

УДК 621.941

Н. Е. Стахнив, Л. Н. Девин, А. Г. Сулима (г. Киев)

### **Исследование изменений силы резания при точении силуминов резцами с круглыми алмазно-твердосплавными пластинами**

*На основании корреляционного и спектрального анализов экспериментальных результатов установлено влияние технологических режимов обработки на силу резания при точении силуминов круглыми алмазно-твердосплавными пластинами. Приведены практические рекомендации по выбору режимов обработки.*

**Ключевые слова:** *точение силуминов, силы резания, круглая АТП, корреляционный и спектральный анализы.*

Для изготовления поршней двигателей внутреннего сгорания (ДВС) применяют силумины с содержанием кремния от 10 до 25 % (по массе). При их обработке широко используют резцы, оснащенные алмазными твердосплавными пластинами (АТП) с фасеточной заточкой, которая характеризуется главным и вспомогательным углами в плане [1].

Как показали экспериментальные исследования, точение — сложный процесс, который даже при установившихся условиях резания, когда номинальная площадь срезаемого слоя и физико-механические свойства обрабатываемого материала постоянны, обуславливает существенное изменение составляющих  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$ , а соответственно, и равнодействующей силы резания  $R$  [2]. А это, в свою очередь, вызывает различную величину деформаций и колебаний элементов технологической системы станка, что отрицательно сказывается на точности формы, волнистости и шероховатости обработанной поверхности, существенно снижает надежность режущего инструмента [3].

Наличие в обрабатываемом материале кремния является фактором, увеличивающим диапазоны изменения величины и угла приложения силы резания [4]. В случае применения круглых режущих пластин, как было показано в [2], вследствие особенностей геометрии резца диапазон изменения величины и угла приложения силы резания будет еще более значимым.

Цель настоящей работы — исследовать влияние режимов и условий резания на величину и характер изменения силы резания при точении силуминов резцами с круглыми АТП.

Экспериментальные исследования проводили при точении цилиндрической заготовки диаметром 82—90 мм и толщиной 9 мм, которая представляла собой фрагмент поршня ДВС из силуминового сплава АЛ25 (далее по тексту — сплава АЛ25), содержащего 12—14 % (по массе) кремния. Токарную обработку выполняли на высокоточном токарном станке мод. ТПК125-ВМ. Резец был оснащен АТП RNMN120300 (передний угол  $\gamma = 0^\circ$ , задний угол  $\alpha = 11^\circ$ ). Было проведено три серии экспериментов при скорости резания  $v = 6,7$  м/с с подачей  $S = 0,05$ ,  $0,075$  и  $0,1$  мм/об. В каждой из серий проводили по пять экспериментов с глубиной резания  $t = 0,1$ ,  $0,2$ ,  $0,3$ ,  $0,4$ ,  $0,5$  мм.

© Н. Е. СТАХНИВ, Л. Н. ДЕВИН, А. Г. СУЛИМА, 2010

Составляющие силы резания  $P_x$ ,  $P_y$  и  $P_z$  измеряли динамометром УДМ-100. Сигнал с динамометра по трем каналам через тензоусилитель подавали на аналого-цифровой преобразователь (АЦП) ADA-1406 и с частотой опроса 1700 Гц фиксировали с помощью компьютера [3]. Управление АЦП ADA-1406 осуществляли с помощью программы Power Graph [5].

По результатам измерения составляющих сил резания рассчитывали их равнодействующую  $R$  и угол приложения силы резания [6]:

$$v = \arctg \frac{P_z}{\sqrt{P_x^2 + P_y^2}}. \quad (1)$$

На рис. 1 приведены осциллограммы равнодействующей силы резания  $R$  в зависимости от времени  $\tau$ .

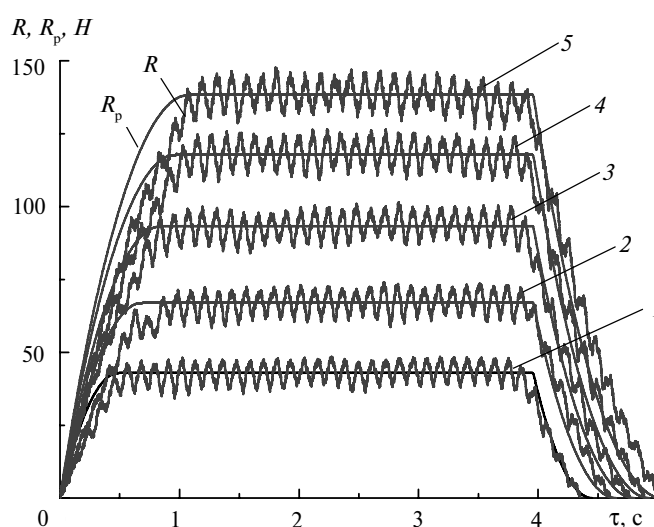


Рис. 1. Осциллограммы силы резания  $R$  в зависимости от времени при точении силуминовой заготовки резцом с круглой АТП при глубинах резания  $t = 0,1$  (1),  $0,2$  (2),  $0,3$  (3),  $0,4$  (4),  $0,5$  (5);  $v = 6,7$  м/с,  $S = 0,1$  мм/об.

