

УДК 621.322

ОСОБЕННОСТИ ЭНЕРГЕТИЧЕСКОГО КРИТЕРИЯ ОЦЕНКИ ЭФФЕКТИВНОСТИ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ

Жмурин Владимир Викторович

*Аспирант 1 года,
кафедра «Автоматизированные станочные системы»,
Тульский государственный университет*

*Научный руководитель: Сальников В.С.,
доктор технических наук, профессор кафедры «Автоматизированные станочные
системы»*

Произведен анализ различных критериев оценки режимов, выявлены их достоинства и недостатки. Рассмотрены вопросы повышения эффективности обработки резанием, учитывающие энергетический критерий оценки процесса высокоскоростного фрезерования. На его основе разработана методика назначения режимов резания. На её основе произведена интенсификация режимов с целью повышения производительности. Произведен экономический расчет целесообразности её применения.

В настоящее время к металлорежущим станкам предъявляются следующие требования: повышение точности, скорости, надежности, долговечности и производительности. Однако главным при этом остаётся сокращение себестоимости изготовления детали.

Промышленность ведущих стран мира для сокращения себестоимости изготовления деталей использует технологию высокоскоростной механообработки достаточно широко.

Интенсификация производства требует внедрения высокоскоростных методов обработки, особенно при таком трудоемком процессе как фасонное фрезерование. Это возможно при использовании современных станков с частотой вращения шпинделя более 20 000 об/мин и подачей от 3000 до 10000 мм/мин. Конечно, при таких режимах сама работа, используемый станок и инструмент имеют существенные особенности, также как назначение режимов резания, разработки управляющей программы (УП) и технологических процессов и многое др. [8].

Технология высокоскоростной механической обработки (ВСО) относится к числу наиболее прогрессивных и быстро развивающихся. Уже сегодня промышленность ведущих стран мира достаточно широко использует ВСО при скоростях резания 500...1500 м/ мин и более. Эта технология применяется при обработке: пресс-форм и штампов для получения изделий, широко применяемых в автомобильной промышленности, жаропрочных сталей и алюминиевых сплавов широко применяемых в аэрокосмической и автомобильной промышленности и др. [8].

До недавнего времени широкое применение этой технологии сдерживали: режущий инструмент, оборудование и системы ЧПУ. Сейчас эти проблемы в принципе решены. Поэтому тенденция к расширению создания и использования технологий высокоскоростной обработки носит устойчивый характер [8].

Высокоскоростная механическая обработка (HSM – High Speed Machining) и высокоскоростное фрезерование (HSM – High Speed Milling), в последние годы существенно изменили подход к методам механообработки. Решающим фактором в оценке процесса HSM-обработки является производительность станков, что определяет стоимость производства и повышение качественных характеристик процесса обработки [8].

На основании этих факторов разработано множество критериев оценки эффективности режимов резания. Рассмотрим основные критерии с целью анализа их применимости для оценки эффективности ВСО.

За последние годы оптимизация процесса резания развивалась в обширную самостоятельную область исследований, которая использует достижения теории резания для решения практических задач производства с привлечением компьютерной техники [6].

Сравнительный анализ различных критериев экономической оптимальности выполнен в работах К.М. Великанова, В.И. Новожилова [6]. Принято считать, что критерий оптимальности "приведенные затраты" более полно отражает все издержки труда, а технологическая себестоимость операции, являясь производным критерием от приведенных затрат, включает в себя переменные факторы обработки. Технологическая себестоимость как критерий оптимальности процесса резания используется, например, в методиках оптимизации [6.], являясь основным критерием в задачах детерминированной оптимизации. Для большинства практических случаев в зависимости от технологических ограничений, накладываемых на оптимальный режим резания, выбор критериев оптимальности должен производиться дифференцированно с учетом особенностей производства: его характера, типа и состояния применяемого оборудования, оснастки, типоразмера инструмента и т.д. [6].

