

УДК 620.105: 620.1.08

РАЗРАБОТКА МЕТОДИКИ ИСПЫТАНИЯ МЕДНЫХ СПЛАВОВ В ТЕМПЕРАТУРНОМ ИНТЕРВАЛЕ ИХ ФОРМООБРАЗОВАНИЯ

**О.Н. Хорошилов, проф., д.т.н.,
Украинская инженерно-педагогическая академия, г. Харьков**

Аннотация. Разработана методика определения деформации и скорости ползучести медных сплавов в температурном интервале формообразования заготовок в машине непрерывного литья. Методика позволяет повысить точность определения реологических характеристик за счет снижения скорости нагрева образцов по мере повышения их температуры.

Ключевые слова: медные сплавы, деформация ползучести.

РОЗРОБКА МЕТОДИКИ ВИПРОБУВАННЯ МІДНИХ СПЛАВІВ У ТЕМПЕРАТУРНОМУ ІНТЕРВАЛІ ЇХ ФОРМОУТВОРЕННЯ

**О.М. Хорошилов, проф., д.т.н.,
Українська інженерно-педагогічна академія, м. Харків**

Анотація. Розроблено методику визначення деформації та швидкості повзучості мідних сплавів у температурному інтервалі формоутворення заготовок в машині безперервного лиття. Методика дозволяє підвищити точність визначення реологічних характеристик за рахунок зниження швидкості нагріву зразків у міру підвищення їх температури.

Ключові слова: мідні сплави, деформація повзучості.

DEVELOPMENT OF COPPER ALLOY TEST METHODS WITHIN THE TEMPERATURE RANGE OF THEIR FORMING PROCESS

O. Khoroshilov, Prof., D. Sc. (Eng.), Ukrainian Engineer-Pedagogical Academy

Abstract. A method for determination of deformation and the creep speed of copper alloys within the temperature range of forming blanks in a continuous casting machine is developed. The technique makes it possible to improve the accuracy of rheological properties by reducing the heating rate of samples while their temperature increases.

Key words: copper alloys, deformation of creep.

Введение

В настоящее время зачастую исследование реологического состояния металлов и сплавов в основном направлено на определение деформации ползучести в температурном интервале эксплуатации конструкционных материалов. Эти исследования проводятся для оценки сроков эксплуатации.

На сегодняшний день возникла необходимость получения информации о реологическом состоянии непрерывно литых заготовок

из медных сплавов в температурном интервале их формообразования. Это позволит оценить:

- влияние технологических параметров процесса непрерывного литья на реологическое состояние заготовок;
- влияние реологических параметров заготовки на механические свойства заготовок.

Для получения адекватных зависимостей необходимо повысить точность экспериментальных данных при испытаниях исследуемых сплавов в температурном интервале формообразования.

Анализ публикаций

В работах [1, 2] решена задача определения таких реологических показателей как деформация ползучести и длительная прочность испытуемых образцов в температурном интервале эксплуатации конструкционного материала, который соответствует интервалу $(0,3-0,5)$ от температуры ликвидуса (T_L). Обычно эти показатели являются исходными данными для определения сроков эксплуатации конструкционных материалов, находящихся при конкретных температурах и напряжениях [3, 4].

В работе [5] показано, что формообразование при непрерывном литье происходит, когда сплав находится в вязком состоянии, что соответствует температурному интервалу $(0,9-0,95)T_L$. В данной работе определено влияние параметра повреждаемости, который является производной от деформации ползучести, на механические характеристики заготовок. Кроме того, в работе получены зависимости между параметром повреждаемости заготовки и технологическими параметрами процесса непрерывного литья.

В работе [6] показано, что при определении деформации ползучести исследуемых сплавов в температурном интервале $(0,9-0,95)T_L$ происходит снижение точности показателей деформации ползучести образцов вследствие значительного увеличения скорости ползучести. Целью данной работы было усовершенствование испытательной машины АИМА 5-2 для испытания образцов в температурном интервале $(0,9-0,95)T_L$.

Причиной снижения точности определения деформации и скорости ползучести, описанной в работе [6], является превышение температуры на образцах перед их испытанием вследствие использования только одной скорости нагрева образцов. Это послужило причиной разработки методики по определению деформации ползучести в температурном интервале $(0,9-0,95)T_L$.

Таким образом, для решения задачи повышения точности при определении деформации ползучести образцов необходимо решить комплексную задачу:

– использования усовершенствованной машины АИМА 5-2 для испытания образцов;

– разработки методики, позволяющей исключить перегрев образцов при их испытаниях.

Цель и постановка задачи

Целью работы является:

1. Разработать методику для повышения точности определения ползучести при испытаниях образцов из медных сплавов в температурном интервале $(0,9-0,95)T_L$ за счет уменьшения скорости нагрева образца по мере приближения его температуры к температуре испытаний.

