

A. Yu. Urazbakhtina, PhD in Engineering, Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University
F. A. Urazbakhtin, DSc in Engineering, Votkinsk branch of Kalashnikov Izhevsk State Technical University

Program Realization of Mathematical Models of Ultimate Situations Arising at Riveting Assembly

The paper considers the ultimate situations which can arise at riveting assembly of rockets cases made of aluminum-magnesium alloys with account of their durability, resistance to corrosion, technological effectiveness and cost of performance of seams and according to characteristics of rivets, equipment and adjustment devices. Ultimate situations are estimated by special characteristics when modeling within MathCAD system.

Key words: limit situations, mathematical model, aircraft case, riveting of parts made of aluminum-magnesium alloys.

УДК 62-114.003.13

Д. С. Пахомов, кандидат технических наук, Нижегородский государственный технический университет
А. Б. Чуваков, кандидат технических наук, Павловский филиал Нижегородского государственного технического университета

ПОВЫШЕНИЕ ЭФФЕКТИВНОСТИ ОБРАБОТКИ ДЕТАЛЕЙ НА МНОГОЦЕЛЕВЫХ СТАНКАХ С ЧПУ

Предложена методика решения задач повышения эффективности работы комплекта инструментов путем назначения оптимальных режимов обработки и рационального выбора инструмента под конкретную производственную ситуацию. Рассмотрены конкретные примеры повышения эффективности обработки деталей на многоцелевых станках с ЧПУ.

Ключевые слова: эффективность, оптимизация, производительность, надежность.

Современные технологии ориентированы на обработку детали по возможности на одном многоцелевом станке с ЧПУ. В связи с этим приобретают особую актуальность задачи, связанные с повышением эффективности работы комплекта обрабатывающих инструментов. Решение этих задач может достигаться посредством назначения оптимальных методов и режимов обработки, изменения структуры работы инструментов в наладке, подбора наиболее эффективных обрабатывающих инструментов, посредством оптимального программирования и др.

В настоящее время при назначении режимов обработки деталей на многоцелевых станках с ЧПУ не учитываются многие актуальные в текущий момент времени требования и условия производства, определяющие выбор соответствующего критерия оптимизации. Примеры выбора критерия оптимизации в зависимости от требования и условия производства приведены в табл. 1.

Таблица 1. Примеры выбора критерия оптимизации

Требования и условия производства	Критерий оптимизации
Срочное выполнение заказа	Максимальная производительность
Экономия затрат	Минимум себестоимости
Применение безлюдных технологий	Максимальная надежность процесса

В представленной работе приведено решение задач повышения эффективности операции при использовании одного комплекта инструментов с учетом различных требований и условий производства. Рассмотрим пути повышения эффективности операции на конкретном примере изготовления партии деталей типа корпус. Заготовка – отливка. Материал – СЧ-20. Партия запуска – 40 шт. Оборудование – фрезерно-сверлильно-расточной многоцелевой станок с ЧПУ.

Данные по инструментальной наладке приведены в табл. 2.

Таблица 2. Данные по инструментальной наладке

№ инстр.	Наименование инструмента	Номер и наименование перехода	Материал режущей части	$L_{рез}$	$L_{р.х}$
1	Фреза торцовая Ø 125	№ 1. Фрезерование черновое плоских наружных поверхностей.	ВК8	1420	1590
		№ 2. Фрезерование получистовое тех же поверхностей		1420	1590
2	Сверло Ø10	№ 3. Сверление десяти сквозных отверстий	Р6М5	500	540
3	Резец расточной	№ 4. Растачивание отверстия	ВК8	300	304
4	Фреза концевая Ø20	№ 5 Фрезерование двух лысок 20×10	ВК8	60	136
5	Зенковка Ø20	№ 6. Зенкование фасок 1×45° в десяти отверстиях с двух сторон	Р6М5	20	100

Обозначения: $L_{рез}$ – длина резания; $L_{р.х}$ – длина рабочего хода.

Задача 1. Повысить эффективность обработки с точки зрения экономии затрат

Рассмотрим назначение режимов обработки для комплекта инструментов с использованием при назначении стойкости инструмента в качестве критерия «минимум себестоимости». Целевая функция для определения переменной части себестоимости, зависящая от режимов обработки:

$$C_{пер} = t_0 E + \tau_{см} E/Z + S_T/Z, \quad (1)$$

где t_0 – основное время; E – стоимость минуты работы станка; $\tau_{см}$ – время, затрачиваемое на смену инструмента; S_T – затраты на инструмент за период стойкости; Z – количество деталей, обрабатываемых за период стойкости.

