

стали 55Х4СМФ / В.К. Заблоцкий, И.Ю. Мелещенко. – Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2008. – 5/1 (35) – С. 47 – 51.

4. Заблоцкий, В.К. Особенности структурно-фазовых превращений в стали 45ХЗГНМФ при непрерывном охлаждении и в изотермических условиях / В.К. Заблоцкий, В.И. Шимко. – Строительство, Материаловедение, Машиностроение: – Сб. науч. трудов. Выпуск 58, Днепрпетровск, ПГАСиА, 2011г – 292-294 с.

*У роботі приведені результати дослідження впливу режимів термообробки на зносостійкість сталей 55Г, 65Г і 75Г. Показано, що за рахунок раціональних режимів термообробки підвищуються службові властивості сталей*

*Ключові слова: аустеніт, динамічне деформаційне мартенситне перетворення, ізотермічна витримка*

*В работе приведены результаты исследований влияния режимов термообработки на износостойкость сталей 55Г, 65Г и 75Г. Установлено повышение служебных свойств сталей при выборе рациональных режимов термической обработки*

*Ключевые слова: аустенит, динамическое деформационное мартенситное превращение, изотермическая выдержка*

*The results of influence of different hit treatment on wear resistance of steels 55G, 65G and 75G are shown in this research paper. It is proved that due to efficient hit treatment it may be obtained good combination of service properties*

*Keywords: austenite, dynamical deformative martensite transformation, soaking*

В промышленности для изготовления деталей, работающих в условиях интенсивного абразивного и ударно-абразивного изнашивания, зачастую применяют низколегированные стали с повышенным содержанием углерода, однако в ряде случаев стойкость деталей, изготовленных из них, недостаточна, что вызывает дополнительные затраты на их частую замену и ремонт оборудования [1, 2].

В данной работе объектом исследования служили широко применяемые стали 55Г, 65Г и 75Г, химический состав которых приведен в табл. 1.

УДК 669.15'.74-194:621.785.52

## ПОВЫШЕНИЕ ИЗНОСОСТОЙКОСТИ СТАЛЕЙ ЗА СЧЕТ ПОЛУЧЕНИЯ МЕТАСТАБИЛЬНОЙ СТРУКТУРЫ, САМОТРАНСФОРМИРУЮЩЕЙСЯ ПРИ НАГРУЖЕНИИ

**Л.С. Малинов**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой\*

Контактный тел.: (0629) 44-66-58

**Н.А. Солидор**

Кандидат технических наук, доцент\*

Контактный тел.: (0629) 44-61-69, 096-753-38-78

E-mail: solidor@rambler.ru

**В.А. Харлашкин**

Аспирант\*

Контактный тел.: (0629) 49-13-56, 098-575-26-03

E-mail: blindcat568@inbox.ru

**В.В. Аниченко**

Студент

Контактный тел.: (0629) 44-61-69

\*Кафедра «Материаловедение»

ГВУЗ «Приазовский государственный технический университет»

ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, Донецкая обл., Украина, 87500

Таблица 1

Химический состав исследованных сталей, мас. %

Марка стали	C	Si	Mn	Ni	S, P	
					не более	
55Г	0,52-0,56	0,22-0,25	0,96-1,03	-	0,04	0,03
65Г	0,58-0,67	0,28-0,31	1,01-1,08	0,25-0,27	0,03	0,03
75Г	0,71-0,678	0,22-0,26	0,95-1,04	-	0,04	0,03

Проводились металлографические и дюрOMETрические исследования. Абразивную износостойкость определяли по методу Бринелля-Хаурта [3], абразивом служил песок с размером частиц  $\varnothing 0,3-0,5$  мм. Ударно-абразивную износостойкость определяли на установке, в которой образцы, закрепленные на диске, вращающемся со скоростью 8000 об/мин, соударяются со свободно падающей стальной дробью  $\varnothing 0,8-1,0$  мм. Эталонном для оценки относительной износостойкости сталей служила отожженная сталь 45.

