

А. М. Сліпчук, Р. С. Яким, О. Вишневський
Національний університет “Львівська політехніка”
Дрогобицький державний педагогічний університет ім. І.Франка

ВПЛИВ КОНСТРУКТОРСЬКО-ТЕХНОЛОГІЧНИХ ЧИННИКІВ НА ДОВГОВІЧНІСТЬ ВСТАВНОГО ТВЕРДОСПЛАВНОГО ПОРОДУРІЙНІВНОГО ОСНАЩЕННЯ ШАРОШОК ТРИШАРОШКОВИХ БУРОВИХ ДОЛІТ

© Сліпчук А. М., Яким Р. С., Вишневський О., 2022

<https://doi.org/>

Мета. Застосовуючи методи математичної статистики, в дослідженні складено математичну модель процесу складання з'єднань “твердосплавний зубок – шарошка”, яка дає змогу за вибірками складових ланок визначати параметри розподілу замикаючої ланки – натягу. З цією метою досліджено тип впливу величин натягу, який характеризує точність складання на міцність з'єднання “зубок – шарошка”, яку прийнято оцінювати за значеннями зусиль випресовування зубків. **Методика.** Аналізом твердосплавних зубків та отворів у шарошках доліт встановлено, що похибки розмірів складових ланок розмірних ланцюгів розподіляються згідно із законами, що подібні до нормального закону розподілу випадкових величин. Перевірка здійснювалася за критеріями Пірсона і Колмогорова. **Результати.** Зростання зусилля випресовування зі збільшенням величини натягу обумовлено збільшенням пружної деформації, як у цементованому шарі, так і у шарах серцевини вінців. Встановлено екстремальний тип залежності зусилля випресовування від величини натягу для з'єднання “твердосплавний зубок – шарошка”. Цю залежність як характеристику міцності з'єднання можна застосовувати для проектування технологічних операцій пресування для долотних сталей із різними показниками міцності. **Наукова новизна.** Складено математичну модель процесу складання з'єднань “твердосплавний зубок – шарошка”, яка дає змогу за вибірками складових ланок визначати параметри розподілу замикаючої ланки – натягу. Встановлені залежності дають змогу обґрунтовано й найточніше підходити до формування селективних груп зубків та маркування під них отворів. **Практична значущість.** Призначення натягів, величина яких перевищує значення екстремальної точки, спричинює виникнення несприятливої пластичної деформації чи руйнування шарів шарошки (які спряжені по висоті хвостовика вставного зубка), а також виникнення нераціональних напружень у тілі твердосплавного вставного зубка. Встановлено, що величини натягів мають більший вплив на зусилля запресування твердосплавних зубків в отвори долотної сталі 14ХНЗМА, коли значення її твердості HRC 59-60, у порівнянні з HRC 48-50. В границях досліджуваних величин натягів ця залежність має лінійне спрямування.

Ключові слова: довговічність, втомна міцність, вінця шарошок, твердосплавні зубки, апроксимаційна залежність, зусилля випресовування, масив натягів, селективна група зубків.

Вступ

На довговічність вставного твердосплавного породурійнівного оснащення шарошок тришарошкових бурових доліт впливає комплекс чинників. Із них особливо виділяються конструкторсько-технологічні. Ці чинники істотно визначають залишкові напружені стани твердосплавних зубків, а також у ділянках біля отворів вінців шарошки під час і після технологічної операції пресування. Напружений стан зубків і величина концентрації напружень у ділянці входу зубка в шарошку визначає втомну міцність твердосплавних зубків і довговічність вставного твердосплавного породурійнівного оснащення шарошок. Напружений стан в тілі вінців шарошки також визначає міцність з'єднання “зубок – шарошка”, виникнення залишкової пластичної деформації чи тріщин у тілі вінців шарошки.

Запресовування твердосплавних зубків, за умов оптимальних значень конструкторсько-технологічних чинників, дає змогу зменшити величину концентрації напружень і, отже, підвищити

довговічність вставного твердосплавного породоруйнівного оснащення шарошок. Тому, з метою оптимізації величин досліджуваних чинників, необхідно вивчити тип впливу цих чинників в усьому реальному діапазоні зміни конструкторсько-технологічних параметрів вставного твердосплавного породоруйнівного оснащення шарошок.

Аналіз літературних джерел

За останні роки вдосконаленню технології пресування твердосплавних зубків у шарошки присвячено багато робіт [1-7]. Автори шукали різні шляхи вирішення проблеми забезпечення довговічності вставного твердосплавного породоруйнівного оснащення шарошок тришарошкових бурових доліт. Зокрема, в [1, 3-5] встановлені параметри і вимоги щодо технології виготовлення шарошок та розроблені технології складання з'єднання “зубок – шарошка”. У дослідженнях [2; 4; 6, 7] приділено особливу увагу взаємозв'язку комплексу технологічних і конструкторських параметрів на ефективність з'єднання “зубок – шарошка” та розроблені основні вимоги щодо організації і реалізації технологічних операцій складання породоруйнівного оснащення на шарошках доліт. Одночасно низка параметрів, що визначають точність складання з'єднання “зубок – шарошка”, як от практичне забезпечення розмірних ланцюгів для технологічних операцій пресування, потребують докладного вивчення.

Мета

Процес формоутворення отворів під вставні твердосплавні зубки враховує комплекс механічних різальних операцій (свердління, зенкування, розвірчування), які виконуються на різних стадіях хіміко-термічної обробки. Твердосплавні зубки мають кінцеву операцію шліфування циліндричної поверхні хвостовика. Вони є покупним матеріалом, які застосовуються у стані поставки.

