

**ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ СЕЛЕНА, СВИНЦА И  
ТЕЛЛУРА НА МЕХАНИЧЕСКИЕ ХАРАКТЕРИСТИКИ СТАЛЕЙ***Л.М. Сединкин**Сумский государственный университет, г. Сумы*

*Рассмотрено влияние добавок селена, свинца и теллура в сталь с целью улучшения ее обрабатываемости резанием. Установлено отсутствие негативного влияния присадок на механические характеристики сталей за исключением анизотропии пластических свойств при испытании в условиях глубокого холода.*

**ВВЕДЕНИЕ**

Каждый, кто в той или иной мере касается исследования легко обрабатываемых сталей, считает своим долгом провести механические испытания этих сталей. И это, понятно, не может быть самоцелью получения хорошей обрабатываемости без высоких эксплуатационных свойств. В настоящее время сложилось довольно устойчивое представление об отрицательном влиянии присадок селена, свинца и теллура на механические свойства сталей без достаточного на то основания. Очевидно, здесь сказывается определенное предубеждение, возникающее в результате работы с сернистыми сталями. Возможно, этому способствует противоречивость данных механических испытаний, приводимых разными авторами, насколько это представление устойчиво, можно судить по тому, что в фундаментальном труде выдающихся ученых по резанию металлов записано буквально следующее: «Применение этого метода (легирование сталей селеном, свинцом и теллуrom) в настоящее время ограничено, так как при введении указанных элементов в металл качество его необратимо ухудшается» [1]. Однако никаких обоснований или ссылок на источники здесь не приведено. И это в то время, когда на ВАЗ более 20 марок конструкционных сталей, содержащих в своем составе 0,3% свинца, используется для изготовления ответственных деталей автомобилей. До 60% добываемого в США технического селена используется для производства сталей с повышенной обрабатываемостью. Очевидно, данное предубеждение сформировалось в умах по аналогии с влиянием серы на свойства сталей.

Перед нами стояла задача опровергнуть или подтвердить это положение.

**1 ИССЛЕДОВАНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ПРИ  
РАСТЯЖЕНИИ**

Опыты по растяжению производились на универсальной машине типа УМ -5 с записью на бумаге диаграммы растяжения. Для испытаний на растяжение из каждого вида исследуемой стали было изготовлено по три образца диаметром 6 мм и длиной 48 мм. Образцы удовлетворяли требованиям ГОСТ 1497-84. При этом, образцы сталей были взяты от заготовок с различными видами термической обработки.

Математическая обработка диаграмм растяжения позволила определить механические характеристики исследуемых сталей: предел пропорциональности  $\delta_p$ , условный предел текучести  $\delta_{0,2}$ , временное сопротивление  $\delta_B$ , относительное удлинение  $\delta\%$ , относительное сужение  $\psi\%$ .

Результаты расчетов приведены в таблицах 1,2,3. Как видно из таблиц, заметного влияния добавок на механические свойства сталей

15X2Г2СВА, 10X18Н10Т, 35Х2ГСМА, У10А не обнаруживается. Разброс данных находится в пределах допустимой погрешности эксперимента (5%).

Таблица 1 – Результаты испытаний на растяжение сталей 10X18Н9Т и 35Х2ГСМА

Марка стали и вариант микролегирования	$\sigma_B$ , МН/м <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , МН/м <sup>2</sup>	$\sigma_D$ , МН/м <sup>2</sup>	$\Psi$ , %	$\delta$ , %	НВ
10X18Н10Т	570 613	319 344	210 235	70 72,3	59,2 60,6	156
10X18Н10Т+11% Se	560 620	- 302	- 218	66,6 69	62	149
10X18Н10Т+0.2% Se	588 640	352 355	210 250	70,8 69,6	50,2 55,7	159
10X18Н10Т+0.05% Se +0.08% Pb	580 580	319 368	202 278	70,8 66,7	57,5 57,9	153
10X18Н9Т	580 580	352 360	252 268	66,8 70,8	53,3 53,4	-
10X18Н9Т+0.25% Se	654	336	226	65,2	50,0	-
35Х2ГСМА	773 770	614 640	486 498	57 53,2	18,6 18,7	228
35Х2ГСМА+0.2% Se	935 830	805 693	700 600	55,6 57,8	16,5 18,95	255

