

ОПТИМИЗАЦИЯ ИЗНОСА РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ

Я. БАЛИ

Кафедра технологии машиностроения
Будапештского технического университета, Н-1521 Budapest

Поступило 3 марта 1984 г.
Представлено проф. д-ром М. Хорват

Summary

The technological-economical efficiency of cutting procedure considerably depends on the rational use of working tools, since it is in close correlation with the costs and quality of machining and productivity, as well. In the paper the essential problem of working tools, the possibility and solution method of optimizing the wearing are discussed. Optimization of wearing is at the same time the background problem also of determining the cutting data and as such it can significantly contribute to the efficiency of cutting procedure.

Технико-экономическая эффективность обработки резанием в значительной мере зависит от рационального использования инструмента, так как оно тесно связано со стоимостью, производительностью и качеством обработки. В статье рассматривается центральный вопрос расхода инструмента, а именно возможность оптимизации величины износа и методы ее решения. Оптимизация износа является одновременно и тыловой проблемой определения рациональных режимов резания, и таким образом ее решение может в значительной мере способствовать повышению эффективности процесса обработки резанием.

Введение

Как известно, допускаемый износ режущих инструментов устанавливается по технологическим критериям. Согласно этому, смена инструмента должна производиться в тот момент, когда продолжение работы не возможно из-за ограничений связанных с самим износом инструмента.

Таковыми критериями могут быть изменения макро- и микрогеометрии поверхности, увеличение механической и тепловой нагрузки инструмента, уменьшение стабильности процесса резания и т. п. Величину износа, устанавливаемую по технологическим критериям, переступить конечно нельзя, но в то же время не является необходимым в каждом

случае доводить инструмент до состояния, соответствующего технологическому износу. С точки зрения износа это означает, что в случае, если это экономически обосновано, инструмент может быть заменен прежде, чем наступит износ, соответствующий технологическим критериям.

Значит, кроме технологических критериев, могут быть установлены и *экономические*.

Экономическим аспектом, или целью, может служить *максимальная долговечность* (суммарная стойкость) инструмента, *минимальный расход* на инструмент или же *минимальная себестоимость* операции или перехода, а расход инструмента может считаться оптимальным, если износ происходит при таких условиях, которые наиболее соответствуют поставленной актуальной экономической цели.

Настоящая статья посвящается некоторым вопросам оптимального расхода инструмента, в том числе проблеме величины износа, и влияния восстановления инструмента на расход инструмента. Целью статьи является обратить внимание специалистов на проблему износа инструмента как на один из наиболее важных тыловых вопросов определения рациональных режимов резания.

Критерии износа

Впервые вопрос оптимизации износа был поставлен Лариным [1] в конце 40-х годов. По его мнению, под оптимальным износом следует понимать такой износ, при котором суммарный период стойкости инструмента достигает максимальной величины:

$$L = \sum_1^{I+1} T_i = \text{МАКС!} \quad (1)$$

где

L — суммарная стойкость [мин];

T — стойкость [мин];

I — число черточек инструментов.

Из вышеуказанного следует, что в то время поставленной экономической целью являлось достижение максимальной долговечности инструмента. Можно установить и то, что критерий в то время имел экономический характер и не принималось во внимание, что технологические ограничения могут препятствовать реализации максимальной суммарной стойкости. По нашему мнению, оптимальный износ правильно может быть определен следующим образом: под оптимальным износом при данных ограничениях следует понимать такой износ, при котором поставленная экономическая цель реализуется. Из этого

определения следует, что критерий оптимальности износа может иметь как экономический, так и технологический характер.

Из-за вышеупомянутого недостатка и из-за того, что целевая функция (1) приводила к низким периодам стойкости, значит, к частой смене инструмента, этот метод оптимизации не получил широкого распространения.

Степень расхода инструмента более полно может быть выражена, если учитываются не только разовые расходы (стоимость приобретения инструмента), но и затраты на восстановление (повторные затраты). Для этого наиболее подходит выражение удельного расхода инструмента и соответствующая ему целевая функция:

$$K = \frac{S}{L} = \text{МИН!} \quad (2)$$

где

K — удельный расход инструмента [Ф/мин];

S — полный расход на инструмент, включающий в себя стоимость приобретения и восстановления [Ф];

$$S = B + R;$$

B — стоимость приобретения инструмента [Ф];

R — стоимость восстановления [Ф];

$$R = IE;$$

E — стоимость одного восстановления [Ф].

