

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ УСЛОВИЙ СИНТЕЗА КРУГОВЫХ ОПТИЧЕСКИХ ШКАЛ, ИЗГОТОВЛЕННЫХ С ИСПОЛЬЗОВАНИЕМ ЛАЗЕРНОГО ГЕНЕРАТОРА ИЗОБРАЖЕНИЙ CLWS-300, НА ИХ УГЛОВЫЕ ПОГРЕШНОСТИ

© 2012 г. Д. Ю. Кручинин, канд. техн. наук; О. Б. Яковлев, канд. хим. наук; М. П. Андронов, канд. физ.-мат. наук

Уральский федеральный университет им. Первого Президента России Б.Н. Ельцина, Екатеринбург

E-mail: OlegBJakovlev@yandex.ru

Рассмотрены результаты исследования влияния условий синтеза круговых оптических шкал, изготовленных с использованием лазерного генератора изображений, на их угловые погрешности.

Ключевые слова: круговая оптическая шкала, лимб, угловая погрешность, лазерный генератор изображений.

Коды OCIS: 110.5220

Поступила в редакцию 22.11.2011

Введение

Угловые погрешности лимбов, изготовленных способом обратной фотолитографии [1, 2], в значительной степени определяются угловыми погрешностями фотошаблонов, которые изготавливаются с использованием лазерного генератора изображений CLWS-300 [3]. Ранее было установлено, что угловые погрешности круговых оптических шкал, синтезированных с помощью этого генератора, в значительной степени определяются конкретными условиями их синтеза [4]. Зависимость угловых погрешностей круговой шкалы, определяемая генератором изображений $F_{\text{ги}}(x)$, является суммой систематической $F_{\text{ги1}}(x)$ и случайной $F_{\text{ги2}}(x)$ зависимостей угловых погрешностей, определяемых генератором изображений, x – угловое положение штриха. Накопленная погрешность расположения диаметров осей штрихов $F_{\text{ги}}(x)$ может достигать более 4".

С целью уменьшения угловых погрешностей круговых шкал, изготовленных с использованием лазерного генератора изображений, целесообразно определить факторы, которые могут на них влиять. К таким факторам можно отнести способ фиксации хромированной подложки на столе шпинделя генератора, угол и направление наклона этого стола.

Результат измерения угловых погрешностей круговой шкалы можно представить в виде [4]

$$F(x) = F_{\text{k}}(x) + F_{\text{ги}}(x) + F_{\text{п}}(x),$$

где $F_{\text{k}}(x)$ является зависимостью угловых погрешностей, вносимых установкой контроля АС700, а $F_{\text{п}}(x)$ – зависимость угловых погрешностей, вносимых подложкой.

Отделить $F_{\text{k}}(x)$ от $F_{\text{ги}}(x) + F_{\text{п}}(x)$ позволяет фазо-статистический метод [5].

Методика проведения эксперимента

С помощью лазерного генератора изображений CLWS-300 на одной и той же подложке шесть раз была синтезирована круговая шкала, состоящая из 360 темных штрихов шириной 8 мкм, диаметр шкалы 90 мм. Нулевой штрих заужен с каждой стороны на 0,5 мкм. Для исследования использовалась та же самая полированная подложка, которая была использована в работе [4]. При каждом нанесении шкалы подложка устанавливалась на стол шпинделя генератора таким образом, чтобы положение зауженного штриха на подложке соответствовало положению нулевого штриха при первом нанесении шкалы в работе [4], что позволяет использовать полученную в указанной работе зависимость $F_{\text{п}}(x)$, обусловленную

ную подложкой, для выделения зависимости $F_{\text{ги}}(x)$. Затем определялись угловые погрешности шкалы на установке АС700 – 18 измерений с поворотом подложки относительно оси шпинделя установки на 20° . Положение зауженного штриха фиксировалось по характерному единичному выбросу на зависимостях угловых погрешностей расположения границ штрихов. Результаты измерения обрабатывались с использованием фазо-статистического метода. Исследования проводились для угловых погрешностей расположения диаметров осей штрихов.

При проведении первой, третьей и пятой записей подложка фиксировалась на столе шпинделя генератора с помощью вакуума, при проведении второй, четвертой и шестой – она лежала свободно на столе шпинделя, от возможных перемещений ограничивалась с помощью пластического материала. При первой и второй записях стол шпинделя генератора располагался горизонтально (наклон стола не превышал $0,5'$), при третьей, четвертой, пятой и шестой записях наклон стола составлял около $3'$. Угол между направлением наклона стола шпинделя генератора при третьей и четвертой записях и направлением наклона стола при пятой и шестой записях составляет около 120° , что обусловлено конструкцией генератора.

Результаты эксперимента и обсуждение

В результате проведенных измерений и обработки результатов было получено 6 зависимостей $F_{\text{ги}}(x) + F_{\text{п}}(x)$ (рис. 1). Накопленные угловые погрешности расположения диаметров осей штрихов для этих зависимостей представлены в таблице. Вычитанием из полученных зависимостей ранее установленной зависимости $F_{\text{п}}(x)$ [4] были получены зависимости $F_{\text{ги}}(x)$ (рис. 2). Накопленные угловые погрешности расположения диаметров осей штрихов для них также представлены в таблице.