Таблица 2 – Результаты исследования на растяжение стали 15Х2Г2СВА в различных состояниях термической обработки

Термо-обработка	Марка стали и вариант дополнительного легирования	$\sigma_B$ , МН/м <sup>2</sup>	$\sigma_{0,2}$ , МН/м <sup>2</sup>	$\sigma_D$ , МН/м <sup>2</sup>	$\Psi$ , %	$\delta$ , %	НВ
Закалка, отпуск 473°C	15Х2Г2СВА	1390	-	1100	60,5	10,3	418
	15Х2Г2СВА+0,1% Se	1440	-	1220	56,4	10,5	402
	15Х2Г2СВА+0,2% Se	1400	-	1180	56,2	10,3	-
	15Х2Г2СВА+0,1% Se+0,1% Pb	1370	-	-	51,5	9,43	418
	15Х2Г2СВА+0,1% Te	1380	-	1100	54,2	11,2	402
Закалка, отпуск 823°C	15Х2Г2СВА	725	648	600	66,5	17,1	235
	15Х2Г2СВА+0,1% Se	634	555	469	67	22,7	217
	15Х2Г2СВА+0,2% Se	695	608	545	68	20,5	223
	15Х2Г2СВА+0,1% Se+0,1% Pb	650	545	468	64	23,5	228
	15Х2Г2СВА+0,1% Te	705	627	568	64	21	228
Закалка, отпуск 973°C	15Х2Г2СВА	666	568	510	69	22	202
	15Х2Г2СВА+0,1% Se	667	647	540	66	22	207
	15Х2Г2СВА+0,2% Se	695	628	540	59	20	212
	15Х2Г2СВА+0,1% Se+0,1% Pb	655	550	490	68	22	212
	15Х2Г2СВА+0,1% Te	690	610	552	70,3	21,15	207

Таблица 3 – Механические свойства стали У10А, легированной селеном и свинцом

Пор. номер	Марка стали и вариант легирования	$\sigma_B$ , МН/м <sup>2</sup>	$\sigma_S$ , МН/м <sup>2</sup>	$\Psi$ , %	$\delta$ , %	$\alpha$ , Н/м <sup>2</sup>
Отжиг на зернистый перлит НВ = 170						
1	У10А	607	314	60	30	480
2	У10А+0,17% Se	590	333	60	33	440
3	У10А+0,08% Se + 0.06 Pb	605	285	63	31	539
Нормализация НВ = 255						
1	У10А	920	442	20	15	98
2	У10А+0,17% Se	925	450	15	14,5	96
3	У10А+0,08% Se + 0.06 Pb	923	447	18	14,8	100

## 2 МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ В УСЛОВИЯХ ВЫСОКИХ ТЕМПЕРАТУР

В наших экспериментах были исследованы механические свойства аустенитной стали 10Х18Н10Т и высоколегированной конструкционной стали 15Х2Г2СВА в интервале температур 1223° - 1523°К и 473° - 923°К соответственно. Диапазон высоких температур был необходим для проверки влияния добавок на технологические свойства, например, при прокатке.

Испытания проводились в соответствии с ГОСТ 9651-84., их результаты приведены на рис. 1 и 2.

Как видно из рис.1, добавка в сталь 10Х18Н10Т свинца в количестве 0,06% совместно с селеном (0,05%) и одного селена (0,20%) не оказывает сколь – либо заметного влияния на ударную вязкость образцов во всем диапазоне температуры испытания. С ростом температуры происходит монотонное увеличение ударной вязкости вне зависимости от присутствия присадок в образцах. В работе не ставилась цель определения работы зарождения трещины, поэтому использовались образцы с V-образным надрезом и R0,25мм.

Данные, приведенные на рис. 2, также показывают, что и на свойства конструкционной стали 15Х2Г2СВА добавки селена, свинца и теллура не оказывают какого – либо влияния. Как видно из графика (рисунок 2), первоначально до температуры 573єК происходит падение пластических свойств на всех образцах данной стали, а затем идет монотонное их повышение. Аналогичные явления мы наблюдали и на других сталях.

При этом выделить особо какие – либо из исследованных вариантов сталей не представляется возможным. На основании этих опытов можно дать однозначный ответ: добавка в сталь с целью улучшения обработки резанием селена, свинца и теллура, а также их комплекса не приводит к ухудшению механических свойств сталей и в области высоких температур.

