

Министерство науки и высшего образования Российской Федерации
Федеральное государственное автономное образовательное учреждение
высшего образования
«Южно-Уральский государственный университет
(национальный исследовательский университет)»
Политехнический институт
Кафедра «Технология автоматизированного машиностроения»

Формообразование отверстий под резьбу в тонколистовых заготовках из нержавеющей стали 12Х18Н10Т-ВИ, термическим сверлением

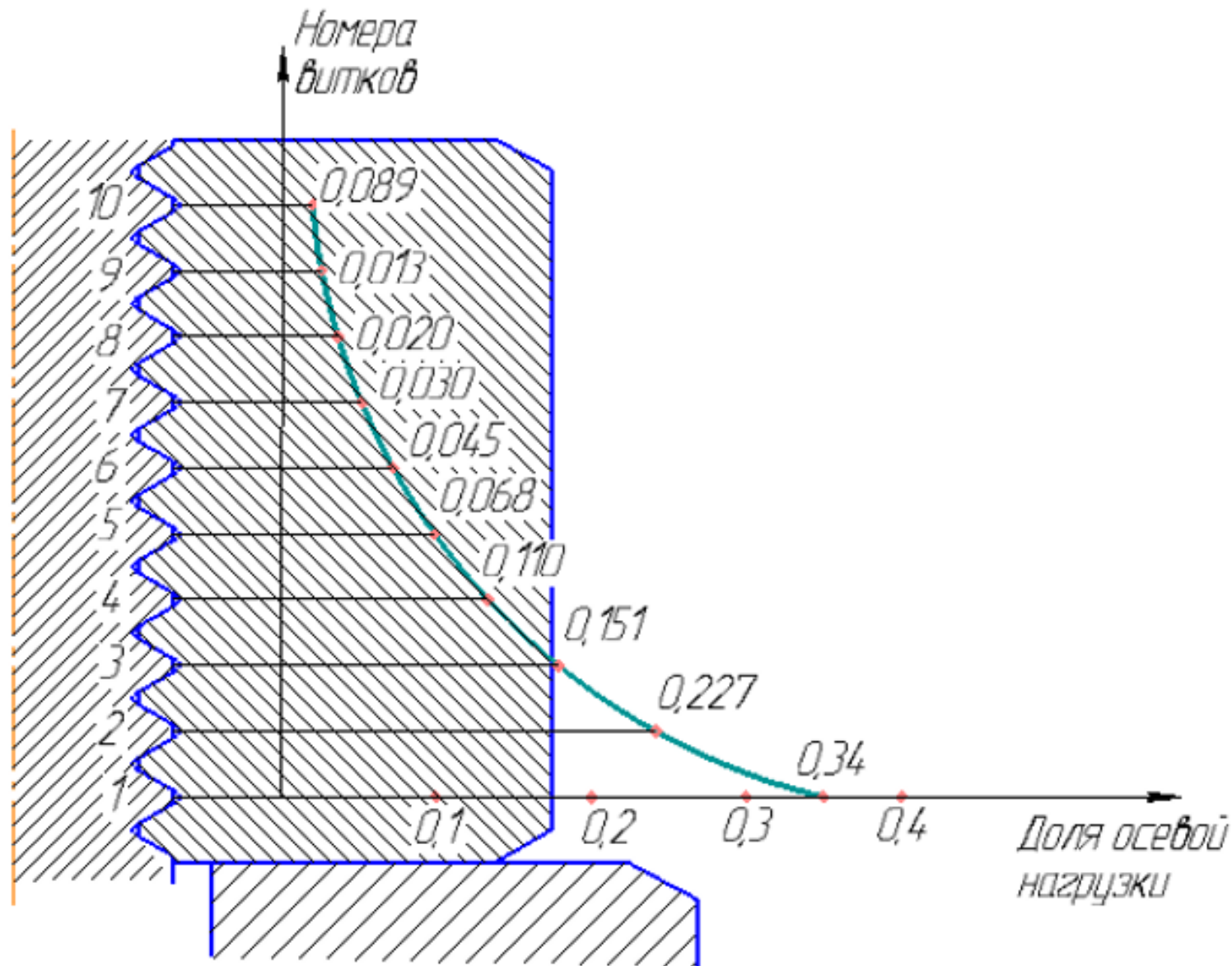
Руководитель, доцент, к.т.н.

