

ОСНОВНЫЕ ПРИНЦИПЫ ПОСТРОЕНИЯ НЕЙРОСЕТЕВОЙ МОДЕЛИ ФОРМИРОВАНИЯ СВОЙСТВ АВТОЛИСТОВОЙ СТАЛИ

Липецкий государственный технический университет

Ю.П. Качановский, Е.А. Коротков

Рассматривается влияние технологических параметров горячей прокатки, холодной прокатки, отжига, дрессировки на показатели качества автолистовой стали (механические свойства) на уровне процессов изменения структуры металла. На основании установленных зависимостей определены входные/выходные параметры нейронной сети для моделирования свойств автолистовой стали. Представлена структура нейронной сети на базе двухслойного перцептрона для каждого передела.

Детали кузова автомобиля получают штамповкой листового проката. Чтобы на листе при этом не появлялись разрывы, металл должен быть пластичным. Способность металла к вытяжке определяется такими показателями качества автолиста, как относительное удлинение, твердость, предел текучести, отношение предела текучести к пределу прочности [1]. Данные показатели качества изменяются после отдельных этапов горячекатаного и холоднокатаного производства, однако измеряются обычно только для готовой продукции.

В работе выделены три основных этапа производства проката (рис. 1): горячая прокатка (на схеме – «стан 2000»), холодная непрерывная прокатка (на схеме – «стан 2030»), непрерывный отжиг и дрессировка (на схеме – «АНО»).

Технологические свойства готового холоднокатаного листа, т.е. способность принимать требуемую форму в результате вытяжки, не теряя устойчивости в штампах, структура и свойства, состояние поверхности, даже точность размеров и формы зависят от химического состава стали, степени ликвации и сегрегации химических элементов в слитке, его макроструктуры, от газонасыщенности стали и содержания неметаллических включений. Следовательно, на качество тонкого стального листа влияют все свойства материала, из которого он изготовлен [2].

1. Краткая характеристика технологических факторов горячей прокатки, влияющих на качество автолиста



Рис. 1. Схема моделируемого производства

Во время прокатки, продвижения по отводящему рольгангу и последующего охла-

ждения уже свернутой в рулон полосы низкоуглеродистой стали протекает поочередно или одновременно ряд процессов, в том числе изменение величины и формы зерен феррита, ориентировки и степени совершенства кристаллитов, распределения и формы цементитных выделений. Характер развития и степень завершения этих процессов зависят, в частности, от температур, при которых прокатка протекает и заканчивается, от степени обжатия, а также от скорости деформации и охлаждения металла.

Если заканчивать прокатку полос при температурах выше верхней критической точки (Ag_1), т.е. в аустенитном состоянии, то в этом случае формируется однородная структура под действием механизма перекристаллизации аустенита в феррит. Если прокатку полос заканчивать в интервале критических температур (Ag_1 – Ag_3), то в этом случае одновременно протекают два процесса – перекристаллизация аустенита в феррит и рекристаллизация деформированного феррита, что приводит к получению неравномерных по величине зерен [2].

Охлаждение горячекатаной стали марки 08Ю водой от 900 до 550 °С – температуры свертывания полосы в рулон – создает равномерное распределение по границам зерен феррита мелких частиц цементита (перлит в этой структуре отсутствует). Душирование при 850 °С увеличивает размеры частиц цементита, а при 800 °С приводит к образованию небольших колоний перлита по границам зерен феррита. При дальнейшем снижении температуры начала душирования до 750, 700 и 650 °С участки перлита последовательно укрупняются, а глобулы цементита возникают по всему объему структуры. По мере понижения температуры, от которой начинается душирование металла водой, образуются все более крупные равноосные зерна феррита [1].

На форму и размеры зерна особенное влияние оказывает обжатие в последней клетки стана. Если прокатку полос вести при температуре ниже Ag_3 с малыми обжатиями в последней клетки, то в этом случае образуются крупные зерна у поверхности, а мелкие – внутри. Это объясняется следующим: если деформировать полосу с обжатием в последней клетки менее 15%, то деформация

поверхностных слоев будет происходить в критическом интервале обжатий, в то время как внутренние слои будут подвергаться меньшей деформации [2].

Увеличение окружной скорости валков чистовой группы непрерывного стана приводит к сокращению интервала температур, в границах которого совершается обжатие полосы, и сокращению промежутков времени между обжатиями. Это способствует накоплению в металле внутренней энергии, основными носителями которой являются дефекты кристаллической решетки. Структура металла после рекристаллизации оказывается тем более мелкозернистой, чем выше была скорость прокатки.

