



УКРАЇНА

(19) UA (11) 66341 (13) U
(51) МПК (2011.01)
G01N 3/00
G01N 3/08 (2006.01)
G01N 3/18 (2006.01)
G01N 19/00

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ

ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА КОРИСНУ МОДЕЛЬ

видається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ОЦІНКИ ЯКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНОЇ СТАЛІ

1

(21) u201109499

(22) 28.07.2011

(24) 26.12.2011

(46) 26.12.2011, Бюл.№ 24, 2011 р.

(72) ШИЯН АРТУР ВІТАЛІЙОВИЧ, КОТРЕЧКО
СЕРГІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, МЕШКОВ ЮРІЙ ЯКОВИЧ,
СТЕЦЕНКО НАТАЛІЯ МИКОЛАЇВНА, БОЛЬШАКОВ
ВОЛОДИМИР ІВАНОВИЧ, НОСЕНКО ОЛЕГ ПАВ-
ЛОВИЧ

(73) ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В. КУРДЮ-
МОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ

(57) Спосіб оцінки якості конструкційної сталі, що
включає проведення випробування стандартних
гладких циліндричних зразків на одиниці розтяг
при температурах в інтервалі від 4 К до 293 К, ви-
значення при цьому основних механічних характе-

2

ристик металу та механічної стабільності K_{ms} ,
який відрізняється тим, що визначають оптима-
льну механічну стабільність K_{ms}^{opt} , а оцінку якості
проводять за кількісним параметром - величиною
міри оптимальності по механічній стабільності
 μ_{Kms}^{σ} при заданій міцності, яку розраховують за
формулою:

$$\mu_{Kms}^{\sigma} = \frac{K_{ms}}{K_{ms}^{opt}},$$

де K_{ms} - механічна стабільність

K_{ms}^{opt} - оптимальна механічна стабільність

Корисна модель належить до галузі досліджу-
вання властивостей твердих матеріалів шляхом
прикладання статичних навантажень, а саме, до
оцінки якості конструкційних сталей при заданій
міцності.

Відомий спосіб оцінки якості конструкційних
сталей за загальноприйнятою класифікацією, при
якому оцінка якості сплавів здійснюється згідно з
наступними умовними групами за вмістом шкідли-
вих домішок сірки та фосфору: звичайної якості,
якісні, високоякісні та особливо високоякісні [1].

Недоліками даного способу є умовний прин-
цип класифікації та відсутність кількісного тракту-
вання рівня конструкційної якості металу або
сплаву.

Відомий також спосіб оцінки якості констру-
кційних матеріалів внаслідок накопичення пошко-
джень в процесі напруження шляхом вимірю-
вання твердості на поверхні виробу та
статистичної обробки отриманих результатів [2].

Однак, такий спосіб оцінки якості конструкцій-
них сталей також має наступні недоліки: а) аналіз
тільки поверхневих шарів металу за характеристи-
ками твердості, які не є показниками його основ-
них механічних характеристик; б) відсутність кіль-

кісної оцінки найважливішої властивості металу,
яка забезпечує його експлуатаційну надійність в
конструкції - опору крихкості; в) низька точність та
інформативність.

Найбільш близьким за технічною суттю та ре-
зультатом, що досягається, до способу, що заяв-
ляється, є спосіб оцінки якості конструкційної ста-
лі, при якому проводять випробування
стандартних гладких циліндричних зразків на од-
новісний розтяг при температурах в інтервалі від 4
К до 293 К, визначення при цьому основних меха-
нічних характеристик сплаву та характеристики
механічної стабільності K_{ms} з наступною побудо-
вою узагальненої діаграми взаємозв'язку власти-
востей "пластичність - міцність - механічна стабі-
льність", яка обмежена кривою оптимізації, що
характеризує оптимальні сполучення властивос-
тей пластичності Ψ_k , міцності $\sigma_{0.2}$ і механічної ста-
більності K_{ms} , які, в свою чергу, забезпечують най-
вищий рівень якості металу [3].

