

**Alla Lisikh, Phd tech. sci.**

*Pervomaisky polytechnic institute of the Mykolaiv university of shipbuilding of the name of admiral Makarov, Pervomaisk, Ukraine*

**Spatial deformation of flexible constructions, connecting ship-transmitter and the added object**

Resilient deformation and stability of curvilinear flexible element of the marine setting is considered in the article, it is indicated on actuality of decision of this question.

The method of numerical decision of task of oscillation of flexible elements is offered with difficult spatial geometry, which allows to get the necessary parameters of the tensely-deformed state of flexible element at an action static and quasistatic tensions. For the decision of nonlinear regional task the method of continuation is used on a parameter jointly with the method of Newton-Kantorovich. Such approach allows effectively to use computational algorithms for the timely change of problem specification depending on technological necessities. By means of this methods it is possible to investigate the change of form of resilient equilibrium of flexible constructions taking into account deep non-linearity, to analyse stability and supercritical conduct. Examples of decision of such tasks which allow to draw conclusion about authenticity and efficiency of the used methods are made in the article.

The results of decision given in the article as computer graphics underline their authenticity, as one of signs of rightness of the got numerical decisions is convergence of differential equalizations.

**resilient deformation, flexible element, numeral methods**

Получено 10.05.17

**УДК 621.9.048.4**

**О.Ф. Сіса, доц., канд. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, В.В. Юр'єв, асп.**

*Центральноукраїнський національний технічний університет, м.Кропивницький, Україна,*

*E-mail: sisaoleh@gmail.com*

## Технологія виготовлення порожнин високоміцних гайок спеціального призначення

Виконано обґрунтування технологічної схеми формоутворення поверхонь порожнини високоміцної гайки спеціального призначення, способом розмірної обробки електричною дугою з урахуванням особливостей фізичних механізмів їх утворення та гідродинамічних явищ в міжелектродному проміжку. Встановлені аналітичні зв'язки технологічних характеристик процесу розмірної обробки електричною дугою сталі 20Г2Р з режимами обробки і геометричними параметрами. **електрична дуга, гайка, технологія, технологічні характеристики, обладнання**

**О. Ф. Сиса, доц., канд. техн. наук, В.В. Пукалов, доц., канд. техн. наук, В.В. Юрьев, асп.**

*Центральноукраинский национальный технический университет, г. Кропивницкий, Украина*

**Технология изготовления полостей высокопрочных гаек специального назначения**

Выполнено обоснование технологической схемы формообразования поверхностей полости высокопрочной гайки способом размерной обработки электрической дугой с учетом особенностей физического механизма образования и гидродинамических явлений в межэлектродном промежутке. Установлены аналитические связи технологических характеристик процесса размерной обработки электрической дугой стали 20Г2Р с режимами обработки и геометрическими параметрами.

**электрическая дуга, гайка, технология, технологические характеристики, оборудование**

© О.Ф. Сіса, В.В. Пукалов, В.В. Юрьев, 2017

**Постановка проблеми.** Складання і монтаж вузлів гірничої техніки є відповідальним і трудомістким процесом, а якість кріплення закладає надійність роботи у важких умовах. Вплив на надійність обладнання, в цілому чинять основні елементи та різьбові з'єднання, які є ресурсовизначальними, оскільки вони витримують значні динамічні навантаження, а головним фактором підвищення несучої здатності високонавантажених гайок є підвищення пружності різьби.

**Аналіз останніх досліджень і публікацій.** Сучасні машинобудівні виробництва пред'являють підвищені вимоги до надійності і довговічності продукції, до найбільш відповідальних деталей, при цьому особлива увага приділяється стану поверхневих шарів. Як відомо якісна оцінка цього стану виконується по ряду критеріїв, серед яких геометричні характеристики (мікрорельєф, хвилястість, шорсткість) і фізико-механічні властивості (структура, мікротвердість і т.п.), які формуються, як правило на фінішних операціях обробки. Однак існує велика кількість неконтрольованих експлуатаційних факторів, що впливають на працездатність та ресурсні характеристики гірничого обладнання. За результатами статистичного аналізу працездатність гірничого обладнання за коефіцієнтом відмов на підприємствах Кривбасу, встановлено, що одним з найбільш розповсюджених факторів є ослаблення болтових з'єднань: опор до рами, стяжних шпильок, кріпильних болтів корпусу підшипника [1].

