

УДК 531.717.12: 531.719.2

И.В.Черепанова (асп., каф. ТМ), С.Н.Степанов, к.т.н., доц.

МЕТОДИКА ОЦЕНКИ ВЛИЯНИЯ ТЕМПЕРАТУРНЫХ ДЕФОРМАЦИЙ УКМ-100 НА ТОЧНОСТЬ ПОВЕРКИ КОНЦЕВЫХ МЕР ДЛИНЫ

Требования к точности поверки концевых плоскопараллельных мер длины определяют допустимую погрешность измерительного устройства, на котором производится поверка. На результат выполнения прецизионных измерений с точностью $50 \div 100$ нм влияет комплекс величин, часть которых относится к сложным физическим полям, таких как температурное, вибрационное, электромагнитное. При контактном методе измерения проявляются также специфические погрешности, обусловленные влиянием динамического измерительного усилия на контактные и упругие деформации и перемещения отдельных частей и узлов измерительной стойки установки.

Процесс измерения длины меры на УКМ-100 предусматривает многократное арретирование двух измерительных стержней, расположенных соосно и отсчитывающих каждый раз отклонение от первого касания наконечников в точке.

При арретировании измерительного стержня происходит удар наконечника о поверхность меры. В момент контакта длина меры фиксируется соответствующим показанием прибора.

Перед поверкой, образцовую и поверяемую меру выдерживают на гранитном столике прибора вне контакта с измерительным наконечником. В условиях динамических процессов теплообмена наблюдается разница температур между измерительными наконечниками и мерами. При контактировании наконечника с объектом измерения практически выравнивается температура контактирующих поверхностей, и изменяются условия теплообмена в зоне измерения. При подъеме измерительного наконечника его температура вновь изменяется: замкнутая система, в которой был установлен определенный тепловой поток, размыкается, образуется воздушный зазор, теплофизические характеристики которого резко отличаются от соответствующих характеристик указанной системы. По данным [1], на вертикальном контактном интерферометре Уверского колебание температуры, при однократном арретировании наконечника в зоне измерения, находится в пределах $0,05 \div 0,15^\circ\text{C}$ на расстояниях $0,1 \div 0,2$ мм от поверхности меры, в зависимости от материала меры.

Изменение температуры в процессе измерения срединной длины меры происходит в виде температурных импульсов:

- при выдержке концевой меры вне контакта с измерительными наконечниками,
- при введении концевой меры под измерительные наконечники,
- при выдержке меры в контакте с наконечниками,
- при выведении мер из-под наконечников,
- при выдержке наконечников вне контакта с мерой.

Сопоставление записей изменения образцов различных номиналов (1 мм, 40 мм, 100 мм) покажет влияние номинала на характер изменения температуры. Материал мер также оказывает влияние на характер и величину температурных импульсов. Данные импульсы позволяют зафиксировать термистер, закрепленный на измерительном стержне прибора.

Закономерное изменение температуры при контактировании измерительного наконечника с концевой мерой обуславливает два основных источника погрешностей: от локального изменения геометрической формы контактирующих поверхностей и от изменения характера теплопередачи в приборе при арретировании измерительного стержня.

Локальное изменение температуры приводит к появлению дополнительных объемных сил и соответствующих напряжений, пропорциональных градиенту температуры меры, что приводит к неравномерным деформациям. По данным [1] разница температур порядка $0,05 \div 0,1 \text{C}^\circ$ на участке $0,1 \div 0,2$ мм концевой меры длиной 1 мм может привести локальным температурным деформациям $0,1 \div 0,2$ мкм, хотя расчет температурной деформации, при котором учитывается только общий прогрев меры, дал результат $1 \times 10^{-3} \div 2 \times 10^{-3}$ мкм.

В УKM-100 цикл измерения срединной длины меры построен таким образом, что на образцовой мере— число соударений наконечников с мерой составляет 6 раз, а на поверяемой— 18 раз, т.е. происходит неравномерная температурная деформация. После каждого «размыкания» измерительной системы происходит изменение показаний прибора. Особое внимание следует уделить тому, что по сравнению с контактными интерферометром, УKM-100 имеет два подвижных наконечника. и мера имеет два очага локальной деформации.

Изменение характера и величины теплопроводности приводит к изменению теплового потока по величине и направлению, и тем самым влияет на деформацию отдельных узлов и деталей измерительной станции. Наиболее существенное влияние на изменение показаний установки УKM-100 может оказать деформация тех звеньев, которые реагируют на незначительное изменение теплового потока и одновременно определяют точность прибора. Наиболее вероятно, что таким «слабым» звеном являются упругие направляющие измерительных наконечников, они имеют «изрезанную» конструкцию, а ее деформация непосредственно влияет на положение измерительного стержня.

Экспериментальную проверку наличия слабого звена прибора предполагается исследовать при помощи ручного переносного тепловизора, снимая картину распределения температуры в отдельных узлах измерительной станции и концевой мере через каждые 5 минут с момента включения установки в сеть до полного ее прогрева в статическом режиме и в течение рабочего дня в динамическом режиме. Температурное разрешение $0,02 \text{ }^\circ\text{C}$ позволит зафиксировать не только очаги излучения тепла, но и проследить изменение температуры отдельных узлов прибора, а в последствие рассчитать соответствующие напряжения и температурные деформации при помощи метода конечных элементов, позволяющего на основе матричных представлений учитывать произвольную геометрию поперечного сечения и неоднородность термоупругих свойств материалов.