

$$N_{II} = \sum_L^{L_k} N_{kj}. \quad (24)$$

Для расчета продолжительности развития макротрещины от своего минимального размера до критического с учетом поврежденности металла, полученной на первой стадии, величина приращения дискретного развития макротрещины. Определяется состоянием структуры, критическим КИН и максимальным суммарным напряжением эксплуатационного цикла

$$\Delta L_j = 2 \cdot d_s \cdot (0,618)^z + \frac{2 \cdot (K_{j\max}^2 - K_{(j-1)\max}^2) \cdot 0,618}{K_{IC}^2}, \quad (25)$$

где ΔL_j – текущий размер структурного элемента; $K_{j\max}$ – коэффициент интенсивности напряжений, соответствующий моменту выбора размера структурного элемента на j -м шаге развития трещины.

Заключение. Таким образом, процедура определения ресурса на стадии устойчивого развития трещины представляется следующим алгоритмом:

1. Рассчитываются величины K_{th} и K_{IC} по формулам (2) и (9).
2. Рассчитываются размер начальной микротрещины L (19) и размер критической трещины L_k , используя (9).
3. Определяется размер зоны упругопластической деформации при плоской деформации:

$$r_p = \frac{1 - 2\mu}{2\pi} \left(\frac{K_{\max}}{\sigma_T} \right)^2. \quad (26)$$

4. Определяется величина шага трещины при $K_{\max} = K_{th}$ и вычисляется количество ($n = r_p / d_{cmp}$) таких элементов в упругопластической зоне.
5. Вычисляется размах интенсивности пластических деформаций и интенсивность пластических деформаций ϵ_j^p в центре каждого структурного элемента, находящегося в упругопластической зоне ($r_i = r_{th}(k-1/2)$, где $k=1, \dots, n$).
6. Определяется повреждаемость каждого элемента за цикл на первом шаге продвижения трещины по выражению (22) и количество циклов, необходимых для разрушения первого элемента (23).
7. Вычисляются повреждения, полученные последующими структурными элементами на первом шаге.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Методические рекомендации по проведению технического диагностирования грузоподъемных кранов с истекшим сроком службы. – Мн.: Инженерный центр «БОИМ», 2006. – 328 с.
2. Винокуров, В.А. Сварные конструкции. Механика разрушений и критерии работоспособности/ В.А. Винокуров, С.А. Куркин, Г.А. Николаев: под ред. Б.Е. Патона. – М: Машиностроение, 1996. – 570 с.
3. Майзель, В.С. Сварные конструкции / В.С. Майзель, Д.И. Нарвоцкий – Л: Машиностроение, 1973. – 306 с.
4. Махутоов, Н.А. Деформационные критерии разрушения и расчет элементов конструкций на прочность. – М: Машиностроение, 1981. – 272 с.
5. Винокуров, В.А. Сварочные деформации и напряжения. – М: Машиностроение, 1986. – 236 с.

Материал поступил в редакцию 18.10.09

LISOVSKI A.L. Methods of the estimation of the remaining resource metallic design machines

The Broughted methodes of the calculation of the remaining resource to metallic designs tap with expired by lifetime. On the grounds of estimations of the influence to technological heredity on resource welded object, length to stage of the generation and stage of the stable development of the rift under frequency load is offered new methods of the estimation of the remaining resource tap. They Are Discussed questions of the interaction own and worker of the voltages under different scheme of the loads, happen to methods of the calculation to concentrations of the voltages and their influence upon different stages of the process of the destruction.

УДК 681.7

Онысько С.Р., Сазонов М.И., Хвисевич В.М., Якушевич С.