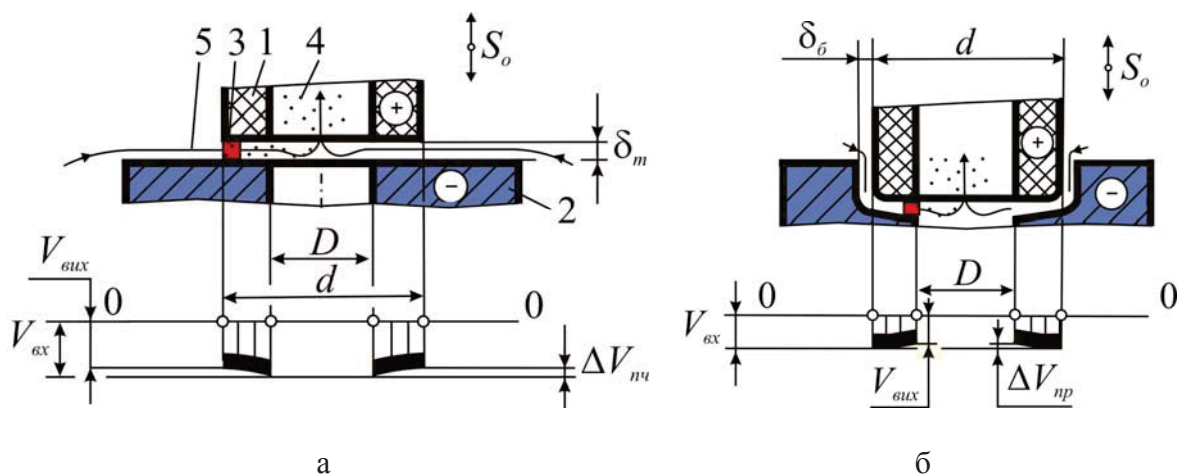
Для кріплення відповідальних вузлів гірничого обладнання застосовується високоміцний крепіж з класом міцності 8.8, 10.9, 12.9, у яких тимчасовий опір більше, або дорівнює 800 МПа. Високоміцний крепіж [2] виготовляють з сталі марок 35, 20Г2Р, 40Х, 65Г найчастіше застосовується сталь марки 20Г2Р. Сучасна технологія [3] виготовлення високоміцного крепіжу базується на застосуванні методів холодного або гарячого висаджування чи накатування різьби на спеціальних автоматах. В умовах одиничного або дрібносерійного виробництва для складання і кріплення відповідальних елементів гірничого обладнання застосовують спеціальні гайки з внутрішньою порожниною під спеціальний ключ для затягування, тому застосування технологій штампування таких гайок економічно не вигідне із-за коштовності штампового оснащення. Технологія виготовлення спеціальних гайок складається з двох основних операцій: отримання заготовки спеціальної гайки і формування внутрішнього різьбового профілю. Заготовки з складною порожниною під спеціальний ключ виготовляють литвом. Однак наряду з цим відлиті заготовки мають недолік – підвищена газо-усадкова пористість. При формуванні внутрішнього різьбового профілю методом механічної обробки відбувається "вскриття" пор, які можуть бути ізольованими, або створювати систему наскрізних каналів, при цьому якість різьби погіршується, а значить у відповідальний момент у з'єднанні призведе до послаблення різьбового з'єднання. Тому необхідно виготовляти високоміцні гайки спеціального призначення з заготовок які попередньо піддавалися пластичному деформуванню, а для отримання складнофасонних порожнин під спеціальний ключ гайок спеціального призначення застосовувати технології які будуть альтернативними штампуванню чи обробці різанням.

За роботами [4,5,6,7,8] відомий спосіб розмірної обробки металів електричною дугою (РОД), при якому енергія підводиться в зону обробки безперервно. Завдяки цьому, а також тому, що спосіб дозволяє вводити в зону обробки великі потужності електричного струму, даний спосіб володіє високою продуктивністю обробки. Так, за даними роботи [7] продуктивність обробки круглого отвору діаметром 30 мм (площа обробки 706 мм<sup>2</sup>) в матеріалі сталь 45 при силі струму  $I = 1000\text{А}$ , досягає 27300 мм<sup>3</sup>/хв при  $Ra = 6,3$  мкм та глибині зони термічного впливу в межах кількох сотих долей міліметра. Однак, впровадження у виробництво процесу РОД порожнин високоміцних

гайок спеціального призначення матриць стримується відсутністю експериментальних даних про взаємозв'язок технологічних характеристик даного процесу з електричним і електродинамічним режимами обробки та геометричними параметрами порожнин, які оброблюються. Проблема ще більш загострюється при отриманні порожнини з визначеною шорсткістю поверхні та відповідним складнофасонним профілем під ключ. Тому розробка технології і обладнання способу РОД для отримання складнофасонних порожнин під спеціальний ключ гайок спеціального призначення є актуальною.

