

ЭНЕРГОСБЕРЕЖЕНИЕ ПО-СТАРОДУБОВСКИ**О. М. Шаповалова, д.т.н., проф.***Днепропетровский Национальный Университет имени Олеся Гончара,*

С каждым годом мы все отчетливее понимаем, что энергетические запасы и ресурсы играют в жизни каждого государства все более важную роль, так как они истощаются, а для технического прогресса требуется все большие объемы их потребления. Прошло более 1,5 столетия и лампочки накаливания в одночасье необходимо заменять на энергосберегающие – это значимый показатель того, что энергия является основой развития человечества. Имеет смысл на разных этапах промышленного развития использовать достижения предыдущих поколений в направлении энергосбережения. Одним из интереснейших и до настоящего времени востребованных является безаналоговая концепция и разработка акад. Стародубова Кирилла Федоровича. Известно, что металлургические процессы ведутся прерывисто: сначала выплавляют чугун в домне, затем перевозят его в жидком состоянии в чугуновозах к сталеплавильным агрегатам (конвертерам, мартеновским печам); выплавляют сталь, разливают в изложницы. При непрерывном литье получают длинномерные заготовки, которые охлаждают до комнатной температуры на воздухе, а затем снова тратят энергию для нагрева их до 1250° С под прокатку. Часть заготовок термообработывают, часть используют в горячекатаном состоянии. Конечно, горячекатаная сталь не может обладать столь высоким качеством, как в термообработанном состоянии. Затрачивать энергию на термообработку металла массового производства экономически невыгодно.

Металл массового производства строительных малоуглеродистых и низколегированных сталей (арматуры, катанки и др.) содержит углерода мало, максимально до 0,22 % мас., а в катанке до 0,08 – 0,10% мас., поскольку от них требуется высокая пластичность для глубокой вытяжки, а углерод является сильнейшим упрочнителем стали. Содержание углерода не повышают также из-за необходимости сварки, которая обеспечивает требуемую прочность швов только до 0,40 – 0,45 % С. И наконец, третьей причиной поддержания низкой концентрации углерода является коррозия: она в малоуглеродистых и низколегированных сталях развивается в атмосферных условиях и в железобетоне тем активнее, чем выше содержание углерода. В катанку также нельзя вводить кремний больше, чем 0,05 % мас., марганца более, чем 0,40 % мас., титана $\geq 0,002$ % мас., фосфора $\geq 0,008$ % мас., кремний, марганец, титан, фосфор упрочняют феррит, ограничения по содержанию кремния и титана обусловлено возможностью образования охрупчивающих оксидов SiO, TiO₂. Отличным упрочнителем феррита является фосфор, однако его нельзя иметь в малоуглеродистых и низколегированных сталях в больших количествах, чем

указано, так как нет способа выведения фосфора без потери производительности конвертеров: надо поднимать штангу, наводить белый шлак и скачивать его. Поэтому для конвертеров используют малофосфористую шихту, иначе теряется все преимущество конвертеров, как современных высокопроизводительных плавильных агрегатов. В то же время недостаточная прочность стальной массового производства с малым количеством легирующих элементов повышает обрывность горячекатанной катанки. Что же делать? Как упрочнить этот металл без изменения химического состава? Выход нашел Кирилл Федорович Стародубов. Он предложил безаналоговый способ упрочнения малоуглеродистой и низколегированной стали: охлаждать ее струями воды из труб с отверстиями непосредственно с прокатного нагрева.

Дождывание проволоки с прокатного нагрева существенно изменяет структуру, тонкую структуру и свойства стали. Прочность малоуглеродистой стали возрастает на $\approx 40\%$ и более при сохранении высокой пластичности. Повышается однородность структуры, а следовательно, и коррозионная стойкость. Возникает вопрос – за счет чего происходят столь существенные изменения структуры и свойств?

