

ИССЛЕДОВАНИЕ ПРОЦЕССА РЕЗАНИЯ МЕТАЛЛОВ КРУГЛЫМИ САМОВРАЩАЮЩИМИСЯ РЕЗЦАМИ

Ю. Ф. Гранин

Важную роль в повышении производительности труда при обработке металлов резанием играет стойкость режущего инструмента. Улучшение режущих качеств инструментов, а следовательно, и повышение их стойкости, достигается в настоящее время путем изыскания новых износостойких и температуростойких режущих материалов и использования различных методов их дополнительной обработки, путем применения наиболее эффективных способов искусственного охлаждения инструментов в процессе резания и улучшения обрабатываемости материала деталей. Большие возможности в этом направлении представляет изыскание такой геометрии и конструкции режущих инструментов, которые уменьшали бы деформации стружки и снижали бы силы трения по режущим граням инструмента.

Таковыми инструментами являются вращающиеся резцы; первые сведения о которых относятся к началу этого столетия. Известны различные конструкции вращающихся (от дополнительного привода, например, конструкция резца системы Л. М. Ронина и А. И. Каширина) и самовращающихся (от сил трения) резцов [1—5]; однако они не нашли широкого использования в промышленности в силу ряда присущих им конструктивных недостатков и ограниченности сведений об особенностях процесса резания такими инструментами. Результаты исследований, опубликованные в работах [1], [4—6], свидетельствуют о том, что освоение и практическое применение круглых самовращающихся резцов (КСВР) при обработке металлов резанием может обеспечить резкое повышение стойкости режущего инструмента.

Для выяснения особенностей и закономерностей процесса резания металлов самовращающимися резцами, знание которых необходимо для разработки надежной конструкции резца и составления рекомендаций по его эксплуатации, были проведены исследования, описанные ниже.

Условия и методика проведения исследований

В качестве объекта исследования была принята конструкция круглого резца, предложенная В. А. Землянским¹ и описанная в работе [6]. Для проведения экспериментов были изготовлены специальные державки, допускающие установку различных углов наклона оси резца. Общий вид одной из экспериментальных державок показан на рис. 1. Материал режущей части КСВР — быстрорежущая сталь Р18,

¹ Авторское свидетельство № 107279. «Круглый резец» на имя В. А. Землянского.

закаленная до твердости $R_c = 58 - 62$. Статические, передний и задний, углы резца были приняты равными нулю. Опыты проводились на токарно-револьверном модели 1К36 и на токарно-винторезном модели 1К62 станках.

Заготовки в виде труб (сталь ШХ15) и болванки (сталь 45, сплав ЭИ437А) закреплялись в трехкулачковом патроне и подпирались задним центром. Исследование усилий резания осуществлялось с по-

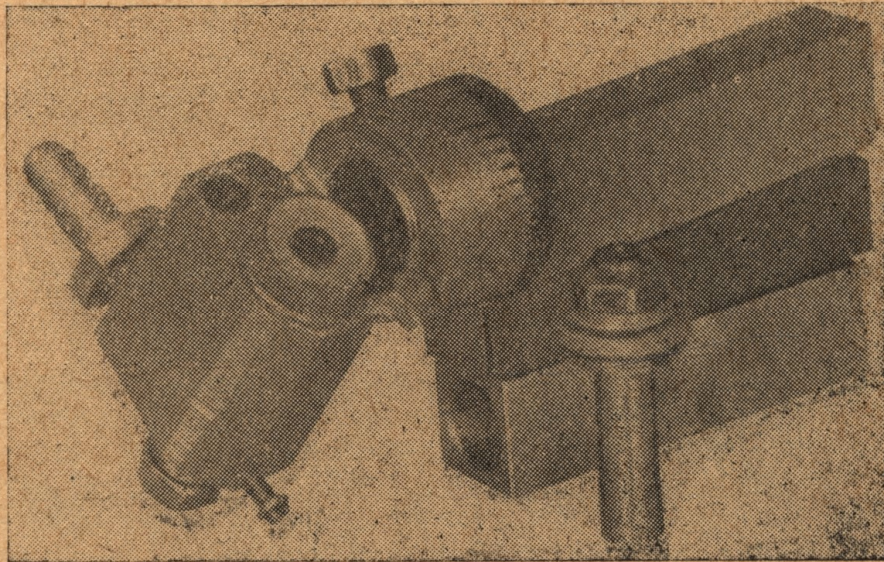


Рис. 1.

