

**В.В.Парусов, С.А.Воробей, Л.В.Сагура, Э.В.Парусов, О.В.Парусов,
И.Н.Чуйко**

Институт черной металлургии им. З.И. Некрасова НАН Украины,

**ВЛИЯНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ,
МИКРОЛЕГИРОВАНИЯ БОРОМ И СТАРЕНИЯ
НА РАБОТУ РАЗРУШЕНИЯ КАТАНКИ ПРИ РАСТЯЖЕНИИ**

Целью работы являлось исследование влияния режимов термической обработки, микролегирования бором и старения на величину работы разрушения катанки при растяжении. Проведенные испытания показали, что работа разрушения катанки из стали марки 55 после термической обработки, включающей закалку от температуры $800 \pm 20^{\circ}\text{C}$ и последующий отпуск при температурах $600 \dots 300^{\circ}\text{C}$, уменьшается с понижением температуры отпуска. В катанке из стали марки Св08Г2С, подвергнутой деформационному старению работа разрушения уменьшается, причем это уменьшение зависит от отношения В/Н. Наименьшая работа разрушения при $\text{В/Н} = 1,0-1,2$.

Ключевые слова: термическая обработка, катанка, работа разрушения, микролегирование бором.

Современное состояние вопроса. Величина работы деформации является важной характеристикой механических свойств металлопроката, которой в последние годы уделяется все большее внимание. Пластическая деформация образца, в частности, при растяжении, требует затраты определенной работы. Эта работа частично рассеивается образцом в виде тепла, но бóльшая ее часть остается в виде запасенной, накопленной энергии, связанной, главным образом, с дефектами кристаллического строения.

Полная работа деформации A при растяжении определяется площадью между первичной кривой растяжения и осью деформаций [1]:

$$A = \int \sigma d\varepsilon$$

Энергию, необходимую для разрушения можно определить только по фактическим диаграммам растяжения образцов. При их отсутствии для количественного сопоставления комплекса прочностных и пластических свойств проката удобно использовать показатель, равный произведению временного сопротивления разрыву на относительное удлинение. Такой показатель имеет корреляционную связь с энергией разрушения [2, 3]. В общем виде показатель, обобщающий прочностные и пластические свойства проката (K_{np}), равен [4]:

$$K_{np} = \sigma_B \cdot \delta_5^{C1}$$

где $C1$ – коэффициент, равный $0,6-1,0$.

Целью настоящего исследования было определение работы разрушения катанки при растяжении в зависимости от исходных качественных характеристик стали.

Прочностные и пластические свойства катанки зависят от многих факторов: химического состава, технологии производства и дальнейшей её обработки. Эти факторы определяют структурное состояние, а структура – свойства. Основным химическим элементом, влияющим на комплекс механических и служебных свойств стального проката, является углерод. На рис. 1 приведена зависимость влияния содержания углерода в стали на произведение временного сопротивления разрыву и относительного удлинения ($\hat{E}_{\bar{w}} = \sigma_{\bar{A}} \cdot \delta_5$), полученная в результате обработки данных работы [5], а на рис. 2 – в результате обработки данных промышленных партий катанки. Наиболее высокие значения показателей K_{mn} соответствуют содержанию углерода в стали 0,2 – 0,4 %.

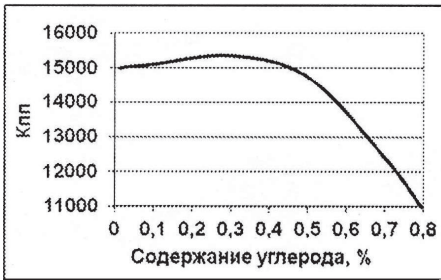


Рис. 1. Зависимость показателя K_{mn} от содержания углерода в стали, построенная по данным работы [5]

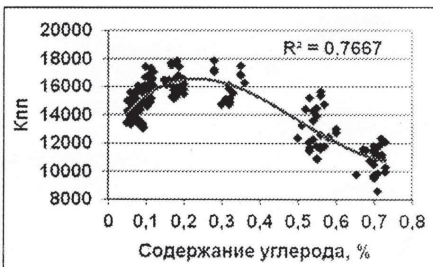


Рис. 2. Зависимость показателя K_{mn} от содержания углерода в катанке

Не менее важную роль на показатель K_{mn} играет легирование и/или микролегирование. Влияние легирующего (микролегирующего) элемента на свойства зависит от его взаимодействия с ферритом (растворение в феррите, выделение дисперсных фаз) и углеродом (участие в карбидообразовании).

