



УДК 621.715.2

DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).8-12

П. К. Сопин

Севастопольский государственный университет, г. Севастополь, Российская Федерация

Дата поступления: 10 сентября 2019 г.

ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ГЕОМЕТРИИ РЕЖУЩЕЙ ЧАСТИ ОДНОЗУБОЙ ФРЕЗЫ НА ЕЕ РЕЖУЩИЕ СВОЙСТВА

Аннотация. Механическая обработка различных сталей редко обходится без применения операций резания и неразрывно связана с применяемым режущим инструментом. Операции формирования отверстий в стальных заготовках широко распространены в практике машиностроения. Вопросы анализа и исследования процессов резания различных конструкционных материалов и режущего инструмента с целью получения поверхностей с заданными параметрами точности и шероховатости всегда будут актуальны. При выполнении операции резания при обработке отверстия до 70 % (иногда и больше) технологического времени занимает настройка, включающая крепление заготовки, инструмента, выверка их взаимного положения и настройка режимов резания. При этом сам процесс резания занимает существенно меньше времени. Это сочетание времени является важным фактором сокращения времени выполнения операции и в конечном итоге снижения её стоимости. Одним из путей решения этих задач может быть применение легко перенастраиваемого режущего инструмента, а оснащение его режущей части твердым сплавом повысит как его универсальность по отношению к возможным обрабатываемым материалам, так и его стойкость. В статье рассмотрена геометрия режущей части однозубой фрезы. На основе анализа геометрии режущей части инструмента выделены факторы, влияющие на стойкость инструмента, поставлен численный эксперимент по оценке сил резания для рекомендованных режимов резания при обработке сталей низкоуглеродистых обыкновенного качества и легированных хромистых сталей. Даны рекомендации по формированию углов заточки режущих кромок инструмента, оснащенного твердым сплавом.

Ключевые слова: геометрия режущей кромки, фреза, сила резания, режимы резания, отверстие, лезвийный инструмент, операция резания, твердый сплав, трение, механическая обработка стали, затылованный инструмент, точность размера отверстия, выкраивание режущей кромки инструмента, стойкость инструмента, жесткость инструмента, вибрация инструмента.

P. K. Sopin

Sevastopol State University, Sevastopol, the Russian Federation

Received: September 10, 2019

THE STUDY OF THE IMPACT OF THE SINGLE-POINT MILL CUTTING UNIT GEOMETRY ON ITS CUTTING PROPERTIES

Abstract. The machining of various steels rarely dispenses with the use of cutting operations and is inextricably linked to the cutting tool used. The operations of forming holes in steel billets are widespread in the practice of mechanical engineering. Problems of analysis and research of the cutting processes of various structural materials and cutting tools in order to obtain surfaces with specified accuracy and roughness parameters will always be relevant. When performing a cutting operation when machining a hole, up to 70% (sometimes more) of processing time is taken up by setting, which includes fixing the workpiece, tool, verifying their relative position and adjusting cutting conditions. With that, the cutting process itself takes significantly less time. This combination is an important factor in reducing the time it takes to complete an operation and ultimately reducing its cost. One of the ways to solve these problems can be the use of an easily reconfigurable cutting tool, and equipping its cutting part with a hard alloy will increase both its versatility with respect to possible processed materials and its durability. The article discusses the cutting geometry of a single-point mill. Based on the analysis of the geometry of the cutting part of the tool, factors affecting tool life were identified, a numerical experiment was made to evaluate cutting forces for recommended cutting conditions when machining low-carbon ordinary quality steels and alloyed chromium steels. Recommendations are given on the formation of sharpening angles of the cutting edges of a tool equipped with a hard alloy.

Keywords: cutting edge geometry, mill, cutting force, cutting conditions, hole, blade tool, cutting operation, carbide, friction, steel machining, backed-off tool, hole size accuracy, chipping of the tool cutting edge, tool life, tool stiffness, tool vibration.

Введение

В практике металлообработки относительно часто встречается задача формирования отверстий невысокой точности размера (12–14 квалитет) диаметром 20–90 мм в тонколистовом материале (0,5–3 мм) из сталей низкоуглеродистых обыкновенного качества (Сталь 3 ГОСТ 19903-2015) и

легированных хромистых сталей (18ХН3А ГОСТ 5582-75) в условиях ремонтного или единичного производства [1–3].