Математическая обработка результатов заключалась в установлении связи между температурно-временными параметрами термической обработки и износостойкостью исследованных сталей. Для статистических расчетов, регрессионного анализа результатов исследований использован инженерно-научный пакет DataFit 9.0, с помощью которого может выполняться множественная линейная или нелинейная регрессия (метод Levenberg-Marquardt с двойной точностью). Коэффициенты парной аппроксимации ( $R^2$ ) между расчетными и экспериментальными значениями для всех полученных зависимостей составили не менее 0,97.

Важно подчеркнуть, что в сталях 55Г, 65Г и 75Г для достижения наибольшей износостойкости после закалки и низкого отпуска стремятся получить в структуре высокоуглеродистый мартенсит отпуска и карбиды, обеспечивающие наиболее высокую твердость. В работах [1-2] приводятся данные, что наиболее высокая абразивная износостойкость достигается не за счет достижения максимальной твердости, а получением в структуре, наряду с мартенситом отпуска и карбидами, метастабильного аустенита, претерпевающего динамическое деформационное мартенситное превращение (ДДМП). Следует отметить, что обычно для повышения износостойкости стали с повышенным содержанием углерода не подвергаются цементации.

В данной работе для увеличения количества остаточного аустенита исследованные стали подвергали предварительной цементации в твердом карбюризаторе при 930 °С, 8 ч, с последующей закалкой от температур 800 – 950 °С и низким отпуском при 180 °С в течение одного часа.

Данные о влиянии температуры нагрева под закалку сталей 55Г, 65Г и 75Г на относительную абразивную износостойкость без предварительной цементации и после неё представлены на рис. 1 – а, б соответственно.

Установлено, что с повышением температуры нагрева под закалку нецементованных образцов с 800 до 850 °С происходит увеличение абразивной износостойкости, что можно объяснить получением оптимального количества и степени стабильности аустенита по отношению к ДДМП [1, 2]. Дальнейшее повышение температуры нагрева приводит к снижению абразивной износостойкости за счет растворения карбидной фазы и обогащения твердого раствора углеродом и марганцем, что, в свою очередь, стабилизирует аустенит по отношению к ДДМП.

После цементации с последующей закалкой от различных температур характер полученных зависимостей сохраняется (рис. 1 – б) однако значения абразивной износостойкости исследованных сталей имеют более высокие значения, чем в случае без предварительной цементации. Максимальная абразивная изно-

состоять всех исследованных сталей наблюдается после цементации с последующей закалкой от 900 °С. Это обусловлено получением в поверхностном слое высокоуглеродистого мартенсита, повышенного количества карбидов и остаточного аустенита, способного к ДДМП при нагружении [1, 2].

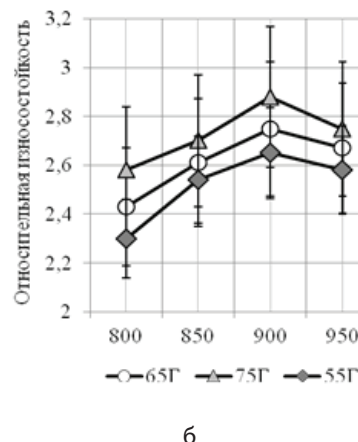
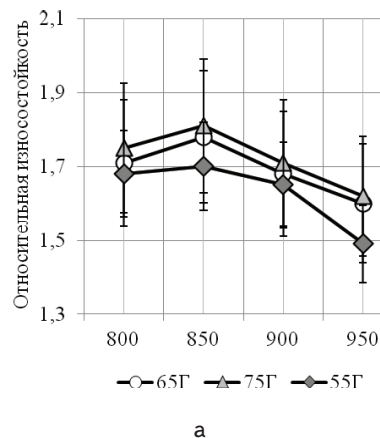


Рис. 1. Влияние температуры нагрева под закалку на относительную абразивную износостойкость сталей 55Г, 65Г и 75Г: а – закалка от 850 - 950 °С, 20 мин + отпуск 180 °С, 60 мин; б – ХТО + закалка от 850 - 950 °С, 20 мин + отпуск 180 °С, 60 мин

Данные о влиянии температуры нагрева под закалку сталей 55Г, 65Г и 75Г на ударно-абразивную износостойкость без предварительной цементации и после неё представлены на рис. 2 а и б соответственно.

