

УДК 620.172

С. Б. БЕЛИКОВ, докт. техн. наук, ректор, ЗНТУ, Запорожье;
В. Г. ШЕВЧЕНКО, канд. техн. наук, зав. кафедрой, ЗНТУ, Запорожье;
С. Л. РЯГИН, канд. техн. наук, доц., ЗНТУ, Запорожье.

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ И СКОРОСТИ ДЕФОРМАЦИИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА СТАЛЕЙ, ПРИМЕНЯЕМЫХ В КРАНОСТРОЕНИИ

Экспериментально изучено влияние температуры и скорости деформации на механические свойства стали 09Г2С. Показано, что влияние температуры и скорости деформации на механические свойства конкретных сталей может не соответствовать классическим представлениям. Пластическое деформирование происходит и при пониженной температуре.

Ключевые слова: температура, скорость деформации, механические свойства.

Введение. Точный учет основных факторов, влияющих на механические свойства материалов, необходим для обеспечения качества проектирования и потому связан с важным научным и практическим заданием повышения конкурентоспособности продукции отечественного краностроения.

Анализ последних исследований и литературы. 70 лет назад в сборнике [1] было показано, что снижение температуры и, в меньшей степени, увеличение скорости деформации приводит к упрочнению сталей. В книге [2], со ссылкой на еще более ранние работы автора [1], указывается, что «предел текучести железа в условиях комнатной температуры повышается примерно на 30% при увеличении скорости в пределах возможностей статической испытательной машины», а также приводятся зависимости между этими показателями. Однако указывается, что при этом «предел прочности почти не изменяется». Здесь же оговаривается, что именно охрупчивание металла при понижении температуры и увеличении скорости деформации является основой «испытаний на изгиб ударом». Те же представления со временем вошли и в учебную литературу. Например, в [3] они обоснованы с точки зрения материаловедения. В справочном пособии [4] указывается, что увеличение скорости деформации сопровождается ростом не только предела текучести, но и предела прочности, что противоречит данным книги [2]. Получается, что даже в классической литературе имеются отдельные разночтения по поводу влияния температуры и скорости деформации на механические свойства сталей. Кроме того, в этой литературе отсутствует информация для конкретных сталей, а данные марочников сталей и сплавов имеют, как правило, отрывочный характер.

Еще более противоречат классическим представлениям данные некоторых исследований. В частности, в статье [5] приведены температурно-скоростные зависимости механических свойств стали 0Х14ФГ12М, полностью не увязывающиеся с данными [1–4]. В статье [6] приведены результаты испытаний стали 09Г2С после длительной эксплуатации, согласно которым «снижение температуры испытаний практически не оказало влияния на прочность и пластичность стали при растяжении». Результаты [6] противоречат как данным [1–4], так и зависимостям [5].

Цель исследований, постановка проблемы. Таким образом, литературные источники не дают единого представления о влиянии температуры и скорости деформации на механические свойства сталей. В том числе, и для стали 09Г2С, широко применяемой в краностроении. Решению этой проблемы посвящена данная статья.

Целью статьи является экспериментальное получение достоверных данных о влиянии температуры и скорости деформации на механические свойства сталей, применяемых в краностроении, на примере стали 09Г2С.

Материалы исследований. Для проведения исследований были использованы образцы, изготовленные из листовой стали 09Г2С. Испытания проводились на разрывной машине ИР-100. Изменение скорости деформации и поддержание ее постоянства обеспечивались регулированием подачи масла. Для дополнительного расширения диапазона скоростей относительной деформации отбирались образцы с различной длиной рабочей части. Испытания проводились при шести температурах (комнатной и пониженных).

Исследование влияния скорости относительной деформации в диапазоне от 0 до $0,06 \text{ с}^{-1}$ на механические свойства проводилось при комнатной температуре. Исследование влияния температуры на механические свойства проводилось при скорости относительной деформации в диапазоне примерно от $0,025$ до $0,035 \text{ с}^{-1}$.