На осциллограммах можно выделить три характерных участка. На первом участке, когда имеет место врезание инструмента в заготовку, сила резания с нарастающими колебаниями увеличивается. На втором участке установившегося процесса резания сила колеблется вокруг среднего значения. На третьем участке, при выходе инструмента из детали, сила резания уменьшается и при этом также уменьшается и амплитуда ее колебаний. В основу определения участков врезания, установившегося резания и выхода инструмента положен характер изменения площади поперечного сечения среза [7]. Если в течение промежутка времени имеет место возрастание площади поперечного сечения среза — это участок врезания, а уменьшение соответствует участку выхода инструмента из заготовки. Участок установившегося резания удовлетворяет условию неизменности площади поперечного сечения среза. В соответствии с [8], для каждого конкретного эксперимента представляется возможным записать закон изменения силы резания  $R_p(\tau)$  в зависимости от площади поперечного сечения среза  $s(\tau)$ :

$$R_p(\tau) = ks(\tau), \quad (2)$$

где  $k = R_{cp}/s_{cp}$  — коэффициент пропорциональности, равный отношению средних значений силы резания и среднего значения площади поперечного сечения среза на участке установившегося резания. Изменение расчетной силы резания  $R_p$  приведено на рис. 1. В [7] установлено, что при точении сталей на этапе врезания изменение силы резания запаздывает относительно изменения площади поперечного сечения среза. Данная тенденция наблюдается и при точении силуминов [4], в том числе и в приведенных в данной публикации экспериментах (см. рис. 1). В связи с этим участок установившегося резания корректировали на величину запаздывания. На рис. 2 приведены примеры участков осциллограмм составляющих  $P_x(\tau)$ ,  $P_y(\tau)$ ,  $P_z(\tau)$  силы резания для установившегося процесса резания.

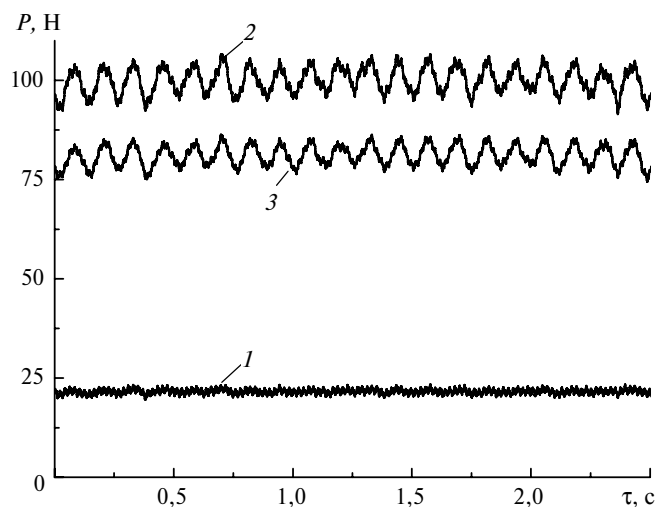


Рис. 2. Осциллограммы составляющих силы резания  $P_x$  (1),  $P_y$  (2) и  $P_z$  (3), соответствующие участку установившегося резания, при точении силуминовой заготовки резцом с круглой АТП;  $v = 6,7$  м/с,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,1$  мм.

Установлено, что в каждом конкретном эксперименте реализация составляющих (см. рис. 2) и равнодействующей силы резания (см. рис. 1) имеет свои отличительные особенности, которые нельзя предсказать. Составляющие  $P_x(\tau)$ ,  $P_y(\tau)$ ,  $P_z(\tau)$  и равнодействующая сила резания  $R(\tau)$  представляют собой случайные функции, что необходимо учитывать при статистическом анализе результатов [9].

Методы исследования и анализа случайных функций обусловлены характером случайного процесса, который их определяет. На первом этапе исследований был выполнен статистический анализ равнодействующей силы резания  $R(\tau)$ : рассчитаны математические ожидания  $m_R(\tau)$ , дисперсии  $D_R(\tau)$  и корреляционные функции  $K_R(\tau_0, \tau)$  для различных временных участков ( $\tau_0$  — время, которое соответствовало началу отсчета при расчете корреляционной функции).

Установлено, что на первом (врезание) и третьем (выход инструмента из детали) участках для равнодействующей силы резания  $R(\tau)$  выполняются условия:  $m_R(\tau) = \text{var}$ ,  $D_R(\tau) = \text{var}$ ,  $K_R(\tau_0, \tau) \neq K_R(\tau_1, \tau)$ , что указывает на наличие нестационарного случайного процесса [9]. В этом случае обработка статистических данных должна вестись по группе реализаций (совокупности опытов, выполненных с одинаковыми режимами и при одинаковых услови-

ях). На втором участке, соответствующем установившемуся процессу резания, выполняются условия:  $m_R(\tau) = \text{const}$ ,  $D_R(\tau) = \text{const}$ ,  $K_R(\tau_0, \tau) = K_R(\tau)$  (корреляционная функция не зависит от положения начальной точки отсчета), что указывает на наличие эргодического стационарного случайного процесса. Для статистического анализа эргодического стационарного случайного процесса, в случае его значительной временной продолжительности, достаточно одной реализации [9].

Промежуток времени установившегося процесса резания (см. рис. 1) более чем в 20 раз превышает величину периода колебаний составляющих силы резания (см. рис. 3). Это обстоятельство указывает на то, что временной промежуток установившегося процесса резания достаточно длителен. Поэтому основные статистические оценки, корреляционные и спектральные функции составляющих  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  и равнодействующей силы резания  $R$  рассчитывали не по множеству однотипных экспериментальных опытов, а по одной реализации.

