



ПРОМЫШЛЕННОЕ ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА



МОСКВА — 1966

621.731 4 621.762

Под редакцией канд. техн. наук
Ю. И. КИТАЙГОРОДСКОГО

УДК 621.7+621.9.048

Б. А. Агранат, Ф. А. Бронин
Московский институт стали и сплавов

ПОЛУЧЕНИЕ МАТЕРИАЛОВ СВЕРХТОНКОЙ ДИСПЕРСНОСТИ В УЛЬТРАЗВУКОВОМ ПОЛЕ

Проблема сверхтонкого диспергирования твердых материалов является актуальной для ряда отраслей техники.

В процессах порошковой металлургии введение в порошок основного спекаемого материала добавок высокодисперсных тугоплавких окислов повышает качество получаемого продукта. Так, введение в спекаемый порошок хрома нескольких процентов высокодисперсного порошка окиси магния (0,02—0,04 мк) повышает жаростойкость изделий в 3—4 раза [1]. В машиностроении важная роль отводится высокодисперсным твердым смазкам, одной из составляющих которых является тонкодисперсный дисульфид молибдена [2]. Тонкодисперсный порошок двуокиси циркония используется в производстве электрических контактов и т. д.

Диспергирование твердых материалов производится в настоящее время различными методами, основанными на механических, термических и электрохимических способах измельчения. Однако все существующие методы позволяют получать порошки с размерами частиц около микрона или десятых долей микрона, что недостаточно, в частности, для указанных выше целей, где наибольший эффект достигается при размерах частиц, измеряемых сотыми долями микрона.

Весьма перспективным является ультразвуковой способ измельчения, основанный на кавитационном разрушении твердых тел. Эффективность этого метода зависит от интенсивности ультразвуковой кавитации, создаваемой в диспергаторе.

В последнее время разработан метод повышения интенсивности ударных волн при ультразвуковой кавитации с использованием избыточного статического давления в рабочем объеме жидкости [3]. В работе [4] показано, что с повышением статического давления при одновременном увеличении амплитуды ультразвуковых колебаний резко возрастает эффективность воздействия ультразвука на процессы, протекающие в жидкостях. Этот метод позволил значительно повысить и эффект диспергирования.

Ультразвуковое диспергирование различных порошков при повышенном статическом давлении производилось на установке УЗВ-4Д, принятой в настоящее время к серийному производству. В процессе проведения опытов контролировались температура в рабочей камере, амплитуда колебаний преобразователя и статическое давление, создаваемое сжатым газом. Для этих целей использовались соответственно электронный потенциометр ЭПВ-2, ультразвуковой бесконтактный виброметр УБВ-2 и образцовый манометр.

Диспергированию подвергались различные по своим прочностным свойствам материалы: хром, нержавеющей сталь, двуокись циркония, окись алюминия, окись свинца, карбид бора и др. Дисперсность материала в исходном состоянии и после ультразвуковой обработки определялась по удельной поверхности порошков на приборе системы Дерягина и на оптическом микроскопе МБИ-6. Контрольные измерения производились на

электронных микроскопах ЭМ-3 и УЭМВ-100. Эффект ультразвукового диспергирования определяется в зависимости от величины избыточного статического давления, температуры рабочей жидкости, времени озвучивания, первоначального размера частиц и соотношения твердой и жидкой фаз.

На рис. 1 приведена полученная зависимость выхода фракций порошка хрома от величины избыточного давления в рабочей камере диспергатора. Кривая 1 относится к фракции с размерами частиц — 4,2 мк, кривые 2 и 3 — к фракциям с размерами частиц 4,2—8,4 мк и 8,4—12,6 мк соответственно. Из графика вид-

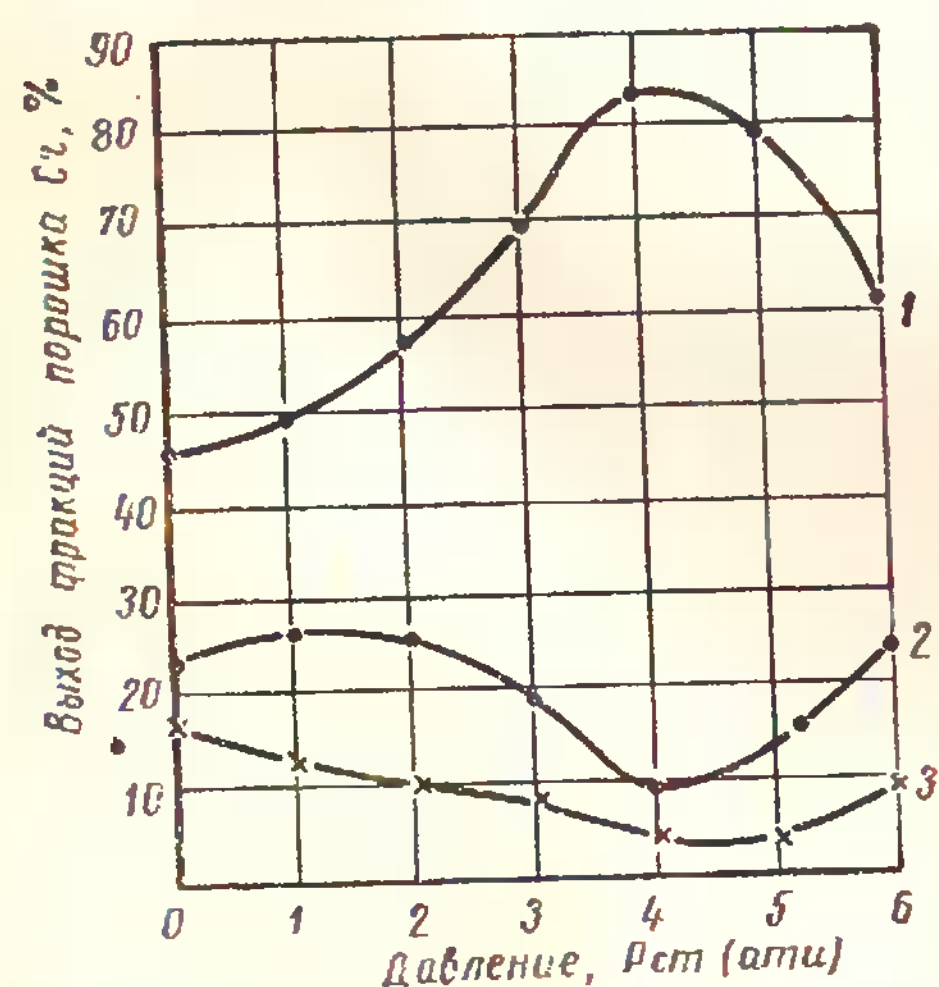


Рис. 1. Графики зависимости выхода фракций хрома от величины избыточного статического давления
1 — выход фракций меньше 4,2 мк; 2 — выход фракций 4,2—8,4 мк; 3 — выход фракций 8,4—12,6 мк

но, что выход фракции с размерами частиц — 4,2 мк (кривая 1) растет с увеличением статического давления, достигая наибольшего значения (84,4%) при 4,0 ати и уменьшается при дальнейшем повышении статического давления, что согласуется с теоретическими представлениями [5].

Выход фракций 4,2—8,4 мк и 8,4—12,6 мк при давлении 4 ати, как и следовало ожидать, имел минимальное значение (9,4% и 4,2% против 23,1% и 18,3% при 0 ати соответственно).

Продолжительность обработки партии в каждом эксперименте составляла 2 ч. Количество хрома и рабочей жидкости бралось в весовом соотношении 2:5. Температура рабочей жидкости (воды) поддерживалась 55—60° С.

В таблице приведены данные результатов диспергирования (с применением ультразвука) порошка двуокиси циркония при избыточном давлении 4 ати.

Суммарное объемное содержание фракций порошка (по минусу), полученное путем умножения среднего размера, возведенного в куб, частиц каждой фракции на ее процентное содержание, в исходном состоянии и после озвучивания в течение 8 ч, представлено на рис. 2.

Из данных таблицы и хода кривых (рис. 2) видно, что с увеличением времени озвучивания возрастает количество фракций более высокой степени дисперсности. Так, суммарное объемное содержание фракций меньше 0,20 мк (—0,2 мк) достигает 86% (кривая 2) против 55% (кривая 1) в исходном состоянии.

Вместе с тем, как видно из таблицы, при 8-часовой обработке имеет место некоторое уменьшение количества частиц фракции — 0,02 мк до 5,3% против 20,2% при 3-часовой обработке. Можно полагать, что одновременно с диспергированием происходит и процесс коагуляции частиц высокой дисперсности [6].

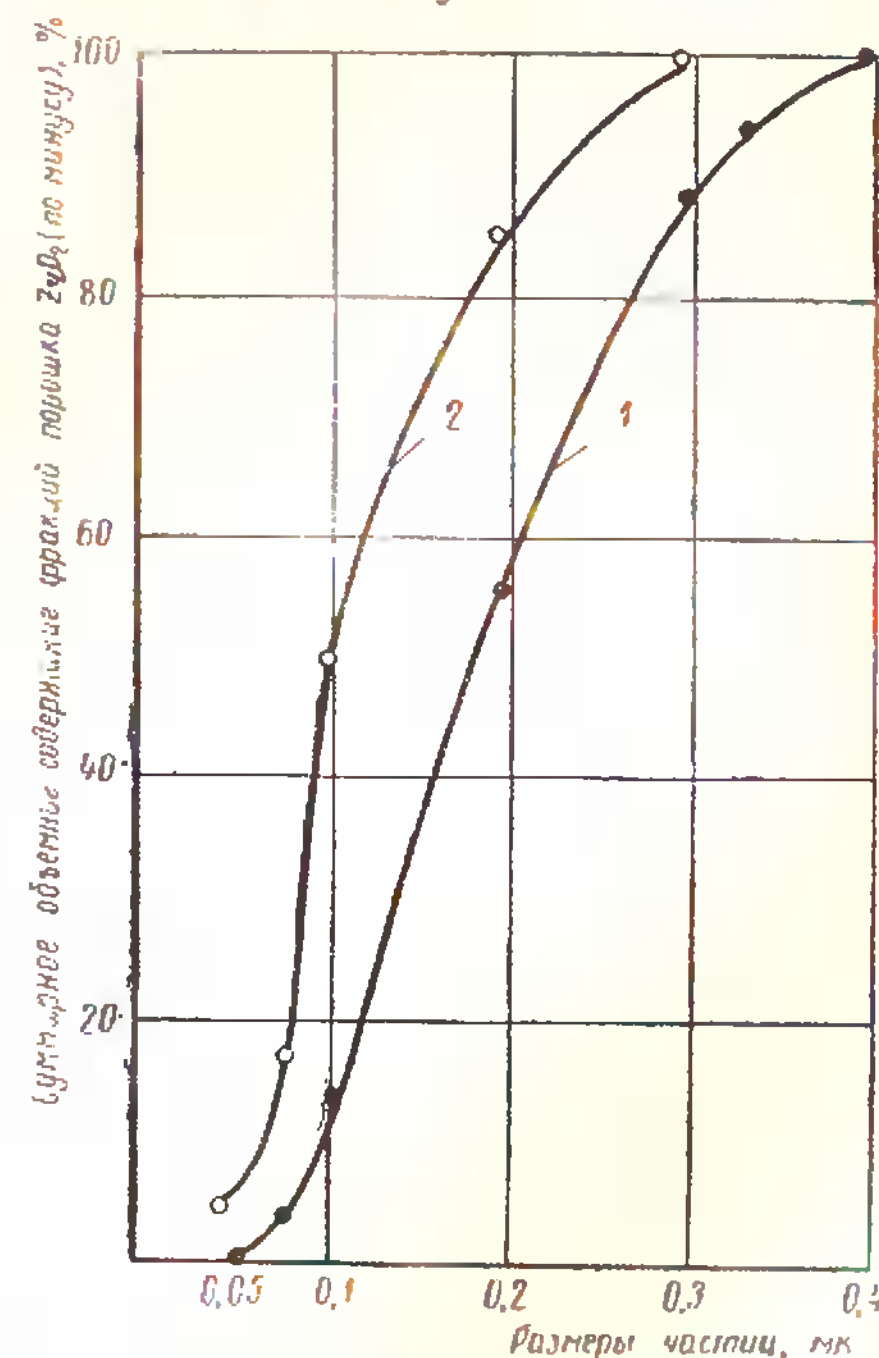


Рис. 2. График суммарного объемного содержания фракций (по минусу)
1 — в исходном состоянии; 2 — после озвучивания в течение 8 ч

Фракции с размерами частиц, $\mu\text{м}$	Содержание фракции, %			
	исходное состояние	после диспергирования в течение, ч		
		0,5	3,0	8,0
0,02	3,2	10,9	20,2	5,3
0,02—0,04	7,1	4,8	5,5	6,8
0,04—0,06	10,2	7,0	14,1	14,7
0,06—0,10	17,1	11,4	18,2	26,6
0,10—0,16	37,4	43,2	32,5	40,6
0,16—0,24	19,1	19,0	8,2	5,4
0,24—0,36	5,0	1,1	0,8	0,8
0,36—0,64	0,8	0,6	0,5	—

Выводы

1. Ультразвуковое диспергирование с использованием избыточного статического давления в рабочей камере является наиболее эффективным по сравнению с другими методами. При оптимальном соотношении между величиной статического давления и амплитудой ультразвуковых колебаний представляется возможным диспергировать любые твердые тела, независимо от их прочностных свойств.

2. Время, необходимое для получения тонкодисперсных материалов указанным методом, на порядок меньше времени диспергирования другими методами.

3. Разработанный метод ультразвукового диспергирования позволяет получить высокую степень дисперсности ряда материалов (до сотых долей микрона), что представляет большой практический интерес для машиностроительной, металлургической и химической промышленности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Scruggs D. M. Chromium composites are ductile.— „Mater Design Engng“, 1962, v. 56, № 7, p. 115—117. (Экспресс-информация. Серия «Металловедение и термообработка», 1963, № 16).
2. Е р м и л о в А. С. Применение ультразвука при получении консистентных смазок.— «Новости нефтяной техники», 1957, № 10.
3. Авторское свидетельство № 170435.— «Бюллетень изобретений и товарных знаков», 1965, № 9.
4. А г р а н а т Б. А., Б а ш к и р о в В. И., К и т а й г о р о д с к и й Ю. И. Использование избыточного статического давления для управления процессом ультразвуковой кавитации.— «Ультразвуковая техника», 1966, вып. 1.
5. Б а ш к и р о в В. И. Эффективный метод управления процессом ультразвуковой кавитации.— Сб. «Промышленное применение ультразвука», ВНИИЭМ, М., 1965.
6. H a r m a n s J. J. Charged colloid particles in ultrasound field.— „Philosophical Magazine“, 1938, v. 26, 7, p. 647.

УДК 666.1:621.7.022.6

Б. А. Агранат, В. И. Башкиров, Ю. А. Самойлов

ИНТЕНСИФИКАЦИЯ ПРОЦЕССА ОТДЕЛЕНИЯ ПРИМЕСЕЙ ОТ КВАРЦЕВОГО МАТЕРИАЛА ПРИ ВОЗДЕЙСТВИИ УЛЬТРАЗВУКА

Кварцевое сырье является главным компонентом шихты, предназначенной для изготовления стекла. Основной показатель качества стекла — светопропускание — зависит от количества вредных примесей, главным образом окислов железа в кварцевом материале.

Железо содержится в песке в виде пленок на зернах кварца, а также в железосодержащих минеральных и глинистых частицах. Наибольшую трудность представляет очистка кварцевых зерен от пленок гидроокислов железа, имеющих с ними наиболее прочные связи.

Механическая оттирка кварцевого песка в камере с водой при помощи пропеллеров, вращающихся со скоростью до 3000 об/мин, длится от 20 мин до 1 ч и не обеспечивает необходимого качества очистки.

Исследовалось использование ультразвуковых колебаний высокой интенсивности для ускорения процесса.

Ультразвуковая очистка получила широкое распространение благодаря специфическим явлениям, возникающим в жидкости при распространении ультразвуковых колебаний [1, 2]. Важное значение имеет разработанный в последнее время способ повышения интенсивности ударных волн при ультразвуковой кавитации. Благодаря использованию избыточного статического давления в рабочем объеме жидкости при одновременном увеличении интенсивности ультразвуковых колебаний оказалось возможным многократно повысить эффективность ультразвукового воздействия [3].

Опыты по определению влияния ультразвука на процесс очистки кварцевого песка проводились при нормальном и избыточном статическом давлении. В первом случае были использованы преобразователи типов ПМС-7 и ПМС-6М, во втором — типа ПМС-15А.

Исследования при избыточном давлении проводились на специально сконструированной установке, схема которой приведена на рис. 1.

Избыточное давление создавалось сжатым азотом. Камера охлаждалась проточной водой. Температура рабочей жидкости контролировалась термпарой через электронный потенциометр типа ЭПВ-2.

Опыты проводились при консистенции пульпы 1,35—1,40 г/см³. Параллельно были проведены опыты по оттирке аналогичных проб кварцевого материала механическим способом.

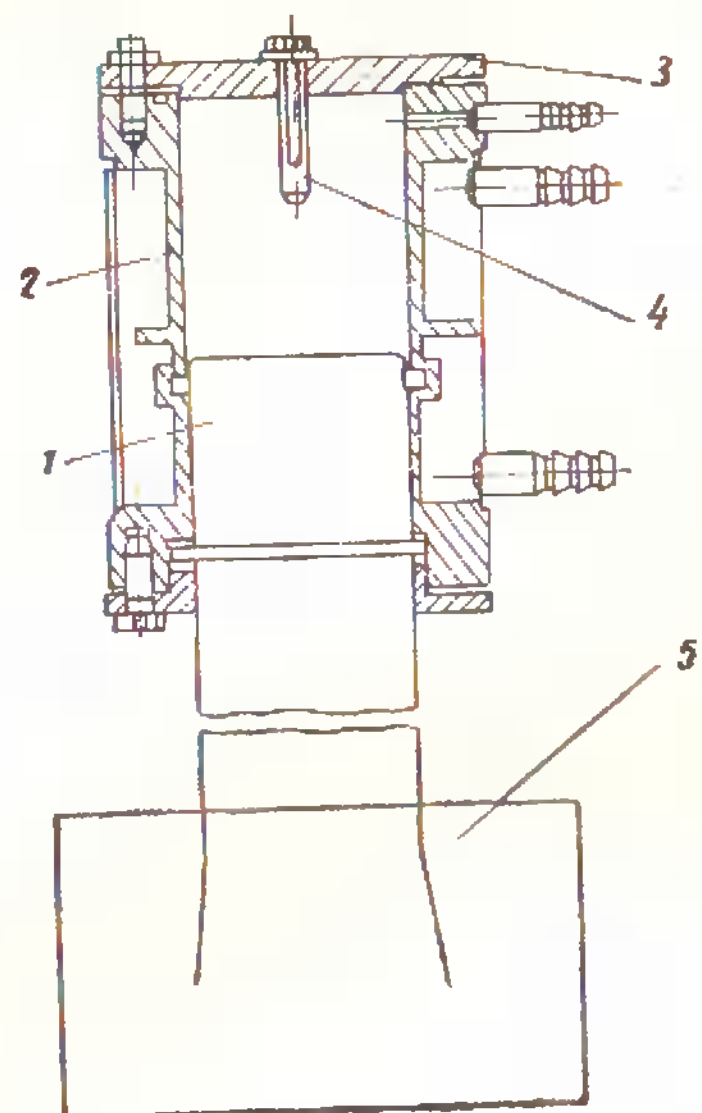


Рис. 1. Ультразвуковая установка

1 — излучатель; 2 — камера; 3 — крышка; 4 — гермопара; 5 — преобразователь типа ПМС-15А

Для оценки качества обработки производились химический, минералогический и седиментационный анализы. Седиментационный и минералогический анализы позволили соответственно разделять исследуемые пробы на классы крупности и определять количество пленочных и глинистых примесей (шламов), отделяемых от зерен кварца.

Химический анализ позволил определить содержание окислов железа в очищенном материале с точностью 0,002%.

Результаты экспериментов приведены в таблице.

