

Студентка гр.104215 Мельниченко А.Г.  
Научный руководитель – Пучков Э.П.  
Белорусский национальный технический университет  
г. Минск

Целью настоящей работы является усиление внимания в проблеме производства новых конструкционных материалов, холоднокатаного листа, проката с упрочняющей термической обработкой из низколегированных сталей.

Двухфазные ферритно-мартенситные стали (ДФМС) с регламентированным количеством мартенсита обладают наиболее благоприятным сочетанием прочности и пластичности по сравнению с другими низколегированными сталями. При этом аномально высокое их упрочнение в процессе деформации и искусственного старения позволяет получить повышенную прочность готовых штампованных деталей и снизить их сечение на 15-25 %.

Ферритно-мартенситные стали обладают хорошей коррозионной стойкостью в атмосферных условиях, в слабоагрессивных средах (в слабых растворах солей, кислот) и имеют высокие механические свойства. В основном их используют для изделий, работающих на износ, для упругих элементов и конструкций в пищевой и химической промышленности, находящихся в контакте со слабоагрессивными средами (например, 4-5%-ная уксусная кислота, фруктовые соки).

Основным средством получения двухфазных ферритно-мартенситных сталей (ДФМС) является термическая обработка, проводимая, как правило, из двухфазной  $\alpha + \gamma$  области: закалка из межкритического интервала после горячей прокатки или специального нагрева. Сталь в таком состоянии имеет низкий предел текучести (отсутствует площадка текучести из-за большого количества свободных дислокаций в феррите). Сталь в таком состоянии легко штампуется, но при этом сильно упрочняется. При этом выбор конкретных режимов должен обеспечивать не только получение заданной структуры, но и минимальную ее чувствительность к неизбежным колебаниям параметров технологического процесса. При разработке способов получения двухфазных структур без специальной термической обработки (непосредственно после горячей прокатки) возникают специфические требования к параметрам распада переохлажденного аустенита. В частности, необходимо получить большое количество (около 80 %) феррита за короткий период охлаждения стали при существенном затормаживании перлитного и бейнитного превращения.

При разработке рационального режима термической обработки из двухфазной области при специальном нагреве, следует учитывать факторы, влияющие на кинетику аустенизации, а также на предпочтительные места зарождения аустенита и его морфологию. Такими факторами служат исходная структура, состав стали, количество и размеры дисперсных частиц и т.п.

*Отпуск ДФМС.* Наиболее важные особенности поведения ДФМС как естественного композиционного материала определяются значительным различием прочностных характеристик мартенсита и феррита, которые уменьшаются в процессе отпуска. В то же время отпуск часто является обязательной операцией термической обработки готовых изделий из ДФМС. В массивных деталях его проводят для увеличения вязкости или обезводороживания. Для листовых сталей его, как правило, осуществляют дважды: в процессе термической обработки листа, для повышения пластичности ДФМС и снижения склонности стали к старению в процессе хранения, а затем, в готовых деталях — при сушке антикоррозионного лакокрасочного покрытия. Особенности процессов отпуска ДФМС, по сравнению с полностью закаленными сталями, обусловлены не только наличием феррита, пересыщенного атомами внедрения, но также остаточными напряжениями в результате локального мартенситного превращения аустенита, повышенной плотностью дислокаций в зернах феррита вблизи границ с мартенситом, малыми размерами остаточного аустенита, а также неоднородностью выделений специальных карбидов в объеме закаленной стали.

*Упрочнение в результате закалочного и деформационного старения.* Двухфазные ферритно-мартенситные стали (ДФМС) как материал для изготовления деталей методами холодной деформации не должны проявлять склонность к старению в процессе длительного хранения при температурах, близких к комнатной. В то же время упрочнение при искусственном нагреве готовых деталей из ДФМС обеспечивает

повышение их эксплуатационных характеристик и является желательным. Тем не менее, для ДФМС характерно полное отсутствие признаков старения (появления площадки текучести либо повышения прочности) в процессе выдержки при комнатной температуре длительностью вплоть до года.

Наибольшее упрочнение ДФМС наблюдается при степенях деформации 2-5%. Увеличение степени деформации, как правило, сопровождается уменьшением упрочнения в результате старения. Для марки стали 03ХГСЮ свойства после отжига:  $\sigma_{0,2}=260$ МПа;  $\sigma_2=355$ МПа;  $\sigma_5=435$ МПа;  $\sigma_b=485$ МПа, а после деформации на 5% и старения при 200 °С:  $\sigma_{0,2}=515$ МПа;  $\sigma_b=540$ МПа. Свариваемость ДФМС при точечной сварке кузовных деталей удовлетворительная. Прочность сварных соединений ДФМС выше, чем низколегированной стали. Для марки стали 09Г2 в горячекатаном состоянии прочность основного металла  $\sigma_b=529$ МПа, а сварного соединения  $\sigma_b=520$ МПа. Это является существенным фактором уменьшения неоднородности распределения прочности в различных участках деталей из ДФМС, претерпевших при штамповке различную деформацию.

Как видно из предыдущего, двухфазная ферритно-мартенситная структура может быть получена с использованием различных сочетаний параметров нагрева и охлаждения. Преимущества одних режимов связаны с возможностью закалки на мартенсит сталей с низким содержанием легирующих элементов или с получением более высокого упрочнения при старении деталей, других — в более высоком сочетании прочности и пластичности и т.п.

Применение двухфазных феррито-мартенситных сталей в автомобилестроении для изготовления штампованных, несущих нагрузку деталей (например, обод колес) позволяет сэкономить более 25% стали и является рентабельным, несмотря на усложнение технологии. ДФМС применяют для изготовления кронштейнов, брусов безопасности, бамперов, усилителей, дисков колес, элементов подвески и различных стоек, т.е. деталей, требующих существенного повышения эксплуатационных характеристик. Также из ДФМС изготавливают стержневые крепежные изделия (болты, шпильки) повышенной прочности методом холодной объемной штамповки. В ряде исследований показана эффективность использования двухфазных сталей в качестве высокопрочного материала магистральных трубопроводов повышенной надежности против разрушения. Применение технологии изготовления крепежных изделий из ДФМС позволяет, во-первых, использовать более дешевый горячекатаный прокат вместо традиционно применяемого проката после сфероидизирующего отжига; во-вторых, получать высокопрочный крепеж ( $\sigma_b \geq 800$  МПа) без проведения завершающего улучшения (закалки и высокого отпуска) и, в-третьих, заменить традиционно применяемые для данного назначения легированные конструкционные термоулучшаемые стали марок 38ХА, 38ХГНМ и др. на низколегированные ДФМС марок 08Р, 12Г1Р и т. д.