

ВЛИЯНИЕ ПЛАСТИЧЕСКОЙ ДЕФОРМАЦИИ НА СТРУКТУРУ И СВОЙСТВА БЕЛОГО ЧУГУНА, РАБОТАЮЩЕГО В УСЛОВИЯХ ИНТЕНСИВНОГО ИЗНОСА И ТЕРМИЧЕСКОГО ВОЗДЕЙСТВИЯ

Скобло Т.С., доктор техн.наук, Кулешова И.А. канд.техн.наук,
Скобло Ю.С., канд.техн.наук

(Харьковский государственный технический университет сельского хозяйства)

Пластична деформація білого чавуна, який містить 2,4 – 2,6 %С, приводить до значного підвищення міцності та пластичних властивостей, знос – та термічної стійкості при зберіганні високого рівня твердості.

В качестве материала исследований выбран чугун, содержащий (%): С-2,4-2,6; Si-0,1-0,3; Mn-0,4-0,6; Cr-1,0-2,0; Ni-0,3-0,4; Mo-0,3-0,4; P-0,03-0,04; S-0,05-0,06.

Обеспечение технологических свойств чугуна при пластической деформации обеспечивается формированием во время литья раздробленных включений карбидной фазы и минимальным количеством вредных примесей.

Существенное влияние на деформируемость, уровень механических свойств белого чугуна оказывает его чистота по сере и фосфору, количество и форма выделений карбидной фазы, которые в значительной мере зависят от химического состава, способа рафинирования и модифицирования, условий охлаждения /1,3/.

Перед заливкой форм была проведена обработка части расплавов ферроцерием и силикокальцием.

Металлографическими исследованиями чугуна установлено, что в литом состоянии структура состоит из мелкодисперсного пластинчатого перлита I балла и свободной карбидной фазы в виде прерывистой сетки толщиной 9-10 мкм по границам зерен (рис. 1а). Размер зерна 75-85 мкм.

Модифицирование чугуна церием (0,2-0,25%) и кальцием (0,05%) приводит к уменьшению зерна до 50-55 мкм, толщины карбидной сетки до 5-7 мкм (рис. 1б).

Уровень механических свойств не превышает $\sigma_b - 520 \text{ МПа}$, $\sigma_{0,2} - 620 \text{ МПа}$, $K_{IC} - 5,0 \text{ Дж/см}^2$, НВ-400, термическая стойкость – 748 – 854 циклов до разрушения, износостойкость – $(7,3 - 8,3) \cdot 10^{-6} \text{ г/см}^2 \text{ с}$.

Для выбора оптимального режима пластической деформации белого чугуна исследовали влияние проката,ковки, прокатки с последующей ковкой на деформируемость, структуру и уровень механических свойств чугуна.

Каждому из названных способов обработки давлением свойственны свои особые условия деформирования с точки зрения степени и характера неравномерной деформации первого рода по длине и сечению тела, напряженного и деформированного состояния в очаге деформации, а также скорости и дробности деформации.

Для устранения склонности к трещинообразованию при пластической деформации заливку заготовок производили в металлическую форму, т.к. при заливке заготовок в земляную форму при первых же обжатиях на них появлялись трещины, не позволяющие продолжать дальнейшую обработку.

При прокатке наличие значительных продольных растягивающих напряжений может приводить к образованию поперечных разрывов в прокатываемой заготовке. Наличие скоплений различных примесей ухудшает пластичность материала. Как показали опыты, слитки из немодифицированного чугуна (2,4%; 1,0-2,0% Cr) характеризуются неудовлетворительной прокатываемостью, так как при степени деформации 15-20% образуется нарушения сплошности, при которых дальнейшее деформирование оказывается невозможным. Их прокатываемость по оценке, приведенной М.Я. Дзугутовым [2], можно отнести к первому баллу. Склонность к пластической деформации слитков из модифицированного чугуна улучшается и оценивается третьим баллом пятибалльной шкалы. За первый проход на поверхности таких заготовок образуются мелкие дефекты, не влияющие на дальнейший процесс прокатки. Прокатку осуществляли на квадратные заготовки со стороной равной 75мм, степень вытяжки при этом составляла $S=2,15$. Дальнейшая прокатка на $65 \times 65\text{мм}^2$ приводила к появлению надрывов размером $\sim 30\text{мм}$ по углам раската.

