

Инструмент, порошки, пасты

УДК 621.941

Н. Е. Стахнив, А. Г. Сулима (г. Киев)

Закономерности изменения силы резания при врезании и выходе инструмента из заготовки при точении силуминов резцами с круглыми АТП

Установлены закономерности изменения составляющих силы резания и их равнодействующей, а также площади срезаемого слоя на этапе врезания и выхода инструмента из заготовки при точении силуминов круглыми АТП.

***Ключевые слова:** резание, точение, силумины, сила резания, круглая алмазно-твердосплавная пластина (АТП).*

Для изготовления поршней двигателей внутреннего сгорания (ДВС), в основном, применяются силумины с содержанием кремния от 10 до 25 %. Присутствие кремния в сплаве повышает жидкотекучесть сплава, что позволяет изготавливать детали сложной формы с достаточной точностью. Наличие в обрабатываемом материале кремния оказывает влияния на величину и направление действия силы резания, что, в свою очередь, влияет на точность и шероховатость обработанной поверхности, надежность работы инструмента. Следует заметить, что даже при непрерывном резании, когда площадь срезаемого слоя постоянна и неравномерностью припуска на обработку можно пренебречь, а физико-механические свойства обрабатываемого материала стабильны, сила резания при точении силуминов имеет циклический характер и изменяется случайным образом [1].

Вопросам врезания инструмента в заготовку и выхода инструмента из зоны резания уделяется большое внимание. В [2, 3] установлено, что в случае быстро меняющейся толщины среза сила резания не успевает достичь значений, которые теоретически соответствуют данной толщине среза. Однако не во всех случаях обработки эта закономерность соблюдается, поэтому для каждого обрабатываемого материала и применяемого режущего инструмента необходимо проводить экспериментальные исследования и устанавливать особенности изменения силы резания.

В производстве при обработке поршней ДВС на чистовых операциях широко применяют резцы, оснащенные алмазно-твердосплавными пластинами

© Н. Е. СТАХНИВ, А. Г. СУЛИМА, 2009

(АТП) с фасеточной заточкой, характеризующейся главным и вспомогательным углами в плане, а также круглыми пластинами. Более предпочтительны резцы с пластинами круглой формы — они не нуждаются в сложной переточке, поскольку при повороте пластины всего на 2 градуса работает новая острая режущая кромка.

Целью настоящей работы было установление закономерности изменения силы резания на этапе врезания и выхода инструмента из заготовки при точении силуминов резцами с круглыми АТП.

Экспериментальные исследования проводили при точении силуминовой цилиндрической заготовки диаметром 90 мм и толщиной 9 мм, которая представляла собой фрагмент поршня ДВС из сплава АЛ25, содержащего 12—14 % кремния. Токарную обработку проводили на высокоточном токарном станке ТПК125-ВМ. Резец был оснащен круглой АТП диаметром 12,7 мм с передним углом равным нулю и задним углом — 11° . Скорость резания составляла 400 м/мин, подача — 0,1 мм/об. Глубину резания изменяли в каждом эксперименте в диапазоне 0,1—0,5 мм. Составляющие силы резания P_x , P_y и P_z измеряли динамометром УДМ-100. Сигнал с динамометра по трем каналам через тензоусилитель [4] поступал на аналогово-цифровой преобразователь (АЦП) ADA-1406 и далее на запоминающее устройство ПЭВМ. Управление АЦП ADA-1406 осуществляли с помощью программы Power Graph.

Предварительная обработка полученных результатов показала, что при измерении составляющих силы резания имеются как начальная погрешность, так и дрейф нуля в процессе съема информации. Относительные погрешности, обусловленные этими факторами, зачастую превышали 5—10 %. Поэтому была разработана программа, позволившая выполнить коррекцию данных за счет учета величины сигнала до начала процесса резания и после его окончания. На участках, где резание отсутствовало, величины составляющих сил резания равнялись нулю и фиксировали только начальную погрешность и дрейф нуля. Данные участки выделяли из общего массива данных. Изменение величины сигнала во времени с помощью метода наименьших квадратов интерполировали прямыми линиями для каждой составляющей силы резания. Используя рассчитанные параметры прямых линий, определяли искомые величины коррекции в каждой фиксированной точке.

