

СТАТИСТИЧНА ОЦІНКА ВПЛИВУ ЗМІН ХІМІЧНОГО СКЛАДУ ТРУБНОЇ СТАЛІ 17Г1С НА ЇЇ МЕХАНІЧНІ ВЛАСТИВОСТІ

Ю.Д.Петрина, Д.С.Вуйцік, Л.Г.Петрина, О.О.Онищук

ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 43024,

e-mail: public@nung.edu.ua

Установлено, що между химическим составом трубной стали 17Г1С и ее механическими свойствами имеются ощутимые статистические связи. Теснота этих связей и их характер непостоянны и изменяются во времени.

It was established that between chemical composition of pipe steel (17Г1С) and its mechanical properties there are substantial statistical ties. Closeness of these ties and their character isn't constant and is changed in time.

Навіть найпростіші за складом конструкційні сталі являють собою вельми складні фізико-хімічні системи. Їх властивості визначаються множиною незалежних змінних. Серед них хімічний склад, умови розливання та кристалізації, умови прокатування та охолодження тощо. Можна стверджувати, що зараз уже не залишилось такого фактора, вплив якого на властивості сталі не був би предметом вивчення. Накопичений експериментальний матеріал є надзвичайно корисний, оскільки від нього починаються пошуки нових композицій сталей із заданими властивостями. Однак кількісне прогнозування властивостей сталі на базі цього матеріалу неможливе. Не дають такої можливості, поки що, і обмежені успіхи фізики міцності та пластичності реальних металів.

Природознавство часто зіштовхується з такими випадками, коли вплив ряду аргументів на шукану функцію не можна розрахувати теоретично, неможливо систематично дослідити експериментально, але можна багатократно спостерігати в природі чи в процесі виробничої або іншої господарської діяльності людини. В таких випадках цей вплив може бути вивчений статистичними методами.

Статистичних досліджень одночасного впливу різних факторів на властивості сталей порівняно небагато. Це пояснюється, перш за все, тим, що до недавнього часу до появи можливості широко використовувати швидкодіючу обчислювальну техніку — такі дослідження обмежувалися великим обсягом обчислювальної роботи.

Серед статистичних досліджень в області механічних властивостей сталей слід відзначити роботу [4], в якій вперше вивчалась залежність ударної в'язкості від хімічного складу сталі. В роботі [2] вивчався зв'язок механічних властивостей, що визначались при статичному розтягу, з хімічним складом сталі. В число змінних факторів, крім хімічного складу, вводились також характеристики структури та режиму термічної обробки сталі. У всіх дослідженнях передбачалася лінійна залежність досліджуваних властивостей від змінних чинників і незалежність впливу цих чинників.

В дійсності, як це можна стверджувати на основі результатів багато чисельних дослі-

джень (в тому числі власних), вплив більшості чинників на властивості сталей нелінійний. Проте, можливо, що в тих випадках, коли чинники змінюються у вузьких межах, нелінійністю їх впливу можна знехтувати.

В роботі [3] було встановлено загальні закономірності, що характеризують взаємодію між структурою, механічними властивостями та зносостійкістю. Ці залежності дають можливість створити математичні моделі, за допомогою яких можна керувати механічними властивостями сталей ціленаправленим підбором легуючих елементів.

Для оцінки загальних закономірностей впливу легуючих елементів на механічні властивості сталі застосовані методи регресійного аналізу. За рахунок отриманих залежностей проведено оптимізацію хімічного складу сталі та призначено хімічний склад нової високоміцної вуглецевої сталі Д5 для виготовлення шарошок бурових доліт.

Проте для трубних сталей такі дослідження на сьогоднішній день повністю відсутні. Тому метою даної роботи було проведення статистичної оцінки впливу змін хімічного складу трубної сталі 17Г1С на її механічні властивості. Під час аналізу використані чинники, представлені в таблиці 1.

Для всіх чинників були побудовані гістограми розподілень і розраховані середні значення та середньоквадратичні відхилення (табл. 2).