Пренебрегая временем до первой переточки и предполагая, что переточки обеспечивают одинаковое качество, зависимость (2) может быть переписана в следующем виде:

$$K = \frac{B}{L} + \frac{E}{T}. \quad (3)$$

Оптимальное число и оптимальная величина переточки

Под оптимальным числом переточки понимается такое, при котором — при данных условиях — наибольший экономический аспект, сформулированный в целевой функции, в максимальной степени реализуется. Под оптимальной величиной переточки понимается такая толщина слоя, удаляемого при одной заточке, при которой достигается оптимальное число переточки.

На рис. 1 показана схема изношенного клина инструмента, с параметром линейного износа задней поверхности Δ . Толщина сточенного слоя — h , а величина допускаемого стачивания — H . Допускаемое число переточек

$$I = \frac{H}{h}. \quad (4)$$

В общем случае направления износа и переточки могут не совпадать (см. рис. 1в), поэтому следует различать размер износа и в направлении заточки δ . Эти две величины связаны линейной зависимостью:

$$\delta = c\Delta,$$

где

c — постоянный параметр, зависящий от геометрии инструмента и от направления заточки, например, для случая 1.а $c = 1$, а для 1.в $c = \sin \delta$ является проекцией размера износа на нормаль к поверхности заточки.

Между величинами δ и h могут быть следующие соотношения:

а)
$$\delta \leq h.$$

В этом случае удаляется весь изношенный слой, а приращение $h - \delta = 0.05 \dots 0.20$ [мм] предназначено для компенсации допуска на переточ-

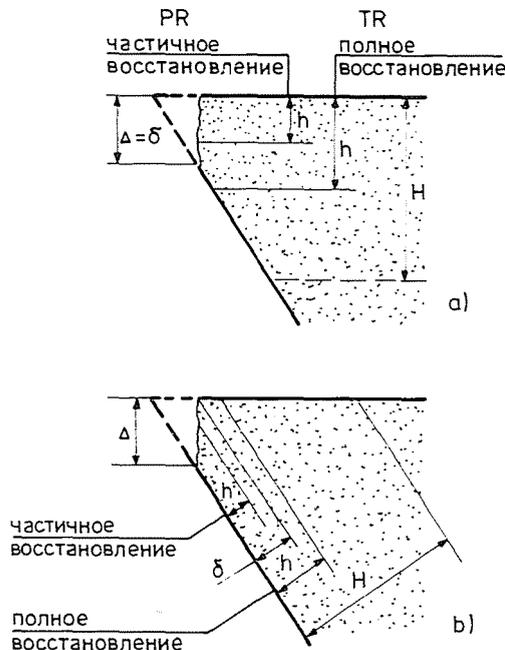


Рис. 1

ку. Такой способ переточки называется *полным восстановлением* (*TR*) инструмента.

б) $\delta > h$

В этом случае изношенный слой удаляется не полностью, на инструменте остается след износа с размером, пропорциональным разнице $\delta - h$. Такая переточка называется *неполным восстановлением* (*PR*).

Этот случай, хотя он до сих пор не получил широкого распространения, не следует рассматривать как чисто теоретического характера, так как он может иметь большое практическое значение с точки зрения рационального использования инструмента. В технической литературе содержится очень малое количество информации относительно частичного восстановления, а такие вопросы, как, при каких условиях и с какой эффективностью может быть использован этот метод, пока не разъяснены. Из вышеуказанного следует, что при анализе экономических критериев рационального использования инструментов, рядом с допускаемой величиной износа большое значение имеет и степень восстановления.