Вплив різних випадкових і систематичних чинників на розмірне оброблення спряжених поверхонь спричинює розсіювання розмірів. При складальних операціях величина натягу є функцією розмірів спряжених поверхонь. Розсіювання розмірів складових ланок розмірного ланцюга пресового з'єднання спричинює утворення практичного поля розсіювання замикаючої ланки – натягу. Контроль точності замикаючої ланки розмірного ланцюга неможливий при відсутності прямих замірів складових ланок.

Застосовуючи методи математичної статистики, в дослідженні складено математичну модель процесу складання з'єднань “твердосплавний зубок – шарошка”, яка дає змогу за вибірками складових ланок визначати параметри розподілу замикаючої ланки – натягу.

Методика проведення досліджень

Аналізом твердосплавних зубків та отворів у шарошках доліт встановлено, що похибки розмірів складових ланок розмірних ланцюгів розподіляються згідно із законами, що подібні до нормального закону розподілу випадкових величин. Перевірка здійснювалася згідно із критеріями Пірсона і Колмогорова [8].

Відомо, що натяг у з'єднанні “твердосплавний зубок – шарошка” є різницею між діаметрами хвостовика зубка і отвором у вінці шарошки до складання. Оскільки дане з'єднання виконується з гарантованою посадкою, діаметр хвостовика зубка є більшим за величину діаметра отвору у вінці шарошки, тому маємо:

$$Z = (Y - X), \quad (1)$$

де X та Y – неперервні незалежні величини, густини ймовірності яких є відомими (діаметри отвору і діаметр хвостовика зубка).

Густина розподілу ймовірностей величини натягу:

$$\varphi(Z) = \int_{-\infty}^{+\infty} f_1(X)f_2(X+Z)dX, \quad (2)$$

де $f_1(X)$ – густина розподілу ймовірностей діаметрів отворів; $f_2(X+Z)$ – густина розподілу ймовірностей діаметрів хвостовиків зубків.

Підставляючи формули законів розподілу ймовірностей складових ланок розмірного ланцюга в рівняння (2), матимемо підтвердження того, що закон розподілу замикаючої ланки відповідає нормальному закону розподілу випадкових величин.

Математична модель операції складання по двох вихідних вибірках з N посадкових діаметрів хвостовика зубка і такої ж кількості N діаметрів отворів створює на основі основної гіпотези масив із N^2 натягів. Тобто масив включає величини натягів всіх можливих N^2 складальних пар і визначає характеристики його розподілу: математичне очікування, середньоквадратичне відхилення, коефіцієнти асиметрії і крутизни.

Згідно із рекомендаціями [9], вибрано об'єм вибірки, рівний 100.

Величина математичного очікування M_X оцінювалася за середнім значенням (не зміщена оцінка):

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i, \quad (3)$$

де N – об'єм вибірки ($N=100$); X_i – значення вибірки.

Величина дисперсії σ^2 і середньоквадратичне відхилення оцінювали згідно із зміщеною оцінкою:

$$s^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i^2 - \bar{X}^2. \quad (4)$$

Величина зміщення не перевищує 1 % за умов вибраного об'єму вибірки.

Оцінку точності величини M_X здійснювали за критерієм Стюдента t_α , з надійністю $\alpha = 95\%$:

$$\xi_{\bar{X}} = t_\alpha \sigma_{\bar{X}} = t_\alpha \frac{s}{\sqrt{N}}, \quad (5)$$

де $\sigma_{\bar{X}}$ – дисперсія значень вибірки.

Для об'єму вибірки ($N=100$) і $\alpha = 95\%$ коефіцієнт Стюдента $t_\alpha = 1,99$ [10].

$$\xi_{\bar{X}} = 1,99 \frac{s}{\sqrt{100}} = 0,2s, \quad M_X = \bar{X} \pm 0,25s.$$

Оцінку точності величини M_X також здійснювали за критерієм Пірсона χ^2 із надійністю $\alpha = 95\%$:

$$\xi_s = q_s s, \quad (6)$$

де $\xi_s = q_s s$ – точність визначення σ ; q_s – відносна точність визначення σ .

При $k = N = 100$, $\alpha = 95\%$, $q_s = 0,15$ [10].

$$\sigma = s \pm 0,15s \quad (7)$$

Зважаючи на прийняту гіпотезу про нормальний розподіл величин, що характеризуються вибіркою, визначали коефіцієнт асиметрії α і коефіцієнт крутизни τ [9]:

$$\alpha = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^3}{Ns^3}, \quad (8)$$

$$\tau = \frac{\sum_{i=1}^N (X_i - \bar{X})^4}{Ns^4}. \quad (9)$$

Перевірка гіпотези про нормальний розподіл величин, що характеризується вибіркою, виконували згідно із критерієм Пірсона:

$$\chi^2 = \sum_{i=1}^m \frac{(f_i - f'_i)^2}{f_i}. \quad (10)$$

де m – кількість інтервалів розбивання; f'_i – теоретична частота інтервалу; f_i – емпірична частота інтервалу.

Відповідно до таблиці розподілу критерію Пірсона [10], для $k = m - 3$ (m – кількість інтервалів розбивання), визначали густину розподілу для довірчої ймовірності $P = 0,05$.

