



УДК 621.941–229.01

© В. И. Кулик, 2008

ОСОБЕННОСТИ ПОПУТНОГО И ВСТРЕЧНОГО МЕТОДА РЕЗАНИЯ В СТАНКАХ ТАНГЕНЦИАЛЬНОЙ ОБРАБОТКИ

Кулик В.И. – канд. тех. наук, доц. кафедры «Компьютерное проектирование и сертификация машин» (ТОГУ)

В работе результаты экспериментальных исследований, обнаружившие явления при прерывистом резании с переменной толщиной среза, характерные для тангенциальной обработки, объясняются конструктивными особенностями станка и методом (встречным или попутным) резания. Обнаружено, что при попутном методе обработки уменьшается потребляемая мощность в момент резания по сравнению с холостым ходом в цепи подач; время снятия припуска (время резания) уменьшается; максимум силы резания наступает раньше, чем предсказывают теоретические расчёты; возможно появление двойной стружки. При встречных методах обработки потребляемая мощность в цепи подач в момент резания всегда больше потребляемой на холостом ходу; время снятия припуска (время резания) увеличивается; максимум силы резания запаздывает. Это вызвано тем, что в процессе резания частоты вращения инструмента и детали изменяются по сравнению с холостым движением до процесса резания.

The experimental results are explained by the design features of the machine tool and a cutting method. It is found that with the climb cut the required power at the cutting moment decreases compared to the idling, and the cutting time is reduced. The maximum of the cutting force is achieved earlier than predicted, and the double shavings are also possible. At the down cut the required power is always larger than that at the idling; the cutting time is increased and the peak of the cutting force is achieved later. This is due to the fact that in the cutting process the rotational frequencies of the tool and the part vary compared to the idling before cutting.

Анализ схем станков, процесс обработки на которых осуществляется в результате двух вращательных движений или любых сочетаний вращательного и поступательного [1, 2, 3, 4], рис. 1, показывает, что они обладают одним общим свойством – вектора скорости и подачи

при прохождении линии центров лежат на одной прямой, перпендикулярной к этой осевой центральной линии, что позволяет применить единую методику для их исследования и дать им единое название: *схемы тангенциальной обработки*. Созданные на их основе станки охватывают как обработку деталей резанием, так и без снятия стружки.



Рис. 1. Схемы тангенциальной обработки



На рис. 1 показаны схемы резания и траектории вершины резца в теле заготовки. Символ p с нижним индексом 1, 2 или 3 указывает место расположения мгновенного центра вращения – полюс p – (на межосевой линии). Верхний индекс Π или B при полюсе p означает вид обработки *попутный* или *встречный*. А также на рис. 1: A – межцентровое расстояние, R_1 и R_2 – радиус инструмента и детали, r_1 и r_2 – радиусы центроид (показаны пунктирными линиями) инструмента и детали, ω_1 и ω_2 – угловые скорости инструмента и детали, V_i – скорость.

Резание проводилась по схеме рис. 1а на двух установках:

1. «Станок ХТ-260» с волновой зубчатой парой в цепи подачи, и кинематическая схема станка показаны на рис. 2, – спроектирован и изготовлен автором в г. Хабаровске (описание станка смотри в работах [1, 2]).

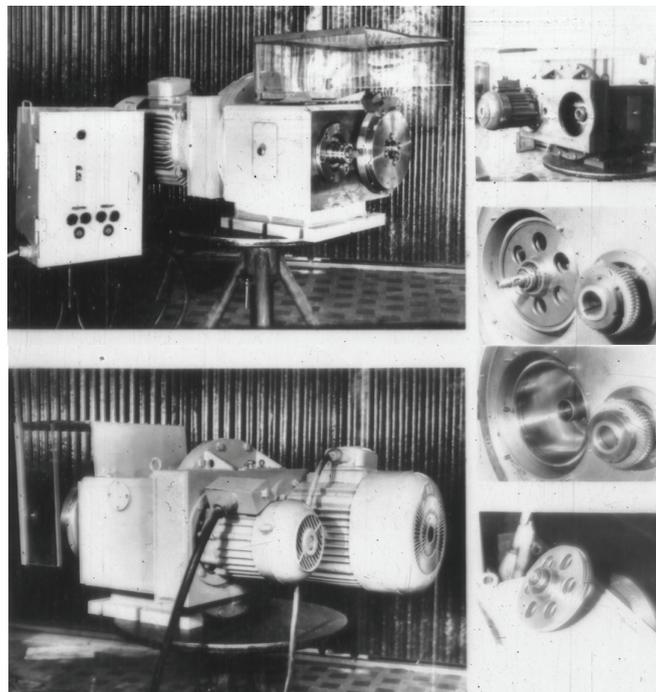
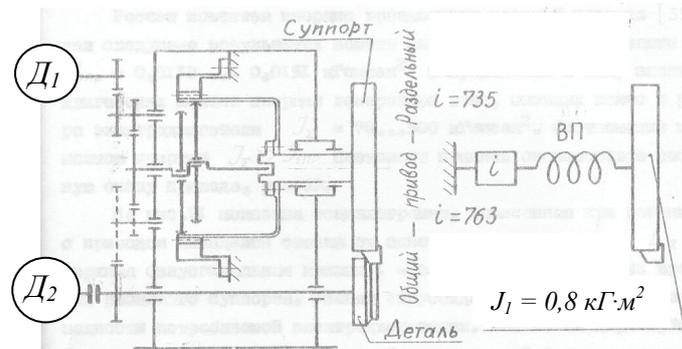


