

УДК 621.73

М.В. Краев¹ к.т.н., В.А. Гринкевич¹ д.т.н., В.С. Краева² к.ф.-м.н.

1.-Национальная металлургическая академия Украины

2.-Днепропетровский национальный университет железнодорожного транспорта

ПЕРСПЕКТИВЫ СОВЕРШЕНСТВОВАНИЯ ТЕХНОЛОГИЧЕСКИХ ПРОЦЕССОВ ЛИСТОВОЙ ШТАМПОВКИ МНОГОФАЗНЫХ СТАЛЕЙ

Розглянуті питання використання зміни фазового складу сталі під час листового штампування. Наведено приклад використання зовнішнього магнітного поля при листовому штампуванні багатофазної сталі.

The problems of usage of a phase structure variation of steel are reviewed at a sheet-metal forming. The example of usage of an external magnetic field at sheet metal forming of multiphase steel are presented.

Развитие техники и технологии требует наиболее полного использования свойств существующих материалов. Современные подходы к штамповке стали и сплавов учитывают не только их упрочнение, но и изменения целого комплекса физико-механических свойств. Это позволяет наиболее полно использовать ресурс пластичности заготовки и получить изделия с высокими прочностными и эксплуатационными свойствами.

Постановка проблемы. Одним из направлений развития теории штамповки является обработка сталей и сплавов, способных упрочняться в процессе деформации, при этом сохраняя свои пластические свойства. Это относится к многофазным сталям, изменяющим свой фазовый состав при деформации. Такие стали применяются в автомобилестроении, авиа- и космостроении для изготовления деталей сложной формы или изделий работающих в особых условиях нагружения. Среди используемых в данных отраслях промышленности материалов доля многофазных сталей составляет более 70 %. Широко распространено применение метастабильных аустенитных нержавеющей сталей.

Аустенитные коррозионностойкие стали характеризуются большой пластичностью и вязкостью, низкой твердостью, низким пределом пропорциональности и текучести. Единственным методом повышения прочности этих сталей является холодная пластическая деформация. Упрочнение данных сталей происходит из-за их сильной наклепываемости (вследствие преобладания в структуре стали аустенита), а также превращения некоторого количества аустенита в мартенсит. Разрабатываемые технологии обработки стали нацелены на максимальное использование пластических свойств стали с достижением высокого уровня прочности штампуемых изделий.

Изложение основных материалов исследования. Изменение фазового состава стали происходит под воздействием факторов (сил), действующих на сталь со стороны внешней среды. Наиболее часто мартенситное превращение связывают с процессами термодинамического воздействия. Создавая определенные структурно-деформационные условия обработки аустенитных сталей возможно добиться протекания мартенситного превращения даже в достаточно стабильных сталях [1]. При этом развитие фазовых превращений находится в прямой зависимости от степени деформации и наиболее эффективно при многопереходной штамповке. Наиболее значительных результатов по повышению прочности стали возможно достичь при комбинировании операций штамповки, имеющих различные схемы напряженно-деформированного состояния в очаге деформации, соответственно способствующие лучшей проработке материала заготовки, а также более полной реализации мартенситного превращения. Кроме увеличения прочностных свойств при определенных степенях деформации возрастает и пластичность стали, проявляется эффект пластичности наведенной превращением. Это в свою очередь позволяет повысить обрабатываемость стали и достигать еще большего ее упрочнения.

Примерами реализации эффекта упрочнения стали с сохранением ее деформируемости являются технологические процессы получения тонкостенных трубчатых изделий из стали 12X18H10T [2]. Разработаны два технологических процесса штамповки заготовок. В первом трубчатая заготовка диаметром 36,0 мм и толщиной стенки 1,45 мм обжималась за два перехода с суммарным коэффициентом обжима 1,32. После обжима стенка заготовки раскатывалась в наклонных матрицах на оправке за три перехода деформации до толщины 0,25 мм. Во втором технологическом процессе листовая заготовка диаметром 93,0 мм и толщиной стенки 1,0 мм штамповалась за четыре перехода вытяжки без утонения стенки с суммарным показателем вытяжки 2,22. После вытяжки стенка заготовки раскатывалась в наклонных матрицах за три перехода деформации до толщины 0,20 мм. Результаты упрочнения и изменения фазового состава стали приведены в таблице 1.

Таблица 1.

Показатели прочности и количество мартенсита (α -фаза) заготовок и готовых изделий

Образцы	$\sigma_{0,2}$, МПа	σ_B , МПа	α -фаза, %
Заготовка до обжима	260	660	24
Деталь после раскатки	1100	1350	81
Заготовка до вытяжки	427	724	10
Деталь после раскатки	1412	1550	87

Между переходами деформации разупрочняющая термообработка заготовок не производилась. Суммарная степень деформации стенки заготовок превысила 80 %. Очевидно, что на фоне интенсивного деформационного мартенситного превращения достигнуты высокие показатели деформируемости заготовок. Значительная деформация стали (наклеп) без ее промежуточного разупрочнения позволила получить высокопрочные изделия. Значительный вклад в упрочнение стали получен за счет образования высокопрочной мартенситной фазы.