К достоинствам экономических критериев оптимальности можно отнести достаточно полный учет экономических аспектов оптимизации процесса резания, экстремальный характер их изменения от факторов обработки. Последнее достоинство, однако, не всегда реализуется на практике при задании жестких требований к производительности и качеству обработки, когда экстремум критерия выходит за пределы оптимизируемой области.

К недостаткам экономических критериев можно отнести трудности формализации некоторых их составляющих и особенно эксплуатационных показателей. Точность оценки экономических критериев зависит от точности расчета стойкости инструмента, что требует разработки достоверных и соответственно более сложных стойкостных моделей [3,4,9]. Оптимальность режима резания зависит от факторов конкретного производства, которые должны приниматься во внимание. И, наконец, экономические критерии оптимальности прямым образом не учитывают качество обработки: точность, шероховатость обработанной поверхности и свойства поверхностного слоя детали, что сильно сужает диапазон их эффективного использования.

Достаточно полный учет экономических аспектов является существенным недостатком этих критериев с точки зрения производственного процесса. Экономические критерии в качестве исходных данных для расчета используют затраты на инструмент, стоимость материала заготовки, станко-час, зарплату основных рабочих и период стойкости инструмента. Все перечисленные параметры напрямую связаны с экономической ситуацией в стране.

Большинство металлообрабатывающих предприятий используют режущий инструмент иностранного производства. Его стоимость напрямую связана с курсом валют, так как оплата осуществляется по курсу доллара или евро. Уровень инфляции напрямую влияет на зарплату основных рабочих, при росте инфляции происходит прибавка к зарплате рабочих, а, следовательно, возрастает стоимость станко-часа, так как он рассчитывается исходя из многих параметров, в том числе и зарплаты основных рабочих. В настоящее время наблюдается постоянный рост цен на энергоносители, в связи с этим постоянно возрастает себестоимость обработки и стоимость станко-часа, а занижение скорости резания с целью повышения периода стойкости инструмента приводит к ещё большему увеличению стоимости изготовления, так как возрастает машинное время обработки.

Для выпуска конкурентоспособной продукции производитель должен обеспечить высокое качество продукции, произведенное в кратчайший срок с минимальными затратами. При назначении режимов резания опираясь на экономические критерии оценки выполнить данное требование невозможно. Назначая скорость резания, исходя из максимальной стойкости инструмента, производительность оборудования вследствие чего сроки сдачи готовой продукции существенно увеличиваются.

Современные металлорежущие станки, системы ЧПУ и инструмент ориентированы на обработку на высоких скоростях резания. Назначение заниженной скорости резания, как того требуют экономические критерии оценки, приводит к неполному использованию ресурсов оборудования и инструмента, а следовательно увеличивается период окупаемости и снижение прибыли.

На основании вышеизложенного можно сделать вывод, что экономические критерии не отражают реальной эффективности режимов резания, так как основные параметры расчета меняются практически постоянно. Режимы резания, назначенные на основании экономических критериев, не позволяют полностью использовать ресурсы оборудования и инструмента. Поэтому в реальном производстве назначение режимов резания по данному критерию недопустимо.

Оптимизация режимов резания на основе стойкостных характеристик инструмента рассмотрены в работах С.Е.Бельского Р.Л. Тофпенца [6,2,4,5]. Сущность оптимизации заключается в назначении скорости резания, при которой размерная стойкость инструмента максимальна [1].

В основе данного критерия оптимизации лежат эмпирические зависимости, представляющие собой систему линейных алгебраических уравнений и неравенств, которые описывают период стойкости инструмента, силы и мощности резания. Основным недостатком данного критерия является сложность и трудоемкость расчетов. Для различных условий обработки резанием необходимо менять параметры систем уравнений и производить расчеты заново, а это требует значительных временных затрат. Данный критерий эффективно применять в крупносерийном и массовом производстве, где нет частой смены номенклатуры обрабатываемых деталей.