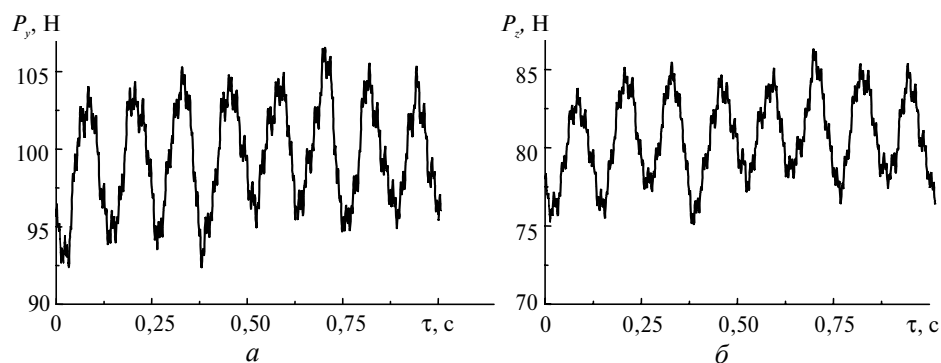


Рис. 3. Осциллограммы составляющих силы резания  $P_y$  (а) и  $P_z$  (б), соответствующие участку установившегося резания, при точении силуминовой заготовки резцом с круглой АТП;  $v = 6,7$  м/с,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,5$  мм.

На рис. 4 приведены примеры нормированных корреляционной функции  $\rho$  и спектральной плотности  $q$  силы резания  $R$ , которые соответствуют участку установившегося процесса резания. Вид графиков корреляционной функции и спектральной плотности указывает на то, что сила резания колеблется по гармоническому закону с точно фиксированной частотой  $f_k$  (см. рис. 4, б).

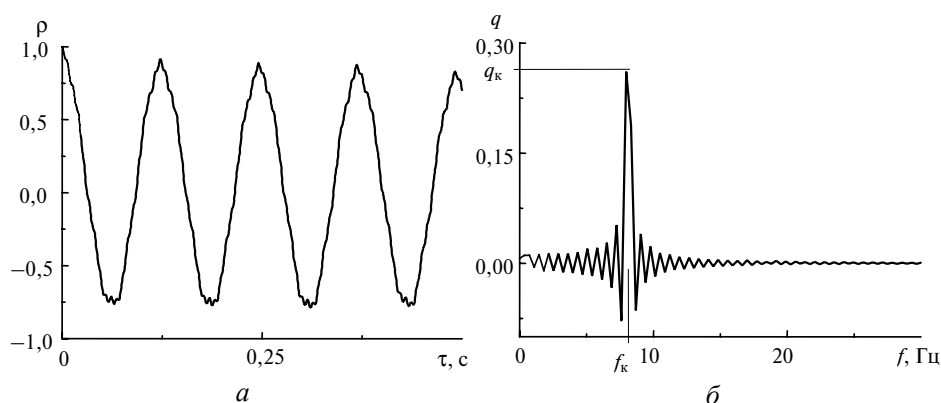


Рис. 4. Нормированная корреляционная функция  $\rho$  (а) и нормированная спектральная плотность  $q$  (б) силы резания  $R$  при точении силуминовой заготовки резцом с круглой АТП;  $v = 6,7$  м/с,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,5$  мм.

Аналогичные результаты получены при исследовании составляющих и равнодействующей силы резания для всех выполненных экспериментов. Результаты корреляционного и спектрального анализов позволяют утверждать, что при установившемся процессе резания силуминовой заготовки резцом с круглой АТП составляющие и равнодействующая силы резания квазидетерминировано изменяются вокруг среднего значения по гармоническому закону с постоянной частотой колебаний. Стохастические возмущения незначительно искажают профили кривых составляющих (см. рис. 3) и равнодействующей силы резания.

Для математического моделирования сил резания выполнена аппроксимация конкретных экспериментальных реализаций составляющих и равнодействующей силы резания тригонометрическими рядами Фурье [10]. На рис. 5 приведен пример характерного спектра амплитуд силы резания  $R$ , который был получен на основании разложения в ряд Фурье. Как видно, сила резания содержит одну доминирующую частоту колебаний  $f_k$ , которой соответствует амплитуда  $A_k$ . Амплитуды колебаний на остальных частотах более чем в 8 раз меньше максимального значения  $A_k$ . Поэтому колебаниями на остальных частотах можно пренебречь. Таким образом, для установившегося процесса резания равнодействующую силы резания можно моделировать аналитическим выражением вида

$$R_M(\tau) = R_{cp} + A_k \cos(2\pi f_k \tau), \quad (3)$$

где  $R_{cp}$  — среднее или математическое ожидание силы резания  $R(\tau)$ ;  $f_k$  — доминирующая частота;  $A_k$  — амплитуда колебаний, определяемая из разложения в ряд Фурье или, как будет показано ниже, через среднеквадратические отклонения  $\sigma_R$  равнодействующей силы резания. Аналогично зависимости (3) можно записать аналитические выражения для составляющих силы резания  $P_x(\tau)$ ,  $P_y(\tau)$ ,  $P_z(\tau)$ .

