

Аппроксимация этой зависимости приводит к формуле $h_p = 0,023 V^{0,45}$, где h_p - размерный износ, мм; V - скорость резания, м/мин.

Если в качестве предельного размерного износа принять $h_p = 0,1$ мм, равную половине допуска, на изготовление детали, то допустимая скорость резания будет равна

$$V = \left(\frac{0,10}{0,023} \right)^{2,2} = 26 \text{ м/мин.}$$

Сопоставление этой скорости с ранее применявшейся при "холодной" обработке ($V = 11$ м/мин) указывает на повышение производительности более чем в 2,4 раза.

Литература

Г. Зыкин А.С. Ушомирская Л.А. Обрабатываемость сплавов с электроконтактным подогревом. Труды КуАИ, 1970, вып. 43.

УДК. 621.941.1 : 658.53 : 669.14.44

В.В.Трусов

ИССЛЕДОВАНИЕ МАШИННОГО ВРЕМЕНИ ПРИ ТОРЦЕВОЙ ОБТОЧКЕ ДИСКОВ

Торцевое точение дисков из труднообрабатываемых материалов сопровождается значительными затратами машинного времени, особенно при обработке крупногабаритных деталей.

На смену традиционному торцевому точению поверхностей с постоянством числа оборотов шпинделя станка приходят новые, более производительные способы точения - с постоянством скорости резания, температуры в зоне резания, применение которых позволяет существенно повысить качество обработки.

В этих условиях важно правильно оценивать преимущества новых способов точения по машинному времени. Следует отметить, что сравнительный анализ способов точения дисков из труднообрабатываемых материалов по времени обработки пока выполняется без учета фактической стойкости резца. Так, например, сравнение

времени точения при $n = \text{const}$ и $V = \text{const}$ в соответствии с таким подходом (начальные скорости резания выбираются одинаковыми) в пределе дает двухкратное сокращение машинного времени при обработке по второму способу. Как будет показано ниже, применение варианта точения с $V = \text{const}$ не может дать подобного снижения времени обработки, если учитывать фактическую стойкость резца.

Сопоставим время обработки способов точения с $V = \text{const}$ и $n = \text{const}$ в предположении, что

при всяком способе точения размерная стойкость резца используется полностью на поверхности обработки;

в рабочей области изменения скоростей резания справедлива основная формула стойкости [1]

$$T = \frac{C_T}{V^x S^y} \text{ мин.} \quad (1)$$

В общем случае машинное время обработки торцевой поверхности равно

$$t_0 = \frac{-1}{2S} \int_{D_H}^{D_K} \frac{dD}{n(D)} \quad ; \quad (2)$$

где D_H, D_K - диаметры обточки (наибольший и конечный);
 $n(D)$ - скорость вращения планшайбы как функция диаметра обточки, об/мин.

Применительно к обработке с постоянством скорости резания при точении к центру формула машинного времени запишется

$$t_{\text{ор}} = \frac{\pi D_H^2 (1 - \gamma^2)}{4000 \cdot V \cdot S} \text{ мин.} \quad (3)$$

где V, S - соответственно скорость резания $\frac{\text{м}}{\text{мин}}$ и подача, мм/об;

$$\gamma = \frac{D_K}{D_H}$$

Исходя из равенства периода размерной стойкости резца времени обработки, можно записать

$$\frac{C_T}{V_{\text{пр}}^x \cdot S^y} = \frac{\pi D_H^2 (1 - \gamma^2)}{4000 \cdot V_{\text{пр}} S}$$

Преобразуя последнее, получим формулу скорости, отвечающую наивысшей производительности

$$V_{\text{пр}} = \left[\frac{4000 \cdot C_T}{\pi \cdot D_H^2 (1-\gamma^2) S^{y-1}} \right]^{1/x-1} \frac{M}{\text{мин}} \quad (4)$$

В самом деле, при точении ответственных деталей смена изношенного резца может производиться только после окончания прохода, так как иначе на обработанной поверхности останется риска, недопустимая по техническим требованиям к качеству поверхности.

Применение скорости резания более высокой, чем $V_{\text{пр}}$ по формуле (4) в этих условиях приведет к тому, что резца "не хватит" и обработка будет сопровождаться повторными зачистными проходами. При точении с меньшей скоростью резец недоиспользуется, что удлиняет время обработки.