Использование традиционного нормализованного лезвийного инструмента, например, спирального сверла [4–6] для решения такой задачи затруднительно, так как связано с его переточкой



– формированием режущей кромки сложной геометрической формы. Также высока вероятность «подрыва» материала при использовании такого инструмента; не всегда удастся подобрать инструмент нужного диаметра; при формировании режущей кромки сверла большого диаметра для таких отверстий существенно увеличивается расход инструментального материала.

Основная часть

Формирование такой группы отверстий в стальном листе с минимальной настройкой станка и инструмента позволяет выполнить однозубая фреза (рис. 1), оснащенная твердосплавной пластиной [7, 8] (обиходное название – «балеринка»).



Рис. 1. Однозубая фреза в сборе



Рис. 2. Траверса однозубой фрезы с режущим лезвием

Конструктивно фреза предназначена для работы с ручным механизированным инструментом, но может применяться и на металлорежущем оборудовании (станки сверлильной и фрезерной группы). Однако при серийном производстве фрезы для широкого потребителя наблюдается нарушение геометрии режущей кромки [2, 9, 10], что в сочетании с нежестким креплением инструмента и заготовки затрудняет выполнение операции сверления и часто приводит к поломке режущей части инструмента.

В качестве основных факторов, влияющих на выполнение операции резания, можно рассматривать следующие:

- геометрия режущих кромок;
- режимы резания;
- силы резания при выполнении операции;
- жесткость конструкции инструмента [11, 12].

Рассмотрим геометрию режущей кромки траверсы серийно выпускаемого инструмента (рис. 2, 3). Главный угол в плане $\varphi = 0^\circ$ вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 45^\circ$; главный задний угол $\alpha = 3^\circ$; вспомогательный задний угол $\alpha_1 = 5^\circ$; передний угол $\gamma = 0^\circ$; радиус при вершине $r = 0,1$ мм.

По характеру работы инструмента главный угол в плане φ следует увеличить до $\varphi = 92-95^\circ$, чтобы исключить трение по главной задней поверхности инструмента по мере его заглубления в формируемое отверстие [13, 14]. Главный задний угол целесообразно сохранить $\alpha = 3^\circ$, но главную заднюю поверхность выполнить затылованной, что уменьшит (или исключит) трение по вспомогательной задней поверхности при формировании малых диаметров отверстий в заготовке. Радиус при вершине инструмента в пределах 0,1–0,3 мм не окажет существенного влияния на деформацию срезаемого слоя, а значит и на увеличение силы резания и температуру в зоне резания [15–17].

Влияние на процесс резания вспомогательного угла в плане и вспомогательного заднего угла будем оценивать по изменению силы резания на указанном интервале диаметров отверстий. Как известно, задние углы оказывают существенное влияние на износ инструмента и тепловыделение в зоне резания [14, 16]. Поэтому вспомогательный задний угол примем максимально рекомендуемым – $\alpha_1 = 10^\circ$ [18, 19]. Принятое значение вспомогательного заднего угла уменьшит трение по вспомогательной задней поверхности инструмента, вероятность возникновения вибраций, увеличит стойкость инструмента (рис. 4).