Кривые износа

Процесс износа, как известно, можно характеризовать кривой износа. На практике, независимо от степени изношенности передней грани, износ инструмента характеризуется линейным износом задней поверхности, а процесс износа — изменением во времени этого линейного износа. На форму кривой износа влияет большое количество факторов (геометрия режущей части, материалы инструмента и заготовки, режимы резания, СОЖ, и т. п.), но она может быть сведена к трем основным типам (рис. 2):

а) скорость нарастания износа \dot{A} в начальном периоде большая, потом постепенно уменьшается, приближаясь к некоторому постоянному значению, после этого процесс ускоряется (*DP* — *дегрессивно-прогрессивное нарастание износа*);

б) в начальное время скорость износа \dot{A} имеет небольшое значение, а потом увеличивается, но ее изменения все время сохраняют монотонный характер. В верхнем диапазоне времени кривые а) и б) имеют общий характер, разница заключается только в том, что на кривой типа б) отсутствует точка перегиба, соответствующая минимальной скорости нарастания износа (*MP* — *монотонно-прогрессивное нарастание износа*);

в) начальная скорость нарастания — как и в первом случае — большая, но она быстро убывает во времени, значит, процесс износа

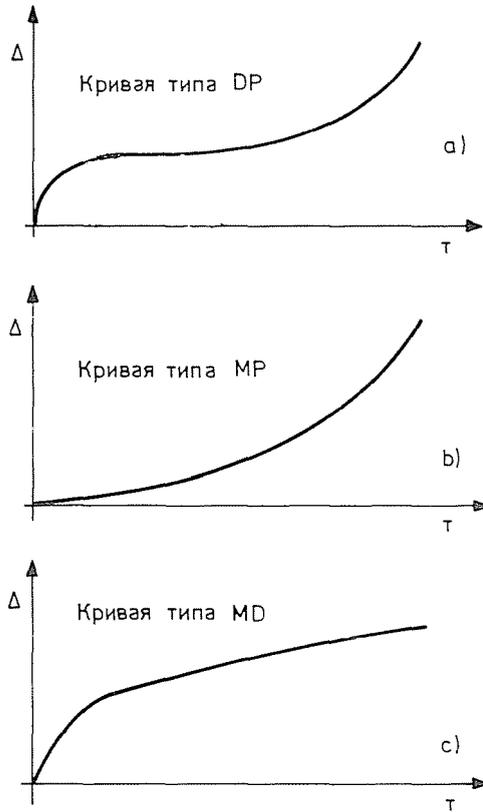


Рис. 2

замедляется. Для этого случая также характерно монотонное изменение скорости износа (MD — монотонно-дегрессивная скорость износа). Начальные и средние участки кривых а) и в) очень близки друг к другу.

4. Уравнение износа

Закономерности процесса износа в аналитической форме описываются уравнением износа. Точечная диаграмма, построенная по экспериментальным данным, подвергается аппроксимации и в результате получается уравнение износа. Анализируя большое количество литературных данных, можно было установить, что в условиях нормального протекания процесса износа, изменение износа во времени может быть

— с достаточной для практических целей точностью — описано следующей зависимостью:

$$\Delta = f(t) = pt^n + qt^\mu, \quad (5)$$

где

Δ — линейный размер износа задней поверхности;

t — время работы (износа) инструмента;

p ; q ; n ; μ — постоянные, зависящие от характера процесса износа.

Уравнение типа (5) соответствует всем трем основным типам кривой износа, показанным на рис. 2, и удовлетворяет требованиям, вытекающим из характера и закономерностей процесса износа, в том числе: кривая уравнения (5) проходит через начало координат $0 = f(0)$; скорость нарастания износа в каждый момент больше нуля $\dot{\Delta} > 0$, значит, износ все время увеличивается.

5. Составляющие себестоимости заточки

Себестоимость операции заточки — подобно другим операциям механической обработки — может быть выражена как сумма постоянных и пропорциональных затрат:

$$E = F + Ph,$$

где

F — постоянная, не зависящая от величины стачивания, часть затрат на операцию заточки. Она включает в себя затраты на подготовительно-заключительные и контрольные работы. Переточки осуществляются в условиях сугубо единичного, а реже, мелкосерийного производства, поэтому доля постоянной части очень высока:

$$F \approx E \quad (P \approx 0);$$

P — коэффициент пропорциональности, по своему физическому смыслу соответствует непосредственным затратам на снятие слоя с толщиной в l [мм]. Привлечение параметра P в расчеты уточняет модель эксплуатации инструмента, но его применение затрудняется тем, что заточка производится во вспомогательном производстве, поэтому обычно точных учетных данных на заводах не имеются.

