

УДК 629.1

Е.В. Сидорова, канд. техн. наук, доц.

Донецкий национальный технический университет

Тел.: +38 (062) 301 08 05; E-mail: sydorova@gmail.com

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СОСТАВЛЯЮЩИХ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ТОЧЕНИИ СТАЛИ 42CrMo4 ТВЕРДОСПЛАВНЫМ ИНСТРУМЕНТОМ С TiAlN- ПОКРЫТИЕМ

Одним из важных факторов, позволяющим определить оптимальные условия процесса точения, является совокупность его технологических силовых характеристик: осевая сила нагружает механизм подачи станка и ограничивается прочностью наиболее слабых звеньев этого механизма; радиальная сила отжимает резец в направлении, перпендикулярном обработанной поверхности, а величина этой силы ограничивается требованиями к точности обработки и виброустойчивостью процесса резания; тангенциальная сила определяет мощность резания. С помощью разработанной методики определения составляющих силы резания при точении стали 42CrMo4 проходным резцом, оснащённым режущей пластиной ATI Stellram CNMG542A-4E SP0819 CNMI60608E-4E с TiAlN-покрытием, и измеренных экспериментальным методом составляющих сил резания посредством многокомпонентного динамометра Kistler типа 9257B с пьезоэлектрическими датчиками при различных режимах обработки было установлено влияние скорости резания, подачи и глубины резания на составляющие силы резания, затем были получены эмпирические формулы зависимостей составляющих силы резания от параметров режима резания.

Ключевые слова: точение, режим резания, сила резания, сталь 42CrMo4, TiAlN-покрытие.

E.V. Sydorova

DETERMINATION OF THE CUTTING FORCE COMPONENTS IN TURNING OF STEEL 42CrMo4 BY CARBIDE TOOL WITH TiAlN-COATING

One of important factors that allows to determine the optimal conditions for the turning process, is a totality of its technological force characteristics: the axial force load feeder machine and is limited by the strength of the weakest links in this mechanism; the radial force force out the cutting tool in a direction perpendicular to the machined surface and the magnitude of this force is limited by the requirements of machining accuracy and vibration stability of the cutting process; the tangential force determines the cutting power. Using the developed methodology for determining the cutting force components in turning steel 42CrMo4 by the straight-turning tool, equipped with a cutting insert ATI Stellram CNMG542A-4E SP0819 CNMI60608E-4E with TiAlN-coating, and measured cutting forces by an experimental method through the multi-component dynamometer Kistler type 9257B with piezoelectric sensors for different cutting conditions were found the influence of the cutting speed, feed and depth of cut on the cutting force components, then were obtained the empirical formula of dependence of the cutting forces components parameters of the cutting conditions.

Keywords: turning, cutting conditions, cutting force, steel 42CrMo4, TiAlN-coating.

1. Введение

Одним из важных факторов, позволяющим определить оптимальные условия процесса точения, является совокупность его технологических силовых характеристик.

К технологическим силовым характеристикам процесса точения относят: тангенциальную составляющую силы резания P_z , направленную по скорости резания v , осевую проекцию P_x силы резания на направление подачи s , перпендикулярную называемым направлениям радиальную силу P_y (рис. 1). Осевая сила P_x нагружает механизм подачи станка и ограничивается прочностью наиболее слабых звеньев этого механизма. Радиальная сила P_y отжимает резец в направлении, перпендикулярном обработанной поверхности. Величина этой силы ограничивается требованиями к точности обработки, а также виброустойчивостью процесса резания. Тангенциальная сила P_z превышает по

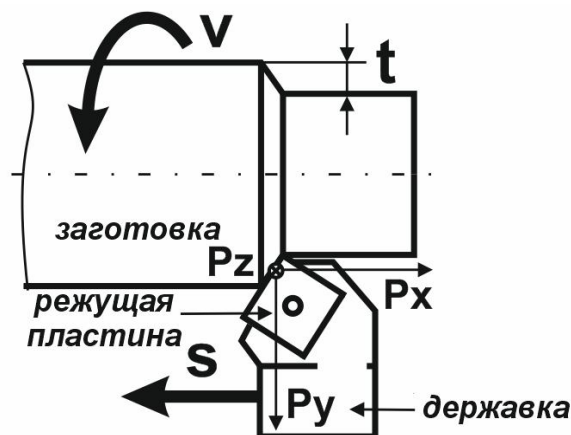


Рис. 1. Кинематика продольного процесса точения

величине силы P_x и P_y и определяет мощность резания [1].

