

МАШИНОСТРОЕНИЕ И МАШИНОВЕДЕНИЕ

УДК 621.91.02

ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ РЕЖУЩЕГО ИНСТРУМЕНТА

М.Ш. МИГРАНОВ, д-р техн. наук, А.М. МИГРАНОВ, аспирант

Уфимский государственный авиационный технический университет,
450008, Уфа, ул. К. Маркса, д. 12, e-mail: migmars@mail.ru

© Мигранов М.Ш., Мигранов А.М., 2020

Приведены результаты исследования повышения износостойкости инструмента путем геометрической адаптации формы режущего клина при механообработке точением и фрезерованием различных материалов по обрабатываемости. Подтверждена возможность повышения износостойкости режущего инструмента на 75...90 % при обеспечении и улучшении показателей качества обработанного поверхностного слоя.

Ключевые слова: трение, износ, режущий клин, геометрическая адаптация, самоорганизация, точение, фрезерование.

DOI: 10.46573/2658-5030-2020-4-5-12

ВВЕДЕНИЕ

Теория изнашивания материалов изучает явления, которые происходят на ограниченном участке поверхности трения двух тел. В результате должны быть сформулированы основные закономерности изнашивания, характеризующие элементарный акт износа. Эти закономерности должны отражать все многообразие видов взаимодействия материалов и смазки и их изменений при переменности параметров внешнего взаимодействия и внутренней эволюции трибосистемы. В силу сложности такой задачи теоретическое решение вопроса до настоящего времени уступает по надежности экспериментальным данным [1]. Вместе с тем минимизация потерь машиностроительного инструмента на трение и износ при обработке резанием путем разработки и внедрения инновационных видов смазочно-охлаждающих технологических средств, многослойных композиционных износостойких покрытий в большинстве случаев приводит по существу к обеспечению длительной сохранности обоюдоострой исходной формы режущего клина.

При обработке металлов резанием традиционно стремятся сохранить исходную форму изнашивающегося режущего инструмента, не зная при этом, является ли эта форма рациональной с точки зрения естественных процессов трения, минимизирующих износ. Многочисленными исследованиями [1–5] установлено, что образование нароста на резце при умеренных скоростях резания способствует уменьшению удельной нагрузки на режущий клин. Обработка инструментом с закругленной вершиной при прерывистом резании, а также явление перехода фаски износа по задней поверхности режущего клина на переднюю с образованием лунки также можно рассматривать как пример самоорганизации элементов системы трения и резания металлов при лезвийной обработке. Такие эффекты самоорганизации оказывают существенное влияние на износостойкость режущего инструмента (уменьшение радиального износа) и, как следствие, улучшают показатели качества поверх-

ностного слоя детали (обеспечение радиальных размеров и шероховатости обработанной поверхности). При этом в самой системе резания металлов формируется рациональный с точки зрения энергетических затрат режущий клин, дополняющий инструмент.

В значительной степени пластическая деформация обрабатываемого материала, температурно-силовые условия и контактные процессы в зоне резания зависят от формы режущего клина, что в свою очередь определяет режимы и условия резания (применение смазочно-охлаждающих технологических средств, износостойких покрытий и т.д.) и, следовательно, оказывает существенное влияние на эффективность и производительность механической обработки [2, 3]. Эта закономерность поведения по образованию устойчивых естественных геометрических форм при трении и износе породило направление по повышению износостойкости инструмента за счет геометрической адаптации режущего клина.

Работа в этом направлении актуальна по следующим причинам. Во-первых, при использовании режущих инструментов, работающих в условиях прерывистого резания (фрезерование, сверление, зенкерование, развертывание и т.д.), при существенной нестационарности (торцевое точение, точение с переменными подачами и глубинами резания на станках с ЧПУ и АдСУ и т.д.), при обдирочных и черновых операциях происходит интенсивное выкрашивание обоюдоострого режущего клина.

Во-вторых, имеет значение микроскопичность контактирующих поверхностей и переменность контактных процессов – микрорезания, условий стружкообразования и т.д.