Достоинством данного критерия является сокращение простоя оборудования вследствие поломки инструмента, а также снижения брака вызванного поломкой инструмента, особенно это важно в ГАП.

Оптимизация режимов резания по термическому критерию оценки. Сущность критерия заключается в управлении термическим режимом процесса механической обработки, т.е. поддержание определенной температуры в зоне резания, которой соответствует минимальная интенсивность размерного износа инструмента [2,3,4]. Это достигается назначением оптимальной скорости резания для определенной температуры [6]. Данный критерий рассмотрен в работах А.В. Гордеева и А.Н. Резникова.

В настоящее время нет точного способа определения температуры в зоне резания. Она определяется экспериментальным путем или по эмпирическим зависимостям, а, следовательно, значение температуры в зоне резания весьма приблизительное. При износе инструмента возрастает сила резания, а, следовательно, изменяется температура в зоне резания. При изменении скорости подачи или глубины резания температура тоже изменится. Таким образом, на температуру в зоне резания оказывает влияние множество факторов. Учет всех факторов требует длительных и трудоемких расчетов и графических построений. Применение данного критерия оценки в производстве малоэффективен, так как он отражает только термическую сторону процесса резания и не учитывает качество поверхности, точность размеров, а также длителен и трудоёмок.

Критерий точности и качества поверхности. Сравнительный анализ известных критериев оптимизации процесса резания по качеству обработки и точности произведен Л.С. Мурашкиным и А.М. Гильманом. Он показал, что снижение или повышение скорости резания по сравнению с оптимальной приводит к значительному увеличению интенсивности износа и снижению размерной стойкости инструмента, что оказывает существенное влияние на параметры качества поверхностного слоя и точность обработки [4,6].

Процесс оптимизации заключается в назначении скорости резания, при которой ресурс инструмента максимален. Стойкость инструмента определяется эмпирическими зависимостями, это часто приводит к тому, что расчетная стойкость инструмента оказывается завышенной в несколько раз относительно реальной стойкости [6].

Недостатком критерия является высокая вероятность ошибки при определении стойкости инструмента, это в свою очередь приводит к возникновению ошибки при назначении режимов резания. Допускаемая при заданной стойкости инструмента скорость резания в зависимости от характеристик технологической системы резания изменяется до десяти раз [1,2]. Поэтому рассмотренный критерий оценки режимов не подходит для применения в производственных условиях, так как эффективность режимов весьма приблизительная.

Главным недостатком критериев основанных на эмпирических зависимостях является то, что они не учитывают взаимосвязанности влияния различных исследуемых факторов процесса резания. Факторы, влияющие на процесс резания, рассматриваются обособленно один от другого, хотя их влияние проявляется не только каждого в отдельности, но прежде всего, совместно, в определенных сочетаниях и комбинациях [6].

Качество рассчитанного режима существенно зависит от той точности, с которой определены эмпирические зависимости. К сожалению, точность этих зависимостей в настоящее время недостаточна. Они в той или иной степени содержат в себе погрешности, допущенные при выполнении опытов и при подборе аналитических выражений для их аппроксимации. В ряде случаев даже не оговаривается, в каких пределах они вообще применимы [6].

Из вышеизложенного можно сделать вывод, что в настоящее время нет критериев оценки эффективности процесса высокоскоростной обработки. Это делает актуальной разработку данного критерия.

В условиях современного производства критерий оценки эффективности режимов резания должен отвечать следующим требованиям: оперативно корректировать режимы, производить оптимизацию по нескольким критериям, возможность применения в любых типах производства (единичном, серийном, массовом), простота применения и минимум исходной информации.

Перечисленным выше требованиям наиболее полно из известных критериев соответствует энергетический критерий оценки режимов резания. Предложенный критерий можно применять для оценки, как токарной, так и фрезерной обработки.

