

УДК 620.187:669.14.018.29

ИССЛЕДОВАНИЕ ЗАКОНОМЕРНОСТЕЙ ФОРМИРОВАНИЯ ФАЗОВЫХ ВЫДЕЛЕНИЙ, СТРУКТУРНОГО СОСТОЯНИЯ И СВОЙСТВ МИКРОЛЕГИРОВАННЫХ НИЗКОУГЛЕРОДИСТЫХ СТАЛЕЙ ФЕРРИТНОГО КЛАССА

© **Зайцев Александр Иванович**^{1,2}, д-р физ.-мат. наук, проф. (aizaitsev1@yandex.ru);
Родионова Ирина Гавриловна¹, д-р. техн. наук (igrodi@mail.ru);
Арутюнян Наталия Анриевна^{1,2}, канд. физ.-мат. наук (naarutyunyan@gmail.com);
Дунаев Сергей Федорович², д-р хим. наук, проф. (dunaev@general.chem.msu.ru)

¹ ФГУП «ЦНИИчермет им. И.П.Бардина». Россия, Москва

² МГУ им. М.В.Ломоносова. Химический факультет. Россия, Москва

Статья поступила 20.04.2020 г.

На комплексно микролегированных V–Nb–Ti–Mo низкоуглеродистых сталях ферритного класса лабораторной выплавки шести разных составов выполнено исследование закономерностей формирования структурного состояния, фазовых выделений и свойств проката. Установлено, что при низких значениях температуры смотки полосы в рулон возможность образования межфазных и ферритных выделений, вносящих значимый вклад в прочностные характеристики, существенно ограничена. Скорость охлаждения стали после прокатки 20 °C/с является не достаточной для получения в исследованных сталях полностью структуры блочного (игольчатого) феррита (ИФ) с более высокими прочностными характеристиками. Ее снижение приводит к закономерному уменьшению доли ИФ при незначительном влиянии температуры окончания прокатки. По результатам исследования проката, полученного с использованием более высоких значений $T_{\text{ок}} = 650$ °C и скорости охлаждения 25 °C/с показана возможность одновременного получения структуры ИФ и системы наноразмерных межфазных и ферритных выделений, что позволяет существенно повысить показатели прочностных и других служебных свойств стали.

Ключевые слова: низкоуглеродистые стали ферритного класса; состав; горячая прокатка; структура; фазовые выделения; механизмы упрочнения; прочностные характеристики.

Наиболее эффективным направлением обеспечения одновременно высоких трудно сочетаемых показателей прочности, пластичности, штампуемости, усталостной и коррозионной стойкости является разработка новых экономических низкоуглеродистых микролегированных сталей ферритного класса [1]. Это достигается в результате формирования однородной дисперсной ферритной структуры с размером зерна порядка 2...3 мкм и объемной системы разных типов наноразмерных карбидных и других типов фазовых выделений [1–3]. Первоначально их создание было основано на использовании системы микролегирования Ti–Mo и условий обработки металла, стимулирующих формирование наноразмерных карбидных выделений, прежде всего, в процессе ГЦК–ОЦК фазового превращения стали (межфазных), что обеспечивает одновременно высокие показатели прочности (до 700...1000 МПа), пластичности, штампуемости и других свойств [1–5]. При этом установлено, что влияние разных типов фазовых выделений может существенно различаться, в том числе формирование межфазных наноразмерных карбидных

выделений приводит к более значимому вкладу в прочностные свойства, чем ферритных [6]. Однако для этого необходима относительно невысокая (10...15 °C/с) скорость охлаждения стали после окончания прокатки, что обеспечивает сопоставимость скоростей фазового превращения и формирования фазовых выделений и приводит к образованию структуры полигонального феррита с пониженными прочностными характеристиками. Для получения более прочной высокодислокационной структуры игольчатого феррита необходимы более высокие скорости охлаждения металла. Тем не менее, в этом случае формирование выделений происходит не по межфазному механизму, а уже в феррите [7]. Таким образом, максимальные показатели прочности достигаются при одновременном формировании структуры игольчатого феррита и системы наноразмерных межфазных выделений.

В дальнейшем было установлено [8, 9], что при использовании других, в том числе более комплексных систем микролегирования, в общем случае V–Nb–Ti–Mo, можно достичь такого же уникального сочетания свойств. В компании