

УДК 620.179.1:669.14

**КОНТРОЛЬ НАПРЯЖЕННОГО СОСТОЯНИЯ СТАЛЕЙ  
ПО КОЭРЦИТИВНОЙ СИЛЕ**

©Губский С. А.<sup>1</sup>, Сухомлин В. И.<sup>2</sup>, Волох В. И.<sup>3</sup>

*Национальный технический университет «Харьковский политехнический институт»<sup>1</sup>*

*Дніпродзержинський державний технічний університет<sup>2</sup>*

*ПАТ «Дніпровський меткомбінат»<sup>3</sup>*

В статье даны результаты исследования: роста коэрцитивной силы при одноосном растяжении плоских образцов для сталей 09Г2С, Ст 3пс, Ст 0 и характера роста коэрцитивной силы от приложенного напряжения при переходе металла из упругой зоны в упругопластическую и пластическую зону деформации.

**Ключевые слова:** коэрцитивная сила, сталь, растяжение, напряжение, деформация, структура, образец.

*Губський С. О., Сухомлин В. І., Волох В. І.* «Контроль напруженого стану сталей за коерцитивною силою».

В статті дано результати дослідження: зростання коерцитивної сили при одноосовому розтягуванні плоских зразків для сталей 09Г2С, Ст 3пс, Ст 0; характеру росту коерцитивної сили від прикладеного напруження при переході металу з пружної зони в пружньопластичну і пластичну зону деформації.

**Ключові слова:** коерцитивна сила, сталь, розтяг, напруга, деформація, структура, зразок.

*Gubskiy S. O., Suhomlin V. I., Volokh V. I.* “Control of the stress state on the coercive force of steel”.

In article results of research are yielded: growth of coercive force at monoaxial stretching of flat samples for steels 09G2S, St 3ps, St 0; nature of growth of coercive force from the enclosed tension upon metal transition from an elastic zone of deformation.

**Key words:** coercive force, steel, tensile stress, deformation, structure, the sample.

### **1. Постановка проблемы**

Проблема эксплуатации металлоконструкций, которые отработали свой нормативный срок, является актуальной и важной. Исчерпание нормативного срока металлоконструкций и эксплуатация их в условиях близких к предельным может привести к аварии. Имеющиеся подходы к определению эксплуатационной пригодности металлоконструкций не позволяют объективно оценить их несущую способность после наработки, а также определить их остаточную долговечность.

Методы разрушающего контроля позволяют определить количественные характеристики состояния металлоконструкции: прочность, пластичность, твердость. Но вследствие нарушения целостности исследуемой металлоконструкции и уменьшение прочности элементов ремонтной сваркой, дополнительные затраты времени и средств – метод разрушающего контроля есть недостаточно эффективным, а в большинстве случаев неприемлем. При использовании методов неразрушающего контроля, есть возможность

определим пригодність к експлуатації металоконструкції, не порушаючи при цьому її несущую здатність.

Метод магнітно-коерцитивного незрушального контролю на сьогодні може використовуватися для оцінки стану металоконструкцій. С допомогою цього методу, можливо, контролювати перехід металу з упругої зони в упругопластическу і пластическу зону деформації. Исследования характера роста коерцитивной силы от приложенного напряжения при этом переходе ранее детально не было проведено.

**2. Анализ последних исследований**

В Украине с 2005 года действуют «Методические указания по проведению магнитного контроля напряженно-деформированного состояния металлоконструкций подъемных сооружений и определения их остаточного ресурса» МВ 0.00-7.01-05 [1]. В данном нормативном документе даны номограммы для определения напряжений за результатами магнитного контроля при одноосном растяжении плоских образцов для целого ряда конструкционных сталей.

Также исследованию влияния механических напряжений на магнитные характеристики конструкционных сталей посвящены работы [2–5] и др.

