

УДК 621.9: 658.5

Э.С. Христафорян, д-р техн. наук, проф., А.Л. Аршакян,  
 Б.С. Баласанян, д-р техн. наук, проф., С.Ш. Христафорян, д-р техн. наук, проф.  
 ГИУА, г. Ереван, РА

## РАБОЧИЕ УГЛЫ РЕЖУЩЕГО КЛИНА ПРИ РАСТАЧИВАНИИ С ПРИМЕНЕНИЕМ НАПРАВЛЕННЫХ ПО ОСИ ИНСТРУМЕНТА УЗК

В работе рассматриваются рабочие углы режущего клина при растачивании с применением направленных по оси инструмента УЗК. Показано, что принудительные ультразвуковые колебания режущего клина, а также его расположение по отношению к оси заготовки и вибрации различной природы значительно влияют на производительность углов резания клина. Приведены зависимости, учитывающие эти изменения.

**Ключевые слова:** углы, режущий клин, колебания, режимы резания.

Способа резания с принудительными ультразвуковыми колебаниями (УЗК) в различных технологических процессах доказала высокую, проявляющуюся в различных формах, эффективность. Однако, в отличии от точения, этот способ при растачивании, практически, не рассмотрен. Более того, способ широко применяется при нарезании внутренней резьбы, развертывании отверстий, сверлении и др. процессах, в первую очередь, при обработке труднообрабатываемых материалов. Кроме констатации высокой эффективности применения УЗК в этих процессах обработки нужно провести и соответствующие теоретические исследования, которые помогут в деле поиска решений для оптимизации указанных технологических процессов резания. Рассмотрим на примере растачивания кинематические особенности влияние УЗК, направленных по оси резца и высокочастотных вибраций режущего клина на его рабочие углы.

Допустим режущий клин, имеющий углы  $\gamma_c, \alpha_c, \lambda > 0$  установлен выше оси растачиваемого отверстия на величину  $h_y$ , т.е. ось крутильных колебаний  $O_1$  выше оси детали  $O$  на величину  $e_z, e_y$  (рис.1а), ввиду чего передний и задние углы режущего клина будут отличаться от углов его заточки. Используя принципы ортогонального проектирования [1,2] и определим  $\sigma_N$  - угол кооректировки. Заметим, что  $\sigma_N$  не постоянная величина, т. к. истинная величина вектора  $\bar{V}$  состоит из трех составляющих:

$$- \text{ вектор скорости главного вращательного движения} \quad \bar{V}^b = 2\pi r \omega \text{ [мм/мин]} \quad (1)$$

$$- \text{ вектор скорости подачи режущего клина} \quad \bar{V}^s = nS \text{ [мм/мин]} \quad (2)$$

$$- \text{ вектор скорости УЗК и режущего клина} \quad V^k = 0,06A\omega \cos \omega t \text{ [мм/мин]} \quad (3)$$

где  $R$  - радиус-вектор обрабатываемой поверхности [мм],  $n$  - число оборотов детали [об/мин],  $S$  - подача режущего клина,  $R_k$  - радиус-вектор колебательного движения,  $A$  - амплитуда УЗК режущего клина [рад],  $\omega$  - круговая частота УЗК [ $c^{-1}$ ],

Для облегчения восприятия и представления в планах скоростей не представлены линии построений и не учтены реальные масштабы проекций скоростей. На основе рис. 1б и зависимостей (1-3) угол отклонения точки контакта от плоскости  $XY$  будет

$$\varepsilon_{11} = \arcsin h/\rho = \arcsin (h_y + l \cdot \sin \lambda)/\rho \quad (4)$$

$$\left. \begin{aligned}
 V_{11}^b &= V^b \cdot \cos \varepsilon_{11} \\
 V_1^b &= V^b \cdot \sin \varepsilon_{11} \\
 V_2^b &= V_1^b \cdot \sin \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{11} \cdot \sin \varphi \\
 V_3^b &= V_1^b \cdot \cos \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{11} \cdot \cos \varphi \\
 V_4^b &= V_2^b \cdot \sin \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{11} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda \\
 V_5^b &= V_2^b \cdot \cos \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{11} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda \\
 V_7^b &= V_{11}^b \cdot \sin \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{11} \cdot \sin \lambda \\
 V_8^b &= V_{11}^b \cdot \cos \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{11} \cdot \cos \lambda
 \end{aligned} \right\} \quad (5)$$

$$\left. \begin{aligned} V_2^S &= V^S \cos \varphi \\ V_3^S &= V^S \sin \varphi \\ V_4^S &= V_2^S \sin \lambda = V^S \cos \varphi \cdot \sin \lambda \\ V_5^S &= V_2^S \cos \lambda = V^S \cos \varphi \cdot \cos \lambda \end{aligned} \right\} \quad (6)$$

