

**ФОРМИРОВАНИЕ НА КОНТАКТНОЙ ПОВЕРХНОСТИ ЦИЛИНДРА  
ДВИГАТЕЛЕЙ ВНУТРЕННЕГО СГОРАНИЯ ТРИБОТЕХНИЧЕСКИХ  
СТРУКТУР УЛЬТРАЗВУКОВЫМ РЕЗАНИЕМ**

**А.Л. Аршакян, Б.С. Баласанян, С.Ш. Христафорян,  
В.Ш. Григорян, Г.А. Егян**

*Национальный политехнический университет Армении*

Рассматриваются теоретические и технологические аспекты разработки технологии, а также необходимого оборудования и ультразвуковой техники, с помощью которых возможно изготовить поверхность трения цилиндра двигателя внутреннего сгорания с повышенными показателями трибологических характеристик, в частности, улучшить условия проникновения в контакт смазывающих веществ без ущерба точностных характеристик и качества поверхностей пары трения. Приведены материалы по разработанной схеме ультразвукового генератора и системы подвода ультразвуковой энергии к преобразователю, установленному на специальной оправке для хонинговального станка.

**Ключевые слова:** ультразвук, лезвийное резание, рельеф поверхности, оправка, хонинговальный станок, преобразователь.

**Введение.** Развитие современной техники требует повышения точности подвижных соединений, что приводит к повышению качества обработанных поверхностей. Высокая точность подвижного соединения достигается при соответствующих допусках на посадку, что является трудно преодолимой задачей, связанной с необходимостью изготовления поверхностей весьма малой шероховатости. Это возможно с применением современных технологий хонингования, суперфиниша и размерной полировки. Однако отмеченные условия, с одной стороны, приводят к снижению возможности обеспечения смазки поверхностей, а с другой - к повышению уровня атомарного взаимодействия поверхностей, способствующего возникновению очагов схватывания и вызывающего катастрофический износ поверхностей, т.е. снижаются долговечность, работоспособность и надежность подвижного соединения, а вместе с этим - всей техники. Получается замкнутый круг. С одной стороны, изготовление подвижного соединения высокого качества обходится дорого и не всегда рентабельно, а с другой - эксплуатация такого соединения в условиях недостаточного обеспечения антифрикционной смазки приводит к снижению долговечности техники и, как следствие, к вынужденному увеличению объемов восстановительных работ и производства современной техники [1].

Различают твердые и жидкие антифрикционные материалы, которые, в свою очередь, выделяются по густоте, высокой и малой вязкости. Современные вязкие смазывающие вещества весьма эффективны, но их надо подвести в подвижное соединение, что не всегда успешно осуществляется ввиду высокой их вязкости. Менее вязкие вещества на поверхности удерживаются трудно, стекают и легко выдавливаются. Следовательно, задача сводится к разработке технологий, обеспечивающих возможность формирования на обработанной поверхности специального триботехнического рельефа без ущерба требованиям по точности соединения, т.е. подвижности посадки. Показателен пример сочленения цилиндра и кольца двигателей внутреннего сгорания (ДВС), приведенный в работе [1]. Там же приведен критический анализ основных известных технологий формирования отмеченных триботехнических структур на высокоточных поверхностях деталей машин.

**Результаты исследования.** Цель исследования - выявление возможностей формирования триботехнических структур на поверхностях, обработанных лезвийным резанием, и сохранения на поверхностях трения, полученных резанием, триботехнических структур после последующих операций шлифования и хонингования; выявление предпосылок для разработки новой технологии формирования триботехнических структур на обработанных поверхностях пары трения.

**1. Теоретические исследования.** Согласно программе, были проведены теоретические исследования и разработана методика экспериментов, в частности, проведен анализ взаимодействия крутильно колеблющегося с ультразвуковой (УЗ) частотой режущего клина и обрабатываемой поверхности при проведении операции растачивания [1] и рассмотрены особенности применения осевых и крутильно-осевых УЗ колебаний (УЗК) в процессе растачивания. Ниже приводятся результаты теоретических исследований, связанных с определением рабочих углов режущего клина при растачивании с применением осевых УЗК.

Рассмотрим рабочие углы режущих клиньев при растачивании с наложением на процесс резания осевых УЗК. Предпосылки и зависимости скоростей вращения и подачи, а также рабочих углов режущего клина те же, что в работе [1].

Скорость колебательных движений равна

$$V^k = A\omega \cos \omega t \text{ [мм/с]} \Rightarrow V^k = 0,06A\omega \cos \omega t \text{ [мм/мин]}, \quad (1)$$

где  $A$  - амплитуда УЗК;  $\omega$  - круговая частота УЗК.

Рассмотрим случай, когда режущий клин с положительным углом наклона лезвия расположен на расстоянии  $h_y$  выше оси вращения детали (рис. 1а).

