали, не снимая ее со станка (рис. 7.22).

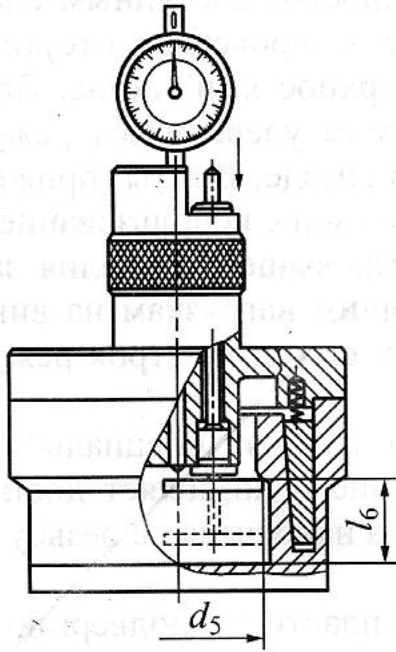
С этой целью на станке может устанавливаться измерительная головка (например, микатор с ценой деления 0,5 мкм) на жестком штативе. Инструмент с хвостовиком, установленный в патроне станка, проворачивается вручную на полный оборот. При этом точность вращения шпинделя (не более 1 мкм для прецизионного станка) и отсутствие погрешности базирования позволяют точно воспроизвести положение в пространстве базовой оси хвостовика. Одновременно целесообразно изменять биение конической части хвостовика в направлении, перпендикулярном к базису конуса.

Для объективного контроля допуска формы и расположения торца необходимы схемы контроля, основанные на применении специальных средств измерения.

Измерение суммарного отклонения формы и расположения торца относительно оси конуса можно также выполнять на координатно-измерительной машине (КИМ). Типовой набор процедур для КИМ включает в себя определение положения в пространстве базовой оси конуса, положения прилегающей плоскости торца и отклонения от перпендикулярности прилегающей плоскости к базовой оси.

Для обеспечения надежности автоматического закрепления хвостовиков HSK в шпинделе необходимо контролировать расстояние l_6 от торца фланца хвостовика до фаски под углом 30° на диаметре d_5 во внутренней канавке (табл. 7.31), предназначенной для размещения захватных кулачков зажимного устройства станка.

7.31. Контролируемые размеры в канавке для кулачков, мм

	Основной размер хвостовиков HSK	l_6 (js10)	d_5 (H11)
	25	7,21	15
	32	8,92	19
	40	11,42	23
	50	14,13	29
	63	18,13	37
	80	22,85	46
	100	28,56	58
	125	36,27	73
	160	45,98	92

7.3. СБОРКА, НАСТРОЙКА И БАЛАНСИРОВКА ИНСТРУМЕНТА

Современный режущий инструмент, в основном, не требует специального обслуживания. При своевременном повороте и смене режущих пластин токарный, фрезерный и сверлильный инструмент надежно работает долгое время. Переточка инструмента и

размерная настройка требуются все меньше. Стойкость инструмента предсказуема и контролируема в большинстве операций, более того, меньшим количеством инструмента возможно выполнить большее количество задач, чем прежде. Систематизация оснастки позволяет переналаживать инструмент и настраивать его вне станка, снижая таким образом простой.

Выработано *несколько главных требований к обслуживанию инструмента*. Они направлены на то, чтобы процесс обработки был безопасным, инструмент служил дольше и обеспечивал требуемое качество обработки. Выполнение этих требований повышает надежность работы инструмента. Это обеспечивает высокий уровень производительности и низкую себестоимость обработки.

Чтобы режущая пластина была закреплена надежно, гнездо и опорная пластина не должны иметь загрязнений. Твердые частицы, грязь и стружка удаляются из гнезда любым доступным способом. Когда режущие пластины установлены, проверяют отсутствие зазоров между ними и опорными поверхностями гнезда. При закреплении винтом, рычагом или прижимом удерживают режущую пластину в правильном положении в гнезде. Винты, прижимы и рычаги закрепляют с требуемым усилием и с использованием соответствующих ключей или отверток. Превышение усилия зажима приводит к чрезмерным растягивающим нагрузкам на винты, а недостаточное усилие может вызвать выход из строя режущей пластины.

Перед сборкой на крепежные винты наносят специальную смазку, которая предупреждает заклинивание и позволяет достигать требуемого усилия закрепления. Смазка наносится на резьбу и на головку винта.

Винты, которые закрепляют режущие пластины, подвергаются высоким механическим и температурным нагрузкам. От этого небольшого, но важного элемента зависит очень много. Поэтому для закрепления пластин используют винты без повреждений. Если винт имеет какие-либо видимые повреждения, он должен быть заменен. Винт с повреждениями или растянутый винт не сможет надежно закрепить пластину, что приведет к вибрациям и выкрашиванию режущей кромки.

Обычно ключи поставляются вместе с инструментом. Эти ключи полностью соответствуют требованиям к сборке данного

инструмента. Некоторые отвертки и ключи имеют особые ручки, которые не позволяют превысить требуемый крутящий момент.

На складе должны присутствовать только те инструменты, которые часто используются в производстве и действительно необходимы. Каталоги должны содержать полную программу инструмента, которая используется при обработке различных деталей.

Весь инструмент, поступающий со станков, центрального инструментального склада и из заточного отделения учитывается, контролируется и складывается в определенном порядке. Для складирования инструмента используются шкафы или стеллажи, оснащенные ложементами под определенный размер хвостовика. Использование ложементов обязывает оператора после разборки инструмента производить его сортировку по размерам и складировать в строго определенных местах.

Емкость инструментального склада рассчитывается из сложившегося заполнения инструментальных магазинов станков и должна иметь 3-кратный запас (1 комплект в работе на станках, 1 комплект разобран, находится в переточке и контролируется, 1 комплект настраивается на размер и готовится к работе).

Транспортировка собранного и настроенного на размер инструмента к станкам, а также инструмента от станков на участок производится специальными тележками, оснащенными аналогичными ложементами, исключающими соприкосновение инструментов между собой.

Эти меры позволяют избежать случайных ударов и сколов режущих кромок инструментов. Сборку инструмента производят на верстаке, столешница которого изготовлена из дерева и покрыта резиновым ковриком.

Для обеспечения точности при сборке и установке инструмента в шпиндель станка, периодически очищают конус хвостовика от пыли, грязи и налета высохшей СОЖ, которые напрессовываются на поверхность при неоднократных зажимах инструмента в конусе шпинделя станка. Для этого применяют специальные устройства с электрическими щетками, которые выполняют операцию очистки с минимальными затратами времени.

Сборка производится в тисках и специальных монтажных приспособлениях. Для сборки модульного инструмента фирмы

Sandvik Coromant с соединением "Capto" необходимо наличие специального монтажного приспособления с набором монтажных скоб и втулок.

Для закрепления инструмента в патронах с "термозажимом" обязательно должно быть организовано специальное рабочее место с холодильником для быстрого охлаждения инструмента.

При сборке вспомогательного агрегатированного инструмента контроль его длины, как правило, не производится и осуществляется предварительная, достаточно грубая сборка. В дальнейшем, если нельзя заранее точно настроить инструмент на размер по длине (например, в патронах с "термозажимом", на оправках и т.п.), то необходимо измерять фактический размер вылета инструмента от торца шпинделя и затем вводить коррективы в программу обработки. Расточные оправки обязательно настраиваются на диаметр обработки предварительно с точностью до 1 мкм, в противном случае, приходится настраиваться на размер обработки методом «пробных стружек» с вероятностью получения неисправимого брака. Такие методы на станках с ЧПУ не приемлемы, поэтому необходимо оснащение производства приборами для размерной настройки инструмента.

В России для настройки инструмента на размер разработаны приборы мод. БВ-2027 для инструмента с конусами 7:24 и прибор мод. БВ-2026 для токарных станков.

Предварительная настройка инструмента вне станка обеспечивает значительное сокращение его простоев благодаря совмещению подготовительно-заключительного времени, затрачиваемого на переналадку станка, и вспомогательного времени, затрачиваемого на замену и поднастройку инструмента, с временем работы станка. Предварительная настройка инструмента проводится независимо от конкретной программы. Для этого регламентируются координатные размеры вершин режущей кромки инструмента. Приборы для предварительной настройки инструмента к станкам с ЧПУ, по сравнению со специальными приспособлениями для настройки инструментов на агрегатных станках и станках-автоматах, должны обладать большей универсальностью и гибкостью, т.е. возможностью быстрой переналадки для настройки различных инструментов.