На рис. 2 показана зависимость содержания окислов железа от времени обработки при механической оттирке. Как видно по ходу кривой, для снижения концентрации окислов железа с 0,23 до 0,07% требуется обработка в течение 15—20 мин, а для уменьшения их со-

Материал	Содержание Fe_2O_3 в исходном материале, %	Время обработки (мин) и содержание Fe_2O_3 (%) после обработки					
		механическим способом		ультразвуковым способом под давлением, атм			
				0		4	
		время	содержание	время	содержание	время	содержание
Лебединский песок	0,340	30	0,090	15	0,080	5	0,060
Егановский песок	0,230	30	0,070	15	0,050	5	0,030
Отходы горного хрусталя	0,036	30	0,030	15	0,025	5	0,013

держания до 0,04% необходимо увеличить время оттирки до 45—60 мин.

На рис. 3 показана зависимость степени очистки от времени ультразвуковой обработки (сплошная кривая) при избыточном статическом давлении 4 атм. Наиболее интенсивное отделение пленок, как следует из графика, происходит при продолжительности озвучивания 1,5—2,0 мин. За этот период от квар-

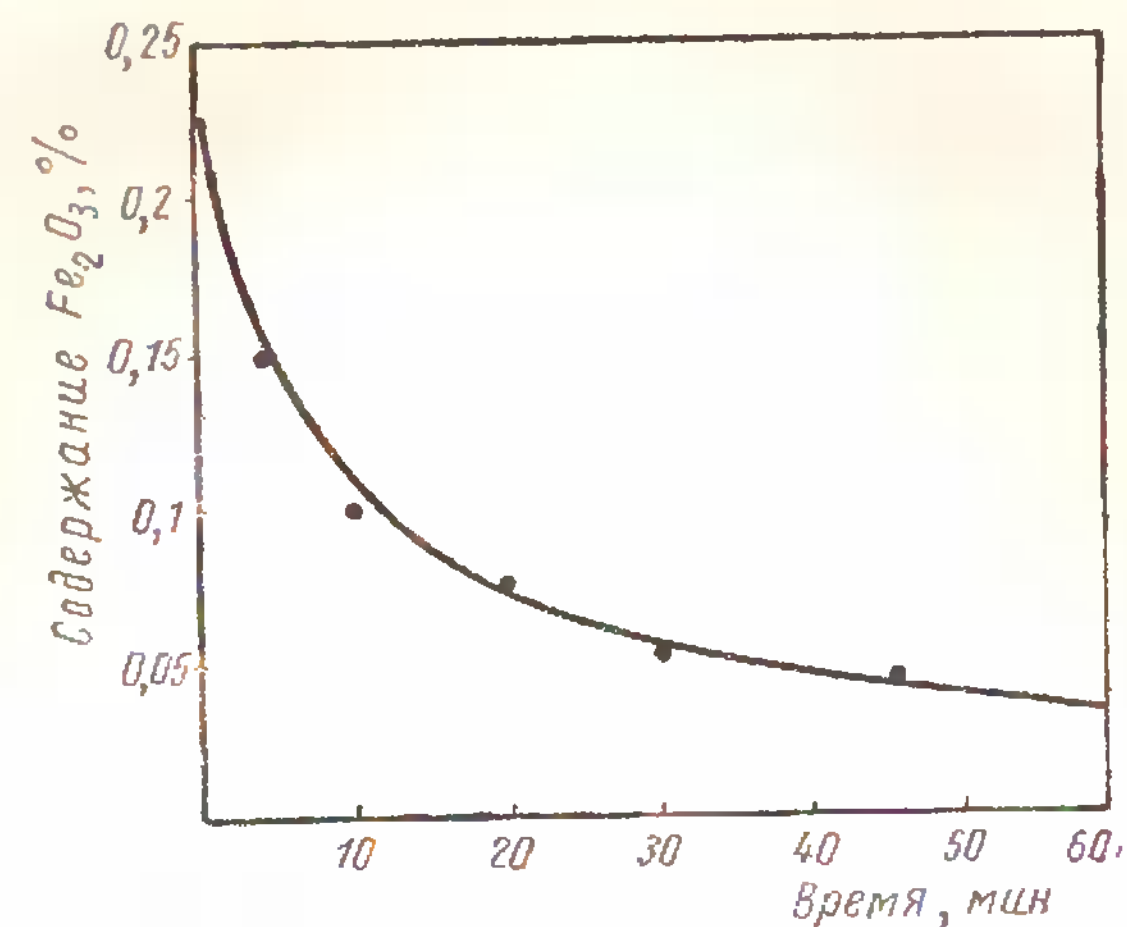


Рис. 2. Зависимость содержания окислов железа от времени механической обработки

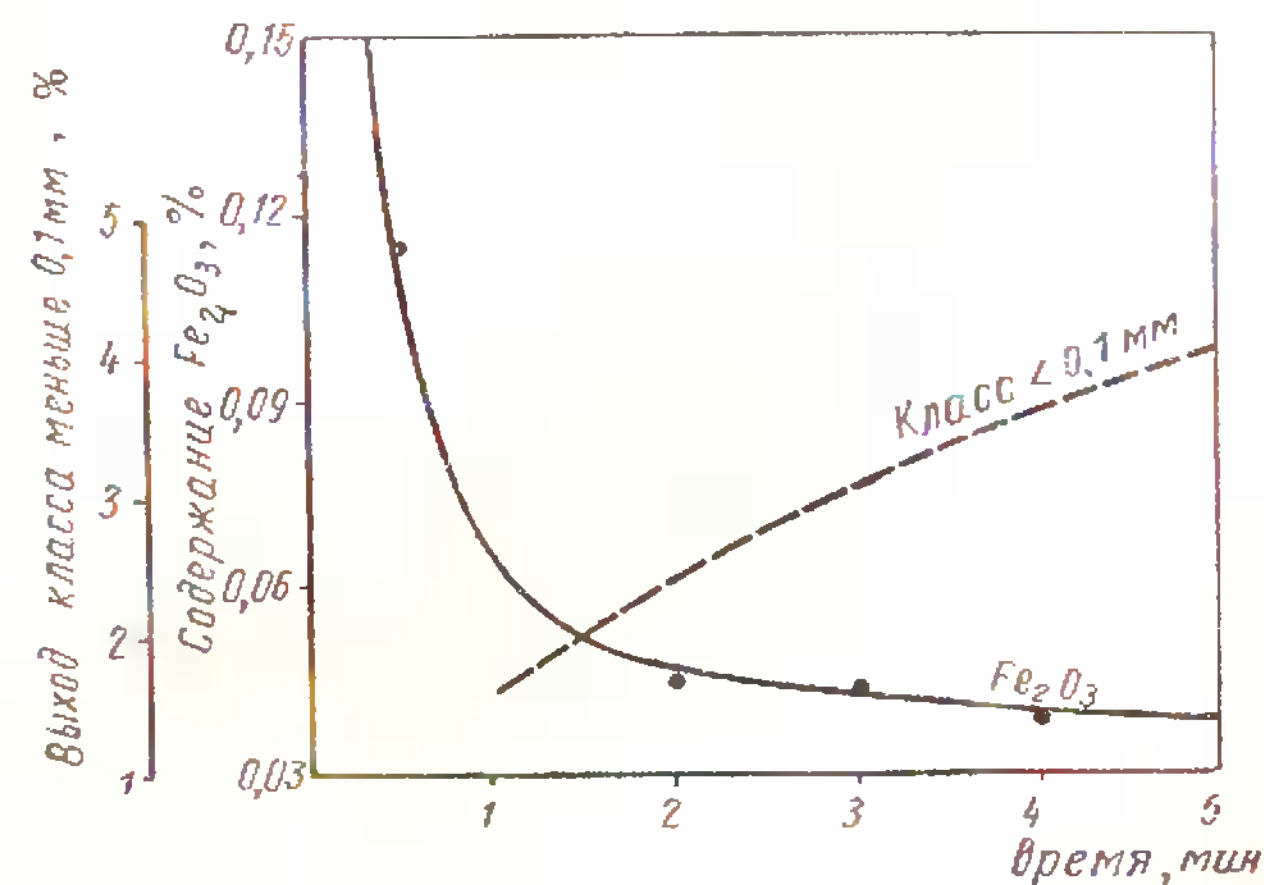


Рис. 3. Зависимость содержания окислов железа от времени ультразвуковой обработки

ца отделяется 80—90% всех вредных примесей. На основе анализов удалось установить, что при ультразвуковой очистке гидроокисные пленки удаляются как с поверхности, так и из углублений и трещин в кварцевых зернах.

При ультразвуковой обработке этого же песка при нормальном давлении в рабочей камере интенсивность очистки значительно ниже. Так для снижения содержания Fe_2O_3 с 0,23 до

0,05% при нормальном давлении в камере требуется обработка в течение 6 мин. Такой же результат при избыточном давлении достигается менее чем за 2 мин.

Характерно, что в ультразвуковом поле интенсифицируется также выход шлама (частиц мельче 0,1 мм). Если при простой промывке выход этого класса составлял 1—1,5% от всей пробы, то после ультразвуковой обработки (пунктирная кривая) его количество увеличивалось в 3,5—4 раза.

Выводы

1. Процесс отделения вредных примесей от зерен кварца в ультразвуковом поле ускоряется по сравнению с механической очисткой в 3—4 раза при нормальном статическом давлении в рабочей камере и в 10—15 раз — при использовании избыточного статического давления (4 атм).

2. Ультразвуковая очистка способствует удалению вредных примесей не только с поверхности, но из микротрещин и углублений на зернах кварца.

3. Ультразвуковая обработка наиболее эффективна по сравнению с механической при очистке менее загрязненных кварцевых материалов. Так, обработка отходов горного хрусталя при нормальном статическом давлении позволила снизить содержание Fe_2O_3 на 30%, а при избыточном давлении — на 64%. После механической оттирки при тех же условиях количество окислов железа уменьшалось не более чем на 17%.

ЛИТЕРАТУРА

1. Агранат Б. А., Башкиров В. И. Ультразвуковая очистка (обзор). — «Ультразвуковая техника», 1965, № 1.
2. Ревнивцев В. И., Дмитриев Ю. Г. Применение ультразвука для обогащения стекольных песков. — «Стекло и керамика», 1961, № 11.
3. Агранат Б. А., Башкиров В. И., Китайгородский Ю. И. Использование избыточного статического давления для управления процессом ультразвуковой кавитации. — «Ультразвуковая техника», 1966, № 1.

УДК 621.7.022.6

Ф. А. Бронин, В. С. Комбалов

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОЧИСТКА ДЕТАЛЕЙ ЭМАЛИРОВОЧНЫХ СТАНКОВ

Процесс эмалирования занимает важное место в производстве медной и алюминиевой проволоки для электротехнической промышленности. Высокие требования предъявляются к качест-

ву эмалевого покрытия. Эмаль должна иметь высокую электрическую прочность, термостойкость и противостоять растворителям и кислотам. Наиболее часто для эмалирования проволоки используется винифлексовый лак.

В процессе эмалирования лаком загрязняются металлические калибры, регулирующие толщину слоя лака, а также ролики, блоки и другие детали эмалировочных станков. Лаковые пленки, образующиеся на поверхности металла, нарушают режим эмалирования и поэтому загрязненные детали периодически снимаются и подвергаются очистке.

Снятие лаковых пленок при существующей технологии производится химическими методами. Мелкие детали (калибры) выдерживаются в растворителе винифлексового лака в течение 10—15 ч, крупные детали (ролики) на 2—3 ч погружаются в кипящий раствор каустической соды. Затем остатки лака с деталей снимаются механическим путем.

Применение ультразвуковых колебаний позволяет значительно ускорить процесс очистки [1, 2].

Интенсифицирующее действие ультразвуковых колебаний на процесс очистки основано на явлении кавитации.

Наибольшего эффекта в процессах ультразвуковой очистки можно достигнуть при сочетании кавитационного воздействия с химическим. Для этого необходимо подобрать такую рабочую жидкость, которая хорошо бы растворяла соответствующее лаковое покрытие, а также обладала физико-химическими параметрами, обуславливающими достижение наибольшей интенсивности ударных волн.

Величина давления, возникающая при кавитации, зависит главным образом от давления пара и газа в полости пузырька. Чем ниже упругость пара и растворимость газа в жидкости, тем выше интенсивность ударных волн, возникающих при захлопывании кавитационных пузырьков [3, 4].

В таблице приведены некоторые физические характеристики растворителей, применяемых для очистки деталей от лака.

Растворитель	Давление насыщенных паров, мм рт. ст.	Растворимость азота, см ³ /мл
Ацетон	185,0	0,138
Хлорбензол	9,0	0,099
Толуол	22,0	0,119
Бензол	75,0	0,111
Спирт этиловый	44,0	0,140
Четыреххлористый углерод	91,7	1,512

ОЧИСТКА ДЕТАЛЕЙ ОТ ЖИРОВЫХ ЗАГРЯЗНЕНИЙ *

Из анализа этой таблицы видно, что одним из лучших органических растворителей для ультразвуковой очистки является хлорбензол как имеющий наименьшее давление насыщенных паров и наименьшую растворимость в нем азота.

Экспериментальные исследования по снятию смолы випифлекс с поверхности металлических деталей были проведены в различных растворителях. В хлорбензоле процесс очистки идет в 2—2,5 раза быстрее, чем в других растворителях, приведенных в таблице. Учитывая низкую температуру вспышки паров хлорбензола—около 28°C (что относит его к разряду взрывоопасных растворителей), в качестве рабочей жидкости применялся раствор, состоящий из 80% хлорбензола и 20% четыреххлористого углерода. Температура вспышки этого раствора выше 45°C , что позволяет применять его в производственных условиях.

Для работы в цехах завода «Москабель» ультразвуковой лабораторией Московского института стали и сплавов была разработана и собрана ультразвуковая установка для очистки деталей эмалировочных станков от лаковых пленок [5].

Установка состоит из генератора ультразвуковых колебаний УЗГ-10М, ванны с 4 преобразователями ПМС-6М, вмонтированными в дно, и выносного пульта управления. Мелкие детали загружаются в цилиндрический контейнер, который в процессе работы вращается, что обеспечивает равномерную очистку всей поверхности деталей. Для снижения упругости паров предусмотрено интенсивное охлаждение и циркуляция раствора. Температура раствора поддерживается регулятором температуры.

Полная очистка деталей от лаковых загрязнений производится за 20—30 мин. Годовой экономический эффект от внедрения ультразвуковой очистки в эмальцехе завода «Москабель» составил 6,8 тыс. руб.

ЛИТЕРАТУРА

1. Hickling R., Plesset M. S. Collapse and rebound of a spherical bubbles in water.— „Phys. Fluids“, 1964, v. 7, № 1, p. 7—14.
2. Jonis J. R., Edward P. E. An experimental study of the forces generated by the collapse of transient cavities in water.— „J. Fluid Mech.“, 1960, v. 7, pt. 4, p. 596—609.
3. Образцов В. И. К вопросу о связи эффективности ультразвуковой эрозии с параметрами рабочей жидкости. Сб. «Применение ультразвука к исследованию вещества». МОПИ, 1961, вып. 15, с. 165—178.
4. Wilson R. W. Influence of Physical Properties of Liquids on severity of cavitation Damage.— „Compressed Air and Hydraulics“, 1962, v. 27, № 319, p. 382.
5. Агранат Б. А. Механизированная ультразвуковая установка для снятия лаковых пленок с поверхности металлических деталей.— «Ультразвуковая техника», 1964, № 3, с. 36—39.

В США, Англии и ФРГ рядом фирм рекламируются и выпускаются установки для очистки деталей от жировых загрязнений, в которых ультразвуковая очистка сочетается с очисткой в парах растворителя. Для снижения затрат на растворители в установки встроены регенерационные устройства. Ниже дано описание одной из установок для трехстадийного процесса очистки, выпускаемых фирмой Imperial Chemical Industries (Чешир, Англия).

Корзина или приспособление с закрепленными деталями (загрузочное приспособление) погружается сначала в промывочную ванну с кипящей жидкостью с тем, чтобы удалить наиболее крупные растворимые и нерастворимые загрязнения. Затем детали переносятся в холодную ультразвуковую ванну, где под воздействием кавитации с поверхности деталей удаляются оставшиеся нерастворимые загрязнения.

Далее детали переносятся в последнюю камеру очистки в парах растворителя. Здесь чистые пары трихлорэтилена конденсируются на поверхности детали, производя окончательное прополаскивание. Одновременно, по мере того как корзина медленно поднимается из камеры с парами растворителя, очищаемые детали нагреваются и растворитель полностью успевает

* Ultrasonics, 1966, I, v. 4, p. 35—36. Составитель М. В. Алексеева.

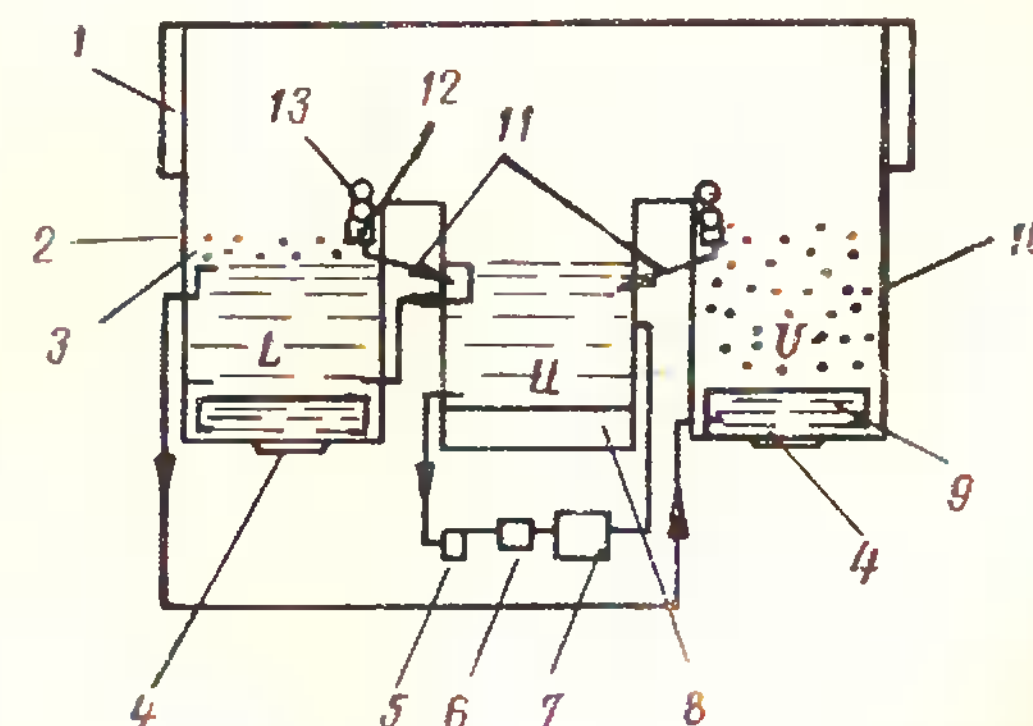


Рис. 1. Схема 3-стадийной установки для обезжиривания с использованием раствора хлорированных углеводородов

1 — зона вентиляции; 2 — регулируемая высота паров; 3 — паровое облако; 4 — нагреватели; 5 — насос; 6 — фильтр; 7 — охладитель; 8 — преобразователь; 9 — грязеотстойник; 10 — корпус установки из нержавеющей стали; 11 — подогретый перегород; 12 — желоб для перегорода; 13 — водохлаждаемые трубки-змеевики; L — камера с кипящим раствором; U — ультразвуковая камера; V — камера промывки парами

испариться с их поверхности, прежде чем загрузочное приспособление покинет установку.

Пары трихлорэтилена тяжелее воздуха и потому после испарения с поверхностей деталей они снова опускаются, сводя таким образом к минимуму потери растворителя. Но тем не менее незначительная часть паров все-таки может выйти за пределы установки. Чтобы избежать этого, наверху установки предусмотрена система вытяжной вентиляции.

