



УКРАЇНА

(19) UA

(11) 104481

(13) C2

(51) МПК

G01N 3/08 (2006.01)

G01N 3/18 (2006.01)

ДЕРЖАВНА СЛУЖБА
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІ
УКРАЇНИ**(12) ОПИС ДО ПАТЕНТУ НА ВІНАХІД**

(21)	Номер заявки:	а 2012 02272	(73)	Власник(и):	ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В. КУРДЮМОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ, бул. Вернадського, 36, м. Київ-142, 03680 (UA)
(22)	Дата подання заявки:	27.02.2012	(56)	Перелік документів, взятих до уваги експертизою:	UA 62166 U, 10.08.2011. UA a201015576, 10.05.2011. UA 52107 A, 16.12.2002 КОТРЕЧКО С.А., МЕШКОВ Ю.Я., ШИЯН А.В., СТЕЦЕНКО Н.Н. Новые подходы к оценке взаимосвязи свойств прочности, пластичности и механической стабильности / Металлофизика и новейшие технологии. - 2011, т. 33, № 9. - С. 1277-1290. КОТРЕЧКО С.А., МЕШКОВ Ю.Я. Новые подходы к оценке комплекса механических свойств конструкционных сталей / Металлофизика и новейшие технологии. - 2009, т. 31, № 3. - С. 375-377. СТЕЦЕНКО Н. Н., ШИЯН А. В. Температурная инвариантность системы свойств "прочность-пластичность-механическая стабильность"/Материалы 51-й Международной конференции "Актуальные проблемы прочности". 16-20 мая 2011 года. Харьков, Украина. - Харьков: ННЦ ХФТИ, 2011. - С. 314. КОТРЕЧКО С.А., МЕШКОВ Ю.Я., СТЕЦЕНКО Н.Н., ШИЯН А.В. К вопросу об оптимизации свойств прочности и пластичности конструкционной стали. Материалы 51-й Международной конференции "Актуальные проблемы прочности". 16-20 мая 2011 года. Харьков, Украина. - Харьков: ННЦ ХФТИ, 2011. - С. 31.
(24)	Дата, з якої є чинними права на винахід:	10.02.2014			
(41)	Публікація відомостей про заявку:	25.05.2012, Бюл.№ 10			
(46)	Публікація відомостей про видачу патенту:	10.02.2014, Бюл.№ 3			
(72)	Винахідник(и):	Івасишин Орест Михайлович (UA), Марковський Павло Євгенович (UA), Матвійчук Юрій Васильович (UA), Котречко Сергій Олексійович (UA), Мешков Юрій Якович (UA), Шиян Артур Віталійович (UA), Стеценко Наталія Миколаївна (UA), Сорока Катерина Феодосіївна (UA)			

(54) СПОСІБ ОЦІНКИ ЯКОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ МЕТАЛЕВИХ СПЛАВІВ**(57) Реферат:**

Винахід належить до галузі досліджування властивостей твердих матеріалів шляхом прикладання статичних навантажень в інтервалі температур випробувань гладких зразків від 4 К до 293 К. Спосіб оцінки якості конструкційних металевих сплавів включає операції розтягування стандартного гладкого циліндричного зразка повздовж однієї осі в інтервалі температур від 4 К до 293 К, визначення при цьому основних механічних характеристик металу

UA 104481 C2

та характеристики механічної стабільності K_{ms} , побудови узагальнюючих діаграм взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" для сплавів з підвищеним та помірним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності, що обмежені граничними кривими оптимізації параболічних залежностей ψ_K від $\sigma_{0.2}$ при $K_{ms} = \text{const}$, подальшої побудови загальної системи взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K при заданому значенні міцності $\sigma_{0.2}$ та встановлення залежностей для опису граничних кривих оптимізації, що обмежують цю систему, визначення умовних рівнів якості та побудови їх границь, визначення параметрів граничної кривої та інтервалів міцності для її опису, подальшого формулювання відповідних правил щодо оцінки якості сплавів в цих інтервалах. Використання способу дає можливість більш інформативно і точно оцінювати якість конструкційних титанових сплавів за їх здатністю чинити опір переходу до крихкого стану.

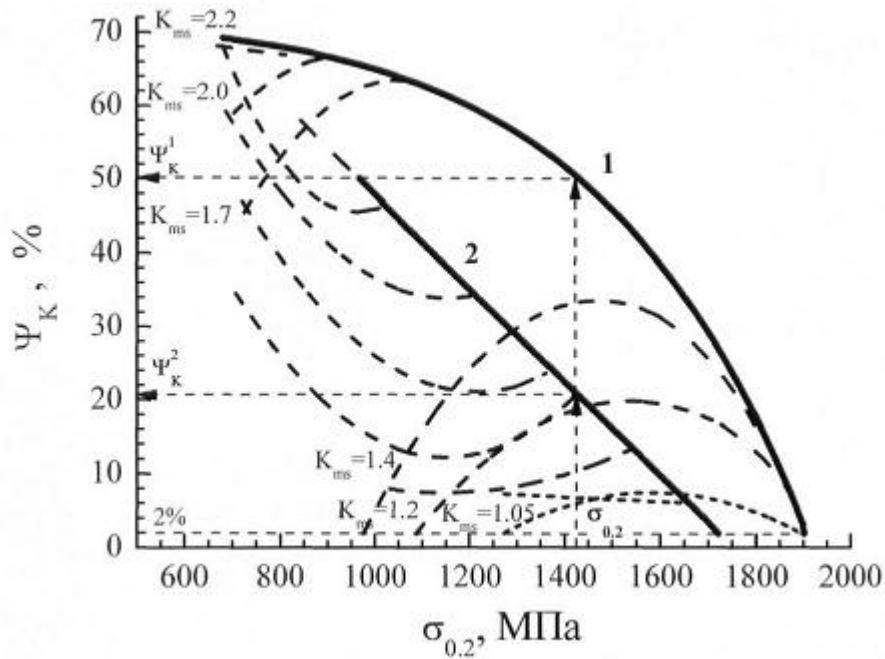


Fig. 1

Винахід належить до галузі досліджування властивостей твердих матеріалів шляхом прикладання статичних навантажень в інтервалі температур випробувань гладких зразків від 4 К до 293 К, а саме, до оцінки якості конструкційних титанових сплавів при заданій міцності.