**Постановка завдання.** Таким чином, метою досліджень є розробка технології та обладнання способу РОД порожнин високоміцних гайок спеціального призначення, як високоефективної альтернативи традиційним способам їх обробки.

**Виклад основного матеріалу.** В якості технологічної схеми формоутворення вибрана схема за принципом глухого прошивання і формування дна. Обробку здійснювали з використанням графітового електрода-інструмента (ЕІ, марка МПГ-7) при вибраній технологічній схемі формоутворення з прокачуванням органічного середовища в торцевому міжелектродному зазорі (МЕЗ) під технологічним тиском, за напрямком від периферії до центру електрода-інструмента (рис.1). Предметом дослідження були такі технологічні характеристики: продуктивність обробки  $M$ ,  $\text{мм}^3/\text{хв}$ ; питома продуктивність обробки  $M_a$ ,  $\text{мм}^3/\text{А}\cdot\text{хв}$ ; питома витрата електроенергії  $a$ ,  $\text{кВт}\cdot\text{год}/\text{кг}$ ; бічний зовнішній МЕЗ  $\delta$ ,  $\text{мм}$ ; відносний лінійний знос ЕІ  $\gamma$ ,  $\%$ ; шорсткість обробленої поверхні  $R_a$ ,  $\mu\text{м}$ . Будівання математичних моделей технологічних характеристик процесу РОД сталі 20Г2Р здійснювалось з застосуванням математичних методів планування експериментів, зокрема плану  $2^{4-1}$ . На підставі апіорної інформації були відібрані фактори, що визначають режими обробки ( сила технологічного струму  $I$ ,  $\text{А}$ ; статичний тиск робочої рідини на вході в міжелектродний зазор  $P_{ст}$ ,  $\text{МПа}$ ) та фактори, що визначають геометричні параметри обробки ( площа обробки  $F$ ,  $\text{мм}^2$ ; глибина обробки  $h$ ,  $\text{мм}$ ).



а – початкова фаза обробки; б – проміжна фаза обробки (1 – графітовий ЕІ; 2 – сталева заготовка; 3 – електрична дуга; 4 – продукти ерозії; 5 – гідродинамічний потік)

Рисунок 1 – Технологічна схема формоутворення та епюри швидкостей потоку в торцевому МЕЗ  
Джерело: розроблено автором

Усі фактори задовольняють умови керованості, операціональності та однозначності. Інші параметри процесу РОД були зафіксовані на постійному рівні: робоча рідина – органічне середовище; полярність обробки – зворотня; матеріал електрода-інструмента – електроерозійний графіт марки МПГ-7.

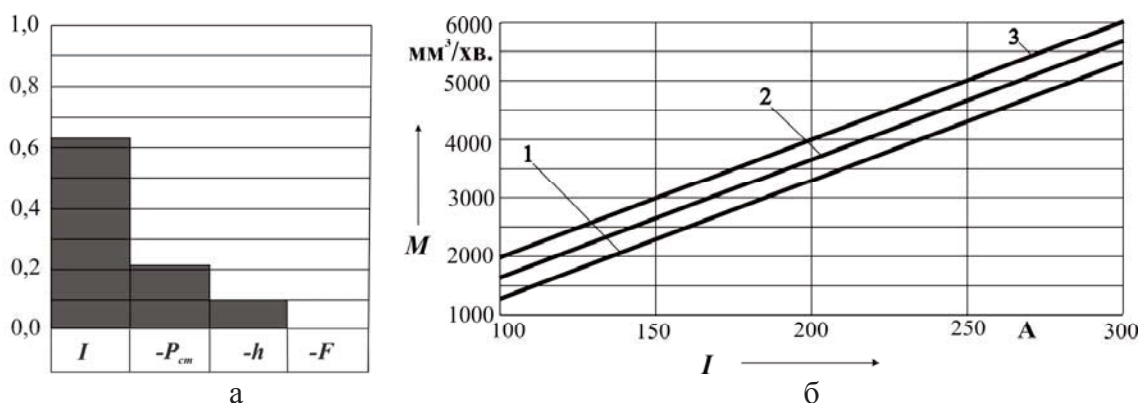
Таблиця 1 – Поліноміальні математичні моделі технологічних характеристик процесу РОД зразків із сталі 20Г2Р

