УДК 621.914.2.025.034

ОПРЕДЕЛЕНИЕ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ РЕЗАНИЯ В ПРОЦЕССЕ ПРЕРЫВИСТОЙ ОБРАБОТКИ МЕДИ М3 И БРОНЗЫ БрАЖ9-4

А.М. Арзуманян, С.А. Акопян, О.С. Манукян, Т.А. Мирвелян

Национальный политехнический университет Армении, Гюмрийский филиал

Определение рациональных режимов тонколезвийной обработки цветных металлов и сплавов дает возможность установить закономерности процесса резания. Традиционная практика назначения режимных параметров обработки имеет субъективную методическую основу, поскольку не учитываются износ задней грани во времени, а также силовые воздействия. Доказано, что при обработке медных сплавов затраты процесса управления режимными параметрами минимизируются переменными энергозатратами, силами резания и шероховатостью обработанной поверхности.

Ключевые слова: оптимальные режимы, силы резания, режимные параметры, цветные металлы.

Введение. В настоящее время при выполнении заказов в сфере малого и среднего бизнеса часто выдвигается задача по определению рациональных режимов резания при минимальных затратах времени. Однако результаты исследований не позволяют за кратковременный срок определить эти режимы резания при широком изменении физико-механических свойств режущих и обрабатываемых материалов. Кроме того, существующие методики по определению рациональных режимов обработки весьма трудоемки и требуют дорогостоящих экспериментальных исследований. Ныне существующие математические методы и модели при наличии необходимой базы данных дают возможность виртуально определить тот или иной параметр резания для каждого конкретного случая с достаточно большой точностью [1].

Методы исследования. Поиск методов определения рациональных режимов резания при обработке цветных металлов необходим для того, чтобы определиться в некоторых противоречивых взглядах на закономерности прерывистости процесса и способствовать сближению теории и технологической практики. Определение рациональных режимов резания обеспечивает максимум функционала объектов исследования в фазовом пространстве в зависимости от времени обработки - τ [2]:

$$J_n = \int_0^T \frac{v(\tau)s(\tau)t(\tau)\tau_{см}}{(\tau + \tau_{см})} \partial\tau \,, \qquad (1)$$

где T – период стойкости инструмента, *мин*; $\tau_{см}$ – время смены инструмента, *мин*.

Таким образом, обеспечивается максимальная производительность работы станка, что приводит к снижению затрат на обработку. Считая, что для узкого интервала времени коэффициенты уравнения (1) достоверны и неизменны, а параметры резания не зависят от времени, запишем это уравнение в следующем виде:

$$P_z = C_z v^{z_1} s^{z_2} t^{z_3} \,;\; P_y = C_y v^{y_1} s^{y_2} t^{y_3} \,. \qquad (2)$$

Указанные функции можно разложить в степенные ряды с неопределенными коэффициентами и путем дифференцирования оптимальных значений v, s, t получить выражения

$$\frac{\partial J^0{}_n}{\partial v} = \frac{stT}{T + \tau_{см}} - \lambda \frac{C'_v}{v^z s^y t^x} = 0; \;\; \frac{\partial J^0{}_n}{\partial s} = \frac{vtT}{T + \tau_{см}} - \lambda \frac{C'_v}{v^z s^{y+1} t^x} = 0 \,;$$

$$\frac{\partial J_n}{\partial t} = \frac{vsT}{T + \tau_{см}} - \lambda \frac{C'_v}{v^z s^y t^{x+1}} = 0, \qquad (3)$$

где λ - множитель Лагранжа. С учетом ограничений: $0 \le v \le v_{max}$, $0 \le s \le s_{max}$, $0 \le t \le t_{max}$ определены оптимумы.

Результаты исследования. На основе плана эксперимента типа 3^3 проведены исследования согласно табл. 1 при рациональных значениях геометрических параметров для резцов Рубин “Роза” и Лейкосапфир. Обрабатывались бронза БрАЖ9-4 и медь М3. Для проведения экспериментальных исследований при принятых режимах дана оценка режимов на трех уровнях [3]. Уровни этих параметров и их комбинации выбраны согласно работе [3].