П.В. Шаламов

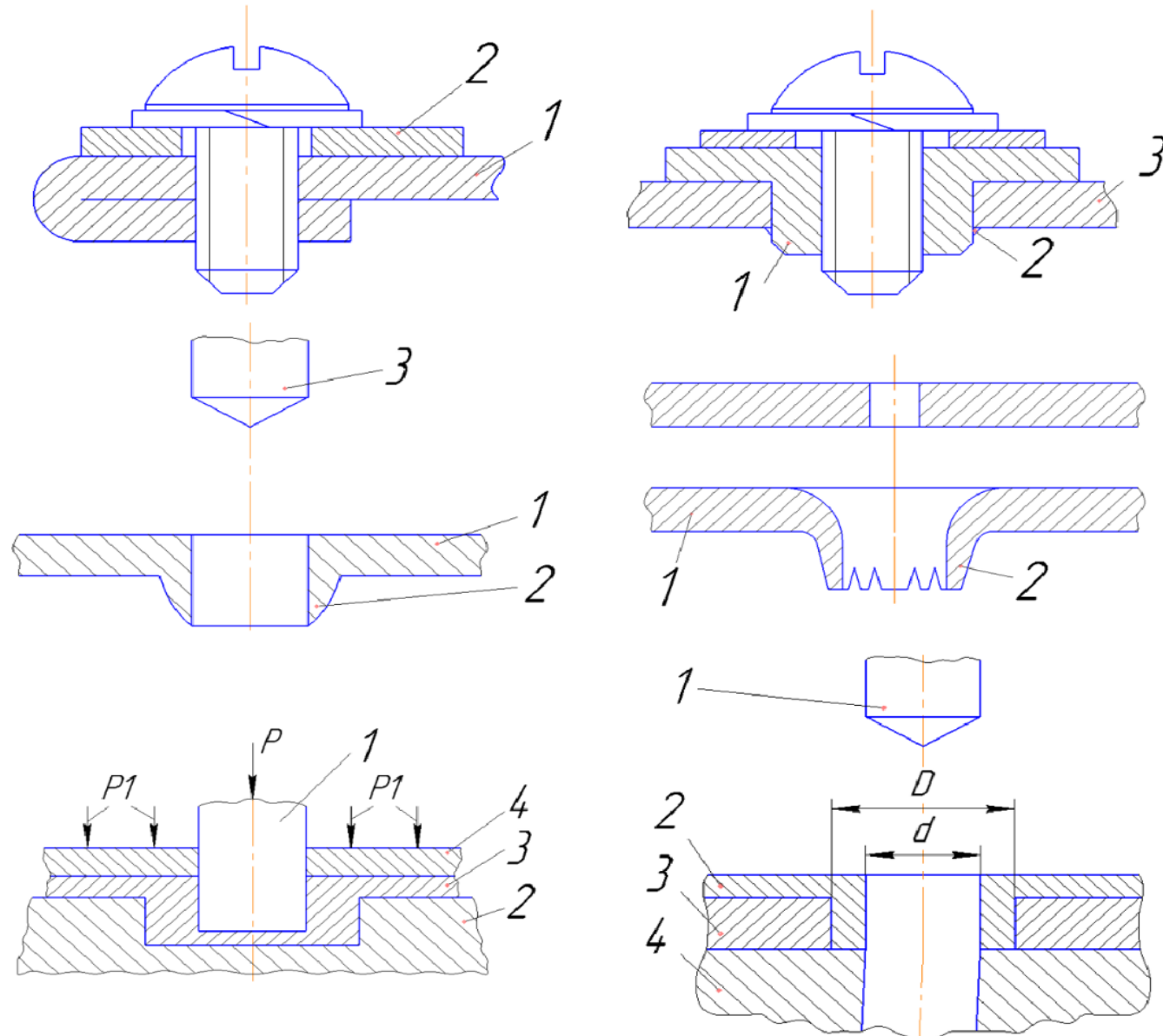
Автор проекта студент группы П – 261

А.Н. Ясницкий

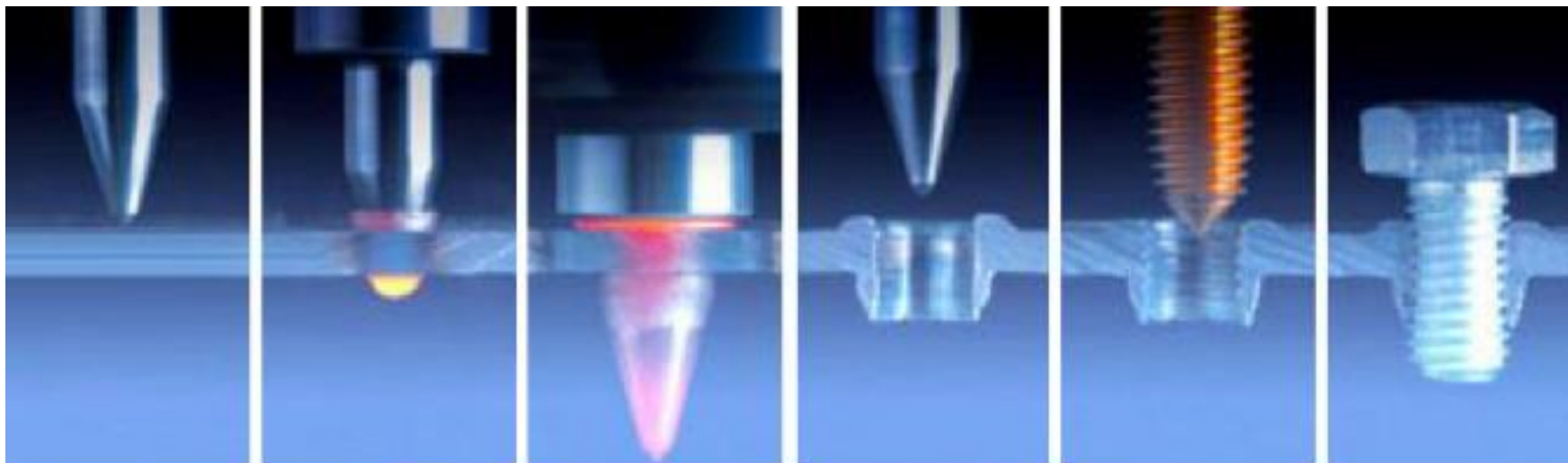
Проблемы изготовления резьбовых соединений в тонколистовых заготовках



Способы повышения длины свинчивания



Метод термического сверления



ЦЕЛЬ ВКР, ОБЪЕКТ И ПРЕДМЕТ ИССЛЕДОВАНИЙ

Цель работы: Определение рациональных режимов формообразования под резьбу в тонколистовых заготовках из нержавеющей стали и параметров отверстий термическим сверлением.

Направленность работы: Формообразование поверхностей.

В соответствии с ФГОС 15.04.05 работа является научно-исследовательская.

Объект исследования: процесс термического сверления отверстий под резьбу в тонколистовых заготовках.

Предмет исследования: Параметры отбортовок и режимы формообразования.

ЗАДАЧИ ВКР

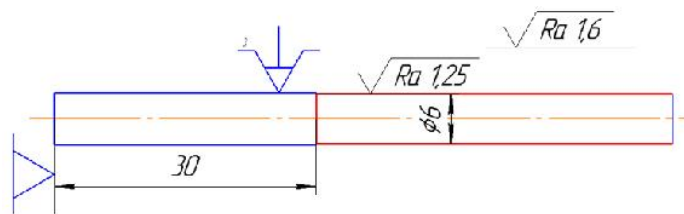
- 1) Определить технологические параметры термического сверления, существенно влияющие на формообразование и геометрические параметры отверстий и отбортовок.
- 2) Экспериментально определить геометрические параметры отбортовок отверстий.
- 3) Определить точность получаемых отверстий и качество поверхностного слоя.
- 4) Разработка математической модели взаимосвязи входных (n, s, δ) и выходных (Δ, Δ_1, h, h_1) параметров операции.
- 5) Определить прочность в отверстиях резьбового соединения на срез.
- 6) Разработать рекомендации по применению способа формообразования отверстий в производстве.