Для всіх чинників, за виключенням ударної в'язкості при температурі 293К на поздовжніх зразках, розподіли виявились близькими до нормальних. Такий характер розподілів дає можливість використати методи кореляційного аналізу.

Розгляд розподілу ударної в'язкості на поздовжніх зразках при температурі 293К (рис. 1) дає можливість зробити деякі висновки про схильність сталі 17Г1С до холодноламкості. Цей розподіл дуже асиметричний. Значне число зразків має ударну в'язкість нижче значення 44,93 Дж/см², яке являє собою нижню границю модального інтервалу. На величини вище модального інтервалу припадає порівняно небагато спостережень. Якщо б для всіх зразків досліджувальної сталі температура 293К відповідала

Таблиця 1 — Чинники, використані для оцінки взаємозв'язків сталі 17Г1С

Назва чинника	Од. вимір.	Познач.
Вихідні (незалежні) чинники		
Ударна в'язкість при 293К, поздовжні зразки	Дж/см ²	KCV ⁶ ₂₉₃
Те ж, поперечні зразки	- " -	KCV ⁿ ₂₉₃
Те ж, при 253 К, поздовжні зразки	- " -	KCV ⁶ ₂₅₃
Те ж, поперечні зразки	- " -	KCV ⁿ ₂₅₃
Границя міцності	МПа	σ_B
Границя плинності	МПа	σ_T
Границя видовження	%	δ_5
Вхідні (незалежні) чинники		
Вміст вуглецю	вага, %	[C]
- " - марганцю	- " -	[Mn]
- " - кремнію	- " -	[Si]
- " - фосфору	- " -	[P]
- " - сірки	- " -	[S]
- " - хрому	- " -	[Cr]
- " - нікелю	- " -	[Ni]
- " - міді	- " -	[Cu]

Таблиця 2 — Середні значення чинників і їх середньоквадратичні відхилення

Чинник	Середнє значення	Середньоквадратичне відхилення
KCV ⁶ ₂₉₃	41,57	2,26
KCV ⁿ ₂₉₃	24,22	2,12
KCV ⁶ ₂₅₃	30,02	2,62
KCV ⁿ ₂₅₃	15,04	1,54
σ_B	59,33	2,01
σ_T	423,2	2,19
δ_5	27,12	2,71
[C]	0,171	0,013
[Mn]	1,402	0,052
[Si]	0,553	0,029
[P]	0,029	0,0047
[S]	0,026	0,0037
[Cr]	0,043	0,0073
[Ni]	0,109	0,0130
[Cu]	0,102	0,0154

би області повністю в'язких зломів, то значення ударної в'язкості при цій температурі могли б розсіюватися тільки за випадковими причинами. Розподіл повинен був би бути близьким до нормального. Встановлений характер розподілу говорить про те, що температура 293К для значної частини зразків, що складає біля 60%, відповідає початку температурного інтервалу переходу від в'язкого руйнування до крихкого.

Рівняння регресії для зв'язків досліджуваних факторів відшукувалися при спрощеному передбаченні про лінійний і адитивний вплив чинників. В таблиці 3 наведені коефіцієнти в рівняннях регресії (в натуральному виразі), що зв'язують механічні властивості досліджуваної сталі з її хімічним станом, а також множинні коефіцієнти кореляції для відповідних зв'язків