Станки с ЧПУ являются высокоточными автоматизированными станками. Основной предпосылкой, обеспечивающей достижимую точность обработки на этих станках, является точность предварительной настройки инструмента. Следовательно, приборы для предварительной настройки инструмента должны обеспечивать высокую точность настройки инструментов на размер по одной или нескольким координатам. С этой целью базирующие элементы приспособлений должны строго соответствовать базирующим элементам станков, предназначенным для установки вспомогательного инструмента.

Прибор (рис. 7.23) предназначен для предварительной установки в двух горизонтальных координатах как резцов в инструментальных блоках станков токарной группы, так и вращающегося инструмента в оправках и на борштангах станков сверлильной и расточной группы. Прибор состоит из ступенчатой станины 1, на плоскости нижней ступени которой имеются Т-образные пазы для установки переходников-адаптеров (имитирующих базирующие поверхности станков токарной группы для установки инструментальных блоков) или шпиндельной бабки 2 для установки борштанг. На верхней поверхности станины находятся нижняя 3 и верхняя 4 каретки, перемещающиеся соответственно в продольном

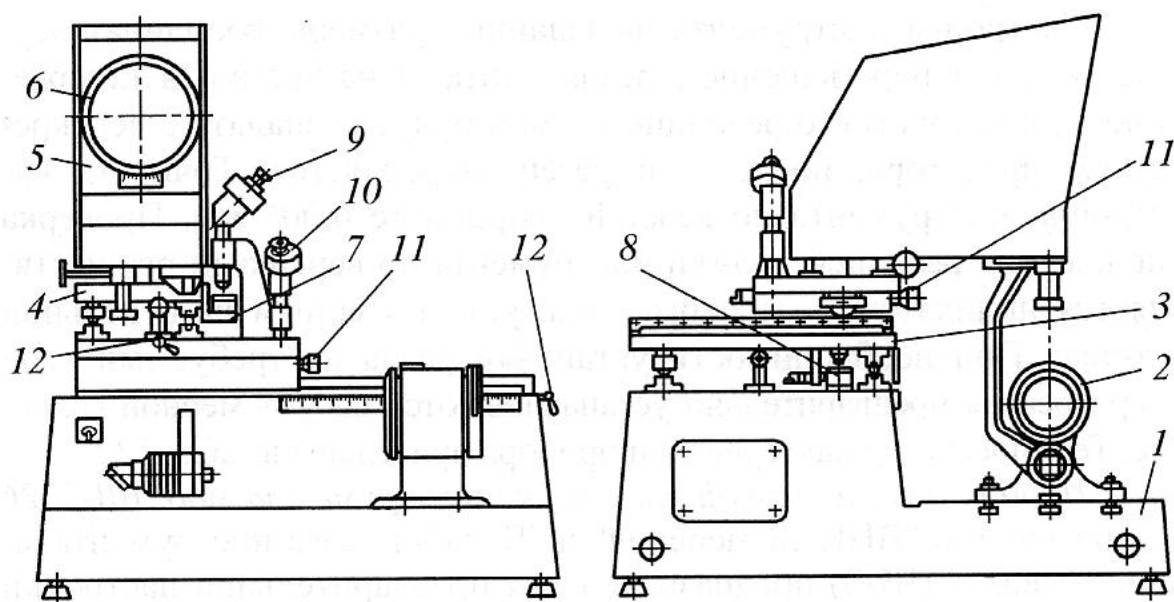


Рис. 7.23. Прибор для размерной настройки инструментальных блоков токарных станков

и поперечном направлениях. На верхней каретке установлено визирное устройство 5, выполненное в виде проекционного микроскопа. На поворотном экране 6 проектора имеется штриховое перекрестие.

Для установки инструментальных блоков на поверхности прибора устанавливают сменные переходники-адаптеры. Установка адаптера по двум координатам относительно нулевых точек системы отсчета производится по контрольному шаблону, имитирующему две грани резца с определенными размерами относительно базовых поверхностей шаблона. Каретки с проектором устанавливают на координаты, соответствующие размерам контрольного шаблона. Адаптер с шаблоном устанавливается и закрепляется на станине прибора таким образом, чтобы грани шаблона совпали с перекрестием проектора. Затем калибр снимается с адаптера, и проектор настраивается на размер инструмента согласно координатам, указанным в карте наладки. Предварительная установка проектора на заданные координаты осуществляется перемещением каретки по оптическим шкалам 7 и 8 стеклянных линеек и отсчетным микроскопам 9 и 10. Точная установка проектора осуществляется микрометрическими винтами 11. После установки проектора на заданные координаты положение кареток фиксируется стопорными винтами 12.

Настройка инструмента на заданные размеры координат осуществляется перемещением резца винтами настройки в положение, при котором его режущие кромки будут совпадать с перекрестием проектора, после чего резец закрепляется. Точность настройки инструмента по каждой координате 0,005 мм. Проверка положения режущей кромки инструмента по вертикали осуществляется индикатором часового типа, установленным на отдельной стойке. При необходимости установки резца на требуемый угол перекрестия предварительно устанавливаются по угломерной головке. Технические характеристики прибора приведены в табл. 7.32.

Прибор для размерной настройки инструмента мод. БВ-2026 (конструкции "ВНИИИзмерения" и "Челябинского инструментального завода" (ЧИЗ) предназначен для предварительной настройки режущего инструмента и инструментальных блоков для станков с ЧПУ токарной группы. Установка продольных и поперечных ко-

ординат производится по устройству цифровой индикации, визи-рование режущей кромки инструмента – по проектору. Каретка перемещается на шариковых направляющих. Для точной установки координат каретки имеют микроподачи. Технические характеристики прибора приведены в табл. 7.33.

На приборах для размерной настройки инструмента с конусами 7:24 для станков с ЧПУ сверлильно-расточной и фрезерной групп (рис. 7.24) установка координат может производиться по шкалам и отсчетным микроскопам.

Фиксация положения режущей кромки инструмента производится по визирному микроскопу. Прибор позволяет также устанавливать диаметр по индикатору.

7.32. Технические характеристики прибора для настройки резцов (см. рис. 7.23)

Параметр	Величина
Увеличение проектора, раз	30
Линейное поле зрения объектива проектора, мм	6,5
Рабочий участок экрана проектора, мм	200
Расстояние от базовой плоскости основания до режущей кромки инструмента, мм	200 ± 2
Расстояние от режущей кромки инструмента до оправы объектива проектора, мм	80 ± 2
Рабочее перемещение кареток, мм:	
продольное	300
поперечное	200
Предел допускаемой погрешности установки координат, мм:	
поперечной	0,015
продольной	0,015
Цена деления и шаг дискретности, мм	0,001
Габаритные размеры, мм	700×970×960

7.33. Технические характеристики прибора мод. БВ-2026

Параметр	Величина
Рабочее перемещение кареток, мм:	
поперечное	200
продольное	300
Увеличение проектора, раз	30
Цена деления и шаг дискретности, мм	0,001
Предел допускаемой погрешности установки координат, мм:	
поперечной	0,020
продольной	0,025
Линейное поле зрения проектора в плоскости предмета, мм	6,5
Расстояние от режущей кромки инструмента до оправы объектива проектора, мм	80±2
Расстояние от базовой плоскости основания до режущей кромки инструмента, мм	200±2
Габаритные размеры, мм	1230×970×1500

Устройство имеет три исполнения с отсчетными микроскопами и отсчетными навесными устройствами. Состоит из литого основания 1, в котором размещены шпиндель 4 и механизм грубого 11 и точного 12 перемещений вертикальной каретки. Фиксатор 3 исключает поворот шпинделя 4 во время затяжки инструмента маховиком 2. На верхней плоскости основания крепится стойка 9 с вертикальной 10 и горизонтальной 8 каретками. Вертикальная каретка перемещается по прямоугольным направляющим посредством ходового винта с шагом 4 мм. На вертикальной каретке находятся также прямоугольные направляющие, по которым перемещается горизонтальная каретка. Горизонтальная каретка предназначена для проверки и установки размера по диаметру. На горизонтальной каретке закреплено визирное устройство с микроскопом М-125, предназначенное для фиксации положения настраиваемого инструмента на заданный размер как по диаметру, так и по вылету. Шкала горизонтального размера визирующего устройства

также закреплена на горизонтальной каретке и снабжена индикатором 1-МИГ. Перемещение горизонтальной каретки осуществляется маховиком 14 посредством ходового винта с шагом 2 мм.