Изготовление инструмента

операция 000 заготовительная



операция 005 шлифовальная

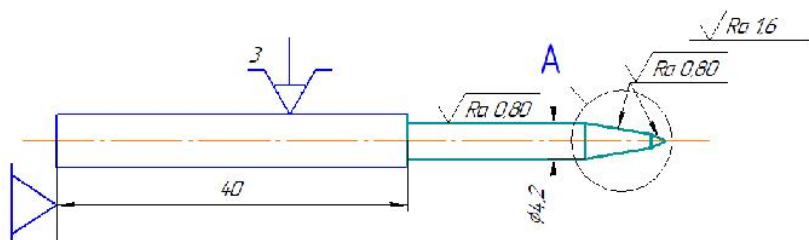


операция 010 шлифовальная

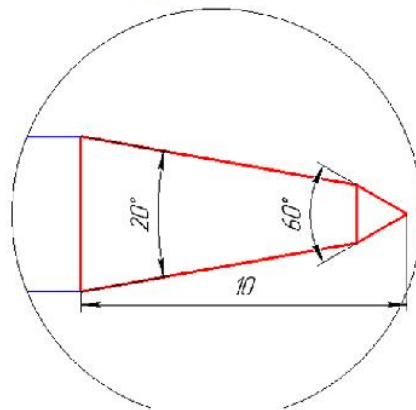
1-ая позиция

2-ая позиция: Основной конус 20°

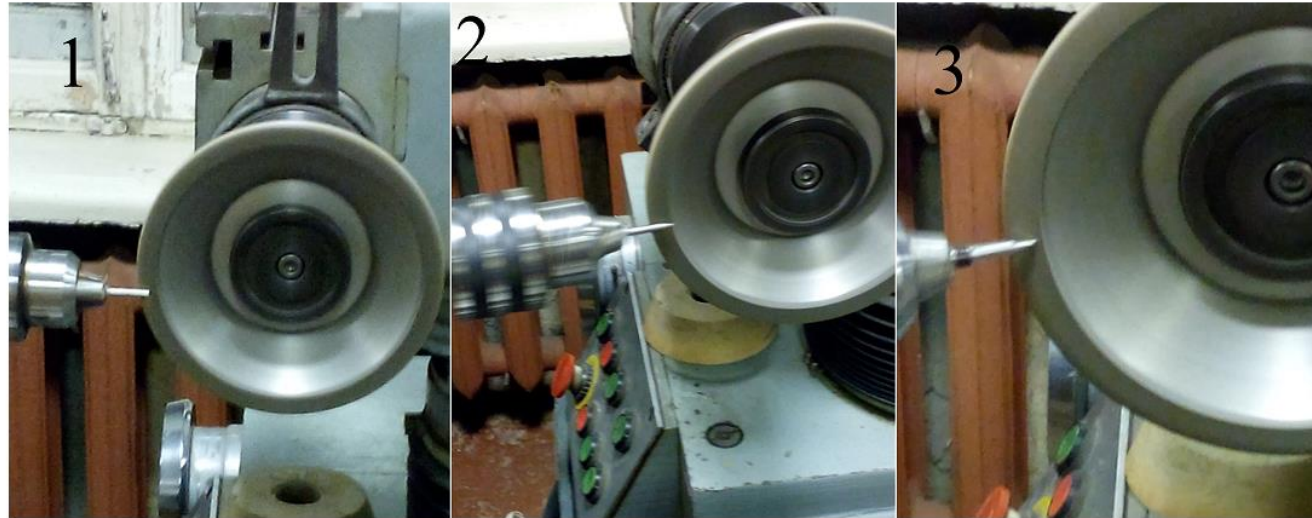
3-ая позиция: Предохранительный конус 60°



A:A(10:1)

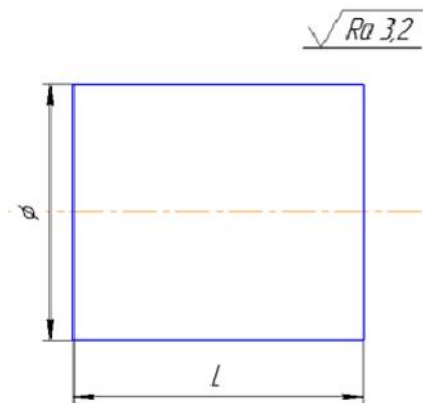


операция 015 контрольная

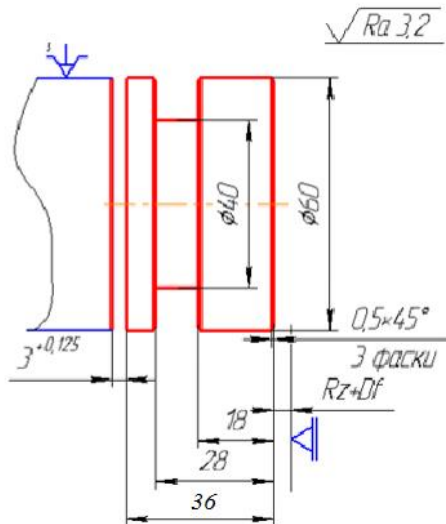


Изготовление приспособления

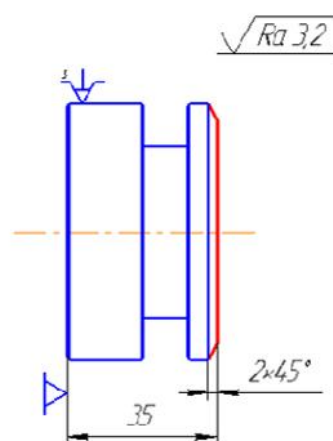
операция 000 заготовительная



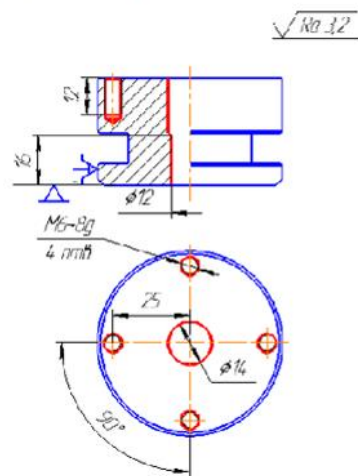
операция 005 токарная



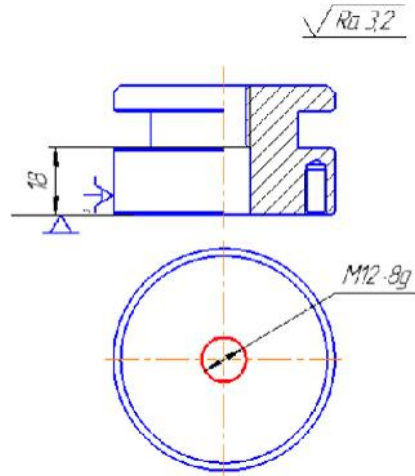
операция 010 токарная



операция 015 сверлильная



операция 020 резьбонарезная



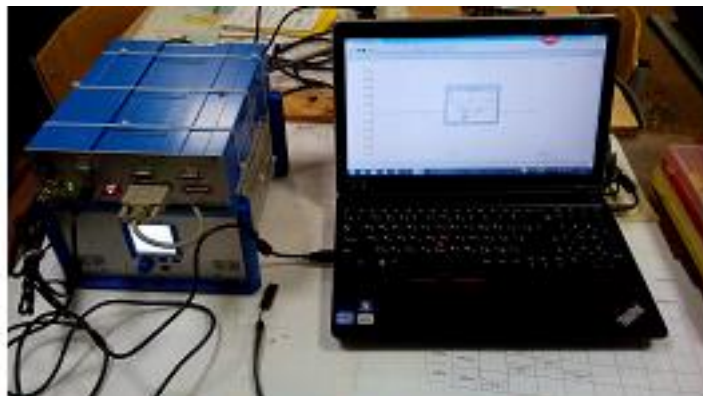
операция 025 контрольная



Проведения экспериментов



Станок 2H125



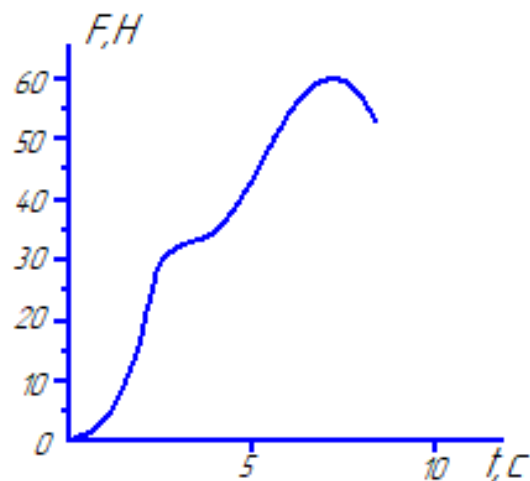
Динамометр модели 9257В фирмы Kistler со встроенным усилителем типа 5070A01110