На основании полученных данных можно утверждать, что угловые погрешности круговой оптической шкалы, изготовленной с помощью лазерного генератора изображений CLWS-300, определяются способом крепления подложки на столе шпинделя генератора, углом и направлением его наклона.

В случае записи на свободно лежащей подложке накопленные угловые погрешности расположения диаметров осей штрихов при изменении направления и угла наклона сто-

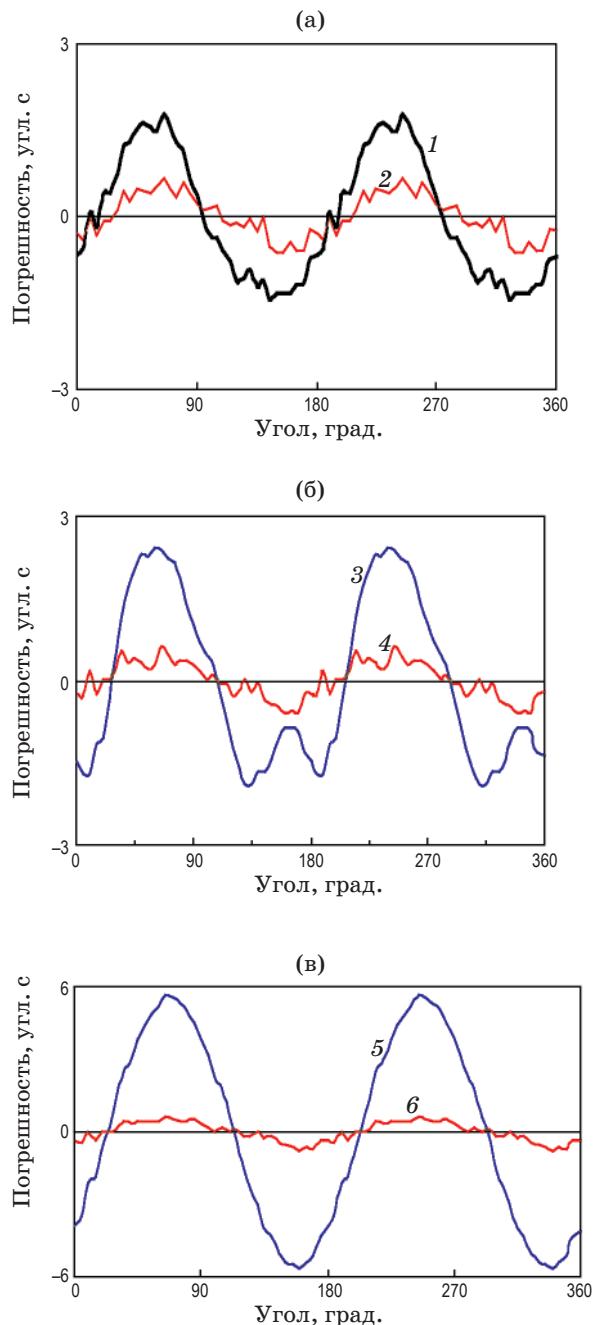


Рис. 1. Зависимости угловых погрешностей $F_{\text{ги}}(x) + F_{\text{п}}(x)$. Номера кривых соответствуют номерам записи.

ла шпинделя генератора достаточно постоянны. Так, в столбце 2 таблицы изменения зависимости угловых погрешностей находятся в пределах от $1,21$ до $1,49''$, в столбце 3 – от $1,07$ до $1,41''$, в обоих столбцах – от $1,07$ до $1,49''$. Диапазон изменений составляет менее $0,5''$. Максимальные значения накопленных погрешностей (столбцы 2 и 3 таблицы) для сво-

Накопленные погрешности расположения диаметров осей штрихов

№ записи	Накопленные погрешности, угл. с		Способ фиксации подложки
	$F_{\text{ги}}(x) + F_{\text{п}}(x)$	$F_{\text{ги}}(x)$	
1	3,19	2,29	вакуумный
2	1,29	1,41	свободный
3	4,33	4,07	вакуумный
4	1,21	1,07	свободный
5	11,30	10,60	вакуумный
6	1,49	1,26	свободный

бодно лежащей подложки не превышают $1,5''$. Полученные зависимости $F_{\text{ги}}(x)$ обусловлены, в основном, второй гармоникой (рис. 2).

Использование вакуумной фиксации подложки приводит к значительному увеличению угловых погрешностей круговой шкалы. Для горизонтального расположения стола шпинделя генератора (первая запись) увеличение накопленной угловой погрешности расположения диаметров осей штрихов происходит в 1,6 раза (по сравнению со второй записью). При наклоне стола во время проведения записи накопленные погрешности могут увеличиться в 7 и более раз. Направление наклона стола в процессе записи может оказывать значительное влияние на угловые погрешности круговой шкалы. По-видимому, при вакуумной фиксации подложки происходит сильное искажение поверхности записи, что приводит к увеличению угловых погрешностей.