6. Анализ оптимальной эксплуатации инструмента

На основе (1)—(4) функция удельных инструментальных затрат может быть написана в следующей форме:

$$K = \frac{B + HP}{TH} h + \frac{F}{T}, \quad (6)$$

а функция суммарной стойкости:

$$L = \frac{H}{h} T. \quad (7)$$

Функция (7) была исследована впервые ЗОРЕВЫМ [2]. В то время считалось, что применение критерия оптимального износа возможно только в случае кривой (DP), имеющей точку перегибу, то-есть тогда, когда скорость нарастания износа изменяется немонотонно. Нетрудно убедиться в том, что критерием оптимального износа можно пользоваться и в случае кривой типа (MP), то-есть имеется такая величина износа, при которой суммарная стойкость инструмента будет максимальной, если, конечно, технологические ограничения не будут препятствовать ее реализации. В то же время функция (6) и вопросы влияния степени восстановления на допускаемую величину износа не были исследованы, и до сих пор мало внимания обращали на эти проблемы.

Анализ функции (7) показывает, что ее применение противоречит методу частичного восстановления инструмента, так как при этом используется только «бесконечно» узкий участок кривой износа, соответствующий минимуму скорости износа $\dot{\Delta}$, а следовательно, «оптимальный» период стойкости был бы равен приблизительно нулю. В случае полного восстановления максимальная суммарная стойкость — в зависимости от типа кривой износа — определяется следующим образом:

пусть $h = c\Delta + w$,
где $w = \text{const}$ — дополнительный слой стачивания,

тогда
$$L = \frac{H}{c\Delta + w} T.$$

Дифференцируя выражение как сложную функцию, получаем

$$\frac{dL}{dT} = \frac{\Delta}{T} + \frac{c_L}{T}, \quad (8)$$

где $c_L = \frac{w}{c} = \text{const}$.

Для нахождения экстремума ЗОРЕВЫМ был предложен графический метод, основанный на геометрическом смысле производной. Суть

этого метода можно легко понять по рис. 3: откладываем на оси ординат отрезок c_L , и из нижнего конца отрезка проводим касательную к кривой износа. Координатами точки касания будут

$$[T_L; A_L].$$

Оптимальные величины износа, обеспечивающие максимальную суммарную стойкость при данных технологических ограничениях, будут следующие:

для кривых типа (DP) и (MP) оптимальный износ будет равен A_L при условии

$$A_L < \text{МИН}\{A_{T_i}\},$$

где

$\{A_{T_i}\}$ - множество величин износа, допускаемых различными технологическими ограничениями.

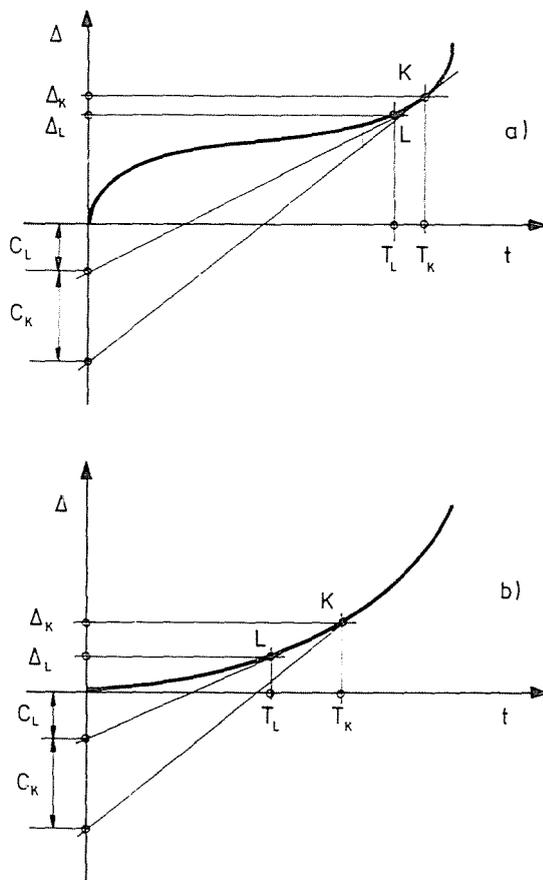


Рис. 3

В противном случае оптимальный износ будет

$$\Delta_0 = \Delta_{T_{\min}}.$$

Для кривой типа (*MD*) оптимальная величина износа будет равна $\Delta_{T_{\min}}$.

