

областями. Складений з урахуванням довірчих областей задавання параметрів алгоритм дозволяє визначати розташування замкненої опуклої області відносно границі області стійкості, представленої каркасом у багатовимірному евклідовому просторі E^n параметрів регульованої системи.

1. Иващенко Н.Н. Автоматическое регулирование. Теория и элементы систем. – М., 1978. – 736 с. 2. Калінін С.Г., Петренко П.Я. Про критичну позовжню силу бурової вишки // Динаміка, міцність та проектування машин та приладів. – Львів, 1991. – С. 43–45. 3. Мартин С.В. Нечіткі метрики для моделювання систем і процесів з нестрого визначеними параметрами // Прикладна геометрія та інженерна графіка. – К., 1997. – Вип. 62. – С. 103–106. 4. Cantor G. Gesamelte Abhandlungen mathematischen und philosophischen Inhalts. Repr. ed. Berlin e.a., Springer. – VIII. – 1980. – 486 s. 5. Берже М. Геометрія. Т1. – М., 1987. – 560 с. 6. Giles R. Lukasiewicz. Logic an fuzzy set theory // Proc. Int. Symp. Multiple. – Valued Log. Bloamington Ind. – 1975. – S. 197–211.

УДК 622.242.6-33.002.2

Ю.Д. Петрина, О.Л. Жидецька, Б.О. Борушак

Івано-Франківський національний технічний університет нафти і газу,
кафедра технології нафтогазового машинобудування

ТЕХНОЛОГІЧНІ ШЛЯХИ ЗАБЕЗПЕЧЕННЯ НАДІЙНОСТІ ТА ЕФЕКТИВНОСТІ РОБОТИ ЗАХИСНОЇ ВТУЛКИ ЕЛЕКТРОВІДЦЕНТРОВИХ НАСОСІВ

© Петрина Ю.Д., Жидецька О.Л., Борушак Б.О., 2002

Розроблено сукупність технологічних процесів, які базуються на прогресивних методах поверхневого і об'ємного зміцнення деталей, з використанням діючих на підприємствах технологічних процесів. Запропоновано оптимальну технологію виготовлення втулки електровідцентрового занурюваного насоса.

Working up of the technological process jointly based on progress surface and volumetrical method of the solidity machine parts with using plant's working processis. Supplying of the optimum technology process of the manufacture of electrocentrifugal submersion pump sleere.

Понад 60 відсотків свердловин з механізованим способом видобутку нафти в Україні оснащені занурюваними багатоступінчастими відцентровими електронасосами (ЕВН). Найслабкішими елементами в конструкції ЕВН є радіальні опори, а саме захисні втулки та торцеві опорні шайби.

Традиційно для виготовлення робочих органів ЕВН використовують сірий модифікований чавун. Проте забезпечення надійності роботи будь-якого виробу визначається не тільки його конструкцією чи використанням нових матеріалів, а й значною мірою технологією його виготовлення. Тобто істотний вплив на якість виробу мають технологічні параметри його виготовлення та зміцнення.

Загальний підхід до оцінки технологічного процесу полягає в його детальному аналізі як на стадії отримання заготовки, так і під час механічної і викінчувальної обробки, які тісно пов'язані з умовами роботи виробу, а також техніко-економічні розрахунки і обґрунтування оптимального маршруту.

Аналіз технологічного процесу з метою оптимізації технологічних параметрів для забезпечення максимальної надійності повинен включати такі етапи:

- аналіз зіставних технологічних процесів виготовлення втулки;
- побудова узагальненого маршруту виготовлення втулки ;
- визначення впливу окремих операцій технологічного маршруту;
- моделювання технологічного маршруту виготовлення втулки ;
- визначення впливу технологічних параметрів на показники якості поверхні, які забезпечують стійкість поверхні до спрацювання;
- дослідження процесів, які відбуваються з матеріалами, що наносяться на поверхню втулки;
- лабораторні і промислові дослідження розробленого технологічного процесу;
- визначення економічних показників виготовлення і експлуатації втулки.

