

степеней свободы $\nu = 60 + 60 - 2 = 118$ квантиль распределения Стьюдента $t_{0,05,118} = 1,981$, а значение статистики Стьюдента составило $t = 1,868$, т.е. $t_{0,05,118} > t$, что свидетельствует об отсутствии статистически значимого различия между магнитными свойствами двух опытных партий ЭАС. Таким образом, влияние диаметра валков на магнитные свойства ЭАС можно считать незначимым. Однако, поскольку в условиях промышленного эксперимента невозможно полностью исключить влияние посторонних факторов, то для выявления предполагаемого существования связей между магнитными свойствами ЭАС и диаметром валков необходимо провести физические эксперименты по исследованию текстуры, что предполагается выполнить в ближайшем будущем.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Лобанов М.Л., Русаков Г.М., Редикульцев А.А. Электротехническая анизотропная сталь. Ч. I. История развития. // Металловедение и термическая обработка металлов. 2011. № 7. С. 67 – 68.
2. ГОСТ Р 53934-2010. Прокат тонколистовой холоднокатаный из электротехнической анизотропной стали. Технические условия. – М.: Стандартинформ, 2011.
3. Русаков Г.М., Редикульцев А.А., Каган И.В., Лобанов М.Л. Механизм образования полос сдвига при холодной деформации технического сплава Fe–3% Si. // Физика металлов и металлургия. 2010. Т. 109. № 6. С. 701 – 707.

© 2014 г. Пузанов М.П., Шилов В.А., Михайленко А.М.

Поступила 30 июля 2014 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA – FERROUS METALLURGY. 2014. No. 9. Vol. 57, pp. 63–64.

THE INFLUENCE OF ROLLS' DIAMETER ON MAGNETIC PROPERTIES OF GRAIN-ORIENTED ELECTRICAL STEEL

Puzanov M.P., Master student

Shilov V.A., Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair "Metal Forming" (omd@mtf.ustu.ru)

Mikhailenko A.M., Cand. Sci. (Eng.), assist. Professor of the Chair "Metal Forming"

Ural Federal University named after the first President of Russia
B. N. Yeltsin (19, Mira str., Ekaterinburg, 620002, Russia)

Abstract. A full-scale experiment was carried out to determine the influence of a cold mill rolls' diameter on the texture and magnetic properties of grain-oriented electrical steel (GOES). The results were arranged into two statistical samplings containing magnetic induction value of GOES rolled on the 70 and 290 mm diameter rolls. It was found out that the influence of the rolls' diameter on the magnetic induction of the GOES is statistically insignificant, but probable.

Keywords: grain-oriented electrical steel, Goss texture, magnetic induction, cold rolling, rolls' diameter.

REFERENCES

1. Lobanov M.L., Rusakov G.M., Redikul'tsev A.A. Electrotechnical anisotropic steel. Part 1. History of development. *Metal Science and Heat Treatment*. 2011, no. 7–8 (53), pp. 326–332.
2. GOST R 53934-2010. *Prokat tonkolistovoi kholodnokatanoy iz elektrotekhnicheskoi anizotropnoi stali. Tekhnicheskie usloviya* [Cold-rolled sheet of grain-oriented electrical steel. Specifications]. Moscow: Standartinform. 2011. (In Russ.).
3. Rusakov G.M., Redikul'tsev A.A., Kagan I.V., Lobanov M.L. Mechanism of formation of shear bands upon cold deformation of a commercial Fe–3% Si alloy. *Physics of Metals and Metallography*. 2010, no. 6(109), pp. 662–669.

Received July 30, 2014

УДК 621.73

УЧЕТ ДЕФОРМАЦИОННОГО РАЗОГРЕВА ПРИ ХОЛОДНОЙ ПРОКАТКЕ ТРУБ

Орлов Г.А., д.т.н., доцент, профессор кафедры «Обработка металлов давлением» (gorl@mail.ru)

Орлов А.Г., студент

Уральский федеральный университет имени первого Президента России Б.Н. Ельцина
(620002, Россия, г. Екатеринбург, ул. Мира, д. 19)

Аннотация. Представлена методика количественной оценки температурного разогрева при холодной прокатке труб с заданной производительностью. Предложена формула для расчета деформационного разогрева, полученная из закона сохранения энергии при пластической деформации. Приведен пример использования предложенных формул для оценки снижения усилий прокатки по определенному маршруту. Показана возможность интенсификации процесса прокатки за счет температурного разогрева.

Ключевые слова: холодная прокатка труб, деформационный разогрев, усилия прокатки.

