МЕТАЛЛУРГИЯ

УДК 669.
DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-66-69

Поступила 21.01.2019
Received 21.01.2019

ФАКТОРЫ, ОКАЗЫВАЮЩИЕ ВЛИЯНИЕ НА ЗАКАЛИВАЕМОСТЬ СТАЛЕЙ НА ПРИМЕРЕ 42CrMoS4. СХОДИМОСТЬ РЕЗУЛЬТАТОВ РАСЧЕТНОГО И ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНОГО МЕТОДОВ

С. В. ЗАХОРЕВИЧ, Н. А. ГЛАЗУНОВА, ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК», г. Жлобин, Гомельская обл., Беларусь, ул. Промышленная 37. E-mail: omp.czl@bmz.gomel.by

В данной статье обозначены факторы, оказывающие влияние на закаливаемость сталей в условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК». Предоставлены результаты исследования зависимости закаливаемости марки стали 42CrMoS4 от конструктивной особенности оборудования и технологического процесса, направленного на обеспечение требований к конечной продукции. Приведены мероприятия, минимизирующие разброс значений вследствие пробоподготовки испытания на прокаливаемость в промышленных условиях. При прогнозировании полосы прокаливаемости необходимо применять пакет прикладных программ, учитывающий влияние факторов в условиях конкретного производителя стали.

Ключевые слова. *Закаливаемость, полоса прокаливаемости, марка стали 42CrMoS4, плавка, литая заготовка, продукция в прутках, машина непрерывного литья заготовок, колодец замедленного охлаждения, значение твердости, кованая заготовка, полосчатость, торцовая закалка, расчетный метод.*

Для цитирования. *Захоревич, С. В. Факторы, оказывающие влияние на закаливаемость сталей на примере 42CrMoS4. Сходимость результатов расчетного и экспериментального методов / С. В. Захоревич, Н. А. Глазунова // Литье и металлургия. 2019. № 1. С. 66–69. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-66-69.*

FACTORS INFLUENCING HARDENABILITY OF STEELS ON THE EXAMPLE OF GRADE 42CrMoS4. CONVERGENCE OF THE RESULTS OF CALCULATION AND EXPERIMENTAL METHODS

S. V. ZAKHAREVICH, N. A. HLAZUNOVA, OJSC «BSW – Management Company of Holding «BMC», Zhlobin city, Gomel region, Belarus, 37, Promyshlennaya str. E-mail: omp.czl@bmz.gomel.by

This article identifies factors influencing hardenability of steels in manufacturing conditions of OJSC « BSW – Management Company of Holding «BMC». The article contains results of a study on dependence of hardenability of steel grade 42CrMoS4 on design features of the equipment and the process aimed to ensure correspondence of the final product to the requirements. Measures that minimize spread of values due to preparation of samples for hardenability test in industrial conditions are presented. When predicting hardenability band, it is necessary implement a package of application programs that consider influence of factors existing in the conditions of a particular steel manufacturer.

Keywords. *Hardenability, hardenability band, steel grade 42CrMoS4, heat, concast billet, steel bars, continuous casting machines, slow-cooling well, hardness value, forged blank, banding, end quenching, calculation method.*

For citation. *Zakharevich S. V., Hlazunova N. A. Factors influencing hardenability of steels on the example of grade 42CrMoS4. Convergence of the results of calculation and experimental methods. Foundry production and metallurgy, 2019, no. 1, pp. 66–69. DOI: 10.21122/1683-6065-2019-1-66-69.*

Закаливаемость является важной характеристикой термически обрабатываемых сталей, определяющей максимальный размер сечения прокаливающегося насквозь изделия. Вместе с тем, именно закаливаемость характеризует однородность структуры стали, а также определенный уровень прочностных свойств в реальных деталях и, тем самым, их работоспособность и долговечность. В связи с этим производители компонентов машино- и автомобилестроения придают высокую значимость нормируемой полосе прокаливаемости.



а *б*

Рис. 1. Кованая заготовка для испытания на прокаливаемость (*а*); макроструктура горячекатаного прутка с наследственными от литой заготовки дендридной структурой (*r*, *R*) и зонами равноосных кристаллов (*1*, *2*) (*б*)

В условиях ОАО «БМЗ – управляющая компания холдинга «БМК» на закаливаемость сталей оказывают влияние следующие факторы: химический состав, скорость кристаллизации, неметаллические включения, дисперсность карбидной фазы, режимы горячей деформации. Такое множество первопричин связано со сложностью технологических процессов металлургических переделов.