Расход энергии на резание зависит от многих факторов. К основным факторам относятся вид обрабатываемого материала, вид и назначение режущего инструмента, и режимы резания. В качестве меры энергозатрат на обработку металлов резанием служит удельная величина, равная по числовому значению отношению энергии, затраченной в течение 1 ч на срезание стружки, к массе стружки:

$$\Theta = 1,67 \cdot 10^{-2} \cdot \frac{P \cdot V}{m_{\text{чАС}}} \quad (1)$$

где $m_{\text{чАС}}$ — масса слоя металла, кг, срезаемого с заготовки за 1 ч непрерывной работы лезвия инструмента, P - сила резания, кВт, V - скорость резания, м/мин [1].

При фрезеровании масса стружки, срезаемой за 1 ч непрерывной работы инструмента, равная массе слоя шириной B , толщиной t и длиной $l = 60 \cdot S_z \cdot Z \cdot n$, определяется по формуле:

$$m_{\text{час}} = 6 \cdot 10^{-8} \cdot \frac{B \cdot t \cdot S_z \cdot Z \cdot n \cdot \rho}{(\pi \cdot D)} \quad (2)$$

где ρ - плотность обрабатываемого материала, $\text{кг}/\text{м}^3$, S_z — подача, $\text{мм}/\text{зуб}$; Z — число зубьев фрезы.

Заменяв частоту вращения скоростью резания, получено выражение (3)

$$m_{\text{час}} = 6 \cdot 10^{-5} \cdot \frac{B \cdot t \cdot V \cdot S_z \cdot Z \cdot \rho}{(\pi \cdot D)} \quad (3)$$

Общий вид уравнения, выражающего величину энергозатрат на срезание с заготовки металла массой 1 кг за 1 ч непрерывной работы инструмента, получаем, подставив выражения (3) в формулу (1).

$$\Xi = 0,278 \cdot 10^{-3} \cdot \frac{P \cdot D \cdot \pi}{B \cdot t \cdot S_z \cdot Z \cdot \rho} \quad (4)$$

Из этих уравнений видно, что энергозатраты не зависят от скорости резания V . Для анализа зависимости значения энергозатрат от режимных параметров t , S , HB и диаметра D в уравнении (4), сила резания P заменена экспериментальной зависимостью, которая описывает изменение силы резания при изменении скорости резания [1]:

$$\Xi = \frac{C_{\Xi} \cdot (HB/200)^z}{\left[t^{1-x} \cdot S^{1-y} \cdot \left(1 - \frac{t}{D}\right) \cdot \rho \right]} \quad (5)$$

где $C_{\Xi} = 0,278 \cdot C_p$.

Энергия в зоне резания распределяется следующим образом: около 5% в процессе резания тратится на образование внутренних остаточных напряжений, а также на упрочнение пластически деформированного металла стружки и поверхностного слоя обрабатываемой заготовки. Остальная часть, примерно 95 %, затраченной при резании энергии выделяется в зоне резания в виде теплоты [1].

При определении энергозатрат не учитывается скорость резания, затраты энергии определяются исходя из глубины резания, подачи, твердости и плотности материала. Определенные таким образом энергозатраты постоянны на протяжении всего периода обработки. Скорость резания может меняться несколько раз в процессе обработки, а, следовательно, и энергозатраты.

Определение энергозатрат как отношение массы металла ко времени обработки даёт приблизительную оценку энергозатрат, так как масса металла определяется из табличных данных весьма приблизительно. При определении массы стружки не учитываются перепады припуска на обработку после заготовительной операции, а они существенно сказываются на массе стружки и, следовательно, на величину энергозатрат.

Рассмотренный критерий применим только для приблизительной оценки энергозатрат. Для оценки эффективности режимов резания в представленной формулировке данный критерий неприменим. Для практического применения он должен учитывать взаимосвязи между скоростью резания, скоростью подачи и глубину резания, и их влияние на энергозатраты. Поэтому является актуальной задача разработки энергетического критерия оценки эффективности режимов резания, который удовлетворял бы перечисленным требованиям.