Металлографическими исследованиями установлено, что структура чугуна после прокатки представляет собой мелкодисперсный пластинчатый перлит I балла ($L < 0,20\text{мкм}$) и раздробленную карбидную фазу, частично глобуляризованную.

При степени деформации $S=2,15$ структура по сечению неоднородна. Карбидная сетка в поверхностной зоне полностью раздроблена, в центральной части заготовки – частично (рис. 2а).

Количество карбидной фазы у чугуна с 1,0% и 2,0% хрома по сравнению с литым состоянием не изменяется и составляет соответственно 28% и 32%.

Размер зерна чугуна после прокатки значительно уменьшается, однако различен по сечению и составляет 10 – 25мкм у поверхности и 40 – 50мкм в центральной части заготовки. После прокатки со степенью вытяжки 2,15 уровень твердости по сравнению с литым материалом незначительно снижается (на 4%) и составляет HB 368 – 376 и 380 – 392 соответственно для чугуна с 1,0 и 2,0% Cr.

Одновременно необходимо отметить практически полное отсутствие спада твердости по сечению заготовки ($75 \times 75\text{мм}^2$). Прочностные свойства чугуна в осевом направлении после прокатки возрастает в 1,7 – 5,3 раза по сравнению с литым состоянием (табл. 1), ударная вязкость – в 3,7 – 4,2 раз, термическая стойкость – 3000 циклов до разрушения, износостойкость – $(6,5 - 7,0) \cdot 10^{-6} \text{ г/см}^2 \cdot \text{с}$.

При удалении от поверхности к центру прочностные свойства снижаются на 10%, ударная вязкость – на 20%.

Для обеспечения более высокой степени деформации и проработки металла по сечению проводили комбинированную обработку – прокатку и ковку. Общая степень деформации составляла $S=3$.



а



б

Рис. 1. Микроструктура литого белого чугуна: а – немодифицированный чугун; б – чугун, модифицированный Ce и Ca. Травление 4% раствором азотной кислоты в этиловом спирте; а, б х 100



а



б

Рис. 2. Микроструктура белого деформированного чугуна: а – после прокатки; б – после прокатки и ковки. Травление 4% раствором азотной кислоты в этиловом спирте; а, б – х 100;

Анализ структуры деформированного чугуна после комбинированного способа обработки со степенью вытяжки 3 показал, что она представляет собой мелкодисперсный перлит I балла ($L < 0,20 \mu\text{м}$) и раздробленную карбидную фа-

зу, расположенную равномерно в виде изолированных включений по сечению заготовки (рис. 2б). Размер зерна по сечению выравнивается по сравнению с прокаткой и в центре заготовки не превышает 30 – 35 мкм.

Анализ механических свойств белого чугуна после комбинированного способа обработки – прокатки иковки со степенью вытяжки 3 показал, что прочностные свойства (σ_b и $\sigma_{0.2}$) осевых образцов превышают в 2 и 3,5 раза соответственно аналогичные в литом состоянии и отличаются однородностью по сечению. Ударная вязкость возрастает в 3,65 раза (см. табл.1), термическая стойкость – 3227 – 3441 циклов до разрушения, износостойкость – $(5,9 - 7,2) \cdot 10^{-6}$ г/см² с.

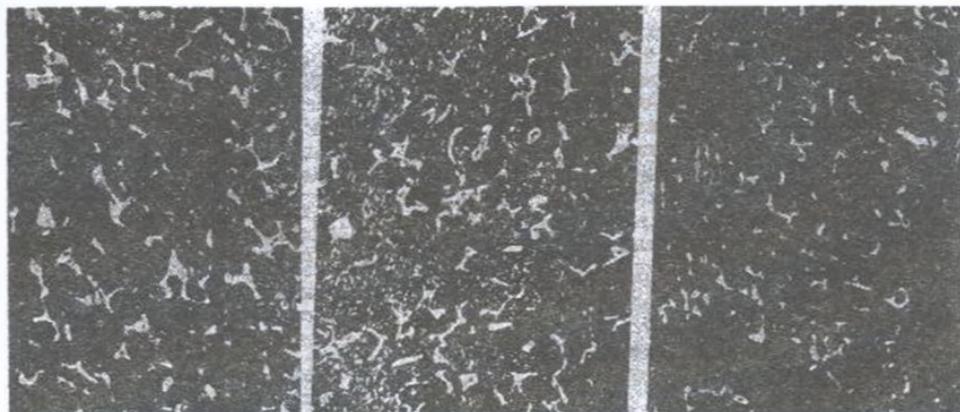
Деформируемость слитков немодифицированного чугуна при ковке можно оценить третьим баллом, а модифицированного – четвертым – пятым. Структура чугуна послековки аналогична полученной при других видах деформации – мелкодисперсный пластинчатый перлит I балла с раздробленной карбидной фазой.