При цьому повинні враховуватись фактори, закономірний вплив яких має бути спрямований на:

- розробку виготовлення заготовок;
- розробку високопродуктивних операцій;
- підвищення точності заготовок і механічної обробки;
- розробку і впровадження методів маловідходної, енергозберігаючої і зміцнювальної технологій;
- технологічне забезпечення надійності втулки ;
- підвищення рівня технологічності виготовлення втулки ;
- автоматизацію і механізацію виробництва втулки ;
- використання методів автоматизованого проектування технологічних процесів отримання заготовки і її механічної обробки і зміцнення.

Вирішення перерахованих завдань потребує проведення великого обсягу як теоретичних, так і практичних досліджень.

Аналіз структури порівнюваних технологічних маршрутів виготовлення втулки

Загалом технологічний маршрут виготовлення втулки визначається необхідним рівнем його якості з врахуванням нормативно-технологічної документації та виду заготовки. За заданою величиною твердості і зносостійкості призначається спосіб зміцнення поверхні, а залежно від нього і вимог до точності і шорсткості поверхні призначають варіанти викінчувальної обробки. Керуючись вимогами до якості металу втулки, вибирають технологічні методи термообробки та викінчувальної обробки втулки.

Отже, технологічний маршрут виготовлення втулки складається з таких груп операцій (табл. 1):

1. Заготівельні.
2. Термообробка.
3. Просочування.
4. Калібрування.
5. Механічна обробка.

6. Підготовка до поверхневого зміцнення.
7. Поверхнєве зміцнення.
8. Викінчувальна механічна обробка.
9. Термічна обробка.

Вибір групи заготівельних операцій визначається такими вимогами: технологічні властивості матеріалу заготовок, структурні зміни при термообробці, міцність зчеплення нанесеного покриття з основою; конструктивні форми і розміри заготовок; необхідна точність отримання заготовки, шорсткість і якість її поверхонь, програма випуску і терміни виконання цієї програми.

Таблиця 1

Технологічні маршрути виготовлення втулки

	Технологічні маршрути					
	M1	M2	M3	M4	M5	M6
Заготівельні операції	Різання прокату					
				Підготовка суміші порошоків		
					Лиття заготовки з СЧ-20	
						Лиття заготовки з модифікованого чавуна
Термічна обробка					Старіння	
Пропикування				Просочування маслом з MoS ₂		
Калібрування				Калібрування зовнішньої та внутрішньої поверхні		
Механічна обробка	Чорнове точіння				Чорнове точіння	
	Чистове точіння				Чистове точіння	
	Прошивка паза			Прошивка паза	Прошивка паза	
Підготовка до поверхневого зміцнення		Обезжирення, піскоструменева обробка				
Поверхнєве зміцнення	Лазерне гартування					
		Плазмове напилення				
			Дифузійне насичення			
Викінчувальна обробка		Шліфування			Шліфування	
				Галтовка		
Термічна обробка						Гартування, відпуск

Найбільш вагомим в технологічному процесі виготовлення втулки є поверхнєве зміцнення, яке залежить від матеріалу заготовки і надалі визначає подальші операції обробки поверхневого шару, а також надійність з'єднання його з матеріалом основи та

зносостійкість. При цьому матеріал заготовки, в комплексі з методом поверхневого зміцнення, визначає об'єм як попередньої механічної обробки, так і викінчувальної.

Побудова узагальненого маршруту виготовлення втулки

При побудові технологічного маршруту виготовлення втулки необхідно вирішувати два завдання: визначення переліку операцій і послідовність їх виконання. Вирішення цих завдань вимагає виявлення закономірностей технологічного проектування, які роблять їх багатоваріантними і спрямованими на забезпечення вимог до якості плунжера і місця вибраної операції в технологічному маршруті.