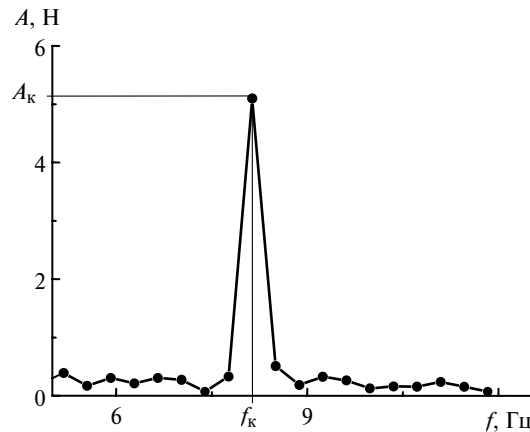


Рис. 5. Спектр амплитуд силы резания при точении силуминовой заготовки резцом с круглой АТП;  $v = 6,7$  м/с,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,5$  мм.

В формулу (3) входит частота колебаний  $f_k$ , значение которой следует определять в зависимости от режимов обработки. В [2] при точении закаленных сталей инструментом из композита на основе КНБ показана взаимосвязь частоты колебаний силы резания с частотой вращения шпинделя  $f_{ш}$ . Как будет отмечено ниже, аналогичная взаимосвязь существует и при точении силуми-

нов АТП. Учитывая, что исследования проводили с постоянной скоростью резания  $v$ , число оборотов вследствие уменьшения диаметра заготовки корректировали. На рис. 6 приведены графики скорректированной частоты вращения шпинделя  $f_{ш}$  и соответствующей ей частоты  $f_k$  колебания силы резания в зависимости от глубины резания при различных величинах подачи.

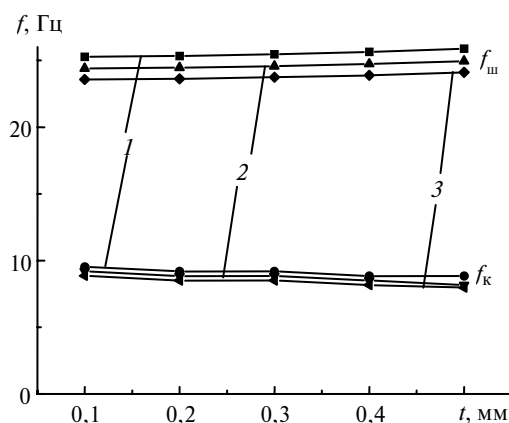


Рис. 6. Частота вращения шпинделя  $f_{ш}$  и соответствующая ей доминирующая частота колебаний силы резания  $f_k$  в зависимости от глубины резания и величины подачи  $S = 0,05$  (1), 0,075 (2), 0,1 (3) мм/об.

На рис. 6, видно, что при увеличении глубины резания частота вращения шпинделя  $f_{ш}$  и доминирующая частота  $f_k$  колебаний силы резания незначительно изменяются по линейному закону. Поэтому было проведено усреднение результатов по сериям экспериментов. В табл. 1 приведены результаты расчетов частоты вращения шпинделя  $f_{ш}$  и доминирующей частоты  $f_k$  колебаний силы резания, а также отношение  $f_k/f_{ш}$  для каждой серии экспериментов.

Из анализа результатов табл. 1 следует, что величины отношения  $f_k/f_{ш}$  в каждой серии экспериментов были примерно одинаковыми. Поэтому представляется возможным обобщить результаты расчетов по всей совокупности экспериментов. Отношение

$$f_k/f_{ш} = 0,35 \pm 0,02$$

является инвариантным (неизменным) для всей совокупности проведенных экспериментов.

**Таблица 1. Доминирующая частота колебаний  $f_k$  и частота вращения шпинделя  $f_{ш}$**

Серия	S, мм/об	$f_{ш}$ , Гц	$f_k$ , Гц	$f_k/f_{ш}$
1	0,05	25,57±0,31	9,18±0,34	0,359±0,014
2	0,075	24,67±0,28	8,66±0,51	0,351±0,022
3	0,1	24,36±0,26	8,46±0,54	0,357±0,023

На рис. 7 приведено изменение средних значений составляющих  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  и силы резания  $R$  в зависимости от глубины резания  $t$ . Составляющие и равнодействующая силы резания при увеличении глубины от 0,1 до 0,5 мм увеличились в 2,5—3,2 раза.

Анализ полученных результатов (см. рис. 7) показывает, что величина составляющих и равнодействующей силы резания линейно зависят от глубины резания. Например, для составляющей  $P_y$  можно записать

$$P_y = b_y + k_y t, \quad (4)$$

где  $b_y$  — постоянная величина;  $k_y$  — коэффициент пропорциональности. Применяя аппроксимацию линейными функциями с помощью метода наименьших квадратов, рассчитали значения постоянных  $b$  и коэффициентов пропорциональности  $k$  (табл. 2).

