

эксплуатационной долговечности (по износостойкости) железнодорожных колес, изготавливаемых по технологии литья в стандартные, наиболее распространенные и дешевые песчано-глинистые формы.



Список литературы

1. Создание математической модели формирования свойств литых низко- и среднелегированных конструкционных сталей методами легирования, модифицирования и термической обработки: Отчет о НИР (заключительный) НАН Украины Институт проблем литья. – ОЦО 102 ТЭ; № ГР 800571; Инв. № В 119692. - Киев, 1981. - 224 с.
2. Крагельский И. В. Трение и износ. - М.: Машиностроение, 1968. - 480 с.
3. Любарский И. В., Палатник Л. С. Металлофизика трения. - М.: Металлургия, 1976. - 176 с.

Поступила 22.01.2009

УДК 621.74.047

**Ю. Н. Логинов, Р. К. Мысик, С. Л. Смирнов, С. В. Брусницын,
А. В. Сулицин, И. А. Груздева**

Уральский государственный технический университет – УПИ, Екатеринбург

АНИЗОТРОПИЯ МЕХАНИЧЕСКИХ СВОЙСТВ ДЕНДРИТНОЙ СТРУКТУРЫ НЕПРЕРЫВНОЛИТОЙ КИСЛОРОДОСОДЕРЖАЩЕЙ МЕДИ

Изучена структура литой заготовки прямоугольного сечения, полученной на установке непрерывного литья типа HAZELETT и предназначенной для последующей деформации на стане горячей сортовой прокатки. Произведено пошаговое измерение твердости по Бриннелю на темплатах поперечного сечения литой заготовки, продольного вертикального и продольного горизонтального сечений. На основании отклонений формы отпечатков от правильной окружности сделан вывод об анизотропии свойств меди, полученной способом непрерывного литья. Построены координатные зависимости, характеризующие анизотропию литого металла. На основании анализа модели упруго-пластической среды сделано заключение о наличии связи между некруглой формой отпечатков, расположением дендритов, а также текстурой литого металла. Выводы подтверждены статистической обработкой.

Вивчена структура литої заготовки прямокутного перерізу, яка отримана на установці безперервного лиття типу HAZELETT і призначена для наступної деформації на стані гарячої сортової прокатки. Вироблено покроковий вимір твердості по Бріннелю на темплатах поперечного перерізу литої заготовки, поздовжнього вертикального і продольного горизонтального перерізу. На основі відхилень форми відбитків від правильного кола було зроблено висновок про анізотропію властивостей міді, отриманої способом безперервного лиття. Побудовані координатні залежності, які характеризують анізотропію литого металу. На основі аналізу моделі пружно-пластичного середовища було зроблено висновок про наявність зв'язку між некруглою формою відбитків, розміщенням дендритів, а також текстурою литого металу. Висновки підтвержені статистичною обробкою.

Structure of cast rectangular cross section poured on Hazelett continuous casting machine and meant for subsequent deformation on hot-rolling profilled mill is studied. Step by step Brinell hardness test on cross-section, longitudinal vertical and horizontal section templet is taken. Conclusion about copper properties anisotropy poured on continuous casting method is drawn

under dent out-of-roundness. coordinate relation characterized cast metal anisotropy is drawn. Dependence between dent out-of-roundness and dendrite placement and cast structure is established under simulation analysis of plasto-elastic medium. summary is confirmed by means of statistical treatment.

Ключевые слова: непрерывное литье, горячая сортовая прокатка, твердость по Бринеллю, гистограмма, координатные зависимости, дендриты, текстура литого металла.

Актуальность проблемы. Кислородосодержащая медь является одним из основных электротехнических материалов, используемых в машиностроении, строительстве, электронике и т. д. За последние десятилетия коренным образом изменилась технология производства таких материалов. На смену самостоятельным процессам получения вайербаров и их обработки давлением пришли совмещенные схемы литья и деформации. Объектом данного исследования является литая заготовка прямоугольного сечения, полученная на установке непрерывного литья типа HAZELETT [1] и предназначенная для последующей деформации на стане горячей сортовой прокатки с целью получения катанки (по технологии CONTIROD) и волочения ее в готовую проволоку. По данным американской фирмы HAZELETT STRIP CASTING CORPORATION около 30 % медной катанки в мире производится по данной технологии.