В-третьих, необходима оптимизации по интенсивности износа режущего клина лезвийной обработки крупногабаритных деталей силовой части газотурбинных двигателей, где в процессе резания в пределах одного длительного полустогового и чистового прохода нельзя менять режущий инструмент по причине вероятного снижения показателей качества обработанного поверхностного слоя [5–7].

Целью работы является исследование влияния геометрической адаптации (предварительной подготовки) режущего клина на износостойкость инструмента и показатели качества поверхностного слоя обработанной поверхности детали для повышения эффективности лезвийной обработки резанием.

МАТЕРИАЛЫ И МЕТОДЫ

При проведении экспериментальных исследований в качестве обрабатываемых материалов были использованы следующие стали и сплавы различных групп по обрабатываемости резанием: 40X, 14X17H2, 12X18H10T, 07X16H6, 15X18H12C4TЮ, ХН73МБТЮ. При обработке резанием использовались наиболее часто применяемые марки инструментальных материалов из быстрорежущей стали: Р6М5, Р6М5К5, Р9К5; твердых сплавов группы ВК: ВК8, ВК6М, ВКЮОМ; ТК: Т15К6 и ТТК: ТТ8К6. При этом цельные резцы и твердосплавные пластины имели геометрию режущей части: передний угол $\gamma = 0^\circ$; главный задний угол $\alpha = \alpha_1 = 10^\circ$; главный угол в плане $\varphi = \varphi_1 = 45^\circ$; угол наклона главного режущего лезвия $\lambda = 0^\circ$. Использовали также концевые фрезы из быстрорежущей стали и твердосплавного материала диаметром 12 и 13 мм, торцевые фрезы диаметром 90 мм, оснащенные четырехгранными пластинами. При сверлении использовались двухленточные сверла из быстрорежущей стали марки Р6М5К5 для обработки коррозионностойких сталей диаметром 9 и 10 мм; угол при вершине сверла $2\varphi = 125^\circ$.

Резцы затачивались на универсально-заточном станке модели ЗА64Д и на станке ЗБ642 с применением алмазных кругов. Заточка осуществлялась без применения смазочно-охлаждающих жидкостей. Контроль углов режущей части инструментов осуществлялся универсальным угломером с нониусом УМ 4 с точностью до 1° .

Согласно литературным источникам [2–4] указанные марки твердых сплавов являются лучшими по износостойкости и производительности обработки в зоне оптимальных и близких к экономическим скоростям резания (для условий чистового и получистового точения). Для обеспечения идентичности экспериментальных исследований производился отбор режущего инструмента по результатам износостойкостных испытаний и предварительной сортировки по величине термоэлектродвижущей силы при резании согласно методикам [3, 5].

При точении и фрезеровании использовались заготовки из одной партии материалов, одинаковых марок. В частности, при точении использовались заготовки диаметром 70...120 мм и длиной 300...400 мм, предварительно обточенные и зацентрованные с обеих сторон.

Износостойкость режущего инструмента оценивалась по величине износа по задней поверхности h_3 (мм) и периоду стойкости T (мин). Ширина фаски износа по задней поверхности (h_3) измерялась отсчетным микроскопом МИР-2М, оснащенным насадкой МОВ-15 точностью до 0,002 мм. Достоверность результатов экспериментов обеспечивалась согласно рекомендациям [3, 4] четырехкратным повтором опытов при отклонении не более 8 %.

РЕЗУЛЬТАТЫ ИССЛЕДОВАНИЯ

Экспериментальные данные по износу задней поверхности и периоду стойкости режущих инструментов получены путем непосредственного наблюдения и измерения зон износа на резцах и фрезях. Вместе с тем, как показали предварительные натурные эксперименты при получистовом и чистовом резании и анализ литературных данных [1, 2, 4], определяющим элементом качества обработанной поверхности по шероховатости, остаточным напряжениям на поверхностном слое и в целом износостойкости режущего инструмента является фаска износа по его задней поверхности. Известно [4–6], что наименьшей изменчивостью результатов измерения характеризуется средний износ задней поверхности вдоль главной режущей кромки или профиль износа задней поверхности. Величина этого параметра при постоянных значениях переднего и заднего углов режущего клина отражает размерную износостойкость инструмента. При этом строго соблюдалось постоянство условий заточки и доводки инструмента, радиус при вершине резца измерялся по шаблону и контролировался инструментальным микроскопом. Для экспериментальных исследований при геометрической адаптации режущего клина применялись специально заточенные резцы (по задней поверхности с фаской $f' = 30, 50$ и 100 мкм (рис. 1а); по передней поверхности с фаской $f' = 30, 50$ и 100 мкм и углом $\gamma' = 10^\circ$ (рис. 1б) и радиусом скругления вершины R' (рис. 1в) и фрезы (с дополнительной фаской по ленточке и торцевой части – рис. 2).