Многие производители компонентов машино- и автомобилестроения предпочитают разрабатывать собственные спецификации к легированным конструкционным маркам сталей. Как правило, они содержат специфические требования к химическому составу и узкие пределы полосы прокаливаемости.

В связи с этим необходимо минимизировать отклонения от утвержденной технологии и строго контролировать условия производства. Также присутствуют составляющие, вызванные конструктивной особенностью оборудования или требованиями к конечной продукции.

Продукция в прутках марки стали 42CrMoS4 для достижения твердости в состоянии поставки согласно требованиям, предъявляемых фирмой-заказчиком для дальнейшей переработки, подвергается термической обработке (отжигу) в колодцах замедленного охлаждения. Анализ массива плавок с едиными требованиями в технических нормативных правовых актах (ТНПА) показал, что термическая обработка в колодцах замедленного охлаждения не оказывает влияния на результаты испытания на прокаливаемость.

Машина непрерывного литья заготовок классифицируется как машина криволинейного типа и имеет изгибающий радиус. В процессе кристаллизации литая заготовка в поперечном сечении имеет три зоны: корковую мелкозернистую зону, зону столбчатых дендритов и зону равноосных кристаллов. По зоне столбчатых дендритов можно определить грани большого и малого радиуса. Со стороны малого радиуса наблюдается более интенсивное охлаждение, зона столбчатых дендритов явно выражена и имеет большую протяженность, чем со стороны грани большого радиуса. После горячей деформации пруток наследует макроструктуру исходной литой заготовки.

Кованая заготовка с одного из концов отобранной пробы сохраняет форму и размеры горячекатаного прутка. От этих концов подготавливали макротемплеты, определяли места расположения и маркировали большие и малые грани изгибающих радиусов, что позволило провести в каждой из них измерение полосы прокаливаемости (рис. 1).

Все исследуемые образцы подвергали шлифовке в четырех плоскостях, соответствующих середине больших и малых граней. Анализ выполняли по результатам испытаний на прокаливаемость, полученных на различных плавках и сортаменте из стали марки 42CrMoS4. В целом полосы имеют сходимость, однако в первых точках значения твердости по шкале HRC достигали разности в 8 ед. При этом систематической зависимости от расположения площадки для замера твердости, соответствующей большим и малым граням, не установлено.

Одной из операций подготовки образцов для определения прокаливаемости является процесс ковки. В макроструктуре некоторых кованых проб выявлено наличие непроработанной структуры. На образцах

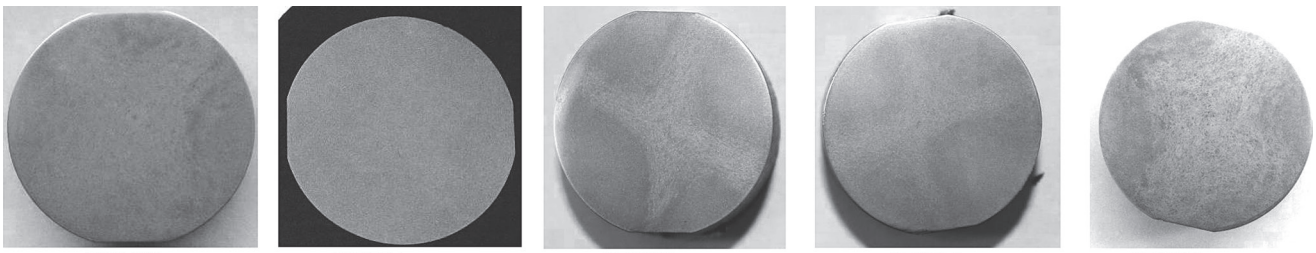


Рис. 2. Поперечные сечения образцов марки стали 42CrMoS4 с различной степенью проработки структуры после ковки

