

УДК 621.778:539.37

*Д.А. Косинов<sup>1</sup>, С.А. Баранникова<sup>2</sup>, В.М. Лебошкин<sup>3</sup>,  
В.Я. Чинокалов<sup>3</sup>, С.В. Коновалов<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Сибирский государственный индустриальный университет

<sup>2</sup> Институт физики прочности и материаловедения СО РАН (г. Томск)

<sup>3</sup> ОАО «ЕВРАЗ – объединенный Западно-Сибирский металлургический комбинат»

## ВЛИЯНИЕ СПОСОБА УДАЛЕНИЯ ПРОКАТНОЙ ОКАЛИНЫ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА НИЗКОУГЛЕРОДИСТОЙ СТАЛИ

**Аннотация.** Проанализировано влияние режимов термической обработки, а также кислотного и механического способов удаления прокатной окалины на закономерности изменения механических свойств катанки из низкоуглеродистой стали 1кп.

**Ключевые слова:** сталь, механические свойства, кислотное удаление окалины, наводороживание, охрупчивание, катанка, градиент температуры.

*D.A. Kosinov<sup>1</sup>, S.A. Barannikova<sup>2</sup>, V.M. Leboshkin<sup>3</sup>,  
V.Ya. Chinokalov<sup>3</sup>, S.V. Konovalov<sup>1</sup>*

<sup>1</sup> Siberian State Industrial University

<sup>2</sup> Institute of Strength Physics and Materials of Siberian branch RAS

<sup>3</sup> ОАО "Evraz - West Siberian Steel Corporation"

## EFFECT OF THE METHOD OF REMOVING ROLLED SCALE ON THE MECHANICAL PROPERTIES OF LOW CARBON STEEL

**Abstract.** The effect of regimes of heat treatment, as well as acid and mechanical methods of removing rolled scale on the regularities of mechanical properties change of low carbon steel wire rod of 1kp grade are studied.

**Keywords:** steel, mechanical properties, acid removing scale, hydrogenation, embrittlement, wire rod, the temperature gradient.

*E-MAIL:* konovalov@physics.sibsiu.ru

Качество готовой проволоки и крепежных изделий зависит от многих факторов, в том числе от химического состава стали, технологии прокатки и охлаждения подката, способа подготовки катанки к холодному волочению, технологических материалов и смазок, обеспечивающих стабильность процесса волочения и т.д. [1, 2]. Технологичность процесса волочения во многом определяется способом подготовки поверхности подката, основным элементом которого является удаление прокатной окалины. Широко используемая технология травления бунтов в растворах кислот обеспечивает высокую степень очистки от окалины, но имеет и принципиальные недостатки.

Применение альтернативных механических способов подготовки поверхности катанки к холодному волочению позволяет исключить отрицательные последствия наводороживания при травлении и проблемы утилизации отработанных кислотных растворов [3 – 6]. Решение проблемы управления пластичностью и прочностью твердых тел и разработка на этой основе новых технологических процессов волочения и холодной штамповки в значительной степени связаны с пониманием физической природы деформации. Анализ процесса пластической деформации должен включать в себя сопоставление

макрохарактеристик реального технологического процесса с эволюцией структуры и механических свойств.

В связи с этим целью настоящей работы являлось установление закономерностей изменения механических свойств катанки из стали 1кп с разной подготовкой поверхности для разработки эффективных технологий ее производства и крепежных изделий.

Исследования проводили на стали марки 1кп химического состава: 0,07 % С, 0,03 % Si, 0,37 % Mn, 0,035 % S, 0,011 % Р, остальное железо (по массе). Перед смоткой в бунты катанку diam. 6,5 мм подвергали ускоренному охлаждению водовоздушной смесью до температур ( $T_{см}$ ) 920, 840 и 760 °С. Выбор режимов охлаждения определялся техническими возможностями установки термического упрочнения проволоочного стана и технологическими требованиями: снижение количества вторичной окалины на поверхности катанки и формирование в стали структурного состояния, обеспечивающего высокую деформируемость при холодном волочении и высадке.

Подготовку поверхности катанки к волочению проводили по технологиям кислотного удаления окалины и с использованием в линии волочильных станков машин механической очистки WCM-05 [3].

