

Список использованных источников

1. Барон Ю.М. Влияние состояния кромок лезвий на эффективность режущих инструментов // Инструмент и технологии, 1997. – Вып. 5. – С. 1-11.
2. Olt J. J., Maksarov V.V., Keksin A.I. Internal thread cutting process improvement based on cutting tools treatment by composite powders in a magnetic field / Journal of silicate based and composite materials. – №4. – Vol. 70. – No. 4. – 2018. – Pp. 128-131.
3. Maksarov V.V., Keksin A.I. Technology of magnetic-abrasive finishing of geometrically-complex products / IOP Conference Series: Materials Science and Engineering. – № 4. – Т. 327. – 2018. – Pp. 42-45.

УДК 621.386.223

РАЗРАБОТКА МИКРОФОКУСНОЙ РЕНТГЕНОВСКОЙ ТРУБКИ ВЫСОКОЙ МОЩНОСТИ

Козлов Е.А.

Рязанский государственный радиотехнический университет

В настоящее время наблюдается отчетливая тенденция возрастания доли микрофокусных трубок на рынке рентгеновского оборудования. Такая тенденция связана с использованием методов рентгеновской микроскопии, в частности компьютерной микротомографии, при производстве компонентов микроэлектроники, изделий автомобильной и аэрокосмической промышленности.

Микрофокусные рентгеновские трубки (МРТ) обладают целым рядом преимуществ по сравнению с макрофокусными, а именно: высокая локальность воздействия на исследуемый объект, снижение дозы облучения смежных с объектом областей, лучшее качество теневых изображений при одинаковой дозе облучения и получения увеличенных рентгеновских изображений.

К классу микрофокусных относятся трубки с размером фокусного пятна менее 100 мкм, а показатели мощности варьируются от нескольких единиц до десятков Вт. Говоря о совершенствовании параметров МРТ, стремятся увеличить мощность рентгеновской трубки и уменьшить размер фокусного пятна. Совместить два данных фактора в МРТ практически невозможно, так как верхний предел мощности, рассеиваемой на аноде МРТ, невелик и не превышает 1 Вт на 1 мкм². Поэтому необходимо искать новые пути решения данной проблемы.

Часть исследований направлена на применение многослойных твердотельных структур, с целью рассеивания больших тепловых мощностей. Другая часть исследований направлена на использование алмаза, обладающего большой теплопроводностью, в качестве подложки для нанесения мишени. Проводятся исследования по поиску не традиционных конструктивных исполнений анодов МРТ. Одним из таких является МРТ с жидкометаллическим анодом [1]. В данной работе предлагается конструкция МРТ, в которой классический прострельный анод заменен тепловой трубой [2], способная отводить из локальной области нагрева тепловые мощности, оцениваемые в кВт [3].

Техническая реализация анода МРТ на основе тепловой трубы [2] кроет в себе следующую идею (рисунок 1). Тепловая труба 1 объединяет в себе мишень 2, выходное окно для излучения 3 и подложку 8. Пучок электронов 6 воздействует на мишень, генерируя рентгеновское излучение 7, одновременно разогревая область 4. По средствам теплопроводности материала мишени тепловая мощность передается в теплоноситель – подложку анода 8, разогревая его до температуры испарения. Теплоноситель испаряясь, уносит с собой тепловую мощность по средствам молекулярного механизма переноса кинетической и колебательной энергии хаотического движения частиц испарителя. Пар 9 доходит до выходного окна 3, конденсируется, и через зоны теплообмена 5 отдает тепло в окружающую среду. По средствам сил тяжести конденсат 10 стекает обратно к области испарения, тем самым завершая цикл переноса тепловой мощности от мишени в окружающую среду.

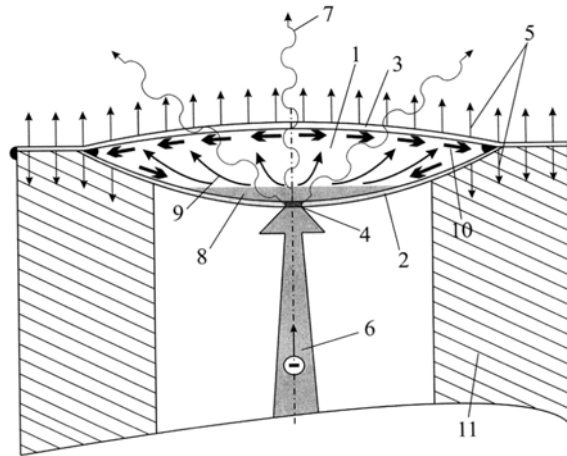


Рисунок 1 – Анод МРТ выполненный в виде тепловой трубы: 1 – тепловая труба (анод), 2 – область испарения (мишень анода), 3 – область конденсации (выходное окно анода), 4 – область выделения тепла, 5 – зона теплообмена, 6 – пучок электронов, 7 – рентгеновские кванты, 8 – теплоноситель (подложка анода), 9 – пар, 10 – конденсат, 11 – корпус анода

Для оценки эффективности рассеивания тепла анодом тепловая труба рассмотрим математическую модель составного анода выполненного в виде прямого цилиндра (рисунок 2).