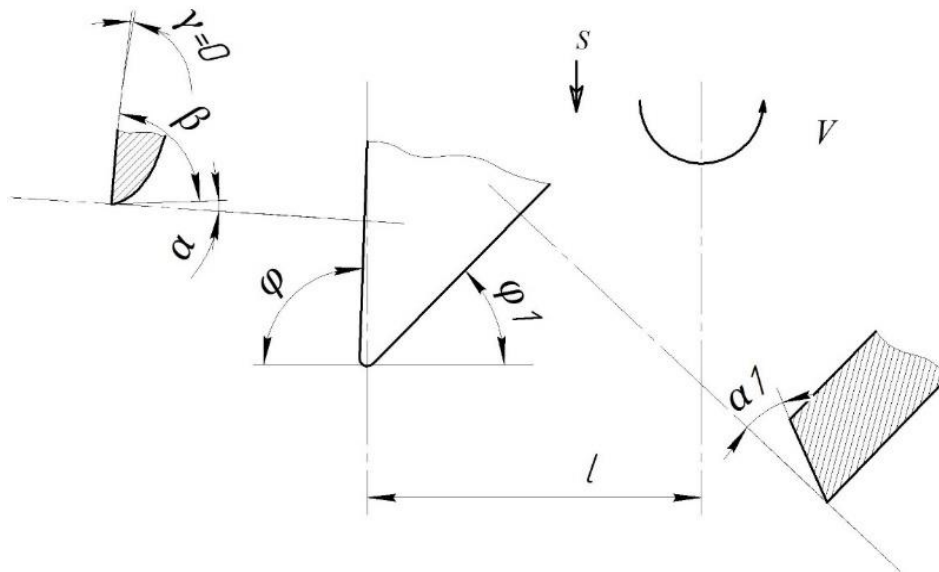


Рис. 3. Геометрия режущей части траверсы:

γ – передний угол; α – главный задний угол; β – угол заострения; ϕ – главный угол в плане; ϕ_1 – вспомогательный угол в плане; α_1 – вспомогательный задний угол; V – скорость резания; S – величина подачи; l – плечо траверсы

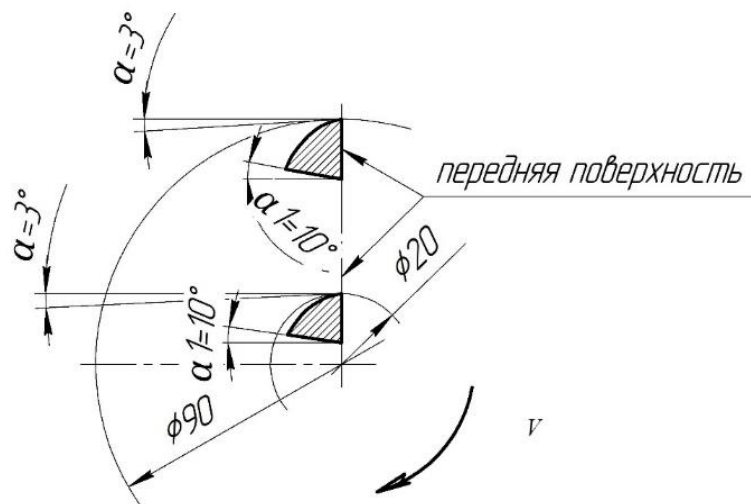


Рис. 4. Схема расположения режущего элемента в процессе резания относительно поверхности формируемого отверстия

Расчетная часть

Режимы резания будем рассматривать традиционные по рекомендациям [20-22] для обработки сталей низкоуглеродистых обыкновенного качества и легированных хромистых сталей. Для этой группы материалов рекомендуются определенные режимы резания.

1. Низкоуглеродистые стали:

- для \varnothing 20 мм – $V = 37$ м/мин. (500 об/мин), $S = 0,1$ мм/об, $t = 3$ мм;
- для \varnothing 90 мм – $V = 66$ м/мин. (230 об/мин), $S = 0,3$ мм/об, $t = 3$ мм;

2. Легированные сталей:

- для \varnothing 20 мм – $V = 116$ м/мин. (1 500 об/мин), $S = 0,1$ мм/об, $t = 3$ мм;
- для \varnothing 90 мм – $V = 163$ м/мин. (500 об/мин), $S = 0,3$ мм/об, $t = 3$ мм.

Оценка величины силы резания выполнялась по известной в теории резания зависимости [17]:

$$P = C_p \times B \times S^{y_p} \times t^{x_p} \times z \times D^{-q_p}; \quad (1)$$

где $C_p = 51,41$ – безразмерный коэффициент; $y_p = 0,65$; $x_p = 0,83$; $q_p = -0,83$ – показатели степени; B – ширина срезаемого слоя, находящаяся в размерной зависимости от глубины резания, мм; S – режимный параметр, величина подачи, мм/об; t – режимный параметр, глубина резания, мм;



$z = 1$ – число режущих кромок; D – диаметр формируемого отверстия, мм.