При ковке заготовок степень однородности деформации по сечениюковки изменяется в зависимости от степени укова.

Металлографическими исследованиями установлено, чтоковка со степенью укова $S=2$ обеспечивает дробление и равномерное распределение карбидов в виде отдельных мелких включений в поверхностном слое (на глубину до 25 – 30 мм) (рис. 3а). Размер зерна достигает 20 – 30 мкм. По мере приближения к центру степень дробления карбидов уменьшается, размер зерна составляет 35 – 45 мкм. При степени укова $S=3$ структура по сечению более однородная, карбидная фаза расположена в виде отдельных мелких включений (рис. 3б), размер зерна составляет 20 – 30 мкм для немодифицированного чугуна и 15 – 30 мкм для модифицированного.

С увеличением степени деформации до $S=5$ эвтектические карбиды продолжают дробиться (рис. 3в), однако удлинение карбидов в продольном направлении и явно выраженная полосчатость могут привести при последующей эксплуатации к зарождению и развитию трещин на границе карбид – матрица [3].

Фрактография изломов ударных образцов показала, что если в литом состоянии для чугуна характерно хрупкое разрушение (рис. 4а), то в поверхностной зоне деформированного чугуна после прокатки наблюдается квазихрупкий механизм разрушения с глобулярными фасетками квазисколов, где наряду с хрупким ручьистым узором разрушения имеются признаки локальной пластической деформации – гребни, язычки (рис. 4б), что обуславливает повышение ударной вязкости деформированного чугуна по сравнению с литым, имеющим в основном хрупкие внутрикристаллические ручьистые изломы – сколы и фасетки сколов по перлитной составляющей.



а

б

в

Рис. 3 Микроструктура ковального белого чугуна: а – модифицированного чугуна, степень укова $S=2$; б – модифицированный чугун, степень укова $S=3$; в – модифицированный чугун, степень укова $S=5$. Травление 4% раствором азотной кислоты в этиловом спирте; а, б, в – $\times 100$



а

б

в

Рис. 4 Фрактограммы излома белого чугуна: а – литой чугун; б – чугун после прокатки; в – чугун послековки