В результате для штамповки метастабильных сталей разработан новый принцип проектирования технологического процесса [3]. Предложено использовать соотношение относительного изменения количества мартенсита Δf_M и относительного упрочнения стали $\Delta \sigma_S$. В идеальном случае в процессе деформации отношение $\Delta f_M / \Delta \sigma_S$ должно иметь постоянные значения, близкие к единице. Таким образом, интенсивность фазового превращения должна соответствовать интенсивности упрочнения стали.

Магнитное поле, с точки зрения термодинамики, является одним из внешних параметров, воздействующих на металл, таким же, как давление и температура. Действие внешнего магнитного поля оказывается значительным, если в превращении участвуют фазы, различающиеся по намагниченности. Так, в случае деформационного мартенситного превращения парамагнитный аустенит превращается в ферромагнитный мартенсит, что и приводит к дополнительному упрочнению стали. Воздействие магнитного поля на материал может быть импульсным или постоянным. Авторами [4] в ходе обширных исследований установлено иницирующее влияние внешнего магнитного поля на мартенситное превращение в процессе охлаждения сталей до криогенных температур. Для каждой марки стали или сплава как существует своя температура начала мартенситного превращения, так существует и свое критическое значение налагаемого магнитного поля, оказывающего влияние на превращение. Степень превращения возрастает с понижением температуры намагничивания и увеличением напряженности поля. Кроме того, под влиянием магнитного поля может возникать мартенсит, резко отличающийся по морфологическому типу от мартенсита охлаждения. Например, в сплаве 50ХН23 [4], в котором при охлаждении образуется линзовидный мартенсит, под действием магнитного поля появляются полностью двойникованные пластинчатые кристаллы, или в сплаве 30Н31 вместо тонкопластинчатых кристаллов с увеличением напряженности поля образуются существенно более широкие кристаллы мартенсита. Подобные структурные изменения приводят к дополнительному увеличению прочностных свойств стали.

Магнитное поле представляет интерес не только для процессов, происходящих при термической обработке стали. В частности при обработке давлением метастабильных сталей эффекты самозакалки или пластичности наведенной превращением могут интенсифицироваться наложением внешнего магнитного поля.

В реальных процессах штамповки проведены эксперименты по определению влияния внешнего магнитного поля на повышение прочностных свойств трубчатых изделий. Исследовался процесс раздачи (увеличения диаметра) трубчатых заготовок коническим пуансоном. Штамповались заготовки из стали 12Х18Н10Т диаметром 15 и 24 мм с толщиной стенки 0,5 и 0,3 мм соответственно. Деформирование осуществлялось при комнатной температуре. Степень деформации заготовок составляла 15-20 % (рис. 1). Прочностные свойства отштампованных деталей, учитывая их малую толщину и форму, возможно оценить только измерением микротвердости. Микротвердость стали после деформации без применения внешнего магнитного поля составила 3000-3800 МПа.

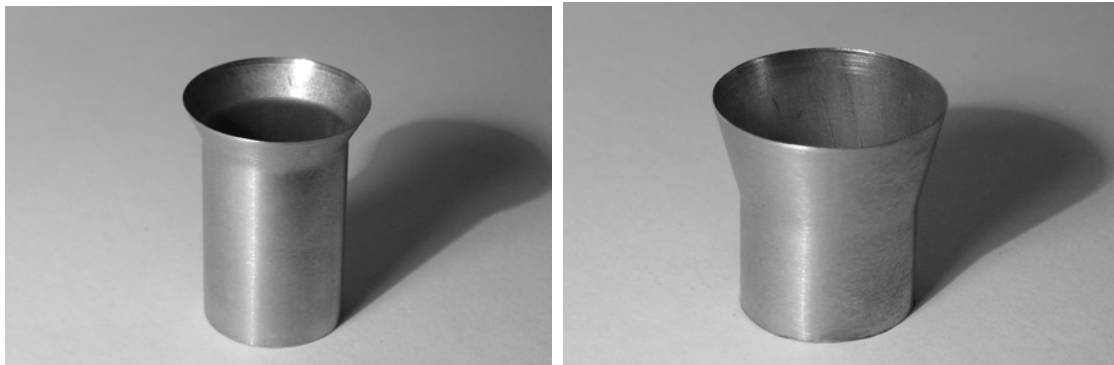


Рис. 1. Заготовки после раздачи

В процессе штамповки в очаге деформации с помощью электромагнита создавалось постоянное магнитное поле напряженностью до 1,1 МА/м (10 кЭ). Внешний вид установки для штамповки представлен на рис. 2. Очаг деформации представлен на рис.3.