| Математична модель                                                                                                                      | Масштабні співвідношення факторів                                                                         |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>Уніполярна РОД бічної поверхні зразка за формулою «графітовий ЕІ – сталь» з використанням способу зворотного прокачування</b>        |                                                                                                           |
| $M = 3081 + 1488x_1 - 510x_2 - 392x_4$                                                                                                  | $x_1 = (X_1 - 200)/100$<br>$x_2 = (X_2 - 1)/0,2$<br>$x_3 = (X_3 - 2550)/1550$<br>$x_4 = (X_4 - 12,5)/2,5$ |
| $M_a = 19,699 + 3,487x_1 - 2,748x_2 - 2,492x_4$                                                                                         |                                                                                                           |
| $a = 3,081 - 0,279x_1$                                                                                                                  |                                                                                                           |
| $R_a = 12,82 + 5,324x_1 - 0,97x_2 + 0,513x_4$                                                                                           |                                                                                                           |
| $\delta_a = 0,0209 - 0,00582x_2$                                                                                                        |                                                                                                           |
| $\gamma_{\bar{e}} = 0,969 - 0,36x_2 - 0,209x_4 - 0,088x_1 + 0,025x_3$                                                                   |                                                                                                           |
| де: $X_1 \rightarrow I, \text{ А}; X_2 \rightarrow P_{cm}, \text{ МПа}; X_3 \rightarrow F, \text{ мм}^2; X_4 \rightarrow h, \text{ мм}$ |                                                                                                           |

Джерело: розроблено автором

В рамках експерименту: продуктивність  $M$  процесу РОД сталі 20Г2Р змінювалась в межах від 1360 до 6010 мм<sup>3</sup>/хв.; питома продуктивність обробки  $M_a$  – від 12,55 до 30,92 мм<sup>3</sup>/А·хв; питома витрата електроенергії  $a$  – 1,16 до 4,89 кВт·год/кг; бічний зовнішній МЕЗ  $\delta$  – 0,020 до 0,055мм; відносний лінійний знос ЕІ  $\gamma$  – 0,48 до 1,89 %; шорсткість обробленої поверхні  $Ra$  – 6,3 до 25 мкм.

Із аналізу моделі (рис. 2) випливає, що на продуктивність обробки  $M$  найбільш впливає сила технологічного струму, із підвищенням якої продуктивність збільшується. Отже силу струму слід визначити головним керуючим фактором, а даний факт свідчить про теплову природу процесу РОД. Вплив площі обробки  $F$  на продуктивність значно менший, а статичний тиск  $P_{cm}$  та глибина обробки суттєвого впливу не створювали. Це дозволяє застосовувати спосіб РОД для обробки порожнин під спеціальний ключ високоміцних гайок спеціального призначення.

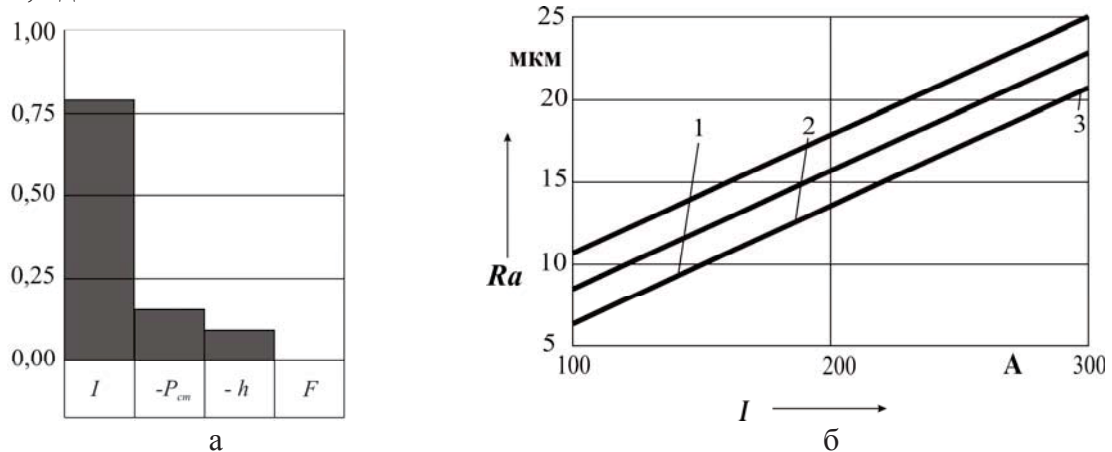


а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність  $M$  від  $I$ ; 1 –  $P_{cm} = 1,2 \text{ МПа}$ ;  
2 –  $P_{cm} = 1,0 \text{ МПа}$ ; 3 –  $P_{cm} = 0,8 \text{ МПа}$