Відомий спосіб оцінки якості конструкційних металевих сплавів внаслідок накопичення пошкоджень в процесі напручування шляхом вимірювання твердості на поверхні виробу та статистичної обробки отриманих результатів [1].

Недоліками даного способу є: а) аналіз тільки поверхневих шарів металу за характеристиками твердості, які не є показниками його основних механічних характеристик; б) відсутність кількісної оцінки властивості металу чинити опір переходу до крихкого стану, що забезпечує його експлуатаційну надійність в конструкції; в) низька точність та інформативність.

Відомий також спосіб оцінки якості конструкційних металевих сплавів, 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 сплаву та характеристики механічної стабільності K_{ms} з наступною побудовою узагальнюючої діаграми взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність", яка обмежена граничною кривою оптимізації, що характеризує оптимальні поєднання комплексу властивостей: пластичність ψ_K , міцність $\sigma_{0,2}$ і механічна стабільність K_{ms} , які, в свою чергу, забезпечують найвищий рівень якості сплаву [2].

Однак, такий спосіб оцінки якості конструкційних металевих сплавів має наступний суттєвий недолік - відсутність оцінки якості конструкційних металевих сплавів за показником, що відображає їх здатність чинити опір переходу до крихкого стану при заданій міцності $\sigma_{0,2}$.

Найбільш близьким за технічною суттю та результатом, що досягається, до способу, що заявляється, є спосіб оцінки якості конструкційних металевих сплавів на основі заліза, 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} , будують узагальнюючу діаграму взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" для сплавів з підвищеним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} , яка обмежена граничною кривою оптимізації, що характеризує оптимальні поєднання властивостей пластичності ψ_K , міцності $\sigma_{0,2}$ і механічної стабільності K_{ms} , визначають величину оптимальної механічної стабільності $\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$, а оцінку якості проводять за величиною міри оптимальності по механічній стабільності при заданій міцності $\sigma_{0,2}$, яку розраховують за формулою:

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

після чого визначають рівні якості конструкційних металевих сплавів за показником $\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$ [3].

Разом з тим, спосіб оцінки якості конструкційних металевих сплавів шляхом побудови узагальнюючої діаграми взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність", граничної кривої оптимізації та визначення рівнів якості конструкційних металевих сплавів за прототипом має наступні недоліки: а) відсутність узагальнюючої діаграми взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" для сплавів з помірним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} ; б) відсутність загальної системи взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" конструкційних металевих сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K при заданому значенні міцності $\sigma_{0,2}$; в) недостатня інформативність і точність щодо оцінки якості конструкційних титанових сплавів, які мають іншу природу деформування при одновісному розтягу.

В основу винаходу поставлено задачу вдосконалення способу оцінки якості конструкційних титанових сплавів при заданій міцності $\sigma_{0,2}$ шляхом отримання авторами достатньої кількості експериментальних даних для додаткової побудови узагальнюючої діаграми взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" для сплавів з помірним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} , що обмежена граничною кривою оптимізації параболічних залежностей ψ_K від $\sigma_{0,2}$ при фіксованій механічній стабільності K_{ms} , які обернені увігнутістю вгору, подальшої побудови ними загальної системи взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" конструкційних титанових сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K при заданому значенні міцності $\sigma_{0,2}$ та встановлення залежностей для опису граничних кривих оптимізації, що обмежують цю систему. Зміст кривих оптимізації полягає в тому, що вони характеризують такий граничний комплекс властивостей металевих сплавів з різним рівнем опору переходу до крихкого стану, при якому будь-яке підвищення їх міцності $\sigma_{0,2}$ призводить до неминучого узгодженого падіння

