



ПОСТРОЕНИЕ ЭМПИРИЧЕСКИХ ЗАВИСИМОСТЕЙ ОСЕВОЙ СИЛЫ ПРИ СВЕРЛЕНИИ ЗАГОТОВОК ИЗ СПЛАВА Д16 В УПРУГОДЕФОРМИРОВАННОМ СОСТОЯНИИ

✉¹ **Куц Вадим Васильевич**

д-р техн. наук, доцент, профессор кафедры машиностроительных технологий и оборудования, Юго-Западный государственный университет, e-mail: kuc-vadim@yandex.ru

Разумов Михаил Сергеевич

канд. техн. наук, доцент кафедры машиностроительных технологий и оборудования, Юго-Западный государственный университет РФ

Бышкин Александр Сергеевич

аспирант кафедры машиностроительных технологий и оборудования, Юго-Западный государственный университет РФ

Глазков Павел Витальевич

студент кафедры машиностроительных технологий и оборудования, Юго-Западный государственный университет РФ

Аннотация. Повышение эффективности сверления является важной задачей в машиностроении. Предлагается улучшенный способ сверления в металле детали, которую перед сверлением упруго деформируют в области ниже предела пропорциональности, что обеспечивает неизменность других размеров. Опытным путем были получены зависимости осевой силы при сверлении заготовок из дюралюминия Д16 в упруго-напряженном состоянии. Данные зависимости позволяют подбирать корректные режимы резания при сверлении деталей из дюралюминия Д16.

Ключевые слова: СВЕРЛЕНИЕ, ПРЕДЕЛ УПРУГОСТИ, СОСТОЯНИЕ, ДЕФОРМАЦИИ, ЗАГОТОВКА, ОСЕВАЯ СИЛА, ДЮРАЛЮМИНИЙ.

¹ Автор для ведения переписки

CONSTRUCTION OF EMPIRICAL DEPENDENCES OF AXIAL FORCE WHEN DRILLING BILES FROM ALLOY D16 IN ELASTIC DEFORMED STATE

✉¹ **Kuts Vadim Vasilievich**

Dr. Sci., Associate Professor, Professor of the Department of Machine-Building Technologies and Equipment, South-West State University, e-mail: kuc-vadim@yandex.ru

Razumov Mikhail Sergeevich

Cand. tech. Sci., Associate Professor, Department of Mechanical Engineering Technologies and Equipment, Southwestern State University of the Russian Federation

Byshkin Alexander Sergeevich

Postgraduate student of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Equipment, South-West State University of the Russian Federation

Glazkov Pavel Vitalievich

student of the Department of Mechanical Engineering Technologies and Equipment, South-West State University of the Russian Federation

Annotation. Improving the efficiency of the drilling is an important task in the engineering. Supported by improved board drilling in metal parts, which before drilling elastically deform in the region below the limit of proportionally, which ensures the immutability of other sizes. The experimental way was semi-centered dependence of the axial force when performing blanks from duralumin D16 in elastically stressful state. These dependences allow you to select the Cor-Rubber cutting modes when drilling parts from duralumin D16.

Keywords: DRILLING, ELASTIC LIMIT, STATE, DEFORMATION, WORKPIECE, AXIAL FORCE, DURALUMIN.

1 Состояние вопроса исследования и актуальность работы

Отверстия малого диаметра имеют большое распространение в отечественном машиностроении. К деталям с малыми отверстиями относятся такие детали как фильтры, форсунки, дроссели, плунжеры, золотники, распылители. Сверление отверстий малого диаметра имеет ряд сложностей. Во-первых, с малой жесткостью и прочностью режущего инструмента многократно увеличивается вероятность его поломки а, во-вторых, возрастает сложность вывода стружки из обрабатываемого отверстия и подвод СОЖ. Это подтверждает актуальность исследований в направлении повышения качественных характеристик сверления и потребовало разработки оборудования для решения этой задачи.