Таким образом, установлено, что в случае записи круговой оптической шкалы на свободно лежащей подложке накопленные угловые погрешности расположения диаметров осей штрихов не превышают $1,5''$.

Наклон стола шпинделя генератора (в исследованных пределах) и направление его наклона не оказывают значительного влияния на величину накопленной погрешности. В этом случае не имеет особого смысла говорить о разделении зависимости угловых погрешностей $F_{\text{ги}}(x)$ на систематическую и случайную.

Использование вакуумной фиксации подложки в процессе записи приводит к возникновению значительных случайных зависимостей угловых погрешностей $F_{\text{ги}}(x)$ круговой оптической шкалы.

* * * * *

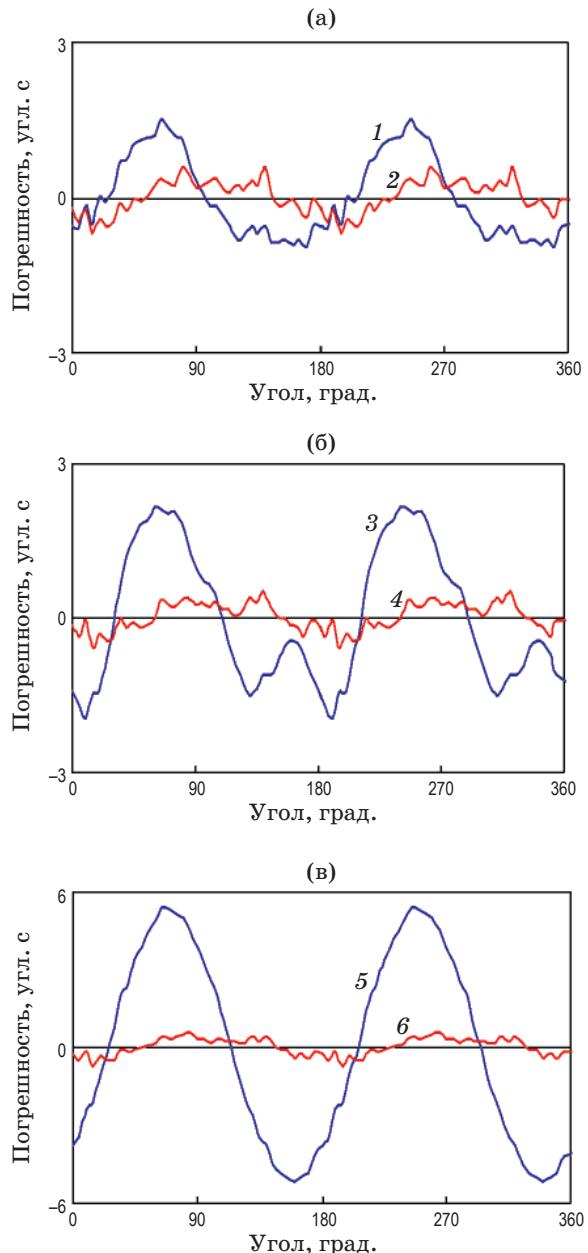


Рис. 2. Зависимости угловых погрешностей $F_{\text{ги}}(x)$. Номера кривых соответствуют номерам записи.

Заключение

В результате проведенных исследований определены необходимые условия синтеза круговых оптических шкал с использованием лазерного генератора изображений CLWS-300, которые позволили минимизировать их угловые погрешности. Накопленные погрешности расположения диаметров осей штрихов синтезированных шкал не превышают $1,5''$, что меньше установленных изготовителем значений для этого генератора изображений ($2''$) [3].

ЛИТЕРАТУРА

1. Кручинин Д.Ю. Способ изготовления оптических шкал обратной фотолитографией // Патент России № 2370799. 2009.
2. Кручинин Д.Ю. Фотолитография в производстве круговых оптических шкал на Уральском оптико-механическом заводе // Оптический журнал. 2008. Т. 75. № 4. С. 92–94.
3. Абрамов Ю.Ф., Кирьянов В.П., Кирьянов А.В., Кокарев С.А., Кручинин Д.Ю., Чугуй Ю.В., Яковлев О.Б. Модернизация оптического делительного производства Уральского оптико-механического завода на основе современных лазерно-компьютерных и фотолитографических технологий // Оптический журнал. 2006. Т. 73. № 8. С. 61–65.
4. Кручинин Д.Ю., Яковлев О.Б. Исследование угловых погрешностей круговых оптических шкал, изготовленных с использованием лазерного генератора изображений CLWS-300 // Оптический журнал. 2011. Т. 78. № 6. С. 47–50.
5. Bartik S.A., Frizin S.E., Kiryanov V.P., Kiryanov A.V., Kokarev S.A., Kruchinin D.Y., Nikitin V.G., Yakovlev O.B. Development of a technique for the determination of metrological parameters of technological system CLWS-300/C for synthesis of high precision angular measuring structures // 10 th IMEKO TC7 Intern. Symp. Saint-Petersburg, 2004. P. 316–320.