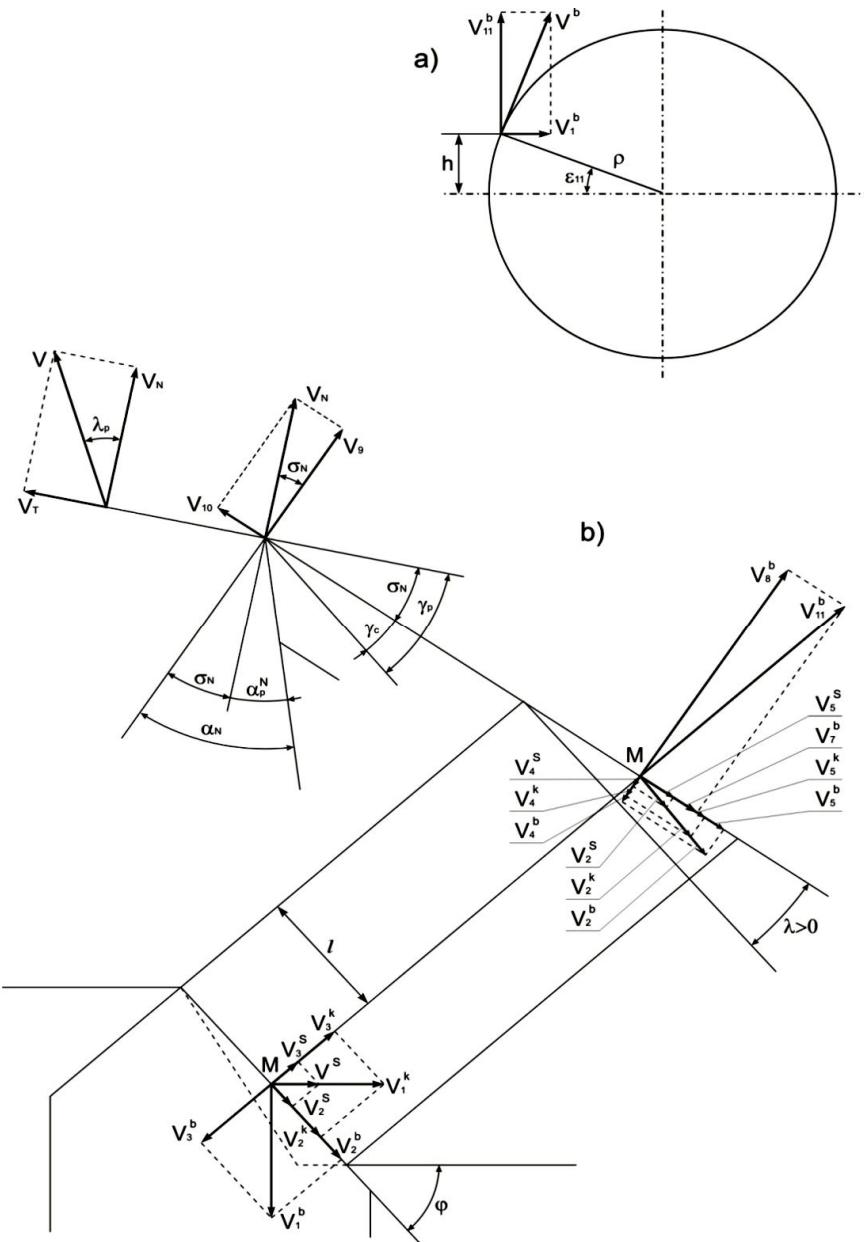


Рис. 1. План скоростей

$$\left. \begin{array}{l} V_2^k = V^k \cos \varphi \\ V_3^k = V^k \sin \varphi \\ V_4^k = V_2^k \sin \lambda = V^k \cos \varphi \cdot \sin \lambda \\ V_5^k = V_2^k \cos \lambda = V^k \cos \varphi \cdot \cos \lambda \end{array} \right\} \quad (7)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_9 = V_8^b - V_4^k - V_4^b - V_4^S \\ V_T = V_7^b + V_5^k + V_5^S + V_5^b \\ V_{10} = V_3^S + V_3^k - V_3^b \\ V_N = V_{10} / \sin \sigma_N \end{array} \right\} \quad (8)$$

В этом случае  $V_9, V_{10}, V_N$  и  $V_T$  будут (8)

Учитывая зависимости (6-7) зависимости (8) представляются как

$$\begin{aligned} V_9 &= V^b \cos \varepsilon_{11} \cdot \cos \lambda - V^b \sin \varepsilon_{11} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda - V^S \cos \varphi \cdot \sin \lambda - V^k \cos \varphi \cdot \sin \lambda = \\ &= 2\pi \rho n (\cos \varepsilon_{11} \cos \lambda - \sin \varepsilon_{11} \sin \varphi \sin \lambda) - (S \cdot n + 0,06A\omega \cos \omega t) \cos \varphi \cdot \sin \lambda \end{aligned} \quad (9)$$

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

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

$$V_N = [(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{11} \cos \varphi] / \sin \sigma_n \quad (12)$$

$$\begin{aligned} V_T &= V^b \cdot \cos \varepsilon_{11} \sin \lambda + V^k \cdot \cos \varphi \cos \lambda + \\ &+ V^S \cdot \cos \varphi \cos \lambda + V^b \cdot \sin \varepsilon_{11} \sin \varphi \cdot \cos \lambda = 2\pi \rho n (\cos \varepsilon_{11} \sin \lambda + \sin \varepsilon_{11} \sin \varphi \cos \lambda) + \\ &+ (S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos \omega t) \cos \varphi \cos \lambda \end{aligned} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \lambda_p &= \frac{2\pi \cdot \rho \cdot n (\cos \varepsilon_{11} \cdot \sin \lambda + \sin \varepsilon_{11} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda) \cdot \sin \sigma_n}{(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{11} \cdot \cos \varphi} + \\ &+ \frac{(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos \omega t) \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi \cdot \sin \sigma_n}{(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{11} \cdot \cos \varphi} \end{aligned} \quad (14)$$

