

ния износостойкости стальных изделий / Я.А. Чейлях, В.В. Чигарев // «Стратегия качества в промышленности и образовании»: VI Международ. Конф. 4-11 июня 2010 г., г. Варна, Болгария, Материалы в 4-х томах, Т.1 (I), Днепропетровск, Варна, 2010. – С.538-541.

Рецензент: В.Г. Ефременко  
д-р тех. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 28.03.2011

УДК 621.785: 669.14.018.25

Иващенко В.Ю.<sup>1</sup>, Чейлях А.П.<sup>2</sup>

### ИСПОЛЬЗОВАНИЕ ТЕРМОЦИКЛИРОВАНИЯ ДЛЯ ОБРАБОТКИ ШТАМПОВ

*В статье рассмотрено влияние ТЦО на микроструктуру, механические и эксплуатационные свойства штамповых сталей 5ХНМ, 5Х2НМФ, 5ХЗВЗМСФ. Предложены оптимизированные параметры термоциклирования.*

**Ключевые слова:** термоциклическая обработка, штамп, разгаростойкость, износостойкость.

*Иващенко В.Ю., Чейлях А.П., Використання термоциклування для обробки штампів. В статті розглянуто вплив ТЦО на микроструктуру, механічні і експлуатаційні властивості штампових сталей 5ХНМ, 5Х2НМФ, 5ХЗВЗМСФ. Запропоновані оптимізовані параметри термоциклування.*

**Ключові слова:** термоциклічна обробка, штамп, розгаростійкість, зносостійкість.

*V.Yu. Ivashenko, A.P. Cheylyah. Use of thermocycling for treatment of stamps. In the article is considered influencing thermocyclic treatment on microstructure, mechanical and operating properties of stamp's chrome-nickel steels. Optimum parameters of thermocycling are offered.*

**Keywords:** thermo cyclic treatment, stamp, hot crack firmness, wearresistance.

**Постановка проблемы.** Стали для штампов горячего деформирования работают в условиях циклически повторяющихся термо-силовых нагружений, что приводит к развитию трещин разгара. В ходе изучения проблемы было выдвинуто предположение, что замена типовой обработки (закалки и отпуска) на ТЦО позволит выработать у обработанных сталей термо-силовую выносливость, а следовательно, повысить рабочие характеристики штампов.

**Анализ последних исследований и публикаций.** Термоциклическая обработка (ТЦО) применяется в производстве весьма ограниченно, несмотря на то, что она является одним из эффективнейших способов, комплексно повышающих свойства сплавов [1]. Принято считать, что ТЦО эффективно действует на структуру в случаях, когда применяется достаточно большое количество циклов (6..8) или ускоренный нагрев, что с одной стороны - сильно увеличивает время обработки, с другой - увеличивает риск растрескивания от термических напряжений.

Как отмечает Гурьев А.М. [2], выбор режимов ТЦО до сих пор ведется эмпирическим путем. Отсутствие обоснованных представлений о механизме формирования комплекса оптимальных свойств в процессе ТЦО создало условия нерационального выбора и неэффективного использования потенциальных возможностей перспективного метода упрочнения сталей и сплавов. Противоречивое понимание взаимного влияния различных параметров термоциклирования (температура в цикле, скорость нагрева и охлаждения, количество термоциклов и др.) создало предпосылки для применения широкого спектра способов ТЦО, отличающихся не

<sup>1</sup> канд. техн. наук, ст. преподаватель, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

<sup>2</sup> д-р техн. наук, профессор, ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет», г. Мариуполь

только принципом воздействия на структуру, но и самое главное, различающихся до 20...50 раз энергозатратами для получения необходимого результата.

**Цель статьи** – разработка новых режимов ТЦО для штампового инструмента из сталей 5ХНМ, 5Х2НМФ, 5Х3ВЗМСФ, повышающих механические свойства и способствующих предотвращению разрушения рабочих поверхностей инструмента. Изучение возможности совмещения термоциклирования с другими типами обработок (например, закалкой и отпуском) с целью сокращения общей продолжительности режима.

**Изложение основного материала.** Проблема повышения качества, надёжности и долговечности инструмента для горячего деформирования металла актуальна в связи с совершенствованием конструкции кузнечно-прессового оборудования с целью необходимости достижения больших усилий обжатия и скоростей деформации. Приоритетной задачей металловедения на современном этапе является разработка новых высокоэффективных режимов упрочнения, позволяющих повысить уровень физико-механических и эксплуатационных свойств инструмента. Решение этой задачи может быть достигнуто путем поиска новых нестандартных сочетаний схем циклирования и параметров ТЦО, которые позволили бы создавать в металле управляемые структурные состояния.