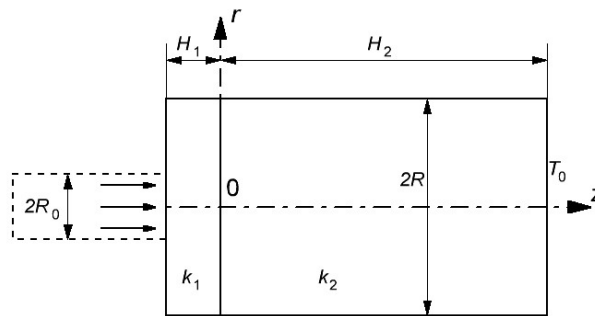


Рисунок 2 – Математическая модель конструкции составного анода

В работах [4,5] решена задача нагревания составного анода электронным лучом, диаметр фокального пятна которого составляет $2R_0$. Анод представляет собой массивную цилиндрическую подложку диаметром $2R$ и высотой H_2 из металла с хорошей теплопроводностью k_2 (медь или бериллий), с нанесенным на его основание слоя тугоплавкого металла (вольфрам) толщиной H_1 и теплопроводностью k_1 , являющегося мишенью.

Для рассматриваемой модели анода получено выражение для температуры на поверхности мишени в фокусе [4]:

$$T = T_0 + \frac{P}{\pi R^2} \left(\frac{H_1}{k_1} + \frac{H_2}{k_2} \right) + \frac{P}{R_0 k_1} \sum_{n=1}^{\infty} L_n \frac{J_1 \left(\mu_n \frac{R_0}{R} \right)}{\mu_n}, \quad (1)$$

где $L_n = \frac{\frac{k_1}{k_2} \tan \left(\mu_n \frac{H_2}{R} \right) + \tan \left(\mu_n \frac{H_1}{R} \right)}{\frac{k_1}{k_2} \tan \left(\mu_n \frac{H_2}{R} \right) \cdot \tan \left(\mu_n \frac{H_1}{R} \right) + 1}$, $J_1(x)$ – функция Бесселя первого рода,

μ_n – корни функции $J_1(x) = 0$, $n = 1, 2, 3 \dots$ – порядковый номер корня, P – мощность электронного потока на поверхности анода.

Соотношение (1) позволяет произвести оценку мощности рассеиваемой анодом «тепловая труба» в приближения эквивалентной теплопроводности. «Эквивалентная теплопроводность» понятие, которое показывает эффективность использования тепловых труб. В общем случае эквивалентная теплопроводность тепловых труб достигает порядка $10^4 \frac{Вт}{м \cdot К}$, что превышает на несколько порядков теплопроводность серебра и меди [3]. Приближение эквивалентной теплопроводности не является точным, но позволит качественно оценить порядок величины рассеиваемой мощности анодом тепловая труба. Таким образом, получаем, что подложка с теплопроводностью k_2 в модели анода тепловая труба является областью со сверх большой теплопроводностью, такой что $k_2 \gg k_1$. Тогда соотношение (1) преобразуется к виду:

$$T = T_0 + \frac{P}{k_1} \left(\frac{H_1}{\pi R^2} + \frac{1}{R_0} \sum_{n=1}^{\infty} M_n \frac{J_1 \left(\mu_n \frac{R_0}{R} \right)}{\mu_n} \right), \quad (2)$$

где $M_n = \tan \left(\mu_n \frac{H_1}{R} \right)$.

Корректность полученного соотношения (2) подтверждается совпадением результатов вычислений, проводимых в соответствии с соотношением (1), для толстых мишеней $h_1 \geq мм$, когда влияние подложки незначительно. Поскольку необходимо определить номинальную мощность МРТ с анодом тепловая труба исходя из (2) получаем:

$$P_{\max} = \frac{k_1 (T - T_0)}{\frac{H_1}{\pi R^2} + \frac{1}{R_0} \sum_{n=1}^{\infty} M_n \frac{J_1 \left(\mu_n \frac{R_0}{R} \right)}{\mu_n}}, \quad (3)$$

В формуле (3) мощность выражается в $Вт$, теплопроводность в $\frac{Вт}{см \cdot К}$, а расстояния и радиусы в $см$. Важно отметить, что величина T ограничена предельно допустимой температурой мишени, т.е. температурой при которой происходит её разрушение вследствие теплового воздействия. Используя (3) рассчитаем предельно рассеиваемую мощность анодом тепловая труба, полагая, что мишень вольфрамовая с максимально допустимой температурой $T = 1600^\circ C$ и температурой окружающей среды $T_0 = 20^\circ C$. В результате расчетов получены зависимости величины рассеиваемой мощности от толщины мишени для двух значений диаметра фокусного пятна (рисунок 3). Линии (а) и (в) обозначают уровни максимальной мощности рассеиваемой стандартным анодом прострельного типа для МРТ [6].

