

В.П. МАРШУБА, канд. тех. наук, (г. Харьков)

ОПРЕДЕЛЕНИЕ СИЛЫ РЕЗАНИЯ ПРИ ГЛУБОКОМ БЕЗВЫВОДНОМ СВЕРЛЕНИИ ЛИТЕЙНЫХ АЛЮМИНИЕВ СТАНДАРТНЫМИ РЕЖУЩИМИ ИНСТРУМЕНТАМИ

It is investigated the influence of cutting conditions on cutting force at leadless peck feed drilling of cashable aluminum alloys on multithread machines. On the basis of the obtained regularities for cutting force modification, the correction factors and exponents to the formulas for definition of axial component for cutting force and rotational moment are designed and improved.

Введение. В конечном итоге причиной внезапного отказа стандартных спиральных сверл при глубоком безвыводном сверлении и браком обрабатываемых отверстий в корпусных деталях из литейных алюминия является силовой фактор, т.е. собственно сила резания, которая действуя на режущий инструмент, приводит к его поломке. Следовательно, исходя из этого, необходимо установить закономерности изменения силы резания, как при срезе, так и в зависимости от глубины обрабатываемого отверстия в условиях непрерывно изменяющейся по длине обработанной поверхности заготовки.

Анализ последних исследований и публикаций. Исследованием процесса среза стружки, а следовательно, определением силы резания еще в девятнадцатом веке занимался русский ученый И.А. Тиме. Он и установил основные закономерности по распределению силы резания по режущим кромкам при обработке различных материалов. Продолжателями его традиций стала целая плеяда как отечественных так и зарубежных исследователей среди которых немало ученых с мировым именем, так например: К.А. Зворыкин, Я.Г. Усачев, Н.И. Резников, и др.

Все проведенные исследования по этой теме в основном касались либо конкретных материалов, или группы материалов (железоуглеродистые сплавы и т.д.), а также по определению закономерностей влияния физических явлений (трение, адгезионное взаимодействие и т.д.) на силу резания. Известно, что большинство исследований проводилось для неглубокого (до 3d) сверления отверстий, распространяя полученные закономерности и на глубокое сверление (свыше 3d). Однако при сверлении глубоких отверстий эти закономерности не совпадают с фактическими результатами проведенных автором опытов [2]. Кроме этого данных по закономерностям прироста силы резания в процессе глубокого безвыводного сверления литейных алюминия на агрегатных станках в технической литературе отечественных и зарубежных авторов нет, присутствуют определенные опытным путем режимы резания и величины силы резания применительно к обработке не-

глубоких отверстий. Следовательно, необходимо установить закономерности изменения силы резания при глубоком безвыводном сверлении стандартными спиральными сверлами, так как значения данные в справочной литературе приводят к изначально завышенным режимам резания, которые ведут к поломке режущего инструмента, что приводит к большим материальным затратам, направленным на реконструкцию заведомо неработоспособного оборудования и неоправданным потерям режущего инструмента.

Цель исследований. Установить закономерности распределения составляющих силы резания по режущим кромкам стандартных спиральных сверл при сверлении литейных алюминия в зависимости от глубины обработки отверстий. На основе найденных закономерностей распределения силы резания по режущим кромкам инструмента, уточнить разброс значений осевой составляющей силы резания и крутящего момента в зависимости от глубины обработки отверстий.

Изложение основного материала. Для решения поставленной задачи в этой статье рассматриваются вопросы: 1) об установлении силовых закономерностей изменения силы резания (при срезе), без участия вспомогательных режущих кромок (ленточек); 2) установление силовых закономерностей изменения силы резания при непрерывно изменяющейся по длине обработанной поверхности заготовки.

Разделение на две части этой задачи связано с тем, что закономерности изменения силы резания в процессе обработки отверстий практически остаются постоянными, за исключением начального периода при врезании инструмента. Тогда как закономерности изменения силы резания в процессе увеличения глубины обрабатываемого отверстия претерпевают постоянное изменение, т.е. с сила резания постоянно возрастает.

При решении этой задачи определяли закономерности изменения собственно силы резания (далее по тексту ее осевой составляющей " P_o " и крутящего момента " $M_{кр}$ "). Так как отмечалось ранее, необходимых сведений о силовых закономерностях изменения силы резания при глубоком безвыводном сверлении отверстий в литейных алюминиях нет, кроме общих сведений приведенных в рекламно – проспективных изданиях, в которых имеются данные о том, что такой процесс обработки глубоких отверстий стандартными сверлами возможен и эффективен.