Перегонка и фильтрация

Описываемый тип установки включает в себя непрерывную самоочистку путем перегонки и фильтрации. Растворитель ванны промывки и грязеотстойника, подогреваемый до кипения, образует пары, которые конденсируются на водоохлаждаемых кольцевых трубках-звеевиках. Чистый перегнанный растворитель собирается в желобках под трубками и стекает в ванну ультразвуковой очистки, поддерживая таким образом постоянным уровень растворителя в ней. Растворитель из ультразвуковой ванны переливается в первую ванну, которая в свою очередь сообщается с грязеотстойником. В результате растворимые и нерастворимые загрязнения собираются в отстойнике, который периодически очищается. При объеме растворителя в ультразвуковой ванне 68 л скорость перегонки равна 91 л/ч. Нерастворимые загрязнения удаляются из установки также при помощи системы фильтрации, связанной с ультразвуковой ванной. В фильтрах может быть применена обычная фильтровальная бумага. Скорость циркуляции 1365 л/ч (при объеме ультразвуковой ванны 68 л).

В табл. 1 и 2 даны размеры и основные характеристики типовых установок. Интенсивность ультразвуковых колебаний в указанных установках лежит в пределах 0,3—0,6 Вт/см².

Для дальнейших описаний введены следующие обозначения обработки: *L* — предварительная очистка погружением в кипящую жидкость; *U* — очистка погружением в ультразвуковую ванну и *V* — окончательная очистка прополаскиванием в парах растворителя.

Таблица 1

Количество ванн	Габариты ванн, мм			Габариты установки, мм			Средняя мощность ультразвуковых генераторов, Вт (при частоте 25 кГц)
	длина	ширина	высота	длина	ширина	высота	
3	355	228	228	1981	660	914	300
3	508	305	330	2286	812	1066	500
3	635	437	381	2900	914	1219	1000

Таблица 2

Приблизительный объем растворителя, л			Энергия, потребляемая нагревателями, кВт	Энергия, потребляемая вспомогательными системами, кВт	Расход воды, л/ч
<i>L</i>	<i>U</i>	<i>V</i>			
45	31,5	13,5	7,5	1,5	318
85,5	68	27	16	2,5	636
148,5	103,5	51	22	4	908

Обычно рекомендуемое время обработки составляет 1—5 мин в каждой камере установки в зависимости от рода загрязнений и размеров очищаемых деталей.

LUV-обработка. Обычный трехстадийный технологический процесс, когда очищаемая деталь проходит все три стадии обезжиривания: кипящую промывочную ванну для удаления крупных загрязнений, затем холодную ультразвуковую ванну и наконец прополаскивание в парах растворителя.

UV-обработка. Так как некоторые загрязнения могут «высушиваться» при обработке в кипящей ванне, иногда целесообразно подвергать обрабатываемые детали обезжириванию в двух камерах: сначала в ванне ультразвуковой очистки и окончательно в камере прополаскивания в парах растворителя.

Обработка *UV* обычно рекомендуется при удалении флюсов после пайки с электрического оборудования. Еще один способ предотвратить «высушивание» состоит в отключении подогрева первой ванны и использовании ее для холодного смачивания (предварительной промывки) с последующей *UV*-обработкой.

UL-обработка. Это вариант *UV*-обработки, который заключается в обработке деталей сначала в ванне ультразвуковой очистки, а затем окончательно в кипящей жидкости для удаления вымыванием из углублений в деталях загрязнений, отслоенных от их поверхности при воздействии ультразвука. В этом случае поступление дистиллята растворителя осуществляется в первую очередь в кипящую ванну и затем в ванну ультразвуковой очистки. Это достигается простым переключением системы трубопроводов.

Некоторые технологические замечания

Воздействия кавитации (кавитационного разрушения) не наблюдается при избыточном содержании растворенного воздуха в ультразвуковой ванне. Следует избегать чрезмерного ввода воздуха, например, при помещении загрузочных приспособлений с деталями в установку.

УЛЬТРАЗВУКОВАЯ ОБРАБОТКА АЛЮМИНИЕВЫХ РАСПЛАВОВ

При изготовлении отливок все более широко применяются новые методы очистки расплава от неметаллических включений (газов и окислов) и прежде всего обработка расплава ультразвуком и вакуумирование. В настоящее время разработаны ультразвуковые дегазаторы типов УЗД-100, УЗД-200, УЗД-200М, УЗДП-200 и УЗД-300 для дегазации алюминиевых расплавов, довольно полно описанные в литературе [1, 2, 3]. Наибольшее применение в промышленности нашел ультразвуковой дегазатор УЗД-200М.

	УЗД-200М	УЗД-300
Производительность, кг/ч	400	50—600
Количество применяемых преобразователей, шт.	4	8
Тип применяемых преобразователей	ПМС-7А	ПМС-7А ПМС-15А
Рабочая частота, кГц	18—22	18—22
Расход воды для охлаждения бачка дегазатора, л/мин	12	12
Габаритные размеры, мм	Ø400×800	Ø800×1500
Вес, кг	80	140

Один из основных элементов ультразвуковых дегазаторов — волноводная система, которая должна обеспечить стабильную передачу колебаний в расплав. Для этого необходимо, чтобы излучатель изготовлялся из материала с высокой температурой плавления, хорошо смачиваемого металлом расплава и незначительно растворяющегося в расплаве.

Эксперименты показали, что трудно подобрать материал, который удовлетворял бы всем этим требованиям. Так, например, керамические и огнеупорные излучатели быстро разрушались под влиянием одновременно действующих знакопеременных нагрузок, а также температурного градиента. Был опробован излучатель из плавленого кварца [4], но ввиду сложности крепления к преобразователю он не нашел применения. Имеются данные о применении для изготовления излучателей стали 1Х18Н9Т [5]. Использование излучателей из этой стали можно объяснить, по всей вероятности, возможностью непродолжительной обработки расплава при низком уровне амплитуды колебаний. По данным автора и других исследователей [2], излучатели из углеродистых сталей в алюминиевых расплавах разрушаются практически мгновенно. Гораздо лучшие результаты в этом отношении дают излучатели, изготовленные из тугоплавких металлов, обладающие высокой стойкостью против знакопеременных вибрационных нагрузок и температурного градиента. Но повышенная хрупкость некоторых из них, например, молибдена, ограничивает их использование.

Очищаемые детали должны быть зажаты в приспособлении или помещены в корзины таким образом, чтобы во время погружения внутри них не образовывалось воздушных карманов, а при удалении их из ванны растворитель полностью вытекал из деталей. Корзины под детали должны быть сделаны либо из тонколистовых пластин с дырами, либо из сетки с ячейками размером не менее 12 мм, чтобы сетка не мешала доступу растворителя к деталям. В свою очередь к приспособлениям предъявляется требование закрепления деталей в положениях, наилучших для их очистки и сушки.

Детали (например, поковки), которые имеют целый ряд углублений (каналов, отверстий), должны в процессе обработки иметь возможность менять свое положение.

На скорость очистки от загрязнений типа полировальных паст и флюсов (например, канифоли) в значительной степени влияет состав ванн, температура и способ обработки. В случае менее вязких флюсов, можно значительно ускорить LUV-процесс, заменив его голько LV-обработкой.

Выбор хлорированных углеводородных растворителей

Существует целый ряд хлорированных углеводородных растворителей, имеющих свои особые свойства, делающие их пригодными для применения в определенных условиях. Тетрахлорэтилен имеет более высокую точку кипения, чем трихлорэтилен (120 против 87°С), что делает его особенно подходящим для удаления ряда жировых загрязнений с более высокими точками плавления.

Недавно вошел в употребление трихлортрифторэтан, называемый фреон (фреон) в США и арклон в Англии. Этот растворитель имеет сравнительно низкую точку кипения (47°С) и обладает рядом свойств, которые расширяют область его применения. Он может, например, быть использован для очистки точных сборочных узлов, содержащих пластмассовые и окрашенные детали.

Сурклин — специально смачивающее вещество, которое в сочетании с трихлорэтиленом, дает превосходные результаты очистки полированных поверхностей от отпечатков пальцев (например, стеклянных линз).

Сурклин добавляется только в ванну ультразвуковой очистки, трихлорэтилен используется для конечной промывки и сушки деталей.

В большинстве случаев наиболее качественная очистка от жировых загрязнений достигается при совмещенных водяной и LUV-очистке, но в некоторых случаях водяная ультразвуковая ванна даст лучшие результаты, чем трихлорэтиленовая.

Наиболее широкое применение при обработке алюминиевых расплавов нашел титан марки ВТ1-1. Из титана этой марки изготовлен излучатель дегазаторов типов УЗД-100 и УЗД-200. Амплитуда колебаний такого излучателя составляла 20 мк. При эксплуатации незначительное изменение длины излучателя вследствие разрушения рабочего торца приводило к резкому падению амплитуды колебаний, что значительно снижало дегазирующий эффект. Этот излучатель позволяет обработать не более 2—3 плавов (по 120 кг) алюминиевого расплава, после чего его необходимо восстанавливать методом аргоно-дуговой наплавки [2]. Такой метод восстановления был опробован автором в производственных условиях. Опыт показал нецелесообразность использования этого метода восстановления ввиду большого расхода аргона, значительной трудоемкости и необходимости высокой квалификации сварщика, производящего операцию. Даже увеличение срока службы такого излучателя в 3—4 раза вследствие изменения геометрии рабочего торца при сохранении той же амплитуды колебаний привело к увеличению стоимости 1 т жидкого металла.

В связи с этим была разработана принципиально новая волноводная система для передачи колебаний в расплав. Эта разработка была начата с определения оптимальной амплитуды колебаний, необходимой для того, чтобы процесс дегазации протекал достаточно эффективно.

С этой целью была проведена ультразвуковая обработка 30 кг расплавленного силумина марки СИЛ1 при 740°С в индукционной печи. Колебания передавались в расплав титановым излучателем длиной $\frac{3}{2}\lambda$, диаметром 40 мм, цилиндрической формы, амплитуда колебаний которого составляла 10, 15 и 20 мк. Время обработки 10 мин. Контролю подвергалось содержание в сплаве титана, перешедшего из излучателя в расплав во время его обработки ультразвуком. Оказалось, что при амплитуде колебаний 10 мк в сплаве содержалось 0,05% титана, при амплитуде колебаний 15 мк — 0,08% и при амплитуде колебаний 20 мк — 0,12%.

Исследования растворимости титана при различных амплитудах были дополнены изучением влияния амплитуды колебаний и глубины погружения излучателя на характер разрушения рабочего торца. Как видно из рис. 1, оптимальной амплитудой колебаний для обработки алюминиевых расплавов при постоянной температуре 740°С является амплитуда, равная 10 мк (позиция I). При этой амплитуде колебаний торец излучателя разрушается наиболее равномерно независимо от глубины его погружения в расплав. Однако по технологическим причинам глубина погружения рабочего торца излучателя должна быть не более 3—5 мм. Позиции II и III показывают характер разрушения торца излучателя, независимо от глубины его погружения, при амплитудах колебаний соответственно 15 и 20 мк.

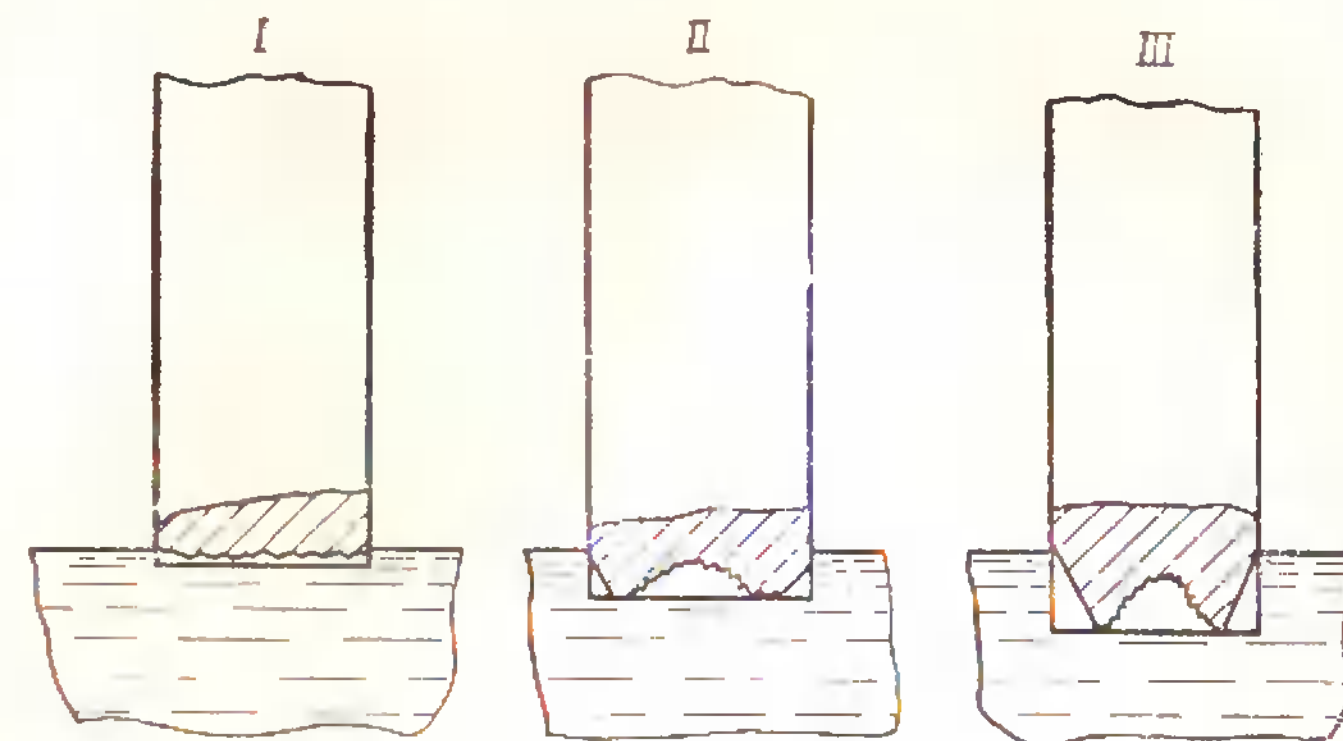


Рис. 1. Характер разрушения торца излучателя в зависимости от амплитуды колебаний

Работы по созданию более стойких излучателей велись и в другом направлении. Был создан водоохлаждаемый стальной (Ст. 45) излучатель (рис. 2), не меняющий своих геометрических размеров в процессе работы. Обработка расплава проводилась в импульсном режиме с продолжительностью импульса 15 сек и с последующим перерывом также 15 сек. За время перерыва вследствие интенсивного охлаждения внутренней полости излучателя на его торце происходило «намораживание» сплава («намерзающий» слой 4), как показано на рис. 2, б. При последующей обработке расплава ультразвуком «намороженный» слой разрушался до первоначального размера излучателя (рис. 2, а). Перед началом работы для смачивания рабочего торца расплавом излучатель частично оплавлялся в рас-

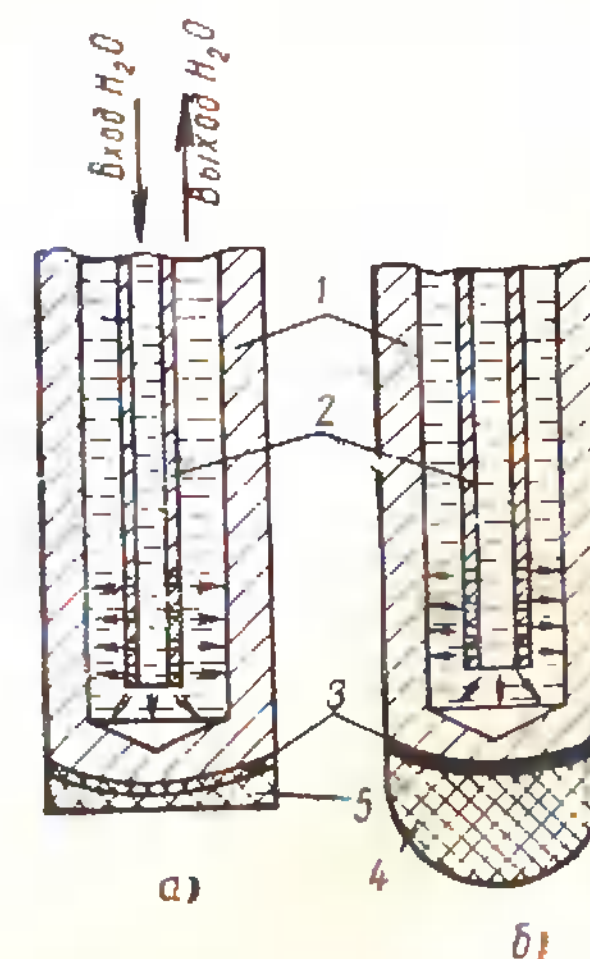


Рис. 2. Водоохлаждаемый излучатель из Ст. 45

1 — излучатель; 2 — трубка для охлаждения внутренней полости излучателя; 3 — слой стали, смоченный алюминиевым сплавом; 4 — «намерзающий» слой; 5 — оплавленный слой

плаве. Амплитуда колебаний излучателя составляла 17—20 мк. Опыты по дегазации алюминиевого расплава, содержащего 5% кремния, таким излучателем даже в течение 60 мин не дали результата. Поэтому с целью проверки роли материала излучателя при дегазации была проведена сравнительная обработка 15 кг алюминиевого сплава ультразвуком с использованием излучателей, изготовленных из Ст. 45, молибдена ВМ-1 и титана ВТ1-1. Все излучатели имели одинаковую форму и амплитуду колебаний. Уровень амплитуды колебаний поддерживался постоянным и контролировался по напряжению датчика обратной связи преобразователя. Генератор УЗГ-10М, переделанный по схеме АОС, имел независимое возбуждение. Температура расплава алюминия А1 была 740° С.

Газонасыщенность оценивалась по вакуумной технологической пробе. Опыты показали, что после обработки расплава в течение 10 мин титановым излучателем происходила полная дегазация. Применение стального излучателя изменения в вакуумных пробах не дало, а обработка молибденовым — лишь незначительно снизила газонасыщенность. Таким образом было установлено, что решающая роль в дегазации принадлежит материалу излучателя.

Помимо проведенных экспериментов, был поставлен еще ряд опытов для изучения влияния титана на дегазацию расплава. С этой целью титан вводился в плавку алюминия А1 весом 30 кг в виде лигатур медь—титан (30% Ti) и алюминий—титан (10% Ti). В обоих случаях обогащение расплава 0,05% титана дегазацией не сопровождалось. В то же время введение в расплав 0,2% (от веса плавки) титановой стружки толщиной 0,1 мм проводило дегазацию за 2—4 мин. Расплав за время перемешивания обогащался 0,03—0,05% титана.

Опыты, проведенные на больших (200 кг) плавках сплава АЛ4, подтвердили результаты, полученные на плавках алюминия А1. Но ввиду того, что обработка титановой стружкой не приводила к очистке расплава от неметаллических включений и измельчению структурных составляющих, она не нашла широкого применения в практике литейного производства. С учетом роли титана в ультразвуковой дегазации, а также диспергирующего действия ультразвука была разработана новая волноводно-излучающая система.

Известно, что с изменением длины излучателя меняются его частотные характеристики (частота и амплитуда). Это подтверждается рис. 3. Как видно из графика, максимальная амплитуда колебаний, равная 20 мк, соответствует резонансной частоте и длине излучателя.

