

ТЕХНОЛОГИЯ МАШИНОСТРОЕНИЯ И МАТЕРИАЛЫ

Выравнивание структуры по толщине стальных полос при горячей прокатке

Алдунин А.В.

Университет машиностроения
8 (495) 223-05-23, доб. 1393, kiod@mami.ru

Аннотация. Рассмотрена возможность выравнивания структуры по толщине стальных полос в процессе горячей прокатки.

Ключевые слова: листовой материал, структура, горячая прокатка, неравномерность свойств, размеры зерна аустинита.

Горячая прокатка стальных полос производится преимущественно на непрерывных широкополосных станах (НШС) из непрерывно-литых слябов. Горячедеформированная структура металла начинает формироваться при обработке в клетях черновой группы стана. Основные процессы преобразования структура в раскате происходят в процессе прокатки в непрерывной чистовой группе и последующего охлаждения на отводящем рольганге НШС. Степень равномерности физико-механических свойств по толщине горячекатаных стальных полос зависит, главным образом, от равномерности структуры металла. Это актуально в для дальнейшей деформации листового материала [2, 4-6].

Средний размер рекристаллизованного зерна по толщине готовой полосы зависит, прежде всего, от картины распределения пластической деформации по проходам. В конкретном проходе распределение деформации по толщине пластически деформируемого раската зависит от среднего относительного обжатия $\varepsilon_{cp} = (h_0 - h_1) / h_0$, геометрического параметра очага деформации l_d / h_{cp} , пластичности металла и коэффициента контактного трения f . Здесь $l_d = \sqrt{\varepsilon_{cp} \cdot h_0 \cdot R}$ – длина очага деформации; $h_{cp} = (h_0 + h_1) / 2$ – средняя толщина полосы в очаге деформации; h_0, h_1 – толщина полосы до и после обжатия; R – радиус рабочих валков. Большое различие величины пластической деформации поверхностных и внутренних слоев раската может приводить к разрывам металла под действием возникающих растягивающих напряжений.

При прокатке со средней относительной деформацией $\varepsilon_{cp} < 20-25\%$ поверхностные слои полосы испытывают деформацию больше, а внутренние меньше средней. При средней по толщине полосы деформации $\varepsilon_{cp} > 35\%$ поверхностные слои прокатываемой полосы испытывают деформацию меньше, а внутренние больше средней [1, 2]. Практически равномерное распределение деформации по толщине прокатываемой полосы получается при ε_{cp} около 30 % [2].

При известном распределении пластической деформации по толщине прокатываемой стальной полосы для данных условий прокатки ($\varepsilon_{cp}, l_d / h_{cp}, f$) можно выполнять расчеты соответствующего распределения размера зерна аустенита после каждого прохода, используя зависимость коэффициента измельчения зерна при первичной рекристаллизации от относительного обжатия [3]:

$$k = A \cdot \varepsilon^{2/3}. \quad (1)$$

Размер зерна аустенита в подкате можно определять металлографическим исследованием предварительно отобранных и немедленно закаленных проб. Возможность отбора таких проб была проверена в условиях НШС 2000 НЛМК. Пробы, вырезанные на летучих ножницах из передних и задних концов подката толщиной 40 мм перед входом в чистовую

группу клеток, закаливали в коробе с 1,0 – 1,5 %-ным раствором $NaCl$. Структуру бывшего зерна аустенита удавалось зафиксировать по бейнитной сетке (рисунок 1).

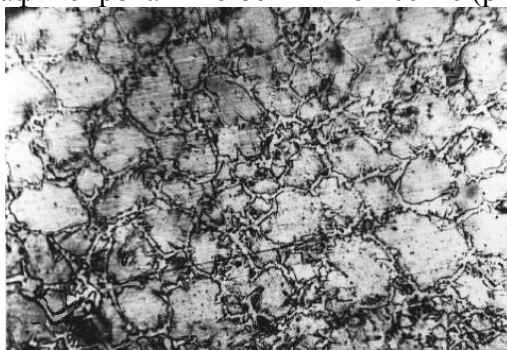


Рисунок 1. Бывшее зерно аустенита в подкате (СтЗсп, $H_{ПК} = 40$ мм, 3 мм от верхней поверхности) перед чистовой группой НШС 2000 ($\times 115$)

Для n циклов «деформация – рекристаллизация» коэффициент измельчения будет:

$$k = k(\varepsilon_1) \cdot k(\varepsilon_2) \cdot \dots \cdot k(\varepsilon_n). \quad (2)$$

Чередую относительные обжатия при $l_d / h_{cp} < 1,0$ и $l_d / h_{cp} > 2,0$, очевидно, можно получить желаемую картину распределения относительной деформации ε_i и размера рекристаллизованного зерна аустенита \bar{d}_i в серии последовательных проходов.

На рисунке 2 приведены результаты расчетов по уравнению 1 размера рекристаллизованного зерна аустенита для горячей прокатки полос из стали СтЗсп в серии из трех последовательных проходов при исходном среднем размере зерна $\bar{d}_0 = 135$ мкм и значении коэффициента уравнения $A = 4,3$.