2 Материалы и методы

Для этого на базе ЮЗГУ был разработан новый способ сверления. Напряженно-деформированное состояние металла детали осуществлялось упругим деформированием образца в области напряжений ниже предела пропорциональности, что обеспечивало исходные размеры заготовки равными прежним значениям [1-12]. Так как прочность сверла при сверлении малоразмерных отверстий является ограничивающим фактором, то актуальными являются опытные исследования изменения осевой силы резания от технологических параметров при назначении режимов резания. На разработанной установке исследовалось влияние на процесс сверления технологических параметров в условиях упругой деформации материала.



Рисунок 1 – Собранная установка для определения осевой силы при сверлении деталей из дюралюминия Д16 в напряженном упругодеформированном состоянии

Основная часть установки была изготовлена из двух металлических пластин (рис. 1).

Верхняя пластина установки выполнена с центральным отверстием, выполняющим функцию кондуктора для сверла в процессе сверления образца заготовки. Пластина также снабжена отверстиями для установки индикатора ИЧ-2 и болтами, регулирующими нагрузку на исследуемую заготовку. В нижней пластине напротив болтовых отверстий верхней пластины выполнены резьбовые отверстия. Испытуемый образец устанавливается по центру между пластинами, затем верхняя пластина прижимается к нижней пластине вкручиванием болтов, тем самым прижимая образец до уровня упругих деформаций в области ниже предела пропорциональности. Затяжка болтов осуществляется последовательно затяжкой каждого болта по четверти оборота в порядке следования от одного болта к противоположному чередуя все болты по очереди. Регулирование затяжки осуществляется по показаниям всех четырех индикаторов. После чего индикаторы удаляются, и установка закрепляется на датчике силы, который закреплён на столе станка Wabeco CCF-1440. Данные об усилии снимались с помощью тензометрической станции ZET 017-T8 с применением программного обеспечения ZETLAB. Опытный образец представляет из себя цилиндр диаметром и высотой 10 мм.

Для изучения осевой силы при обработке заготовок из дюралюминиевого сплава Д16

в предварительном напряженном упругодеформированном состоянии был составлен план эксперимента с учетом технических возможностей используемого оборудования, в котором для исследования осевой силы при сверлении заготовок из алюминиевого сплава Д16 в напряженном упруго-деформированном состоянии была составлена следующая матрица эксперимента (табл. 1).

Таблица 1 – Матрица планирования эксперимента для исследования осевой силы при сверлении заготовок из алюминиевого сплава Д16 в напряженном упруго-деформированном состоянии

| № | d , мм | n , об/мин | s , мм/мин | S_o , мм/об |
|---|----------|--------------|--------------|---------------|
| 1 | 1 | 1500 | 20 | 0,013 |
| 2 | 1 | 3000 | 20 | 0,007 |
| 3 | 1 | 1500 | 160 | 0,107 |
| 4 | 1 | 3000 | 160 | 0,053 |
| 5 | 2 | 1500 | 20 | 0,013 |
| 6 | 2 | 3000 | 20 | 0,007 |
| 7 | 2 | 1500 | 160 | 0,107 |
| 8 | 2 | 3000 | 160 | 0,053 |

В каждой точке плана выполнялось сверление двух сквозных отверстий, и осевая сила определялась по графику в зоне установившегося резания (рис. 2).

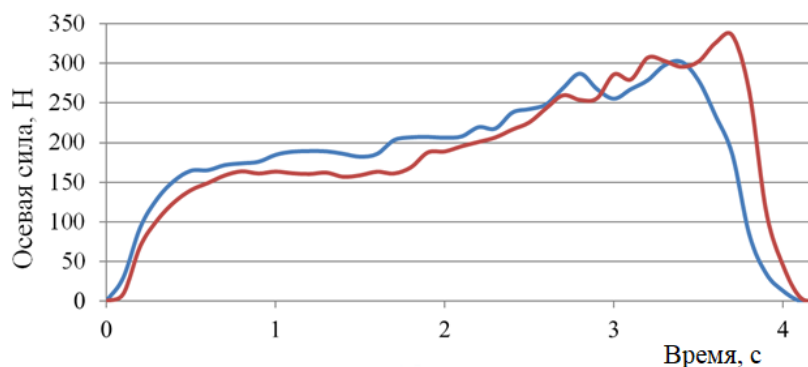


Рисунок 2 – График измерения осевой силы при сверлении пластины из материала Д16: $d = 2$ мм; $s_o = 0,053$ мм/об ($s = 40$ мм/мин и $n = 3000$ об/мин)

В таблице 2 представлены результаты измерения осевой силы в соответствии с планом эксперимента (см. табл. 1).

