

ПОЛИГРАФИЧЕСКОЕ ОБОРУДОВАНИЕ

УДК 655.326.1:681.624.8

С. А. Баргашевич, **Е. В. Русак**

Белорусский государственный технологический университет

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ УЛЬТРАЗВУКОВОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ И ХИМИЧЕСКИ АКТИВНЫХ ВЕЩЕСТВ ДЛЯ ОЧИСТКИ АНИЛОКСОВЫХ ВАЛОВ

Проведены исследования химических составов растворов очистки анилоксных валов. Исследовано уравнение пульсаций кавитационной полости, полученное Нолтингом и Непайрасом. Численные решения этого уравнения, полученные в ряде работ, значительно расширили представления о возможном характере пульсаций реальных кавитационных пузырьков. По результатам решения уравнения получены зависимости основных ультразвуковых параметров протекания процесса кавитации, а также проведен анализ химических свойств используемых для очистки анилоксных валов растворов. Дан анализ результатов решений уравнений динамики кавитационной полости и экспериментальных исследований зависимости эрозии от параметров звукового поля и свойств жидкости

Предложено выбирать моющие жидкости, подбирая их физические свойства так, чтобы высокая эрозионная активность сочеталась с активным химическим воздействием среды на загрязнение. Определены основные параметры, регулирующие ультразвуковое воздействие.

Установлено, что увеличение эрозионной активности больше всего влияет на изменение внешнего статического давления. Повышение отношения статического давления к звуковому давлению P_0/P_a до значений 0,4 позволяет ускорить процесс кавитационного разрушения твердых тел в звуковом поле на несколько порядков без увеличения потребляемой энергии.

Ключевые слова: ультразвук, кавитация, эрозионная активность, анилокс, микропотоки.

S. A. Bartashevich, **E. V. Rusak**

Belarusian State Technological University

USING OF ULTRASONIC TREATMENT AND REACTIVE SUBSTANCES FOR CLEANING ANILOX ROLLS

The chemical composition of the solutions for cleaning anilox rolls was investigated. The pulsation equation of cavitation pocket obtained by Nolting and Nepayras was examined. Numerical solutions of the equation obtained in a number of works have greatly expended understanding of the possible nature of real pulsations of cavitation bubbles. According to the results obtained dependent quantities of the analysis of the basic ultrasonic parameters of the cavitation process were received, as well as the analysis of the chemical properties used for cleaning of cavitation pocket in anilox rolls was performed. The results of equation solutions of the dynamics of cavitation pocket and experimental studies of erosion dependence on the sound field settings and properties of the fluid are analyzed.

It is suggested to choose cleaning fluid, choosing their physical properties so that the high erosive activity would combine with active chemical effect are defined.

It was established that the increase in erosion activity is most affected by the change of external static pressure. Increasing the ratio R_0/R_a values up to 0.4 can accelerate the process of cavitation fracture of solids in the sound field by several orders of magnitude without increasing power consumption.

Key words: ultrasound, cavitation, erosion activity, anilox, microflows.

Введение. Состояние анилоксных валиков имеет огромное значение для качественной и стабильной печати. Составляя основу процесса переноса краски на бумагу, анилоксный вал работает под постоянным воздействием химических и динамических нагрузок. Чистота анилоксных валов во флексографии – один из ключей к каче-

ственной печати. Без ее поддержания невозможно решить, например, проблему разнооттеночности оттисков. Если ячейки анилоксного вала забиты грязью, засохшей краской или лаком, то добиться приемлемого качества вряд ли удастся. Следует сразу оговориться, что для поддержания высокого качества продукции анилоксный вал

должен проходить очистку сразу после окончания печатных работ, когда проще всего очистить ячейки. На практике об этом часто забывают, периодически откладывая или прерывая для печати срочного заказа столь необходимую процедуру чистки. Это приводит прежде всего к уменьшению величины краскопереноса анилоксогового вала, то есть к снижению способности переносить необходимое количество краски или лака. В этом случае нужны эффективные способы удаления нежелательных остатков, позволяющие восстановить прежний объем ячеек.