Применяя условия Гаусса для уравнения (2), с учетом результатов табл. 1 получены все неизвестные коэффициенты и показатели степеней этих уравнений для указанных режущих и обрабатываемых материалов (табл. 2). Проверка гипотезы, а также графики зависимостей P_z и P_y (рис. 1, 2) показали, что режимы резания по-разному влияют на вышеуказанные объекты исследования.

Таблица 1

Результаты проведенных исследований при v = 250 м/мин, s = 0,007 мм/зуб, t = 0,05 мм

N^0 экспертизы			1	2	3	4	5	6	7	8	9
v, *м/мин*			88	250	703	88	250	703	88	250	703
s, мм/зуб			0,007	0,070	0,007	0,022	0,022	0,022	0,070	0,070	0,070
t, мм			0,200	0,020	0,063	0,020	0,063	0,200	0,063	0,200	0,020
P_y, Н х10	БрАЖ 9-4	Рубин “Роза”/ Лейкосапфир	0,428	0,063	0,141	0,127	0,285	0,695	0,651	1,585	0,234
			0,549	0,065	0,145	0,127	0,280	0,673	0,610	1,465	0,228
	М3		0,562	0,071	0,164	0,157	0,360	0,903	0,902	2,261	0,288
			0,538	0,074	0,166	0,156	0,349	0,855	0,835	2,041	0,281
P_z, Н х10	БрАЖ 9-4	Рубин “Роза” / Лейкосапфир	1,087	0,130	0,313	0,293	0,701	1,842	1,804	4,736	0,569
			1,062	0,138	0,324	0,296	0,694	1,783	1,705	4,364	0,569
	М3		1,221	0,124	0,307	0,305	0,755	2,069	2,164	5,922	0,600
			1,176	0,132	0,316	0,309	0,740	1,951	1,991	2,252	0,590

Таблица 2

Значения коэффициентов и показателей степеней в формулах (2)

Коэффициенты и показатели степеней	Рубин “Роза”		Лейкосапфир	
	БрАЖ 9-4	М3	БрАЖ 9-4	М3
C_z	195,8	373	217,2	264,1
z_1	-0,09	-0,12	-0,10	-0,11
z_2	0,68	0,73	0,68	0,70
z_3	0,88	0,93	0,88	0,90
C_y	41,7	86,9	32,6	65,3
y_1	-0,07	-0,10	-0,06	-0,09
y_2	0,60	0,65	0,57	0,62
y_3	0,80	0,85	0,77	0,82

Кривые на рис. 1, 2 показывают влияние подачи на составляющие P_z и P_y . Из графиков видно, что увеличение подачи в 10 раз вызывает повышение составляющей силы резания примерно от 3-х до 6-и раз. Увеличение толщины среза вызывает сравнительно меньшее повышение P_y. Необходимо отметить, что чем пластичнее материал, тем вышеприведенное утверждение более наглядно.

С увеличением глубины резания (см. рис. 1,2) составляющие силы резания увеличиваются, так как возрастает объем срезаемого слоя. Глубина резания оказывает большое влияние на силы резания в случае $t > s$. Если глубина резания меньше подачи, то влияние глубины на P_z и P_y намного меньше, чем влияние подачи.

