

УДК 621.73

Гринкевич В. А.  
Шевченко Т. Н.  
Краев М. В.  
Краева В. С.  
Бондарев С. В.

## ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ СТАЛИ Ст3 ВО ВНЕШНЕМ МАГНИТНОМ ПОЛЕ

Внешнее магнитное поле при обработке сталей используется со второй половины 20-го века. Впервые внешнее магнитное поле нашло применение при закалке сталей, когда в процессе резкого охлаждения детали при воздействии поля интенсифицировалось мартенситное превращение [1]. Магнитное поле, с точки зрения термодинамики, является одним из внешних параметров, воздействующих на металл – таким же, как давление и температура [2].

В период глобальной модернизации технические мероприятия, используемые на практике не решают проблемы кардинального улучшения качества металла после обработки его давлением. Выход из «тупика» Делюсто Л. Г., Счастливец В. М., Головин Ю. И. и другие видят в переходе от чисто механических приемов деформации металлов к комбинированным, с использованием при пластическом деформировании слабых или сильных магнитных полей, и даже переход на деформирование при помощи только магнитного поля [2–4].

Воздействие магнитного поля на материал может быть импульсным или постоянным. Для получения ощутимых эффектов желательно проводить исследования в достаточно сильных магнитных полях, получение которых сопровождается определенными технологическими трудностями и требует специальных установок. Установки импульсного намагничивания позволяют кратковременно, на доли секунды, создавать поля высокой напряженности до 32 МА/м (400 кЭ). Постоянные магнитные поля обладают меньшей напряженностью до 16 МА/м (140 кЭ), но позволяют длительное время подвергать материал воздействию поля [5].

В. И. Альшиц экспериментально исследовал действие слабого магнитного поля на механические свойства немагнитных кристаллов NaCl и обнаружил, что движение краевых дислокаций можно инициировать одним только постоянным МП с индукцией от 0,1 до 1,6 Тл [6].

Так во время одноосного сжатия монокристаллов NaCl до  $\varepsilon = 5\%$ , длившегося 10...15 мин, на разных стадиях деформирования кратковременно (на 5...10 с) включали постоянное магнитное поле с  $B = 0,7$  Тл, и было определено уменьшение предела текучести в ионных кристаллах до 2,5 раза [3].

Физиков интересует влияние магнитного поля на кристаллы, но эти исследования невозможно перенести непосредственно на реальные процессы обработки металлов давлением поликристаллического тела.

Учитывая вышесказанное можно утверждать, что изучение влияния магнитного поля на свойства металлов при пластической деформации является актуальным.

Целью работы является исследование влияния внешнего магнитного поля на механические и пластические свойства стали Ст3 при пластической деформации.

Было проведено испытание на растяжение стали Ст3. Для испытания на растяжение применяли цилиндрические образцы номинальным диаметром рабочей части 4,0 мм, пятикратные образцы, тип образца III, в соответствии с ГОСТ 1497-84.

Эксперимент проводился на ручному гидравлическом прессе номинальным усилием 39,2 кН и магнитной установке [5]. С целью получения кривой растяжения была использована мессдоза шайбочного типа и аналоговый преобразователь, которые были последовательно подключены к ноутбуку (рис. 1). Испытания образцов на растяжение проводились под влиянием магнитного поля, индукция которого составляла 1,07 Тл. Также для концентрации и увеличения магнитного поля в очаге деформации были применены прямоугольные надставки размером поперечного сечения 10 × 20 мм из стали Ст3 [7].

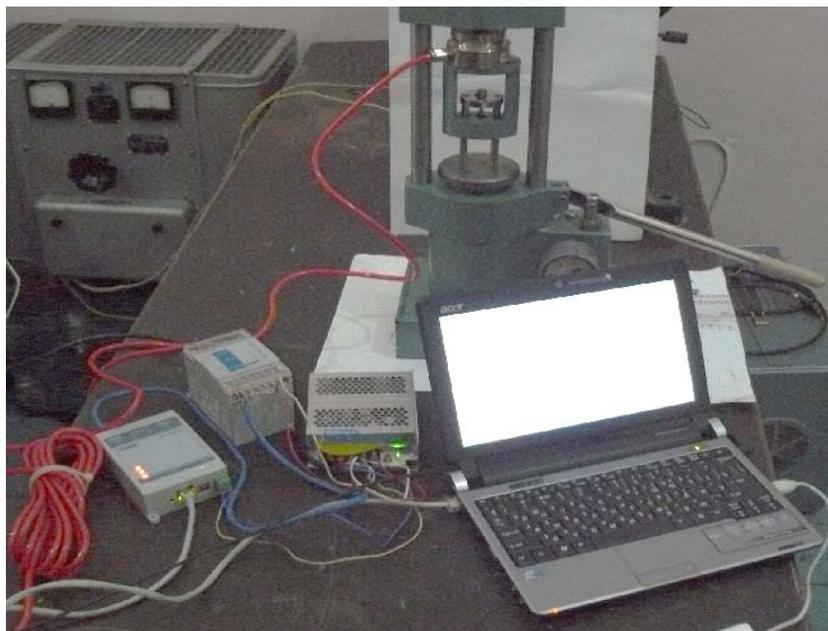


Рис. 1. Оборудование для снятия показаний при растяжении

Исследуемые образцы устанавливали в штамп, который представляет собой металлический корпус с овальной основой. Внутри корпуса по направляющим отверстиям перемещались две параллельные колонны с плитой. В центре корпуса и плиты имеются отверстия и приспособления для фиксации образцов. В табл. 1 представлены условия и результаты эксперимента.