Рисунок 2 – Продуктивність  $M$  РОД бічної поверхні зразка за формулою «графітовий ЕІ- сталь» з використанням способу зворотного прокачування

Джерело: розроблено автором

Із моделі та (рис. 3) виходить, що шорсткість обробленої поверхні  $Ra$  в повній мірі визначається силою технологічного струму  $I$  (ступінь впливу – 78,3 %) та залежить від статичного тиску  $P_{cm}$ , а також глибини обробки  $h$ . Із підвищенням  $I$  шорсткість поверхні підвищується. Отже, сила технологічного струму  $I$  по відношенню до шорсткості обробленої поверхні  $Ra$  є головним керуючим фактором. Причому, чим менша сила технологічного струму, тим більша імовірність утворення лунок. При виконаних експериментальних дослідженнях шорсткість вимірювалася на периферійній частині торцевої поверхні зразка. В умовах експерименту вона змінювалася у межах від  $Ra$  – 6,3 до 25 мкм.



а – ступінь впливу змінних факторів; б – залежність  $Ra$  від  $I$ ; 1 –  $P_{cm} = 1,2$  МПа;  
2 –  $P_{cm} = 1,0$  МПа; 3 –  $P_{cm} = 0,8$  МПа

Рисунок 3 – Шорсткість обробленої поверхні  $Ra$  РОД бічної поверхні зразка за формулою “графітовий ЕІ- сталь” з використанням способу зворотного прокачування  
Джерело: розроблено автором



а



б

а – обробка на електроерозійному верстаті моделі "АМ-1" ПАТ "КЗГО" м. Кривий Ріг;  
б – заготовка з габаритними розмірами – зовнішнім діаметром  $D = 140$  мм, висотою  $H = 70$  мм, глибиною порожнини  $h = 15$  мм високоміцної гайки спеціального призначення після обробки способом РОД графітовим ЕІ ( $I = 100$  А,  $P_{cm} = 1,2$  МПа,  $F = 4092$  мм<sup>2</sup>,  $h = 15$  мм)

Рисунок 4 – Випробування способу РОД порожнин високоміцних гайок спеціального призначення  
Джерело: розроблено автором

Обробку порожнини під спеціальний ключ високоміцної гайки спеціального призначення (рис. 4, б), здійснювали графітовим ЕІ марки МПГ-7 при наступному режимі обробки: сила технологічного струму  $I = 300$  А, напруга на дузі  $U = 25$  В, статичний тиск органічної робочої рідини на вході потоку в міжелектродний зазор  $P_{ст} = 1,2$  МПа, площа обробки  $F = 4092$  мм<sup>2</sup>, полярність обробки зворотня (заготовка «мінус»), спосіб прокачування рідини крізь торцевий міжелектродний зазор – зворотній (від периферії до центра отвору заготовки. В результаті обробки порожнини під спеціальний ключ високоміцної гайки спеціального призначення з сталі 20Г2Р, була зафіксована продуктивність обробки  $M = 6010$  мм<sup>3</sup>/хв., що в 25...28 разів перевищує продуктивність електроімпульсної обробки.

**Висновки.** Таким чином, експериментально доведена доцільність використання способу РОД для високопродуктивної обробки порожнин під спеціальний ключ високоміцних гайок спеціального призначення, що вимагає відповідно невеликих капіталовкладень в обладнання і технологію, забезпечить швидку окупність за рахунок значної продуктивності, призведе до помітної економії коштів на будь-якому виробництві виготовлення кріпильних виробів спеціального призначення.

