

МАРГАНЕЦСОДЕРЖАЩИЕ СТАЛИ И ЧУГУНЫ
С ЭФФЕКТОМ САМОЗАКАЛКИ ПРИ НАГРУЖЕНИИ –
АЛЬТЕРНАТИВА БОЛЕЕ ДОРОГИМ СПЛАВАМ,
ЛЕГИРОВАННЫМ ДЕФИЦИТНЫМ НИКЕЛЕМ

Л.С. Малинов

Приазовский Государственный технический университет,
г. Мариуполь

В роботі узагальнені результати досліджень по створенню марганцевістих і хромомарганцевістих сталей і чавунів різноманітних структурних класів і призначення, в яких реалізовано ефект самогартування при навантаженні. Показано, що в багатьох випадках такі сплави можуть замінити більш дорогі никельмістять. Це є одним з важливих напрямків рішення проблеми ресурсозберігання.

В настоящее время многие стали и чугуны с повышенным уровнем механических свойств, износо- и коррозионной стойкости, как правило, содержат в своем составе дорогой и дефицитный никель (2-25 %). В связи с этим целесообразна его замена более дешевым марганцем, являющимся так же, как и никель, аустенитообразующим элементом. Он в количестве до 2 % широко используется при производстве низколегированных сталей. В повышенных количествах его вводят при выплавке сравнительно небольшого количества марок специальных сплавов аустенитного класса. Они имеют ограниченное применение, что не позволяет существенно экономить никель. Между тем, это является важной задачей по ресурсосбережению.

На основании многолетних системных исследований автором развито перспективное научное направление, заключающееся в том, что разработка экономнолегированных безникелевых сплавов и упрочняющих технологий основывается на получении энергоемких структур и эффекта самозакалки при нагружении. Предложен и реализован принцип, согласно которому в сплавах различных структурных классов и назначения необходимо наряду с другими составляющими получать метастабильный аустенит, претерпевающий деформационные мартенситные превращения. При этом следует регулировать количественное соотношение структурных составляющих и развитие этих превращений с учетом исходных химического и фазового составов, а также условий нагружения и требований к свойствам материала. Это позволяет при экономном легировании обеспечить высокий уро-

вень механических, служебных и технологических свойств. Основой управления структурой и фазовыми превращениями является создание контролируемой дислокационной структуры в сочетании с высокопрочными фазами выделения. Высказано и обосновано положение, согласно которому при деформационных мартенситных превращениях происходит не только упрочнение, но и релаксация микронапряжений, что затрудняет образование и развитие микротрещин. На развитие этих превращений при нагружении расходуется значительная часть энергии внешнего воздействия и, соответственно, меньшая ее доля идет на разрушение.

Установлено, что основными структурными составляющими, обладающими наибольшей энергоемкостью, на основе которых следует создавать экономнолегированные сплавы, должны быть: низкоуглеродистый реечный мартенсит, нижний бейнит, метастабильный аустенит, карбиды и карбонитриды элементов с наименее достроенной электронной d-оболочкой, интерметаллиды. Их количественное соотношение выбирается применительно к конкретной задаче. С учетом этого обоснован выбор структурных классов, на основе которых следует создавать экономнолегированные безникелевые сплавы различного назначения. Ими являются: мартенситный, мартенситно-аустенитный, аустенитно-мартенситный, бейнитно-аустенитный, аустенитный, аустенитно-карбидный, а в ряде случаев ферритно-аустенитный или аустенитно-ферритный. На основании вышеизложенного разработаны безникелевые высокопрочные, нержавеющие и износостойкие марганцовистые и хромомарганцовистые сплавы. Для Украины, богатой залежами марганцевой руды, широкое внедрение в производство безникелевых сталей и чугунов должно являться одним из важнейших направлений ресурсосбережения.

