



УДК 621

АНАЛИЗ ПРОЦЕССОВ ИЗНОСА
ИНСТРУМЕНТА ПРИ ТОЧЕНИИ
МЕТАЛЛОВ НА МЕТАЛЛОРЕЖУЩИХ
СТАНКАХ

*Лапшин В. П., Бабенко Т. С.,
Радионова И. С.*

Донской государственный технический
университет, Ростов-на-Дону, Российская
Федерация

lapshin1917@yandex.ru

pasha61@yandex.ru

radionov.rus@mail.ru

Проанализированы основные вопросы обработки металлов точением на металлорежущих станках. Выявлены основные закономерности формирования сил резания и их связи с управляемыми координатами, обеспечивающими формообразующие движения инструмента. Оценены причины и особенности износа инструмента при точении металлов на разных гранях. Проанализирована формируемая при износе инструмента внутренняя эволюционная связь, которая определяет влияние износа на силовую реакцию со стороны процесса резания. Рассмотрены особенности обработки металлов на реальном токарном станке. По результатам анализа сформулирована задача синтеза математической модели, отражающей основные закономерности взаимовлияния сил и процесса износа.

Ключевые слова: износ инструмента, токарная обработка, сила резания, эволюция системы резания, металлорежущие станки, деформация инструмента, формообразующие движения инструмента.

Введение. Современные металлорежущие станки позволяют автоматизировать процессы обработки металлов за счет почти полного вывода оператора из процесса или совмещения различных процессов в одном станке [1]. При выводе оператора из процесса необходимо прогнозировать остаточную стойкость инструмента или оценить степень его износа [2]. Решение этой задачи позволяет гарантировать устойчивость процесса обработки металлов в металлорежущих станках и связанное с устойчивостью процесса качество обрабатываемой поверхности [3, 4]. Данной проблематике посвящены многие работы. Помимо очевидной научной актуальности указанных вопросов очень важную роль играет практическое решение проблем, связанных с диагностированием степени износа инструмента и прогнозом его остаточной стойкости.

UDC 621

WEAR PROCESS ANALYSIS OF THE TOOL
WHEN TURNING METALS IN
METAL-CUTTING MACHINES

*Lapshin V. P., Babenko T. S.,
Radionova I. S.*

Don State Technical University, Rostov-on-Don,
Russian Federation

lapshin1917@yandex.ru

pasha61@yandex.ru

radionov.rus@mail.ru

The paper analyzes the main issues of metal turning on metal-cutting machines. The main regularities of the formation of cutting forces and their connection with the controlled coordinates providing the forming tool movements are revealed. The article provides the evaluation of the causes and the characteristics of tool wear in turning of metals on different sides. The internal evolutionary relationship formed during tool wear is analyzed, which determines the effect of wear on the force response from the cutting process. Features of metal working on the real lathe are considered. According to the results of the analysis, the problem of synthesis of a mathematical model reflecting the main regularities of the interaction of forces and the process of wear is formulated.

Keywords: tool wear, turning process, cutting force, cutting system evolution, metal-cutting machines, tool deflection, forming tool movements.

Особенности обработки металлов точением на металлорежущих станках. В современном машиностроении широко распространены многофункциональные металлорежущие станки, реализующие определенный набор технологических операций. При этом продолжают активно использоваться станки, предназначенные для выполнения одной операции (точения, сверления и пр.). Таким образом, описывая особенности обработки металлов точением, можно основываться на проверенной схеме указанного процесса, реализуемой, к примеру, токарным станком 1К625 (рис. 1).



Рис. 1. Токарный станок 1К625

В данном случае динамика системы управления резанием будет зависеть от параметров исполнительных подсистем [4] и от технологических параметров процесса резания (в том числе от геометрических особенностей инструмента). Реакцию на формообразующие движения инструмента, возникающую в зоне резания, принято обозначать как силу резания, которая в самом общем случае может быть представлена следующей структурной схемой (рис. 2).

