

УДК 620.17

В.И. Сакало, Ю.С. Гусева, Т.В. Иншакова

ВЛИЯНИЕ ТЕМПЕРАТУРЫ ТЕРМООБРАБОТКИ НА МЕХАНИЧЕСКИЕ СВОЙСТВА МЕДИ М1

Описаны испытания на растяжение образцов из твердой меди М1, предварительно подвергнутых термической обработке с нагревом до температур от 200 до 900°C и последующим охлаждением в воде или на воздухе. Определены значения предела прочности и относительного остаточного удлинения. Установлено, при каких условиях твердая медь приобретает свойства мягкой.

Ключевые слова: медь М1, плоский образец, испытание на растяжение, механические свойства, предел прочности, относительное остаточное удлинение, температура термообработки.

Образцы выполнены из шины ПМТ 20Х 60Х3545. Они получены гидроабразивной резкой из материала шины, прилегающего к её боковой грани. Для испытаний использовались плоские короткие пропорциональные образцы с начальной рабочей длиной

$$l_0 = 5,65\sqrt{F_0} = 71,5\text{мм},$$

где $F_0 = bh = 2 \cdot 0,8 = 1,6 \text{ см}^2$ – площадь поперечного сечения образца; $b = 20 \text{ мм}$ – ширина поперечного сечения образца; $h \approx 8 \text{ мм}$ – толщина поперечного сечения образца.

Перед испытаниями на растяжение образцы подвергались нагреву в муфельной печи мощностью 2,5 кВт, а затем охлаждению на воздухе или в воде. Скорость нагрева образцов не регулировалась. Время нагрева до температуры 600°C составляло 20 мин. На рис. 1 показан вид охлажденных образцов после нагрева до разных температур. На снимке попарно расположены образцы, которые нагревались до температур 700, 800 и 900°C. Образцы, находящиеся слева, после нагрева охлаждались на воздухе, а расположенные справа – в воде. На образцах, охлажденных на воздухе, видимой является поверхность разреза. Образцы, охлажденные в воде, развернуты поверхностью разреза вниз. Поверхности образцов покрыты окалиной. На поверхности разреза образца, который нагревался до температуры 700°C, видны светло-серые пятна. Можно предположить, что это выделения серебра. Поверхность образца, который нагревался до температуры 900°C, они покрывают почти полностью.

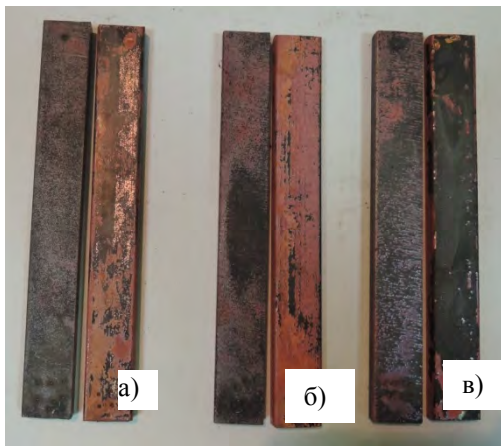


Рис. 1. Образцы, нагретые до проведения испытаний до температур (°C): а - 700; б - 800; в - 900

Испытания образцов на растяжение проведены на машине SZ 10-1 с настройкой на максимальное разрывное усилие 50 кН. Для закрепления образцов в захватах машины использовались клиновые вкладыши с насечкой. На рис. 2 показаны разорванные образцы, которые предварительно нагревались до температур 20, 525, 550, 575, 600, 700, 900°C с последующим охлаждением в воде.

Испытания образцов на растяжение проведены на машине SZ 10-1 с настройкой на максимальное разрывное усилие 50 кН. Для закрепления образцов в захватах машины использовались клиновые вкладыши с насечкой. На рис. 2 показаны разорванные образцы, которые предварительно нагревались до температур 20, 525, 550, 575, 600, 700, 900°C с последующим охлаждением в воде.

Диаграммы растяжения образцов представлены на рис. 3. По оси абсцисс на них записывается не удлинение рабочей части образца, а перемещение подвижного захвата машины относительно неподвижного, а по оси ординат – усилие, прикладываемое к образцу.

Установлено, что способ охлаждения образца не влияет на приобретенные его материалом механические свойства. Диаграммы растяжения образцов, нагретых до одной и той же температуры, один из которых охлажден в воде, а другой на воздухе, полностью совпадают. Диаграммы растяжения образца, не подвергавшегося нагреву (рис. 3а), и об-

разцов, которые нагревались до температур 200, 300 и 500°C, практически ничем не различаются. На рис. 3б приведена диаграмма растяжения образца, который нагревался до температуры 200°C. Она не отличается от приведенной на рис. 3а. Начальный участок диаграммы соответствует процессу обжатия концевых частей образца в захватах машины с клиновыми вкладышами с насечкой. На рисунках он спрямлен прямой линией. За ним

