

а

б

Рис. 3. Сечение образца покрытия после шлифовки. а - на краю; б - на оси.

Наблюдая, мы можем получить, что металлографическая микроструктура на оси является более однородной, чем на крае.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Кудинов В.В., Бобров Г.В., Нанесение покрытий напылением. Теория, технология и оборудование. Учебник для вузов. – М.: Металлургия, 1992. -432с.
2. Алхимов А.П., Клинков С.В., Косарев В.Ф. Температура вблизи контактной границы при высокоскоростном соударении микрочастицы с поверхностью // Физическая мезомеханика 3 1 (2000) – С. 53–57.

ИССЛЕДОВАНИЕ ДИАГРАММЫ НАПРАВЛЕННОСТИ ЛИНЕЙНОГО УЛЬТРАЗВУКОВОГО ПРЕОБРАЗОВАТЕЛЯ С ФАЗИРОВАННОЙ РЕШЁТКОЙ

Ду Хаолун

Научный руководитель: Солдатов Алексей Иванович, профессор, д.т.н.

Томский политехнический университет

Преобразователь является ключевой частью ультразвуковой системы с фазированной решеткой. Способность направленности является важным фактором для работы преобразователя. В статье пространственная направленность линейной фазированной решетки

изучалась системно. Затем было проанализировано влияние параметров линейного преобразователя на главный лепесток, боковой лепесток и побочный лепесток. Наконец, был дан принцип конструирования линейного преобразователя с фазированной решёткой.

Звуковое поле линейной фазированной решетки может быть рассчитано по принципу Гюйгенса [1]. Поле звукового давления каждого элемента можно рассматривать как генерируемое бесконечным числом дискретных точечных источников. Затем поле звукового давления линейной фазированной решетки может быть получено путём наложения поля звукового давления каждого элемента решетки с определенной амплитудой и фазой. Предполагая, что расстояние r достаточно велико по сравнению с размером элемента массива, поле звукового давления можно рассчитать по следующей формуле:

$$p(r, \theta, t) = \left(\frac{p_0}{r}\right)^{\frac{1}{2}} \frac{\sin\left(\frac{k a \sin \theta}{2}\right) \sin\left[\left(\frac{\omega \Delta \tau - k d \sin \theta}{2}\right) N\right]}{\frac{k \sin \theta}{2} \sin\left(\frac{\omega \Delta \tau - k d \sin \theta}{2}\right)} \exp\left[-j\left(\frac{k a \sin \theta}{2}\right)\right] \cdot \exp\left[-j\left(\frac{\omega \Delta \tau - k d \sin \theta}{2}\right)(N-1)\right] \exp[j(\omega t - k r)] \quad (1)$$

Здесь P_0 – амплитуда звукового давления на единицу длины поверхности элемента, k – волновое число, ω – угловая частота, $\Delta \tau$ – задержка между соседними элементами, N – количество элементов, j – мнимая единица.

С учетом треугольной геометрической зависимости и принципа Гюйгенса, угол луча θ_1 можно выразить как:

$$\sin(\theta_1) = \frac{c \Delta \tau}{d} \quad (2)$$

Здесь c – скорость волны в среде, $\Delta \tau$ – время задержки между соседними излучателями, d – расстояние между соседними излучателями.

Для того, чтобы количественно проанализировать характеристики луча, мы можем вывести нормированную функцию направленности звукового давления на основе формулы расчета звукового поля (1)[1]:

$$D(\theta) = D1(\theta) \cdot D2(\theta) \quad (3)$$

Где:

$$D1(\theta) = \left| \frac{\sin\left[\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta\right]}{\frac{\pi a}{\lambda} \sin \theta} \right| \quad (4)$$

$D1(\theta)$ указывает направленность одного элемента массива.

$$D2(\theta) = \left| \frac{\sin\left[\frac{\pi d(\sin \theta_1 - \sin \theta)}{\lambda} N\right]}{N \cdot \sin\left[\frac{\pi d(\sin \theta_1 - \sin \theta)}{\lambda}\right]} \right| \quad (5)$$

$D2(\theta)$ указывает направленность линейного массива.

