

УДК 621.941

А.А. Вожжов, ст. преподаватель

Севастопольский национальный технический университет

ул. Университетская, 33, г. Севастополь, Украина, 99053

E-mail: 0506773532@mail.ru

ОСОБЕННОСТИ РАСЧЕТА СИЛ РЕЗАНИЯ ПРИ ВИБРАЦИОННОМ ТОЧЕНИИ С УЧЕТОМ ВЛИЯНИЯ ПАРАМЕТРОВ КОЛЕБАНИЙ НАКЛАДЫВАЕМЫХ В РАДИАЛЬНОМ НАПРАВЛЕНИИ

Представлена методика аналитического расчета сил резания, учитывающая особенности накладываемые параметрами ультразвуковых колебаний инструмента в радиальном направлении

Ключевые слова: *точение с вибрацией, сила резания, колебания инструмента.*

Рассматривается финишная стадия обработки тонкостенных цилиндрических оболочек, фактически производится прецизионная лезвийная обработка, формируемый при этом поверхностный слой, в сравнении с абразивными методами, обладает более высокими эксплуатационными свойствами. Использование вибрационного резания позволяет вести обработку с меньшим температурными и силовыми нагрузками.

Анализ расчетной схемы резания при точении с пилообразными колебаниями приведен в работе[3].

Целью данной работы является создание алгоритма определения сил резания при точении с колебаниями инструмента в радиальном направлении, с учетом факторов формирующих величину сил резания в аналитическом виде в любой момент времени.

Перемещение вершины реза δ_1 при синусоидальном законе колебаний в радиальном направлении описывается формулой:

$$\delta_1 = a \sin \omega t \quad (1)$$

где ω - циклическая частота ($\omega = 2\pi f$), Гц; φ_0 - начальная фаза, рад. Вектор колебательной скорости $\dot{\delta}_1$ определяется дифференцированием $\dot{\delta}_1 = a \cos \omega t$. Поэтому можно записать $V(t) = a \omega \cos \omega t$.

Максимальное значение колебательной скорости при синусоидальном законе колебаний $V(t)_{\max} = A\omega = 2\pi a f$, а среднее значение в $\pi/2$ раз меньше ($V(t)_{\text{ср}} = 4fa$). При сравнительно малых амплитудах (1 - 5 мкм) и частоте 16 кГц значения $V(t)_{\max}$ достигают 10 - 50 м/мин, а $V(t)_{\text{ср}} = 6,4 - 32$ м/мин.

При обычном резании без УЗК величина вектора скорости резания определяется окружной скоростью инструмента или заготовки V . При наложении УЗК вектор скорости резания, $\overline{V}_{\text{действие}}$ будет являться геометрической суммой двух векторов[3].

Величина и направление вектора $\overline{V}_{\text{действие}}$ определяется как величиной, так и направлением обоих векторов. Поэтому при резании с наложением УЗК на формообразующий инструмент или заготовку скорость резания $\overline{V}_{\text{действие}}$ является переменной величиной.

Для оценки влияния УЗК на процесс резания удобно использовать величину предложенную А.И. Марковым:

$$v_m = \frac{V(t)}{V} \quad (2)$$

где $V(t)$ - значение колебательной скорости; V - значение скорости резания.

Направление вектора $\overline{V}_{\text{действие}}$ определяет положение плоскости резания при точении. Возможные значения изменений положения плоскости резания при наложении колебаний в направлении R_y приведены на рисунке 1 (при обработке предположим, что скорость резания 0,4 м/с, амплитуда колебаний инструмента 5 мкм – первая кривая; 2 мкм – вторая кривая; 1 мкм – третья; 0,5 мкм - четвертая кривая).

В представленной работе рассматриваются колебания со значительно меньшей амплитудой колебаний и значительно большими скоростями резания, в рассматриваемых случаях значения $v_m^{\max} = (0,05 \dots 0,15)$, при этом значения Δ лежат в пределах $\Delta = \pm \arctg(0,05 \dots 0,15) = \pm (2,9 \dots 8,5)^\circ$.

В общем случае на обычные движения при механической обработке накладываются радиальные колебания в диапазоне ультразвуковых частот, в работе рассматриваются синусоидальные и пилообразные колебания (рисунок 2). Переменные циклические нагрузки на обрабатываемый материал, обусловлены переменными скоростями и углами резания при виброперемещении инструмента.