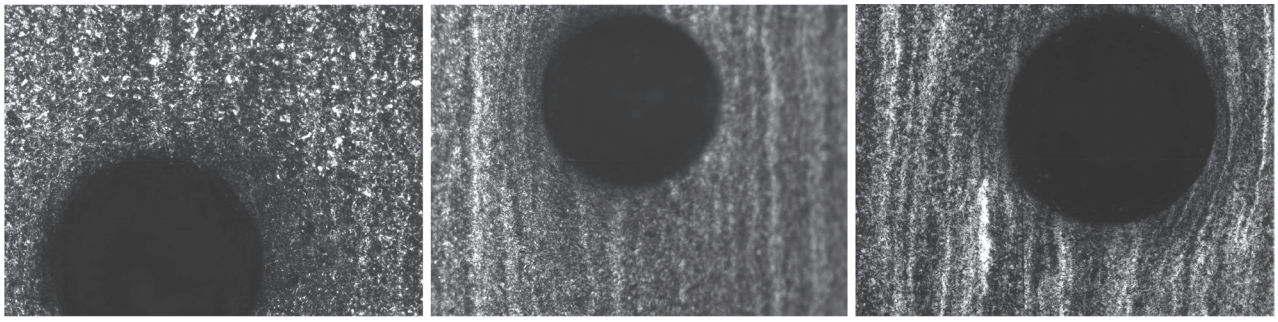


Рис. 3. Полосчатость в местах замеров твердости по методу Роквелла. ×50

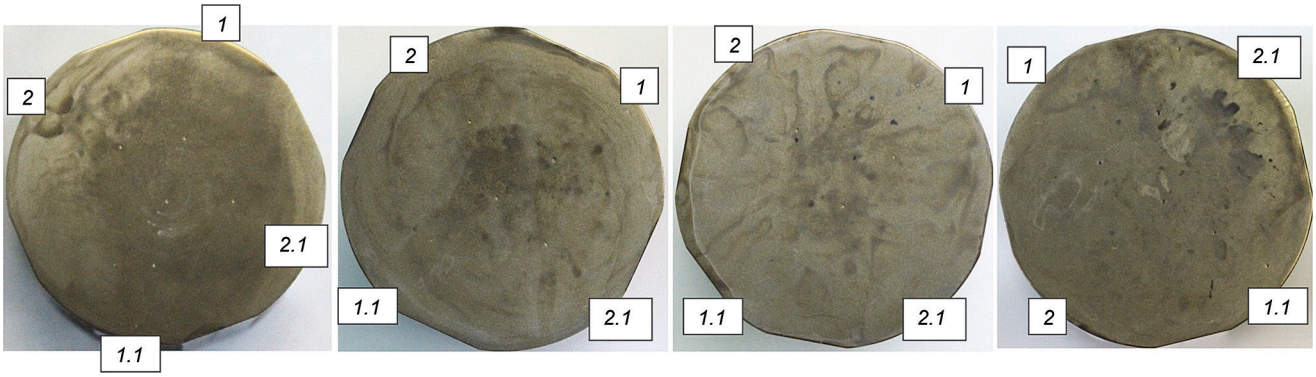


Рис. 4. Поперечное сечение образцов марки стали 42CrMoS4 с закаленного торца

марки стали 42CrMoS4 с едиными требованиями по полосе прокаливаемости исследовали влияние наличия непроработанной структуры как фактора, сказывающегося на результатах.

Наиболее показательные поперечные сечения образцов с различной степенью проработки структуры после ковки с удовлетворительными и неудовлетворительными результатами испытаний на прокаливаемость приведены на рис. 2. Как видно из рисунка, влияние процесса ковки на прокаливаемость не установлено.

В микроструктуре исследуемых образцов наблюдается явно выраженная структурная полосчатость (рис. 3). Химическая микронеоднородность подтверждена замерами микротвердости по методу Виккерса. Однако полосчатость характерна для проката из непрерывнолитого металла и наблюдается на образцах как с удовлетворительными, так и с неудовлетворительными результатами прокаливаемости.

Было проверено влияние на прокаливаемость такого фактора, как равномерность нагрева и охлаждения при торцовой закалке. При исследовании образцов с закаленного торца установлена неравномерность структуры по поперечному сечению (рис. 4). В двух взаимно перпендикулярных направлениях 1–1.1 и 2–2.1 провели измерение твердости по шкале HRC в пяти точках. Уменьшение твердости от центра к периферии закономерно, однако диаметрально в аналогичных точках получены значения твердости с разницей до 6 ед. Характер разброса значений твердости по поперечному сечению цилиндрического образца указывает на неравномерный нагрев или неравномерное охлаждение при закалке.

Для получения достоверных результатов необходимо обеспечить чистоту проведения испытания на прокаливаемость методом торцовой закалки в промышленных условиях. Для этого выполнен ряд мероприятий, направленных на минимизацию разброса значений из-за влияния процесса пробоподготовки:

- повторная проработка с персоналом методики проведения испытаний;
- регистрация данных термообработки (температура нормализации, аустенитизации, время выдержки);

• установка метки, сигнализирующей о достижении струей воды необходимой высоты;

• проведение сличительных испытаний между бригадами с горизонтальным и вертикальным расположением защитного стаканчика с образцом;

• построение контрольных карт для контроля за стабильностью измерения значения твердости по методу Роквелла.