Основные силовые закономерности изменения силы резания зависят не только от режима резания, но и от влияния друг на друга физических явлений, возникающих и протекающих в процессе резания. Следовательно, установление этих силовых закономерностей изменения силы резания является краеугольным камнем в повышении эффективности глубокого безвыводного сверления отверстий в литейных алюминиях.

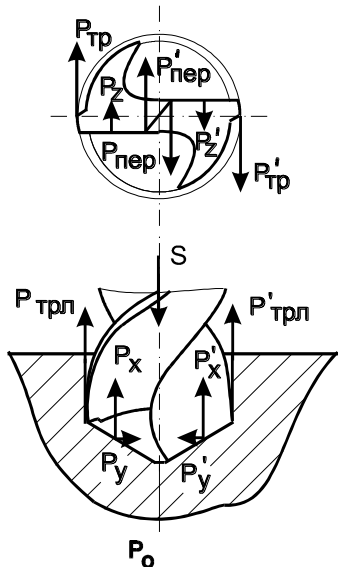


Рисунок 1 – Схема действия составляющих силы резания и силы трения на спиральное сверло.

Методика измерения силы резания в зоне резания: все проводимые опыты были разделены на две части: Устанавливали все основные закономерности изменения силы резания (при срезе), без сколько ни будь существенного влияния на неё силы трения стружки об переднюю поверхность; устанавливали все основные закономерности изменения силы резания зависимости от глубины сверления.

Исходя из этого, рассмотрим схему приложения составляющих силы резания (см. рис. 1), действующих на стандартное спиральное сверло в процессе обработки глубоких отверстий, которая принципиально не отличается от схемы сил, действующих на инструмент при неглубоком сверлении (до $L/d < 3d$) приведенной в работе В.Ф. Боброва [1] и подтверждаемой данными других авторов.

Из рисунка 1 следует, что осевая составляющая P_0 равна сумме проекций сил, действующих вдоль оси x :

$$\sum(x) = 2P_x + 2P_{трC} + 2P_{трЛ} + P_{пер} + \Delta P_y = P_0 \quad (1)$$

где P_x – проекция силы резания на ось Z ; $P_{трC}$ – сумма проекций сил трения стружки и элементов рабочей части сверла; $P_{трЛ}$ – проекция силы трения на вспомогательной кромке; $P_{пер}$ – проекция силы резания на перемычке; ΔP_y – проекция радиальной составляющей силы резания P_y , при симметричной заточке $\Delta P_y = 0$.

Таким образом « P_0 », как проекция векторов силы резания и суммы сил трения на координатную ось X , представляет собой осевую составляющую силы P_0 при сверлении. Действием остальных составляющих силы резания можно пренебречь, из-за их малого влияния на силу резания.

Крутящий момент « $M_{кр}$ », определяется как сумма моментов от всех действующих основных составляющих силы резания и определяется по формуле:

$$\sum(M_{кр}) = M_{Pz} + M_{пер} + M_{трC} + M_{трЛ} + M_{\Delta Py} \quad (2)$$

где M_{Pz} – момент, от действия пары сил P_z ;

$M_{пер}$ – момент, от действия пары сил $P_{пер}$ на перемычке; $M_{трC}$ – момент, от действия пары сил трения $P_{трC}$; $M_{трЛ}$ – момент, от действия пары сил трения $P_{трЛ}$; $M_{\Delta Py}$ – момент, от действия силы ΔP_y на ГРК (в частном случае момент равен нулю, если сила $M_{\Delta Py} = 0$).

По данным исследований различных авторов [1, 3-5, 6 и др.] было установлено среднестатистическое процентное распределение осевой составляющей P_0 и крутящего момента $M_{кр}$, по режущим лезвиям спирального сверла (см. табл. 1) при сверлении неглубоких отверстий ($\leq 3d$) в различных материалах.

Однако, по измерениям автора, при глубоком безвыводном сверлении отверстий в корпусных деталях из литейных алюминия, процентное распределение осевой составляющей P_0 и крутящего момента $M_{кр}$ по режущим и вспомогательным кромкам сверл, отлично от представленного в табл. 1. Так как при непрерывно изменяющейся по длине обработанной поверхности заготовки, под увеличивающимся влиянием силы трения стружки в стружечных канавках, происходит перераспределение процентного действия осевой составляющей и крутящего момента по режущим и вспомогательным кромкам. Следовательно, по мере увеличения глубины отверстия происходит изменение влияния сил трения на ленточках и по поверхностям A_γ и A_y , тогда как отмечалось выше, значения осевой составляющей силы при срезе не изменяются.