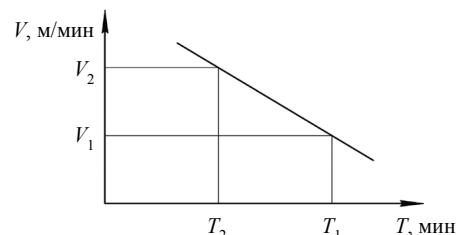
Исходя из приведенной выше целевой функции (1) можно определить оптимальное значение стойкости для каждого инструмента, которое рассчитывается по следующей зависимости:

$$T_{Cmin} = \lambda(1 - m_i)(\tau_{см} + S_T/E), \quad (2)$$

где λ – отношение длины резания к длине рабочего хода; m_i – коэффициент, учитывающий влияние скорости на стойкость для определенного сочетания обрабатываемого и инструментального материала.

Для многоцелевых станков время на смену инструмента в большинстве случаев составляет несколько секунд, стоимость минуты работы таких станков (в связи с их большой стоимостью) составляет десятки рублей, затраты на инструмент незначительные, поэтому значения минимальных стойкостей, рассчитанные по зависимости (2) для инструментов, эксплуатируемых на многоцелевых станках, сместились в сторону небольших значений. Это привело к воз-

растанию значений скоростей резания (см. рис.), что явилось одной из причин широкого применения высокоскоростной обработки.



Зависимость стойкости инструмента от скорости резания

Для рассматриваемого примера значения стойкости каждого инструмента принимались по Общемашиностроительным нормативам режимов резания для многоцелевых станков фрезерно-сверлильно-расточной группы (с учетом ограничений на стойкость снизу), что соответствует обработке детали с наименьшими затратами. Расчет режимов резания производился при условии обслуживания станка оператором и замены инструмента по фактическому состоянию в соответствии с методикой, приведенной в справочнике «Общемашиностроительные нормативы режимов резания для многоцелевых станков фрезерно-сверлильно-расточной группы» (М.: ВНИИТЭМР, 1986. 159 с.).

Данные для расчета режимов резания и полученные результаты сведены в табл. 3. По значениям основного времени видно, что инструменты 1 (резец) и 2 (сверло) являются лимитирующими (доля основного времени данных инструментов занимает большую часть от основного времени обработки детали).

Таблица 3. Данные для расчета режимов резания и полученные результаты к задаче 1

№ _{перех}	№	m_i	T_i	$S_{об}$	V	n	S_m	t_p	t_0	Z_i
1	1	0,25	45	2,45	83	213	521	2,72	3,05	7,3
2				1,44	114	290	417	3,4	3,81	
3	2	0,25	15	0,16	36	1150	184	2,71	2,93	5,5
4	3	0,25	15	0,2	172	1100	220	1,36	1,38	11
5	4	0,25	30	0,1	84	1350	135	0,44	1,0	68
6	5	0,25	15	0,1	45	1430	143	0,13	0,69	115
Итого								10,76	12,86	

Обозначения: m_i – коэффициент, учитывающий влияние скорости на стойкость для определенного сочетания обрабатываемого и инструментального материала; T_i – стойкость инструмента, мин.; $S_{об}$ – подача на оборот, мм/об; V – скорость резания, м/мин.; n – частота вращения, об/мин.; S_m – минутная подача, мм/мин.; t_p – время резания, мин.; Z_i – количество деталей, обрабатываемых за период стойкости (с учетом вероятности безотказной работы инструментов $p = 0,7$), шт.; t_0 – основное время, мин.; $Z_{пр}$ – принятое количество деталей за период стойкости, шт.

Рассчитаем норму штучного времени с учетом принятых режимов обработки на данную операцию крупнее по зависимости

$$T_{шт} = t_0(1 + a/100), \quad (3)$$

где a – процент потерь времени, включающий вспомогательные время, время на обслуживание, на отдых и личные потребности, подготовительно-заключительное время; примем $a = 30 \%$.

В результате норма штучного времени на операцию составит:

$$T_{шт} = t_0(1 + a/100) = 12,86 \cdot (1 + 30/100) = 16,72 \text{ [мин.]}$$

Производительность за смену определим по формуле

$$Q = 8 \cdot 60 \cdot K/T \text{ [шт.]} \quad (4)$$

Производительность за смену составит:

$$Q = 8 \cdot 60 \cdot K / T_{шт} = 8 \cdot 60 \cdot 0,9 / 16,72 = 25 \text{ [деталей]},$$

где K – коэффициент, учитывающий потери времени в течение смены (плановые и внеплановые), принимаем $K = 0,9$.