Для аналитического решения необходимо дифференцировать функцию (5), и из системы, состоящей из зависимости (8) и производной, можно найти корни $[T_L; \Delta_L]$.

Анализ функции удельного расхода инструмента приводит к подобным результатам. Подставляя h в зависимость (6), дифференцируя ее, учитывая, что стойкость является функцией износа, для нахождения величины износа, при котором удельный расход инструмента будет наименьшим, получаем следующую зависимость:

$$\frac{d\Delta}{dT} = \frac{\Delta}{T} + \frac{c_L + c_K}{T}, \quad (9)$$

где

$$c_K = \frac{FN}{(B + HP)c}.$$

Из сравнительного анализа зависимостей (8) и (9) следует, что минимальное значение удельного расхода инструмента допускает больший износ, значит, и большую стойкость, чем максимальная суммарная стойкость (рис. 3).

Оптимальный, с точки зрения расхода инструмента, износ определяется таким же методом, как в случае максимальной суммарной стойкости:

— для кривых типа (*DP*) и (*MP*) оптимальный износ будет равен износу Δ_K , соответствующему экстремуму функции (6), если его реализации не препятствуют технологические ограничения;

— для кривой типа (*MD*) оптимальный износ будет равен определенной величине технологического износа.

В случае наличия аналитической зависимости типа (5) экстремум функции (6) определяется обычным общеизвестным методом: дифференцируем функцию (5) и систему уравнений, состоящую из производной, уравнения износа (5) и зависимости (9), решим относительно Δ . При отсутствии аналитического выражения износа или для целей предварительного анализа и в этом случае можно применять графическое решение: на отрицательной части оси ординат откладывается отрезок $c_L + c_K$ и строится касательная к кривой износа.

Анализ вопросов оптимальной эксплуатации инструмента в условиях частичного восстановления имеет свои специфические черты, поэтому подход и метод решения отличается от вышеизложенных. До сих пор путем установления определенной величины допускаемого — с

той или иной точки зрения — износа исключили ту часть кривой износа, где скорость нарастания износа $\dot{\Delta}$ и соответственно этому удельный расход инструмента были большие. В то же время на кривых типа (DP) и (MD) наблюдается еще один участок интенсивного износа, соответствующий начальному периоду работы инструмента. Исключение этого участка возможно только путем неполного восстановления, то-есть след износа с величиной Δ_R остается на поверхности инструмента и после переточки. Стойкость инструмента в этом случае, разумеется, уменьшается на величину T_R , но значительно уменьшается и средняя интенсивность износа.

По сравнению со случаем полного восстановления случай частичного восстановления обладает той особенностью, что уравнение расхода инструмента в общем случае будет функцией от двух переменных: ее значение зависит от величины допускаемого износа Δ_M и от величины остающегося следа износа Δ_R . Нетрудно представить, что эти величины независимы друг от друга, между ними имеется отношение всего лишь следующего порядка:

$$\Delta_M > \Delta_R.$$

Толщина снимаемого за одну переточку слоя будет равна разнице величины допускаемого износа Δ_M и остатка износа Δ_R , пересчитанной в направлении заточки:

$$h = c(\Delta_M - \Delta_R)$$

В этом случае под стойкостью понимают интервал времени $T = T_M - T_R$, соответствующий разности размеров износа $\Delta_M - \Delta_R$. Подставляя величины h и T в зависимость (6), получаем функцию расхода инструмента с двумя переменными:

$$K = c \frac{B + HP}{H} \frac{\Delta_M - \Delta_R}{T_M - T_R} + \frac{F}{T_M - T_R}. \quad (10)$$

Воспользуясь уравнением износа, параметры T_M и T_R можно исключить, и зависимость будет содержать только переменные Δ_M и Δ_R . Решая задачу по нахождению экстремума (минимума) функции двух переменных, для условия

$$\frac{\partial K}{\partial \Delta_M} = \frac{\partial K}{\partial \Delta_R} = 0,$$