Логічні умови вибору операцій можна розділити на групи. Характерними для груп є умови, які визначають якість плунжера. Основними умовами є:

- A1. Співвісність внутрішньої та зовнішньої циліндричних поверхонь.
- A2. Точність розміру отвору.
- A3. Точність розміру зовнішньої циліндричної поверхні.
- A4. Шорсткість зовнішньої циліндричної поверхні.
- A5. Відхилення від круглості зовнішньої циліндричної поверхні.
- A6. Відхилення від циліндричності зовнішньої циліндричної поверхні.
- A7. Покращання оброблюваності матеріалу.
- A8. Твердість поверхневого шару втулки.
- A9. Надійність фіксації втулки на валі.
- A10. Зменшення контактних деформацій.
- A11. Скорочення терміну припрацювання.
- A12. Зменшення коефіцієнта тертя.
- A13. Підвищення стійкості до абразивного зношування.
- A14. Підвищення зносостійкості.
- A15. Підвищення корозійної стійкості.
- A16. Збільшення ресурсу роботи.
- A17. Підвищення надійності з'єднання поверхневого шару з матеріалом основи.
- A18. Економія дорогих матеріалів.
- A19. Підвищення продуктивності праці.
- A20. Підвищення коефіцієнта використання матеріалу.
- A21. Зменшення кількості бракованих заготовок.
- A22. Зниження собівартості виготовлення втулки.

Виконання кожної умови зумовлює підвищення якості виготовлення втулки. Наведені умови A1 – A22 визначають конструкторсько-технологічні, експлуатаційні і економічні показники якості втулки. Систематизація умов за групами наведена в табл. 2.

Таблиця 2

Систематизація умов за групами

№ з/п	Логічні умови якості виготовлення втулки	Група показників якості втулки
1	A1, A2, A3, A4, A5, A6 A7, A8	Конструкторсько-технологічні
2	A9, A10, A11, A12, A13, A14, A15, A16, A17	Експлуатаційні
3	A18, A19, A20, A21, A22	Економічні

Впорядкований перелік операцій виготовлення втулок є узагальненим технологічним маршрутом, який включає в себе всі операції виготовлення втулки за різними існуючими і проектними маршрутами.

На основі аналізу відомих технологій систематизовані технологічні процеси виготовлення втулки:

М1 - технологічний процес виготовлення втулки із сталюї заготовки – круглого прокату - з подальшим лазерним гартуванням.

М2 - технологічний процес виготовлення втулки із сталюї заготовки – круглого прокату - з подальшим плазмовим наплавленням.

М3 - технологічний процес виготовлення втулки із сталюї заготовки – круглого прокату - з подальшим дифузійним насиченням поверхневого шару нітридом бору.

М4 - технологічний процес виготовлення втулки методом порошкової металургії з композиту на основі латуні.

М5 - технологічний процес виготовлення втулки із заготовки – чавунного виливка, СЧ-20.

М6 - технологічний процес виготовлення втулки із заготовки – чавунного виливка, модифікований чавун.

Узагальнений технологічний маршрут виготовлення втулки є впорядкована множина операцій для різних методів отримання заготовки (див. рисунок).

1. Заготівельні операції – З.

А_{З1} – різання заготовки з круглого прокату;

А_{З2} – заготовка з композиту на основі латуні, виготовлена методами порошкової металургії;

А_{З3} – виливок з СЧ-20;

А_{З4} – виливок з модифікованого чавуна.

2. Термічна обробка – С.

А_{С1} – старіння виливка.

3. Просочування – Н.

А_{Н1} – просочування маслом і MoS_2 .

4. Калібрування – К.

А_{К1} – калібрування спеченої заготовки в пресформі.

5. Механічна обробка – М

А_{М1} – чорнова обробка втулки;

А_{М2} – чистова обробка втулки;

А_{М3} – прошивання пазу в отворі.

6. Підготовка поверхні до зміцнення – О.

А_{О1} – обезжирення і струменево-абразивна обробка.

7. Поверхнєве зміцнення – П.

А_{П1} – лазерне гартування зовнішньої циліндричної поверхні втулки;

А_{П2} – плазмове наплавлення зовнішньої циліндричної поверхні втулки;

А_{П3} – поверхнєве дифузійне насичення поверхонь втулки.