На основе рис. 1б можно записать

$$\varepsilon_{11} = \arcsin h/\rho = \arcsin (h_y + l \cdot \sin \lambda)/\rho, \quad (2)$$

$$\begin{aligned}
V_{11}^b &= V^b \cdot \cos \varepsilon_{11}, & V_4^b &= V_2^b \cdot \sin \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{11} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda, \\
V_1^b &= V^b \cdot \sin \varepsilon_{11}, & V_5^b &= V_2^b \cdot \cos \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{11} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda, \\
V_2^b &= V_1^b \cdot \sin \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{11} \cdot \sin \varphi, & V_7^b &= V_{11}^b \cdot \sin \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{11} \cdot \sin \lambda, \\
V_3^b &= V_1^b \cdot \cos \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{11} \cdot \cos \varphi, & V_8^b &= V_{11}^b \cdot \cos \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{11} \cdot \cos \lambda;
\end{aligned} \tag{3}$$

$$\begin{aligned}
V_2^S &= V^S \cos \varphi, & V_4^S &= V_2^S \sin \lambda = V^S \cos \varphi \cdot \sin \lambda, \\
V_3^S &= V^S \sin \varphi, & V_5^S &= V_2^S \cos \lambda = V^S \cos \varphi \cdot \cos \lambda.
\end{aligned} \tag{4}$$

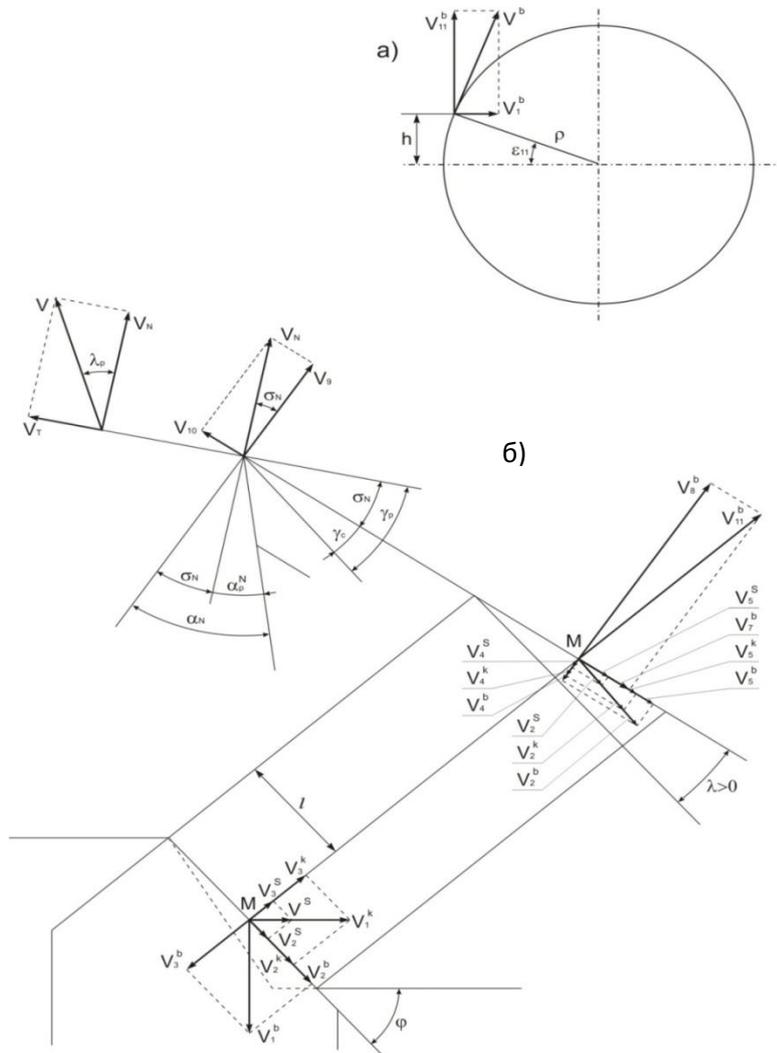


Рис. 1. План скоростей для случая положительного угла наклона лезвия

$$\begin{aligned} V_2^k &= V^k \cos \varphi, & V_4^k &= V_2^k \sin \lambda = V^k \cos \varphi \cdot \sin \lambda, \\ V_3^k &= V^k \sin \varphi, & V_5^k &= V_2^k \cos \lambda = V^k \cos \varphi \cdot \cos \lambda. \end{aligned} \quad (5)$$

В этом случае  $V_9, V_{10}, V_N$  и  $V_T$  будут

$$\begin{aligned} V_9 &= V_8^b - V_4^k - V_4^b - V_4^S, & V_{10} &= V_3^S + V_3^k - V_3^b, \\ V_T &= V_7^b + V_5^k + V_5^S + V_5^b, & V_N &= V_{10} / \sin \sigma_N. \end{aligned} \quad (6)$$

Учитывая (3)-(5), зависимости (6) принимают вид

$$\begin{aligned} V_9 &= V^b \cos \varepsilon_{11} \cos \lambda - V^b \sin \varepsilon_{11} \sin \varphi \sin \lambda - V^S \cos \varphi \sin \lambda - V^k \cos \varphi \sin \lambda = \\ &= 2\pi \rho n \cdot (\cos \varepsilon_{11} \cos \lambda - \sin \varepsilon_{11} \sin \varphi \sin \lambda) - (S n + 0,06 A \omega \cos \omega t) \cos \varphi \sin \lambda, \end{aligned} \quad (7)$$

$$\begin{aligned} V_{10} &= V^S \cdot \sin \varphi + V^k \cdot \sin \varphi - V^b \cdot \sin \varepsilon_{11} \cdot \cos \varphi = \\ &= (S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{11} \cdot \cos \varphi, \end{aligned} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \sigma_N &= \frac{2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot (\cos \varepsilon_{11} \cdot \cos \lambda - \sin \varepsilon_{11} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda)}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{11} \cos \varphi} - \\ &- \frac{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \cos \varphi \cdot \sin \lambda}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{11} \cos \varphi}, \end{aligned} \quad (9)$$

