

ИЗНОС ТВЕРДОСПЛАВНОГО РЕЗЦА ПО ЗАДНЕЙ ГРАНИ И ЕГО ВЛИЯНИЕ НА СИЛУ РЕЗАНИЯ

Г. Л. КУФАРЕВ, В. А. НАУМОВ

(Представлена научным семинаром кафедры станков и резания металлов)

Износ инструмента и его последствия привлекают пристальное внимание многих исследователей. И это понятно. В народном хозяйстве используется громадная номенклатура и количество режущего инструмента и даже небольшое повышение их износостойкости обещает большую экономию народных средств.

Важным разделом изучения механики износа является установление связи износа и сил, действующих на гранях инструмента.

Причинами отставания изучения динамики изношенного резца является сложность процесса, трудность выделения сил, действующих на разных гранях инструмента.

Даже для острозаточенного резца методики выделения сил на задней грани [1, 2, 3] являются трудоемкими и небезупречными в отношении точности.

Изучению влияния износа на силовые характеристики посвящен ряд работ [4, 5], которые не претендуют на полное рассмотрение исследуемого вопроса.

Режущий инструмент изнашивается по всем поверхностям его режущей части, причем износ каждой из поверхностей (передней, задней, вспомогательной задней) по-разному влияет на силы резания.

В силу сложности явления невозможно изучение комплексного влияния износа инструмента на силы резания. Наиболее просто и целесообразно анализировать изменение сил резания при износе какой-либо одной из указанных поверхностей.

Данная работа решает задачу о влиянии на силы резания износа лишь главной задней поверхности резца.

Методика исследования. Как показали предварительные исследования, износ передней грани в достаточно широких пределах изменения параметров процесса резания практически отсутствует при точении титанового сплава ВТ-6, что и определило выбор обрабатываемого материала в данных исследованиях. Часто наблюдаемый интенсивный износ задней поверхности при вершине резца удалось устранить приданием резцу положительного угла наклона режущей кромки ($\lambda = +11^\circ$).

Таким образом, принятая геометрия инструмента: $\gamma = +10^\circ$, $\varphi = 70^\circ$, $\varphi_1 = 20^\circ$, $\lambda = +11^\circ$ и $\alpha = 10^\circ$, а также выбор в качестве обрабатываемого материала сплава ВТ-6 позволили воспроизводить такой

процесс резания, при котором основным и практически единственным видом износа являлся износ по главной задней грани резца.

Опыты проводились на токарном станке модели 1ДЗ, оборудованном жестким трехкомпонентным динамометром с индуктивными датчиками.

Исследовалось влияние износа на силы резания на различных скоростях резания и при различных подачах. В каждом из опытов резец доводили до оптимального износа, причем за период его стойкости многократно измерялись:

1. Действительная геометрия изношенного резца (ширина ленточки износа по задней грани $h_{зг}$ и фактический задний угол на фаске износа α_∂).

2. Составляющие силы резания P_x ; P_y ; P_z .

Геометрия изношенного резца в процессе опыта фиксировалась методом отпечатков [7] и фотографированием шлифов слепка резца на металлографическом микроскопе. Запись профиля резца осуществлялась на специальном приборе, созданном в лаборатории резания ТПИ [6].

Специальная методика была разработана также для определения фактического заднего угла резца на фаске износа. После установки резца в динамометре фотографировался угол в главной секущей плоскости между главной задней поверхностью и отвесом. На полученной фотографии этот угол можно было определить с точностью до $\pm 3\%$. Этим самым при последующей обработке профилограмм и фотографий шлифов слепков резца задняя грань превращалась в базу для измерения фактического заднего угла на фаске износа.

Составляющие силы резания P_x , P_y , P_z записывались переоборудованным самописцем БВ-662 завода «Калибр» на бумажную ленту.

Кроме того, в процессе опытов методом естественной термопары с помощью самописца КВТ6/ЕН — МАУ (ГДР) и милливольтметра регистрировалась температура в зоне резания.

Результаты исследования. В процессе исследования были проведены две серии опытов.

