

СОВЕРШЕНСТВОВАНИЕ ТЕХНОЛОГИИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКИ НА ТЕКСТУРИРОВАННЫХ ВАЛКАХ В ЛПЦ-5

*Пивоваров Ф.В., Горбунов А.В., Злов В.Е.,
Курочкин И.Ю., Пивоваров А.В.*

В настоящее время наиболее перспективным способом нанесения шероховатости на поверхность рабочих валков является метод электроэрозионного текстурирования, позволяющий обеспечить высокую точность параметров шероховатости. С целью совершенствования технологии текстурирования в ЛПЦ-5 проведены теоретические и экспериментальные исследования, позволяющие получать требуемую шероховатость поверхности.

Основными факторами, влияющими на процесс формирования микрогеометрии готового листа и ее изменение в процессе прокатки, являются:

- исходная и текущая шероховатость рабочих валков;
- условия прокатки (скорость прокатки, обжатие, условия смазки);
- прокатываемый сортамент (профиль полосы, марка стали).

Определение влияния условий прокатки и прокатываемого сортамента позволяет прогнозировать величину шероховатости, и, таким образом, получать лист с регламентированной шероховатостью поверхности.

При совершенствовании технологии нанесения шероховатости важную роль выполняет моделирование микрорельефа. Для модельного представления используют разные подходы – от аппроксимации элементарными функциями (синусоидой, линейными функциями) до статистического и фрактального. Правильный выбор метода описания поверхности зависит от решения конкретной задачи.

В случае электроэрозионной обработки можно достичь достаточно равномерного микрорельефа. Такой профиль поверхности может быть описан геометрическим выделением отдельных элементов профиля в пределах определенной базовой длины. В связи с этим форма каждого элемента профиля может быть аппроксимирована с достаточной точностью геометрически регулярным элементом эквивалентного профиля. Геометрия элемента эквивалентного профиля является критерием для описания микрогеометрии поверхности, а изменение геометрии — мерой изменения микропрофиля.

Анализ профилограмм показывает, что элемент поверхности, получаемый при электроэрозионной обработке, наиболее точно аппроксимируется параболической функцией (достоверность аппроксимации

$R^2=0,90$). Микропрофиль поверхности можно представить следующим образом (рис. 1).

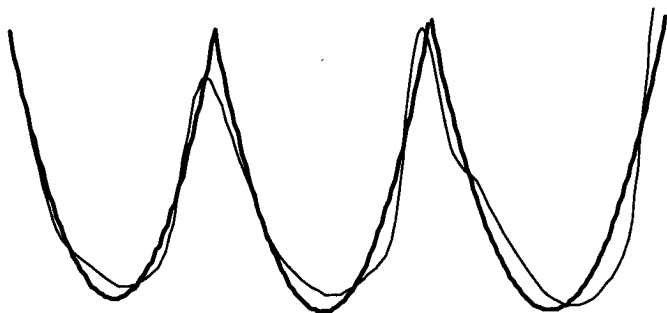


Рис. 1. Аппроксимация реального микропрофиля поверхности валка параболической функцией (достоверность аппроксимации $R^2=0,90$)

Рассмотрим формирование микрорельефа прокатываемых плоскостей как процесс заполнения микровпадин поверхности валка деформируемым металлом. Приближенная схема решения, основанная на усреднении напряжений в сечениях деформируемого металла и принятии упрощенного уравнения пластичности, соответствует реальному процессу для случаев малых значений коэффициента трения (до 0,05) на границе металла со стенками микровпадин и небольших углах конусности впадин (рис. 2).

Уравнение равновесия выделенного элемента деформируемого металла имеет вид

$$pF - (p - dp)(F - dF) - 2fqdS \cos \alpha' - 2qdS \sin \alpha' = 0;$$

где p - напряжение, действующее в направлении, нормальном к поверхности валка (по оси y);

F - площадь сечения выделенного элемента;

q - напряжение по нормали к поверхности стенки микровпадины;

f - коэффициент трения на поверхности контакта деформируемого металла со стенкой микровпадины;

S - площадь боковой поверхности (стенки) микровпадины;

α' - угол конусности микровпадины в сечении y .