Рис. 2. «Станок ХТ-260»

2. «Стенд-МВ 1 у» с двухчервячным приводом в цепи подачи, спроектированный и изготовленный сотрудниками кафедры АМ-1 МВТУ (теперь МГТУ) им. Н.Э. Баумана (описание стенда смотри в работе [5]).

В качестве обрабатываемого материала использовалась подшипниковая сталь ШХ-15 ГОСТ 103-75. Обрабатываемые заготовки поступали в виде поковок и имели следующие основные механические свойства: предел прочности на растяжение, кг/мм^2 , $\sigma_B = 65$ (650 МПа); твёрдость по Бринеллю, ед., $\text{НВ} = 207$; относительное удлинение, %, 19.

Для обеспечения равномерности припуска каждая заготовка предварительно протачивалась и имела вид как показано на рис. 3.

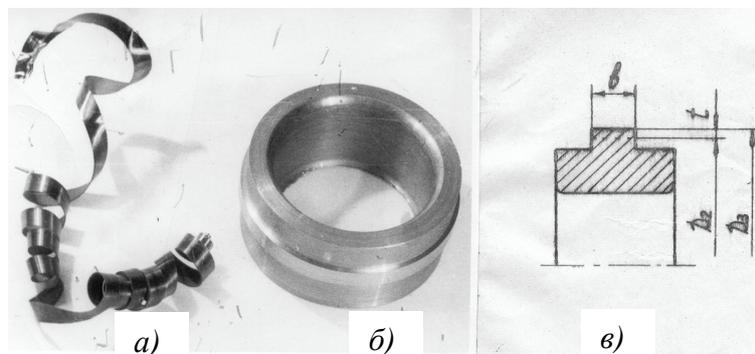


Рис. 3. а) стружка снятая при записи процесса резания по рис. 4, б) обработанная деталь, в) эскиз заготовки, где t – глубина обработки (припуск), b – ширина резания, D_2 – диаметр обработанной детали, D_3 – диаметр заготовки.

Материал режущей части резца – пластина твёрдого сплава Т15К6 ГОСТ3882-74. Заточка пластин производилась на станке ЗБ642 алмазным чашечным кругом, диаметром 150 мм с зерном АСП8 100 % концентрации на бакелитовой связке, шероховатость поверхностей соответствовала 9 классу чистоты ($R_a=0,32$) по ГОСТ 2789-73. Пластина Т15К6 закреплялась механически в корпусе резцового блока при помощи цапфы.

Углы резания на пластине получались установкой пластины на резцовом блоке и при расположении вершины резца на межцентровой линии были: – передний угол $\gamma = -20^\circ$; – задний угол $\alpha = 20^\circ$; – угол наклона режущего лезвия $\lambda = 7^\circ$.

При сравнении графиков крутильной жёсткости было отмечено, что при сравнительно одинаковой крутильной жёсткости, работа сил трения в приводе подачи «станка ХТ-260» меньше почти в два раза, чем в приводе подачи «стенда-МВТУ».

Картина записи силы резания, а также характер изменения мощности главного привода при резании для «стенда-МВТУ» более соответ-



ствуют теоретической картине изменения сечения среза. Цепь привода детали здесь более длинная, обладает большим количеством валов и шестерён и следовательно большим суммарным моментом инерции.

