



Рис. 1. Консистентні криві течії для каналів 2x32 та 8x32 за температури 150°C

### Висновки

Наведений у статті метод зведених кривих течії до інваріантного виду дає змогу підвищення точності визначення реологічних характеристик розплаву поліетилену і можливість використання результатів

віскозиметричного експерименту для розрахунку опорів прямокутних каналів довільного перетину.

Перспективи подальших досліджень у цьому напрямку можуть бути направлені на виявлення впливу індексу течії на реологічні характеристики розплаву полімерів.

### Література

1. Сівецький, В.І. Пристинні ефекти в процесах переробки полімерних матеріалів [Текст] / В.І. Сівецький, О.С. Сахаров, О.Л. Сокольський, Д.Д. Рябінін. – К.: НТУУ «КПІ», 2009. – 140 с.
2. Рябінін, Д.Д. Про реологічний аспект використання поняття гідравлічного радіуса [Текст] / Д.Д. Рябінін, А.М. Мотін // Вестник Национального технического университета Украины “Киевский политехнический институт”. Машиностроение. – 2001. – № 41. – С. 55–59.
3. Жданов, Ю.А. Метод определения скорости скольжения и истинной кривой течения полимеров по неинвариантным реологическим характеристикам [Текст] / Ю.А. Жданов, Л.А. Иванова, Д.Д. Рябінін // Респ. межв. научно-техн. сб. “Химическое машиностроение”. – 1973. – № 18. – С. 50–57.

УДК 669.15'74-194:621.785.52

## ПОВЫШЕНИЕ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ СТАЛИ 10Г12 ЗА СЧЕТ РАЦИОНАЛЬНЫХ РЕЖИМОВ ТЕРМИЧЕСКОЙ ОБРАБОТКИ

**Л.С. Малинов**

Доктор технических наук, профессор, заведующий кафедрой\*  
Контактный тел.: (0629) 44-66-58

**В.А. Харлашкин**

Аспирант\*  
Контактный тел.: (0629) 44-61-69, 098-575-26-03  
E-mail: blindcat568@inbox.ru

**О.А. Глебова**

Студентка  
\*Кафедра «Материаловедение»  
Приазовский государственный технический университет  
ул. Университетская, 7, г. Мариуполь, Донецкая обл.,  
Украина, 87500  
Контактный тел.: (0629) 44-61-69

*У роботі приведені результати дослідження впливу ступінчастого гартування та гартування з переривним охолодженням на механічні властивості сталі 10Г12. Показано, що добре сполучення властивостей сталі може бути отримано після раціональних режимів термообробки*

*Ключові слова: аустеніт, динамічне деформаційне мартенситне перетворення*

*В работе приведены результаты исследований влияния ступенчатой закалки и закалки с прерванным охлаждением на механические свойства стали 10Г12. Показано, что хорошее сочетание свойств стали может быть получено после рациональных режимов ступенчатой и прерванной закалок*

*Ключевые слова: аустенит, динамическое деформационное мартенситное превращение*

*The results of influence of graded hardening and hardening with interrupted cooling on mechanical properties of steel 10G12 are shown in this research paper. It is proved that due to efficient hit treatment it may be obtained good combination of mechanical properties*

*Key words: austenite, dynamical deformativе martensite transformation*

В промышленности для изготовления деталей, работающих в условиях больших динамических и статических нагрузок, применяется высокоуглеродистая марганцовистая аустенитная сталь 110Г13Л. Недостатками этой стали являются: низкая стойкость в условиях преимущественно абразивного изнашивания, сравнительно низкий предел текучести ( $\sigma_{02} \sim 400$  МПа) и чрезвычайно плохая обрабатываемость резанием. Последнее является причиной того, что из стали 110Г13Л не изготавливают детали повышенной точности, требующие механической обработки.

В работах [1-5] малоуглеродистые марганцовистые стали, содержащие 4-10 % Mn, были предложены в качестве нового класса цементируемых сталей. Принципиальной особенностью новых сталей, отличающих их от известных цементируемых, является то, что в их поверхностном слое после цементации и последующей термической обработки получают не мартенсит отпуска и карбиды, обеспечивающие высокую твердость, как это обычно принято, а метастабильный аустенит, армированный карбидами, способный к управляемой самотрансформации при нагружении. По результатам исследований, проведенных ранее [6], износостойкость этих сталей в ряде случаев существенно превосходит её уровень серийно применяемой стали Гадфильда. Однако сведения о новых сталях немногочисленны, что существенно затрудняет их применения в промышленности.