Разом з тим, спосіб оцінки якості конструкцій-
них сталей шляхом побудови узагальненої діагра-
ми взаємозв'язку властивостей "пластичність -
міцність - механічна стабільність" та кривої оптимі-
зації за прототипом має наступні недоліки: а) від-

(19) UA (11) 66341 (13) U

сутність загальної системи оцінки якості сплавів на основі заліза за групами по якості, розподілу на рівні якості всередині цих груп, а також оцінки якості всередині кожного рівня; б) відсутність кількісної оцінки якості конструкційних сталей за показником, що відображає їх здатність чинити опір крихкому руйнуванню при заданій міцності $\sigma_{0,2}$.

В основу корисної моделі поставлено задачу вдосконалення способу оцінки якості конструкційних сталей при заданій міцності $\sigma_{0,2}$ шляхом введення та визначення за запропонованою формулою основного індикатора якості металу - міри

оптимальності по механічній стабільності $\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$ при заданій міцності $\sigma_{0,2}$, що дає можливість здійснювати кількісну оцінку якості з достатньою для інженерних і технологічних потреб точністю та інформативністю, використовуючи основні механічні характеристики металу, відображає його здатність чинити опір крихкому руйнуванню та дозволяє побудувати загальну систему оцінки якості сплавів на основі заліза.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі оцінки якості конструкційної сталі, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при температурах в інтервалі від 4 К до 293 К, визначення при цьому основних механічних характеристик металу та механічної стабільності K_{ms} , згідно з корисною моделлю, визначають оптимальну механічну стабільність K_{ms}^{opt} , а оцінку якості проводять за кількісним параметром - величиною міри

оптимальності по механічній стабільності $\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$ при заданій міцності, яку розраховують за формулою:

$$\mu_{K_{ms}}^{\sigma} = \frac{K_{ms}}{K_{ms}^{opt}}$$

з де K_{ms} - механічна стабільність

K_{ms}^{opt} - оптимальна механічна стабільність.

За рахунок визначення характеристики оптимальної механічної стабільності K_{ms}^{opt} та введеного авторами кількісного параметра - міри оптимальності по механічній стабільності $\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$ запропонований спосіб дозволяє більш точно та інформативно провести кількісну оцінку якості конструкційних сталей при заданій міцності $\sigma_{0,2}$. При цьому використовували експериментальні значення основних механічних характеристик металу, а саме: умовної границі текучості $\sigma_{0,2}$; відносного звуження після руйнування зразка Ψ_k ; характеристики механічної стабільності гладкого зразка K_{ms} ; показника деформаційного зміцнення n . Крім того, завдяки використанню для оцінки якості конструкційних сталей у запропонованому способі основного індикатора якості металу - міри оптимальності по механічній стабільності $\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$ відображається найважливіша його властивість - здатність чинити опір крихкому руйнуванню та з'являється можливість побудувати загальну систему оцінки якості сплавів на основі заліза.

Корисна модель пояснюється таблицями та графіками, а саме:

в таблиці 1 наведені результати розрахунку

мір оптимальності $\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$ і μ_{Ψ}^{σ} для сталей і сплавів при заданих значеннях міцності $\sigma_{0,2}$.

в таблиці 2 наведена загальноприйнята класифікація по якості сталей і сплавів на основі заліза без термічної обробки при $T_{вип.}=293$ К.

в таблиці 3 наведені умовні межі рівнів якості сталей і сплавів при заданій міцності $\sigma_{0,2}$.

в таблиці 4 наведені результати кількісної оцінки якості деяких сталей і сплавів (значення $\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$ наведені по мірі падіння).

на фіг. 1 зображена узагальнена діаграма взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність".

на фіг. 2 зображені схема оцінки якості конструкційних сталей при заданій міцності $\sigma_{0,2}$ та крива оптимізації 1, що характеризує оптимальне сполучення властивостей пластичності Ψ_k , міцності $\sigma_{0,2}$, і механічної стабільності K_{ms} .

Спосіб реалізується наступним чином.

З метою побудови узагальненої діаграми взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" матеріали для досліджень добирали за принципом максимально широкого охоплення різноманітних комбінацій властивостей міцності та пластичності конструкційних сталей, при цьому діапазон характеристик міцності складав: від $\sigma_{0,2}=138$ МПа до $\sigma_{0,2}=2250$ МПа, а діапазон характеристик пластичності складав $83,6\% \leq \Psi_k \leq 1,5\%$.

