

УДК 621.9.04 + 621.9.02

ОБЕСПЕЧЕНИЕ ПРОИЗВОДИТЕЛЬНОСТИ МНОГОСТАДИЙНОЙ ОБРАБОТКИ

В.И. Гузеев

В работе рассмотрена возможность повышения производительности обработки путем оптимизации количества стадий обработки поверхностей деталей. Показано влияние износа инструмента на необходимое количество стадий обработки при точении.

Ключевые слова: производительность обработки, стадии обработки, износ инструмента, жесткость технологической системы.

Производительность обработки определяется количеством стадий обработки необходимых для достижения заданной точности детали из заготовок той или иной точности. В связи с известным свойством технологической системы, связанным с наследственностью погрешностей детали от погрешностей заготовки, необходимое количество стадий уточнения заготовки зависит как от свойств самой технологической системы, так и от степени разброса входных параметров заготовки и режимов ее обработки. Кроме того, в связи с тем, что процесс уменьшения погрешности заготовки зависит от поля рассеивания ее размеров, требуемое количество стадий обработки в основном определяется колебанием размера динамической настройки на каждой из них. При этом, сама величина размера обычно корректируется изменением статической настройки.

Возможность нахождения оптимального варианта обработки рассмотрим на примере получения размера детали 10-го качества точности (рис. 1).

Из рис. 1 видно, что если на окончательной стадии обработки будет назначена максимально допустимая по ограничениям подача [1], то для обеспечения точности размера по 10-му качеству необходимо, чтобы заготовка имела 11 качество точности. Понятно, что тот же 10-ый качество можно получить из заготовок 12, 13, 14, и 16-го качества точности, ведя обработку с меньшим значением подачи.

Аналогичным образом формируются графы возможных вариантов обработки для предыдущих стадий уточнения.

Задача выбора оптимального количества стадий обработки и соответствующих им режимов резания сводится к дискретной задаче определения кратчайшего по времени пути уточнений между заданной точностью детали и заготовки.

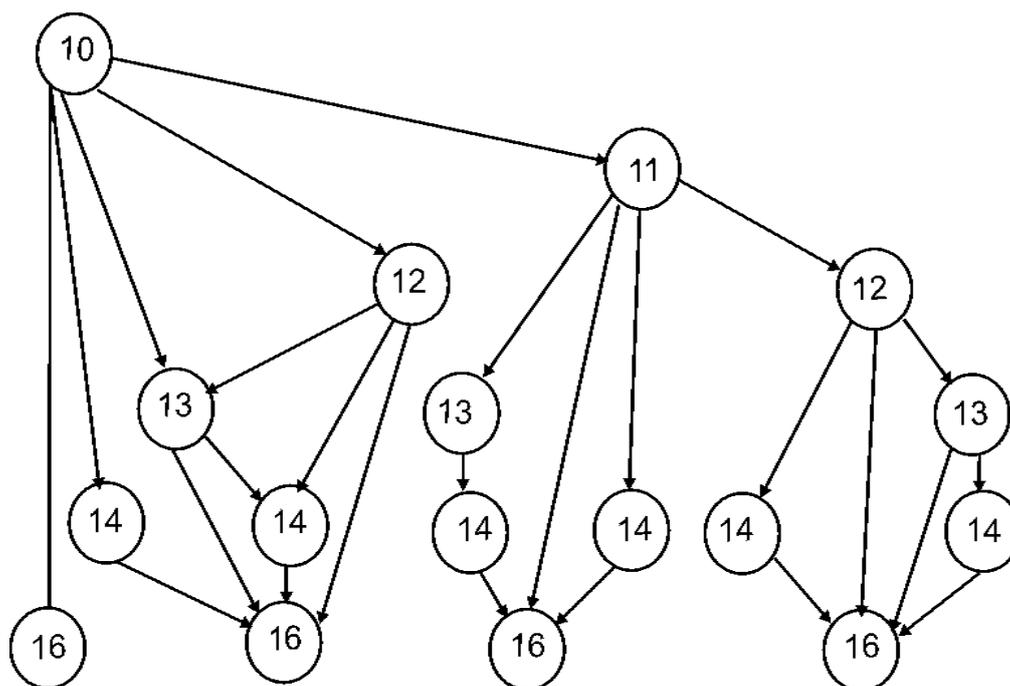


Рис. 1. Дерево возможных вариантов получения размера 10-го качества точности из заготовки 16 качества

Для решения этой задачи могут быть использованы различные математические методы оптимизации. Наиболее приемлемым среди них для этой задачи представляется метод динамического программирования [2]. К его достоинствам относятся сравнительная простота расчетов, удобство их алгоритмизации, получение решения в виде оптимальной последовательности.