Поскольку оптимальная амплитуда колебаний для дегазации 10 мк, то, работая с этой амплитудой, можно увеличить или уменьшить длину титанового излучателя на величину, равную a (12—15 мм). Эта величина была установлена эксперимен-

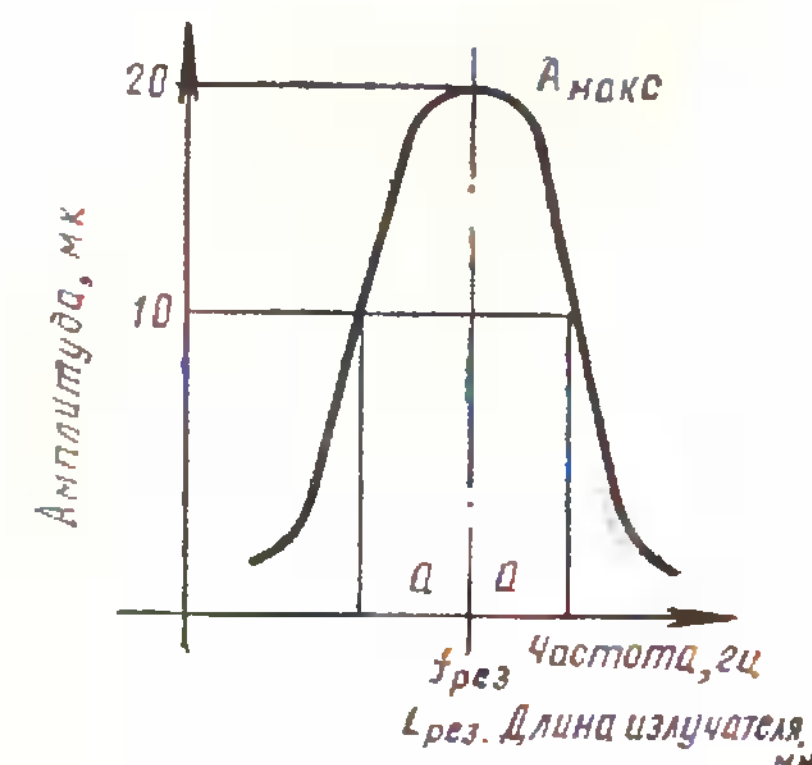


Рис. 3. Зависимость амплитуды колебаний от частоты и длины излучателя



Рис. 4. Волноводно-излучающая система для передачи колебаний в расплав
1 — вставка; 2 — удлинитель;
3 — излучатель

тально. При обработке расплава ультразвуком выгодно использовать излучатель большей длины, имеющий более длительный срок службы.

Таким образом, начиная обработку расплава ультразвуком излучателем с амплитудой колебаний 10 мк, постепенно, по мере срабатывания горца, излучатель приближается к резонансным условиям его работы, т. е. к максимальной амплитуде и резонансной длине. При дальнейшей работе с этим излучателем амплитуда его опять составит 10 мк. Экспериментально установлено, что частота излучателя, которая срабатывается при изменении амплитуды колебаний от 10 до 10 мк, равна 25—30 мм (рис. 2, а). На основании этих результатов и была разработана волноводно-излучающая система (рис. 4) для передачи колебаний в расплав, состоящая из вставки, набора удлинителей и собственно излучателя.

Вставка 1 длиной $\lambda/2$ мм, диаметром 40 мм, изготавливается из Ст. 45. Форма ее может быть цилиндрической или конической в зависимости от типа дегазатора. Вставка является постоянным элементом и служит для предохранения резьбы преобразователя от повреждений и быстрого износа.

Удлинитель 2 имеет различную длину (см. табл. 1), и также изготавливаются из Ст. 45.

Таблица 1

Номера удлинителей	Длина, мм	Диаметр, мм
1	400,00	40
2	432,50	40
3	465,00	40
4	497,50	40

Удлинитель предназначен для компенсации сработанной длины излучателя, а также для ликвидации расстройки резонансной системы.

Излучатели 3 изготавливаются из технически чистого титана марки ВТ1-1, имеют цилиндрическую форму (диаметр 40 мм, длина $\lambda/2$ мм + а).

Все элементы волноводной системы соединяются при помощи резьбы М20×1,5. Для нормальной работы дегазатора обязательна плотная затяжка резьбы.

Перед началом работы волноводную систему собирают. Затем излучатель погружают в расплав на глубину не более 3—5 мм, после чего включают ультразвуковые колебания. При изменении в процессе работы длины излучателя на $\lambda/8$ мм удлинитель № 1 заменяют удлинителем № 2, который больше на $\lambda/8$ мм. При дальнейшем изменении длины излучателя на $\lambda/4$ мм, а затем и на $3/8\lambda$ мм, удлинитель № 2 заменяют удлинителем № 3, а тот в свою очередь — удлинителем № 4.

Изменение длины излучателя можно контролировать заранее изготовленными шаблонами или линейками.

Такая волноводно-излучающая система прошла лабораторные и производственные испытания и внедрена на ряде заводов с ультразвуковым дегазатором УЗД-200М. Одного комплекта титановых излучателей длиной $\lambda/2$ мм достаточно для обработки 45—50 плавов по 120 кг. Применение волноводной системы новой конструкции позволило значительно сократить расход материала излучателя. Ввиду того что процесс дегазации сопровождается переходом титана в расплав, была изучена растворимость титана и других элементов в сплаве АЛ4 в зависимости от величины амплитуды колебаний и температуры расплава. Ультразвуковая обработка сплава АЛ4 проводилась в печи типа САТ-0,25 при помощи ультразвукового дегазатора УЗД-200М. Снижение газонасыщенности контролировалось отбором вакуумной технологической пробы по времени через каждые 6 мин. Контроль проводился на плавке весом 180 кг, обрабатывавшаяся расплав ультразвуковыми колебаниями амплитудой 10 и 20 мк при частоте 19,5 кГц.

Амплитуда колебаний изменялась путем незначительной расстройки частоты системы и контролировалась при помощи виброметра УВВ-2М. Плавка проводилась на чистых шихтовых материалах.

Для исследования ликвации компонентов в сплаве АЛ4 слитки, сплавы которых рафинировались хлористым марганцем и титановой стружкой, разрезались и изучался химический состав проб, взятых в местах, указанных точками на рис. 5. Содержание компонентов определялось спектральным анализом, за исключением титана, количество которого определялось химическим путем. В табл. 2 приведены результаты химического анализа плавки АЛ4 весом 180 кг на содержание титана.

Анализ данных табл. 2 и показанный на рис. 6 график свидетельствуют о том, что с повышением температуры расплава и амплитуды колебаний увеличивается растворимость титана в сплаве. Опыты еще раз подтвердили, что оптимальной амплитудой колебаний следует считать амплитуду, равную 10 мк, так как при этой амплитуде происходят необходимое насыщение сплава титаном и равномерное разрушение торца излучателя.

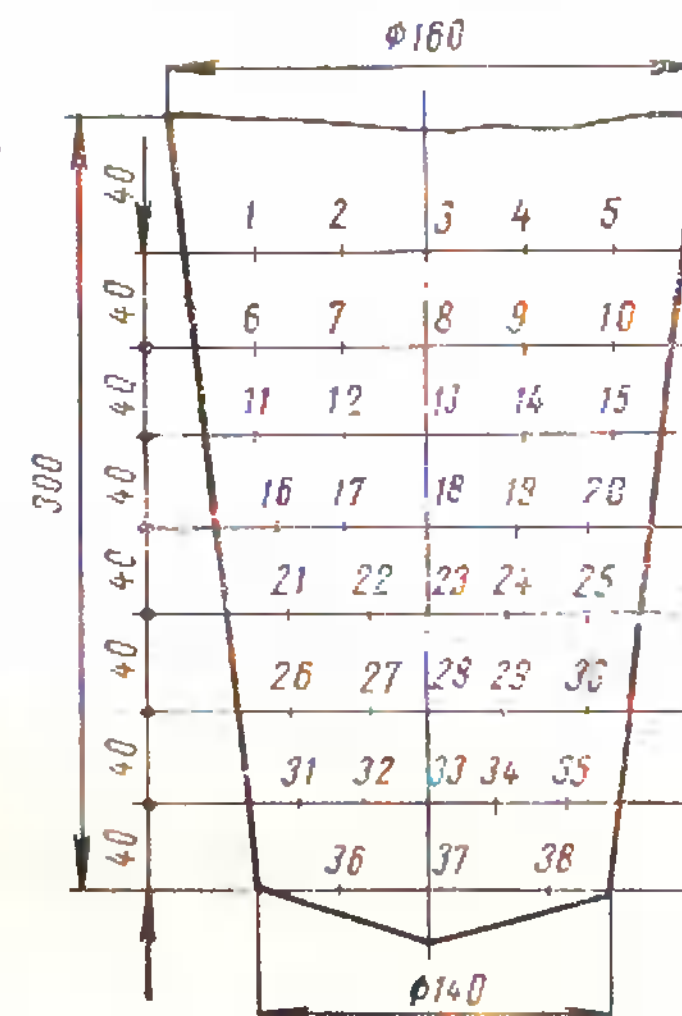


Рис. 5. Разрез слитка с указанием мест проб для химического анализа на содержание титана

Таблица 2

Амплитуда колебаний излучателя, мк	Время обработки расплава ультразвуком, мин	Температура расплава, °С			
		700		740	
		балл пористости	содержание титана, %	балл пористости	содержание титана, %
10	0	5	—	5	—
	6	4	0,008	4	0,010
	12	2	0,015	2	0,020
	18	2	0,023	1	0,030
	24	1	0,033	1	0,040
	30	1	0,041	1	0,052
20	0	5	—	5	—
	6	4	0,015	3	0,020
	12	2	0,028	1	0,036
	18	1	0,042	1	0,046
	24	1	0,052	1	0,056
	30	1	0,068	1	0,072

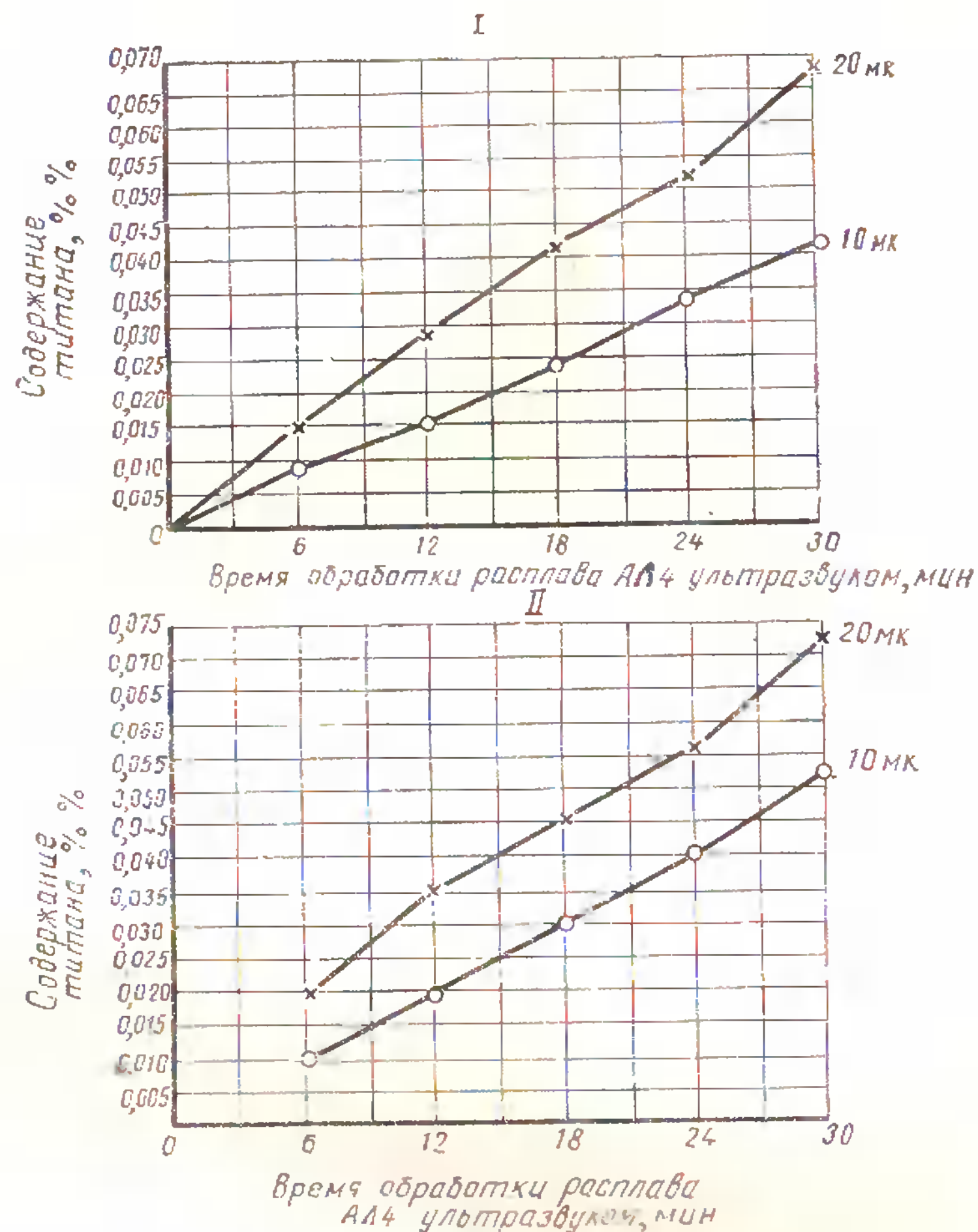


Рис. 6. Зависимость процентного содержания титана в сплаве от времени обработки расплава ультразвуком при различных амплитудах ультразвуковых колебаний
I — при $t = 700^\circ \text{C}$; II — при $t = 740^\circ \text{C}$

Анализ результатов исследования химического состава четырех слитков сплава АЛ4 показывает значительное (по сравнению с рафинированием хлористым марганцем и титановой стружкой) влияние ультразвуковых колебаний на распределение компонентов. Так, при обработке сплава АЛ4 хлористым марганцем или титановой стружкой содержание кремния находится в пределах от 8,50 до 10,25%. Ультразвуковая обработка обеспечивает меньший разброс значений содержания кремния — от 9,25 до 9,50%. Аналогичная картина отмечается и для других компонентов (магний, марганец и железо).

Особенно большое влияние оказывает ультразвук на распределение титана в слитке. Увеличение амплитуды колебаний с 10 до 20 мк приводит только к возрастанию содержания титана в сплаве и не меняет характера его распределения. Обработка расплава титановой стружкой вызывает значительный (от 0,015 до 0,078%) разброс значений содержания титана по сечению исследуемого слитка.

Таким образом, подвергая расплав ультразвуковой обработке, мы тем самым увеличиваем равномерность распределения в нем химических компонентов.

Был также проведен анализ распределения титана по глубине тигля. Пробы отбирались при 740°C из тигля глубиной 1 м через каждые 20 см вниз от поверхности расплава. В табл. 3 приведены результаты химического анализа проб металла на содержание титана.

Таблица 3

Место отбора проб жидкого металла	Содержание титана при обработке расплава, %			
	хлористым марганцем	ультразвуком с амплитудой, мк		титановой стружкой
		10	20	
Поверхность расплава	Следы	0,025	0,030	0,021
Глубина 20 см	"	0,40	0,46	0,016
Глубина 40 см	"	0,30	0,40	0,041
Глубина 60 см	"	0,036	0,042	0,030
Глубина 80 см	0,003	0,040	0,046	0,017
Донная часть тигля	0,008	0,042	0,051	0,028

Как видно из табл. 3, наиболее равномерно распределен титан в слитке из сплава АЛ4, обработанного ультразвуком с амплитудой колебаний 10 мк. Обработка сплава ультразвуком с амплитудой 20 мк также приводит к равномерному распределению титана, но с большим его содержанием. Обработка титановой стружкой не обеспечивает равномерного распределения ни основных компонентов, ни титана по всему объему расплава. Это объясняется тем, что обычное механическое перемешивание расплава пучком стружки не может быть полным.

Ультразвуковая обработка приводит к требуемому насыщению самого расплава незначительным количеством титана и равномерному распределению его по всему объему тигля. Кроме того, изменением амплитуды колебаний излучателей можно регулировать количество титана в сплаве.

Ультразвуковая обработка расплавов весьма успешно используется при изготовлении фасонных отливок различного веса и конфигурации из сплавов АЛ2, АЛ4, АЛ8, АЛ8У, АЛ9, АЛ19 и АМГ-6Л.

При внедрении дегазации алюминиевых расплавов с применением ультразвука новый технологический процесс сравнивал-

ся с применяющимся на заводах хлорированием, обработкой хлористыми солями, флюсами, титановой стружкой. Обработка расплава ультразвуком проводилась согласно методике и режимам, указанным в [3]. Приготовленный в одной печи металл разливался в две раздаточные и проводилась сравнительная обработка металла двумя методами: принятым на заводе и ультразвуком.

Дегазации подвергались отливки, наиболее часто бракуемые вследствие пористости и наличия неметаллических включений. Дегазация ультразвуком проводилась на плавках весом от 80 до 250 кг. После дегазации из каждого тигля отбирались пробы для определения химического состава, механических свойств и газонасыщенности. Затем производилась заливка отливок из каждого тигля. Из залитых партий отбирались отдельные отливки, которые подвергались тщательному исследованию в центральных заводских лабораториях. Остальные проходили цеховой технологический контроль, после которого поступали в механические цеха для дальнейшей обработки. Обработанные детали в ряде случаев подвергались пневмо- и гидроиспытаниям.

Ниже приводятся результаты промышленного опробования и внедрения дегазации алюминиевых сплавов с применением ультразвука на девяти заводах страны. В процессе внедрения установок исследовались сплавы промышленных плавов: их микро- и макроструктура, тонкая структура (электронная микроскопия), распределение химических компонентов в сплаве при различных методах обработки расплава, распределение титана по объему тигля.

Результаты металлографического анализа промышленных плавов сплава АЛ4 [6] подтвердили диспергирующее действие ультразвука на включения и их равномерное распределение. Воздействие ультразвука благоприятно сказывается и на величине макрозерна.

Одна из цеховых плавов сплава АЛ4 была подвергнута исследованию на электронном микроскопе. Результаты подтвердили исследования, проведенные на оптических микроскопах. Ультразвуковая обработка расплава приводит к получению равномерной дисперсной структуры, частицы включений которой хорошо связаны с матрицей в результате смачивания их расплавом.

При этом было отмечено повышение равномерности распределения химических компонентов в сплаве под влиянием ультразвука. Это объясняется интенсивным перемешиванием расплава акустическими потоками, а также наличием в расплаве тепловых конвекционных потоков. Благодаря этому явлению представляется возможным снизить ликвацию компонентов не только в слитках и отливках, но и внутри самого зерна, так называемую внутридендритную ликвацию [2].