Величина и направление вектора $\vec{V}_{действ}$ определяется как величиной, так и направлением обоих векторов. Поэтому при резании с наложением УЗК на формообразующий инструмент или заготовку скорость резания $\vec{V}_{действ}$ является переменной величиной.

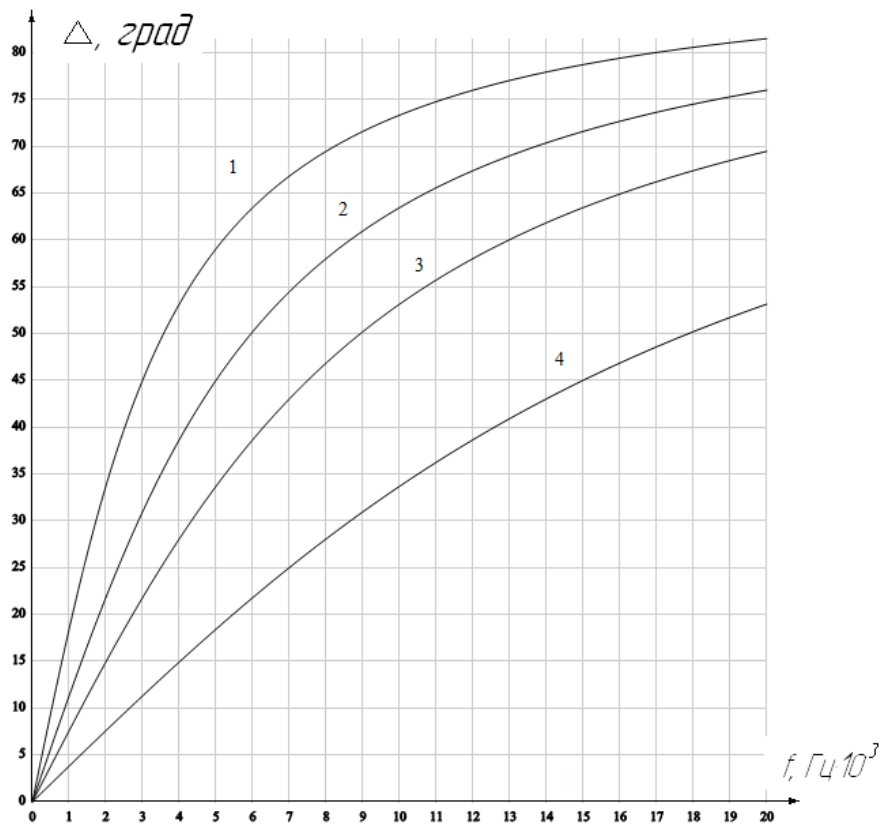


Рисунок 1 – Возможное изменение положение плоскости резания при наложении колебаний