пластичності ψ_K та механічної стабільності K_{ms} . Таким чином, граничні криві оптимізації в загальній системі взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" характеризують оптимальне поєднання властивостей пластичності, міцності і механічної стабільності для конструкційних титанових сплавів найвищої якості з різним рівнем опору переходу до крихкого стану. Вказана властивість граничних кривих оптимізації є фізичною основою для введення в інженерну практику кількісно інтерпретованої категорії якості конструкційних металів, дає змогу визначати величину оптимальної механічної стабільності K_{ms}^{opt} та здійснювати оцінку якості сплавів, що мають різний рівень опору переходу до крихкого стану. При цьому оцінка якості здійснюється за допомогою індикатора якості металу - міри оптимальності по механічній стабільності μ_{Kms}^{σ} при заданій міцності $\sigma_{0,2}$, що дозволяє визначити умовні рівні якості для металевих сплавів за показником μ_{Kms}^{σ} та побудувати їх границі в загальній системі взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність". Побудова границь рівнів якості, в свою чергу, дозволяє визначити параметри кривої, що характеризує границю поділу між двома системами оцінки якості конструкційних титанових сплавів: першою - з підвищеним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} та другою - з помірним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} . Таку криву можна назвати "граничною", а знакові області в загальній системі взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність", де гранична крива описується різними залежностями, визначити як інтервали за показником міцності $\sigma_{0,2}$ та сформулювати для цих інтервалів відповідні правила щодо оцінки якості. Запропонований спосіб оцінки якості конструкційних титанових сплавів відображає їх здатність чинити опір переходу до крихкого стану та має точність і інформативність, достатню для інженерних і технологічних потреб.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі оцінки якості конструкційних металевих сплавів, при якому проводять випробування стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг при температурах в інтервалі від 4 K до 293 K, визначення при цьому основних механічних характеристик металу та характеристики механічної стабільності K_{ms} , будують узагальнюючу діаграму взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" для сплавів з підвищеним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності, що обмежена граничною кривою оптимізації параболічних залежностей ψ_K від $\sigma_{0,2}$ при фіксованій механічній стабільності K_{ms} , які обернені увігнутістю вниз, проводять оцінку якості та визначають рівні якості за величиною міри оптимальності по механічній стабільності μ_{Kms}^{σ} при заданій міцності $\sigma_{0,2}$, згідно з винаходом, для титанових сплавів додатково будують узагальнюючу діаграму взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" для сплавів з помірним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності, що обмежена граничною кривою оптимізації параболічних залежностей ψ_K від $\sigma_{0,2}$ при $K_{ms} = \text{const}$, які обернені увігнутістю вгору, будують загальну систему взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K при заданому значенні міцності $\sigma_{0,2}$, встановлюють залежності для опису граничних кривих оптимізації, що обмежують цю систему, визначають умовні рівні якості та будують їх границі, далі визначають параметри граничної кривої та інтервали міцності для її опису, після чого формулюють відповідні правила щодо оцінки якості сплавів в цих інтервалах.

За рахунок отримання авторами достатньої кількості експериментальних даних для додаткової побудови узагальнюючої діаграми взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" для сплавів з помірним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} , що обмежена граничною кривою оптимізації параболічних залежностей ψ_K від $\sigma_{0,2}$ при фіксованій механічній стабільності K_{ms} , які обернені увігнутістю вгору, подальшої побудови ними загальної системи взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" конструкційних титанових сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K при заданому значенні міцності $\sigma_{0,2}$ та встановлення залежностей для опису граничних кривих оптимізації, що обмежують цю систему, запропонований спосіб дозволяє більш точно та інформативно провести для них оцінку якості при заданій міцності $\sigma_{0,2}$, визначити рівні якості за показником μ_{Kms}^{σ} та побудувати їх границі в загальній системі взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність". Крім цього, запропонований спосіб дає можливість визначити параметри граничної кривої, що характеризує границю поділу між двома системами оцінки якості конструкційних титанових сплавів - з підвищеним рівнем пластичності ψ_K та з помірним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} , інтервали за показником міцності $\sigma_{0,2}$, де гранична крива описується різними залежностями, після чого сформулювати відповідні правила щодо оцінки

якості сплавів для кожного інтервалу. При цьому використовують експериментальні значення основних механічних характеристик конструкційного титанового сплаву, а саме: відносного звуження після руйнування зразка ψ_K , умовної границі текучості $\sigma_{0,2}$ та характеристики механічної стабільності K_{ms} в інтервалі змін $1,05 \leq K_{ms} \leq 2,2$ для діапазону температур випробувань від 4 К до 293 К. Границі температурного інтервалу випробувань від 4 К до 293 К вибрано з міркувань робочих температур експлуатації таких особливо відповідальних конструкцій, як обладнання для криогенної техніки (до 4 К). Діапазон змін механічної стабільності в межах $1,05 \leq K_{ms} \leq 2,2$ охоплює реально існуючі границі механічної стабільності для конструкційних титанових сплавів. Встановлення залежностей для опису кривих оптимізації дає можливість визначати величину оптимальної механічної стабільності K_{ms}^{opt} та проводити оцінку якості конструкційних титанових сплавів за допомогою індикатора якості металу - міри оптимальності по механічній стабільності μ_{Kms}^σ при заданій міцності $\sigma_{0,2}$, яка відображає їх здатність чинити опір переходу до крихкого стану.

Винахід пояснюється таблицями та кресленнями, а саме:

в таблиці 1 наведені умовні границі рівнів якості конструкційних титанових сплавів за показником μ_{Kms}^σ ;

в таблиці 2 наведені значення емпіричних коефіцієнтів для розрахунку границь рівнів якості в загальній системі взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" для конструкційних титанових сплавів з підвищеним та помірним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} ;

в таблиці 3 наведені результати оцінки якості деяких конструкційних титанових сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K та механічної стабільності K_{ms} при заданій міцності $\sigma_{0,2}$ та температурі випробувань 293 К в загальній системі взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність";

на фіг. 1 зображена загальна система взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" конструкційних титанових сплавів з підвищеним ψ_K^1 та помірним рівнем пластичності ψ_K^2 при заданій міцності $\sigma_{0,2}$, яка обмежена граничними кривими оптимізації параболічних залежностей ψ_K від $\sigma_{0,2}$ при $K_{ms} = \text{const}$: 1 - що обернені увігнутістю вниз; 2 - що обернені увігнутістю вгору;

на фіг. 2 зображений спосіб визначення міри оптимальності по механічній стабільності μ_{Kms}^σ при заданій міцності $\sigma_{0,2}$ в загальній системі взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" конструкційних титанових сплавів з підвищеним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} (крива оптимізації 1) та з помірним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} (крива оптимізації 2);

на фіг. 3 для конструкційних титанових сплавів зображені: крива оптимізації 1 - для сплавів з підвищеним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} , крива оптимізації 2 - для сплавів з помірним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} ; умовні межі рівнів якості, відповідні до кривих оптимізації: ВЯ - високої якості, ЗЯ - задовільної якості, НЯ - незадовільної якості та область перспективних технологій ПТ; гранична крива abc-3; інтервали для оцінки якості: I - для сплавів з $680 \text{ МПа} \leq \sigma_{0,2} \leq 910 \text{ МПа}$; II - для сплавів з $910 \text{ МПа} \leq \sigma_{0,2} \leq 1730 \text{ МПа}$; III - для сплавів з $1730 \text{ МПа} \leq \sigma_{0,2} \leq 1925 \text{ МПа}$.