Производство литых заготовок из кислородосодержащей электротехнической меди обходится дешевле, чем заготовок из бескислородной меди, но при этом приходится решать некоторые технологические проблемы. Одной из проблем, возникающих при производстве литой заготовки из технической чистой кислородосодержащей меди, является крупнозернистое строение металла, которое способствует выделению кислорода в виде закиси меди по границам зерен и неоднородному распределению механических характеристик в готовой продукции [2, 3]. Интенсивный отвод тепла в условиях непрерывной разливки вызывает направленный рост кристаллов с образованием ярко выраженного дендритного строения. Это приводит к анизотропии свойств литой заготовки [4] и необходимости учета этого обстоятельства при назначении калибровки валков, по крайней мере, в первых проходах прокатки. Таким образом, изучение дендритного строения литой заготовки является актуальной задачей.

Проведение эксперимента. Литые заготовки достаточно крупных размеров, как правило, обладают неравномерностью распределения механических свойств. Поэтому одним из вопросов, возникающих при изучении анизотропии свойств металла, является необходимость рассмотрения анизотропии свойств и неравномерности их распределения. С этой целью определялась твердость по Бринеллю с использованием стального шарика диаметром 10 мм при нагрузке 10 кН. Выбор метода испытания обусловлен желанием усреднения результатов измерений: индентор в виде шарика большого диаметра перекрывает сразу несколько зерен металла.

Для исследования отбирали поперечный темплет непрерывнолитой заготовки, его поверхность подвергали шлифованию и проводили испытание твердости по Бринеллю. Ранее в работе [4] было установлено, что отпечатки сферического индентора в литой текстурованной меди получаются некруглыми. На рис. 1, *a* приведен вид такого отпечатка, выполненного в плоскости, параллельной длине дендрита. На рисунке видны зоны различной тональности, которые относятся к различным дендритам, а также показано, что несимметричность отпечатка оказывается довольно большой. Поэтому для описания такого отпечатка применили понятие размера $a_i (i=1, 2-4)$, определенного в четырех направлениях, два из которых диагональные (рис. 1, *b*).

В обычной практике измерения твердости размеры a_i усредняются, но в данной работе они являются характеристиками анизотропии свойств меди, порядок их усреднения будет описан ниже.

На рис. 2, *a* представлена макроструктура литой заготовки с поперечным сечением 120x70 мм, являющимся стандартным в технологии CONTIROD. На рис. 2, *b* показаны направление роста дендритов в заготовке и расположение отпечатков. Для обработки результатов использовали трехиндексную нумерацию размеров a_{ijk} , где $i=1, 2-4$ – ранее

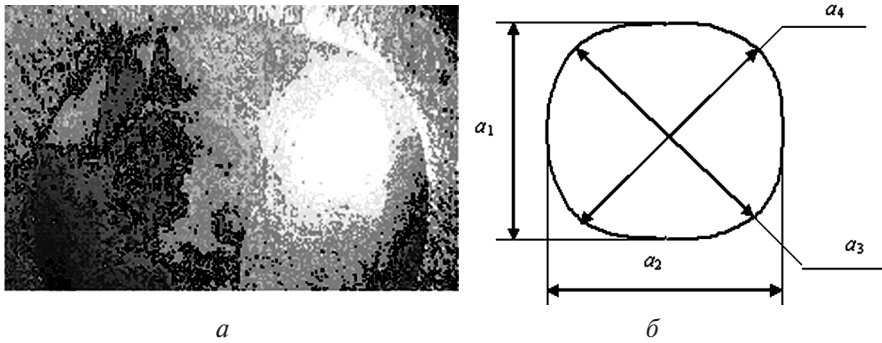


Рис. 1. Форма отпечатка сферического индентора при измерении твердости (а) литой меди и нумерация размеров этого отпечатка (б)