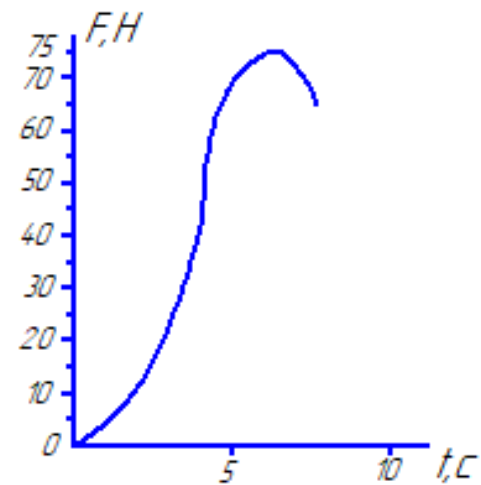
Заготовки

Фиксируемая осевая сила

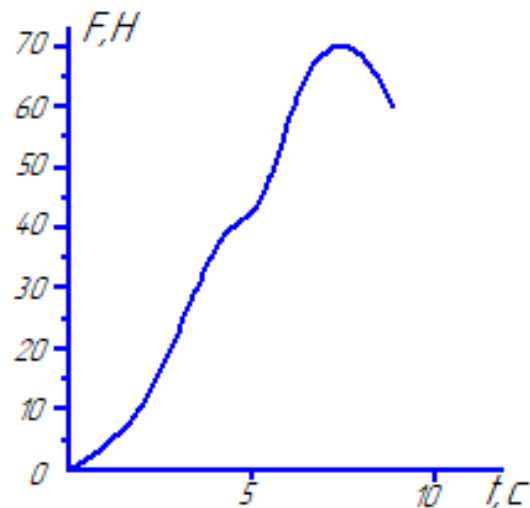
толщина 1,0, $n = 2000$ об/мин, $S=0.1$ мм/об



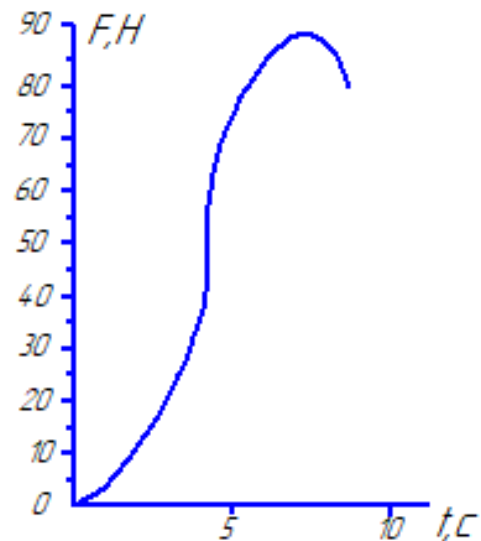
толщина 1,5, $n = 2000$ об/мин, $S=0.1$ мм/об



толщина 1,0, $n = 2000$ об/мин, $S=0.28$ мм/об



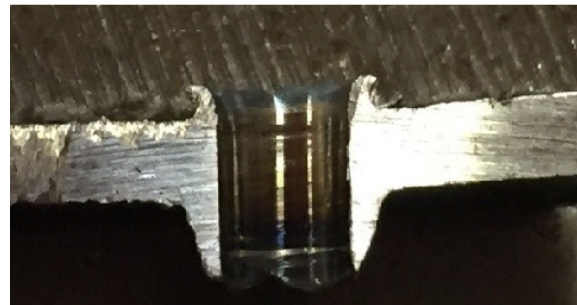
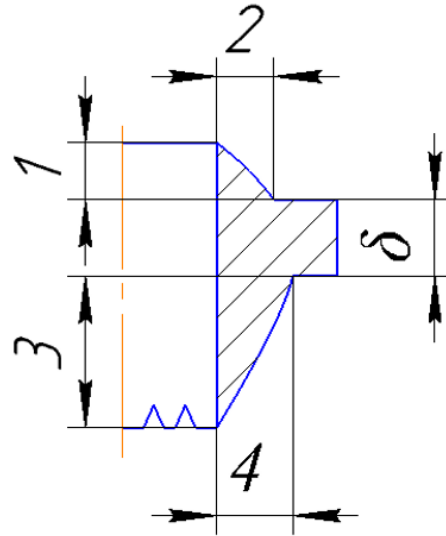
толщина 1,5, $n = 2000$ об/мин, $S=0.28$ мм/об



Замеры геометрии отверстий

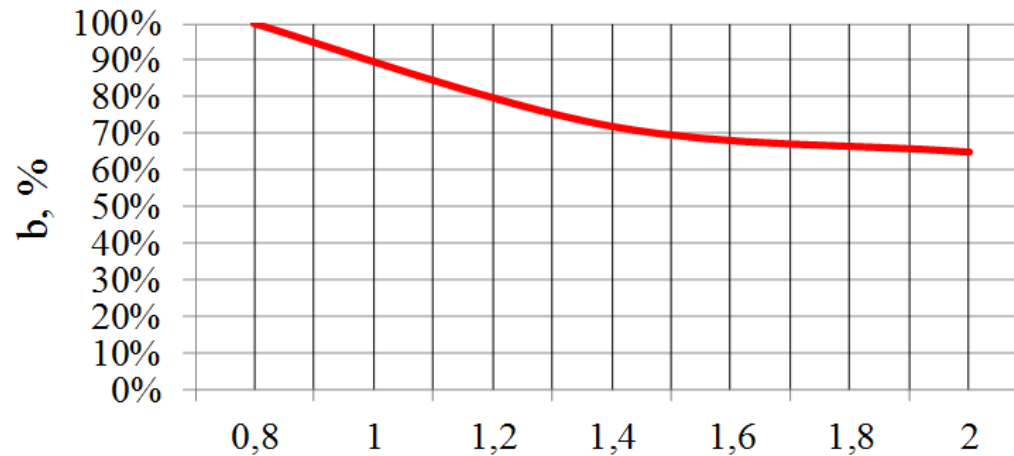
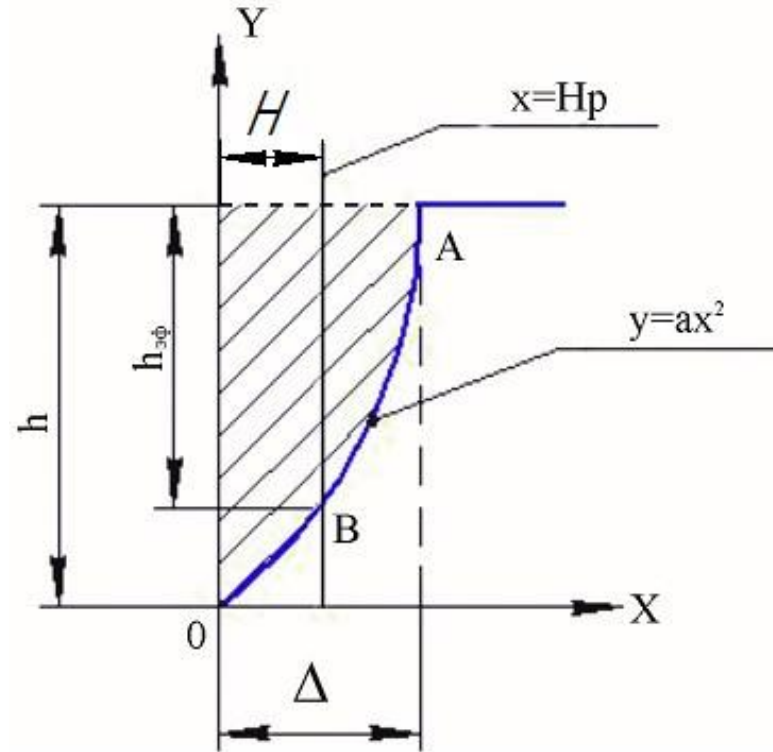
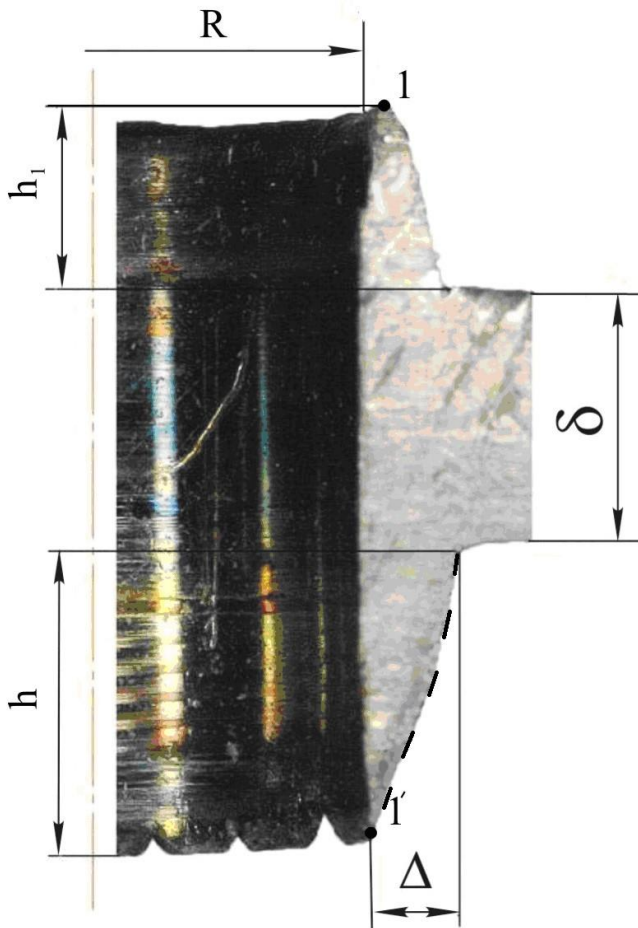