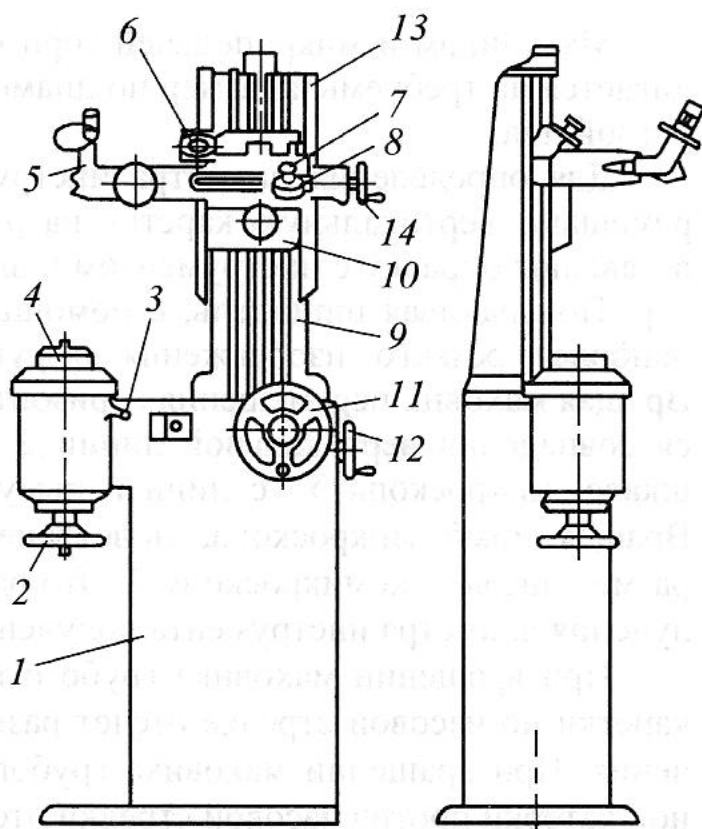
В качестве отсчетных устройств применены микроскопы: МОС-21 — для горизонтального отсчета; МО-В — для вертикального отсчета. Техническая характеристика прибора приведена в табл. 7.34.

Настройка инструмента с помощью прибора осуществляется следующим образом. Маховиком грубого перемещения 11 перемещают вертикальную каретку, ориентируясь по шкале линейки 13.

Устанавливают лимб микроскопа 6 на отметку "0". Маховиком 14 перемещают горизонтальную каретку в положение, когда отметка с цифрой "0" шкалы микроскопа 7 совместится с цифрой «0» шкалы линейки горизонтального отсчета.

Действительный размер вылета инструмента считывают со шкалы линейки 13 и с лимба микроскопа 6. Установка прибора на заданный размер по диаметру включает в себя два режима: установка прибора на заданный размер по диаметру и определение диаметра инструмента.

**Рис. 7.24. Прибор для
размерной настройки
инструмента**



7.34. Технические характеристики прибора для настройки инструмента с конусом 7:24 (см. рис. 7.24)

Параметр	Величина
Диаметр настраиваемого инструмента, мм	0...300
Вылет настраиваемого инструмента, мм	70...400
Увеличение визирного микроскопа, раз	30
Линейное поле зрения микроскопа, мм	7,0
Рабочее расстояние микроскопа, мм	60
Установка координат микроскопами:	
по диаметру	МОС-21
по вылету	МО-В
Цена деления индикатора, мм	0,001
Цена деления отсчетного устройства, мм:	
по диаметру	0,001
по вылету	0,01
Габаритные размеры, мм	740×440×530

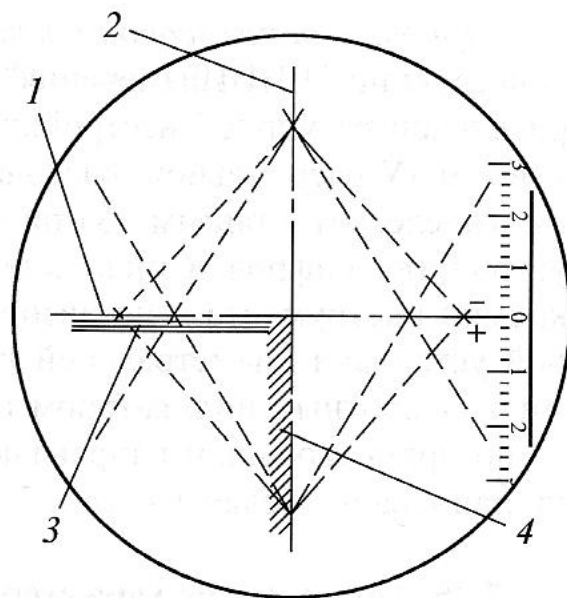
Маховиком и микроподачей горизонтальная каретка устанавливается на требуемый размер по диаметру с помощью отсчетного устройства.

Для определения диаметра инструмента предварительно перемещают вертикальную каретку на размер вылета инструмента, вставляют оправку с инструментом в шпиндель, ослабляют фиксатор. Поворачивая шпиндель, с помощью микроскопа добиваются наиболее резкого изображения режущей кромки инструмента. Вращая маховик перемещения горизонтальной каретки, добиваются совпадения вертикальной линии 2 (рис. 7.25), нанесенной на шкале микроскопа 5, с линией режущей кромки инструмента. Вращая лимб микроскопа, подстраивают прибор. Полученный размер читают по микроскопу 7. Это радиус инструмента. Для получения диаметра инструмента полученный размер удваивают.

При вращении маховика грубого перемещения вертикальной каретки по часовой стрелке отсчет размера идет в сторону увеличения. При вращении маховика грубого перемещения вертикальной каретки против часовой стрелки отсчет размера идет в сторону

Рис. 7.25. Шкала микроскопа:

- 1 – горизонтальная линия в окуляре микроскопа; 2 – вертикальная линия в окуляре микроскопа;
 3 – положение режущей кромки инструмента при настройке прибора на вылет инструмента;
 4 – положение режущей кромки инструмента при измерении диаметров инструмента



уменьшения. При вращении маховика точного перемещения вертикальной каретки на себя отсчетный размер увеличивается, при вращении от себя – уменьшается.

Установка прибора на заданный размер вылета осуществляется следующим образом. Маховиком грубого перемещения 11 устанавливают предварительный размер, пользуясь шкалой линейки 13. Затем с помощью маховика точного перемещения 12 устанавливают требуемый размер, пользуясь отсчетным устройством.

Для измерения действительного вылета инструмента маховиком грубого перемещения 11 перемещают вертикальную каретку на размер, приблизительно равный размеру вылета исследуемого инструмента. Вертикальная каретка в этом случае не мешает вставлять оправку с инструментом в шпиндель. После этого ослабляют фиксатор 3. Пользуясь микроскопом 5 визирного устройства и поворачивая шпиндель 4, добиваются такого положения инструмента, когда изображение режущей кромки инструмента, видимое в окуляр микроскопа, будет наиболее четким, а края режущей кромки будут видны наиболее резко. В этом положении наиболее резкого изображения фиксатором стопорят шпиндель. Маховиком 2 зажимают инструмент, а маховиком 12 точного перемещения вертикальной каретки добиваются совмещения горизонтальной линии 1 (см. рис. 7.25), видимой в окуляр микроскопа, с линией режущей кромки инструмента.

Прибор для размерной настройки инструмента мод. БВ-2027 конструкции "ВНИИИзмерения" и ЧИЗ предназначен для предварительной размерной настройки режущего инструмента для станков с ЧПУ сверлильной, расточной и фрезерной групп, а также к многоцелевым станкам. Установка координат производится по устройству цифровой индикации, фиксации положения режущей кромки инструмента – по визирному микроскопу. Для более точной установки диаметральной координаты прибор комплектуется многооборотным индикатором типа 1-МИГ. Каретки перемещаются по прямоугольным направляющим. Технические характеристики прибора приведены в табл. 7.35.

7.35. Технические характеристики прибора мод. БВ-2027

Параметр	Величина
Размеры настраиваемого инструмента, мм:	
по диаметру	0...300
по вылету	124...400
Шаг дискретности, мм	0,001
Цена деления индикатора 1-МИГ, мм	0,001
Увеличение микроскопа М-12, раз	30
Рабочее расстояние микроскопа М-12, мм	60
Погрешность установки координат, мм:	
по диаметру	0,015
по вылету	0,030
Габаритные размеры, мм	1450×500×1530

При настройке инструмента вне станка не обеспечивается высокая точность обработки заготовок вследствие наличия ряда погрешностей: настройки инструмента вне станка; установки инструмента; износа инструмента; геометрических погрешностей станка, а также погрешностей, вызванных тепловыми деформациями и деформациями технологической системы.