Размер же зерна феррита \bar{d}_α горячекатаной стали СтЗсп определяется размером зерна аустенита \bar{d}_γ и скоростью охлаждения прокатанной полосы в области фазовых превращений $W_{\gamma \rightarrow \alpha}$ [3]:

$$\bar{d}_\alpha = a_0 + a_1 \cdot \bar{d}_\gamma - a_2 \cdot W_{\gamma \rightarrow \alpha}. \quad (3)$$

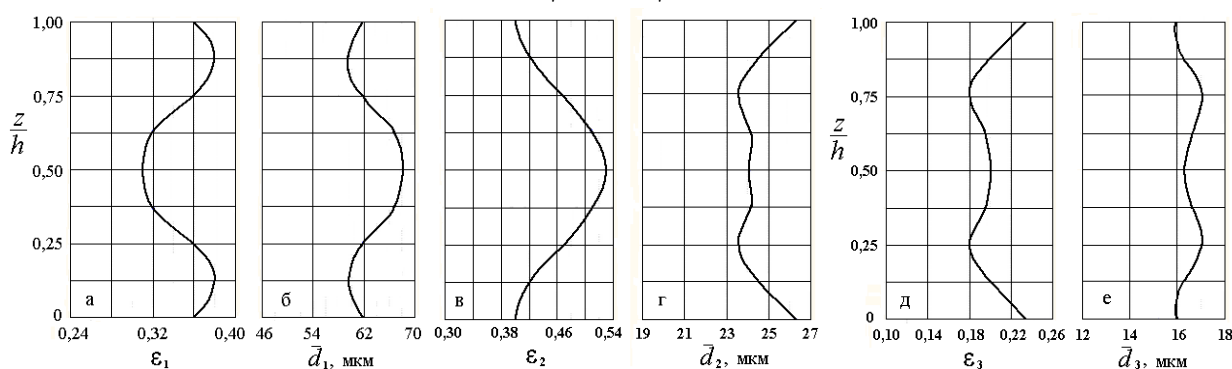


Рисунок 2. Влияние распределения относительной деформации ε_i по относительной толщине z/h прокатываемой полосы (сталь СтЗсп) на изменение размера рекристаллизованного зерна аустенита \bar{d}_i в серии последовательных проходов:

а-б – $\varepsilon_{cp1} = 34\%$, $l_d / h_{cp} < 1,0$; **в-г** – $\varepsilon_{cp2} = 47\%$, $l_d / h_{cp} > 2,0$; **д-е** – $\varepsilon_{cp3} = 21\%$, $l_d / h_{cp} > 2,0$

Заключение

При разработке режимов горячей прокатки стальных полос, для выравнивания по их толщине структуры и физико-механических свойств металла, относительные обжатия в отдельных проходах НШС следует выбирать с учетом характера распределения деформации по

толщине раската.

Литература

1. Теория прокатки: Справочник / Целиков А.И., Томленов А.Д., Зюзин В.И. и др. – М.: Металлургия, 1982. – 335 с.
2. Алдунин А.В., Шумеев А.В. Исследование распределения пластической деформации по толщине стальных полос // Известия МГТУ «МАМИ». 2014. № 4 (22). Т. 2. С. 5 – 9.
3. Алдунин А.В., Русаков А.Д., Трайно А.И. Исследование и разработка технологий производства стальных полос. – Saarbrücken: LAP LAMBERT Academic Publishing, 2014. 170 с.
4. Бондарь В.С., Типалин С.А., Шпунькин Н.Ф. Изгиб и скручивание листа / М.: Университет машиностроения, 2014. 212 с.
5. Типалин С.А. Определение накопленной деформации в процессе выдавливания технологической канавки / Заготовительные производства в машиностроении. 2013. №8, с. 22-24.
6. Типалин С.А. Исследование и разработка методики расчета процесса профилирования ленты при локальном формоизменении / Диссертация на соискание ученой степени кандидата технических наук. М.: МАМИ, 1998, 181с.
7. Типалин С.А. Экспериментальное исследование процесса выдавливания технологической канавки в оцинкованной полосе / Известия МГТУ «МАМИ». 2012. №2. Том 2. С. 208-213.

Выбор режима горячей штамповки хромоникелевой стали для лопаток паровых турбин

к.т.н. доц. Балькова Т.И.

Университет машиностроения

8-925-431-85-54, e-mail: kafmaterialy@mail.ru

Аннотация. Представлены результаты исследований влияния температуры и скорости деформации на прочностные характеристики и структуру стали типа 17-4 PH. Разработаны рекомендации по режиму горячей штамповки лопаток паровых турбин из указанной стали и ее отечественных аналогов.

Ключевые слова: истинные напряжения, истинные деформации, структура, горячая штамповка, лопатки паровых турбин

Введение

Турбинные лопатки являются деталью паровых турбин, имеющей наименьший ресурс работы, так как подвергаются эрозионному износу, воздействию высокой температуры, коррозионной среды, динамическим и вибрационным нагрузкам. На турбостроительных заводах России не прекращается поиск новых сплавов для изготовления лопаток паровых турбин. Одним из таких сплавов является сталь марки 17-4 PH, отечественным аналогом которой является дисперсионно твердеющая сталь 07X16H4Д4Б.

Целью работы являлось определение метода и технологических параметров изготовления лопаток паровых турбин из стали 17-4PH, обеспечивающих наилучшие прочностные характеристики.

Проведенный анализ способов изготовления турбинных лопаток позволил сделать вывод о преимуществах их получения методом точной горячей штамповки. Именно этим методом предполагается изготавливать лопатки из стали марки 17-4 PH. При правильном выборе режима – температуры и скорости деформирования, можно добиться наилучших прочностных характеристик.

Образцы и методика проведения эксперимента

Сталь 17-4PH поставляется в виде прутков диаметром 130 мм после термической обработки по штатному режиму (закалка от 1040 и 850°C с отпуском при 545°C в течение 4 ча-