

ОПТИМИЗАЦИЯ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ ПРИ ОБРАБОТКЕ ИНСТРУМЕНТАЛЬНЫМИ БЛОКАМИ

Предлагается методика расчета режимов резания отдельных инструментов при многоинструментной обработке для различных вариантов замены инструмента в процессе эксплуатации и с учетом вероятностного характера стойкости инструмента при заданной наработке на отказ, которая позволяет обеспечить заданный такт выпуска детали с минимальными затратами, связанными с эксплуатацией режущего инструмента, а также минимизировать другие составляющие технологической себестоимости обработки.

Ключевые слова: инструментальная наладка, стойкость инструмента, скорость резания, частота вращения, наработка на отказ.

Введение. Снижению технологической себестоимости выпускаемой продукции уделяется достаточно пристальное внимание в современном машиностроении. Одним из важных факторов влияющих на технологическую себестоимость являются эксплуатационные затраты на режущий инструмент, которые в современном серийном и крупносерийном машиностроительном производстве составляют от 12% до 25%. Особенно актуально решение данной проблемы при использовании инструментальных наладок, когда обработка различных по размерам и конфигурации поверхностей осуществляется различными группами инструментов, объединенных в один инструментальный блок.

Анализ исследований и литературы. Вопросам параметрической оптимизации инструментальных наладок при многоинструментной обработке уделялось большое внимание. Так в [1] детально рассматривались вопросы оптимизации режимов резания при обработке многолезцовыми инструментальными блоками, а в [2,3] вопросы оптимизации скорости резания, связанные с вероятностным проявлением стойкости инструмента при обеспечении заданной наработке на отказ режущего инструмента. Однако, вопросы, связанные с расчетом оптимальных параметров режимов резания при обработке инструментальными блоками, состоящими из концевых режущих инструментов, изучены не до конца. Особенно это относится к учету факторов, которые определяются структурной компоновкой инструментального блока (длины резания инструмента и длины рабочих ходов инструментального блока, требуемый такт выпуска и др.), при назначении параметров резания для каждого инструмента.

Целью данной статьи является исследование факторов, влияющих на назначение оптимальных режимов обработки с точки зрения снижения эксплуатационных затрат на инструмент и разработка основ математической модели структурно-параметрической оптимизации процесса резания.

Общая структура эксплуатационных затрат на режущий инструмент. В общем случае эксплуатационные затраты на режущий инструмент C_{ii} связаны в основном с его переточкой, наладкой и простоями оборудования во время замены инструмента [4].

Анализ факторов влияющих на эксплуатационные затраты показал, что они зависят как от структуры инструментальной наладки (параметры связанные с длиной рабочего хода инструментального блока, длиной резания, сложностью настройки инструмента, временем наладки и замены инструмента и др.), так и от параметров обработки (скорость резания или частота вращения и скорость перемещения инструментального блока). Скорость перемещения инструментального блока определяется необходимостью синхронизации операций и обеспечением необходимого такта выпуска – τ , а с другой стороны влияет на параметры режимов резания и, соответственно, стойкость T_i каждого инструмента блока. Поэтому, если мы не можем варьировать тактом выпуска, так как это обеспечивает требуемую производственную программу выпуска, то, варьируя стойкостью конкретного инструмента, мы можем минимизировать эксплуатационные затраты за счет оптимизации параметров режимов обработки.

В настоящее время существуют несколько основных методов замены инструмента: замена по отказам, замена по жесткому графику, смешенная замена. Наиболее прогрессивной является плановая замена инструмента по жесткому графику, которая, однако, применяется лишь в 15% случаев обслуживания многоинструментных наладок. При таком подходе обычно настройка инструмента производится вне станка, а его замена осуществляется наладчиком, обслуживающим несколько станков. Причем замена производится во время технологического или обеденного перерыва. Тогда из расходов по эксплуатации инструмента исключается статья, связанная с простоем оборудования из-за замены инструмента, так как об-

работка в это время не производится в соответствии с производственным графиком работы. Иными словами, возможна замена инструмента наладчиком без участия основного рабочего по графику, соответствующему времени плановой остановки оборудования в течение производственного цикла (технологический или обеденный перерыв, начало новой смены и др.).

