

УДК 615.47

И.К. ЦЫБРИЙ, Е.В. ВЯХИРЕВА, И.С. КУХАРЕНКО

КОМПЛЕКСНЫЙ АНАЛИЗ ЭФФЕКТИВНОСТИ УЛЬТРАЗВУКОВОЙ ОБРАБОТКИ МЕДИЦИНСКОГО ИНСТРУМЕНТА

Представлены результаты исследований эффектов ультразвукового обеззараживания поверхности медицинского инструмента в комплексе со структурными трансформациями материала, происходящими под воздействием ультразвуковых колебаний. Исследования проведены в целях выбора эффективных режимов ультразвуковой обработки.

Ключевые слова: ультразвуковая обработка, медицинский инструмент, кавитация, обеззараживание, структура материала.

Введение. Применение ультразвуковой (УЗ) обработки в медицинской практике является фактором, позволяющим не только эффективно очищать поверхность медицинского инструмента от сложных технологических и биологических загрязнений, но и обеззараживать ее [1, 2]. В различных областях медицины достаточно широко используются УЗ-ванны отечественных и зарубежных производителей: РЭЛТЕК, Elma, Branson, Sonorex и др., которые делают возможным процесс обеззараживания поверхности медицинского инструмента как в докавитационном, так и в кавитационном режимах. Это достигается изменением мощности и частоты УЗ-колебаний. Повышение эффективности обработки с применением УЗ-колебаний в значительной степени определяется выбором рациональных режимов, сочетание которых обеспечивает максимально полную очистку и обеззараживание инструмента с минимальным повреждением его поверхности. Последнее особенно важно при обработке хирургического инструмента.

В настоящей работе поставлена задача сопоставления эффектов обеззараживания со структурными трансформациями поверхности, происходящими под влиянием кавитирующей в УЗ-поле жидкости. Цель исследований – найти такие режимы, при которых может быть обеспечена максимальная степень обеззараживания при минимальном негативном влиянии УЗ-колебаний на поверхность инструмента.

Образцы и методика исследований. Для исследований кавитационной стойкости при УЗ-обработке были выбраны нержавеющей высокохромистые стали, которые обычно применяются в медицинской практике (12Х17 и 40Х13).

Сталь марки 12Х17 относится к ферритному классу сталей, твердость ее в исходном состоянии невелика, поэтому она не используется для изготовления ответственного медицинского инструмента.

Сталь 40Х13 относится к мартенситному классу. После закалки и низкого отпуска эта сталь имеет твердость около 56HRC, что позволяет использовать ее для изготовления хирургического инструмента.

Предварительная подготовка образцов заключалась в шлифовании и полировании поверхности. Для выявления структурных изменений производилось травление полированной поверхности по стандартной методике.

Исследование влияния режимов ультразвуковой обработки на свойства сталей осуществлялось в УЗ-мойке Kudos модели SK2500HP. УЗ-колебания возбуждались в дистиллированной воде.

Частота УЗ-воздействия в эксперименте оставалась неизменной и составляла 57 кГц.

Выбиралась интенсивность УЗ-колебаний с учетом возможности получения качественно различных режимов УЗ-обработки, Вт/см²:

- 0,5 (докавитационный режим);
- 1,2 (возникновение кавитирующих пузырьков в жидкости);
- 1,5 (режим развитой кавитации).

Эксперименты проводились в определенной последовательности [3, 4]:

- устанавливалась интенсивность ультразвука – 0,5 Вт/см²;
- подготовленный образец погружали в УЗ-ванну и выдерживали 10 мин;
- измеряли микротвердость обработанной поверхности и фиксировали ее микроструктуру;

- процесс повторяли до тех пор, пока не появились явные признаки разрушения поверхности;
- аналогично обрабатывали другую партию образцов при интенсивности ультразвука 1,2 и 1,5 Вт/см².

