



УКРАЇНА

(19) UA (11) 55930 (13) U
(51) МПК (2009)
G01N 3/00МІНІСТЕРСТВО ОСВІТИ
І НАУКИ УКРАЇНИДЕРЖАВНИЙ ДЕПАРТАМЕНТ
ІНТЕЛЕКТУАЛЬНОЇ
ВЛАСНОСТІОПИС
ДО ПАТЕНТУ
НА КОРИСНУ МОДЕЛЬвидається під
відповідальність
власника
патенту

(54) СПОСІБ ВИЗНАЧЕННЯ КРИХКОЇ МІЦНОСТІ КОНСТРУКЦІЙНИХ СТАЛЕЙ

1

2

(21) u201008627

(22) 09.07.2010

(24) 27.12.2010

(46) 27.12.2010, Бюл. № 24, 2010 р.

(72) КОТРЕЧКО СЕРГІЙ ОЛЕКСІЙОВИЧ, МЕШКОВ
ЮРІЙ ЯКОВИЧ, ШИЯН АРТУР ВІТАЛІЙОВИЧ,
ОЗЕРСЬКИЙ МАКСИМ ВІКТОРОВИЧ(73) ІНСТИТУТ МЕТАЛОФІЗИКИ ІМ. Г.В. КУРДЮ-
МОВА НАЦІОНАЛЬНОЇ АКАДЕМІЇ НАУК УКРАЇНИ(57) Спосіб визначення крихкої міцності кон-
струкційних сталей, при якому проводять розтягування
стандартного гладкого циліндричного зразка по-
вздож однієї вісі зі створенням регламентованого
напруженого стану, який забезпечує окрихчення

сталі, при різних температурах в інтервалі темпе-
ратур вище -196°C , у тому числі $+20^{\circ}\text{C}$, який від-
різняється тим, що значення крихкої міцності
 R_{MC} визначають шляхом розрахунку згідно фізич-
но обґрунтованої залежності для заданої темпера-
тури випробувань:

$$R_{MC} \text{ в асч. } = \sigma_{0,2} \cdot 10^{n \lg \epsilon_{\text{экв.}}},$$

де n - показник деформаційного зміцнення, $\sigma_{0,2}$ - границя текучості, $\epsilon_{\text{экв.}}$ - приведенне значення еквівалентної дефор-
мації.

Корисна модель відноситься до галузі дослі-
дження механічних властивостей твердих матері-
алів, а саме, визначення рівня крихкої міцності
конструкційних сталей за допомогою випробувань
на одновісний розтяг.

Відомий спосіб визначення рівня крихкої міц-
ності конструкційних сталей при одновісному роз-
тязі та за допомогою локального опору відриву в
області дії концентраторів напружень з кінцевим
радіусом [1].

Недоліком даного способу є низька інформа-
тивність, оскільки не враховано зв'язок цієї харак-
теристики з параметрами структури металу та не
визначена її фізична природа.

Відомий також спосіб визначення крихкої міц-
ності R_{MC} конструкційних сталей шляхом розтягу-
вання гладких циліндричних зразків при темпера-
турах, близьких до температури киплячого азоту (-196°C), коли зразок втрачає пластичність до кри-
тичного рівня деформації в місці розриву $\psi \approx 2\%$
при руйнуванні. Цьому рівню пластичності ($\epsilon = 2\%$)
відповідає мінімальне напруження в зоні крихкого
руйнування, яке називається опором мікросколу
 R_{MC} . У випадках, коли при температурах випробу-
вання залишкова деформація в «шийці» трохи (до
 $15-20\%$) перевищує критичну 2% , використовують
отримані при таких випробуваннях значення дійс-
ного напруження в шийці S_K ($S_K > R_{MC}$). При цьому,
рівень R_{MC} визначають шляхом екстраполяції по-
точних значень напруження в шийці S_K на значен-

ня, відповідне критичній деформації $\epsilon = 2\%$. Рівень
напруження в шийці S_K при цій деформації прий-
мається рівним величині опору мікросколу R_{MC} [2].