Для точного определения энергозатрат использована зависимость изменения мощность резания от скорости [7]. Энергию, затрачиваемую на обработку, определяем по формуле 6.

$$E = T \cdot P, \text{Дж} \quad (6)$$

где T - время механической обработки, сек.; P - мощность, затрачиваемая на обработку, кВт.

На основании рассмотренных теоретических исследований проведено имитационное моделирование и по его результатам разработана методика назначения режимов резания. В качестве критерия оптимальности использован энергетический критерий [7].

Для проверки адекватности разработанной методики были проведены экспериментальные исследования в условиях реального производства. На станке мод. VMS 600 произведена обработка детали типа «Рамка».

Заготовка вырезается по контуру на установке гидроабразивной резки из плиты толщиной 18мм. Материалом заготовки является сталь 30ХГСА. Механическая обработка детали заключается во фрезеровании плоскости с цель получения толщины детали 16Н14 с чистотой поверхности не ниже Rz40.

В качестве режущего инструмента использовали шестизубую фрезу для объёмного фрезерования диаметром 63 мм ф.SECO.

Исследованы четыре способа задания режимов обработки: по классической теории (Барановский); по методике ф.SECO (с применением экономичных режимов), по методике ф.SECO (для режимов, максимально использующих ресурсы режущего инструмента); и по предлагаемой методике [7].

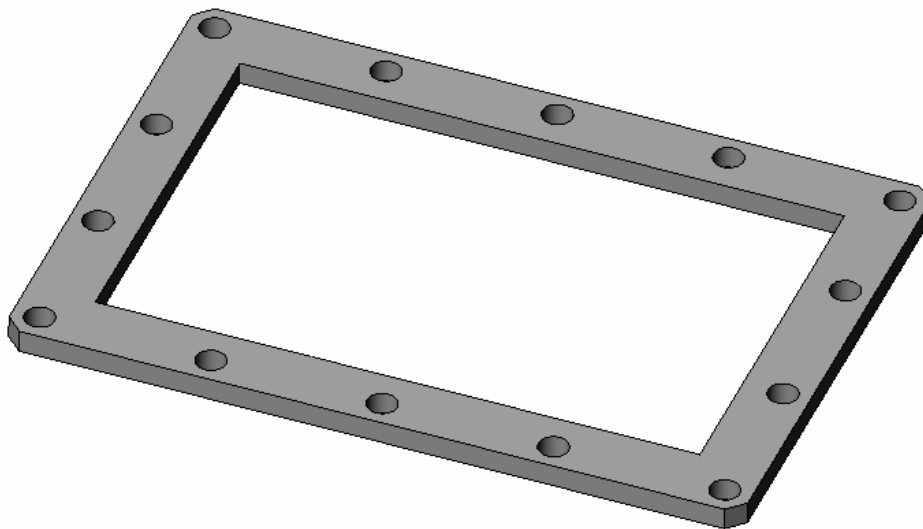


Рис.1. 3D модель обрабатываемой детали

Замер машинного времени обработки детали производился непосредственно на станке путем хронометрирования, затрачиваемая энергия определялась по показаниям электронного счетчика [7].

Замер машинного времени показал, что наименьшее время обработки, при режимах, назначенных по разработанной методике. Применение режимов назначенных по предложенной методике сократили время машинной обработки на 25%.