находим, что функция удельного расхода инструмента в том случае имеет минимум, если уравнение износа удовлетворяет следующему

условию:

$$\frac{\partial \Delta_M}{\partial T_M} = \frac{\partial \Delta_R}{\partial T_R} = \frac{\Delta_M - \Delta_R}{T_M - T_R} + \frac{c_K}{T_M - T_R} = D. \quad (11)$$

Принимая во внимание дополнительное условие, сформулированное выражением (11), а также типы кривых износа, можно установить, что в случае частичного восстановления инструмента функция расхода инструмента может иметь экстремальное значение только в том случае, если на кривой износа имеются, по крайней мере, две такие точки, что проведенные через них касательные к кривой будут параллельны между собой. Эти точки определяют одновременно отрезок периода стойкости на оси абсцисс. Нетрудно убедиться в том, что этому условию удовлетворяет лишь кривая типа (*DP*). В то же время на кривой можно найти бесконечное множество пар точек, которые обеспечивают параллельность касательных.

Отсутствие экстремума в случае кривой (*MD*) отнюдь не означает, что для данной кривой метод неполного восстановления неприемлем, а всего лишь то, что решение задачи требует иного подхода. В случае кривой износа (*MP*) — как это уже выше отмечалось — из-за отсутствия начального периода интенсивного износа применение метода частичного восстановления не только не дает преимущества, но даже снижает эффективность эксплуатации инструмента.

В случае аналитического решения задачи величины $[T_M; \Delta_M]$ и $[T_R; \Delta_R]$, определяющие минимум функции, могут быть получены из следующей системы уравнений:

$$\begin{aligned} \Delta_M &= f(T_M); \quad \Delta_R = f(T_R); \\ D &= \frac{\partial \Delta_M}{\partial T_M} = \frac{\partial \Delta_R}{\partial T_R}. \end{aligned} \quad (12)$$

Если реализация величины износа Δ_M допускается технологическими ограничениями, то величины Δ_M и Δ_R должны рассматриваться как оптимальные, обеспечивающие минимальную величину удельных затрат на инструмент.

Для случая, когда аналитическое решение затрудняется, или для целей предварительного анализа может быть использовано следующее графическое решение задачи нахождения минимума (смотри рис. 4).

Согласно зависимости (11) касательная к кривой в точке *M* строится таким образом, что из точки *R* откладываем отрезок c_K параллельно оси ординат в сторону отрицательного направления, и из полученной точки *R'* проводим касательную к кривой. Трудность

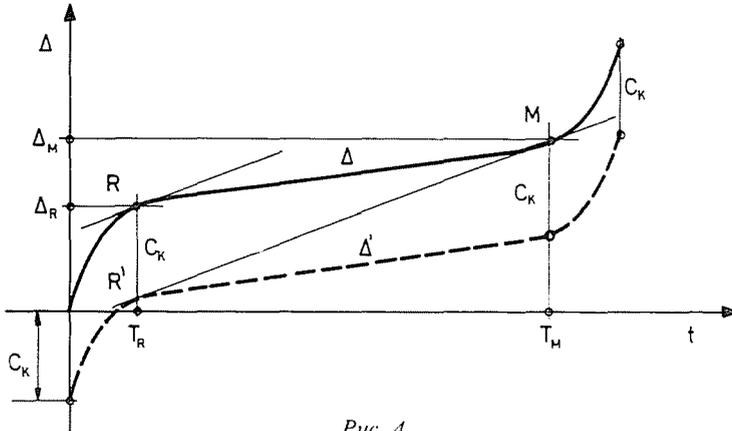


Рис. 4

заключается в том, что положение точки R неизвестно. Поэтому отрезок c_K откладывается из всех точек кривой, другими словами, кривая износа передвигается параллельно оси ординат на величину c_K . Так как по условию в точках R и M касательные должны быть параллельны между собой, графическое решение получается путем проведения общей касательной к кривым Δ и Δ' . Точки касания определяют концы отрезка на оси абсцисс, соответствующего периоду стойкости $T = T_M - T_R$. Проектируя точку R' обратно на кривую Δ , получаем граничную точку R , по которой можно определить прирост износа $\Delta_M - \Delta_R$.