Поэтому в дальнейшем скорость резания $V_{\text{пр}}$, при которой время обработки поверхности равно периоду размерной стойкости резца, будем называть предельной скоростью резания.

Обработка с $\Pi = \text{const}$ происходит с непрерывным уменьшением скорости резания от периферии диска к его центру. Машинное время равно

$$t_{\text{оп}} = \frac{\pi \cdot D_H^2 (1-\gamma)}{2000 \cdot V_H \cdot S} \text{ мин.} \quad (5)$$

где V_H - начальная (наибольшая) скорость резания.

Сопоставление формул (3) и (5) для одинаковых начальных скоростей резания ($V = V_H$), приводит к выводу о том, что способ точения с $V = \text{const}$ дает двухкратное (при $\gamma=0$) снижение машинного времени.

Однако наличие предельных значений скорости резания для способа $V_{\text{пр}} = \text{const}$ не позволяет реализовать в полной мере это преимущество. Начальную скорость резания V_H при $\Pi = \text{const}$ можно назначить большей, чем $V_{\text{пр}}$. Покажем, что скорость резания $V_{\text{пр}}$ должна быть средней, а не начальной, когда обработка ведется по способу $\Pi = \text{const}$.

Запишем основную формулу стойкости (I) через среднюю по площади обработки скорость резания $V_{\text{ср}}$ в следующем виде:

$$T \cdot V_{\text{ср}} \cdot S = \frac{C_T}{V_{\text{ср}}^{\chi-1} \cdot S^{\psi-1}} \quad (6)$$

С учетом того, что время обработки приравнивается к периоду размерной стойкости реза, в левой части последнего равенства имеем площадь обработанной поверхности, которую можно представить выражением

$$F = \frac{\pi D_H^2 (1 - \gamma^2)}{4000} \text{ м}^2 \quad (7)$$

Подставляя (7) в равенство (6) и решая полученное выражение относительно $V_{\text{ср}}$, получим

$$V_{\text{ср}} = \left[\frac{4000 \cdot C_T}{\pi \cdot D_H^2 (1 - \gamma^2) S^{\psi-1}} \right]^{\frac{1}{\chi-1}}$$

Найденное выражение точно соответствует формуле (4) скорости $V_{\text{пр}}$, следовательно, $V_{\text{ср}} = V_{\text{пр}}$.

Выведем формулу, связывающую среднюю по обработанной площади скорость резания $V_{\text{ср}}$ с начальной скоростью резания (для $n = \text{const}$).

Формула скорости резания

$$V = \frac{\pi \cdot n}{1000} \cdot D \quad \frac{\text{м}}{\text{мин}} \quad (8)$$

Площадь обработанной поверхности торца

$$F = \frac{\pi}{4} (D_H^2 - D^2).$$

Решая последнее относительно текущего диаметра обточки, получим

$$D = D_H \sqrt{1 - \frac{4F}{\pi \cdot D_H^2}} \quad (9)$$

Подставим выражение (9) в формулу (8), находим

$$V = V_H \sqrt{1 - b_0 \cdot F} \quad (10)$$

где $\beta_0 = \frac{4}{\pi \cdot D_H^2}$ - постоянная величина.

Среднеинтегральное значение скорости резания в пределах обработанной поверхности диска равно (рис. I)

$$V_{cp} = \frac{V_H}{F_K} \int_0^{F_K} \sqrt{1 - \beta_0 F} \cdot dF = \frac{2}{3} \frac{V_H}{\beta_0 F_K} \left[1 - (1 - \beta_0 F)^{3/2} \right] \quad \text{или}$$

$$V_{cp} = \frac{2V_H}{3} \cdot \frac{1 - \gamma^3}{1 - \gamma^2} \quad (\text{II})$$