Результаты экспериментов. Проведенные эксперименты, результаты которых представлены на рис.1 и 2, показали следующее:

- воздействие УЗ-колебаний на структуру материала зависит от времени и интенсивности обработки;
- существует латентный период, когда УЗ-колебания не влияют на обрабатываемую поверхность, причем этот период зависит от микротвердости материала: чем больше твердость, тем более продолжительнее латентный период при прочих равных условиях;
- после окончания латентного периода твердость металла повышается вследствие деформационного упрочнения поверхности;
- степень упрочнения стали 12Х17 с феррито-карбидной структурой выше, чем стали 40Х13 со структурой мартенсита;
- увеличение времени УЗ-обработки приводит к снижению микротвердости и началу разупрочнения материала;
- при малой интенсивности УЗ-воздействия в докавитационном режиме процесс упрочнения стали 12Х17 выражен слабо, упрочнения стали 40Х13 за время эксперимента не выявлено вообще;
- в кавитационном режиме становятся интенсивнее все три стадии процесса (латентный период – упрочнение – «разупрочнение»).

Это подтверждается изменением микроструктуры исследуемых образцов сталей после разного времени УЗ-воздействия в режиме развитой кавитации.

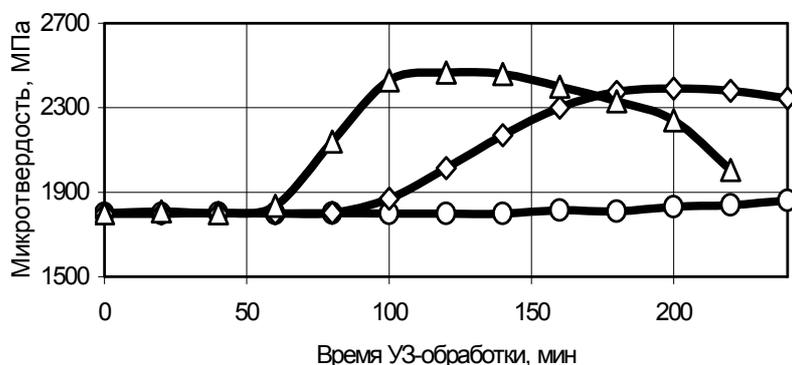


Рис.1. Зависимость микротвердости поверхности образцов стали 12Х17 от времени УЗ-обработки при разной интенсивности: 0,5 Вт/см² (○); 1,2 Вт/см² (◇); 1,5 Вт/см² (Δ)

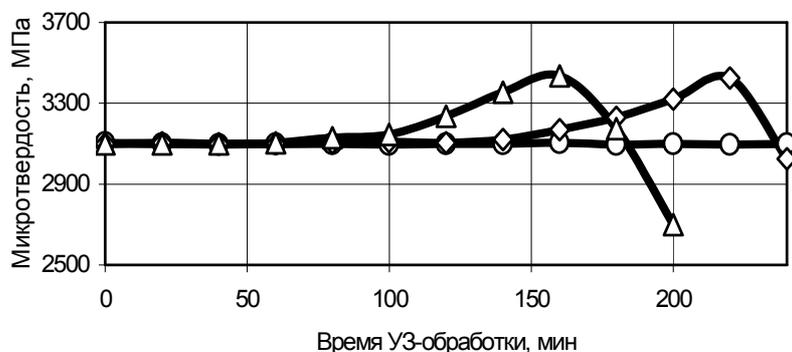


Рис.2. Зависимость микротвердости поверхности образцов стали 40Х13 от времени УЗ-обработки при разной интенсивности: 0,5 Вт/см² (○); 1,2 Вт/см² (◇); 1,5 Вт/см² (Δ)

Структура стали 40X13 представляет собой пакетный мартенсит, пластины которого ориентированы в направлении бывших аустенитных зерен. Так как мартенсит является структурой, находящейся в естественном напряженном состоянии, то кавитационное воздействие приводит к небольшому упрочнению, выражающемуся в некотором размывании рельефа. Причем время до начала упрочнения мартенсита (140 мин) значительно больше, чем время до начала упрочнения феррито-карбидной структуры стали 12X17 (80 мин). Последующее разупрочнение поверхности стали 40X13 проявляется быстро как следствие исчерпания пластичности. Разрушение поверхности начинается по границам бывших аустенитных зерен и носит характер хрупкого разрушения.

В обоих случаях начало процесса деформационного упрочнения сопровождается ухудшением макрорельефа обрабатываемого образца, что проявляется в помутнении его полированной поверхности.

Измерение микротвердости в торцевом сечении обрабатываемых образцов показало, что с увеличением глубины эффект кавитационного воздействия снижается (табл.1). Микротвердость обработанных и исходных образцов становится равной на глубине около 50 мкм.