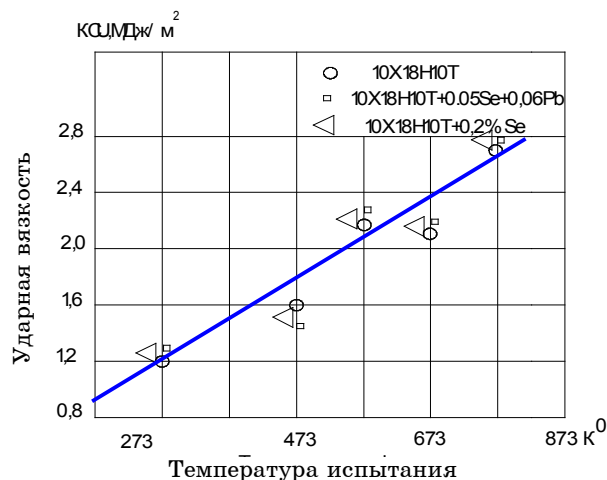


Рисунок 1 – Ударная вязкость в условиях высоких температур испытания

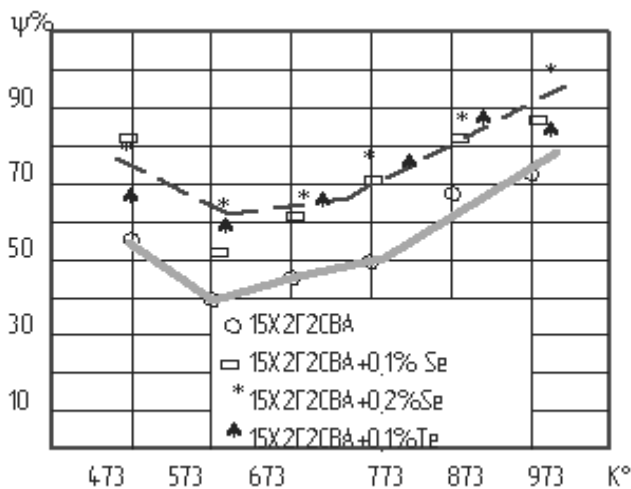


Рисунок 2 – Пластичность стали в условиях высоких температур испытания

### 3 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК НА ХЛАДОЛОМКОСТЬ СТАЛЕЙ

В настоящее время в связи с промышленным освоением районов Крайнего Севера повысились требования к материалам, идущим на изготовление деталей машин. Оказалось, что ряд сталей, с успехом используемых для деталей машин, работающих при положительных температурах, сделались непригодными из – за повышенной хрупкости при работе в условиях отрицательных температур. Достаточно объективных данных о влиянии селена, свинца и теллура на работоспособность в условиях низких температур пока нет. В то же время естественен вопрос, насколько сильно эти добавки могут оказать влияние на хладоломкость сталей. Исследование по ГОСТ 11150-84 проводилось на

образцах из стали 15Х2Г2СВА с различным содержанием селена, свинца и теллура. Образцы подвергались закалке с последующим отпуском при температуре 923°К. Определение ударной вязкости проводилось в интервале температур 173° - 373°К. Охлаждение образцов перед испытанием проводилось с помощью жидкого азота. Как видно из рисунка 3, ударная вязкость образцов стали 15Х2Г2СВА в диапазоне температур 173° - 373°К понижается с уменьшением температуры испытания. При этом селен в количестве до 0,2% и теллур до 0,1%, не оказали какого-либо влияния на ударную вязкость исследованной стали.