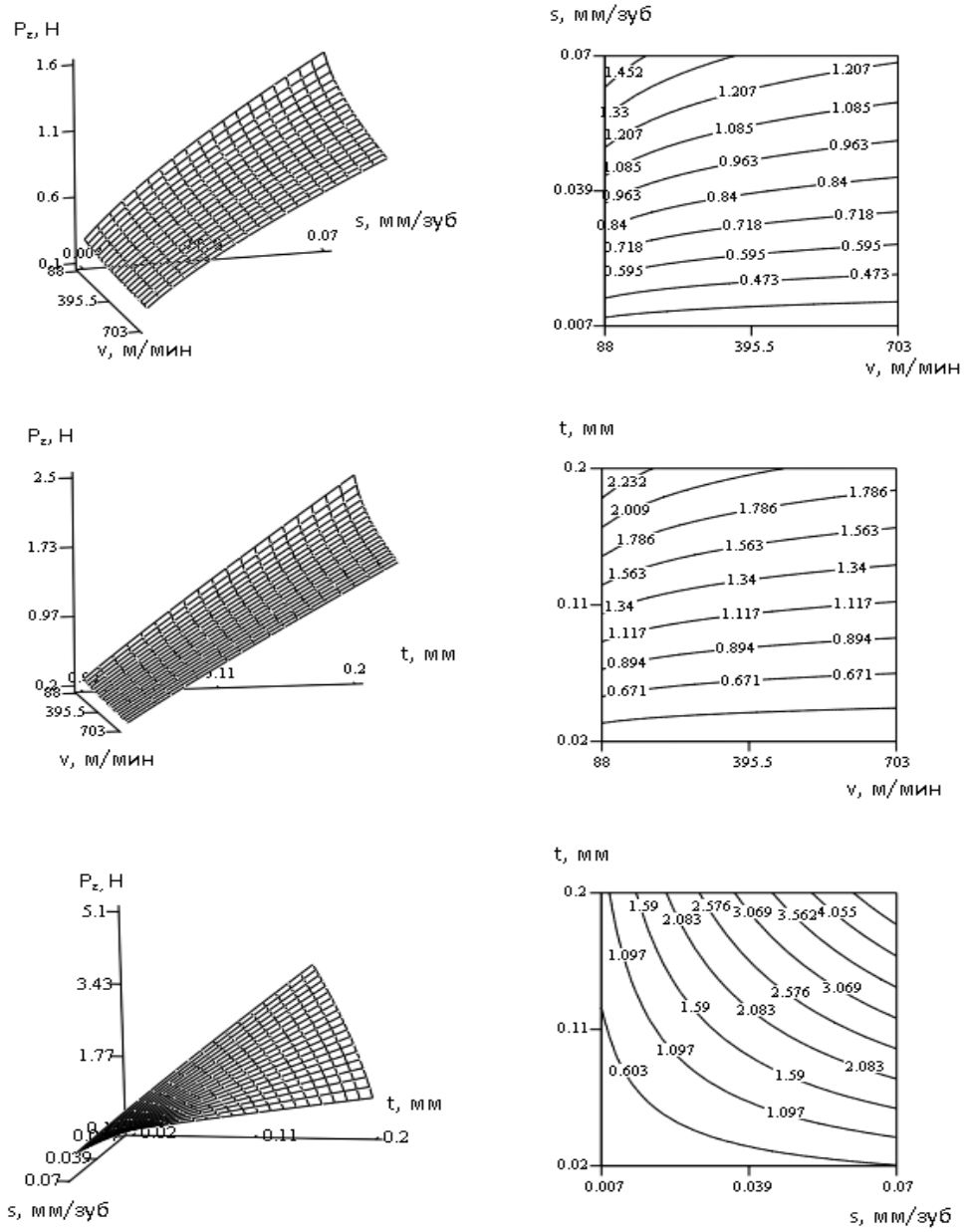

Рис. 1. Зависимость силы резания P_z от режимов резания: v=250 м/мин, s=0,022 мм/об, t=0,05 мм (Рубин "Роза"- медь М3)