На рис. 1 приведены скорректированные зависимости сил резания от времени обработки*. Можно выделить три участка на кривых: врезание в заготовку, непрерывный процесс резания и выход инструмента из зоны резания. Составляющие силы резания (см. рис. 1) изменяются случайным образом, поэтому для усреднения данных проводили статистическую обработку результатов.

По изменению составляющих сил резания P_x , P_y , P_z рассчитывали равнодействующую силы резания R . В свою очередь, по изменению R в зависимости от времени обработки были определены интервалы времени, которые соответствуют началу и окончанию процесса резания.

В данном исследовании определяли интервал времени, в течение которого происходит врезание инструмента в заготовку, а также интервал времени

* На всех рисунках приведены данные исследований при следующих параметрах резания: скорости резания $v = 400$ м/мин, подаче $S = 0,1$ мм/об, глубине резания $t = 0,5$ мм.

выхода инструмента из зоны резания. В науке о резании принято увеличение и снижение силы резания сопоставлять с площадью срезаемого слоя [2]:

$$F = St,$$

где S — подача на один оборот детали, t — глубина резания. Здесь величина F изменяется дискретно после каждого оборота детали, что усложняет процесс анализа на участках врезания и выхода инструмента из заготовки. Для устранения этого недостатка будем рассматривать срезаемую площадь как функцию времени — $F(\tau)$, где τ — текущее время. В таком случае можно определить скорость изменения срезаемой площади $F'(\tau) = dF/d\tau$.

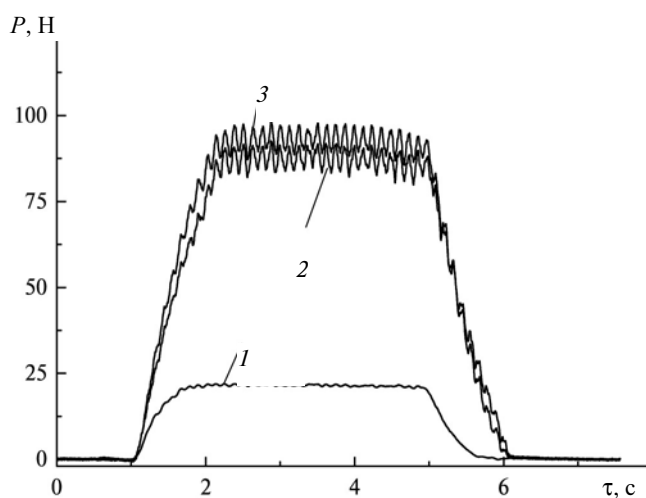


Рис. 1. Зависимость составляющих силы резания P_x (1), P_y (2), P_z (3) от времени обработки при точении силуминовой заготовки резцом с круглой АТП.

При обработке детали круглой пластиной на основании геометрических соотношений определили совокупность аналитических зависимостей и алгоритм расчета величины срезаемой площади в зависимости от времени обработки. Для реализации данного алгоритма составлена программа расчета, которая позволила определить два соответствующих друг другу массива данных: срезаемую инструментом площадь F и время обработки τ (рис. 2). Численно дифференцируя срезаемую инструментом площадь по времени, получили зависимость между скоростью изменения площади срезаемого слоя F' и временем τ (см. рис. 2). Как видно, при непрерывном резании скорость изменения площади срезаемого слоя остается постоянной величиной, при врезании ее значение возрастает, а при выходе инструмента из зоны резания — убывает.

Для анализа характера изменения составляющих и равнодействующей силы резания кривые зависимости $F'(\tau)$ накладывали на кривые $P_x(\tau)$, $P_y(\tau)$, $P_z(\tau)$ и $R(\tau)$ (рис. 3).

Из представленных данных (см. рис. 3) следует, что изменение $P_y(\tau)$, $P_z(\tau)$ и $R(\tau)$ на участке врезания запаздывает относительно скорости изменения площади срезаемого слоя. Запаздывание возникает из-за того, что при малой длительности контакта инструмента с заготовкой (как правило, это бывает