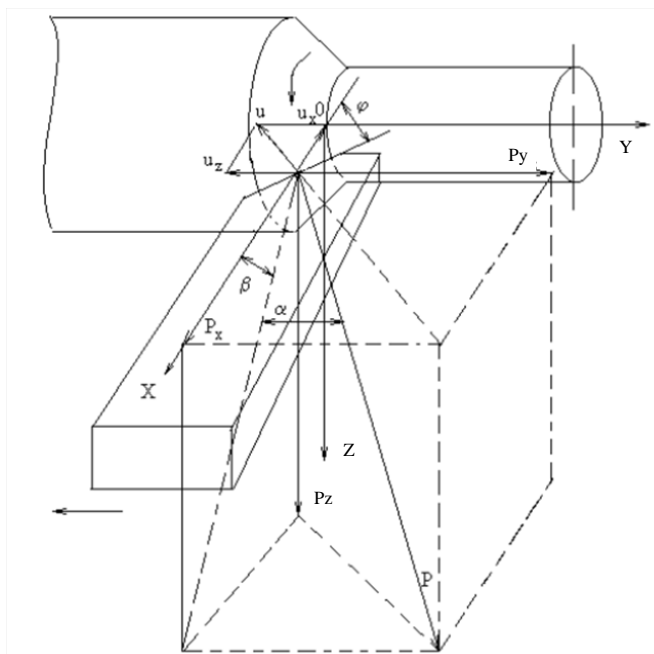


Рис. 2. Структурная схема, поясняющая формирование сил резания

На данной схеме P_x , P_y , P_z — составляющие силы резания P ; u_x и u_z — составляющие относительного перемещения u резца и заготовки [5]; углы φ , α , β обусловлены геометрическими параметрами инструмента. При этом под силой резания принято понимать геометрическую сумму всех сил, действующих на режущий клин со стороны стружки и заготовки.

Сила, препятствующая внедрению инструмента в материал обрабатываемой детали, имеет сложное пространственное расположение в системе координат, связанной с осями деформации инструмента. Эта же сила столь же сложно распределена в пространстве, образуемом осями деформации обрабатываемой детали и шпиндельного узла, в котором закреплена деталь. В литературе, посвященной анализу сил реакций, возникающих в зоне резания, принято разложение такой реакции на составляющие [5]. В нашем случае (рис. 3, а) будут справедливы следующие соотношения между составляющими сил реакции:

$$P = \sqrt{P_x^2 + P_y^2 + P_z^2},$$

где P — силовая реакция со стороны процесса резания на формообразующие движения инструмента; P_x, P_y, P_z — проекции силовой реакции на оси деформации инструмента (см. рис. 1).

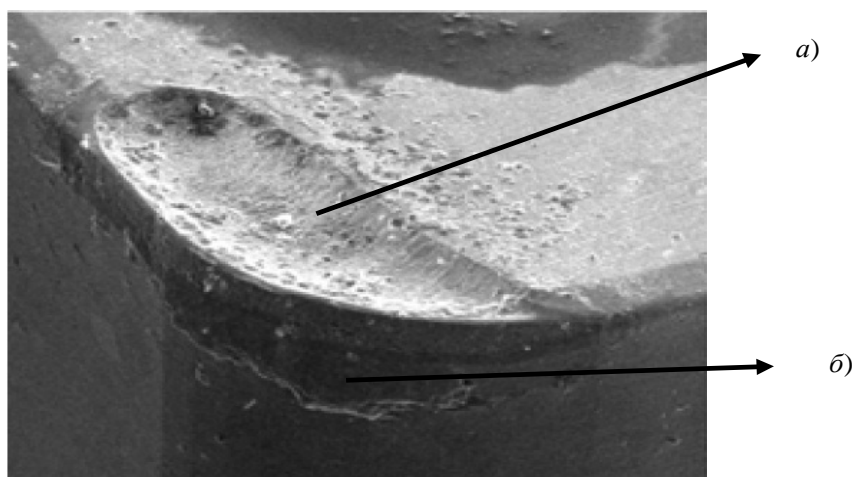


Рис. 3. Пример износа инструмента: лункообразование по передней грани (а), износ по задней грани (размерный износ) (б)

Соотношения между составляющими силы резания P_x, P_y, P_z зависят от многих факторов — таких, к примеру, как геометрия резца, параметры обработки и т. д. [6]. Так в [6] указано, что при обработке острым резцом с параметрами $\gamma = 15^\circ$, $\phi = 45^\circ$ и $\lambda = 0^\circ$ соотношение между составляющими в среднем равно $P_x, P_y, P_z = (0,3-0,4), (0,4-0,5)$.

Теоретические зависимости для оценки сил резания имеют достаточно широкий разброс. Вместе с тем, как правило, в них присутствуют общие подходы, учитывающие влияние на силы резания объема срезаемого материала и некоторые характеристики прочности обрабатываемого материала (это либо σ — предел текучести [6], либо τ — предел текучести материала с учетом уплотнения [6], либо f — коэффициент трения на плоскости сдвига [7]). Для удобства используем принятое в работах В. Л. Заковоротного обобщающее обозначение ρ [7], которое будем называть суммарной характеристикой прочности обрабатываемого материала. Данная характеристика не является постоянной величиной. Она зависит от скорости резания [7] и от степени износа по задней грани.