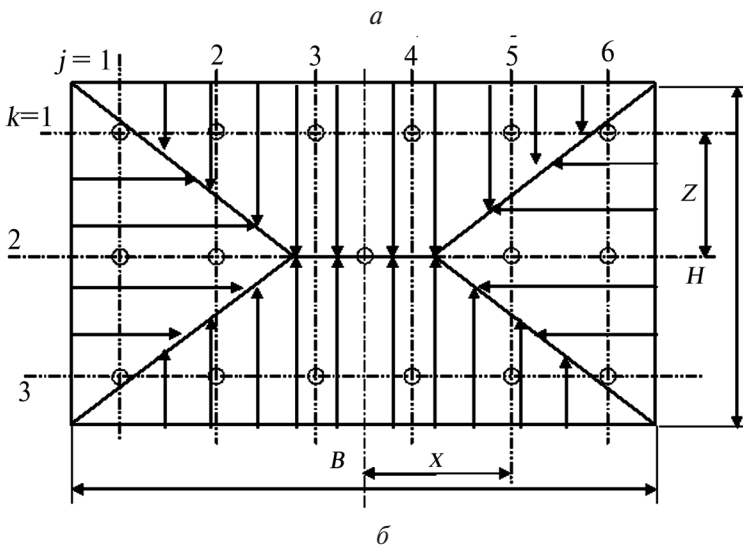
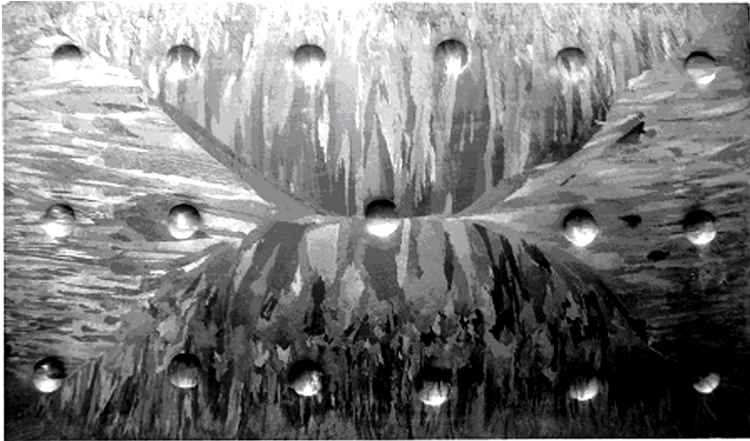


Рис. 2. Фото поперечного темплета литой заготовки (а), направления роста дендритов (стрелки), точки измерения твердости (круглые отпечатки) в системе координат (б)

введенная индексация для одного отпечатка, $j = 1, 2-6$ – номер отпечатка в горизонтальном ряду и $k = 1, 2, 3$ – номер отпечатка в вертикальном ряду. Наряду с этим для возможности построения графиков ввели систему координат, в которой положение отпечатка x по горизонтальной оси и по вертикальной оси z отсчитывается от центра заготовки. Ввели безразмерные координаты $x/(B/2)$ и $z/(H/2)$. При этом считали, что левая и правая части темплета имеют симметричное распределение структуры и механических характеристик относительно центра заготовки. Это позволило усреднить значения твердости при совпа-

дении координат слева и справа от центра заготовки, что увеличивало объем выборки и надежность статистических расчетов вдвое, а при усреднении по высоте темплета – в четыре раза. Из рис. 2 видно, что в этом случае измеряются отпечатки, оставленные индентором на поверхности, нормаль которой направлена ортогонально осям дендритов.

В табл. 1 представлены результаты измерений для двух вариантов заготовок, отлитых при скорости 9 (заготовка 1) и 7 м/мин (заготовка 2). Из данных таблицы видно, что дисперсии и стандартные отклонения достаточно однородны, что говорит об одинаковых условиях измерений. Рассчитанные средние значения твердости по плоскости темплета оказались разными. Заготовка 1, отлитая при большей скорости литья, характеризуется меньшей (на три единицы) твердостью, чем заготовка, отлитая при малой скорости. Влияние скорости литья на твердость получаемой заготовки является предметом самостоятельного исследования.