Таблица 1
Распределение осевой составляющей P_0 и крутящего момента $M_{кр}$, по режущим лезвиям сверла

Наименование	Доля в %, приходящаяся на:		
	главные лезвия	вспомогательные лезвия	перемычку
Осевая составляющая силы резания, Н	40	3	57
Суммарный крутящий момент, Нмм	80	12	8

Опыты по установлению закономерностей изменения силы резания при глубоком безвыводном сверлении отверстий выполняли в два этапа на специально созданной установке (см. рис. 2), так как конструкция и производственные условия ОАО «ХТЗ» не позволили модернизировать агрегатный станок. Поэтому опыты проводили на вертикально-сверлильном станке мод. 2С132 с использованием универсального динамометра модели УДМ-600, создавая необходимые условия для проведения каждой серии опытов, при этом общие условия обработки отверстий и режимы резания были одинаковые для универсального станка и для агрегатного.

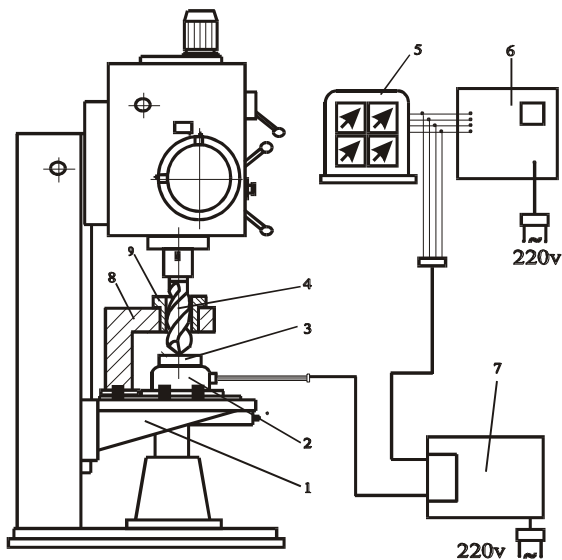


Рисунок 2 – Установка для измерения силы резания при сверлении отверстий: 1) вертикально-сверлильный станок; 2) динамометр УДМ–600; 3) образец из ЛАС; 4) сверло; 5) приборный щиток; 6) осциллограф Н-115; 7) усилитель ТА – 5; 8) кронштейн; 9) кондукторная втулка.

На рисунке 2 изображена опытная установка для определения величины осевой составляющей P_O и крутящего момента $M_{кр}$, которая состоит из:

- а) вертикально-сверлильного станка мод. 2С132 1;
- б) универсального трехкомпонентного динамометра модели УДМ-600 2 (динамометр установлен таким образом, чтобы его центр и ось сверла совпали);
- в) кронштейна 8 с кондукторной втулкой 9;
- г) усилителя ТА-5 7;
- е) приборного щитка 5;
- ж) шлейфового осциллографа Н-115 6.

Для проведения первой серии опытов по определению силы резания при срезе использовали короткие спиральные сверла, так как по условиям проведения опыта необходима высокая осевая жесткость инструмента.

Во второй серии опытов определяли изменение силы резания при непрерывно изменяющейся обработанной поверхности заготовки, использовали стандартные сверла длинной серии, а также инструмент с износостойкими тонкими покрытиями (КОН Ti 6 изн., КОН TiN 10 изн. и КОН TiC 10 изн.) или без покрытий.

Для первой серии опытов использовали цилиндрический образец (см. рис. 3, а) с призмой размерами 30×40×120 мм. Призматическое основание образца служит для установки и крепления его в динамометре. На торцевой поверхности цилиндрической части образца предварительно выполняли центровочное отверстие (Ø5 мм и глубиной 2...3 мм) для предварительного направления сверла. Диаметр цилиндрической части образца выбирался по диаметру инструмента, используемого в данном опыте. Это связано с тем,

что необходимо создать условия для осуществления чистого среза, при котором влияние силы трения стружки о поверхность стружечных канавок было минимальным, т.е. в таком случае силой трения можно пренебречь.

Для второй серии опытов использовали предварительно изготовленные призматические образцы (см. рис. 3, б) на торцевой поверхности которых, по предварительной разметке, выполнялись центровочные отверстия Ø5 мм на глубину 2...3 мм.