Анализ зависимости затрат на эксплуатацию инструмента от его стойкости для конкретных инструментов и вариантов инструментальных наладок показал, что функция является монотонно убывающей и в случае замены инструмента по отказам носит непрерывный, а для варианта плановой замены инструмента по жесткому графику - кусочно-непрерывный характер (рис. 1).

При возможности организовать замену инструментов по жесткому графику в моменты времени $\{T_{01}, T_{02}, \dots, T_{0m}\}$ для каждого инструмента наладки существует множество граничных значений стойкости $T_{ci} = \{t_{zim} / m=1 \dots M\}$, образующих интервалы $[T_{0m}, t_{zim}]$, для которых характерна возможность назначения более рациональной стойкости инструмента по сравнению с расчетной. Если для рассматриваемого инструмента со стойкостью T_i существует интервал такой, что

$$T_{0m} \leq T_i < t_{zim}, \quad (1)$$

то целесообразно производить замену инструмента по жесткому графику, так как в этом случае стоимость эксплуатационных затрат инструмента соответствует стойкости плановой замены инструмента, или

$$C_{ui} = C_{[T_{0m}]} = const \quad \text{при } T_i \rightarrow T_{0m}, \quad (2)$$

и поэтому есть возможность оптимизировать режимы обработки до значений, когда $T_i \approx T_{0m}$ (например, увеличить скорость резания до обеспечения стойкости T_{0m} с одновременным снижением оборотной подачи инструмента), что позволяет сократить некоторые статьи эксплуатационных расходов потребителя, которые зависят в большей степени от подачи инструмента, при постоянстве затрат, связанных с его эксплуатацией.

График технологической остановки оборудования может отличаться от значений, приведенных на рис. 1 и может быть установлен в соответствии с принятой схемой работы на конкретном предприятии. При большом количестве групп инструментов в инструментальном блоке целесообразно использовать разные графики для каждой группы, однако, разработка таких должна осуществляться при проведении технологической подготовки производства с учетом графика работы остальных участков производства.