Таблица 1

Изменение микротвердости по глубине образцов, мПа

Марка стали	Глубина от поверхности образца, мкм			
	10	25	50	75
12X17	2460	2070	1900	1800
40X13	3435	3310	3190	3100

По результатам эксперимента можно сделать выводы:

- УЗ-обработка сталей в докавитационном режиме практически не влияет на состояние их поверхности и микроструктуру;
- в кавитационном режиме под воздействием кавитирующих пузырьков жидкости происходит деформационное упрочнение, а затем разупрочнение и разрушение поверхности;
- более кавитационно-стойкой следует считать сталь 40X13 с мартенситной структурой;
- эффекты, вызванные кавитацией, распространяются в толщу материала на глубину до 50 мкм;
- величина деформационных процессов, вызванных кавитацией, зависит от интенсивности и времени УЗ-обработки.

Оценка результатов и выводы. Для сравнительного анализа влияния УЗ-колебаний на поверхность обрабатываемого материала и обеззараживающего действия УЗ-обработки использованы результаты экспериментов, проведенных ранее [5, 6].

Проверка зависимости антибактериального эффекта от времени и мощности воздействия низкочастотного ультразвука на оборудовании фирмы «Sonoса» проводилась по отношению к четырем клинически важным штаммам бактерий (*Staphylococcus aureus*, *Streptococcus pyogenes*, *Escherichia coli*, *Pseudomonas aeruginosa*). Подсчет проводился по количеству колониеобразующих единиц после УЗ-воздействия.

Эксперимент показал, что независимо от разной чувствительности к ультразвуку различных штаммов обработка ультразвуком суспензии с бактериями производит значительный антибактериальный эффект. При времени воздействия от 1 до 3 мин и мощности УЗ-колебаний 80-100% от номинальной количество бактерий снизилось на 90% для золотистого стафилококка и на 99% для стрептококков и псевдомонад.

При низкой мощности (20% от номинальной) за это же время было достигнуто умеренное уменьшение числа бактерий всех штаммов, не превышающее 60%.

А.П. Сарвазян [6] для УЗ-обработки посева бактерий в дистиллированной воде использовал поле интенсивностью 0,5, 1,2 и 1,5 Вт/см² [6]. Результаты эксперимента приведены на рис.3.

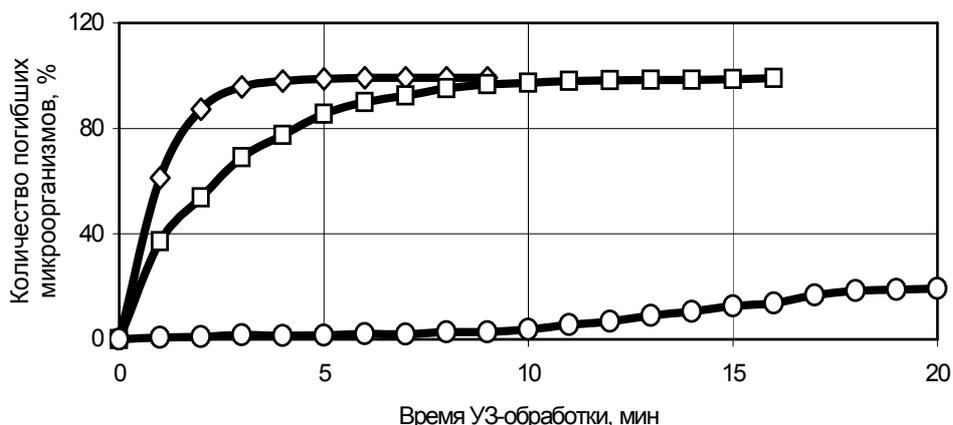


Рис.3. Влияние продолжительности УЗ-обработки на количество погибших микроорганизмов при разной интенсивности поля: 0,5 Вт/см² (○); 1,3 Вт/см² (□); 1,5 Вт/см² (◇)

Массовый распад микробных клеток при УЗ-обработке отмечается в момент наступления кавитации. Гибель бактерий подчиняется логарифмической зависимости от времени, что затрудняет практическое применение УЗ-стерилизации.

Таким образом, можно считать, что максимальная степень обеззараживания посевов бактерий в дистиллированной воде достигается за время от 3 до 8 мин в зависимости от мощности УЗ-колебаний.

Докавитационный режим практически не влияет на состояние поверхности инструмента (не повреждает ее), но неэффективен при обеззараживании. Поэтому дальнейший анализ проводился только для кавитационного режима различной интенсивности.