$$(\sigma_B \text{ і } \sigma_T \text{ в } [\frac{\text{даН}}{\text{мм}^2}]).$$

Рівняння регресії для ударної в'язкості підтверджують відомий негативний вплив вуглецю, фосфору та сірки і позитивний вплив кремнію. На перший погляд, неочікуваним виглядає вплив марганцю та нікелю. Збільшення вмісту цих елементів в тій області концентрації, до якої відноситься досліджувана сталь, повинно би, відповідно до результатів багатьох досліджень, підвищувати опірність сталі крихким руйнуванням, за низьких температур. Тому можна було очікувати, що марганець і, особливо, нікель повинні підвищувати ударну в'язкість. Вирахувані рівняння регресії передбачають зворотній вплив цих елементів на ударну в'язкість сталі у верхній частині інтервалу перехідних температур, до якої для даної сталі відносяться температури 293К і 253К. Для вирішення цього, на перший погляд, протиріччя звернемося до рис. 2. На ньому крива А побудована за експериментальними даними, отриманими при випробуваннях поздовжніх зразків. Ця проба не входила в досліджувальну сукупність. Для цієї проби за рівняннями табл. 3 вирахувані значення ударної в'язкості при температурах 293К і 253К. Ці значення, позначені точками 1 і 2, виявились дуже близькими до середніх експериментальних значень ударної в'язкості. Потім за рівняннями регресії було обчислено значення ударної в'язкості, які можна було би очікувати при добавці до сталі 0,1% нікеля (точки 3 і 4) або 0,1% вуглецю (точки 5 і 6). На рис. 2 проведено ще дві криві Б і В, які побудовані, як і крива А, за експериментальними даними.

Вибір сталі для роботи при низькій температурі звичайно ґрунтується на умовній критичній температурі крихкості, за яку приймається така температура, при якій ударна в'язкість досягає при охолодженні деякої мінімально допустимої величини (наприклад, 20 Дж/см²).

Виконана на рис. 2 побудова свідчить, що зниження ударної в'язкості і при 293К, і при 253К ще не означає підвищення критичної температури крихкості, що оцінюється за деяким малим значенням ударної в'язкості. Зниження ударної в'язкості при двох температурах, що

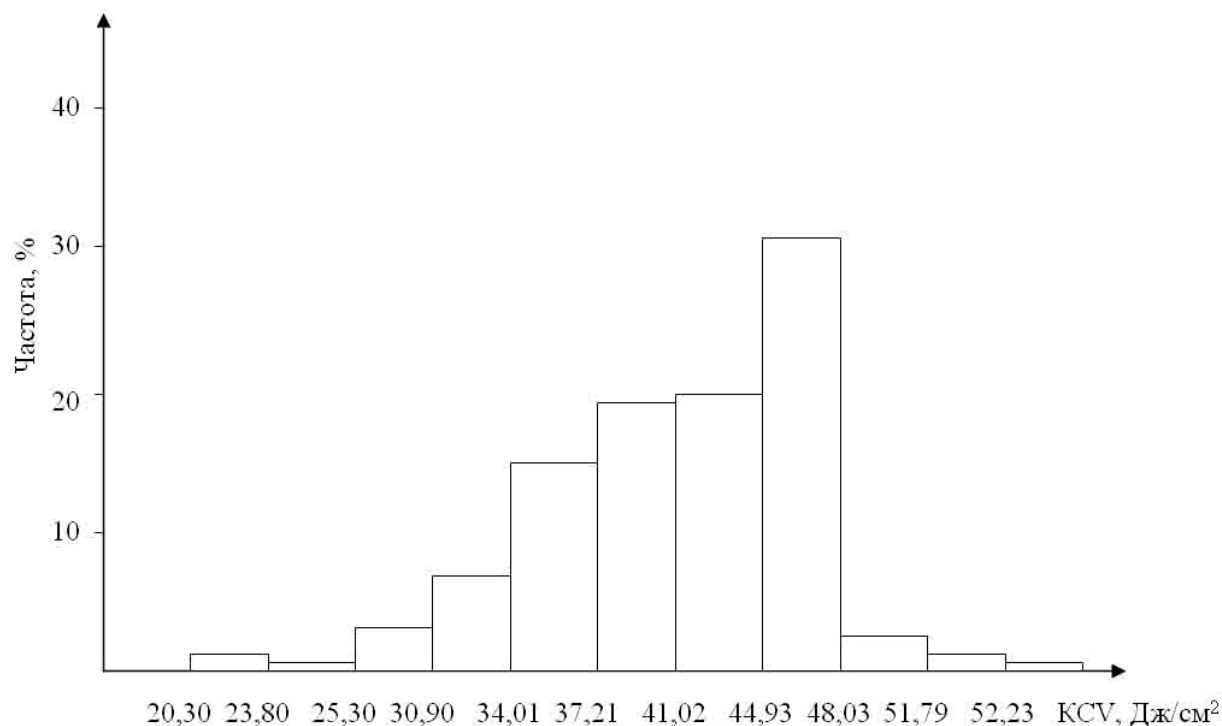


Рисунок 1 — Розподіл значень ударної в'язкості сталі 17Г1С на поздовжніх зразках при температурі 293 К