Скорость охлаждения полосы после выхода ее из последней клетки стана оказывает значительное влияние на формирование структуры металла. Если охлаждение полосы после выхода ее из стана протекает недостаточно быстро, то по границам зерен феррита пройдут участки перлита, а в ферритной матрице окажутся глобулы цементита.

Увеличение размера зерен феррита уменьшает предел прочности, отношение предела текучести к пределу прочности и твердость горячекатаной стали и увеличивает относительное удлинение.

Листы одинаковой толщины получить при прокатке практически невозможно вследствие большого числа переменных факторов: исходной разнотолщинности подката, изменения внешнего трения, профилировки валков, выработки валков и т.п. Высококачественные штамповки в серийном производстве можно получать только из листов равной толщины. В случае разнотолщинности штамп, настроенный на максимальную толщину листа, при штамповке более тонкого листа даст брак.

Условием, обеспечивающим получение полосы с минимальным отклонением от номинальных размеров, является сохранение приблизительно одинаковых давлений прокатки и уменьшение обжатий в предпоследней и последней клетях чистовой группы. Сравнительно небольшие обжатия в последних клетях обеспечивают недогружение их по давлению и мощности, что позволяет ре-

гулировкой обжатий в этих клетях уменьшать волнистость и коробоватость [2].

2. Краткая характеристика технологических факторов холодной прокатки, влияющих на качество автолиста

При очень малой степени деформации зерна горячекатаного металла почти не дробятся. С увеличением степени холодной деформации происходит дробление и вытягивание вдоль направления прокатки зерен феррита, границы зерен почти исчезают. Цементит также вытягивается вдоль направления прокатки.

По мере увеличения числа деформированных зерен металл становится все более жестким: предел текучести почти равен пределу прочности, область пластической деформации уменьшается, и дальнейшая прокатка становится затруднительной [2].

В результате увеличения скорости прокатки толщина слоя смазки на контактных поверхностях полосы с рабочими валками будет увеличиваться. Это скажется на снижении коэффициента трения. Создаются благоприятные условия для уменьшения давления металла на валки, а следовательно, на уменьшение зазора между ними и на уменьшение выходной толщины полосы. Интенсивность влияния скорости прокатки на толщину полосы в значительной мере зависит от исходной ее толщины [1].

Из практики видно, что с ростом скорости прокатки наблюдается уменьшение отклонения толщины полосы. Колебания толщины холоднокатаных листов возникают в первую очередь из-за разнотолщинности подката и наличия неметаллических включений в металле. Неплоскостность холодного проката (также как и горячего проката) определяется усилиями прокатки [2].

3. Краткая характеристика технологических факторов непрерывного отжига, влияющих на качество автолиста

Термический цикл непрерывного отжига обычно включает следующие основные этапы: 1) быстрый нагрев; 2) высокотемпературная выдержка (в двухфазном интервале $\alpha + \gamma$); 3) промежуточное охлаждение с

регулируемой скоростью; 4) повторный нагрев; 5) низкотемпературная выдержка; 6) окончательное охлаждение.

Опытные данные показывают, что с увеличением температуры нагрева для изотермической выдержки в области $\alpha + \gamma$ улучшаются свойства, определяющие штампуемость, однако с переходом через A_{c3} (равна температуре при охлаждении A_{r3}) удлинение и пластическая анизотропия резко падают.

Во время высокотемпературной выдержки и последующего охлаждения возможен ряд процессов структурообразования, среди которых при температурах $\alpha + \gamma$ преобладающее значение имеют самодиффузионные, определяющие морфологию феррита, а при более низких температурах, в α -области, – процессы диффузии примесей, от которых зависит состав феррита. Медленное охлаждение выше A_{r1} способствует росту включений карбида, последующее быстрое охлаждение влияет на распределение, размеры и количество карбидных включений и содержание углерода в твердом растворе.

При быстром охлаждении от температур частичной аустенитизации образуется структура, в которой доля нового феррита относительно мала. Поэтому, особенно после охлаждения от температур верхней половины интервала $\alpha + \gamma$, ферритная основа содержит большое количество участков перлита разнообразной формы, в том числе в виде межзеренных прослоек, что не улучшает пластичность. Замедление охлаждения облегчает образование нового феррита и увеличивает его количество. Число и размеры аустенитных участков уменьшаются, форма становится компактнее. В условиях достаточно медленного охлаждения рост нового феррита происходит упорядоченно, с преимущественным развитием ориентировки. Это увеличивает пластическую анизотропию.