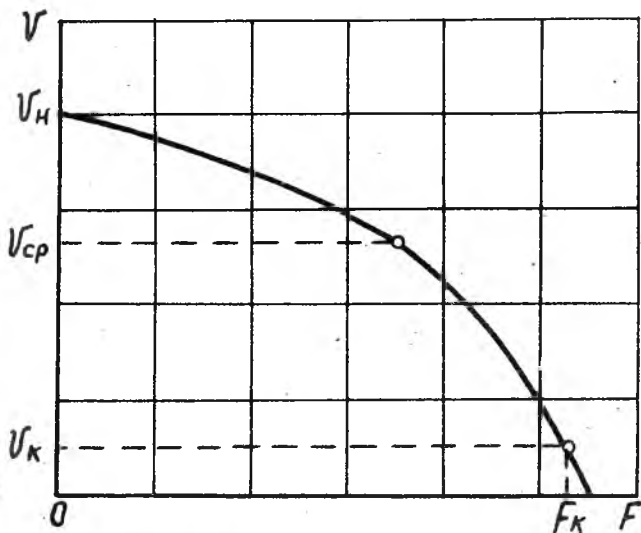


Рис. I. Среднеинтегральное значение скорости резания в пределах обработанной поверхности диска

Используя равенство скоростей $V_{cp} = V_{пр}$ и формулу (II), можно записать:

$$V_n = \beta(\gamma) \cdot V_{np}, \quad (12)$$

где $\beta(\gamma) > 1$,

$$\beta(\gamma) = \frac{3}{2} \cdot \frac{1 - \gamma^2}{1 - \gamma^3}. \quad (13)$$

Таким образом, из выражения (12) следует, что начальную скорость резания нужно назначить в β раз большей, чем скорость резания V_{np} , найденную по формуле (4). Коэффициент $\beta(\gamma)$ зависит только от соотношения диаметров обточка. При $\gamma = 0$ коэффициент принимает наибольшее значение, равное $\beta = 1,5$. График изменения β от соотношения диаметров D_k/D_n представлен на рис. 2, кривой 1.

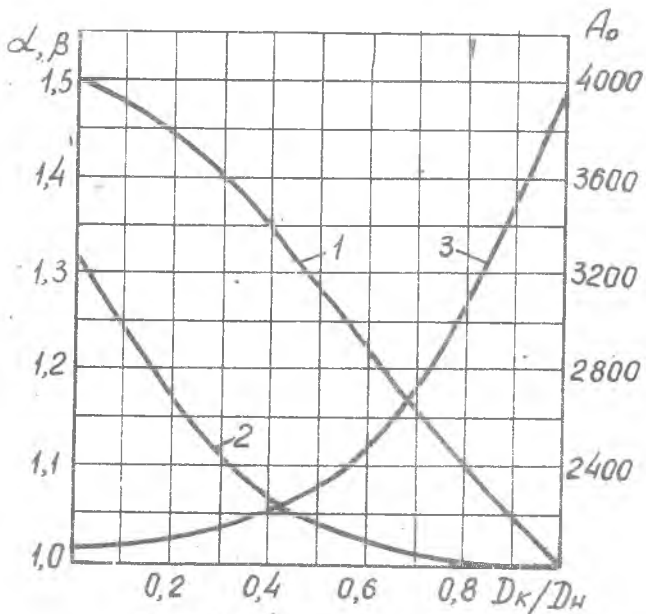


Рис. 2. Зависимость параметров β , α и A_0 от соотношения диаметров D_k/D_n

Подставим выражение (12) в формулу (5) и найдем соотношение машинного времени обработки двух рассматриваемых способов точения

$$\frac{t_{0,n}}{t_{0,r}} = \frac{4}{3} \frac{(1-\gamma)(1-\gamma^3)}{(1-\gamma^2)^2}$$

или, окончательно

$$t_{0,n} = \alpha(\gamma) \cdot t_{0,r}, \quad (14)$$

где $1,0 < \alpha(\gamma) < 1,34$.

График изменения $\alpha(\gamma)$ приведен на рис.2 (кривая 2). Таким образом, переход на точение с $V_{пр} = \text{const}$ по сравнению с обработкой при $n = \text{const}$ в лучшем варианте, когда $\gamma = 0$, дает выигрыш по машинному времени, равный 33,3%.

В качестве числовой иллюстрации применения полученных зависимостей рассмотрим обработку условного диска из материала ЭИ 698ВД резцами ВИСМ. В формуле стойкости (1) постоянные равны: $C_T = 1,5 \cdot 10^5$; $X = 3,5$; $Y = 1,3$ (получены к.т.н. В.Н. Макаровым, РАТИ).