мощью трехкомпонентного токарного динамометра конструкции А. К. Балева и П. С. Манжоса.

Измерения длин стружек при определении продольной усадки производились гибкой нитью. Износ резцов замерялся на инструментальном микроскопе с точностью до $0,005$ мм. При проведении стойкостных исследований в качестве смазывающе-охлаждающей жидкости использовалась мыльная эмульсия. Жидкость от насоса станка подавалась к режущим граням резца, для охлаждения, и в полость подшипника, для смазки.

Предварительные опыты позволили установить, что определяющим износом для КСВР является износ по задней поверхности. Установлено также, что зависимость износа резца от времени резания имеет линейный характер. В связи с этим за критерий стойкости был выбран износ резца до образования фаски по задней поверхности, равной $0,5$ мм.

В работе [6] было показано, что угол наклона оси резца λ (рис. 2) влияет на устойчивость самовращения, степень снижения скоростей трения по режущим граням резца, усадку стружки и стойкость резца. Поэтому исследования процесса резания самовращающимися резцами проводились в зависимости от изменения угла наклона λ .

Необходимо отметить, что исследовались только отрицательные значения углов λ (хвостовик резца отклонен в сторону задней бабки),

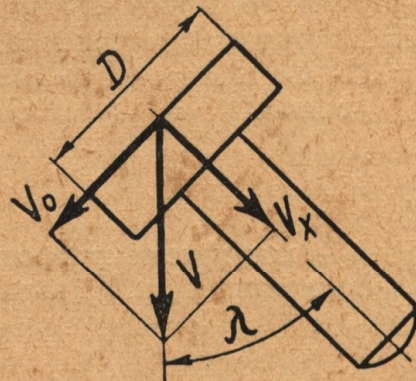


Рис. 2.

так как при резании КСВР с положительными углами наклона наблюдались явления затягивания резца в направлении подачи и рывки резца с резцедержателем, что нарушало нормальный процесс стружкообразования.

Результаты исследований

На рис. 3 показано влияние угла наклона оси резца λ на изменение окружной скорости резца V_o , скорости схода стружки V_c , ско-

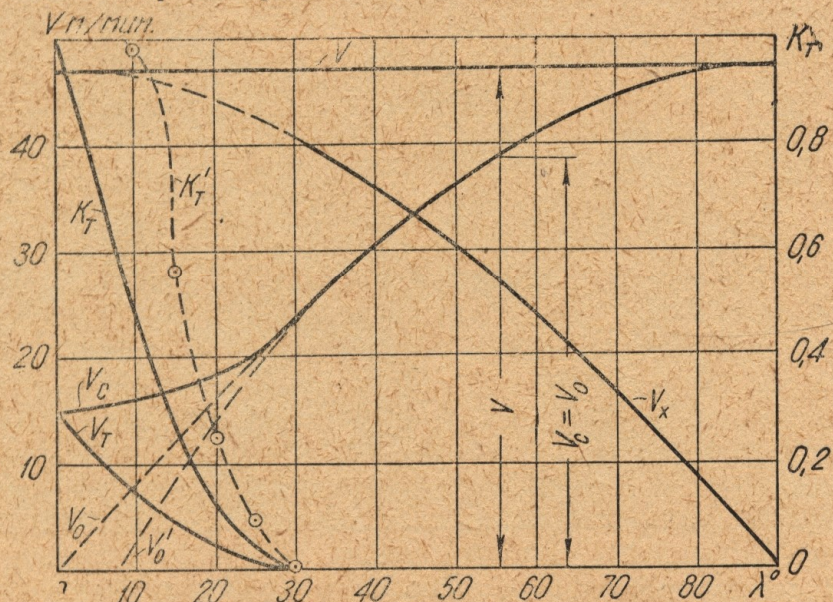


Рис. 3.

рости трения по передней грани в тангенциальном направлении V_T , скорости трения по задней поверхности V_x и коэффициента степени снижения скорости трения по передней грани K_T при точении стали ШХ15. Параметры резца и режим резания: $D=23,4$ мм, $s=0,31$ мм/об, $t=0,6$ мм и $V=47$ м/мин.