Особенностью действия постоянного магнитного поля является возможность поддерживать определенную величину напряженности магнитного поля в течение всего периода деформации. При действии внешнего магнитного поля достигнуто дополнительное увеличение прочности стали отштампованных деталей на 5-15 % в зависимости от условий деформации.

Реализация полученных данных может быть использована при разработке методов комбинированного упрочнения материалов для получения высокопрочных сталей с пределом прочности 2500-3000 МПа. Комбинированная обработка стали включает в себя термическую обработку, обработку давлением и воздействие на материал внешнего магнитного поля.

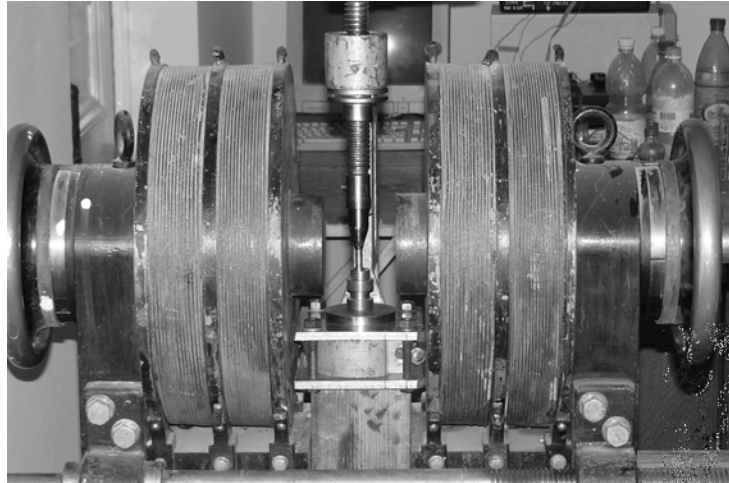


Рис. 2. Установка для штамповки заготовок с применением внешнего магнитного поля

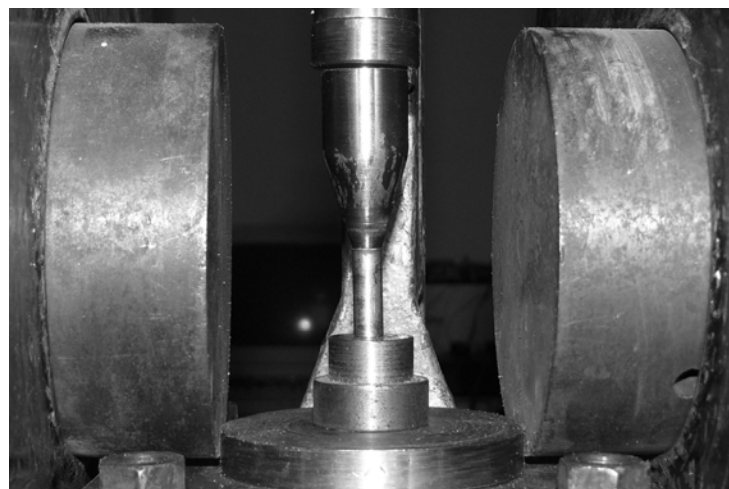


Рис. 3. Внешний вид очага деформации при штамповке с применением внешнего магнитного поля

Использование мартенситных превращений при штамповке возможно также для увеличения прочности металла в опасном сечении и перемещения фронта деформаций на другие участки заготовки. На основе данного принципа [1] разрабатываются самоупрочняющиеся материалы и детали, способные адаптироваться к внешним нагрузкам и не разрушаться под их воздействием.

Выводы.

1. Деформационное мартенситное превращение в стали является технологическим фактором штамповки заготовок, оказывающим влияние на формоизменение заготовок и свойства получаемых изделий.
2. Внешнее магнитное поле следует рассматривать как дополнительный технологический фактор, который путем интенсификации деформационного мартенситного превращения оказывает влияние на режимы штамповки заготовок.

Список литературы

1. Чейлях А.П. Экономнолегированные метастабильные сплавы и упрочняющие технологии. – Мариуполь: ПГТУ, 2009. – 483 с.
2. Краев М.В., Гринкевич В.А., Кушнерев А.В. Разработка режимов деформации нержавеющей стали 12Х18Н10Т с учетом изменения ее фазового состава и физико-механических свойств // Сучасні проблеми металургії. Наукові вісті. Т. 8. Пластична деформація металів. – Дніпропетровськ: Системні технології. – 2005. – С. 493–496.
3. Краев М.В., Гринкевич В.А., Хлынцева Т.В., Краева В.С. Принцип проектирования процессов холодной листовой штамповки на основе изменения фазового состава стали при деформации // Нові матеріали і технології в металургії та машинобудуванні. – 2008. – № 1. – С. 72-74.
4. Счастливцев В.М., Калетина Ю.В., Фокина Е.А. Мартенситное превращение в магнитном поле. – Екатеринбург: УрО РАН, 2007. – 322 с.