Непосредственное пользование формулой для вычисления предельной скорости резания $V_{пр}$ (4) дело достаточно трудоемкое, поэтому удобнее пользоваться графическим методом. С помощью предварительно построенных графиков скорость резания $V_{пр}$ находится весьма просто, как частное от деления величины A_0 (рис. 2, кривая 3) на B_0 (рис. 3),

где

$$A_0 = \left[\frac{4000 \cdot C_T}{\pi \left[1 - \left(\frac{2k}{2n} \right)^2 \right]} \right]^{\frac{1}{X-1}} \quad (15)$$

$$B_0 = \left(2n^2 \cdot S^{Y-1} \right)^{\frac{1}{X-1}} \quad (16)$$

Для условного диска принимаем следующую геометрию:

наибольший диаметр $D_2 = 1000$ мм; наименьший обрабатываемый диаметр $D_0 = 100$ мм и на диаметре $D_1 = 800$ мм имеется переход с одной поверхности на другую. За счет перехода можно сменить изношенный резец на новый.

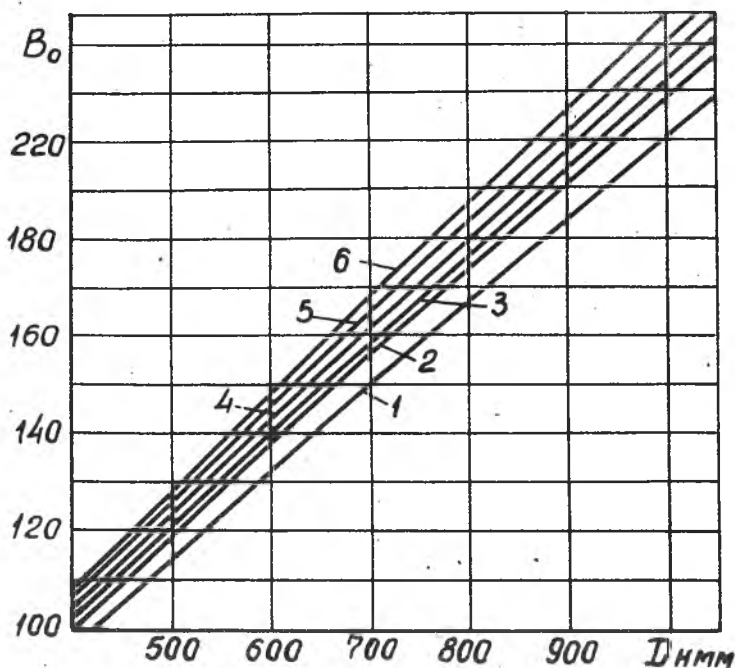


Рис. 3. Зависимость параметра V_0 от наибольшего диаметра обработки D_n для различных значений подачи.

- | | |
|----|-------------------|
| 1. | $S = 0,15$ мм/об, |
| 2. | $S = 0,20$ мм/об, |
| 3. | $S = 0,24$ мм/об, |
| 4. | $S = 0,28$ мм/об, |
| 5. | $S = 0,32$ мм/об, |
| 6. | $S = 0,40$ мм/об |

Таким образом, на диске две поверхности с геометрией:

поверхность I - $D_{H1} = 1000$ мм, $D_{K1} = 800$ мм, $f_1 = 0,8$
 поверхность II - $D_{H2} = 800$ мм, $D_{K2} = 100$ мм, $f_2 = 0,125$.

Расчет машинного времени производим по предельным скоростям резания, т.е. в предположении, что на каждой поверхности I, II размерная стойкость реза используется полностью. На обработку всего диска потребуется два реза. Сравнение времени обработки проведем для подачи $S = 0,24$ мм/об.

Поверхность I. По графику на рис.3 для диаметра 1000 мм и подачи $S = 0,24$ мм/об находим значение $V_{01} = 212$. Для $f_1 = 0,8$ по кривой 3 $A_0(\frac{D_K}{D_H})$ на рис.2 имеем $A_{01} = 3080$. Отсюда, предельная скорость резания равна

$$V_{np1} = \frac{3080}{212} = 14,5 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

По графику на рис.2 определяем коэффициент $\beta = 1,1$. Следовательно, начальная скорость резания для точения при $\Pi = \text{const}$ равна

$$V_{H1} = 1,1 \cdot 14,5 = 16,0 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$$

Машинное время обработки поверхности I с $V_{np1} = \text{const}$ составит

$$t_{01} = \frac{3,14 \cdot (1000)^2 (1 - 0,64)}{4000 \cdot 14,5 \cdot 0,24} = 81 \text{ мин.}$$

По кривой 2 на рис.2 для $f_1 = 0,8$ находим $\alpha \approx 1,0$, что означает практическое равенство времени обработки поверхности I двумя рассматриваемыми способами.