2. Использовать усовершенствованное устройство для испытания образцов в температурном интервале $(0,9-0,95)T_L$ [6].

3. Разработать методику нагрева образцов с целью постепенного снижения скорости нагрева образцов по мере повышения их температуры.

Разработка методики

Для создания методики необходимо принять следующие допущения.

1. Исследуемые оловянные медные сплавы марок Бр О5Ц5С5, Бр О8Н4Ц2, Бр О10Ц2 имеют аналогичные реологические характеристики (скорость и деформация ползучести, прочностные свойства) как после его охлаждения в кристаллизаторе машины непрерывного литья до температуры $(0,9-0,95)T_L$, так и в образце после его нагревания до того же интервала температур.

2. Испытания образцов производится до их полного разрушения.

Для определения деформации ползучести заготовки, находящейся в температурном интервале формирования заготовки, необходимо температуру испытаний выдерживать в интервале $(0,9-0,95)T_L$.

Известно, что чем выше температура образца, тем сильнее изменяются его прочностные и реологические свойства, например, уменьшаются прочностные характеристики, но повышается скорость ползучести сплава. Поэтому для повышения точности экспериментальных данных целесообразно не превышать температуру испытаний и усовершенствовать конструкцию силовой оси машины АИМА 5-2 для испытания образцов с любой скоростью деформации.

Поэтому испытание образцов производили

разрушения испытываемого образца, которая фиксируется экстензометром 12.

Образцы из исследуемых медных сплавов имели длину 200 мм с базой 100 мм, диаметром базы 10,0 мм, что соответствует ГОСТ 26007-86.

Результаты испытаний

Для получения конкретных результатов были проведены испытания бронзы марки Бр О5Ц5С5.

В результате испытаний были проведены:
– сравнительная оценка скоростей деформации ползучести (ϵ) указанной бронзы при температуре эксплуатации конструкционных материалов: $T = 0,45T_L$ и температуре ее формообразования: $T = 0,92 T_L$;
– сравнительный анализ нагрева образцов по базовой и разработанной методике.

Было определено, что для температуры испытания указанной бронзы при $T_u = 0,45T_L$ скорости деформации ползучести составляют при усилиях преодоления силы трения покоя в паре «заготовка – графит» – $\dot{\epsilon} = 4,95 \cdot 10^{-6}$ м/с и при усилиях преодоления силы трения скольжения – $\dot{\epsilon} = 4,9 \cdot 10^{-6}$ м/с.

При температуре испытаний $T_u = 0,92T_L$ нагрузка, равная силе трения покоя, вызывает скорость деформации, равную $\dot{\epsilon} = 3,3 \cdot 10^{-2}$ м/с, а нагрузка, аналогичная усилию преодоления силы трения скольжения, – $\dot{\epsilon} = 1,6 \cdot 10^{-2}$ м/с. Из чего следует, что скорость деформации образцов при увеличении температуры от $T = 0,45T_L$ до $T = 0,92T_L$ увеличивается от $3,2 \cdot 10^3$ до $6,7 \cdot 10^3$ раз.

Кривые нагрева верхней и нижней частей образца по базовой и разработанной методике представлены на рис. 2.

Экспериментальные исследования показали, что превышение температуры испытаний на 25–30 °К увеличивает скорость ползучести в 1,5–2,5 раза, что снижает точность испытаний.

На рис. 2, а показана базовая схема нагрева образцов, которая реализуется в два этапа. На первом этапе в интервале времени $t_0 \dots t_1$ происходит нагрев образцов до заданной температуры (T_3) со скоростью 10–12 °С/с.

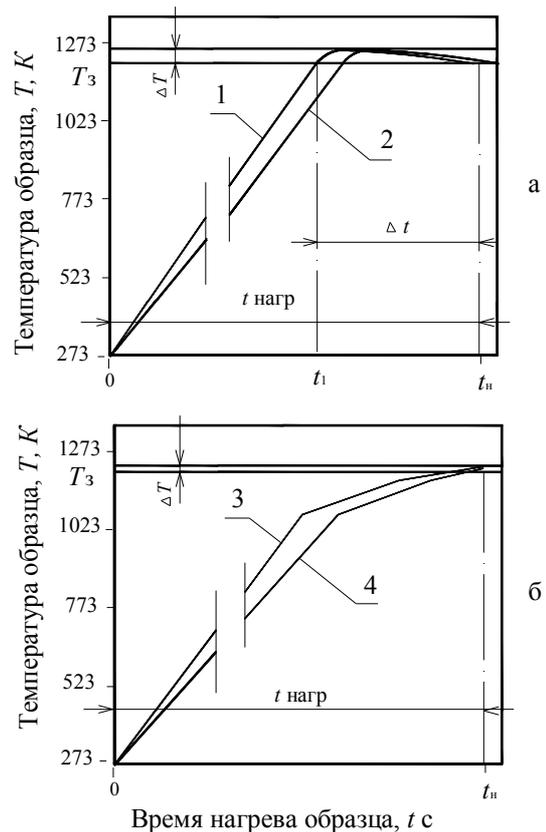


Рис. 2. Температурные кривые, характеризующие нагрев экспериментальных образцов: 1, 2 – по базовой методике; 3, 4 – по предлагаемой методике

После этого в интервале времени $t_1 \dots t_2$ происходит доведение объема образца до заданной температуры испытания (T_3). Общее время от начала нагрева до доведения образца до температуры испытаний определяется интервалом $t_0 \dots t_2$.