Недоліком даного способу є наступне: значен-
ня крихкої міцності R_{MC} для сталевих сплавів з
високим рівнем пластичності визначають за відно-
сним звуженням в місці руйнування («шийці») ψ
при температурах, близьких до -196°C та залиш-
ковою пластичною деформацією значно вище 2% ,
а це робить метод екстраполяції та інші подібні
методи математичних розрахунків для гладких
зразків неефективними, тому що вони несуть в
собі значні похибки.

Найбільш близьким за технічною суттю та ре-
зультату, що досягається, до способу, що заявля-
ється, є спосіб визначення крихкої міцності кон-
струкційних сталей, при якому при якому проводять
розтягування стандартного гладкого циліндрично-
го зразка з кільцевим концентратором повздож
однієї вісі зі створенням регламентованого напру-
женого стану, який забезпечує окрихчення сталі,
при різних температурах в інтервалі температур
вище -196°C , а значення крихкої міцності R_{MC} ви-
значають по величині середнього номінального
напруження руйнування σ_{NF} та при значенні зали-
шкової деформації в місці розриву ψ , яка дорівнює
 2% [3].

Разом з тим, спосіб визначення крихкої міцно-
сті (опору мікросколу R_{MC}) за прототипом має на-
ступні недоліки: а) складність, тривалість в часі та

(19) UA (11) 55930 (13) U

коштовність виготовлення дослідних зразків з кільцевими концентраторами; б) неможливість визначення крихкої міцності R_{MC} конструкційних сталей з високим рівнем пластичності при кімнатній температурі випробувань $+20^{\circ}\text{C}$.

В основу винаходу покладено задачу вдосконалення способу визначення рівня крихкої міцності конструкційних сталей шляхом створення фізично обґрунтованої методики, що дозволяє швидко проводити розрахунки R_{MC} за результатами лабораторних випробувань стандартних гладких циліндричних зразків на одновісний розтяг в інтервалі температур не нижче -196°C , у тому числі і при кімнатній температурі $+20^{\circ}\text{C}$.

Поставлена задача вирішується тим, що у відомому способі визначення крихкої міцності конструкційних сталей, при якому проводять розтягування стандартного гладкого циліндричного зразка повздовж однієї вісі зі створенням регламентованого напруженого стану, який забезпечує окрихнення сталі, при різних температурах в інтервалі температур вище -196°C , згідно з винаходом, значення крихкої міцності R_{MC} визначають шляхом розрахунку згідно фізично обґрунтованої залежності для заданої температури випробувань:

$$R_{MC}(\text{расч.}) = \sigma_{0,2} \cdot 10^{n \lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}},$$

де n - показник деформаційного зміцнення,
 $\sigma_{0,2}$ - границя текучості,

$\bar{\epsilon}_{\text{екв.}}$ - приведені значення еквівалентної деформації.

Рівень напруження розтягу, що визначає крихку міцність R_{MC} конструкційних сталей, досягається за рахунок деформаційного зміцнення. У зв'язку з цим введено поняття «еквівалентної» деформації $\bar{\epsilon}_{\text{екв.}}$, при якій, за рахунок деформаційного зміцнення, значення напруження розтягу може досягнути значення R_{MC} при температурах вищих -196°C , в тому числі $+20^{\circ}\text{C}$.

Випробування стандартних гладких циліндричних дослідних зразків дає можливість більш швидкого визначення розрахункового значення крихкої міцності $R_{MC}(\text{роз.})$ з достатньою для лабораторних умов точністю, при цьому випробування проводяться в легко доступному інтервалі температур, вищих температури кипіння рідкого азоту, у тому числі і при кімнатній температурі $+20^{\circ}\text{C}$ за умов більш простої технології та менших витрат щодо виготовлення зразків.

Винахід пояснюється графіками, а саме:

на фіг. 1 - залежність опору пластичної деформації та напруження руйнування від рівня деформації: деформаційна залежність напруження руйнування (1); опір пластичної деформації (2), де α - кут нахилу кривої 2 по відношенню до вісі абсцис; $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}$ - логарифм еквівалентної деформації, відповідної $\lg R_{MC}$ на лінійній залежності в координатах $\lg \sigma - \lg \epsilon$ при різних температурах випробувань.

на фіг. 2 - діапазони змін значень параметрів $\sigma_{0,2}$ і n , що відповідають умові ($\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} = \text{const}$) для формування категорій конструкційних сталей.

В таблиці 1 наведені умовні кордони параметрів $\sigma_{0,2}$ та n при ранжуванні конструкційних сталей по категоріям.