Повышение температуры или разогрев металла во время пластической деформации Δt_p может достигать, в зависимости от условий процесса и свойств

металла, нескольких сотен градусов. Известен ряд инженерных формул для его расчета [1]. Более точная формула для расчета разогрева может быть получена

Результаты расчетов температурного разогрева и усилий прокатки

Номер сечения	D_i , мм	S_i , мм	Λ_i	T_i , МПа	Δt_p , °С	P_0 , кН	P_p , кН
1	78,59	11,21	0,115	335,3	8,4	266	257
2	74,95	10,05	0,477	445,4	46,3	280	233
3	71,87	9,17	0,773	503,5	84,2	605	435
4	69,22	8,50	1,036	545,8	123,25	899	667
5	66,90	8,00	1,245	575,6	156,2	953	621
6	64,85	7,64	1,424	599,2	185,9	987	573
7	63,03	7,39	1,578	618,1	212,6	864	452
8	61,42	7,25	1,687	631,0	232,0	697	338
9	60,00	7,20	1,758	639,2	245,0	308	142

из первого закона термодинамики при пластической деформации:

$$\Delta t_p = \frac{\eta T \Lambda}{c \rho}, \quad (1)$$

где $\eta = 0,80 - 0,90$ – доля тепла, остающаяся в теле; T – интенсивность касательных напряжений; Λ – степень деформации сдвига; c – удельная теплоемкость; ρ – плотность. Остальное тепло (10 – 20 %) отводится через контактные поверхности с валками, оправкой и в окружающую среду.

Формула (1) позволяет осуществить примерный расчет деформационного разогрева вдоль рабочего конуса прокатки для каждого поперечного сечения, в котором размеры трубы определяются заданной калибровкой. В этом случае берутся усредненные по сечению значения работы деформации $T\Lambda$. Согласно работе [2], усилия прокатки зависят от упрочнения металла. Поскольку при разогреве сопротивление деформации уменьшается, то снижаются и усилия прокатки. Снижение усилий свидетельствует о наличии определенных резервов в интенсификации процесса прокатки, например за счет повышения линейного смещения.

В таблице приведены результаты расчета деформационного разогрева по формуле (1) и усилий прокатки P_0 (без учета разогрева) и P_p (с учетом разогрева) в сечениях рабочего конуса по методике [2] для прохода прокатки $83 \times 11 \rightarrow 60 \times 7,2$ мм (линейное смещение $m\mu = 30$ мм; подача $m = 15$ мм; коэффициент вытяжки $\mu = 2$; сталь ШХ-15; методика НИТИ-НТЗ). После расчета калибровки известны значения диаметра D_i и толщины стенки трубы S_i в каждом контрольном сечении. Степень деформации сдвига Λ_i для каждого сечения рассчитана по формуле [3] $\Lambda = \sqrt{3} k_{\text{нсм}} \ln \mu$, где коэффициент немонотонности деформации $k_{\text{нсм}} = 1,3$. Сопротивление деформации стали ШХ-15 по данным работ [4, 5] рассчитана по формуле $\sigma_s = (386 + 550\Lambda^{0,48}) \times$

$\times \exp(-0,0039t)$, где t – температура прокатки с учетом разогрева; $T = \sigma_s / \sqrt{3}$.

Удельная теплоемкость стали ШХ-15 при комнатной температуре принималась, согласно работе [6], 0,5 кДж/кг·град; плотность стали 7800 кг/м³; коэффициент $\eta = 0,80$ (с учетом применения охлаждающей жидкости).

Из таблицы видно, что максимальное усилие прокатки существенно снизилось (примерно в 1,5 раза), причем интенсивность снижения усилий нарастает к концу рабочего участка по мере роста разогрева. По данным работы [2], соотношение усилий и линейных смещений

в двух вариантах прокатки выражается как $\frac{P_1}{P_2} = \sqrt{\frac{m\mu_1}{m\mu_2}}$,

поэтому в рассматриваемом случае линейное смещение можно увеличить примерно в 2 раза, например за счет увеличения коэффициента вытяжки до 4.

Таким образом, разработанная методика оценки температурного разогрева при холодной прокатке труб позволяет выбрать на основе количественных оценок обоснованный вариант режимов прокатки труб с повышенной производительностью.

БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Тихонов А.С. Элементы физико-химической теории деформируемых сплавов. – М.: Наука, 1972. – 158 с.
2. Шевакин Ю. Ф. Калибровка и усилия при холодной прокатке труб. – М.: Metallurgizdat, 1963. – 269 с.
3. Орлов Г.А. Инженерная оценка обрабатываемости металлов давлением // Изв. вуз. Черная металлургия. 2013. № 3. С. 11 – 14.
4. Богатов А.А., Мижирицкий О.И., Смирнов С.В. Ресурс пластичности металлов при обработке давлением. – М.: Металлургия, 1984. – 144 с.
5. Мигачев Б.А., Потапов А.И. Пластичность инструментальных сталей: Справочник. – М.: Металлургия, 1980. – 88 с.
6. Немзер Г.Г. Технология кузнечно-штамповочного производства. – Л.: Машиностроение, 1988. – 320 с.