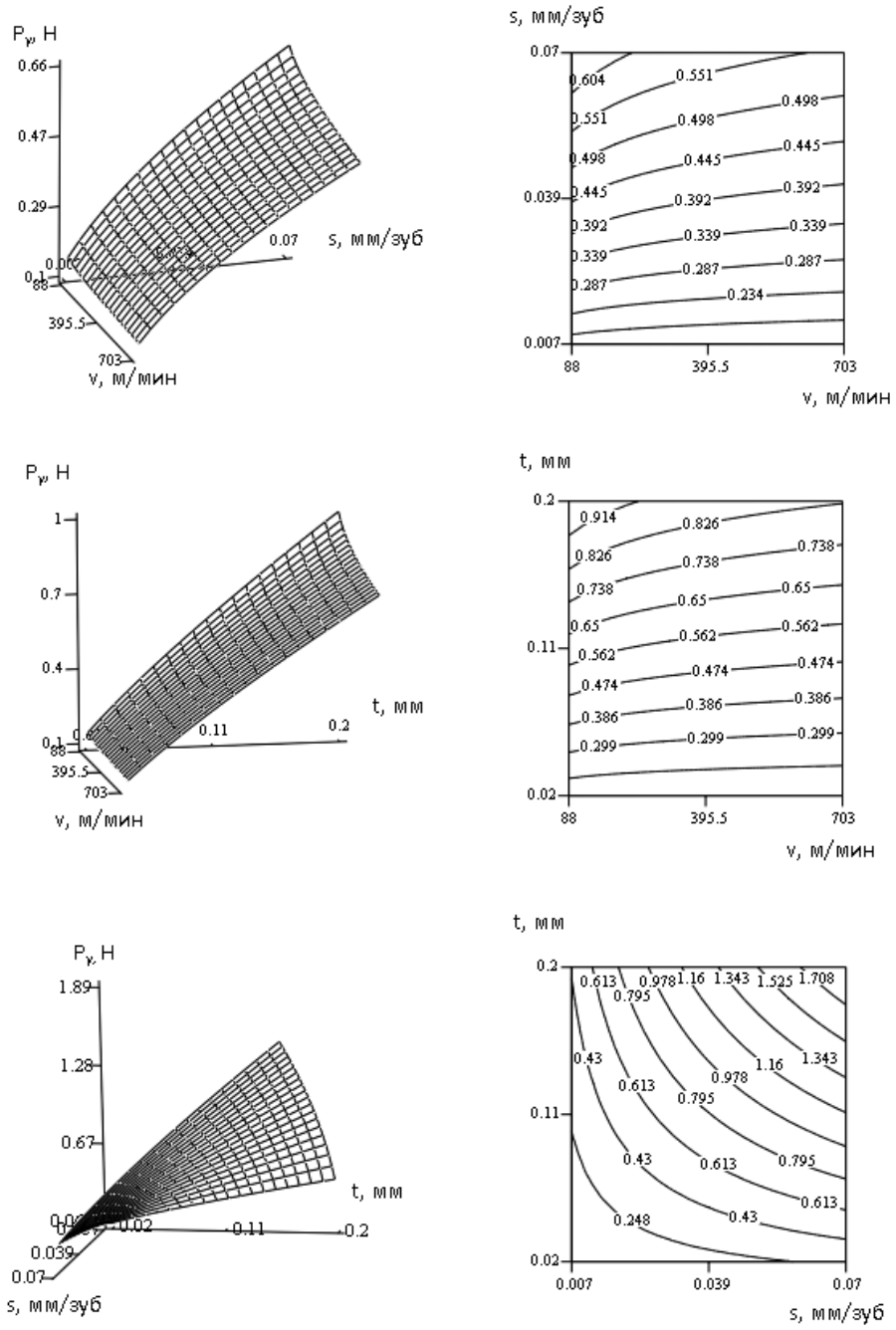

Рис. 2. Зависимость силы резания P_y от режимов резания: v=250 м/мин, s=0,022 мм/об, t=0,05 мм (Рубин "Роза"- медь М3)

При резании вязких материалов (М3 и Д16) составляющие силы резания получаются большими, что обусловлено возникновением при резании широкой фаски износа на режущей кромке инструмента. При обработке вязких металлов с увеличением ширины среза начинают возрастать вибрации, и поверхность получается волнистой. При обработке сравнительно твердых материалов (БрАЖ9-4 и ЛС59-1) вибрационные явления не наблюдаются. В табл. 2 приведены значения коэффициентов показателей степеней в формулах (2) при обработке меди М3 и бронзы БрАЖ9-4.