«Станок ХТ-260» имеет очень короткую кинематическую цепь привода детали, с малыми потерями в ней и малым суммарным моментом инерции. Меньшее число стыков в «станке ХТ-260» и установка шпинделя инструмента на опорах качения приводит к тому, что волновая зубчатая пара сразу работает упруго. Необходимо заметить, что, взявшись рукой за деталь, можно вручную прокрутить всю кинематическую цепь станка (электродвигатель, сменные колёса и резцовый суппорт), что указывает на высокую чувствительность станка к крутильным колебаниям, или к изменению крутящего момента. Это приводило к тому, что главный двигатель в момент резания иногда работал в переходном режиме (в условиях повышенного скольжения, за пределами максимального момента) и дважды останавливался.

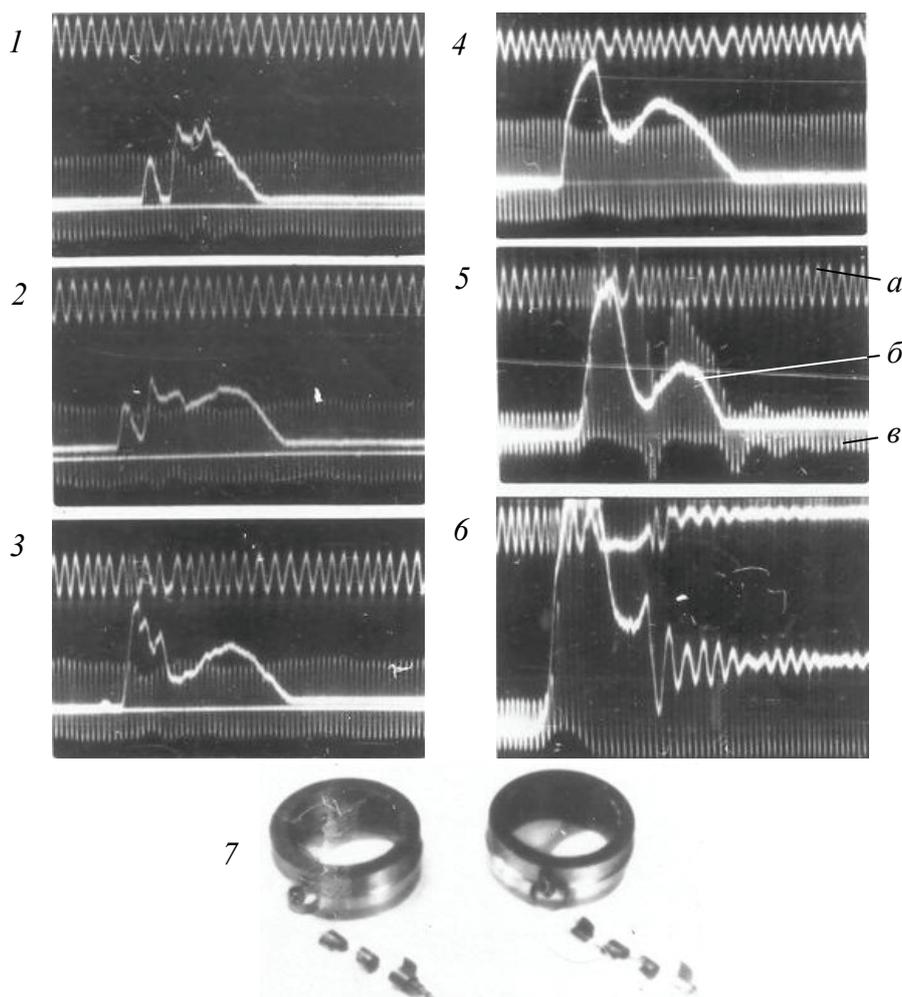


Рис. 4. Осциллограммы, недорезанная заготовка, стружка («Станок ХТ-260»)

Осциллограмма записи процесса резания в момент остановки двигателя показана на рис. 4 (б), а на рис. 4 (7) показаны стружка и вид детали с недорезанным припуском. Поэтому, «станок ХТ-260» позволяет безаварийно остановить (прервать) процесс стружкообразования, что важно для исследователей процесса резания.

В результате следовало ожидать высокую чувствительность привода к изменению нагрузки на резце, что и отразилось на результатах экспериментов.

Характер изменения силы резания с увеличением сечения среза можно проследить по осциллограммам показанным на рис. 4 последовательно от рис. 4 (1) до рис. 4 (б). Последняя осциллограмма иллюстрирует момент остановки двигателя («двигатель опрокинулся») и мгновенное прерывание процесса резания без поломки резца при очень больших нагрузках. (Любопытно, что исследователи процесса резания получили не один десяток авторских свидетельств на устройства, прерывающие процесс снятия стружки, но ни одно из них не позволяет сделать то, что можно сделать на «станке ХТ-260»).