Таблица 4

Наименование сплава	Способ обработки расплава	Вес плавки, кг	Температура обработки расплава, °С	Наличие термообработки	Режимы обработки расплава ультразвуком, мин			Балл пористости по вакуумной пробе		Содержание титана в сплаве, %		Механические свойства			Модель дегазации	Год внедрения
					1-я обработка	переплав	2-я обработка	До обработки	После обработки	До обработки	После обработки	предела прочности $\sigma_{\text{предел}}$, МПа	относительное удлинение δ , %	твёрдость НВ		
АЛ4	Хлористым алюминием	120	740	Есть	7	10	7	5	3	0,03	0,03	24,5	2,5	76,8	УЗД-200	1962
"	Ультразвуком	120	740	"	7	10	7	5	1	0,03	0,08	28,0	6,0	96,8	УЗД-200	1962
"	Хлористым алюминием	120	740	Нет	7	10	7	4	3	0,03	0,03	18,0	3,5	56,8	УЗД-200	1962
"	Ультразвуком	120	740	"	7	10	7	4	1	0,04	0,07	21,0	5,6	76,3	УЗД-200	1962
"	Продувка газобразным хлором	80	740	"	7	10	7	5	2-1	0,03	0,03	14,3	2,3	Не измерялась	УЗД-200	1962
"	Ультразвуком	80	740	Есть	4	5	4	5	1	0,03	0,07	16,4	6,7	То же	УЗД-100	1963
"	Хлористым марганцем	150	740	"	4	5	4	4	3	0,03	0,03	26,5	3,5	76,8	УЗД-200	1961
"	Ультразвуком	150	740	"	4	5	4	4	1	0,03	0,08	28,5	6,5	98,8	УЗД-200	1961
"	Хлористым марганцем	250	740	"	4	5	4	4	3	0,03	0,03	27,8	4,5	76,8	УЗД-300	1965
"	Ультразвуком	250	740	"	4	5	4	4	1	0,03	0,07	29,0	7,5	90,5	УЗД-300	1965
"	Хлористым цинком	120	740	"	4	5	4	4	3	0,02	0,02	27,0	2,5	76,8	УЗД-200М	1965
"	Ультразвуком	120	740	"	4	5	4	3	1	0,02	0,07	29,0	5,6	84,4	УЗД-200М	1965
"	Хлористым цинком	150	740	"	4	5	4	5	3	0,01	0,01	24,6	3,0	Не измерялась	УЗД-200М	1965
АЛ8у	Ультразвуком	150	740	"	8	5	8	5	1	0,01	0,06	26,0	4,5	То же	УЗД-200М	1965
"	Карналитом	150	720	"	8	5	8	5	3	Следы	Следы	31,5	16,2	"	УЗД-200М	1965
"	Ультразвуком	150	720	"	8	5	8	5	1	Следы	Следы	33,2	22,6	"	УЗД-200М	1965

Наименование сплава	Способ обработки расплава	Вес плавки, кг	Температура обработки расплава, °С	Наличие термообработки	Режимы обработки ультразвуком, мин			Балл пористости по вакуумной пробе		Содержание титана в сплаве, %		Механические свойства			Модель дегазатора	Год внедрения
					1-я обработка	перерыв	2-я обработка	до обработки	после обработки	до обработки	после обработки	предел прочности, кг/мм ²	относительное удлинение, %	твёрдость НВ		
АЛ8у	Продувка газообразным хлором	80	740	Есть	—	—	—	5	2—1	0,04	0,04	42,0	28,7	Не замерялась	—	—
АЛ12	Ультразвуком	80	740	Нет	4	5	4	5	1—0	0,04	0,09	43,1	35,3	То же	УЗД-100	1963
"	Хлористым цинком	150	740	"	—	—	—	5	3	0,03	0,03	17,2	3,0	"	—	—
"	Ультразвуком	150	740	"	8	5	8	5	1	0,03	0,10	20,8	8,6	"	УЗД-200М	1965
"	Хлористым алюминием	120	680	Есть	—	—	—	4	2	Не определено	—	26,5	25	"	—	—
АЛ19	Ультразвуком	120	740	"	7	5	7	4	1	То же	То же	28,0	5,8	"	УЗД-200М	1965
"	Продувка газообразным хлором	200	740	"	—	—	—	5	3	"	"	26,5	4,0	"	—	—
"	Ультразвуком	200	740	"	20	5	15	5	1	0,04	0,04	30,0	4,0	"	УЗД-200М	1963
"	Хлористым алюминием	150	730	"	—	—	—	5	3	"	"	26,5	3,6	76,8	—	—
"	Ультразвуком	150	730	"	8	5	8	5	1	0,04	0,08	28,5	6,7	84,6	УЗД-100	1962
Поршне-вой сплав То же	Ультразвуком	150	670	Нет	—	—	—	5	3	0,03	0,03	18,6	0,75	10,70	—	1965
"	Универсальным флюсом	150	670	"	—	—	—	5	3	"	"	18,6	0,75	10,70	—	—
"	Ультразвуком	150	740	Есть	8	5	8	5	1	0,03	0,08	20,0	1,05	98,5	УЗД-200М	—
"	Универсальным флюсом	150	670	"	—	—	—	5	3	0,03	0,03	25,9	0,2	134	—	—
"	Ультразвуком	150	740	"	8	5	8	5	1	0,03	0,08	30,2	0,6	138	УЗД-200М	1965

Примечание. Все сплавы были подвергнуты модифицированию.

Также наблюдается снижение содержания и измельчение неметаллических включений, что заметно улучшает жидкотекучесть сплавов, позволяя получить без брака тонкостенные отливки сложной конфигурации.

Результаты механических испытаний разрывных образцов и образцов, вырезанных из самих отливок, свидетельствуют о значительном повышении качества литья. В табл. 4 приведены результаты исследования сплавов, обработанных ультразвуком и принятыми на заводах способами рафинирования расплавов. Как видно из табл. 4, предел прочности при растяжении в среднем увеличивается на 15—20%. Особенно сказывается влияние ультразвука на рост относительного удлинения, повышение которого, по всей вероятности, можно объяснить удалением неметаллических включений типа Al_2O_3 , располагающихся обычно по границам зерен. Следует отметить и стабильное насыщение расплавов титаном, которое в среднем составляет от 0,03 до 0,05%.

Опыт внедрения ультразвуковых дегазаторов показал, что дегазация расплавов ультразвуком является весьма эффективной, позволяющей получать отливки повышенной плотности и прочности, а следовательно, и надежности.

ЛИТЕРАТУРА

1. Слотин В. И., Эскин Г. И., Чекалина З. С. Агрегат УЗД-100 для дегазации алюминиевых расплавов ультразвуком. Труды Всесоюзной конференции по применению ультразвука в промышленности. ЦИНТИ, М., 1960.
2. Эскин Г. И. Ультразвуковая обработка расплавленного алюминия. Металлургия, М., 1965.
3. Маслан Л. Б., Белоусов Н. А., Чекалина З. С. Оборудование для ультразвуковой дегазации алюминиевых сплавов. Сб. «Промышленное применение ультразвука», ВНИИЭМ, 1965.
4. Альтман М. Б., Виноградова Д. В., Слотин В. И., Эскин Г. И. О воздействии упругих колебаний ультразвуковой частоты на процесс дегазации алюминиевых сплавов. Известия АН СССР, ОТН, 1958, № 9.
5. Southgate P. O. Action of vibration on Solidifying aluminium alloys. — „Journal of Metall“, 1957, v. 9, № 4.
6. Леви Л. И., Книжник Г. С., Маслан Л. Б. Влияние ультразвука на структуру и свойства сплава АЛ4. — «Литейное производство», 1966, № 5.

УДК 621.791.753.9:621.791.16

Б. М. Пестов, Р. Е. Тупальская

СВАРКА ПЛАВЯЩИМСЯ ЭЛЕКТРОДОМ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Сварка плавящимся электродом в среде защитных газов — высокопроизводительный способ соединения металлов. Однако ему присущ ряд особенностей, из-за которых в некоторых слу-

чаях, таких как сварка алюминиевых и жаропрочных сплавов, этот способ имеет ограниченное применение. Одной из главных особенностей этого процесса является большой объем кристаллизующегося металла, что приводит к образованию крупнодеформированной структуры, горячих трещин и газовой пористости в наплавленном металле, характерной особенно для сварки алюминиевых сплавов. Для получения равноосной структуры шва при соединении жаропрочных сплавов часто применяют многопроходную сварку даже на малых (6—8 мм) толщинах.

Как показывают исследования [1], используя упругие колебания ультразвуковой частоты, введенные в кристаллизующийся расплав, можно изменять характер кристаллизации наплавленного металла и получать сварной шов с повышенными механическими свойствами.

Целью данной работы была отработка технологических параметров процесса сварки плавящимся электродом алюминиевых и жаропрочных сплавов с обработкой кристаллизующейся сварочной ванны упругими колебаниями ультразвуковой частоты.

Был использован магнитострикционный преобразователь ПМП-0,5-22Э, получающий питание от ультразвукового генератора УЗГ-2,5.

Амплитуда колебаний измерялась бесконтактным виброметром УВВ-2.

Эксперименты проводились на образцах, вырезанных из материала (листа) одной плавки.

Сварные швы подвергались металлографическому исследованию и механическим испытаниям (испытывались образцы без усиления).

После испытаний сравнивались механические свойства образцов, сваренных без обработки ультразвуком и с использованием ультразвука в процессе кристаллизации.

Упругие колебания вводились в сварочную ванну через инструмент — вольфрамовый стержень, либо присадочную проволоку того же химического состава, что и электродная. При этом в инструменте возбуждались изгибные колебания.

Устройство для возбуждения изгибных колебаний в стержне

Одной из трудностей использования ультразвуковых колебаний при сварке плавящимся электродом является создание надежной системы ввода ультразвуковых колебаний в сварочную ванну. Весьма важным является разработка системы передачи колебаний через присадочную проволоку, наиболее просто поддающаяся механизации и дающая возможность обработать ультразвуком сварочные ванны с высокой температурой кристаллизации металла сварных швов большой протяженности.

Известны акустические системы передачи ультразвуковых колебаний на присадочную проволоку, в которых передающее звено выполнено в виде калиброванного отверстия или отверстия со щелевидным пазом вдоль присадочной проволоки, расположенного на рабочем торце волновода, либо в виде пружинного прижима. Все эти системы имеют общий недостаток — неустойчивый, меняющийся во времени акустический контакт между присадочной проволокой и волноводом ультразвукового преобразователя.

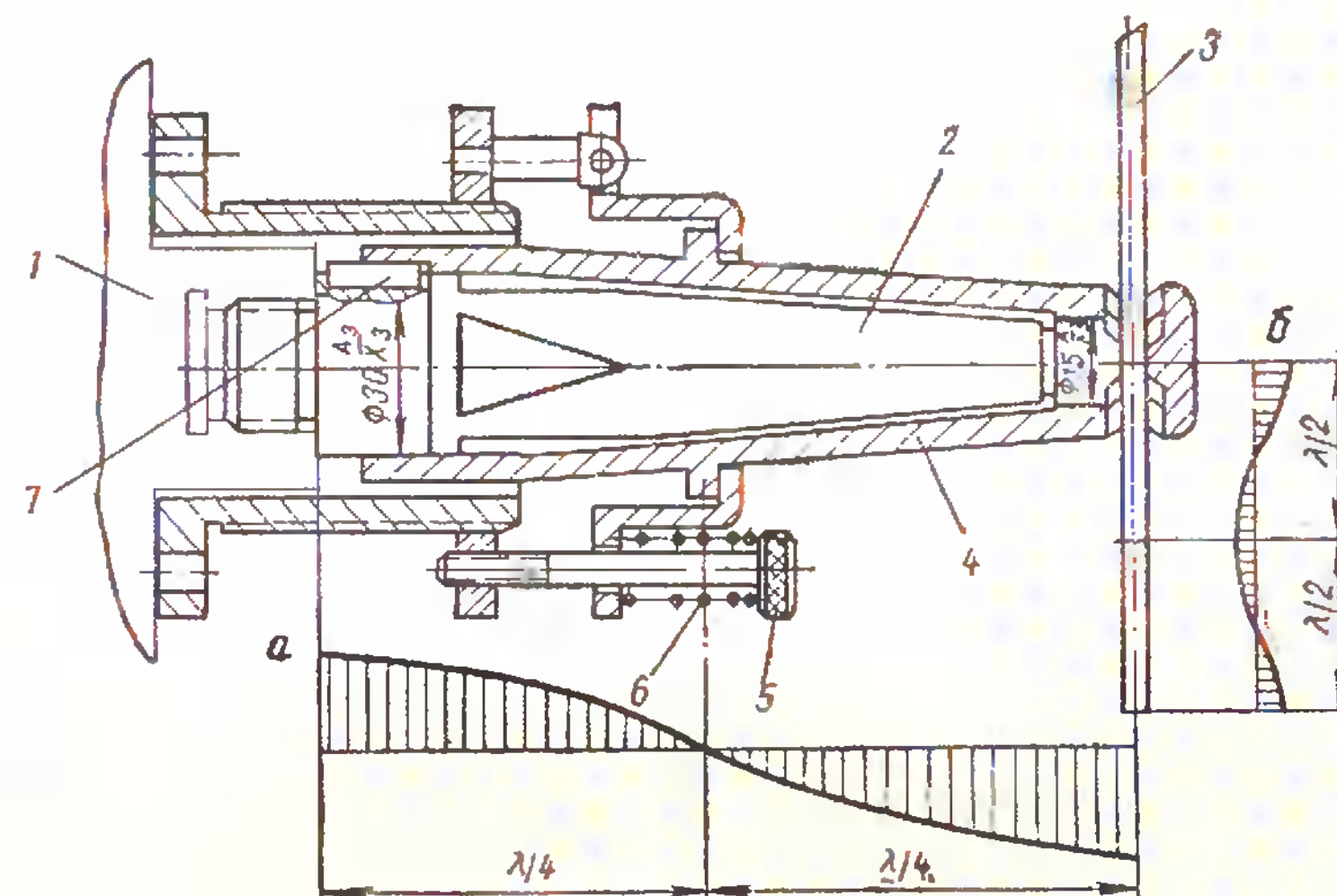


Рис. 1. Устройство для возбуждения изгибных колебаний в стержне
1 — ультразвуковой преобразователь; 2 — волновод; 3 — стержень; 4 — прижим;
5 — винт; 6 — пружина; 7 — шпонка

При экспериментах было использовано устройство, позволяющее добиться надежного, не меняющегося во времени акустического контакта между присадочной проволокой и рабочим торцом волновода, а следовательно, дающее возможность сохранять постоянной амплитуду колебаний на рабочем торце присадочной проволоки, погруженной в сварочную ванну.

На рис. 1 показано это устройство и приведены схемы распределения продольных смещений на волновод и прижиме (а) и изгибных смещений на подвижном стержне (б).

Подвижный стержень 3 зажимается между рабочими торцами волновода 2 ультразвукового преобразователя 1 и резонансного полуволнового прижима 4. Для увеличения компактности конструкции прижим 4 выполнен в виде стакана, надетого на волновод 2 и фиксирующегося на нем при помощи посадочных мест. Для придания направления движению стержня 3 рабочие торцы волновода и прижима имеют направляющие канавки.

Чтобы предотвратить влияние изгиба стержня 3 на акустический контакт между стержнем, волноводом и прижимом, ширина направляющих канавок вдоль продольной оси стержня не должна превышать 0,1 длины изгибной волны стержня. Соосность направляющих канавок волновода и прижима достигается шпоночным соединением 7.

Статическое усилие для поджатия стержня к волноводу прикладывается к выступам, расположенным в узле смещений прижима, при помощи пружины 6 и регулируется винтом 5. При прижиме стержня к волноводу, благодаря совпадению частот колебаний волновода и прижима, их рабочие торцы будут колебаться строго в фазе, т. е. при движении стержня акустический контакт между стержнем, волноводом и прижимом остается постоянным.

Волновод имеет коническую форму и рассчитывается известным методом [1] с коэффициентом усиления $K=2$. Прижим выполнен в виде полого конусного стакана и методика его расчета приведена ниже.

Дано:

C — скорость звука;

f — частота колебаний;

D_n — наружный диаметр прижима;

D_v — внутренний диаметр прижима;

d_v — малый внутренний диаметр прижима;

$K = \frac{S_{вх}}{S_{вых}} = 2$ — коэффициент усиления;

$S_{вх}, S_{вых}$ — площадь входного и выходного конусов прижима.

Размеры D_n, D_v, d_v выбираются конструктивно.

Определить:

d_n — малый наружный диаметр прижима;

l — длину прижима;

$X_{y.c.}$ — координату узла скоростей (или смещений).

Решение:

$$1. \text{ а) } S_{вх} = \frac{\pi (D_n^2 - D_v^2)}{4}; \text{ б) } S_{вых} = \frac{S_{вх}}{2}; \text{ в) } S_{вых} = \frac{\pi d_n^2 - \pi d_v^2}{4}.$$

$$\text{отсюда } d_n = \sqrt{\frac{4 S_{вых} + \pi d_v^2}{\pi}} = \sqrt{\frac{2 S_{вх} + \pi d_v^2}{\pi}};$$

$$2. \quad l = \lambda \cdot K'; \quad \lambda = \frac{C}{f}; \quad K' = 0.525 \text{ при } K=2;$$

$$3. \quad X_{y.c.} = l \cdot K''; \quad K'' = 0.57 \text{ при } K=2.$$

K', K'' — коэффициенты расположения пучностей смещений и напряжений ([1], с. 184).

После изготовления по расчетным данным волновода и прижима производилось их согласование по частоте. Частота коле-

баний волновода замерялась одновременно с частотой колебаний преобразователя ПМП-0,5-22Э и методом подрезания его торцев, подгонялась под резонансную частоту преобразователя. Собственная частота колебаний прижима определялась при помощи электромагнита, получавшего питание от высокочастотного генератора «Вгисл», и подгонялась под частоту системы волновод — преобразователь.

Расхождение частот колебаний волновода и прижима допускалось в пределах 50 гц.

Вылет рабочего конца стержня из устройства должен быть кратен полудлине изгибных волн, длина которых рассчитывалась по формуле

$$\lambda_{изг} = \pi \cdot \sqrt{2} \cdot \sqrt{\frac{C_{пр} \cdot r}{2\pi \cdot f}},$$

где $C_{пр}$ — скорость продольных волн;

r — радиус стержня;

f — частота системы.

Установка типа УСПЭ для сварки плавящимся электродом с обработкой сварочной ванны ультразвуком

На основе описанного устройства для ввода ультразвуковых колебаний в сварочную ванну разработана, изготовлена и опробована в работе установка УСПЭ для аргоно-дуговой сварки плавящимся электродом алюминиевых сплавов толщиной 8—16 мм и жаропрочных сплавов толщиной 6—10 мм. Установка (рис. 2) состоит из горелки 1, головки 2, выносного пульта управления 3, кассеты 4 для электродной и кассеты 5 для присадочной проволоки. Установка имеет суппорты поперечного и вертикального перемещений горелки и смонтирована на каретке 6 сварочного автомата АСГ-6.

Горелка (рис. 3) состоит из направляющей втулки с мундштуком 1, водоохлаждаемого наконечника 3, корпуса 5 и водоохлаждаемого сопла 6, изолированного от токоподводящих частей изоляционными прокладками 2 и 4. Корпус горелки имеет кольцевую камеру для защитного газа, который поступает в сопло через сеточный фильтр, что вместе с щелевидным каналом между соплом и направляющей втулкой с мундштуком позволяет создать ламинарное истечение защитного газа. Сопло имеет овальное отверстие для ввода ультразвукового инструмента (стержня) в сварочную ванну. Расстояние между стержнем и электродной проволокой выбирается в зависимости от размеров сварочной ванны и регулируется в пределах 10—18 мм.

Несколько больший, по сравнению с обычными горелками, наружный диаметр сопла позволяет улучшить газовую защиту сварного шва, особенно при сварке алюминиевых сплавов.

