

ЮСТИРОВКА И КОНТРОЛЬ ВЫСОТЫ И ЦЕНТРОВКИ МИКРООБЪЕКТИВОВ

© 2013 С. М. Латыев*, доктор техн. наук; А. М. Бурбаев*; П. А. Белойван*, студент;
А. Г. Табачков**, канд. техн. наук

* НИУ ИТМО, Санкт-Петербург

** НПП «Фокус», Санкт-Петербург

E-mail: smlatyev@yandex.ru

Рассмотрены проблемы обеспечения целевых показателей качества микрообъективов, устройство стенда для их юстировки и контроля, а также модернизированная конструкция микрообъектива, обеспечивающая юстировку.

Ключевые слова: микрообъектив, юстировка, автоматизированный контроль, конструкция объектива.

Коды OCIS: 180.010, 220.0220.

Поступила в редакцию 29.04.2013.

Одними из основных функциональных устройств микроскопов являются микрообъективы, создающие изображение объекта наблюдения в плоскости изображения, сопряженной с фокальной плоскостью окуляра, либо (в случае цифровых микроскопов) с плоскостью ПЗС-матрицы. Так как микрообъективы могут быть сменными и закреплены в поворотном револьвере, то при их переключении создаваемое изображение может быть расфокусировано и сдвинуто в поперечном (радиальном) направлении в плоскости изображения. Допуски на технологические погрешности микрообъективов, обуславливающие допустимые сдвиги изображения и расфокусировку, обычно рассчитывают исходя из наименьшего размера полевой диафрагмы окуляра (ПЗС-матрицы) и глубины резкости создаваемого изображения, зависящей от линейного увеличения и апертуры микрообъектива [1, 2].

Например, если изображение строится микрообъективом с увеличением $V = -63\times$ и числовой апертурой $A = 0,85$ на видеоматрицу размером $1/2''$ ($6,4 \times 4,8$ мм), то допуск на несоосность (центровку) механической и оптической осей микрообъектива (без учета погрешностей расположения гнезд револьвера) будет определяться из следующего выражения:

$$\Delta e = L/(1 - V) \approx 38 \text{ мкм}, \quad (1)$$

где L – половина наименьшего размера матрицы.

Допуск на расфокусировку (лучший случай) будет определяться дифракционной глубиной резкости этого объектива в пространстве предметов –

$$T = \lambda/(2A^2) \approx 0,4 \text{ мкм}, \quad (2)$$

где λ – длина волны света.

Из выражения (2) следует, что обеспечить отсутствие расфокусировки изображения точным изготовлением высоты микрообъектива (расстояния от опорного торца корпуса микрообъектива до плоскости предмета) не представляется возможным. Поэтому в микроскопах предусматривается устройство “тонкой” фокусировки изображения при переходе от объектива-искателя (с небольшими увеличением и апертурой, обладающего большим полем зрения и глубиной резкости) к рабочему объективу. Для того чтобы изображение (возможно, и сильно расфокусированное) при таком переходе совсем не исчезало, на погрешность значений высот микрообъективов (45 мм по стандарту DIN или 33 по стандарту RMS) устанавливают

достаточно “жесткие” (в пределах 10–15 мкм) допуски.

Заметим, что допуски на центровку микрообъективов-искателей револьверного устройства, как показано в работе [1], фактически будут определяться увеличением рабочего объектива и рассчитываться по следующей формуле:

$$\Delta e = LV_n / [(1 - V_n)V_p], \quad (3)$$

где V_n и V_p – линейные увеличения объектива-искателя и рабочего объектива соответственно.

Обеспечение соответствующих допусков на погрешность высоты и центровки микрообъектива при его сборке в практике отечественного приборостроения обычно осуществляется на известном специальном станке [2, 3] подрезкой опорной торцевой поверхности его корпуса.

Станок содержит полый шпиндель с патроном для крепления микрообъектива, который можно наклонять относительно шпинделя; объект наблюдения в виде сетки с перекрестьем (или пластинки Аббе); шкалу, установленную в плоскости изображения на номинальном расстоянии от сетки; окуляр для наблюдения шкалы и резец, закрепленный в суппорте станка. Расстояние от режущей кромки резца до плоскости сетки выставлено строго равным номинальному значению высоты микрообъектива.

Добившись продольными подвижками суппорта резкого изображения сетки и устранив наклонами патрона биение изображения пере-

крестья, производят подрезку резцом базового опорного торца корпуса микрообъектива.

