

УДК 621.941.04

В.С. Гусарев, канд. техн. наук, доц.,
Ю.В. Яровой, инженер,
Одес. нац. политехн. ун-т

ИССЛЕДОВАНИЕ УДЕЛЬНОЙ РАБОТЫ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ

В.С. Гусарев, Ю.В. Яровой. Дослідження питомої роботи формоутворення при точінні. Розглянуто критерій “питома робота формоутворення”. На основі токарної обробки виконано дослідження залежності питомої роботи від режимів формоутворення та геометрії різального інструменту.

В.С. Гусарев, Ю.В. Яровой. Исследование удельной работы формообразования при точении. Рассмотрен критерий “удельная работа формообразования”. На основе токарной обработки выполнены исследования зависимости удельной работы от режимов формообразования и геометрии режущего инструмента.

V.S. Gusarev, Yu.V. Yarovoy. Research of specific work of formation in turning. A criterion “specific work of formation” is considered. The research of dependence of specific work of formation upon formation modes and cutting-tool geometry in turning is carried out.

Различные энергетические критерии процессов обработки металлов заслуживают пристального внимания современных исследователей. Первым энергетические критерии исследовал В.В. Швец, который установил, что удельная энергоёмкость является характерным показателем известных процессов: литья, обработки давлением и резанием, электрофизической и электрохимической обработки. Он также показал, что чем меньше площадь сечения срезаемого слоя, тем выше расход энергии [1].

В работах по исследованию удельной работы формообразования показано, что оптимизация условий обработки по удельной работе формообразования позволяет уменьшить энергозатраты на 20...30 % без снижения производительности. Однако при этом не указывается, какие параметры процесса резания необходимо варьировать [2, 3].

Удельная работа формообразования при обработке металлов резанием представляет собой энергетические затраты в единичном объеме удаляемого материала, т.е.

$$e = \frac{N_e}{stv}, \quad (1)$$

где e — удельная работа формообразования (энергоёмкость);

N_e — мощность резания;

s — подача;

t — глубина резания;

v — скорость резания.

Если мощность резания представить в виде зависимости от режимов резания и параметров режущего инструмента, то выражение (1) приводится к целевой функции $e \rightarrow \min$, содержащей в качестве аргументов управляемые факторы.

Выражение для мощности резания можно записать в виде [4]

$$N_e = \frac{P_z v}{1020 \cdot 60} = C_1 P_z v, \quad (2)$$

где P_z — тангенциальная составляющая силы резания;

C_1 — постоянная.

Как правило, тангенциальную составляющую силы резания рекомендуется определять по эмпирической формуле [4]

$$P_z = 10 C_p t^x s^y v^n K_p, \quad (3)$$

где C_p — постоянная, зависящая от материала обрабатываемой поверхности;

K_p — поправочный коэффициент, учитывающий влияние геометрических параметров режущего инструмента;

x, y, n — показатели степени.

Постоянная C_p , а также показатели степени x, y, n для конкретных условий обработки приведены в литературе [4, 5].

Подставляя значения тангенциальной силы резания (3) в выражение мощности резания (2), получим

$$N_e = 10 C_1 C_p t^x s^y v^n K_p = C_2 t^x s^y v^{n+1} K_p. \quad (4)$$

В выражении (4) мощность резания зависит от режимов формообразования. Тогда удельная работа формообразования может быть определена как

$$e = \frac{10^6 C_2 t^x s^y v^{n+1} K_p}{stv} = C_3 t^{x-1} s^{y-1} v^n K_p. \quad (5)$$

В полученном выражении (5) удельная работа формообразования представлена как целевая функция, которая зависит от режимов и условий резания. Данное выражение позволяет провести анализ зависимости удельной работы от режимов резания и определить, какой из параметров оказывает большее влияние.

Выполним математическое моделирование и построим графические зависимости удельной работы формообразования от подачи, глубины и скорости резания, а также главного угла в плане и радиуса закругления при вершине. Математическое моделирование выполним для черного, полуметаллического, чистового и отделочного этапов обработки наружных цилиндрических поверхностей диаметром 50 мм, длиной 100 мм из стали 45 и 40Х. Моделирование проведем для инструмента из быстрорежущей стали марки Р6М5 и твердого сплава Т15К6.

Для обработки наружных цилиндрических поверхностей на токарном оборудовании выражения для определения удельной работы формообразования будут иметь вид

$$e = 27990 s^{-0,25} v^{-0,15} K_p; \quad (6)$$

$$e = 40550 s^{-0,25} v^{-0,15} K_p; \quad (7)$$

$$e = 41980 s^{-0,25} v^{-0,15} K_p; \quad (8)$$

$$e = 60820 s^{-0,25} v^{-0,15} K_p. \quad (9)$$

Выражения (6) и (7) описывают процесс обработки стали 45 и 40Х быстрорежущим инструментом, а выражения (8) и (9) — твердосплавным инструментом. Анализируя полученные выражения, заметим, что глубина резания не присутствует в формулах расчета удельной работы формообразования. Следовательно, она не должна влиять на изменение удельной работы резания.