Замечания

Следует заметить, что площадь контакта передней поверхности режущего лезвия инструмента с обрабатываемым материалом находится в размерной зависимости с глубиной резания, величиной подачи и шириной срезаемого слоя, причем на каждом обороте глубина резания и ширина срезаемого слоя увеличиваются, что приводит к росту силы резания. Снижение значений силы резания возможно путем увеличения вспомогательного угла в плане ϕ_1 , но это приведет к уменьшению тела фрезы в зоне резания и ухудшению теплоотвода, прочностных характеристик, снижению стойкости инструмента. В связи с этим был поставлен численный эксперимент с изменением плеча траверсы в пределах $l = 20\text{--}90$ мм и вспомогательного угла в плане в пределах $\phi_1 = 30\text{--}60^\circ$.

Численный эксперимент, поставленный с использованием программного обеспечения Microsoft Office Excel, показал, что для указанных

режимов резания, область наибольших сил резания лежит в интервале 19,5–23,1 Н для $l_{\max} = 45$ мм, и в интервале 39,3–68,1 Н для $l_{\min} = 10$ мм при изменении вспомогательного угла в плане в пределах $\phi_1 = 30\text{--}60^\circ$. По мере погружения режущего лезвия инструмента в обрабатываемый материал и изменения его геометрии в указанных границах, силы резания меняются в более широком интервале 0,5–68,1 Н.

Заключение

Приведенные результаты численного эксперимента показывают, что нагрузки на режущий элемент инструмента существенно меньше предела прочности инструментального материала (для твердого сплава ВК8 – $[\sigma] = 1\,600$ Н/мм²). Однако в практике механообработки выкрашивание режущей кромки такого инструмента встречается часто, что, вероятно, связано с недостаточной жесткостью инструмента и фиксации заготовки в зоне обработки. Оценка влияния этих факторов на процесс обработки требует дополнительных исследований.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Черепакхин А.Л. Технология обработки материалов М. : Академия, 2015. 272 с.
2. Иноземцев Г.Г. Проектирование металлорежущих инструментов. М. : Машиностроение, 1984. 272 с.
3. Розенберг Ю.А. Резание материалов : учебник для техн. вузов. Курган : Зауралье, 2007. 282 с.
4. Солоненко В.Г., Рыжкин А.А. Резание металлов и режущие инструменты : учеб. пособие. М. : ИНФРА-М, 2018. 415 с. URL: <http://znanium.com/catalog/product/927480>. (Дата обращения 18.05.2019).
5. Верещак А.С., Кушнер В.С. Резание материалов : учеб. для техн. вузов. М. : Высшая школа, 2002. 400 с.
6. Харченко А.О. Металлообрабатывающие станки и оборудование машиностроительных производств : учеб. пособие. М. : Вузовский учебник ; ИНФРА-М, 2015. 260 с.
7. Артамонов Е.В. Прочность и работоспособность сменных твердосплавных пластин сборных режущих инструментов Тюмень : Изд-во ТюмГНГУ, 2003. 192 с.
8. Розенберг Ю.А. Методы аналитического определения степени деформации металла стружки при резании // Вестн. машиностроения. 2001. № 3. С. 34–38.
9. Братан С.М., Новиков П.А., Сидоров Д.Е. Теория резания. Севастополь : Изд-во СевНТУ, 2010. 248 с.
10. Полетика М.Ф. Теория резания: в 2 ч. Ч. 1. Механика процесса резания. Томск : Изд-во ТПУ, 2001. 202 с.
11. Ящерицин П.И., Фельдштейн Е.Э., Корниевич М.А. Теория резания. Минск : Новое знание, 2006. 512 с.
12. Основы теории резания материалов / под общ. ред. Н.П. Мазура, А.И. Грабченко. Харьков : НТУ ХПИ, 2013. 534 с.
13. Крагельский И.В. Трение и износ. М. : Машиностроение, 1968. 480 с.
14. Лолодзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М. : Машиностроение, 1982. 320 с.
15. Внуков Ю.Н. Саржинская А.Г. Методика теоретического определения составляющих сил резания при токарной обработке // Резание и инструмент в технологических системах : сб. тр. междунар. науч.-техн. конф. Харьков : НТУ ХПИ, 2008. Вып. 75. С. 63–76.
16. Резников А.Н., Резников Л.А. Тепловые процессы в технологических системах : учебник для вузов. М. : Машиностроение, 1990. 288 с.
17. Results of the complex studies of microstructural, physical and mechanical properties of engineering materials using innovative methods / V.I. Shastin et al. // International Journal of Applied Engineering Research. 2017. Т. 12. № 24. С. 15269–15272.
18. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. М. : Высш. шк., 1985. 304 с.
19. Железнов Г.С. Определение сил, действующих на заднюю поверхность режущего инструмента // СТИН. 1999. № 12. С. 25–26.
20. Режимы резания металлов : справочник / под ред. Ю.В. Барановского. М. : Машиностроение, 1972. 408 с.
21. Справочник технолога-машиностроителя / А.М. Дальский и др. Т. 2. М. : Машиностроение-1, 2003. 944 с.
22. Каргапольцев С.К. Остаточные деформации при фрезеровании мало жестких деталей с подкреплением. Научный редактор А.И. Промптов. Иркутск, 1999.

