

УДК 621.01

И.А. ПИНАХИН, В.Г. КОПЧЕНКОВ, В.М. ГОНЧАРОВ

ВЛИЯНИЕ ИМПУЛЬСНОЙ ЛАЗЕРНОЙ ОБРАБОТКИ ТВЕРДОСПЛАВНЫХ РЕЖУЩИХ ИНСТРУМЕНТОВ НА ЭФФЕКТИВНОСТЬ ОБРАБОТКИ МЕТАЛЛОВ РЕЗАНИЕМ

Приведены результаты исследований влияния стабильности операции и упрочнения инструментов на производительность обработки, себестоимость операции и инструментальные расходы, а также рекомендации по оптимизации режимов резания при черновой обработке твердосплавными инструментами.

Ключевые слова: твердые сплавы, упрочнение режущих инструментов, черновая обработка, импульсная лазерная обработка.

Введение. Применение различных методов упрочнения режущих инструментов способствует повышению их износостойкости, что в итоге позволяет повысить производительность обработки. Преимуществом импульсной лазерной обработки (ИЛО) по сравнению с другими методами является объемный характер упрочнения, т.е. после переточки инструмента эффект упрочнения сохраняется (рис.1).

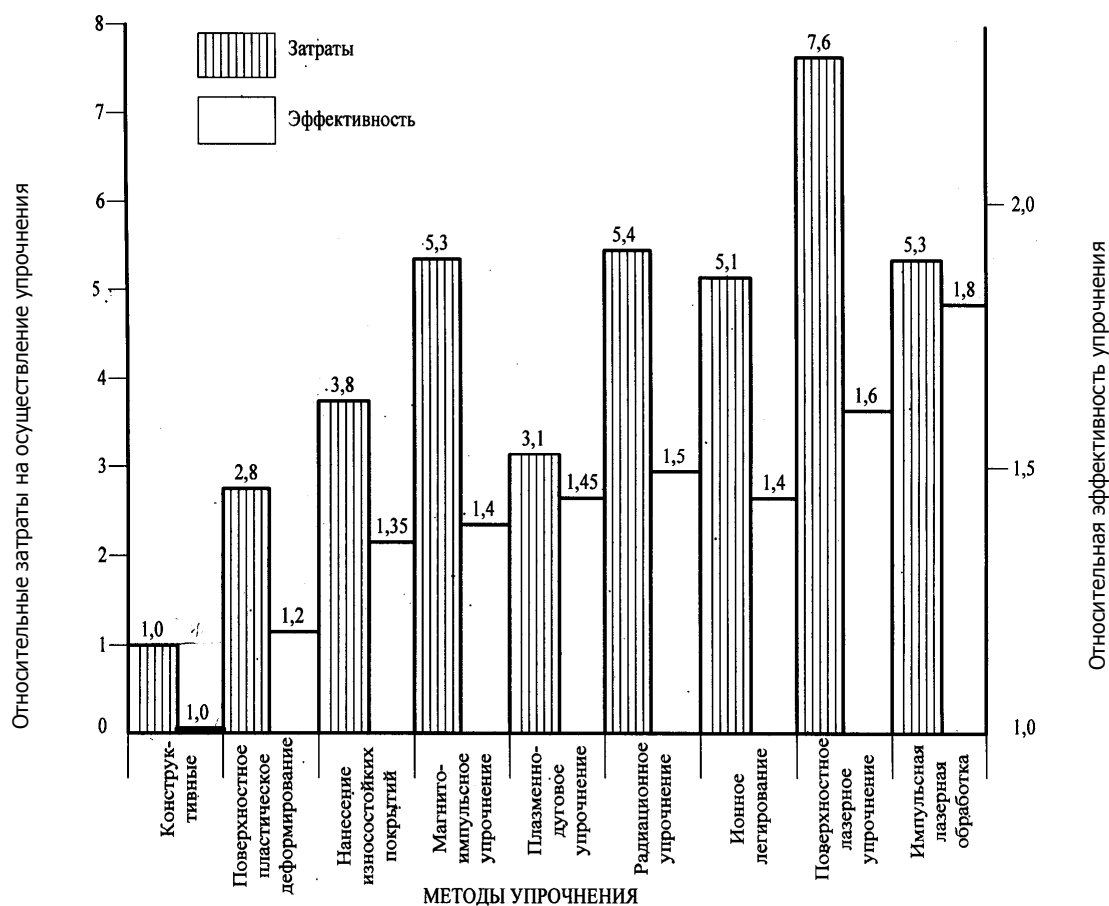


Рис.1. Зависимость затрат и эффективности производства от методов упрочнения режущих инструментов из твердого сплава Т5К10