Поиск оптимальных значений параметров геометрии инструмента обычно осуществляется экспериментальным путем, в результате чего устанавливается характер влияния каждого из параметров на величину силы резания или шероховатости обработанной поверхности с последующим объединением этих зависимостей обобщающим уравнением. Такой подход характерен тем, что при этом расходуется большое количество металла в течение продолжительного времени [3].

Модель зависимости сил резания и шероховатости поверхности от элементов геометрии инструмента имеет следующий вид:

$$P_z = C_z \gamma^{z_1} \varphi^{z_2} r^{z_3} \lambda^{z_4}; \quad P_Y = C_Y \gamma^{y_1} \varphi^{y_2} r^{y_3} \lambda^{y_4}. \qquad (4)$$

Эти функции можно разложить в степенной ряд с неопределенными коэффициентами, которые далее сводятся к решению нижеприведенных уравнений:

$$N = \left\{ \frac{P_z}{P_y} \right\} = f(x) = a + bx + cx^2 + dx^3 + ex^4 + \ldots \qquad (5)$$

Здесь под x подразумевается один из параметров геометрии, а под N – один из выходных параметров экспериментальных исследований (P_z, P_y).

На основе плана дробного многофакторного эксперимента типа 2^{4-1} проведены исследования при постоянных значениях режимов резания. Обработке были подвергнуты бронза БрАЖ9-4 и медь М3. С этой целью при принятых условиях осуществлена оценка геометрических параметров на двух уровнях, которые определены с учетом интервалов варьирования переменных параметров, согласно уравнениям преобразования, приведенным в работе [3].

Последовательно определяя значения параметров для всех геометрических элементов, составлен план экспериментов, по которому были проведены опыты, причем в каждой точке плана они повторялись трижды. Применяя условия Гаусса для уравнения (4), с учетом результатов исследования можно получить все неизвестные коэффициенты и степени, что дает возможность представить уравнение (4) в окончательном виде:

$$P_z = \frac{0{,}083\gamma^{0,60}\lambda^{0,57}r^{0,19}}{\varphi^{0,21}};\quad P_y = \frac{0{,}0015\gamma^{0,45}\lambda^{0,85}r^{0,14}}{\varphi^{0,16}}. \qquad (6)$$

Результаты анализа полученных данных показывают, что параметры режимов резания v, s, t оказывают значительное влияние на P_z и P_y. Поэтому в исследованиях необходимо было найти те рациональные сочетания v, s, t, которые уменьшают их влияние на объект исследования.

Рациональные значения параметров резания определены методом, описанным в работах В.Н. Подураева, А.Д. Макарова В.С. Грубого, А.Г. Суслова и других исследователей. В этих работах предлагается использовать принципы оптимизации для выбора условий механической обработки с учетом надежности режущих пластин, повышения эффективности обработки металлов и сплавов путем управления температурно-силовым режимом обработки [4] при определении оптимальных геометрических параметров режущего инструмента. Для упрощения задачи расчеты можно проводить лишь для одного из объектов исследования. Заранее представляя уравнение (2) в виде функции силы P_z от каждого взятого параметра и определяя численное значение P_z в зависимости от v, s, t, можно дифференцированием определить рациональные значения параметров режимного поля обработки. В табл. 3 приведены оптимальные значения v, s, t для всех сочетаний обрабатываемых и режущих материалов.

Актуальной задачей теории и практики современного машиностроения являются моделирование и оптимизация процессов лезвийной обработки. Нижеприведенная методика была предложена профессором Грубым С.В., в которой предусматривается проведение этапов, характерных для лезвийной обработки. В их число входят: разработка уравнений скорости изнашивания режущих пластин по задней грани и характеристик резания, моделирование процесса обработки, математическая формулировка задач управления и целевых функционалов, алгоритмизация, программирование и создание банка расчетных программ [4].