С повышением температуры нагрева под закалку с 800 до 950 °С возрастает ударно-абразивная износостойкость как в цементированных, так и в нецементованных образцах, что можно объяснить увеличением количества остаточного аустенита в структуре и его стабилизацией по отношению к ДДМП, Это обусловлено более полным растворением карбидной фазы в аустените и его обогащением углеродом и марганцем. Максимальные значения ударно-абразивной износостойкости сталей наблюдается после закалки от 950 °С и низкого отпуска, когда в их структуре образуется наибольшее количество остаточного аустенита оптимальной для данных условий изнашивания стабильности [1, 2].

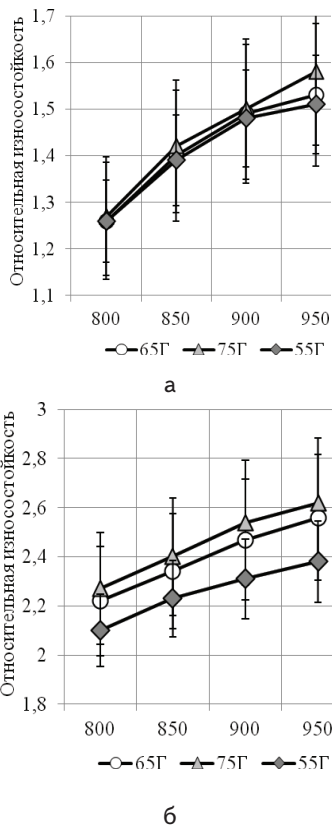


Рис. 2. Влияние температуры нагрева под закалку на относительную ударно-абразивную износостойкость сталей 55Г, 65Г и 75Г: а – закалка от 850 - 950 °С, 20 мин + отпуск 180 °С, 60 мин; б – ХТО + закалка от 850 - 950 °С, 20 мин + отпуск 180 °С, 60 мин

Одним из методов повышения долговечности и надежности деталей машин является изотермическая закалка. Известны работы [4-6], объясняющие повышение комплекса свойств сплавов после изотермической закалки не только образованием структуры бейнита, как это обычно принято считать, но и повышенным по сравнению с обычной закалкой и низким отпуском количеством остаточного аустенита. Между тем, в большинстве исследований либо не учитывается его влияние, либо аустенит рассматривается как стабильная структура.

Целью данного исследования является изучение влияния режимов изотермической закалки на относительную износостойкость сталей 55Г, 65Г и 75Г. Так, проводили нагрев до 820 °С, далее подстуживали в воде до температур изотермической выдержки 250-350 °С с последующим переносом в печь. Время выдержки варьировалось в интервале от 10 до 60 мин.

Данные о влиянии различных режимов изотермической закалки сталей 55Г, 65Г и 75Г на их абразивную и ударно-абразивную износостойкость представлены в табл. 2.

Режимы изотермической закалки существенно влияют на износостойкость исследованных сталей. Самый высокий уровень абразивной износостойкости достигается у сталей 55Г, 65Г и 75Г (см. табл. 1) после изотермической закалки с выдержкой при 250 °С в

течение 10 минут. Высокий уровень абразивной износостойкости можно объяснить наибольшим пересыщением  $\alpha$ - твердого раствора и наличием в структуре сталей определенной доли остаточного аустенита, способного в процессе испытания претерпевать ДДМП. Режимы изотермической закалки с выдержкой более 10 мин при всех температурах изотермы, приводящие к уменьшению количества остаточного аустенита в структуре, вызывают снижение абразивной износостойкости, несмотря на повышение твердости. Указанная закономерность обусловлена снижением или отсутствием эффекта от протекания ДДМП.

Таблица 2

Влияние различных режимов изотермической закалки сталей 55Г/65Г/75Г на их абразивную и ударно-абразивную износостойкость

Температура изотермической выдержки, °С	Время изотермической выдержки, мин	Относительная абразивная износостойкость	Относительная ударно-абразивная износостойкость
250	10	2,18/1,92/2,07	1,19/1,29/1,35
	30	1,74/1,62/1,68	1,23/1,5/1,54
	60	1,38/1,43/1,48	1,32/1,62/1,68
300	10	1,70/1,60/1,54	1,25/1,36/1,40
	30	1,28/1,35/1,40	1,35/1,58/1,62
	60	1,23/1,31/1,37	1,48/1,69/1,71
350	10	1,26/1,43/1,35	1,38/1,43/1,45
	30	1,15/1,34/1,33	1,51/1,67/1,65
	60	1,11/1,28/1,32	1,68/1,91/1,85

Определение ударно-абразивной износостойкости после различных режимов изотермической закалки показывает, что она, в отличие от абразивной износостойкости, имеет наиболее низкий уровень после кратковременных выдержек при всех температурах изотермы и повышается по мере увеличения продолжительности изотермической выдержки. При этом происходит существенное уменьшение количества остаточного аустенита.