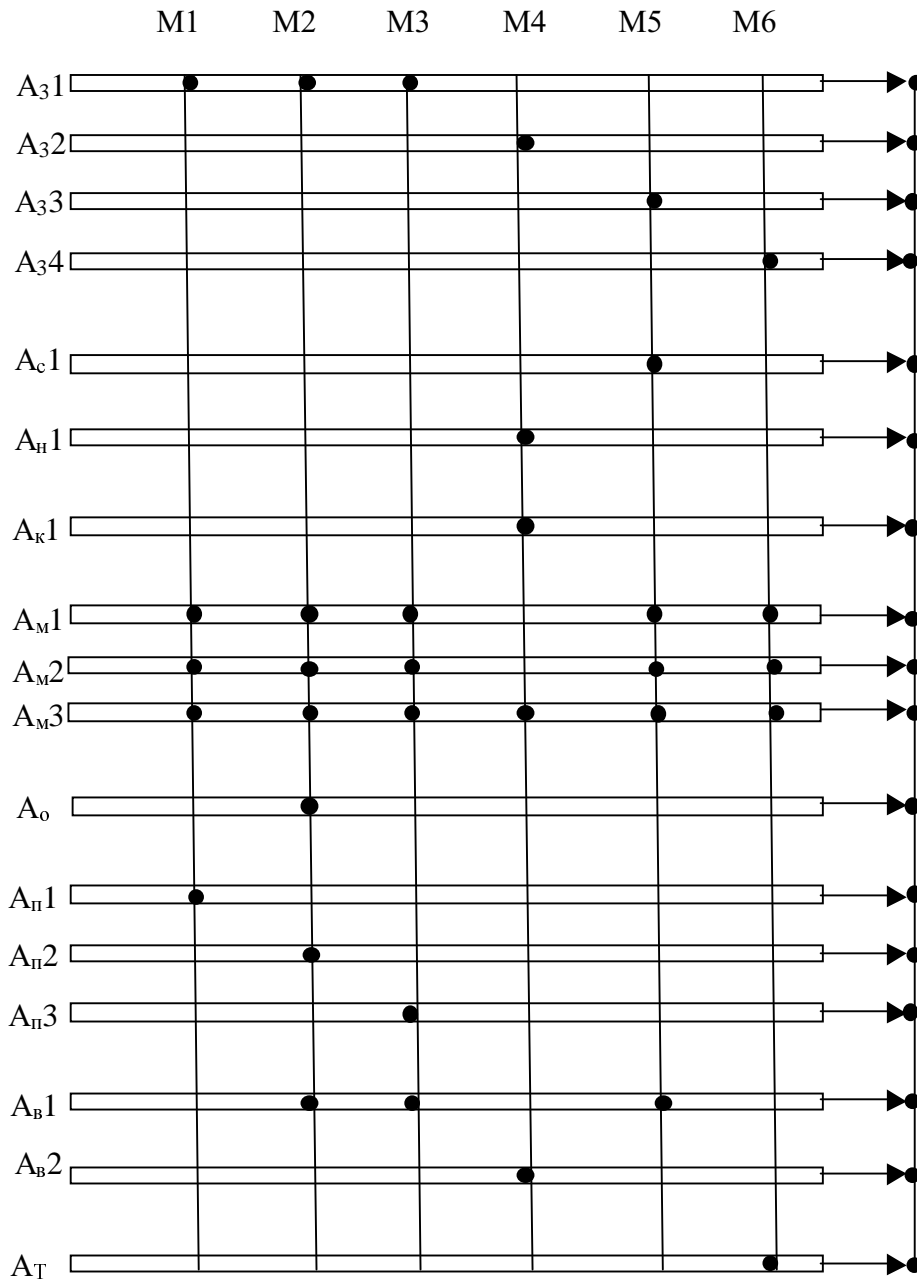
8. Викінчувальна обробка – В.

А_{В1} – шліфування втулки;

А_{В2} – галтовка .

9. Термічна обробка – Т.