Величина V_c определялась из зависимости:

$$V_c = \frac{V}{K}, \quad (1)$$

где K — коэффициент продольной усадки стружки.

Величины V_o и V_x вычислялись по уравнениям (рис. 2):

$$V_o = V \cdot \sin \lambda \quad (2)$$

$$V_x = V \cdot \cos \lambda, \quad (3)$$

вывод которых изложен в работе [6].

Скорость трения по передней грани

$$V_T = V_c - V_o. \quad (4)$$

Величина K_T вычислялась по формуле [6]:

$$K_T = \frac{V_c - V_o}{V_c} = \frac{\tau(l - \pi D)}{\tau \cdot l} = \frac{l - \pi \cdot D}{l}, \quad (5)$$

где l — длина стружки, соответствующая одному обороту резца;

πD — длина режущей кромки;

τ — время одного оборота резца.

Для определения l на передней грани резца выполнялась радиальная канавка, кромки которой перерезали стружку при каждом обороте резца.

Из анализа представленных зависимостей видно, что устойчивое самовращение резца ($V_c = V_0$) наступает при $\lambda = 30^\circ$; трение по передней грани в тангенциальном направлении при этом и больших

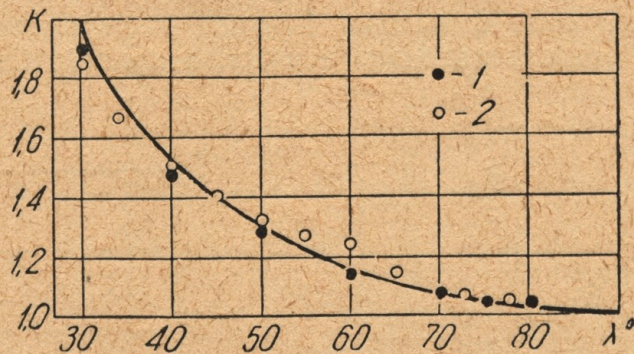


Рис. 4.

значениях λ отсутствует, $K_T = 0$, т. е. $l = \pi D$. Уменьшение угла наклона λ приводит к увеличению K_T и появлению разности $V_c - V_0 = V_T$, что свидетельствует о появлении трения скольжения между стружкой и передней гранью резца. При $K_T = 1$ резец не вращается. Если бы отсутствовало трение в опорах резца и отсутствовали бы силы трения, возникающие от усилия подачи на задней поверхности резца, то момент, при котором $K_T = 1$, наступил бы при $\lambda = 0^\circ$, и изменения V_0 , V_T и K_T в зоне углов $0 - 30^\circ$ подчинялись бы зависимостям (2), (4) и (5).

Однако эксперименты показали, что в реальных условиях при уменьшении угла λ имеет место более быстрое возрастание коэффициента K_T (кривая K_T') и что уже в зоне углов $5 - 10^\circ$ вращение резца прекращается (кривая V_0^s). При $\lambda = 0^\circ$ наблюдался даже проворот резца в обратном направлении под действием сил трения по задней поверхности резца.

В соответствии с зависимостями, представленными на рис. 3 и проверенными таким же образом на других материалах, были установлены наименьшие значения углов наклона λ , обеспечивающие устойчивое самовращение резца. Следует отметить, что в ранее предлагаемых конструкциях самовращающихся резцов [1], [4—5] углы наклона были выбраны в пределах $10 - 17^\circ$. Это не обеспечивало устойчивого самовращения режущей части, что, в свою очередь, не позволило полностью вскрыть преимущества и особенности КСВР. Дальнейшие исследования процесса резания были ограничены значениями $\lambda = 30 - 75^\circ$. При углах наклона более 75° в отдельных случаях наблюдалось нарушение нормального процесса стружкообразования: срезаемый слой не отделялся от заготовки, а навалывался на необработанную поверхность.