В данной работе объектом исследования служила малоуглеродистая марганцовистая сталь 10Г12 хорошо обрабатываемая резанием после высокого отпуска, химический состав которой приведен в табл. 1.

Таблица 1

Химический состав стали 10Г12, мас. %

C	Mn	Si	S	P
0,12	11,44	0,13	≤0,01	≤0,02

В процессе нормализации (температура аустенитизации 750 – 850 °С) она приобретает трехфазную  $\alpha'+\epsilon+\gamma$  структуру и при удовлетворительных для ряда случаев прочностных характеристиках сравнительно имеет низкую пластичность и ударную вязкость ( $\sigma_{02}=880$  МПа,  $\sigma_B=1200$  МПа,  $\delta=7$  %,  $\Psi=9$  %,  $KCU=0,25$  МДж/м<sup>2</sup>). Было высказано предположение, что это обусловлено низкой стабильностью имеющегося в структуре аустенита и соответственно очень интенсивным мартенситообразованием при нагружении в процессе испытания механических свойств, а не только хрупкостью мартенситных фаз, как это указано в работе [7]. Оно основывалось на довольно большой разнице  $\sigma_{02}$  и  $\sigma_B$ , что характерно для сталей с очень интенсивным динамическим деформационным мартенситным превращением (ДДМП) при нагружении [4, 5, 8]. В этом случае повысить пластичность и ударную вязкость стали возможно за счет стабилизации аустенита по отношению к ДДМП, которая

проявляется после термообработки с выдержкой при температурах 300 – 400 °С за счет закрепления дислокаций сегрегациями атомов внедрения и возникновением концентрационной микронеоднородности аустенита [9]. В работе [10] для реализации этого принципа была использована ступенчатая закалка хромистых сталей.

Данные по влиянию ступенчатой закалки с выдержками в температурном интервале 300 ÷ 400 °С применительно к исследуемой стали в литературе отсутствуют. Целью работы являлась возможность повышения свойств стали 10Г12 за счет применения ступенчатой закалки.

Сталь 10Г12 выплавлялась в индукционной печи емкостью 150 кг с основной футеровкой. Слитки массой 14 кг подвергали гомогенизации при температуре 1150 °С в течение 10 ч и ковали на прутки сечением 12×12 мм, из которых изготавливали образцы для исследований.

Ступенчатая закалка осуществлялась от температур 700, 800 и 900 °С в воде до 300 и 400 °С. Время выдержки при этих температурах варьировали от 30 до 120 мин. Изучалась также прерывистая закалка от температур 800 °С по схеме воздух – песок, нагретый до температуры 200 °С.

Проводились металлографические и дюрOMETрические исследования. Механические свойства на растяжение определялись согласно ГОСТ 1497-84, на ударную вязкость образцов с U-образным надрезом ГОСТ 9454-78.

Механические свойства после ступенчатой закалки от 800 °С с различной выдержкой при 300 и 400 °С представлены в таблице 2.

Выдержка 60 мин при 400 °С обеспечивает наиболее высокий уровень механических свойств, что можно объяснить получением в структуре оптимального количества и степени стабильности аустенита по отношению к ДДМП [4, 5]. При отклонении времени выдержки в меньшую или большую сторону механические свойства снижаются, что, по-видимому, обусловлено не возможностью обеспечить необходимое количество и стабильность аустенита.

При выдержке до 30 мин стабилизация аустенита по отношению к ДДМП происходит в недостаточной мере. При увеличении продолжительности до 120 мин может происходить выделение карбидов, приводящее к обеднению твердого раствора углеродом и легирующими элементами и, как следствие, дестабилизации аустенита по отношению к ДДМП.

Таблица 2

Механические свойства стали 10Г12 после ступенчатой закалки от 800 °С и последующей выдержкой при 400/300 °С с различной продолжительностью

Время выдержки	Твердость, HRC	$\sigma_{02}$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	KCU, МДж/м <sup>2</sup>
30	37/34	1005/980	1243/1120	11/8	48/45	0,40/0,45
60	39/40	1030/1000	1400/1240	14/10	40/50	0,65/0,50
120	40/40	921/1050	1070/1280	11/10	50/50	0,45/0,60

При понижении температуры ступеньки до 300 °С необходима более длительная выдержка (120 мин) для получения наиболее хорошего сочетания характеристик прочности, пластичности и ударной вязкости (табл. 2).