Задача 2. Повысить эффективность обработки с точки зрения повышения производительности операции и экономии затрат

Так как после обработки партии деталей заменяется весь комплект инструментов, то произведем расчет режимов резания для всех инструментов с учетом партии запуска (40 шт.) и принятого количества деталей до замены $Z_{пр}$, которое принимаем кратным числом относительно партии запуска (см. табл. 4).

Таблица 4. Данные для расчета режимов резания и полученные результаты к задаче 2

№ _{перех}	№	m_i	T_i	$S_{об}$	n	S_M	t_p	t_o	$Z_{пр}$
1	1	0,25	45	2,45	240	588	2,41	2,7	5
2				1,44	377	542	2,61	2,93	
3	2	0,25	15	0,16	1180	188	2,65	2,87	5
4	3	0,25	15	0,2	1130	226	1,32	1,34	10
5	4	0,25	30	0,1	1600	160	0,37	0,85	40
6	5	0,25	15	0,1	2020	202	0,09	0,49	40
Итого							9,45	11,18	

Изменение количества обрабатываемых за принятый период стойкости деталей повлияет на изменение скорости резания.

Данное влияние скорости резания на стойкость инструмента было положено в основу разработки всех отечественных справочных и нормативных материалов, используемых для расчетов режимов резания (см. рис.).

Частоту вращения шпинделя пересчитываем под принятое число деталей по формуле

$$n_{пр} = (Z_i / Z_{пр})^{m/(1-m)} n, \quad (5)$$

где m – степень влияния скорости резания на стойкость инструмента для соответствующего сочетания инструментального и обрабатываемого материалов.

Формула (5) была выведена на базе общеизвестной зависимости (см. рис.), учитывающей влияния скорости резания на стойкость для определенного сочетания обрабатываемого и инструментального материалов (см.: Общемашиностроительные нормативы режимов резания для многоцелевых станков фрезерно-сверлильно-расточной группы. М.: ВНИИТЭМР, 1986. 159 с.).

Данные для расчета и результаты расчета режимов резания, а также количество принятых деталей приведены в табл. 4.

В результате норма штучного времени на операцию составит:

$$T_{шт} = t_o(1 + a/100) = 11,18 \cdot (1 + 30/100) = 14,53 \text{ [мин.]}$$

Производительность за смену составит:

$$Q = 8 \cdot 60 \cdot K / T_{шт} = 8 \cdot 60 \cdot 0,9 / 14,53 = 29 \text{ [деталей]}.$$

Относительное увеличение производительности за смену составило 16 % с учетом минимальной себестоимости выполнения операции.

Соответственно, при большем количестве инструментов в наладке и уменьшении количества деталей в партии запуска производительность может быть увеличена в большей степени.

Задача 3. Повысить эффективность обработки операции при увеличении партии запуска (до 50 шт.)

Для увеличения производительности в данном случае можно, например, заменить один из лимитирующих инструментов – быстрорежущее сверло Ø10 (№ 2 в табл. 2) на сверло с пластинами из твердого сплава ВК8. Данные для расчета режимов резания и полученные результаты, а также количество принятых деталей до замены инструментов приведены в табл. 5.

Таблица 5. Данные для расчета режимов резания и полученные результаты к задаче 3

№ _{перех}	№	m_i	T_i	$S_{об}$	n	S_M	t_p	t_o	$Z_{пр}$
1	1	0,25	45	2,45	240	588	2,41	2,7	5
2				1,44	377	542	2,61	2,93	
3	2	0,4	15	0,12	2740	328	1,52	1,64	10
4	3	0,25	15	0,2	1100	220	1,36	1,38	10
5	4	0,25	30	0,1	1490	149	0,4	0,91	50
6	5	0,25	15	0,1	1880	188	0,1	0,53	50
Итого							8,4	10,09	

В результате норма штучного времени на операцию составит:

$$T_{шт} = t_o(1 + a/100) = 10,09 \cdot (1 + 30/100) = 13,11 \text{ [мин.]}$$

Производительность за смену составит:

$$Q = 8 \cdot 60 \cdot K / T_{шт} = 8 \cdot 60 \cdot 0,9 / 13,11 = 33 \text{ [деталей]}.$$

Относительное увеличение производительности за смену составит 32 %.

Аналогичными действиями в отношении других инструментов (например, путем использования инструментов с покрытием и т. д.), можно добиться еще большего увеличения производительности.

Задача 4. Повысить надежность обработки при условии работы станка без участия оператора при той же партии запуска деталей (50 шт.)

В приведенных выше примерах режимы резания рассчитывались с учетом вероятности безотказной работы инструментов: $p = 0,7$. Это означало, что принятое количество деталей, обрабатываемое одним инструментом, гарантировалось только на 70 %, а инструмент мог отказать раньше, чем предполагалось.