Спосіб реалізується наступним чином.

З метою побудови загальної системи взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" конструкційних титанових сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K при заданому значенні міцності $\sigma_{0,2}$ матеріали для досліджень добирали за принципом максимально широкого охоплення різноманітних комбінацій властивостей міцності та пластичності, при цьому діапазон характеристик міцності складав: від $\sigma_{0,2}=680 \text{ МПа}$ до $\sigma_{0,2}=1925 \text{ МПа}$, а діапазон характеристик пластичності складав $1,0 \% \leq \psi_K \leq 68,0 \%$. Крім цього, за об'єкти досліджень вибирали титанові сплави, які використовують у криогенній і авіакосмічній техніці та для створення інших особливо відповідальних конструкцій. Змінювали також різні режими термічної обробки, а в деяких випадках, температуру випробувань в інтервалі від 4 К до 293 К. Всього в цих дослідженнях використовували результати випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний статичний розтяг більш ніж 200 видів конструкційних титанових сплавів.

Проводять розтягування повздовж однієї осі стандартних гладких циліндричних зразків та визначають основні механічні характеристики при різних температурах випробувань в інтервалі $4 \text{ К} \leq T_{\text{вип}} \leq 293 \text{ К}$ такі, як: ψ_K - відносне звуження після руйнування зразка; $\sigma_{0,2}$ - умовну границю текучості; n - показник деформаційного зміцнення. Характеристики механічної стабільності K_{ms}

визначають експериментальним шляхом або розраховують за відомими формулами. Величину оптимальної механічної стабільності K_{ms}^{opt} розраховують за отриманими залежностями для опису кривих оптимізації з підвищеним та помірним рівнем пластичності ψ_K при заданій міцності $\sigma_{0,2}$, після чого проводять оцінку якості конструкційних титанових сплавів за показником міри

5 оптимальності по механічній стабільності μ_{Kms}^σ при заданій міцності $\sigma_{0,2}$.

Методика побудови загальної системи взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" конструкційних титанових сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K та оцінки їх якості при заданій міцності $\sigma_{0,2}$ полягає у наступному:

1) величину характеристики механічної стабільності K_{ms} при відповідній температурі випробувань в інтервалі $4 K \leq T_{вип} \leq 293 K$ визначають експериментальним шляхом. При цьому для конструкційних металевих сплавів на основі заліза величину K_{ms} визначають за залежністю [3]:

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

де: R_{MC} - крихка міцність, що визначається як мінімальне напруження крихкого руйнування або опір мікросколу в точці перетину температурних залежностей істинного напруження руйнування S_K та границі міцності σ_B при рівні пластичності $\psi_K \approx 2\%$, тобто при умові: $S_K = \sigma_B = R_{MC}$, $\psi_K \approx 2\%$;

$\sigma_{0,2}$ - умовна границя текучості (показник міцності);

n - показник деформаційного зміцнення;

2) σ_2 - міцність металу при пластичній деформації 2% , а для конструкційних титанових сплавів за аналогічною залежністю:

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

де: R_x - крихка міцність, що визначається як напруження крихкого руйнування в точці перетину температурних залежностей істинного напруження руйнування S_K та границі міцності σ_B при рівні пластичності $\psi_K \approx 2\%$, тобто при умові:

$S_K = \sigma_B = R_x$, $\psi_K \approx 2\%$;

або розраховують за відомою формулою [4]:

$$K_{ms} = 10^P,$$

$$p = n \cdot \left(\frac{a + b \cdot \lg \psi_K}{1 - c \cdot \lg \psi_K} - 1 \right),$$

де: $a = 1,783$; $b = 0,708$; $c = 0,376$ - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним титановим сплавам;

2) будують узагальнюючу діаграму взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" для сплавів з підвищеним рівнем пластичності ψ_K^1 при заданій міцності $\sigma_{0,2}$, що обмежена граничною кривою оптимізації 1 параболічних залежностей ψ_K від $\sigma_{0,2}$ при $K_{ms} = \text{const}$, які обернені увігнутістю вниз і характеризуються зростанням пластичності ψ_K із підвищенням міцності $\sigma_{0,2}$ до максимального значення та її зниженням із подальшим зростанням міцності $\sigma_{0,2}$ (фіг. 1). При цьому точність побудови кривої оптимізації 1 за вибіркоким стандартом S складає $1,8\%$ з достовірністю $P(\psi_K \pm 5\%) = 0,994$;

3) додатково будують узагальнюючу діаграму взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" для сплавів з помірним рівнем пластичності ψ_K^2 при заданій міцності $\sigma_{0,2}$, що обмежена граничною кривою оптимізації 2 параболічних залежностей ψ_K від $\sigma_{0,2}$ при $K_{ms} = \text{const}$, які обернені увігнутістю вгору і характеризуються зниженням пластичності ψ_K із підвищенням міцності $\sigma_{0,2}$ до мінімального значення та її підвищенням із подальшим зростанням міцності $\sigma_{0,2}$ (фіг. 1). При цьому точність побудови кривої оптимізації 2 за вибіркоким стандартом S складає $2,2\%$ з достовірністю $P(\psi_K \pm 5\%) = 0,977$;