Таблица 1. Значения твердости с учетом анизотропии свойств для поперечных темплетов литой заготовки

<i>jk</i>	Заготовка 1				Заготовка 2			
	<i>i</i>							
	1	2	3	4	1	2	3	4
11	45	44	39	40	48	48	43	43
21	45	47	39	39	46	50	43	41
31	44	45	37	46	47	50	36	43
41	44	42	39	37	49	48	39	43
51	50	50	42	42	48	51	46	45
61	51	47	41	42	52	50	45	47
12	48	47	39	39	46	49	43	42
22	51	47	39	39	49	46	42	42
32	41	39	33	34	48	50	44	43
42	48	50	39	39	52	50	43	39
52	47	43	39	39	51	48	44	39
13	47	43	39	41	48	44	43	42
23	45	47	40	41	48	48	42	44
33	43	46	39	42	46	44	44	40
43	43	44	39	38	46	44	42	46
53	43	45	42	42	50	48	40	44
63	47	48	40	39	50	48	44	42
Среднее	46	45	39	40	48	48	42	42
Дисперсия	8,3	7,8	4,0	6,7	4,4	5,2	5,4	4,1
Стандартное отклонение	2,9	2,8	2,0	2,6	2,1	2,3	2,3	2,0
Среднее по темплету			42,5		45,1			

На рис. 3 изображена гистограмма средних значений твердости в зависимости от индекса направления измерений *i* для заготовок, отлитых при разных скоростях литья.

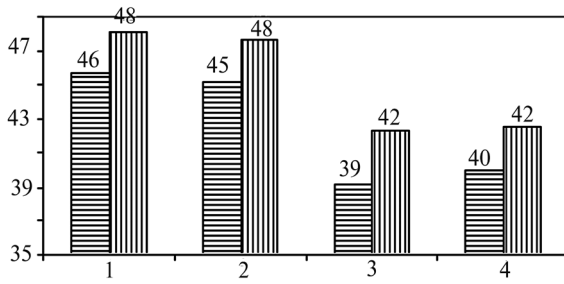


Рис. 3. Гистограмма твердости меди в зависимости от индекса направления измерения i и скорости литья 9 (горизонтальная штриховка) и 7 м/мин (вертикальная штриховка)

Как видно из гистограммы, при всех вариантах измерений твердость при большей скорости оказывается меньшей. Однако при этом общей тенденцией является меньшая твердость, определяемая вдоль направления диагонали отпечатка, то есть в направлении, которое отличается от направления роста дендритов и ортогонального ему направления. Основная гипотеза, объясняющая это явление: наличие разницы в упругих константах дендрита, измеряемых в

различных направлениях.

Поскольку значения средней твердости оказались различными для двух случаев разлива металла, то для приведения их к общему виду приняли решение ввести безразмерный параметр k_{HVijk} как отношение текущего значения твердости HV_{ijk} к среднеинтегральному значению HV

$$k_{HVijk} = HV_{ijk} / \left(\frac{1}{mnp} \sum_1^m \sum_1^n \sum_1^p HV_{ijk} \right),$$

где m, n, p – количество измерений в соответствующем ряду.

Статистический анализ, выполненный для заготовки 1, показал, что минимальное значение k_{HVijk} составляет 0,77, а максимальное -1,19, то есть отклонения от среднего значения твердости могут составлять величину (-23...+19) % при стандартном отклонении на уровне 0,09 для всей совокупности значений (табл. 2). При этом часть такого рассева значений обусловлена неоднородностью распределения механических характеристик по поперечному сечению заготовки, а часть – анизотропией свойств.

Таблица 2. Статистические показатели параметра k_{HVijk} по группам выборки для поперечного сечения литой заготовки

Показатель	Для всей выборки	i			
		1	2	3	4
Среднее значение	1,00	1,07	1,06	0,92	0,94
Медиана	0,98	1,05	1,07	0,93	0,93
Стандартное отклонение	0,09	0,07	0,07	0,05	0,06
Дисперсия	0,0084	0,0045	0,0043	0,0022	0,0037
Интервал	0,42	0,23	0,26	0,21	0,28

Разделение выборки на группы значений с индексами $i=1, 2, 3, 4$ привело к снижению стандартного отклонения до значений 0,07; 0,07; 0,05 и 0,06 соответственно. Таким образом, точность представления средних результатов улучшилась по отношению к общей выборке. Это говорит о том, что деление на группы является значимым фактором. Вместе с тем такое деление отражает уровень влияния на измерения именно анизотропии свойств, поскольку эти измерения выполнены в различных направлениях. Следует отметить, что при делении на группы уменьшилась примерно вдвое величина интервала выборки (0,21-0,28 против 0,42). Это говорит о меньшем рассеве внутри каждой совокупности значений по сравнению с генеральной выборкой, то есть о значимости анизотропии.