Основная часть. На рис. 1 показаны поверхности анилоксоговых валов до и после очистки.

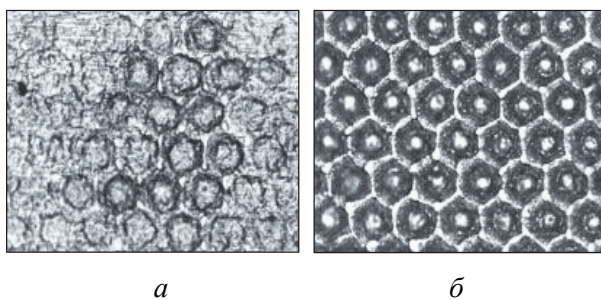


Рис. 1. Загрязненная (а) и чистая (б) поверхность валика под микроскопом

Один из таких способов и будет рассмотрен. Это технология очистки поверхностей в жидкой среде с помощью ультразвуковой кавитации [1].

Во время ежемесячных планово-предупредительных работ валики будут выниматься из машины, укладываться в специальный ящик. Затем печатник транспортирует валик к ультразвуковой (УЗ) установке. Валики укладываются в специальную ванну. Печатник задает параметры очистки.

Очистка будет происходить не более 20 мин, после чего можно устанавливать следующую партию валиков. Параметры очистки будут рассмотрены ниже.

Предполагается, что такая технология позволит проводить более глубокую очистку поверхности валиков, не разрушая при этом поверхности валиков.

Основную роль при воздействии УЗ на вещества и процессы в жидкостях играет кавитация [2]. На кавитации основан получивший наибольшее распространение ультразвуковой технологический процесс — очистка поверхностей твердых тел. В зависимости от характера загрязнений большее или меньшее значение могут иметь различные проявления кавитации, такие как микроударные воздействия, микропотоки, нагревание. Подбирая параметры звукового поля, физико-химические свойства моющей жидкости, ее газосодержание, внешние

факторы (давление, температуру), можно в широких пределах управлять процессом очистки, оптимизируя его применительно к типу загрязнений и виду очищаемых деталей.

Нолтингом и Непайрасом было получено и исследовано уравнение пульсаций кавитационной полости (1). Численные решения этого уравнения, полученные в ряде работ, значительно расширили представления о возможном характере пульсаций реальных кавитационных пузырьков. Сопоставление этих решений с соответствующими экспериментами показало, что уравнение Нолтинга – Непайраса достаточно хорошо описывает изменение радиуса кавитационного пузырька, пульсирующего в поле ультразвуковой волны.

$$R \frac{d^2 R}{dt^2} + \frac{3}{2} \left(\frac{dR}{dt} \right)^2 + \frac{1}{\rho_0} \left[P_0 - P_n - P_m \sin \omega t + \frac{2\sigma}{R} - \left(P_0 + \frac{2\sigma}{R_0} \right) \left(\frac{R_0}{R} \right)^{3\gamma} \right] = 0. \quad (1)$$

Чтобы определить зависимость критерия эрозионной активности единичного пузырька от физических свойств жидкости, параметров звукового поля и начальных размеров «зародышей» кавитации, было произведено численное решение уравнений движения парогазового пузырька в звуковом поле в математическом пакете программы MathCad [3].

По результатам численного решения уравнения были определены зависимости от основных физических свойств моющих растворов процесса ультразвуковой кавитации. Размер кавитационных «зародышей» не влияет на динамику кавитационной полости, когда значение R_0 больше или равно некоторой критической величине (рис. 2).