ОСАЖДЕНИЕ УГЛЕРОДНЫХ ПЛЕНОК НА РЕЖУЩИЕ ПЛАСТИНКИ И ИХ ИСПЫТАНИЕ

Введение. Несмотря на большое число публикаций, посвященных различным методам плазменного осаждения пленок углерода, понимание процессов, происходящих при этом, остается далеко не полным. В сущности, отсутствуют надежные теоретические оценки параметров плазменного потока (температуры, скорости, концентрации частиц углерода и вспомогательных газов) и характеристик подложки (состав, подготовка поверхности, геометрия взаимодействия с потоком плазмы и т.д.), при которых происходит образование углеродных пленок различного типа.

Существует, однако, большой экспериментальный материал [1–10], анализ которого позволяет высказать ряд достаточно общих соображений о преимуществах и недостатках различных методов. Существует большее число разновидностей методов химического

осаждения углерода из паровой фазы (CVD-методов), различающихся по способам получения плазмы, ее характеристикам, способам управления характеристиками и т.д. Наиболее известными из них являются метод с использованием горячей нити, CVD-методы с электронным возбуждением, разрядом постоянного тока, плазменной струей, генерируемой дуговым разрядом, CVD-метод с использованием радиочастотного возбуждения плазмы, микроволновой плазмы или плазмы, образующейся при горении [7].

С целью увеличения износостойкости режущих твердосплавных пластинок в данной работе предложен CVD-метод с применением сверхзвуковой плазменной струи и проведено осаждение углеродных пленок на их режущие кромки. Основной целью экспериментальных исследований являлось определение оптимальных пара-

Онысько Сергей Романович, старший преподаватель кафедры сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

Сазонов Михаил Иванович, профессор кафедры сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

Хвисевич Виталий Михайлович, зав. кафедрой сопротивления материалов и теоретической механики Брестского государственного технического университета.

Беларусь, БрГТУ, 224017, г. Брест, ул. Московская, 267.

Якушевич Сергиуш, к.т.н., зам. декана Высшей государственной профессиональной школы в Сувалках.

Польша, 16400, г. Сувалки, ул. Нуневича 10.

метров режима работы созданной вакуумной установки ВПУ-1 для достижения максимальной износостойкости режущего инструмента.

1 Описание экспериментальной установки и результаты исследований. При проведении эксперимента был использован плазмотрон с графитовым и вольфрамовым катодами (рис. 1).

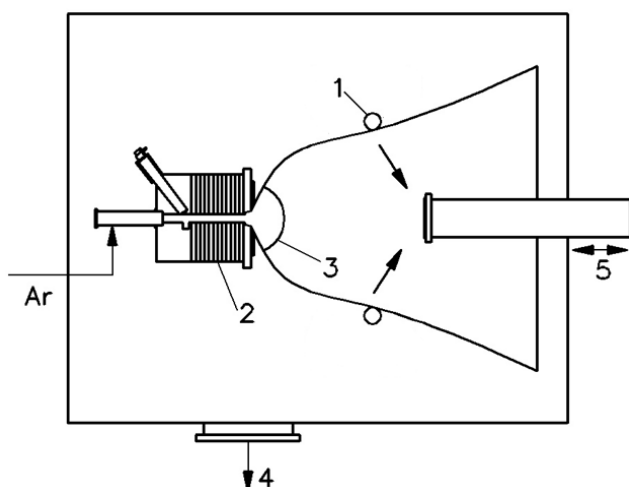


Рис. 1. Схема вакуумной установки

1 – кольцо-инжектор мономеров; 2 – плазмотрон с межэлектродной вставкой; 3 – скачек уплотнения; 4 – система откачки; 5 – держатель образца

Плазменная установка включает реактор – вакуумную камеру, плазмотрон с межэлектродной вставкой, силовой источник питания электрической дуги, системы подачи в камеру аргона, азота, метана, системы водоохлаждения плазмотрона, подложки и стенок вакуумной камеры.

В вакуумной камере размещены плазмотрон и подложкодержатель – анод с упрочняемыми образцами. Силовой источник обеспечивает горение дуги с целью поддержания температуры образцов заданной величины в соответствии с проводимым технологическим процессом осаждения углеродных пленок на поверхность твердосплавных пластинок.

