

**ВЛИЯНИЕ ПОСТОЯННОГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ НА СОПРОТИВЛЕНИЕ ДЕФОРМАЦИИ И УПРОЧНЕНИЕ МЕТАЛЛОВ**

**Краев М.В.,\* Краева В.С.\*\***

\*ЧАО «ЕВРАЗ Днепровский металлургический завод»,  
г. Днепр, Украина, *krav\_79@mail.ru*

\*\*Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта  
им. ак. В. Лазаряна, г. Днепр, Украина, *krava\_violetta@i.ua*

**Введение.** Формоизменение металлов при холодной пластической деформации имеет ограниченные возможности и зависит от их реологических свойств. Улучшение условий обработки металлов происходит за счет повышения энергии в зоне деформации. Это достигается путем локализации очага деформации (повышения уровня механической энергии) или применения комбинированных способов обработки с использованием источника других видов энергии, в частности энергии электромагнитного поля.

**Постановка проблемы.** Сопротивление деформации металла, его интенсивность упрочнения, напрямую зависит от эволюции дефектов кристаллической решетки. Известно положительное влияние магнитного поля (МП) на движение дислокаций, на их взаимодействие со стопорами (магнитопластический эффект) [1, 2]. Существует ряд исследований о влиянии постоянного МП в частных случаях деформации металлов [3, 4]. Для практического использования МП в технологиях обработки давлением требуются обобщенные данные по упрочнению металлов в процессе стандартных испытаний на растяжение и сжатие.

**Методика эксперимента.** Предложено использование постоянного МП индукцией порядка  $B = 1$  Тл в процессах обработки металлов давлением. Создана экспериментальная установка: образец металла деформируется на гидравлическом прессе, перпендикулярно главному направлению деформации расположены сердечники электромагнита. Проведены испытания на растяжение образцов сталей Ст3, 40Х, 20Х13, ЭП-56, меди М3, дюралюминия Д16 и испытания на сжатие сталей 20Х13, ЭП-56, меди М3, алюминия АД0. Для растяжения использовались образцы типа III по ГОСТ 1497-84. Для сжатия – цилиндрические образцы типа III по ГОСТ 25.503-97 с соотношением диаметра к высоте 1:1,5. Скорость деформации при испытаниях на растяжение и сжатие:  $0,02-0,03 \text{ с}^{-1}$ .

**Изложение основных материалов исследования.** В результате наложения МП происходит снижение предела текучести и (или) прочности металлов при растяжении (рис. 1 и табл. 1).