Таблица 3

Рациональные режимы резания для различных сочетаний режущих и обрабатываемых материалов

Режущие инструменты	Обрабатываемый материал	Оптимальные режимы резания		
		v, *м/мин*	s, *мм/зуб*	t, *мм*
Рубин “Роза”	БрАЖ9-4	225	0,007…0,022	0,06
	М3	285	0,007…0,022	0,10
Лейкосапфир	БрАЖ9-4	215	0,008…0,022	0,062
	М3	273	0,008…0,022	0,092

Известно, что традиционная практика назначения режимных параметров резания имеет субъективную методическую основу, когда рассматривается изношенное состояние режущих пластин без учета последовательного износа по задней грани во времени, что не обеспечивает оптимальных условий протекания процесса тонкой прерывистой обработки [4].

При тонкой прерывистой обработке цветных металлов и сплавов критерием затупления является шероховатость обработанной поверхности, и для оптимизации данного процесса его можно представить в виде управляемого детерминированного целенаправленного процесса. Цель управления достигается через изменения во времени режимных параметров данного процесса обработки: изнашивание режущей пластины по задней грани, шероховатость обработанной поверхности, стружкообразование с учетом нелинейного характера моделей. Модель процесса резания представляет собой систему уравнений конечно-разностного типа [4]:

$$X_{j+1} = F_j(X_j, U_j, P_j). \quad (7)$$

По известному значению функционала в момент времени j можно определить его значение в следующий момент времени $j+1$, решая систему конечно-разностных уравнений методом прогонки.

В формуле (7) вектор X_j; $j = 1,2,...,N-1$ имеет компоненты – фазовые координаты, и определяет состояние процесса в данный момент времени; U_j – вектор управления, который содержит в качестве компонентов управляемые режимные параметры процесса тонкой прерывистой обработки; P_j - вектор параметров, характеризующих условия процесса обработки цветных металлов и сплавов.

Согласно рекомендациям, фазовые координаты и вектор управления должны удовлетворять системе технологических ограничений [4]:

$$G = (X, U, P) \leq 0, \quad (8)$$

где $G = [G_1, G_2,...,G_N]$ – заданная вектор-функция.

Согласно формулировке общей задачи оптимального управления процессом обработки, необходимо найти дискретную функцию управления $U = [U_1,U_2,...,U_N]$, которая переводит систему уравнений (7) из начального состояния X (0) в конечное X (N) с учетом ограничений (8) так, чтобы целевой функционал достиг экстремального значения [4]:

$$W = extrW(X, U, P); (X, U) \in G. \quad (9)$$

В качестве фазовой координаты, характеризующей состояние процесса изнашивания, использована величина износа по задней грани режущей пластины, которая характеризует состояние процесса изнашивания. Тогда система уравнений сводится к рекуррентному соотношению

$$h_{з,j+1} = h_{зj} + I_{nt,j}(h_{зj}, u_{1j},u_{2j},...,p_{1j}, p_{2j},...)\cdot\delta_t ; j = 1,2,...,N-1, \quad (10)$$

где $I_{nt,j}$ – скорость изнашивания режущей пластины по задней грани как функция величины износа, режимных и геометрических параметров в процессе тонкой прерывистой обработки цветных металлов и сплавов; δ_t – дискретное значение по времени обработки, которое определяет число точек управления.

Таким образом, для последовательного описания процесса по длине пути резания и управления режимными и геометрическими параметрами в процессе тонколезвийной обработки цветных металлов и сплавов использованы уравнения, характеризующие стойкость режущих пластин.

Проблема управления сводится к математическому описанию функции длины пути резания режущей пластины, ограничений (8), функционала качества управления (9), куда входят режимные и геометрические параметры, шероховатость обработанной поверхности, диаметр завитка стружки, износ режущей пластины по задней грани и т.д., а также к выбору и адаптации математических методов и средств оптимизации применительно к рекуррентным соотношениям величины износа (10).

Далее проанализированы интегральные целевые функционалы в зависимости от формулировки вычислительной задачи, минимизирующие по точкам управления переменную часть себестоимости обработки деталей на операции, штучное время, погрешность, шероховатость обработанной поверхности, энергозатраты, а также стабилизирующие длину пути резания режущей пластины и температуру резания при тонкой прерывистой обработке цветных металлов и сплавов.