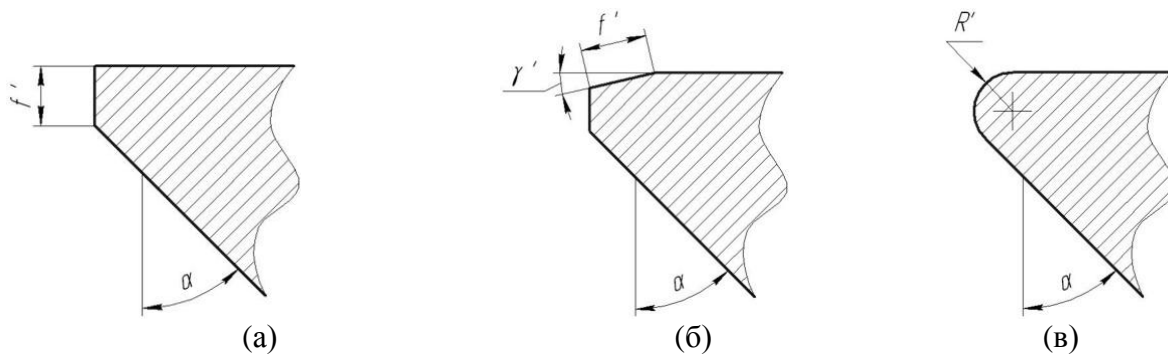


Рис. 1. Схемы резцов с геометрической адаптацией режущего клина: по задней поверхности с фаской $f' = 30, 50$ и 100 мкм (а); по передней поверхности с фаской $f' = 30, 50$ и 100 мкм и углом $\gamma' = 10^\circ$ (б); радиусом скругления вершины R' (в)

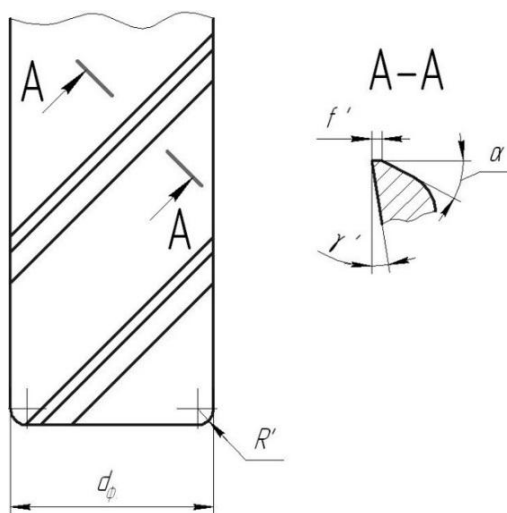


Рис. 2. Схема фрезы с геометрической адаптацией режущего клина

Натурные эксперименты при точении и фрезеровании проводились в два этапа: сначала определялась оптимальная форма (рис. 3), т.е. расположение фаски на режущем клине, а затем и размеры фасок (рис. 4). Результаты исследований износостойкости инструмента с геометрической адаптацией режущего клина приведены на рис. 3 и 4.

Результаты экспериментальных исследований износостойкости и периода стойкости режущего инструмента с различными фасками и микрофотографии поверхностей режущего инструмента представлены на рис. 5 и в таблице.