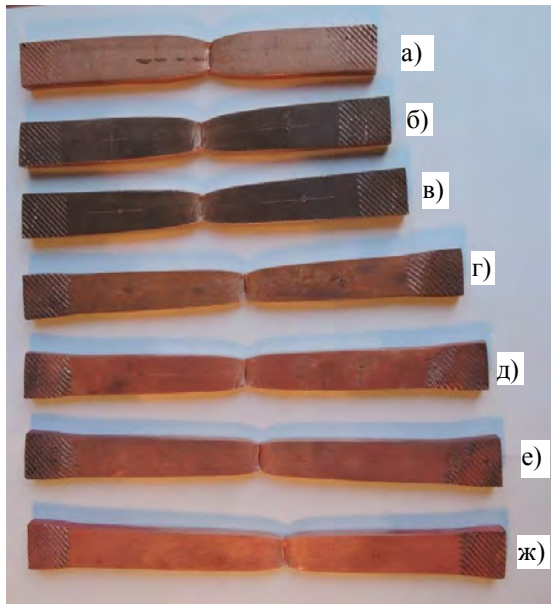


Рис. 2. Образцы, нагретые до проведения испытаний до температур (°С): а – комнатной; б - 525; в - 550; г - 575, д – 600; е – 700; ж – 900

располагается практически прямолинейный участок до достижения силы 27,5 кН, которой соответствует напряжение 183 МПа. Следующий участок характеризуется нелинейной зависимостью между напряжениями и деформациями. Максимальной силе соответствует предел прочности материала $\sigma_b = 289$ МПа. С увеличением температуры предварительного нагрева образца относительное остаточное удлинение δ_5 увеличивается с 17 до 27%. Предел прочности материала σ_b близок к справочному значению 290 МПа для твердого холоднокатаного сплава (ГОСТ 859-2001). Относительное удлинение больше справочного, равного 6%.

Диаграммы растяжения образцов, которые нагревались до температур 600 и 900°C, приведены на рис. 3ж,з. На них нет прямолинейного участка, они полностью криволинейные и незначительно отличаются одна от другой. С увеличением температуры нагрева незначительно увеличивается остаточное удлинение образца после разрыва. Относительное остаточное удлинение δ_5 для образца, предварительно нагретого до температуры 600°C, составило 52,8%, а для образца, нагретого до 900°C, – 58,6%. Для образцов, которые нагревались до температур выше 600°C, получены характеристики прочности и пластичности, свойственные мягкой меди: предел прочности 210...207 МПа, относительное остаточное удлинение 52,8...58,6%.

Полученные диаграммы позволили установить, что превращение твердой меди в мягкую происходит при нагреве до температуры, значение которой располагается в диапазоне 500...600°C. Для более точного определения температуры, при которой меняются свойства меди М1, проведены испытания на разрыв ещё трех образцов, которые предварительно нагревались до температур 525, 550 и 575°C с последующим охлаждением. Диаграммы растяжения этих образцов приведены на рис. 3г,д,е. Первые две отличаются от диаграммы растяжения образца из твердой меди поведением материала после достижения максимального усилия. Этот участок становится все более пологим и увеличивается по длине (рис. 3г,д). Диаграмма образца, предварительно нагретого до 575°C, сохраняет начальный участок, характерный для твердой меди, и содержит криволинейный участок, характерный для мягкой меди. Предел прочности материала снижается до 236,7 МПа, значительно увеличиваются характеристики пластичности.

Зависимость предела прочности меди от температуры предварительного нагрева представлена графиком на рис. 4. Резкое изменение предела прочности наблюдается в диапазоне температур 525...600°C.