Изменения в фазовом и структурном состояниях, происходящие на первой стадии легирования (уменьшение размеров карбидов, измельчение зерна и снижение содержания углерода в феррите),

благоприятно сказываются на механических свойствах сталей – повышается их прочность и вязкость. Такое изменение свойств имеет место и при увеличении содержания легирующего элемента в пределах, отвечающих первой стадии легирования.

На второй стадии легирования, когда увеличение содержания легирующего элемента в стали сопровождается увеличением его концентрации в феррите, изменение свойств стали определяется, в основном, изменением свойств феррита. Поэтому на второй стадии легирования наблюдается, как правило, повышение прочности стали, сопровождающееся, однако, понижением ее вязкости и хладостойкости. Такое изменение свойств усугубляется иногда эффектом дисперсионного упрочнения [6].

Цель настоящей работы – исследование влияния режимов термической обработки, микролегирования бором и старения на величину работы разрушения катанки при растяжении.

Материал и методика проведения исследований. Исходным материалом для исследований служила катанка диаметром 5,5 мм стали марок 55 и Св08Г2С, микролегированной бором, после различных режимов термической обработки и старения.

Химический состав углеродистых сталей, из которых были произведены опытно-промышленные партии проката в условиях ОАО "Молдавский металлургический завод" приведены в табл.1.

Таблица 1. Химический состав опытно-промышленных плавок углеродистых сталей марок 55 и Св08Г2С

№ п/п	Марка стали	№ плавки	Массовая доля элементов, %								B/N
			C x100	Mn x100	Si x100	P x1000	S x1000	Cr x100	Ni x100	Cu x100	
1	55	292811	55	57	18	12	5	5	9	10	–
2		292810	54	56	19	12	3	5	10	16	–
3	Св08Г2С	21100204	8	198	74	14	16	4	9	18	1,42
4		21101371	6	185	78	10	6	2	7	15	1,1
5		21101372	7	183	79	9	4	2	7	14	1,08
6		21102184	8	180	74	10	6	2	7	15	0,88
7		21102185	7	181	72	9	10	2	9	13	1,06

Испытания проводили в аккредитованной лаборатории "Научно-исследовательского центра по испытаниям черных металлов" в Институте черной металлургии на натурных образцах катанки диаметром 5,5 мм длиной – 200 мм. Механические свойства катанки определяли в

соответствии с требованиями ГОСТ 1497-84 на разрывной машине TTDM "INSTROM".

Достоверность определения относительного удлинения того или иного материала в случае использования машинной диаграммы существенно зависит от длины рабочего участка образца, которая в свою очередь, должна подбираться в зависимости от пластических свойств материала [7]. Образцы катанки из стали марки 55 подвергали закалке от температуры 800 ± 20 °С с последующим отпуском при температурах 300, 400, 500 и 600 °С.

На катанке из стали Св08Г2С определяли влияние режимов термической обработки и микрولةгирования (отношения В/Н) на работу разрушения. Испытуемые образцы подвергали старению в течение 1 часа при температуре 250°С после 10 % остаточного удлинения.

Результаты исследований. Результаты механических свойств и работы разрушения катанки из стали марки 55, приведены в табл.2 и на рис.3.

Таблица 2. Механические свойства и работа разрушения катанки диаметром 5,5 мм из стали марки 55 в исходном состоянии и после термической обработки

№ образца	№ плавков	Отпуск, °С	Предел текучести, $\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	Временное сопротивление, σ_b , Н/мм ²	δ_{10} , %	δ_p , %	ψ , %	A, Дж/см ²
1	292811 292810	Исх.сост.	496	883	13	12	51	20,4
2		300	1318	1560	6	1	38	15,7
3		400	856	1135	7	2	47	17,6
4		500	986	1099	9	5	47	18,6
5		600	743	846	16	10	57	19,7

Данные табл. 2 и рис. 3 показывают, что после термической обработки, включающей закалку при температуре 800 ± 20 °С и последующий отпуск при температуре 600°С, работа разрушения приближается к максимальному значению, которое характерно для исходного состояния (после охлаждения на линии Stelmor).