Здесь a – размер излучателя, N – количество точечных источников, при большом n считаем, что это направленность линейного

элемента, d – расстояние между соседними излучателями, λ – длина волны, Θ_1 – угол луча.

Когда $\Theta_1=30^\circ$, $c=1500\text{m/s}$, $d=\lambda/2$, $a=0.4\lambda$, $f=2.5\text{MHz}$, $N=16$, мы можем получить направленность одного элемента массива, направленность равномерного линейного массива и направленность линейной фазированной решетки (рисунок 1).

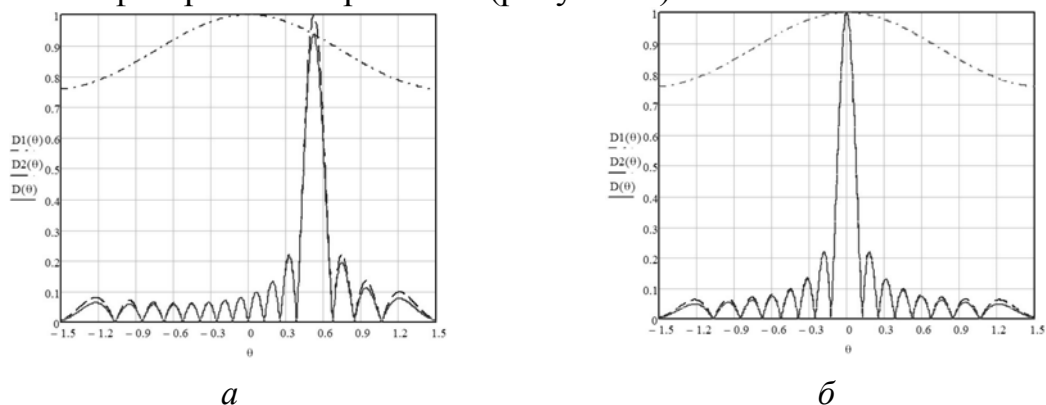


Рис. 1. (а) $D1(\Theta)$ - направленность одного элемента массива, $D2(\Theta)$ - направленность равномерного линейного массива, $D(\Theta)$ - направленность линейной фазированной решетки, ($\Theta_1=30^\circ$);

(б) $D1(\Theta)$ - направленность одного элемента массива, $D2(\Theta)$ - направленность равномерного линейного массива, $D(\Theta)$ - направленность линейной фазированной решетки, ($\Theta_1=0^\circ$).

Мы можем получить $D1(\Theta)$ это симметричный граф относительно нуля. Для сравнения, $D2(\Theta)$ является асимметричным, когда угол пучка Θ_1 не равен нулю. Максимум главного лепестка соответствует углу пучка Θ_1 .

На рисунке 2. показано изменение $D1(\Theta)$ и $D(\Theta)$ при изменении ширины элемента массива a . Функция $D1(\Theta)$ уменьшается с увеличением угла Θ . $\Theta=0$, $D1(\Theta)=1$. В то же время, если Θ мало или ширина массива a намного меньше длины волны, $D1(\Theta)$ будет очень близко к 1. В это время для достаточно малого a/λ или Θ_1 , функцию направленности фазированной решетки можно рассматривать как однородную линейную решетку, состоящую из дискретных точечных источников, $D(\Theta)\approx D2(\Theta)$. С другой стороны, когда угол Θ_1 становится больше и ширина элемента a увеличивается почти до длины волны, направленность функции значительно падает. Можно видеть, что ширина элемента массива должна быть максимально уменьшена, и чем меньше ширина элемента массива, тем лучше направленность.