Производители предлагают широкий выбор приборов для размерной настройки инструмента, отличающихся степенью автоматизации.

Автоматизированные приборы имеют шпиндель повышенной точности с радиальным биением менее 2 мкм, при повторяемости положения инструментов в шпинделе в пределах 1 мкм. Приборы имеют пневматический зажим салазок для обеих осей, электронную тонкую настройку, кнопку управления одной рукой, сенсорную клавиатуру для проведения операций зажима и разжима инструмента. Телевизионная камера с самофокусирующимся объективом и программным обеспечением для измерений и настройки любых инструментов автоматически распознает формы режущих кромок и показывает режущую кромку на цветном мониторе 17" с 35-кратным увеличением.

По заказу в комплект прибора может быть включен принтер для распечатки результатов измерений.

Автоматизированная настройка инструмента непосредственно на станке путем измерения отклонения размеров инструмента с учетом погрешностей его установки позволяет передать в систему ЧПУ требуемые коррекции положения инструмента. При этом отпадает необходимость точной предварительной настройки инструмента на приборах, поскольку предварительная настройка необходима лишь в пределах нескольких миллиметров.

Для автоматического измерения инструмента непосредственно на станках применяют измерительные щупы-датчики касания (с дискретным сигналом). Датчики могут быть установлены на корпус передней бабки токарного станка (рис. 7.26, а), выполнены выдвижными, перемещаемыми в рабочую позицию на точных направлениях (рис. 7.26, б и в), либо откидными, установленными на откидном рычаге (рис. 7.26, г).

Перед началом работы станка измерительный щуп калибруется в автоматическом цикле посредством эталонного инструмента для определения действительного расстояния между точкой отсчета станка и щупом. После поворота револьверной головки перед началом обработки режущая кромка каждого резца по программе подводится к щупу датчика, для автоматического измерения в зоне обработки. Щуп посредством кабеля через интерфейс соединен с УЧПУ станка. В момент касания режущей кромки инструмента с щупом возникает электрический сигнал, воспринимаемый УЧПУ. Таким образом фиксируется фактическое положение режущей

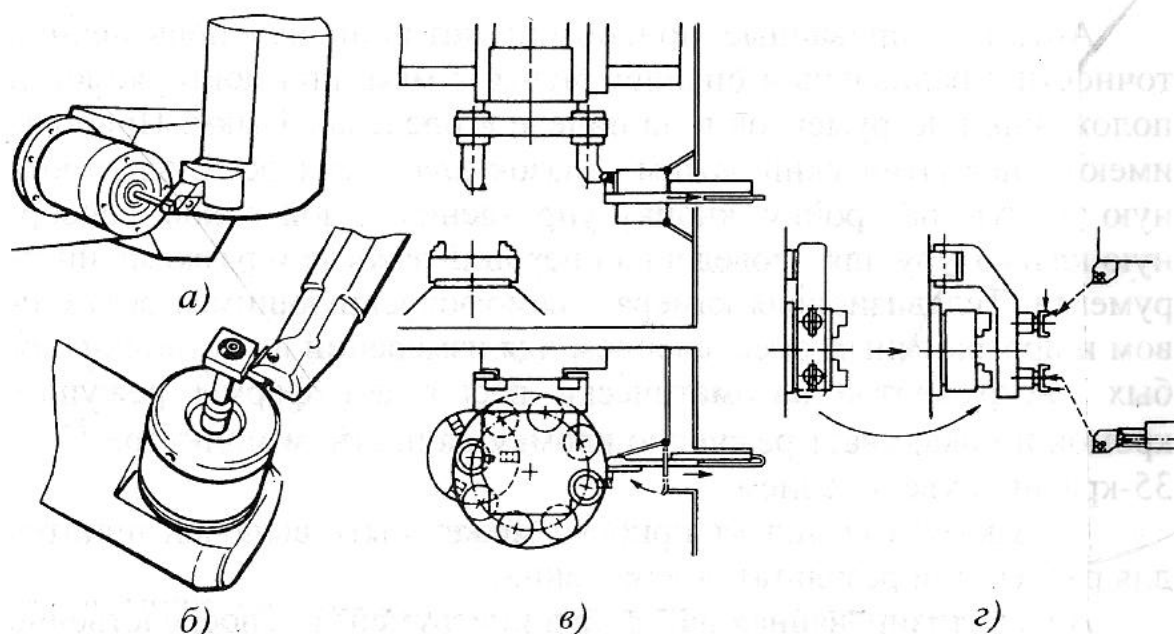


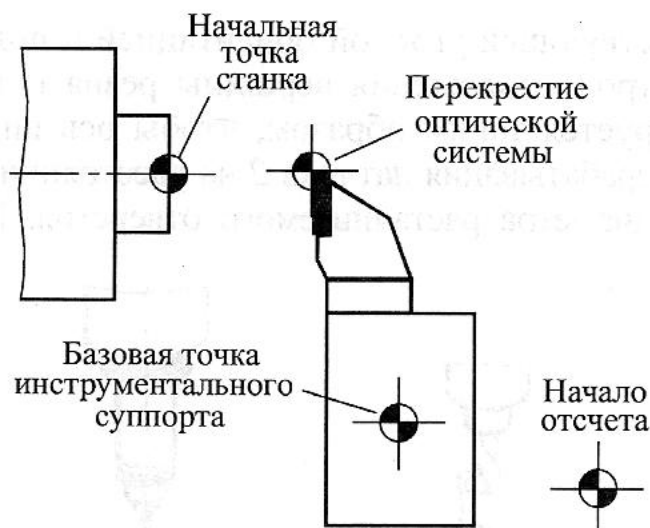
Рис. 7.26. Схемы установки датчиков касания на токарных станках

кромки инструмента, которое сопоставляется в УЧПУ с заданным в программе, после чего рассчитывается необходимая коррекция позиционирования режущей кромки инструмента. Повторное измерение инструмента позволяет вносить коррекцию его положения.

Для автоматической настройки инструмента на токарных станках может быть использован метод АТС (Automatic Tool Calculation) – метод автоматического расчета установочных размеров инструмента. При применении этого метода инструменты в revolverной головке токарного станка могут быть установлены произвольно.

С помощью электронного маховика инструменты revolverной головки последовательно устанавливаются под перекрестием расположенной в зоне работы инструментов оптической системы, которая находится в заданной точке координатной системы станка (рис. 7.27). Координаты перекрестия оптической системы в качестве параметра станка хранятся в памяти системы управления, что позволяет автоматически рассчитывать установочные размеры инструментов. Эти размеры передаются в систему управления для коррекции программы при определении траектории режущих кромок. Этот метод обеспечивает точность позиционирования 0,02 мм по диаметру.

Рис. 7.27. Схема автоматической настройки инструмента на токарных станках с ЧПУ



Для автоматической настройки инструмента на многооперационных станках измерительное устройство устанавливают на столе станка вне рабочей зоны. Перед началом обработки стол станка и шпиндельная бабка по программе выводятся в положение, при котором соответствующий режущий инструмент доводится до касания с щупом датчика измерительного устройства, выдающим сигнал, указывающий положение вершины режущей кромки относительно начала отсчета. Разность между фактическим положением режущей кромки и заданным положением определяет величину необходимой коррекции. Оценка полученной информации с помощью микропроцессора обеспечивает формирование корректирующего сигнала. Схема контроля положения режущей кромки сверла показана на рис. 7.28, а.

На рис. 7.28, б показана схема измерения длины сверла 1 посредством щупа 2 пневматической головки 3; на рис. 7.28, в — схема измерения длины вылета режущей кромки расточного резца 1 посредством щупов 3 и 2 пневматических головок 4. Щупы под давлением сжатого воздуха выдвинуты. При контактировании инструмента с щупом головки создают два точно повторяемых электрических сигнала, соответствующих допуску ± 1 мкм.