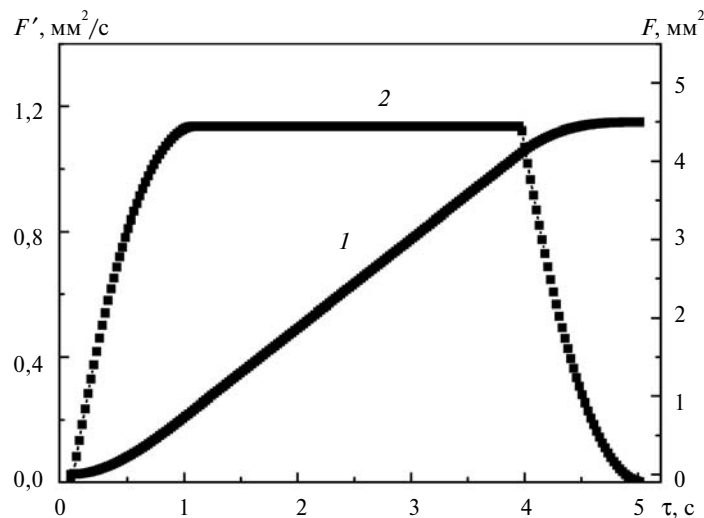


Рис. 2. Зависимость площади срезаемого слоя (1) и скорости ее изменения (2) от времени обработки.

при большой скорости и малой длине резания, а также малом времени нарастания площади срезаемого слоя) сила резания не успевает достичь величины, соответствующей максимальной площади срезаемого слоя, из-за инерционности процессов, проходящих при резании. Для составляющих силы резания, а также для их равнодействующей, на участке выхода инструмента из детали величина запаздывания имеет незначительную величину. Что касается $P_x(\tau)$, то в этом случае следует отметить две тенденции. Во-первых, изменение $P_x(\tau)$ на этапе врезания опережает нарастание скорости изменения площади срезаемого слоя. Во-вторых, эта составляющая силы резания в конце обработки начинает уменьшаться раньше, чем начинает снижаться скорость изменения площади срезаемого слоя. Отличительные особенности поведения $P_x(\tau)$ не оказывают существенного влияния на равнодействующую силу резания в связи с ее незначительной долей по сравнению с $P_y(\tau)$, $P_z(\tau)$. Вышеописанные особенности наблюдали и в других опытах, которые отличались режимами обработки.

Как известно [1], при математическом моделировании изменение составляющих сил резания на этапе врезания и выхода инструмента интерполируют экспоненциальным законом:

$$P(\tau) = P_0 \left(1 - e^{-\frac{t}{T_{вр}}}\right) \quad (\text{на участке врезания});$$

$$P(\tau) = P_0 e^{-\frac{t}{T_{вых}}} \quad (\text{на участке выхода инструмента}),$$

где P_0 — максимальное значение импульса силы; $T_{вр}$, $T_{вых}$ — постоянные времени.

Аналогичная задача была решена и для рассматриваемого случая. Разработана программа поиска оптимальных значений $T_{вр}$, $T_{вых}$ методом Монте-Карло. В качестве критерия оптимизации была выбрана сумма квадратов отклонений между экспериментальной и интерполирующей кривыми. Определяли те значения $T_{вр}$, $T_{вых}$, при которых критерий оптимизации принимал минимальное значение. Эффективность метода Монте-Карло во многом определяется выбранным диапазоном, в котором находят оптимальное значение параметра. Следует учитывать, что искомые величины $T_{вр}$, $T_{вых}$ находятся в

окрестности точки $1/3T$, где T — время нарастания импульса [2], поэтому оптимальное значение выбирали в диапазоне $[0; 2/3T]$.