Анализ полученных расчетных зависимостей показывает, что наибольшее влияние из режимов резания на удельную работу при точении наружных цилиндрических поверхностей оказывает подача, независимо от этапа обработки (рисунки 1...4). С уменьшением подачи проис-

ходит резкое увеличение удельной работы формообразования, связанное с изменением способа снятия стружки (рис. 1).

Зависимость удельной работы формообразования от скорости резания имеет практически линейный характер. С увеличением скорости резания удельная работа формообразования уменьшается. Изменение скорости резания существенно не влияет на величину удельной работы. Варьируя скорость резания в интервале от 100 до 200 м/мин, можно добиться уменьшения удельной работы на 2...5 % (рис. 2).

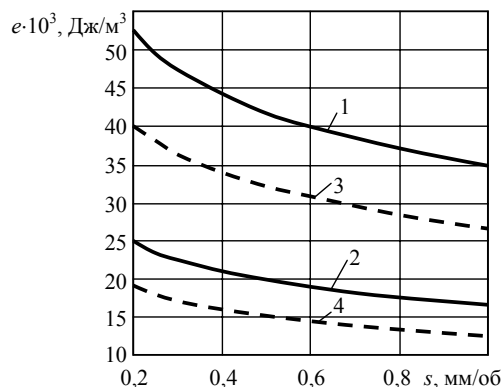


Рис. 1. Зависимость удельной работы резания от подачи при точении сталей резцами из быстрорежущей стали и твердого сплава ($t = 2$ мм, $v = 100$ м/мин): 1 — сталь 40X, T15K6; 2 — сталь 45, T15K6; 3 — сталь 40X, P6M5; 4 — сталь 45, P6M5

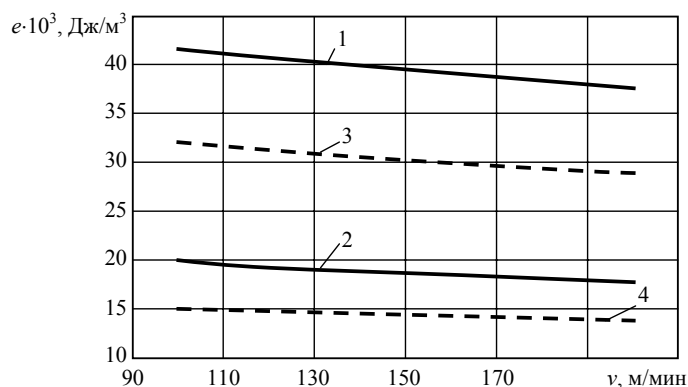


Рис. 2. Зависимость удельной работы резания от скорости резания при точении сталей резцами из быстрорежущей стали и твердого сплава ($t = 2$ мм, $s = 0,5$ мм/об): 1 — сталь 40X, T15K6; 2 — сталь 45, T15K6; 3 — сталь 40X, P6M5; 4 — сталь 45, P6M5

Зависимость удельной работы формообразования от глубины резания имеет линейный характер. При постоянной подаче и скорости резания варьирование глубины резания не приводит к изменению удельной работы резания (рис. 3). Следовательно, глубина резания не является тем параметром, который позволит сократить удельную работу формообразования.

Кроме режимов резания при обработке металлов к изменению удельной работы формообразования приводит и изменение геометрии режущего инструмента: главного угла в плане ϕ и радиуса закругления r при вершине резца [5].

Анализируя полученные расчетные зависимости, следует отметить, что минимальная удельная работа формообразования достигается при работе инструментом с главным углом в плане 45...75 градусов (рис. 4). Поэтому зависимостью удельной работы формообразования от главного угла в плане можно пренебречь, так как изменение величины угла в указанном диапазоне приводит к изменению удельной работы на 2 %.

Анализ зависимости удельной работы формообразования от радиуса закругления при вершине резца показывает, что с увеличением радиуса удельная работа возрастает (рис. 5). Таким образом, использование проходных токарных резцов, оснащенных круглыми твердосплавными пластинами, энергетически невыгодно. Анализ режущего инструмента, выпускаемого инструментальными заводами, показывает, что радиус закругления при вершине резца лежит в преде-