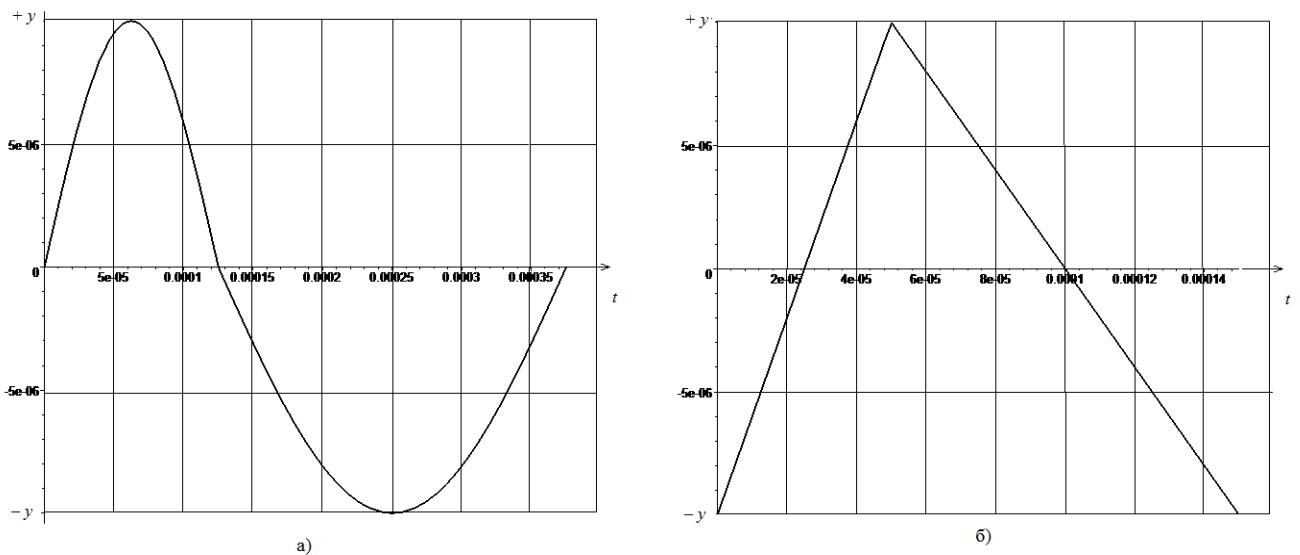


Рисунок 2 – Диаграмма накладываемых колебаний вершины резца в радиальном направлении (синусоидальный закон – а; пилообразный закон – б)

Для расчета сил резания рассмотрим схему формирования действительных значений Δy и $\Delta \alpha$ при сформировавшейся стружке в некотором мгновенном положении резца (рассматривается случай вибрационного резания без отрыва передней и задней поверхности резца от детали)[3].

Мгновенные значения, например, переднего и заднего угла при этом будут равны:

$$\gamma_M = \gamma_0 \pm \Delta, \quad \alpha_M = \alpha_0 \pm \Delta, \quad \Delta = \arctg \left(\frac{V(t)}{V_0} \right) \quad (3)$$

где: α_0 - соответственно передний и задний углы реза; $V(t)$ - мгновенная скорость смещения реза по нормали к поверхности резания относительно обрабатываемой детали; V_0 - скорость резания; Δ - угол поворота координатных осей (Y_k и Z_k) относительно Y и Z .

На рисунке 3 б приведен пример изменения мгновенных значений переднего и заднего углов при точении с УЗК в радиальном направлении, расчет сделан для случая $V = 1,7$ м/с; $a = 0,00001$ м; $f_1=f_2=12000$ Гц; $\gamma = \alpha = 10^\circ$.

Модель процесса формирования составляющих силы резания строится при следующих допущениях:

Напряженно-деформированное состояние при резании в первом приближении может быть описано как плоское. Режущий клин рассматривается как абсолютно жесткое тело. Тепло выделяемое в процессе пластической деформации и вследствие внутреннего и внешнего трения, рассеивается в пространстве и не изменяет температуру системы. Резание можно условно назвать квазистатическим. Образуется сливная стружка