Охлаждение водой фиксирует мелкое зерно, сформированное в процессе рекристаллизации обработки аустенита при прокатке, что обуславливает повышение прочности по зернограничному механизму. Быстрое охлаждение фиксирует дефекты структуры – вакансии, микроискажения кристаллической решетки, примеси, расположенные в них. Ускоренное охлаждение металла с прокатного нагрева фиксирует повышенное содержание примесей внедрения в кристаллической решетке железа-углерода, кислорода, азота, водорода, присущее их концентрации при более высокой температуре. Водород не образует с железом устойчивых гидридов и постепенно удаляется из металла после прокатки. Углерод не выделяется в виде охрупчивающих проволоку включений третичного цементита, а упрочняет феррит. Микролегирующие примеси малоуглеродистой стали (Si, Cr, Ni, Mo, V, Cu, Ti) частично остаются в твердом растворе, упрочняя феррит, а V, Cr, Mo, Ti могут упрочнять перлит, образуя легированный цементит. Таким образом, сталь при обработке по стародубовски дополнительно упрочняется не только по механизму зернограничного упрочнения и за счет микроискажений, но и путем твердорастворного упрочнения микролегирующими примесями феррита и карбидообразующими элементами – перлита. Пластичность металла остается достаточно высокой (76-78 %) при прочности ≥ 380 МПа. Поскольку проволока охлаждается с поверхности, а температура внутри остается повышенной, при дальнейшем вылеживании на стеллажах за счет тепла самого металла снижается (релаксирует) часть микронапряжений, развивается самоотпуск. Однородность структуры и стабилизация свойств обеспечивается за счет получения мелкого зерна и фиксирования положения легирующих, микролегирующих элементов в тех местах кристаллической решетки, где они находились в ау-

стените. «Дождевание» струями воды тормозит диффузионные перемещения легирующих и микролегирующих элементов, особенно атомов замещения, кроме элементов внедрения – углерода и газовых примесей. Однородность структуры и присутствие даже в сотых и тысячных долях таких элементов, как Cr, Ni, Mo, V, Ti смещает электрохимический потенциал железа в положительную сторону и повышает его коррозионную устойчивость. Согласитесь, что это уникальное, концептуально новое научное и техническое решение акад. К.Ф. Стародубова: не только экономить энергию, использовать тепло с прокатного нагрева, но одновременно повышать однородность, прочность, сохранять высокую пластичность и, как следствие, снижать склонность к коррозии. Во времена этой разработки в лом для выплавки стали еще не попадало так много отходов, содержащих Cr, Ni, Mo, V, Cu, Ti, поскольку изготавливали металл из первичного рудного сырья. В наше время, когда начали широко применять конверсионные отходы, отходы машиностроения, судостроения, электротехнической промышленности, бытовой техники, насыщенной электроникой, в сталь постоянно попадают отходы нержавеющей, высоколегированных сталей, оцинкованных изделий, цветных металлов. Хотя ГОСТом не ограничивают их содержание, но передовые заводы (ОАО «Арселор Миттал Кривой Рог») предпочитают анализировать свою продукцию, даже малоуглеродистые стали, по 15 элементам. Глубокий анализ стали внедрили, когда завод был еще КМК «Криворожсталь», это дало ему широкий выход на мировой рынок. Причем еще в то время КМК «Криворожсталь» вместе с институтами (ИЧМ, Гипромез и др.) усовершенствовал идею и разработку акад. К.Ф. Стародубова в направлении автоматизации процесса охлаждения проволоки путем регулирования скорости подачи воды и скорости охлаждения, что позволяет получать не только структуру перлита, сорбита, троостита, но даже мартенсита в малоуглеродистых сталях, исходя из требований Заказчика по прочности и пластичности.

В прошедшие годы мы подключились к идее усовершенствования процесса получения Ст1кп еще более высокого качества за счет обработки расплавов многокомпонентными раскислителями-модификаторами широкого спектра действия. Это позволило еще больше измельчить зерно (до 2 раз) за счет модифицирования малоуглеродистых низколегированных сталей в жидком состоянии, уменьшить на 40 % содержание фосфора, серы и соответственно на 40 % количество неметаллических включений, повысить коррозионную стойкость, прочность и пластичность одновременно.

Так, безаналоговая, уникальная разработка акад. К.Ф. Стародубова беспрпятственно шагнула в III тысячелетие, развивается и применяется не только в нашей стране, но в металлургии всего мира.