Метод импульсной лазерной обработки (ИЛО) заключается в том, что короткий импульс лазерного излучения с высокой плотностью мощности ($W = 10^8$ Вт/см²) направляется на поверхность обрабатываемого материала. Материал адиабатически нагревается до температуры в не-

сколько десятков тысяч градусов, что приводит к превращению паров материала в плазму. В результате очень быстрого нагрева и испарения поверхностного слоя материала в глубь начинает распространяться ударная или очень упругая волна. Крутизна фронта ударной волны зависит от крутизны переднего фронта лучевого импульса. Прохождение этой ударной волны и обуславливает упрочнение материала.

Были исследованы зависимости для инструментов (рис.1-4), работавших в следующих условиях:

- предприятие – ПО «Волгоцеммаш», г.Тольятти;
- вид режущего инструмента – токарный проходной резец с напайной пластиной $\varphi = 75^\circ$;
- марка твердого сплава – Т5К10;
- оборудование – станок 163;
- обрабатываемый материал, твердость – сталь 35ХНЛ, НВ=240-260;
- состояние обрабатываемой поверхности – литейная корка;
- режимы резания – $t = 2,0$ мм, $s = 1,0$ мм/об, $V = 80$ м/мин.

Согласно методике расчета производственных затрат и эффективности производства была построена гистограмма (рис.1).

Расчет производительности операции производился по формуле [1]:

$$Q = \frac{F_g}{\frac{1}{\frac{A_0 T^\mu}{(T_{пр} - T)^\mu} \left(1 + \frac{\tau \lambda}{T}\right) + \tau_b}}, \quad (1)$$

где F_g – годовой действительный фонд работы оборудования; T – стойкость инструмента; λ – коэффициент времени резания; τ_b – вспомогательное время; A_0 – постоянная, которая зависит от параметров процесса резания [2]; $T_{пр}$ – предельное значение стойкости инструмента; τ – время простоя оборудования при замене затупившегося инструмента острым.

Так как при работе оборудования имеет место рассеивание износостойкости инструментов и вероятность выхода инструмента из строя вследствие выкрашиваний или поломок, время на замену затупившегося инструмента зависит от вероятности безотказной работы, и поэтому оно состоит из времени на плановую замену инструментов τ_n и времени, затрачиваемого на аварийную его замену τ_a [3]:

$$\tau = \tau_n P(T) + \tau_a [1 - P(T)]. \quad (2)$$

Доказано, что показатель степени μ в формуле Тейлора зависит от рассеивания стойкости, что выражается формулой [4]:

$$\mu = \frac{C_\mu (E_2 K_2 - E_1 K_1)}{b \ln V}, \quad (3)$$

где C_μ – коэффициент, зависящий от обрабатываемого материала, рассеивания стойкости и типоразмера инструмента; K_1, K_2 – коэффициенты, зависящие от объема выборки и рассеивания стойкости; b – коэффициент формы распределения Вейбулла, которое является универсальным законом, описывающим рассеивание стойкости;

$$E_1 = \ln(-\ln P_{T \min}); \quad E_2 = \ln(-\ln P_{T \max});$$

$P_{T \min}, P_{T \max}$ – вероятность безотказной работы при наименьшем и наибольшем значениях износостойкости инструментов во всей выборке.

С учетом приведенных выше зависимостей была рассчитана производительность операции при различных видах обработки инструментами, упрочненными ИЛО (рис.2).