Перспективными являются марганцовистые стали мартенситного класса. Считалось, что марганец придает им хрупкость. Однако введение в них небольших количеств сильных карбидообразующих элементов (V, Ti, Nb) и Al, а также получение вторичного аустенита позволяет обеспечить им высокий уровень механических свойств, получаемый в никельсодержащих сталях. С учетом этого были предложены следующие составы (08-14)X3Г2МФБДЮ, 08Х2Г(3-5)МФ, 08Г(4-10)АФ, 08Г(4-10)ТЮ), которые по свойствам либо не уступают, либо превосходят известные никельсодержащие стали 12ГН2МФАЮ, 14ХГН2МАФБ, 14ХГНМДАФБРТ. После закалки и низкого (числитель) и высокого (знаменатель) отпусков получен следующий уровень свойств: $\sigma_{0,2} \geq 870/650$ МПа, $\sigma_B \geq 1000/720$ МПа, $\delta \geq 10/16$ %, $\psi \geq 50/60$ %, $KCU^{-120} \geq 0,7/1,2$ МДж/м². Низкоуглеродистые стали, содер-

жащие 7-8 % Mn, с микродуплексной структурой могут заменить никельсодержащие 18X2H4BA, 45XHMΦA, и применяться для деталей, работающих при температурах до $-100\text{ }^{\circ}\text{C}$ [1]. Сплавы с 2-10 % Mn, дополнительно легированные сильными карбидо- и нитридообразующими элементами, предложены автором в качестве нового класса цементуемых сталей [2], способных заменить никельсодержащие высокопрочные стали. Отличительной особенностью новых сталей является возможность получения в их поверхностном слое после цементации и термообработки метастабильного аустенита, армированного карбидами и карбонитридами. При больших контактных нагрузках, абразивном и ударно-абразивном воздействии они превосходят никельсодержащие.

В настоящее время в промышленности используются высокопрочные нержавеющей двухфазные хромоникелевые стали: 09X15H8Ю, 07X16H6, 10X15H4AM3, 08X15H5Д2Т. Несомненный интерес представляют новые высокопрочные безникелевые мартенситно-аустенитные стали: 10X14AG6, 10X14AG6Φ, 10X14AG6MΦ, 10X14AG6Д2М [3]. После термообработки, включающей закалку (нормализацию) от $1000\text{ }^{\circ}\text{C}$ и отпуска при $200\text{ }^{\circ}\text{C}$, новые стали обладают хорошим сочетанием механических свойств: $\sigma_{0,2} \geq 1100\text{ МПа}$, $\sigma_B \geq 1300\text{ МПа}$, $\delta \geq 12\%$, $KCU \geq 0,9\text{ МДж/м}^2$. Они хорошо обрабатываются резанием, не требуют сложной термообработки, необходимой для хромоникелевых сталей аналогичного класса, имеют высокую прокаливаемость и не склонны к трещинообразованию.

Исключительно перспективными являются в настоящее время двухфазные марганцовистые стали с 16-25 % Mn. Одной из их особенностей является то, что при холодной пластической деформации наряду с α -мартенситом образуется ϵ -фаза. Она может быть получена в изотермических условиях при температурах ниже $M_n^{\gamma \rightarrow \epsilon}$. Это обеспечивает упрочнение стали при вылеживании и самопроизвольную релаксацию напряжений, что исключает необходимость последующей термообработки для их уменьшения. В рассматриваемых сталях обнаруживается эффект сверхпластичности при их деформировании вблизи температуры $M_n^{\gamma \rightarrow \epsilon}$ [1]. Аналогичный эффект обнаруживается при многократной холодной пластической деформации ($\sim 5\%$) с промежуточными кратковременными нагревами до температуры, обеспечивающей $\epsilon \rightarrow \gamma$ переход. Стали, содержащие $\geq 20\%$ Mn, могут быть основой антифрикционных материалов [4]. На основе сплавов, содержащих 15-16 % Mn ($\sim 0,2\%$ C), дополнительно легированных азотом и ванадием, разработаны износостойкие материалы. В них получают

метастабильный аустенит, армированный карбонитридами, претерпевающий деформационные мартенситные превращения.

Перспективным направлением является создание аустенитных сплавов на основе Fe-18-20 % Mn. Сплавы 08Г20Д(1-2), 08Г20Ю(1-3), 08Х12Г20С2 имеют высокую ударную вязкость при температурах жидкого азота и могут быть использованы в качестве криогенных материалов.

Эффективно использование аустенитных марганецсодержащих сталей вместо хромоникелевых в качестве жаропрочных и жаростойких материалов. В последнее время разработаны безникелевые жаростойкие стали с небольшим содержанием марганца (24-50)Х24Г(1-3)СФТЛ. По сопротивлению окислению они находятся на уровне стали 35Х23Н7СЛ [5].