В таблиці 2 наведені похибки визначення $R_{MC}(\text{роз.})$ відносно $R_{MC}(\text{екс.})$ для модельних матеріалів при $T_{\text{вип.}} = +20^{\circ}\text{C}$.

В таблиці Додатку до опису винаходу наведені узагальнюючі результати визначення $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}$, $\langle \lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} \rangle$, $R_{MC}(\text{роз.})$, ранжування по категоріям згідно таблиці 1 та фіг. 2 для технічно чистого заліза і кількох конструкційних сталей різної міцності, а також розрахунків відносної похибки 8 середнього арифметичного значення $\langle R_{MC}(\text{роз.}) \rangle$ по відношенню до експериментального значення $R_{MC}(\text{екс.})$, абсолютних відхилень $\Delta R_{MC}(\text{роз.})$ від $R_{MC}(\text{екс.})$ та середньої квадратичної похибки и при визначенні $R_{MC}(\text{роз.})$ способом, що заявляється, відносно $R_{MC}(\text{екс.})$.

Спосіб реалізується наступним чином.

Проводять розтягування зразка повздовж однієї вісі зі створенням регламентованого напруженого стану, який забезпечує окрихнення сталі, при цьому використовують стандартні гладкі циліндричні зразки. Розтягування здійснюється при різних температурах в інтервалі температур вище -196°C , у тому числі $+20^{\circ}\text{C}$.

Для визначення розрахункового значення крихкої міцності $R_{MC}(\text{роз.})$ використовували властивість близькості залежності опору пластичної деформації сплавів на основі заліза до лінійної в логарифмічних координатах $\lg \sigma - \lg \epsilon$, запропоновану в роботі [4] та схематично відображену на фіг. 1.

Використовуючи схему, відображену на фіг. 1, маємо наступну залежність:

$$\frac{\lg \left(\frac{R_{MC}}{\sigma_{0,2}} \right)}{\lg \left(\frac{\bar{\epsilon}_{\text{екв.}}}{0,002} \right)} = \text{tg} \alpha = n$$

звідки:

$$\lg \left(\frac{R_{MC}}{\sigma_{0,2}} \right) = n \lg \left(\frac{\bar{\epsilon}_{\text{екв.}}}{0,002} \right) = n \lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} \quad (1)$$

де $\frac{\bar{\epsilon}_{\text{екв.}}}{0,002} = \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}$ - приведені значення екві-

валентної деформації.

З рівняння (1) маємо:

$$\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} = \frac{\lg \left(\frac{R_{MC}}{\sigma_{0,2}} \right)}{n} \quad (2)$$

Підставляючи замість R_{MC} його експериментальні значення $R_{MC}(\text{екс.})$ для кожного модельного матеріала, знаходимо відповідні експериментальні значення $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}$ при усіх $T_{\text{вип.}}$ (див. таблицю Додатка).

Враховуючи той факт, що для модельних матеріалів отримуємо широкий діапазон змін значень $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}$, підбираємо матеріали при заданій температурі випробувань, виходячи з принципу мінімізації інтервалу змін значення $\lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}}$ за умови $\Delta \lg \bar{\epsilon}_{\text{екв.}} \leq \pm 5\%$. Таким чином формуються окремі категорії сплавів на основі заліза, що об-

межені діапазонами змін параметрів межі текучості $\sigma_{0,2}$ та показника деформаційного зміцнення n , для кожної з яких визначається середнє арифметичне значення $\langle \lg \bar{\epsilon}_{\text{зкв.}} \rangle$.

Отримані середні значення $\langle \lg \bar{\epsilon}_{\text{зкв.}} \rangle$ для кожної категорії сплавів на основі заліза використовуються для розрахунку $R_{\text{МС}}(\text{роз.})$ матеріалів, у яких комбінація параметрів $\sigma_{0,2}$ та n при заданій температурі випробувань відповідає визначеній категорії. Для розрахунків використовується наступна залежність:

$$\lg \left(\frac{R_{\text{МС}}(\text{асч.})}{\sigma_{0,2}} \right) = n \lg \bar{\epsilon}_{\text{зкв.}}$$