Однако обработка резанием опорной торцевой поверхности корпуса микрообъектива требует не только наличия сложного станка, но обладает рядом приведенных ниже недостатков.

1. Опорная торцевая поверхность корпуса микрообъектива после обработки оказывается наклонной к его базовому резьбовому цилиндру, что может ухудшить базирование микрообъектива, так как ось резьбового цилиндра должна быть перпендикулярна торцу.

2. Качество изображения на краю поля зрения (особенно в объективах с плоским полем) ухудшается. Это обусловлено тем, что при устранении биения изображения микрообъектив наклоняют с помощью специального патрона, совмещая эквивалентную узловую точку микрообъектива (а не его оптическую ось) с осью вращения.

3. Обработка корпуса резанием нежелательна при автоматизированной сборке микрообъективов, так как не должна осуществляться в “чистой” комнате, где положено собирать микрообъективы и контролировать показатели их качества.

4. Те погрешности высоты и центровки, которые все же превысят допустимые значения, устранить после подрезки торца будет достаточно трудно.

Избежать указанных недостатков можно, если предусмотреть в конструкции микрообъектива возможность юстировки высоты и совмещения (центровки) его механической и оптической осей соответствующими радиальными и осевыми перемещениями узлов с линзами, которые могут выполняться на специализированном контрольно-юстировочном стенде.

На рис. 1 представлена унифицированная конструкция подобного микрообъектива [4]. Она содержит следующие элементы:

1 – корпус микрообъектива с опорной торцевой плоскостью А и наружным базовым резьбовым цилиндром В (создающими базовую механическую ось), имеющий цилиндрическое отверстие, выполненное с эксцентриситетом Δ_k относительно базового резьбового цилиндра;

2 – общую цилиндрическую оправу, сопрягаемую наружной поверхностью с отверстием корпуса, во внутреннее отверстие которой, выполненное с эксцентриситетом Δ_o относительно наружного цилиндра, вставлены узлы с линзами (создающие оптическую ось микрообъектива);

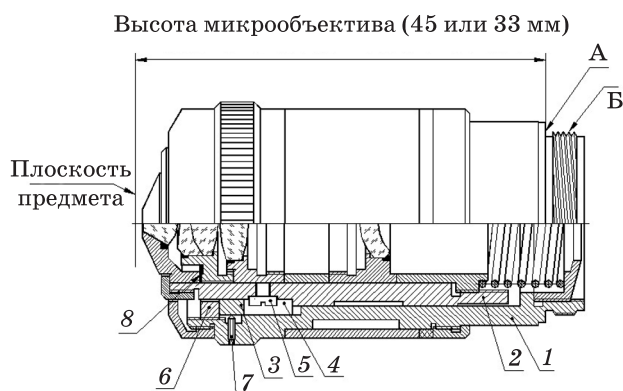


Рис. 1. Конструкция унифицированного микрообъектива (пояснения в тексте).

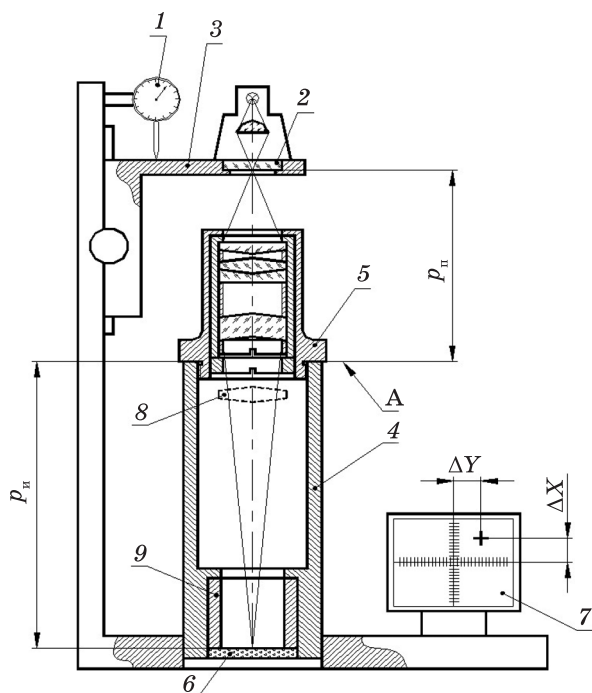


Рис. 2. Схема стенда для юстировки и контроля микрообъективов (обозначения в тексте).