Таблиця 3 — Рівняння регресії для механічних властивостей сталі та множинні коефіцієнти кореляції (R)

Функція	Вільний член	Значення коефіцієнтів при змінних								R
		[C]	[Mn]	[Si]	[P]	[S]	[Cr]	[Ni]	[Cu]	
KCV_{293}^6	25,67	-37,41	-3,77	2,12	-69,82	-33,15	27,51	-26,10	4,82	0,371
KCV_{253}^6	19,99	-38,29	-7,28	1,00	-89,56	-24,00	40,05	-19,22	22,48	0,410
KCV_{293}^n	22,71	-38,35	-10,82	9,92	-87,27	-28,81	20,48	-13,48	-9,54	0,472
σ_B	31,96	47,07	9,84	7,38	116,4	-28,80	-35,12	13,34	-20,69	0,686
σ_T	22,36	6,87	7,26	-2,31	33,58	48,91	-20,20	17,38	-12,38	0,271
δ_5	38,44	-43,87	-8,11	-0,096	-57,40	33,17	69,40	14,79	14,94	0,391

відноситься до верхньої частини інтервалу окрихчення, може супроводжуватися як підвищенням, так і пониженням критичної температури крихкості.

Для досліджуваної сукупності спостережень було знайдено також рівняння регресії, що зв'язують ударну в'язкість на поздовжніх зразках і стандартні показники механічних властивостей.

Ці зв'язки виявились більш тісними, ніж зв'язки ударної в'язкості з хімічним складом. Коефіцієнти множинної кореляції для ударної в'язкості при 293К і 253К були 0,461 і 0,472, відповідно.

Рівняння регресії для цих зв'язків мають вигляд:

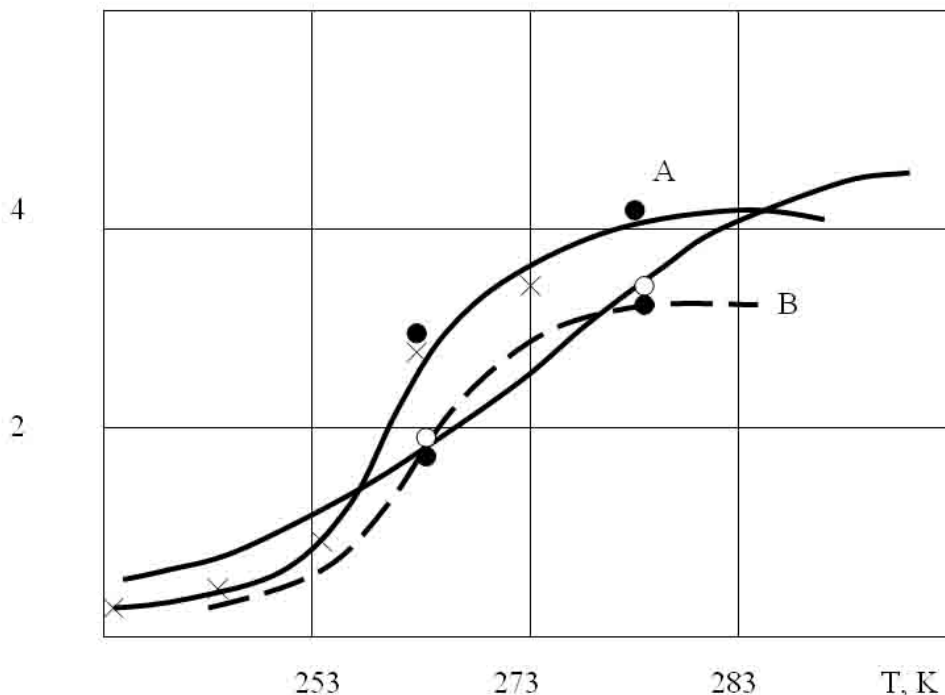
$$KCV_{293}^6 = 63,41 - 0,0495\sigma_B + 0,0091\sigma_T - 0,022\delta_5 + 0,074\psi ;$$

$$KCV_{253}^6 = 49,82 - 0,0501\sigma_B + 0,0082\sigma_T + 0,065\delta_5 + 0,086\psi .$$

В даних рівняннях σ_B і σ_T в [МПа].