REFERENCES

1. Cherepakhin A.L. Tekhnologiya obrabotki materialov: uchebnik [Technology of material processing: a textbook]. FSI FIRO Publ., 5th ed., ster., 2015. 272 p.



2. Inozemtsev G.G. Proektirovanie metallorezhushchikh instrumentov [Design of metal cutting tools]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1984. 272 p.
3. Rozenberg Yu.A. Rezanie materialov: uchebnik dlya tekhn. vuzov [Cutting materials: a textbook for tech. universities]. Kurgan: Zaural'e Publ., 2007. 282 p.
4. Solonenko V.G., Ryzhkin A.A. Rezanie metallov i rezhushchie instrumenty: ucheb. posobie [Metal cutting and cutting tools: a textbook]. Moscow: INFRA-M Publ., 2018. 415 p. Access date: <http://znanium.com/catalog/product/927480>
5. Vereshchaka A.S., Kushner V.S. Rezanie materialov: ucheb. dlya tekhn. vuzov [Cutting materials: textbook. for tech. universities]. Moscow: Vysshaya shkola Publ., 2002. 400 p.
6. Kharchenko A.O. Metalloobratyvyayushchie stanki i oborudovanie mashinostroitel'nykh proizvodstv: ucheb. posobie [Metalworking machines and equipment of machine-building industries: a textbook]. Moscow: Vuzovskii uchebnik: INFRA-M Publ., 2015. 260 p.
7. Artamonov E.V. Prochnost' i rabotosposobnost' smennykh tverdospлавnykh plastin sbornykh rezhushchikh instrumentov [Strength and performance of replaceable carbide inserts of precast cutting tools]. Tyumen': TyumGNGU Publ., 2003. 192 p.
8. Rozenberg Yu.A. Metody analiticheskogo opredeleniya stepeni deformatsii metalla struzhki pri rezanii [Methods of analytical determination of the degree of deformation of metal chips during cutting]. *Vestnik mashinostroeniya [The bulletin of mechanical engineering]*, 2001. No. 3. Pp. 34-38.
9. Bratan S.M., Novikov P.A., Sidorov D.E. Teoriya rezaniya. Praktikum: uchebnoe posobie [Theory of cutting. Workshop: a textbook]. Sevastopol': SevNTU Publ., 2010. 248 p. il.
10. Poletika M.F. Teoriya rezaniya. V 2 ch. Ch. 1. Mekhanika protsessa rezaniya [Theory of cutting. In 2 parts. P. 1. The mechanics of the cutting process]. Tomsk: TPU Publ., 2001. 202 p.
11. Yashcheritsin P.I., Fel'dshtein E.E., Kornievich M.A., Teoriya rezaniya: uchebnik [Cutting Theory: a textbook]. 2nd ed., corr. and enlarged. Minsk: Novoe znanie Publ., 2006. 512 p.
12. Mazur N. P., Vnukov Yu. N., Grabchenko A. I., Dobroskok V. L. et al. Osnovy teorii rezaniya materialov: uchebnik dlya vyssh. uchebn. zavedenii [Fundamentals of the theory of cutting materials: a textbook for high. education institutions]; in Mazur N.P. and Grabchenko A.I. (gen. eds.) 2nd ed., revised and enlarged. Khar'kov: NTU KhPI Publ., 2013. 534 p.
13. Kragel'skii I.V. Trenie i iznos [Friction and wear]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1968. 480 p.
14. Loladze T.N. Prochnost' i iznosostoikost' rezhushchego instrumenta [Strength and wear resistance of a cutting tool]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1982. 320 p.
