

УДК 621.73

***В. А. ГРИНКЕВИЧ***, докт .техн. наук, проф., НМетАУ, Днепропетровск;  
***М. В. КРАЕВ***, канд .техн. наук, доц., НМетАУ, Днепропетровск;  
***Т. Н. ШЕВЧЕНКО***, аспирант, НМетАУ, Днепропетровск;  
***В. С. КРАЕВА***, канд. физ-мат. наук, доц., ДНУЖТ, Днепропетровск.

**ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОЕ ИССЛЕДОВАНИЕ ВЛИЯНИЯ  
СЛАБОГО ПО ЭНЕРГИИ ВНЕШНЕГО МАГНИТНОГО ПОЛЯ  
НА СВОЙСТВА УГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ**

Описаны перспективы использования внешнего магнитного поля при обработке металлов. Представлены условия экспериментальных исследований по выявлению влияния слабого по энергии

внешнего магнитного поля на свойства углеродистых сталей в условиях холодной пластической деформации. Приведены результаты металлографического анализа образцов из углеродистых сталей, которые подвергались испытаниям на растяжение и сжатие.

**Ключевые слова:** магнитное поле, углеродистые стали, микроструктура, свойства сталей.

**Введение.** Магнитное поле (МП), с точки зрения термодинамики, является одним из внешних параметров, воздействующих на металл – таким же, как давление и температура. При его воздействии поведение системы может существенно изменяться. Во многих областях физики уже в конце XIX в. обнаружили и использовали специфическое действие МП [1].

**Анализ последних источников и литературы.** Действие внешнего МП оказывается значительным, если в превращении участвуют фазы, различающиеся по намагниченности. Так, в случае деформационного мартенситного превращения парамагнитный аустенит превращается в ферромагнитный мартенсит [2].

В то же время влияние МП на изменения в сплавах, не относящихся к классу магнитных материалов, остается недостаточно изученным.

Штамповка находит применение во всех отраслях производства, связанных с изготовлением металлических деталей.

Так, на сегодняшний день можно выделить такие проблемы, которые возникают в процессе штамповки металлов: 1. Повышения степени деформации металла за переход; 2. Не исследовано влияние внешнего МП на схемы напряженного и деформированного состояния; 3. Повышение прочностных и пластических характеристик изделий; 4. Требования потребителей на изделия с особыми качествами.

Проблемы, достигаемые деформацией, для многих штампованных изделий касаются механических и др. физических свойств стали [3].

Современные тенденции совершенствования производства направлены в большей степени на достижение максимальной эффективности существующих процессов обработки давлением, созданием способов обработки металлов на основе комбинированной обработки стали и сплавов [1, 2].

На наш взгляд, альтернативным решением этих проблем возможно введение дополнительного фактора влияния на условия пластического деформирования – внешнего МП.

В сталях, основной структурной составляющей которых является ферромагнитная фаза (феррит с перлитом или мартенситом), МП создает дополнительные объемные напряжения при их обработке. Использование данного воздействия для создания более равномерного плоского или объемного напряженного состояния позволяет предотвращать образование вытянутых зерен в структуре стали (образование текстуры), а значит способствовать повышению пластичности стали [4].

По результатам исследований [5] по прокатке сталей типа 08Ю, их пластичность повышается на 10 – 15 % в МП с индукцией в 500 мТл. Даже при наложении внешнего магнитного поля с индукцией меньшей в 2 – 2,5 раза в опытах по растяжению образцов стали Ст. 3 без выраженного увеличения

пластичности стали происходит измельчение ферромагнитного зерна, при этом его пропорции размеров в соответствующих зонах образцов позволяют иметь зернам менее выраженный (по сравнению с зернами после растяжения без МП) вытянутый вид [6].

**Целью исследования** является определение влияния слабого по энергии внешнего МП на свойства углеродистых сталей в процессах растяжения и осадки.

**Материалы исследования.** Исследование проводилось на ручном гидравлическом прессе номинальным усилием 39,2 кН, который был установлен между катушками электромагнита. Параметры и характеристики оборудования представлены в работах [4,7]. С целью концентрации и увеличения МП в очаге деформации были применены прямоугольные надставки размером поперечного сечения 10x20 мм из стали Ст. 3 [7].

Были проведены испытания на растяжение и на сжатие углеродистых сталей: стали 20, стали Ст. 3 и стали У8 с дополнительным воздействующим фактором – внешним МП.

Для испытания на растяжение применяли цилиндрические образцы номинальным диаметром рабочей части 4,0 мм, пятикратные образцы, изготовленные в соответствии с ГОСТом 1497-84.