Термообработанная легированная сталь 42CrMo4 (38 HRC) применяется для деталей, подверженных высоким и средним нагрузкам. Это валы, оси, зубчатые рейки, коленчатые валы, стержни, шестерни и др. При точении данной стали такие свойства, как высокая твердость и низкая пластичность, вызывают существенный износ режущих пластин. Для случаев обработки твердосплавным инструментом с TiAlN-покрытием и новой 4E-геометрией известные эмпирические зависимости [2] составляющих силы резания от параметров ре-

жима резания могут быть применены лишь с большим количеством допущений. В связи с этим возникла необходимость в определении таких зависимостей посредством проведения ряда экспериментальных исследований.

Таким образом, целью данной работы является определение составляющих силы резания при точении стали 42CrMo4 твердосплавным инструментом с TiAlN-покрытием в зависимости от параметров режима резания. Для этого необходимо решить следующие задачи:

- 1) разработать методику определения составляющих режима резания;
- 2) измерить значения составляющих сил резания при различных режимах обработки;
- 3) установить влияние скорости резания, подачи и глубины резания на составляющие силы резания;
- 4) получить эмпирические формулы зависимостей составляющих силы резания от параметров режима резания.

Данные исследования были проведены в лаборатории «Genie de production» города Тарб (Франция).

2. Основное содержание и результаты работы

При исследованиях обработке подвергалась легированная сталь 42CrMo4 ($\sigma_s = 2500$ МПа, закалка в масле в течение 180 минут после нагрева до температуры 850°C и отпуск при температуре 600°C в течение 240 минут, твердость 38 HRC). Химический состав представлен в таблице 1.

Таблица 1. Химический состав стали 42CrMo4

C%	Si% max	Mn%	P% max	S% max	Cr%	Mo%	Fe
0,38-0,45	0,40	0,60-0,90	0,025	0,035	0,90-1,20	0,15-0,30	остальное

Эксперименты выполнялись на токарном металлорежущем станке H.Ernault Somua 450 NCS при продольном точении образцов из стали 42CrMo4 ($\phi 154$ мм, длина 500 мм) проходным резцом, оснащённым режущей пластиной ATI Stellram CNMG542A-4E SP0819 CNMI60608E-4E [3]. Данная режущая пластина, состоящая из подложки мелкозернистого наноструктурированного карбида SP0819 и сверхтвёрдого PVD-нанопокрывтия TiAlN, значительно повышает теплостойкость и сопротивление инстру-

мента износу при точении указанного материала. Максимальная рабочая температура составляет 1000°C. Державка Sandvik Coromant DCLNR3232P-16 [4] обеспечивает наклон режущего инструмента: передний угол $\gamma = 9^\circ$; задний угол $\alpha = 6^\circ$; главный угол в плане $\varphi = 50^\circ$, вспомогательный угол в плане $\varphi_1 = 50^\circ$. Режущая кромка пластины закруглённая.

Составляющие силы резания измеряли с помощью многокомпонентного динамометра Kistler типа 9257B с пьезоэлектрическими датчиками. Посредством усилителя преобразованный сигнал поступал в персональный компьютер и оцифровывался в соответствующем программном обеспечении (рис. 2). Чувствительность данной установки к осевой и радиальной составляющим силы резания P_x , P_y составляет 10 мВ/Н, а к тангенциальной P_z - 5 мВ/Н.



Рис. 2. Установка для измерения силы резания

В процессе эксперимента: скорость резания изменяли в диапазоне $v = 100-200$ м/мин с шагом 50 м/мин, при этом $s = 0,3$ мм/об и $t = 3$ мм; подачу изменяли в диапазоне $s = 0,1-0,3$ мм/об с шагом 0,2 мм/об, при этом $v = 150$ м/мин и $t = 1$ мм; глубину резания изменяли в диапазоне $t = 1-3$ мм с шагом 2 мм, при этом $v = 150$ м/мин и $s = 0,1$ мм/об.