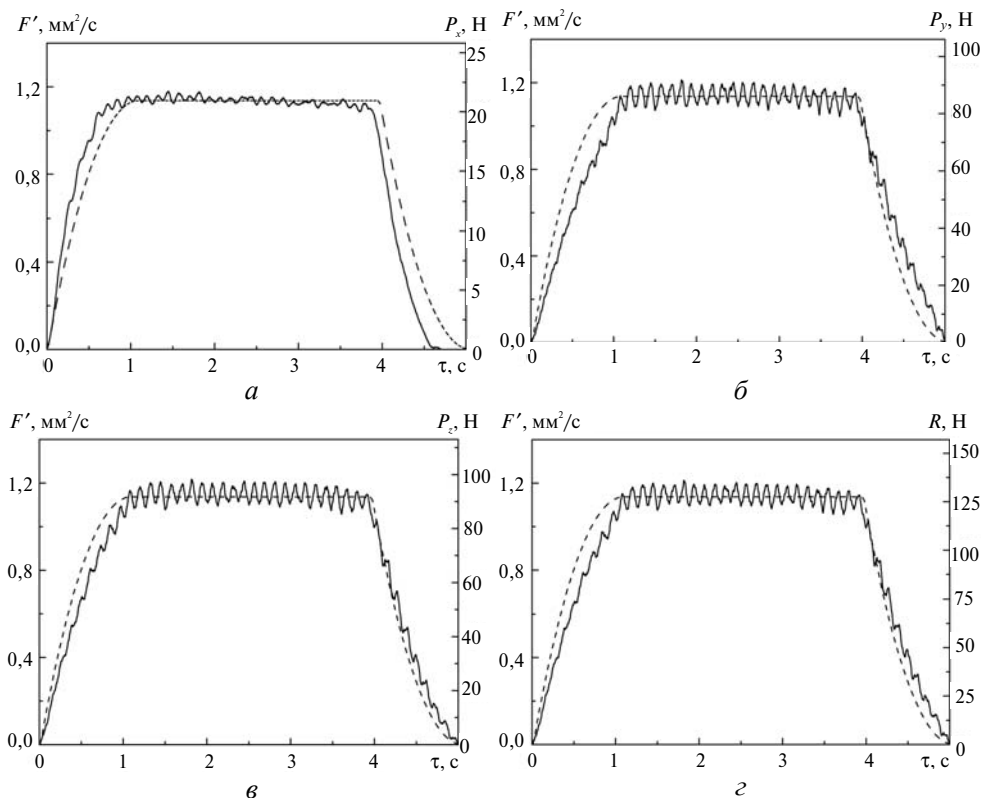


Рис. 3. Зависимость скорости изменения площади срезаемого слоя F' (пунктирные линии), составляющих силы резания P_x (а), P_y (б), P_z (в) и их равнодействующей R (г) (сплошные линии) от времени обработки при точении силуминовой заготовки резцом с круглой АТП.

Приведенные на рис. 4 кривые, иллюстрирующие результаты выполненных расчетов, указывают на целесообразность применения предлагаемой интерполяции. Параметры резания, определенные экспериментальным путем, приведены в таблице.

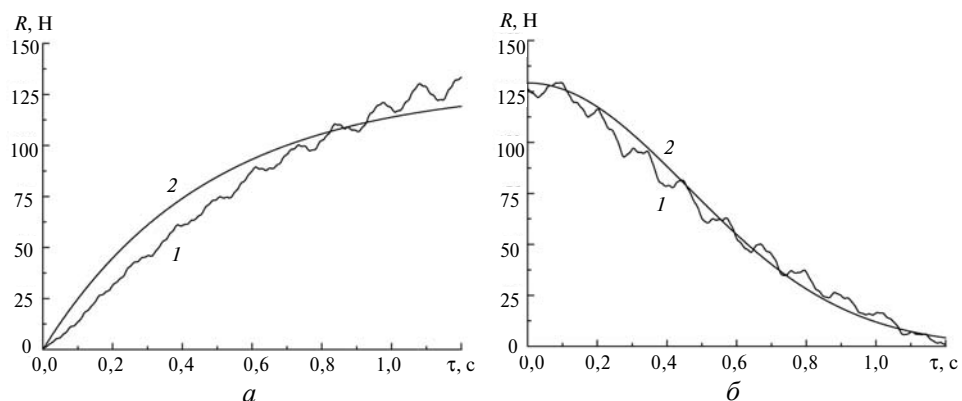


Рис. 4. Экспериментальные (1) и интерполирующие (2) кривые изменения равнодействующей силы от времени обработки на участке врезания (а) и выхода (б) инструмента из зоны контакта при точении силуминовой заготовки резцом с круглой АТП.

Параметры резания силюминовой заготовки резцом с круглой АТП

Стационарный участок					
t , мм	0,10	0,20	0,30	0,40	0,50
F' , мм ² /с	0,25	0,50	0,75	1,00	1,25
\bar{P}_x , Н	2,65	6,51	11,37	16,49	21,53
\bar{P}_y , Н	29,25	44,55	60,59	75,63	87,22
\bar{P}_z , Н	26,72	42,86	61,14	78,19	92,83
\bar{R} , Н	39,72	62,17	86,83	110,03	129,2
Участок врезания					
$T_{вр}$, с для P_x	0,15	0,17	0,21	0,22	0,26
» » P_y	0,26	0,32	0,38	0,42	0,48
» » P_z	0,25	0,33	0,37	0,40	0,47
» » R	0,27	0,34	0,39	0,41	0,49
Участок выхода					
$T_{вых}$, с для P_x	0,02	0,04	0,09	0,14	0,16
» » P_y	0,11	0,15	0,27	0,36	0,41
» » P_z	0,12	0,14	0,29	0,37	0,43
» » R	0,13	0,16	0,28	0,38	0,44

Примечание. \bar{P}_x , \bar{P}_y , \bar{P}_z , \bar{R} — среднее значение параметра.