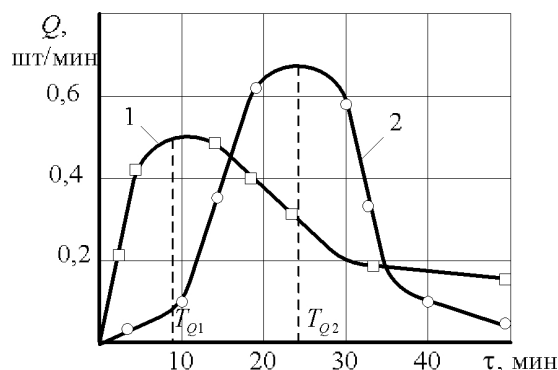


Рис.2. Влияние ИЛО на производительность операции:
1 – инструменты без упрочнения; 2 – упрочненные инструменты

Анализ графических зависимостей производительности от стойкости показал наличие явно выраженного экстремума, характеризующего оптимальное значение стойкости инструментов. Следует отметить, что для инструментов, упрочняемых ИЛО, наблюдалось увеличение оптимальной стойкости T_Q в 1,8-2,5 раза.

Применение импульсной лазерной обработки способствует также увеличению числа переточек инструментов. Вместе с повышением стойкости инструментов это ведет к уменьшению инструментальных расходов (рис.3), которые определяются по формуле [1]:

$$S = S_T A_0 \frac{T^{\frac{1}{\mu}-1}}{(T_{np} - T)^{\frac{1}{\mu}}} \lambda, \quad (4)$$

где S_T – затраты по инструменту за период его стойкости.

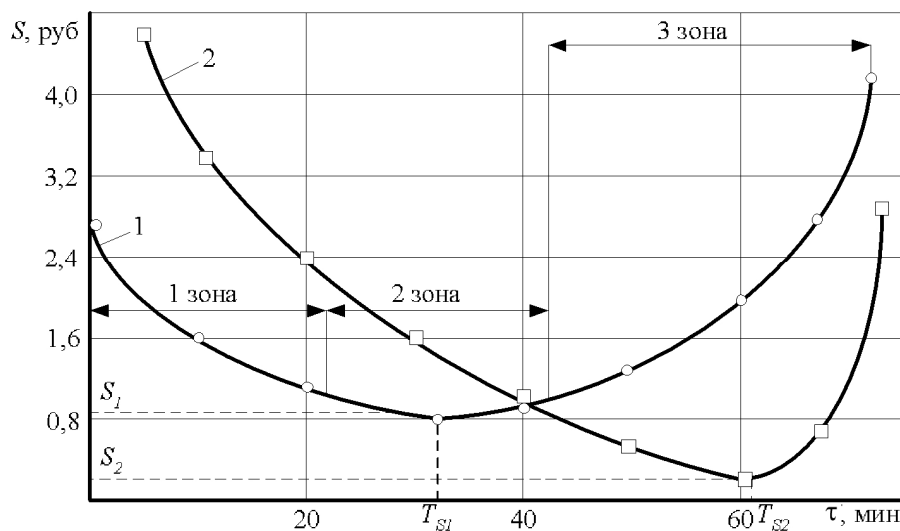


Рис.3. Влияние ИЛО на инструментальные расходы:
1 – инструменты без упрочнения; 2 – упрочненные инструменты

Определение оптимальной стойкости по критерию наименьших инструментальных затрат производилось по формуле [1]:

$$T_C = \frac{\mu - 1}{\mu} T_{np}, \quad (5)$$

а для инструментов, упрочненных ИЛО:

$$T_{CY} = \frac{\mu_Y - 1}{\mu_Y} T_{пр} . \quad (6)$$

После преобразования получаем:

$$T_{CY} = \frac{(\mu_Y - 1)\mu}{(\mu - 1)\mu_Y} T_C . \quad (7)$$

Используя рекомендации, данные в работе [4] рассчитаны значения μ и μ_Y по формуле (3) для токарных проходных резцов с напайной пластиной $\varphi = 75^\circ$. На основании этих расчетов получаем $\mu = 1,2$ и $\mu_Y = 1,4$, а соотношение между T_C и T_{CY} :

$$T_{CY} = 1,7 T_C . \quad (8)$$

Таким образом, за счет упрочнения ИЛО и снижения рассеивания стойкости, которое имеет место при этом, оптимальная стойкость резцов по критерию наименьших инструментальных затрат повышается в 1,7 раза. Анализ графических зависимостей инструментальных расходов от стойкости показал, что имеет место ярко выраженный экстремум функций для инструментов, упрочненных ИЛО, для этих инструментов прослеживается закономерность повышения производительности и снижения инструментальных затрат.