Аналіз кореляційної залежності параметрів X та Y здійснювали згідно із поліномом:

$$Y = r_{X,Y} X + r_{X,Y} \frac{\sigma_Y}{\sigma_X},$$

де $r_{X,Y}$ – коефіцієнт кореляції,

$$r_{X,Y} = \frac{C_{X,Y}}{\sigma_X \sigma_Y},$$

де коваріація

$$C_{X,Y} = \frac{\sum_{i=1}^N \left(X_i \sum_{i=1}^N n_{X,Y} Y_i \right)}{N} - \bar{X} \cdot \bar{Y},$$

де $n_{X,Y}$ – частота появи даного значення параметра X при даному значенні параметра Y , і кореляційному відхиленні [9]: $\eta_Y = \frac{\sigma_{\bar{Y}_X}}{\sigma_Y}$, де σ_Y – середньоквадратичне відхилення значень Y від їх середнього значення \bar{Y} ; $\sigma_{\bar{Y}_X}$ – середньоквадратичне відхилення значень частотного середнього (при фіксованому значенні X) від загального середнього значення \bar{Y} [9]:

$$\sigma_{\bar{Y}_X} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (\bar{Y}_X - \bar{Y})^2}{N}}.$$

Результати досліджень та їх обговорення

Для реалізації досліджень виміряли отвори (табл. 1) у периферійних вінцях шарошок під посадку твердосплавних зубків та діаметри хвостовиків партії (100 шт.) твердосплавних зубків (табл. 2).

Таблиця 1

**Масив вимірів отворів у периферійних вінцях шарошок
під посадку твердосплавних зубків (мм)**

Table 1

**The array of hole measurements in the peripheral crowns
of the bits for fit tungsten carbide insert cutters (mm)**

12,033	12,025	12,037	12,026	12,024	12,031	12,030	12,030	12,035	12,037
12,035	12,036	12,035	12,039	12,035	12,037	12,045	12,027	12,030	12,047
12,060	12,060	12,064	12,059	12,061	12,062	12,043	12,071	12,070	12,065
12,042	12,048	12,039	12,039	12,044	12,045	12,045	12,053	12,049	12,052
12,055	12,077	12,043	12,044	12,043	12,049	12,044	12,043	12,045	12,045
12,031	12,037	12,027	12,024	12,031	12,029	12,025	12,027	12,035	12,023
12,028	12,035	12,024	12,033	12,037	12,036	12,056	12,043	12,027	12,037
12,053	12,053	12,050	12,048	12,005	12,028	12,017	12,017	12,001	12,005
12,012	12,011	12,012	12,016	12,014	12,022	12,040	12,042	12,039	12,010
12,040	12,028	12,027	12,020	12,030	12,037	12,050	12,052	12,050	12,033

Максимальне і мінімальне значення натягів: $Z_{\min} = 0,024$ мм, $Z_{\max} = 0,137$ мм.

Середньоквадратичне відхилення величин натягу: $s^2 = 0,017236$.

Результати статистичних обчислень представлено в табл. 3 та на рис. 1.

Таблиця 2

Масив вимірів діаметрів хвостовиків твердосплавних зубків (мм)

Table 2

Array of diameter measurements for the shanks of tungsten carbide insert cutters (mm)

12,119	12,128	12,118	12,122	12,020	12,101	12,115	12,134	12,129	12,105
12,118	12,132	12,105	12,134	12,029	12,120	12,113	12,124	12,131	12,128
12,131	12,129	12,128	12,135	12,031	12,126	12,124	12,130	12,130	12,132
12,122	12,130	12,131	12,138	12,035	12,129	12,130	12,130	12,132	12,132
12,123	12,133	12,131	12,108	12,020	12,124	12,129	12,123	12,125	12,119
12,130	12,130	12,121	12,121	12,020	12,131	12,126	12,127	12,119	12,129
12,130	12,128	12,119	12,129	12,019	12,115	12,128	12,127	12,121	12,131
12,123	12,129	12,129	12,126	12,028	12,128	12,122	12,130	12,123	12,128
12,132	12,127	12,127	12,117	12,030	12,135	12,136	12,125	12,121	12,122
12,128	12,129	12,130	12,120	12,026	12,122	12,123	12,126	12,122	12,123

Таблиця 3

Частотний розподіл емпіричного масиву натягів

Table 3

Frequency distribution of the empirical tension array

№	Натяг (мм)	Частота розподілу
1	0,024	1
2	0,027	2
3	0,030	3
4	0,033	2
5	0,036	7
6	0,039	10
7	0,042	22
8	0,045	36
9	0,048	46
10	0,051	78
11	0,054	108
12	0,057	150
13	0,060	202
14	0,063	213
15	0,066	292
16	0,069	410
17	0,072	373
18	0,075	475
19	0,078	580
20	0,081	410
21	0,084	666
22	0,087	800
23	0,090	705
24	0,093	790
25	0,096	753
26	0,099	567
27	0,102	504
28	0,105	444
29	0,108	270
30	0,111	199
31	0,114	188
32	0,117	177
33	0,120	178
34	0,123	102
35	0,126	100
36	0,129	76
37	0,132	29
38	0,135	12
39	0,138	2

