

ИССЛЕДОВАНИЕ СОПРОТИВЛЕНИЯ ДЕФОРМАЦИИ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ КОЛЕСНОЙ СТАЛИ

Сопротивление деформации σ_s является важным показателем деформируемости, определяющим пригодность металла для пластического формоизменения. От точности определения сопротивления деформации металла зависит и точность расчетов энергосиловых параметров деформирования колесных заготовок и, следовательно, возможность оптимизации технологии прессования железнодорожных колес. Сопротивление деформации представляет интенсивность напряжений, необходимую и достаточную для осуществления пластической деформации данного материала при заданных термомеханических параметрах деформирования. Под термомеханическими параметрами понимают температура t , скорость u и степень деформации ε , при которых реализуется конкретный процесс.

В настоящее время отсутствуют данные по сопротивлению деформации непрерывнолитой колесной стали производства НТМК, поэтому для его определения проведены экспериментальные исследования на пластометре.

Из непрерывнолитой заготовки колесной стали диаметром 430 мм были отобраны темплеты шириной – 35 мм. Химический состав стали отобранных темплетов приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав колесной стали, %

C	Mn	Si	P	S	Ni	Cr	V	Cu
0,637	0,87	0,35	0,013	0,012	0,067	0,036	0,032	0,014

Цилиндрические образцы отбирались из зоны формирования диска колеса и из зоны формирования обода как вдоль, так и поперек оси непрерывнолитой заготовки.

Исследования проводились на кулачковом пластометре Института машиноведения УрО РАН. Данный пластометр представляет уникальную установку, функционально предназначенную для проведения механических испытаний способом одноосного сжатия.

На первом этапе исследовалось сопротивление деформации металла подкорковой зоны непрерывнолитых колесных заготовок. В табл. 2 приве-

дены условия опытов, которые планировались в данной работе при определении сопротивления деформации.

В итоге обработки экспериментальных данных было получено обобщенное уравнение регрессии сопротивления деформации исследуемой колесной стали в следующем виде:

$$\sigma_s = \exp(2,915 - 0,285[(t - 1000)/100] + 0,0968[(\ln u - 2,159)/0,549] + 0,0875 \times \\ \times [(\ln \varepsilon - 3,454)/0,458] - 0,121[(\ln u - 2,159)/0,549]^2 - 0,069[(\ln \varepsilon - 3,454)/0,458]^2), \text{ МПа}$$

Здесь термомеханические параметры процесса могут находиться (варьироваться) в следующих диапазонах дискретных значений:

- температура $800 < t < 1200$ имеет размерность в $^{\circ}\text{C}$;
- скорость деформации $1 < u < 30$ задается в с^{-1} ;
- степень деформации $5 < \varepsilon < 70$ имеет размерность в %.

Если из полученного соотношения исключить квадратичные эффекты, то придем к известной инженерной формуле для расчета сопротивления деформации металла:

$$\sigma_s = 98 \frac{\varepsilon^{0,191} u^{0,176}}{\exp(0,00286t)}, \text{ МПа}$$

После проверки адекватности полученного уравнения можно сделать выводы:

- уравнение может быть признано адекватным;
- уравнение представляет достаточно корректную форму взаимосвязи сопротивления деформации с термомеханическими параметрами процесса;
- уравнение может быть рекомендовано для выполнения технологических и прочностных расчетов.

На втором этапе исследовалось сопротивление деформации промежуточной зоны кристаллизации металла. Этот цикл исследования выполнялся по методике первого этапа данной работы. Отличие заключалось лишь в образцах, которые вырезались на расстоянии $r_2 \approx 110$ мм от центра темплета. При температуре испытания $t = 1000^{\circ}\text{C}$, степени деформации $\varepsilon = 35$ % при скорости деформации $u = 10 \text{ с}^{-1}$ после корректировки результатов была получена следующая упорядоченная выборка данных:

$$\sigma_s, \text{ кГ/мм}^2 \quad 15,75 < 16,02 < 16,66 < 16,88 < 17,36 < 18,25$$

$$\ln \sigma_s \quad 2,757 < 2,774 < 2,813 < 2,826 < 2,854 < 2,904$$

После статистического анализа полученных результатов можно заключить следующее:

1. В рамках проведенного исследования на пластометре статистического расхождения в опытных данных по сопротивлению деформации в различных структурных зонах слитков, получаемых на установке непрерывного литья НТМК, не обнаруживается.

2. Полученные аналитические зависимости могут быть рекомендованы для расчета сопротивления деформации с высокой степенью надежности практически в произвольной структурной зоне непрерывнолитого слитка для любого режима деформации.