**3. Основной материал**

На наш взгляд, монотонность линейного роста коерцитивной силы от изменения приложенных напряжений на всех участках номограммы, которая приведена в МВ 0.00-7.01-05, – не корректна. Также ранее детально не было проведено исследования характера роста коерцитивной силы от приложенного напряжения при переходе металу с упругої зони в упругопластическу і пластическу зону деформації.

Исследования роста коерцитивной силы от приложенной одноосной нагрузке производились на плоских образцах из сталей 09Г2С, Ст 0, Ст 3пс. Из каждой марки стали были подготовлены по три образца размером 6×20×300 мм, вырезанные вдоль проката. Нагружение образцов выполнялось на испытательной машине ИР-500. Измерения производились после снятия приложенной нагрузки. Коерцитивная сила определялась полуавтоматическим коерцитиметром КРМ-Ц в центральной части образца.

Сначала определялась точка текучести  $X_{cp}$  для каждой исследуемой стали [2]. Дальнейшее растяжение образцов производилось по схеме:  $0,5X_{cp}$ ;  $0,6X_{cp}$ ;  $0,7X_{cp}$ ;  $0,8X_{cp}$ ;  $0,9X_{cp}$ ;  $X_{cp}$ .

Стали 09Г2С и Ст 3 были выбраны для исследований потому, что большинство металлоконструкций грузоподъемных машин и металлургического оборудования изготавливаются из этих марок сталей. Ст 0 выбрана для того, чтобы исключить влияние легирующих добавок и примесей в металле на коерцитивную силу (таблица 1).

**Таблица 1** – Химический состав исследуемых сталей (09Г2С, Ст 0, Ст 3пс)

Марка стали	C	Mn	Si	S	P	Cr	Ni	Cu	N
09Г2С	0,9	1,39	0,56	0,021	0,019	0,2	0,3	0,5	0,07
Ст 3пс	0,17	0,44	0,1	0,027	0,019	0,3	0,2	0,4	0,06
Сталь 0	0,23	–	–	0,6	0,7	–	–	–	–

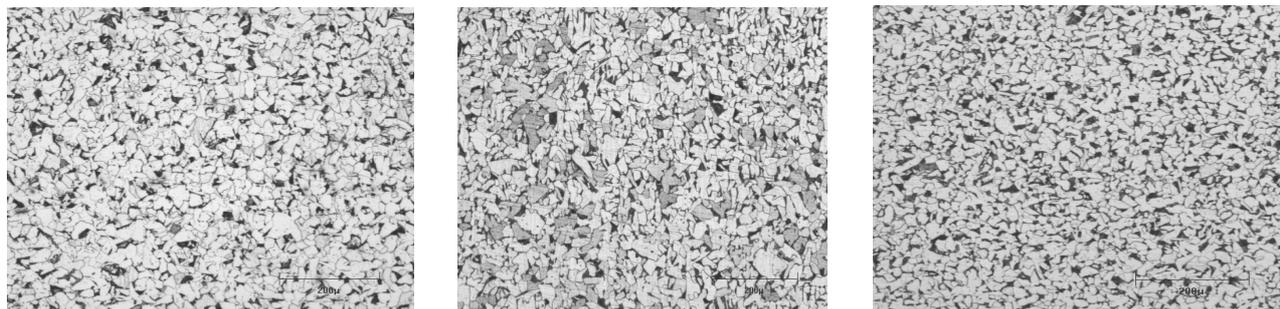
## Піднімально-транспортні машини

Бал зерна всех образцов отобранных для исследований – восьмой. Металлографические снимки даны на (фото 1).

09Г2С

Ст 3пс

Ст 0



**Фото 1** – Металлографические снимки образцов отобранных для исследований (8 бал зерна)

Результаты исследования роста коэрцитивной силы от приложенной одноосной нагрузки к плоским образцам из сталей 09Г2С, Ст 3пс, Ст 0 даны в таблице 2.