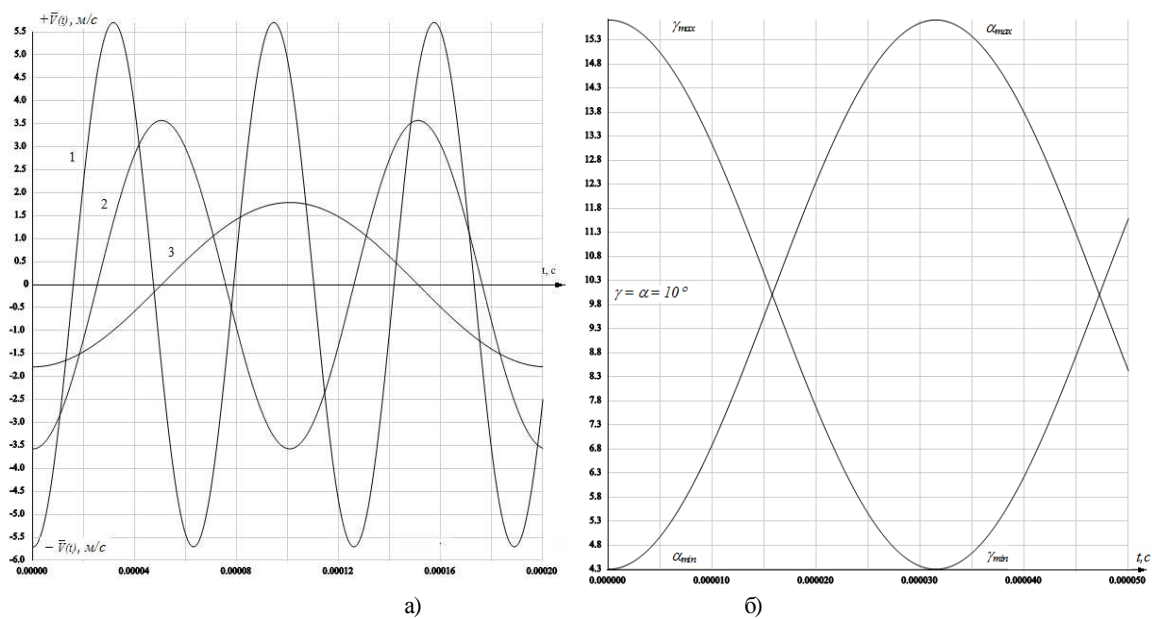


Рисунок 3 – Диаграмма изменения скорости перемещения вершины реза при УЗК в радиальном направлении – часть а (1 – частота колебаний 16000 Гц; 2 – частота колебаний 10000 Гц; 3 – частота колебаний 5000 Гц.); изменение мгновенных значений переднего и заднего углов при точении с УЗК в радиальном направлении – часть б

Если известны нормальные и тангенциальные равнодействующие силы на передней и задней поверхностях режущего клина спроецировав их на координатные оси получим выражения для составляющих сил резания P_y и P_z :

$$\begin{aligned} P_y &= -Q_n \cdot \sin \gamma_0 + T_n \cdot \cos \gamma_0 + Q_3 \cdot \cos \alpha_0 + T_3 \cdot \sin \alpha_0, \\ P_z &= -Q_n \cdot \cos \gamma_0 + T_n \cdot \sin \gamma_0 + Q_3 \cdot \sin \alpha_0 + T_3 \cdot \cos \alpha_0, \end{aligned} \quad (4)$$

где Q_n , Q_3 - средние значения нормальных контактных давлений на передней и задней поверхности реза соответственно;

T_n , T_3 - средние значения касательных контактных давлений на передней и задней поверхности реза соответственно;

При этом на основе проведенного анализа влияния накладываемых вибраций на силы трения в зоне резания, положим взаимодействие стружки с передней поверхностью инструмента при ориентации колебательных смещений относительно вектора силы трения – параллельно; с задней поверхностью – перпендикулярно;

Последовательность вычислений для стабильного процесса стружкообразования с использованием данных основанных на обобщении ряда опубликованных экспериментальных зависимостей можно представить в виде следующего алгоритма[1]:

1. Найдем условный угол сдвига:

$$\Theta_0 = \Theta_y \cdot 9,37 \cdot 10^{-4} \cdot HB^{1,35} \cdot V_0^{0,343} \cdot \sigma_T^{-0,285} \quad (5)$$

где: HB – твердость обрабатываемого материала по Бранелю; V – скорость резания в м/мин (для V в пределах 10...320 м/мин); σ_T – предел текучести материала в Мпа; Θ_y – значение условного угла

$$\Theta_y = 23,5 + \frac{\gamma_0}{2}$$

сдвига Найдем значение коэффициента усадки стружки:

$$K_0 = \frac{\cos \gamma_0}{\operatorname{tg} \vartheta_0} + \sin \gamma_0 \quad (6)$$

Выразим значение коэффициента трения по передней поверхности используя формулу предложенную Розенбергом:

$$C_{\mu 0} = \frac{22500}{(90 - \gamma_0)^{2,46}} K_0^{0,0015 - (90 - \gamma_0)} \quad (7)$$

Расчитаем действующее значение коэффициента трения при наличии колебаний [2]:

$$C_{y3} = 0,63 C_0 \frac{1}{\sqrt{\left(\frac{a_{max}}{V}\right)^2 + 1}} \int_0^{\frac{\pi}{2}} \frac{dx}{\sqrt{1 - \frac{\sin^2 x}{1 + \left(\frac{V}{a_{max}}\right)^2}}}, \quad (8)$$

где C_{y3} и C_0 – коэффициент трения при наложении УЗК и без них соответственно, $a_{max} = a\omega = 2\pi fa$ амплитуда колебательной скорости; f – частота колебаний; a – амплитуда колебаний.

Определим величины $K_0^{УЗК}$ и $\Theta_0^{УЗК}$ проведя обратные преобразования по формулам (7) и (6).