Геометрические параметры отбортовок отверстия



Толщина листа, мм	Подача, мм/об	Усредненные значения измеряемых параметров, мм			
		1	2	3	4
0,8	0,1	0,30875	0,4575	1,4105	0,6625
0,8	0,14	0,39125	0,900625	1,771875	0,6325
0,8	0,2	0,25225	0,400625	1,375625	0,690625
0,8	0,28	0,24375	0,389583	1,347083	0,302917
1,0	0,1	1,0725	0,621667	2,804167	0,679167
1,0	0,14	0,826875	0,545313	2,505313	0,649688
1,0	0,2	0,52875	0,587083	2,43625	0,7975
1,0	0,28	0,53125	0,64375	2,425	0,775
1,0	0,4	0,85	0,6375	2,3	0,7125
1,5	0,1	1,164286	0,7	3,030357	0,771429
1,5	0,14	1,096429	0,6232143	2,8875	0,757143
1,5	0,2	0,98125	0,646875	2,859375	0,74
1,5	0,28	0,882143	0,5714286	2,610714	0,707143
1,5	0,4	0,675	0,525	2,641667	0,633333
2,0	0,1	1,25	0,55	2,541667	0,833333
2,0	0,14	1,158333	0,666667	2,366667	0,758333
2,0	0,2	1,091667	0,575	2,658333	0,875
2,0	0,28	0,891667	0,591667	2,325	0,766667
2,0	0,4	0,5875	0,675	2,125	0,8625

Вывод расчётных формул



$$h = \frac{2bR^2\delta}{(2R + \Delta)\Delta}$$

$$h_1 = \frac{2(1-b)R^2\delta}{(2R + \Delta)\Delta}$$

$$x = H_p = 0.866P$$

$$y_B = \frac{h}{\Delta^2} \cdot H_p^2$$

$$h_{эф} = h \left[1 - \frac{(0,866P)^2}{\Delta^2} \right]$$

$$L_{св} = h \left[1 - \frac{(0,866P)^2}{\Delta^2} \right] + \delta$$

Толщина заготовки, мм

РАЗРАБОТКА ЭМПИРИЧЕСКОЙ МАТЕМАТИЧЕСКОЙ МОДЕЛИ

ИСХОДНЫЕ ДАННЫЕ ПЛАНИРОВАНИЯ ЭКСПЕРИМЕНТА

№	Входной параметр		Выходной параметр
	X ₁	X ₂	Y
	δ, мм	S, мм/об	Δ, мм
1	0,8	0,1	0,663
2	0,8	0,14	0,711
3	1	0,1	0,679
4	1	0,14	0,650
5	1,5	0,1	0,771
6	1,5	0,14	0,757
7	2	0,1	0,833
8	2	0,14	0,758

$$y_k = b_0 + \sum_{i=1}^n b_i x_i + \sum_{i \neq j}^n b_{ij} x_i x_j$$

где b_i – коэффициент полинома, подлежащий определению по результатам эксперимента; x_i, x_j – независимые переменные факторы; $x_i x_j$ – взаимодействие факторов; n – число независимых переменных факторов.

Уравнение регрессии (оценка уравнения регрессии):

$$Y = 0,637 + 0,108 \cdot X_1 - 0,437 \cdot X_2.$$

Промежуточные расчеты

№	X _i	Y _i	X _i -X _{ср}	Y _i -Y _{ср}	(X _i -X _{ср})* *(Y _i -Y _{ср})	(X _i -X _{ср}) ²	(Y _i -Y _{ср}) ²
1	0,8	0,663	-0,525	-0,065	0,034125	0,275625	0,00422
2	0,8	0,711	-0,525	-0,017	0,008925	0,275625	0,00029
3	1	0,679	-0,325	-0,049	0,015925	0,105625	0,0024
4	1	0,650	-0,325	-0,078	0,02535	0,105625	0,00608
5	1,5	0,771	0,175	0,043	0,007525	0,030625	0,00185
6	1,5	0,757	0,175	0,029	0,005075	0,030625	0,00084
7	2	0,833	0,675	0,105	0,070875	0,455625	0,01103
8	2	0,758	0,675	0,03	0,02025	0,455625	0,0009
Среднее	1,325	0,728					
Сумма					0,18805	1,735	0,02761
Корень произведения						0,21888	

$$\text{Расчет критерия Фишера: } F = \frac{R^2}{1-R^2} \cdot \frac{f_2}{f_1}$$

Коэффициент корреляции Пирсона:

$$R = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})(Y_i - \bar{Y})}{\sqrt{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 \sum_{i=1}^N (Y_i - \bar{Y})^2}}$$