ГОСТ 11150-75 предполагает поддержание в образце заданной температуры в процессе его испытания в охлаждающей жидкости. Однако в реальности изделие обычно подвергается нагружению без дополнительного теплоотвода во время его деформации. Поэтому в данном исследовании образцы заранее охлаждались жидким азотом в специальном термосе до нужной температуры, а затем в термоизолирующем контейнере быстро устанавливались в зажимы. Недостатком этого метода является возникновение локальных термонапряжений в месте контакта нерабочей части образцов с зажимами. Чтобы они не успели существенно повлиять на рабочую часть и, соответственно, на результаты испытаний, губки зажимов частично охлаждались, время на установку образцов было ограничено 12 с, а время испытаний не превышало 7 с. Предварительно было установлено эмпирически с помощью термопары «медь-константан», что в этом случае температура рабочей части образца остается постоянной, с учетом погрешности измерений. В качестве температуры испытаний T фиксировалась температура образца на момент начала нагружения.

Начальные размеры образцов и результаты проведенных испытаний приведены в табл.

Результаты исследований. По данным табл. были построены зависимости прочностных и пластических свойств стали 09Г2С от температуры и скорости относительной деформации. Эти зависимости показаны на рис.1-4. При построении графиков использовался метод наименьших квадратов.

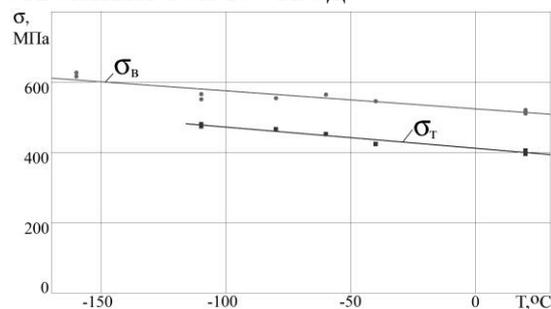
Из рис.1-2 видно, что и предел текучести, и предел прочности возрастают со снижением температуры. Относительное удлинение и, в меньшей степени, относительное сужение уменьшаются со снижением температуры. В целом

такие результаты соответствуют классическим представлениям, но противоречат данным статьи [6]. Возможно, это связано с тем, что в статье [6] приведены результаты для стали 09Г2С после длительной эксплуатации.

Таблица. Результаты испытаний образцов из стали 09Г2С

| Код образца | Размеры образца, мм | | | | Температура испытаний T , °С | Время испытаний t , с | Предел текучести P_t , кН | Предел прочности P_b , кН |
|-------------|-------------------------|------------------------------|---------------------|------------------------------|--------------------------------|-------------------------|-----------------------------|-----------------------------|
| | Начальный диаметр d_0 | Длина рабочей части ℓ_0 | Диаметр шейки d_1 | Длина рабочей части ℓ_1 | | | | |
| 3 | 5,89 | 77,0 | 3,53 | 92,40 | 20 | 5,81 | 10,93 | 13,90 |
| 28 | 5,97 | 94,6 | 3,53 | 114,90 | 20 | 7,83 | 11,06 | 14,56 |
| 22 | 5,95 | 95,1 | 3,54 | 114,70 | 20 | 8,34 | 11,25 | 14,41 |
| 27 | 5,91 | 94,3 | 3,56 | 110,20 | -40 | 6,14 | 11,60 | 14,96 |
| 0 | 6,03 | 74,5 | 3,60 | 91,20 | -60 | 6,16 | 12,89 | 16,10 |
| 25 | 5,95 | 95,0 | 3,60 | 111,50 | -80 | 6,77 | 12,94 | 15,39 |
| 21 | 5,95 | 95,0 | 3,58 | 109,00 | -110 | 5,53 | 13,16 | 15,32 |
| 20 | 5,94 | 95,6 | 3,62 | 113,25 | -110 | 6,79 | 13,30 | 15,68 |
| 8 | 5,93 | 75,7 | 3,60 | 85,10 | -160 | 4,06 | – | 17,30 |
| 26 | 5,93 | 94,5 | 3,62 | 107,40 | -160 | 5,57 | – | 17,00 |
| 4 | 5,96 | 75,4 | 3,59 | 87,70 | 20 | 150,42 | 11,52 | 14,60 |
| 23 | 5,96 | 94,8 | 3,46 | 117,10 | 20 | 152,81 | 10,73 | 14,28 |
| 29 | 5,87 | 94,3 | 3,48 | 111,70 | 20 | 48,50 | 10,86 | 13,78 |
| 9 | 5,91 | 75,2 | 3,54 | 89,00 | 20 | 31,08 | 11,18 | 14,40 |
| 24 | 5,93 | 94,3 | 3,43 | 115,10 | 20 | 25,90 | 11,26 | 14,06 |
| 1 | 5,94 | 77,3 | 3,52 | 93,50 | 20 | 12,27 | 11,33 | 14,40 |
| 44 | 5,84 | 54,7 | 3,44 | 65,30 | 20 | 4,28 | 10,99 | 14,01 |
| 45 | 5,81 | 54,1 | 3,38 | 64,80 | 20 | 4,09 | 10,76 | 13,72 |
| 43 | 5,78 | 49,2 | 3,50 | 59,10 | 20 | 3,68 | 10,23 | 13,48 |
| 46 | 5,87 | 44,4 | 3,53 | 53,50 | 20 | 3,52 | 11,10 | 13,96 |