звідки:

$$R_{\text{МС}}(\text{асч.}) = \sigma_{0,2} \cdot 10^{n \lg \bar{\epsilon}_{\text{зкв.}}} \quad (3)$$

Таким чином, рівняння (3) є основним для визначення розрахункового значення крихкої міцності сплавів на основі заліза при заданій температурі випробувань з точністю, цілком достатньою для інженерних розрахунків, при якій максимальна квадратична похибка визначення крихкої міцності $R_{\text{МС}}(\text{роз.})$ запропонованим способом, проведеного на сталях з межею текучості від 138 МПа до 2250 МПа, складає 8,1 % від відповідних величин опору мікросколу, отриманих у випробуваннях з прямим

визначенням $R_{\text{МС}}$ на гладких зразках (див. таблицю Додатка).

Окремою важливою особливістю запропонованого способу, що цілком відрізняє його від існуючих раніше способів, є можливість визначати значення $R_{\text{МС}}(\text{роз.})$ при кімнатній температурі $+20^\circ\text{C}$ з точністю, при якій похибка не перевищує 9,2 %, що достатньо для інженерних та лабораторних розрахунків (див. таблицю 3).

Таким чином, запропонований спосіб дозволяє з високою та достатньою для інженерних розрахунків точністю визначати рівень крихкої міцності $R_{\text{МС}}$ конструкційних сталей з високим рівнем пластичності шляхом випробування стандартних гладких зразків на одновісний розтяг в температурному діапазоні $T_{\text{вип.}} \geq -196^\circ\text{C}$.

Література:

1. Копельман Л.А. Сопротивляемость сварных узлов хрупкому разрушению. - Л.: Машиностроение, 1978. - с.42.
2. Мешков Ю.Я., Пахаренко Г.А. Структура металла и хрупкость стальных изделий. - К.: Изд-во „Наукова думка“, 1985. - с. 82.
3. Патент України на корисну модель № 49501, МПК G01N 3/08, 2009.
4. Hollomon J.H. Amer. Inst. min. metallurg. Engrs., 162, Iron steel Div., - 1945. - p. 268-290.

Таблиця 1

Умовні кордони параметрів $\sigma_{0,2}$ та n при ранжуванні конструкційних сталей по категоріям

Категорії	$\sigma_{0,2}$, МПа	n	Класифікація конструкційних сталей по рівню міцності
I кат.	$\geq 125 < 470$ $> 470 \leq 700$	$\geq 0,09 \leq 0,110$ $> 0,110 \leq 0,270$	Низької та середньої міцності
II кат.	$\geq 375 < 500$	$\geq 0,188 \leq 0,330$	Середньої міцності з високим n
III кат.	$\geq 500 < 875$	$\geq 0,050 \leq 0,110$	Середньої міцності з низьким n
IV кат.	$\geq 875 \leq 1050$	$\geq 0,085 \leq 0,150$	Високої міцності з високим n
V кат.	$> 1000 < 1200$	$\geq 0,050 < 0,085$	Високої міцності з низьким n
VI кат.	$\geq 1200 < 1400$	$\geq 0,005 \leq 0,055$	Високої міцності з особливо низьким n
VII кат.	$\geq 1400 \leq 1800$	$\geq 0,050 \leq 0,075$	Особливо високої міцності з низьким n
VIII кат.	$> 1800 \leq 2250$	$\geq 0,07 \leq 0,130$	Особливо високої міцності з високим n