Временное сопротивление ( $\sigma_B$ ), относительное удлинение ( $\delta_5$ ), относительное сужение ( $\psi$ ), степень деформации ( $\Delta$ ) при осадке катанки после различных режимов охлаждения водовоздушной смесью приведены ниже:

| $T_{cm}, ^\circ C$ | $\sigma_B, MPa$ | $\delta_5, \%$ | $\psi, \%$ | $\Delta, \%$ |
|--------------------|-----------------|----------------|------------|--------------|
| 920                | $364 \pm 23$    | $44 \pm 5$     | $80 \pm 5$ | $\geq 66$    |
| 840                | $372 \pm 20$    | $41 \pm 5$     | $76 \pm 4$ | $\geq 66$    |
| 760                | $404 \pm 28$    | $37 \pm 4$     | $71 \pm 4$ | 50 – 66      |

Неоднородность структурного состояния по длине бунта приводит к нестабильности механических свойств. Это связано с тем, что при охлаждении после смотки катанки на воздухе в сечении бунта возникает градиент температур, направленный от центра к поверхности. Это изменяет термодинамические условия процесса окисления. Распределение временного сопротивления и относительного сужения по длине бунта катанки в зависимости от режимов ускоренного охлаждения приведено на рис. 1. Видно, что при снижении  $T_{cm}$  с 920 до 840 и 760 °C разброс значений временного сопротивления по длине возрастает с 20 – 30 до 50 – 70 и 80 – 90 МПа, а относительного сужения с 7 – 8 до 11 – 13 и 15 – 16 % соответственно.

Установлено изменение механических свойств по сечению катанки. Ранее подобные зависимости для сталей других марок отмечались в работе [7]. Видно (рис. 2), что при  $T_{cm} = 920$  °C микротвердость по сече-

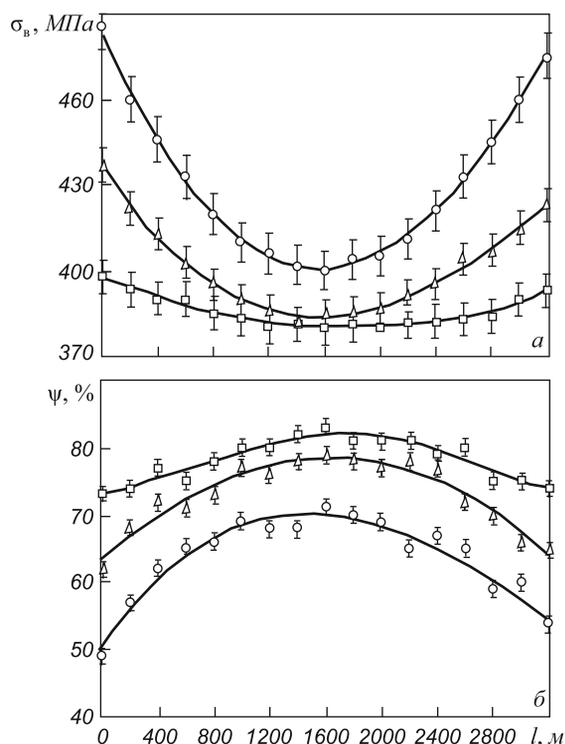


Рис. 1. Распределение по длине ( $l$ ) бунта катанки временного сопротивления ( $a$ ) и относительного сужения ( $b$ ) при различной  $T_{cm}$ :  $\circ$  – 760 °C;  $\Delta$  – 840 °C;  $\square$  – 920 °C

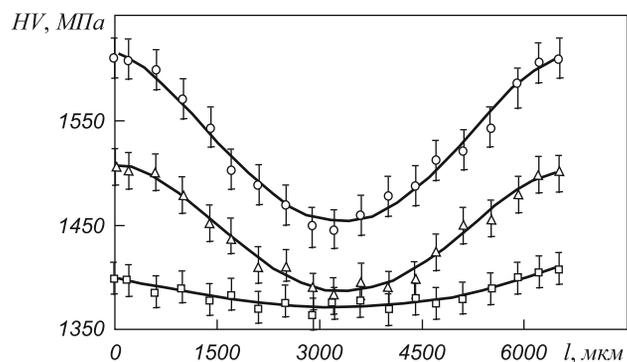


Рис. 2. Распределение микротвердости по сечению стержня катанки (без удаления окалины) при различной  $T_{cm}$ :  $\circ$  – 760 °C;  $\Delta$  – 840 °C;  $\square$  – 920 °C

нию распределяется относительно равномерно. При снижении температуры смотки бунтов до 840 и 760 °C увеличивается микротвердость поверхности катанки на 100 и 210 МПа, а разброс по сечению до 100 – 110 и 140 – 150 МПа соответственно.