В плазмотрон подавался рабочий газ – аргон с расходом $G = (6-11) \cdot 10^{-3}$ м³/мин. Ток дуги плазмотрона составлял $I = 35-40$ А, напряжение дуги $U = 67-92$ В. Изменение напряжения дуги определяется числом секций межэлектродной вставки, которое составляло 3–6 штук. Данные параметры плазмотрона позволяют реализовать сверхзвуковую плазменную струю аргона с числом Маха от 1 до 5. При этом диаметр струи вниз по потоку изменялся в пределах $d = 22-46$ мм. Давление в вакуумной камере составляло $P = (5-6) \cdot 10^2$ Па.

Вольт-амперные характеристики плазмотрона при истечении аргонной плазмы в атмосферу показаны на рис. 2 при различных длинах МЭВ в пределах $L = 15-35$ мм. Поскольку характеристики являются возрастающими, мощность плазмотрона может быть увеличена как за счет роста силы тока, так и за счет роста длины дуги. Вольт-амперные характеристики плазмотрона при истечении аргонной плазмы в вакуумную камеру показаны на рис. 3, при давлении газа в ней $P_k = 3 \cdot 10^2$ Па.

Подготовка деталей к напылению сводится к химическому обезжириванию в растворах едкого натрия техн. марки ГР, ГОСТ 2263-79, тринатрийфосфата ГОСТ 201-76 и последующей промывке в горячей и холодной проточной воде.

В качестве режущего инструмента были взяты твердосплавные пластинки Т15К10, изготовленные путем спекания кобальта с карбидами вольфрама и титана. Твердость таких пластин составляет 86–90 HRC, температуростойкость – 1150–1250 °С. Пластинки устанавливались для напыления в камере на расстоянии 120–200 мм от среза сопла плазмотрона.

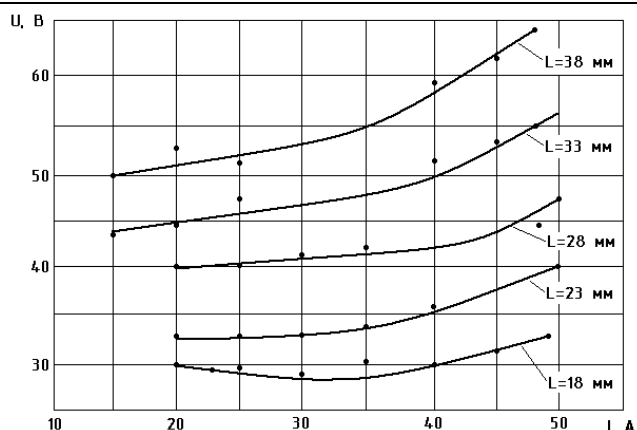


Рис. 2. Вольт-амперные характеристики плазмотрона с графитовым катодом $G_{Ar} = 267$ л/ч, $P = 1 \cdot 10^5$ Па, $D_{сопла} = 4$ мм, L – длина МЭВ

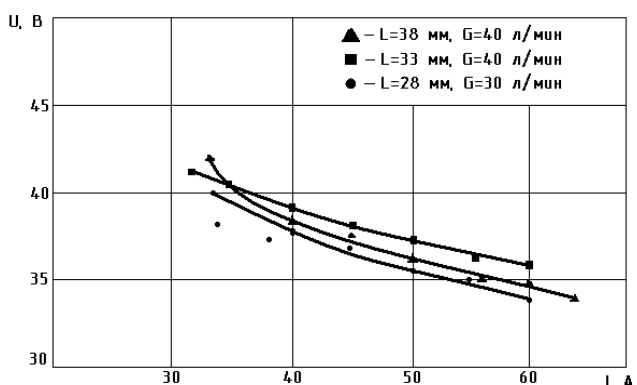


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики плазмотрона с вольфрамовым катодом $P_k = 3 \cdot 10^2$ Па, $D_{сопла} = 4$ мм, L – длина МЭВ