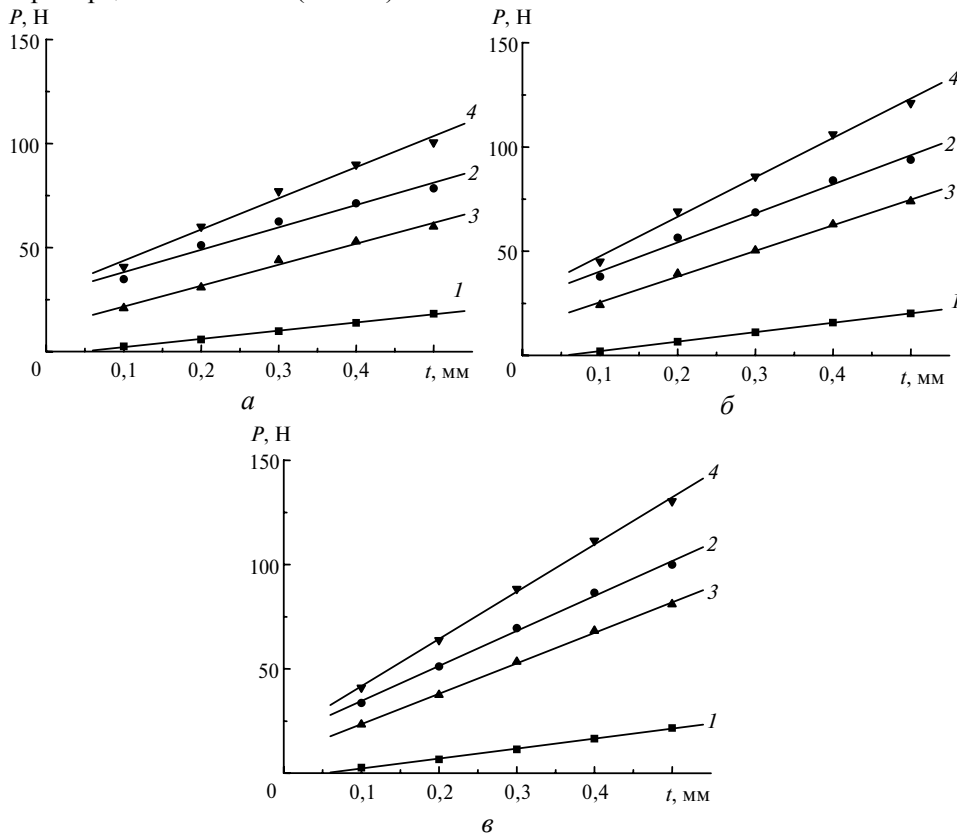


Рис. 7. Изменение составляющих  $P_x$  (1),  $P_y$  (2) и  $P_z$  (3) и равнодействующей силы резания  $R$  (4) от глубины резания при  $v = 6,7$  м/с,  $S = 0,05$  (а),  $0,075$  (б),  $0,1$  (в) мм/об.

На основе анализа рис. 7 и табл. 2 можно отметить следующее:

— При глубине резания  $t = 0,1$  мм величины составляющих  $P_x$ ,  $P_y$ ,  $P_z$  и равнодействующей силы резания  $R$  в каждой серии опытов совпадают. Можно утверждать, что при глубине резания  $t = 0,1$  мм подачи  $S = 0,05$ ,  $0,075$ ,  $0,1$  обуславливают процесс резания с одинаковыми силами резания и одинаковыми углами приложения этих сил.

— Составляющая  $P_x$  силы резания (см. табл. 2) в каждой серии опытов (при подачах  $S = 0,05$ ,  $0,075$ ,  $0,1$ ) возрастает одинаково в зависимости от глубины резания  $t$  — относительная погрешность несовпадения не превышает 6%. Поэтому можно утверждать, что зависимость изменения составляющей  $P_x$  силы резания от глубины резания является инвариантной при всех исследуемых подачах.

**Таблица 2. Параметры аппроксимирующих линейных зависимостей**

Серия	S, мм/об	Постоянные				Коэффициенты пропорциональности			
		$b_x$	$b_y$	$b_z$	$b_R$	$k_x$	$k_y$	$k_z$	$k_R$
1	0,05	-2,26	27,44	11,57	28,79	43,59	106,39	103,54	149,46
2	0,075	-2,51	26,35	13,24	28,68	45,23	133,28	128,96	189,16
3	0,1	-2,59	18,75	9,84	19,05	46,76	160,89	153,95	226,32

— Для всех серий экспериментов кривые изменения составляющих  $P_y, P_z$  в зависимости от глубины резания параллельны друг другу, т. е. коэффициенты пропорциональности  $k_y$  и  $k_z$  в каждой серии опытов одинаковы. Относительная погрешность не превышает 7 %. Коэффициент резания [8]  $K = P_z/P_y$  постоянный в каждой серии экспериментов.

— С увеличением величины подачи  $S$  (см. табл. 2) значения коэффициентов пропорциональности  $k_y$  и  $k_z$  возрастают.

На рис. 8 приведено изменение среднеквадратических отклонений  $\sigma_x, \sigma_y, \sigma_z, \sigma_R$  составляющих и силы резания в зависимости от глубины резания  $t$ . Среднеквадратическое отклонение составляющих и равнодействующей силы резания при увеличении глубины от 0,1 до 0,5 мм во всех сериях экспериментов не превышает 5 Н. Анализ полученных результатов (см. рис. 8) показывает, что величины среднеквадратических отклонений составляющих и равнодействующей силы резания линейно зависят от глубины резания. Применяя аппроксимацию линейными функциями с помощью метода наименьших квадратов, можно заметить, что среднеквадратические отклонения составляющих и равнодействующей силы резания при подачах  $S = 0,05$  и  $0,075$  мм/об в зависимости от глубины резания остаются постоянными в пределах погрешности измерений. При подаче  $S = 0,1$  мм/об наблюдается возрастание среднеквадратических отклонений.