Крім цього, за об'єкти досліджень обирали зварні шви, виконані із застосуванням різних технологій зварювання, спеціальні конструкційні сталі, що використовують в ядерній енергетиці, а також конструкційні сталі, що використовують у криогенній техніці. В деяких випадках змінювали також і різні режими термічної обробки конструкційних сталей. Всього в цих дослідженнях використовували результати випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний статичний розтяг більш ніж 70-ти видів сплавів на основі заліза.

Проводили розтягування повздовж однієї осі стандартних гладких циліндричних зразків та визначали основні механічні характеристики при різних температурах випробувань в інтервалі $4 \text{ К} \leq T_{вип.} \leq 293 \text{ К}$ такі, як: Ψ_k - відносне звуження після руйнування зразка; $\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості; n - показник деформаційного зміцнення. Характеристики крихкої міцності R_{mc} , механічної стабільності K_{ms} і оптимальної механічної стабільності K_{ms}^{opt} розраховували за відомими залежностями при відповідній температурі випробувань в інтервалі $4 \text{ К} \leq T_{вип.} \leq 293 \text{ К}$, після чого визначали міру оптимальності по механічній стабільності $\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$ при заданій міцності $\sigma_{0,2}$.

Оцінка якості конструкційних сталей при заданій міцності $\sigma_{0,2}$ полягала у наступному:

- значення характеристики механічної стабільності K_{ms} при відповідній температурі випробувань

в інтервалі $4 \text{ K} \leq T_{\text{вип.}} \leq 293 \text{ K}$ визначали експериментальним шляхом за відомою залежністю [4]:

$$K_{\text{ms}} = \frac{R_{\text{MC}}}{\sigma_{0,2} \cdot 10^n},$$

або розраховували за відомою формулою [5]:
 $K_{\text{ms}} = 10^p,$

$$p = \frac{a \cdot \lg \psi_K - b}{c - \lg \psi_K} \cdot n$$

де: $a=0,164$; $b=0,15$; $c=1,95$;

- з метою визначення характеристик оптимальної механічної стабільності $K_{\text{ms}}^{\text{опт}}$ і пластичності

$\psi_K^{\text{опт}}$ за базову криву приймали криву 1 на узагальненій діаграмі властивостей у взаємозв'язку "пластичність - міцність - механічна стабільність" (фіг. 1), зміст якої полягає в тому, що вона є геометричним місцем точок, що обмежують таке граничне сполучення властивостей металу, при якому будь-яке підвищення його міцності призводить до неминучого узгодженого падіння пластичності ψ_K і механічної стабільності K_{ms} . Крива 1 на фіг. 1 є кривою оптимізації, бо по своїй суті вона характеризує оптимальне сполучення властивостей пластичності ψ_K , міцності $\sigma_{0,2}$ і механічної стабільності K_{ms} сплавів на основі заліза з підвищеною міцністю. Такі оптимальні сполучення характеристик забезпечують найвищий рівень якості металу, а вказана властивість кривої оптимізації на узагальненій діаграмі взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" є фізичною основою для введення в інженерну практику кількісної інтерпретованої категорії якості конструкційних металів;

- на базовій кривій оптимізації схематично представлений метод кількісної оцінки якості як міри близькості до оптимального значення сполучення властивостей сталей і сплавів у взаємозв'язку "пластичність - міцність - механічна стабільність", позначений на фіг. 2 точками а і а'. Точка а на кривій оптимізації 1 позначає оптимальне сполучення властивостей механічної стабільності $K_{\text{ms}}^{\text{опт}}$ і пластичності $\psi_K^{\text{опт}}$, а точка а' - сполучення цих властивостей (K_{ms} , ψ_K) у вибраного металу при заданому значенні міцності $\sigma_{0,2}$. Таким чином, розраховували введені авторами основний індикатор якості металу - міру оптимальності по механічній стабільності $\mu_{K_{\text{ms}}}^{\sigma}$ і допоміжний показник - міру

оптимальності по пластичності μ_{ψ}^{σ} при заданій міцності $\sigma_{0,2}$ для вибраного сплаву, схематично позначеного точкою а' на фіг. 2 за формулами:

$$\mu_{K_{\text{ms}}}^{\sigma} = \frac{K_{\text{ms}}}{K_{\text{ms}}^{\text{опт}}};$$

$$\mu_{\psi}^{\sigma} = \frac{\psi_K}{\psi_K^{\text{опт}}},$$

де значення характеристик оптимальної механічної стабільності $K_{\text{ms}}^{\text{опт}}$ та оптимальної пластичності $\psi_K^{\text{опт}}$ при температурі випробувань в інтер-