Рассматривались значения сил резания, соответствующие усредненному сигналу. Результаты экспериментов подверглись статистическому анализу с нахождением доверительных интервалов (табл. 2). При величине выборки сигнала $n = 5$ среднее арифметическое значений составляющих сил резания $\bar{P}$

$$\bar{P} = \frac{\sum_{i=1}^n P_i}{n},$$

где P_i – i -тый замер силы резания.

Доверительный интервал δ измерений при доверительной вероятности $\alpha = 0,95$

$$\delta = \pm 1,96 \cdot \frac{s}{\sqrt{n}}, \text{ где } s = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^n (P_i - \bar{P})^2}{n-1}} - \text{среднеквадратическое отклонение.}$$

Таблица 2. Значения составляющих силы резания в зависимости от режима резания

режим резания			составляющие силы резания		
скорость резания v , м/мин	подача s , мм/об	глубина резания t , мм	$\overline{P_x} \pm \delta$, Н	$\overline{P_y} \pm \delta$, Н	$\overline{P_z} \pm \delta$, Н
100	0,3	3	1065 ± 3	429 ± 23	2300 ± 26
150			948 ± 1	364 ± 2	2255 ± 24
150	0,1	1	182 ± 6	132 ± 3	263 ± 8
	0,3		235 ± 1	225 ± 1	842 ± 24
150	0,1	1	182 ± 6	132 ± 3	263 ± 8
		3	499 ± 7	222 ± 9	873 ± 50

На основании измеренных значений составляющих сил резания при различных режимах обработки было установлено влияние скорости резания v , подачи s и глубины резания t на осевую P_x , радиальную P_y и тангенциальную P_z составляющие силы резания (рис. 3).