Исследовано влияние способа удаления прокатной окалины на прочностные и пластические свойства катанки. Результаты изменения механических свойств катанки, ускоренно охлажденной в линии прокатного стана до 840 °C, после удаления окалины приведены ниже:

| Состояние поверхности        | $\sigma_B, MPa$ | $\psi, \%$ |
|------------------------------|-----------------|------------|
| Исходное состояние           | 372             | 75         |
| После травления              | 370             | 65         |
| После механического удаления | 363             | 67         |

Известно, что травление бунтов в растворе соляной кислоты сопровождается диффузионным насыщением стали водородом и охрупчиванием поверхностных слоев катанки [5]. Однако насыщение поверхностного слоя водородом приводит к снижению пластичности при холодной осадке: степень деформации катанки без разрушения поверхностной сплошности уменьшается на 18 %.

После удаления окалины в машине WCM-05 прочностные свойства катанки также не меняются, а пластические незначительно повышаются. Образующиеся дефекты поверхности в виде значительной шероховатости не приводят к зарождению микротрещин и разрыву сплошности при испытании на осадку. Распределение микротвердости по сечению стержня катанки после удаления окалины приведено на рис. 3. Видно, что травление в растворе соляной кислоты практически не изменяет микротвердость по сравнению с исходным состоянием.

При механическом удалении окалины на 180 – 200 МПа повышается микротвердость на поверхности и незначительно (на 10 – 20 МПа) снижается микротвердость в центре сечения, увеличивается неравномерность ее распределения. Это связано с неоднородностью схе-

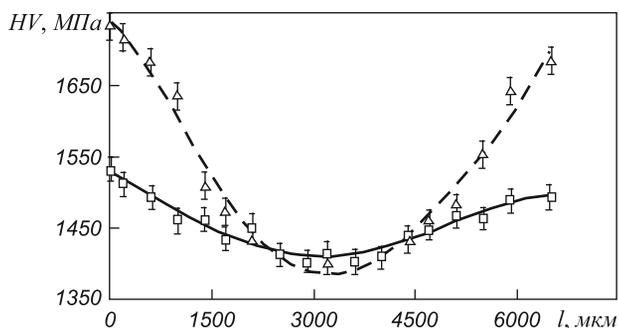


Рис. 3. Распределение микротвердости по сечению катанки ( $T_{см} = 840\text{ }^{\circ}\text{C}$ ) при кислотном (—) и механическом (---) удалении окалины

мы напряженно-деформированного состояния, возникающей в сечении катанки после удаления прокатной окалины при обработке в машине WCM-05. При прохождении через окалиноломатель катанка подвергается знакопеременному изгибу, приводящему к разупрочнению всего сечения.

**Выводы.** Кислотный и механический способы удаления окалины незначительно влияют на прочностные и пластические свойства проволоки. Учитывая, что негативной стороной кислотного способа удаления окалины является его вредное воздействие на экологию

из-за больших объемов отработанных травильных растворов, можно рекомендовать механический способ удаления окалины для внедрения в производство металлургических предприятий.

#### БИБЛИОГРАФИЧЕСКИЙ СПИСОК

1. Иводитов А.Н., Горбанев А.А. Разработка и освоение технологии производства высококачественной катанки. – М.: Металлургия, 1989. – 254 с.
2. Кутяйкин В.Г. Метрологические и структурно-физические аспекты деформирования сталей. – М.: АСМС, 2007. – 484 с.
3. Бескислотная технология производства проволоки из малоуглеродистых сталей / Л.М. Полторацкий, О.Ю. Ефимов, В.Я. Чинокалов и др. – Новокузнецк: изд. СибГИУ, 2008. – 174 с.
4. Целлермаер В.Я., Громов В.Е., Закиров Д.М. и др. // Изв. вуз. Физика. 1996. № 3. С. 97 – 108.
5. Базайкин В.И., Лебошкин Б.М., Громов В.Е. Анализ конечного формоизменения и напряжений в операциях обработки металлов давлением. – М.: Недра ком., 2000. – 190 с.
6. Лебошкин Б.М., Целлермаер В.Я., Громов В.Е. // Изв. вуз. Черная металлургия. 2001. № 2. С. 34 – 38.
7. Формирование и эволюция структурно-фазовых состояний и свойств сталей в современных технологиях обработки давлением / А.Б. Юрьев, В.Е. Громов, Б.М. Лебошкин и др. – Новосибирск: Наука, 2003. – 347 с.

© 2014 г. Д.А. Косинов, С.А. Баранникова, Б.М. Лебошкин, В.Я. Чинокалов, С.В. Коновалов  
Поступила 14 сентября 2012 г.