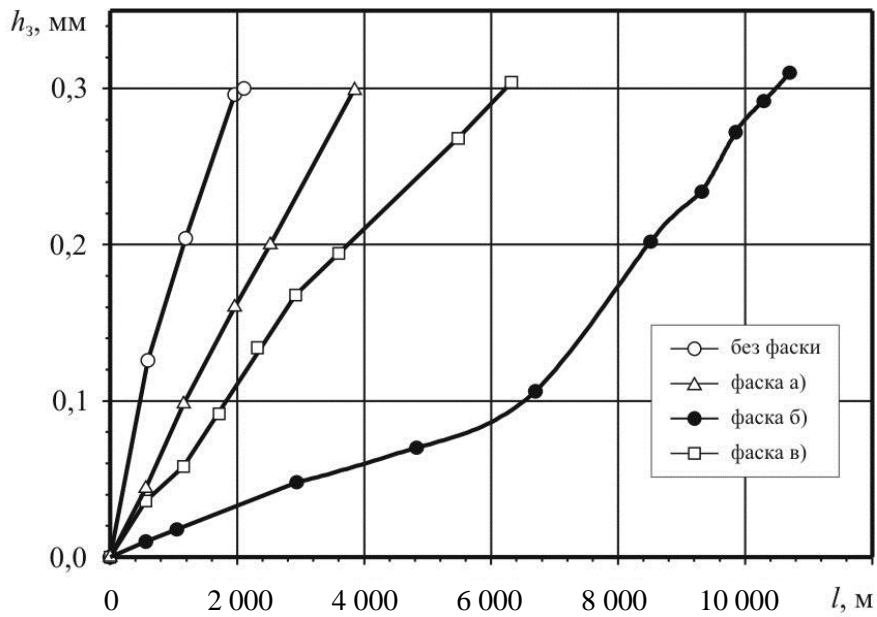


Рис. 3. Влияние длины пути резания на износ инструмента при точении стали 40Х-ТТ8К6 (скорость резания $V = 450$ м/мин; подача $S = 0,11$ мм/об; глубина резания $t = 0,5$ мм)

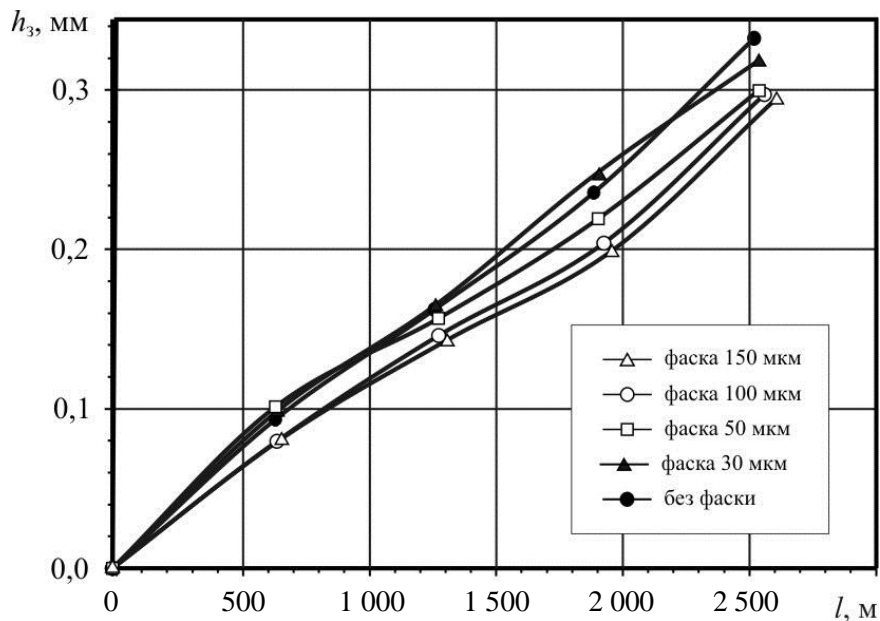


Рис. 4. Влияние длины пути резания на износ инструмента с различными фасками по передней поверхности режущего клина при точении стали 40Х-ТТ8К6 (скорость резания $V = 150$ м/мин; подача $S = 0,11$ мм/об; глубина резания $t = 0,5$ мм)