4) далі будують загальну систему взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" для конструкційних титанових сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K при заданому значенні міцності $\sigma_{0,2}$ шляхом об'єднання узагальнюючих діаграм за пп. 2) і 3) та встановлюють залежності для опису граничних кривих оптимізації, що обмежують цю систему, за якими визначають характеристики оптимальної пластичності ψ_K^{opt} та оптимальної механічної стабільності K_{ms}^{opt} :

для граничної кривої оптимізації 1 параболічних кореляційних залежностей ψ_K від $\sigma_{0,2}$ при $K_{ms} = \text{const}$, які обернені увігнутістю вниз (фіг. 1), за формулами:

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

де $a = 72,144$; $b = 0,362$; $c = 0,00021$ [МПа⁻¹]; $d = -15,514$,

$$K_{ms}^{\text{опт}} = 1 + \frac{a \cdot \psi_K^{\text{опт}} + b}{c - \psi_K^{\text{опт}}}, \quad (2)$$

де: $a = 0,58$; $b = 5,2$; $c = 107,0$;

a, b, c, d - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним титановим сплавам;

для граничної кривої оптимізації 2 параболічних кореляційних залежностей ψ_K від $\sigma_{0,2}$ при

5 $K_{ms} = \text{const}$, які обернені увігнутістю вгору (фіг. 1), за формулами:

$$\psi_K^{\text{опт}} = a - b \cdot \sigma_{0,2}, \quad (3)$$

де $a = 111,057$; $b = 0,063$,

$$K_{ms}^{\text{опт}} = a + b \cdot \psi_K^{\text{опт}}, \quad (4)$$

де $a = 0,852$; $b = 0,03$;

a, b - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним титановим сплавам;

5) після цього проводять оцінку якості сплавів наступним чином:

10 для граничної кривої оптимізації 2 (фіг. 2) в загальній системі взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність", яка характеризує їх оптимальне поєднання для конструкційних титанових сплавів з помірним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} , схематично представлений принцип оцінки якості як ступеня близькості до оптимального значення сполучення властивостей пластичність ψ_K - міцність $\sigma_{0,2}$ -

15 механічна стабільність K_{ms} , позначений на фіг. 2 точками a і a' . Аналогічно, для граничної кривої оптимізації 1 (фіг. 2) в загальній системі взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність", яка характеризує їх оптимальне поєднання для конструкційних титанових сплавів з підвищеним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} , принцип оцінки якості позначений на фіг. 2 точками b і b' . Точки a і b

20 на кривих оптимізації позначають оптимальне сполучення властивостей механічної стабільності $K_{ms}^{\text{опт}}$ і пластичності ψ_K , а точки a' і b' - сполучення цих властивостей (K_{ms}, ψ_K) у вибраного сплаву при заданому значенні міцності $\sigma_{0,2}$;

таким чином, міру оптимальності по механічній стабільності $\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$ при заданій міцності $\sigma_{0,2}$ для вибраного сплаву, схематично позначеного на фіг. 2 точкою a' або b' , розраховують за

25 відомою формулою [3]:

$$\mu_{K_{ms}}^{\sigma} = \frac{K_{ms}}{K_{ms}^{\text{опт}}}, \quad (5)$$

де величина $K_{ms}^{\text{опт}}$ визначається для сплавів з підвищеним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності за формулою (2), а для сплавів з помірним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності за формулою (4);

6) далі, за величиною показника міри оптимальності $\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$, визначають умовні рівні якості,

30 використовуючи принцип зменшення абсолютного відхилення показника $\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$ від одиниці (найвищий показник якості) на величину $\pm 5\%$ для кожного наступного рівня якості (див. таблицю 1). Після цього будують границі рівнів якості в загальній системі взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" (див. фіг. 3) для сплавів з підвищеним рівнем пластичності ψ_K за формулою (1), а для сплавів з помірним рівнем

35 пластичності ψ_K за формулою (3), використовуючи для розрахунку значення емпіричних коефіцієнтів, що наведені в таблиці 2;

7) на завершення, визначають параметри граничної кривої 3 і інтервали міцності $\sigma_{0,2}$, де вона описується різними залежностями, та формулюють для них відповідні правила щодо оцінки якості (фіг. 3):

40 область I обмежена ліворуч величиною міцності $\sigma_{0,2} = 680$ МПа, що є мінімальним значенням для досліджених конструкційних титанових сплавів, а праворуч точкою b ($\sigma_{0,2} = 910$ МПа) перетину границь рівнів якості ЗЯ - НЯ для сплавів з підвищеним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} та верхньої границі рівня якості ВЯ для сплавів з помірним рівнем пластичності ψ_K при даному рівні механічної стабільності K_{ms} . Таким чином, як

45 видно з фіг. 3, для області I можна сформулювати наступні правила щодо оцінки якості: а) гранична крива 3 в області I обмежується відрізком ab і описується залежністю:

$$\psi_K^{гр} = a - \frac{b}{(1 + c \cdot \sigma_{0,2})^d}, \quad (6)$$

де $\psi_K^{гр}$ - значення пластичності на граничній кривій в області I; $a = 65,396$; $b=0,518$; $c = 0,00021$ [МПа⁻¹]; $d = -15,514$ - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним титановим сплавам; б) в разі, якщо величина пластичності вибраного сплаву ψ_K задовольняє умові $\psi_K > \psi_K^{гр}$, а його міцність знаходиться в інтервалі $680 \text{ МПа} \leq \sigma_{0,2} \leq 910 \text{ МПа}$, оцінка якості проводиться для сплавів з підвищеним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності, а якщо $\psi_K \leq \psi_K^{гр}$ - для сплавів з помірним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності (див. п. 5);