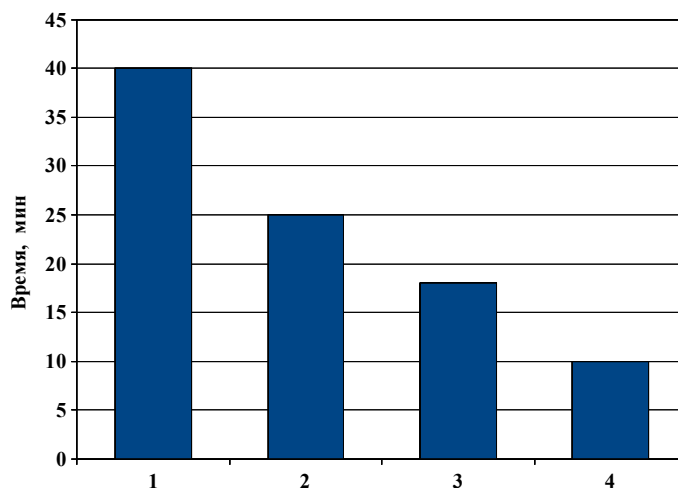


Рис. 2. Машинное время обработки детали

- 1 — при использовании классической теории назначения режимов резания;
 2 — при использовании инструмента фирмы SECO с использованием экономичных режимов;
 3 — при использовании инструмента фирмы SECO с применением высокоскоростного резания;
 4 — при использовании разработанной методики

Произведенный замер периода стойкости инструмента показал, что инструмент сохранял свою работоспособность в периоде указанным производителем.

Период стойкости режущих пластин в среднем составил 200 минут. При работе пластин по режимам резания рекомендованных фирмой SECO и предложенной методикой наблюдался равномерный износ задней поверхности. После 180-ой минуты работы появилось надрезное изнашивание на главной режущей кромке, вследствие чего на 200-ой минуте работы пластина вышла из строя.

Качество поверхности, полученное после обработки на режимах, рассчитанных по разработанной методике, соответствует 5 классу шероховатости, т.е. выше заданной.

Для определения целесообразности практического применения разработанной методики в реальных производственных условиях произведен расчет её экономической эффективности.

При расчете экономической эффективности учитывались затраты на приобретение материала, затраты на инструмент, расходы на заработную плату, затрачиваемую на единицу продукции, затраты на электроэнергию. При расчетах затраты на ветошь, масло, смазочно—охлаждающую жидкость не учитывались, так как их затраты на производство единицы продукции незначительны.

Таким образом, общая себестоимость обработки детали представляет собой сумму затрат на материал, режущий инструмент, электроэнергию и заработную плату рабочим;

$$C = M_i + Z + O + U, \quad (7)$$

где M_i —затраты на материал, руб; Z -заработная плата на единицу продукции, руб; O -затраты на электроэнергию, руб; U -затраты на инструмент, руб;

Рассчитываем затраты на приобретение материала. Материалом заготовки служит сталь марки 30ХГСА. Расходы на материал определили по формуле 1 [9].

$$M_i = G_1 q_1 - G_2 q_2, \quad (8)$$

где G_1 - масса материала одной марки расходуемой на изготовление единицы продукта, кг; q_1 - стоимость одного килограмма материала соответствующей марки, руб; G_2 - масса отходов материалов данной марки при изготовлении единицы продукта, кг; q_2 - стоимость одного килограмма отходов материала соответствующей марки, руб;

Расходы на заработную плату, затрачиваемые на единицу продукции [9].

$$3 = \left(\frac{sz_1}{f_1} + \frac{sz_2}{f_2} \right) \cdot \frac{t_{ТШ.К}}{60}, \quad (9)$$

где S - часовая ставка 1-го разряда, устанавливаемая на определенный период времени, руб; z_1 -разрядный коэффициент работы, определяемый по квалификационному справочнику; z_2 -разрядный коэффициент работы, выполняемой наладчиком, обслуживающем данное оборудование; f_1 -число единиц оборудования обслуживаемых одним рабочим; f_2 -число единиц оборудования обслуживаемых одним наладчиком.

Для определения машинного времени производился замер времени обработки детали. Результату приводятся на рис.1. Для обеспечения технологического процесса необходимо выполнить следующие действия: обеспечить предварительное положение детали, провести предварительные измерения, подвести или отвести инструмент, установить режимы рабочего процесса и т. п. Время, затрачиваемое на выполнение, перечисленных процессов называется, вспомогательное время [9].