Головка (рис. 4) состоит из механизмов подачи 2, 16 и правки 4, 5 электродной и присадочной проволоки, акустической систе-

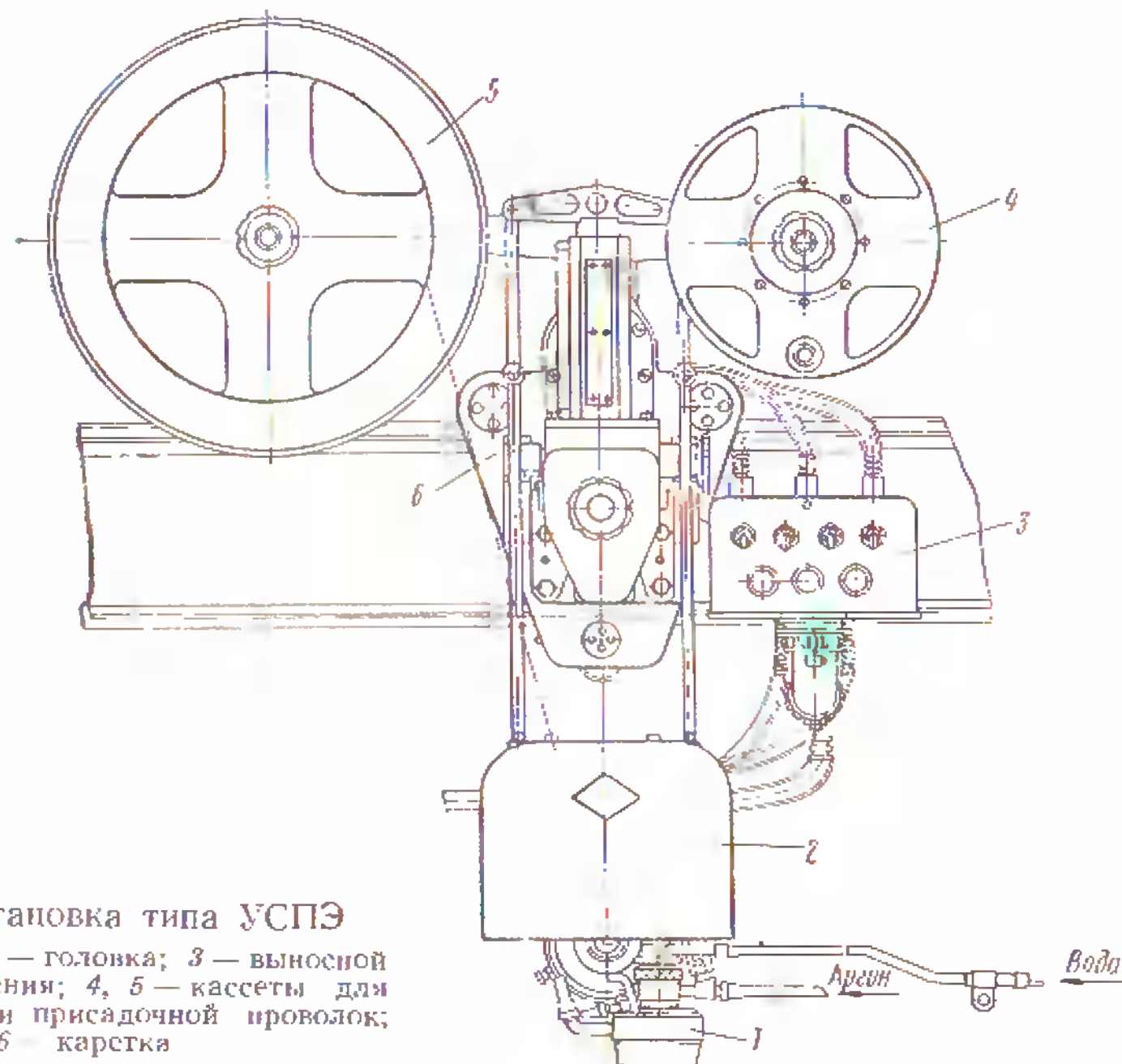


Рис. 2. Установка типа УСПЭ

1 — горелка; 2 — головка; 3 — выносной пульт управления; 4, 5 — кассеты для электродной и присадочной проволоки; 6 — каретка

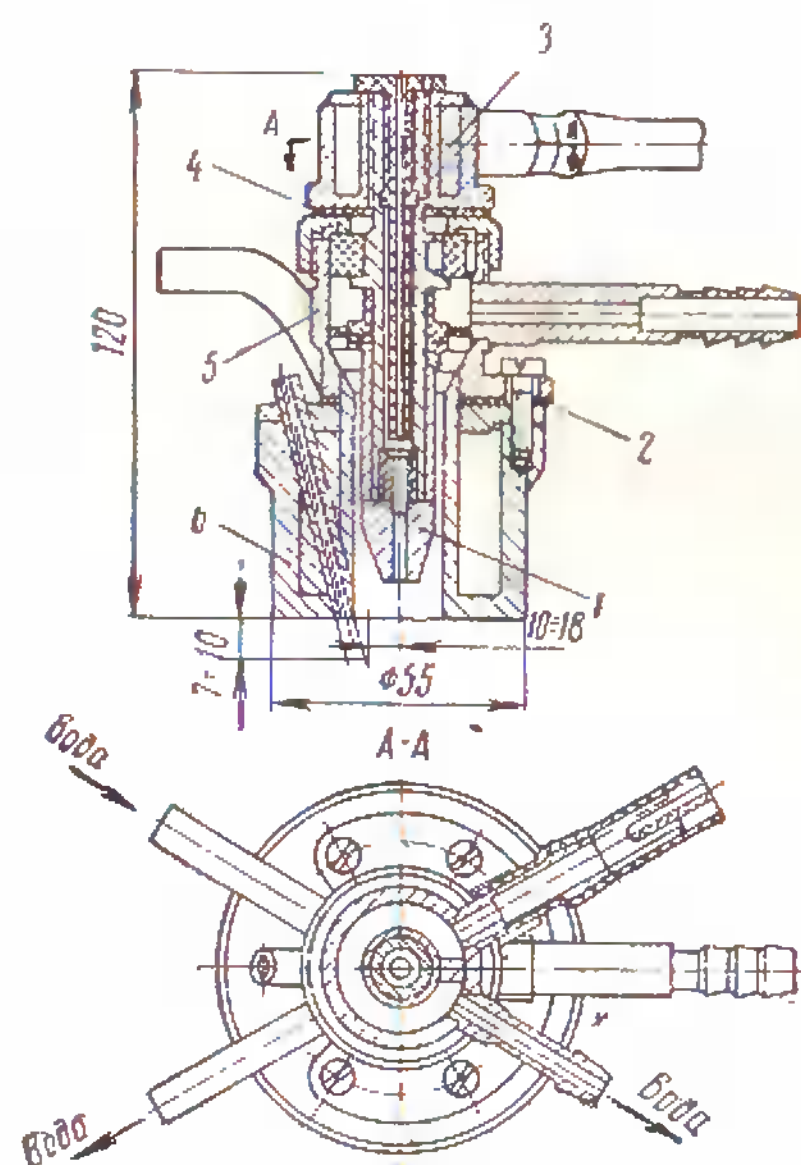


Рис. 3. Горелка

1 — мундштук; 2, 4 — изоляционные прокладки; 3 — водоохлаждаемый наконечник; 5 — корпус; 6 — сопло

мы и кронштейна 7 для крепления горелки. Кронштейн позволяет перемещать горелку в горизонтальном и вертикальном направлениях, что позволяет изменять расстояние между электродом и стержнем и вылет стержня из сопла горелки. Все механизмы головки крепятся на токоизолирующей плате 1.

Подающие механизмы состоят из электродвигателей типа СД-20, планетарных редукторов, ведущих и ведомых роликов, поджимающих проволоку при помощи рычажных систем 3, 6 и пружин.

Акустическая система выполнена в виде преобразователя 8, конического волновода 14 и конического прижима 11. Статическое усилие поджатия прижима к волноводу через

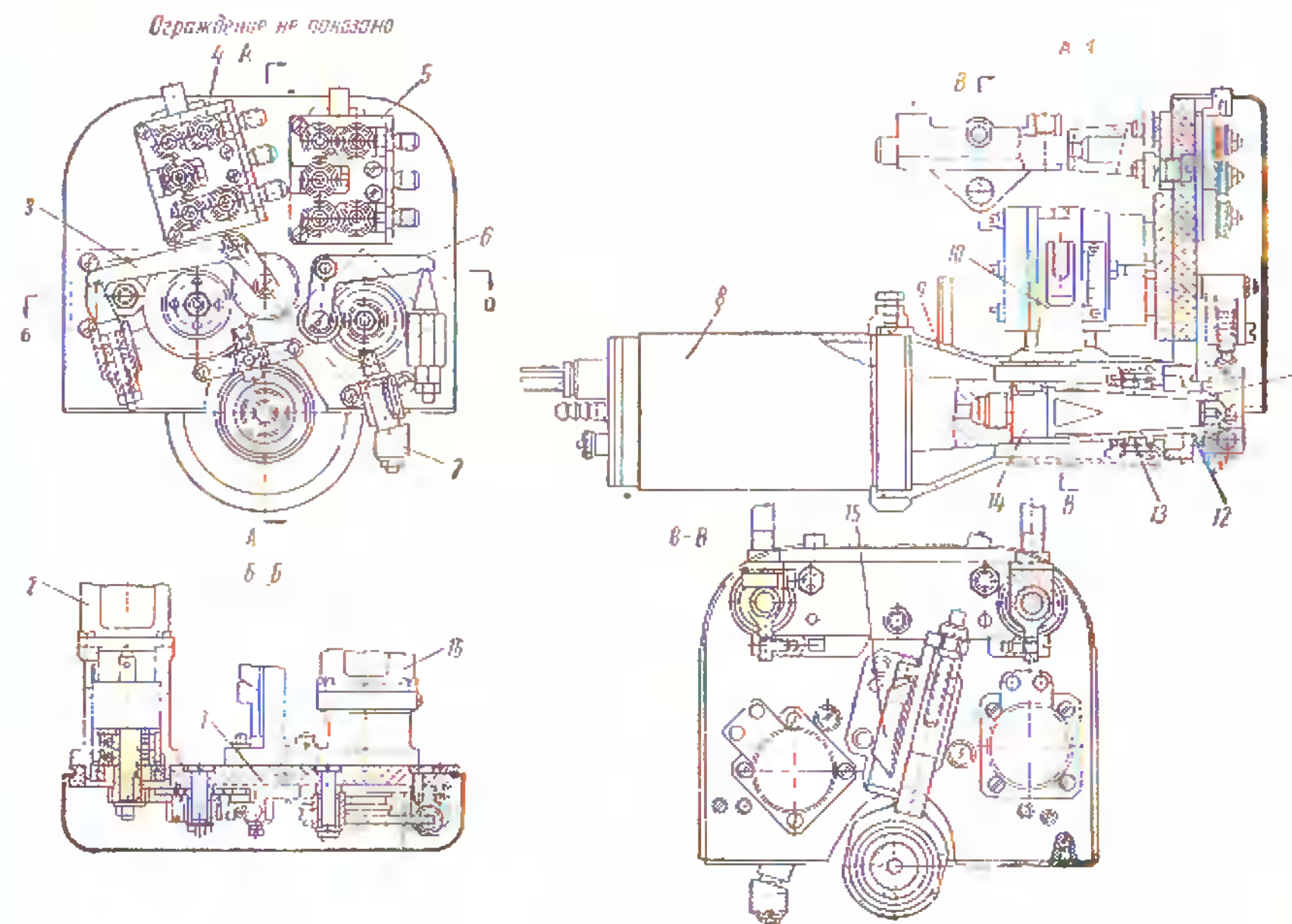


Рис. 4. Головка

1 — токоизолирующая плата; 2, 16 — подающие механизмы электродной и присадочной проволоки; 3, 6 — рычажные системы для поджатия проволоки; 4, 5 — правительные механизмы электродной и присадочной проволоки; 7 — кронштейн; 8 — преобразователь; 9 — стакан; 10 — вертикальный суппорт; 11 — прижим (стакан); 12 — гайка; 13 — пружина; 14 — волновод; 15 — поперечный суппорт

стержень создается пружиной 13 и регулируется гайкой 12. Акустическая система заключена в стакан 9, подвешенный к плате 1 при помощи вертикального 10 и поперечного 15 суппортов. Поперечный суппорт обеспечивает соосность рабочего стержня и входного отверстия в горелке. Вертикальный суппорт позволяет располагать ведущий ролик подающего механизма в узле смещения колебаний стержня, что уменьшает акустические потери.

Электрическая схема установки имеет блоки стабилизированной подачи электродной и присадочной проволоки и позволяет производить все установочные манипуляции головки с горелкой.

Рабочий стержень (присадочная проволока) под действием излучения сварочной дуги и тепла сварочной ванны разогревается и изменяет свои упругие свойства, что исключает возможность применения в качестве передатчика ультразвуковой энергии стержней из алюминиевых сплавов, но допускает использование стальных стержней (при сварке сталей).

Эксплуатация головки показала, что наилучший эффект обработки сварочной ванны упругими колебаниями ультразву-

ковой частоты достигается при использовании в качестве передатчика ультразвуковой энергии вольфрамового стержня. Вольфрам, хотя и имеет большие акустические потери, все же обладает достаточной прочностью и жесткостью при тех условиях, в которых находится стержень во время сварки.

Некоторая расстройка акустической системы вследствие разогрева вольфрамового стержня компенсируется благодаря обратной акустической связи магнитострикционного преобразователя с генератором.

Обработка сварочной ванны упругими колебаниями ультразвуковой частоты производилась следующим образом. После настройки акустической системы в резонанс, при несколько увеличенном вылете сварочного электрода, т. е. при непогруженном (приподнятом) ультразвуковом инструменте начинался процесс сварки. После наведения сварочной ванны (на участке длиной 30—50 мм) головка с горелкой опускалась до погружения в ванну торца ультразвукового инструмента. Расстояние между инструментом и электродом выбиралось предварительно в зависимости от размеров сварочной ванны. Ультразвуковая система включалась одновременно с началом сварочного процесса. При прекращении сварки головка поднималась, что позволяло избежать «замораживания» торца рабочего стержня в сварочной ванне.

Опыт показывает, что наиболее целесообразно в качестве передатчика ультразвуковой энергии применять стержни диаметром 3—4 мм, так как при меньших диаметрах снижается механическая прочность стержней, т. е. стойкость в процессе работы, а применение стержней больших диаметров требует достаточно больших размеров сварочной ванны, что может привести к снижению скорости сварки и излишнему перегреву металла ванны.

Результаты исследований сплава АМг-6

Образцы размерами 10×200×450 мм из сплава АМг-6 соединялись аргопо-дуговой сваркой за один проход. Свариваемые кромки имели разделку 6×45°. Использовалась электродная проволока марки АМг-6.

Режим сварки:

Диаметр электродной проволоки, мм	2
Ток, а	300—320
Напряжение на дуге, в	26—27
Скорость сварки, м/ч	17
Расход аргона, л/мин	37

Ультразвуковые колебания передавались в сварочную ванну вольфрамовым стержнем диаметром 4 мм. Расстояние между электродом и стержнем принималось равным 15 мм. Амплитуда колебаний торца стакана с зажатым в нем настроенным

на резонансный вылет стержнем без нагрузки составляла 7—8 мк.

Предварительными данными установлено, что оптимальная амплитуда колебаний равна 5—10 мк.

Для определения чувствительности акустической системы к нагрузке рабочий конец вольфрамового стержня погружался в сварочную ванну на различную глубину (1 и 3 мм).

Результаты механических испытаний сваренных образцов показаны на рис. 5, где представлен разброс прочности (а) и пластичности (б) и их среднее значение для основного металла

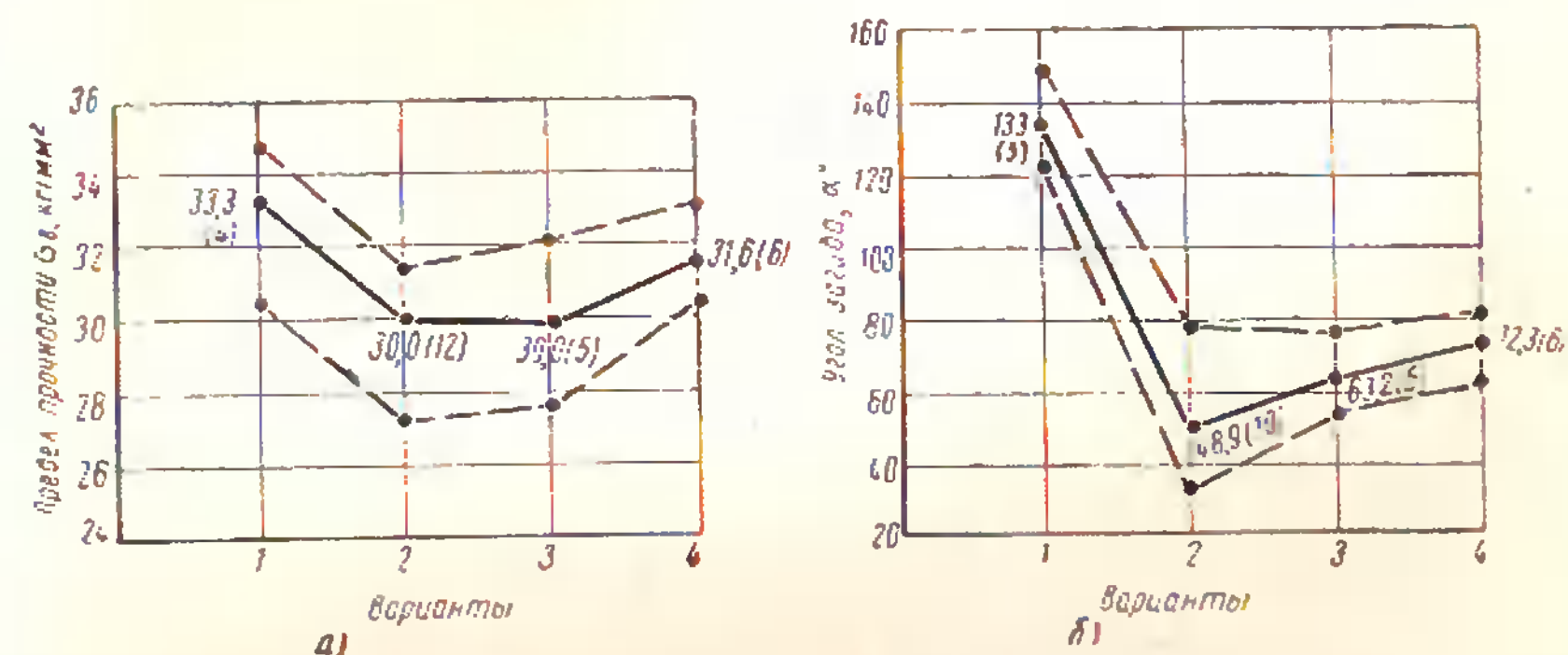


Рис. 5. Результаты механических испытаний сварных соединений из сплава АМТ-6, АМг-6, необработанных (2-й вариант) и обработанных ультразвуком через вольфрамовый стержень при погружении торца стержня на 3 мм (3-й вариант) и 1 мм (4-й вариант). 1-й вариант — характеристики основного металла

а — характеристики прочности; б — характеристики пластичности

(вариант 1) сварных образцов (вариант 2) и образцов, сваренных с применением ультразвука с погружением торца стержня в сварочную ванну на 3 мм (вариант 3) и 1 мм (вариант 4). (Испытывались образцы, изготовленные по ГОСТ 6996—54).

Металлографическое исследование образцов, сваренных с погружением торца стержня на 3 мм, не выявило каких-либо изменений в структуре, а меньший эффект повышения механических свойств сварных швов, видимо, связан с уменьшением амплитуды на торце инструмента.

Как видно из рис. 5, наилучшие результаты получены при погружении торца стержня в сварочную ванну на 1 мм. Для большей наглядности на рис. 6 сравниваются данные механических испытаний образцов, сваренных без ультразвука и с ультразвуком (варианты 2 и 4 рис. 5). Согласно ТУ, сварные швы должны иметь прочность не ниже 0,9 нижнего предела

прочности основного металла, который на рис. 6 показан пунктирной линией. При обычной сварке плавящимся электродом механические испытания выявляют выпад значений прочности за нижний предел, допускаемый ТУ. Как показывает рис. 6, обработка сварочной ванны ультразвуком с оптимальными параметрами приводит к стабилизации и повышению прочностных свойств, причем нижний предел прочности образцов, сваренных с использованием ультразвука, лежит на уровне средних значений прочности образцов, сваренных обычным способом (рис. 6, а). При сварке с применением ультразвука резко повышается угол загиба сварных соединений (рис. 6, б).

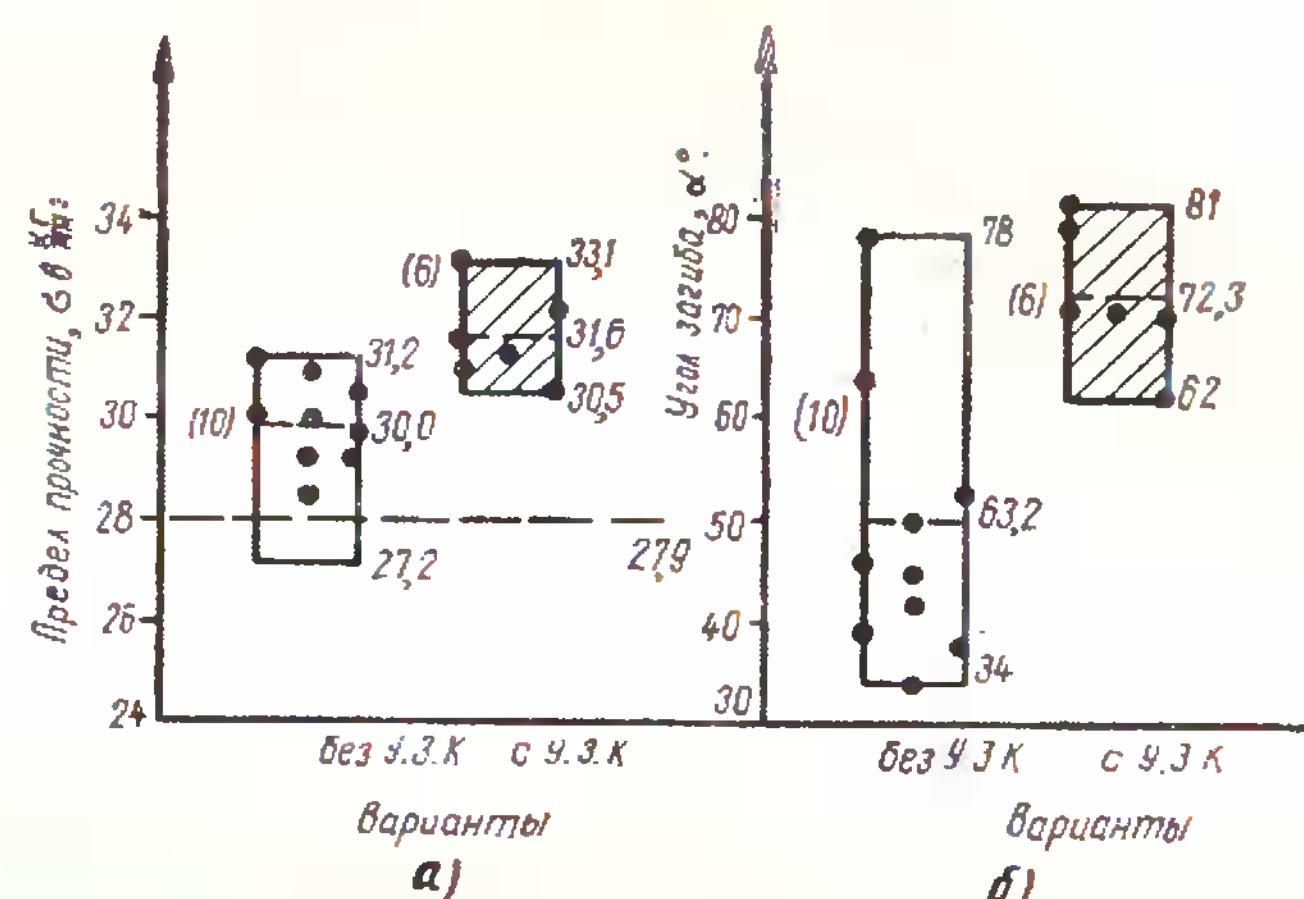


Рис. 6. Результаты механических испытаний сварных соединений из сплава АМг-6, необработанных и обработанных ультразвуком при оптимальных режимах работы

Примечание. В скобках указано количество испытанных образцов.