Высокомарганцовистые аустенитные сплавы, дополнительно легированные хромом, ванадием и другими, целесообразно применять для инструмента горячего деформирования. Сталь 10Х13Г12АФСЮР в качестве наплавочного материала, использованная для валков пилгримовых станков, позволила в 1,40-1,65 раза повысить их долговечность по сравнению с той, которая достигается при наплавке проволокой Св-08Х21Н10Г6.

Хромомарганцовистые метастабильные аустенитные стали (30Х10Г10, 10Х14АГ10, 10Х14АГ12М) по кавитационной стойкости в несколько раз превосходят широко применяемую 12Х18Н10Т. Высокий уровень механических свойств и хорошие технологические характеристики имеют стали (08-20)Х14Г12СФ и (08-20)Х13АГ10МДФС, у которых при сухом трении скольжения в 2 раза выше износостойкость, чем у стали 12Х18Н10Т. Они не уступают ей по коррозионной стойкости в водородосодержащей среде. Наплавочные материалы, разработанные на основе сталей с метастабильным аустенитом (Нп-25Х10Г10Т, ПП-20Х9Г9Т, ПЛ-Нп 20Х14АГ12СФ, Св-14Х14Г12Ф, ПЛ-Нп-20Г15АФ), позволяют существенно повысить долговечность быстроизнашивающихся деталей.

Новым направлением является разработка аустенитно-мартенситных и ферритно-аустенитных хромомарганцевых сплавов с метастабильным аустенитом. Примером первых могут служить 08Х2Г14Ф, 08Х13Г10Ф, вторых – (08-30)Х14Г8Ю(1-3), 08Х(18-25)Г(4-13)СЮ. Их особенностью является более высокий уровень прочностных свойств ($\sigma_{0,2} \geq 500$ МПа, $\sigma_B \geq 750$ МПа), высокая пластичность ($\delta \geq 30$ %) и ударная вязкость ($KCU \geq 1$ МДж/м²).

Эффективно использование в качестве износостойких материалов чугунов на Fe-Cr-V-C основе с метастабильным аустенитом.

Сплавы типа (250-400)X(10-15)Г4С2Ф(0,5-4) обладают высокой абразивной износостойкостью и не уступают в этом отношении более дорогому Сормайт-1, содержащему никель. Чугуны 250X(2-4)Г(2-6) превосходят по абразивной износостойкости более, чем в 2 раза, сталь 110Г13Л.

Наплавочные материалы ПЛ-Нп 100X6Г4, ПЛ-Нп 160X12Г5, ПЛ-Нп 200X12Г4Ф3 позволяют восстанавливать детали и повышают их долговечность [6].

Применительно к конкретным условиям нагружения необходимо за счет обработок упрочнять аустенит и, изменяя энергию дефекта упаковки, управлять развитием мартенситных превращений, оптимизируя их.

Обобщая имеющиеся в литературе данные, а также результаты наших исследований, следует подчеркнуть важность и перспективность широкого внедрения в производство марганцовистых и хромомарганцовистых сплавов различных структурных классов и назначения, которые зачастую не только не уступают никельсодержащим, но и превосходят их по свойствам.

Литература

1. Волынова Т.Ф. Высокомарганцовистые стали и сплавы // Изв. вузов. Черная металлургия. – 1992. – С. 65–67.
2. Малинов Л.С. Перспективные направления создания марганцевых и хромомарганцевых сплавов, а также способов повышения их свойств // Металл и литейе Украины. – 2000. – № 9-10. – С.46-49.
3. Малинов Л.С., Чейлях А.П. Влияние марганца и термообработки на структуру и свойства стали на Fe–0,1 % С–14 % Cr-основе // Изв. вузов. Черн. металлургия. – 1983. – № 6. – С. 83–86.
4. Коршунов Л.Г., Черненко Н.Л. Повышение износостойкости железомарганцевых сплавов со структурой ε-мартенсита за счет их дополнительного легирования // Тез. докл. V Всесозн. совещания "Структура и свойства немагнитных сталей". – 1991. – С. 33.
5. Пат. 23183 Україна, МКИ С22С380, 3824. Жаростійкка сталь / Малинов Л.С., Чейлях О.П., Ткачов О.Ф. и др. Заявл. 23.08.96; Опубл. 15.09.2000. Бюл. № 4.
6. Малинов В.Л. Разработка экономнолегированных наплавочных материалов для повышения износостойкости деталей, работающих в условиях ударно-абразивного изнашивания. Дис... канд. техн. наук: 05.03.06. – Мариуполь. – 1999. – 135 с.