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

$$\varepsilon_{12} = \arcsin h / \rho = \arcsin (h_y - l \cdot \sin \lambda) / \rho \quad (15)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{11}^b = V^b \cdot \cos \varepsilon_{12} \\ V_1^b = V^b \cdot \sin \varepsilon_{12} \\ V_2^b = V_1^b \sin \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{12} \cdot \sin \varphi \\ V_3^b = V_1^b \cdot \cos \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{12} \cdot \cos \varphi \\ V_4^b = V_2^b \cdot \sin \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{12} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda \\ V_5^b = V_2^b \cdot \cos \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{12} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda \\ V_7^b = V_{11}^b \cdot \sin \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{12} \cdot \sin \lambda \\ V_8^b = V_{11}^b \cdot \cos \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{12} \cdot \cos \lambda \end{array} \right\} \quad (16)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_2^S = V^S \cos \varphi \\ V_3^S = V^S \sin \varphi \\ V_4^S = V_2^S \sin \lambda = V^S \cos \varphi \cdot \sin \lambda \\ V_5^S = V_2^S \cos \lambda = V^S \cos \varphi \cdot \cos \lambda \end{array} \right\} \quad (17)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_2^k = V^k \cos \varphi \\ V_3^k = V^k \sin \varphi \\ V_4^k = V_2^k \sin \lambda = V^k \cos \varphi \cdot \sin \lambda \\ V_5^k = V_2^k \cos \lambda = V^k \cos \varphi \cdot \cos \lambda \end{array} \right\} \quad (18)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_9 = V_8^b - V_4^k + V_4^b - V_4^S \\ V_T = V_7^b + V_5^k + V_5^S - V_5^b \\ V_{10} = V_3^S + V_3^k + V_3^b \\ V_N = V_{10} / \sin \sigma_N \end{array} \right\} \quad (19)$$