$$R_1^2 = 0,74 \quad R_2^2 = 0,0221$$

$$F_1 = 7,115 \quad F_2 = 0,056$$

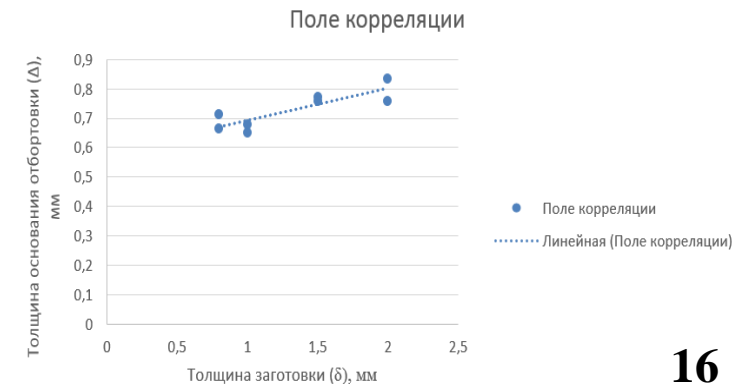
По таблицам распределения Фишера-Снедекора критическое значение F критерия для уровня значимости $\alpha=0,05$ и степеней свободы $f_1=2$ и $f_2=5$:

$$F_{кр} = 5,79$$

$$F_1 > F_{кр} \quad F_2 < F_{кр}$$

Уравнение регрессии

$$Y = 0,637 + 0,108 \cdot X_1$$



Определение шероховатости отверстия



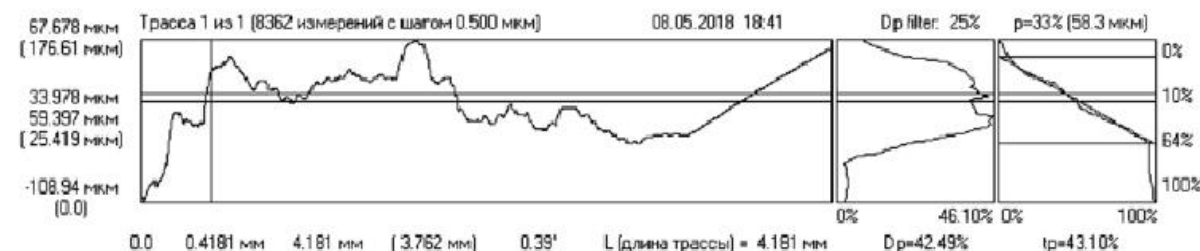
Ra (среднеарифм.отклонен.) мкм = 18.5
 Класс шероховатости = 3B (ГОСТ 2789/11 (ISO 1302))
 Rz (высота неровн. по 10 точк.) мкм = Нет данных
 Rmax,Ry (макс. высота неров.) мкм = 84.5
 Sm (средний шаг неровности) мкм = 486
 S (ср. шаг местных выступов) мкм = 82.2
 Rpk (высота выступов пов-ти) мкм = 11.8
 Rk (толщина опорной пов-ти) мкм = 68.5
 tp1 (верх опорной поверхности) % = 3.47
 tp2 (низ опорной поверхности) % = 93.2
 Rvk (глубина впадин пов-ти) мкм = 4.13
 Rv, Rtm (глуб. макс. впадины) мкм = 37.8
 Rp (высота макс. выступа) мкм = 46.7
 Δa (среднеарифм.наклон проф.) гр = 11.5
 Δq (среднеквадр.наклон проф.) гр = 19.1

- Все трассы
- целиком
- R-линия
- спрямлена

λв=8.0мм*1
 Фильтр λз=25.0 мкм

Шкала: 100 мкм (x 100)
 Скорость: 0.5 (-) мм/с

2



Ra (среднеарифм.отклонен.) мкм = 27.5
 Класс шероховатости = 2B (ГОСТ 2789/12 (ISO 1302))
 Rz (высота неровн. по 10 точк.) мкм = Нет данных
 Rmax,Ry (макс. высота неров.) мкм = 177
 Sm (средний шаг неровности) мкм = 536
 S (ср. шаг местных выступов) мкм = 32.3
 Rpk (высота выступов пов-ти) мкм = 17.4
 Rk (толщина опорной пов-ти) мкм = 94.6
 tp1 (верх опорной поверхности) % = 6.69
 tp2 (низ опорной поверхности) % = 96.1
 Rvk (глубина впадин пов-ти) мкм = 65.0
 Rv, Rtm (глуб. макс. впадины) мкм = 111
 Rp (высота макс. выступа) мкм = 66.3
 Δa (среднеарифм.наклон проф.) гр = 11.7
 Δq (среднеквадр.наклон проф.) гр = 18.3

- Все трассы
- целиком
- R-линия
- спрямлена

λв=8.0мм*1
 Фильтр λз=8.00 мкм

Шкала: 100 мкм (x 100)
 Скорость: 0.5 (-) мм/с

1



Ra (среднеарифм.отклонен.) мкм = 9.44
 Класс шероховатости = 4B (ГОСТ 2789/10 (ISO 1302))
 Rz (высота неровн. по 10 точк.) мкм = 21.8
 Rmax,Ry (макс. высота неров.) мкм = 63.1
 Sm (средний шаг неровности) мкм = 389
 S (ср. шаг местных выступов) мкм = 35.3
 Rpk (высота выступов пов-ти) мкм = 26.0
 Rk (толщина опорной пов-ти) мкм = 16.8
 tp1 (верх опорной поверхности) % = 17.3
 tp2 (низ опорной поверхности) % = 74.3
 Rvk (глубина впадин пов-ти) мкм = 20.3
 Rv, Rtm (глуб. макс. впадины) мкм = 28.0
 Rp (высота макс. выступа) мкм = 35.2
 Δa (среднеарифм.наклон проф.) гр = 6.45
 Δq (среднеквадр.наклон проф.) гр = 10.7

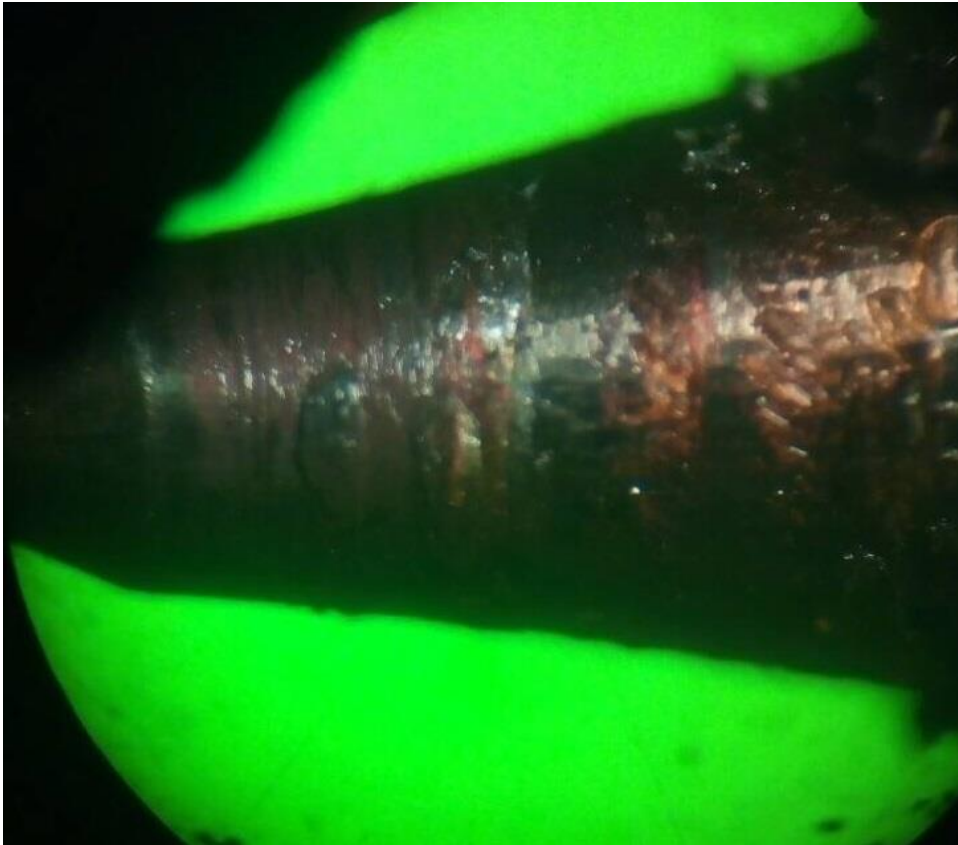
- Все трассы
- целиком
- R-линия
- спрямлена