Для испытания на сжатие были использованы цилиндрические образцы из стали 20 и стали Ст. 3 диаметром 8 мм и образцы из стали У8 диаметром 5 мм, изготовленные в соответствии с ГОСТом 8817-82. Образцы подвергались осадке в холодном состоянии. Величина относительной деформации для стали 20 и стали Ст. 3 в среднем составляла 30 %, а для У8 – 20 %.

С целью изучения влияния МП на параметры структуры металла были рассмотрены шлифы образцов, которые подвергались испытаниям. Образцы изготавливались методом шлифования и травления. Исследования проводились на оптическом микроскопе, с помощью которого были получены фотографии макро- и микроструктур. Исследовали структуры в трех точках для образцов после растяжения: на расстоянии 0,2 мм от плоскости разрыва, 1 мм от плоскости разрыва и 5 мм от плоскости разрыва, и в центральной точке – для образцов после осадки. Точки выбраны, учитывая особенности напряженного состояния в образце при исследуемом процессе.

Рассмотрим влияние внешнего МП на основные параметры микроструктуры.

**Результаты исследования.** Вначале рассмотрим растяжение образцов из стали Ст. 3. В табл. 1. приведены основные параметры микроструктуры в контрольных точках при различных значениях вектора магнитной индукции.

На рис. 1 представлено графическое отображение влияния слабого по энергии внешнего МП на изменение среднего отношения большего размера зерна вдоль оси образца из стали Ст. 3, который подвергался растяжению в условиях наложения различного магнитного поля.

Таблица 1 – Основные параметры микроструктур стали Ст. 3 в контрольных точках при различных значениях вектора магнитной индукции

Контрольные точки	Расстояние от плоскости разрыва		
	0,2 мм	1 мм	5 мм
В, Тл	L/D <sub>cp</sub>	L/D <sub>cp</sub>	L/D <sub>cp</sub>
0	2,755	2,214	1,438
0,4	2,256	2,093	1,505
1,1	2,541	2,025	1,463

Примечание: L/D<sub>cp</sub> – среднее арифметическое значение отношения большего размера зерна, измеренного на фотографии микроструктуры стали Ст. 3 в соответствующей точке, к меньшему.

Анализируя рис. 1 можно отметить, что на расстоянии 0,2 мм от плоскости разрыва образца показатель  $l/d_{cp}$  в случае деформации в МП с индукцией 0,4 Тл уменьшился на 8,34%, а с индукцией МП 1,1 Тл – уменьшался на 7,79%, по сравнению с данным показателем, который был определен в случае деформации без МП. На расстоянии 1 мм от плоскости разрыва образца показатель  $l/d_{cp}$  в случае деформации в МП с индукцией 0,4 Тл уменьшился на 5,48%, а с индукцией МП 1,1 Тл – уменьшился на 8,53%, по сравнению с данным показателем, который был определен в случае деформации без МП. На расстоянии 5 мм от плоскости разрыва образца показатель  $l/d_{cp}$  в случае деформации в МП с индукцией 0,4 Тл увеличился на 4,62%, а с индукцией МП 1,1 Тл – увеличился на 1,75%, по сравнению с данным показателем, который был определен в случае деформации без МП. В целом на расстоянии 5 мм от плоскости разрыва в данном опыте влияние МП несущественно.

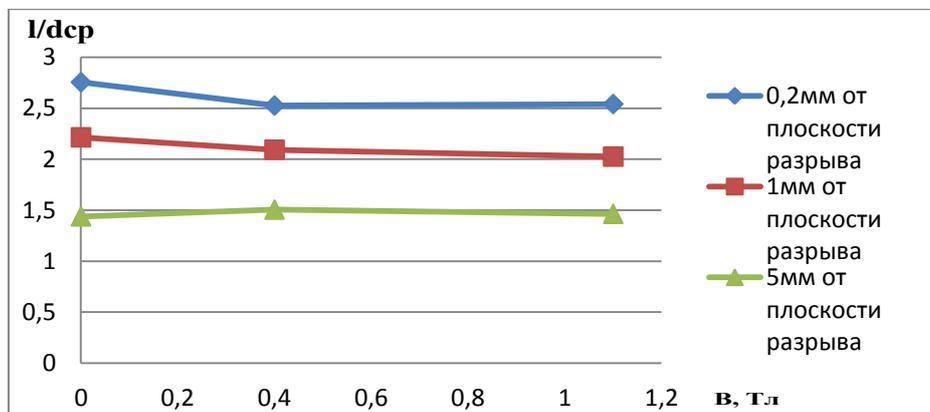


Рис. 1 – Изменение отношения размеров зерна при различных режимах наложения слабого по энергии внешнего МП вдоль оси нагружения образца из стали Ст. 3 в контрольных точках

Далее рассмотрим влияние внешнего МП на параметры микроструктуры для образцов для стали 20.