валі $4 \text{ K} \leq T_{\text{вип.}} \leq 293 \text{ K}$ розраховували за відомими формулами [3]:

$$K_{\text{ms}}^{\text{опт}} = 1 - \frac{a \cdot \psi_K^{\text{опт}} + b}{\psi_K^{\text{опт}} - c},$$

де: $a=0,086$; $b=1,310$; $c=89,478$;

$$\psi_K^{\text{опт}} = a - \frac{b}{(1 + c \cdot \sigma_{0,2})^d},$$

де: $a=84,52$; $b=1,42$; $c=0,0001 \text{ [1/МПа]}$; $d=-19,58$.

Результати розрахунків оптимальних значень пластичності $\psi_K^{\text{опт}}$ і механічної стабільності $K_{\text{ms}}^{\text{опт}}$, а також мір оптимальності по механічній стабільності $\mu_{K_{\text{ms}}}^{\sigma}$ і пластичності μ_{ψ}^{σ} при заданих значеннях міцності $\sigma_{0,2}$ наведені в таблиці 1, а в таблиці 4 наведені результати кількісної оцінки якості деяких сталей і сплавів. Величина міри оптимальності по механічній стабільності $\mu_{K_{\text{ms}}}^{\sigma}$ характеризує якість конструкційної сталі, при цьому значення $\mu_{K_{\text{ms}}}^{\sigma} = 1$ визначає найвищу якість сплаву, а по мірі зниження показника $\mu_{K_{\text{ms}}}^{\sigma} < 1$ якість металу також відповідно зменшується. Таким чином, за допомогою запропонованого способу оцінки якості конструкційних сталей при заданих значеннях міцності $\sigma_{0,2}$, авторами побудована загальна система оцінки якості сплавів на основі заліза, яка дозволяє не лише умовно класифікувати їх на групи по якості (див. таблицю 2) і проводити розподіл на рівні якості всередині цих груп (див. таблицю 3), але також здійснювати кількісну оцінку всередині кожного рівня за величиною міри оптимальності по механічній стабільності $\mu_{K_{\text{ms}}}^{\sigma}$, яка водночас відображає здатність сплаву чинити опір крихкому руйнуванню.

Джерела інформації:

1. Тылкин М.А. // Справочник термиста ремонтной службы. - М.: Металлургия, 1981. - С. 118-119.

2. Патент № 52107А, 7 G01N3/00, G01N3/40, Спосіб оцінки деградації матеріалу внаслідок накопичення пошкоджень в процесі напрацювання "LM - метод твердості" / Лебедев А.О., Музика М.Р., Волчек Н.Л. // Промисловий вісник. Бюл. № 1, 15.01.2003.

3. Научный труд "Оптимизация свойств пластичности, прочности и механической стабильности сталей и сплавов в виде обобщенной диаграммы", авторы: Мешков Ю.Я., Котречко С.О., Шиян А.В., Стеценко Н.М. Свідectво про реєстрацію авторського права № 39291 від 22.07.2011 /Україна/. Опубл. бюл. № 25. - С. 3,6, 11-14.

4. Котречко С.А., Мешков Ю.Я. Претельная прочность. Кристаллы, металлы, конструкции - Киев: Наукова думка, 2008. - С. 142-144; 232-239.

5. Ю.Я. Мешков, С.А. Котречко, А.В. Шиян, Н.Н. Стеценко Физические основы методики определения хрупкой прочности и механической стабильности сплавов на основе железа при комнатной температуре // Металлофизика и новейшие технологии, 2011. - Т. 33. - № 4. - С. 1001-1017.