З фізичної точки зору більша тіснота зв'язку ударної в'язкості з механічними властивостями, ніж з хімічним складом, не представляється неочікуваною. В значеннях механічних властивостей опосередковано не тільки вплив хімічного складу, але й впливу структури. В той же час необхідно зазначити, що зв'язок ударної в'язкості з механічними властивос-

KCV, Дж/см²



1, 2 – точки, знайдені розрахунком за рівняннями регресії; 3, 4, 5, 6 – точки, розраховані в передбачення добавки до сталі 0,1% нікелю або 0,1% вуглецю відповідно

Рисунок 2 — Температурна залежність ударної в'язкості сталі 17Г1С

Таблиця 4 — Рівняння регресії для зв'язків між вмістом різних елементів і множинні коефіцієнти кореляції (R)

Функція	Вільний член	Значення коефіцієнтів при змінних								R
		[C]	[Mn]	[Si]	[P]	[S]	[Cr]	[Ni]	[Cu]	
[C]	0,0852	-	0,0324	0,1531	0,4769	0,2335	0,2189	0,0817	-0,0785	0,497
[Mn]	0,2613	0,4655	-	0,4699	0,2200	-0,9750	0,5136	0,2899	-0,0036	0,445
[Si]	0,0432	0,6822	0,1457	-	-0,4078	-0,1568	-0,3398	0,3308	-0,0919	0,501
[P]	-0,0210	0,0603	0,0194	-0,0116	-	0,2235	0,0461	-0,0751	0,0124	0,403
[S]	0,0327	0,0205	-0,0059	-0,0031	0,1548	-	0,0136	-0,0121	-0,0202	0,246
[Cr]	0,0072	0,0984	0,0161	-0,0343	0,1638	0,0698	-	0,1143	0,0776	0,315
[Ni]	0,0255	0,0812	0,0200	0,0738	-0,5903	-0,1367	0,2528	-	-0,0267	0,362
[Cu]	0,1563	-0,1204	-0,0004	-0,0316	0,1504	-0,3539	0,2649	-0,0412	-	0,216

тями є зв'язком чисто статистичним і безпосереднього фізичного змісту не має. Змінні чинники ($\sigma_B, \sigma_T, \delta_5$ і ψ), які формально виступають у рівнянні як незалежні, в дійсності такими не є. Всі вони визначаються хімічним складом (при інших рівних умовах). В межах даної сталі неможливо представити собі такий випадок, коли один з чинників був би довільно змінений і це не супроводжувалось би зміною значення інших чинників.

Дослідження внутрішніх зв'язків між чинниками хімічного складу показало (табл. 4), що, в крайньому випадку, для половини нормованих стандартів елементів існує суттєвий взає-

мозв'язок. До цих елементів відносяться вуглець, марганець, кремній і фосфор. Не зупиняючись на можливих причинах цих зв'язків, слід відзначити, що їх існування не дозволяє надіятися на випадкове отримання в процесі виробництва плавки з суттєвим відхиленням від співвідношень, що визначаються цими зв'язками.

Так, наприклад, без зміни технології мало імовірна поява плавки з мінімальним (згідно ГОСТ) вмістом вуглецю при максимальному вмісті марганцю, такі плавки, від яких, зокрема, можна очікувати підвищеної холодостійкості, не можна було би відібрати з поточного виробництва і прийшлося би виплавляти спеціально.

Висновки

1. Між хімічним складом сталі 17Г1С і її механічними властивостями існують відчутні статистичні зв'язки.