В общем виде кратчайший путь из начальной вершины в любую вершину графа определяется по рекуррентному уравнению:

$$T_{i,j} = \min_{\substack{j \langle n \leq N \\ j \langle k \leq M}} \{ T_{n,k} + \tau_{n,k}^{i,j} \},$$

где $T_{i,j}$ – время кратчайшего пути из начальной вершины графа в вершину с координатами (i, j) ; $\tau_{n,k}^{i,j}$ – время пути из вершины графа с координатами (n, k) в вершину с координатами (i, j) .

Таким образом, задача распадается на определенные операторы нахождения времен:

$$T_{NM} = 0; \quad T_{N-1,M-1} = \tau_{N,M}^{N-1,M-1}; \quad T_{N-2,M-1} = \tau_{N,M}^{N-2,M-1};$$

$$T_{N-2,M-2} = \min \{ T_{N-1,M-1} + \tau_{N-1,M-1}^{N-2,M-2}; T_{N,M} + \tau_{N,M}^{N-2,M-2} \};$$

$$T_{N-3,M-2} = \min \{ T_{N-2,M-1} + \tau_{N-2,M-1}^{N-3,M-2}; T_{N-1,M-1} + \tau_{N,M}^{N-3,M-2}; T_{N,M} + \tau_{N,M}^{N-3,M-2} \}.$$

Работу алгоритма можно проиллюстрировать примером обработки цилиндрической поверхности диаметром $\varnothing 60h10$, длиной $L = 40$ мм, с требуемой шероховатостью $R_a = 2,5$ мкм детали «Втулка» из стали 45 ($\sigma_i = 1380$ МПа) на станке 16К20Т1 резцом с пластиной Т15К6 2101-0637 ГОСТ 18883-73.

На рис. 2 приведена граф-схема возможных вариантов обработки этой поверхности при износе инструмента по задней поверхности $l_3 = 0,05$ мм.

Вершинами графов являются качества точности для промежуточных состояний заготовки. На каждом участке графа указано основное время. Утолщенными линиями выделен маршрут уточнения заготовки, обеспечивающий минимальное время. Из схемы видно, что не всегда выгодно работать с максимально допустимой подачей, так как в этом случае увеличиваются требования к точности заготовки на каждой стадии обработки, и поэтому растет количество самих стадий. Например, если выполнять все стадии с максимальной подачей, допустимыми ограничениями, потребуется четыре стадии обработки (маршрут уточнения $16 \Rightarrow 14 \Rightarrow 13 \Rightarrow 12 \Rightarrow 10$) и время цикла автоматической работы увеличивается до 0,701 мин (см. рис. 2).