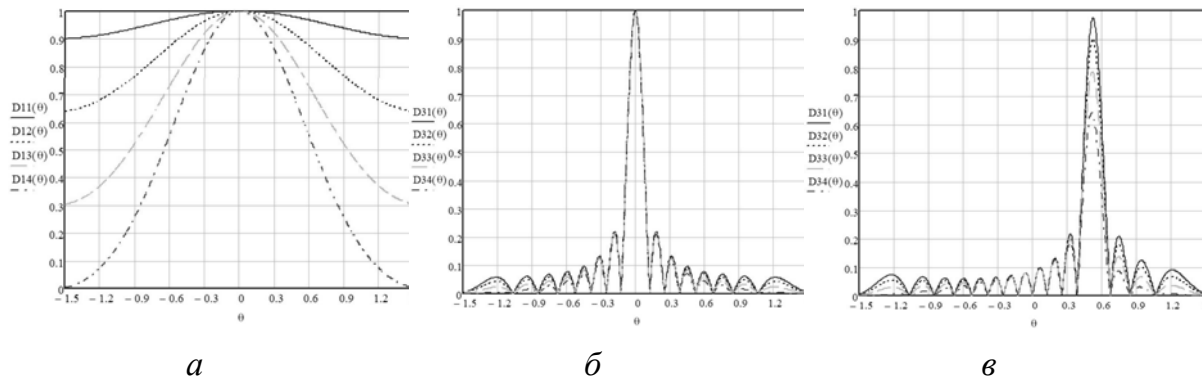


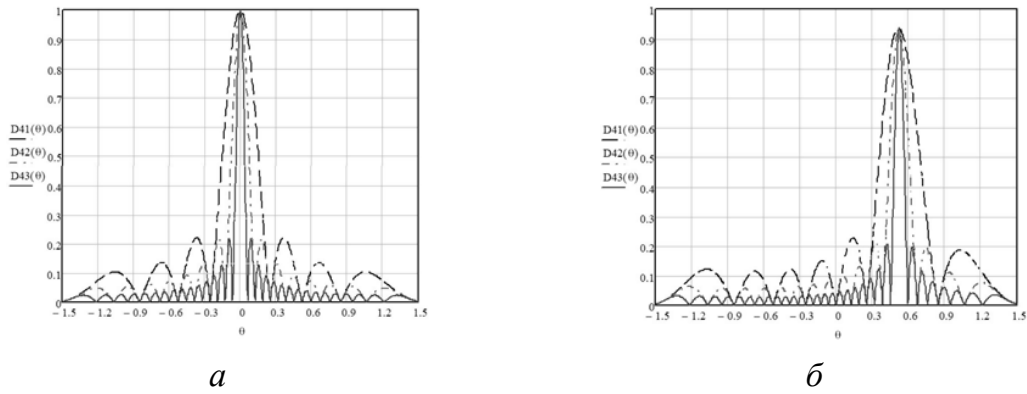
Рис. 2. (а) направленность одного элемента массива, (б) направленность линейной фазированной решетки ($\theta_1=0^\circ$), (в) направленность линейной фазированной решетки ($\theta_1=30^\circ$). Здесь $a=\lambda/4$ соответствует функции $D11(\theta)$ и $D31(\theta)$, $a=\lambda/2$ соответствует функции $D12(\theta)$ и $D32(\theta)$, $a=3\lambda/4$ соответствует функциям $D13(\theta)$ и $D33(\theta)$, $a=\lambda$ соответствует функциям $D14(\theta)$ и $D34(\theta)$

Наш первый приоритет – сделать ширину основного лепестка настолько малой, насколько это возможно, чтобы мы могли получить лучшую направленность луча. Мы можем использовать параметр W для количественного анализа и определения расстояния между двумя пересечениями главного лепестка и оси θ . Из $D(\theta)$, мы можем получить [2]:

$$W = \frac{1}{\pi} \left[\sin^{-1} \left(\sin \theta_1 + \frac{\lambda}{Nd} \right) - \sin^{-1} \left(\sin \theta_1 - \frac{\lambda}{Nd} \right) \right] \quad (6)$$