В зоне устойчивого самовращения резца $\lambda = 30 - 80^\circ$ в соответствии с формулами (1) и (2) должна иметь место зависимость продольной усадки стружки K от угла наклона λ (для малых глубин резания):

$$K = \frac{V}{V_c} = \frac{1}{\sin \lambda}. \quad (6)$$

На рис. 4 представлены теоретическая зависимость (2) и экспериментальные значения K для $\lambda = 30 - 80^\circ$, полученных при обработке

сталей ШХ15 (точки 1) и 45 (точки 2). Точение стали ШХ15 производилось КСВР ($D=26,2$ мм) на режиме: $s=0,56$ мм/об, $t=1,1$ мм и $V=57$ м/мин. Сталь 45 обрабатывалась КСВР ($D=24,0$ мм) на режиме: $s=0,56$ мм/об, $t=1,0$ мм и $V=74$ м/мин. На заготовках предварительно профрезеровывались продольные канавки. Величина K определялась путем сравнения длин среза и образовавшейся стружки.

Обращает на себя внимание близкое расположение экспериментальных точек относительно теоретической кривой. Снижение коэффи-

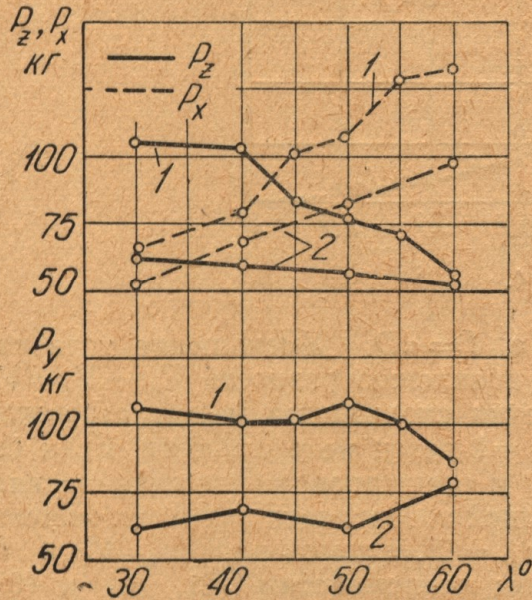


Рис. 5.

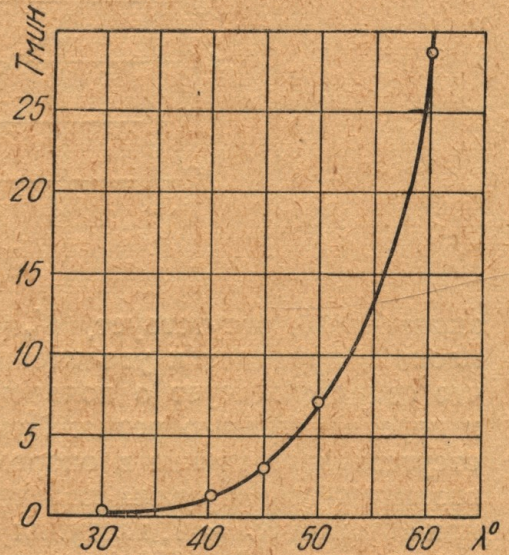


Рис. 6.

циента продольной усадки стружки при увеличении угла наклона свидетельствует об уменьшении работы сил трения на передней грани реза, а также об уменьшении вертикальной составляющей усилия резания P_z . Проведенные динамометрические исследования подтвердили это предположение.

На рис. 5 показаны зависимости составляющих силы резания P_x , P_y , P_z от угла наклона λ . Кривые 1 получены при точении стали ШХ15 самоовращающимся резцом на режиме: $s=0,43$ мм/об, $t=0,4$ мм и $V=55,8$ м/мин; кривые 2 — при точении стали 45 на режиме: $s=0,43$ мм/об, $t=0,4$ мм и $V=44$ м/мин. Диаметр режущей части реза в обоих случаях был равен 16,2 мм.

Как видно из графиков, с увеличением угла λ составляющая P_z уменьшается, а P_x возрастает. Это справедливо для одного и другого материалов, только абсолютные значения составляющих силы резания для стали 45 меньше, чем для ШХ15. Характерной зависимости составляющей P_y от угла λ установить нельзя, так как, очевидно, величина P_y зависит в значительной степени от величины действительного заднего угла.

Теоретический анализ сил, действующих на режущую кромку, при резании круглыми самовращающимися резцами показал, что направление равнодействующей P_{xz} должно быть параллельно оси реза, а изменение составляющих P_x и P_z по углу λ должно подчиняться зависимости:

$$\frac{P_x}{P_z} = \operatorname{tg} \lambda. \quad (7)$$

Проверка этой зависимости была произведена по данным экспериментов, представленных на рис. 5.