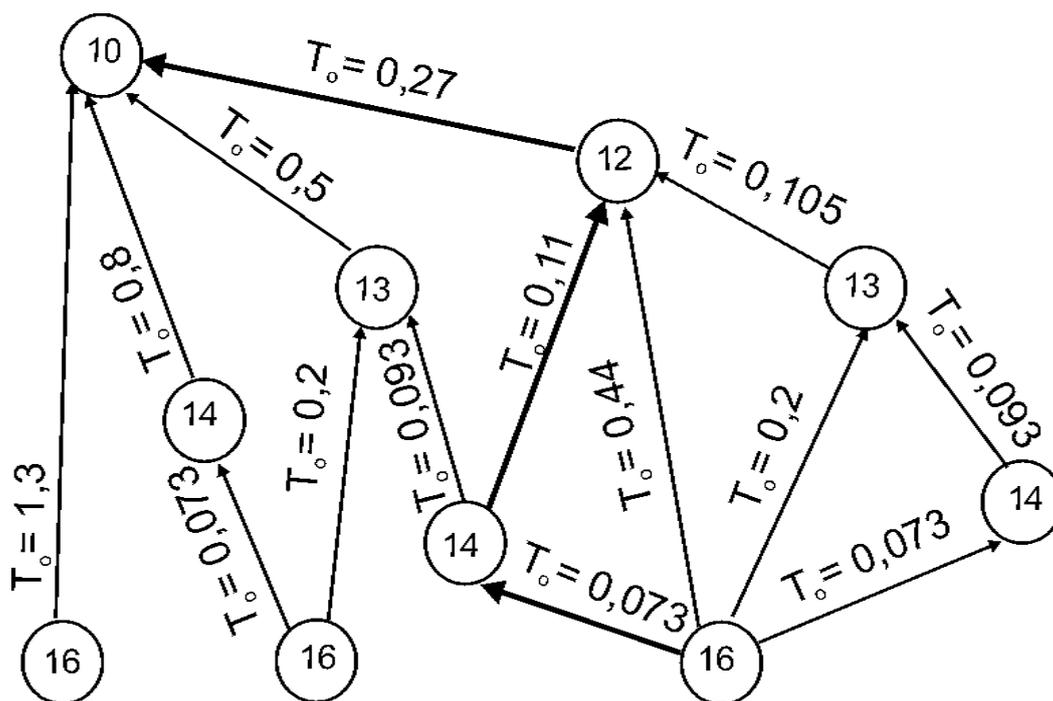


Рис. 2. Схема поиска оптимального варианта обработки поверхности $\varnothing 60h10$ из заготовки 16 качества точности ($l_3 = 0,05$ мм)

Однако и принятие минимально возможных значений подачи хотя и уменьшает количество стадий уточнения, но увеличивает время перехода. Например, вариант последовательности уточнений $16 \Rightarrow 14 \Rightarrow 10$ дает

$T_{ца} = 0,953$ мин, хотя количество стадий только две. В данном примере наименьшее время цикла автоматической работы ($T_{ца} = 0,573$ мин) получается для варианта уточнений за три стадии – $16 \Rightarrow 14 \Rightarrow 12 \Rightarrow 10$.

Варианты с промежуточным 11-м качеством точности отпали в связи с тем, что стадия $11 \Rightarrow 10$ требует подачи $0,19$ мм/об, которая больше допустимой по шероховатости.

Таким образом, оптимизация количества стадий обработки с учетом рациональных режимов резания обеспечивает повышение производительности обработки и уменьшает себестоимость операции.

Для выяснения влияния износа инструмента по задней поверхности на значение целевой функции и количество требуемых стадий обработки обратимся к предыдущему примеру обработки детали «Втулка», имеющей поверхность $\varnothing 60h10$. Просчитаем время $T_{ца}$ для разных вариантов последовательности уточнений задавшись величиной износа l_3 равной $0,8$ мм, значение которого является критерием нормативной стойкости.

Схема вариантов обработки с указанием времени для выполнения каждой стадии приведена на рис. 3. Расчеты показывают, что в этом случае оптимальным вариантом является обработка за четыре стадии уточнения (маршрут уточнения – $16 \Rightarrow 14 \Rightarrow 13 \Rightarrow 12 \Rightarrow 10$). Этот вариант дает время $T_{ца} = 0,708$ мин.

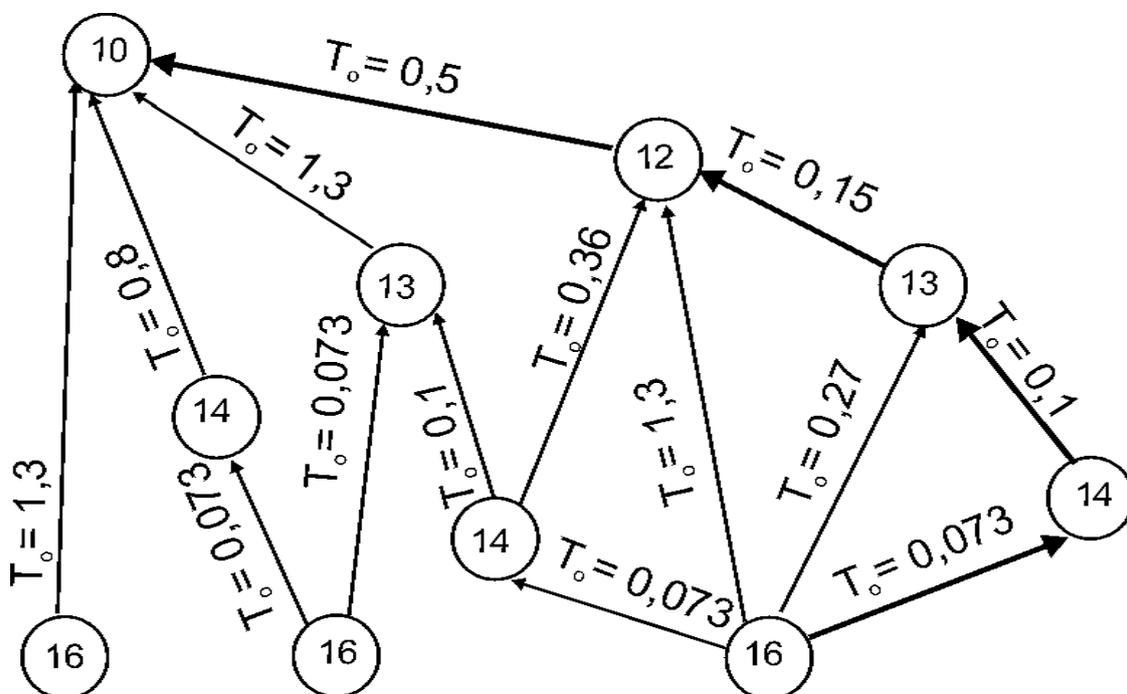


Рис. 3. Схема поиска оптимального варианта обработки поверхности $\varnothing 60h10$ из заготовки 16-го качества при предельном износе инструмента