Таблиця 1

Сталі і сплави	$\sigma_{0,2}$, МПа	K_{ms}^{opt}	ψ_K^{opt} , %	$T_{вип.}$ К	K_{ms}	ψ_K , %	μ_{Kms}^{σ}	μ_{ψ}^{σ}
15ГБ ¹	370±4 %	2,072	81,7	293	1,915	71,0	0,924	0,869
15ГБ					1,301	56,5	0,628	0,692
12СГАФ					1,400	65,0	0,676	0,796
09Г2					1,349	61,8	0,651	0,756
X75(СШ) ²					1,465	61,7	0,707	0,755
20ХГС2 ³	560±4 %	1,906	80,4	193	1,247	52,0	0,654	0,647
15ГБ ⁴				233	1,762	75,0	0,924	0,934
10ГН2МФА				203	1,281	69,0	0,672	0,858
10Г2ФБ				233	1,712	68,0	0,898	0,846
09Г2 ⁵				153	1,604	71,0	0,842	0,883
АК-35	1130±3 %	1,460	73,0	173	1,322	67,8	0,905	0,929
15 × 2НФМА				77	1,093	51,0	0,749	0,699
03 × 20Н16АТ6				4	1,433	50,5	0,982	0,692
15 × 2МФА ⁶				293	1,177	67,2	0,806	0,921
20 × ⁷				293	1,068	53,9	0,732	0,738

Примітки:

1. Електронагрів 1173К;
2. Зварний шов (порошковий дріт АН30-2 шари);
3. Гарячекатаний (ферит, троостит, бейніт);
4. Температура нагріву під гартування 1253 К;
5. Температура нагріву під гартування 1173 К;
6. Нагрів 1273 К, 4 год. + охол., масло + відпуск 893 К, 6 год.;
7. Відпуск 473К.

Таблиця 2

Група якості сталі [1]	Ознаки класифікації			Відповідність іншим видам класифікації	
	Вміст S і P, %	$\sigma_{0,2}$, МПа	K_{ms}	По складу	По призначенню
звичайної якості (ЗЯ)	≤0,050	≤300	≤2,2 >2,1	вуглецеві	широкого застосуван- ня, конструкційні
якісна (Я)	≤0,035	>300 <800	≤2,1 >1,7	вуглецеві, низько-і се- редньолеговані	конструкційні, інстру- ментальні
високоякісна (ВЯ)	≤0,025	≥800	≤1,7 ≥1,05	вуглецеві і леговані, високолеговані	конструкційні, інстру- ментальні, з підвище- ними вимогами
особливо високоякі- сна (ОВЯ)	≤0,015	≥800	≤1,7 ≥1,05	леговані, високо-і скла- днолеговані	конструкційні з особ- ливими властивостя- ми

Таблиця 3

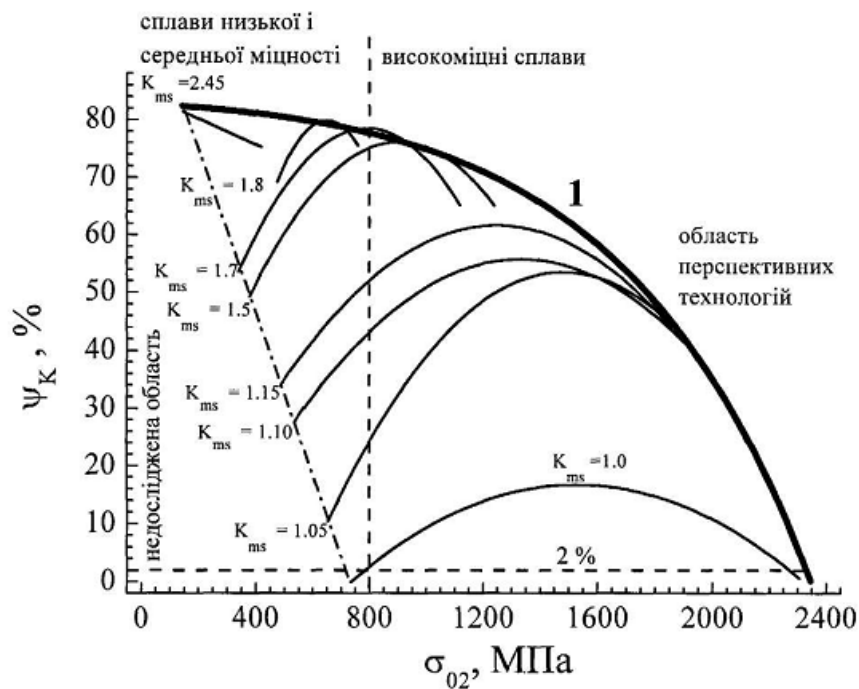
Рівень якості	Умовні межі рівнів якості
оптимізованої якості (ОЯ)	$0,95 < \mu_{Kms}^{\sigma} < 1,05$
високої оптимізації якості (ВОЯ)	$0,85 < \mu_{Kms}^{\sigma} < 0,95$
задовільної оптимізації якості (ЗОЯ)	$0,75 < \mu_{Kms}^{\sigma} < 0,85$
незадовільної оптимізації якості (НОЯ)	$\mu_{Kms}^{\sigma} \leq 0,75$