$$V_N = [(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{11} \cos \varphi] / \sin \sigma_n, \quad (10)$$

$$\begin{aligned} V_T &= V^b \cos \varepsilon_{11} \sin \lambda + V^k \cos \varphi \cos \lambda + V^S \cos \varphi \cos \lambda + V^b \sin \varepsilon_{11} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda = \\ &= 2\pi \rho n (\cos \varepsilon_{11} \sin \lambda + \sin \varepsilon_{11} \sin \varphi \cos \lambda) + (S n + 0,06 A \omega \cos \omega t) \cos \varphi \cos \lambda, \end{aligned} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \lambda_p &= \frac{2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot (\cos \varepsilon_{11} \cdot \sin \lambda + \sin \varepsilon_{11} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda) \cdot \sin \sigma_n}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{11} \cdot \cos \varphi} + \\ &+ \frac{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi \cdot \sin \sigma_n}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{11} \cdot \cos \varphi}. \end{aligned} \quad (12)$$

В случае, когда режущий клин с положительным углом наклона лезвия расположен на расстоянии  $h_y$  ниже оси вращения детали, имеем

$$\varepsilon_{12} = \arcsin h / \rho = \arcsin (h_y - l \cdot \sin \lambda) / \rho, \quad (13)$$

$$\begin{aligned} V_{11}^b &= V^b \cdot \cos \varepsilon_{12}, & V_4^b &= V_2^b \cdot \sin \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{12} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda, \\ V_1^b &= V^b \cdot \sin \varepsilon_{12}, & V_5^b &= V_2^b \cdot \cos \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{12} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda, \\ V_2^b &= V_1^b \sin \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{12} \cdot \sin \varphi, & V_7^b &= V_{11}^b \cdot \sin \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{12} \cdot \sin \lambda, \\ V_3^b &= V_1^b \cdot \cos \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{12} \cdot \cos \varphi, & V_8^b &= V_{11}^b \cdot \cos \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{12} \cdot \cos \lambda; \end{aligned} \quad (14)$$

$$\begin{aligned} V_2^S &= V^S \cos \varphi, & V_4^S &= V_2^S \sin \lambda = V^S \cos \varphi \cdot \sin \lambda, \\ V_3^S &= V^S \sin \varphi, & V_5^S &= V_2^S \cos \lambda = V^S \cos \varphi \cdot \cos \lambda, \end{aligned} \quad (15)$$

$$\begin{aligned} V_2^k &= V^k \cos \varphi, & V_4^k &= V_2^k \sin \lambda = V^k \cos \varphi \cdot \sin \lambda, \\ V_3^k &= V^k \sin \varphi, & V_5^k &= V_2^k \cos \lambda = V^k \cos \varphi \cdot \cos \lambda. \end{aligned} \quad (16)$$

В этом случае  $V_9, V_{10}, V_N$  и  $V_T$  будут

$$\begin{aligned} V_9 &= V_8^b - V_4^k + V_4^b - V_4^S, & V_{10} &= V_3^S + V_3^k + V_3^b, \\ V_T &= V_7^b + V_5^k + V_5^S - V_5^b, & V_N &= V_{10} / \sin \sigma_N. \end{aligned} \quad (17)$$

Учитывая (14) - (16), зависимости (17) принимают вид

$$\begin{aligned} V_9 &= V^b \cos \varepsilon_{12} \cos \lambda + V^b \sin \varepsilon_{12} \sin \varphi \sin \lambda - V^S \cos \varphi \sin \lambda - V^k \cos \varphi \sin \lambda = \\ &= 2\pi \rho n (\cos \varepsilon_{12} \cos \lambda + \sin \varepsilon_{12} \sin \varphi \sin \lambda) - (S \cdot n + 0,06 A \omega \cos \omega t) \cos \varphi \sin \lambda, \end{aligned} \quad (18)$$

$$\begin{aligned} V_{10} &= V^S \cdot \sin \varphi + V^k \cdot \sin \varphi + V^b \cdot \sin \varepsilon_{12} \cdot \cos \varphi = \\ &= (S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{12} \cdot \cos \varphi, \end{aligned} \quad (19)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \sigma_N &= \frac{2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot (\cos \varepsilon_{12} \cdot \cos \lambda + \sin \varepsilon_{12} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda)}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{12} \cos \varphi} - \\ &- \frac{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \cos \varphi \cdot \sin \lambda}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{12} \cos \varphi}, \end{aligned} \quad (20)$$

$$V_N = [(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{12} \cos \varphi] / \sin \sigma_N, \quad (21)$$

$$\begin{aligned} V_T &= V^b \cos \varepsilon_{12} \sin \lambda + V^k \cos \varphi \cos \lambda + V^S \cos \varphi \cos \lambda - V^b \cdot \sin \varepsilon_{12} \sin \varphi \cos \lambda = \\ &= 2\pi \rho n (\cos \varepsilon_{12} \sin \lambda - \sin \varepsilon_{12} \sin \varphi \cos \lambda) + (S n + 0,06 A \omega \cos \omega t) \cos \varphi \cos \lambda. \end{aligned} \quad (22)$$

Основываясь на (21) и (22), получим

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \lambda_p &= \frac{2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot (\cos \varepsilon_{12} \cdot \sin \lambda - \sin \varepsilon_{12} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda) \cdot \sin \sigma_N}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{12} \cdot \cos \varphi} + \\ &+ \frac{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi \cdot \sin \sigma_N}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{12} \cdot \cos \varphi}. \end{aligned} \quad (23)$$

Рассмотрим случай, когда режущий клин с отрицательным углом наклона лезвия расположен на расстоянии  $h_y$  выше оси вращения детали (рис. 2а).