Выводы

1. Рациональные режимы резания можно определить из критериев сил резания. Установлено, что составляющие силы резания P_z и P_y изменяются по-разному при использовании разных сочетаний режущих и обрабатываемых материалов.

2. Наибольшая эффективность процесса резания бронзы марки БрАЖ9-4 и меди марки М1 режущей пластиной из синтекора достигается в случае управления режимными параметрами по целевому функционалу, минимизирующему переменные энергозатраты, штучное время и шероховатость обработанной поверхности.

Литература

1. **Пушных В.А., Бибик В.Л.** Сравнение двух методов расчета температуры резания // Известия Томского политехнического университета. – Томск, 2004. – Т. 307, №3. – С. 102-104.
2. **Арзуманян А.М., Манукян О.С.** Обеспечение оптимального уровня режимов обработки в зависимости от температуры резания и шероховатости обработанной поверхности // Вестник Инженерной академии Армении. – 2004. – Том 1, № 4. – С. 672-674.

3. **Касьян М.В., Минасян Г.С., Багдасарян Г.Б.** Построение математической модели для расчета составляющей силы резания при точении безвершинными резцами // Промышленность Армении. – Ереван, 1971. – №1. – С. 14-18.
4. **Грубый С.В.** Разработка методологии управления режимными параметрами и процессом изнашивания инструментов как основы повышения эффективности лезвийной обработки: Автореферат дис. … докт. техн. наук. – М., 2004. – 34 с.

Поступила в редакцию 06.11.2015.
Принята к опубликованию15.12.2015.

ԿՏՐՄԱՆ ՆՊԱՏԱԿԱՀԱՐՄԱՐ ՌԵԺԻՄՆԵՐԻ ՈՐՈՇՈՒՄԸ Մ3 ՊՂՆՁԻ ԵՎ ԲրԱԺ9-4 ԲՐՈՆԶԻ ԸՆԴՀԱՏՈՒՆ ՄՇԱԿՄԱՆ ԳՈՐԾԸՆԹԱՑՈՒՄ

Ա.Մ. Արզումանյան, Ս.Հ. Հակոբյան, Հ.Ս. Մանուկյան, Տ.Ա. Միրվելյան

Գունավոր մետաղների և համաձուլվածքների նրբասայր մշակման նպատակահարմար ռեժիմների որոշումը հնարավորություն է տալիս սահմանելու կտրման գործընթացի օրինաչափությունները: Մշակման ռեժիմային պարամետրերի որոշման ավանդական պրակտիկան ունի սուբյեկտիվ մեթոդական հիմք, քանի որ հաշվի չի առնվում հետին նիստի՝ ժամանակից կախված մաշումը, ինչպես նաև ուժային ազդեցությունները: Ապացուցված է, որ պղնձի համաձուլվածքների մշակման ժամանակ ռեժիմային պարամետրերի կառավարման գործընթացի ծախսերը նվազագույնի են հասցվում՝ ըստ փոփոխական էներգածախսերի, կտրման ուժերի և մշակված մակերևույթի անհարթությունների:

Առանցքային բառեր. նպատակահարմար ռեժիմներ, կտրման ուժեր, ռեժիմային պարամետրեր, գունավոր մետաղներ:

DETERMINING THE RATIONAL CUTTING MODES IN THE PROCESS OF FRAGMENTED COPPER PROCESSING M3 AND BRONZE BRAZH9-4

A.M. Arzumanyan, S.H. Hakobyan, H.S. Manukyan, T.A. Mirvelyan

Determining the rational regimes for fine – blade processing of non-ferrous metals and alloys makes it possible to establish the laws of the cutting process. The traditional practice of designating the regime parameters of processing is methodically subjective as it does not take into account the wear of the rear face in time, as well as the power impacts. It is proved that at processing copper alloys, the costs of the process of the regime parameter control are minimized by variable power consumption, cutting forces and roughness of the processed surface.

Keywords: optimal modes, cutting forces, operating parameters, non-ferrous metals.