Выше было показано, что при установившемся процессе резания силуминовой заготовки резцом с круглой АТП сила резания квазидетерминировано изменяется возле среднего значения по гармоническому закону с постоянной частотой колебаний. Поэтому амплитуду колебаний силы резания  $A_k$  можно выразить через среднеквадратическое отклонение силы резания  $\sigma_R$ . Обработка экспериментальных данных позволила установить экспериментальную зависимость

$$A_k = 1,28\sigma_R. \quad (5)$$

Аналогичные взаимосвязи имеют место и для составляющих силы резания  $P_x, P_y, P_z$ . Следовательно, графики изменения среднеквадратических отклонений, приведенные на рис. 8, отражают тенденции изменения соответствующих амплитуд колебаний.

В [6] показано, что значение и знак напряжений на поверхности режущего инструмента зависят от величины угла приложения силы резания  $\nu$ . При возрастании происходит перераспределение напряжений: сжимающие напряжения преобразуются в растягивающие, что обуславливает скачкообразное увеличение вероятности разрушения инструмента. Поэтому в данной работе было исследовано изменение угла приложения силы резания  $\nu$  и среднеквадратического отклонения угла приложения силы резания  $\sigma_\nu$  в зависимости от глубины резания  $t$  (рис. 9, 10). Как видно, с увеличением глубины резания в



интервале 0,1—0,5 мм величина  $\nu$  возрастает от 31—34° (в зависимости от заданной величины подачи) до 35—38°. Следовательно, при определении максимальной глубины резания при точении силуминов резцом с круглой АТП необходимо учитывать увеличение угла приложения силы резания (см. рис. 9).

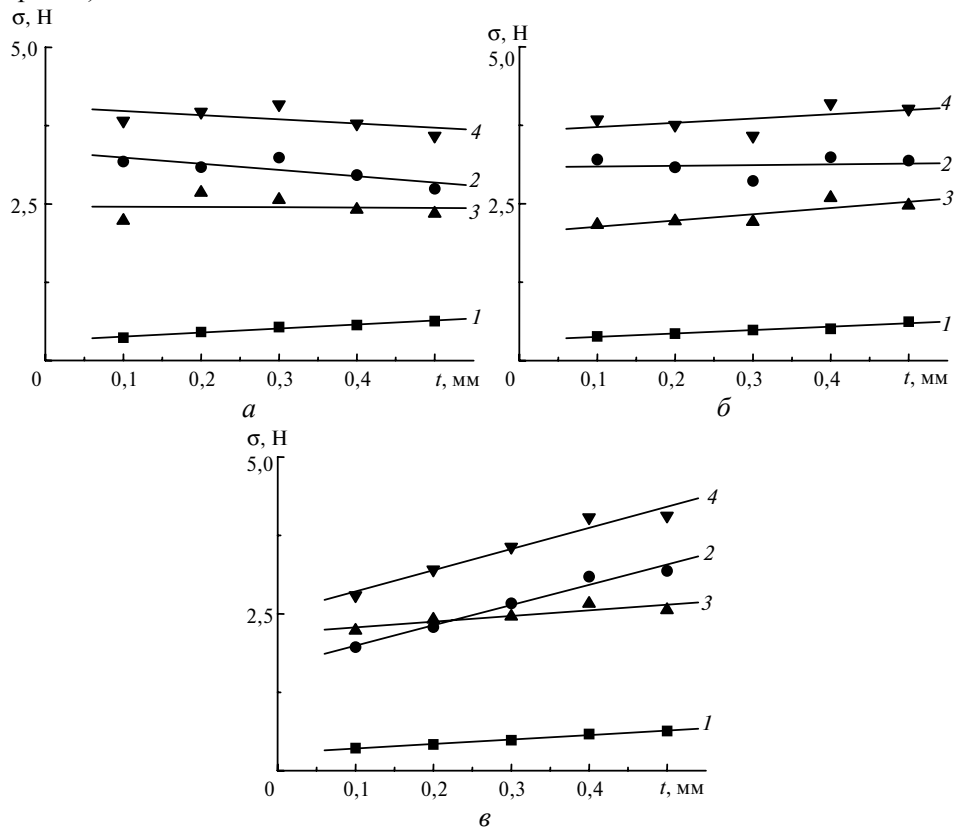


Рис. 8. Изменение среднеквадратического отклонения составляющих  $\sigma_x$  (1),  $\sigma_y$  (2) и  $\sigma_z$  (3), и равнодействующей  $\sigma_R$  (4) силы резания в зависимости от глубины резания при  $S = 0,05$  (а), 0,075 (б), 0,1 (в) мм/об.

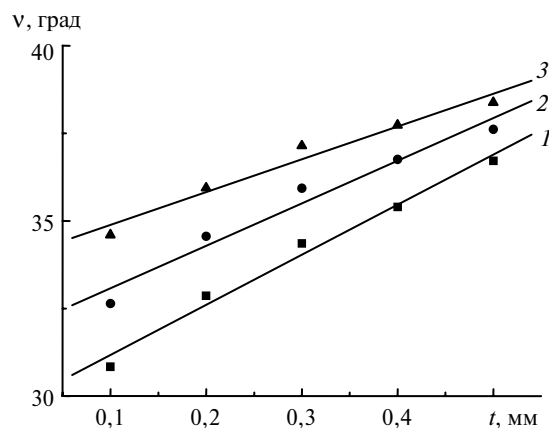


Рис. 9. Изменение угла приложения силы резания в зависимости от глубины резания при подаче  $S = 0,05$  (1), 0,075 (2), 0,1 (3) мм/об.