Кроме того, для повышения скорости роста углеродных пленок на режущей кромке пластин непосредственно в плазменную струю подавался метан (CH_4) через кольцо с радиальными отверстиями. Кольцо диаметром 50 мм выполнено из медной трубки диаметром $d = 8$ мм и радиальными отверстиями 1 мм. Кольцо охватывало плазменную струю и располагалось горизонтально на расстоянии $h = 5$ см от среза плазмотрона. Расход метана в различных экспериментах изменялся в пределах $G = (0-2) \cdot 10^{-3}$ м³/мин.

В зависимости от расхода метана наблюдалось изменение формы и структуры плазменной струи. При увеличении расхода метана скорость плазменного потока за срезом кольца уменьшалась, а число Маха при этом изменилось от 5 до 3.

2 Испытание упрочненных твердосплавных пластинок. Для натуральных испытаний стойкости твердосплавных пластинок было отобрано 6 партий, причем одна из них являлась контрольной (без напыления углеродной пленки). Режимы осаждения углеродных пленок экспериментальных партий сведены в таблице 1.

Натурные испытания стойкости упрочненных пластинок Т15К10 проводились с применением токарного станка типа 16К20. Для точения были взяты цилиндрические поковки из конструкционных сталей двух марок:

- сталь ШХ15, имеющая твердость в пределах НВ 179–207 ед.;
- сталь 40Х, имеющая твердость в пределах НВ 174–217 ед.

В процессе работы режущего инструмента происходит сложное взаимодействие инструмента и обрабатываемого материала, в результате которого инструмент изнашивается. Износ резцов может протекать по-разному. Обычно различают три основных вида износа:

- износ происходит только по задней поверхности;
- износ происходит только по передней поверхности;

- износ происходит одновременно по передней и задней поверхностям.

Таблица 1. Режимы осаждения углеродных пленок экспериментальных партий

№ партии	Количество пластин	Расстояние от плазматрона до подложки, мм	Расход Ar, л/мин	Число Маха	Время напыления, час	Расход CH ₄	Давление в камере с CH ₄ , Па
1	8×2	200	7	4	1	2	4–5 · 10 ²
2	10×2	150	7	3-4	1	2	4–5 · 10 ²
3	8×2	180	7	5	1	0,7	3 · 10 ²
4	10×2	120	7	3-4	1	2	4–5 · 10 ²
5	8×2	150	7	4-5	1	1,2	4 · 10 ²

В производственных условиях определить характер и степень износа инструмента без специальной контрольно-измерительной аппаратуры довольно сложно. Поэтому в качестве критерия оценки износа режущего инструмента были взяты:

- шероховатость поверхности обрабатываемой детали;
- полный износ инструмента.

В ходе испытаний определялась стойкость режущего инструмента (Т), т.е. продолжительность резания до момента, когда максимальный линейный износ лезвия достигает допустимого значения либо равного, либо оптимального износа.

Обычно выбор основных режимных параметров при обработке металлов начинают с определения глубины резания *t*, которая связана с подачей *S*.

Для оценки стойкости твердосплавных пластинок были выбраны следующие параметры [11]:

- для стали ШХ15: глубина резания *t* = 2 мм; подача *S* = 0,4 мм/об;
- для стали 40Х: глубина резания *t* = 4 мм; подача *S* = 0,5 мм/об.

Между глубиной резания и подачей должно выполняться соотношение

$$5 < \frac{t}{S} < 10.$$

Рабочая стойкость резца рассчитывается по формуле:

$$T = \left(\frac{C_v}{V \cdot t^x \cdot S^y \cdot \left(\frac{HB}{200} \right)^z} \right)^{\frac{1}{m}}, \quad (1)$$

где *V* – скорость резания;

t – глубина резания;

S – подача;

HB – твердость обрабатываемого материала по Бринелю.