В первой серии при постоянной подаче $S = 0,2$ мм/об резцы последовательно доводились до оптимального износа по задней грани на скоростях $V = 106; 68,1; 38,2$ м/мин.

Вторая серия велась на постоянной скорости резания $V = 38,2$ м/мин при подачах $S = 0,4; 0,3; 0,2$ мм/об.

По результатам опытов построены графики изменения по пути резца фаски износа по задней грани $h_{зг}$, фактического заднего угла на ней α_∂ , усадки стружки ξ и трех составляющих силы резания. Эти графики для второй серии опытов приведены на рис. 1.

Сопоставление кривых изменения сил резания с фактической геометрией режущей части инструмента позволяет установить причины и объяснить характер изменения сил при увеличении времени работы резца или пути резания.

При этом предполагается, что изменение сил с ростом износа резца по задней грани определяется лишь изменением составляющих сил, действующих на заднюю грань резца, тогда как составляющие силы на передней грани остаются неизменными.

Как следует из приведенных графиков, усадка стружки по мере затупления резца оставалась постоянной. При резании титановых сплавов и, в частности, сплава ВТ-6 стружка является элементной, т. е. усадка стружки в этом случае не отражает степени ее пластической деформации. Но постоянство формы и размеров элементов стружки,

в результате которого обеспечивается неизменность усадки стружки, позволяет с достаточной определенностью заявить о постоянстве сил, участвующих в образовании этой стружки, т. е. сил, действующих на переднюю грань резца. Этого и следовало ожидать, поскольку при обработке сплава ВТ-6 износ передней грани практически отсутствовал.

Дополнительным подтверждением постоянства сил на передней грани является отсутствие радиуса округления режущей кромки резца даже при больших значениях износа по задней грани резца. Данный факт установлен экспериментально по большому числу фотографий микрошлифов.

Действительный задний угол α_0 изменялся от установочного угла α до отрицательных значений. На изменение этого угла скорость не оказывает влияния, поэтому все точки удовлетворительно уложились на одну кривую.

Наоборот, увеличение подачи смещает кривую $\alpha_0 - L$ в сторону больших отрицательных углов (рис. 1).

Причинами формирования отрицательного заднего угла на фаске износа являются, видимо, разность в температурах контактных поверхностей вблизи вершины резца и в удалении от него, а также характер микросколов режущей кромки. Относительно быстрый износ материала резца в точках, близких к его вершине, приводит к образованию фаски износа с отрицательным углом.

Образованию фаски износа с отрицательным задним углом способствует также кинематическое уменьшение заднего угла. Возможно этим объясняется то обстоятельство, что на рис. 1 кривые $\alpha_0 - L$ располагаются тем ниже, чем больше значение подачи, а следовательно, и угла наклона винтовой поверхности резания.

Полученные результаты исследования изменения геометрии изнашиваемой части позволяют уточнить общую картину износа по задней грани.