область II обмежена значеннями міцності $910 \text{ МПа} \leq \sigma_{0,2} \leq 1730 \text{ МПа}$, таким чином, як видно з фіг. 3, для області II можна сформулювати наступні правила щодо кількісної оцінки якості: а) гранична крива 3 в області II обмежується відрізком be і описується залежністю:

$$\psi_K^{гр} = a - b \cdot \sigma_{0,2}, \quad (7)$$

де $\psi_K^{гр}$ - значення пластичності на граничній кривій в області II; $a = 118,432$; $b=0,067$ - емпіричні коефіцієнти, властиві конструкційним титановим сплавам;

б) в разі, якщо величина пластичності вибраного сплаву ψ_K задовольняє умові $\psi_K > \psi_K^{гр}$, а його міцність знаходиться в інтервалі $910 \text{ МПа} < \sigma_{0,2} \leq 1730 \text{ МПа}$, оцінка якості проводиться за формулою (5) для сплавів з підвищеним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності, а якщо $\psi_K > \psi_K^{гр}$ - для сплавів з помірним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності (див. п. 5);

область III обмежена праворуч величиною міцності $\sigma_{0,2}=1925 \text{ МПа}$, що є максимальним значенням для досліджених конструкційних титанових сплавів, а ліворуч точкою с ($\sigma_{0,2}=1730 \text{ МПа}$) перетину границь рівнів якості ЗЯ - НЯ для сплавів з підвищеним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності та верхньої границі рівня якості ВЯ для сплавів з помірним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності. Враховуючи, що точка с є кінцевою точкою кривої якісного переходу 3 (див. фіг. 3), для області III можна сформулювати єдине правило для оцінки якості - вона проводиться за формулою (5) тільки для сплавів з підвищеним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності, міцність яких знаходиться в інтервалі $1730 \text{ МПа} < \sigma_{0,2} \leq 1925 \text{ МПа}$ (див. п. 5).

Результати розрахунків оптимальних значень механічної стабільності K_{ms}^{opt} , оцінки якості деяких конструкційних титанових сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K та механічної стабільності K_{ms} за мірою оптимальності по механічній стабільності K_{ms} при заданих значеннях міцності $\sigma_{0,2}$, а також їх розподілу на умовні рівні якості наведені в таблиці 3.

Величина міри оптимальності по механічній стабільності $\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$ при заданій міцності $\sigma_{0,2}$ характеризує якість конструкційного титанового сплаву, при цьому значення $\mu_{K_{ms}}^{\sigma} = 1$ визначає

найвищу якість сплаву, а по мірі зниження показника $\mu_{K_{ms}}^{\sigma} < 1$ якість металу також відповідно зменшується. Таким чином, за допомогою запропонованого способу, авторами побудована не тільки загальна система взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" для конструкційних титанових сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K при заданому значенні міцності $\sigma_{0,2}$, але й загальна система оцінки якості конструкційних титанових сплавів, що мають різний рівень опору переходу до крихкого стану, за допомогою

індикатора якості металу - міри оптимальності по механічній стабільності $\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$ при заданій міцності $\sigma_{0,2}$. Запропонована система дає можливість більш інформативно і точно проводити оцінку якості конструкційних титанових сплавів за їх здатністю чинити опір переходу до крихкого стану. Така оцінка якості сплавів важлива для інженерних і технологічних потреб при створенні відповідальних конструкцій, що експлуатуються при знижених і криогенних температурах та потребують високоміцних матеріалів з підвищеним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності, а також при створенні відповідальних конструкцій в авіакосмічній техніці, що потребують високоміцних матеріалів з помірним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності. При цьому для всіх згаданих конструкцій повинен забезпечуватись достатній рівень опору переходу до крихкого стану.

Джерела інформації:

1. Патент № 52107А, 7 G01 N3/00, G01 N3/40, Спосіб оцінки деградації матеріалу внаслідок накопичення пошкоджень в процесі напрацювання "LM - метод твердості" / Лебедев А.О., Музыка М.Р., Волчек Н.Л. // Промисловий вісник. Бюл. № 1, 15.01.2003.
- 5 2. Науковий твір "Оптимизация свойств пластичности, прочности и механической стабильности сталей и сплавов в виде обобщенной диаграммы", автори: 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. 10-14.
- 10 3. Науковий твір "Метод оценки качества конструкционных сталей по заданной прочности", автори: Шиян А.В., Котречко С.О., Мешков Ю.Я., Стеценко Н.М., Большаков В.І., Носенко О.П. Свідectво про реєстрацію авторського права № 39290 від 22.07.2011 /Україна/. Опубл. бюл. № 25. - С. 7-11.
- 15 4. Науковий твір "Взаимосвязь свойств прочности, пластичности и механической стабильности конструкционных титановых сплавов", автори: Івасишин О.М., Марковський П.Є., Котречко С.О., Мешков Ю.Я., Шиян А.В., Стеценко Н.М., Сорока К.Ф. Свідectво про реєстрацію авторського права № 41448 від 20.12.2011 /Україна/. Опубл. Бюл. № 26. - С. 14-16.