Поверхность II. Аналогично предыдущему случаю для диаметра 800 мм и $f_2 = 0,125$ находим $V_{np2} = \frac{2060}{177} = 11,6 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$.

Коэффициенты равны $\beta = 1,47$, $\alpha = 1,21$. Отсюда начальная скорость резания $V_{H2} = 1,47 \cdot 11,6 = 17 \frac{\text{м}}{\text{мин}}$.

Машинное время обработки поверхности II: способом $V_{np} = \text{const}$

$$t_{0,2} = \frac{3,14 \cdot (800)^2 [1 - (0,125)^2]}{400 \cdot 11,6 \cdot 0,24} = 180 \text{ мин.}$$

на режиме обработки с $n = \text{const}$

$$t_{0,n} = 1,21 \cdot t_{0,v} = 218 \text{ мин.}$$

Выигрыш во времени обработки поверхности II способом $V_{np} = \text{const}$ составляет 38 минут, или 14,6 % от общего времени обработки диска.

Для сравнения определим машинное время обработки торца диска со скоростью резания, отвечающей 60-минутной стойкости резца. При этом будем иметь в виду те же два способа точения ($n = \text{const}$, $V = \text{const}$).

Задаваясь $T = 60$ минут, из формулы (I) для рассматриваемой пары материалов имеем

$$V_{60} = \left[\frac{1,5 \cdot 10^5}{60 \cdot (0,24)^{1,3}} \right]^{\frac{1}{3,5}} = 15,85 \frac{\text{м}}{\text{мин.}}$$

Можно вычислить, что машинное время обработки всего диска при $n_{60} = \text{const}$ составит $83 + 231 = 314$ мин, где 83 мин - время прихода поверхности I; 231 мин - время прохода поверхности II.

Сопоставление скорости резания $V_{60} = 15,85$ м/мин с предельными значениями для каждой поверхности диска (14,5 м/мин и 11,6 м/мин) свидетельствует о том, что точение с $V_{60} = \text{const}$ будет сопровождаться преждевременным износом резца.

Таким образом, наименьшее время (261 мин) требуется для обработки с постоянством предельной скорости резания $V_{np} = \text{const}$.

Сопоставляя время обработки условного диска по традиционной схеме ($n_{60} = \text{const}$) с обработкой на режиме автоматического поддержания $V_{np} = \text{const}$, получаем снижение времени во втором случае на

$$\frac{314 - 261}{261} 100\% = 20,3\%.$$

ВЫВОДЫ

При торцевой обточке крупногабаритных деталей из труднообрабатываемых материалов, для которых справедлива формула стойкости

$$T = \frac{C_T}{V^x \cdot S^y}$$

достижимое снижение машинного времени обработки за счет сохранения постоянства скорости резания взамен точения с $\pi = \text{const}$ составляет 33%.

Сравнение времени обработки следует производить для предельных скоростей резания, при которых на каждой данной площади обработки размерная стойкость резца используется полностью.

Режимы резания, назначаемые из условия равенства периода размерной стойкости времени обработки каждой данной поверхности, являются наиболее производительными как для точения с $V = \text{const}$, так и для $\pi = \text{const}$

В заключение отметим, что полученные выводы не распространяются на материалы, имеющие на диаграмме стойкости $T(V)$ экстремальные зоны в области рабочих скоростей резания.

Литература

1. Малов А.Н. Справочник технолога-машиностроителя, т.2, "Машиностроение", Москва, 1972.

УДК 621.914.01

А.Н.Волков, Г.Т.Авдонин,
И.П.Бабордин, В.Н.Минеев

ИССЛЕДОВАНИЕ СТОЙКОСТНЫХ И СИЛОВЫХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ПРИ ФРЕЗЕРОВАНИИ СТАЛИ КВК 32 НА СТАНКАХ С ПРОГРАММНЫМ УПРАВЛЕНИЕМ

В производство широко внедряются операции обработки деталей на станках с программным управлением, обладающих высокой производительностью. При составлении программы обработки требует-