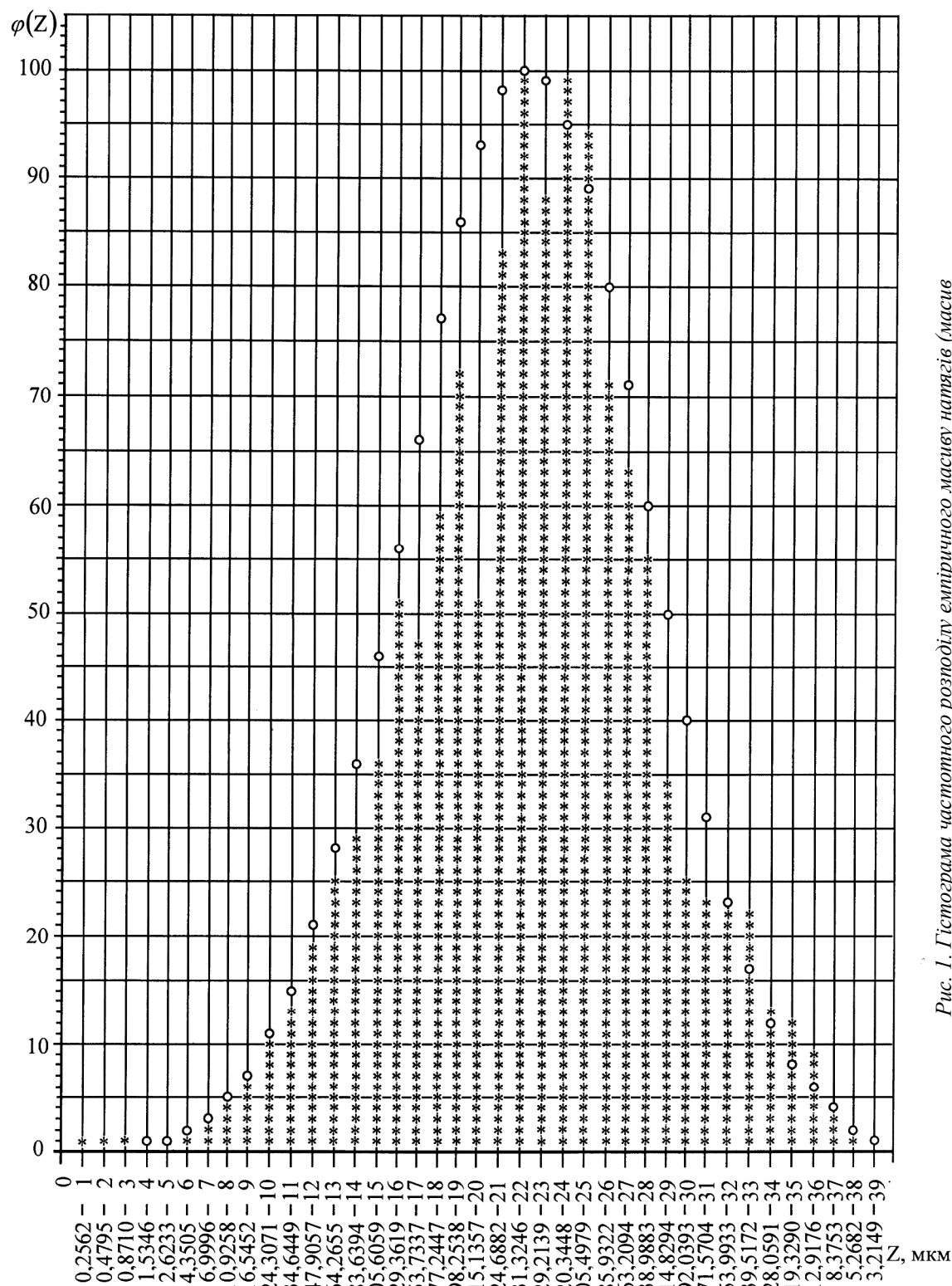


Рис. 1. Гістограма частотного розподілу емпіричного масиву натягів (масив із 800 натягів, асиметрія розподілу масиву натягів рівна -0,1241)
 Fig. 1. Histogram of the frequency distribution of the empirical tension array (an array of 800 tensions, the asymmetry of the distribution of the tension array is -0.1241)

За статистичними обчисленнями, отримано теоретичну криву випадкового розподілу величин натягів при пресуванні з'єднання “зубок – шарошка” (рис. 2).