Таблица 1

Рівень якості	Умовні границі рівнів якості
високої якості (ВЯ)	$0,95 < \mu_{K_{ms}}^{\sigma} < 1,05$
задовільної якості (ЗЯ)	$0,85 < \mu_{K_{ms}}^{\sigma} \leq 0,95$
незадовільної якості (НЯ)	$\mu_{K_{ms}}^{\sigma} \leq 0,85$

Таблица 2

Рівень пластичності ψ_K	підвищений			помірний		
Крива оптимізації	1 - формула (1)			2 - формула (3)		
Границі рівнів якості	верхня границя ВЯ	ВЯ-ЗЯ	ЗЯ-НЯ	верхня границя ВЯ	ВЯ-ЗЯ	ЗЯ-НЯ
a	74,128	70,233	65,396	118,316	104,073	90,146
b	0,347	0,416	0,518	0,067	0,060	0,054

Таблиця 3

Конструкційні титанові сплави з підвищеним рівнем пластичності ψ_K при заданій міцності $\sigma_{0,2}$ (крива 1 на фіг. 2)

$\sigma_{0,2}=765\pm 2,2$ % МПа							
Сплав	Обробка	ψ_K , %	R_{MC} , МПа	K_{ms}	K_{ms}^{OPT}	$\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$	Рівень якості
BT16	1050 °C, 1 г., WQ; 800 °C, 5 г.	63,0	1730	2,054	2,167	0,948	ЗЯ
BT16	1050 °C, 1 г.; 800 °C, 5 г.	36,0	1450	1,737		0,802	НЯ
$\sigma_{0,2}=1335\pm 0,8$ % МПа							
β -21s	520 °C, 8 г.	51,8	2679	1,752	1,724	1,016	ВЯ
	CD80 % + 10 K c ⁻¹ до 875 °C + 500 °C, 8 г.	35,9	2100	1,447		0,839	НЯ
$\sigma_{0,2}=1540\pm 1,1$ % МПа							
β -21s	5 K c ⁻¹ до 850 °C, WQ + 300 °C, 8 г. + 520 °C, 8 г.	34,4	2349	1,434	1,492	0,961	ВЯ
	5 K c ⁻¹ до 880 °C, WQ + 300 °C, 8 г. + 520 °C, 8 г.	30,8	2226	1,392		0,933	ЗЯ
	5 K c ⁻¹ до 850 °C + 520 °C, 8 г.	26,8	1930	1,218		0,816	НЯ
$\sigma_{0,2}=1875\pm 2,6$ % МПа							
β -21s	CD80 % + 538 °C, 8 г.	6,7	1968	1,062	1,110	0,957	ВЯ
	CD80 % + 538 °C, 8 г.	1,0	2035	1,040		0,937	ЗЯ
Конструкційні титанові сплави з помірним рівнем пластичності ψ_K при заданій міцності $\sigma_{0,2}$ (крива 2 на фіг. 2)							
$\sigma_{0,2}=765\pm 2,2$ % МПа							
Сплав	Обробка	ψ_K , %	R_{MC} , МПа	K_{ms}	K_{ms}^{OPT}	$\mu_{K_{ms}}^{\sigma}$	Рівень якості
BT16	870 °C, 1 г.	57,0	1800	2,153	2,40	0,897	ЗЯ
	920 °C, 800 °C, 1 г.	48,0	1600	1,958		0,816	НЯ
BT6	Порошкова металургія	42,9	1635	1,892		0,788	НЯ
$\sigma_{0,2}=1300\pm 1,4$ % МПа							
β -21s	CD70 % + 10 K c ⁻¹ до 820 °C / WQ + 540 °C, 8 г.	29,4	2381	1,678	1,727	0,972	ВЯ
Ti-15-3	CD70 % + 500 °C, 16 ч.	8,6	1904	1,226		0,710	НЯ
$\sigma_{0,2}=1540\pm 1,1$ % МПа							
β -21s	CD70 % + 5 K c ⁻¹ до 820 °C + 520 °C, 8 г.	12,6	1970	1,214	1,275	0,952	ВЯ
LCB	Порошкова металургія + деформація 41 % (760 °C) 760 °C, 0,5WQ + 538 °C, 8 г.	7,6	1695	1,068		0,838	НЯ

ФОРМУЛА ВИНАХОДУ

5

Спосіб оцінки якості конструкційних металевих сплавів, при якому визначають оптимальне поєднання пластичності, міцності і механічної стабільності конструкційних металевих сплавів, 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 характеристики механічної стабільності K_{ms} , будують

10

узагальнюючу діаграму взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" для сплавів з підвищеним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності, що обмежена граничною кривою оптимізації параболічних залежностей ψ_K від $\sigma_{0,2}$ при фіксованій механічній стабільності K_{ms} , які обернені увігнутістю вниз, проводять оцінку якості та визначають рівні якості за величиною міри оптимальності по механічній стабільності μ^σ_{Kms} при заданій міцності $\sigma_{0,2}$, який **відрізняється** тим, що для титанових сплавів додатково будують узагальнюючу діаграму взаємозв'язку властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" для сплавів з помірним рівнем пластичності при даному рівні механічної стабільності, що обмежена граничною кривою оптимізації параболічних залежностей ψ_K від $\sigma_{0,2}$ при $K_{ms} = \text{const}$, які обернені увігнутістю вгору, будують загальну систему взаємозв'язку комплексу властивостей "пластичність - міцність - механічна стабільність" сплавів з різними рівнями пластичності ψ_K при заданому значенні міцності $\sigma_{0,2}$, встановлюють залежності для опису граничних кривих оптимізації, що обмежують цю систему, визначають умовні рівні якості та будують їх границі, далі визначають параметри граничної кривої та інтервали міцності для її опису, після чого формулюють відповідні правила щодо оцінки якості сплавів в цих інтервалах.