В этом случае  $V_9, V_{10}, V_N$  и  $V_T$  будут (19). Учитывая (16-18) зависимости (19) будут

$$V_9 = V^b \cos \varepsilon_{12} \cdot \cos \lambda + V^b \cdot \sin \varepsilon_{12} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda - V^S \cdot \cos \varphi \cdot \sin \lambda - V^k \cos \varphi \cdot \sin \lambda =$$

$$= 2\pi \rho n (\cos \varepsilon_{12} \cos \lambda + \sin \varepsilon_{12} \sin \varphi \sin \lambda) - (S \cdot n + 0,06 A \omega \cos \omega t) \cos \varphi \cdot \sin \lambda \quad (20)$$

$$V_{10} = V^S \sin \varphi + V^k \sin \varphi + V^b \sin \varepsilon_{12} \cos \varphi =$$

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

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

$$- \frac{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \cos \varphi \cdot \sin \lambda}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{12} \cos \varphi} \quad (22)$$

$$V_N = [(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{12} \cos \varphi] / \sin \sigma_n \quad (23)$$

$$V_T = V^b \cos \varepsilon_{12} \sin \lambda + V^k \cos \varphi \cos \lambda + V^S \cos \varphi \cos \lambda - V^b \sin \varepsilon_{12} \sin \varphi \cos \lambda =$$

$$= 2\pi \rho n (\cos \varepsilon_{12} \sin \lambda - \sin \varepsilon_{12} \sin \varphi \cos \lambda) + (S \cdot n + 0,06 A \omega \cos \omega t) \cos \varphi \cos \lambda \quad (24)$$

Основываясь на (23) и (24) получим

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

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

$$+ \frac{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi \cdot \sin \sigma_n}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{12} \cdot \cos \varphi} \quad (25)$$

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

$$\varepsilon_{21} = \arcsin h / \rho = \arcsin (h_y - l \cdot \sin \lambda) / \rho \quad (26)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{11}^b = V^b \cdot \cos \varepsilon_{21} \\ V_1^b = V^b \cdot \sin \varepsilon_{21} \\ V_2^b = V_1^b \sin \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \sin \varphi \\ V_3^b = V_1^b \cos \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \cos \varphi \\ V_4^b = V_2^b \sin \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda \\ V_5^b = V_2^b \cos \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda \\ V_7^b = V_{11}^b \sin \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{21} \cdot \sin \lambda \\ V_8^b = V_{11}^b \cos \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{21} \cdot \cos \lambda \end{array} \right\} \quad (27)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_2^S = V^S \cos \varphi \\ V_3^S = V^S \sin \varphi \\ V_4^S = V_2^S \sin \lambda = V^S \cos \varphi \cdot \sin \lambda \\ V_5^S = V_2^S \cos \lambda = V^S \cos \varphi \cdot \cos \lambda \end{array} \right\} \quad (28)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_2^k = V^k \cos \varphi \\ V_3^k = V^k \sin \varphi \\ V_4^k = V_2^k \sin \lambda = V^k \cos \varphi \cdot \sin \lambda \\ V_5^k = V_2^k \cos \lambda = V^k \cos \varphi \cdot \cos \lambda \end{array} \right\} \quad (29)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_9 = V_8^b + V_4^k + V_4^b + V_4^S \\ V_T = V_5^S + V_5^k + V_5^b - V_7^b \\ V_{10} = V_3^S + V_3^k - V_3^b \\ V_N = V_{10} / \sin \sigma_N \end{array} \right\} \quad (30)$$