15. Vnukov Yu.N., Sarzhinskaya A.G. Metodika teoreticheskogo opredeleniya sostavlyayushchikh sil rezaniya pri tokarnoi obrabotke [Methodology for the theoretical determination of the components of cutting forces during turning]. *Rezanie i instrument v tekhnologicheskikh sistemakh: Mezhdunar. nauch.-tekhn. sb. [Cutting and tooling in technological systems: Intern. scientific and technical coll.]*. Khar'kov: NTU KhPI Publ., 2008. Iss. 75. 484 p. Pp. 63-76.
16. Reznikov A.N., Reznikov L.A. Teplovye protsessy v tekhnologicheskikh sistemakh: uchebnik dlya vuzov [Thermal processes in technological systems: a textbook for higher education institutions]. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1990. 288 p.
17. Shastin V.I., Kargapol'tsev S.K., Gozbenko V.E., Livshits A.V., Filippenko N.G. Results of the complex studies of microstructural, physical and mechanical properties of engineering materials using innovative methods. *International Journal of Applied Engineering Research*. 2017. Vol. 12. No. 24. Pp. 15269-15272.
18. Granovskii G.I., Granovskii V.G. Rezanie metallov. Uchebnik [Metal cutting. A textbook]. Moscow: Vyssh. shk. Publ., 1985. 304 p.
19. Zheleznov G.S. Opredelenie sil, deistvuyushchikh na zadnyuyu poverkhnost' rezhushchego instrumenta [Determination of forces acting on the rear surface of a cutting tool]. *STIN*, 1999. No.12. Pp.25 – 26.
20. Baranovskii Yu.V. (ed.) Rezhimy rezaniya metallov. Spravochnik [Modes of metal cutting. A Handbook]. 3rd ed., revised and enlarged. Moscow: Mashinostroenie Publ., 1972. 408 p.
21. Dal'skii A.M., Kosilova A.G., Meshcheryakov R.K., Suslov A.G. et al. Spravochnik tekhnologa-mashinostroitelya [Reference technologist-machine builder.]. Vol. 2. In Dal'skii A. M., Kosilova A. G., Meshcheryakov R. K., Suslov A. G. (eds.) 5th ed., corrected. Moscow: Mashinostroenie-1 Publ., 2003, 944.
22. Kargapol'tsev S. K. Residual deformations during milling of low-rigid parts with reinforcement. Scientific editor A. I. Promptov. Irkutsk, 1999.

Информация об авторах

Authors

Сопин Павел Константинович – к. т. н., доцент кафедры «Автомобильный транспорт», ФГАОУВО «Севастопольский государственный университет», г. Севастополь, e-mail: pavel.sopin@gmail.com

Pavel Konstantinovich Sopin – Ph.D. in Engineering Science, Associate Professor of the Subdepartment of Automobile Transport, Sevastopol State University, Sevastopol, e-mail: pavel.sopin@gmail.com

Для цитирования

For citation

Сопин П. К. Исследование влияния геометрии режущей части однозубой фрезы на ее режущие свойства // Современные технологии. Системный анализ. Моделирование. – 2019. – Т. 64, № 4. – С. 8–12. – DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).8-12

Sopin P. K. Issledovaniye vliyaniya geometrii rezhushchey chasti odnozuboy frezy na yeyo rezhushchiye svoystva [The study of the impact of the single-point mill cutting unit geometry on its cutting properties]. *Sovremennyye tekhnologii. Sistemnyi analiz. Modelirovanie [Modern Technologies. System Analysis. Modeling]*, 2019. Vol. 64, No. 4, pp.8–12. DOI: 10.26731/1813-9108.2019.4(64).8-12