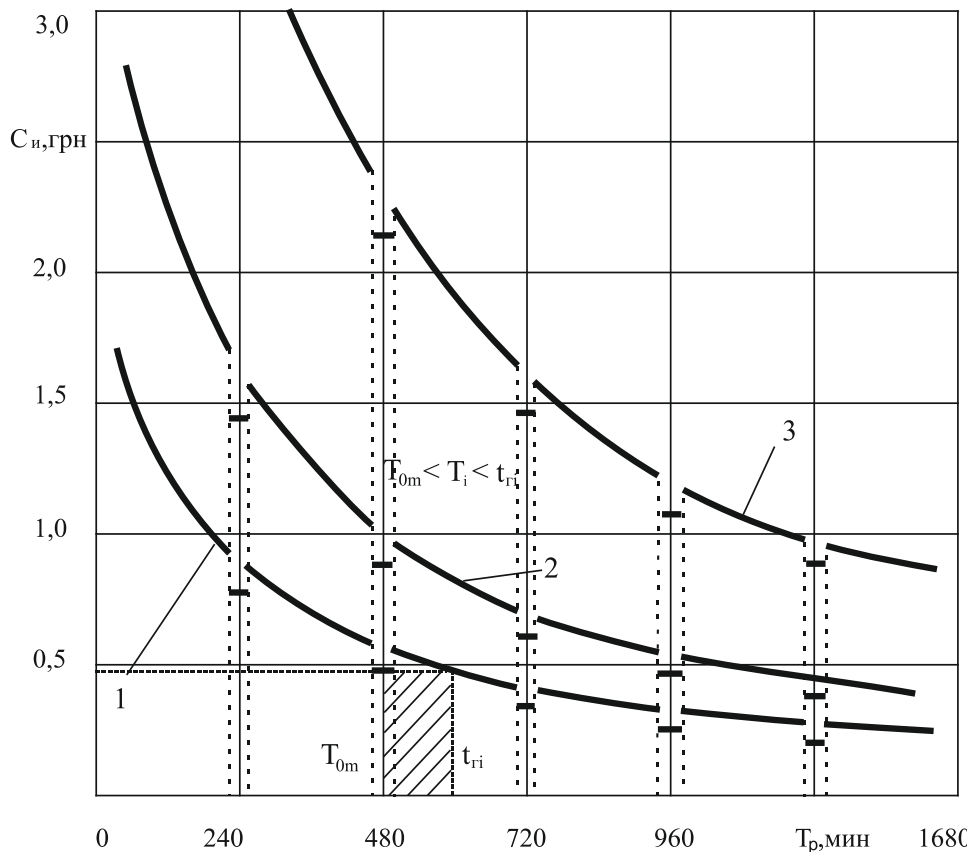


Рис. 1. – Затраты на эксплуатацию инструмента в зависимости от его стойкости при многоинструментной обработке на агрегатном станке: 1 – сверло; 2 – зенкер; 3 – развертка.

В тех случаях, когда условие (1) не выполняется ни для одного интервала, а также, когда нет возможности организовать плановую замену инструмента, более экономично использовать весь ресурс работы инструмента и осуществлять его замену по отказам. Тогда режимы резания целесообразно назначать минимально допустимые исходя из технологических, организационно-технических ограничений и заданной производительности.

Значение t_{zim} и, следовательно, величина интервала $[T_{om}, t_{rim}]$ определяются долей затрат, связанных с простоем оборудования при замене инструмента, и зависит в первую очередь от стоимости оборудования и факторов, влияющих на длительность непосредственно замены инструмента, таких, как конструкция патронов, доступность в зону установки патрона, необходимость дополнительного времени для обеспечения вывода инструмента из зоны обработки при наличии кондукторной втулки и др.

Такой подход позволяет не только разработать наиболее рациональный вариант обработки с использованием инструментальных блоков для существующей на предприятии организации замены инструмента, но и предложить наиболее эффективный способ замены инструмента для конкретного варианта обработки, что позволит в дальнейшем сократить эксплуатационные расходы.

Параметрическая оптимизация работы инструментального блока.

Такт выпуска изделия определяется необходимой производственной программой выпуска, и поэтому принимается в качестве исходной константы при выполнении параметрических расчетов инструментальных наладок, которые безусловно должны обеспечивать требуемые технические характеристики объекта обработки и заданное время.

Установлено, что скорость резания оказывает на стойкость инструмента значительно большее влияние, чем подача, поэтому оптимизацию стойкости инструмента и, следовательно, эксплуатационных затрат целесообразно проводить за счет варьирования именно скорости резания (частоты вращения) инструмента при максимально допустимом значении его подачи [1,2]. Однако, зависимости скорость резания – стойкость носят «горбообразный» характер, поэтому в массовом и крупносерийном производстве при обработке на агрегатных станках и автоматических линиях необходимо проверять возможность обработки на низких режимах резания без ухудшения показателя стойкости инструмента [2]. Иными словами, для каждого варианта обработки существует минимальное допустимое значение скорости резания (частоты вращения), при котором изменение стойкости от скорости резания соответствует классической зависимости.