Материал	λ°	P_x кг	P_z кг	$\frac{P_x}{P_z}$	$\operatorname{tg} \lambda$	$\Delta\lambda^\circ$
Сталь ШХ15	30	66,2	113	0,585	0,577	+0°20'
	40	89,7	111	0,807	0,839	-1°
	45	106	83,7	1,267	1,0	+6°40'
	50	108	76	1,42	1,19	+4°50'
	55	130,5	70,8	1,84	1,428	+5°30'
	60	133	65,8	2,02	1,732	+3°40'
Сталь45	30	52,5	65,5	0,802	0,577	+8°40'
	40	67	63	1,06	0,839	+6°40'
	50	80,5	60,8	1,32	1,19	+2°50'
	60	98	50,8	1,93	1,732	+2°35'

Расхождение в значениях углов установленного и определенного из отношения $\frac{P_x}{P_z}$ можно объяснить тем, что в процессе резания происходят деформации и выбирается люфт, имеющийся между хвостовиком резца и втулкой державки. Взаимосвязь изменения составляющих P_x и P_z и их зависимость от угла наклона оси резца λ является одной из характерных особенностей процесса резания металлов круглыми самовращающимися резцами.

Снижение трения по режущим граням резца, уменьшение величины продольной усадки стружки K и вертикальной составляющей P_z с увеличением угла наклона λ должно, безусловно, приводить к возрастанию стойкости резца T . Для проверки этого предположения были проведены стойкостные опыты по течению сплава ЭИ437А резцом с $D=16$ мм на режиме: $s=0,38$ мм/об, $t=0,5$ мм и $V=29$ м/мин. Результаты экспериментов представлены на рис. 6.

Как видно из графика зависимости $T=f(\lambda)$, увеличение угла наклона приводит к резкому возрастанию стойкости резца.

Отсутствие наростообразования в зоне устойчивого самовращения резца благоприятно сказывается на формировании обработанной поверхности. Однако увеличение угла наклона λ при прочих равных условиях ухудшает чистоту обработанной поверхности.

Максимальная высота микронеровностей H_λ для зоны устойчивого самовращения резца может быть определена расчетным путем (рис. 7):

$$H_\lambda = R - y,$$

где

$$y = R \sqrt{1 - \frac{s^2}{4R^2 \cos^2 \lambda}}$$

(из уравнения эллипса).

После элементарных преобразований получаем:

$$H_\lambda = \frac{D}{2} \left[1 - \sqrt{1 - \left(\frac{s}{D \cdot \cos \lambda} \right)^2} \right], \quad (8)$$

где R и D — радиус и диаметр режущей части резца;
 s — продольная подача.

На рис. 8 показаны экспериментальные и расчетные (пунктиром) кривые влияния продольной подачи на чистоту обработанной поверхности.

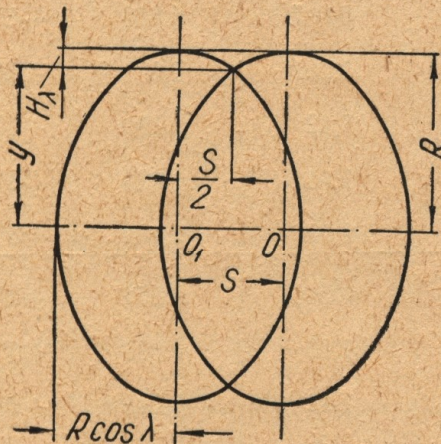


Рис. 7.

Кривая 1 получена при точении стали ШХ15 резцом с $D = 26$ мм и $\lambda = 50^\circ$ на режиме: $s = 0,41 \div 1,24$ мм/об, $t = 0,9$ мм и $V = 56$ м/мин. Кривая 2 получена при точении стали 45 КСВР с $D = 17,3$ мм и $\lambda = 30^\circ$ на режиме: $s = 0,13 \div 1,79$ мм/об, $t = 0,75$ мм и $V = 30$ м/мин.