На рис. 7.29 показана схема автоматизации размерной настройки вершины резца расточной головки. На шпиндельной бабке 6 станка установлены привод 5 оправки 3 расточной головки 4 и привод 7 зажима оправки 3, а на столе 1 станка закреплен датчик 2. После установки расточного устройства в шпиндель 8 с соответ-

ствующей угловой ориентацией и подвода стола 1 в позицию контроля положения вершины резца шпиндельная бабка позиционируется таким образом, чтобы ось шпинделя находилась от точки срабатывания датчика 2 на расстоянии, равном половине требуемого диаметра растачиваемого отверстия. Приводы 5 и 7 обеспечивают

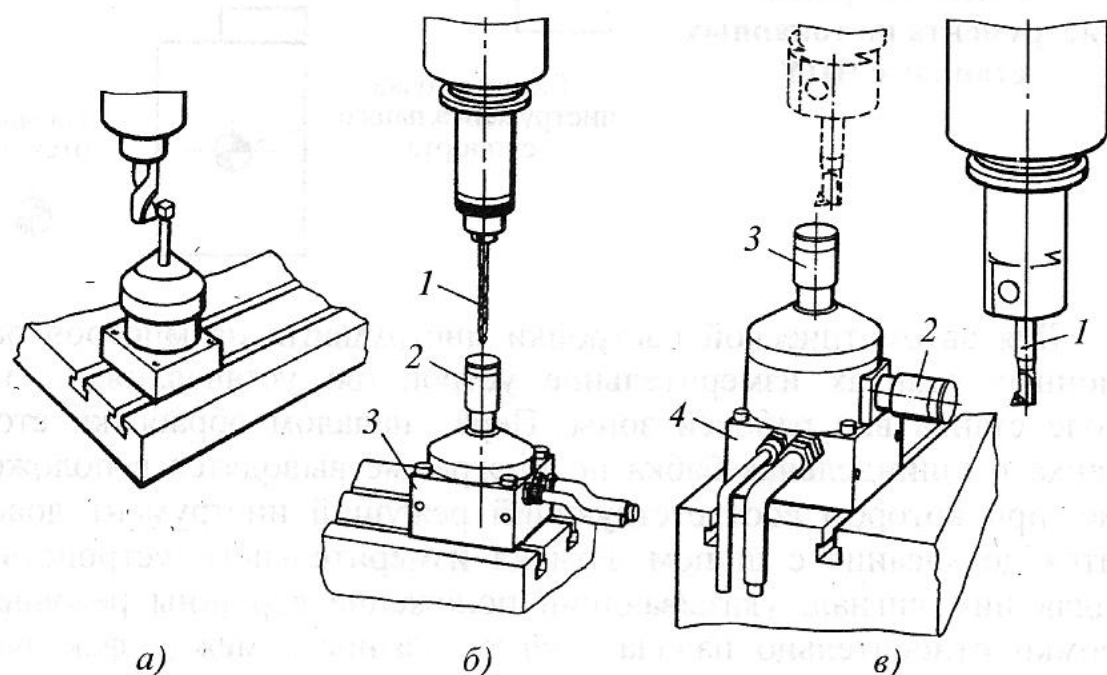


Рис. 7.28. Схемы установки датчиков касания на многооперационных станках

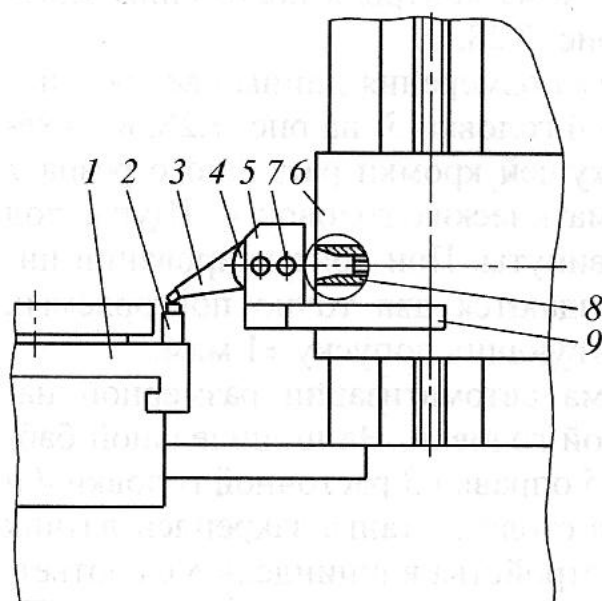


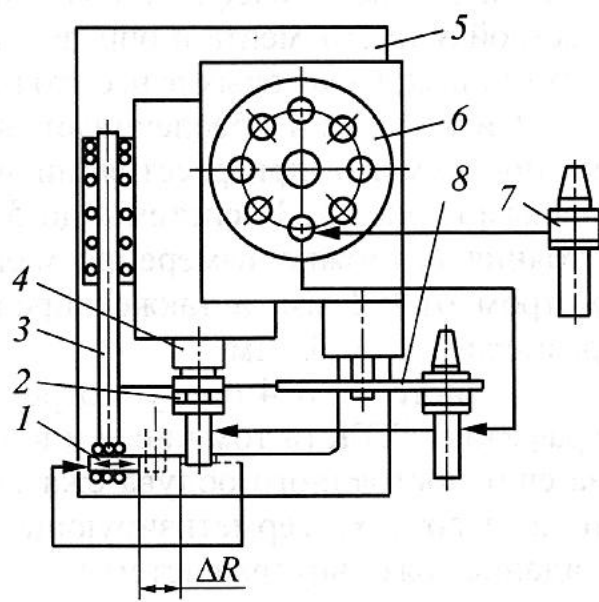
Рис. 7.29. Схема размерной настройки расточного инструмента на станке

разжим оправки 3 и ее радиальное перемещение. Вершина резца взаимодействует с датчиком 2, оправка 3 зажимается. Шпиндельная бабка и стол отводятся в позицию для обработки, приводы 5 и 7 отводятся приводом 9 из зоны резания и производится растачивание оправкой 3.

На рис. 7.30 показано устройство автоматического контроля радиального положения вершины резца. Расточная головка 7 из магазина 6 станка 5 посредством устройства 8 автоматической смены инструмента устанавливается в шпиндель 4 таким образом, что вершина резца ориентируется в радиальном суппорте 2 в направлении отсчетного устройства 1. Ползун 3, смонтированный на шпиндельной бабке, выдвигает отсчетное устройство 1 на величину ΔR , соответствующую вылету вершины резца расточной головки. Отсчетное устройство 1 может перемещаться под действием силы от движения вершины резца.

После указанной ориентации расточной головки отсчетное устройство 1 смещается до касания вершины резца, радиальный суппорт перемещается из одного предварительно установленного положения в другое, при этом под действием силы подачи перемещается и отсчетное устройство 1 до срабатывания смонтированного в нем датчика (например, фотоэлектронного), дающего команду на останов радиального суппорта в положении, соответствующем начальному диаметру в диапазоне работы расточного устройства. Затем отсчетное устройство 1 отводится из зоны обработки и про-

Рис. 7.30. Устройство автоматического контроля радиального положения вершины резца



изводится растачивание. При необходимости перехода на другой растачиваемый диаметр не требуется выдвижения отсчетного устройства – точность позиционирования вершины резца обеспечивается приводом перемещения радиального суппорта, стыкуемого с расточным устройством при установке последнего в шпиндель.

Для измерения координат режущего инструмента также используют лазерную технику. Принцип измерения состоит в следующем. Луч лазера, совмещенный с осью, проходящей через центр фотоэлемента, сфокусирован в общей точке пересечения; линза концентрирует на фотодетекторе луч, отраженный от детали. Фотоэлемент определяет положение фокальной точки в трех положениях: перед режущей кромкой, за или непосредственно на вершине. С помощью передачи винт – гайка головка перемещается таким образом, чтобы фокальная точка совместилась с вершиной режущей кромки. Оптический прибор, выполненный на основе лазера, может обеспечивать контроль геометрических параметров инструмента, его износ и выход из строя непосредственно в процессе обработки. Данные измерения используются для управления положением инструмента с помощью обратной связи. В приборе используют модулированный лазерный источник малой мощности, функционирующий на основе гелий-неоновой смеси.

Лазерная система мод. NC4 фирмы Renishaw (Великобритания) для настройки инструмента, благодаря использованию сверхкомпактных передающего и приемного блоков (диаметр 30 мм, высота 35 мм), позволяет выполнять скоростную бесконтактную настройку инструмента и определять его выход из строя даже на таких станках, на которых ранее это не представлялось возможным.

Система NC4 обеспечивает высокую повторяемость настройки инструмента при расстоянии между излучающим и приемным блоками (рис. 7.31) системы до 5 м. В зависимости от этого расстояния возможно измерение малогабаритного инструмента диаметром от 0,2 мм, а также определение поломки инструмента с размерами от 0,05 мм.