Таблиця 4

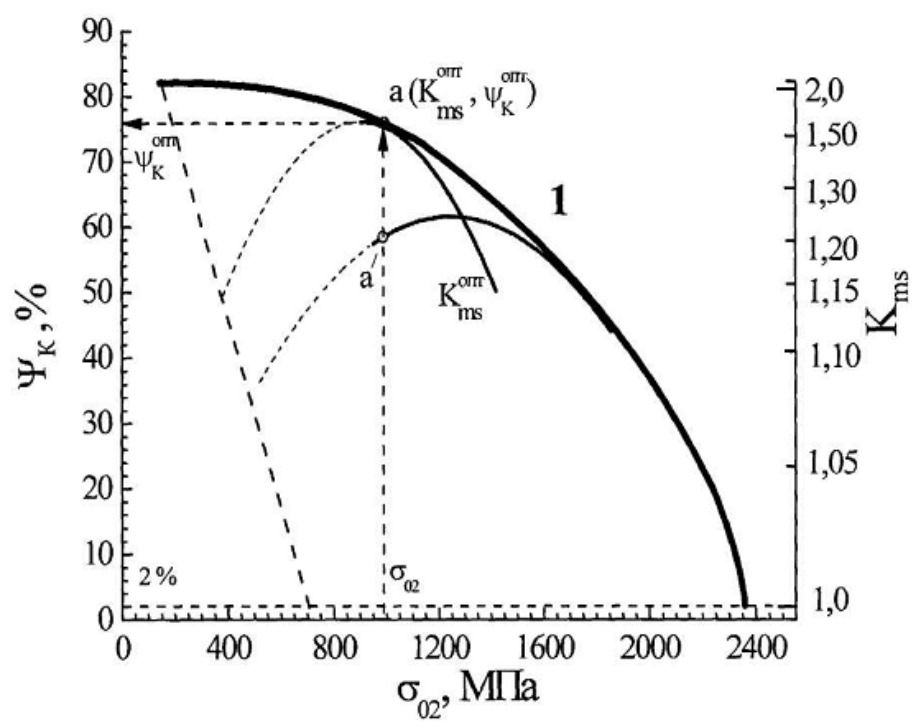
Т _{вип.} , К	Сталі і сплави	Група якості [1]	Рівень якості	σ μKms
σ _{0,2} =370±4 % МПа				
293	15ГБ ¹	Я	ВОЯ	0,924
293	X75 (СШ) ²		НОЯ	0,707
293	12СГАФ		НОЯ	0,676
293	09Г2		НОЯ	0,651
293	15ГБ		НОЯ	0,628
σ _{0,2} =560±4 % МПа				
233	15ГБ ³	Я	ВОЯ	0,924
233	10Г2ФБ	Я	ВОЯ	0,898
153	09Г2 ⁴	Я	ЗОЯ	0,842
203	10ГН2МФА	ВЯ	НОЯ	0,672
193	20ХГС2 ⁵	Я	НОЯ	0,654
σ _{0,2} =1130±3 % МПа				
4	03 × 20Н16АТ6	ОВЯ	ОЯ	0,982
173	АК-35	ОВЯ	ВОЯ	0,905
293	15 × 2МФА ⁶	ВЯ	ЗОЯ	0,806
77	15 × 2НФМА	ВЯ	НОЯ	0,749
293	20 × ⁷	Я	НОЯ	0,732

Примітки:

1. Електронагрів 1173К;
2. Зварний шов (порошковий дріт АН30-2 шари);
3. Температура нагріву під гартування 1253К;
4. Температура нагріву під гартування 1173К;
5. Гарячекатаний (ферит, троостит, бейніт);
6. Нагрів 1273К, 4 год. + охол., масло + відпуск 893К, 6 год.;
7. Відпуск 473К



Фіг. 1



Фиг. 2