В том случае, если из-за технологических ограничений установление величины износа Δ_M не представляется возможным ($\Delta_T < \Delta_M$) или же, когда кривая износа имеет форму (MD) , верхняя величина износа будет постоянной, зависимость (10) превратится в функцию с одной переменной. Функция и в этом случае имеет экстремум, существование которого выражается подобной к (11) формулой:

$$\frac{d\Delta_R}{dT_R} = \frac{\Delta_T - \Delta_R}{T_T - T_R} + \frac{c_K}{T_T - T_R}. \quad (13)$$

Величины $[T_R; \Delta_R]$ соответствующие экстремальному (наименьшему) значению функции удельных инструментальных затрат, могут быть определены с помощью зависимостей (13) и (5). Для решения можно рекомендовать графический метод (смотри рис. 5). Прирост износа и период стойкости выражаются в этом случае в следующей форме:

$$\Delta = \Delta_T - \Delta_R; \quad T = T_T - T_R.$$

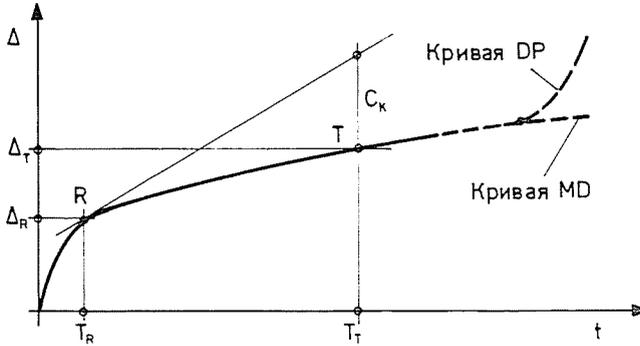


Рис. 5

Влияние оптимального износа на себестоимость операции

Минимализация затрат на инструмент через оптимальный износ не приводит к безусловному снижению переменной доли себестоимости операции, так как первая является лишь частью второй, но изменяет структуру затрат, уменьшая долю затрат на инструмент по отношению к другим составляющим себестоимости. Рядом с величиной износа, обеспечивающего минимум затрат на инструмент, существует износ, величина которого, если это реализуемо с точки зрения ограничений, обеспечивает минимум переменной доли себестоимости операции.

Переменную долю себестоимости операции можно выразить — при постоянных режимах резания — в следующей форме [4]:

$$G = \frac{M}{q} + \frac{t_s}{T} \frac{M}{q} + \frac{K}{q}, \quad (14)$$

где

G [Ф/см³] — переменная доля себестоимости операции, отнесенная к единице условной продукции;

M [Ф/мин] — стоимость станкоминуты;

t_s — потери времени, связанные с заменой инструмента [мин];

q [см³/мин] — удельный съем металла: постоянен для постоянных режимов резания. Его величина с точки зрения анализа функции не имеет значения; можно принимать в дальнейшем равной единице.

Решая задачу по нахождению экстремума (минимума) функции (14), можно прийти к выводу, что она имеет минимум, если в отношении

кривой износа выполняется следующее условие:

$$\frac{dA}{dT} = \frac{A}{T} + \frac{c_L + c_K + c_G}{T}, \quad (15)$$

где

$$c_G = \frac{MH}{c(B+HP)} t_s,$$

или принимая

$$E \approx F; \quad P \approx 0,$$

$$c_G = \frac{MH}{cB} t_s; \quad c_K = \frac{EH}{cB}.$$

Из сопоставления формул (9) и (15) и из рис. 6, основанного на геометрическом толковании производной, следует, что величина износа, обеспечивающая минимум себестоимости операции, всегда больше, чем величина износа, соответствующая минимуму затрат на инструмент. Отклонение этих величин друг от друга тем больше, чем больше стоимость одной замены инструмента по сравнению со стоимостью заточки. Сопоставление зависимостей (8); (9) и (15) обращает внимание