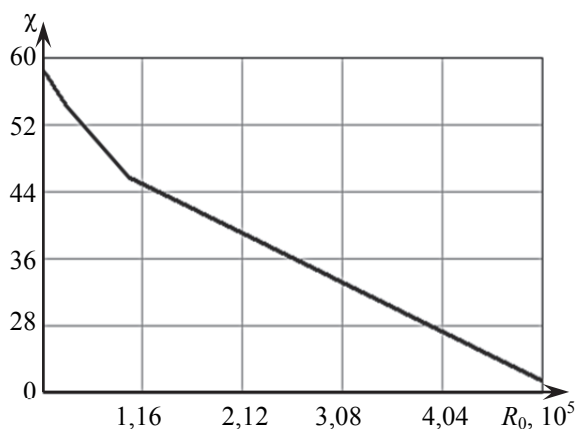


Рис. 2. Зависимость эффективности кавитации χ от начального радиуса R_0 кавитационной полости

Повышение частоты колебаний приводит к уменьшению R_{\max} кавитационной полости при

постоянном амплитудном значении звукового давления. Такой результат ясен, если учесть, что с ростом f при постоянном давлении P_a сокращается время, в течение которого величина звукового давления превышает внешние силы, удерживающие пузырек в состоянии равновесия ($P_0 + 2\sigma/R_0$), когда он может неограниченно расширяться за счет содержащегося в нем газа.

При этом пузырек успевает вырасти до меньших размеров, если же радиус его был близок к критическому, то он может выродиться в пульсирующий, при условии, что амплитуда звукового давления сохраняется постоянной. Уменьшение R_{\max} кавитационных полостей с ростом f способствует росту давления парогазовой смеси в пузырьке к началу захлопывания, что должно снижать интенсивность ударных волн. Чтобы определить влияние частоты на рост и захлопывание кавитационной полости, уравнение движения было решено для диапазона частот 20–500 кГц, который используется в технологической аппаратуре для ультразвуковой очистки. Зависимость эффективности кавитации от частоты представлена на рис. 3.

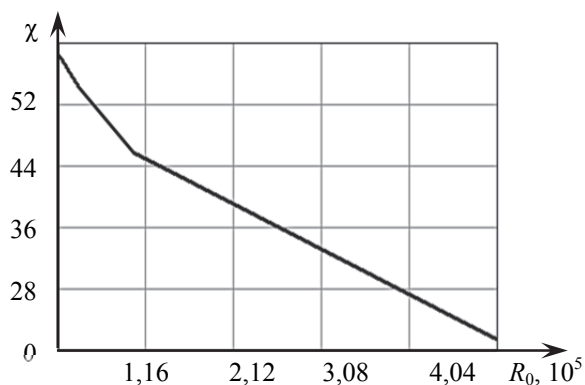


Рис. 3. Зависимость χ от частоты колебаний f

Анализ рис. 3 показывает, что изменение частоты колебаний при постоянном P_a не сдвигает во времени (по отношению к периоду колебаний) фазу захлопывания, а, следовательно, величина давления на стенку пузырька в фазе сжатия сохраняется примерно постоянной с изменением f . Вместе с тем повышение частоты колебаний приводит к линейному уменьшению R_{\max} и R_{\min} . Эрозионная активность пузырька с ростом частоты уменьшается так же линейно. Из полученных результатов следует, что снижение эрозионной активности с ростом частоты колебаний происходит вследствие уменьшения R_{\max} , благодаря чему повышается давление газа в пузырьке при $R = R_{\max}$.

Полученные выводы не относятся ко всему диапазону звуковых частот, так как по мере снижения f инерциальные члены уравнения

движения будут расти столь медленно, что кавитационный пузырек начинает вырождаться в пульсирующий. Теоретических и экспериментальных исследований, определяющих нижнюю границу по частоте, когда в жидкости не возникает кавитации, не проводилось. Имеются экспериментальные данные, свидетельствующие о том, что на частоте 8–10 кГц интенсивная кавитация в жидкости все еще наблюдается [4].