При температуре -110 °С площадка текучести еще сохранялась, но не наблюдалась при -160 °С. Однако при той же температуре -160 °С пластические свойства стали 09Г2С хоть и снизились, но все же большей частью сохранились, и образование шейки не прекратилось. Отчасти это может объясняться тем, что при проведении испытаний не использовался дополнительный искусственный теплоотвод.

Рис. 1 – Зависимость предела прочности σ_b и предела текучести σ_t стали 09Г2С от температуры T

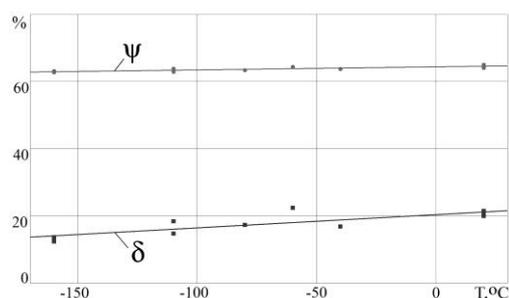


Рис. 2 – Зависимость относительного удлинения δ и относительного сужения ψ стали 09Г2С от температуры T

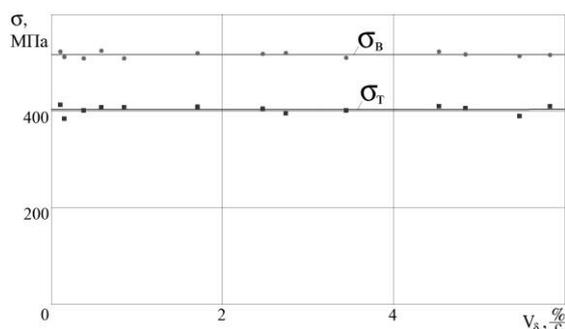


Рис. 3 – Зависимость предела прочности σ_B и предела текучести σ_T стали 09Г2С от скорости относительной деформации V_δ

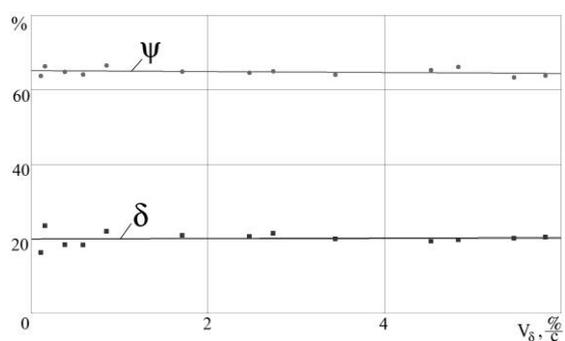


Рис. 4 – Зависимость относительного удлинения δ и относительного сужения ψ стали 09Г2С от скорости относительной деформации V_δ

Из рис. 3-4 видно, что увеличение скорости относительной деформации в диапазоне от 0 до $0,06 \text{ с}^{-1}$ («в пределах возможностей статической испытательной машины» [2]) не оказывает заметного влияния на прочностные и пластические свойства стали 09Г2С. Это противоречит данным книги [2] по крайней мере для одной стали. Можно предположить, что эффекты упрочнения и охрупчивания стали 09Г2С возникнут при еще больших скоростях. С другой стороны, полученные результаты косвенно подтверждают и дополняют предыдущую статью авторов [7], в которой было показано, что процессы пластического деформирования имеют место и играют важнейшую роль и во время испытаний на ударный изгиб при пониженных температурах стали 09Г2С.