© 2014 г. Орлов Г.А., Орлов А.Г.
Поступила 18 августа 2014 г.

ACCOUNTING OF DEFORMATION HEATING DURING COLD ROLLING OF TUBES

Orlov G.A., Dr. Sci. (Eng.), Professor of the Chair “Metal Forming” (gorl@mail.ru)

Orlov A.G., Student

Ural Federal University named after the first President of Russia
B.N. Yeltsin (19, Mira str., Ekaterinburg, 620002, Russia)

Abstract. The authors proposed a method of quantitative estimation of heating temperature during cold rolling of tubes with specified performance. The formula for calculating the deformation heating is described resulting from the law of energy conservation during plastic deformation. As a result the authors showed an example of using the proposed formulas for evaluating the reduction effort rolling along a certain route. The possibility of intensification of rolling process by temperature heating is described.

Keywords: cold rolling of tubes, deformation heating, rolling force.

REFERENCES

1. Tikhonov A.S. *Elementy fiziko-khimicheskoi teorii deformiruemyykh splavov* [Elements of physical and chemical

theory of wrought alloys]. Moscow: Nauka, 1972. 158 p. (In Russ.).

2. Shevakin Yu. F. *Kalibrovka i usiliya pri kholodnoi prokatke trub* [Calibration and effort during pipe cold rolling]. Moscow: Metallurgizdat, 1963. 269 p. (In Russ.).

3. Orlov G.A. Engineering assessment of plastic metal working. *Izvestiya VUZov. Chernaya metallurgiya = Izvestiya – Ferrous Metallurgy*. 2013, no. 3, pp. 11–14. (In Russ.).

4. Bogatov A.A., Mizhritskii O.I., Smirnov S.V. *Resurs plastichnosti metallov pri obrabotke davleniem* [Resource plasticity of metals in processing of metals by pressure]. Moscow: Metallurgiya, 1984. 144 p. (In Russ.).

5. Migachev B.A., Potapov A.I. *Plastichnost' instrumental'nykh stalei (spravochnik)* [Plasticity of tool steels]. Moscow: Metallurgiya, 1980. 88 p. (In Russ.).

6. Nemzer G.G. *Tekhnologiya kuznechno-shtampovochного proizvodstva* [Technology of forging and stamping production]. Leningrad: Mashinostroenie, 1988. 320 p. (In Russ.).

Received August 18, 2014

УДК.669.041

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРНОГО РЕЖИМА ОБЖИГА ИЗВЕСТНЯКА ВО ВРАЩАЮЩЕЙСЯ ПЕЧИ НА ПОКАЗАТЕЛИ КАЧЕСТВА ИЗВЕСТИ

Ансимов А.А., аспирант кафедры «Металлургия и металловедение» (ansimow@yandex.ru)

Меркер Э.Э., д.т.н., профессор кафедры «Металлургия и металловедение»

Старооскольский технологический институт, филиал НИТУ МИСиС
(309516, Россия, Белгородская обл., г. Старый Оскол, микрорайон Макаренко, д. 42)

Аннотация. Экспериментально в лабораторных и производственных условиях установлено влияние температурного режима во вращающейся печи на показатели качества извести и ее влияние на шлаковый режим при электроплавке стали в дуговой печи.

Ключевые слова: вращающаяся печь, режим обжига, известь, известняк, температура, шлакообразование.

Целью работы является анализ влияния температурного режима обжига известняка во вращающейся печи на показатели качества промышленной извести, используемой в сталеплавильном производстве.

Режим обжига известняка во вращающейся печи для производства качественной извести [1, 2] должен обеспечивать требуемую производительность агрегата, пониженный удельный расхода тепла и рациональный предел конечной температуры извести на выходе из печи $T_{из(в)}$, °С при входе ее в холодильник агрегата [3].

На основе анализа данных работы вращающихся печей обжига известняка в цехе обжига извести Старооскольского электрометаллургического комбината и по данным лабораторных исследований установлен характер влияния параметров температурного режима в агрегате на показатели качества извести. Влия-

ние температуры извести на выходе из вращающейся печи на содержание CaO в извести (см. рисунок, а, кривая 1) свидетельствует о достижении экстремума (более 90 %) при температуре извести на выходе из вращающейся печи, равной около 780 – 800 °С при допустимых потерях при прокаливании в извести около 4 %. (см. рисунок, а, линия 2). При этом установлено влияние температуры обжига известняка $T_{из-к(о)}$, °С на размеры кристаллов CaO после обжига материала (см. рисунок, б, кривая 4).

По результатам обработки данных установлена тесная корреляционная зависимость (см. рисунок, б, линия 3), указывающая на достоверность и взаимосвязь температуры извести на выходе из вращающейся печи и температуры известняка в зоне обжига агрегата. Анализ данных тепловой работы вращающихся печей обжига