2. Однією з причин невисокої кореляції між механічними властивостями сталі та змінними факторами може бути недостатність інформації про ці чинники. Окрім врахованих в даному дослідженні чинників на властивості сталей впливають також вміст азоту, кисню та водню, вміст залишкового алюмінію, характеристики структурного стану сталі або характеристики технологічних умов виробництва сталі, які визначають при даному хімічному складі її структуру.

3. Результати визначення ударної в'язкості сталі 17Г1С при температурах 293 і 253К, що служать відповідно до ГОСТ для визначення придатності сталі, не можуть бути використані для порівняльної оцінки холодостійкості різних придатних плавів цієї сталі, так як зміна ударної в'язкості сталі при цих температурах не пов'язана однозначно з температурою переходу в крихкий стан.

4. Для подальшого дослідження можливостей множинного кореляційного та регресивного аналізу в області вивчення зв'язків між складом, структурою і властивостями багатокомпонентних технічних сплавів необхідна розробка методів врахування не лінійності та не адитивності впливу багатьох змінних факторів.

Література

1 Лукомский Я.И. Теория корреляции и ее применение к анализу производства. – М.: Госстатиздат, 1958. – 218 с.

2 Кроль Ю.С., Ерохина Л.С. Применение методов корреляционного анализа при исследовании влияния химического состава стали на ее механические свойства // Планирование эксперимента. – М.: Наука, 1966. – С. 62-87.

3 Бобров С.Н. Основы комплексного использования высокопрочных сталей как износостойкого конструкционного материала: Автореф. дис. докт. техн. наук. – М.: МИНГ им. И.М. Губкина, 1990. – 55 с.

УДК 621.671:004.942

ПОБУДОВА НАПІРНИХ ХАРАКТЕРИСТИК МАГІСТРАЛЬНОГО ВІДЦЕНТРОВОГО НАСОСУ 16НД-10*1 ПРИ РІЗНИХ ЧАСТОТАХ ОБЕРТАННЯ РОБОЧОГО КОЛЕСА ЗА ДОПОМОГОЮ СИМУЛЯТОРА 20-SIM

В.С.Костишин, П.О.Курляк

*ІФНТУНГ, 76019, Івано-Франківськ, вул. Карпатська, 15, тел. (03422) 48003,
e-mail: p_kurlyak@ukr.net*

*Выполнено усовершенствование созданной авторами Bond Graph модели центробежного насоса, с помощью которой проведено исследование установившихся режимов работы магистрального насоса 16НД-10*1 путем построения на симуляторе 20-sim семейства напорных характеристик при разных значениях частоты вращения рабочего колеса насоса.*

*An improvement of the created by Bond Graph founders model of centrifugal pump was performed. It helps to research the set main pump's operations of 16НД-10*1 on the basis of 20-sim simulator of head characteristics family construction at different rotation frequency of the pump's impeller.*

Постановка проблеми. Проблема неефективної роботи нафтогазового обладнання особливо гостро постає в умовах сучасного стрімкого росту цін на енергоносії. Відомо, що у процесі експлуатації трубопроводу магістральні відцентрові насоси (ВН) часто працюють в неоптимальних режимах, які безперечно призводять до значних необґрунтованих втрат електроенергії. У зв'язку з цим виникає практична необхідність прогнозування оптимальних режимів роботи ВН шляхом побудови сімейства їх напірних характеристик при різних частотах обертання робочого колеса. Застосування сучасних програм імітаційного комп'ютерного

моделювання для вирішення цієї задачі дасть змогу спростити процес аналізу та оперативно-го керування як усталеними, так і перехідними режимами роботи насосних агрегатів.

Аналіз результатів останніх досліджень. Традиційно дослідження режимів роботи ВН проводились такими методами, які не дозволяли результативного впровадження сучасних засобів обчислювальної техніки. Однак з появою нових підходів у моделюванні ВН, пов'язаних з використанням узагальненої теорії кіл Кірхгофа [1], в роботі [2] було запропоновано комп'ютерно-орієнтовану Bond Graph модель