Исследования сварных швов из сплава АМг-6, обработанных в процессе кристаллизации ультразвуком, показали, что при оптимальных режимах обработки можно добиться существенного и равномерного по всему сечению наплавленного металла измельчения макрозерна и устранения дендритной структуры. Если обычно ядро шва имеет дендритную структуру, то структура ядра шва обработанных ультразвуком образцов мелкозернистая, равноосная.

Измерение величины зерна твердого раствора, проводимое по методу взаимопересекающихся диаметров, и их сравнение с 8-балльной шкалой выявили измельчение микрозерна. Если величина зерна твердого раствора в центре шва, в зоне сплавления и в основном металле составляет соответственно 320 000—

80 000; 16 000—1200 и 1200 мк², то при обработке сварных швов ультразвуком она составляла соответственно 80 000, 10 000, 5 000—1 200 и 1200 мк².

Визуальный осмотр изломов образцов, сваренных без использования ультразвука, испытанных на разрыв, выявил наличие большого количества пор, приводящих к образованию хрупких изломов. У образцов, обработанных ультразвуком, количество пор меньше, изломы их носят характер сколов, цвет изломов серебристый.

Результаты исследований сплава ЭП-202

Образцы размерами 6×100×250 мм из сплава ЭП-202 соединялись аргоно-дуговой сваркой на медной подкладке за один проход. Свариваемые кромки имели разделку 4×45°. Использовалась электродная проволока марки ЭП-357.

Режим сварки:

Диаметр электродной проволоки, мм	1,6
Ток, а	300—320
Напряжение на дуге, в	25—26
Скорость сварки, м/ч	22
Расход аргона, л/мин	34

Упругие колебания ультразвуковой частоты передавались в сварочную ванну вольфрамовым стержнем диаметром 6 мм.

Расстояние между электродом и стержнем составляло 16 мм. Амплитуда колебаний торца инструмента без нагрузки составляла 7—8 мк.

Металлографические исследования сварных соединений из сплава ЭП-202 также показали эффективность обработки кристаллизующейся сварочной ванны упругими колебаниями ультразвуковой частоты. Так, макроструктура выявила нарушение дендритной структуры и наличие равноосных зерен наплавленного металла. При этом наблюдается и измельчение микрозерна наплавленного металла.

Результаты исследований сплава Х18Н9Т

Пластины размерами 6×100×250 мм из сплава Х18Н9Т соединялись аргоно-дуговой сваркой за один проход. Свариваемые кромки имели разделку 4×45°. В качестве электродной применялась проволока марки 0,6Х19Н10Т диаметром 1,6 мм. Режим сварки аналогичен режиму сварки образцов из сплава ЭП-202. Упругие колебания передавались в сварочную ванну через присадочную проволоку диаметром 3 мм того же состава, что и электродная. Сварные швы обрабатывались ультразвуком с различной амплитудой колебаний при разной скорости подачи присадочной проволоки.

Результаты механических испытаний швов, сваренных по различным вариантам, приведены в таблице.

Варианты обработки сварных швов	Режим ультразвуковой обработки		Механические свойства наплавленного металла				Предел прочности сварного шва σ_b , кг/мм ²
	амплитуда колебаний, мк	скорость подачи присадочной проволоки, мм/мин	предел текучести σ_s , кг/мм ²	предел прочности σ_b , кг/мм ²	относительное удлинение δ , %	ударная вязкость α_k , кг/м/с ²	
Основной материал	—	—	31,7—34,8 33,8	63,5—64,1 63,9	49,2—51,2 50	20,2 24,2 22,8	—
Сварка без ультразвука	—	—	32,3—37,3 33,6	54,4—61,5 59	37—57 43,6	12,1—15,1 13,5	64,8—67,5 65,9
То же	—	162	32,0—33,7 34,6	54,6—60,9 58,7	30,5—47 43,5	10,5—14,5 12,7	64,2—67,5 66,5
Сварка с ультразвуком	7	107	31,5—39,3 37	57,6—67,5 61,1	35,2 50 42,4	15—17,8 16	64—65,2 64,8
То же	8—9	162	32,3—36,2 34	56—62,8 57,2	40,7—46,8 43,2	13,3—14,3 13,7	65,2—70,7 67,2
»	13—14	162	35,5—37,5 36,7	58,6—67,1 60	34,6—42 37,1	13,7—15 14,4	64—68,2 66,5

Металлографические исследования сварных швов из сплава Х18Н9Т не выявили значительных изменений в структуре наплавленного металла. Несмотря на это, механические испытания указывают на эффективность обработки сварных швов упругими колебаниями. Так, механические свойства швов (вариант 4), обработанных ультразвуком с амплитудой 7 мк при скорости подачи присадочной проволоки 107 мм/мин, выше механических свойств швов (вариант 2), сваренных без использования ультразвука. Предел текучести образцов увеличился в среднем с 33,6 до 37 кг/мм², т. е. на 10%, а ударная вязкость металла сварного шва — в среднем с 13,5 до 16 кг/м/с², т. е. на 18,5%.

При этом нижний предел разброса значений ударной вязкости образцов, сваренных по режиму варианта 4, лежит на уровне верхнего предела ударной вязкости образцов, сваренных без ультразвука (вариант 2).

Выводы

Исследования воздействия ультразвуковых колебаний на процесс кристаллизации сварных швов показали:

1. Возможность воздействия ультразвуковых колебаний на характер кристаллизации наплавленного металла.

2. При оптимальных режимах обработки швов ультразвуком нарушается дендритная структура, образуются равноосные макрозерна и измельчаются микрозерна наплавленного металла.

3. При оптимальных режимах обработки швов ультразвуком в процессе сварки плавящимся электродом удается повысить прочность швов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Сидин Л. Л., Баландин Г. Ф., Коган М. Г. Ультразвуковая сварка. ГНТИ машиностроительной литературы, 1962.

УДК 621.791.763.1:621.9.048.6

В. И. Сушков

ТОЧЕЧНАЯ СВАРКА СОПРОТИВЛЕНИЕМ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКА

Стабильное качество точечных соединений при сварке сопротивлением получают, если количество тепла, выделяющегося в месте сварки и определяемое по закону Джоуля—Ленца, остается примерно постоянным при сварке каждой отдельной точки

$$Q = \kappa I^2 R t,$$

где Q — количество тепла, выделяющегося при сварке;

κ — константа пересчета;

I — сварочный ток;

R — средняя величина сопротивления за цикл сварки;

t — время сварки.

Время протекания и величина сварочного тока при точечной сварке регулируются электронными приборами с достаточной точностью. Для сохранения в каждой точке стабильного среднего значения сопротивления сварочного контакта применяют специальные технологические приемы (химическое травление, механическую зачистку поверхности) и особые способы хранения подготовленных к сварке деталей.

Защитная и технологическая плакировка алюминиевых сплавов затрудняет сплавление контактирующих поверхностей, уменьшает стабильность сварных точек по прочности и может быть причиной непровара.

При точечной сварке сопротивлением высокопрочного алюминиевого сплава типа АЦМ возникают трудности из-за последующего выпадения хрупких фаз в процессе старения, что сопровождается снижением прочности соединения.

Исследовалось влияние ультразвука на состояние сварочного контакта и плакирующего слоя, на процессы кристаллизации и стабильность качества точечных соединений.

Исследованию подвергали стандартные сварочные образцы из листового материала следующих марок: Д16АТ, АЦМ, АМг-6, имеющих толщины соответственно 0,5; 1,5; 2,0 мм с различной подготовкой поверхности под сварку. Часть образцов за сутки до сварки подвергали травлению, вторую — непосредственно перед сваркой зачищали металлической щеткой, третью исследовали в состоянии поставки.

Сварку производили на стандартных машинах типов МТП-150 (с асинхронным прерывателем) и МТПТ-600.

Продольные ультразвуковые колебания возбуждали в электродах резонансной длины магнитострикционным преобразователем типа ПМС-11, получающим питание от генератора типа УЗГ-10, в различные периоды сварочного цикла.

Сопротивление холодного контакта измеряли под рабочим давлением микроомметром типа М-246.

Амплитуду колебаний под рабочим давлением измеряли при помощи микроскопа, взятого от прибора ПМТ-3.

Время фиксировали электросекундомером ПВ-53ш. Результаты измерения контактного сопротивления (рис. 1) промытых в ацетоне образцов из Д16АТ в состоянии поставки подтверждают возможность стабилизации сопротивления холодного контакта при вводе ультразвука в период обжатия.

Контактное сопротивление практически стабилизируется при амплитуде 6 мк (рис. 2) в течение 1 сек (рис. 3).

В таблице приведены результаты механических испытаний сварных точек, на рис. 4 показан внешний вид разрушенных образцов.

В образцах, сваренных без воздействия ультразвука и дополнительной механической зачистки поверхности, ядра сварных точек имеют в плоскости контакта неправильную форму,

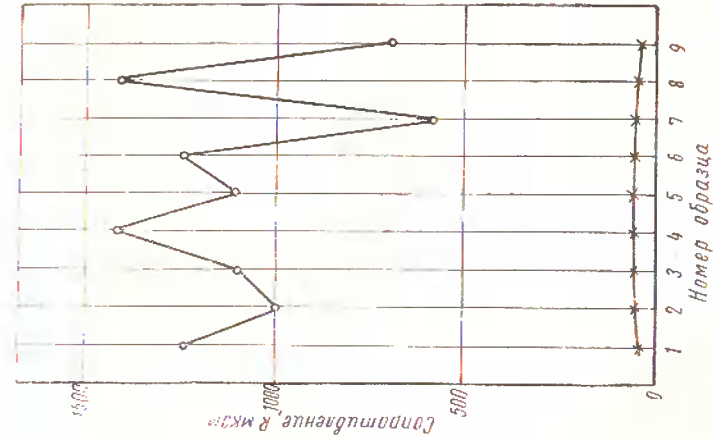


Рис. 1. Значения контактного сопротивления образцов из Д16АТ (0,5+0,5 мм)

О — значения сопротивления образцов в состоянии поставки; X — значения сопротивления тех же образцов после ввода ультразвуковых колебаний (амплитуда 6 мк, время 1,5 сек)

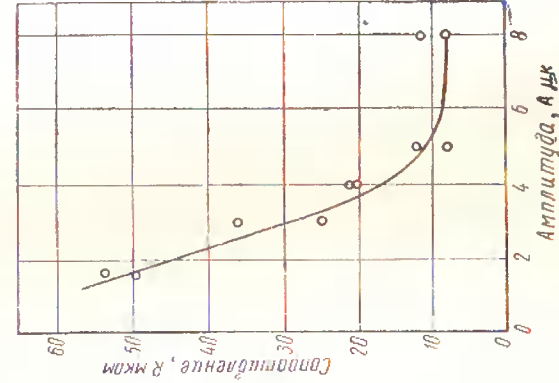


Рис. 2. Зависимость изменения контактного сопротивления образцов из материала АМг-6 (2+2 мм) от амплитуды ультразвуковых колебаний (время 1,5 сек)

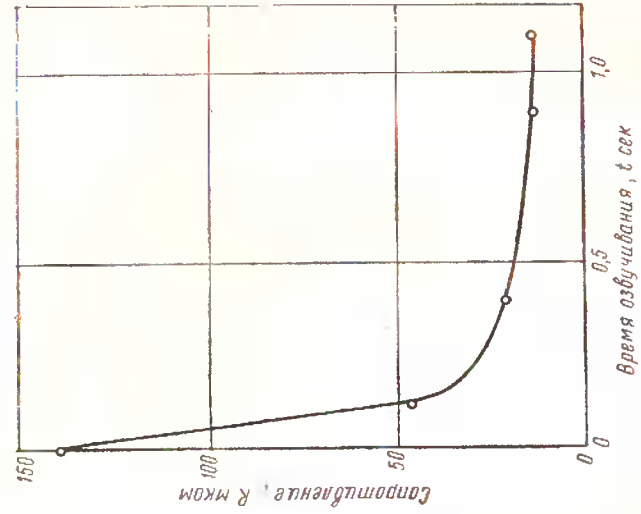


Рис. 3. Зависимость изменения контактного сопротивления образцов из АМг-6 (2+2 мм) от длительности ввода ультразвуковых колебаний (амплитуда 6 мк)

Свариваемый материал и способ подготовки поверхности под сварку*	Срез			Отрыв			Примечание
	разрушающее усилие P , кг	диаметр точки, мм	прочность σ , кг/мм ²	разрушающее усилие P , кг	диаметр точки, мм	прочность σ , кг/мм ²	
Д16АТ 0,5+0,5 мм, промывка в ацетоне	$\frac{75-107^{**}}{92}$	3,5	9,6	—	—	—	Ядра в плоскости среза неправильной формы, имеются радиальные трещины и выплески
Д16АТ 0,5+0,5 мм, промывка в ацетоне, зачистка мелкозернистой наждачной бумагой	$\frac{90-112}{101}$	3,5	11,3	—	—	—	Ядра с плоскости среза круглые, выплесков нет
Д16АТ 0,5+0,5 мм, промывка в ацетоне, ультразвуковые колебания вводятся в период обжатия	$\frac{118-157}{140}$	4,0	11,5	—	—	—	Ядра в плоскости среза круглые, выплесков нет
АЦМ 1,5+1,5 мм, пропавленные, зачищенные металлической щеткой	$\frac{620-750}{690}$	8,4	12,0	$\frac{165-170}{170}$	7,8	4,4	Испытание после искусственного старения
АЦМ 1,5+1,5 мм, пропавленные, зачищенные металлической щеткой, озвученные в период проковки	$\frac{610-740}{660}$	8,2	12,8	$\frac{80-110}{100}$	8,2	2,4	Иногда вырыв по чечевиче. Испытание после искусственного старения
АМг-6 2+2 мм, пропавленные, зачищенные	$\frac{680-790}{748}$	7,5	16,3	$\frac{270-420}{340}$	7,8	7,0	Ядра неправильной формы в плоскости среза, выплески

Продолжение

Свариваемый материал и способ подготовки поверхности под сварку*	Срез			Отрыв			Примечание
	разрушающее усилие P , кг	диаметр точки, мм	прочность σ , кг/мм ²	разрушающее усилие P , кг	диаметр точки, мм	прочность σ , кг/мм ²	
АМг-6 2+2 мм, пропавленные, зачищенные металлической щеткой	$\frac{770-810}{790}$	7,8	17,0	$\frac{330-430}{350}$	8,2	7,0	Ядра в плоскости среза круглые, выплесков нет
АМг-6 2+2 мм, пропавленные, незачищенные, озвученные в период обжатия	$\frac{700-750}{730}$	8,0	14,8	$\frac{240-300}{288}$	8,4	6,4	Ядра в плоскости среза круглые, выплесков нет
АМг-6 2+2 мм, пропавленные, незачищенные, озвученные в течение всего цикла	$\frac{730-880}{810}$	7,3	19,5	$\frac{270-350}{300}$	7,5	6,4	Ядра в плоскости среза круглые, выплесков нет
АМг-6 2+2 мм, пропавленные, зачищенные металлической щеткой, озвученные в период проковки	$\frac{780-880}{800}$	8,0	16,5	$\frac{270-420}{350}$	8,4	6,6	Ядра в плоскости среза круглые, выплесков нет

* На каждом режиме сварено по 10 образцов.

** Над чертой приведены минимальные и максимальные значения разрушающих усилий, под чертой — средние значения.

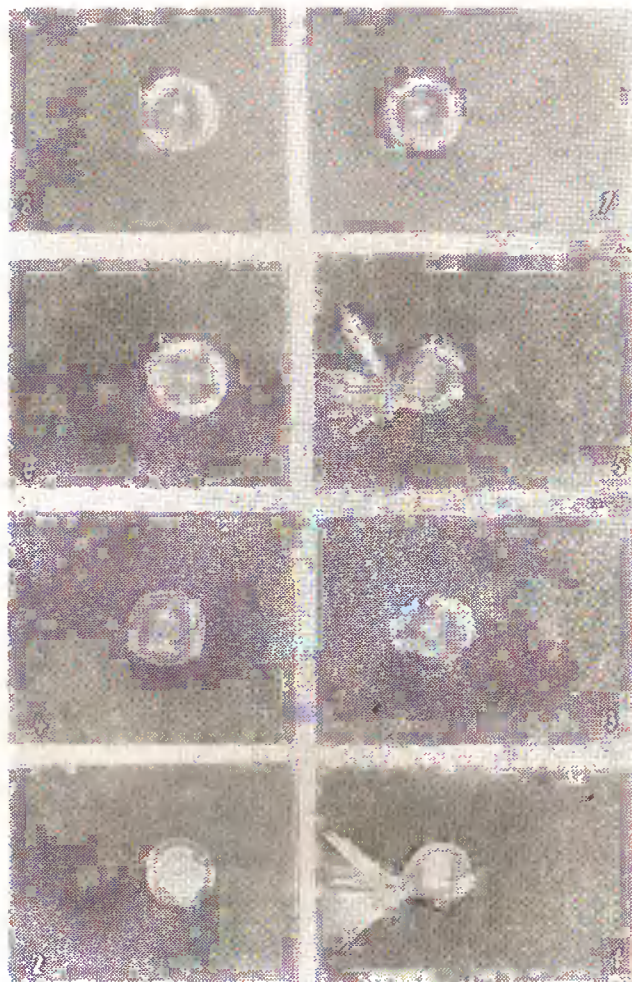


Рис. 4. Внешний вид сварных точек образцов из АМг-6 (2,0+2,0 мм) после испытания на статический срз
1, 3, 5 — незачищенные образцы, сваренные без применения ультразвука; 7 — образец, зачищенный металлической щеткой и сваренный без применения ультразвука; 2, 4, 6 — незачищенные образцы, сваренные с применением ультразвука; 8 — зачищенный металлической щеткой образец, сваренный с применением ультразвука в период проковки

и сварка в большинстве случаев проходила с выплесками рис. 4 (1, 3, 5).

Подготовка контактирующих поверхностей введенным ультразвуковыми колебаниями в период обжатия рис. 4(4) и в течение сварочного цикла рис. 4(2, 6), а также зачистка поверхности перед сваркой металлической щеткой рис. 4(7) позволяют получать ядра правильной формы без выплесков. Анализ таблицы показывает, что введение ультразвуковых колебаний в ряде случаев позволяет повысить прочность сварного соединения.