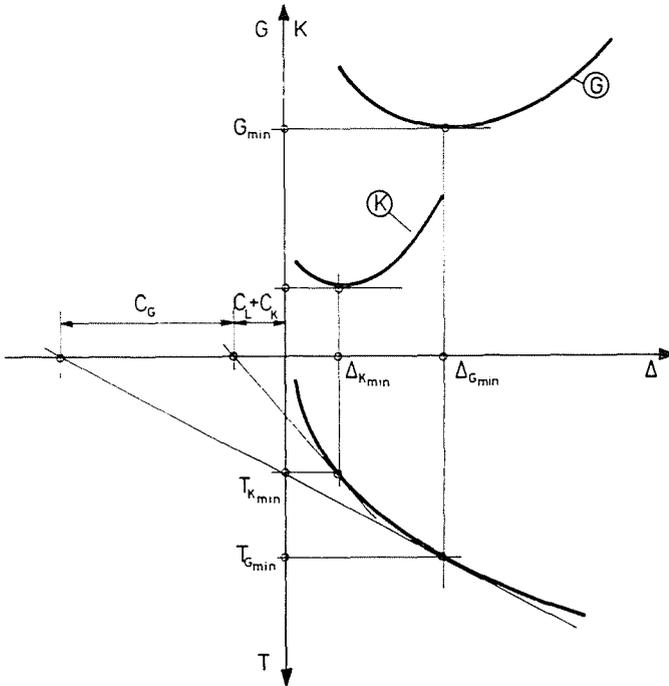


Рис. 6

на одно важное обстоятельство: стремление к достижению максимальной суммарной стойкости приводит обычно к сильному росту затрат на инструмент и себестоимости операции, значит, ее реализация вопреки предложениям (1) не является в общем экономически целесообразной.

Применяемые в настоящее время методы оптимизации режимов резания [3] и [4], используют выражения себестоимости и стойкости при зафиксированном значении износа, хотя по смыслу износ должен рассматриваться как переменная величина, так же как и режим резания (скорость; подача; глубина резания). Между прочим, это следует и из стойкостной зависимости [3]:

$$T = c_T \frac{A^e}{v^z s^x a^y}.$$

Величина износа таким образом входит в скрытой форме в зависимость, выражающую себестоимость операции.

Упомянутые модели оптимизации [3]; [4], имеют размерность два или два с половиной, в зависимости от того, глубина резания в них постоянная или изменяется в дискретной форме. Уменьшение числа переменных продиктовано стремлением к упрощению модели. Такая модель, благодаря своей простоте, удобна в обращении и дает удовлетворяющую точность, кроме того, ее можно использовать при самых разных уровнях вычислительной техники, даже при отсутствии последней и при ручном решении задачи.

Недостатком модели является то, что вопрос выбора величины износа остается открытым, проверка ее оптимальности не проводится ни до, ни после оптимизации режимов резания. Конечно, принятие износа в качестве переменной привело бы к усложнению модели. Создание такой расширенной модели находится в стадии разработки, но ее быстрое и широкое распространение — дело ближайшего будущего.

И здесь можно рекомендовать применение модели с двумя с половиной координатами: производим оптимизацию режимов резания, например по методу [3] или [4], для нескольких дискретных значений износа инструмента. Потом из множества полученных результатов выбираем наиболее подходящее значение с точки зрения поставленной экономической цели. При этом необходимо учитывать и возможность неполного (*PR*)-восстановления инструмента.

Проведенный автором анализ в области зуборезных инструментов, затылованных фасонных фрез, круглых фасонных резцов и ряда других сложных инструментов, показал, что в этих случаях целесообразно применять для решения вопроса оптимизации другой метод, сущность которого заключается в следующем: проводится оптимизация режимов резания по одному из вышеупомянутых методов. Полученные значения

скорости резания и подачи считаем в дальнейшем оптимальными, и их зафиксируем. Потом, на основе целевой функции и уравнения износа проведем оптимизацию износа инструмента и определим окончательную величину периода стойкости инструмента. Этот метод назван методом постоптимизации параметров процесса обработки резанием.

Литература

1. М. Н. Ларин: Основы фрезерования, «Машгиз», 1947
2. Н. Н. Зорев: «Станки и инструменты», № 8, 1949
3. Хорват, М; Шомло, Я: Оптимизация и адаптивное управление процесса обработки резанием. «Техиздат», Будапешт, 1979
4. Бали, Я: Обработка резанием «Педиздат», Будапешт, 1980

Dr. János BALI, H-1521 Budapest