Для формирования непротиворечивого представления о силе резания рассмотрим некоторые подходы к описанию усилия резания. Формула К. А. Зворыкина [7] в нашей интерпретации может быть представлена так:

$$P_{x_3} = \rho t_p S \frac{\sin(2\Theta + (90 - \gamma)) \cos \Theta_1}{\cos \Theta \cos(90 - \phi)}.$$

Здесь Θ и Θ_1 — углы трения на контактных площадках инструмента и в плоскости сдвига соответственно; $\rho = \tau$; t_p — глубина срезаемого слоя материала; S — величина подачи на оборот детали.

По Н. Н. Зореву [3], усилие резания рассчитывается так:

$$P_{x_3} = \rho t_p S \frac{\cos \omega}{\cos(\varphi + \omega) \sin \varphi}. \quad (1)$$

В [4] приводится следующая зависимость силы резания:

$$P_{x_3} = \frac{\sigma_0}{n} t_p S \frac{e^{\frac{n K_a^2 - 2 K_a \sin \gamma + 1}{1.5 K_a \cos \gamma}}}{1 - \frac{\sin \varphi}{K_a \cos(\varphi - \gamma)}}. \quad (2)$$

Здесь σ_0 — условный предел текучести; n — показатель политропы сжатия, характеризующий склонность испытуемого материала к упрочнению; K_a — коэффициент усадки стружки.

Как видно из выражений (1)–(2), силовая реакция со стороны процесса резания на формообразующие движения инструмента не включает в себя размерные изменения инструмента в результате его износа.

Износ инструмента при точении. Известно, что в процессе резания на металлорежущих станках изменяются многие параметры процесса обработки и показатели качества изготовления детали. Это, например: сила резания, в том числе изменение ориентации в пространстве; интенсивность изнашивания инструмента и значение его износа по передней и задней грани. (Развитие износа по задней поверхности показано на рис. 3 [8].)

Кроме параметров, определяющих состояние процесса резания, изменяются и параметры, характеризующие качество изготавливаемых деталей. Известно, что в процессе обработки изменяется геометрия формируемой детали и ее максимальные и минимальные геометрические свойства (волнистость, шероховатость, субмикрощероховатость). Все эти изменения связаны с преобразованиями свойств динамической системы резания. Наиболее значимый фактор, влияющий на качество обрабатываемой поверхности, — износ по задней грани (см. рис. 3). Этот вид износа инструмента достаточно хорошо экспериментально изучен. В литературе его обозначают h_3 [9]. Так, в [9] приводятся следующие экспериментально определенные зависимости износа от времени работы и скорости обработки для резцов, полученных путем вторичной переработки из быстрорежущих сталей методом проката (рис. 4).

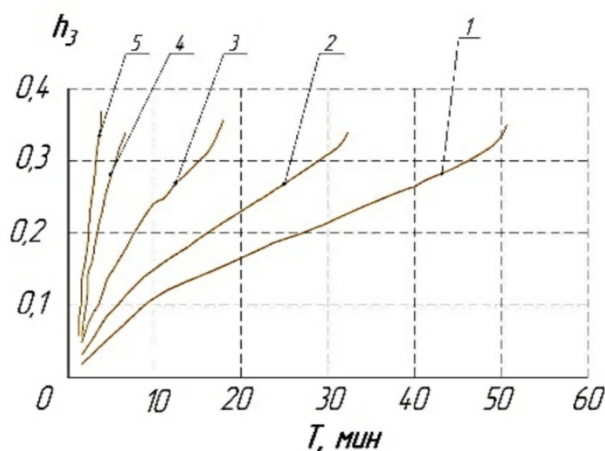


Рис. 4. Диаграммы износа по задней грани инструмента в зависимости от продолжительности работы резцов из быстрорежущей стали, отлитой прокатом, при скоростях резания: 1 — 25 м/мин; 2 — 40 м/мин; 3 — 60 м/мин; 4 — 80 м/мин; 5 — 100 м/мин

В [10, 11] приводится расчетная зависимость ρ от износа по задней грани (рис. 5).