Вместе с тем для неупрочненных инструментов характерны три зоны (рис.3). Для зоны 1 при сравнительно невысоком значении стойкости инструмента характерно резкое уменьшение инструментальных расходов при увеличении стойкости. В зоне 2 инструментальные расходы изменяются незначительно, что связано с постоянной интенсивностью отказов. В зоне 3 интенсивность увеличения инструментальных расходов резко возрастает. Для инструментов, упрочненных ИЛО, имеет место более выраженный экстремум функции, зона 2 сужается. Это говорит о том, что ИЛО способствует устранению дефектов внутреннего строения инструментального материала. Это положительно сказывается на стойкости инструмента, и интенсивность отказов монотонно увеличивается.

Себестоимость операции рассчитывали по формуле [1]:

$$C_o = \frac{A_o T^{\frac{1}{\mu}}}{(T_{пр} - T)^{\frac{1}{\mu}}} E \left(1 + \frac{\tau \lambda}{T} \right) + S_T A_o \frac{T^{\frac{1}{\mu} - 1}}{(T_{пр} - T)^{\frac{1}{\mu}}} \lambda + C_{мат} . \quad (9)$$

На основании полученных результатов была построена зависимость себестоимости операции от стойкости (рис.4).

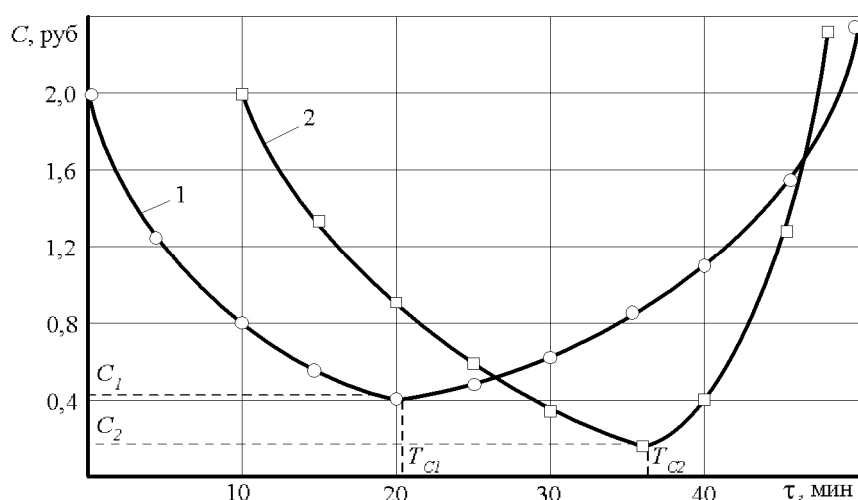


Рис.4. Влияние ИЛО на себестоимость операции:
1 – инструменты без упрочнения; 2 – упрочненные инструменты

Значение оптимальной стойкости инструмента, упрочненного ИЛО, повышается в 1,5 раза, что также говорит об уменьшении рассеивания стойкости инструментов (рис.4).

Результаты промышленных испытаний на ПО «Волгоцеммаш», г. Тольятти сведены в табл.1.

Таблица 1

Результаты производственных испытаний твердосплавных напайных резцов Т5К10

Наличие упрочнения	Период стойкости	Расстояние от главной режущей кромки до кратера, мм	Средняя стойкость T , шт.	Коэффициент изменения стойкости $T_{\text{ИЛО}}/T_{\text{исх}}$	Гамма-процентная стойкость T_{γ} , шт	Коэффициент изменения гамма-процентной стойкости $T_{\gamma\text{ИЛО}}/T_{\gamma\text{исх}}$	Распределение отказов инструментов, %		
							Износ	Выкрашивание	Поломки
Без упрочнения			120		86		32	64	4
ИЛО	1	8	246	2,05	240	2,8	74	24	2
	2	7	218	1,82	190	2,2	72	26	2
	3	6	209	1,74	184	2,14	67	30	3
	4	5	192	1,6	178	2,07	62	34	4
	5	3	160	1,3	140	1,6	54	42	4

Вывод. Применение импульсной лазерной обработки способствует повышению оптимальной стойкости режущих инструментов в 1,4-2,5 раза. Это связано, прежде всего, со снижением вероятности отказов, вызванных абразивным износом режущих инструментов, а значит и с уменьшением доли времени, затрачиваемого на замену инструмента при аварийном выходе его из строя. Кроме того, наблюдается повышение стабильности свойств инструментов после ИЛО, что выражается в уменьшении коэффициента вариации стойкости и увеличении вероятности безотказной работы.