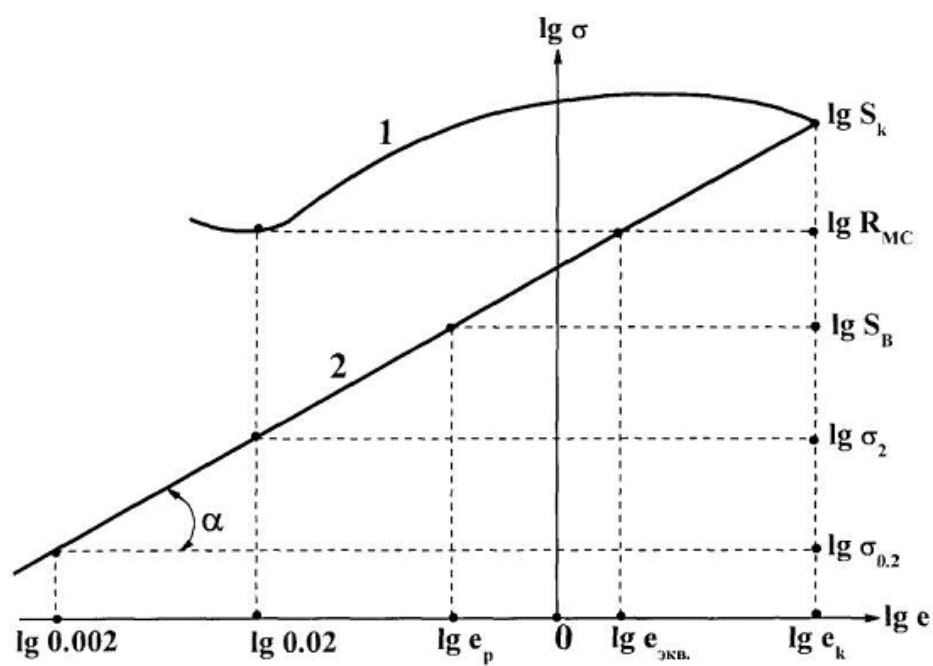
Таблиця 2

Похибки визначення $R_{\text{МС}}(\text{роз.})$ для модельних матеріалів при $T_{\text{вип.}} = +20^\circ\text{C}$

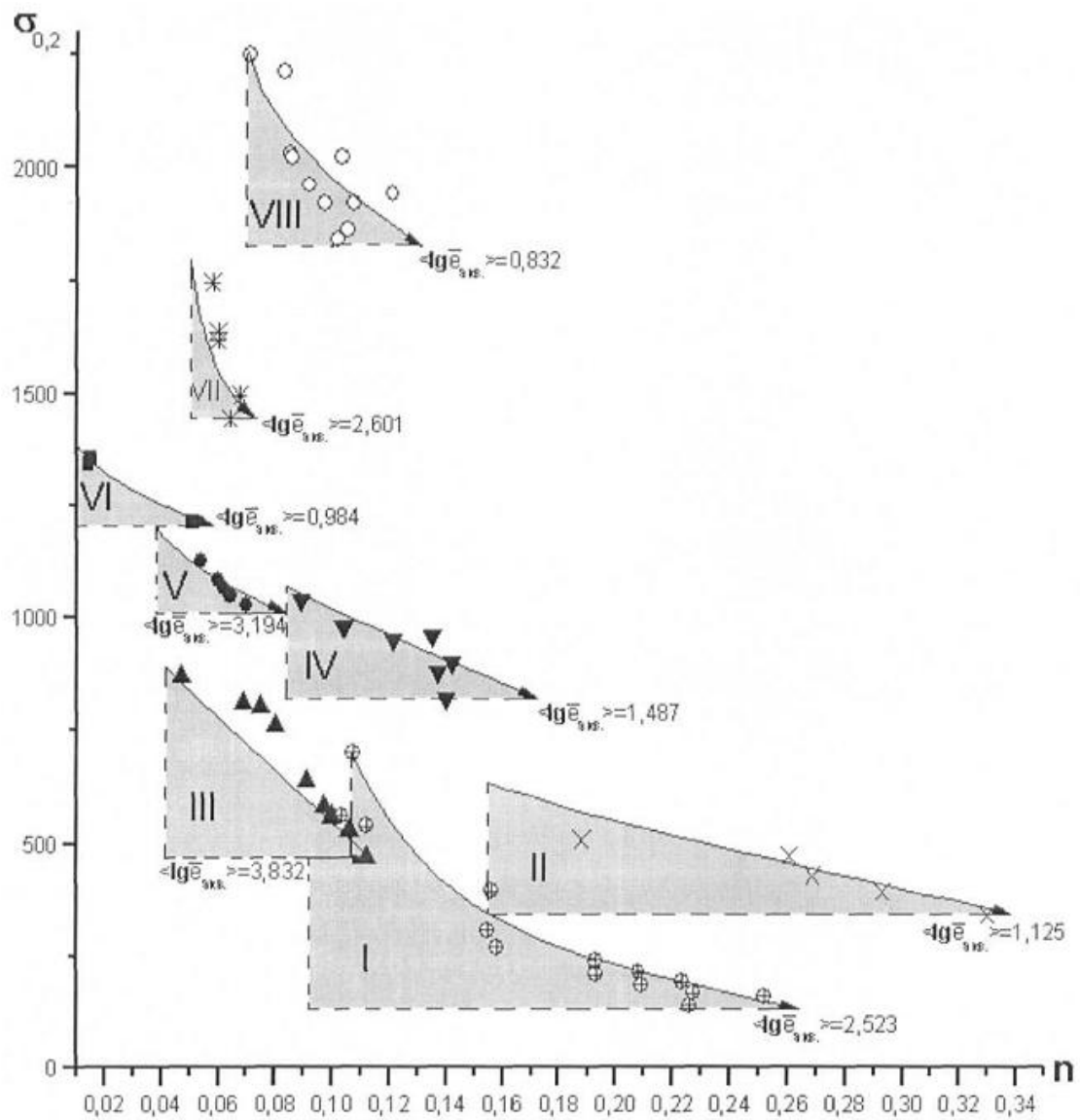
Матеріал	Fe-α	Зсп.	12ХН3МФА		У8	10Г2ФБ	15Х2НФМА (п1)
Відносна по- хибка δ, %	3,2	1,1	9,5		5,5	7,2	4,5
Матеріал	AK-35	20ХГС2	2ГС	50Х	50ХН	ШХ15	15Х2НФМА (п1)
Відносна по- хибка δ. %	1,9	0,0	8,0	3,2	6,0	1,0	3,8