На рис. 2 представлено графическое отображение влияния слабого по энергии внешнего МП на изменение среднего отношения размеров зерна вдоль оси образца из стали 20, который подвергался растяжению в условиях наложения различного МП.

Таблица 2 – Основные параметры микроструктуры стали 20 в контрольных точках при различных значениях вектора магнитной индукции

Контрольные точки	Расстояние от плоскости разрыва		
	0,2 мм	1 мм	5 мм
В, Тл	L/D <sub>cp</sub>	L/D <sub>cp</sub>	L/D <sub>cp</sub>
0	3,743	3,193	
0,4	3,680	3,179	
1,1	3,422	3,010	

Анализируя рис. 2 можно отметить, что на расстоянии 0,2 мм от плоскости разрыва образца показатель  $l/d_{cp}$  в случае деформации в МП с индукцией 0,4 Тл уменьшился на 1,72%, а с индукцией МП 1,1 Тл – уменьшался на 8,57 %, по сравнению с данным показателем, который был определен в случае деформации без МП. На расстоянии 1 мм от плоскости разрыва образца показатель  $l/d_{cp}$  в случае деформации в МП с индукцией 0,4 Тл уменьшился на 0,45%, а с индукцией МП 1,1 Тл – уменьшился на 5,74%, по сравнению с данным показателем, который был определен в случае деформации без МП. На расстоянии 5 мм от плоскости разрыва образца показатель  $l/d_{cp}$  в случае деформации в МП с индукцией 0,4 Тл увеличился на 12,00%, а с индукцией МП 1,1 Тл – уменьшился на 0,56%, по сравнению с данным показателем, который был определен в случае деформации без МП.

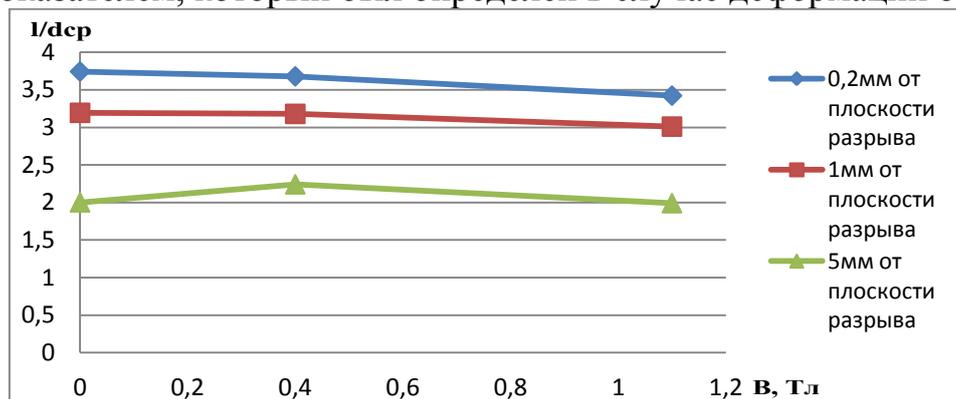


Рис. 2 – Изменение размеров зерна при различных режимах наложения слабого по энергии внешнего МП вдоль оси нагружения образца из стали 20 в контрольных точках

В целом можно утверждать, что равноосность зерна существенно улучшается в точках, близких плоскости разрыва, а в точке 5 мм практически не изменяется, т.е. можно констатировать, что характер действия внешнего МП на равноосность зерна для образца из стали 20 практически такой же, как и для образца из стали Ст. 3.

Далее рассмотрим влияние МП на параметры структуры ( $l/d_{cp}$ ) стали 20 и стали Ст. 3 в центральной точке образца, который подвергался испытаниям на сжатие.

На рис. 3 представлено графическое отображение влияния слабого по энергии внешнего МП на изменение среднего отношения размеров зерна в центральных точках образцов из стали 20 и стали Ст. 3, которые подвергались испытаниям на сжатие.

Таблица 3 – Основные параметры микроструктуры стали 20 в контрольных точках при различных значениях вектора магнитной индукции

В, Тл	Сталь 20	Сталь Ст 3
0	1,72	1,40
0,4	1,30	1,37
1,1	1,45	1,37

Анализируя рис. 3 можно отметить, что в центральной точки образца из стали 20 показатель  $l/d_{cp}$  в случае деформации в МП с индукцией 0,4 Тл уменьшился на 24,42%, а с индукцией МП 1,1 Тл – уменьшался на 15,70%, по сравнению с данным показателем, который был определен в случае деформации без МП. Для стали Ст 3 в центральной точки образца показатель  $l/d_{cp}$  в случае деформации в МП с индукцией 0,4 Тл и 1,1 Тл уменьшился на 2,14% по сравнению с данным показателем, который был определен в случае деформации без МП.