Найдем протяженность контакта по передней поверхности клина:

$$c_0 = k_c \cdot a_0^{0,45} \cdot \delta_0^{0,97} \cdot V_0^{-0,32} \quad (9)$$

где: V_0 – скорость резания в м/мин; a_0 – толщина стружки, $a_0 = s_0 \cdot \sin \varphi_0 \cdot K_0^{УЗК}$, s_0 – подача мм/об; δ – угол резания в градусах; ($\delta = 90 - \gamma_0$); k_c – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала (например, для среднеуглеродистых сталей он принимает значение 0,158);

2. Найдем протяженность контакта по задней поверхности клина:

$$d_0 = \rho + h_3 + 9,59 \cdot \frac{a_0^{0,523} \cdot \delta_0^{0,73} \cdot V_0^{0,304}}{E \cdot \sin \alpha_0} \quad (10)$$

3. Найдем среднее нормальное контактное давление на передней поверхности:

$$\bar{q}_0 = k_c^{-0,95} \cdot a_0^{0,523} \cdot \delta_0^{0,73} \cdot V_0^{0,304} \quad (11)$$

4. Найдем среднее нормальное контактное давление на передней поверхности:

$$\bar{t}_0 = 0,28 \cdot S_k, \quad (12)$$

где S_k – действительное сопротивление разрыву обрабатываемого материала.

5. Найдем средний коэффициент трения по задней поверхности:

$$m_0 = 0,7 + 0,117 K_0^{УЗК}, \quad (13)$$

где $K_0^{УЗК}$ – коэффициент усадки при точении с вибрацией.

6. Найдем среднее нормальное контактное давление по задней поверхности:

$$\bar{q} \bar{q}_0 = qq_{max0} \cdot \frac{\pi \cdot (1 - 2 \cdot \mu_0)}{2 \cdot \cos(\pi \cdot \mu_0)} \cdot \left(\frac{d_0 - z_{min}}{z_{min}} \right)^{(\mu_0 - 0,5)} \quad (14)$$

где: qq_{max0} – максимальное контактное давление, $qq_{max0} = 3,44 \bar{q}_0$; μ_0 – коэффициент, зависящий от условий трения на поверхности контакта и физических характеристик обрабатываемого материала, $\mu_0 = 0,091 \cdot \operatorname{arctg} m_0$;

7. Найдем среднее тангенциальное давление по задней поверхности:

$$\bar{t}t = \bar{q}q \cdot m_0 \tag{15}$$

8. Найдем составляющие сил резания в соответствии с (2.3)

$$P_{y0} = \bar{q}_0 \cdot c_0 \cdot b_0 \cdot \cos \gamma_0 + \bar{t}_0 \cdot c_0 \cdot b_0 \cdot \sin \gamma_0 + \bar{q}q_0 \cdot d_0 \cdot b_0 \cdot \sin \alpha_0 + \bar{t}t_0 \cdot c_0 \cdot d_0 \cdot \cos \alpha_0 \tag{16}$$

$$P_{z0} = \bar{q}_0 \cdot c_0 \cdot b_0 \cdot \sin \gamma_0 + \bar{t}_0 \cdot c_0 \cdot b_0 \cdot \cos \gamma_0 + \bar{q}q_0 \cdot d_0 \cdot b_0 \cdot \cos \alpha_0 + \bar{t}t_0 \cdot c_0 \cdot d_0 \cdot \sin \alpha_0$$

где b_0 – ширина среза, мм ($b_0 = \frac{t_0}{\sin \varphi}$).

Согласно результатам расчетов (рисунок 4) при следующих исходных данных ($a = 0,01$ мм; $t = 0,1$ мм; $s = 0,01$ мм/об; $V = 100$ м/мин; $\rho = 0,1$ мм; $HB = 170$; $\alpha = 10$ град; $\gamma = 10$ град; $\varphi = 45$ град; $f_{\text{вперед}} = 10000$ Гц; $f_{\text{назад}} = 10000$ Гц, 1 – среднее расчетное значение P_y при резании без вибрации; 2 – среднее расчетное значение P_y при резании с УЗК (пилообразный закон движения инструмента); 3 – среднее расчетное значение P_y при резании с УЗК (синусоидальный закон движения инструмента):