На рис.4 изображены диаграммы сравнительного анализа продолжительности стерилизации для уничтожения более 99% бактерий, и времени, соответствующего началу упрочнения и разупрочнения поверхности инструмента из сталей 12Х17 и 40Х13. По результатам экспериментов можно сделать выводы:

- сталь 40Х13 является более кавитационно-стойкой в сравнении со сталью 12Х17;
- при интенсивности ультразвукового поля 1,2 Вт/см² (порога возникновения кавитации) время, требуемое на достижение упрочнения и последующего разупрочнения поверхности инструмента, в среднем в 1,5 раза больше, чем при интенсивности воздействия 1,5 Вт/см², соответствующей режиму развитой кавитации.

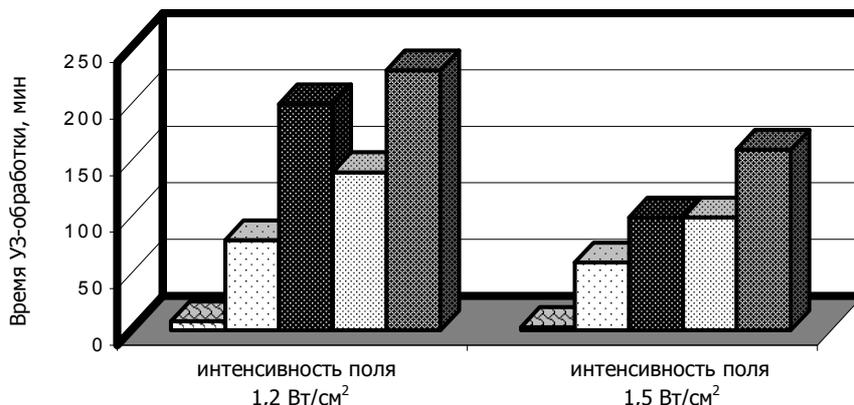


Рис.4. Влияние интенсивности УЗ поля на продолжительность обработки:
 [штриховка] - обеззараживание; [точечная] - начало упрочнения 12Х17; [темная] - начало разупрочнения 12Х17;
 [светлая] - начало упрочнения 40Х13; [клетчатая] - начало разупрочнения 40Х13

Однако если сравнить время, требуемое на обеззараживание поверхности, и время, необходимое для достижения упрочнения и разупрочнения материала, то окажется (табл.2), что повышение интенсивности УЗ поля позволяет осуществить больше циклов обеззараживания.

Таблица 2

Количество циклов УЗ-обработки

Интенсивность УЗ-поля, Вт/см ²		1,2	1,5
Сталь 12Х17	до начала упрочнения	10	20
	до начала разупрочнения	25	33
Сталь 40Х13	до начала упрочнения	17	33
	до начала разупрочнения	29	52

Так, до начала упрочнения инструмент из стали 12Х17 может выдержать 10 циклов обработки при интенсивности поля УЗ-обработки 1,2 Вт/см² и 20 циклов – при интенсивности поля 1,5 Вт/см², инструмент из стали 40Х13 может выдержать 17 циклов обработки при интенсивности 1,2 Вт/см² и 33 цикла – при интенсивности поля 1,5 Вт/см².

Таким образом, сопоставляя информацию о состоянии материала обрабатываемого инструмента и степень обеззараживания в зависимости от интенсивности УЗ-колебаний, можно выбрать наиболее эффективные режимы УЗ-стерилизации медицинского инструмента.

Библиографический список

1. Эльпинер Е.И. Биофизика ультразвука / Е.И. Эльпинер. – М.: Наука, 1973.
2. Пирсол Л. Кавитация / Л. Пирсол. – М.: Мир, 1995.
3. Цыбрий И.К., Бровер Г.И., Вяхирев В.С. Способ термической обработки инструментальных сталей // А.с. 1569344 СССР, МКл С21D9/22; опубл. 07.06.90, Бюл.21.
4. Цыбрий И.К. Влияние ультразвуковой обработки на эффективность лазерного упрочнения железоуглеродистых сплавов / И.К. Цыбрий, Г.И. Бровер, В.С. Вяхирев // Диагностика металлорежущих станков и процессов обработки: межвуз. сб. – Ростов н/Д, 1991.
5. Шульце К. Исследование антибактериального действия низкочастотного ультразвука in vitro / К. Шульце, С. Оссер, Й. Зайферт // Отчет по проекту SONOCA компании Söring GmbH Medizintechnik, 2001, <http://www.soering.com>
6. Сарвазян А.П. О механизме биологического действия ультразвука / А.П. Сарвазян. В кн. Ультразвук в физиологии и медицине. Ч1. / А.П. Сарвазян. – Ульяновск, 1975.