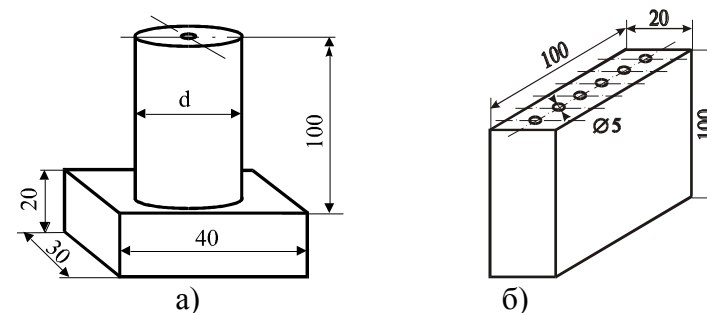


Рисунок 3 – Образцы для проведения опытов по определению силы резания: а) при срезе, без учета силы трения стружки; б) по определению силы резания и силы трения при изменяющейся длине обработанной поверхности заготовки.

Образцы из литейных алюминиевых сплавов ориентировали относительно оси станка и динамометра таким образом, чтобы сверло каждый раз совпадало с очередным центровым отверстием на нем. Через равные промежутки (равные одному диаметру используемого сверла) регистрировали показания динамометра. Глубину сверления отверстия контролировали по нониусу станка.

уравнениях по определению осевой составляющей силы P_O (см. ур–е 3) и суммарного крутящего момента $M_{кр}$ (см. ур–е 4) требуется найти значения постоянных коэффициентов C_{P_O} , $C_{M_{кр}}$ и показатели степеней x_{P_O} , U_{P_O} , Z_{P_O} , $x_{M_{кр}}$, $U_{M_{кр}}$, $Z_{M_{кр}}$.

Для упрощения составления уравнений системы (А) и (Б) результаты измерений, полученные в ходе проведения опытов по определению влияния скорости резания на силу резания включались в таблицы 1 и 2. В таблице 1 производилась запись переменных в уравнениях систем (А) и (Б), а также их суммирование.

$$P_O = \frac{C_{P_O} D^{x_{P_O}} S^{y_{P_O}}}{V^{z_{P_O}}} \quad (3)$$

$$M_{Mkp} = \frac{C_{Mkp} D^{X_{Mkp}} S^{Y_{Mkp}}}{V^{Z_{Mkp}}} \quad (4)$$

Прологарифмировав уравнение 3 и 4, получим:

$$LgP_O = LgC_{Po} + X_{Po} LgD + Y_{Po} LgS + Z_{Po} LgV \quad (5)$$

$$LgM_{kp} = LgC_{Mkp} + X_{Mkp} LgD + Y_{Mkp} LgS + Z_{Mkp} LgV \quad (6)$$

Для удобства вычислений вместо логарифмов введем условные обозначения: $LgP_O = P_{O1}$; $LgC_{Po} = C_{Po1}$; $LgD = D_1$; $LgS = S_1$; $LgV = V_1$; $LgM_{kp} = M_{kp1}$; $LgC_{Mkp} = C_{Mkp1}$.

Кроме этого, в силу наличия ошибок измерений между действительными и заданными значениями P_{O1} и M_{kp1} введем значение погрешности δ_o и δ_{kp} соответственно, тогда:

$$\delta_o = P_{O1} - (C_{Po1} + X_{Po} D_1 + Y_{Po} S_1 - Z_{Po} V_1) \quad (7)$$

$$\delta_{kp} = M_{kp1} - (C_{Mkp1} + X_{Mkp} D_1 + Y_{Mkp} S_1 - Z_{Mkp} V_1) \quad (8)$$

Отсюда следует, что наиболее вероятными значениями постоянных коэффициентов и показателей степеней в уравнениях 3 и 4 будут те, для которых эти значения $\sum \delta_{Po1}^2$ и $\sum \delta_{Mkp1}^2$ в уравнениях 9 и 10 будут наименьшими:

$$\sum_{m=i}^n \delta_{Po1}^2 = [P_{O1} - (C_{Po1} + X_{Po} D_1 + Y_{Po} S_1 - Z_{Po} V_1)]^2 \quad (9)$$

$$\sum_{m=i}^n \delta_{Mkp1}^2 = [M_{kp1} - (C_{Mkp1} + X_{Mkp} D_1 + Y_{Mkp} S_1 - Z_{Mkp} V_1)]^2 \quad (10)$$

Для решения уравнений 9 и 10 необходимо найти их неизвестные, для чего решим системы уравнений А и Б.