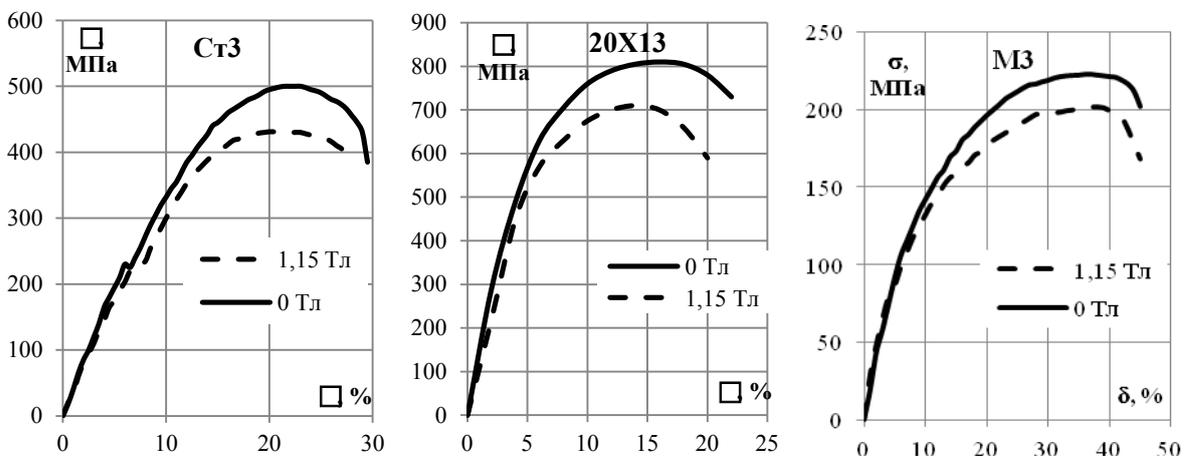


Рисунок 1 - Диаграммы испытаний на растяжение

Таблица 1 - Механические свойства металлов, полученные испытанием на растяжение

В, Тл	$\sigma_T$ или $\sigma_{0,2}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %
на сталь Ст3			
0	228±2	502±10	29±0,6
1,15	228±2	428±8	28±1,2
на сталь 40X			
0	383±8	715±15	25±0,1
1,15	298±8	680±18	25±0,4
на сталь 20X13			
0	640±13	807±19	22±0,8
1,15	480±20	717±16	20±0,5
Но МП сталь ЭП-56			
0	943±63	1170±40	13±0,9
1,15	750±60	1083±62	12±0,9
до медь М3			
0	91±6	223±2	46±1,1
1,15	92±5	206±3	46±1,0
дюралюминий Д16			
0	128±2	237±3	11±0,3
1,15	121±3	235±2	9±0,3

Эффективность влияния МП увеличивается с ростом его силы (индукции В). В МП максимальной индукции 1,15 Тл получено снижение предела прочности стали Ст3 на 15 %. Для стали 40X – снижение условного предела текучести на 22 %. Для стали 20X13 – снижение условного предела текучести на 25 % и предела ее прочности на 11 %. Для стали ЭП-56 – снижение условного предела текучести на 20 % и предела прочности на 7 %. Для меди М3 – снижение предела прочности на 8 %. Для дюралюминия Д16 – снижение относительного удлинения на 13 %.

При сжатии в МП (рис. 2) индукцией 1,15 Тл как и при растяжении наблюдается снижение напряжения течения сталей 20X13 и ЭП-56 на 15-23 %. при сжатии меди М3 и алюминия АД0 в индукцией 0,56 Тл напряжение течения возрастает на 5-53 %. Наибольшее изменение напряжения течения имеет место в начальной стадии деформирования (степень деформации 15-20 %). Но в магнитном поле интенсивность упрочнения металла изменяется и при дальнейшем сжатии образцов (кроме меди М3) кривые напряжения течения совпадают.

Упрочнение металлов при деформации описано по методике [5].

Изменение напряжения течения описывается известным уравнением Холломона:

$$\sigma_s = K\varepsilon^n, \quad (1)$$

где  $\sigma_s$  – напряжение течения, МПа;  $\varepsilon$  – логарифмическая деформация;  $K$  – коэффициент упрочнения, МПа;  $n$  – показатель упрочнения. Значения коэффициентов уравнения (1) приведены в таб. 2.