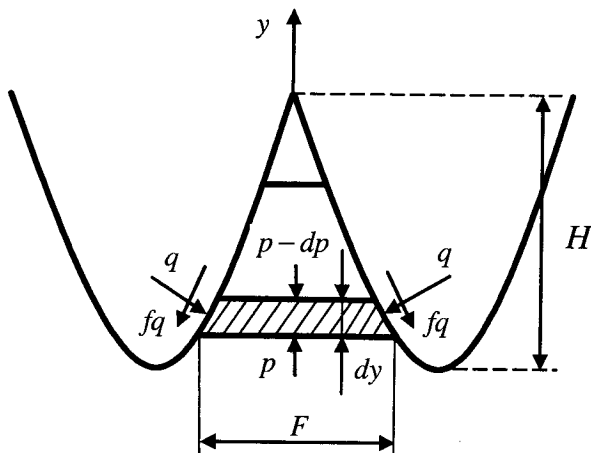


Рис. 2. Схема заполнения микровпадины поверхности вала деформируемым металлом

Решение данного уравнения совместно с уравнением пластичности с учетом параболического микропрофиля поверхности вала позволяет определить параметры шероховатости полосы в зависимости от энергосиловых параметров прокатки, а также коэффициент отпечатываемости параметра Ra .

Результаты расчетов показали, что при увеличении плотности пиков Pc и параметра Ra уменьшается удельное давление на поверхность металла, необходимое для обеспечения одинакового коэффициента отпечатываемости λ (рис. 3 - 6), т.е. коэффициент отпечатываемости возрастает с увеличением параметров Pc и Ra .

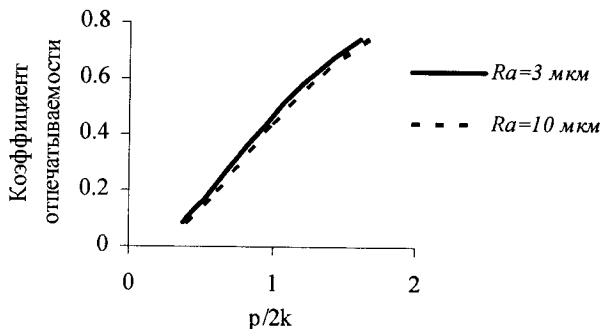


Рис. 3. Влияние коэффициента напряженного состояния $p/2k$ на коэффициент отпечатываемости при $Pc = 90 \text{ см}^{-1}$ и различных значениях Ra поверхности валков

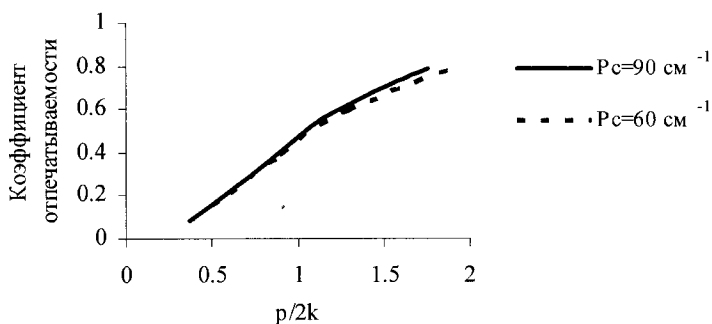


Рис. 4. Влияние коэффициента напряженного состояния $p/2k$ на коэффициент отпечатываемости при $Ra = 3 \text{ мкм}$ и различных значениях P_c поверхности валков