Это позволяет рассчитать минимальную минутную подачу инструментального блока и частоту вращения каждого инструмента, обеспечивающую заданный такт выпуска. Календарную стойкость инструмента в этом случае можно описать зависимостью

$$T_i = \frac{T_{pi} * T_{bi} * n_{bi}^{\mu_i}}{(T_{pi} - T_{bi}) * \tilde{n}_{mini}^{\mu_i} + T_{bi} * n_{bi}^{\mu_i}} * \frac{\tau}{t_{pi}} * K_{st}$$

где T_i -календарная стойкость i -го инструмента, мин;

T_{pi} - предельно допустимое значение стойкости i -го инструмента для рассматриваемых условий обработки, мин;

T_{bi} - базовое значение стойкости i -го инструмента, для которого определялись нормативные режимы обработки, мин;

t_{pi} - время резания i -го инструмента, мин;

K_{st} - коэффициент, учитывающий вероятность выхода из строя инструмента до наступления расчетного времени наработки на отказ по стойкости инструмента, мин;

n_{bi} - частота вращения i -го инструмента, соответствующая базовой стойкости, об/мин;

\tilde{n}_{mini} - расчетная частота вращения i -го инструмента, обеспечивающая заданный такт выпуска, об/мин;

τ – такт выпуска детали, мин;

μ_i – показатель степени в зависимости скорость резания – стойкость для базовых значений режимов резания для конкретного вида обработки.

Вероятностное распределение стойкости инструментов в подавляющем большинстве случаев подчиняется закону нормального распределения, а коэффициент вариации стойкости при нормальных условиях не превышает 35%. При работе в нормативных диапазонах скорости резания и заданной вероятностью безотказной работы $\gamma=95\%$ коэффициент $K_{st}=0,85\dots 0,8$ при обработке стали и $K_{st}=0,93\dots 0,88$ при обработке чугуна [2].

В случае планово-предупредительной смены инструмента по жесткому графику необходимо подбирать ближайшее меньшее значение из предпочтительного ряда T_{om} . С учетом доли времени резания i -го инструмента в общем времени работы инструментального блока, можно определить частоту вращения каждого i -го инструмента исходя из уравнения:

$$\tilde{n}_i^{\mu_i} - \frac{T_{pi} * T_{bi} * n_{bi}^{\mu_i} * \tau * S_i}{T_{om} * L_i * (T_{pi} - T_{bi})} * \tilde{n}_i + \frac{T_{bi} * n_{bi}^{\mu_i}}{(T_{pi} - T_{bi})} = 0$$

где

\tilde{n}_i - расчетное значение частоты вращения i -го инструмента, обеспечивающее заданную безотказность работы инструмента, об/мин;

S_i - подача i -го инструмента, мм/об;

L_i - длина резания для i -го инструмента, мм.

Для инструментов, которые не лимитируют обработку, необходимо сравнивать полученное значение частоты вращения инструмента с минимально допустимой для данных условий обработки. Минимально допустимое значение скорости резания (частоты вращения) определяется для конкретных условий обработки при которых зависимость стойкость – скорость резания носит нисходящий характер (или допустимая

минимальная скорость резания условно соответствует «горбу» функции). В том случае, если полученное значение меньше граничного $[n]_{min}$, для инструмента назначается граничное значение частоты вращения и корректируется значение подачи для данного инструмента.

Если $\tilde{n}_i < [n]_{min}$,

то $\tilde{S}_i = S_i * \frac{\tilde{n}_i}{[n]_{min}}$; $\tilde{n}_i = [n]_{min}$,

где

$[n]_{min}$ – минимально допустимая частота вращения i -го инструмента, об/мин;

\tilde{S}_i – подача i -го инструмента, скорректированная по принятой частоте вращения, мм/об.

Полученные, с точки зрения эксплуатационных затрат, значения оптимальных частот вращения позволяют определить окончательные значения подачи \tilde{S}_i i -го инструмента. Уточненные значения подачи во многих случаях меньше значений, полученных на этапах предварительных расчетов при условии попадания их в заданные границы, когда возможен съем металла, то есть обработка резанием.

Если значение \tilde{S}_i меньше минимально допустимого, то необходимо либо изменять время рабочего хода инструментального блока и пересчитывать режимы резания всех инструментов блока.