При работе станка без участия оператора замена инструмента осуществляется согласно принятому регламенту, автоматически после отработанного заданного количества деталей $Z_{пр}$. Во избежание нештатных ситуаций требуется обеспечение надежности работы каждого инструмента с большой степенью вероятности ($p = 0,99$). В связи с вышеизложенным значения частот вращения шпинделя n_p

(и соответствующих им скоростей резания) были скорректированы с учетом поправочного коэффициента ($K_p = 0,75$, см.: Общемашиностроительные нормативы режимов резания для многоцелевых станков фрезерно-сверлильно-расточной группы. М. : ВНИИТЭМР, 1986. 159 с.) для обеспечения заданной надежности ($p = 0,99$):

$$n_p = n \cdot K_p. \quad (6)$$

Данные для расчета режимов резания и полученные результаты, а также количество принятых деталей до регламентированной замены инструментов приведены в табл. 6.

Таблица 6. Данные для расчета режимов резания и полученные результаты к задаче 4

№ перех	№	m_i	T_i	$S_{об}$	n	S_M	t_p	t_o	$Z_{шт}$
1	1	0,25	45	2,45	180	441	3,21	3,6	5
2				1,44	282	406	3,49	3,91	
3	2	0,4	15	0,12	2050	246	2,03	2,19	10
4	3	0,25	15	0,2	820	164	1,82	1,85	10
5	4	0,25	30	0,1	1120	112	0,53	1,21	50
6	5	0,25	15	0,1	1410	141	0,14	0,71	50
Итого							11,22	13,47	

В результате норма штучного времени на операцию составит:

$$T_{шт} = t_o(1 + a/100) = 13,47 \cdot (1 + 30/100) = 17,51 \text{ [мин.]}$$

Производительность за смену составит:

$$Q = 8 \cdot 60 K / T_{шт} = 8 \cdot 60 \cdot 0,95 / 17,51 = 26 \text{ [деталей]},$$

где K – коэффициент, учитывающий потери времени (примем $K = 0,95$ с учетом повышения надежности работы комплекта инструментов за счет уменьшения вероятности случайных отказов инструмента).

В результате расчета произойдет снижение скоростей резания и производительности (за смену относительно предыдущего варианта расчета на 26 %), но при этом увеличится надежность работы каждого инструмента и комплекта инструментов в целом, что необходимо при условии работы станка без участия оператора и для обеспечения регламентированной замены инструментов.

При необходимости для сокращения затрат вспомогательного времени на операцию возможно дублирование лимитирующих инструментов в магазине станка, использование сменных столов и т. д.

Также данный расчет позволяет более точно прогнозировать расход инструмента и, соответственно, производить более обоснованный его заказ.

Рассмотренные примеры расчета режимов обработки для различных производственных ситуаций и условий производства подтверждают возможность повышения эффективности работы комплекта инструментов посредством оптимизации режимов обработки и рационального выбора инструмента.

D. S. Pahomov, PhD in Engineering, Nizhniy Novgorod State Technical University

A. B. Chuvakov, PhD in Engineering, Pavlovo branch of Nizhniy Novgorod State Technical University

Increasing the Efficiency of CNC Machining

Method of increasing the efficiency of CNC machining was proposed. The method is based on competent set of tools selection and optimum cutting conditions choice.

Key words: efficiency, optimization, productivity, reliability.

УДК 621.88.084

А. В. Щенятский, доктор технических наук, профессор, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

Е. С. Чухланцев, аспирант, Ижевский государственный технический университет имени М. Т. Калашникова

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ НАГРУЗОЧНОЙ СПОСОБНОСТИ ПОЛИКОНТАКТНОГО НЕРАВНОЖЕСТКОГО СОЕДИНЕНИЯ С НАТЯГОМ

Экспериментально определена нагрузочная способность поликонтактных неравножестких соединений с натягом (ПКНС). Рассмотрены факторы, влияющие на величину нагрузочной способности ПКНС. Получена графическая зависимость величины нагрузочной способности от относительного положения деталей ПКНС.

Ключевые слова: соединения с натягом, нагрузочная способность, поликонтактные неравножесткие соединения с натягом.

Две серии экспериментов позволяют оценить влияние конструктивных параметров на нагрузочную способность (сопротивление осевому сдвигу) ПКНС. Прочность соединения в рамках

натурного эксперимента определяется путем измерения силы при распрессовке в посадке 1 (внешняя деталь – промежуточная деталь) и в посадке 2 (промежуточная деталь – внутренняя деталь), а также