Таблица 1

## Условия и результаты эксперимента

№ эксп.	$D$ , мм	$L_0$ , мм	$D_w$ , мм	$L_k$ , мм	МП / надст.	$\delta$ , %	$\psi$ , %	$P_{ср}$ , кгс	$\sigma_{вср}$ , МПа
1	4,1	32,5	2,20	38,96	-/-	19,88	46,34	2185	414
2	4,1	32,5	2,29	39,81	-/-	22,49	43,67		
3	4,1	32,5	2,25	39,27	-/-	20,83	45,12		
4	4,1	32,5	2,27	40,24	+/+	23,78	48,54	1583	300
5	3,1	32,5	2,18	39,63	+/+	23,42	45,85		
6	4,1	32,5	2,28	39,18	+/+	20,71	45,12		
7	4,1	32,5	2,11	40,23	+/-	23,82	44,63	1947	369
8	4,1	32,5	2,22	40,11	+/-	21,94	46,83		
9	4,1	32,5	2,25	39,23	+/-	20,55	44,39		

В результате обработки экспериментальных данных определено влияние магнитного поля, индукция которого составляла 0,4 Тл и 1,07 Тл, на предел прочности стали Ст3 при растяжении (рис. 2). Относительное сужение данных образцов в режимах наложения магнитного поля и отсутствия магнитного поля не изменилось. Относительное удлинение образцов при наложении магнитного поля с индукцией 0,4 Тл увеличилось на 4,95 %, а при наложении магнитного поля с индукцией 1,07 Тл – увеличилось на 7,50 %.

С целью выявления закономерности влияния магнитного поля на структуру стали при холодной пластической деформации была проанализирована микроструктура стали образцов, которые подвергались соответствующему воздействию.

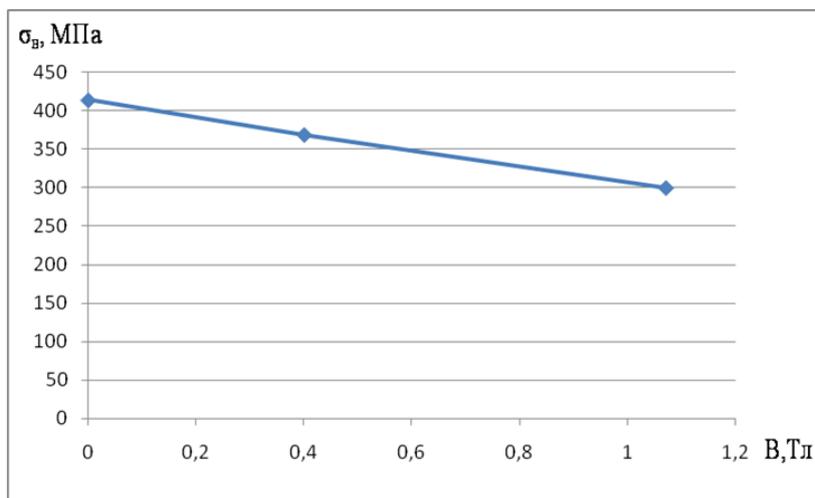


Рис. 2. Изменение предела прочности стали Ст3 в магнитном поле

Исследовали сечения вдоль линий магнитного поля, вдоль оси образца вблизи излома, на расстоянии 0,2 мм, 1 мм и 5 мм от обрыва образца (рис. 3). Металлографические образцы изготавливались методом мокрого шлифования, полирования на алмазных пастах и полирования на сукне суспензией окиси алюминия. Травление проводили в нитале (5-% раствор) в течение 10–15 с.