При этом  $V_9, V_{10}, V_N$  и  $V_T$  будут (30), которые Учитывая (27-29) предстанут как

$$V_9 = V^b \cdot \cos \varepsilon_{21} \cos \lambda + V^b \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda + V^S \cdot \cos \varphi \cdot \sin \lambda + V^k \cos \varphi \cdot \sin \lambda =$$

$$= 2\pi \rho n (\cos \varepsilon_{21} \cos \lambda + \sin \varepsilon_{21} \sin \varphi \sin \lambda) + (S \cdot n + 0,06 A \omega \cos \omega t) \cos \varphi \sin \lambda \quad (31)$$

$$\begin{aligned} V_{10} &= V^S \sin \varphi + V^k \sin \varphi - V^b \sin \varepsilon_{21} \cos \varphi = \\ &= (S \cdot n + 0,06 A \omega \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \rho n \sin \varepsilon_{21} \cos \varphi \end{aligned} \quad (32)$$

$$\begin{aligned} \operatorname{ctg} \sigma_N &= \frac{2\pi \cdot \rho \cdot n (\cos \varepsilon_{21} \cdot \cos \lambda + \sin \varepsilon_{21} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda)}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \cos \varphi} + \\ &+ \frac{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi \cdot \sin \lambda}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{21} \cos \varphi} \end{aligned} \quad (33)$$

$$V_N = [(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{21} \cos \varphi] / \sin \sigma_n \quad (34)$$

$$\begin{aligned} V_T &= V^b \sin \varepsilon_{21} \sin \varphi \cos \lambda + V^k \cos \varphi \cdot \cos \lambda + V^S \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda - V^b \cdot \cos \varepsilon_{21} \cdot \sin \lambda = \\ &= 2\pi \rho n (\sin \varepsilon_{21} \sin \varphi \cos \lambda - \cos \varepsilon_{21} \sin \lambda) + (S \cdot n + 0,06 A \omega \cos \omega t) \cos \varphi \cos \lambda \end{aligned} \quad (35)$$

Основываясь на (34) и (35) получим

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \lambda_p &= \frac{2\pi \cdot \rho \cdot n (\sin \varepsilon_{21} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda - \cos \varepsilon_{21} \cdot \sin \lambda) \cdot \sin \sigma_n}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \cos \varphi} + \\ &+ \frac{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi \cdot \sin \sigma_n}{(S \cdot n + 0,06 A \omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi - 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{21} \cdot \cos \varphi} \end{aligned} \quad (36)$$

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

$$\varepsilon_{22} = \arcsin h / \rho = \arcsin (h_y + l \cdot \sin \lambda) / \rho \quad (37)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_{11}^b = V^b \cdot \cos \varepsilon_{22} \\ V_1^b = V^b \cdot \sin \varepsilon_{22} \\ V_2^b = V_1^b \sin \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \sin \varphi \\ V_3^b = V_1^b \cdot \cos \varphi = V^b \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \cos \varphi \\ V_4^b = V_2^b \cdot \sin \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda \\ V_5^b = V_2^b \cdot \cos \lambda = V^b \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda \\ V_7^b = V_{11}^b \cdot \sin \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{22} \cdot \sin \lambda \\ V_8^b = V_{11}^b \cdot \cos \lambda = V^b \cdot \cos \varepsilon_{22} \cdot \cos \lambda \end{array} \right\} \quad (38)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_2^S = V^S \cos \varphi \\ V_3^S = V^S \sin \varphi \\ V_4^S = V_2^S \sin \lambda = V^S \cos \varphi \cdot \sin \lambda \\ V_5^S = V_2^S \cos \lambda = V^S \cos \varphi \cdot \cos \lambda \end{array} \right\} \quad (39)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_2^k = V^k \cos \varphi \\ V_3^k = V^k \sin \varphi \\ V_4^k = V_2^k \sin \lambda = V^k \cos \varphi \cdot \sin \lambda \\ V_5^k = V_2^k \cos \lambda = V^k \cos \varphi \cdot \cos \lambda \end{array} \right\} \quad (40)$$

$$\left. \begin{array}{l} V_9 = V_8^b + V_4^k - V_4^b + V_4^S \\ V_T = V_7^b - V_5^S + -V_5^k + V_5^b \\ V_{10} = V_3^S + V_3^k + V_3^b \\ V_N = V_{10} / \sin \sigma_N \end{array} \right\} \quad (41)$$