**Таблица 2** – Результаты измерения коэрцитивной силы от приложенной одноосной нагрузки к плоским образцам из сталей 09Г2С, Ст 3пс, Ст 0

Сталь 09Г2С									
Напряжения, возникающие от приложенной нагрузки, МПа	0	192	233	267	308	350	392	450	490
Hс, А/см	3,66	4,22	4,4	4,16	4,58	5,3	8,2	9,0	9,5
Сталь Ст 3пс									
Напряжения, возникающие от приложенной нагрузки, МПа	0	225	267	300	342	383	417	458	480
Hс, А/см	2,98	2,87	2,86	2,52	3,3	5,41	6,21	7,11	7,5
Сталь Ст 0									
Напряжения, возникающие от приложенной нагрузки, МПа	0	200	233	267	300	333	367	400	433
Hс, А/см	2,84	2,76	2,98	2,54	3,22	7,06	7,44	7,81	8,42

Зависимости коэрцитивной силы от напряжения, которое возникает при одноосном приложении нагрузки к плоским образцам из сталей 09Г2С, Ст 3пс, Ст 0 даны на графике рис. 1.

Как видно из рис. 1 рост коэрцитивной силы при переходе из упругой зоны деформации в пластическую происходит:

- для сталей 09Г2С, Ст3пс - плавно;
- для стали Ст 0 - резко (коэрцитивная сила при этом увеличивается в два раза).

Для установления факта наличия остаточной напряженности на концах разорванных образцов произведено измерение коэрцитивной силы на участке в зоне разрыва. Результаты даны в таблице 3.

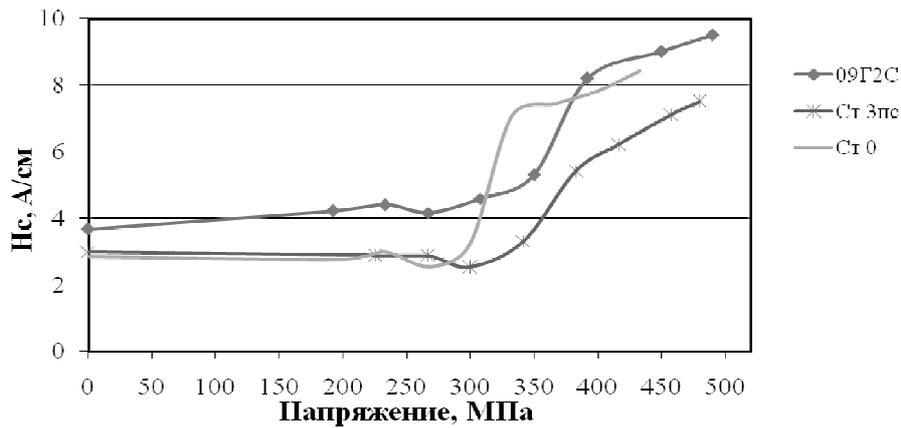


Рис. 1 – Зависимости коэрцитивной силы от напряжения в сталях 09Г2С, Ст3пс, Ст0

Таблица 3 – Результаты контроля коэрцитивной силы в зоне разрыва образцов

Марка стали	Коэрцитивная сила, А/см	
	левая сторона	правая сторона
<b>09Г2С</b>	9,3	9,5
<b>Ст 3пс</b>	7,7	7,5
<b>Ст 0</b>	8,5	8,42

На фото 2 показано, как вытянуты зерна вдоль приложенной нагрузки, в зоне разрушения образца.