λв=2.5мм*4
 Фильтр λз=8.00 мкм

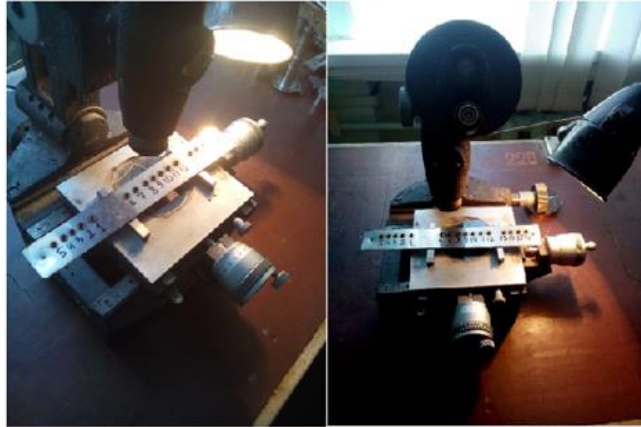
Шкала: 50 мкм (x 200)
 Скорость: 0.5 (-) мм/с

3

Явление адгезии



Определение точностных характеристик отверстия



Среднее значение рассчитывается по формуле:

$$\bar{x} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i$$

среднее значение равно 4,20875 мм.

Среднеквадратическое отклонение рассчитывается по формуле:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2}$$

среднеквадратическое отклонение равно 0,06

Доверительный интервал рассчитывается по следующей формуле:

$$\Delta = t_{\alpha} \sigma$$

доверительный интервал равен 0,125 мм

диаметр отверстия равен $4,21 \pm 0,125$ мм.

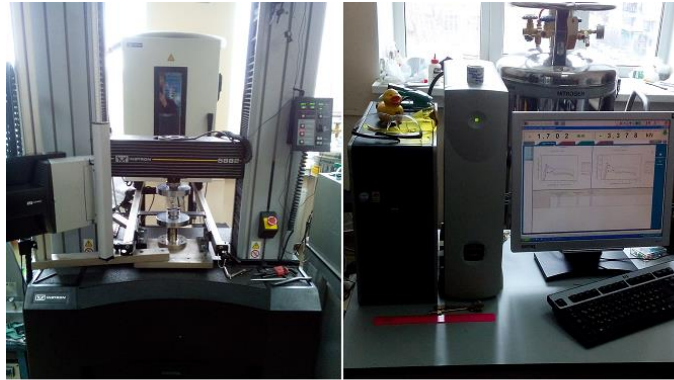
№ эксперимента	Диаметры отверстий		
	Диаметр по оси X, мм	Диаметр по оси Y, мм	Среднее значение \bar{x}_i , мм
1	4,23	4,08	4,155
2	4,23	4,03	4,13
3	4,13	4,18	4,155
4	4,23	4,23	4,23
5	4,18	4,23	4,205
6	4,13	4,23	4,18
7	4,23	4,08	4,155
8	4,23	4,16	4,195
9	4,21	4,23	4,22
10	4,23	4,11	4,17
11	4,33	4,18	4,255
12	4,14	4,16	4,15
13	4,33	4,22	4,275
14	4,28	4,33	4,305
15	4,33	4,33	4,33
16	4,23	4,23	4,23

Примечание: диаметр пуансона 4,2 мм; резьба M5x0,8

Формообразование резьбы



Определение прочности резьбы на срез

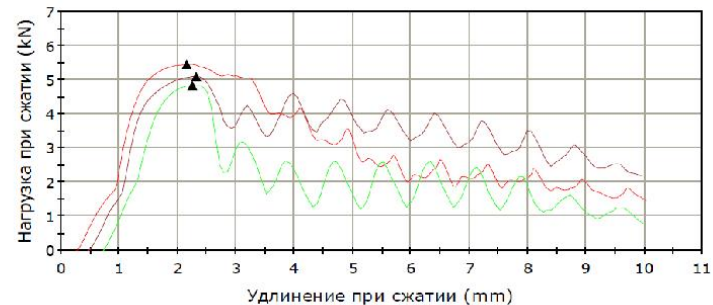
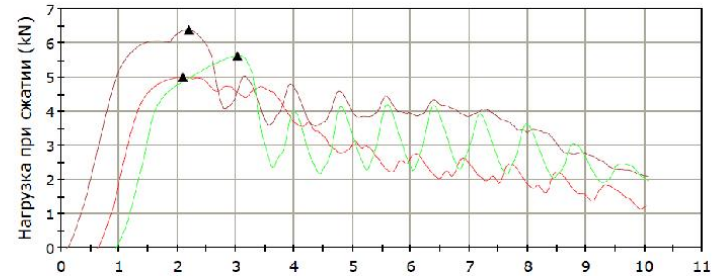
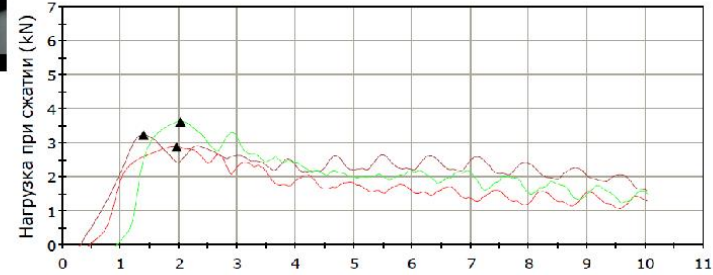
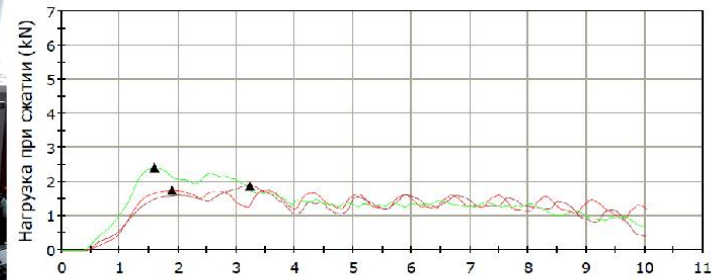