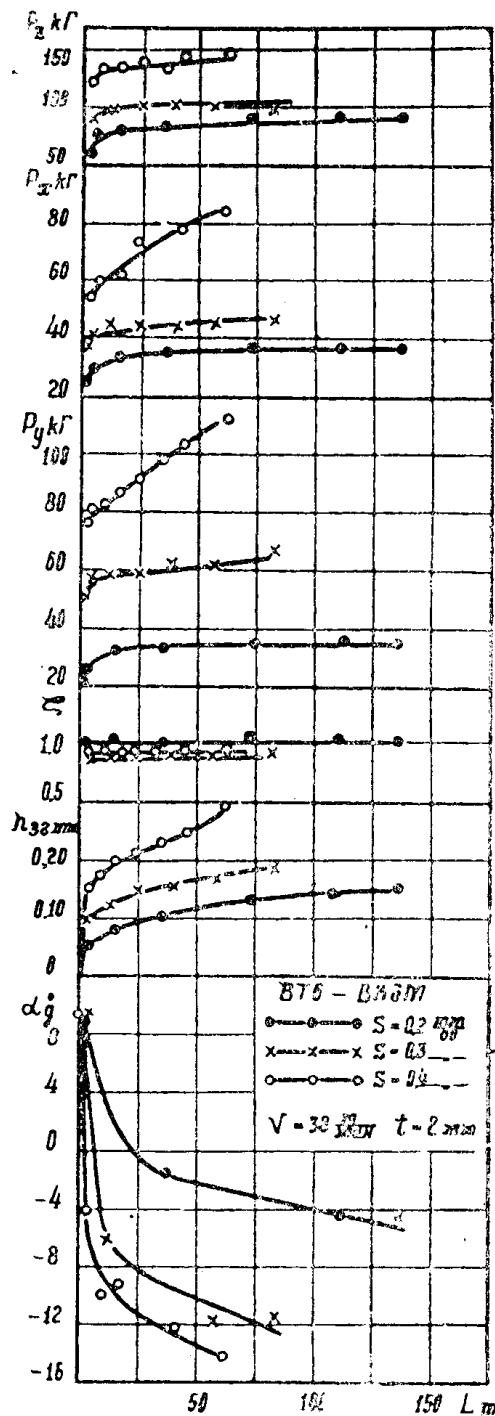


Рис. 1

Существующее представление о механизме износа [8] сводится к следующему (рис. 2а): износ осуществляется равномерными слоями, параллельными плоскости резания. На этом основании и была дана формула радиального износа (износа в главной секущей плоскости):

$$\Delta = h_{3r} \cdot \operatorname{tg} \alpha. \quad (1)$$

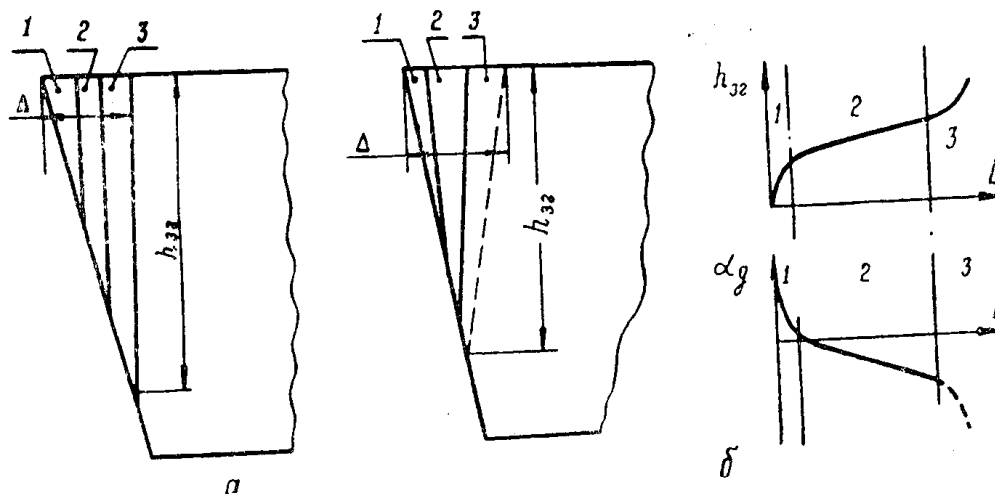


Рис. 2

Уточнение механизма износа касается того обстоятельства, что в процессе износа происходит не только увеличение площадки контакта по типичной кривой (фиг. 2 б), но и ее поворот, т. е. изменение действительного заднего угла α_r от положительного значения α до какого-то конкретного значения α_r , имеющего отрицательное значение для случая обработки титана ВТ6.