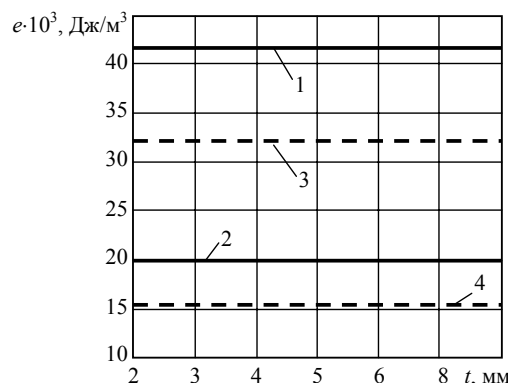


Рис. 3. Зависимость удельной работы резания от глубины резания при точении сталей резцами из быстрорежущей стали и твердого сплава ($v = 100$ м/мин, $s = 0,5$ мм/об): 1 — сталь 40X, T15K6; 2 — сталь 45, T15K6; 3 — сталь 40X, P6M5; 4 — сталь 45, P6M5

лах 0,5...1 мм. Следовательно, зависимость удельной работы формообразования от радиуса закругления при вершине резца можно не учитывать, так как изменение удельной работы составляет 5 %. Полученный интервал радиуса закругления при вершине резца совпадает с общепринятыми рекомендациями [4, 5].

При обработке углеродистой и хромистой стали резцы с режущей частью из твердого сплава позволяют получить большие значения удельной работы резания, чем резцы из быстрорежущей стали. Применение твердых сплавов позволяет осуществлять обработку на более производительных режимах, используя которые возможно обеспечить минимальное значение удельной работы формообразования.

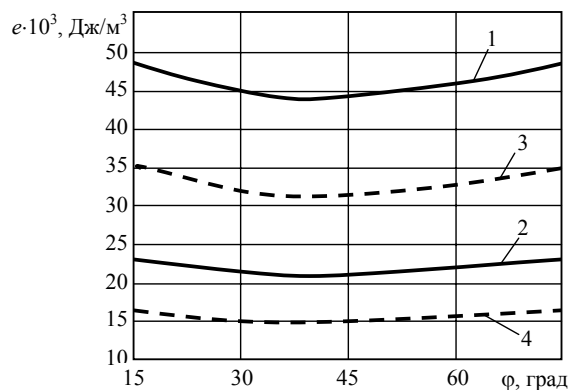


Рис. 4. Зависимость удельной работы резания от главного угла в плане подачи при точении сталей на черновом и получистовом этапе обработки ($t = 2$ мм, $v = 100$ м/мин, $s = 0,5$ мм/об): 1 — сталь 40X, T15K6; 2 — сталь 45, T15K6; 3 — сталь 40X, P6M5; 4 — сталь 45, P6M5

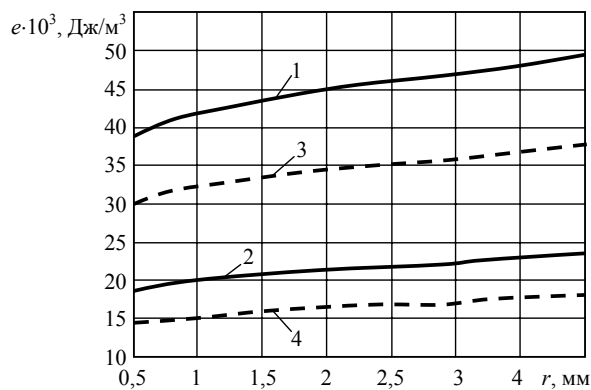


Рис. 5. Зависимость удельной работы резания от радиуса закругления резца при точении сталей на черновой и получистовой этап обработки ($t = 2$ мм, $v = 100$ м/мин, $s = 0,5$ мм/об): 1 — сталь 40X, T15K6; 2 — сталь 45, T15K6; 3 — сталь 40X, P6M5; 4 — сталь 45, P6M5

С увеличением подачи и скорости резания удельная работа формообразования уменьшается, поскольку увеличивается объем снимаемого материала. Основываясь на полученных графических зависимостях, можно сделать следующие выводы: во-первых, обработку необходимо вести с максимально возможной подачей и скоростью резания; во-вторых, главный угол в плане должен лежать в пределах 45...75 градусов; в-третьих, радиус закругления вершины резца должен быть 0,5...1 мм.

Литература

1. Швец, В.В. Некоторые вопросы теории технологии машиностроения / В.В. Швец. — М.: Машиностроение, 1967. — 63 с.
2. Старков, В.К. Обработка резанием. Управление стабильностью и качеством в автоматизированном производстве / В.К. Старков. — М.: Машиностроение, 1989. — 296 с.
3. Остафьев, В.А. Диагностика процесса металлообработки / В.А. Остафьев, В.С. Антонюк, Г.С. Тымчик. — К.: Техника, 1991. — 152 с.
4. Дальский, А.М. Справочник технолога-машиностроителя. В 2 т. Т.2 / Под ред. А.М. Дальского, и др. — М.: Машиностроение-1, 2001. — 944 с.
5. Грановский, Г.И. Резание металлов / Г.И. Грановский, В.Г. Грановский. — М.: Высш. шк., 1985. — 304 с.

Рецензент д-р техн. наук, проф. Одес. нац. политехн. ун-та Ларшин В.П.

Поступила в редакцию 16 апреля 2010 г.