Типовой режим непрерывного отжига по двухстадийному циклу включает нагрев до 800–850°C, предварительное охлаждение до 500–550°C, ускоренное охлаждение и повторный нагрев до 180–220°C со скоростью 7–15 °C/c, далее до 420–440°C со скоростью 2–5°C/c [3].

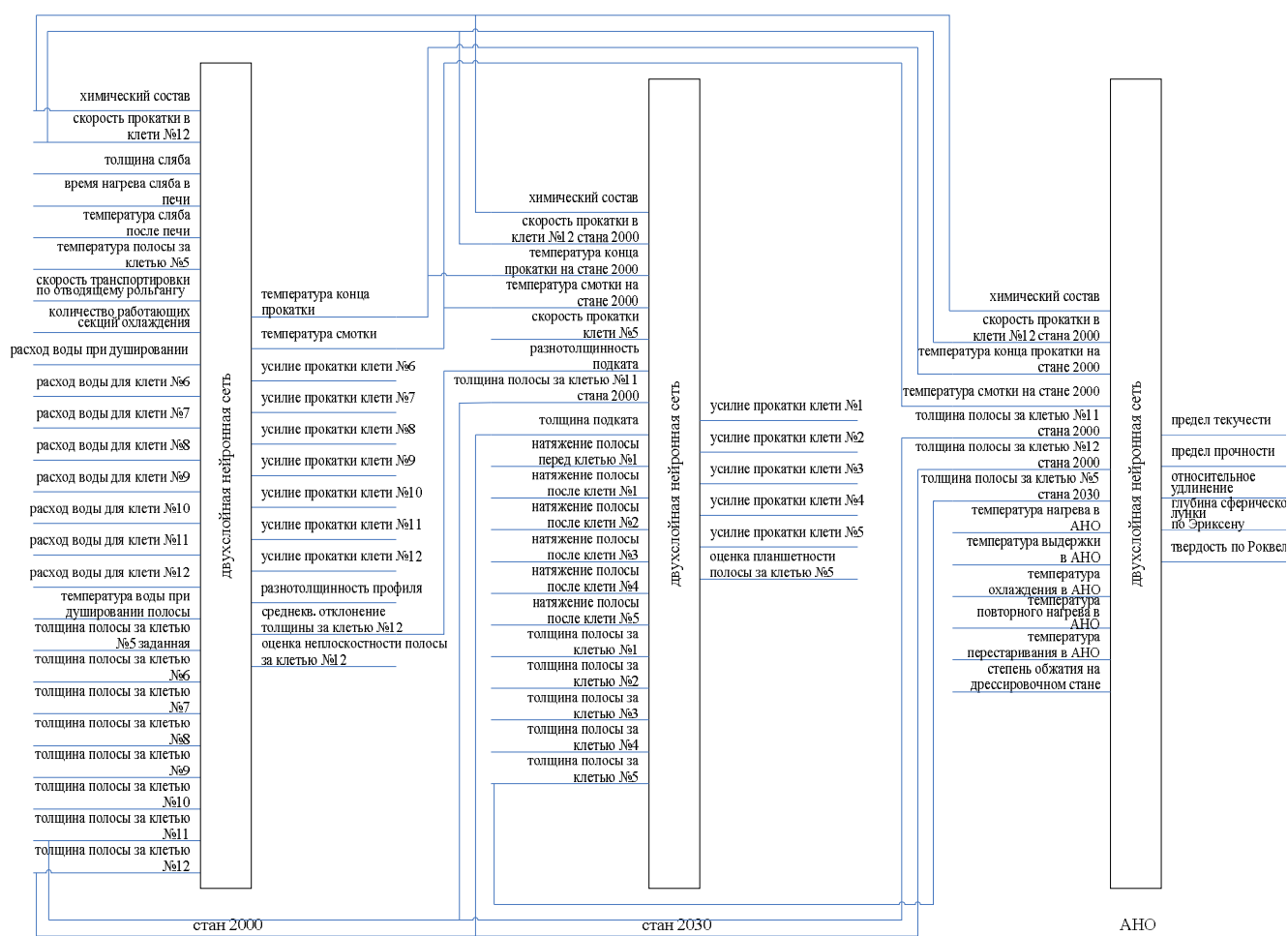


Рис. 2. Схема взаимодействия нейросетевых моделей

4. Краткая характеристика технологических факторов дрессировки, влияющих на качество автолиста

При дрессировке изменяется предел текучести, несколько уменьшается относительное удлинение, наблюдается небольшой рост твердости и уменьшение глубины лунки при испытании по Эриксену. Предел прочности при дрессировке почти не изменяется.