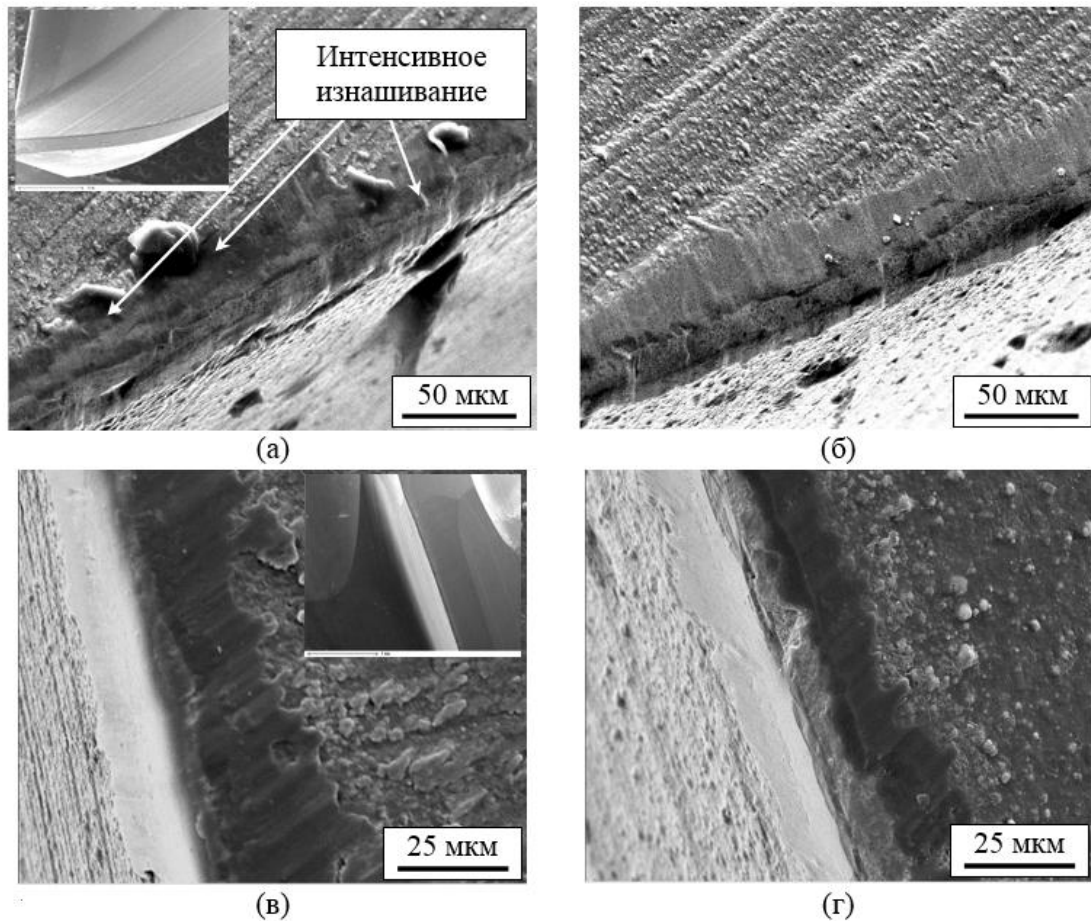


Рис. 5. Износ концевой фрезы ТТ8К6 (сталь 40Х; $l = 1\ 050$ м): передняя поверхность фрезы (а, б); задняя поверхность фрезы (в, г); фреза с фаской 50 мкм (а, в); фреза с фаской 150 мкм (б, г)

Период стойкости инструмента при точении 40Х-ТТ8К6
(скорость резания $V = 220$ м/мин; подача $S = 0,11$ мм/об; глубина резания $t = 0,5$ мм)

Величина фаски f' , мм	Прирост износа $h_3^{кр}$, мм	Длина пути резания l , м	Период стойкости T , мин
150	0,3	7 480	34
100	0,3	10 560	48
50	0,3	6 380	29
30	0,3	4 840	22
0	0,3	4 400	20

Наиболее благоприятным по износостойкости и производительности является фаска $f' = 100$ мм при этом анализ шероховатости и остаточных напряжений поверхностного слоя показал наилучшие значения.