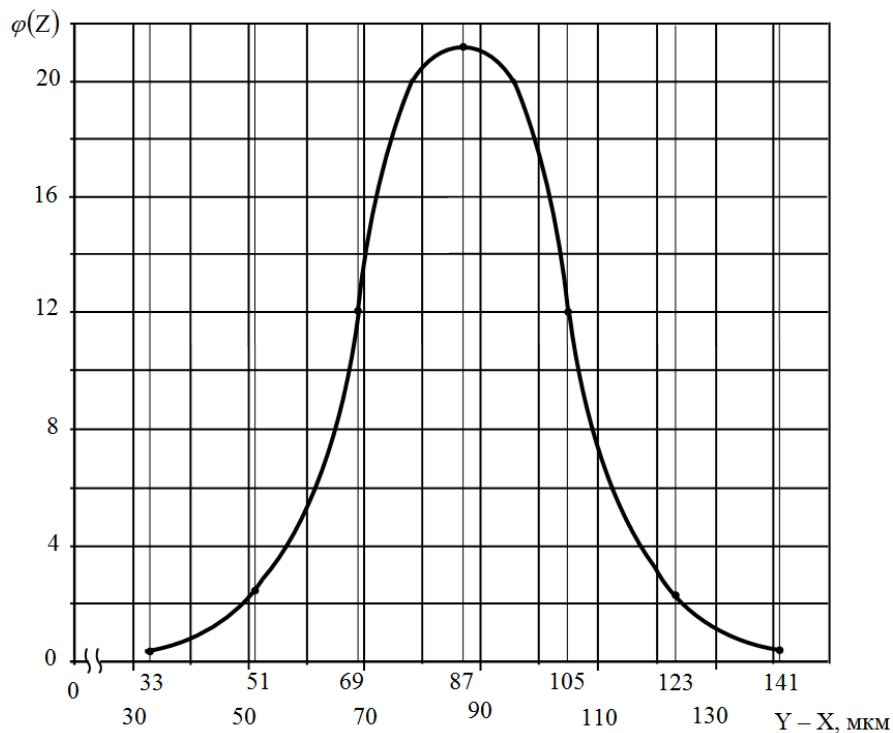


Рис. 2. Теоретична крива випадкового розподілу величин натягів при пресуванні з'єднання “зубок – шарошка”

Fig. 2. Theoretical curve of random distribution for tension values during pressing connection “cone – tungsten carbide insert cutter”

Точність складання з'єднання “зубок – шарошка”, що здійснюється з натягом, визначається полем розсіювання фактичних значень діаметрів хвостовиків зубків і відповідних отворів під їхню посадку. З цією метою досліджено тип впливу величин натягу, який характеризує точність складання на міцність з'єднання “зубок – шарошка”, яку прийнято оцінювати за значеннями зусиль випресовування зубків. Застосовуючи розроблену в [7] методику, встановили тип впливу величин натягу на зусилля запресування (рис. 3) і випресовування (рис. 3) твердосплавних зубків у з'єднанні “зубок – шарошка”.

Екстремальний тип залежності випресовування (рис. 4) твердосплавних зубків у абсолютних величинах зусилля (кгс) можна представити апроксимаційною залежністю:

$$P_B = 70Z - 0,28Z^2. \quad (11).$$

Зростання зусилля випресовування зі збільшенням величини натягу обумовлено збільшенням пружної деформації як у цементованому шарі, так і у шарах серцевини вінців. Це можна проілюструвати моделлю напружень у з'єднанні (рис. 5). Розподіл деформації у об'ємі, що збільшується зі збільшенням натягу, спричинює до зменшення градієнта росту зусилля випресовування. Екстремальна ділянка залежності відповідає натягам 118 – 125 мкм, обумовлена характеристиками міцності і пластичності зміцненої сталі шарошки. Тут треба особливо зважати на хімічний склад долатної сталі, якість технології хіміко-термічної обробки тощо [11]. Відтак, внаслідок відмінностей в показниках міцності отворів по глибині знаходження екстремальної точки головно визначається властивостями найміцнішого шару індивідуально до кожної плавки долатної сталі.

Призначення натягів, величина яких перевищує значення екстремальної точки, спричинює виникнення несприятливої пластичної деформації чи руйнування шарів шарошки (які спряжені по висоті хвостовика вставного зубка), а також виникнення нераціональних напружень у тілі твердосплавного вставного зубка.

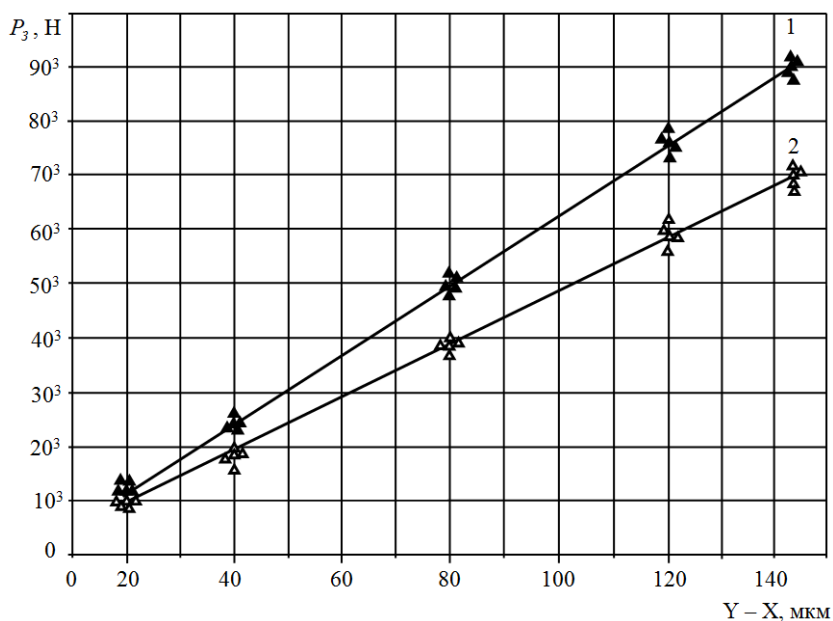


Рис. 3 Характер впливу величин натягу на зусилля запресування твердосплавних зубків (сплав ВК8) в отвори долотної сталі 14ХН3МА: 1 – твердість сталі HRC 59-60; 2 – твердість сталі HRC 48-50

Fig. 3 Perceptual pattern tension values on pressing force tungsten carbide insert cutter (HG40 in Germany) alloy) into the holes of the cone's steel 14CrHNMo: 1 – hardness of steel HRC 59-60; 2 – hardness of steel HRC 48-50