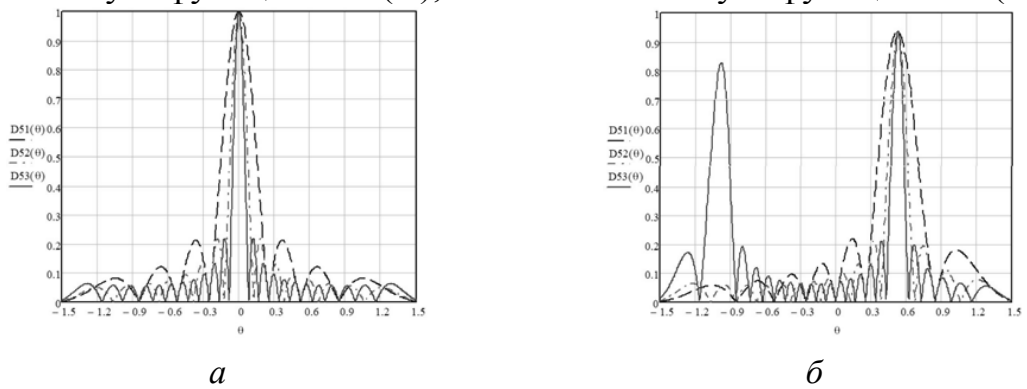
Чем меньше W , тем уже главный лепесток, тем лучше направленность. Поскольку λ/Nd близко к 0, вы можете уменьшить W , изменив расстояние между элементами и количество элементов. Изменение ширины основного лепестка W не зависит от изменения ширины элемента a . Когда $\theta_1=0^\circ$ или $\theta_1=30^\circ$, $c=1500\text{m/s}$, $a=0.4\lambda$, $f=2.5\text{MHz}$, мы можем получить Рисунок (3-5).

Мы также должны рассмотреть боковые лепестки и побочные лепестки, наличие боковых лепестков указывает на то, что часть звуковой энергии просачивается в направлении боковых лепестков, а наличие побочных лепестков может привести к размытым изображениям и даже к артефактам. Наша вторая задача – сжать амплитуду боковых лепестков и избежать появления побочных лепестков.



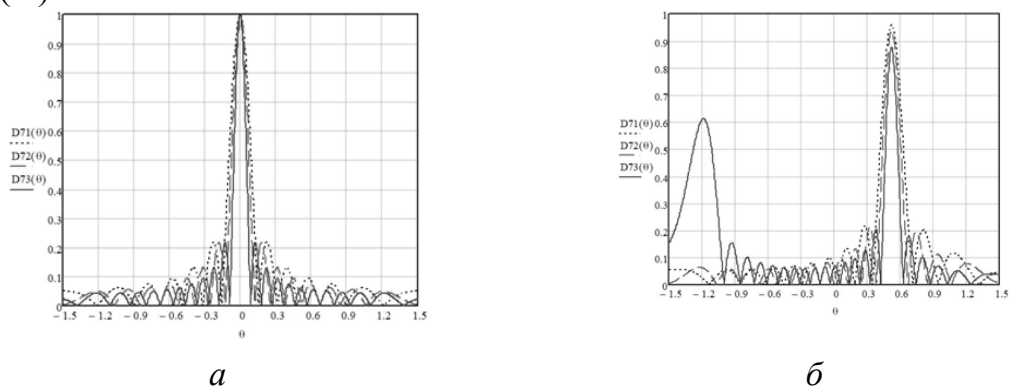
*Рис. 3. (а) Направленность линейной фазированной решетки($\theta_1=0^\circ$);
 (б) Направленность линейной фазированной решетки($\theta_1=30^\circ$);*

Здесь $f=2.5\text{MHz}$, $d=\lambda/2$. $N=8$ соответствует функции $D41(\theta)$, $N=16$ соответствует функции $D42(\theta)$, $N=32$ соответствует функции $D43(\theta)$.



*Рис. 4. (а) направленность линейной фазированной решетки($\theta_1=0^\circ$);
 (б) направленность линейной фазированной решетки($\theta_1=30^\circ$);*

Здесь $f=2.5\text{MHz}$, $N=16$. $d=\lambda/4$ соответствует функции $D51(\theta)$, $d=\lambda/2$ соответствует функции $D52(\theta)$, $d=3\lambda/4$ соответствует функции $D53(\theta)$.



*Рис. 5. (а) направленность линейной фазированной решетки($\theta_1=0^\circ$);
 (б) направленность линейной фазированной решетки($\theta_1=30^\circ$);*

Здесь N , a и d не изменяются. $f=2\text{MHz}$ соответствует функции $D71(\Theta)$, $f=2.5\text{MHz}$ соответствует функции $D72(\Theta)$, $f=3.5\text{MHz}$ соответствует функции $D73(\Theta)$.