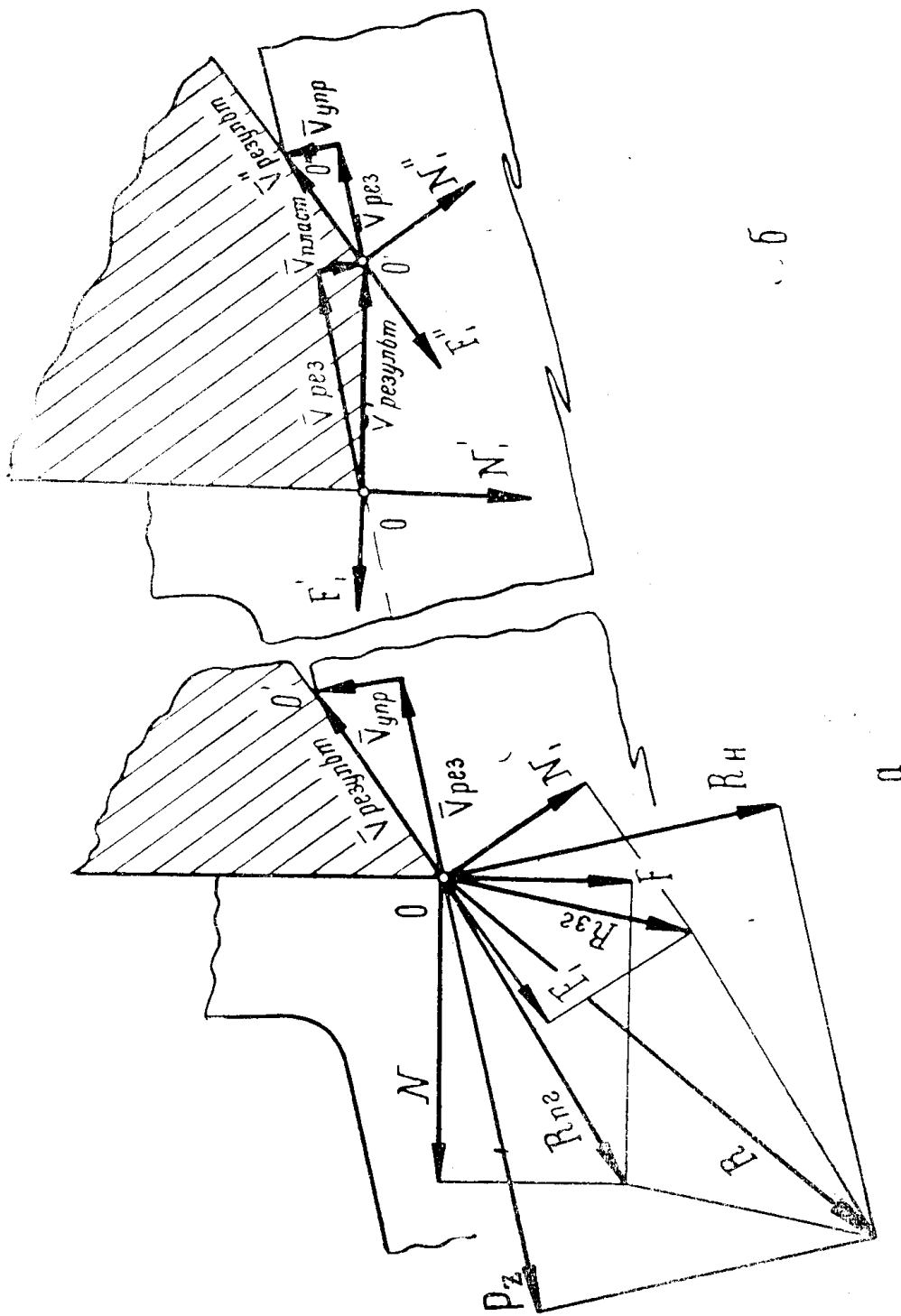
Хорошая повторяемость геометрической формы кривой $\alpha_r - L$ позволяет считать ее типичной кривой износа, которая должна обязательно учитываться наряду с кривой $h_{3r} = f(L)$; $f_{3r} = f(L)$, где f_{3r} — величина площадки контакта по задней грани.

Изменение α_r , особенно в отрицательной области, оказывает решающее влияние на перераспределение значений составляющих силы резания.