Измерение твердости по ширине заготовки, выполненное на ее продольном горизонтальном темплете, показало, что наблюдается различие ее значений, обусловленное

особенностями кристаллизации металла в этом направлении. Следует отметить, что различия в измерениях твердости имеются и по длине заготовки. Это можно объяснить только стохастическими причинами.

На рис. 4 показан продольный темплет заготовки, отлитой при скорости литья 9 м/мин. Из рисунка видно, что в данном случае в отличие от предыдущего варианта сечение представляет собой зоны с различной ориентировкой осей дендритов: сверху и снизу оси дендритов лежат в плоскости темплета, а в средней части они ортогональны его плоскости, поэтому их сечение выглядит как равноосное.

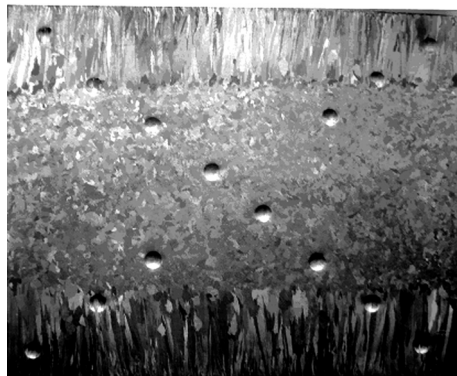


Рис. 4. Продольный горизонтальный темплет литой заготовки

На рис. 5 показан значения твердости, усредненные по результатам четырех измерений при одинаковых значениях координат $x/(B/2)$. Необходимость именно такого порядка усреднения продиктована тем, что твердость меди, измеренная вдоль координаты x , разнится, поэтому сравнивать ее значения необходимо в сопоставимых условиях.

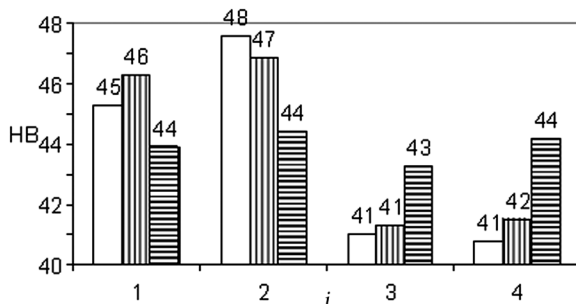


Рис. 5. Гистограмма твердости продольного горизонтального темплета в зависимости от индекса направления измерения i при значениях $x/(B/2) = 0,88$ (светлые столбцы), $0,63$ (вертикальная штриховка) и $0,37$ (горизонтальная штриховка)

Из графика видно, что по мере удаления точек от периферии литой заготовки к центру сохраняется различие между совокупностью измерений в направлениях 1, 2 и 3, 4. При этом вдоль направления диагонали отпечатка значения твердости ниже. Однако при переходе к координате $x/(B/2)=0,37$ такой характер закономерности распределения твердости изменяется, значения твердости выравниваются, что объясняется попаданием отпечатков в зону расположения дендритов с осями, ортогональными к плоскости измерений. Усредненное в этом сечении значение твердости по всем измерениям составило величину 43,5, что мало отличается от усредненного значения твердости, определенного на поперечном темплете. Для всей совокупности значений твердости стандартное отклонение параметра k_{HVijk} составляет 0,08 (табл. 3), а по группам ($i=1, 2, 3, 4$) оно несколько меньше. Значительным оказался интервал вариаций параметра выборки, что, очевидно, можно объяснить различным положением дендритов в плоскости темплета. При отображении параметра k_{HVijk} в функции координаты $x/(B/2)$ оказывается, что в центре заготовки k_{HVijk} примерно равен единице (рис. 6), что свидетельствует об изотропности твердости в этой плоскости. На периферии заготовки оси

Таблица 3. Статистические показатели параметра k_{HVijk} по группам выборки для продольного горизонтального сечения литой заготовки

Показатель	Для всей выборки	i			
		1	2	3	4
Среднее значение	1,00	1,02	1,05	0,96	0,96
Медиана	0,99	1,02	1,04	0,96	0,98
Стандартное отклонение	0,08	0,06	0,07	0,07	0,07
Дисперсия	0,0059	0,0033	0,0052	0,0049	0,0054
Интервал	0,45	0,23	0,28	0,30	0,14

