

Совершенствование технологии обработки сталей с помощью магнитного поля

Студенты гр.10402120: Щекало Д.В., Дешко Г.Д.

Научный руководитель – Томило В.А.

Белорусский национальный технический университет
г.Минск

Во второй половине 20-го века стали применять внешнее магнитное поле для обработки сталей. Впервые внешнее магнитное поле нашло применение при закалке сталей, когда в процессе резкого охлаждения детали при воздействии поля усилилось мартенситное превращение [1]. В листовой штамповке импульсное магнитное поле оказывает ударное воздействие на заготовку и формирует ее по матрице. Таким образом, магнитное поле может быть использовано для двух разных целей: как источник изменяющий фазовый состав стали и как источник силового воздействия на заготовку. Воздействие магнитного поля на сталь зависит от ее структуры и свойств. В парамагнитных сталях, где в процессе деформации происходит превращение с получением ферромагнитных фаз магнитное поле будет в большей степени влиять на интенсивность этого превращения, а в ферромагнитных сталях приведет к возникновению дополнительных напряжений в очаге деформации. В зависимости от свойств стали влияние магнитного поля может быть локальным или общим, хотя в реальности строго раздельного его влияния на отдельные частицы или весь материал нет, в металле будет иметь место оба случая воздействия. Получается что для его практического применения необходимо разработать способ направление поля в очаге деформации и оценить его влияние на сталь

Магнитное поле оказывает эффект только в процессе основной обработки стали и является дополнительным воздействующим фактором. Для эффективного воздействия магнитного поля на материал необходимо сосредоточить поле в зоне очага деформации и обеспечить его максимальную силу. Воздействие магнитного поля на сталь может быть импульсным или постоянным. Импульсное кратковременное поле возможно применять только в качестве некоего «толчка» для протекания процессов фазовых превращений в стали [2] или кратковременного воздействия на структуру стали. В то же время большинство процессов деформации стали являются низкоскоростными и для них изрядно обеспечить воздействие магнитного поля в продолжение всего периода деформации. Таким условием отвечает магнитное поле постоянной индукции, создаваемое электрическими магнитами. Внешний вид установки для деформации с применением постоянного магнитного поля представлен на рисунке 1. Очаг деформации представлен на рисунке 2.

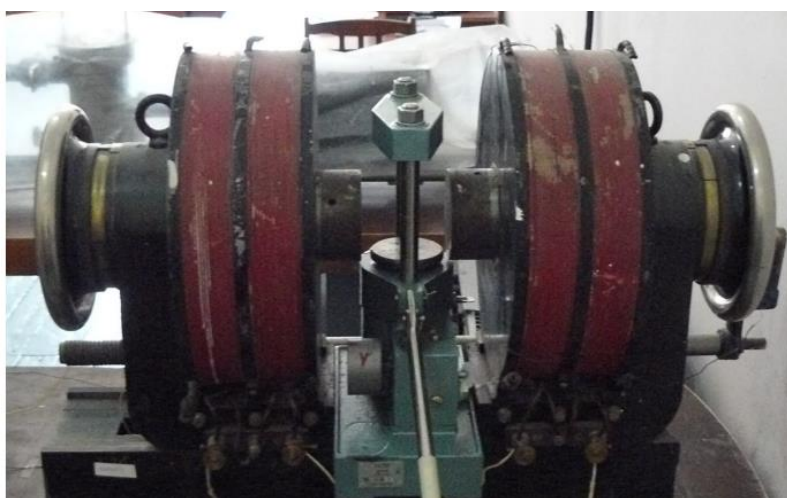


Рисунок 1 – Установка для деформации заготовок с применением внешнего магнитного поля



Рисунок 2 – Внешний вид очага деформации

Установка состоит из электромагнита (2 катушки с сердечниками) и установленным между катушками гидравлическим прессом. Универсальность установки позволяет применять любое другое подходящее по размерам оборудование, например винтовой пресс. Сердечники катушек выдвигаются и приближаются к зоне деформации, что позволяет достичь максимальной индукции магнитного поля.

Для исследования выбран стандартный процесс испытания стали на растяжение. В качестве материала выбраны прутки из углеродистой стали Ст3 и нержавеющей стали 12Х18Н10Т. Из прутков выточены образцы для испытаний, которые растягивались на гидравлическом прессе с помощью приспособления, представленного на рисунке 3. Внешний вид образцов до и после деформации показан на рисунке 4, где слева находятся образцы углеродистой стали, справа – нержавеющей.

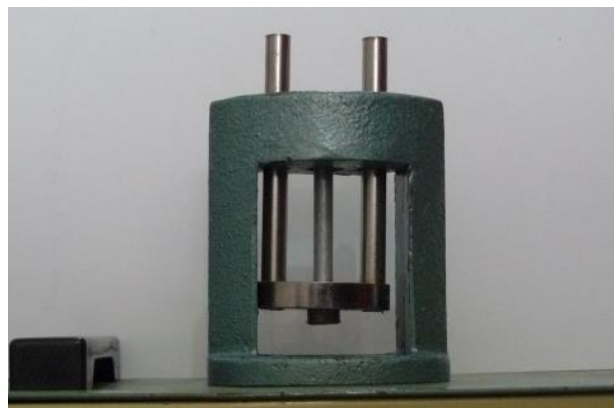


Рисунок 3 – Штамп для растяжения



Рисунок 4 – Образцы до и после растяжения.

Путем регулирования силы тока в катушках изменяется индукция магнитного поля между сердечниками. Испытание на растяжение проводилось без магнитного поля, в магнитном поле индукцией 185 мТл (сила тока 10 А) и 200 мТл (сила тока 14 А).