На основе рис. 2б можно записать

$$\begin{aligned} \varepsilon_{21} &= \arcsin h / \rho = \arcsin (h_y - l \cdot \sin \lambda) / \rho, \\ V_{11}^b &= V^b \cdot \cos \varepsilon_{21}, & V_4^b &= V_2^b \cdot \sin \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda, \\ V_1^b &= V^b \cdot \sin \varepsilon_{21}, & V_5^b &= V_2^b \cdot \cos \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda, \\ V_2^b &= V_1^b \sin \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \sin \varphi, & V_7^b &= V_{11}^b \cdot \sin \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{21} \cdot \sin \lambda, \\ V_3^b &= V_1^b \cdot \cos \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \cos \varphi, & V_8^b &= V_{11}^b \cdot \cos \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{21} \cdot \cos \lambda; \end{aligned} \quad (24)$$

$$\begin{aligned} V_2^S &= V^S \cos\varphi, & V_4^S &= V_2^S \sin\lambda = V^S \cos\varphi \cdot \sin\lambda, \\ V_3^S &= V^S \sin\varphi, & V_5^S &= V_2^S \cos\lambda = V^S \cos\varphi \cdot \cos\lambda; \end{aligned} \quad (26)$$

$$\begin{aligned} V_2^k &= V^k \cos\varphi, & V_4^k &= V_2^k \sin\lambda = V^k \cos\varphi \cdot \sin\lambda, \\ V_3^k &= V^k \sin\varphi, & V_5^k &= V_2^k \cos\lambda = V^k \cos\varphi \cdot \cos\lambda. \end{aligned} \quad (27)$$

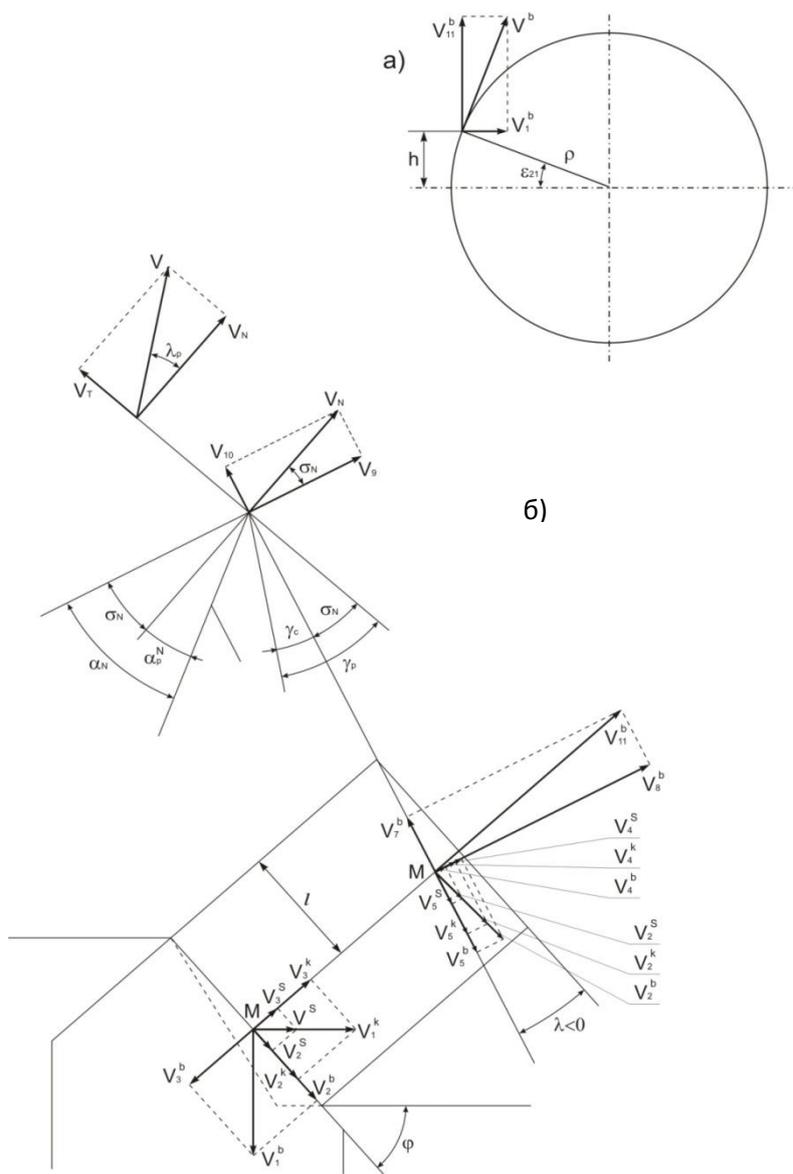


Рис. 2. План скоростей для случая отрицательного угла наклона лезвия

В этом случае  $V_9, V_{10}, V_N$  и  $V_T$  будут

$$\begin{aligned} V_9 &= V_8^b + V_4^k + V_4^b + V_4^S, & V_{10} &= V_3^S + V_3^k - V_3^b, \\ V_T &= V_5^S + V_5^k + V_5^b - V_7^b, & V_N &= V_{10} / \sin \sigma_N. \end{aligned} \quad (28)$$

