

УДК 621.735.042

## ОЦЕНКА ДЕФОРМИРУЕМОСТИ ВЫСОКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ ПРИ КОВКЕ

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

*Шестакова Е.Н., аспирант кафедры «Обработка металлов  
давлением» (shestakova001@mail.ru)*

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

**Аннотация.** Предложена высокоуглеродистая заэвтектоидная сталь для производства кованных валков горячей прокатки. Сталь содержит 1,2 – 1,4 % углерода, карбидообразующие легирующие элементы (хром, молибден, ванадий и ниобий) для повышения износостойкости валков, а также никель для повышения прокаливаемости. Установлено, что сталь предлагаемого состава обладает пластичностью, достаточной для проведения горячей деформации (ковки) с небольшими единичными обжатиями. Установлен температурный интервал деформации слитков: температура конца деформации должна быть не ниже 900 °С, температура нагрева под ковку – 1150 °С. По комплексу свойств сталь рекомендуется для изготовления цельнокованных валков и бандажей для составных валков горячей прокатки из слитков массой до 10 т.

**Ключевые слова:** высокоуглеродистая сталь, кованные валки, горячая прокатка, увеличение твердости, механические свойства, бандаж, составные валки.

DOI: 10.17073/0368-0797-2018-12-995-996

Одно из направлений повышения износостойкости и прочности кованных валков горячей прокатки заключается в применении высокоуглеродистых сталей [1, 2]. Авторами настоящей работы запатентована сталь [3], которая содержит, % (по массе): 1,2 – 1,4 С; 0,2 – 0,5 Si; 0,5 – 0,8 Mn; 1,4 – 1,7 Cr; 0,6 – 0,9 Ni; 0,1 – 0,3 Mo, а суммарное среднее содержание ванадия и ниобия определяется соотношением

$$V + Nb = \frac{C}{12},$$

где V, Nb и C – среднее содержание ванадия, ниобия и углерода соответственно, %.

При этом среднее содержание ванадия должно быть в 2,0 – 2,5 раза больше, чем ниобия.

Для оценки деформируемости стали предлагаемого состава проведено моделированиековки бандажей. За основу было взято решение В.Л. Колмогорова [4] по определению деформированного состояния при плоской протяжке, которое оценивается компонентами тензора скоростей деформации сдвига

$$\xi_{xx} = \left( 1,36 - \frac{0,62y^2}{h^2} - \frac{0,74y^4}{h^4} \right) \frac{v_0}{h};$$

$$\xi_{xy} = - \left( 0,62 + \frac{1,46y^2}{h^2} \right) \frac{v_0 xy}{bh^2}$$

и интенсивностью скоростей деформаций сдвига

$$H = 2\sqrt{\xi_{xx}^2 + \xi_{xy}^2},$$

где  $v_0$  – скорость обжатия;  $h, b$  – размеры поперечного сечения поковки.

Зная значение  $H$ , можно вычислить степень использования ресурса пластичности в формулировке В.Л. Колмогорова [4]:

$$\Psi = \frac{\int H dt}{\Lambda_p},$$

где  $\int H dt$  – накопленная степень деформации сдвига в данном месте поперечного сечения;  $\Lambda_p$  – пластичность стали.

Пластичность стали была исследована ранее [5]; по результатам исследования приняли, что предельная степень деформации сдвига в рассматриваемом случае  $\Lambda_p = 1,5$ . Сталь предлагаемого состава обладает пониженной пластичностью, поэтому рекомендуются режимыковки с пониженными величинами подачи и обжатий.

Моделируя процесс раскатки протяжкой полосы квадратного сечения ( $h = b$ , высота полосы  $2h = 0,3$  м) при величине обжатия 50 мм (числитель) и 100 мм (знаменатель), скоростиковки  $v_0 = 0,3$  м/с и температурековки 1000 °С, получили распределение  $\Psi$  по поперечному сечению (см. таблицу).

Таким образом, наибольшая вероятность образования трещин наблюдается в углах поковки ( $\Psi = 0,92$ ) при

**Распределение Ψ по поперечному сечению поковки**

**Distribution of Ψ in cross section of the forging**

y/b	Относительная координата x/b				
	0	0,25	0,50	0,75	1,00
1,00	0/0	0,11/0,22	0,15/0,30	0,35/0,70	0,46/0,92
0,75	0,17/0,34	0,18/0,36	0,14/0,28	0,25/0,50	0,29/0,58
0,50	0,26/0,52	0,26/0,52	0,18/0,36	0,27/0,54	0,28/0,56
0,25	0,19/0,38	0,19/0,38	0,19/0,38	0,29/0,58	0,29/0,58
0	0,30/0,60	0,30/0,60	0,30/0,60	0,30/0,60	0,30/0,60

обжатию 100 мм (30 % по высоте), поэтому особое внимание следует уделять равномерности нагрева поковки перед очередным выносом, а также ограничивать обжатие по высоте: не более 10 – 15 %. По результатам проведенных исследований разработаны режимы нагрева под ковку слитков массой 5,5 – 10,0 т, технологияковки рабочих валков и бандажей для составных валков, а также режимы первичной термической обработки поковок и окончательной термической обработки валков и бандажей на твердость 285 – 350 НВ.