Для оценки сходимости результатов полосы прокаливаемости, полученной расчетным методом и экспериментально, в таблице представлены две серии плавок с одинаковыми требованиями ТНПА. При дистанцировании от закаленного торца прослеживается планомерное уменьшение значений твердости эксперементального метода по отношению к теоретическому.

Полосы прокаливаемости, полученные расчетным методом и экспериментально

Номер плавки	Ø	Полоса прокаливаемости, мм														
		1,5	3	5	7	9	11	13	15	20	25	30	35	40	45	50
370582	100	58,0	57,0	57,0	55,5	54,0	52,0	50,5	46,5	46,0	42,5	40,0	38,5	38,5	38	36,5
Расчетная полоса		58,0	58,0	58,0	58,0	57,4	55,8	54,2	52,7	48,7	45,7	43,6	41,7	40,3	38,9	38,2
370583	90	59,0	58,5	57,5	57,0	56,0	55,0	52,5	50,5	45,5	42,5	39,5	39,0	38,0	37,5	37,0
Расчетная полоса		58,0	58,0	58,0	58,0	57,4	55,8	54,2	52,7	48,7	45,7	43,6	41,7	40,3	38,9	38,2
370584	90	58,0	57,5	57,0	55,0	52,5	52,5	51,0	49,0	43,0	39,0	38,0	36,5	36,0	35,5	34,5
Расчетная полоса		58,0	58,0	58,0	58,0	56,9	55,8	53,7	52,3	48,3	45,0	43,0	41,1	39,7	38,2	37,7
370585	90	58,0	58,0	57,5	57,5	57,5	57,0	55,0	51,0	48,0	45,0	42,5	39,0	38,0	37,5	37,0
Расчетная полоса		57,0	57,0	57,0	57,0	56,4	55,3	53,8	52,3	48,3	45,6	43,5	41,9	40,4	39,0	38,3
370655	140	56,4	56,3	55,5	55,1	54,6	54,0	53,9	52,8	48,8	43,9	40,0	37,5	36,4	35,3	34,1
Расчетная полоса		58,0	58,0	58,0	58,0	57,4	56,9	55,2	53,7	50,0	46,8	45,3	43,3	42,0	40,3	39,5
370657	125	58,0	58,0	56,5	55,5	55,5	53,5	52,5	49,5	44,5	41,0	39,0	37,5	36,5	35,5	35,0
Расчетная полоса		58,0	58,0	58,0	58,0	57,4	55,8	54,2	52,7	48,7	45,7	43,6	41,7	40,3	38,9	38,2
370658	120	57,5	56,5	56,5	56,0	55,5	55,5	550	53,5	49,5	43,0	40,0	39,0	38,0	35,5	34,5
Расчетная полоса		58,0	58,0	58,0	58,0	57,4	55,8	54,2	52,7	48,7	45,7	43,7	41,8	40,3	38,9	38,2
Требования		61	61	61	60	60	59	59	58	56	53	51	48	47	46	45
		56	56	55	54	52	48	46	44	41	39	38	36	36	35	34

Комплексное влияние факторов, связанных с технологическими процессами, зачастую не позволяет установить точной причины несоответствия прогнозируемой полосы прокаливаемости, полученной расчетным методом, и полосы, установленной экспериментальным путем. Это указывает на необходимость использования программы, учитывающей степень легированности стали, совместное влияние легирующих элементов, величину действительного зерна и др.

Таким образом, программы расчета прокаливаемости, разработанные для определенных групп сталей на основе регрессионного анализа экспериментальных данных многочисленных плавок, не всегда являются эффективными при расчете полосы прокаливаемости модифицированных или вновь разрабатываемых марок сталей. При использовании данных расчетных программ необходимо учитывать факторы, влияющие на закаливаемость в условиях конкретного производителя стали.

Выводы

1. Влияние операции отжига в колодцах замедленного охлаждения на результаты испытания на прокаливаемость не установлено.

2. Влияние места расположения (соответствующее большим или малым граням исходной непрерывнолитой заготовки) шлифованой поверхности для замеров твердости не установлено.

3. Влияние результатов испытания на прокаливаемость от наличия непроработанной структуры на образцах после ковки не установлено.

4. Влияние неравномерности торцового охлаждения образца после аустенитизации ввиду специфики методики проведения испытания установлено.

5. Применяя пакет прикладных программ при прогнозировании полосы прокаливаемости, необходимо учитывать факторы, влияющие на закаливаемость в условиях конкретного производителя стали. Таким образом, существует необходимость корректировки расчетной модели регрессионного анализа с учетом значений твердости, полученных экспериментальным путем.