В системе NC4 предусмотрена защита от попадания стружки, графита и СОЖ (в том числе и в процессе выполнения измерений) за счет постоянного обдува сжатым воздухом. В случае перебоя в подаче воздуха герметизирующее устройство предотвращает попадание грязи внутрь системы.

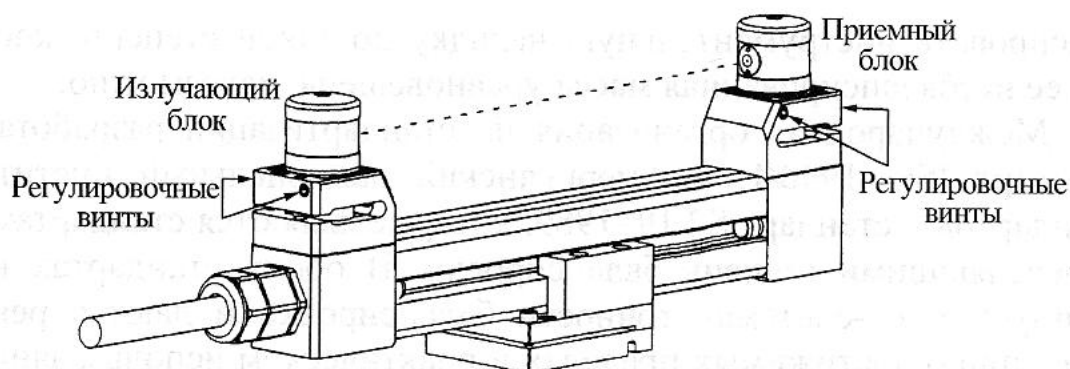


Рис. 7.31. Лазерная система NC4

Renishaw выпускает системы NC4 на платформе с расстояниями между излучающим и приемным блоками 40...450 мм, а также системы с раздельной установкой блоков, расстояние между которыми может достигать 5 м.

Во всем диапазоне расстояний между излучающим и приемным блоками используются унифицированные источник и приемник излучения. Перенастройка на другое расстояние между блоками осуществляется путем замены одной и той же детали в источнике и приемнике излучения, при этом нет необходимости в определении фокальной точки лазерного пучка.

Система NC4 имеет очень короткое время отклика системы (10 мкс), что существенно для точного измерения быстро вращающегося инструмента.

Балансировка инструментальных наладок приобретает особое значение при рабочих частотах вращения шпинделя более 4000 мин^{-1} . Например, производители мотор-шпинделей указывают нормы динамической балансировки инструмента, при несоблюдении которых они снимают с себя гарантийные обязательства.

Дисбаланс инструмента снижает работоспособность станка из-за того, что вызывает: а) повышенную нагрузку на подшипники шпинделя; б) повышенный износ подшипников; в) шумовые помехи; г) нежелательные вибрации для соседних узлов станков; д) снижение срока службы шпиндельного узла и станка в целом.

Процесс балансировки улучшает распределение массы в инструментальной наладке, что позволяет ей вращаться с минимальной суммой несбалансированных центробежных сил. Впрочем, сба-

лансировать инструментальную наладку до такой степени, когда вся ее несбалансированная масса уравновешена, невозможно.

Международная организация по стандартизации разработала стандарт ISO 1940/1, а Американский национальный институт стандартов – стандарт S2.19–1989, которые являются стандартами, определяющими степень балансировки. В обоих стандартах используется «G-система» точности балансировки и даются рекомендации о достижимых пределах и практическом использовании. Например, класс точности балансировки G2,5 означает, что скорость вибрации не должна превышать 2,5 мм/с.

По определению ISO процесс балансировки состоит из двух операций, а именно, из определения (измерения) дисбаланса и его коррекции при необходимости.

Дисбаланс вызывает появление центробежной силы, которая влияет на плавность вращения шпинделя. Для компенсации действия центробежной силы симметрично дисбалансу располагают уравновешивающую массу с тем, чтобы сумма всех действующих центробежных сил стремилась к нулю.

Дисбаланс системы шпиндель–инструмент смещает центр ее тяжести на определенное расстояние от оси вращения. Это смещение называют остаточным эксцентриситетом или эксцентриситетом центра масс (рис. 7.32). Чем больше масса системы, тем большим может быть остаточный дисбаланс.

Необходимо находить компромисс между технической необходимостью и экономической целесообразностью балансировки.

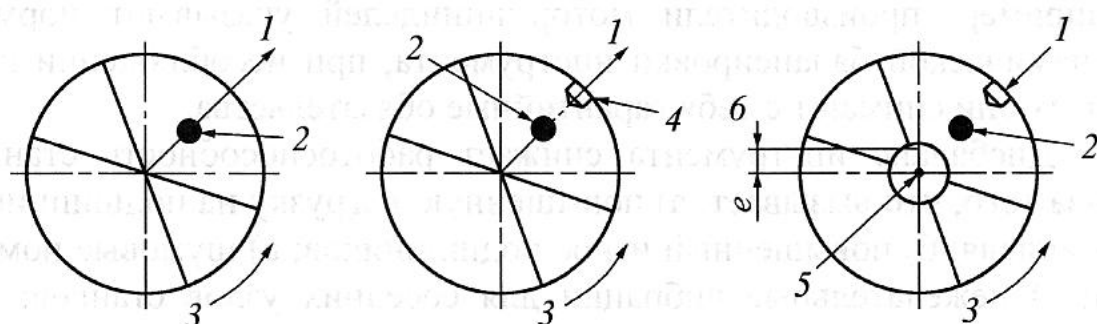


Рис. 7.32. Схема возникновения дисбаланса:

- 1 – центробежная сила; 2 – дисбаланс; 3 – направление вращения;
4 – балансирующее отверстие; 5 – ось вращения;
6 – остаточный эксцентриситет

Например, бесполезно проводить балансировку инструментальной наладки для высокоскоростной обработки, если она устанавливается на станке с большим отклонением от соосности.

Поскольку расстояние e обычно неизвестно, то сначала на балансировочной машине определяется действительная величина дисбаланса, которая далее уменьшается с помощью сверления отверстий, фрезерования лысок или установки противовесов на выбранном компенсационном радиусе (рис. 7.33). Приемлемое значение максимального остаточного эксцентриситета задается заказчиком, по его величине оценивается трудоемкость процесса балансировки.

Центробежная сила F , Н, возникающая в результате вращения несбалансированной массы m , кг, определяется по формуле:

$$F = D\omega^2, \quad (7.1)$$

где D – величина дисбаланса (кг·м), возникающего в результате вращения несбалансированной массы m с угловой скоростью ω , с^{-1} . Величина дисбаланса D рассчитывается по формуле:

$$D = me, \quad (7.2)$$

где e – эксцентриситет центра тяжести несбалансированной массы m относительно оси вращения, мкм или г·мм/кг.

Угловая скорость шпинделя ω подсчитывается по формуле:

$$\omega = \frac{2\pi n}{60}, \quad (7.3)$$

где n – частота вращения шпинделя, мин^{-1} .

Например, центробежная сила F для инструмента, имеющего дисбаланс $D = 0,25 \cdot 10^{-3}$ кг·м, на частоте вращения $n = 15\,000 \text{ мин}^{-1}$ составляет 616,8 Н.

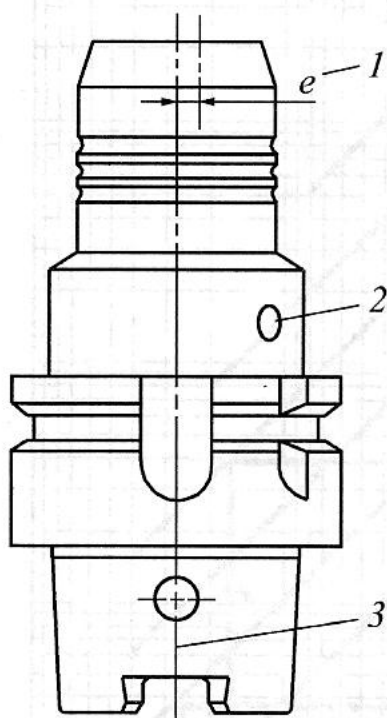


Рис. 7.33. Схема балансировки базисного агрегата:

1 – остаточный эксцентриситет e оси, проходящей через центр масс, относительно оси вращения; 2 – балансировочное отверстие; 3 – ось вращения