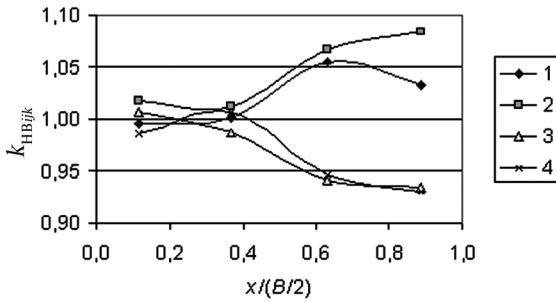


Рис. 6. Зависимость параметра $k_{HВijk}$ от координаты $x/(B/2)$ при различных значениях индекса i (числа в таблице)



Рис. 7. Продольный вертикальный темплет литой заготовки

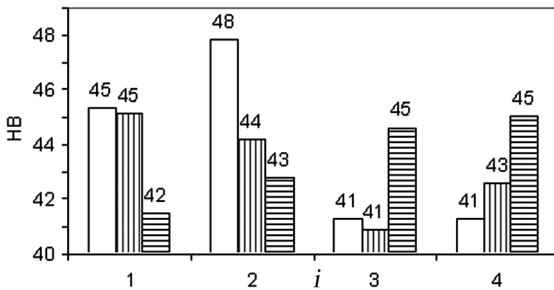


Рис. 8. Гистограмма твердости продольного вертикального темплета в зависимости от индекса направления измерения i при значениях $z/(H/2) = 0,86$ (светлые столбцы), $0,50$ (вертикальная штриховка) и $0,19$ (горизонтальная штриховка)

дендритов лежат в плоскости темплета, поэтому показатель $k_{HВijk}$ резко меняет свои значения.

Темплет литой заготовки, отлитой при скорости 9 м/мин, вырезанный из нее в вертикальном направлении, представлен на рис. 7, при этом поверхность зафиксирована на расстоянии от центра, равного $x=0,25(B/2)$. Из рисунка видно, что в этом сечении зона дендритов, оси которых ориентированы ортогонально плоскости темплета, не так велика, как в предыдущем случае.

На рис. 8 представлены значения твердости, усредненные по результатам четырех измерений при одинаковых значениях координат $z/(H/2)$. Выявлены повышенные значения твердости вдоль высоты и длины заготовки (при $i=1$ и 2) и пониженные значения в диагональном направлении (при $i=3$ и 4), что справедливо для дендритов, оси которых расположены в плоскости темплета $z/(H/2)=0,86$ и $0,50$. При их расположении характер зависимости меняется ортогонально этой плоскости: твердость в диагональном направлении становится выше, чем вдоль высоты и длины заготовки. Усредненное в этом сечении значение твердости по всем измерениям составило величину 43,6, что мало отличается от усредненных значений твердости, определенных в двух предыдущих случаях.

Статистический анализ результатов замеров, выполненный для этого темплета, показал, что минимальное значение $k_{HВijk}$ составляет 0,89 и относится к измерениям твердости по диагонали, а максимальное равно 1,14, то есть отклонения от среднего значения твердости могут находиться в пределах $-11...+14\%$.

Средние значения показателя $k_{HВijk}$ по группам индекса i (табл. 4) имеют меньшие

Таблица 4. Статистические показатели параметра $k_{HВijk}$ по группам выборки для продольного вертикального сечений литой заготовки

Показатель	Для всей выборки	i			
		1	2	3	4
Среднее значение	1,00	1,02	1,04	0,96	0,98
Медиана	1,00	1,02	1,05	0,95	0,97
Стандартное отклонение	0,06	0,05	0,06	0,05	0,04
Дисперсия	0,0034	0,0029	0,0037	0,0020	0,0019
Интервал	0,25	0,19	0,18	0,14	0,14

отклонения от среднего значения по всей выборке, чем такие же показатели для поперечного темплета. Это можно объяснить тем, что для поперечного темплета существенно влияние на изучаемый параметр положения точки, размещаемой в двух координатах (z и x), а для продольного вертикального темплета в случае стационарности процесса литья - на изучаемый параметр положения точки только относительно высоты заготовки.