$$A \left\{ \begin{aligned} \sum C_{Po1} + X_{Po} \sum D_1 + Y_{Po} \sum S_1 - Z_{Po} \sum V_1 &= \sum P_{O1} V_1 & (11) \\ C_{Po1} \sum V_1 + X_{Po} \sum D_1 V_1 + Y_{Po} \sum S_1 V_1 - Z_{Po} \sum V_1^2 &= \sum P_{O1} V_1 & (12) \\ C_{Po1} \sum D_1 + X_{Po} \sum D_1^2 + Y_{Po} \sum S_1 D_1 - Z_{Po} \sum V_1 D_1 &= \sum P_{O1} D_1 & (13) \\ C_{Po1} \sum S_1 + X_{Po} \sum D_1 S_1 + Y_{Po} \sum S_1^2 - Z_{Po} \sum V_1 S_1 &= \sum P_{O1} S_1 & (14) \end{aligned} \right.$$

$$B \left\{ \begin{aligned} \sum C_{Mkp1} + X_{Mkp} \sum D_1 + Y_{Mkp} \sum S_1 - Z_{Mkp} \sum V_1 &= \sum M_{kp1} V_1 & (15) \\ C_{Mkp1} \sum V_1 + X_{Mkp} \sum D_1 V_1 + Y_{Mkp} \sum S_1 V_1 - Z_{Mkp} \sum V_1^2 &= \sum M_{kp1} V_1 & (16) \\ C_{Mkp1} \sum D_1 + X_{Mkp} \sum D_1^2 + Y_{Mkp} \sum S_1 D_1 - Z_{Mkp} \sum V_1 D_1 &= \sum M_{kp1} D_1 & (17) \\ C_{Mkp1} \sum S_1 + X_{Mkp} \sum D_1 S_1 + Y_{Mkp} \sum S_1^2 - Z_{Mkp} \sum V_1 S_1 &= \sum M_{kp1} S_1 & (18) \end{aligned} \right.$$

Решение систем уравнений А и Б по методу наименьших квадратов на ЭВМ дало следующие значения неизвестных: $C_{Po} = 20,4$; $X_{Po} = 0,72$; $Y_{Po} = 0,63$; $Z_{Po} = 0,0596$; $C_{Mkp} = 1,086$; $X_{Mkp} = 0,65$; $Y_{Mkp} = 0,58$; $Z_{Mkp} = 0,0206$.

Подставляем полученные значения постоянных коэффициентов и показатели степеней в уравнения 3 и 4, тогда формулы принимают вид:

$$P_O = \frac{20,4 D^{0,72} S^{0,63}}{V^{0,06}} \quad (19)$$

$$M_{kp} = \frac{1,09 D^{0,65} S^{0,58}}{V^{0,02}} \quad (20)$$

Выводы. На основе проведенных экспериментов и анализа полученных результаты позволяющие сделать следующие заключения:

1. При проведении эксперимента были получены основные закономерности изменения осевой составляющей силы резания (P_O) и крутящего момента (M_{kp}) в зависимости от трех изменяемых параметров (скорости резания, диаметра режущего инструмента и подачи) при глубоком безвыводном сверлении отверстий (глубиной до 10...15d) в литейных алюминиевых сплавах.

2. На основе установленных в ходе опытов зависимостей, были определены поправочные коэффициенты и показатели степени к формулам по определению силы резания и крутящего момента в зависимости от переменного фактора (скорости резания, диаметра режущего инструмента и подачи) применительно к обработке глубоких отверстий в литейных алюминиях.

3. На основании зависимостей выполнено обобщение влияния скорости резания, диаметра режущего инструмента и подачи на силу резания, что позволило определить поправочные коэффициенты и показатели степени к формулам по определению P_O и M_{kp} .

4. Полученные результаты позволяют определять оптимальные режимы резания, которые возможно использовать при проектировании нового оборудования или технологических процессов обработки глубоких отверстий в деталях из литейных алюминиях.

Список литературы. 1. Бобров В.Ф. Основы теории резания металлов. – М.: Машиностроение, 1975. – 344 с. 2. Маришба В.П. Причины внезапного отказа (поломок) спиральных сверл при обработке глубоких отверстий в алюминиевых сплавах и методы их устранения. // «Резание и инструмент в технологических системах»: Междунар. научн.-техн. сборник. – Харьков: ХГПУ, 1998. Вып. №52. – С. 154-157. 3. Грановский Г.И. Кинематика резания. – М.: Машгиз, 1948. – 199 с. 4. Грановский Г.И., и др. Резание металлов. – М.: Машгиз, 1954. – 473 с. 5. Грановский Г.И., Грановский В.Г. Резание металлов. – М.: Высш. школа, 1985. – 304 с. 6. Общемашиностроительные нормы режимов резания. Для технологического нормирования на металлорежущих станках. – М.: Машиностроение, 1967. – №41 – 412 с.