Максимальная величина среднеквадратического отклонения угла приложения силы резания  $\sigma_v$  при глубине резания 0,1 мм (см. рис. 10) соответствует  $0,5—1,5^\circ$  (в зависимости от заданной величины подачи). При увеличении глубины резания  $\sigma_v$  убывает до значения  $0,3^\circ$ . Был выполнен корреляционный и спектральный анализы угла приложения силы резания  $v$  при различных режимах обработки. На рис. 11 приведено характерное изменение нормированной спектральной плотности угла приложения силы резания  $v$ .

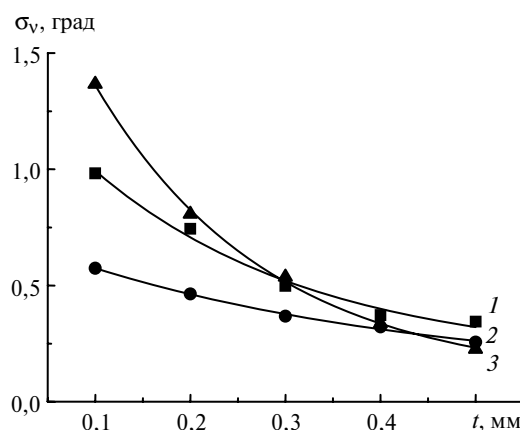


Рис. 10. Изменение среднеквадратического отклонения  $\sigma_v$  угла приложения силы резания в зависимости от глубины резания при подаче  $S = 0,05$  (1),  $0,075$  (2),  $0,1$  (3) мм/об.

Спектр, изображенный на рис. 11, *a*, характерен для глубины резания  $0,1—0,3$  мм, а на рис. 11, *б* — для глубины резания  $0,5$  мм. Из анализа рис. 11, *a* следует, что угол приложения силы резания колеблется с частотой, совпадающей с частотой колебаний равнодействующей силы резания. В этом случае при расчете амплитуды колебаний  $v$  можно воспользоваться зависимостью подобной (5).

Из рис. 11, *б* видно, что угол приложения силы резания изменяется с двумя доминирующими частотами: первая соответствует частоте колебания силы резания  $f_k$ , а вторая совпадает с частотой колебаний шпинделя станка  $f_{ш}$ . Причем вторая амплитуда примерно в два раза больше первой. Следует заметить, что в случае, когда наблюдаются два гармонических колебания, не представляется возможным использовать при расчете формулу (5). Для глубины резания  $0,4$  мм характерны как первый, так и второй спектры. Следовательно, при расчетах вероятности разрушения инструмента необходимо учитывать колебания угла приложения силы резания в процессе точения.

Подставляя в зависимость (2) параметры из формул (3) и (5), получаем зависимость для изменения силы резания при установившемся процессе резания:

$$R_M(\tau) = R_{cp} + 1,28\sigma_R \cos(0,7\pi f_{ш} \tau). \quad (6)$$

Аналогично зависимости (6) можно записать аналитические выражения для составляющих силы резания  $P_x(\tau)$ ,  $P_y(\tau)$ ,  $P_z(\tau)$ . Зависимость (6) показывает, что для моделирования изменения силы резания при установившемся процессе достаточно иметь информацию о среднем значении и среднеквадратическом отклонении силы резания.

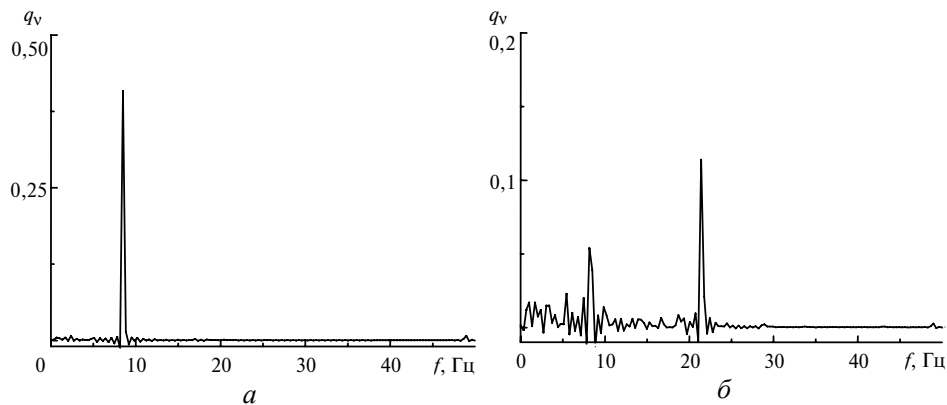


Рис. 11. Нормированная спектральная плотность  $q_v$  угла приложения силы резания:  $v = 6,7$  м/с,  $S = 0,075$  мм/об,  $t = 0,1$  (а),  $0,5$  (б) мм.