References

1. El'piner E.I. Biofizika ul'trazvuka / E.I. El'piner. – M.: Nauka, 1973. – in Russian.
2. Pirsol L. Kavitatsiya / L. Pirsol. – M.: Mir, 1995. – in Russian.
3. Sybrii I.K., Brover G.I., Vyahirev V.C. Sposob termicheskoi obrabotki instrumental'nyh stalei // A.s. 1569344 SSSR, MKl S21D9/22; opubl. 07.06.90, Byul.21. – in Russian.
4. Sybrii I.K. Vliyanie ul'trazvukovoi obrabotki na effektivnost' lazernogo uprochneniya jelezougl'erodistykh splavov / I.K. Sybrii, G.I. Brover, V.S. Vyahirev // Diagnostika metallorejuschiy stankov i processov obrabotki: mejvuz. sb. – Rostov n/D, 1991. – in Russian.
5. Shul'ce K. Issledovanie antibakterial'nogo deistviya nizkochastotnogo ul'trazvuka in vitro / K. Shul'ce, S. Osser, I. Zaifert // Otchet po proektu SONOCA kompanii Söring GmbH Medizintechnik, 2001, URL: <http://www.soering.com> – in Russian.
6. Sarvazyan A.P. O mehanizme biologicheskogo deistviya ul'trazvuka / A.P. Sarvazyan. V kn. Ul'trazvuk v fiziologii i medicine. Ch1. / A.P. Sarvazyan. – Ul'yanovsk, 1975. – in Russian.

Материал поступил в редакцию 15.05.2010.

I.K. TSYBRIY, E.V. VYAKHIREVA, I.S. KUKHARENKO

**COMPLEX PERFORMANCE ANALYSIS OF MEDICAL INSTRUMENT
ULTRASONIC MACHINING**

Research results of the ultrasonic surface decontamination of the medical instrument in the complex with the structural material transformations occurring under the influence of ultrasonic vibrations are presented. The research work is aimed at the effective ultrasonic machinery modes selection.

Key words - ultrasonic machining, medical instrument, cavitation, disinfection, material structure.

ЦЫБРИЙ Ирина Константиновна, кандидат технических наук (1984), доцент (1987) кафедры «Приборостроение» ДГТУ. Окончила РИСХМ (1973) по специальности «Автоматизированные производственные процессы».

Область научных интересов – магнитные свойства и методы исследований ферромагнитных металлов и сплавов.

Автор более 100 публикаций.

e-mail: irconst@mail.ru

ВЯХИРЕВА Елена Владимировна, инженер I категории ОАО «Лукойл-Ростовнефтехимпроект». Окончила ДГТУ (2002), «Приборостроение», инженер-электромеханик по специальности «Приборостроение».

Область научных интересов – разработка систем управления и контроля качества в машиностроении.

Автор 7 публикаций.

elenvlad@mail.ru

КУХАРЕНКО Ирина Сергеевна, магистрант первого года обучения кафедры «Приборостроение» ДГТУ, бакалавр техники и технологии по направлению «Приборостроение» (2009).

Область научных интересов – синтез и анализ систем управления.

Автор 5 публикаций.

kux_61_rus@mail.ru

Irina K. TSYBRIY, Associate Professor (1987) of the Instrument Making Department, Don State Technical University. Candidate of Science in Engineering (1984). She graduated from Rostov Institute of Agricultural Engineering (1973).

Research interests - magnetic properties and investigation methods of ferromagnetic metals and alloys.

Author of more than 100 scientific publications.

Elena V. VYAKHIREVA, Engineer of the 1st category, JSC «Lukoil-Rostovneftehimproekt». She graduated from Don State Technical University (2002).

Research interests - control systems and quality control systems design in manufacturing.

Author of 7 scientific publications.

Irina S. KUKHARENKO, 1st year Master of Science in Manufacturing Engineering of the Instrument Making Department, Don State Technical University, Bachelor in Methods and Technologies (2009).

Research interests - synthesis and analysis of control systems.

Author of 5 scientific publications.