Время, связанное с изготовлением одной единицы изделия (штучное время), определяем по формуле:

$$t_{шт.К} = \frac{T_{ПЗ}}{n} + t_{ТШ}, \quad (10)$$

где $T_{ПЗ}$ -подготовительно—заключительное время; n -количество деталей в партии (партия составляет 15 штук); $t_{ТШ}$ -время машинной обработки.

Подготовительно—заключительное время состоит:

- время на закрепление детали на столе станка используя УСП—0,9 мин [9].
- время на получение инструмента—7 мин [9].
- время на наладку станка —2 мин [9].

Таким образом, суммируя вышеперечисленное подготовительно-заключительное время, составляет 9,9минуты. Тогда при скорости резания 100 м/мин штучно-калькуляционное время составляет 46,6мин, при 215м/мин—31,6 мин, 245м/мин—23,6мин и 275м/мин—16,6мин.

Расходы на заработную плату при различных режимах резания составили: при скорости резания 100 м/мин составляет 125,7руб, при 215м/мин—84,9 руб, 245м/мин—63,4руб, при 275м/мин—44,61руб, при 470м/мин—20,48руб, и при 510м/мин—16,77руб.

Расходы на электроэнергию, затрачиваемую на одну операцию

$$O = \frac{N \cdot K_M \cdot q_{\Sigma}}{\eta_M \cdot \eta_C \cdot 60} \cdot t_{ТШ.К}, \quad (11)$$

где N -мощность электродвигателя, кВт; K_M -коэффициент машинного времени, равный отношению машинного времени к общему времени обработки; q_{Σ} - стоимость одного кВт/ час электроэнергии; η_M -КПД двигателя (принят равный 0,92); η_C -КПД сети (принят равный 1).

Расходы на электроэнергию при различных режимах резания составляют:

при скорости резания 100 м/мин—27,8руб, при 215м/мин—16,77руб, при 245 м/мин—11,11руб, при 275 м/мин—6,24руб.

При увеличении скорости резания на 45 и 55 % от верхней границы скоростей резания расходы на электроэнергию составляют: при скорости резания 470 м/мин — 5.2руб, и при 510 м/мин—4,93руб.

Стоимость режущего инструмента, состоит из стоимости сборного корпуса инструмента—9876,27 руб. и стоимости одного комплекта режущих пластин

(комплект состоит из 10 пластин, каждая из которых имеет четыре режущие кромки) — 9490. Таким образом, полная стоимость инструмента ф.SECO составляет 12723,27 руб.

$$U = \frac{(q_{II} + i \cdot t_{II} \cdot r_{II}) \cdot a \cdot K_{II}}{(1+i)R \cdot 60} \cdot t_{шт}, \quad (12)$$

где q_{II} - стоимость инструмента, руб; t_{II} - время затрачиваемое на переточку; r_{II} - стоимость одного часа переточки, руб; K_{II} - коэффициент использования инструмента, равный отношению времени работы данного инструмента к штучному времени; а - число одинаковых инструментов; R - стойкость инструмента между переточками; i - количество переточек [9].

Расходы на инструмент при различных режимах резания составили: при скорости резания 100м/мин — 3180,81руб, при 215м/мин — 3180,88 руб, при 245м/мин — 3172,33 руб, при 275м/мин — 3180,81 м/мин.

Затраты на инструмент при увеличении скорости резания на 45% и 55 % от верхней границы скоростей резания составили:

При скорости резания 470 м/мин — 3636, при 510 м/мин — 3711руб.

Таким образом, себестоимость обработки детали на МЦС при различных режимах резания составляет: при скорости резания 100 м/мин — 3413,01руб, при 215 м/мин — 3361,25руб при 245 м/мин — 3325,54руб при 275 м/мин — 3310,36руб.

Себестоимость обработки при увеличении скорости резания на 45% и 55% от верхней границы скоростей резания составила: при скорости резания 470 м/мин — 3741,13руб при 510 м/мин — 3814руб.

Себестоимость изготовления минимальна при назначении режимов резания по предложенной методики и составляет 3310 рублей. При необоснованном завышении скорости резания до 50% выше верхней границы происходит резкое увеличение себестоимости изготовления. Это связано со снижением периода стойкости режущих пластинок.