Опыты проводились с охлаждением. Из графика видно, что расположение экспериментальных точек подчиняется зависимости (8). Следует отметить, что абсолютные значения опытных H_{\max} несколько отличаются от расчетных H_λ . Увели-

чение угла наклона приводит к ухудшению чистоты поверхности, что, однако, может быть компенсировано увеличением диаметра резца. Это

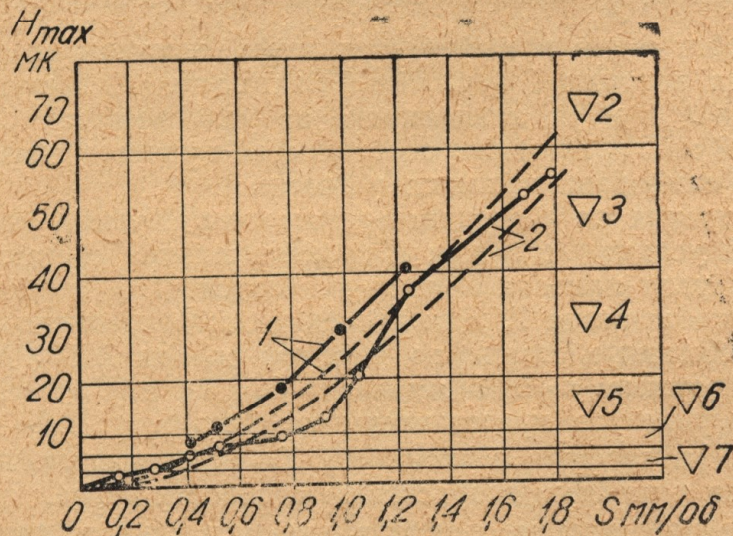


Рис. 8.

видно из кривых, полученных резцами с $D = 26$ мм, $\lambda = 50^\circ$ и с $D = 17,3$ мм, $\lambda = 30^\circ$. Если диаметр первого резца увеличить, то можно при $\lambda = 50^\circ$ получить то же значение H_λ , что и для резца с $\lambda = 30^\circ$.

Ухудшение чистоты обработки при увеличении подачи может быть также компенсировано увеличением диаметра резца.

ВЫВОДЫ

1. Процесс резания металлов круглыми самовращающимися резцами принципиально отличается от процесса резания обычными резцами.

2. Важнейшим параметром, определяющим характер процесса резания КСВР, является угол наклона оси резца λ .

3. Установлено, что с увеличением угла λ повышается устойчивость самовращения, снижаются скорости трения по рабочим граням резца, уменьшается продольная усадка стружки.

4. Установлена зависимость между соотношением составляющих усилия резания $\frac{P_x}{P_z}$ и углом наклона λ .

5. Резкое возрастание стойкости КСВР с увеличением угла наклона объясняется снижением скоростей трения по его рабочим граням, уменьшением продольной усадки стружки, снижением вертикальной составляющей усилия резания, увеличением длины режущей кромки ($\pi \cdot D$), улучшением условий теплоотвода и охлаждения резца вследствие периодической сменности режущей кромки.

6. Чистота обработанной поверхности зависит от величины подачи, диаметра резца и угла наклона оси, а максимальная высота неровностей может быть определена расчетным путем.

7. Необходимы дальнейшие исследования с целью изучения явлений деформирования срезаемого слоя при резании КСВР, влияния элементов режима резания на стойкость резца и усилия, а также разработка конкретных рекомендаций по конструированию и эксплуатации самовращающихся резцов.

ЛИТЕРАТУРА

1. Соколов Н. В. Режущий инструмент системы А. М. Игнатъева, ОНТИ НКТП СССР, Госмашметиздат, 1934.
2. A Rotating Turning Tool Bit, «Machinery», v. 49, 247 nov. 26, 1936.
3. Shaw M. C., Smith F. A., Cook N. H. The Rotary Cutting Tool, «Transactions of the ASME», № 6, v. 72, 1952.
4. Исаев А. И. и Андреев Г. С. Резцы для чистового и получистового точения с самовращающейся режущей частью из твердого сплава, АН СССР, ИТЭИН, 1954.
5. Андреев Г. С. Некоторые особенности работы резцов с вращающейся частью из твердого сплава, ЦНИИТМАШ, кн. 82, Машгиз, 1957.
6. Землянскй В. А. Исследования круглых самовращающихся резцов, «Известия вузов СССР», машиностроение, 1960, № 7.