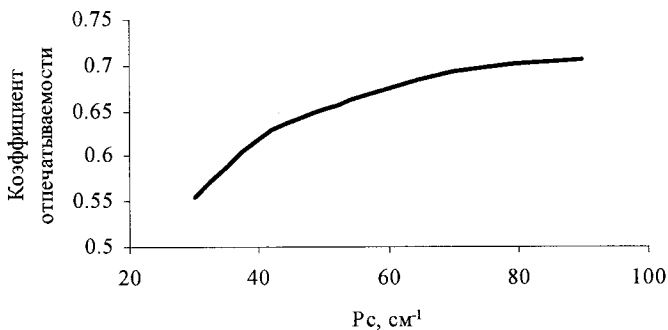


Рис. 5. Влияние плотности пиков поверхности валка на коэффициент отпечатываемости при шероховатости валка $Ra = 3,0 \text{ мкм}$ и $p/2k = 1,5$

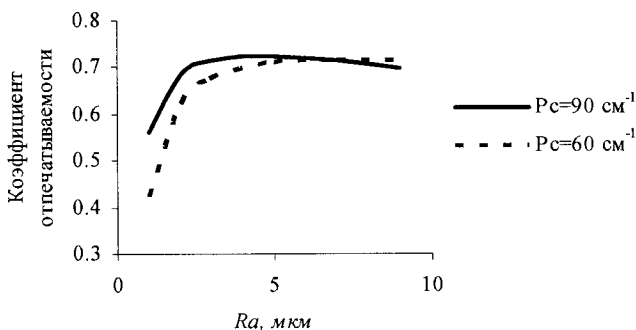


Рис. 6. Влияние параметра Ra поверхности валка на коэффициент отпечатываемости при различной плотности пиков и $p/2k = 1,5$

С целью проверки разработанной математической модели формирования микрорельефа поверхности холоднокатаного листа и его изменения в процессе прокатки были проведены исследования на двухклетевом реверсивном стане холодной прокатки.

Исследование влияния усилия прокатки на коэффициент отпечатываемости проводилось на двухклетевом реверсивном стане. Подтверждена зависимость коэффициента отпечатываемости от усилия прокатки: его среднее квадратическое отклонение составляет 0,012, коэффициент вариации по размаху не превышает 10,6 %, коэффициент вариации по среднему квадратическому отклонению – не более 5,32 %.

С целью проверки гипотезы об изменении коэффициента отпечатываемости (в течение кампании рабочих валков) проведен анализ кампании рабочих валков 4-й клетки стана 2500, текстурированных на электроэрозионном станке "Геркулес" с параметрами шероховатости: $Ra=4,5$ мкм, $Pc=60$ см⁻¹. На данных валках было прокатано около 2000 т металла.

В ходе экспериментов определяли шероховатость поверхности валков после вывалки их из клетки. По полученным данным построена кривая износа поверхности валков (рис. 7).

Из графиков, приведенных на рис. 3-6 видно, что коэффициент отпечатываемости уменьшается в ходе прокатки от 56 % до 48 %. Таким образом, подтверждается теоретический вывод о том, что коэффициент отпечатываемости не является постоянной величиной, а уменьшается в процессе износа.

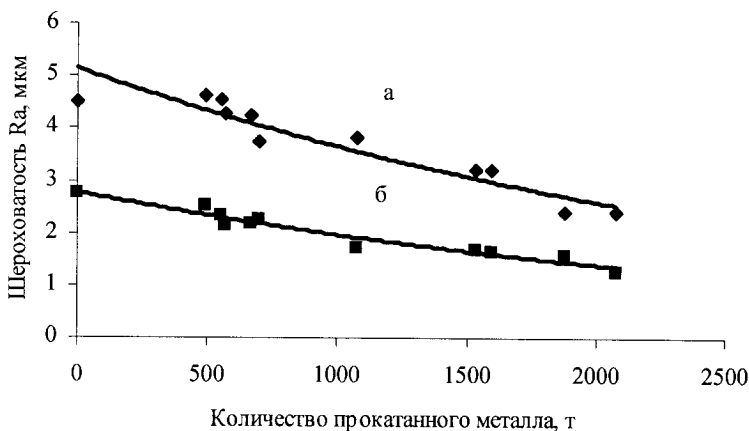


Рис. 7. Изменение шероховатости поверхности валков (а) и полосы (б) в процессе прокатки на текстурированных валках