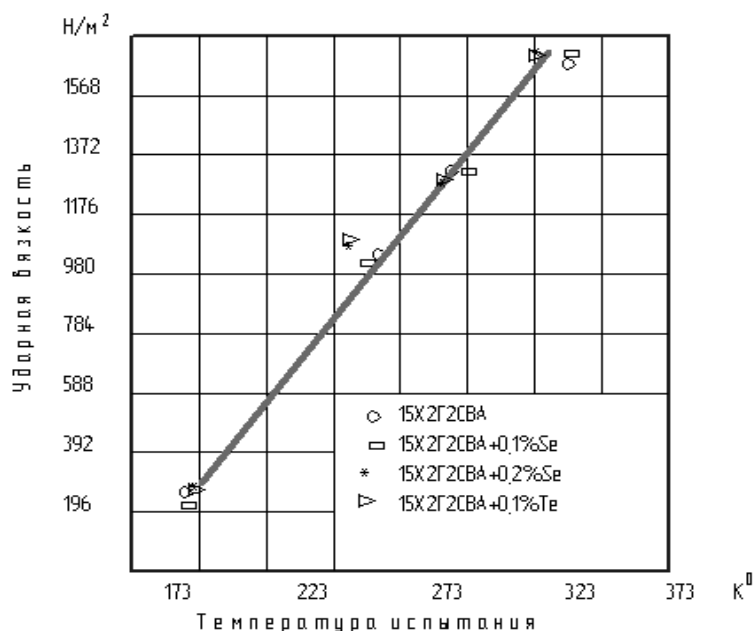


Рисунок 3 – Ударная вязкость стали в условиях низких температур

#### 4 ВЛИЯНИЕ СЕЛЕНА, СВИНЦА И ТЕЛЛУРА НА АНИЗОТРОПИЮ ПЛАСТИЧЕСКИХ СВОЙСТВ

Изучение влияния селена, свинца и теллура на анизотропию механических свойств проводилось на промышленных плавках стали 15Х2Г2, двух плавках стали 10Х18Н10Т, а также на сталях 19ХГН, 20ХГНМ, 38ХГМ, 40ХГНМ, 35Г2 и стали 35. Для оценки анизотропии механических свойств испытывались продольные и поперечные образцы. При этом отношение свойств, определенных на продольных образцах, к свойствам поперечных образцов принималось за коэффициент анизотропии. Общеизвестно, что прочностные характеристики сталей мало чувствительны к направлению вырезки образцов. Поэтому анизотропия механических свойств сталей обычно оценивается по характеристикам пластичности  $\delta$  и  $\psi$ , а также вязкости.

В таблице 4 показаны результаты исследования стали 15Х2Г2СВА. Как видно из таблицы, коэффициент анизотропии, найденный по соотношению величин относительных удлинений, для стали 15Х2Г2СВА изменяется в незначительных пределах (от 1.14 до 1.21), что составляет примерно 7% и находится в пределах погрешности эксперимента. В то же время коэффициент анизотропии, найденный при испытании ударной вязкости, колеблется от 2,38 для исходной стали до 3,24 для стали с 0,2%Se (что составляет 37%).

Таблица 4 – Анизотропия пластических свойств при испытании на растяжение и ударную вязкость при температуре 173°K

Марка стали и вариант микролегирования	Относительное удлинение, %		Коэф. анизотр.	Ударная вязкость $\alpha$ , Н/м <sup>2</sup>		Коэф. анизотр.
	вдоль волокон	поперек волокон		вдоль волокон	поперек волокон	
15X2Г2СВА	25	22	1,14	1762	740	2,38
15X2Г2СВА+0,1%Se	24	21	1,14	1860	735	2,64
15X2Г2СВА+0,2%Se	23	19	1,21	2050	737	3,24
15X2Г2СВА+0.1%Se +0,1%Pb	24	21,5	1,12	1715	784	2,19
15X2Г2СВА+0,1%Te	24	19,5	1,2	2225	786	2,87

Обращает на себя внимание тот факт, что снижение температуры испытания до 173°K ведет к более интенсивному уменьшению величины ударной вязкости для поперечных, чем продольных, образцов.