Повышение температуры нагрева под закалку до 900 °С приводит к росту зерна, в результате чего снижается предел текучести и ударная вязкость (табл. 3).

Таблица 3

Механические свойства стали 10Г12 после ступенчатой закалки от различных температур с выдержкой при 400 °С, 60 мин.

T, °С	Твердость, HRC	$\sigma_0$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	KCU, МДж/м <sup>2</sup>
700	41	880	1220	14	45	0,60
800	40	1030	1400	14	40	0,65
900	39	810	1280	14	25	0,45

В табл. 4 приведены механические свойства стали 10Г12 после ступенчатой закалки при 400 °С с выдержкой 60 мин. Охлаждение с температуры аустенитизации (800 °С) до этой температуры проводилось на воздухе. Кроме того, определены механические свойства

после прерванного охлаждения (от 800 °С) вначале на спокойном воздухе, а затем в песке, предварительно нагретом до 200 °С. После этих обработок также получен хороший уровень механических свойств.

Таблица 4

Механические свойства стали 10Г12 после термообработки с охлаждением от 800 °С, на воздухе: до 400 °С с выдержкой 60 мин (1), до 200 °С с последующим охлаждением в песке, нагретом до этой температуры (2).

Время выдержки	Твердость, HRC	$\sigma_0$ , МПа	$\sigma_B$ , МПа	$\delta$ , %	$\Psi$ , %	KCU, МДж/м <sup>2</sup>
1	39	840	1290	14	35	0,45
2	37	960	1280	10	50	0,45

**Выводы**

Применение рациональных режимов ступенчатой и прерванной закалок позволяет получить в стали 10Г12 хорошее сочетание прочностных, пластических свойств и ударной вязкости, что подтверждает высказанное предположение о необходимости для этого стабилизировать до определенного уровня остаточный аустенит.

**Литература**

1. Малинов Л.С. Цементуемые низкоуглеродистые стали с повышенным содержанием марганца / Л.С. Малинов // *Металл и литье Украины*. – 2000. – № 1-2. – С. 49-53.
2. Малинов Л.С. Влияние фазового состава и термической обработки на износостойкость низкоуглеродистых марганцовистых сталей / Л.С. Малинов // *Металл и литье Украины*. – 2001. – № 12. – С. 9–12.
3. Малинов Л.С. Получение метастабильного аустенита в поверхностном слое сталей и реализация эффекта самозакалки при нагружении для повышения их абразивной износостойкости сталей / Л.С. Малинов // *Металл и литье Украины*. – 2010. – № 8. – С. 19–23.
4. Малинов Л.С. Экономнолегированные сплавы с мартенситным превращением и упрочняющие технологии / Л.С. Малинов, В.Л. Малинов. – Харьков: ННЦ ХФТИ. – 2007 – 259 с.
5. Малинов Л.С. Ресурсосберегающие экономнолегированные сплавы и упрочняющие технологии, обеспечивающие эффект самозакалки / Л.С. Малинов, В.Л. Малинов. – Мариуполь: Рената. – 2009. – 259 с.
6. Малинов Л.С. Влияние цементации и термообработки стали 10Г12 на получение метастабильного аустенита в структуре, её абразивную и ударно-абразивную износостойкость / Л.С. Малинов, В.А. Харлашкин // *Металлургическая и горнорудная промышленность*. – 2011. – № 2. – С. 66–68.
7. Богачев И.Н. Структура и свойства железомарганцевых сплавов / И.Н. Богачев, В.Ф. Еголаев. – М.: *Металлургия* – 1973. – 295 с.
8. Малинов Л.С. Кинетика образования эpsilon-фазы в легированных железомарганцевых сплавах / Л.С. Малинов. – Авто-реферат дис... канд. техн. наук: 05.16.01. Свердловск, 1963. – 20 с.
9. Малинов Л.С. Влияние старения на развитие мартенситного превращения при деформации в метастабильных аустенитных сталях / Л.С. Малинов, В.И. Коноп-Ляшко // *Изв. АН СССР. Металлы*. – 1982. – № 3. – С. 130–133.
10. Малинов Л.С. Влияние марганца и термообработки на структуру и свойства сталей на основе Fe – 0,1 % С – 14 % Cr / Л.С. Малинов, А.П. Чейлях // *Известия ВУЗов: Черная металлургия*. – 1983. – № 6. – С. 83-86.