На всех рисунках с осциллограммами, например рис. 4 (5), запись неравномерности вращения – *a*, запись силы резания – *b*, запись потребляемой мощности – *в*.

Все осциллограммы записи неравномерности вращения резцового суппорта и детали, потоков мощности в приводах резцового суппорта и детали, и, в первую очередь, силы резания при встречном и попутном методах обработки, для «станка ХТ-260» и в сравнении со «стендом-МВТУ» имеют следующие характерные особенности:

1. В начальный момент резания кривая записи силы P_Z имеют плавное нарастание, а затем резкое возрастание силы P_Z . Это можно объяснить упругим скручиванием гибкого венца волновой зубчатой пары, стоящей в цепи подачи «станка ХТ-260».

2. При одинаковых условиях резания (*b*, *t*, рис. 3в) наблюдается почти полное совпадение второй половины (конец) кривых записи силы P_Z . При этом угол падения β кривой записи силы P_Z в конце резания гораздо круче, чем для «стенда-МВТУ», сравни рис. 5 и рис. 6. Это объясняется тем, что при уменьшении толщины среза гибкий венец упруго раскручивается, тем самым замедляется круговая подача, что видно также и из осциллограмм записи неравномерности вращения суппорта.

3. При значениях сечения среза, $мм^2$, $S = a_{max} \cdot b > 1,5...1,6$ или $b \cdot t > 3...4$ общий рисунок кривой записи силы P_Z выглядит в виде кривой с двумя горбами, рис. 4 (3, 4, 5), рис. 6.

Стружка, соответствующая осциллограмме (рис. 6) показана на



рис. 7 и рис. 8, в и 8, з. Стружка в сечении соответствует кривой (копирует кривую) записи силы P_Z : вначале стружка толстая, в средней части тонкая, и затем опять толстая, переходящая на нет.

При значениях сечения среза, мм^2 , $S = a_{\text{max}} \cdot b < 1,5 \dots 1,6$ или $b \cdot t < 3 \dots 4$ кривая записи силы P_Z указывает на то, что сначала сила резания увеличивается до определённой величины, затем падает до нуля, а затем опять увеличивается, см. рис. 4 (1). Двойная стружка соответствующая этой осциллограмме, показана на рис. 8, а и рис 8, б.

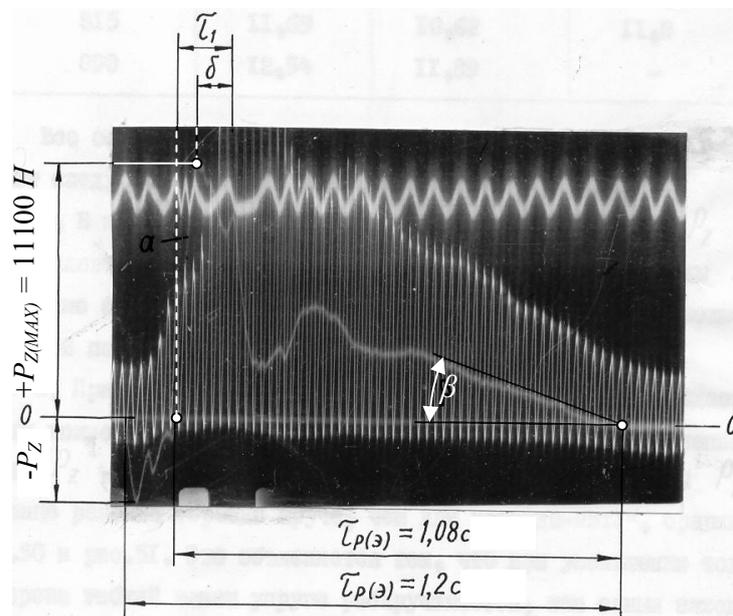


Рис. 5. Осциллограммы – «Стенд-МВТУ»

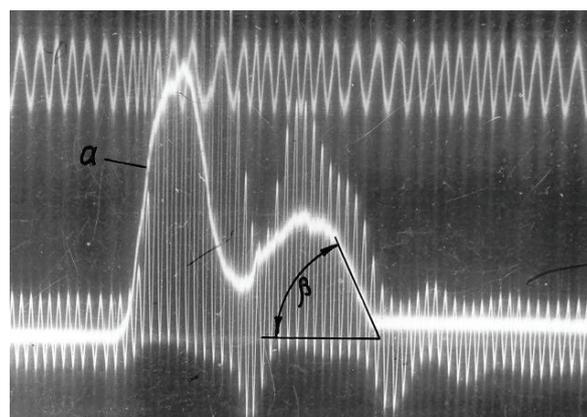


Рис. 6. Осциллограммы – «Станок ХТ-260»