Анализируя полученные данные можно сделать вывод о том, что при толщине мишени более 0,5 мм величина рассеиваемой мощности определяется тепловым сопротивлением вольфрама, и тепловая труба не обеспечивает отвод тепла от мишени. Предельная тепловая мощность будет лишь незначительно превышать величину рассеиваемой мощности стандартным анодом прострельного типа. Эффект действия анода тепловая труба наблюдается при толщине мишени менее 10 мкм.

В результате работы была получена модель анода тепловая труба для МРТ прострельного типа. В ходе расчета удалось оценить величину рассеиваемой мощности таким анодом. Из представленного графика отчетливо видно, что для мишени толщиной 1 мкм и меньше, величина мощности МРТ, при размерах фокусного пятна 30 мкм, может достигать сотни $Вт$. Данный факт говорит о том, что МРТ с анодом тепловая труба является уникальным классом приборов микрофокусной рентгеновской техники с огромным потенциалом промышленного производства.

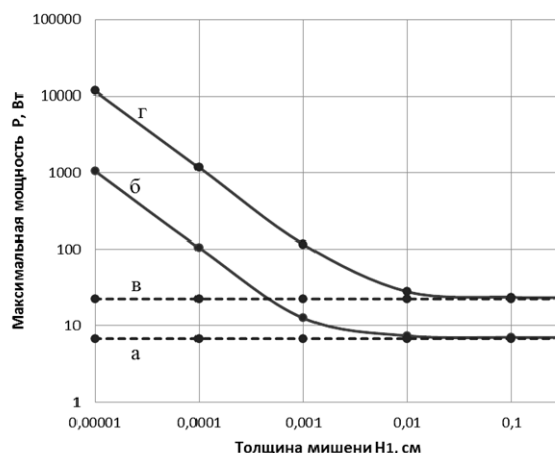


Рисунок 3 – Предельная мощность, рассеиваемая мишенью анода тепловая труба:
 $\delta - 2R_0 = 30$ мкм, $\varepsilon - 2R_0 = 100$ мкм. Уровни предельной мощности, рассеиваемой стандартным составным анодом прострельного типа: $a - 2R_0 = 30$ мкм, $b - 2R_0 = 100$ мкм

Список использованных источников

1. O. Hemberg, M. Otendal, and H.M. Hertz. Liquid-metal-jet anode electron-impact x-ray source // Applied Physics Letters. – 2003. – vol .83, No. 7. – P. 1483-1485.
2. Пат. 2653508 РФ, МПК А61L2/00. Микрофокусная рентгеновская трубка прострельного типа с высоким уровнем рассеиваемой на аноде мощности / А. А. Трубицын; заявитель и патентообладатель Рязанский государственный радиотехнический университет. - № 2017118897; заявл. 30.05.17; опубл. 10.05.18, www.fips.ru.
3. P.D. Dunn, D.A. Reay. Heat pipes. Oxford, New York, Toronto, Sydney, Paris, Braunschweig: Pergamon Press, 1976. – 299 p.
4. Хараджа Ф.Н. Общий курс рентгенотехники / Ф.Н. Хараджа. – Ленинград: Издательство «Энергия», 1966. – 568 с.
5. Иванов С.А. Рентгеновские трубки технического назначения / С.А. Иванов, Г.А. Щукин. – Л.: Энергоатомиздат. Ленингр. отд-ние, 1989. – 200 с.: ил.
6. Подымский А.А. Мощные рентгеновские трубки для проекционной рентгенографии: дис. канд. техн. наук / А.А. Подымский. Санкт-Петербург, 2016. – 148 с.

УДК 621.65.03

ПРИМЕНЕНИЕ ПЕРИСТАЛЬТИЧЕСКИХ НАСОСОВ ДЛЯ ОЧИСТКИ НЕФТЯНЫХ РЕЗЕРВУАРОВ НА ТАНКЕРАХ

Колобова З.А.

Научный руководитель: Васильева М.А., доцент
 Санкт-Петербургский горный университет

Аннотация: Статья посвящена перспективам применения перистальтических насосов при транспортировании сильно сгущенных субстанций и тяжелой нефти. В публикации рассматриваются основные аспекты применения подобных насосов.

Ключевые слова: Перистальтические насосы, нефть, танкер, морской транспорт.

Нефть и продукты её переработки транспортируются в том числе и по морю – с помощью специальных кораблей, которые входят в категорию танкеров. Нефтеналивные суда – это настоящие монстры коммерческого флота, получившие статус мировых рекорсменов по своим габаритам и грузоподъемности.

Особенности конструкции танкеров. На современном этапе судостроения нефтяной танкер представляет собой судно однопалубного типа со встроенными резервуарами (танками), способное перевозить сотни тысяч тонн груза. Первый в мире нефтеналивной самоход-