Изменение частоты колебаний влияет на динамику кавитационной полости, распределение областей кавитации в объеме жидкости и на порог кавитации. Снижение максимальных размеров кавитационных пузырьков с ростом частоты уменьшает эффект экранировки на границе излучатель – жидкость и способствует более равномерному распределению пузырьков в объеме жидкости. Одновременно с повышением частоты увеличивается коэффициент поглощения звуковой энергии в жидкости, обусловленный наличием сил вязкого трения, а следовательно, растет скорость акустических течений, которые к тому же становятся более мелкомасштабными.

Повышая частоту до определенных пределов, можно несколько увеличить количество одновременно обрабатываемых деталей за счет усреднения индекса кавитации по объему, а также более интенсивным перемешиванием ускорить удаление растворимых загрязнений, слабо связанных с очищаемой поверхностью. Однако с ростом частоты растет порог кавитации и увеличиваются потери в преобразователях, а это приводит к ослаблению эффективности очистки. Проводить ультразвуковую очистку на более низких частотах следует в тех случаях, когда необходимо удалить прочно связанные с очищаемой поверхностью пленки, имеющие повышенную кавитационную стойкость.

Чрезмерно понижать частоту нежелательно, так как при этом резко возрастает шум и усложняется звукоизоляция, а также увеличивается вес преобразователя за счет его активного звена.

При анализе влияния свойств жидкости и параметров звукового поля на эрозионную активность кавитационных пузырьков можно отметить две основные трудности, препятствующие повышению эффективности ультразвуковой очистки.

1. Изменение физических свойств жидкости в направлении повышения ее химической активности (снижение вязкости, повышение температуры, уменьшение поверхностного натяжения) приводит к уменьшению эрозионной активности единичного кавитационного пузырька.

2. Изменение свойств жидкости и параметров звукового поля в направлении, снижающем

кавитационную прочность жидкости, а следовательно, способствующем повышению эрозии за счет роста числа кавитационных пузырьков (уменьшение μ , σ , P_n , f и повышение P_a), приводит к снижению эрозионной активности единичного пузырька.

Наличие этих действующих в противоположном направлении зависимостей не позволяет сколько-нибудь существенно увеличить эффективность кавитационной эрозии. На рис. 4 представлена полученная зависимость эффективности кавитации от статического давления жидкости.

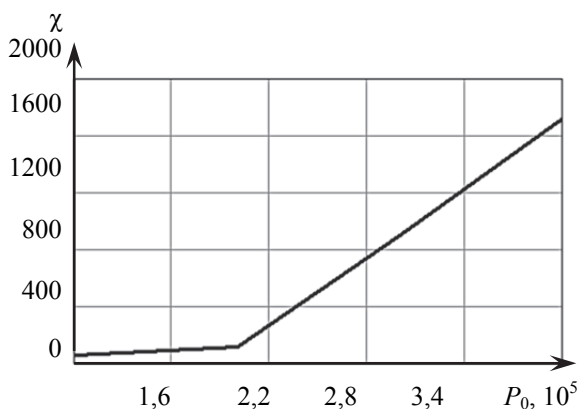


Рис. 4. Зависимость χ от статического давления жидкости

Увеличение статического давления на первый взгляд страдает тем же недостатком: хотя эрозионная активность единичной кавитационной полости возрастает с увеличением статического давления, но число кавитационных пузырьков существенно уменьшается.

Однако поддерживая некоторое оптимальное соотношение между статическим давлением P_0 и звуковым давлением P_a , можно добиться существенного увеличения кавитационной эрозии. Но при этом приходится увеличивать подводимую звуковую мощность. Однако эрозионная активность растет гораздо быстрее ($\sim P_a^4$) подводимой мощности, которая пропорциональна P_a^2 , и, таким образом, применение этого метода оправдано не только технически, но и экономически.

Анализируя в целом влияние всех параметров, входящих в уравнение динамики кавитационной полости, можно предложить следующий ряд их эрозионной активности для единичного кавитационного пузырька, не взаимодействующего с окружающими пузырьками (рис. 5).