На основании полученных данных построили зависимости изменения средних значений составляющих силы резания от глубины резания при стационарном резании (рис. 5), из которых следует, что увеличение глубины резания обуславливает увеличение составляющих силы резания. Для стационарного участка с одинаковыми условиями резания между величиной глубины резания и скоростью изменения площади F' существует прямо пропорциональная связь (см. таблицу). Поэтому характер кривых для стационарного участка не изменится, если в качестве аргумента будет выбрана глубина резания или скорость изменения площади F' .

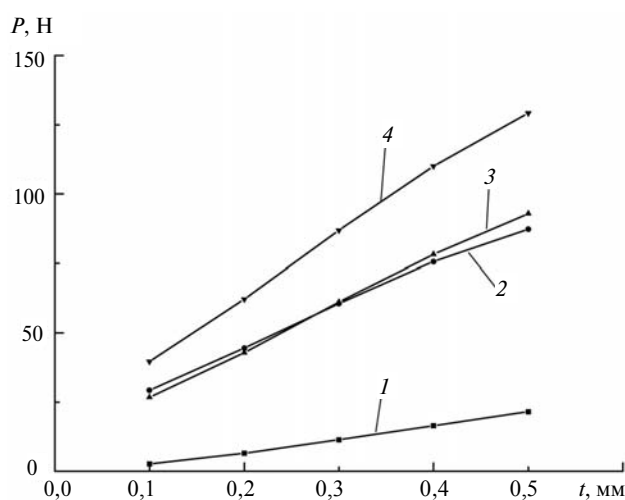


Рис. 5. Зависимость средних значений составляющих силы резания от глубины резания при стационарном резании: \bar{P}_x (1), \bar{P}_y (2), \bar{P}_z (3), \bar{R} (4).

Из таблицы следует, что постоянные времени для $P_y(\tau)$, $P_z(\tau)$ и $R(\tau)$ при одних и тех же режимах имеют примерно одинаковые значения, а постоянные времени для $P_x(\tau)$ существенно отличаются. С увеличением глубины резания постоянные времена для всех составляющих и для равнодействующей силы резания возрастают.

На этапе врезания изменение P_y , P_z запаздывает, а изменение P_x опережает изменение F' . Величину запаздывания или опережения можно выразить в единицах времени (см. рис. 3). Но более важно знать, какая доля величины составляющих силы резания в момент врезания была не достигнута или превышена. Для количественной оценки этой величины целесообразно на одном графике представить зависимости изменения составляющей силы резания от изменения F' , соответствующей стационарному резанию, а также на этапе врезания (рис. 6).