Если $\tilde{S}_i < [S]_{min}$,

то $\tilde{t}_{px} = t_{px} * \frac{\tilde{S}_i}{[S]_{min}}$; $\tilde{S}_i = [S]_{min}$,

где

$[S]_{min}$ – минимально допустимая подача i -го инструмента, мм/об;

\tilde{t}_{px} – время рабочего хода инструментального блока, скорректированное по минимально допустимой подаче, мин.

В тех случаях, когда расчетные характеристики частоты вращения и подачи меньше соответствующих граничных значений необходимо изменять структуру объединения поверхностей для обработки с использованием инструментального блока и полностью пересчитывать параметры всех инструментальных блоков.

Такой подход позволяет более эффективно использовать режущий инструмент, уменьшить воздействие силовых факторов в зоне обработки (увеличить

жесткость системы СПЗИ, продлить срок службы силовых агрегатов), снизить затраты на электроэнергию, а возможно, и остальные статьи технологической себестоимости обработки (при условии соответствия остальным ограничивающим факторам).

Выводы. Установлена количественная взаимосвязь между параметрами процесса резания, тактом выпуска изделия и стойкостью режущего инструмента при различных способах замены инструмента. Разработана методика определения параметров процесса резания при обработке деталей с использованием инструментальных блоков, основанная на анализе целевой функции, в качестве которой используется технологическая себестоимость обработки и, в частности, затраты, связанные с эксплуатацией инструмента. Предлагаемая методика расчета параметров процесса резания может служить основой математической модели для создания системы автоматизированного проектирования структуры и параметров инструментальных блоков при обработке концевым режущим инструментом в условиях жестких требований к такту выпуска изделия использования прогрессивных систем обслуживания инструментальных блоков.

Список литературы: 1. Гильман А.М. Автоматизированное проектирование оптимальных наладок металлорежущих станков. / А.М. Гильман, Г.В. Гостев, Ю.Б. Егоров и др. М. : Машиностроение, 1984. 168с. 2. Даниленко Б.Д. Некоторые вопросы нормирования режимов резания. "Известия ВУЗов. Машиностроение". М. : Машиностроение, №6, 2004. – 352с. 3. Игумнов Б.Н. Расчет оптимальных режимов обработки для станков и автоматических линий. – М. : Машиностроение, 1974. – 198 с. 4. Яковенко И.Э. Оптимизационный синтез инструментальных наладок при многопереходной обработке на специальном оборудовании. / Ю.В. Тимофеев, И.Э. Яковенко, А.А. Пермяков и др. Сборник «Резание и инструмент» вып. 49. Харьков. : ХПИ, 1994. с.26-31.

Bibliography (transliterated): 1. Gil'man A.M. Avtomatizirovannoe proektirovanie optimal'nyh naladok metallorézhuszhih stankov. A.M. Gil'man, G.V. Gostev, Ju.B. Egorov i dr. Moscow. : Mashinostroenie, 1984. – 168 p. Print. 2. Danilenko B.D. Nekotorye voprosy normirovaniya rezhimov rezaniya. "Izvestiya VUZov. Mashinostroenie". Moscow. Mashinostroenie, №6, 2004. – 352 p. Print. 3. Igumnov B.N. Raschet optimal'nyh regimov obrabotki dlya stankov i avtomaticheskikh linij. Moscow. Mashinostroenie, 1974. – 198 p. Print. 4. Jakovenko I.Je. Optimizacijnyj sintez instrumental'nyh naladok pri mno-goperehodnoj obrabotke na spe-cial'nom oborudovanii. Ju.V. Timofeev, I.Je. Jakovenko, A.A. Permjakov i dr. Sbornik «Rezanie i instrument» vyp. 49. Kharkov. : KhPI, 1994. – PP. 26-31. Print.

Поступила (received) 20.03.2015

Яковенко Игорь Эдуардович – канд. техн. наук, доц. НТУ «ХПИ», тел.: (057)-707-66-25, e-mail: igor.dych59@gmail.com;

Пермяков Александр Анатольевич – док. техн. наук, проф. НТУ «ХПИ», тел.: (057)-707-66-25, e-mail: perm_a@i.ua.