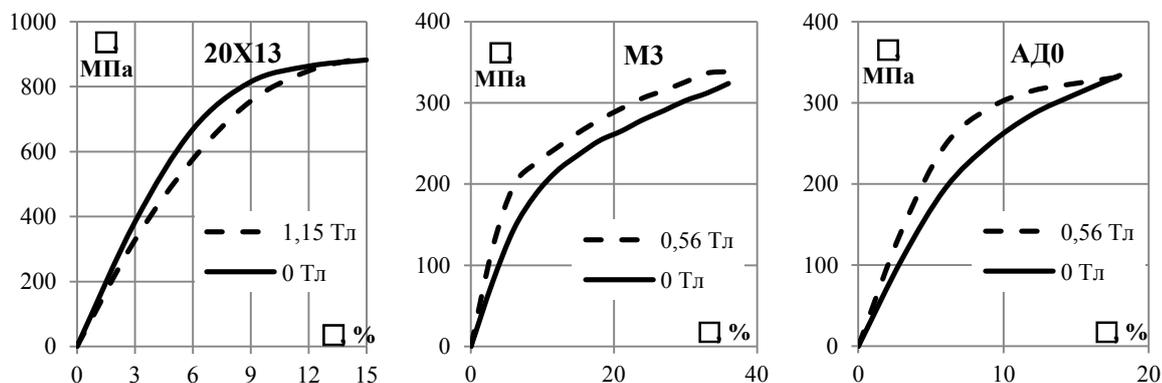


Рисунок 2 - Диаграммы испытаний на сжатие

Таблица 2 - Значения коэффициентов упрочнения металлов

Материал	Вид деформации	B = 0 Тл		B = 1,15 или 0,56 Тл	
		K, МПа	n	K, МПа	n
Ст3	растяжение	1157	0,53	850	0,43
40X	растяжение	2119	0,58	2045	0,61
20X13	растяжение	2294	0,51	1927	0,49
	сжатие	1277	0,29	1149	0,22
ЭП-56	растяжение	5454	0,62	5021	0,66
	сжатие	1895	0,34	2298	0,47
М3	растяжение	432	0,57	369	0,48
	сжатие	523	0,48	481	0,35
Д16	растяжение	1451	0,96	1804	1,00
АД0	сжатие	606	0,43	494	0,28

Вид диаграммы растяжения для дюралюминия близок к линейной функции, что обусловлено высокой прочностью металла, приобретенной в процессе предварительной холодной деформации при изготовлении заготовки.

Из расчетов следует, что МП оказывает влияние не только на начальные значения сопротивления деформации, но и на интенсивность упрочнения. Для ферромагнитных сталей (Ст3, 40X, 20X13, ЭП-56) при растяжении интенсивность упрочнения в МП либо снижается (Ст3), либо остается неизменной (40X, 20X13, ЭП-56). При сжатии же сталей 20X13 и ЭП-56 наблюдалось повышение интенсивности упрочнения. Растяжение и сжатие диамагнитной меди М3 в МП в обоих случаях приводит к снижению интенсивности упрочнения. Растяжение парамагнитного дюралюминия Д16 в МП вызывает рост интенсивности упрочнения, а при сжатии алюминия АД0 – его снижение.

#### Выводы.

1. Постоянное магнитное поле индукцией порядка 1 Тл оказывает влияние на показатели пластической деформации ферромагнитных (сталь), парамагнитных (алюминий) и диамагнитных (медь) металлов. При растяжении или сжатии достигается изменение сопротивления деформации до 25 %. Наибольшее влияние оказывается на деформацию металлов повышенной прочности.

2. Магнитное поле влияет на интенсивность упрочнения металлов в процессе деформации. Что зависит от магнитных свойств металлов и вида напряженно-деформированного состояния при их обработке давлением.

#### Список литературы:

1. Альшиц В.И. Магнитопластический эффект: основные свойства и физические механизмы / В.И. Альшиц // Кристаллография. – 2003. – № 5. – С. 826-854.
2. Головин Ю.И. Магнитопластичность твердых тел (обзор) / Ю.И. Головин // Физика твердого тела. – 2004. – №5. – С. 769-803.
3. Делюсто Л.Г. Основы прокатки металлов в постоянных магнитных полях. М.: Машиностроение, 2005. – 272 с.
4. Коновалов С.В. Влияние электромагнитных полей и токов на пластическую деформацию металлов и сплавов: монография / С.В. Коновалов, В.Е. Громов, Ю.Ф. Иванов. – Новокузнецк: Изд-во «Интер-Кузбасс», 2013. – 293 с.
5. ГОСТ 25.503-97. Расчеты и испытания на прочность. Методы механических испытаний металлов. Метод испытания на сжатие. – Взамен ГОСТ 25.503-80; введ. 01.07.99. – Минск. – 24 с. (Межгосударственный стандарт).