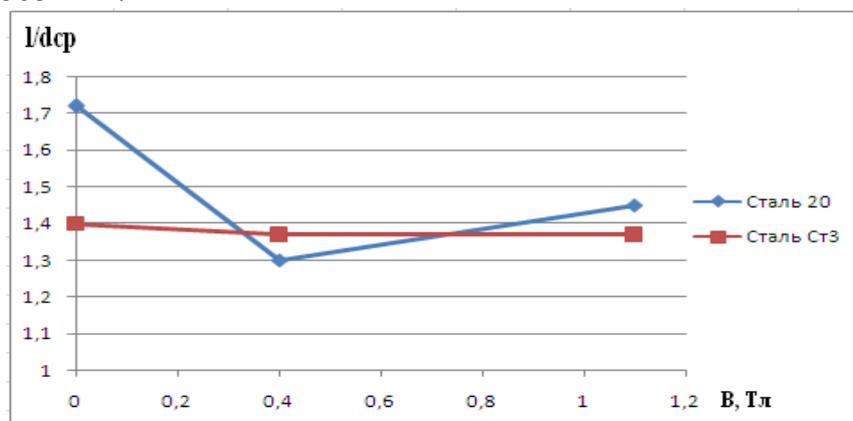


Рис. 3 – Изменение размеров зерна при различных режимах наложения слабого по энергии внешнего МП образцов из стали 20 и стали Ст 3 в центральных точках.

**Выводы:** 1. Воздействие внешнего МП постоянной напряженности в операциях штамповки малоизученно. Существующие установки позволяют в лабораторных условиях исследовать влияние постоянного МП малой и средней напряженности на процесс деформации сталей. 2. МП является технологическим фактором, применяемым для обработки металлов с целью дополнительного воздействия на структуру сталей. 3. Получены экспериментальные данные о возможности существенного изменения параметров микроструктуры углеродистых сталей во время пластической деформации при очень слабом воздействии внешнего МП.

**Список литературы:** 1 Счастливцев В.М. Мартенситное превращение в магнитном поле / В.М. Счастливцев, Ю.В. Калетина, Е.А. Фокина. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 322 с; 2 Гринкевич В.А. Анализ пластического формоизменения в частных задачахковки и штамповки / В.А.Гринкевич, В.В.Кухарь, М.В.Краев, В.А.Бурко. – Мариуполь: ЗАО «Газета «Приазовский рабочий», 2011. – 336 с. 3. Краев М.В. Перспективы совершенствования технологических процессов листовой штамповки многофазных сталей / М.В. Краев, В.А. Гринкевич, В.С. Краева // Вісник Національного технічного університету України «Київський політехнічний інститут», Серія Машинобудування №60, 2010. – С. 191 – 193; 4. Краев М.В., Гринкевич В.А., Шевченко Т.Н., Краєва В.С. Комбінована обробка тисненням сталей з застосуванням зовнішнього магнітного поля // Обробка матеріалів тисненням. 2012, №3(32), с.116-120. 5. Делюсто Л.Г. Основы прокатки металлов в постоянных магнитных полях. М.: Машиностроение, 2005. – 272 с; 6. Краев М.В.

Применение внешнего магнитного поля при холодной деформации сталей / М.В. Краев, В.А. Гринкевич, В.С. Краева, В.Ю. Щетинин // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2011. – № 7. – С. 53–55; 7. Краев М.В., Краева В.С., Гринкевич В.А., Шевченко Т.Н. Подготовка экспериментального исследования штамповки с применением слабого магнитного поля // *Обработка материалов давлением*. 2012, №4(33), с.122-125.

*Надійшла до редколегії 04.11.2013*

УДК 621.73

**Экспериментальное исследование влияния слабого по энергии внешнего магнитного поля на свойства углеродистых сталей / Гринкевич В. А., Краев М. В., Шевченко Т. Н., Краева В. С. // Вісник НТУ «ХП». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХП». – 2013. – № 43 (1016). – С. 6–66. Бібліогр.: 7 назв.**

Описані перспективи використання зовнішнього магнітного поля при обробці металів. Представлені умови експериментальних досліджень по виявленню впливу слабого по енергії зовнішнього магнітного поля на властивості вуглецевих сталей в умовах холодної пластичної деформації. Приведені результати металографічного аналізу зразків із вуглецевих сталей, які випробовувались на розтяг та стиснення.

**Ключові слова:** магнітне поле, вуглецеві сталі, мікроструктура, розтягування, стиснення.

The outlooks of using an external magnetic field during processing metals are described. The conditions of experimental researches for detecting an impact of an energetically weak external magnetic field on properties of carbon steel under conditions of a cold plastic deformation. The results of a metallographic analysis of samples of carbon steel are presented, which were exposed to extension and compression tests.

**Key words:** magnetic field, carbon steel, structure, tensile, compression.