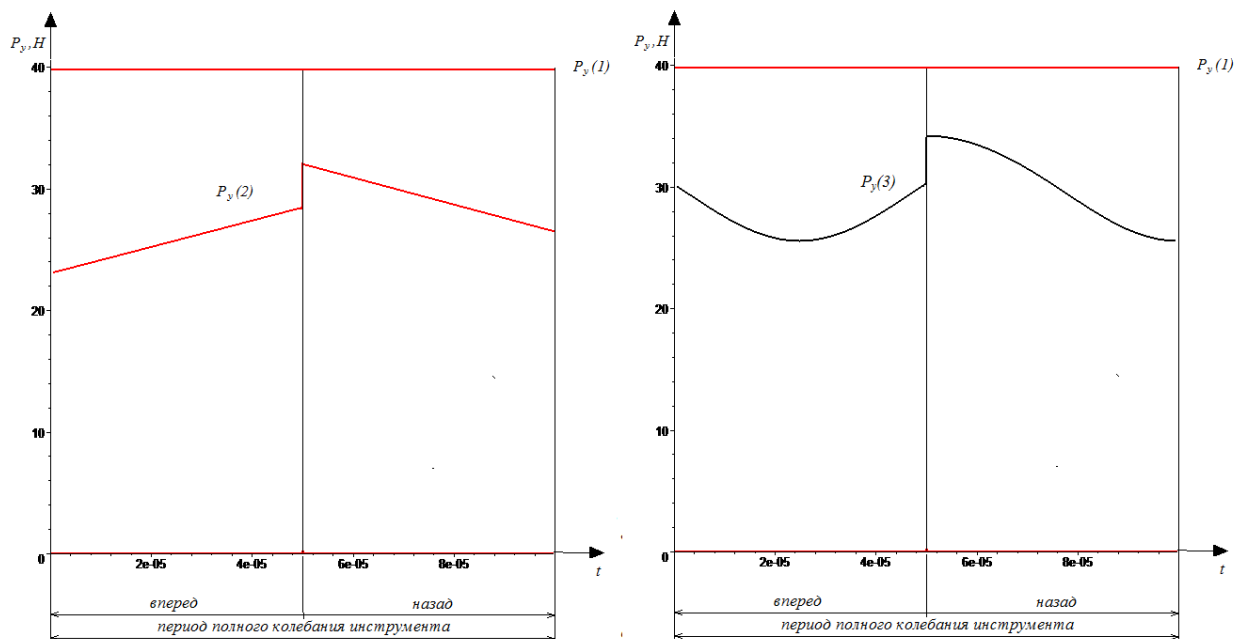


Рисунок 4 – Расчетные величины средних значений радиальных составляющих силы резания за один период колебания вершины резца.

Вывод. Представленная методика аналитического расчета, учитывающая особенности накладываемые параметрами колебаний инструмента позволяет получать с достаточной для дальнейших расчетов при моделировании процессов точностью и использовать данный метод для аналитического определения сил резания при виброточении с колебаниями инструмента в направлении P_y .

Библиографический список использованной литературы:

- 1 Полетика М. Ф. Контактные нагрузки на режущих поверхностях инструмента. — М.: Машиностроение, 1969. — 148 с.
- 2 Гершгал, Д.А. Ультразвуковая технологическая аппаратура / Д.А. Гершгал, В.М. Фридман. М.: Энергия, 1976. - 320 с.
- 3 Вожжов А.А. Анализ особенностей расчета сил резания при точении с пилообразными колебаниями резца в радиальном направлении Вісник СевНТУ: зб. наук. пр. Вип. 139/2013. Серія: Машиноприладобудування та транспорт. — Севастополь, 2013. — С. 45-52

Поступила в редакцию 16.01.2014 г.

Вожжов А.А. Особливості розрахунку сил різання при вібраційному точенні з урахуванням впливу параметрів коливань накладених в радіальному напрямку

Представлена методика аналітичного розрахунку сил різання, що враховує особливості накладаються параметрами ультразвукових коливань інструменту в радіальному напрямку.

Ключові слова: точіння з вібрацією, сила різання, коливання інструменту.

Vozhzhov A.A. Features of the calculation of cutting forces at vibrating turning c into account the effect of the oscillation parameters imposed in the radial direction

The technique of analytical calculation of the cutting forces, taking into account the peculiarities of the parameters imposed by the ultrasonic vibration tool in the radial direction

Keywords: turning the vibration, cutting force, vibrations of the instrument.