В качестве схемы опытного режима предлагается использовать 2-3 цикла ТЦО с постоянными верхними температурами в циклах ( $T_{max}$ ), изотермической выдержкой при  $T_{max}$ , охлаждением между циклами на воздухе до 300...450 °С и охлаждением в масле с последнего нагрева, затем – отпуск (рис.1). Температура отпуска для достижения требуемой твердости в случае каждого режима подбиралась опытным путем.

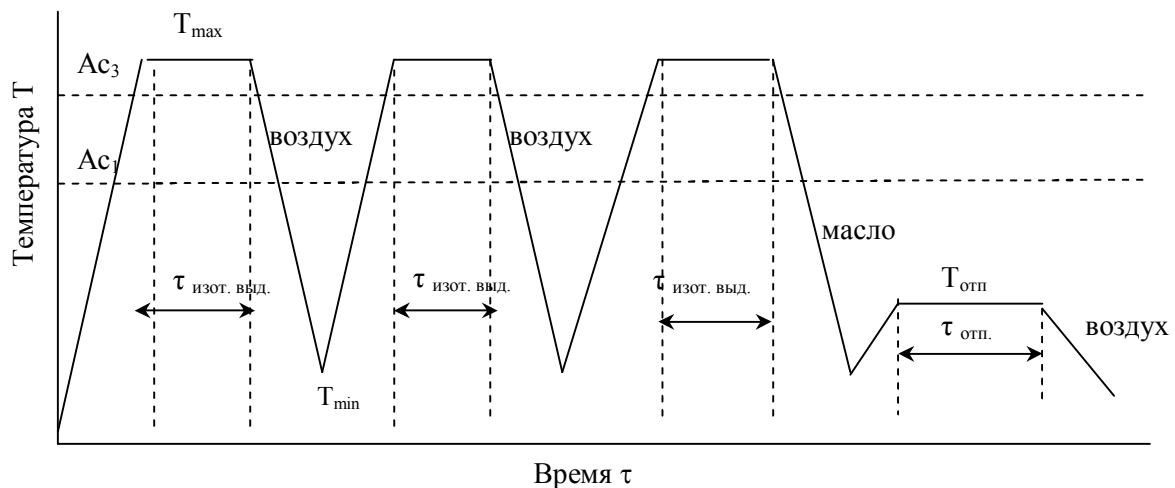


Рис. 1 - Схема режима ТЦО штамповых сталей с троекратным нагревом ( $T_{max}$  в разных режимах для разных сталей составляла 790, 840, 970, 1050 °С)

Для исследования использовались стандартные методики испытания механических свойств и исследования микроструктуры.

Для испытаний горячей износостойкости применялась машина МИ-1М, используемая для проведения испытаний при трении скольжения с частотой вращения ролика 200 мин<sup>-1</sup>. При испытании в условиях трения скольжения испытываемый неподвижный образец разогревался за время изнашивания (3 мин) до 300...350 °С. Относительную износостойкость определяли по соотношению потерь массы эталона и образца, прошедшего опытный режим. В качестве эталона был принят образец из стали 5ХНМ, после типовой закалки и отпуска.

Испытания разгаростойкости проводились на сужающихся в сечении образцах, нагрев которых в зажимном устройстве осуществлялся пропусканием электрического тока ( $U=380$  В), охлаждение выполнялось сжатым воздухом. Интервал изменения температур от 20 до 620...640 °С. Равенство в напряженном состоянии выдерживалось благодаря соблюдению точности в размерах образцов и в расстоянии между лапками зажимного устройства. Разгаростойкость определялась по числу термосмен ( $m$ ), при котором возникала первая трещина, образование которой сопровождается характерным звуком.

В результате металлографических исследований установлено, что ТЦО благотворно влияет на структуру штамповых сталей, по сравнению с типовой термообработкой способствует

растворению карбидов, а при последующем отпуске уменьшает расстояния между частицами карбидов, увеличивает плотность их распределения. То есть циклирование по предложенным схемам измельчает структуру и делает ее более однородной, что повышает комплекс механических свойств стали. Так, для 5ХНМ после термоциклирования и отпуска на заданную твердость: КСУ увеличивается в 1,4..1,6 раза, прочностные характеристики на 5..8 %, относительного сужения в 2 и более раз.