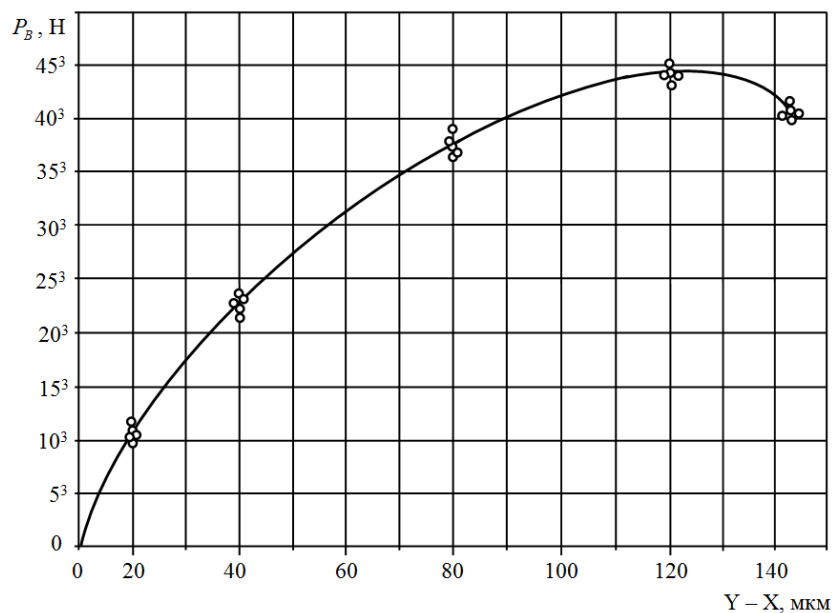


Рис. 4 Характер впливу величин натягів на зусилля випресовування твердосплавних зубків (сплав ВК8) з отворів у долотній сталі 14ХН3МА для якої HRC 59-60

Fig. 4 The perceptual pattern tension values on the force of pressing tungsten carbide insert cutter (HG40 in Germany) alloy) from holes of cone's steel 14CrHNMo for HRC 59-60

Нецементовані шари сталі характеризується значно вищою пластичністю проти загартованих цементованих шарів. Це забезпечує можливості сприймання значних пружних деформацій без руйнування. При цьому долотна сталь має здатність зміцнюватись під дією циклічних пластичних мікродеформацій, що виникають у процесі роботи шарошки. Як наслідок, виникають максимальні контактні тиски в з'єднанні “зубок – шарошка”.

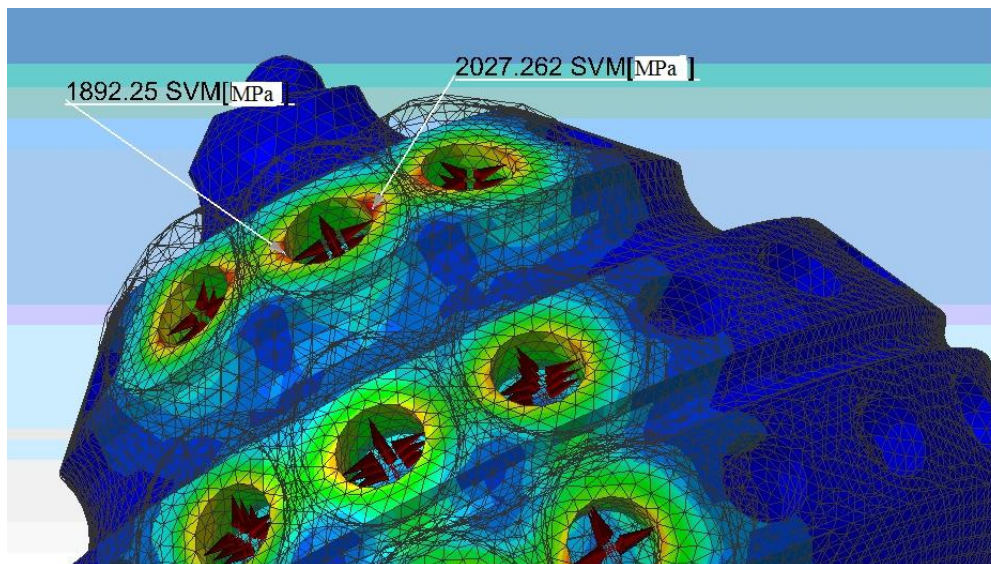


Рис. 5 Тип розподілу напружень у з'єднанні

Fig. 5 Type of stress distribution in the connection

Отже, можна виокремити раціональні границі натягів для з'єднань “твердосплавний зубок – шарошка” відповідно до твердості сталі вінців шарошок. Зокрема, ця величина є в межах 100 - 125 мкм для цементованих вінців шарошок. Це дає змогу обґрунтовано й найточніше підходити до формування селективних груп зубків та маркування під них отворів. Крім цього, як засвідчила практика, при такому підході істотно зменшуються втрати через незавершене виробництво (залишається мінімальна кількість невикористаних твердосплавних зубків).

Висновки

Складено математичну модель процесу складання з'єднань “твердосплавний зубок – шарошка”, яка дає змогу за вибірками складових ланок визначати параметри розподілу замикаючої ланки – натягу. На прикладі вивчення натягів отворів $\varnothing 12^{+0,05}$ мм під вставні твердосплавні зубки $\varnothing 12$ мм. Встановлено тип випадкового розподілу величин натягів при пресуванні з'єднання “зубок – шарошка”. Отримані частотні розподіли масиву натягів, у яких похибки розмірів складових ланок розмірних ланцюгів розподіляються згідно із законами, що подібні до нормального закону розподілу випадкових величин.