Выводы. Были экспериментально получены данные о влиянии температуры и скорости деформации на механические свойства стали 09Г2С, широко применяемой в отечественном краностроении. Из полученных

зависимостей видно, что влияние температуры и скорости деформации на механические свойства конкретных сталей может не во всем соответствовать общим классическим представлениям. При пониженной температуре и повышенной скорости деформации стали 09Г2С имеют место процессы пластического деформирования.

В перспективе целесообразно уточнить влияние на механические свойства стали 09Г2С более высоких скоростей деформации.

Список литературы: 1. Давиденков Н.Н. Некоторые проблемы механики материалов / Н.Н.Давиденков. – Л.: Газетно-журн. и книж. изд-во, 1943. – 152 с. 2. Тимошук Л.Т. Механические испытания металлов / Л.Т.Тимошук. – М.: Металлургия, 1971. – 224 с. 3. Золоторевский В.С. Механические свойства металлов / В.С.Золоторевский. – М.: Металлургия, 1983. – 352 с. 4. Писаренко Г.С. Справочник по сопротивлению материалов / Г.С.Писаренко, А.П.Яковлев, В.В.Матвеев. – Киев: Наук. думка, 1988. – 736 с. 5. Рудаков А.А. Температурно-скоростная зависимость механических свойств метастабильной стали 0Х14АГ12М в состоянии закалки и теплового наклепа / А.А.Рудаков, И.Н.Богачев // Вопросы металловедения стали и титановых сплавов: Межвуз. сб. научн. тр. – Пермь: Пермский унив-т, 1978. – С.70-75. 6. Махутов Н.А. Оценка состояния материала продуктопровода после его длительной эксплуатации / Н.А.Махутов, В.Н.Пермяков, Ю.А.Кравцова, Л.Р.Ботвина // Заводская лаборатория. Диагностика материалов.– Т.73. – 2007. – №2. – С.54-59. 7. Беликов С.Б. Характеристики сопротивления ударному изгибу пластичных сталей, применяемых в краностроении / С.Б.Беликов, С.Л.Рягин, В.Г.Шевченко // Вісник НТУ «ХПІ»: 36. наук. пр. Тематичний випуск: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2011. – №47. – С.125-133.

Надійшла до редколегії 28.10.2013

УДК 620.172

Влияние температуры и скорости деформации на механические свойства сталей, применяемых в краностроении // Беликов С.Б., Шевченко В.Г., Рягин С.Л. // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Нові рішення у сучасних технологіях. – Харків: НТУ «ХПІ». – 2013. – № 43 (1016) .– С. 32–36. Библиогр.: 2 назв.

Експериментально вивчений вплив температури та швидкості деформації на механічні властивості сталі 09Г2С. Показано, що вплив температури та швидкості деформації на механічні властивості конкретних сталей може не відповідати класичним уявленням. Пластичне деформування відбувається і при низькій температурі.

Ключові слова: температура, швидкість деформації, механічні властивості.

Influence of a temperature and deformation speed on mechanical characteristics of 09Г2С steel had been studied. It was shown that influence of the temperature and deformation speed on mechanical characteristics of specific steels can differ from classical ideas. Plastic deformation take place at low temperature as well.

Keywords: temperature, deformation speed, mechanical characteristics.

УДК 621.771.01

М. М. БЕРЕЖНИЙ, докт.техн.наук, проф., ДВНЗ «КНУ», Кривий Ріг;
В. А. ЧУБЕНКО, канд.техн.наук, доц., ДВНЗ «КНУ», Кривий Ріг;
А. А. ХІНОЦЬКА, ст. викладач, ДВНЗ «КНУ», Кривий Ріг;
А. ШЕПЕЛЬ, аспірант, ДВНЗ «КНУ», Кривий Ріг;
В. ЧУБЕНКО, студент, ДВНЗ «КНУ», Кривий Ріг.

ВЗАЄМОДІЯ ТЕХНОЛОГІЧНИХ ПАРАМЕТРІВ В ОСЕРЕДКУ ДЕФОРМАЦІЇ ПРИ СТАЛОМУ ПРОЦЕСІ ПРОКАТУВАННЯ

Розглянуто осередок деформації при сталому процесі прокатування, виконано співставлення деформуючих напружень і сил опору в'язкості течії в осередку деформації, визначено середні значення границь текучості при різних режимах прокатування, розраховано швидкість деформації в