Самый высокий уровень ударно-абразивной износостойкости у всех исследованных сталей достигается при температуре изотермы 350 °С (выдержка 60 мин), когда в структуре присутствует небольшое количество остаточного аустенита повышенной стабильности по отношению к ДДМП, располагающегося по границам бейнитных кристаллов (реек). Образующийся  $\alpha$ - твердый раствор при температурах изотермической выдержки 250 – 350 °С более пластичен из-за выделения из него углерода и уменьшения плотности дислокаций, что также способствует повышению ударно-абразивной износостойкости.

В результате анализа данных по влиянию закалки с последующей изотермической выдержкой были построены математические модели, учитывающие влияние температуры и времени изотермической выдержки на абразивную и ударно-абразивную износостойкость исследованных сталей (рис. 3-5).

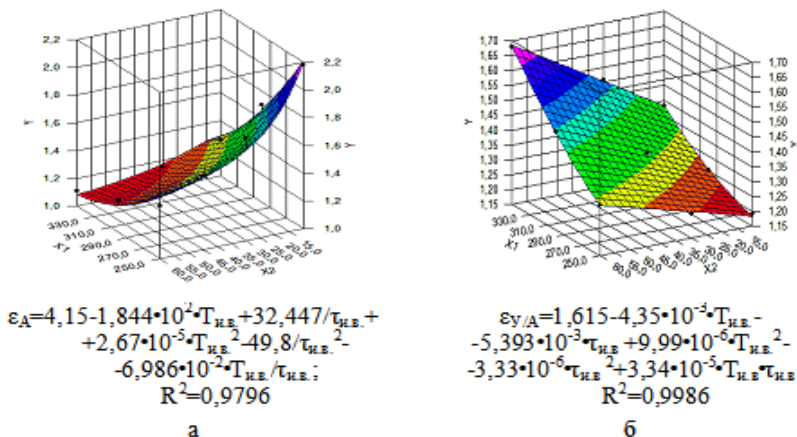


Рис. 3. Влияние температуры и времени изотермической выдержки на абразивную (а) и ударно-абразивную (б) износостойкость стали 55Г: у – ε<sub>А</sub>-абразивная износостойкость (а); у – ε<sub>Y/A</sub> – ударно-абразивная износостойкость (б); x<sub>1</sub> – T<sub>и.в.</sub> – температура изотермической выдержки; x<sub>2</sub> – τ<sub>и.в.</sub> – время изотермической выдержки

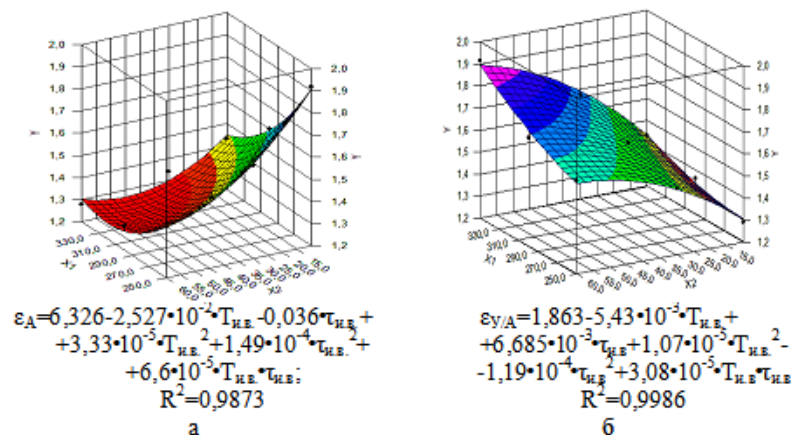


Рис. 4. Влияние температуры и времени изотермической выдержки на абразивную (а) и ударно-абразивную (б) износостойкость стали 65Г: у – ε<sub>А</sub>-абразивная износостойкость (а); у – ε<sub>Y/A</sub> – ударно-абразивная износостойкость (б); x<sub>1</sub> – T<sub>и.в.</sub> – температура изотермической выдержки; x<sub>2</sub> – τ<sub>и.в.</sub> – время изотермической выдержки