3 – опорную цилиндрическую втулку с пазом 4, направленным вдоль оси отверстия корпуса, на которую упруго замыкается пружиной общая оправа;

5 – винт, головка которого заходит в паз 4, завинченный в общую оправу 2 для предотвращения ее поворота вокруг оси отверстия корпуса;

6 – резьбовое кольцо, служащее для осевого перемещения опорной втулки 3;

7 – стопорный винт для фиксации опорной втулки 3;

8 – прокладное коррекционное кольцо для компенсации сферической аберрации микрообъектива.

Обеспечение номинальной высоты микрообъектива осуществляется осевым сдвигом общей оправы (с линзовыми компонентами объектива) путем осевого смещения опорной втулки с пазом резьбовым кольцом 6, относительно торцевой опорной поверхности (А) корпуса, которая должна быть при юстировке расположена на стандартном расстоянии от предметной плоскости (см. далее устройство юстировочного стенда). В случае, когда планируется автоматизация сборки микрообъективов, опорную втулку 3 с прорезью целесообразно выполнять с буртиком для того, чтобы обеспечивать номинальные значения высот микрообъективов с по-

Б

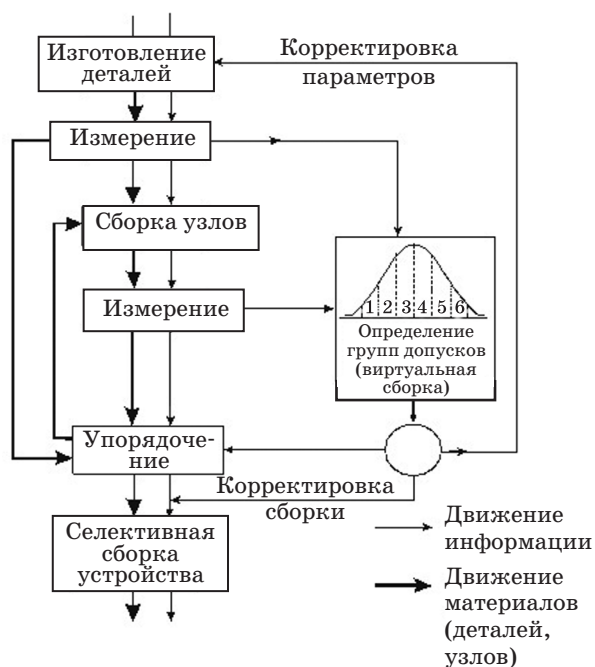


Рис. 3. Принципиальная структурная схема адаптивно-селективной сборки.

мощью набора дистанционных колец, толщина которых заранее рассчитывается по математическим моделям [5].

Совмещение оптической и механической осей микрообъектива осуществляется радиальным сдвигом всех линзовых узлов при развороте общей оправы (совместно с опорной втулкой) вокруг оси ее наружного цилиндра, что обеспечивается за счет равенства эксцентриситетов общей оправы и корпуса микрообъектива.

При этом максимальная погрешность разности эксцентриситетов Δ_k и Δ_o при изготовлении соответствующих деталей (или суммарного вектора децентрировки при юстировке) не должна превышать значения, определяемого из выражения (1), –

$$\Delta_k - \Delta_o \leq L/(1 - V). \quad (4)$$

Юстировка высоты и центровка микрообъективов может осуществляться на стенде, схема которого приведена на рис. 2.

Здесь

1 – автоматизированный фотоэлектрический индикатор линейных перемещений “ЛИР 14”, выпускаемый фирмой СКБ ИС (www.skbis.ru), для определения перемещения подвижного столика 3;

2 – сетка, установленная на подвижном столике на стандартном расстоянии (значении высоты) p_n от эталонной базовой поверхности A тубуса 4, в который завинчивается по резьбе контролируемый микрообъектив 5, причем сетка (в виде перекрестья) центрирована относительно посадочной резьбы тубуса 4;

6 – ПЗС-матрица для регистрации изображения сетки, установленная в тубусе в плоскости изображения на стандартном расстоянии p_n от эталонной базовой поверхности A , с центрировкой ее поперечного положения относительно оси резьбы тубуса;

7 – монитор для наблюдения изображения сетки, создаваемого микрообъективом;

8 – тубусная линза для контроля и юстировки микрообъективов с тубусом “бесконечность”;

9 – сменное дистанционное кольцо для обеспечения различных длин тубусов p_n контролируемых микрообъективов.