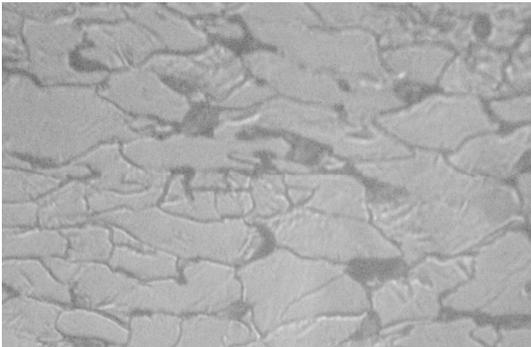


Фото 2 – Участок зоны разрыва образца марки стали 09Г2С

На величину коэрцитивной силы влияют дислокационные изменения структуры металла, внутренние механические напряжения. Чем больше дефектность материала и меньше однородность структуры, тем больше значение коэрцитивной силы, и соответственно меньше магнитная проницаемость [6–8].

### Выводы

Из проведенных измерений можно установить, что при упруго-пластических и пластических деформациях образцов коэрцитивная сила не уменьшается после снятия растягивающих напряжений, что позволяет обнаруживать участки (зоны) с претерпевшими пластические деформации.

В ходе проведенных исследований установлено, что коэрцитивная сила от приложенной осевой растягивающей нагрузки начинает значительно изменяться (возрастать на 50-100 %) только при переходе в упруго-пластическую зону деформации металла образцов. В зоне упругих деформаций изменение коэрцитивной силы при увеличении нагрузки составляет не более 10 %.

При переходе металла исследуемых образцов в упруго-пластическую зону деформации характер роста коэрцитивной силы при дальнейшем приложении нагрузки будет разным, сказывается влияние легирующих добавок и примесей в сталях: плавный рост коэрцитивной силы – стали 09Г2С и Ст 3пс, резкий рост коэрцитивной силы – Ст 0.

Установленные выводы позволяют оценивать техническое состояние оборудования, которое отработало нормативный срок эксплуатации, в производственных условиях.

### Список использованных источников:

1. Методичні вказівки з проведення магнітного контролю напружено-деформованого стану металоконструкцій підйомних споруд та визначення їх залишкового ресурсу: МВ 0.00-7.01-05. – Х., 2005. – 77 с.
2. Брехаря Г. П. Магнитный контроль по коэрцитивной силе сталей 09Г2С,0,3пс при деформационных статических нагружениях / Г. П. Брехаря, В. И. Сухомлин, В. И. Волох // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2011. – Вып. 59. – 184 с.
3. Влияние упругой деформации растяжением (сжатием), кручением и гидростатическим давлением на магнитные характеристики трубной стали 09Г2С / Э. С. Горкунов, А. Н. Мушников, С. М. Задворкин, Е. И. Якушенко // Научни известия на НТСМ. – 2012. – № 1 (133). – С. 12–15.
4. Михеев М. Н. Магнитные методы структурного анализа и неразрушающего контроля / М. Н. Михеев, Э. С. Горкунов. – М. : Наука, 1993. – 252 с.
5. Некоторые закономерности изменения коэрцитивной силы пластичных (незакаленных) сталей при активном растяжении / В. М. Мацевитый, Г. Я. Безлюдько, К. В. Вакуленко, И. Б. Казак, В. В. Карабин // Вестник НТУ "ХПИ" : сб. науч. тр. – Х., 2010. – С. 19–24.
6. Неразрушающий контроль: справочник: Т. 6. кн. 1 / В. В. Клюев, В. Ф. Мужичкий, Э. С. Горкунов, В. Е. Щербинин. – М. : Машиностроение, 2006. – 848 с.
7. Метод аналізу вимірювань коерцитивної сили під час технічної діагностики металоконструкцій кранів з різними товщинами елементів / О. В. Григоров, С. О. Губський, В. А. Попов, М. Ф. Хорло // Метрологія та прилади. – Харків, 2009. – № 5. – С. 51–55
8. Большаков В. И Влияние на магнитные свойства тонкой структуры холоднодеформированных низкоуглеродистых сталей / В. И. Большаков, В. И. Сухомлин, В. И. Волох // Строительство, материаловедение, машиностроение : сб. науч. тр. – Днепропетровск, 2012. – Вып. 64. – С. 167–172.

Стаття надійшла до редакції 4 березня 2014 р.