А_{Т1} – гартування з подальшим відпуском.



*Узагальнений та розроблені маршрути
виготовлення втулки*

Логічний зв'язок між операціями узагальненого маршруту і умовами, які визначають якість втулки, наведено в табл. 3.

Таблиця 3

Взаємозв'язок між умовами якості втулки і операціями узагальненого маршруту

Група операцій	Код операцій	Умови якості виготовлення втулки
1	2	3
1. Заготівельна	A ₃ 1	A17, A20, A21
	A ₃ 2	A4, A11, A12, A15, A21
	A ₃ 3	A10, A11, A18, A19, A20, A22
	A ₃ 4	A10, A11, A12, A13, A14, A16, A18, A19, A20, A22
2. Термічна обробка	A _с 1	A7

1	2	3
3. Просочування	Ан1	А12
4. Калібрування	Ак1	А2, А3, А5, А6
5. Механічна обробка	Ам1	А2, А3, А5
	Ам2	А2, А3, А5
	Ам3	А9
6. Підготовка поверхні до зміцнення	Ао	А17
7. Поверхнєве зміцнення	Ап1	А8, А10, А13, А16, А18
	Ап2	А8, А10, А13, А16
	Ап3	А8, А10, А13, А16
8. Викінчувальна обробка	Ав1	А1, А2, А3, А4, А5; А6
	Ав2	А4
6. Термічна обробка	Ат1	А2, А3; А8, А10, А11, А13, А14, А16

Аналіз базових, розробленого і узагальненого технологічних маршрутів виготовлення втулки

Аналіз базових, розробленого і узагальненого технологічних маршрутів виготовлення втулки виконано на основі матриці, складеної з врахуванням можливостей реалізації технологічних маршрутів і забезпечення ними необхідних умов якості втулки.

Технологічними маршрутами, які найбільше задовольняють вимоги до втулки є узагальнений та маршрути М6 і М1.

Важливою умовою ефективності технологічного маршруту є кількість операцій в технологічному маршруті, які забезпечують умови якості виробу. Найбільш ефективними в цьому плані є маршрути М6, М5, М3. Водночас слід відзначити найвагоміші операції Аз4, Ап1, Ав1, Ат1, які забезпечують найповніше охоплення умов якості втулки.

Основними групами показників, які визначають якість втулки, є конструкторсько-технологічні та експлуатаційні показники. Аналіз матриць забезпечення технологічних маршрутів М1-М6 показує (табл. 4, 5), що діючий технологічний маршрут виготовлення серійних втулок М5 на 16 % забезпечує повнішу відповідність конструкторсько-технологічним показниками якості втулки. Проте за загальними показниками запропонований технологічний процес М6 виготовлення втулки з модифікованого чавуну на 33 % повніше забезпечує відповідність порівняно з діючим маршрутом М5.

Потужності технологічних маршрутів М1, М3, М5 є співвимірні, що пояснюється високою трудоемкістю виготовлення зміцненого поверхневого шару, необхідністю застосування дорогого технологічного обладнання, а також більшою кількістю операцій для реалізації технологічних процесів. Проте за експлуатаційними показниками розроблений маршрут М6 забезпечує на 80 % повнішу відповідність показникам якості втулки, що дає можливість очікувати від втулок, виготовлених маршрутом М6, більш високої довговічності і збільшення ресурсу роботи, що, відповідно, зумовлює підвищення економічних показників. За загальними показниками (табл. 6) маршрут М6 теж має найвищу потужність.