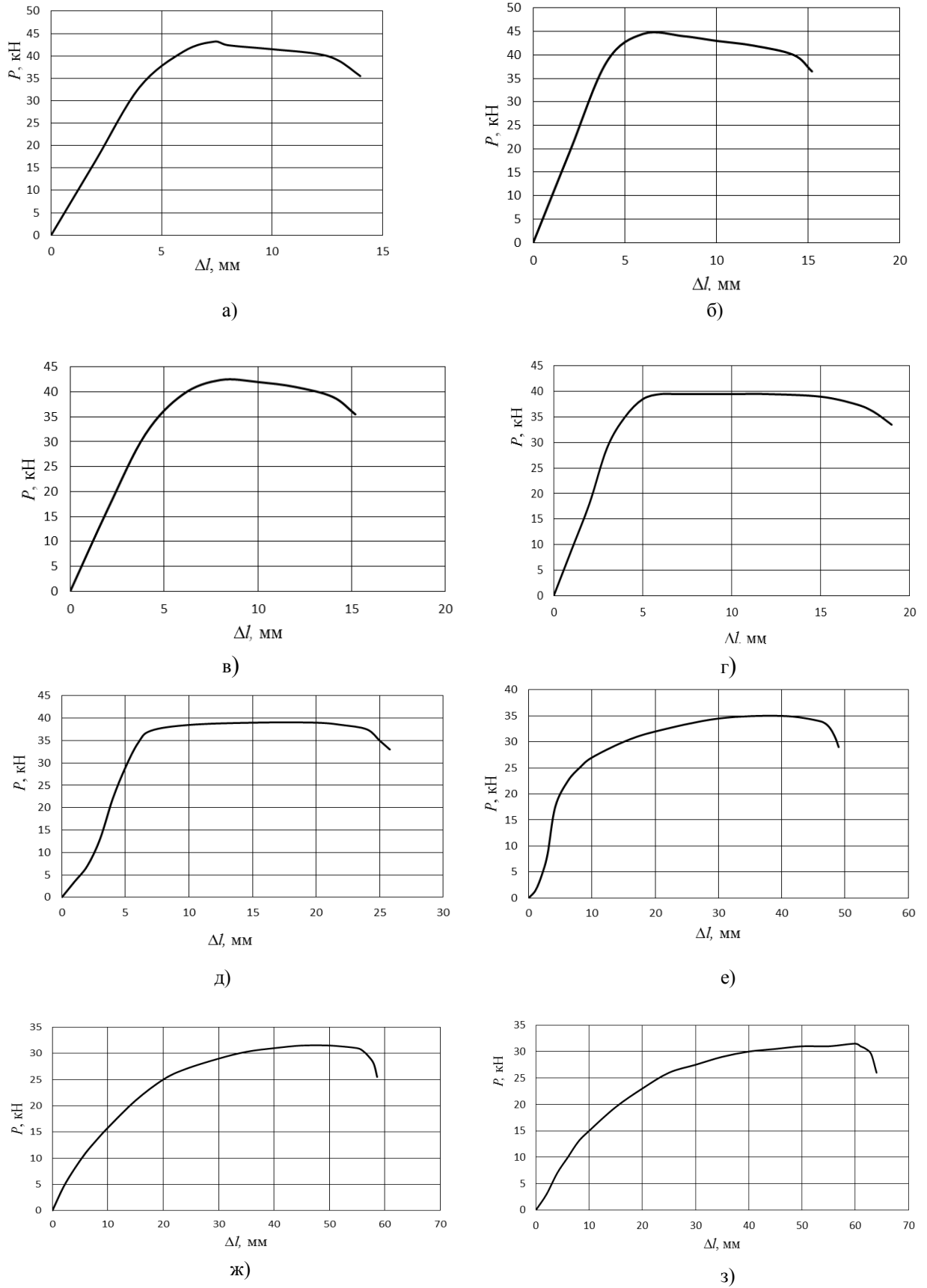


Рис. 3. Диаграммы растяжения образцов из меди М1, предварительно нагретых до температур (°С): а – 20; б – 200; в – 500; г – 525; д – 550; е – 575; ж – 600; з – 900

Зависимость от температуры относительного остаточного удлинения δ_5 , характеризующего свойства пластичности материала, представлена графиком на рис. 5. На нем наблюдается скачок в том же диапазоне температур, что и для предела прочности.

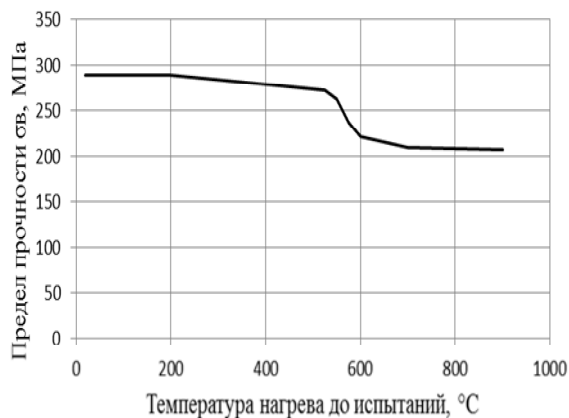


Рис. 4. Зависимость предела прочности меди М1 от температуры предварительного нагрева



Рис. 5. Зависимость относительного остаточного удлинения меди М1 от температуры предварительного нагрева

Исследовано изменение механических характеристик материала образцов, которые были подвергнуты нагреву до 600...900°C, с течением времени. Испытаны на растяжение образцы через 26, 84 и 110 дней после нагрева. Для них всех получены результаты, характерные для мягкой меди. Для последнего образца предел прочности составил 197,5 МПа, а относительное остаточное удлинение – 52,1%.

Выводы:

1. Способ охлаждения образца из твердой меди М1 после его нагрева до температур 20...900°C не влияет на механические свойства материала.
2. При нагреве образцов из твердой меди М1 до температур, не превышающих 500°C, и последующем охлаждении их в воде или на воздухе механические характеристики материала не меняются, материал сохраняет свойства твердой меди.
3. При нагреве образцов из твердой меди М1 до температур выше 600°C их материал приобретает свойства мягкой меди и сохраняет их с течением времени.

Материал поступил в редколлегию 5.03.15.