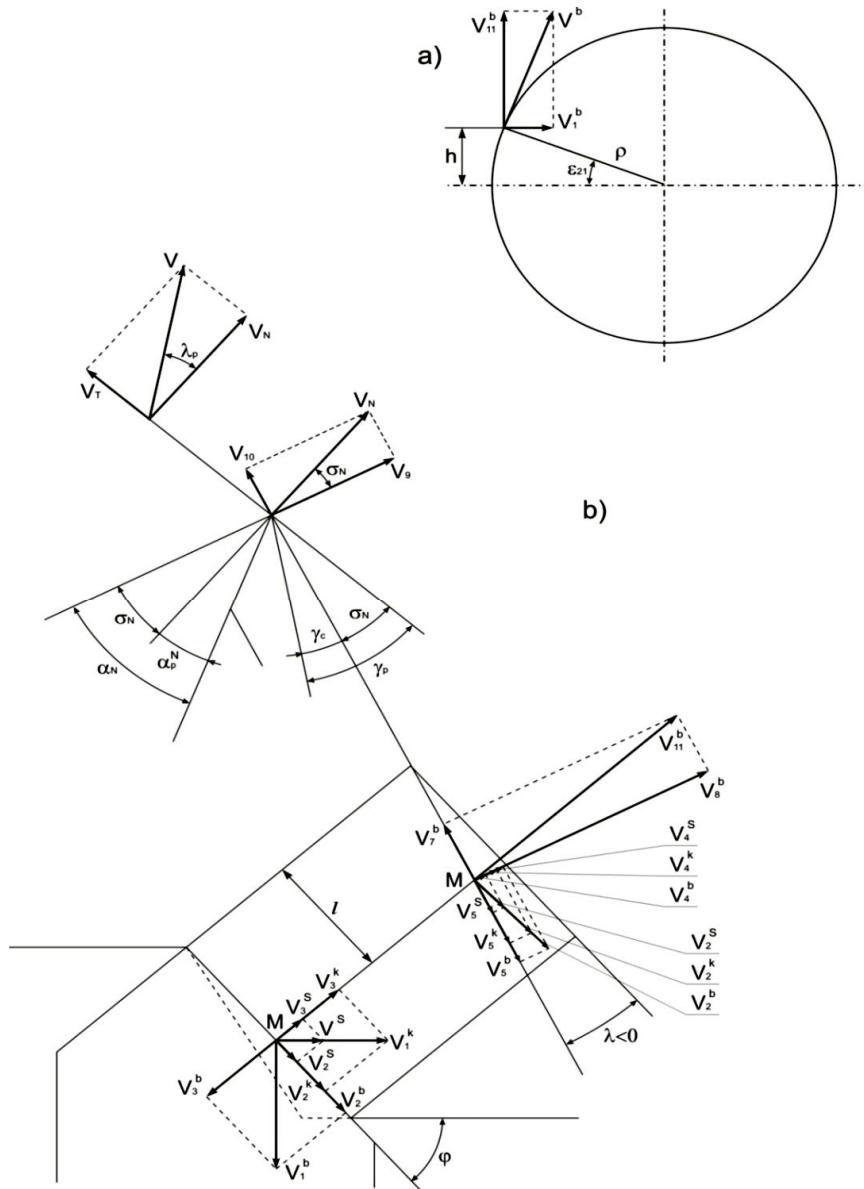


Рис. 2. План скоростей

$$\begin{aligned}
 & \text{В этом случае } V_9, V_{10}, V_N \text{ и } V_T \text{ будут (41). Учитывая (38-40) преобразуем (41)} \\
 & V_9 = V^b \cdot \cos \varepsilon_{22} \cdot \cos \lambda - V^b \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda + V^s \cdot \cos \varphi \cdot \sin \lambda + V^k \cos \varphi \cdot \sin \lambda = \\
 & = 2\pi \rho n (\cos \varepsilon_{22} \cos \lambda - \sin \varepsilon_{22} \sin \varphi \sin \lambda) + (S \cdot n + 0,06A\omega \cos \omega t) \cos \varphi \sin \lambda \quad (42)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & V_{10} = V^s \cdot \sin \varphi + V^k \cdot \sin \varphi + V^b \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \cos \varphi = \\
 & = (S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi + 2 \cdot \pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \cos \varphi \quad (43)
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 & \operatorname{ctg} \sigma_N = \frac{2\pi \cdot \rho \cdot n (\cos \varepsilon_{22} \cdot \cos \lambda - \sin \varepsilon_{22} \cdot \sin \varphi \cdot \sin \lambda)}{(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \cos \varphi} + \\
 & + \frac{(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi \cdot \sin \lambda}{(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \cos \varphi} \quad (44)
 \end{aligned}$$