Таблица

I-ша категория									
№ п/п	Материал	T _{вип.} , К	σ _{0,2} , МПа	n	R _{MC} (екс), МПа	lge _{екв.}	< lg ē _{екв.} >	R _{MC} (роз.), МПа	Δ, МПа
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Fe-α	293	138	0,266	626	-0,230	2,523	647	+21
		253	166	0,227		-0,159		621	-5
		233	185	0,209		-0,166		623	-3
		213	208	0,193		-0,220		638	+12
		173	269	0,158		-0,378		674	+48
<R _{MC} (рас.)>, МПа; υ, МПа:								641	27,0
δ, %; υ, %:								2,3	4,3
2	Зсп.	293	160	0,252	700	-0,156	2,523	692	-8
		253	192	0,223		-0,180		701	+1
		233	213	0,208		-0,215		713	+13
		213	239	0,193		-0,281		733	+33
		173	308	0,155		-0,399		758	+58
<R _{MC} (рас.)>, МПа; υ, МПа:								719	34,2
δ, %; υ, %:								2,6	4,9
3	Ст.3	173	394	0,156	1027	-0,032	2,523	975	-52
		148	539	0,112		-0,199		1033	+6
		104	562	0,103		-0,080		1022	-5
<R _{MC} (рас.)>, МПа; υ, МПа:								1010	37,2
δ, %; υ, %:								1,7	3,6
4	12ХН3МФА	293	700	0,107	1440	0,229	2,523	1303	-137
<R _{MC} (рас.)>, МПа; υ, МПа:								1390	116,0
δ, %; υ, %:								3,5	8,1
II-га категория									
5	У8	293	341	0,330	849	-1,499	1,125	802	-47
		253	391	0,293		-1,550		835	-14
		233	427	0,269		-1,589		857	+8
		213	473	0,261		-1,726		930	+81
		173	507	0,188		-1,924		825	-24
<R _{MC} (рас.)>, МПа; υ, МПа:								850	49,0
δ, %; υ, %:								0,0	5,8
III-я категория									
6	10Г2ФБ	293	470	0,112	1380	1,404	3,832	1263	-117
		253	530	0,106		1,222		1350	-30
		233	560	0,100		1,218		1353	-27
		213	585	0,097		1,144		1377	-3
		173	640	0,091		0,968		1429	+49
<R _{MC} (рас.)>, МПа; υ, МПа:								1354	66,6
δ, %; υ, %:								1,9	4,8
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
7	15Х2НФМА (пла- вка 1)	293	760	0,080	1470	0,882	3,832	1539	+69
		213	812	0,069		1,037		1493	+23
		133	870	0,047		1,631		1317	-153
<R _{MC} (рас.)>, МПа; υ, МПа:								1450	119,8
δ, %; υ, %:								1,4	8,1



Фиг. 1



Фиг. 2