Библиографический список

1. Клушин М.И. Оптимизация условий резания на технологической операции / М.И. Клушин, Г.В. Гостев. – Горький: ГПИ, 1980. – 86 с.
2. Клушин М.И. Резание металлов / М.И. Клушин. – Горький: ГПИ, 1970. – 101 с.
3. Игумнов Б.И. Расчет оптимальных режимов обработки для станков и автоматических линий / Б.И. Игумнов. – М.: Машиностроение, 1974. – 164 с.
4. Пинахин А.М. Определение производительности операции с учетом закономерностей рассеивания стойкости инструментов / А.М. Пинахин // Пути интенсификации производственных процессов при механической обработке. – Томск: ТПИ, 1979. – С. 68-72.

Материал поступил в редакцию 22.11.10.

References

1. Klushin M.I. Optimizaciya uslovii rezaniya na tehnologicheskoi operacii / M.I. Klushin, G.V. Gostev. – Gor'kii: GPI, 1980. – 86 s. – In Russian.
2. Klushin M.I. Rezanie metallov / M.I. Klushin. – Gor'kii: GPI, 1970. – 101 s. – In Russian.
3. Igumnov B.I. Raschet optimal'nyh rejimov obrabotki dlya stankov i avtomaticheskikh linii / B.I. Igumnov. – M.: Mashinostroenie, 1974. – 164 s. – In Russian.
4. Pinahin A.M. Opredelenie proizvoditel'nosti operacii s uchetom zakonomernostei rasseivaniya stoikosti instrumentov / A.M. Pinahin // Puti intensivikacii proizvodstvennyh processov pri mehanicheskoi obrabotke. – Tomsk: TPI, 1979. – S. 68-72. – In Russian.

I.A. PINAKHIN, V.G. KOPCHENKOV, V.M. GONCHAROV

INFLUENCE OF PULSED LASER PROCESSING OF CARBIDE CUTTING TOOLS ON METAL CUTTING PERFORMANCE

The results of influence of job stability and cutting instruments hardening on the process efficiency, job primecost and expenses for tools are described. Recommendations on the cutting modes optimization under roughing with carbide cutting tools are given.

Keywords: *hard alloy, cutting instruments hardening, roughing, pulsed laser processing.*

ПИНАХИН Игорь Александрович (р. 1966), старший преподаватель кафедры «Механика, конструирование и технологии в машиностроении» Северо-Кавказского государственного технического университета. Окончил Краматорский индустриальный институт (1990).

Область научных интересов: упрочнение режущих инструментов.

Автор 45 публикаций.

pinahin_ia@ncstu.ru.

КОПЧЕНКОВ Вячеслав Григорьевич (р. 1955), заведующий кафедрой «Механика, конструирование и технологии в машиностроении» Северо-Кавказского государственного технического университета, доктор технических наук (2005), профессор (2007). Окончил Ставропольский политехнический институт (1976).

Область научных интересов: трение и износ материалов.

Автор 120 публикаций.

kopchenkov2@rambler.ru.

ГОНЧАРОВ Валерий Михайлович (р. 1955), доцент кафедры «Механика, конструирование и технологии в машиностроении» Северо-Кавказского государственного технического университета, кандидат технических наук (1990), доцент (1992). Окончил Ставропольский политехнический институт (1972).

Область научных интересов: упрочнение режущих инструментов.

Автор 60 публикаций.

Igor A. PINAKHIN (1966), Senior Lecturer of the Engineering Mechanics, Design and Technologies Department, North-Caucasian State Technical University. He graduated from Kramatorsk Industrial Institute (1990).

Research interests: cutting instruments hardening.

Author of 45 publications.

Vyacheslav G. KOPCHENKOV (1955), Head of the Engineering Mechanics, Design and Technologies Department, North-Caucasian State Technical University. PhD in Science (2005), professor (2007). He graduated from Stavropol Polytechnic Institute (1976).

Research interests: materials friction and deterioration.

Author of 120 publications.

Valery M. Goncharov (1955), Associate Professor of the Engineering Mechanics, Design and Technologies Department, North-Caucasian State Technical University. Candidate of Science in Engineering (1990), associate professor (1992). He graduated from Stavropol Polytechnic Institute (1972).

Research interests: cutting instruments hardening.

Author of 60 publications.