Механические свойства дрессированной стали зависят, прежде всего, от химического состава стали. Так, при повышении содержания углерода даже в пределах, соответствующих составу стали данной марки, при дрессировке с одним и тем же обжатием происходит различное изменение механических свойств стали.

Изменение предела текучести в зависимости от степени обжатия объясняется следующим образом. При дрессировке с обжатием порядка 0,5% в поверхностных слоях листа происходит отрыв дислокаций, и предел текучести соответственно уменьшается.

С увеличением обжатия до 1% происходит дальнейшее освобождение дислокаций в более глубоких слоях полосы, но наряду с этим начинает сказываться другой фактор – упрочнение поверхностных слоев, подвергшихся большей деформации. Это вызывает затухание уменьшения текучести при растяжении. При дальнейшем увеличении обжатия решающее влияние на ход кривой при растяжении образца приобретает уже фактор упрочнения [2].

5. Основные принципы построения нейросетевой модели

Обобщим приведенную выше информацию, предварительно сделав несколько замечаний. В автоматизированных системах управления технологическими процессами, системах слежения за металлом, эксплуатируемых на НЛМК, не фиксируются и не могут быть вычислены некоторые параметры, которые влияют на показатели качества, такие как: скорость охлаждения на стане 2000, скорость

повторного нагрева на АНО. Также отсутствуют: усилия прокатки черновой группы клетей стана 2000, значения толщин в пределах черновой группы клетей.

Кроме того, свойства металла после некоторых промежуточных этапов обработки неизвестны, так как их измерение в потоке не осуществляется, в связи с этим в разрабатываемой модели непрерывный отжиг и дрессировка объединены в один технологический этап.

В качестве выходных параметров нейросетевой модели первых этапов обработки предполагается использовать важные параметры, характеризующие состояние технологического процесса на данном этапе и некоторые промежуточные (в том числе расчетные) показатели качества. Выходными параметрами последнего этапа будут являться показатели качества готовой продукции – параметры механических свойств металла, определяемые по испытаниям.

Моделирование каждого этапа обработки предполагается выполнять на основе двухслойной нейронной сети [5], некоторые входы первого слоя и выходы второго слоя нейросетевой модели первого этапа будут также подаваться на входы сети, моделирующей следующий этап обработки. В частности параметры, характеризующие химический состав металла, будут являться входами сетей всех этапов. Такая взаимная связь некоторых технологических параметров и промежуточных показателей качества свойственна многим видам металлургической продукции, проходящей в процессе своего производства несколько последовательных технологических этапов. Укрупненная структурная схема взаимосвязи нейросетевых моделей представлена на рис. 2.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Беняковский, М.А. Производство автомобильного листа [Текст] / М.А. Беняковский, В.Л. Мазур, В.И. Мелешко – М.: Металлургия, 1979. – 256 с.
2. Зотов, В.Ф. Производство проката [Текст] / В.Ф. Зотов. – М.: Интермет Инжиниринг, 2000. – 352 с.
3. Структура и свойства автолистовой стали [Текст] / В.Л. Пилюшенко, А.И. Яценко, А.Д. Белянский [и др.] – М.: Металлургия, 1996. – 164 с.
4. Казаков, Н.Ф. Технология металлов и других конструкционных материалов [Текст] / Н.Ф. Казаков, А.М. Осокин, А.П. Шишкова – М.: Металлургия, 1976. – 688 с.
5. Качановский, Ю.П. Выбор архитектуры нейронной сети для моделирования и управления технологическими процессами металлургического производства [Текст] / Ю.П. Качановский, Е.А. Коротков // Информационно-вычислительные технологии и их приложения: сб. статей X Международной научн.-технич. конф. – Пенза: РИО ПГСХА, 2009. – С. 116-119.

Ключевые слова: горячий, прокатка, холодный, отжиг, дрессировка, качество, автолистовой, сталь, нейронный, моделирование.

Сведения об авторах

Качановский Юрий Петрович, кандидат технических наук, доцент, декан факультета автоматизации и информатики Липецкого государственного технического университета.

Коротков Евгений Алексеевич, соискатель Международного института компьютерных технологий.

Адрес: г. Липецк, ул. Московская, 30