Таким образом, общим для всех вариантов измерений при расположении дендрита в плоскости темплета является установление закономерности, в соответствии с которой твердость, измеренная для дендрита в диагональном направлении, оказывается величиной минимальной.

Анализ полученных результатов. Как известно, для металлов с кубической решеткой направлением наиболее быстрого роста кристалла является сторона куба $\langle 100 \rangle$ [5]. В этом же направлении для меди наблюдается наименьшее значение нормального модуля упругости 78 против 126 ГПа для направления $\langle 110 \rangle$ и 159 ГПа для направления $\langle 111 \rangle$ [6]. Если допустить, что направленность роста дендритов меди соответствует направленности роста монокристалла меди, то в направлении длины дендрита должны наблюдаться малая жесткость и наибольшие упругие свойства, характеризуемые наименьшим модулем упругости.

При испытаниях на твердость по Бриннелю оценивается уровень пластических деформаций по размеру отпечатка сферического индентора. При этом оказывается, что отпечаток сферического индентора имеет некруглую форму. Это можно объяснить различным уровнем упругой деформации, которая происходит при снятии нагрузки с индентора. Сказанное поясняется рис. 9, где представлено схематичное изображение графика зависимости «механическое напряжение σ – степень деформации ϵ » для идеальной упруго-пластической среды, характеризующейся двумя различными нормальными модулями упругости в кристаллографических направлениях $\langle 100 \rangle$ и $\langle 111 \rangle$, что показано различными углами наклона графиков в упругой зоне $\arctg(E_{\langle 100 \rangle})$ и $\arctg(E_{\langle 111 \rangle})$. Здесь учтено, что в направлении $\langle 100 \rangle$ угол наклона меньше, чем в направлении $\langle 111 \rangle$, то есть в первом направлении медь проявляет повышенные упругие свойства. На наклонной части графиков OA и OB материал проявляет упругие свойства, а на горизонтальных участках AB и BD – свойство идеальной пластичности. Путь нагружения и разгрузки для направления $\langle 100 \rangle$ при измерении твердости описан ломаной линией $OBDF$, а для направления $\langle 111 \rangle$ - $OADC$. Как известно из теории упругости, общая степень деформации материала ϵ является суммой упругой компоненты ϵ^y и пластической (остаточной) компоненты $\epsilon^п$, соответственно, для двух направлений

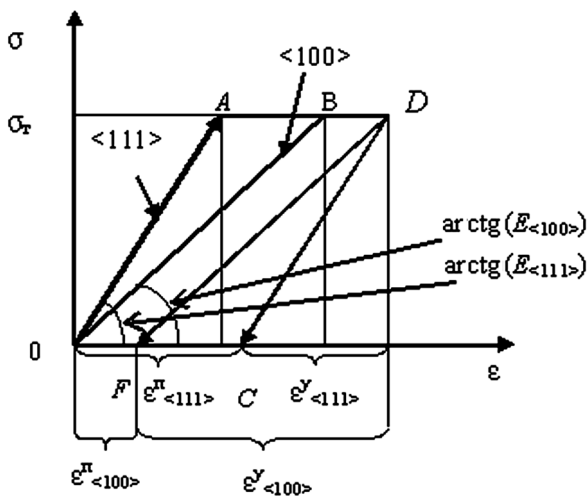


Рис. 9. Диаграмма нагрузки и разгрузки образца в упругой и пластической области (пояснения в тексте)

различными углами наклона графиков в упругой зоне $\arctg(E_{\langle 100 \rangle})$ и $\arctg(E_{\langle 111 \rangle})$. Здесь учтено, что в направлении $\langle 100 \rangle$ угол наклона меньше, чем в направлении $\langle 111 \rangle$, то есть в первом направлении медь проявляет повышенные упругие свойства. На наклонной части графиков OA и OB материал проявляет упругие свойства, а на горизонтальных участках AB и BD – свойство идеальной пластичности. Путь нагружения и разгрузки для направления $\langle 100 \rangle$ при измерении твердости описан ломаной линией $OBDF$, а для направления $\langle 111 \rangle$ - $OADC$. Как известно из теории упругости, общая степень деформации материала ϵ является суммой упругой компоненты ϵ^y и пластической (остаточной) компоненты $\epsilon^п$, соответственно, для двух направлений

$$\epsilon_{\langle 100 \rangle} = \epsilon^п_{\langle 100 \rangle} + \epsilon^y_{\langle 100 \rangle};$$

$$\epsilon_{\langle 111 \rangle} = \epsilon^п_{\langle 111 \rangle} + \epsilon^y_{\langle 111 \rangle}.$$

Из графиков видно, что при одинаковых значениях общей степени деформации распределение компонент оказывается разным: для материала с меньшим значением E упругая

компонента степени деформации $\epsilon_{<100>}^y$ оказывается большей, чем компонента $\epsilon_{<111>}^y$.