ЗАКЛЮЧЕНИЕ

По результатам экспериментальных исследований при различных формах геометрической адаптации режущего клина установлено:

1) износостойкость режущего инструмента при точении с различными режущими клиньями выше при фаске типа (б), при этом возможно ее повышение более чем на 40 % при оптимальных режимах резания (см. табл.);

2) при высоких скоростях резания эффект от геометрической адаптации (см. рис. 3 и 4) более существенен по сравнению с низкими скоростями резания, что, вероятно, связано с изменением температурно-силовых условий резания;

3) при фрезеровании положительное влияние на износостойкость фрезы с дополнительной фаской связано с повышением прочностных характеристик режущего клина и исключением их выкрашивания, что характерно для данной операции вследствие переменного-ударной работы зубьев инструмента (см. рис. 5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Шульц В.В. Форма естественного износа деталей машин и инструмента. Л.: Машиностроение, 1990. 208 с.

2. Якубов Ф.Я., Ким В.А. Энергетика процесса самоорганизации при трении и изнашивании // *Высокие технологии в машиностроении*: сб. науч. трудов НТУ ХПИ. 2001. № 1. С. 84–92.

3. Лоладзе Т.Н. Прочность и износостойкость режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1982. 320 с.

4. Верещака А.С., Кушнер В.С. Резание материалов. М.: Высшая школа, 2009. 536 с.

5. Мигранов М.Ш. Повышение износостойкости инструментов на основе интенсификации процессов адаптации поверхностей трения при резании металлов. Уфа: Гилем, 2011. 229 с.

6. Мигранов М.Ш., Шустер Л.Ш. Пути повышения эффективности механической обработки резанием // *Технология машиностроения*. 2004. № 5. С. 19–22.

7. Migranov M.Sh., Migranov R.M. Tool coatings with the effect of adaptation to cutting conditions // *Key Engineering Materials*. 2012. V. 496. P. 75–79.

Для цитирования: Мигранов М.Ш., Мигранов А.М. Повышение износостойкости режущего инструмента // *Вестник Тверского государственного технического университета*. Серия «Технические науки». 2020. № 4 (8). С. 5–12.

INCREASING THE WEAR RESISTANCE OF THE CUTTING TOOL

M.Sh. MIGRANOV, Dr. Sc., A.M. MIGRANOV, Postgraduate

Ufa state aviation technical university, 12, K. Marx st., 450008, Ufa,
Russian Federation, e-mail: migmars@mail.ru

Results of research of increase of wear resistance of the tool by geometrical adaptation of the form of the cutting wedge at machining by cutting and milling of various materials on machinability, are given. The possibility of increasing the wear resistance of the cutting tool by 75...90 % while ensuring and improving the quality of the treated surface layer is confirmed.

Keywords: friction, wear, cutting wedge, geometric adaptation, self-organization, turning, milling.

REFERENCES

1. Shultz V.V. Forma yestestvennogo iznosa detaley mashin i instrumenta. [Form of natural wear of machine parts and tools]. Leningrad: Mashinostroyenie, 1990. 208 p.
2. Yakubov F.Ya., Kim V.A. Energy of self-organization process at friction and wear *Vysokiye tekhnologii v mashinostroyenii: sb. nauch. trudov NTU KhPI*. 2001. No. 1. Pp. 84–92. (In Russian).
3. Loladze T.N. Prochnost i iznosostoykost rezhushchego instrumenta. [Strength and wear resistance of the cutting tool]. Moscow: Mashinostroyenie, 1982. 320 p.
4. Vereshchaka A.S., Kushner V.S. Rezaniye materialov. [Cutting of materials]. Moscow: Vysshaya shkola, 2009. 536 p.
5. Migranov M.Sh. Povysheniye iznosostoykosti instrumentov na osnove intensivatsii protsessov adaptatsii poverkhnostey treniya pri rezanii metallov. [Increasing the wear resistance of tools based on the intensification of the processes of adaptation of friction surfaces when cutting metals]. Ufa: Gilem, 2011. 229 p.
6. Migranov M.Sh., Shuster L.Sh. Ways to improve the efficiency of mechanical processing by cutting. *Tekhnologiya mashinostroyeniya*. 2004. No 5, pp. 19–22. (In Russian).
7. Migranov M.Sh., Migranova R.M. Tool coatings with the effect of adaptation to cutting conditions. *Key Engineering Materials*. 2012. V. 496, pp. 75–79.

Поступила в редакцию/received: 18.07.2020; после рецензирования/ revised: 03.09.2020;
принята/accepted 05.10.2020