В целом с увеличением числа циклов от 1 до 3 в режиме ТЦО наблюдается одновременное повышение прочностных характеристик, относительного сужения и ударной вязкости при сохранении относительного удлинения примерно на одном уровне. Ударная вязкость после ТЦО и отпуска существенно повышается с увеличением  $T_{max}$ . Также для всех испытываемых в работе штамповых сталей 5ХНМ, 5Х2НМФ и 5Х3В3МФС после ТЦО характерно повышение стойкости против отпуска мартенсита, полученного при закалке в масло с последнего цикла ТЦО.

Увеличение количества циклов в режиме ТЦО способствует более полному растворению карбидной фазы, расположенной по границам зерен, получению обогащенного аустенита (для 5Х2НМФ при  $T_{max}=970$  °С; для 5Х3В3МФС при  $T_{max}=1050$  °С) и более однородной структуры с сохранением мелкого зерна (рис. 2). Для таких структур характерен рост показателей прочности ( $\sigma_{0,2}$  – на 80 МПа,  $\sigma_B$  – на 100 МПа) при одновременном увеличении относительного сужения – в 1,5 раза и КСУ в 1,3..1,5 раза после ТЦО и отпуска, что значительно превосходит свойства сталей после типовой термообработки.

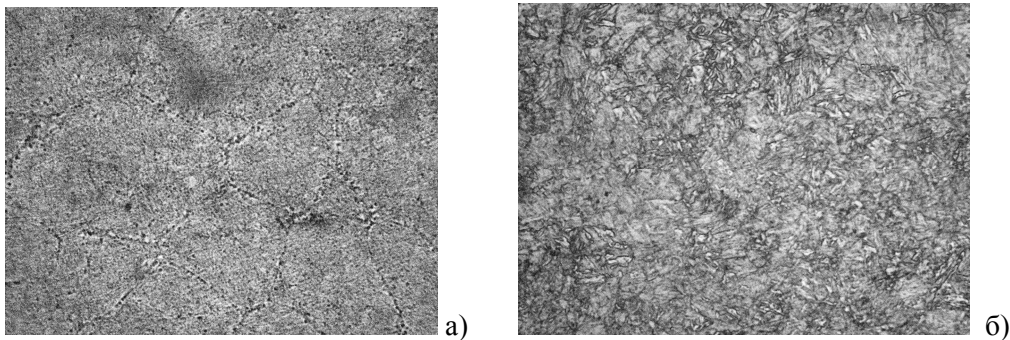


Рис. 2 - Изменение микроструктуры стали 5Х2НМФ при ТЦО с  $T_{max} = 970$  °С (отпуск при 590..600 °С, 1,5 часа) (X 600): а) 1 цикл, б) 3 цикла

Относительная износостойкость ( $\epsilon$ ) стали 5ХНМ изменяется от  $T_{max}$ , количества циклов и  $T_{отп}$  немонотонно:  $\epsilon$  после ТЦО с  $T_{max}$  850 и 870 °С существенно выше, чем после ТЦО с  $T_{max}=790$  °С и после типовых режимов закалки и отпуска. С увеличением температуры последующего отпуска  $\epsilon$  снижается. После оптимального режима ТЦО (3 цикла с  $T_{max}=850$  °С, охлаждение в масло, отпуск 300 °С) получено максимальное повышение износостойкости - на 22 %.

Также установлено, что ТЦО, предваряющая закалочное охлаждение, повышает прирост вторичной твердости при отпуске даже в сталях, традиционно считавшихся не склонными ко вторичному твердению [3]. Эффект повышения твердости возрастает с увеличением  $T_{max}$  в цикле и зависит от числа циклов (рис. 3). Этот вопрос для сталей с карбидным упрочнением ранее не был изучен.