При повышении температуры отпуска от 300 до 600°С в стали марки 55 механические свойства изменяются: временное сопротивление (σ_b) уменьшается, а равномерное удлинение (δ_p) – увеличивается.

Результаты механических свойств и работы разрушения катанки из стали Св08Г2С, приведены в табл.3 и на рис.4.

Как видно из табл.3 и рис.4 в катанке диаметром 5,5 мм из стали Св08Г2С при содержании С = 0,08% и отношении В/Н = 0,88 в исходном состоянии (после охлаждения на линии Stelmor) наблюдается максимальная работа разрушения, а после деформационного старения

(растяжение на 10 % и нагрев до 250⁰С в течение одного часа) – минимальная.

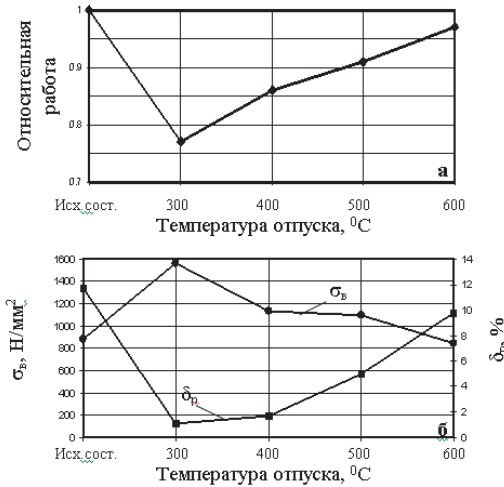


Рис.3. Зависимость относительной работы разрушения (а) и механических свойств (б) от температуры отпуска для канатки диаметром 5,5 мм из стали марки 55

Таблица 3. Механические свойства и работа разрушения канатки диаметром 5,5 мм из стали Св08Г2С в исходном состоянии и после термической обработки

№ образца	В/Н	№ плавки	Режим термической обработки	Предел текучести, $\sigma_{0.2}$, Н/мм ²	Временное сопротивление, σ_b , Н/мм ²	δ_{10} , %	δ_p , %	ψ , %	A, Дж/см ²
1	1,42	21100204	Исх. сост.	292	620	25	17	51	18,3
			старение после деформации	731	776	14	5	63	11,2
2	1,1	21101371	Исх. сост.	301	538	29	20	70	18,3
			старение после деформации	616	637	15	7	71	11,4
3	1,08	21101372	Исх. сост.	330	537	30	20	70	14,8
			старение после деформации	635	663	16	6	60	11,9
4	1,06	21102185	Исх. сост.	339	512	32	20	78	19,7
			старение после деформации	584	600	17	8	77	11,7
5	0,88	21102184	Исх. сост.	264	620	26	18	55	25,0
			старение после деформации	625	631	16	7	71	10,2

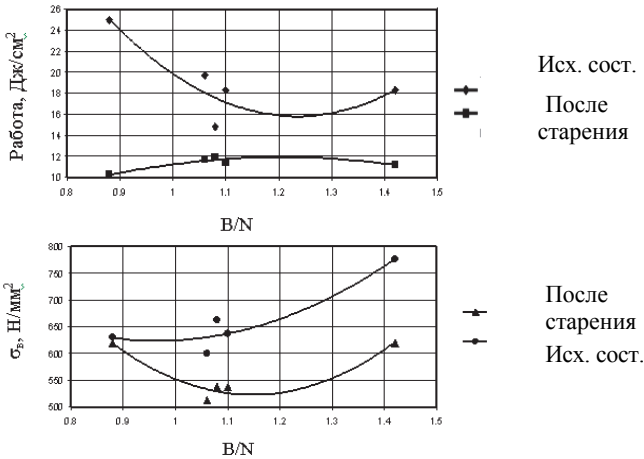


Рис.4. Зависимость работы разрушения и временного сопротивления катанки диам. 5,5 мм из стали Св08Г2С (исходной и после старения) от отношения бора к азоту