Встановлено, що величини натягів мають більший вплив на зусилля запресування твердосплавних зубків в отвори долотної сталі 14ХНЗМА, коли значення її твердості HRC 59-60, у порівнянні з HRC 48-50. В границях досліджуваних величин натягів ця залежність має лінійний тип. Що більший натяг, то вищі вимоги висуваються до показників міцності сталі.

Встановлено екстремальний тип залежності зусилля випресовування від величини натягу для з'єднання “твердосплавний зубок – шарошка”. Цю залежність як характеристику міцності з'єднання можна застосовувати для проектування технологічних операцій пресування для долотних сталей з різними показниками міцності. В нашому прикладі раціональні границі натягів для пресування

твердосплавних зубків у цементовані й загартовані вінці шарошок є в межах 100 – 125 мкм. Встановлені залежності дають змогу обґрунтовано й найточніше підходити до формування селективних груп зубків та маркування під них отворів. Такий підхід істотно зменшує втрати через незавершене виробництво.

Список літератури

1. Сліпчук А. М., Яким Р. С. Вплив технологічних параметрів на надійність кріплення вставного твердосплавного породоруйнівного оснащення бурових доліт // Український міжвідомчий науково-технічний збірник “Автоматизація виробничих процесів у машинобудуванні та приладобудуванні. 2021. № 55. С. 95-105. DOI: 10.23939/istcipa2021.55.095.
2. Крижанівський Є. І., Воєвідко І. В., Веселовський Г. С., Гук Р. Й. Підвищення якості кріплення твердосплавного озброєння шарошкових доліт // Розвідка та розробка нафтових і газових родовищ. 2008. № 4(29). С. 17-21. URL : <http://elar.nung.edu.ua/bitstream/123456789/4378/1/399p.pdf>.
3. Slipchuk A., Jakym R. Technological Parameters of Hole Shaping in the Cones Rolling-Cutter Row of Roller Cone Bits // Lecture Notes in Mechanical Engineering. 2021. P. 123-132. DOI: 10.1007/978-3-030-77719-7_13.
4. Яким Р. С., Петрина Ю. Д., Яким І. С. Науково-практичні основи технології виготовлення тришарошкових бурових доліт та підвищення їх якості і ефективності : монографія. Івано-Франківськ : Видання ІФНТУНГ, 2011. 384 с. URL : <http://www.irbis-nbuv.gov.ua/publ/REF-0000291650>.
5. Yang Y., Song D., Chen H., Chen X., Chen L. The research on the fixation strength of tapered cone bit teeth // Eng. Fail. Anal. 2021. Vol. 124. DOI: <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105318>.
6. Яким Р. С., Петрина Ю. Д., Яким І. С. Вдосконалення технології виготовлення шарошок з вставним твердосплавним породоруйнівним оснащенням для тришарошкових бурових доліт // Перспективні технології та прилади. 2014. № 5 (2). С. 181-188. URL : http://www.irbis-nbuv.gov.ua/cgi-bin/irbis_nbuv/cgiirbis_64.exe?C21COM=2&I21DBN=UJRN&P21DBN=UJRN&IMAGE_FILE_DOWNLOAD=1&Image_file_name=PDF/ptp_2014_5_41.pdf.
7. Сліпчук А. М., Яким Р. С. Вплив технологічних параметрів складання з'єднання “зубок-шарошка” на якість вставного твердосплавного оснащення шарошок бурових доліт // Вісник Національного технічного університету “ХПІ”. Серія: Нові рішення в сучасних технологіях. 2020. № 3(5). С. 3-8. DOI: 10.20998/2413-4295.2020.01.01.
8. Огірко О. І., Галайко Н. В. Теорія ймовірностей та математична статистика : навч. посіб. Львів : ЛьвівДУВС, 2017. 292 с. URL : <http://dspace.lvduvs.edu.ua/bitstream/1234567890.pdf>.
9. Теорія ймовірностей та математична статистика : навч. посіб. / О. І. Кушлик-Дивульська, Н. В. Поліщук, Б. П. Орел, П. І. Штабалюк. К. : НТУУ КПІ, 2014. 212 с. URL : <https://ela.kpi.ua/bitstream/123456789.pdf>.
10. Теорія ймовірностей та математична статистика : підручник. / Медведєв М. Г., Пашенко І. О. К. : Ліра-К, 2008. 536 с. URL : http://pdf.lib.vntu.edu.ua/books/2015/Medvedev_2008_536.pdf.
11. Математична статистика : навч. посіб. / М. С. Герич, О. О. Синявська. Ужгород : Говерла, 2021. 146 с.
12. Yakym R. S., Petryna D. Yu. Analysis of Causes and Preventing Ways of Early Workability Loss of Three-Cone Rock Bit Cutters // Metallophysics and Advanced Technologies. 2020. Vol. 42. №5, May,. P.731-751. DOI: <https://doi.org/10.15407/mfint.42.05.0731>.