Если электрическая мощность при точечной сварке сопротивлением с воздействием ультразвука недостаточна, отмечается несплавление контактирующих поверхностей в центре сварного ядра, что свидетельствует об отличном от обычного характере формирования ядра. Расплавление начинается на периферии и развивается в направлении к центру. Такое формирование ядра может быть полезно в тех случаях, когда затруднено сплавление по периферии, например, из-за наличия плакировки. Когда процесс идет при воздействии ультразвука, ширину зоны схватывания и плотность тока в контактном пятне можно регулировать в радиальном направлении изменением по определенной программе давления в период включения ультразвуковых колебаний.

Точечная сварка сопротивлением с использованием ультразвука для подготовки контакта сопряжена с заметным загрязнением торцев электродов и их отпечатков на образцах, что вызывает необходимость частой (через каждые две-три точки) зачистки электродов.

Для получения устойчивых воспроизводимых результатов необходимо производить подстройку резонансной частоты колебательной системы в процессе сварки.

В свариваемом изделии от места очередной точки распространяются изгибные колебания, которые вызывают некоторое снижение прочности ранее сваренных точек.

На основании проведенных исследований можно сделать следующие выводы:

1. Колебания ультразвуковой частоты (22 кГц), введенные в зону соединения в период обжатия, при точечной сварке сопротивлением протравленных, но незачищенных образцов из алюминиевых сплавов (лист толщиной до 2 мм), позволяют многократно уменьшить величину и повысить стабильность контактного сопротивления.

2. Ультразвуковые колебания в период проковки при определенных условиях способствуют перераспределению внутренних напряжений и уменьшению вероятности образования радиальных трещин в сварных точках.

ПРИМЕНЕНИЕ УЛЬТРАЗВУКА В ПОРОШКОВОЙ МЕТАЛЛУРГИИ

Металлокерамическое производство состоит из ряда технологических циклов: производства порошка, приготовления пикеты, формования изделий, их спекания и пропитки. Продолжительность каждого цикла весьма значительна. Так, диспергирование порошка в шаровой мельнице продолжается до десятков часов, в вибромельнице, имеющей меньший рабочий объем, не менее 30—40 мин. Спекание и пропитка пористых изделий расплавленным металлом также длятся по несколько часов. Брак изделий из металлокерамики (коробление, трещины) составляет в среднем 20—40% от объема получаемой продукции. Следует добавить, что использование бракованных изделий зачастую невозможно.

Большая продолжительность отдельных операций и высокий процент брака удорожают стоимость металлокерамических изделий.

Монопольное положение порошковой металлургии в производстве изделий из тугоплавких, жаропрочных и антифрикционных материалов требует совершенствования всех технологических операций для получения более высоких физико-механических свойств изделий.

Одним из новых перспективных методов интенсификации производства металлокерамики и повышения качества изделий является воздействие ультразвуковых колебаний высокой интенсивности на ряд технологических процессов порошковой металлургии.

Ниже последовательно рассматриваются некоторые технологические циклы и проводится оценка эффективности использования в них ультразвука.

Получение порошковых материалов

Диспергирование твердых тел в звуковом поле. До последнего времени диспергирование твердых тел в звуковом поле проводилось на материалах с низкими прочностными свойствами, например гипсе [1].

Разработка метода повышения интенсивности ударных волн при ультразвуковой кавитации [2, 3] позволила эффективно измельчать любые твердые материалы.

По сравнению с обычными методами механического дробления, ультразвуковое диспергирование имеет следующие преимущества: более высокую степень дисперсности частиц, меньшую загрязненность получаемых порошков инородными материалами камеры (благодаря сокращению времени измельчения) и, наконец, возможность получения частиц, форма которых близка к сферической.

Установки, в которых можно производить ультразвуковое диспергирование, пока невелики по объему (1—2 л). Производительность одной установки, работающей под повышенным статическим давлением, в зависимости от вида материала составляет 0,1—1 кг/ч. Однако, когда нужно получить небольшое количество порошка, например при изготовлении металлокерамических изделий с упрочняющими дисперсными добавками и изделий с регулируемой пористостью, в которых сферическая форма зерен является необходимой, использование ультразвуковых установок для диспергирования экономически целесообразно.

Авторами проведены опыты по измельчению карбида бора на ультразвуковой установке, работающей под повышенным давлением в следующем режиме: частота — 20 кГц, амплитуда смещения излучателя — 7 мк, давление в камере — 4 атм, время измельчения — 4 ч. Вес одновременной загрузки составлял 200 г. Рабочей жидкостью служила вода. Объемное соотношение твердой и жидкой фаз 1:3. Величина зерен определялась фотографированием на электронном микроскопе.

На рис. 1 показан фракционный состав зерен в исходном и конечном порошке. Точки на кривых 1 и 2 определялись следующим образом: квартованием отбиралось по 8 проб от исход-

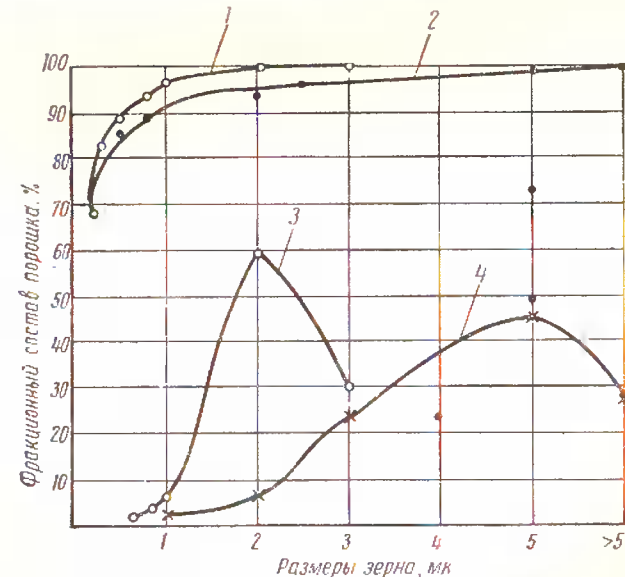


Рис. 1. Фракционный состав порошка карбида бора
1 — фракционный состав карбида бора после ультразвукового диспергирования в течение 4 ч; 2 — фракционный состав исходного порошка; 3 — весовой состав порошка карбида бора (по фракциям) после ультразвукового диспергирования в течение 4 ч; 4 — весовой состав исходного порошка (по фракциям)

ного порошка и порошка после 4 ч измельчения. На электронном микроскопе получали фотографии проб и подсчитывали количество зерен каждой фракции (через 1 мк) на каждом снимке. Среднее по 8 снимкам значение процентного содержания каждой фракции наносилось на график. Кривые 1, 2 показывают, что после ультразвукового диспергирования содержание мелких фракций повышается. Еще более наглядно это видно из характеризующих весовое содержание каждой фракции кривых 3 и 4, которые получены из первых двух путем умножения среднего процентного содержания каждой фракции на радиус частиц в кубе. Из хода кривых видно, что до измельчения (кривая 4) наибольшее количество зерен по весу приходится на фракцию размером 5 мк (около 50%), тогда как после измельчения фракция 5 мк практически отсутствует (кривая 3) и максимум (по весу) приходится на фракцию размером 2 мк (60%). Поскольку прочностные свойства и кавитационная стойкость карбида бора весьма высоки, полученные результаты свидетельствуют о перспективности этого способа измельчения.

Механизм ультразвукового диспергирования изучен недостаточно, однако можно назвать следующие возможные причины разрушения частиц в звуковом поле: соударение, разрушение при трении частиц о жидкость, раскалывание под действием ударных волн, возникающих при захлопывании кавитационных пузырьков.

Получение порошка распылением расплава. Для получения порошка из расплава используют установки плазменного и механического распыления и распыления струей газа.

Все существующие установки имеют ряд недостатков: получение сравнительно крупных, размером более 50 мк, частиц; громоздкость аппаратуры; использование разнотипного оборудования для обработки материалов, температура плавления которых различается всего на несколько сот градусов.

Дисперсность порошка с размером частиц 50 мк недостаточна для получения изделий с высокими механическими характеристиками. Использование ультразвукового способа распыления расплава позволяет устранить указанные недостатки.

Эффект образования туманов и причины туманообразования над поверхностью излучателей, колеблющихся с ультразвуковой частотой, достаточно полно освещен в работе [4]. Процесс нашел применение для получения аэрозолей, эмульгирования и распыления жидкостей, а также для распыления легкоплавких металлов.

Авторами проведены опыты по ультразвуковому распылению на частоте 20 кГц сплава Вуда, алюминиевого сплава АМг и интерметаллического соединения Sb_2Zn_3 .

Температура расплава материалов АМг и Sb_2Zn_3 составляла 600—700°С. Подбор скорости истечения расплава и режима охлаждения преобразователя и волновода позволили успешно

использовать при работе инструмент из того же материала, что и расплав. Длина волновода продольных колебаний соответствовала длине полуволны, коэффициент усиления составлял 2,5, а диаметр рабочего торца — 16 мм.

Установлено, что распыление протекает быстро и эффективно.

Металлографический анализ показал, что основная фракция (70% объема) состоит из частиц размером 25—38 мк. Отдельные частицы слились и имеют длину более 200 мк. Частиц с диаметром 8—10 мк имеется менее 8%.

На одном волноводе без его значительного разрушения можно распылить до 1 кг сплава АМг.

Чтобы расширить ассортимент распыляемых материалов и увеличить дисперсность получаемых гранул, целесообразно изготавливать волноводы из тугоплавких материалов, например из стали марки Х18Н9Т. На волноводе, изготовленном из этой стали, распыляли медь, перегретую до 1400°С. При этом большинство частиц имело размеры 18—35 мк, а скорость распыления составляла 6 кг/ч.

Достоинства ультразвукового метода распыления: высокая производительность; использование однотипного оборудования, независимо от температуры плавления материала; возможность регулирования дисперсности порошка.

Приготовление шихты. Обычно многокомпонентную шихту готовят в шаровых мельницах. Процесс длится несколько часов. При этом часто наблюдаются случаи брака, возникающего вследствие несмешивания макроскопических порций порошков. Использование ультразвука позволяет значительно ускорить процесс смешивания и полностью устранить неоднородность состава.

Порошок электрокорунда дисперсностью 200 мк и порошок маршалита дисперсностью 20—40 мк смешивали в различных пропорциях. При воздействии ультразвука порошки смешиваются в дистиллированной воде (при объемном отношении порошка к жидкости 1 : 2) за несколько минут. При этом наблюдается частичное диспергирование частиц. Острые углы и выступы сглаживаются.

Качество смешивания при постоянной интенсивности и частоте ультразвуковых колебаний регулируется временем обработки.

Ультразвуковое мокрое смешивание протекает быстро, шихта не загрязняется материалом камеры, процесс не зависит от свойств и дисперсности порошка, качество смешивания высокое. Процесс легко произвести, используя стержневой магнотриксционный преобразователь, в любом сосуде или в серийных ультразвуковых ваннах типа УЗВ15, УЗВ18.

Формование изделий из порошка. Прессование является основным способом изготовления из порошков изделий разно-

образной геометрии и различного веса. Процессу присущи существенные недостатки: применение больших (до 3 Т/см^2) усилий прессования, что требует мощного и дорогого оборудования, а также большой брак вследствие непропрессовки материала.

Во избежание этого используют низкочастотную вибрацию, что позволяет несколько снизить усилия прессования и повысить плотность материала [5].

Авторами проведены опыты по прессованию с использованием ультразвуковых колебаний карбонильного железа с бакелитовой (50%-ной концентрации) связкой и сухого тонкого молибденового порошка. Результаты опытов приведены в таблице.

№ образца	Материал шихты	Усилие прессования, кГ	Амплитуда смещения волновода, служившего пуансоном, мм	Объем образца, см ³	
				контрольного	полученного при использовании ультразвука
1	Карбонильное железо	660	—	1,5	—
2	"	660	40	—	1,4
3	"	990	—	1,88	—
4	"	990	40	—	1,77
5	Молибден	1650	—	0,915	—
6	"	1650	30	—	0,902

Шихта карбонильного железа содержала 40 весовых процентов связки.

Давление 660 кГ применяли для прессования брикетов из свежеприготовленной шихты, давление 990 кГ — для прессования менее пластичной шихты после 2 ч выдержки на воздухе.

Молибденовый порошок с дисперсностью частиц менее 5 мк предварительно сушили в вакуумном шкафу при 120° С. Прессование (с применением ультразвука) производили после осадки порошка вибрацией и предварительной подпрессовки, так как в противном случае трудно определить эффективность воздействия ультразвука. В процессе обработки ультразвуком порошок и прессформа значительно нагревались — за 10 сек температура достигала 70° С. Увеличение длительности ультразвуковой обработки вызывает частичное спекание порошка и сваривание его частиц с прессформой.

Эксперименты показали, что ультразвуковое прессование увеличивает плотность брикета. Применение ультразвука бла-

годаря уменьшению сил трения может также значительно снизить величину усилия прессования.

Термическая обработка. Обычно в порошковой металлургии используют спекание и горячее прессование. Основные недостатки этих процессов — большая длительность (обычно от 5 до 20 ч), необходимость использования высокотемпературных режимов (для молибдена температура превышает 1600° С), образование крупнозернистой структуры материала.

На основе данных, полученных при исследовании процесса горячего прессования серебряного порошка, авторами построены графики (рис. 2, а, б) наименьших (кривые 1, 2) и наибольших (кривые 3, 4) значений относительной плотности для различных режимов прессования образцов, полученных при воздействии ультразвука (кривые 2, 4) в процессе прессования и без него (кривые 1, 3).

Из графиков видно, что горячее прессование с воздействием ультразвука позволяет повысить плотность при тех же технологических параметрах: давлении, температуре и времени прессования. Увеличение плотности изделий является важным фактором повышения механических характеристик материала и получения материалов с новыми физическими свойствами.

Основной причиной, сдерживающей широкое применение ультразвука в термических процессах металлокерамического производства, является отсутствие разработанных и освоенных в промышленности волноводных систем для работы при высоких температурах.

Пропитка металлокерамики. Для улучшения механических свойств металлокерамических изделий применяют их пропитку расплавами. Типичным примером такого процесса является пропитка изделий из вольфрама расплавом меди. Технология процесса достаточно проста, но передел из-за низкого качества пропитки весьма велик. Длительность выдержки — не менее 1 ч, а весь цикл занимает около 10 ч.

Применение ультразвука существенно изменяет скорость процесса. Так, авторы пропитывали расплавом свинца образцы псевдосплава медь—цинк, приготовленные из порошков, которые были получены осаждением из сернокислого раствора. После спекания в атмосфере аргона при 800° С образцы подвергались металлографическим исследованиям для проверки структуры и определения пористости, которая составляла 25—30%. Затем проводили пропитку погружением в расплав свинца с температурой 380° С. Контрольные образцы погружали в расплав свинца на 30 мин, после чего они оказались непропитанными (на фотографиях макрошлифов были ясно видны поры). Образцы, пропитанные при воздействии ультразвука, выдерживались в расплаве не более 15 мин.

На фотографиях микрошлифов этих образцов можно было заметить заполнившую поры свинцовую фазу.

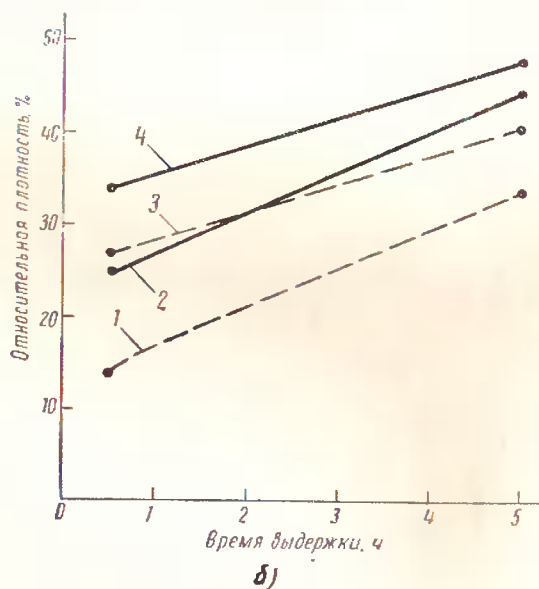
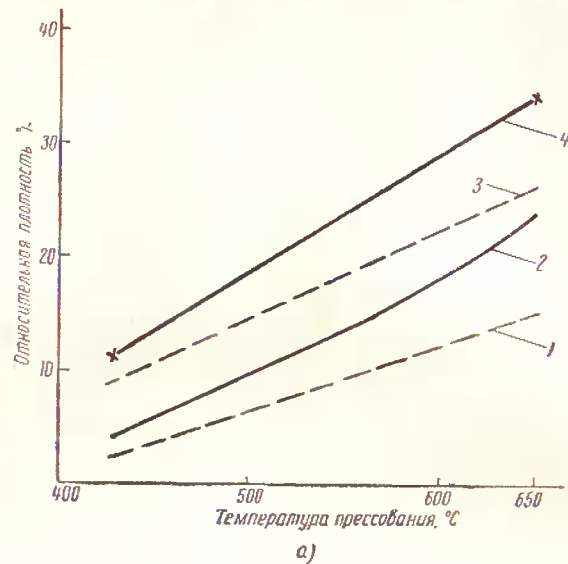


Рис. 2. Значения плотности образцов в зависимости от режимов прессования
 а — при удельном давлении 70 кг/см^2 и времени выдержки 30 мин; б — при удельном давлении 70 кг/см^2 и $t = 650^\circ \text{C}$

Выводы

Ультразвуковые колебания позволяют интенсифицировать ряд процессов порошковой металлургии (диспергирование, распыление, горячее прессование, пропитку), обеспечивая высокое качество изделий.

Приведенные в работе данные показывают, что путем воздействия ультразвука можно существенно повлиять на улучшение физико-механических свойств металлокерамических изделий.

ЛИТЕРАТУРА

1. Новицкий Б. Г., Анисимова В. А. Выбор оптимальных условий для ультразвукового диспергирования суспензий. — «Ультразвуковая техника», 1, М., ЦИНТИАМ, 1965.
2. Аграт Б. А., Башкиров В. И., Китайгородский Ю. И. Способ повышения эффективности воздействия ультразвука на процессы, протекающие в жидкостях. — «Ультразвуковая техника», 3, М., ЦИНТИАМ, 1964.
3. Аграт Б. А., Башкиров В. И., Китайгородский Ю. И. Использование избыточного статического давления для управления процессом ультразвуковой кавитации. — «Ультразвуковая техника», 1, М., ЦИНТИАМ, 1966.
4. Экиадиосянц О. К. Распыление жидкостей в ультразвуковом фонтане. — «Ультразвуковая техника», 1, М., ЦИНТИАМ, 1966.
5. Шасталова В. П., Лихтман Б. Г. Физико-химические основы вибрационного прессования. Изд-во «Наука», М., 1965.

СОДЕРЖАНИЕ

<i>Б. А. Агранат, Ф. А. Брокин.</i> Получение материалов сверхтонкой дисперсности в ультразвуковом поле	3
<i>Б. А. Агранат, В. И. Баширов, Ю. А. Самойлов.</i> Интенсификация процесса отделения примесей от кварцевого материала при воздействии ультразвука	7
<i>Ф. А. Брокин, В. С. Комбалов.</i> Ультразвуковая очистка деталей эмалировочных станков	10
Очистка деталей от жировых загрязнений	13
<i>Л. Б. Маслан.</i> Ультразвуковая обработка алюминиевых расплавов . . .	17
<i>Б. М. Пестов, Р. Е. Тупальская.</i> Сварка плавящимся электродом с применением ультразвука	29
<i>В. И. Сушков.</i> Точечная сварка сопротивлением с применением ультразвука	41
<i>Е. Д. Мезинцев, Л. Б. Гутнова.</i> Применение ультразвука в порошковой металлургии	48

ТС-16

Техн. редактор *Диков Б. Н.*
Корректор *Дьячкова Э. Г.*

Т-13042.	Подписано к печати 24/IX-66 г.	Объем 3,5 п. л., 3,32 уч. изд. л.
Формат бумаги 60X90 ¹ / ₁₆ .	Тираж 2480 экз.	Цена 21 коп. Зак. 1372

ВНИИЭМ — отделение научно-технической информации, стандартизации
и нормализации в электротехнике
Москва, Е-123, 2-й Плехановский пер., 12