

ЗАВИСИМОСТЬ КОНТАКТНОГО ТРЕНИЯ ОТ ОСНОВНЫХ ФАКТОРОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ

Капанов В.И., Присяжный А.Г. (ПГТУ, г. Мариуполь)

В статье отмечено влияние контактного трения на все основные параметры пластической деформации при горячей прокатке стали, а также приведены многофункциональные математические модели контактного трения, позволяющие исследовать изменение сил контактного трения в широком диапазоне варьирования различных факторов процесса горячей листовой прокатки с технологическими смазками.

Одной из важнейших задач дальнейшего развития теории и технологии процессов листопрокатного производства является детальное и всестороннее изучение влияния различных факторов на условия контактного трения в деформационной зоне, которые определяют геометрические, кинематические и энергосиловые параметры процесса прокатки и, в конечном счете, находят отражение в его технико-экономических показателях.

Эффективное и надежное управление контактным трением в очаге деформации при горячей тонколистовой прокатке, а также обеспечение оптимального его режима возможно лишь на основе создания универсальных многофункциональных математических моделей. Однако, использование широко известных в настоящее время законов (теорий) и эмпирических формул по определению сил контактного трения в практике математического моделирования процесса горячей прокатки тонких полос затруднительно, что обусловлено рядом их недостатков. Наиболее существенными из недостатков являются, прежде всего, ограниченная область применения формул, связанная с крайней недостаточностью соответствующего экспериментального материала по влиянию отдельных факторов на процесс тонколистовой прокатки, а также наличие в формулах эмпирических числовых коэффициентов, которые дают достаточно грубую количественную оценку влияния того или иного фактора деформации на величину коэффициента контактного трения в установившемся процессе прокатки [1]. Кроме того, известные математические модели контактного трения при горячей листовой прокатке совершенно не учитывают влияние технологических смазок, которые находят все более широкое применение в практике получения горячекатаных полос на различных станах.

Для устранения указанных выше недостатков сотрудниками кафедры обработки металлов давлением Приазовского государственного технического университета были получены современные многофункциональные математические модели контактного трения при горячей листовой прокат-

ке стали с технологическими смазками, более корректно по сравнению с известными формулами учитывающие влияние всех основных параметров процесса деформации [2]:

При прокатке в чугунных валках со скоростью более 2 м/с

$$f_p = [0,064 \cdot R_a + 0,633] \cdot \left\{ 1,09 - \left[0,666 \cdot \left(C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \right) \right] \right\} \times \\ \times \frac{1 + 0,7 \cdot \zeta}{1 + 0,7 \cdot \zeta \cdot K_{bc}^{-1,15}} \cdot \left[0,12 + 1,32 \cdot \frac{\alpha}{v^{0,4}} \cdot (1,07 - 6 \cdot 10^{-4} \cdot T) \right]. \quad (1)$$

При прокатке в стальных валках со скоростью более 2 м/с

$$f_p = [0,289 \cdot \ln R_a + 0,898] \cdot \left\{ 1,09 - \left[0,666 \cdot \left(C + \frac{Mn}{6} + \frac{Cr + Mo + V}{5} + \frac{Ni + Cu}{15} \right) \right] \right\} \times \\ \times \frac{1 + 0,7 \cdot \zeta}{1 + 0,7 \cdot \zeta \cdot K_{bc}^{-1,15}} \cdot \left[0,12 + 1,32 \cdot \frac{\alpha}{v^{0,4}} \cdot (1,07 - 6 \cdot 10^{-4} \cdot T) \right], \quad (2)$$

где R_a – шероховатость поверхности рабочих валков, мкм;

ζ – толщина слоя смазки, мкм;

α – угол контакта металла с валками, рад;

v – скорость прокатки, м/с;

T – температура прокатки, °С;

K_{bc} – коэффициент вида смазки [3].

С помощью математических моделей трения (1) и (2) выполнили детальный теоретический анализ влияния всех основных факторов процесса горячей тонколистовой прокатки на коэффициент контактного трения в установившемся процессе, а именно: вида и толщины слоя технологической смазки в очаге деформации, скорости прокатки, угла контакта металла с валками, температуры прокатки, содержания углерода в стали, шероховатости поверхности рабочих валков, а также интенсивности деформации. При этом условия деформации полос интерпретированы к реальным, соответствующим условиям прокатки на промышленных станах.