В соответствии с экстремальными условиями и функцией направленности фазированной решетки, мы можем получить положение боковых лепестков:

$$\theta_i = \arcsin(\sin\theta_1 + (i + \frac{1}{2}) \frac{\lambda}{Nd}) \quad (6)$$

Максимальное значение i -го бокового лепестка:

$$H(\theta_1, \theta_i) = \left| \frac{1}{N \sin[(i + \frac{1}{2}) \frac{\pi}{N}]} \right| \quad (7)$$

Итак, первый уровень боковых лепестков:

$$M_{dB} = 20 \log |H(\theta_1, \theta_i)| = -20 \log \left| N \sin\left(\frac{3\pi}{2N}\right) \right| \quad (8)$$

С помощью формулы (8) мы можем получить связь между экстремумом амплитуды бокового лепестка и количеством элементов:

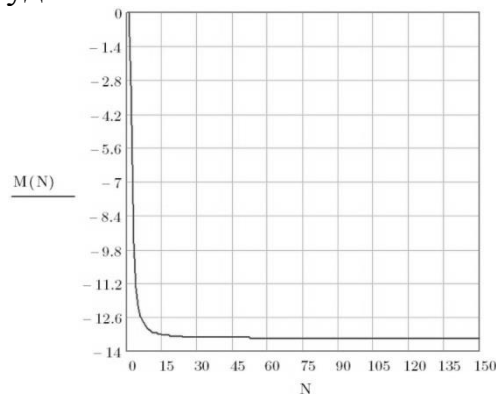


Рис. 6. Изменение экстремума амплитуды бокового лепестка в зависимости от количества элементов N

Из рисунка 6 видно, что экстремум амплитуд боковых лепестков быстро уменьшается с увеличением N , но постепенно приближается к -13.5dB после $N = 16$. Так мы можем получить очень низкую амплитуду боковых лепестков, используя не менее 16 элементов.

мы можем получить положение боковых лепестков:

$$\theta_i = \arcsin(\sin\theta_1 \pm (i\lambda / d)) \quad (9)$$

В соответствии с экстремальными условиями и функцией направленности фазированной решетки, мы можем получить устранение условий побочных лепестков [3]:

$$\frac{d}{\lambda} |\sin\theta - \sin\theta_1| \leq \frac{N-1}{N} \quad (10)$$

Когда $-\pi/2 \leq \Theta_1 \leq \pi/2$, условия могут быть упрощены до:

$$\frac{d}{\lambda} \leq \frac{N-1}{2N} \quad (11)$$

Мы изучили направленность линейных ультразвуковых преобразователей с фазированной решеткой и влияние различных параметров на главные, боковые и побочные лепестки пучка. Сделан вывод о том, что при разработке зондов с линейной фазированной решеткой следует придерживаться следующих правил: сделать ширину основного лепестка настолько малой, сжать амплитуду боковых лепестков и избежать появления побочных лепестков. Это повысит чувствительность и разрешающую способность ультразвукового неразрушающего контроля.

СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. D.H. Turnbull and F.S. Foster. Beam steering with pulsed two-dimensional transducer arrays. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control (Volume: 38, Issue: 4, July 1991).
2. G.R. Lockwood, Pai-Chi Li, M. O'Donnell, F.S. Foster. Optimizing the radiation pattern of sparse periodic linear arrays. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control (Volume: 43, Issue: 1, Jan. 1996).
3. Shi-Chang Wooh, Yijun Shi. Influence of phased array element size on beam steering behavior. 1998;36: 737~749.

ОСОБЕННОСТИ ПРОИЗВОДСТВА МОБИЛЬНЫХ ТЕЛЕФОНОВ В КИТАЕ

Дуан Бовэнь (Duan Bowen)

Научный руководитель: Шипилова Светлана Сергеевна
Шеньянский политехнический университет, г. Шеньян

Актуальность.

Общеизвестно, что в настоящее время почти каждый человек не может комфортно жить без мобильного телефона, и популярность мобильных телефонов растет одновременно с ростом их производства. Благодаря дешевой рабочей силе и высококачественному контролю, обеспечиваемому китайскими фабриками, все больше и больше OEM-производителей (производителей оригинального оборудования) предпочитают инвестировать в китайскую сборочную фабрику. Быстрый рост капитала на китайском рынке мобильных телефонов