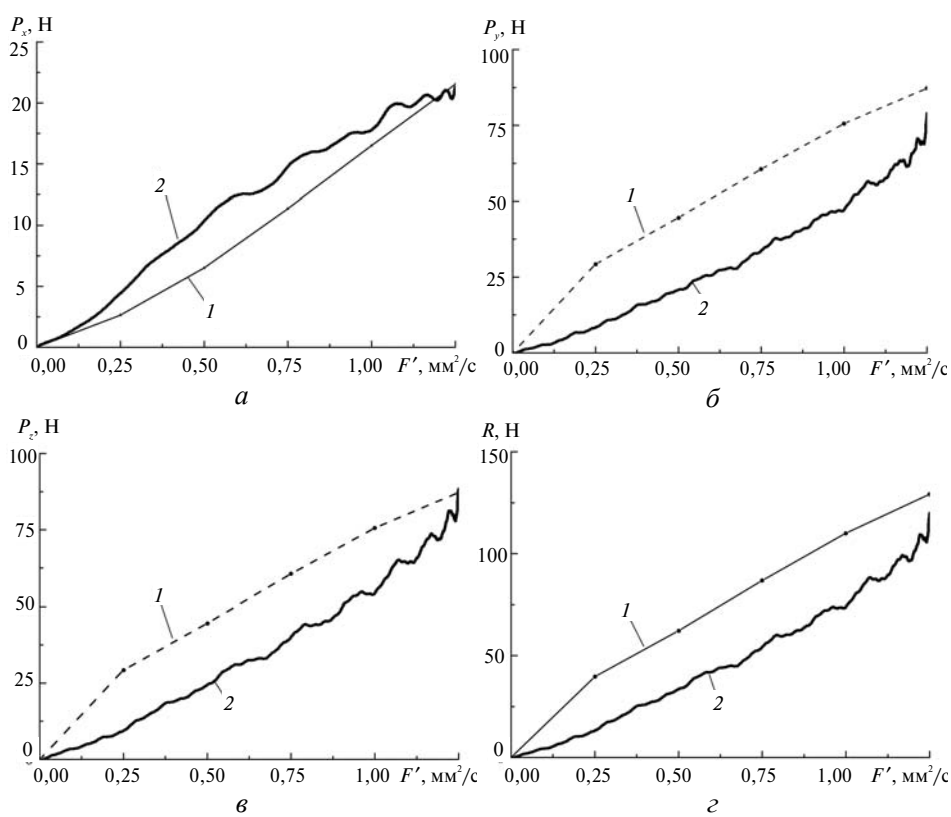


Рис. 6. Зависимость составляющих силы резания P_x (а), P_y (б), P_z (в) и их равнодействующей R (г) от скорости изменения срезаемой площади F' на участках стационарного резания (1) и на этапе врезания (2).

Из анализа полученных зависимостей следует, что величина наибольшего отставания равная 20—25 Н для P_y , P_z и R достигается при скорости снимаемой площади 0,5—1,0 мм²/с.

Для P_x величина максимального опережения — 3—4 Н. Она достигается при скорости снимаемой площади 0,3—0,6 мм²/с. Учитывая незначительную величину этой составляющей, в расчетах ею можно пренебречь.

Выводы

Изменение составляющих силы резания и их равнодействующей на этапе врезания инструмента в заготовку и при его выходе из зоны при обработке силуминов резцами с круглыми АТП целесообразно интерполировать экспоненциальными зависимостями.

Постоянные времени для экспоненциальных зависимостей возрастают с увеличением глубины резания.

При врезании инструмента в заготовку изменение величины составляющих силы резания $P_y(\tau)$, $P_z(\tau)$ и равнодействующей $R(\tau)$ запаздывает относительно $F'(\tau)$. Максимальное отставание составляет 20—25 Н и достигается при скорости изменения срезаемой площади равной 0,50—1,00 мм²/с. Изменение величины составляющей силы резания $P_x(\tau)$ опережает изменение $F'(\tau)$. Максимальное опережение составляет 3—4 Н при скорости изменения срезаемой площади 0,30—0,60 мм²/с.

При выходе инструмента из заготовки изменение составляющих силы резания $P_y(\tau)$, $P_z(\tau)$ и равнодействующей $R(\tau)$ происходит без запаздывания и опережения в зависимости от скорости изменения срезаемой площади.

Из полученных результатов следует, что можно уменьшить силы резания при точении силуминовых сплавов, применив переменную продольную подачу, изменяющуюся по гармоническому закону. На участке возрастания подачи величина силы резания не успеет достичь своего максимального значения, а на участке спадания подачи — существенно уменьшается. Таким образом, не изменяя производительность обработки (среднее значение продольной подачи остается неизменным), можно уменьшить силу резания на 20—25 %.

1. *Ефимович И. А.* Циклический характер напряженно-деформированного состояния режущей части инструмента в процессе резания // Вестн. машиностроения. — 2003. — №7. — С. 48—52.
2. *Колев К. С., Горчаков Л. М.* Точность обработки и режимы резания. — М.: Машиностроение, 1976. — 144 с.
3. *Ташлицкий Н. И.* Явления запаздывания усилий при прерывистом резании с переменной толщиной среза // Вестн. машиностроения. — 1969. — № 4. — С. 67—68.
4. *Девин Л. Н., Стахив Н. Е.* Автоматизированная система исследования процесса резания // Резание и инструмент в технологических системах: Междунар. науч.-техн. сб. — Харьков: НТУ “ХПИ”, 2006. — Вып. 70. — С. 178—183.

Ин-т сверхтвердых материалов
им. В. Н. Бакуля НАН Украины

Поступила 03.06.08