A. Slipchuk, R. Jakym, O. Vishnevsky

Lviv Polytechnic National University

Drohobych State Pedagogical University by name I. Franko

THE INFLUENCE OF DESIGN AND TECHNOLOGICAL FACTORS ON THE DURABILITY OF THE INSTALLED CARBIDE EXPLOSION EQUIPMENT OF THREE-CONE DRILL BITS

Aim. In the study learning trial was made to make a mathematical model of the assembling process in connections “tungsten carbide insert cutter – cone”, while the methods of mathematical statistics were applied. This makes it possible to determine the parameters of the distribution of the closing link. Accordingly, the tension is determined by samples of constituent links. For this purpose, the amount of tension was investigated. Tension affects the change in stress, which characterizes the accuracy of the assembly on the strength of the connection “tungsten

carbide insert cutter – cone”. Depending on the magnitude of the insert pressing force, it is customary to estimate the tension in the connection. **Method.** The analysis of tungsten carbide insert cutter and holes in the layers of bit established that the size errors of the component links of dimensional chains are distributed according to laws that they are similar to the normal law of the distribution of random variables. The test was carried out according to the criteria of Pearson and Kolmogorov. **Results.** The increase in pressing force with an increase in tension is due to an increase in elastic deformation both in the cemented layer and in the core layers of the rolling-cutter row. The extreme nature of the dependence of the pressing force on the amount of tension for the connection “tungsten carbide insert cutter – con” has been established. This dependence, as a characteristic of the strength in the connection, can be used to design technological pressing operations for roller cone bits steels with different strength indicators. **Scientific novelty.** a mathematical model of the assembling process of connections “tungsten carbide insert cutter – cone” was made. It makes it possible to determine the parameters of the distribution of the closing link - tension, based on the samples of the component links. The established dependencies make it possible to reasonably and most accurately approach the formation of selective groups of teeth and the marking of holes for them. **Practical significance.** The appointment of tensions, the value of which exceeds the value of the extreme point, causes the occurrence of unfavorable plastic deformation or destruction of the layers of the shell (which are conjugated along the height of the shank of the insert cutter). They also result to the occurrence of irrational stresses in the body of the tungsten carbide insert cutter. It was established that the tension values have a greater influence on the force of pressing carbide teeth into the holes of roller cone bits steel 9310H (USA), when its hardness value is Rockwell hardness 59-60 compared to Rockwell hardness 48-50. Within the limits of the studied tension values, this dependence is linear.

Key words: durability, fatigue strength, rolling-cutter row, tungsten carbide insert cutter, approximation dependence, pressing force, tension array, selective group of insert cutter.

References

1. A. Slipchuk, R. Jakym . (2021). Vplyv tekhnolohichnykh parametriv na nadiynist kriplennya vstavnoho tverdosplavnoho porodoruynivnoho osnashchennya burovykh dolit. Avtomatizaciâ virobničih procesiv u mašinobuduvanni ta priladobuduvanni, Vol. 55, Pp. 95-105 [in Ukrainian].
2. Kryzhanivskiy E. I., Vojevidko I. V., Veselovskiy G. S., Huk R. Y. (2008). Pidvyshchennya yakosti kriplennya tverdosplavnoho ozbroynennya sharoshkovykh dolit. Exploration and development of oil and gas deposits, Vol. 4(29). Pp. 17-21 [in Ukrainian].
3. Slipchuk A., Jakym R. (2021). Technological Parameters of Hole Shaping in the Cones Rolling-Cutter Row of Roller Cone Bits. *Lecture Notes in Mechanical Engineering*, pp 123-132.
4. Yakym R. S., Petryna Yu. D., Yakym I. S. (2011). Naukovo-praktychni osnovy tekhnolohiyi vyhotovlennya trysharoshkovykh burovykh dolit ta pidvyshchennya yikh yakosti i efektyvnosti : monograph. Ivano-Frankivsk : IFNTUNG Publishing House. 384 p. [in Ukrainian].
5. Yang Y., Song D., Chen H., Chen X., Chen L. (2021). The research on the fixation strength of tapered cone bit teeth. Eng. Fail. Anal, Vol. 124.
6. Yakym R. S., Petryna Yu. D., Yakym I. S. (2014). Vdoskonalennya tekhnolohiyi vyhotovlennya sharoshok z vstavnym tverdosplavnym porodoruynivnym osnashchennyam dlya trysharoshkovykh burovykh dolit. Promising technologies and devices, Vol. 5. No 2, Pp. 181-188 [in Ukrainian].
7. Slipchuk A. M., Yakym R. S. (2020). Vplyv tekhnolohichnykh parametriv skladannya z'yednannya “zubok–sharoshka” na yakist vstavnoho tverdosplavnoho osnashchennya sharoshok burovykh dolit. Bulletin of the National Technical University“KhPI”. Series: New solutions in modern technology, Vol. 3 No 5. Pp. 3-8 [in Ukrainian].
8. Ohirko O. I., Halayko N. V. (2017). Teoriya ymovirnostey ta matematychna statystyka. L'viv. 292 p. [in Ukrainian].
9. O. I. Kushlyk-Dyvulska, N. V. Polishchuk, B. P. Orel, P. I. Shtabalyuk. (2024). Teoriya ymovirnostey ta matematychna statystyka. K. : NU KPI. 212 p. [in Ukrainian].
10. Medvedev M. G., Pashchenko I. O. (2008). Teoriya ymovirnostey ta matematychna statystyka. K. : Lira K. 536 p. [in Ukrainian].
11. M. S. Gerych, O. O. (2021). Sinyavska Matematychna statystyka. Uzhhorod : “Goverla”. 146 p. [in Ukrainian].
12. Yakym R. S., Petryna D. Y. (2020). Analysis of causes and preventing ways of early workability loss of three-cone rock bit cutters. Metallofiz. Noveishie Tekhnologii, Vol. 42, Pp.731-751.