Значения относительного удлинения образцов приведены в таблице 1.

Относительное удлинение стали при наложении магнитного поля практически не изменилось, и находится в пределах значений исходных образцов. По результатам исследований по прокатке сталей типа 08Ю, их пластичность повышается на 10–15 % в магнитном поле с индукцией в 2,5–3 раза большей по сравнению с данным исследованием и достигающей 500 мТл.

Таблица 1 – Среднее значение относительного удлинения

Марка стали	Индукция поля, мТл	δ , %
Ст3	–	9,6
	185	9,6
	200	10,0
12X18H10T	–	25,8
	185	26,5
	200	27,0

Микроструктура и значения микротвердости стали (таблица 2) определялись в зоне равномерного растяжения (5 мм от разрыва) и интенсивной деформации в месте образования шейки (до 1 мм от разрыва).

Структура стали Ст3 в исходном состоянии феррито–перлитная и имеет недеформированные зерна размером 20–30 мкм по форме близкие к равноосным. Структура стали в зоне, отстоящей на 5 мм от места разрыва пробы является слабдеформированной. При любых условиях деформации структура стали близка исходной.

В месте образования шейки при растяжении образцов на расстоянии 1 мм от места ее разрыва расположена зона интенсивной деформации.

Структура стали пробы испытанной без какого–либо дополнительного внешнего воздействия выраженная деформированная. Зерна вытянуты вдоль оси деформации. В результате деформации длина зерен увеличилась до 50–70 мкм, при этом их ширина уменьшилась до 15–20 мкм. Соотношение длины к ширине зерен составляет 1:3,3–1:3,5. Воздействие внешнего магнитного поля препятствует вытягиванию зерен вдоль направления деформации, зерна измельчаются. Значительное количество зерен имеет близкую к равноосным форму. Их размеры колеблются от 20 до 30 мкм. Длина крупных вытянутых зерен достигает 30–40 мкм при ширине 15–20 мкм. Соотношение их длины к ширине не превышает 1:2,5.

В месте предельно близком разрыву образцов (0,2 мм от разрыва) имеет место выраженная деформированная структура стали. Зерна вытянуты вдоль направления деформации. Длина зерен достигает 50–70 мкм, а ширина – 10–15 мкм. Соотношение длины к ширине зерен составляет 1:4,6–1:5. При воздействии внешнего магнитного поля зерна имеют меньшую длину при получении той же их ширины. Длина зерен составляет не более 40–50 мкм, а ширина – 10–15 мкм. Соотношение их длины к ширине не превышает 1:4.

Отличия в структуре стали после растяжения в магнитном поле подтверждают действие в очаге деформации дополнительных напряжений, возникающих при взаимодействии поля с ферромагнитным материалом образцов и действующих перпендикулярно оси их деформации и параллельно направлению поля (поле направлено от одного сердечника электромагнита к другому).

Структура стали 12Х18Н10Т в исходном состоянии аустенитная и имеет недеформированные зерна размером 10–15 мкм по форме близкие к равноосным.

Структура стали в зоне, отстоящей на 5 мм также не имеет существенных отличий от исходной структуры при любых условиях деформации.

В месте образования шейки при растяжении образцов на расстоянии 1 мм от места ее разрыва расположена зона интенсивной деформации. Структура стали всех образцов имеет признаки деформирования с вытягиванием зерен вдоль направления растяжения. В результате деформации длина зерен увеличилась до 25–35 мкм, а их ширина уменьшилась до 15–20 мкм. Внутри отдельных зерен видны иглы мартенсита. Соотношение длины к ширине зерен составляет 1:2–1:3.

В месте предельно близком разрыву образцов имеет место выраженная деформированная структура стали. Зерна вытянуты вдоль направления деформации. Длина зерен достигает 50–80 мкм, их ширина – 10–20 мкм. Мартенсит наблюдается во многих зернах. Соотношение длины к ширине зерен составляет 1:4–1:5.

Таблица 2 – Среднее значение микротвердости стали

Марка стали	Индукция поля, мТл	Микротвердость, МПа	
		5 мм от разрыва	до 1 мм от разрыва
Ст3 недеформированный		1110	
Ст3	–	1147	1381
	185	1131	1267
	200	141	1334
12Х8Н10Т недеформированный		1100	
12Х8Н10Т	–	1371	1442
	185	1418	1525
	200	1383	1549

В результате испытания на растяжение происходит упрочнение стали. Прочность стали в зоне 5 мм от места разрыва образцов практически не зависит от способа ее обработки. Отличительные особенности прочности стали имеют место только в зоне интенсивных деформаций (в зоне образования шейки). При этом, микротвердость стали Ст3 при воздействии магнитного поля в зоне интенсивных деформаций меньше, что взаимосвязано с отличием в размерах зерен металла. Микротвердость стали 12Х18Н10Т при воздействии магнитного поля в зоне интенсивных деформаций больше, что взаимосвязано с деформационным мартенситным превращением.

Полученные данные сформировали два направления дальнейших исследований по применению магнитного поля при обработке давлением: исследование повышения деформируемости ферритных, феррито–перлитных, и мартенситных сталей при их формоизменении; исследование повышения прочности метастабильных аустенитных сталей.

Список использованных источников

- 1 Закалка стали в магнитном поле / М.А. Кривоглаз [и др.]. – М.: Наука, 1977. – 119 с.
- 2 Счастливцев, В.М. Мартенситное превращение в магнитном поле / В.М. Счастливцев, 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.