В этом случае характер стружки опять строго соответствует кривой

записи силы P_z . Стружка состоит из двух частей, имеющих ярко выраженные начало и конец. Двойная стружка была замечена нами впервые и только при малых сечениях среза или при малом припуске – t . Появление двойной стружки при *попутном точении* объясняется нами тем, что в результате упругого скручивания гибкого венца волновой передачи скорость внедрения резца в тело заготовки в начальный момент резания превышает скорость вращения, предусмотренную кинематикой станка. Естественно, сила резания и энергия упругого скручивания гибкого венца (или цепи привода резца) сначала находится в равновесии в начальный момент резания. Достигнув максимального упругого скручивания, гибкий венец начинает упруго раскручиваться (отдавать накопившуюся в нём потенциальную энергию), преодолевая сопротивление срезаемой стружки, сечение которой уменьшается. Это приводит к тому, что резец отходит от заготовки на какое-то мгновение, а в силу непрерывности его движения к заготовке (схема кинематики резания подсказывает на это), снова врезается в неё и наконец заканчивает снятие припуска.

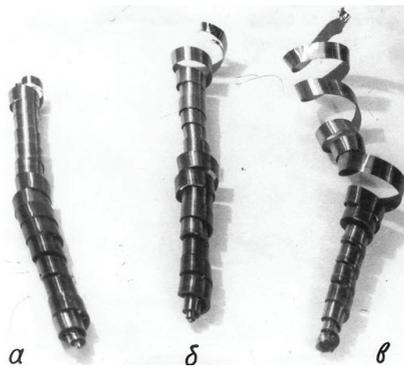


Рис. 7. Стружка – «Станок ХТ-260»

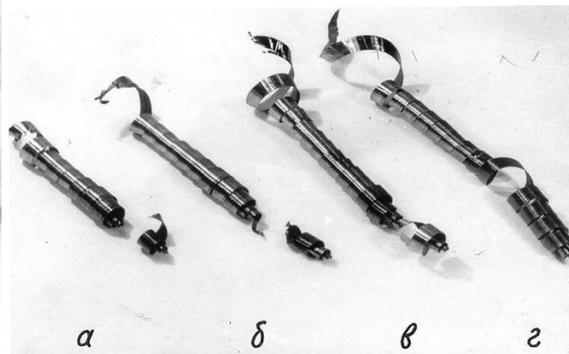


Рис. 8. Стружка – «Станок ХТ-260»

При больших значениях сечения среза и припуска происходит аналогичная картина, однако упругой энергии гибкого венца, в этом случае, не достаточно, чтобы преодолеть сопротивление стружки, в результате чего осциллограммы записи силы P_z в этом случае имеют два горба с впадиной посередине, а сама стружка имеет утоньшение в средней части.

Иногда резец колеблется в момент резания много раз, что отражено на осциллограммах записи силы P_z на «стенде-МВТУ» – рис. 9, на «станке ХТ-260» – рис. 10. Стружка, соответствующая осциллограмме (рис. 10), показана на рис. 3, а. Стружка, соответствующая осциллограмме (рис. 9), показана на рис. 11. На рис. 12 показана стружка, по-



лученная при встречном точении на «станке ХТ-260».

4. Совместный анализ условий резания и осциллограмм записи силы P_z указывает на тот факт, что сила P_z , найденная по осциллограммам в 1,5...2 и более раз превышает ожидаемую по существующим расчётным формулам работы [6] для известных a_{max} и b .