На кривой $\alpha_r - e$ четко различимы три стадии поворота площадки: первая стадия, соответствующая приработке резца (быстрое уменьшение α_r , приводящее к самоупрочнению режущего клина); вторая стадия, соответствующая нормальному износу (плавное уменьшение α_r с переходом в отрицательную область); третья стадия, соответствующая форсированному износу (резко увеличивается площадка износа и отрицательное значение угла α_r). Отрицательное значение α_r в наших опытах достигало -10° ; -12° , поэтому формула (1) является неточной, ошибка может достигать 100% и более.

Новое представление о механизме износа задней грани резца обязывает ввести соответствующие коррективы и в схему сил, действующих на заднюю грань.

В предлагаемой схеме (рис. 3 а) сила трения F_1 , направлена не против направления скорости резания, а вдоль фаски износа, сила N_1 — перпендикулярна к ней, поскольку в пределах контакта с резцом точки обработанной поверхности движутся вдоль задней грани, а не в направлении скорости резания. Перпендикулярную составляющую к скорости в пределах контакта они получают в результате упругого



а

б

Рис. 3

восстановления металла, деформированного силами со стороны передней грани в зоне основной деформации.

Подобная схема для идеального острого резца была предложена К. А. Зворыкиным в 1893 г., но позднее отвергнута рядом исследователей.

Одни из них [10] экспериментально доказали, что площадка контакта по задней грани уже в первый момент резания имеет конечную величину. Эксперименты, проведенные по титану ВТ6, подтвердили этот факт. Ошибочным было предположение, что $\alpha_0 = 0^\circ$.

Другие [9] утверждали, что направление сил, предложенное К. А. Зворыкиным, противоречит положениям теоретической механики. Это является заблуждением. На рис. 3 а — точка O перемещается в O' вдоль задней грани со скоростью $V_{\text{сум}}$, являющейся суммой векторов скорости резания V и скорости упругого восстановления деформированного материала $V_{\text{упр}}$, поэтому направление силы трения должно быть противоположно вектору суммарной скорости, а не вектору скорости резания, как это делает О. К. Зворыкин. Площадка контакта в первый момент может иметь конечные размеры, так как упругое перемещение $V_{\text{упр}}$ имеет конечную величину.

На рис 3 б приведена реальная схема деформации и трения по задней грани при условии $\alpha_0 < 0^\circ$. Видны два участка контакта: упруго-пластический OO' и упругий $O'O''$.

На участке OO' точка O участвует одновременно в двух движениях: вдоль вектора скорости резания V и упруго-пластического смятия $V_{\text{пласт}}$.

На участке $O'O''$ точка O' участвует также в двух движениях: вдоль вектора скорости резания V и скорости упругого восстановления $V_{\text{упр}}$. Соответственно действуют две нормальные силы N'_1 ; N''_1 и две силы трения F'_1 и F''_1 . Здесь также нет противоречий положениям теоретической механики.

Технологические составляющие силы резания (из рис. 3 а и б) выразятся формулами:

а) Для случая, когда $\alpha_0 > 0^\circ$,

$$P_z = N \cos \gamma + F \sin \gamma + F_1 \cos \alpha_0 - N_1 \sin \alpha_0, \quad (2)$$

$$R_n = -N \sin \gamma + F \cos \gamma + N_1 \cos \alpha_0 + F_1 \sin \alpha_0. \quad (3)$$

б) Для случая, когда $\alpha_0 < 0^\circ$,

$$P_z = N \cos \gamma + F \sin \gamma + F'_1 \cos \alpha_0 + N'_1 \sin \alpha_0 + F''_1 \cos \alpha - N''_1 \sin \alpha, \quad (4)$$

$$R_n = -N \sin \gamma + F \cos \gamma - F'_1 \sin \alpha_0 + N'_1 \cos \alpha_0 + F''_1 \sin \alpha + N''_1 \cos \alpha. \quad (5)$$

В формулах (4) и (5) составляющие N'_1 и F'_1 являются результатом упруго-пластического контакта по задней грани, а составляющие N''_1 и F''_1 — результатом упругого контакта по задней грани. Анализируя кривые $\alpha_0 - L$; $f_{3r} - L$, а также формулы (2, 3, 4, 5), можно предвидеть качественное изменение составляющих силы резания. В основу рассуждений положено то, что при изменении $\alpha_0 = f(L)$ изменяется схема деформаций и трения на площадке контакта по задней грани. Изменение схемы деформации приводит к изменению температуры, коэффициента трения. Переход α_0 в отрицательную область, кроме всего ранее сказанного, вызывает появление новых составляющих F'_1 и N'_1 .