Учитывая (25)-(27), зависимости (28) принимают вид

$$\begin{aligned} V_9 &= V^b \cos \varepsilon_{21} \cdot \cos \lambda + V^b \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda + V^S \cos \varphi \sin \lambda + V^k \cos \varphi \cdot \sin \lambda = \\ &= 2\pi \rho n (\cos \varepsilon_{21} \cos \lambda + \sin \varepsilon_{21} \sin \varphi \sin \lambda) + (S n + 0,06 A \omega \cos \omega t) \cos \varphi \sin \lambda, \end{aligned} \quad (29)$$

$$\begin{aligned} V_{10} &= V^S \cdot \sin \varphi + V^k \cdot \sin \varphi - V^b \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \cos \varphi = \\ &= (S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \cos \varphi, \end{aligned} \quad (30)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \sigma_N &= \frac{2\pi \cdot \rho \cdot n (\cos \varepsilon_{21} \cdot \cos \lambda + \sin \varepsilon_{21} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda)}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \cos \varphi} + \\ &+ \frac{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi \cdot \sin \lambda}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{21} \cos \varphi}, \end{aligned} \quad (31)$$

$$V_N = [(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{21} \cos \varphi] / \sin \sigma_N, \quad (32)$$

$$\begin{aligned} V_T &= V^b \sin \varepsilon_{21} \sin \varphi \cos \lambda + V^k \cos \varphi \cos \lambda + V^S \cos \varphi \cos \lambda - V^b \cos \varepsilon_{21} \sin \lambda = \\ &= 2\pi \rho n (\sin \varepsilon_{21} \sin \varphi \cos \lambda - \cos \varepsilon_{21} \sin \lambda) + (S n + 0,06 A \omega \cos \omega t) \cos \varphi \cos \lambda. \end{aligned} \quad (33)$$

Основываясь на (32) и (33), получим

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \lambda_p &= \frac{2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot (\sin \varepsilon_{21} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda - \cos \varepsilon_{21} \cdot \sin \lambda) \cdot \sin \sigma_N}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \cos \varphi} + \\ &+ \frac{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi \cdot \sin \sigma_N}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \cos \varphi}. \end{aligned} \quad (34)$$

Рассмотрим случай, когда режущий клин с отрицательным углом наклона лезвия расположен на расстоянии  $h_y$  ниже оси вращения детали,

$$\varepsilon_{22} = \arcsin h / \rho = \arcsin (h_y + l \cdot \sin \lambda) / \rho, \quad (35)$$

$$\begin{aligned} V_{11}^b &= V^b \cdot \cos \varepsilon_{22}, & V_4^b &= V_2^b \cdot \sin \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda, \\ V_1^b &= V^b \cdot \sin \varepsilon_{22}, & V_5^b &= V_2^b \cdot \cos \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda, \\ V_2^b &= V_1^b \sin \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \sin \varphi, & V_7^b &= V_{11}^b \cdot \sin \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{22} \cdot \sin \lambda, \\ V_3^b &= V_1^b \cdot \cos \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \cos \varphi, & V_8^b &= V_{11}^b \cdot \cos \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{22} \cdot \cos \lambda, \end{aligned} \quad (36)$$

$$\begin{aligned} V_2^S &= V^S \cos\varphi, & V_4^S &= V_2^S \sin\lambda = V^S \cos\varphi \cdot \sin\lambda, \\ V_3^S &= V^S \sin\varphi, & V_5^S &= V_2^S \cos\lambda = V^S \cos\varphi \cdot \cos\lambda, \end{aligned} \quad (37)$$

$$\begin{aligned} V_2^k &= V^k \cos\varphi, & V_4^k &= V_2^k \sin\lambda = V^k \cos\varphi \cdot \sin\lambda, \\ V_3^k &= V^k \sin\varphi, & V_5^k &= V_2^k \cos\lambda = V^k \cos\varphi \cdot \cos\lambda. \end{aligned} \quad (38)$$

В этом случае  $V_9, V_{10}, V_N$  и  $V_T$  будут

$$\begin{aligned} V_9 &= V_8^b + V_4^k - V_4^b + V_4^S, & V_{10} &= V_3^S + V_3^k + V_3^b, \\ V_T &= V_7^b - V_5^S + -V_5^k + V_5^b, & V_N &= V_{10} / \sin\sigma_N. \end{aligned} \quad (39)$$