**Выводы.** Наибольшая вероятность образования трещин наблюдается в углах поковки ( $\Psi = 0,92$ ) при обжатии 100 мм (30 % по высоте), поэтому особое внимание следует уделять равномерности нагрева поковки перед очередным выносом, а также ограничивать обжатие по высоте: не более 10 – 15 %.

**БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК**

1. А.с. 388052 СССР. Сталь для валков / С.В. Маркин, В.И. Погоржельский, И.Н. Калошин, Н.С. Валенко, И.З. Цилевич, Ю.А. Шапиро; заявл. 13.10.1971; опубл. 22.06.1973. Бюл. № 28.
2. А.с. 1076485 СССР. Сталь / Б.А. Мигачев, В.И. Бочкарев, П.В. Склюев, В.В. Кубачек, В.Н. Захаров, Г.Д. Фейгин; заявл. 08.12.1982; опубл. 28.02.1984. Бюл. № 8.
3. Пат. 2540241 RU. Сталь для изготовления кованных прокатных валков / А.И. Потапов, Г.А. Орлов, Е.Н. Шестакова, А.Г. Орлов; заявл. 31.10.2013; опубл. 10.02.2015. Бюл. № 4.
4. Колмогоров В.Л. Механика обработки металлов давлением. – М.: Металлургия, 1986. – 688 с.
5. Потапов А.И., Шестакова Е.Н., Орлов Г.А., Беликов С.В. Применение сталей заэвтектоидных марок дляковки валков горячей прокатки // Черные металлы. 2015. № 2. С. 33 – 37.

Поступила 6 февраля 2018 г.

IZVESTIYA VUZOV. CHERNAYA METALLURGIYA = IZVESTIYA. FERROUS METALLURGY. 2018. Vol. 61. No. 12, pp. 995–996.

**ESTIMATION OF DEFORMABILITY OF HIGH-CARBON STEEL UNDER FORGING**

**G.A. Orlov, E.N. Shestakova**

**Ural Federal University named after the first President of Russia  
B.N. Yeltsin, Russia, Ekaterinburg**

**Abstract.** The article presents high-carbon hypereutectoid steel for production of hot rolling forged rolls. The steel contains 1.2 – 1.4 % of carbon, carbide forming alloying elements Cr, Mo, V and Nb improving wear resistance of the rolls, and Ni increasing hardening capacity. It has been found that steel of proposed composition provides ductility sufficient for hot deformation (forging) by moderate single compressions. Temperature range of ingot deformation has been detected: finite temperature deformation should not be below 900 °C, forging temperature – 1150 °C. According to its properties steel can be recommended for manufacturing solid-forged rolls and bandages for composite rolls of hot rolling from ingots of up to 10 tons weight.

**Keywords:** high-carbon hypereutectoid steel, forged rolls, hot rolling, increased hardness, mechanical properties, bandage, compound rolls.

**DOI:** 10.17073/0368-0797-2018-12-995-996

**REFERENCES**

1. Markin S.V., Pogorzhel'skii V.I., Kaloshin I.N., Valenko N.S., Tsel'evich I.Z., Shapiro Yu.A. *Stal' dlya valkov* [Steel for rolls]. Cer-

tificate of authorship USSR no. 388052. *Bulleten' izobretenii*. 1973, no. 28. (In Russ.).

2. Migachev B.A., Bochkarev V.I., Sklyuev P.V., Kubachek V.V., Zakharov V.N., Feigin G.D. *Stal'* [Steel]. Certificate of authorship USSR no. 1076485. *Bulleten' izobretenii*. 1984, no. 8. (In Russ.).
3. Potapov A.I., Orlov G.A., Shestakova E.N., Orlov A.G. *Stal' dlya izgotovleniya kovanykh prokatnykh valkov* [High-carbon steel for production of hot rolling forged rolls]. Patent RF no 2540241. *Bulleten' izobretenii*. 2015, no. 4. (In Russ.).
4. Kolmogorov V.L. *Mekhanika obrabotki metallov davleniem* [Mechanics of metal forming]. Moscow: Metallurgiya, 1986, 688 p. (In Russ.).
5. Potapov A.I., Shestakova E.N., Orlov G.A., Belikov S.V. Application hypereutectoid steel grades for forging of hot rolling rolls. *Chernye Metally*. 2015, no. 2, pp. 33–37. (In Russ.).

**Information about the authors:**

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

**E.N. Shestakova, Postgraduate of the Chair "Metal Forming"**  
(shestakova01@mail.ru)

Received February 6, 2018