Сравнивая эти данные с вариантом, где износ был равен 0,05 мм (см. рис. 2) (практически острый резец), видим, что время увеличилось на 24 %.

Вместе с тем, из схемы (см. рис. 3) видно, что в наибольшей степени увеличенный износ инструмента повлиял на время, необходимое для выполнения чистовых стадий ($12 \Rightarrow 10$; $13 \Rightarrow 12$).

Более детальное исследование влияния величины износа инструмента на время выполнения каждой стадии уточнения дало возможность построить графики значений целевой функции в зависимости от стадии уточнения и износа (рис. 4).

Из графика видно, что, действительно, на разных стадиях уточнения степень влияния величины износа различная. Наибольшее влияние на время обработки величина износа оказывает при чистовых стадиях уточнения, и чем точнее стадия, тем больше это влияние. Из анализа этого графика становится очевидным, что допустимый износ инструмента при чистовых стадиях обработки должен быть меньше чем при черновых и получистовых стадиях, т.е. обработка двумя резцами: черновым и чистовым, должна давать меньшее время $T_{ца}$. При этом нужно учитывать дополнительно время, необходимое на смену инструмента. Так, в рассматриваемом примере, если на черновых стадиях обработки ($16 \Rightarrow 14 \Rightarrow 13$) применить резец с допустимым износом по задней поверхности равным 1,0 мм, а на чистовых стадиях ($13 \Rightarrow 12 \Rightarrow 10$) – 0,4 мм, оптимальным становится вновь вариант обработки в три стадии уточнения со временем $T_{ца} = 0,578$ мин.

Таким образом, видно, что количество стадий обработки зависит от назначенной величины допустимого износа инструмента для различных стадий. Очевидно, правомерна и обратная задача – определение допустимых значений предельного износа инструмента для оптимальной последовательности стадий обработки.

Эта задача достаточно просто реализуется с помощью той же программы оптимизации. Для этого, после определения оптимального варианта последовательности уточнений, варьирование величиной износа инструмента дает возможность определить его предельные значения, когда выбранный вариант становится неоптимальным.

На рис. 5 и 6 приведены графики, иллюстрирующие поиск максимально допустимого износа инструмента по задней поверхности, обеспечивающего наименьшее время цикла автоматической работы станка по программе.

Расчетные значения допустимого износа инструмента должны являться критерием для принудительной замены инструмента, так как работа инструментом с износом больше допустимого приводит к тому, что погрешность размеров становится невозможно скомпенсировать внесением

поправки в размер статической настройки. Уменьшить погрешности обработки в этом случае иногда можно, но только за счет увеличения количества стадий обработки, что является уже неоптимальным.