#### 5 ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ ДОБАВОК ПРИ ИСПЫТАНИИ ОБРАЗЦОВ НА СЖАТИЕ

Нашими экспериментами убедительно доказано, что при тчении сталей, легированных селеном, свинцом и теллуrom, наблюдается значительное снижение сил резания. [2] Степень пластической деформации и величина относительного сдвига при резании пластических материалов, как известно, могут достигать весьма значительной величины. В то же время при растяжении сталей разрыв образца обычно наступает при сдвиге, редко превышающем единицу, а часто предельная величина сдвига находится в пределах 0,5 – 1. На вопрос о том, чем объясняется уменьшение сил резания, трудно ответить с позиции только механических характеристик, получаемых при испытании на растяжение. Учитывая тот факт, что исследования влияния добавок селена, свинца и теллура на поведение сталей в условиях больших пластических деформаций пока отсутствуют, ответить на вопрос, как повлияют микролегирующие добавки на вид функции напряжения от деформации при больших пластических деформациях стали, не представляется возможным. Большие деформации, характерные для процесса резания, могут быть достигнуты только путем испытания на сжатие. Проведенные нами эксперименты выполнялись на 500 – тонном прессе модели 2НГ – 500. При исследовании использовали широко известный ступенчатый метод, заключающийся в следующем: из каждого вида исследованных сталей были изготовлены по 3 образца. Каждый образец представлял собой цилиндр с соотношением высоты к диаметру, равным 2,5. Во время исследования образец устанавливался в направляющем стакане. Смазкой служила свинцовая фольга толщиной 0,05мм, смоченная в керосине. Образец сжимался на величину 10 мм, и нагрузка снималась. После обмера образца заменялась смазка на торцах, и опыт продолжался. После трех-, четырехкратного сжатия образец перетачивался с соотношением высоты к диаметру, равным 1,5. Это снижение величины отношения высоты  $h$  к диаметру  $d$  вызвано опасностью продольного прогиба образца из-за потери устойчивости, так как при переточке диаметр его каждый раз уменьшается и доводится до 8 – 12 мм. Таким образом, путем последовательного сжатия удалось достигнуть величины относительного сдвига, равного 3 – 5. Испытание на

сжатие проводилось на образцах из сталей 10X18H9T, 10X18H10T, 15X2Г2СВА, 45Г2, У10А в различных состояниях термообработки. На рисунке 4 представлены результаты сжатия исследуемых сталей в координатах  $\lg \sigma - \lg E$ . Величина относительного сдвига находилась из выражения

$$\varepsilon = 1,5 \lg \frac{h_0}{h_x},$$

где  $h_0$  – первоначальная высота образца;  
 $h_x$  – текущая высота образца.

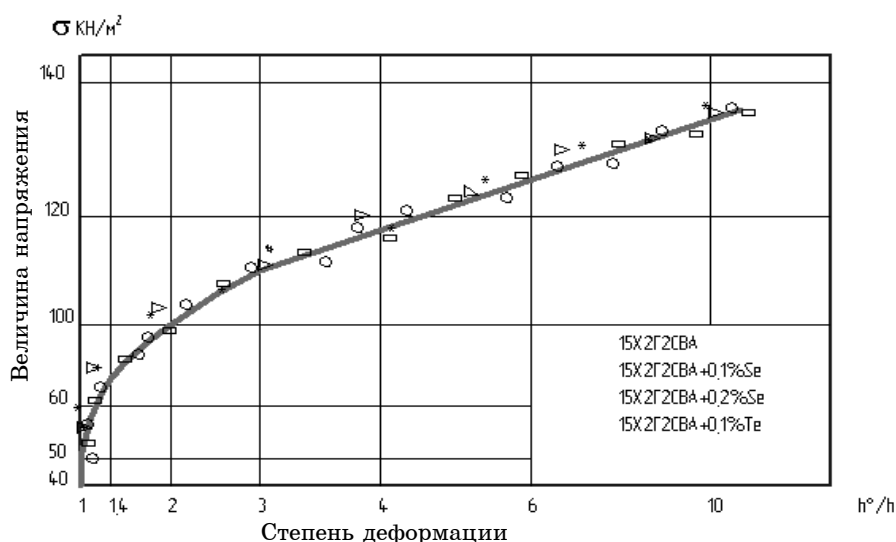


Рисунок 4 – Зависимость напряжения от степени деформации при испытании на сжатие

Из графика, приведенного на рисунке 4, видно, что независимо от процентного содержания добавок невозможно заметить сколь – либо заметного влияния последних на механические характеристики сталей при сжатии. В отдельных случаях мы видим повышение, но не понижение механических свойств. Однако это повышение объясняется не столь наличием добавок, сколь более высокой твердостью исследуемой стали.

На рисунке 5 приведен график, полученный при сжатии исследуемых сталей в координатах  $\lg \frac{h_0}{h_x} - \lg \sigma$ .

Из этого графика видно, что для всех сталей, независимо от вида добавок и их процентного содержания, при линейно напряженном состоянии хорошо выполняется закон политропы сжатия. Наблюдения показали, что закон политропы сохраняется до момента возникновения и развития трещин при сжатии. Причем разрушение, если оно и происходило, то происходило независимо от наличия добавок при одинаковых величинах деформации. Из графиков, приведенных на рисунках 4 и 5, были найдены константы политропы сжатия, которые приведены в таблице 5.