Сила, вызывающая срез витков резьбы гайки определяется:

$$F_{cp} = \pi d \cdot L_{ср} \cdot K_r \cdot K_M \cdot \tau_{вд}$$

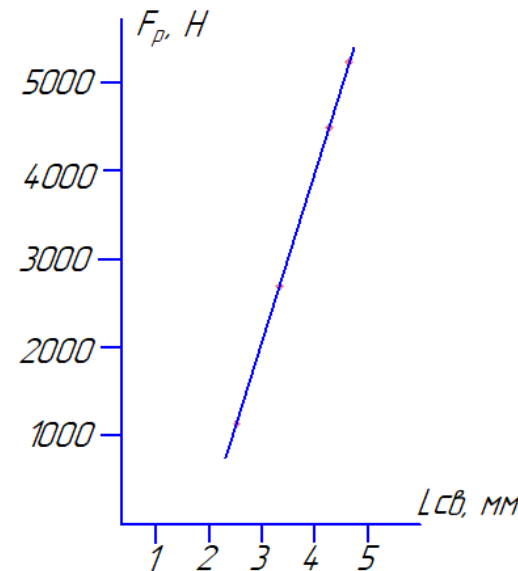
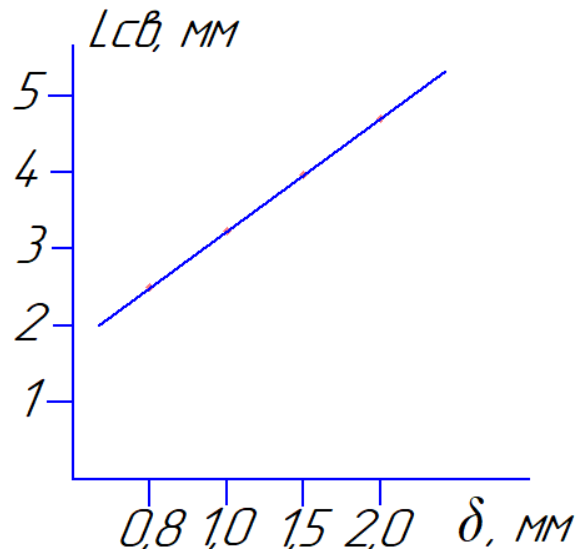
δ , мм	h , мм	Δ , мм	$L_{ср}$, мм	Кол-во витков	F_p , Н	$F_{жк}$, Н
0,8	1,361875	0,5125	2,2	2,7	1100	1760
0,8	1,347083	0,502917	2,2	2,7	1100	1890
0,8	1,3505	0,5025	2,2	2,7	1100	2420
1,0	2,505313	0,649688	3,5	4,3	2565	2900
1,0	2,53625	0,6575	3,5	4,3	2565	3250
1,0	2,804167	0,649167	3,5	4,3	2565	3650
1,5	2,6125	0,671429	4,1	5,1	4763	5000
1,5	2,6125	0,671429	4,1	5,1	4763	6390
1,5	2,6030357	0,665429	4,1	5,1	4763	5620
2,0	2,341667	0,833333	4,4	5,5	7100	5450
2,0	2,3	0,8425	4,4	5,5	7100	5100
2,0	2,366667	0,828333	4,4	5,5	7100	4840

Примечание: диаметр пуансона $d = 4,2$ мм, материал пуансона ВК8, резьба М5х0,8 материал заготовки 12х18н10г, материал болта Ст3, $\tau_{ср} = 30$ кг/мм² [41]. $K_r = 0,8$ [26]. $K_M = 0,75$ [26]



Рекомендации по применению

- 1) Метод термического сверления целесообразно применять для заготовок толщиной более 0,8 мм.
- 2) Для толщины 1 мм принимать подачу 0,14 мм/об, а при толщине заготовок 1,5; 2 мм принимать подачу 0,2 мм/об.
- 3) Принимать частоту вращения больше 4000 об/мин.
- 4) По графику зависимости толщины листа заготовки от длины свинчивания выбрать длину свинчивания, а по графику зависимости длины свинчивания от силы выбрать прочность резьбового соединения.



ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

1) Получение отверстий в заготовке менее 0,8 мм термическим сверлением не целесообразно из-за деформации заготовки. При термическом сверлении при частоте вращения меньше 3000 об/мин, происходит «схватывание» инструмента с заготовкой, вызывающую его поломку.

2) При увеличении подачи высота верхней и нижней отбортовок уменьшается. При увеличении толщины заготовки увеличивается высота верхней и нижней отбортовки, а также толщина нижней отбортовки.

3) Получена расчётная зависимость для определения эффективной длины свинчивания с учётом шага резьбы и формы наружной поверхности отбортовок, позволяющая оценивать прочность полученной резьбы.

ОБЩИЕ ВЫВОДЫ

4) При обработке тонколистовых заготовок толщиной 0.8, 1.0, 1.5, 2.0 мм технологические параметры процесса: толщина нижней отбортовки (Δ_1) зависит от толщины листа (δ), зависимость в форме математической модели.

5) Доверительный интервал разброса диаметров отверстий соответствует допуску внутреннего диаметра резьбы 7 степени точности. С уменьшением толщины заготовки ухудшается шероховатость, при толщине 1.0 мм – Ra 27,5; при толщине 1.5 мм – Ra 18,5; при толщине 2,0 мм – Ra 9,44.

6) Сравнение результатов эксперимента и расчётных значений позволяет утверждать, что фактическая прочность резьбы на срез: при толщине 0,8 мм выше на 20%; при толщине 1,0 мм выше на 16%; при толщине 1,5 мм выше на 10%; при толщине 2,0 мм выше на 7%; чем расчётная, что связано с упрочнением металла в зоне отверстия для нарезания резьбы, вследствие пластического деформирования металла заготовки при термическом сверлении.

Публикации

- 1) Shalamov, P.V Determination of Flanging Parameters and Length of Screwing in Producing Holes by the Method of Thermal Drilling in Thin-Sheet Metal / P.V. Shalamov, I.A. Kulygina, A.N. Yasnitsky //Lecture Notes in Mechanical Engineering.–2020.– P.59-68
- 2) Шаламов, П.В. Исследование основных параметров отверстий под резьбу / П.В. Шаламов, А.Н. Ясницкий //Исследование основных параметров отверстий под резьбу, Прогрессивные технологии в машиностроении, 2019, УДК 621.9, с.11-14.
- 3) Шаламов, П.В. Прочность резьбового соединения в тонколистовых заготовках из нержавеющей стали / П.В. Шаламов, А.Н. Ясницкий //Прочность резьбового соединения в тонколистовых заготовках из нержавеющей стали, Прогрессивные технологии в машиностроении, 2019, УДК 621.9, С.61-65
- 4) Шаламов, П.В., Быковская, Ю.А., Ясницкий, А.Н., Фарафонов, П.П., Вольф, Г.В. Методы и проблемы образования отверстий под резьбу в тонколистовых заготовках, Прогрессивные технологии в машиностроении, 2018, УДК 621.9, с. 7-17.

Доклад окончен