Стимулирование эффекта вторичного твердения вероятнее всего можно объяснить тем, что ТЦО вызывает формирование развитой дислокационной субструктуры, перераспределение легирующих элементов и повышение устойчивости переохлажденного аустенита. Дислокационные скопления

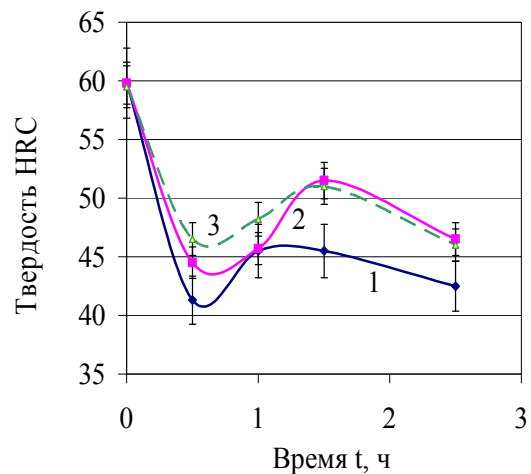


Рис. 3 - Влияние числа циклов ТЦО с  $T_{max}=970$  °С и времени последующего отпуска при 590 °С на твердость стали 5Х2НМФ: 1- один цикл, 2 - два цикла, 3 - три цикла

и повышение уровня микронапряжений становятся стимулирующими факторами для зарождения частиц карбидов и распада аустенита с образованием мартенсита при последующем старении.

Получены уравнения, связывающие показатель разгаростойкости ( $m$ ) и механические свойства штамповых сталей, адекватность которых подтверждается проверкой по критерию Фишера:

для стали 5ХНМ:  $m = 5,38 \cdot KCU + 3,83 \cdot \psi + 0,82 \cdot \sigma_B - 0,43 \cdot \sigma_{0,2} - 5,95 \cdot \delta - 192,1$ ;

для стали 5Х2НМФ:  $m = 8,27 \cdot KCU + 9,98 \cdot \psi + 0,53 \cdot \sigma_B + 0,14 \cdot \delta - 0,36 \cdot \sigma_{0,2} - 176,5$ ;

для стали 5Х3ВЗМФС:  $m = 11,36 \cdot KCU + 13,63 \cdot \psi + 0,63 \cdot \sigma_B - 0,68 \cdot \sigma_{0,2} - 2,15 \cdot \delta + 423,80$ .

Знаки уравнений при одноименных свойствах в большинстве случаев совпадают, что свидетельствует о сходном влиянии механических свойств на показатель разгаростойкости.

Между разгаростойкостью и показателями ударной вязкости и относительного сужения наблюдается положительная корреляционная взаимосвязь: чем больше энергии потребуется на динамическое и статическое разрушение, тем дольше изделие будет работать без образования трещин. Данные по повышению разгаростойкости после ТЦО с оптимальными параметрами приведены в таблице.

Таблица  
Увеличение показателя разгаростойкости образцов из штамповых сталей после ТЦО

Марка стали	Режим ТЦО	Количество термосмен ( $m$ )		Увеличение $m$ , раз
		типовой режим	ТЦО	
5ХНМ	$T_{max}=850$ °С, 3 цикла, отпуск $470$ °С, 1 ч	650..785	980..1020	1,39
5Х2НМФ	$T_{max}=970$ °С, 2 цикла, отпуск $590..600$ °С, 1,5 ч	825..910	1235..1270	1,44
5Х3ВЗМФС	$T_{max}=1050$ °С, 2 цикла, отпуск $650..660$ °С, 1,5 ч	730	1350..1385	1,88

Исследование состава окислов, образовавшихся на дне и стенках гравюры штампа показало, что после ТЦО уменьшается доля оксида  $FeO$  и увеличивается доля  $Fe_2O_3$ , который имеет более плотное строение и задерживает поступление кислорода к более глубоким слоям металла, надежно сцеплен с подслоем (в отличие от  $FeO$ ), является более прочным, что также способствует повышению эксплуатационной стойкости.

Проведенные опытно-промышленные испытания вкладышей штампов из стали 5ХНМ показали, что режим ТЦО, включающий 2 цикла с нагревом до  $840$  °С, охлаждение с последнего нагрева в масле, отпуск  $370$  °С повышает стойкость инструмента в 1,7 раза по сравнению с типовым режимом термообработки. Опробованный режим ТЦО рекомендован для использования в условиях ОАО «МЗТМ Азовмаш».

Ожидаемый экономический эффект при внедрении разработанного режима ТЦО валков составил - 8 гривен на тонну. Ожидаемый экономический эффект при эксплуатации штампов, обработанных по предлагаемому режиму ТЦО, составил - 88000 гривен в год.

Дальнейшие исследования могут быть направлены на разработку и оптимизацию режимов термоциклирования штамповых сталей других систем легирования.

