

УДК669.056

**П. А. Пачколина**

УрФУ им. первого Президента России Б. Н. Ельцина, г. Екатеринбург

*e-burg96\_polina@mail.ru*

Научный руководитель – проф., д-р техн. наук *М. А. Гервасьев*

## **КОМПЬЮТЕРНОЕ МОДЕЛИРОВАНИЕ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ ВАЛКОВ ДЛЯ СТАНОВ ГОРЯЧЕЙ ПРОКАТКИ ИЗ СТАЛИ 60ХН**

### **АННОТАЦИЯ**

Приведен краткий обзор возможностей программного обеспечения Thermo-Calc. Выполнен расчет равновесного фазового состава низкоуглеродистой валковой стали для горячей прокатки. По результатам расчета приведено сравнение с экспериментальными данными.

*Ключевые слова:* программное обеспечение, горячая прокатка, фазовый анализ

### **ABSTRACT**

The paper shows a brief overview of the Thermo-Calc software opportunities. It was performed the calculation of the equilibrium phase composition of the low-carbon steel for hot rolling. The calculation results were compared with experimental data.

*Keywords:* software, hot rolling, phase analysis

Цель работы заключается в разработке методов компьютерного моделирования для прогнозирования деформации, остаточных напряжений и свойств материала, таких как микроструктура, во время и после термической обработки.

Использование производственного моделирования позволит сократить время на выбор режимов термической обработки для заданного материала, свести к минимуму необходимость проведения испытаний, тем самым оптимизировать расходы на опытные образцы, не потеряв при этом в качестве продукции.

В настоящее время рынок программного обеспечения готов предложить исследователям целый ряд программ, готовых к применению в конкретной научной области, в частности для решения задач в области материаловедения.

К таким программным комплексам относится Thermo-Calc, основным назначением которого является численное моделирование и расчет термодинамических свойств материалов. Главным преимуществом

программного обеспечения Thermo-Calc является возможность проведения не только стандартных расчетов состояния равновесия и термодинамических величин с использованием термодинамических баз данных, но и выполнение специальных видов расчета. Так, например, программный модуль DICTRA (Diffusion Simulation Software) позволяет проводить моделирование диффузии в многокомпонентных сплавах [1].

В основе программного комплекса Thermo-Calc лежит модель классической термодинамики, которая имеет дело с системами, находящимися в состоянии равновесия, то есть в состоянии стабильном относительно внутренних флуктуаций и числа параметров, таких как температура и состав. Параметры, определяющие свойства материала в состоянии равновесия, называются переменными состояния. Термодинамика предусматривает численную зависимость между переменными состояния, что позволяет производить расчет любых термодинамических параметров в состоянии равновесия [2].

Для проведения достоверных термодинамических расчетов в возможности Thermo-Calc заложено большое количество проверенных баз данных (SGTE, CCT, CAMPADA, NPL, NIST, MIT, TCFE4, ThermoTech и др.), которые используют различные термодинамические модели для каждой фазы в составе гетерогенной системы [3].

В качестве исследуемого материала была выбрана низколегированная валковая сталь типа 60ХН. Химический состав материала приведен в табл. 1 [4].

Таблица 1

Химический состав стали 60ХН, масс. %\*

Сталь	Химический элемент						
	C	Si	Mn	Ni	S	P	Cr
60 ХН	0,55–0,65	0,17–0,37	0,5–0,8	1–1,5	< 0,04	< 0,04	0,6–0,9

\*ост. Fe

Термическая обработка валков, как правило, является окончательной термообработкой послековки и состоит из нормализации и длительной выдержки при температуре высокого отпуска. Необходимость нормализации вызвана тем, что в процессековки температура различных частей поковки может изменяться в широких пределах. Степень деформации также широко изменяется по сечению заготовки. Цель нормализации заключается в снижении внутренних напряжений и измельчении зерна, что приводит к повышению механических свойств.

Режим охлаждения валков горячей прокатки из стали марки 60ХН, применяемый в ПАО «Уралмашзавод», приведен на рис. 1.

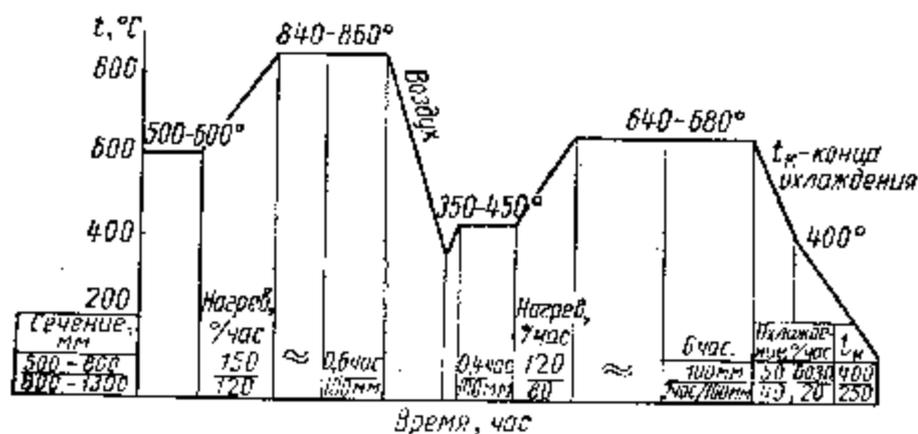


Рис. 1. Режим нормализации с отпуском поковок валков горячей прокатки из стали 60ХН

Программа Thermo-Calc позволяет производить анализ фазового состава, его зависимость от температуры и содержания легирующих элементов. По результатам расчетов установлено, что при термической обработке стали 60ХН ферритно-перлитная структура превращается при нагреве в аустенитную, которая при последующем медленном охлаждении распадается на феррит и перлит, и, таким образом, происходит полная перекристаллизация. Теоретически определена последовательность фазовых превращений, границы фазовых областей и температуры фазовых превращений.

Верификация теоретических данных показала, что в целом фазовые области, критические точки и последовательность фазовых превращений близки к полученным результатам моделирования в программе Thermo-Calc. Компьютерное моделирование открывает новые возможности в материаловедении и металлургическом производстве и позволяет за короткий срок получить данные о свойствах различных материалов при заданных режимах термической обработки без осуществления физических экспериментов.

## ЛИТЕРАТУРА

1. Thermo-Calc Software. Software System. Thermodynamic Framework and Data. Stockholm, Sweden. 2006.
2. Thermo-Calc Software. Thermocalc State Variables and State Variables. Stockholm, Sweden. 2006.
3. Thermo-Calc Software. Database Guide. For Uses in TCC / TCW / DICTRA. Stockholm, Sweden. 2006.
4. Зубченко А. С., Колосков М. М., Каширский Ю. В. и др. Марочник сталей и сплавов. М. : Машиностроение, 2003. 408 с.