Учитывая (36) - (38), зависимости (39) принимают вид

$$\begin{aligned} V_9 &= V^b \cos\varepsilon_{22} \cos\lambda - V^b \sin\varepsilon_{22} \sin\varphi \sin\lambda + V^S \cdot \cos\varphi \cdot \sin\lambda + V^k \cos\varphi \cdot \sin\lambda = \\ &= 2\pi\rho n (\cos\varepsilon_{22} \cos\lambda - \sin\varepsilon_{22} \sin\varphi \sin\lambda) + (Sn + 0,06A\omega \cos\omega t) \cos\varphi \sin\lambda, \end{aligned} \quad (40)$$

$$\begin{aligned} V_{10} &= V^S \cdot \sin\varphi + V^k \cdot \sin\varphi + V^b \cdot \sin\varepsilon_{22} \cdot \cos\varphi = \\ &= (S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos\omega t) \sin\varphi + 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin\varepsilon_{22} \cdot \cos\varphi, \end{aligned} \quad (41)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg}\sigma_N &= \frac{2\pi \cdot \rho \cdot n (\cos\varepsilon_{22} \cdot \cos\lambda - \sin\varepsilon_{22} \cdot \sin\varphi \cdot \sin\lambda)}{(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos\omega t) \sin\varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin\varepsilon_{22} \cdot \cos\varphi} + \\ &+ \frac{(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos\omega t) \sin\varphi \cdot \sin\lambda}{(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos\omega t) \sin\varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin\varepsilon_{22} \cos\varphi}, \end{aligned} \quad (42)$$

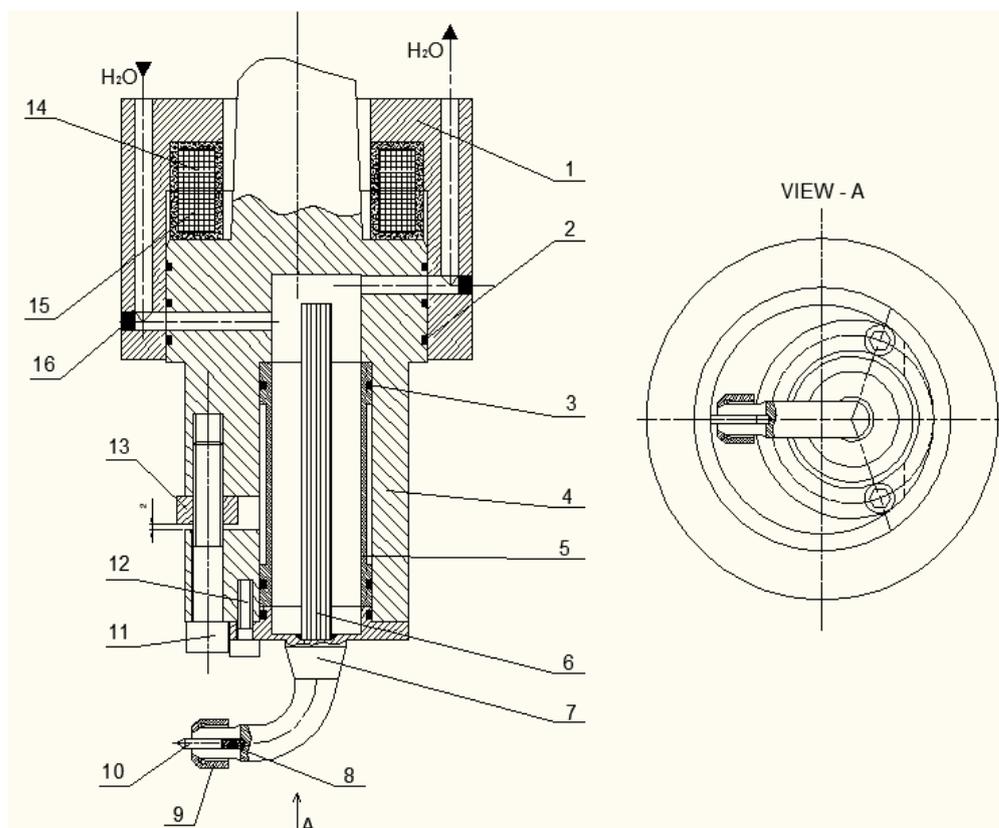
$$V_N = [(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos\omega t) \sin\varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin\varepsilon_{22} \cos\varphi] / \sin\sigma_n, \quad (43)$$

$$\begin{aligned} V_T &= V^b \sin\varepsilon_{22} \sin\varphi \cos\lambda - V^k \cos\varphi \cos\lambda - V^S \cos\varphi \cos\lambda + V^b \cos\varepsilon_{22} \sin\lambda = \\ &= 2\pi\rho n (\sin\varepsilon_{22} \sin\varphi \cos\lambda + \cos\varepsilon_{22} \sin\lambda) - (Sn + 0,06A\omega \cos\omega t) \cos\varphi \cos\lambda. \end{aligned} \quad (44)$$

Учитывая (43) - (44), получим

$$\begin{aligned} \operatorname{tg}\lambda_p &= \frac{2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot (\sin\varepsilon_{22} \cdot \sin\varphi \cdot \cos\lambda + \cos\varepsilon_{22} \cdot \sin\lambda) \cdot \sin\sigma_n}{(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos\omega t) \sin\varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin\varepsilon_{22} \cdot \cos\varphi} + \\ &+ \frac{(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos\omega t) \cdot \cos\lambda \cdot \cos\varphi \cdot \sin\sigma_n}{(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos\omega t) \sin\varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin\varepsilon_{22} \cdot \cos\varphi} \end{aligned} \quad (45)$$

**2. Разработка промышленного оборудования.** Полученные на основе теоретических исследований результаты подтвердили целесообразность осуществления разработанной технологии по формированию триботехнических структур на хонингованных поверхностях цилиндров ДВС [1]. На рис. 3-5 приведены конструкции УЗ головок (рис. 3, 5) для хонинговального станка фирмы HELLA и принципиальная схема УЗ генератора (рис. 4).