Кратко характер изменения сил резания от пути резца при износе по задней грани можно свести к следующему.

Изменение сил идет по кривой, напоминающей характер изменения $f_{3r} = f(L)$.

На участке начального износа следует резкое возрастание силы резания, что объясняется быстрым увеличением площадки контакта $f_{\text{зг}}$ и уменьшением действительного угла $\alpha_{\text{д}}$.

Участку плавного износа соответствует участок плавного возрастания составляющих (P_z ; R_n). На участке форсированного износа следует ожидать резкого возрастания величины составляющих силы резания.

Приведенные рассуждения справедливы только для титана, у которого плавный участок кривой $\alpha_{\text{д}}$ находится в области отрицательных значений. Такой же характер кривой должен быть, если участок плавного износа находится в положительной области $\alpha_{\text{д}} > 0^\circ$ все время опыта.

Экспериментальные данные, приведенные на рис. 1 и 2, подтверждают высказанные ранее соображения о связи составляющих силы резания и износа по задней грани.

Рассматривая графики $(P_x; P_y; P_z) = f(L)$ совместно с графиками $(\alpha_{\text{д}}; h_{\text{зг}}) = f(L)$, можно обнаружить участки начального и плавного износа и соответствующее им возрастание.

Выводы

1. Проведенные исследования позволили уточнить представление о механизме износа по задней грани инструмента.

2. Действительный угол $\alpha_{\text{д}}$ на фаске износа не остается постоянным и равным 0° . Он изменяется от α (угла заточки и установки) до отрицательных значений, достигающих -10° ; -14° .

3. Отрицательная фаска износа вызывает дополнительный натяг системы СПИД. Появление ее есть неизбежная закономерность процесса резания. Особенно она присуща труднообрабатываемым материалам. Поэтому необходимо всемерно повышать жесткость металлорежущих станков, предназначенных для обработки этих материалов.

4. Обнаруженное явление (непостоянство $\alpha_{\text{д}}$) позволяет удовлетворительно объяснить характер изменения составляющих силы резания при износе по задней грани.

5. При исследовании силовых зависимостей на изношенном инструменте необходимо учитывать явления поворота площадки трения по задней грани и соответствующим образом учитывать их (формулы 2; 3; 4; 5).

ЛИТЕРАТУРА

1. Н. Н. Зорев. Вопросы механики процесса резания металлов. Машгиз, 1956.
2. А. М. Розенберг, А. Н. Еремин. Элементы теории процесса резания металлов. Машгиз, 1956.
3. М. Э. Иткин. Исследование сил, действующих на грани инструмента Сб. Обрабатываемость жаропрочных и титановых сплавов, Куйбышев, 1962.
4. А. К. Байкалов. Оптимальная геометрия резцов при скоростном точении серого чугуна. Диссертация, Томск, 1952.
5. Ю. А. Толочков. Изменение сил резания при износе инструмента. Станки и инструмент, № 10, 1960.
6. М. Ф. Полетика, В. А. Наумов. Прибор для исследования износа режущего инструмента. Изв. ТПИ, т. 147, 1966.
7. Г. Л. Куфарева, В. А. Наумов. Влияние износа на силы резания при точении. Изв. ТПИ, т. 147, 1966.
8. М. И. Даниелян. Износ инструмента и тепловые явления при резании металлов. Машгиз, 1954.
9. О. К. Зворыкин. О направлении усилий, действующих на заднюю поверхность режущего инструмента. Вопросы механики и машиностроения, Изд. Киевского университета, Киев, 1964.
10. Н. Н. Зорев. Исследование элементов механики процесса резания металлов. Машгиз, 1952.