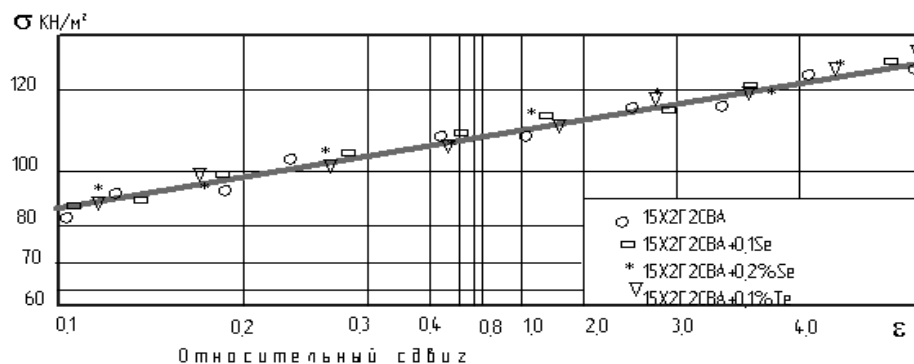


Рисунок 5 – Зависимость напряжения от относительного сдвига при испытании на сжатие

Таблица 5 – Константы политропы сжатия

Марка стали и вариант микролегирования	$\sigma_{0,2}$ МН/м <sup>2</sup>	$n$	$B$	$c$
15X2Г2СВА 15X2Г2СВА+0,1% Se 15X2Г2СВА+0,2% Se 15X2Г2СВА+0,15% Te	900	0,145	102	0,106
1X18Н10Т 1X18Н10Т+0,25% Se	1130	0,17	155	0,62
45Г2 45Г2+0,15% Se 45Г2+0,15% Te 45Г2+0,1% Se+0,15% Pb	296	0,055	40,2	0,147

Постоянные  $B$  и  $c$  определяются из опытов на сжатие, причем  $B$  представляет собой напряжение  $\sigma$ , получаемое при сжатии  $\varepsilon=1$ . Величина  $c$  является тангенсом угла наклона между прямой  $\lg \sigma = f(\lg \varepsilon)$  и положительным направлением оси  $\lg \varepsilon$ . Константа  $n$  определяется как тангенс угла наклона кривой  $\lg \sigma - \lg \frac{h_0}{h_x}$  к оси  $\lg \frac{h_0}{h_x}$ .

## ВЫВОДЫ

На основании данных, полученных в экспериментах, можно прийти к некоторым выводам:

- добавки в сталь селена, свинца и теллура с целью улучшения обрабатываемости резанием в исследованных пределах не оказывают влияния на механические свойства исследованных сталей как при нормальных температурах, так и при повышенных и низких температурах испытания;

- наличие в стали свинца, селена и теллура или их комплекса не оказывает влияния на процесс деформации при сжатии образцов в условиях нормальной температуры;

- добавка в сталь свинца, селена и теллура не изменяет и не нарушает закона политропы. А это означает, что расчет сил резания для сталей с добавками может вестись по известным характеристикам для обычных



сталей. Но это же не позволяет объяснить причину снижения сил резания при резании сталей с добавками селена, свинца и теллура.

Единственное негативное влияние добавок выявилось только на анизотропию пластических свойств при испытании в условиях низких температур.

## SUMMARY

### RESEARCH OF THE INFLUENCE OF SELENIUM, LEAD AND TELLURA ON MECHANICAL FEATURES OF STEELS

*L.M. Sedinkin*

*Sumy State University*

*Influencing of additions of selenium, lead and telluric in steel with the purpose of improvement of its workability cutting is considered. Absence of the negative influence of additives is set on mechanical descriptions of steels, except for the anisotropy of plastic properties at a test in the conditions of deep cold*

## СПИСОК ЛИТЕРАТУРЫ

1. Развитие науки о резании металлов. – М.: Машиностроение, 1967. – 257с.
2. Сединкин Л.М. Изучение влияния включений селенидов марганца при механической обработке селеносодержащих сталей // Вісник Сумського державного університету. Серія Технічні науки. – 2004. – №2 (61). – С. 140.

**Сединкин Л.М.**, канд. техн. наук, доцент,  
СумГУ, г. Сумы

*Поступила в редакцию 20 сентября 2007 г.*