Коэффициенты *C_v*, *x*, *y*, *z*, *m* определяются по справочнику [11]. При резании пластинками типа Т15К10 без применения охлаждающей жидкости с заданными *t*, *S*, *HB* > 130: *C_v* = 267, *x* = 0,181, *y* = 0,35, *m* = 0,2.

Разрешив уравнение (1) относительно *V*, находим, что *V* = 43 м/мин.

При проведение сравнительного эксперимента стойкости твердосплавных пластин первоначально были отобраны по две пластинки из каждой партии, которые работали на расчетных скоростях

резания. Эксперимент показал, что стойкость пластин из контрольной партии партий № 1 и № 3 приблизительно равны. Большую стойкость показали пластинки из партий № 2 и № 4.

Скорость резания и стойкость инструмента связаны следующим известным соотношением:

$$\frac{V_1}{V_2} = \left(\frac{T_2}{T_1} \right)^m. \quad (2)$$

Это позволяет оценить стойкость пластинок при различных режимах резания. Эксперимент показал, что для пластинок из контрольной партии и пластинок из партий № 1 и № 3 формула (2) выполняется до скоростей *V* = 43 – 100 м/мин. При скорости резания больше 100 м/мин пластинки выходили из строя относительно быстро.

Во же время эксперимент показал, что пластинки из напыленных партий № 2 и № 4 довольно устойчиво работали при 120 < *V* < 160 м/мин. Так, например, при скорости *V* = 150 м/мин согласно (2) относительно базовой скорости *V* = 43 м/мин стойкость должна составлять 0,2 мин., тогда как стойкость напыленных пластинок составляет в пределах 21–28 мин. Это обстоятельство указывает, что напыленные пластинки можно использовать при обработке металла с большими скоростями резания.

Заключение

1. Разработана и создана вакуумная установка с применением высокоэффективного плазматрона постоянного тока с межэлектродной вставкой для формирования сверхзвуковой плазменной струи с целью осаждения углеродных пленок на режущие кромки твердосплавных пластинок.
2. Определены оптимальные параметры процесса осаждения углеродных пленок:
 - расстояние от плазматрона до подложки – 120 мм;
 - расход Ar – 7 л/мин;
 - расход CH₄ – 2 л/мин;
 - давление в камере с CH₄ – 4–5 · 10² Па.
3. Анализ исследований показал, что наибольшая скорость резания присуща пластинкам из партий № 2 и № 4. Их эксплуатационные свойства увеличились в 2,5–3 раза.
4. Пластинки, на которые нанесены углеродные пленки, можно использовать для резания конструкционных сталей при скоростях, лежащих в пределах 120 < *V* < 160 м/мин.

СПИСОК ЦИТИРОВАННЫХ ИСТОЧНИКОВ

1. Александров, А.Я. Контактные задачи для тел с тонкими покрытиями и прослойками / А.Я. Александров, С.М. Мхорян – М., 1983. – 487 с.
2. Болотин, В.С. Механика многослойных конструкций / В.С. Болотин, Ю.Н. Новичков – М.: Машиностроение, 1980. – 374 с.
3. Никишин, В.С. Задачи теории упругости для многослойных сред / В.С. Никишин, Г.С. Шапиро – М.: Наука, 1973. – 130 с.
4. Моковенко, С.Я. Поведение многослойных металлических пластинок в температурном поле // Тр. ин-та. МИСИ. Науч. сб. по сопр. материалов., теории упругости/ Вып. 5, 1987. – С. 79–86.
5. Рыкалин, Н.Н. Лазерная и электронно-лучевая обработка материалов: справочник / Н.Н. Рыкалин, А.Л. Углов, И.В. Зуев, А.Н. Кокора – М.: Машиностроение, 1985. – 496с.
6. Спиридонов, Н.В. Плазменные и лазерные методы упрочнения деталей машин / Н.В. Спиридонов, О.С. Кобяков, И.Л. Курпьянов – Мн.: Высш. шк., 1988. – 155с.
7. Блинов, Л.М. Алмазные пленки: перспективные направления использования и их получения в плазме ВЧ - и СВЧ - разрядов пониженного и атмосферного давлений / Л.М. Блинов, Ю.В. Гуляев, А.В. Долголаптев, И.П. Шилов // Радиотехника и электроника. – М. – Т. 41, 1996. – С. 389–403.
8. Pereverzev V.G., Konov V.I., Ralchenko V.G., Pozharov A.S., Metev S., Brecht H., Sepold G. Parametric studies of diamond film deposition by DC arc-jet technique // Proc. of 4-th Intern. symp./ – Kharkov, 1999. – P.110–113.