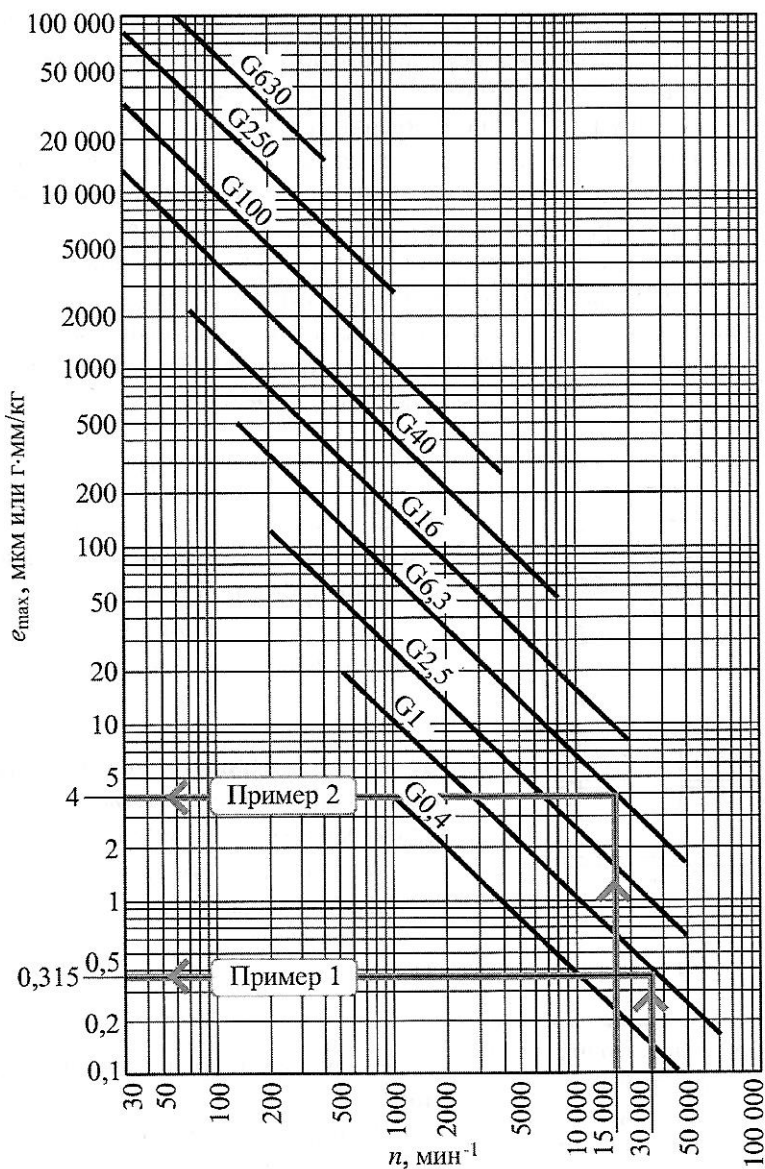


Рис. 7.34. Номограмма для определения максимального остаточного эксцентриситета $e_{\max}$

Компенсационная масса m_k для балансировки определяется из соотношения

$$m_k = \frac{e_{\max} m}{r}, \quad (7.4)$$

где $e_{\max}$ — максимальный эксцентриситет, определяемый в зависимости от точности балансировки G (рис. 7.34); r — радиус, на котором устанавливается компенсационная масса m_k , мм.

Пример 1. Определение максимального остаточного эксцентриситета $e_{\max}$.

Масса инструмента $m = 0,8$ кг, частота вращения шпинделя $n = 30\,000$ мин⁻¹. Назначенный класс точности балансировки — G1. По рис. 7.34 определяем, что $e_{\max} = 0,315$ мкм.

Пример 2. Определение компенсационной массы m_k .

Масса инструмента $m = 1,2$ кг, частота вращения шпинделя $n = 15\,000$ мин⁻¹. Класс точности балансировки — G6,3. Максимальный остаточный эксцентриситет $e_{\max} = 4$ г·мм/кг. На корпусе патрона радиусом $r = 32$ мм необходимо установить компенсационную массу:

$$m_k = \frac{4 \text{ г} \cdot \text{мм} \cdot 1,2 \text{ кг}}{\text{кг} \cdot 32 \text{ мм}} = 1,5 \text{ г}.$$

Постоянные источники дисбаланса создаются конструкцией или возникают в процессе производства. При смене инструмента в этом случае дисбаланс не меняется. На вспомогательном инструменте дисбаланс возникает из-за асимметричных углублений в приводных шпоночных пазах, расточек в оправках, а также из-за ориентирующего углового паза на фланцах конусов 7:24 и конусов HSK-A. На режущих инструментах дисбаланс возникает из-за различия в глубине и длине стружечных канавок, из-за лысок на хвостовиках типа "Weldon" и "Whistle-Notch", при использовании односторонних инструментов и т.п. Такой дисбаланс можно устранить до некоторой степени за счет адаптации конструкции или предварительной балансировки инструмента изготовителем.

Переменные источники дисбаланса изменяют его величину при сборке и смене инструмента. К ним относятся цанги и зажимные гайки, которые занимают новое положение при ослаблении и повторном затягивании, зажимные винты, ввернутые на различную глубину, и т.п. Такой дисбаланс может корректировать только пользователь.

Основные указания по качеству балансировки:

1. Оправки (державки) с конусом 7:24 имеют воспроизводимую точность центрирования 5...10 мкм при смене в шпинделе. Это ограничивает качество предварительной балансировки.

2. Оправки HSK имеют воспроизводимую точность центрирования 1...3 мкм и, следовательно, более подходят для предварительной балансировки.

3. Патроны с "термозажимом" и "TRIBOS-R" могут быть подвергнуты 100 % предварительной балансировке, так как не имеют подвижных элементов.

4. Гидравлические патроны могут быть предварительно сбалансированы, так как они зажимают хвостовики инструмента, выполненные не грубее 6-го квалитета точности, однако это состояние может измениться, если меняется уровень гидравлической жидкости или положение зажимающего винта-плунжера.

5. Цанговые патроны можно сбалансировать для рабочих частот вращения примерно до $10\,000\text{ мин}^{-1}$; для более высоких рабочих скоростей необходима встроенная система балансировки.

6. Державки для крепления инструментов с хвостовиками типа "Weldon" и "Whistle-Notch" не могут быть предварительно сбалансированы, так как нельзя заранее точно определить положение зажимного винта из-за широкого поля допуска на положение лыски на хвостовике режущего инструмента. Конструкции этих державок полезно оснащать встроенным механизмом балансировки, иначе они быстро могут выйти из строя из-за частого сверления или фрезерования лысок при устранении дисбаланса.

7. Втулки с конусом Морзе предварительно сбалансировать нельзя.

Так как окончательная балансировка производится в сборе с режущим инструментом, то даже идеально сбалансированный патрон все равно приходится подвергать доработке; поэтому предпочтение отдают вспомогательным инструментам, имеющим встроенную систему балансировки, несмотря на то, что они значительно дороже.

Наиболее часто встречается система, состоящая из двух колец, имеющих дисбаланс, надетых на корпус оправки и имеющих возможность поворачиваться относительно оправки и между собой. При проведении балансировки кольца поворачиваются на опреде-

ленный угол по отношению друг к другу и патрону до устранения дисбаланса и в этом положении фиксируются. Система двух компенсационных колец применима для устранения статического дисбаланса при частотах вращения до $20\,000\text{ мин}^{-1}$.

На практике необходимо производить балансировку в одной или двух плоскостях. Поскольку дисбаланс – это сочетание статического дисбаланса (когда ось центра масс смещена параллельно оси вращения) и дисбаланса момента от пары сил (ось центра масс наклонена относительно оси вращения) с преобладанием одного или другого вида дисбаланса. Такое распределение дисбаланса называется динамическим дисбалансом.

Достижимое качество балансировки (остаточный дисбаланс) на стационарных балансировочных машинах ограничивается влиянием трех факторов.

1. Разрешающая способность балансировочных машин:

– вертикальные балансировочные машины с собственным шпинделем – приблизительно $0,5...1\text{ г}\cdot\text{мм}$ (подавляющее большинство машин для балансировки инструментальных оправок);

– горизонтальные балансировочные машины без собственного шпинделя – приблизительно $0,1...0,2\text{ г}\cdot\text{мм}$.

2. Погрешность системы зажима балансировочной машины.

3. Повторяемость центрирования инструментальной наладки в переходной втулке балансировочной машины:

– для конуса 7:24 – $5...10\text{ мкм}$;

– для конуса HSK – $1...3\text{ мкм}$.