С увеличением толщины слоя смазки в очаге деформации влияние сил трения интенсивно уменьшается до толщины смазочного слоя в 5-10 мкм, при этом коэффициент трения значительно зависит от вида применяемой технологической смазки, что связано с влиянием поверхностно-активных компонентов смазочных средств. Дальнейшее повышение толщины слоя смазки нецелесообразно, т.к. практически не изменяет коэффициент трения.

Скорость прокатки, как показывает выполненный теоретический анализ, оказывает существенное влияние на коэффициент трения до 40-60 м/с, при этом он зависит от материала рабочих валков. При прокатке в чугунных валках коэффициент трения меньше по сравнению с прокаткой в стальных валках по хорошо известной причине – сродства прокатываемого металла с материалом валков.

Изменение коэффициента трения от угла контакта металла с валками по существу отражает влияние на него абсолютного обжатия. Причем установлено, что угол контакта оказывает влияние на коэффициент трения по прямолинейной зависимости, при этом соблюдается известная в теории продольной прокатки зависимость между углом контакта α и углом трения β или коэффициентом трения f_p при установившемся процессе. Закономерность повышения коэффициента трения в данном случае объясняется тем, что при интенсивном обжатии, естественно, увеличивается дуга контакта и возрастает влияние подпирющих сил трения в зонах отставания и опережения очага деформации, что приводит к увеличению нормальных контактных напряжений.

С увеличением температуры прокатки в диапазоне от 900 до 1000 °С наблюдается прямолинейное, монотонное снижение коэффициента контактного трения в строгом соответствии с химическим составом деформируемых полос.

По математическим моделям трения (1) и (2) можно учесть влияние на коэффициент трения не только углерода, но и целого ряда других элементов, которые способствуют уменьшению сил трения в деформационной зоне при прокатке в стальных и чугунных валках. Результаты выполненного математического моделирования показали, что разница между коэффициентами трения при горячей прокатке низкоуглеродистой стали 08кп и стали 30Г2 составляет почти 25%.

Влияние углерода в прокатываемой стали на коэффициент трения зависит от материала рабочих валков. Более интенсивное снижение его наблюдается при прокатке стали в чугунных валках, что объясняется ранее указанными причинами.

Состояние поверхности рабочих валков и класс их обработки также оказывают существенное влияние на коэффициент контактного трения. Причем установлено, что чем грубее обработана поверхность рабочих валков, тем интенсивнее проявляется действие сил контактного трения в очаге деформации. Интенсивность действия сил трения также возрастает с увеличением интенсивности деформации полосы, что связано с более глубоким проникновением микровыступов поверхности рабочих валков в более мягкую прокатываемую полосу. Причем интересно отметить, что разница между коэффициентами трения, полученными при различной интенсивности деформации полосы, постепенно возрастает с увеличением значения среднего арифметического отклонения профиля.

Таким образом, с помощью многофункциональной математической модели трения выполнен теоретический анализ и выявлены основные закономерности изменения коэффициента трения при горячей прокатке стальных полос от целого ряда основных факторов: толщины слоя и вида технологической смазки, скорости прокатки и материала рабочих валков, угла контакта полосы с валками, зависимого от степени обжатия, температуры прокатки, содержания углерода в стали прокатываемой полосы и шероховатости поверхности рабочих валков.

Литература

1. Капанов В.И. Экстраполяция модели граничного трения в области нанотехнологии при прокатке/ В.И. Капанов, А.Г. Присяжный// Бизнес-мост: промышленность и технологии. – 2007. - №4. – с. 23-25.
2. Капанов В.И. Многофункциональная зависимость коэффициента трения при горячей прокатке стали/ В.И. Капанов, А.Г. Курпе// Производство проката. – 2006. - №11. – с. 6 – 9.
3. Капанов В.И. Горячая прокатка листовой стали с технологическими смазками: Учеб. пособие / В.И. Капанов. – К.: УМК ВО, 1992. – 56с.

© Капанов В.И., Присяжный А.Г. 2008