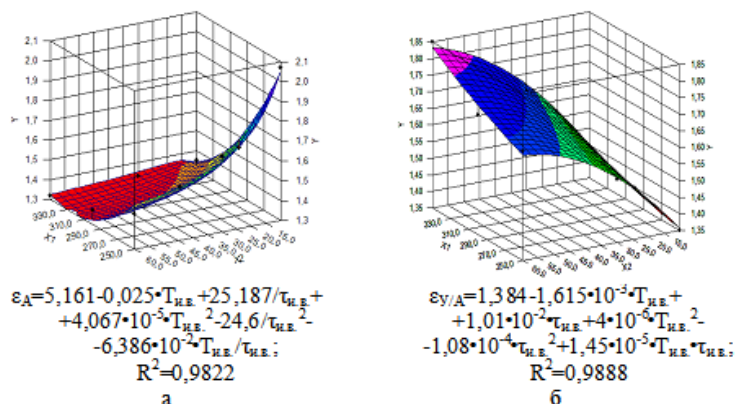


Рис. 5. Влияние температуры и времени изотермической выдержки на абразивную (а) и ударно-абразивную (б) износостойкость стали 75Г: у – ε<sub>А</sub>-абразивная износостойкость (а); у – ε<sub>Y/A</sub> – ударно-абразивная износостойкость (б); x<sub>1</sub> – T<sub>и.в.</sub> – температура изотермической выдержки; x<sub>2</sub> – τ<sub>и.в.</sub> – время изотермической выдержки

**Выводы**

1. Рациональной температурой нагрева под закалку для нецементованных сталей 55Г, 65Г и 75Г является температура 850 °С, что способствует получению максимальной абразивной износостойкости. Наибольшие значения ударно-абразивной износостойкости исследованных сталей получены после закалки от 950 °С и отпуска 180 °С, 60 мин.

2. За счет предварительной цементации, последующей закалки от 900 °С и низкого отпуска для условий абразивного изнашивания и закалки от 950 °С и низкого отпуска для ударно-абразивного изнашивания происходит повышение износостойкости всех исследованных сталей на 80 % и более.

3. Необходим дифференцированный подход к выбору марки стали и технологии её термической обработки для различных условий изнашивания.

**Литература**

1. Малинов, Л.С. Экономнолегированные сплавы с мартенситным превращением и упрочняющие технологии [Текст] / Л.С. Малинов, В.Л. Малинов. – Харьков : ННЦ ХФТИ, 2007 – 259 с.
2. Малинов, Л.С. Ресурсосберегающие экономнолегированные сплавы и упрочняющие технологии, обеспечивающие эффект самозакалки [Текст] / Л.С. Малинов, В.Л. Малинов. – Мариуполь : Рената, 2009. – 259 с.
3. Тененбаум, М.М. Износостойкость конструкционных материалов и деталей машин при абразивном изнашивании [Текст] / М.М. Тененбаум. – М. : Машиностроение, 1966. – 331 с.
4. Малинов, Л.С. Влияние количества и стабильности остаточного аустенита на износостойкость сталей 55С2, 6ХС и высокопрочного чугуна ВЧ-50, подвергнутых изотермической закалке [Текст] / Л.С. Малинов, И.Е. Малышева, В.В. Бруй // *Металл и литье Украины*. – 2002. – № 7–8. – С. 54–57.
5. Малышева, И.Е. Повышение абразивной и ударно-абразивной износостойкости сталей и чугунов за счет метастабильного аустенита [Текст]: Дис... канд. техн. наук: 12.11.04. / И.Е. Малышева. – Мариуполь, 2004. – 158 с.
6. Малинов, Л.С. Повышение свойств сталей и высокопрочного чугуна получением в них многофазных структур, включающих бейнит и метастабильный аустенит [Текст] / Л.С. Малинов // *Металл и литье Украины*. – 2004. – № 7. – С. 24–28.