9. Бордусов, С.В. Плазменные процессы в производстве изделий электронной техники / С.В. Бордусов, М.И. Босьяков, И.В. Свадковский, А.Ф. Ильющенко, Л.П. Ануфриев, Е. Lugsheider. – В 3-х т. – Т.1. – Мн.: ФУАинформ, 2000. – 424 с.
10. Лукьянов, Г.А. Сверхзвуковые струи плазмы. – Л.: Машиностроение, 1985. – 264 с.
11. Справочник технолога–машиностроителя. В 2-х т. / Под ред. А.Г. Косиловой и Р.К. Мещерякова. – 4-е изд., перераб. и доп. – М.: Машиностроение, 1986. – 496 с.

Материал поступил в редакцию 15.10.09

ONYSKO S.R., SAZONOV M.I., CHVISEVICH V.M., YAKUSHEVICH S. Precipitation carbon pellicle on cutting of a plate and their test

Clause is devoted to experimental researches of process precipitation carbonaceous pellicle with the help plasmatron on cutting carbide of a plate and them stable of test at processing constructional alloy steel.

The authors in detail state the mechanism sputtering on plasmatron with graphite and tungsten by cathodes. The characteristics of parameters of a plasma flow, change of structure and form of a plasma jet are given depending on distance up to a substrate.

Comparative stable of test sputtering of plates at processing steel of the marks 40H, SH15 the dependences of stability of the tool on parameters of a plasma jet have revealed, that allows to nominate optimum conditions sputtering.

Representation the results of researches contain in clause elements of scientific novelty and can be used at the enterprises of metal working.

УДК 621.787.4.048.6

Клубович В.В., Абрамова А.В.

ПОВЕРХНОСТНАЯ ОБРАБОТКА ИЗДЕЛИЙ СЛОЖНОЙ ГЕОМЕТРИЧЕСКОЙ ФОРМЫ С ПРИМЕНЕНИЕМ УЛЬТРАЗВУКОВЫХ КОЛЕБАНИЙ

Введение. Известно, что эксплуатационные характеристики изделий во многом зависят от качества поверхностного слоя. Так, прочность, износостойкость, коррозионная стойкость, долговечность и надежность определяются состоянием поверхностного слоя, с которого обычно начинается разрушение материала. В связи с этим весьма актуальной становится проблема поиска новых эффективных способов упрочнения поверхностного слоя деталей машин, которые работают в условиях износа и воздействия вибраций. В настоящее время одним из более эффективных способов упрочнения деталей является отделочно-упрочняющая обработка поверхностным пластическим деформированием с наложением ультразвуковых колебаний, которая позволяет значительно уменьшить высоту микронеровностей и создает в поверхностных слоях благоприятную эпюру остаточных сжимающих напряжений. Последняя наиболее эффективна при обработке деталей машин, работающих на истирание, а также восстанавливаемых после их износа для обеспечения дальнейшей функциональной пригодности.