## Список літератури

1. Кіяновський, М.В. Дослідження впливу експлуатаційних факторів на працездатність гірничого обладнання [Текст] / М.В. Кіяновський, О.В. Бондар // Вісник КТУ – Кривий Ріг, 2010. – Вип. 25. – С.218–222.
2. Рудаков, В.П. Изготовление высокопрочных путевых гаек из стали 20Г2Р в условиях ОАО «Магнитогорский калибровочный завод [Текст] / В.П. Рудаков, А.П. Пестряков, И.В. Шиморенко // Кузнечно-штамповочное производство. Обработка материалов давлением: КШП ОМД. – 2005. – №3. – С. 18–21.
3. Штеле, В. Г. Разработка прогрессивной технологии штамповки высоких гаек [Текст] / В. Г. Штеле, И.В. Марченко, [и др.] // Омский научный вестник. Сер. "Приборы, машины и технологии". – Омск: ОмГТУ, 1997 - № 2(90). – С. 66–70.
4. Verfahren zur elektroerosiven Bearbeitung von Metallen: pat. 621279 Schweiz, B 23 P 1/06. / Nosulenko V. I., Mescheryakov G. N.; inhaber Kirovogradsky Institut Selskokhozyaistvttnnogo Mashinostroenia. Anmeldungsdatum 12.07.1977; Patentschrift veröffentlicht 30.01.1981.
5. Meshcheriakov, G. N. Physical and Technological Control of Dimensinal Machining / Meshcheriakov G. N., Nosulenko V. I., Meshcheriakov N. G., Bokov V. M. // Process and Metal Transfer. Annals of the CIRP Vol. 37/1/1988, p. 209-212.
6. Носуленко, В. И. Размрная обработка металлов электрической дугой [Текст] / В. И. Носуленко // Электронная обработка материалов. – 2005. – № 1. – С. 8–17.
7. Боков, В. М. Розмірне формоутворення поверхонь електричною дугою [Текст] / В.М. Боков. – Кіровоград: Поліграфічно-видавничий центр ТОВ «Імекс-ЛТД», 2002. – 300 с.
8. Носуленко, В. І. Комбинированные процессы металлообработки с использованием электрического дугового разряда как новые возможности и высокоэффективная альтернатива традиционной технологии [Текст] / П. Н. Великий, О. Ф. Сиса, О. С. Чумаченко // Сварщик. – 2001. – № 5. – С. 30–32.

**Oleh Sisa, Assoc. Prof., PhD tech. sci., Viktor Pukalov, Assoc. PhD tech. sci., Vitaliy Yuryev, post-graduate**

*Central Ukrainian National Technical University, Kropyvnytskyi, Ukraine*

### **Technology of manufacturing of cavities of high-strength screw-nuts for special purposes**

The article is devoted to the development of technology and equipment for the method of electric arc machining of cavities of high-strength screw-nuts for special purposes, as a highly effective alternative to traditional methods of processing.

In the conditions of a single and small-scale production, high-strength nuts of special purpose with an internal cavity under a special key for tightening are used to assemble and fasten the critical elements of mining equipment, therefore it is economically disadvantageous to use the technology of stamping such nuts because of the high cost of the die tooling. The technology for manufacturing of special screw-nuts consists of two basic operations: obtaining a special nut billet and forming an internal special profile.

An important factor in increasing the load-bearing capacity of high-loaded high-strength screw-nuts is to increase the elasticity of the thread. This is ensured by the grade of material and the quality of the steel billet. When developing technology and equipment, it is necessary to take into account the conditions that will ensure the production of high-quality threads and the formation of a reinforced cavity under a special tightening key with an appropriate surface roughness. Therefore, the method of dimensional processing by electric arc makes it possible to obtain hardened cavities with an appropriate roughness for a special tightening key.

It is established that the optimal parameters of the walls of the cavities of high-strength screw-nuts of special purpose at processing capacity  $M = 6010 \text{ mm}^3 / \text{min.}$ , dimensional electric arc, there is a roughness  $Ra = 6,3..21 \text{ mkm}$ , which provides the necessary geometric dimensions and surface quality.

It is proposed to receive cavities of high-strength screw-nuts of special purpose with a dimensional electric arc with a given roughness  $Ra = 6,3..21 \text{ mkm}$ , side walls, which allows you to shoot large material allowances with the least time spent on processing. At the same time, the treatment cycle of the cavity of high-strength screw-nuts for special purposes decreased 10 times.

The feasibility study of the technological scheme for the formation of cavities of high-strength screw-nuts of a special purpose by the method of dimensional processing by an electric arc is made, taking into account the features of the physical mechanism of formation and hydrodynamic phenomena in the interelectrode gap. Analytical links of technological characteristics to the process of dimensional processing by an electric arc of steel 20G2P, with processing modes and geometrical parameters are established.

**electric arc, screw-nut, technology, technological characteristics, equipment**

Одержано 19.05.17