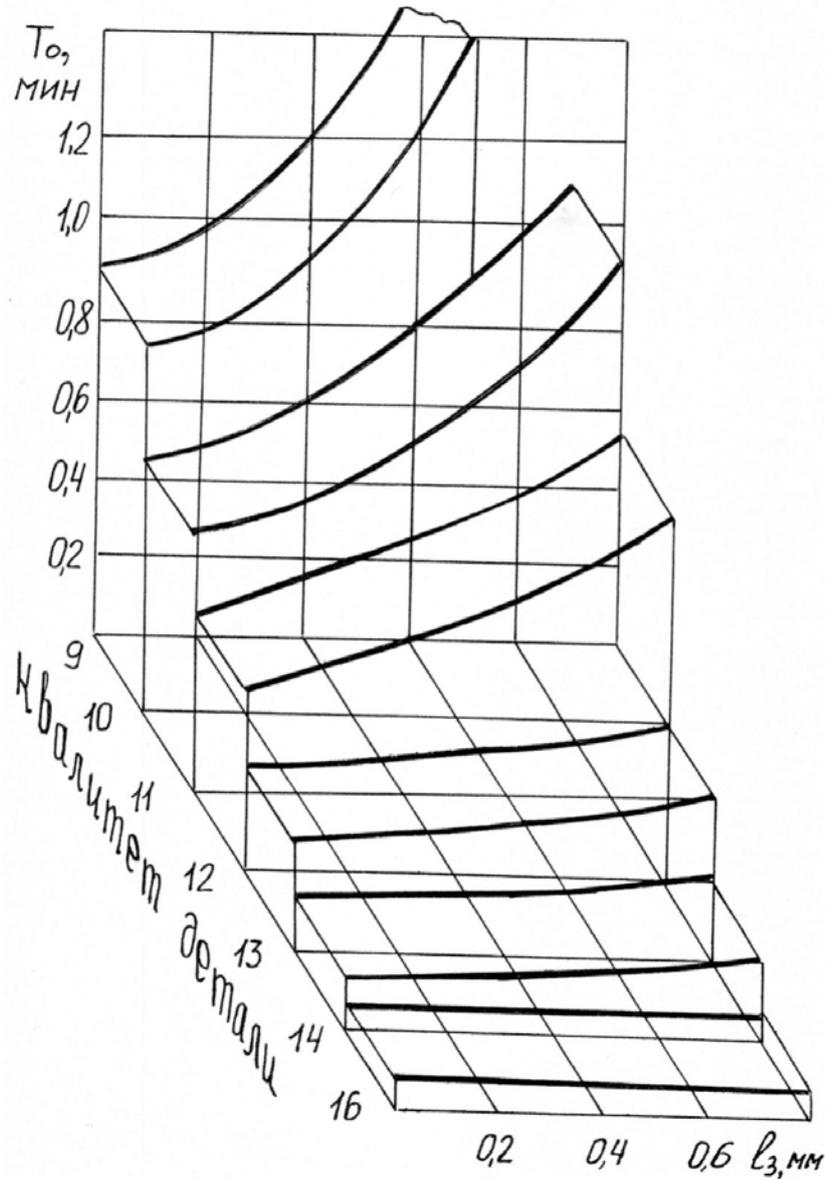


Рис. 4. Зависимость основного времени от степени износа инструмента

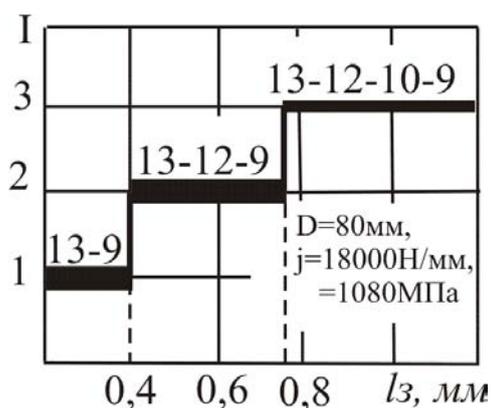


Рис. 5. Определение значения допустимого износа инструмента при чистовой и получистовой обработке

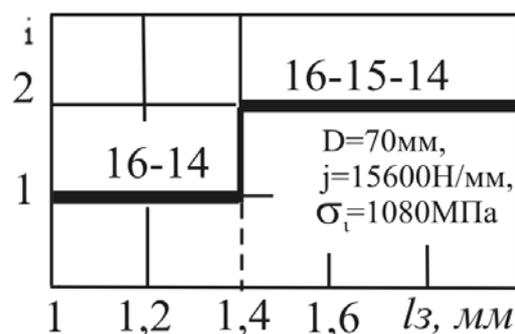


Рис. 6. Определение допустимого износа инструмента при черновой стадии обработки

Следует отметить, что расчетная величина допустимого износа инструмента значительно зависит от жесткости технологической системы. Особенно это сказывается в том случае, когда в технологической системе имеется отдельный элемент с лимитирующей жесткостью, например, расточной резец или нежесткая деталь. Так, при изменении отношения длины детали (L) к ее диаметру (D) от $L/D = 3$ до $L/D = 10$ допустимый износ резца для чистовых стадий обработки уменьшается с 0,6 мм до 0,2 мм, а для черновых – с 1,4 мм до 0,8 мм. Понятно, что для сохранения производительности в таких условиях, необходимо применять инструмент с пониженной величиной относительного износа.

Библиографический список

1. Гузев, В.И. Режимы резания для токарных и сверлильно-фрезерно-расточных станков с числовым программным управлением: справочник / В.И. Гузев, В.А. Батуев, И.В. Сурков; под ред. В.И. Гузеева. – М.: Машиностроение, 2005. – 356 с.
2. Белман, Р. Прикладные задачи динамического программирования / Р. Белман, С. Дрейфус. - М.: Наука, 1965. – 457 с.

[К содержанию](#)