Выполненные исследования показывают, что при точении сплава АЛ25 резцами с круглыми АТП для величин подачи  $0,05—0,075$  мм/об и глубин резания  $0,1—0,4$  мм изменения силы резания идентичны, так как среднеквадратическое отклонение силы резания  $\sigma_R$  примерно одинаково (см рис. 8). При этом достигают шероховатости обработанной поверхности  $Ra = 0,07—0,12$  мкм, что является приемлемым при точении поршней ДВС. При глубине резания  $0,5$  мм возникают дополнительные изменения угла приложения силы резания на частоте вращения шпинделя, что может стать причиной перераспределения напряжений и, соответственно, обусловить увеличение вероятности разрушения режущей кромки.

Установлено, что, при работе с подачей  $0,1$  мм/об и с большой глубиной резания возникают изменения сил резания с наибольшей амплитудой, что может вызвать увеличение уровня вибраций и, соответственно, рост высоты микронеровностей обработанной поверхности. Особенно опасной является глубина резания  $0,5$  мм. Поэтому наиболее неблагоприятными с точки зрения динамики процесса резания были условия обработки, при которых достигают наивысшей производительности —  $v = 6,7$  м/с,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,5$  мм. Точение на этих режимах на станке ТПК125-ВМ сплава АЛ25 резцом с круглой АТП показало, что в процессе обработки отсутствуют значительные вибрации и достигнута шероховатость обработанной поверхности  $Ra = 0,12—0,13$  мкм. Поэтому данные технологические режимы как приближающиеся к граничным условиям следует рекомендовать к использованию.

### ВЫВОДЫ

Статистический анализ осциллограмм составляющих силы резания при точении сплава АЛ25 резцами с круглыми АТП показал, что на участке врезания и выхода инструмента из заготовки имеет место нестационарный случайный процесс, а на участке установившегося резания полученные осциллограммы можно трактовать как эргодические стационарные функции.

При установившемся процессе резания силуминовой заготовки резцом с круглой АТП составляющие и равнодействующая силы резания квазидетерминировано колеблются возле среднего значения по гармоническому закону с постоянной частотой  $f_k$ .

Отношение частоты изменения силы резания  $f_k$  к частоте вращения шпинделя  $f_{ш}$  составляет  $0,35 \pm 0,02$  и является инвариантным для всей совокупности проведенных экспериментов.

Получена зависимость изменения силы резания с течением времени на участке установившейся обработки.

Отношение составляющей силы резания  $P_z$  к  $P_y$  при фиксированной скорости резания и подаче остается постоянными независимо от глубины резания.

При точении сплава АЛ25 резцами с круглыми АТП при  $v = 6,7$  м/с,  $S = 0,1$  мм/об,  $t = 0,5$  мм достигнута наивысшая производительность обработки и шероховатость обработанной поверхности  $Ra = 0,12 - 0,13$  мкм.

*На основі кореляційного і спектрального аналізів експериментальних результатів виявлено вплив технологічних режимів обробки на силу різання при точінні силумінів круглими алмазно-твердосплавними пластинами. Наведено практичні рекомендації з вибору режимів обробки.*

**Ключові слова:** точіння силумінів, сили різання, круга АТП, кореляційний і спектральний аналізи.

*Based on the correlation and spectral analyses of experimental results, the authors have established the influence of machining conditions on the cutting force in turning silumins using tools equipped with round polycrystalline diamond inserts. The paper gives some practical recommendations of how to choose appropriate machining conditions.*

**Keywords:** turning of silumins, cutting forces, round PCD insert, correlation and spectral analysis.

1. Гриценко Э. И., Дальник П. Е., Чапалюк В. И. Точение никелевых сплавов инструментом из кубического нитрида бора. — Киев: Наук. думка, 1993. — 108 с.
2. Stakhniv N. E., Devin L. N., Petrusha I. A., Osipov A. S. Dynamic phenomena in finish turning of hardened steels with cBN-based tools // Сверхтв. материалы. — 2009. — № 3. — С. 196—202.
3. Девин Л. Н. Прогнозирование работоспособности металлорежущего инструмента. — Киев: Наук. думка, 1992. — 131 с.
4. Stakhniv N. E., Sulima A. G. Cutting force behavior during a cutting tool entering and exiting a workpiece in turning silumins using tools with round polycrystalline diamond inserts // Сверхтв. материалы. — 2009. — № 1. — С. 55—61.
5. Девин Л. Н., Сулима А. Г. Применение пакета Power Graph для исследования процесса резания // Промышленные измерения контроль, автоматизация диагностика (ПиКАД). — 2008. — № 3. — С. 24—26.
6. Devin L. N., Vilgelm M. Failure probability prediction of polycrystalline CBN cutting tools // Сверхтв. материалы. — 1992. — № 6. — Р. 41—46.
7. Колев К. С., Горчаков Л. М. Точность обработки и режимы резания. — М.: Машиностроение, 1976. — 144с.
8. Физико-математическая теория процессов обработки материалов и технологии машиностроения: В 10 т. / Под общ. ред. Ф. В. Новикова и А. В. Якимова. — Т. 1. Механика резания материалов. — Одесса: ОНПУ, 2002. — 580 с.
9. Вентцель Е. С. Теория вероятности. — М.: Наука, 1969. — 576 с
10. Шрюффер Э. Обработка сигналов: цифровая обработка дискретизированных сигналов / Под. ред. В. П. Бабака. — Київ: Либідь, 1992. — 320 с.

Институт сверхтвердых материалов  
им. В. Н. Бакуля НАН Украины

Поступила 14.04.10