$$V_N = [(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \cos \varphi] / \sin \sigma_n \quad (45)$$

$$V_T = V^b \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda - V^k \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda - V^s \cdot \cos \varphi \cdot \cos \lambda + V^b \cdot \cos \varepsilon_{22} \cdot \sin \lambda = \\ = 2\pi \rho n (\sin \varepsilon_{22} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda + \cos \varepsilon_{22} \cdot \sin \lambda) - (S_n + 0,06A\omega \cdot \cos \omega t) \cos \varphi \cdot \cos \lambda \quad (46)$$

Учитывая (45)-(46) получим

$$\begin{aligned} \operatorname{tg} \lambda_p = & \frac{2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot (\sin \varepsilon_{22} \cdot \sin \varphi \cdot \cos \lambda + \cos \varepsilon_{22} \cdot \sin \lambda) \cdot \sin \sigma_n}{(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \cos \varphi} + \\ & + \frac{(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos \omega t) \cdot \cos \lambda \cdot \cos \varphi \cdot \sin \sigma_n}{(S \cdot n + 0,06A\omega \cdot \cos \omega t) \sin \varphi + 2\pi \cdot \rho \cdot n \cdot \sin \varepsilon_{22} \cdot \cos \varphi} \end{aligned} \quad (47)$$

На основе расчетов, показывающих кинематические особенности процесса растачивания с наложением на режущий клин УЗК можно сделать следующие заключения:

- в отличии от крутильных колебаний режущего клина при осевых его УЗК вектор колебательных движений всегда параллелен оси обрабатываемой поверхности, при этом отсутствует переменная прижимающая сила и изменению подвергаются только две составляющие коэффициента трения.

- для режущего клина и при положительном и при отрицательном угле наклона лезвия клина (как видно из сравнения зависимостей (3.9),(3.20),(3.31),(3.42)) с позиций увеличения угла установка режущего клина относительно оси вращения детали ниже, при прочих равных условиях, предпочтительнее чем установка его выше оси вращения или на оси вращения.

- при осевых УЗК влияние вибраций на изменение рабочих углов клина проявляется проще, чем при наложении крутильных УЗК, а при переходе от крутильных УЗК к осевым проблема затирания задней грани с обработанной поверхностью не изменяется

### Список литературы:

1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов / В.Ф. Бобров. – М.: Машиностроение, 1975. - 344 с.

2. Петрухин С.С. Общий метод определения кинематических параметров режущей части металлорежущих инструментов / С.С. Петрухин // Известия вузов. Машиностроение. - 1962. - N 10. - С. 151-155.

Надійшла до редакції 24.02.2014

**Е.С. Христофорян, А.Л. Аршакян, Б.С. Баласанян, С.Ш. Христофорян**

### РОБОЧІ КУТИ РІЖУЧИХ КЛІНІВ ПРИ РОЗТОЧУВАННІ З ВИКОРИСТАННЯМ СПРЯМОВАНИХ ПО ОСІ ІНСТРУМЕНТУ УЗК

У роботі розглядаються робочі кути різального клина при розточуванні із застосуванням спрямованих по осі інструменту УЗК. Показано, що примусові ультразвукові коливання ріжучого клина, а також його розташування по відношенню до осі заготовки і вібрації різної природи значно впливають на продуктивність кутів різання клину. Наведено залежності, що враховують ці зміни.

**Ключові слова:** кути, ріжучий клин, коливання, режими різання.

**E. Khristaforyan, A. Arshakian, B. Balasanian, S. Khristaforyan**

### WORKING ANGLES OF CUTTING WEDGES IN BORING USING AXIS DIRECTED TOOL USI

*The paper considers working angles of cutting wedges in boring using axis directed tool USI. It is shown that the coercive ultrasonic vibrations of the cutting wedge, as well as its location relative to the workpiece axis and vibrations of various nature significantly affect the performance of cutting wedge angles. The dependences that take into account these changes are provided.*

**Keywords:** angles, cutting wedge, vibrations, cutting conditions.