В результате для наладки с конусом HSK32 массой $0,3\text{ кг}$ класс точности балансировки не может быть лучше $0,45\text{ г}\cdot\text{мм}$, а для наладки с конусом HSK100 массой 6 кг – $18\text{ г}\cdot\text{мм}$ (соответственно, G0,4 и G16 при частоте вращения $10\,000\text{ мин}^{-1}$).

Обеспечить классы точности балансировки лучше вышеуказанных величин практически невозможно.

Кроме того, после установки и закрепления инструмента на станках создается дополнительный дисбаланс за счет:

а) системы зажима инструмента – $10...20\text{ г}\cdot\text{мм}$;

б) погрешности установки – $1...20\text{ г}\cdot\text{мм}$;

в) остаточного дисбаланса шпинделя при обработке – $5...20\text{ г}\cdot\text{мм}$.

Рекомендации по балансировке инструмента приведены в табл. 7.36.

7.36. Рекомендации по балансировке инструмента

Вылет инструмента	Частота вращения, мин ⁻¹				
	1 →	5000 →	10 000 →	20 000 →	≥30 000
$L \geq 2D$	Предварительная балансировка в одной плоскости	Предварительная балансировка в двух плоскостях	Предварительная балансировка изготовителем в двух плоскостях; балансировка с режущим инструментом в одной плоскости	Предварительная балансировка изготовителем в двух плоскостях; балансировка с инструментом в двух плоскостях	Предварительная балансировка изготовителем в двух плоскостях; компенсация, встроенная в шпиндель станка
	Не балансируется	Предварительная балансировка в одной плоскости	Предварительная балансировка в двух плоскостях	Предварительная балансировка изготовителем в двух плоскостях; балансировка с инструментом в одной плоскости	Предварительная балансировка изготовителем в двух плоскостях; компенсация, встроенная в шпиндель станка
$L \leq 2D$					

Для проведения динамической балансировки инструмента требуется специальное оборудование, ориентированное на двух-плоскостную балансировку.

Технические параметры балансировочных машин "Hofmann" и "ToolBalancer" приведены в табл. 7.37.

Ряд исследований, проведенных на балансировочных станках вертикальной и горизонтальной компоновки (рис. 7.35), дает возможность сделать заключение о характеристике разброса и, тем самым, о воспроизводимости классов точности балансировки. Исследовано два типа балансировочных станков: А и В. Станки типа А имеют вертикальную компоновку и специально разработаны для балансировки инструментальных наладок. Установку инструмента в них осуществляют с помощью зажимного патрона посредством адаптера. У станков типа В (с горизонтальной компоновкой) установка балансируемых инструментов происходит посредством вспомогательного вала с тягой. Преимущество станков типа В состоит в возможности использования для балансировки любых роторов, поэтому их можно считать универсальными.

7.37. Технические параметры балансировочных машин

Параметр	Модель балансировочной машины (тип А)	
	"Hofmann"	"ToolBalancer"
Длина инструмента, мм	275	400
Диаметр инструмента, мм	200	350
Масса инструмента, кг	до 7,0	до 30,0
Масса прибора, кг	80	400
Частота вращения шпинделя машины, мин ⁻¹	400...1200	300...1100
Чувствительность машины, наименьший дисбаланс, г·мм	≤1,0	≤0,5
Электропитание	230/115 В; 50...60 Гц	230 В; 50...60 Гц
Потребляемая мощность, кВт	0,12	0,4
Давление сжатого воздуха, МПа	0,6	0,6

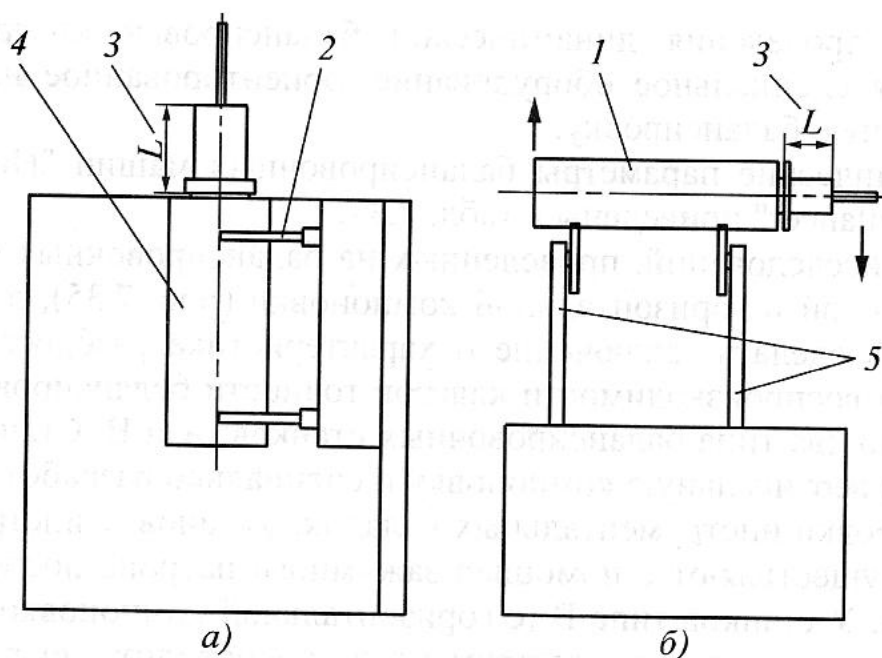


Рис. 7.35. Компоновки балансировочных станков:

а – вертикальный балансировочный станок; *б* – горизонтальный балансировочный станок; 1 – вспомогательный вал с зажимной системой; 2 – система опор, снабженная измерительными преобразователями; 3 – вылет L в плоскости балансировки; 4 – шпиндель с прецизионными опорами; 5 – опорная стойка с встроенными измерительными преобразователями

Все станки работают с использованием пьезоэлектрического датчика силы (см. главу 6). Программное обеспечение позволяет автоматически выполнять расчет класса точности балансировки, необходимой балансировочной глубины сверления или фрезерования, а также угла поворота балансировочных колец. Точность балансировки на указанных трех моделях оценивалась экспериментально с различными инструментами в значительном диапазоне масс, размеров и длин вылета (табл. 7.38).

Для определения возможного класса точности балансировки производились эксперименты как изготовителями балансировочных машин, так и их потребителями – специалистами машиностроительных предприятий. В соответствии с результатами экспериментов для балансировочных машин вышеуказанных типов получены данные по классам точности балансировки для отдельных инструментов (см. табл. 7.38). Для инструмента № 3 достигнутый остаточный дисбаланс, в зависимости от частоты вращения, показан на рис. 7.36. В результате сравнительных измерений, проведенных в

одной плоскости, для машин типов А и В получены различные значения достигнутой точности балансировки (рис. 7.37).

Исследования показали, что у различных типов балансировочных станков результаты балансировки имеют значительный разброс.

7.38. Типы и размеры балансируемого инструмента

№	Наименование балансируемого инструмента	Масса, г
1	Цельная твердосплавная фреза диаметром 16 мм в патроне с "термозажимом" с хвостовиком HSK63	870
2	То же, диаметром 25 мм	1224
3	То же, диаметром 32 мм	1254
4	То же, диаметром 63 мм	1474
5	Патрон с "термозажимом" с хвостовиком HSK63	1372
6	То же, с хвостовиком HSK100 с оправкой диаметром 20 мм с вылетом 116 мм	4170
7	Гидравлический патрон с хвостовиком HSK63 и установленным инструментом диаметром 16 мм с вылетом 76 мм	1580
8	То же, с инструментом диаметром 50 мм с вылетом 116 мм	1656

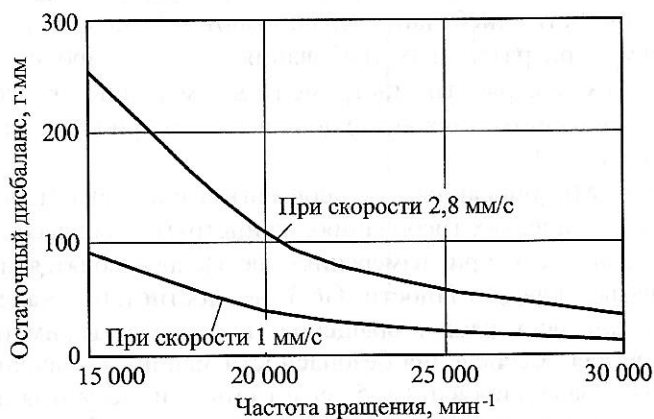


Рис. 7.36. Достигаемый остаточный дисбаланс для инструмента № 3 (см. табл. 7.38)