### Выводы

1. Систематические исследования по влиянию параметров ТЦО на структуру и свойства штамповых сталей показали, что с помощью ТЦО, предшествующей закалочному охлаждению и отпуску на требуемую твердость, можно увеличить износостойкость на 11..22 % за счет повышения стойкости стали против отпуска, а разгаростойкость – в 1,4 и более раз за счет повышения структурной однородности.
2. Обнаружен эффект стимулирования дисперсионного твердения с помощью ТЦО, позволяющий ощутимо увеличить вторичную твердость при отпуске сталей 5Х2НМФ и 5Х3ВЗМФС. Величина вторичной твердости зависит от числа циклов и  $T_{max}$  предшествующей ТЦО.

### Список использованных источников:

1. Федюкин В.К. Метод термоциклической обработки металлов / В.К. Федюкин // Л.: Издательство ЛГУ, 1984. – 192 с.

2. Гурьев А.М. Исследование процессов диффузии в стали при циклическом тепловом воздействии / А.М. Гурьев [и др.] // Барнаул: Ползуновский вестник, 2003.– № 1.– С. 45 – 49.  
3. О влиянии ТЦО на эффект вторичного твердения в штамповых сталях / В.Ю. Иващенко // Захист металургійних машин від поломок: зб. наук. праць - 2008. - Вип. № 10. - С. 274 - 278.

Рецензент: Л.С. Малинов,  
д-р тех. наук, проф., ГВУЗ «ПГТУ»

Статья поступила 09.03.2011

УДК 669.14:669.788.001.5

Візенков Д.В.<sup>1</sup>, Ткаченко І.Ф.<sup>2</sup>

### **КІЛЬКІСНА ОЦІНКА ЕФЕКТИВНОСТІ ТЕРМОМЕХАНІЧНОЇ ПРОКАТКИ В ЗАБЕЗПЕЧЕННІ КОМПЛЕКСУ МЕХАНІЧНИХ ВЛАСТИВОСТЕЙ ШТРИПСОВИХ СТАЛЕЙ**

*Виконано кількісне оцінювання ефективності термомеханічної прокатки (ТМП) в забезпеченні комплексу механічних властивостей штрипсової сталі Х70. На підставі результатів статистичного аналізу якості прокату, розраховано раніше запропоновані критерії якості, значення яких засвідчили невідповідність вимогам діючого стандарту комплексу механічних властивостей більше 5 % виробленої продукції. Наголошено на необхідності вдосконалення існуючих технологій ТМП та хімічного складу штрипсових сталей з метою забезпечення їх стабільно високої якості.*

**Ключові слова:** штрипсові сталі, термомеханічна прокатка, комплекс механічних властивостей, статистична стабільність.

*Визенков Д.В., Ткаченко И.Ф. Количественная оценка эффективности термомеханической прокатки в обеспечении комплекса механических свойств штрипсовых сталей. Выполнена количественная оценка эффективности термомеханической прокатки (ТМП) в обеспечении комплекса механических свойств штрипсовой стали Х70. На основании результатов статистического анализа качества проката рассчитаны ранее предложенные критерии качества, значения которых показали несоответствие требованиям действующего стандарта комплекса механических свойств более 5 % выпускаемой продукции. Подчеркнута необходимость совершенствования существующих технологии ТМП и химсоставов штрипсовых сталей с целью обеспечения их стабильно высокого качества.*

**Ключевые слова:** штрипсовые стали, термомеханическая прокатка, комплекс механических свойств, статистическая стабильность.

*D.V. Visenkov, I.F. Tkachenko. A quantitative effectiveness evaluation for the thermomechanical rolling in producing the high quality tube steels. A quantitative estimation of effectiveness of the thermomechanical rolling (TMR) in providing the high combination of the mechanical properties for tube steels was made. Based on the rolled product standard quality control results, the early proposed specific quality criteria were calculated. Inconsistence with the standard's quality requirements was shown for more than 5 % of rolled product manufactured. It is emphasized on necessity to improve the existing TMR-technology and tube steels chemical compositions to obtain their high stable quality.*

**Keywords:** tube steels, thermomechanical rolling, combination of the mechanical properties, statistical stability.

<sup>1</sup> аспірант, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь

<sup>2</sup> д-р техн. наук, професор, ДВНЗ «Приазовський державний технічний університет», м. Маріуполь