*Рис. 3. УЗ головка на базе магнестрикционного преобразователя: 1- корпус; 2- подшипники скольжения; 3 - уплотнители; 4- вращающийся корпус; 5 - корпус магнестрикционного преобразователя; 6 - магнестрикционный преобразователь; 7- концентратор; 8 – волновод; 9 – накидная гайка; 10 – резец; 11- болт; 12- винт; 13 – гайка; 14 – неподвижная катушка; 15 - подвижная катушка; 16 – пробка*

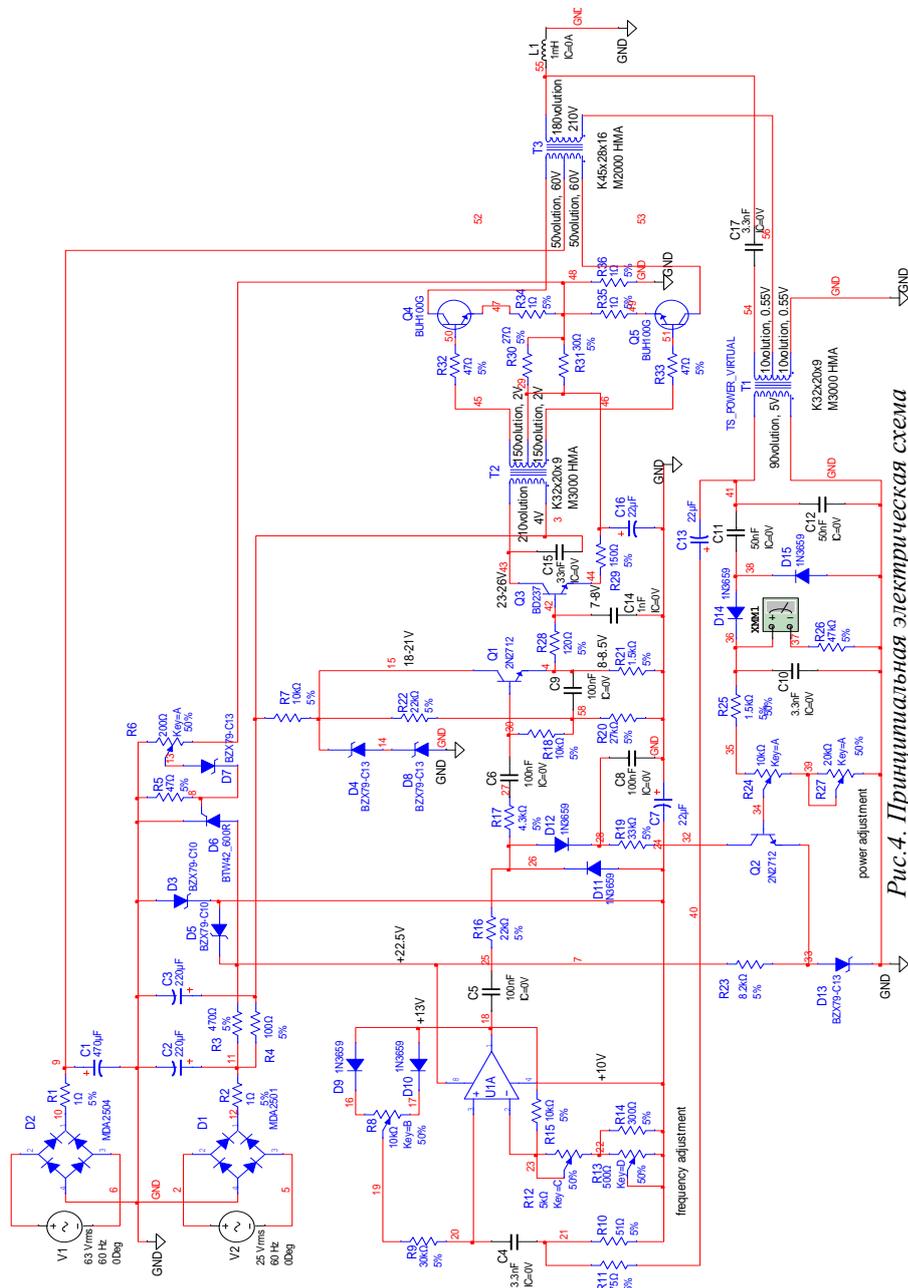


Рис.4. Принципиальная электрическая схема промышленного ультразвукового генератора

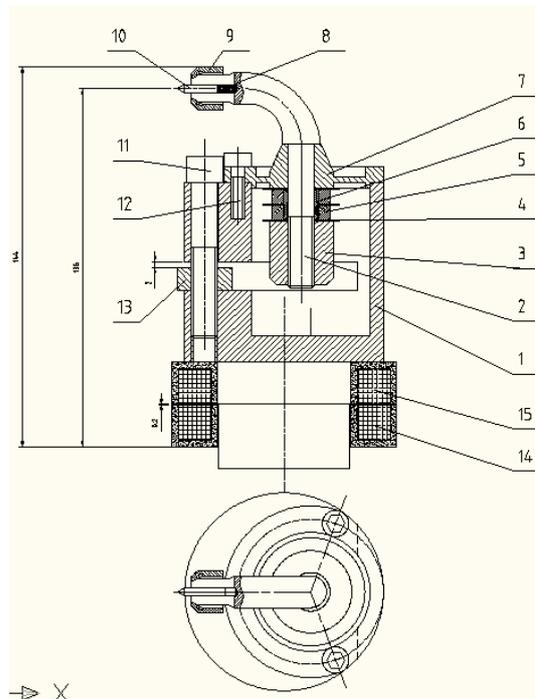


Рис. 5. УЗ головка на базе пьезокерамического преобразователя: 1 – вращающийся корпус; 2 – волновод; 3 – масса; 4, 5, 6 – пьезокерамический преобразователь; 7 – концентратор; 8, 9, 10 – крепеж резца; 11, 12, 13 – система установки глубины резания; 14, 15 – катушки подвода УЗ энергии