Таблиця 4

**Матриця забезпечення базових, розроблених
і узагальнених технологічного маршрутів умовам
конструкторсько-технологічної групи показників і якості виготовлення втулки**

	Y ₃	M1	M2	M3	M4	M5	M6
A ₃₁	0	X	X	X	X	X	X
A ₃₂	1	X	X	X	X	X	X
A ₃₃	0	X	X	X	X	X	X
A ₃₄	0	X	X	X	X	X	X
A _{C1}	1	X	X	X	0	X	X
A _{П1}	0	X	X	X	X	X	X
A _{К1}	4	X	X	X	4	X	X
A _{М1}	3	3	3	3	X	3	3
A _{М2}	3	3	3	3	X	3	3
A _{М3}	0	0	0	0	0	0	0
A ₀₁	1	X	X	X	X	X	X
A _{П1}	1	X	X	X	X	X	X
A _{П2}	1	X	X	X	X	X	X
A _{П3}	1	X	X	X	X	X	X
A _{В1}	6	X	X	X	X	X	X
A _{В2}	1	X	X	X	X	X	X
A _{Г1}	3	X	X	X	X	X	X
Кількість операторів якості виготовлення втулки	25	7	14	12	6	13	9
Кількість операцій, які забезпечують тех. маршрут	17	5	7	6	5	6	5
Потужність техноло- гічного маршруту	1,4	1,4	2	2	1,2	2,1	1,8

Таблиця 5

**Матриця забезпечення базових, розроблених і узагальненого технологічних
маршрутів умовам експлуатаційної групи показників і якості виготовлення втулки**

	Y ₃	M1	M2	M3	M4	M5	M6
A ₃₁	0	X	X	X	X	X	X
A ₃₂	1	X	X	X	X	X	X
A ₃₃	2	X	X	X	X	2	X
A ₃₄	7	X	X	X	X	X	7
A _{C1}	0	X	X	X	1	X	X
A _{П1}	1	X	X	X	X	X	X
A _{К1}	0	X	X	X	0	X	X
A _{М1}	0	0	0	0	X	0	0
A _{М2}	0	0	0	0	X	0	0
A _{М3}	1	1	1	1	1	1	1
A ₀₁	1	X	X	X	X	X	X
A _{П1}	3	X	X	X	X	X	X
A _{П2}	3	X	X	X	X	X	X
A _{П3}	3	X	X	X	X	X	X
A _{В1}	0	X	X	X	X	0	X
A _{В2}	0	X	X	X	X	X	X
A _{Г1}	5	X	X	X	X	X	5
Кількість операторів якості виготовлення втулки	27	4	5	4	3	3	13
Кількість операцій, які забезпечують тех. маршрут	17	5	7	6	5	6	5
Потужність техноло- гічного маршруту	1,59	0,8	0,71	0,67	0,6	0,5	2,6

Таблиця 6

**Матриця забезпечення базових, розроблених
і узагальненого технологічних маршрутів умовам якості виготовлення втулки**

	Y ₃	3	5	6	10	1	1	4	3	3	1	1	5	4	4	6	1	8	64	17	3,76
	M1	3	X	X	X	X	X	X	3	3	1	X	5	X	X	X	X	X	15	5	3
	M2	3	X	X	X	X	X	X	3	3	1	1	X	4	X	6	X	X	17	7	2,43
	M3	3	X	X	X	X	X	X	3	3	1	X	X	X	4	6	X	X	20	6	3,33
	M4	X	5	X	X	X	1	4	X	X	1	X	X	X	X	X	1	X	12	5	2,4
	M5	X	X	6	X	1	X	X	3	3	1	X	X	X	X	6	X	X	20	6	3,33
	M6	X	X	X	10	X	X	X	3	3	1	X	X	X	X	X	X	8	25	5	5
	A ₃₁																				
	A ₃₂																				
	A ₃₃																				
	A ₃₄																				
	A _{C1}																				
	A _{П1}																				
	A _{К1}																				
	A _{М1}																				
	A _{М2}																				
	A _{М3}																				
	A ₀₁																				
	A _{П1}																				
	A _{П2}																				
	A _{П3}																				
	A _{В1}																				
	A _{В2}																				
	A _{Г1}																				
	Кількість операторів якості виготовлення втулки																			5	
	Кількість операцій, які забезпечують тех. маршрут																			5	
	Потужність технологічного маршруту																			5	

Отже, технологічні передумови досягнення високої якості втулки в розроблених технологічних маршрутах свідчать про їх потенційні можливості і необхідність їх повнішого дослідження.