Так, например, коленчатые валы двигателей автомобилей, тракторов и других машин в процессе эксплуатации подвергаются быстрому износу. Поэтому при восстановлении шеек коленчатых валов двигателей применяют в основном два способа: наплавку или металлизацию газодинамическим напылением различными порошковыми материалами. Оба способа предполагают последующую шлифовку и упрочняющую ультразвуковую обработку поверхностных слоев нанесенного покрытия.

Способы и устройства ультразвуковой обработки. Для проведения исследований по упрочнению восстановленной поверхности шейки коленчатых валов в ИТА НАН Беларуси были разработаны способы и устройства для ультразвуковой упрочняюще-чистовой обработки коленчатых валов двигателей автомобилей и тракторов. В литературе [1] известно устройство для упрочнения с ультразвуком наружных цилиндрических поверхностей валов, содержащее ультразвуковой преобразователь, концентратор, расположенный на его торце деформирующий элемент в виде ролика, который установлен под углом к оси детали. Однако это устройство не позволяет обработать всю шейку коленчатого вала вследствие упора концентратора в поверхность щеки. Так как центр пятна контакта ролика с обрабатываемой поверхностью находится на оси волновода, то необработанным остается прилегающий к щекам коленчатого вала участок, минимальная ширина которого равна радиусу торца концентратора. Наряду с этим от ударного воздействия ролика, колеблющегося с ультразвуковой частотой, деформируется край маслоподающего отверстия. Для избе-

жания этого разработали способ и устройство для упрочняюще-чистовой обработки ультразвуковым инструментом шеек валов, содержащее ультразвуковой генератор и опорную плиту, смонтированную на суппорте токарного станка. На плите установлен также ультразвуковой преобразователь с выглаживающим инструментом в виде полусферы, который закреплен на торце концентратора-волновода [2]. Однако такое устройство предназначено только для обработки цилиндрических поверхностей, в том числе шеек коленчатых валов, и не может быть использовано без дополнительных переделок и приспособлений для обработки глубоко расположенных между высокими щеками шеек и галтелей коленчатых валов. Поэтому, с целью расширения технологических возможностей устройства, улучшения качества обработки и увеличения номенклатуры обрабатываемых деталей, нами разработан новый способ и устройства для ультразвуковой обработки таких изделий. Сущность которого состоит в том, что устройство для ультразвуковой упрочняюще-чистовой обработки коленчатых валов содержит направляющие и опорную плиту, имеющую возможность возвратно-поступательного перемещения в направлениях вдоль и перпендикулярно оси вала. На опорной плите установлен ультразвуковой преобразователь с выглаживающим инструментом, содержащим волновод с закрепленной на его конце рабочей частью, выполненной в виде расположенных параллельно двух одинаковых цилиндрических роликов, причем расстояние между осями которых в направлении, параллельном оси вала, больше диаметра маслоподающего отверстия, но меньше половины длины обрабатываемого участка. Плоскость возвратно-поступательного перемещения опорной плиты расположена к оси вала под углом β , величина которого определяется по формуле:

$$\beta = \arctg\left(\frac{l \sin \alpha}{H - h - l \cos \alpha}\right), \quad (1)$$

где l – длина цилиндрического ролика; α – угол между осью цилиндрического ролика и осью вала; H – ширина обрабатываемого участка; h – расстояние между осями цилиндрических роликов в направлении, параллельном оси вала.

С целью увеличения амплитуды колебаний деформирующих элементов к ультразвуковому преобразователю дополнительно присоединяли усилитель амплитуды продольных колебаний, выходной торец которого жестко связан с выглаживающим инструментом. Это позволило концентратор конического типа заменить волноводом цилиндрического типа и, следовательно, вести обработку глубоко расположенных между высокими щеками шеек и галтелей коленча-

Клубович Владимир Владимирович, д.т.н., проф., академик НАН Беларуси, главный научный сотрудник ИТА НАН Беларуси.
Абрамова А.В., научный сотрудник ГНУ «Институт технической акустики», г. Витебск.