Поскольку в направлении $<100>$, то есть в направлении кристаллизации и роста дендритов, модуль упругости для меди минимальный, то при разгрузке индентора размер отпечатка должен оказаться меньше именно в этом направлении и больше во всех других. Значения твердости обратно пропорциональны размерам отпечатка, поэтому твердость должна быть больше в направлении кристаллизации дендрита, что и обнаружено проведенными опытами. При дальнейшей обработке металла унаследованная от литья текстура должна видоизменяться благодаря процессам динамической и статической рекристаллизации, а также нагартовки металла [7]. В случае получения из литой заготовки проволоки без процесса горячей деформации наличие текстуры мешает процессу заполнения профильных волок, на что обращается внимание в работе [8]. При использовании процесса горячей сортовой прокатки для изготовления из непрерывнолитой заготовки катанки неравномерность протекания процесса динамической рекристаллизации приводит к неоднородному распределению твердости по сечению готового продукта [9].

Полученные в данной работе результаты подтверждают ранее установленный факт получения несимметричных отпечатков при измерении твердости поперечного сечения медной непрерывнолитой заготовки [4]. В предыдущей работе исследовалась анизотропия распределения твердости по наружному контуру заготовки, что не позволило создать общую картину распределения этого параметра. Благодаря изготовлению и испытанию темплетов, вырезанных из заготовки в различных направлениях, в этой работе удалось выявить более общие закономерности и найти объяснение наблюдаемым явлениям.

Выводы

- Подтвержден факт анизотропии дендритной структуры непрерывнолитой медной заготовки.
- Установлено, что твердость, измеренная для дендрита меди в диагональном направлении, оказывается величиной минимальной.
- Проявления анизотропии в непрерывнолитой заготовке обоснованы различием упругих констант меди, что проявляется в испытаниях на твердость.



Список литературы

1. Пат. 4155396 США, IPC B22D11/06; B22D11/06. Method and apparatus for continuously casting copper bar product / DOMPAS JOHN, HAZELETT ROBERT. - Опубл. 22.05.1979.
2. Pops H. The metallurgy of copper wire // *Tecnologie del Filo*. - 2003. - № 4. - P. 70-74.
3. Aoyama S, Ichikawa T, Watabe M. Suppression of micro cracking during hot rolling due to refinement of crystal grains in tough pitch copper // *Journal of the Japan Copper and Brass Research Association*. - 2001. - Vol. 40. - P. 183-188.
4. Логинов Ю. Н., Мысик Р. К., Романов В. А. Анизотропные характеристики непрерывнолитой кислородосодержащей меди // *Литейщик России*. - 2008. - № 3. - С. 25-27.
5. Бородкина М. М., Спектор Э. Н. Рентгенографический анализ текстуры металлов и сплавов. - М.: *Металлургия*, 1981. - 272 с.
6. Осинцев О. Е. Федоров В. Н. Медь и медные сплавы. - М.: *Машиностроение*, 2004. - 336 с.
7. Логинов Ю. Н., Котов В. В. Проявления текстуры в полуфабрикатах из меди // *Особенности обработки и применения изделий из тяжелых цветных металлов: Тез. докл.* - Екатеринбург: УрО РАН, 2006. - С. 368-378.
8. Логинов Ю. Н., Мальцева Л. А., Вырлина Л. М., Копылова Т. П. Проблемы применения медной катанки в кабельной промышленности // *Кабели и провода*. - 2001. - № 2 (267). - С.14-16.
9. Берент В. Я. Свойства медной катанки при изготовлении ее методом непрерывного литья и прокатки // *Цв. металлы*. - 1977. - № 8. - С. 56-58.

Поступила 12.09.2008