На рис. 2, б показана схема изменения температуры образцов, которая была получена после применения трехступенчатой методики снижения скорости их нагрева. Общее время нагрева образцов находилось в интервале $t_0 \dots t_n$.

Для наглядности из модели реологического состояния, описанной в работах [1, 2], выделим уравнение деформации ползучести и преобразуем его скорость ползучести

$$\epsilon = \beta_0 \cdot \sigma^n \cdot \exp(kT) \cdot t; \quad (1)$$

$$\dot{\epsilon} = \beta_0 \cdot \sigma^n \cdot \exp(kT), \quad (2)$$

где ϵ – деформация ползучести, м; $\dot{\epsilon}$ – скорость деформации ползучести, м/с; T – тем-

пература образцов, K ; σ – напряжение в поперечном сечении образцов, МПа; t – текущее время, с; β_0, k, n – эмпирические коэффициенты.

На основании показателей деформации ползучести, вызванных действием температуры, напряжением и временем действия напряжений в образце, определяем эмпирические коэффициенты c, β_0, k, n .

При сравнении времени нагрева образцов по базовой и разработанной методикам получаем: время нагрева образцов по двум методикам отличается примерно на 5–10 %.

Таким образом, целесообразно применять разработанную методику для нагрева образцов, которая на 5–10 % повышает время нагрева, но позволяет нагревать образец без превышения заданной температуры испытания, что позволяет повысить точность определения реологических характеристик исследуемых медных сплавов.

Выводы

Разработана методика, исключаящая перегрев образцов в температурном интервале $(0,9-0,95)T_L$ и позволяющая удерживать $\dot{\epsilon}$ и время испытаний в границах, которые максимально приближают показатели испытаний к реальным результатам.

Определено, что при повышении температуры испытания образцов от интервала $(0,3-0,5)T_L$ до интервала $(0,9-0,95)T_L$ $\dot{\epsilon}$ увеличивается от $3,2 \cdot 10^3$ до $6,7 \cdot 10^3$ раз.

Это свидетельствует о том, что для испытаний исследуемых сплавов необходимо использовать усовершенствованную машину АИМА 5-2, которая позволяет проводить испытания при высоких скоростях деформации ползучести.

Разработанная методика может быть использована для измерения ползучести и других

сплавов, находящихся в температурном интервале $(0,9-0,95)T_L$.

Литература

1. Работнов Ю. Н. Ползучесть элементов конструкций / Ю.Н. Работнов. – М.: Наука, 1966. – 752 с.
2. Качанов Л.М. Основы механики разрушения / Л.М. Качанов. – М.: Наука, 1974. 312 с.
3. Гигиняк Ф.Ф. Оценка вязко-пластичных свойств титановых сплавов / Ф.Ф. Гигиняк, Т.Н. Можаровская, В.В. Башта // Проблемы прочности. – 2005. – №3. – С. 37–44.
4. Стакян М.Г. Вероятностная оценка сопротивления усталости гладких и ступенчатых валов / М.Г. Стакян, К.Ц. Исаханян // Известия НАН РА ГИУА. Серия: Технические науки. – 2004. – Т. LVII, №2. – С. 204–209.
5. Хорошилов О.М. Процес горизонтального безперервного лиття мідних сплавів з вимушеним короткотерміновим реверсивним рухом заготовок підвищеної якості в нерухоному кристалізаторі: автореферат дис. на здобуття наук. ступеня докт. техн. наук: спец. 05.16.04 «Ливарне виробництво» / О.М. Хорошилов. – Дніпропетровськ, 2013. – 32 с.
6. Пат. МПК G 01 N 3/18. Пристрій для випробування зразків у температурному інтервалі кристалізації на повзучість та довготривалу міцність / О.М. Хорошилов, О.І. Пономаренко, О.А. Шатагін; заявник і патентовласник Національний технічний університет «Харківський політехнічний інститут». – № 17741; заявлено 03.04.06; опубл. 16.10.2006, Бюл. № 10, 2006 р.

Рецензент С.С. Дьяченко, профессор, д.т.н., ХНАДУ.

Статья поступила в редакцию 4 декабря 2015 г.