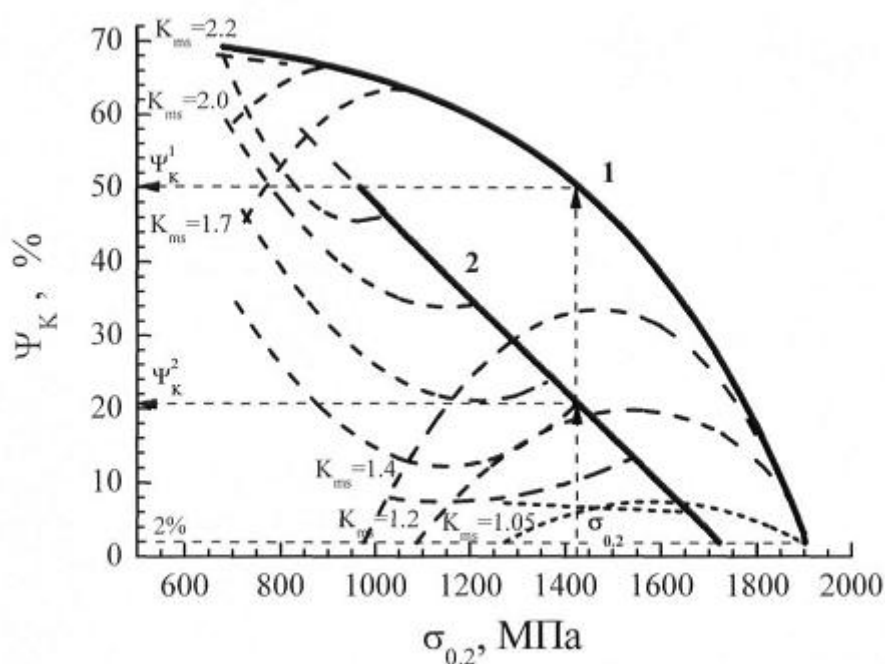


Fig. 1

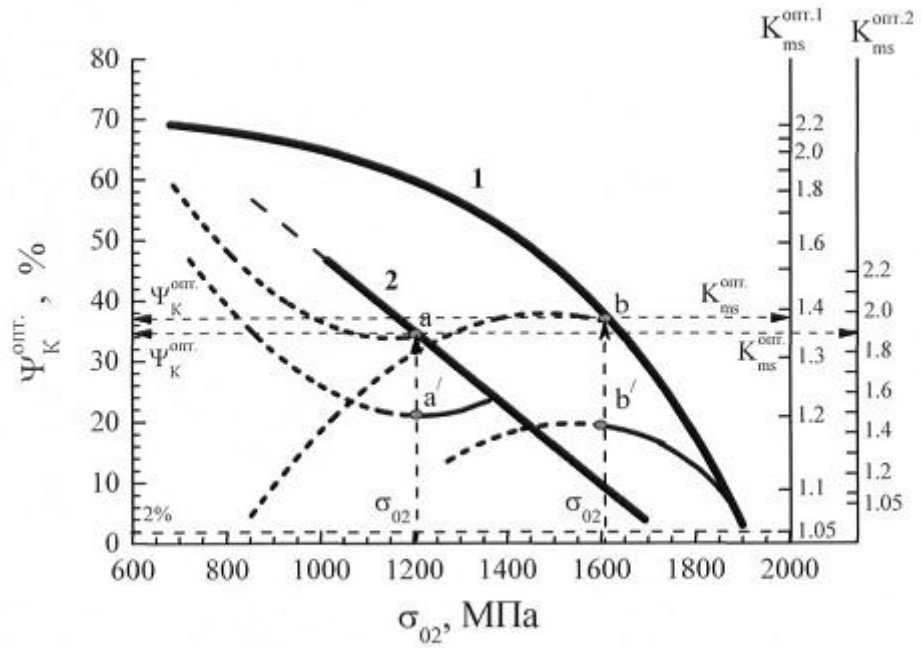


Fig. 2

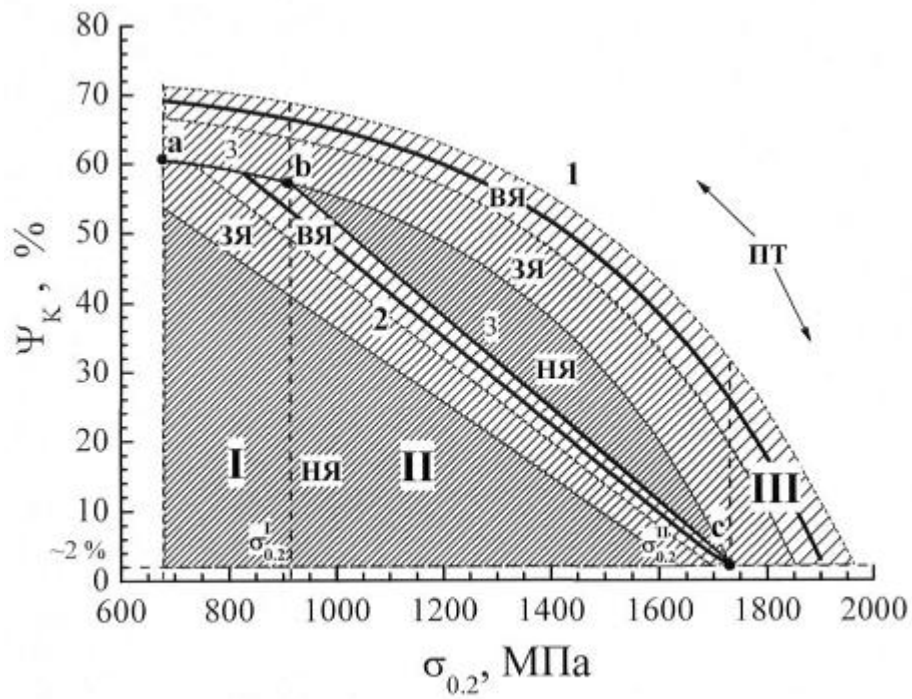


Fig. 3

Комп'ютерна верстка С. Чулій

Державна служба інтелектуальної власності України, вул. Урицького, 45, м. Київ, МСП, 03680, Україна

ДП "Український інститут промислової власності", вул. Глазунова, 1, м. Київ – 42, 01601