Таблица 2 - Результаты измерения осевой силы при сверлении материала пластины Д16

| № | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | 6 | 7 | 8 |
|----------------|------|------|------|------|------|------|-------|-------|
| Осевая сила, Н | 46,9 | 17,3 | 79,5 | 89,9 | 29 | 25,4 | 376,3 | 189,3 |
| | 25,5 | 18,5 | 86,9 | 63,9 | 43,5 | 21,5 | 322,2 | 163,8 |

После обработки данных в программе Statistica было получено следующее регрессионное уравнение для логарифмического значения осевой силы, имеющее характеристики, представленные на рисунках 3 и 4.

$$\ln(P_o) = 5.811 + 3.3\ln(d) + 0.556\ln(s_o) + 0,655\ln(d)\ln(s_o). \quad (1)$$

| SS модели и SS остатков (Таблица данных1) | | | | | | | | | | | |
|---|------------|-------------|-------------|-----------|-----------|-----------|------------|------------|------------|----------|----------|
| Зависим. Перемен. | Множест. R | Множест. R2 | Скоррект R2 | SS Модель | сс Модель | MS Модель | SS Остаток | сс Остаток | MS Остаток | F | p |
| ln(P _o) | 0,979322 | 0,959072 | 0,948840 | 14,43201 | 3 | 4,810669 | 0,615884 | 12 | 0,051324 | 93,73200 | 0,000000 |

a

| Оценки параметров (Таблица данных1) Сигма-ограниченная параметризация | | | | | | | | | | |
|--|----------------------------|-----------------------------|-----------------------|-----------------------|-----------------|-----------------|------------------------------|-----------------------------|-----------------|-----------------|
| Эффект | ln(P _o) Парам. | ln(P _o) Ст. Ош. | ln(P _o) t | ln(P _o) p | -95,00% Дов.инт | +95,00% Дов.инт | ln(P _o) Бета (?) | ln(P _o) Ст.Ош.? | -95,00% Дов.инт | +95,00% Дов.инт |
| Св.член | 5,810459 | 0,276724 | 20,99729 | 0,000000 | 5,207529 | 6,413389 | | | | |
| ln(d) | 3,299999 | 0,564595 | 5,84490 | 0,000079 | 2,069853 | 4,530145 | 1,179319 | 0,201769 | 0,739702 | 1,618936 |
| ln(S _o) | 0,556368 | 0,073083 | 7,61279 | 0,000006 | 0,397133 | 0,715603 | 0,628753 | 0,082592 | 0,448801 | 0,808704 |
| ln(d)*ln(S _o) | 0,654805 | 0,149110 | 4,39141 | 0,000879 | 0,329921 | 0,979688 | 0,922419 | 0,210051 | 0,464758 | 1,380081 |

b

a – оценка значимости модели регрессии; b – оценка значимости коэффициентов уравнения регрессии