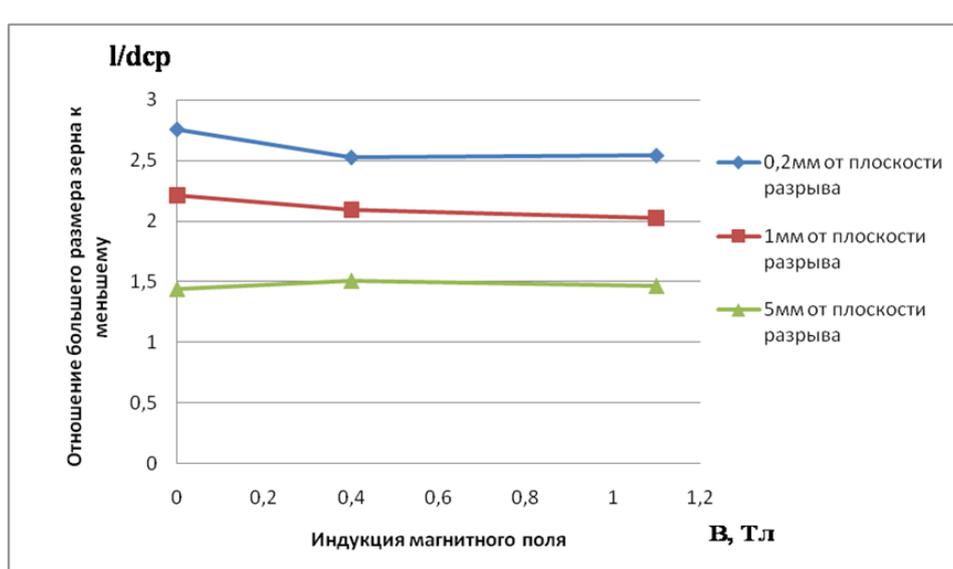


Рис. 3. Изменение размеров зерна в разных зонах образца в магнитном поле

Проанализировав диаграмму (рис. 3), можно сказать, что в зоне локализации очага деформации (шейки), где наблюдается сложное объемное напряженное состояние, воздействие магнитного поля привело к существенному изменению размеров зерен. Это может быть вызвано наложением дополнительных растягивающих напряжений от магнитного поля в зоне деформации металла. На расстоянии 5 мм от края разрыва образца, где текстура деформации металла менее выражена, зерна менее вытянуты. Данный эффект является следствием воздействия поперечной силы в зоне деформации, где без магнитного поля напряженное состояние металла представляет из себя одноосное растяжение.

Полученная более равноосная структура металла является возможной причиной повышения пластичности стали. Микроструктуры образцов, подвергнутых разным условиям деформации, требуют дополнительной обработки и анализа.

### ВЫВОДЫ

Рассмотрено влияние магнитного поля на прочностные, пластические свойства стали Ст3 при холодной пластической деформации. Предел прочности образца из стали Ст3, который подвергался исследованию на растяжение, уменьшился по сравнению с пределом прочности такого же образца из стали Ст3, деформированного без воздействия магнитным полем. Так, сила, необходимая для разрушения образца из стали Ст3 при дополнительном влиянии магнитным полем 1,07 Тл и 0,2 Тл, на 27,55 % и 10,89 % меньше соответственно по сравнению с процессом без влияния МП.

Воздействие магнитным полем привело к увеличению пластичности стали в плане относительного удлинения стали при испытаниях. Относительное сужение исследуемых образцов при рассматриваемых условиях существенно не изменилось.

Существенным является воздействие магнитным полем на структуру стали. В случае одноосного растяжения поперечное воздействие магнитным полем снижает вытянутость зерен вдоль направления деформации.

Исследование актуально для процессов холодной штамповки ферромагнитных сталей с преобладанием в очаге деформации продольных растягивающих напряжений.

### СПИСОК ИСПОЛЬЗОВАННОЙ ЛИТЕРАТУРЫ

1. *Закалка стали в магнитном поле* / М. А. Кривоглаз, В. Д. Садовский, Л. В. Смирнов, Е. А. Фокина. – М. : Наука, 1977. – 119 с.
2. *Счастливец В. М. Мартенситное превращение в магнитном поле* / В. М. Счастливец, Ю. В. Калетина, Е. А. Фокина. – Екатеринбург : УрО РАН, 2007. – 322 с.
3. *Делюсто Л. Г. Основы прокатки металлов в постоянных магнитных полях* / Л. Г. Делюсто. – М. : Машиностроение, 2005. – 272 с.
4. *Головин Ю. И. Магнитопластичность твердых тел (Обзор)* / Ю. И. Головин // *Физика твердого тела*. – 2004. – Т. 46. – Вып. 5. – С. 769–803.
5. *Комбинированная обработка давлением сталей с применением внешнего магнитного поля* / М. В. Краев, В. А. Гринкевич, Т. Н. Шевченко, В. С. Краева // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр.* – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 3(32). – С. 116–120.
6. *О движении дислокаций в кристаллах NaCl под действием постоянного магнитного поля* / Альшиц В. И., Даринская Е. В., Перекалина Т. М., Урусовская А. А. // *Физика твердого тела*. – 1987. – Т. 29, № 2. – С. 467–471.
7. *Подготовка экспериментального исследования штамповки с применением слабого магнитного поля* / М. В. Краев, В. А. Гринкевич, Т. Н. Шевченко, В. С. Краева // *Обработка материалов давлением : сб. науч. тр.* – Краматорск : ДГМА, 2012. – № 4(33). – С. 122–125.

Гринкевич В. А. – д-р техн. наук, проф. НМетАУ;

Шевченко Т. Н. – аспирант НМетАУ;

Краев М. В. – канд. техн. наук, доц. НМетАУ;

Краева В. С. – канд. физ.-мат. наук, доц. ДНУЖТ;

Бондарев С. В. – аспирант НМетАУ.

НМетАУ – Национальная металлургическая академия Украины, г. Днепропетровск.  
ДНУЖТ – Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта, г. Днепропетровск.

E-mail: [bstn@mail.ru](mailto:bstn@mail.ru); [kraev\\_79@mail.ru](mailto:kraev_79@mail.ru)

Статья поступила в редакцию 22.11.2013 г.