Для стали марки Св08Г2С при увеличении содержания углерода с 0,06 % до 0,08 % и отношения В/Н с 0,88 до 1,42 работа разрушения после старения уменьшается на 20-60 %, что подтверждает высокую чувствительность к механическому старению в процессе деформации при волочении. Механические свойства в стали марки Св08Г2С после деформационного старения меняются так: предел текучести (σ_t) и сужение (ψ) – повышаются примерно в два раза, а равномерное удлинение (δ_p) – уменьшается примерно в два раза.

Выводы.

Проведенный анализ работы разрушения катанки диам. 5,5 мм из стали марок 55 и Св08Г2С, микролегированных бором, показал:

1. Работа разрушения катанки из стали марки 55 после термической обработки, включающей закалку от температуры $800 \pm 20^\circ\text{C}$ и последующий отпуск при температурах: 600, 500, 400, 300°C уменьшается с понижением температуры отпуска.

2. В катанке из стали марки Св08Г2С, подвергнутой деформационному старению (растяжение на 10 % и нагрев до 250°C в течение одного часа) работа разрушения уменьшается, причем это уменьшение зависит от отношения В/Н. Наименьшая работа разрушения при $B/N = 1,0-1,2$.

1. *Инглиш А.Т., Бакофен У. А.* Влияние технологии обработки металлов на их сопротивление разрушению. // Разрушение, т.6. – М.: Металлургия, 1976. – С. 90-139.
2. *Виноградов В. В.* Геомеханика управления состоянием массива вблизи горных выработок. – К.: Наукова думка, 1989. – 148 с.
3. *Левченко Г. В.,* Качество арматурного проката для анкерного крепления горных выработок. / *Г.В.Левченко, С.А. Воробей, Е.Г.Дёмина и др.* // *Металлургическая и горнорудная промышленность.* – 2005. – № 5. – С.29–33.
4. *Liska S.* Matematický model pro analýzu technologických podmínek valcování oceli za tepla / *S. Liska, J. Worniak* // *Hutnické aktualiti. WHZ.* – v. 22. – № 9. – 1981. – P. 1-49.
5. *Третьяков А. В.* Механические свойства металлов и сплавов при обработке давлением / *А.В.Третьяков, В.И.Зюзин.* – М.: Металлургия, 1973. – 224 с.
6. *Бэйн Э.* Влияние легирующих элементов на свойства стали / *Э.Бэйн;* [пер. с англ.]. – М.: Металлургиздат, 1945. – 330 с.
7. *Лебедев А. А.* Влияние механической тренировки на ресурс прочности и пластичности конструкционных материалов / *А.А.Лебедев, В.Н.Руденко, А.С.Спиваков, Б.И.Ковальчук, Н.М.Кульчицкий* – Киев.: Наукова думка, 1978. – 67 с.

*Статья рекомендована к печати
докт.техн.наук, проф. В.Г.Левченко*

В.В.Парусов, С.О.Воробей, Л.В.Сагура, Е.В.Парусов, О.В.Парусов, І.М.Чуйко

Вплив термічної обробки, мікролегування бором і старіння на роботу руйнування катанки при розтягуванні.

Метою роботи є дослідження впливу режимів термічної обробки, мікролегування бором і старіння на величину роботи руйнування катанки при розтягуванні. Проведені випробування показали, що робота руйнування катанки зі сталі марки 55 після термічної обробки, що включає загартування від температури $800 \pm 20^{\circ}\text{C}$ і наступну відпустку при температурах $600...300^{\circ}\text{C}$ зменшується з пониженням температури відпустки. В катанці зі сталі марки Св08Г2С, після деформаційного старіння, робота руйнування зменшується, причому це зменшення залежить від відношення В/Н. Найменша робота руйнування при В/Н = 1,0-1,2.