относительно оси вращения детали ниже оси вращения, при прочих равных условиях, предпочтительнее установки его выше или на оси вращения;

- при осевых УЗК влияние вибраций на изменение рабочих углов режущего клина проявляется более просто, чем при наложении крутильных УЗК;

- при переходе от крутильных УЗК к осевым проблема затирания задней грани с обработанной поверхностью не изменяется;

- ультразвуковое оборудование изготовлено и прошло промышленную реализацию.

**Выводы.** На основе проведенных выше расчетов и расчетов в работе [1], показывающих кинематические особенности процесса растачивания с наложением на режущий клин УЗК, можно сделать следующие выводы:

- в отличие от крутильных УЗК резца при осевых колебаниях его вектор колебательных движений всегда параллелен оси обрабатываемой поверхности, при этом, в отличие от приведенных в [1] изменений коэффициентов трения, в этом случае отсутствует переменная прижимающая сила, и изменению подвергаются лишь две составляющие коэффициента трения;

- для режущего клина и при положительном, и при отрицательном углах наклона лезвия клина  $\lambda$  (как видно из сравнения зависимостей (9), (20), (31), (42)) с позиций увеличения угла  $\sigma_N$  установка режущего клина

## Լիտերատուրա

1. **Христафорян С.Ш., Христафорян Э.С., Аршакян А.Л.** Специальные технологии формирования трибологических структур на поверхностях трения // Вестник ГИУА. Серия “Механика, Машиноведение, Машиностроение”. - 2014. - Вып. 17, № 1. – С. 62-76.

*Поступила в редакцию 09.02.2015.  
Принята к опубликованию 26.05.2015.*

## ՆԵՐՔԻՆ ԱՅՐՄԱՆ ՇԱՐԺԻՉԻ ԳԼԱՆՆԵՐԻ ԿՈՆՏԱԿՏԱՅԻՆ ՄԱԿԵՐԵՎՈՒՅԹՆԵՐԻ ՎՐԱ ՇՓԱՏԵՆՆԻԿԱԿԱՆ ԿԱՌՈՒՑՎԱԾՔՆԵՐԻ ՁԵՎԱՎՈՐՈՒՄԸ ԳԵՐՁԱՅՆԱՅԻՆ ԿՏՐՄԱՄԲ

**Ա.Լ. Արշակյան, Բ.Ս. Բալասանյան, Ս.Շ. Խրիստաֆորյան, Վ.Շ. Գրիգորյան, Գ.Ա. Եղյան**

Դիտարկվում են տեխնոլոգիայի, ինչպես նաև անհրաժեշտ սարքավորման և գերծայնային տեխնիկայի նախագծման տեսական և տեխնոլոգիական ասպեկտները, որոնք թույլատրում են պատրաստել ներքին այրման շարժիչի գլանների շփման մակերևույթներ՝ շփատեխնիկական ցուցանիշների բարձրացված բնութագրերով, մասնավորապես, քսուքային նյութերի՝ կոնտակտի գոտի ներթափանցման պայմանների լավացման հնարավորությամբ՝ առանց շփման զույգի մակերևույթների ճշտության ցուցանիշների և որակի նվազման: Ներկայացված են գերծայնային գեներատորի սխեմայի նախագծման նյութերը և հոնինգման հաստոցի վրա հատուկ կալակի վրա տեղադրված կերպափոխիչին գերծայնային էներգիայի մատուցման համակարգը:

**Առանցքային բառեր.** գերծայն, սայրային կտրում, շրջագլում, մակերևույթի ռեյլեֆ, կալակ, հոնինգման հաստոց, կերպափոխիչ:

## FORMATION OF TRIBOTECHNICAL STRUCTURES ON THE CONTACT SURFACE OF THE INTERNAL COMBUSTION ENGINE (ICE) CYLINDER BY ULTRASONIC CUTTING

**A.L Arshakyan, B.S. Balasanyan, S.Sh. Khristaforyan, V.Sh. Grigoryan, G.A. Yeghyan**

The theoretical and technological aspects of technology development, as well as the necessary equipment and ultrasonic devices allowing to produce a friction surface of the internal combustion engine (ICE) cylinder with improved indices of frictional characteristics, particularly, to improve the conditions of penetration of lubricants into the contact without deteriorating the accuracy characteristics and the surface quality of the friction pair. Materials in the developed scheme of the ultrasonic generator and the system for supplying ultrasonic energy to the transformer mounted on a special mandrel for honing machine are introduced.

**Keywords:** ultrasound, shaped edge cutting, surface generation, surface geometry, mandrel, honing machine, transformer.