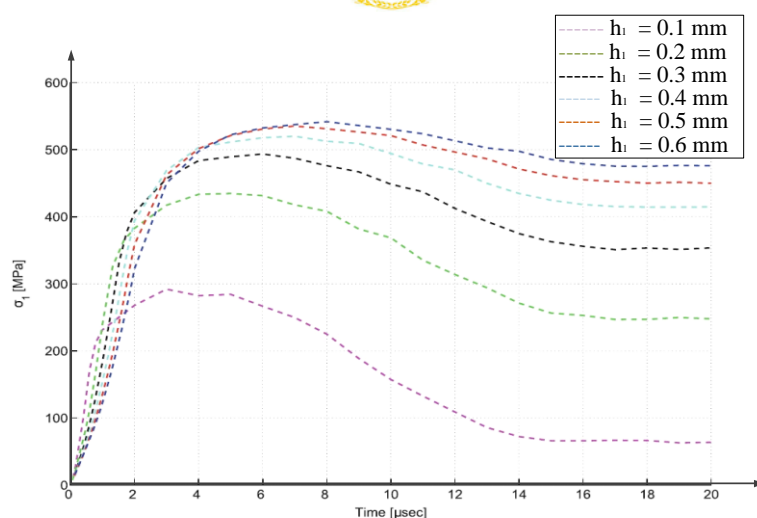


Рис. 5. Влияние износа по задней грани на суммарную характеристику прочности обрабатываемого материала [5]

Представляя износ в координатах состояния, мы опираемся на связь износа с мощностью необратимых преобразований подводимой энергии в зоне резания. Принципы изменения износа в зоне резания хорошо известны. Они представлены в работах А. Л. Бершадского, Б. И. Костецкого, А. А. Рыжкина и др. [11].

Заключение. Все параметры, характеризующие процесс резания и качество изготовления детали, взаимосвязаны. Кроме того, они имеют общую природу изменения — это мощность необратимых преобразований по совершённой работе. В этой связи решается актуальная научно-практическая задача — рассмотрение взаимосвязи природы контакта инструмента и обрабатываемой детали с износом инструмента через динамическую характеристику реакции системы резания на формообразующие движения инструмента.

Библиографический список

1. Тарнопольский, А. В. Эффективный способ приготовления СОЖ для обработки материалов резанием / А. В. Тарнопольский // Надежность и качество : тр. ежегод. междунар. симпоз. — Пенза : Изд-во Пенз. гос. ун-та, 2006. — С. 126–127.
2. Яковлев, М. Г. Исследование динамики процесса резания при обработке жаропрочных материалов / М. Г. Яковлев. — Москва : Наука и образование, 2009. — С. 4.
3. Арзуманян, А. М. Математическое моделирование температурного поля при параметруемом процессе обработки материалов резанием / А. М. Арзуманян, О. С. Манукян // Вестник Саратов. гос. техн. ун-та. — 2007. — № 2 (24), вып. 1. — С. 27–31.
4. Ярославцев, В. М. Эффективность методов опережающего деформационного упрочнения материала срезаемого слоя при обработке резанием / В. М. Ярославцев // Вестник Моск. гос. техн. ун-та им. Н. Э. Баумана. — 2015. — № 1. — С. 119–127. — (Машиностроение).
5. The influence of tool micro-geometry on stress distribution in turning operations of AISI 4140 by FE analysis / M. Agmell [at al.] // The International Journal of Advanced Manufacturing Technology. — 2017. — Vol. 89. — P. 3109–3122.
6. Моделирование процесса изнашивания инструмента с помощью интегральных операторов // В. Л. Заковоротный [и др.] // СТИН. — 2004. — № 3. — С. 9–14.
7. Моделирование процесса изнашивания инструмента с помощью интегральных операторов // В. Л. Заковоротный [и др.] // СТИН. — 2004. — № 4. — С. 18–21.



8. Гузашвили, К. В. Исследование стойкости литого инструмента, полученного путем вторичной переработки из быстрорежущей стали / К. В. Гузашвили, А. А. Мухамедов, У. Ш. Инагамов // Техника и технологии машиностроения : мат-лы V междунар. студенч. науч.-практ. конф. — Омск : Изд-во: Омского гос. техн. ун-та, 2016. — С. 102–104.

9. Лапшин, В. П. Об одном частном случае синтеза системы управления процессом обработки металлов точением / В. П. Лапшин, Т. С. Бабенко, В. В. Христофорова // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2017. — Т. 17, № 1 (88). — С. 75–84.

10. Лапшин, В. П. Влияние свойств сервопривода шпинделя на динамику сверления глубоких отверстий малого диаметра / В. П. Лапшин, И. А. Туркин // Вестник Дон. гос. техн. ун-та. — 2013. — Т. 13, № 5/6 (74). — С. 125–130.

11. Lapshin, V. P. Dynamic influence of the spindle servo drive on the drilling of deep narrow holes / V. P. Lapshin // Russian Engineering Research. — 2015. — Т. 35, № 10. — С. 795–797.