Рисунок 3 – Результаты регрессионного анализа процесса сверления сплава Д16

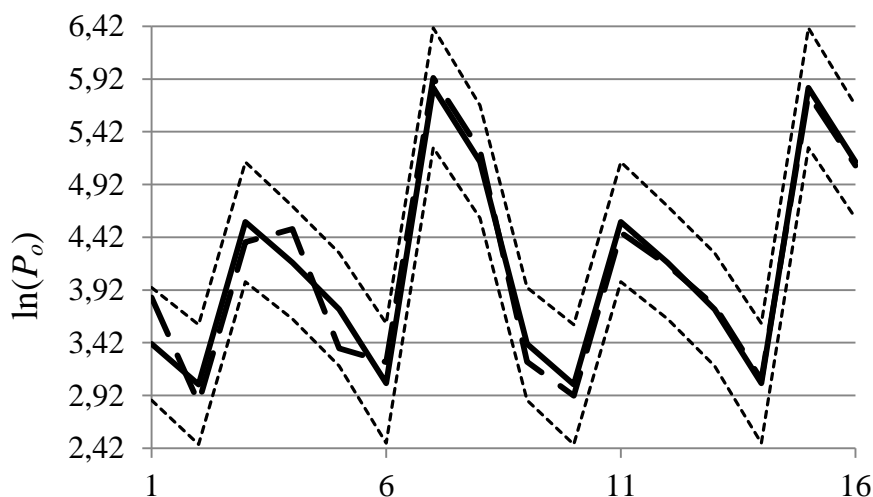


Рисунок 4 – Наблюдаемые и предсказанные значения величины ln(P_o) вместе с 95 % доверительными интервалами

Полученные результаты регрессионного анализа свидетельствуют об адекватности полученного уравнения регрессии (1). После математических преобразований был получен окончательный вид уравнения для осевой силы при сверлении заготовок из сплава Д16 в напряженном упруго-деформированном состоянии, Н:

$$P_o = 333,77s_o^{0,556}d^{3,3+0,0,65\ln(s_o)}. \quad (2)$$

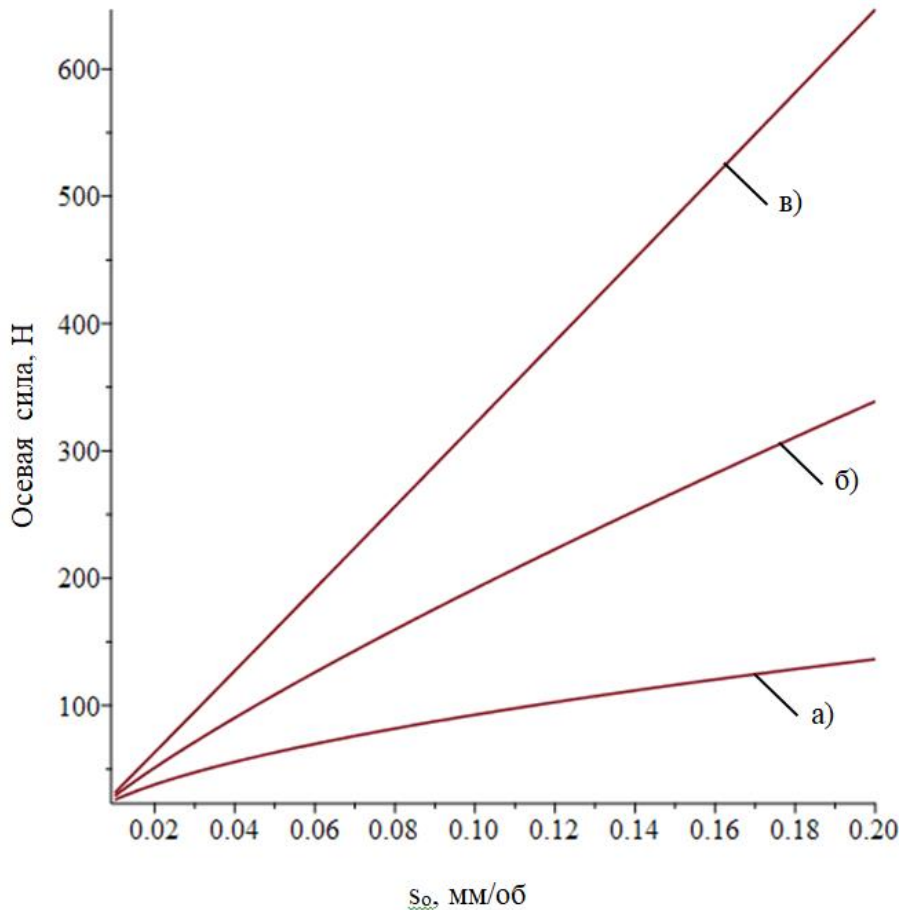
3 Результаты исследований

На рисунке 5 показаны графики изменения осевой силы при сверлении заготовок из сплава Д16 в напряженном упруго-деформированном состоянии для свёрл диаметрами 1, 1.5 и 2 мм построенные по уравнению (2).