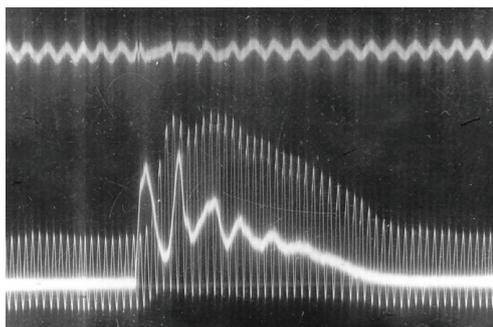


Рис. 9. Осциллограммы «Стенд-МВТУ»



Рис. 11. Стружка – «Стенд-МВТУ»

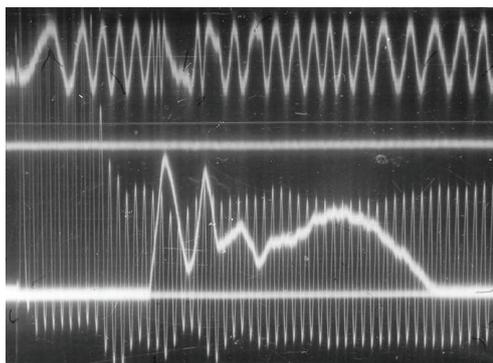


Рис. 10. Осциллограммы «Станок ХТ-260»

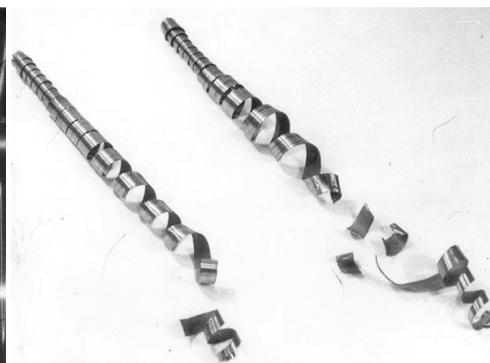


Рис. 12. Стружка – «Станок ХТ-260»

Это объясняется тем, что при *попутном точении* резец, захватив стружку, резко внедряется в тело заготовки по причине выборки люфтов, упругого скручивания цепи подач и пр. Кроме того, возникнув и увеличиваясь по величине, сила резания затормаживает вращение главного привода, т. е. заготовки, ещё более отклоняя от первоначального отношения чисел оборотов инструмента и детали $\frac{n_1}{n_2} \neq const$.

Шпиндель детали сбрасывает обороты, а иногда и останавливается в условиях наших экспериментов, см. рис. 4 (6) и рис. 4 (7). В результате этого сила резания растёт быстрее и становится по величине больше, чем предполагается условиями кинематики резания.

5. Впервые обнаружено, и по осциллограммам можно установить,

что при попутном течении время резания $\tau_{\text{э}}$ (найденное экспериментально) меньше, чем время резания $\tau_{\text{р}}$ (найденное по теоретическим зависимостям кинематики), а при *встречном течении* наоборот время резания, полученное из эксперимента, больше времени резания найденного расчётным путём, т. е. $\tau_{\text{э}} > \tau_{\text{р}}$, см. [1]. Поэтому практический путь резания и длина стружки при попутном течении короче, а при встречном течении – длиннее.

6. Замечено также впервые, что сила резания при *попутном течении* растёт интенсивнее, а время появления максимальной силы наступает раньше, чем предсказывают кинематические расчёты, а при *встречном течении* – время появления максимальной силы наступает позже, см. [1] и сравни с [7], где явления запаздывания усилий при прерывистом резании с переменной толщиной среза объявляются абсолютно.

7. Замечено также впервые, что при *попутном течении* в момент начала резания и появления силы резания потребляемая приводом подач мощность уменьшается, а при *встречном течении* наоборот, в момент резания затраты мощности на привод резцового суппорта возрастают по сравнению с холостым ходом, см. [1].

Библиографические ссылки

1. Кулик В. И. О смещении максимума силы резания при тангенциальной обработке // Вестник ТОГУ. 2007. № 1.
2. Кулик В. И. Исследование кинематики и потоков мощности в станках тангенциальной обработки. М., 1973.
3. Кулик В. И., Чернянский П.М. Погрешности обработки, зависящие от кинематики резания // Известия вузов. Машиностроение. 1972. № 7.
4. Этин А. О. Кинематический анализ методов обработки металлов резанием. М., 1964.
5. Разработка нового метода и станда для токарной обработки методом попутного протягивания: Технический отчёт по научно-исследовательской теме ЛАВ-11. Разработка гаммы металлорежущих станков, работающих методом попутного течения: Технический отчёт по научно-исследовательской теме № АМ-181. М., 1970.
6. Ермаков Ю. М. Исследование технологического процесса обработки внутренних фасонных поверхностей вращения попутным течением. М., 1970.
7. Татлицкий Н. И. Явления запаздывания усилий при прерывистом резании с переменной толщиной среза // Вестник машиностроения. 1969. № 4.
8. Кулик В. И. О распределении мощности в станках // Повышение надёжности и долговечности машин и станков. Хабаровск, 1975.