Юстировка осуществляется следующим образом. Предварительно (подбором соответствующего кольца 9 и продольной подвижкой столика 3) стенд настраивают на контроль микрообъектива, имеющего конкретные значения высоты (33 или 45 мм) и длины тубуса (бесконечность, 160, 180, 200, 250 мм). Эта операция осуществляется с помощью эталонного микрообъектива (имеющего стандартное значение высоты и совмещенные оптическую и механическую оси), который завинчивается по резьбе до упора на базовую поверхность тубуса. Затем перемещением столика 3 с сеткой 2 добиваются резкого изображения сетки на ПЗС-матрице. Отсчеты осевого положения плоскости предмета (сетки 2) по индикатору 1 и радиального положения изображения сетки на ПЗС-матрице обнуляют. Затем вместо эталонного микрообъектива устанавливают контролируемый и, устраняя расфокусировку изображения осевой подвижкой столика, по отсчету индикатора определяют погрешность его высоты. По величине сдвига изображения на ПЗС-матрице определяют искомую несоосность

$\Delta e = \Delta_{y,x} / (1 - V)$, где $\Delta_{y,x}$ – смещение на ПЗС-матрице. Если значения высоты и несоосности выходят за пределы допусков, приступают к юстировке соответствующими подвижками элементов микрообъектива.

Качество эталонного микрообъектива и юстировки самого стенда, особенно радиального и осевого положения его предметной сетки, должно обеспечивать трехкратный метрологи-

ческий запас по точности измерений погрешностей высоты и центровки контролируемого микрообъектива.

Если снабдить стенд возможностью вместо сетки 2 устанавливать точечную диафрагму, то это позволит также контролировать на нем качество создаваемого микрообъективом изображения на ПЗС-матрице по дифракционному изображению точки [5].

Следует заметить, что погрешности револьверного устройства, вызывающие сдвиги и наклоны механических осей микрообъективов, завинченных в его гнезда (угловые и линейные погрешности расположения гнезд и биения их торцевых базовых поверхностей), также могут привести к недопустимому радиальному смещению изображения при переключении микрообъективов. Поэтому погрешности револьвера должны учитываться при расчетах допусков на центровку микрообъективов.

В случаях, когда допуски оказываются невыполнимыми, применяют сборку с подбором (селективную сборку), осуществляя комплектацию микроскопа подходящим набором микрообъективов. Операция комплектации достаточно трудоемка и характеризуется “незавершенностью производства” – случаями, когда не удается подобрать подходящий комплект микрообъективов для того или иного револьверного устройства. В связи с этим данную комплектацию целесообразно осуществлять на основе адаптивно-селективной сборки [2, 5] по результатам измеренных погрешностей микрообъективов и револьверов.

На рис. 3 представлена структурная схема подобной сборки, из которой следует, что измеренные погрешности узлов распределяют по группам, а затем массив измеренных данных используют для виртуальной комплектации всей партии изготовленных револьверов и микрообъективов. Для устранения возможного незавершенного производства проводят корректировку процесса изготовления деталей или сборки узлов.

Значение остаточной величины и направление вектора децентрировки микрообъектива, после его юстировки, можно измерить на вышеописанном стенде (рис. 2). Измерение погрешностей револьвера может быть проведено на подобном стенде, снабженном устройством для крепления поверяемого револьвера и эталонным микрообъективом, который последовательно устанавливается в его гнезда.

* * * * *

ЛИТЕРАТУРА

1. *Позарев Г.В.* Юстировка оптических приборов. Л.: Машиностроение, 1982. 238 с.
 2. *Латыев С.М.* Конструирование точных (оптических) приборов. СПб.: Политехника, 2007. 580 с.
 3. *Скворцов Г.Е., Долинский И.М.* Станок для юстировки и подгонки высоты микрообъективов // ОМП. 1966. № 9. С. 17–20.
 4. *Латыев С.М., Табачков А.Г., Фролов Д.Н., Резников А.С.* Унификация оптических и механических конструкций линзовых микрообъективов // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. №11. С.14–21.
 5. *Латыев С.М., Смирнов А.П., Табачков А.Г., Фролов Д.Н., Шухат Р.В.* Проект линии автоматизированной сборки микрообъективов // Изв. вузов. Приборостроение. 2011. №11. С. 7–13.
-