4 Обсуждение и заключение

Полученная зависимость (2) позволит обоснованно назначить режимы обработки глу-

боких и сверхглубоких отверстий малого диаметра (1-2 мм) при сверлении дюралюминия Д16 в предварительном упругодеформированном состоянии заготовки исходя из заданной прочности сверла и обеспечивающих наибольшую производительность обработки при заданных требованиях к стойкости инструмента.



$a - d = 1 \text{ мм}; б - d = 1,5 \text{ мм}; в - d = 2 \text{ мм}$

Рисунок 5 – Зависимость осевой силы при сверлении сплава Д16 в напряженном упруго-деформированном состоянии от подачи s_o при диаметре сверла

Список литературы

1 Влияние опережающего пластического деформирования на износ инструмента и качество поверхностного слоя при обработке аустенитных сталей / Ю. Н. Полянчиков [и др.] // Известия ВолгГТУ. Серия «Прогрессивные технологии в машиностроении». Вып. 4 : межвуз. сб. науч. ст. / ВолгГТУ. – Волгоград, 2008. – № 9. – С. 35-37.

2 Игнатов, С. Н. Оценка эффективности лезвийной обработки с использованием безразмерного энергетического критерия / С. Н. Игнатов, А. В. Карпов, А. П. Распопин // СТИН. – 2004. – № 12. – С. 23-25.

3 Ингеманссон, А. Р. Улучшение обрабатываемости нержавеющей сталей при использовании резания с опережающим пластическим деформированием / А. Р. Ингеманссон, С. О. Щедриков, Ю. Н. Полянчиков // XV региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области (Волгоград, 9-12 ноября 2010 г.) : тез. докл. / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2011. – С. 76-77.

4 Ингеманссон, А. Р. Повышение эффективности точения труднообрабатываемых

сталей ферритного, мартенситно-ферритного и мартенситного классов с использованием опережающего пластического деформирования: дис. канд.техн. наук: 05.02.07 / А. Р. Ингеманссон. – Волгоград, 2012. – 209 с.

5 Математическая модель формирования шероховатости обработанной поверхности при точении с опережающим пластическим деформированием коррозионно-стойких сталей / А. Р. Ингеманссон [и др.] // *Металлообработка*. – 2012. – № 1.

6 Норченко, П. А. Метод резания аустенитных сталей с опережающим пластическим деформированием и его преимущества с точки зрения кристаллической теории строения металлов / П. А. Норченко, А. Р. Ингеманссон, Ю. Н. Полянчиков // XIII региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области, г. Волгоград, 11-14 нояб. 2008 г.: тез. докл. / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2009. – С. 74-77.

7 Норченко, П. А. Повышение эффективности процесса резания нержавеющей сталей аустенитного класса с опережающим пластическим деформированием : дис. канд. техн. наук : 05.02.07 / П. А. Норченко. – Волгоград, 2010. – 127 с.

8 Норченко, П. А. Улучшение шероховатости обработанной поверхности при резании нержавеющей стали 12Х18Н10Т с опережающим пластическим деформированием / П. А. Норченко, А. Р. Ингеманссон, Ю. Н. Полянчиков // XIV региональная конференция молодых исследователей Волгоградской области (Волгоград, 10-13 нояб. 2009 г.) : тез. докл. / ВолгГТУ [и др.]. – Волгоград, 2010. – С. 63-64.

9 А. с. 358089 СССР, МПК5 В 23 В 1/00. Способ обработки резанием с опережающим пластическим деформированием / Н. А. Ярославцева, В. М. Ярославцев, В. Н. Подураев; заявитель Московское высшее техническое училище им. Баумана. – № 1615026/25-8 ; заявл. 25.01.1971 ; опубл. 03.11.1972, Бюл. № 34.

10 Сверление отверстий в напряженно-деформированном материале заготовки / Куц В. В., Бышкин, А. С., Разумов М. С. / *Современные материалы, техника и технологии*. 2018. № 3 (18). – С. 20-23.

11 Экспериментальные исследования процесса сверления отверстий медного сплава в напряженно-деформированном материале заготовки / Куц В. В., Бышкин А. С., Разумов М. С., Кочергин В. С. / *Сборка в машиностроении, приборостроении*. 2020. № 1. – С. 13-15.