$\sigma, R_0, \rho, f, \mu, P_n, P_0$

Рис. 5. Ряд эрозионной активности параметров, входящих в уравнение

Для достижения поставленной цели ультразвуковая очистка сочетается с химическим воздействием растворителя на загрязнение. Для повышения скорости и качества очистки целесообразно было бы сочетать высокую химическую активность жидкости с максимальным эффектом кавитационного разрушения пленки загрязнений. Однако это не всегда удается. Физические свойства химически активной жидкости в ряде случаев могут быть неблагоприятны с точки зрения ее эрозионной активности. Поэтому при выборе среды для ультразвуковой очистки, особенно при удалении кавитационно-стойких пленок, прочно связанных с очищаемой поверхностью, необходимо выбирать из числа химически активных к загрязнению жидкостей такие, эрозионная активность которых наибольшая.

Заключение. Анализ результатов решений уравнений динамики кавитационной полости и экспериментальных исследований зависимости эрозии от параметров звукового поля и свойств жидкости позволяет сделать следующие основные выводы.

1. На эрозионную активность звукового поля в жидкости больше влияют те параметры, которые существенно изменяют величину сил, противодействующих захлопыванию пузырька за счет снижения коэффициента паросодержания и уменьшения присоединенной массы жидкости при $R = R_{\max}$. Одновременный сдвиг фазы захлопывания происходит по отношению к периоду колебаний в сторону получения наибольших значений давления, действующего на пузырек в фазе сжатия.

2. На увеличение эрозионной активности больше всего влияет изменение внешнего статического давления. Повышение отношения P_0 / P_a до значений 0,4 позволяет ускорить процесс кавитационного разрушения твердых тел в звуковом поле на несколько порядков без увеличения потребляемой энергии.

3. В процессах ультразвуковой очистки следует особо внимательно выбирать моющие жидкости, подбирая их физические свойства так, чтобы высокая эрозионная активность сочеталась с активным химическим воздействием среды на загрязнение.

Литература

1. Розенберг Л. Д. Об оценке кавитационной эффективности акустической энергии // Акуст. журн., 1965. С. 121–124

2. Киппхан Г. Энциклопедия по печатным средствам информации. – М.: МГУП, 2000. 1280 с.
3. Медведев А. Ультразвуковая очистка // Теория и практика. 2009. 4 с.
4. Бебчук А. С. Исследование кавитационного разрушения твердых тел поверхностных пленок в акустическом поле: дисс. ... канд. техн. наук. М. 1960. 204 с.

References

1. Rosenberg L. D. An estimate of the cavitation acoustic energy efficiency. *Akusticheskij zhurnal* [Acoustic journal], 1965, pp. 121–124.
2. Kipphan G. *Jenciklopedija po pechatnym sredstvam informacii* [Encyclopedia of print media]. Moscow, MGUP Publ., 2000. 1280 p.
3. Medvedev A. Ultrasonic cleaning. *Teorija i praktika* [Theory and Practice], 2009. 4 p. (In Russian).
4. Bebchuk A. *Issledovaniye kavitacionnogo razrusheniya tverdykh tel poverkhnostnykh plenok v akusticheskom pole: diss. kand. tekhn. nauk* [Investigation of cavitation solid surface films in the acoustic field. Diss. cand. techn. sci.], Moscow, 1960. 204 p.

Информация об авторе

Русак Евгений Васильевич – магистрант кафедры полиграфического оборудования и систем обработки информации, Белорусский государственный технологический университет (220006, г. Минск, ул. Свердлова, 13а, Республика Беларусь). E-mail: unsgmasters@gmail.com

Information about the author

Rusak Evgeniy Vasiljevich – graduate student of the Department of editing equipment and information processing systems. Belarusian State Technological University (13a, Sverdlova str., 220006, Minsk, Republic of Belarus). E-mail: unsgmasters@gmail.com

Поступила 10.03.2015