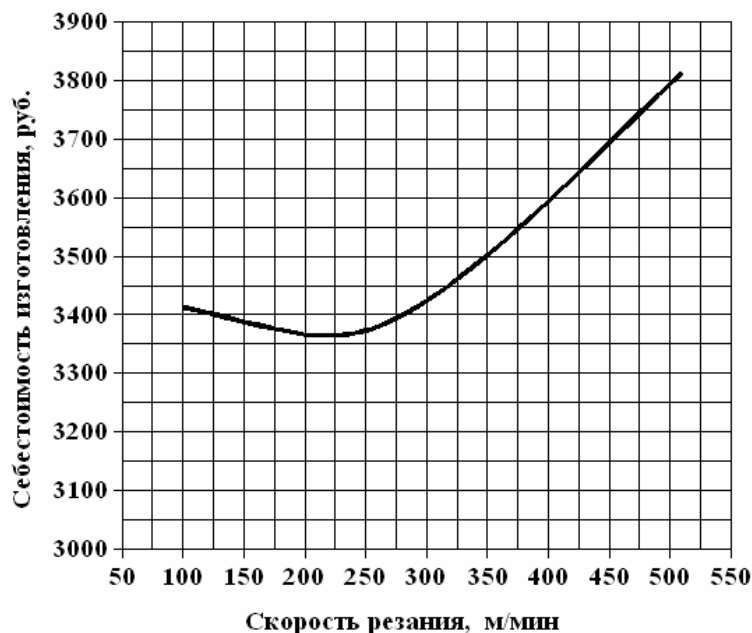


Рис. 3. Себестоимость изготовления изделия

Из вышеизложенного можно сделать следующие выводы:

1. Учет энергетической составляющей процесса резания, позволяет назначать рациональные варианты назначения режимов резания, позволяющие обеспечивать оптимальные затраты на реализацию технологических процессов.
2. Применение предлагаемой методики позволило снизить время машинной обработки детали в три-четыре раза путем интенсификации режимов резания.

3. В результате проведенных исследований установлено, что себестоимость обработки деталей на МЦС минимальна при назначении режимов резания по предложенной методике и составляет 3310 руб. Установлено, что ужесточение режимов резания выше рекомендованных значений приводит к повышению себестоимости за счет резкого снижения стойкости инструмента.

Литература

1. *Грановский Г.И.* Резание металлов // *Г.И. Грановский В.Г. Грановский.* -М.: Высшая школа 1985г. 304с.
2. *Базилевич Л.А.* Оптимизация технологических процессов на статистических моделях.// ЛДНТП Знание, 1969. 38 с.
3. *Безъязычный В.Ф. Аверьянов И.Н. Кордюков А.В.* Расчет режимов резания. Учебное пособие // *В.Ф. Безъязычный, И.Н. Аверьянов, А.В. Кордюков.* Рыбинск 2009г. 185с.
4. *Макаров А.Д.* Оптимизация процессов резания. М.: Машиностроение, 1976. — 278 с.
5. *Макаров А.Д.* Износ и стойкость режущих инструментов. М.: Машиностроение, 1976. 278 с.
6. *Старков В.К.* Физика и оптимизация резания металлов// М.: Машиностроение 2009г. 640с.
7. *Жмурин В. В.* Энергетический критерий оценки эффективности режимов резания / *В. В. Жмурин, В.С. Сальников,* // Фундаментальные и прикладные проблемы техники и технологии. –Орел, №2 2010 –114-120с.
8. *Черпаков Б.И.* Развитие мирового станкостроения в начале XXI века / *Б.И Черпаков,*// Научно-технический журнал «ИТО: Инструмент Технология Оборудование» вып. №1 2011 –4-9с.
9. Методика определения экономической эффективности использования металлорежущих станков и автоматических линий,// Москва, ЭНИМС,1977.84с.