12 Исследование влияния опережающей пластической деформации на эффективность процесса резания конструкционных сталей / Бондарев А. А. автореферат дис. ... кандидата технических наук / Волгогр. гос. техн. ун-т. Волгоград, 2016.

References

1 The influence of advanced plastic deformation on tool wear and the quality of the surface layer in the processing of austenitic steels / Yu. N. Polyanchikov [and others] // *Izvestiya VolgSTU. Series "Progressive technologies in mechanical engineering"*. Issue 4: interuniversity. Sat. scientific. Art. / VolgSTU. – Volgograd, 2008. – №. 9. – S. 35-37.

2 Ignatov, S N Evaluation of the efficiency of blade treatment using a dimensionless energy criterion / S N Ignatov, A V Karpov, A P Raspopin // *STIN*. – 2004. – №. 12. – S. 23-25.

3 Ingemansson, A. R. Improving the machinability of stainless steels using cutting with advanced plastic deformation / A. R. Ingemansson, S. O. Shchedrikov, Yu. N. Polyanchikov // XV regional conference of young researchers of the Volgograd region (Volgograd, November 9-12, 2010) : abstracts. report / VolgGTU [and others]. – Volgograd, 2011. – S. 76-77.

4 Ingemansson, A R Increasing the efficiency of turning hard-to-machine steels of ferritic, martensitic-ferritic and martensitic classes using advanced plastic deformation: dis. Candidate of Engineering Sciences : 05.02.07 / A. R. Ingemansson. – Volgograd, 2012. – 209 p.

5 Mathematical model of the formation of roughness of the processed surface during turning with advanced plastic deformation of corrosion-resistant steels / A. R. Ingemansson [et al.] // *Metal processing*. – 2012. – № 1.

6 Norchenko P. A. Method of cutting austenitic steels with advanced plastic deformation and its advantages from the point of view of the crystal theory of the structure of metals / P. A. Norchenko, A. R. Ingemansson, Yu. N. Polyanchikov // XIII regional conference of young researchers of the Volgograd region, Volgograd, November 11-14. 2008 : abstracts. report / VolgGTU [and others]. – Volgograd, 2009. – S. 74-77.

7 Norchenko, P. A. Increasing the efficiency of the cutting process for stainless steels of austenitic class with advanced plastic deformation : dis. Cand. tech. Sciences : 05.02.07 / P. A. Norchenko. – Volgograd, 2010. – 127 p.

8 Norchenko, P. A. Improving the roughness of the processed surface when cutting stain-less steel 12X18H10T with advanced plastic deformation / P. A. Norchenko, A. R. Ingemansson, Yu. N. Polyanchikov // XIV Regional Conference of Young Researchers of the Volgograd Region (Volgograd, 10-13 Nov. 2009) : abstracts. report / VolgGTU [and others]. – Volgograd, 2010. – S. 63-64.

9 A. S. 358089 USSR, MPK5 B 23 B 1/00. Method of cutting with advanced plastic deformation / N. A. Yaroslavtseva, V. M. Yaroslavtsev, V. N. Poduraev; applicant Moscow Higher Technical School. Bauman. – №. 1615026 / 25-8 ; declared 01.25.1971 ; publ. 03.11.1972, Bul. № 34.

10 Drilling holes in the stress-strain material of the workpiece / Kuts V V, Byshkin A S, Razumov M S / Modern materials, equipment and technologies. 2018. № 3 (18). – S. 20-23.

11 Experimental studies of the process of drilling holes in a copper alloy in a stress-strain material of a workpiece / Kuts V V, Byshkin A S, Razumov M S, Kochergin V. S. / Assembly in mechanical engineering, instrument making. 2020. № 1. – S. 13-15.

12 Investigation of the influence of advanced plastic deformation on the efficiency of the process of cutting structural steels A A Bondarev. abstract dis. ... Candy-date of technical sciences / Volgogr. state tech. un-t. Volgograd, 2016.

© Куц В.В., Разумов М.С., БЫШКИН А.С., Глазков П.А., 2021