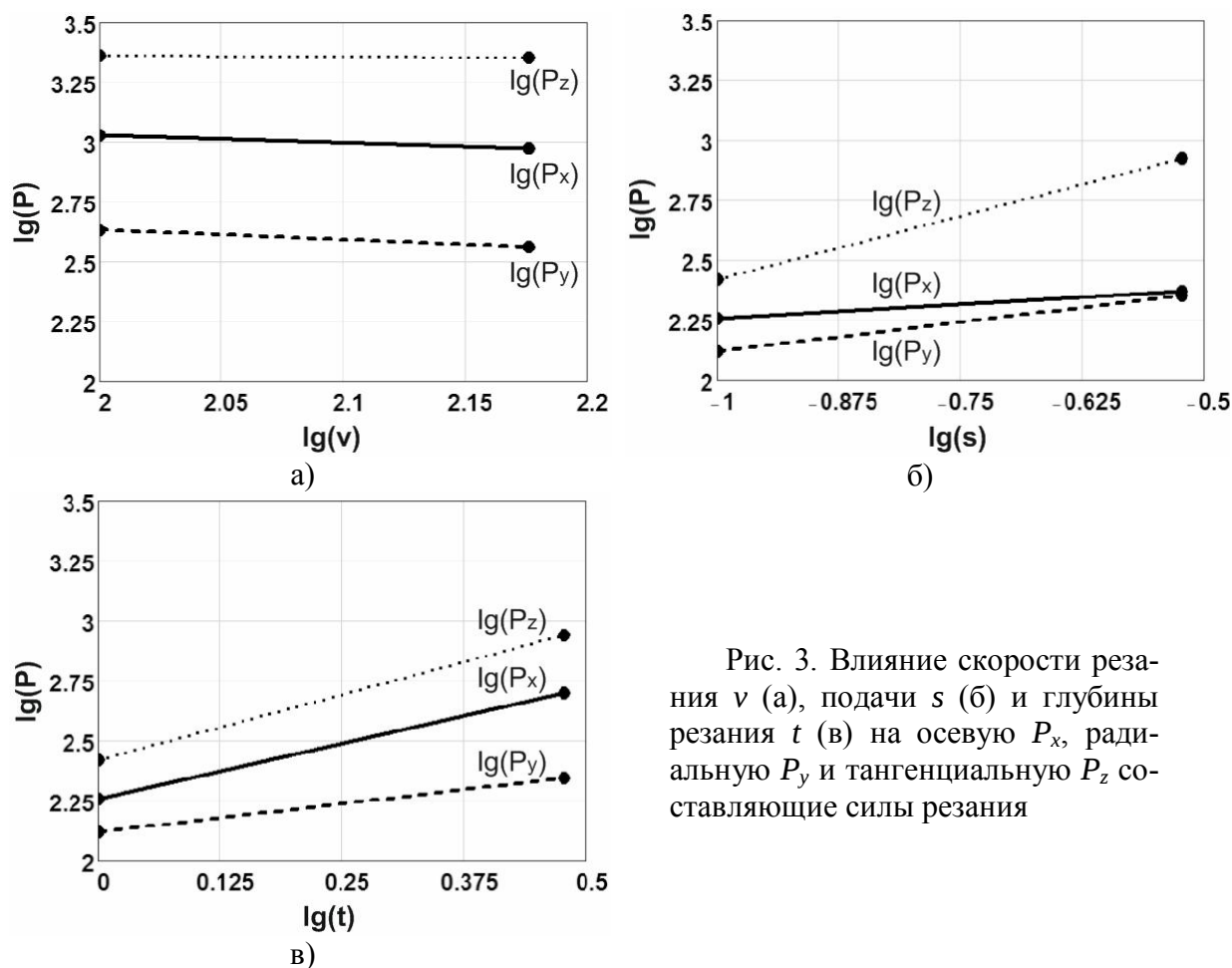


Рис. 3. Влияние скорости резания v (а), подачи s (б) и глубины резания t (в) на осевую P_x , радиальную P_y и тангенциальную P_z составляющие силы резания

Как видно из рисунка 3, силы резания снижаются при увеличении скорости резания и увеличиваются при увеличении подачи и глубины резания, при этом глубина резания оказывает большее влияние по сравнению с подачей. Данные исследования согласуются с существующими положениями теории резания.

В общем виде составляющая силы резания P может быть определена в следующем образом:

$$P(v, s, t) = c_p \cdot v^{z_p} \cdot s^{y_p} \cdot t^{x_p},$$

где v – скорость резания, s – подача, t – глубина резания, c_p – коэффициент, z_p – тангенс угла наклона кривой логарифмической функции $P(v)$, y_p – тангенс угла наклона кривой логарифмической функции $P(s)$, x_p – тангенс угла наклона кривой логарифмической функции $P(t)$.

На основании проведенных экспериментальных исследований были получены следующие эмпирические формулы для определения составляющих сил резания:

- осевая сила:

$$P_x(v, s, t) = 1928 \cdot v^{-0,29} \cdot s^{0,23} \cdot t^{0,92};$$

- радиальная сила:

$$P_y(v, s, t) = 2958 \cdot v^{-0,41} \cdot s^{0,49} \cdot t^{0,47};$$

- тангенциальная сила:

$$P_z(v, s, t) = 3104 \cdot v^{-0,05} \cdot s^{1,06} \cdot t^{1,09}.$$

3. Заключение

На основании проведенных экспериментальных исследований были установлены зависимости осевой, радиальной и тангенциальной составляющих силы резания при точении стали 42CrMo4 (HRC 38) проходным резцом, оснащённым режущей пластиной ATI Stellram CNMG542A-4E SP0819 CNMI60608E-4E, состоящей из подложки мелкозернистого наноструктурированного карбида SP0819 и сверхтвёрдого PVD-нанопокрывтия TiAlN от параметров режима резания, что в дальнейшем позволяет определять технологические силовые характеристики при поиске оптимальных условий процесса точения.

Список литературы:

1. Васин, С.А. Резание материалов. Термомеханический подход к системе взаимосвязей при резании: учеб. для техн. вузов. / С.А. Васин, А.С. Верещака, В.С. Кушнер. — М.: Изд-во МГТУ им. Н. Э. Баумана, 2001. - 448 с.
2. Справочник технолога-машиностроителя/под ред. А.Г. Косиловой, Р.К. Мещерякова. – М.: Машиностроение, 1985. – Т.2. – 496 с.
2. Каталог токарного инструмента [Электронный ресурс] / КОМБИТЕК-ГРУПП. – Режим доступа: <http://stellram.ru/Tokar.pdf> - (06.01.2015).
4. Sandvik Coromant [Электронный ресурс]. – Режим доступа: <http://www.sandvik.coromant.com/fr> - (06.01.2015).

Поступила в редколлегию 05.05.2015 г.