Таблица 1. Свойства белого деформированного чугуна

Условная маркировка	Степень выглазки	Способ деформации	Время, сопротивление разрыву $\bar{\sigma}_b$, МПа	Предел текучести $\bar{\sigma}_t$, МПа	Предел прочности на изгиб $\bar{\sigma}_b$, МПа	Ударная вязкость КС, Дж/см ²	Твердость НВ	Микро-твердость Н _{100,40}		Кодич. карбидной фазы %	Размер зерна, мкм	
								Матрица	Карбидная фаза		Поверхность	Центральная часть
1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
0-14 поверх.	2,15	Прокатка	768	706	1190	20,5	372	319	958	28	10-25	40-50
1,0; 2,4 центр.			695	1061	16,6	372	319	860				
6-14 поверх.	2,15	---	939	696	1467	18,1	386	388	1030	32	10-25	40-50
2,0; 2,4 центр.			840	1312	14,3	375	331	965				
0-14	3	Прокатка ковка	910	769	1510	17,7	375	331	965	28	15-25	30-35
1,0; 2,4			1068	882	1683	14,2	386	404	1080			
6-14	3	---	1068	882	1683	14,2	386	404	1080	32	15-25	30-35
2,0; 2,4			983	819	1539	13,0	376	319	846			
0-11	3	ковка	983	819	1539	13,0	376	319	846	28	20-25	25-30
1,0; 2,4			1000	819	1502	14,0	378	320	925			
0-13	3	---	1000	819	1502	14,0	378	320	925	28	15-25	25-30
1,0; 2,4			1025	839	1560	14,4	383	331	953			
0-12	3	---	1025	839	1560	14,4	383	331	953	28	15-20	20-30
1,0; 2,4			1017	829	1725	14,4	383	325	956			
0-14	3	---	1017	829	1725	14,4	383	325	956	28	15-20	20-30
1,0; 2,4			893	805	1310	11,3	391	353	985			
6-14	2	---	893	805	1310	11,3	391	353	985	32	20-30	35-45
2,0; 2,4			981	844	1531	12,4	391	380	993			
6-11	3	---	981	844	1531	12,4	391	380	993	32	20-25	25-30
2,0; 2,4			1053	847	1634	12,7	391	380	1027			
6-13	3	---	1053	847	1634	12,7	391	380	1027	32	15-25	25-30
2,0; 2,4			1103	839	1706	13,0	393	408	1050			
6-12	3	---	1103	839	1706	13,0	393	408	1050	32	15-20	20-30
2,0; 2,4			1113	795	1709	13,0	396	411	1080			
6-14	5	---	1113	795	1709	13,0	396	411	1080	32	15-20	20-30
2,0; 2,4												

Продолжение табл. 1.

1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
6-14 2,0; 2,4	3	--	1123	780	1721	14,2	396	408	1013	32	10-15	10-15
8-11 5,8; 2,4	3	--	833	--	1313	11,1	434	427	1161	35	25-30	30-35
8-12 5,8; 2,4	3	--	912	900	1373	11,8	436	431	1176	35	20-25	25-30
50-11 2,0; 2,9	3	--	591	--	836	5,9	407	458	1105	40	30-35	35-40
50-12 2,0; 2,9	3	--	640	--	893	5,9	415	458	1195	40	20-30	30-40
58-11 2,0; 3,4	3	--	529	--	794	5,9	460	471	1271	45	30-35	40-45
58-12 2,0; 3,4	3	--	598	--	820	5,9	457	471	1280	45	20-30	30-40

Примечание: в таблице приведены средние значения из 3 — 7 определений. Разброс значений не превышает 3 — 5%.

При разрушении чугуна, деформированного ковкой и прокаткой в сочетании с ковкой (рис. 4в), наряду с фасетками внутрезернистого квазискола появляются фасетки межзеренного скола, что приводит к некоторому понижению значения ударной вязкости такого чугуна по сравнению с чугуном, деформированным только прокаткой (табл. 1).

Анализируя уровень механических свойств белого ковкого чугуна, необходимо отметить увеличение как прочностных (σ_b и σ_k) – в 2,1 и 2,8 раза соответственно, так и пластических (КС – в 3 раза) свойств, причем наиболее существенно это проявляется после деформации со степенью укова $S=3$, уровень термической стойкости при $S=3$ максимален и составляет 4100–5727 циклов до разрушения, износостойкость – $(5,6-6,1) \cdot 10^6 \text{ г/см}^2 \cdot \text{с}$. Дальнейшее повышение степени укова ($S=5$) практически не приводит к повышению уровня свойств (рис.5). Для модифицированного чугуна характерен более высокий (на 4–8%) уровень свойств по сравнению с немодифицированным (рис.5). Термическая стойкость деформированного чугуна при $S=5$ несколько снижается и составляет 2683–2931 цикл до разрушения, износостойкость также несколько уменьшается – $(5,9-6,4) \cdot 10^6 \text{ г/см}^2 \cdot \text{с}$.

Таким образом, при оценке влияния различных способов деформации на деформируемость заготовок из белого низкоуглеродистого чугуна (2,4%С, 1,0 - 2,0%Cr) и его свойства необходимо отметить, что наиболее оптимальным способом деформации является ковка ($S=3$), обеспечивающая для модифицированного чугуна 4 – 5 балл деформируемости и максимальный уровень свойств ($\sigma_b = 1025 - 1113 \text{ МПа}$, $\sigma_k = 1665 - 1709 \text{ МПа}$, КС = 13,0 – 14,4 Дж/см², НВ 383 - 396), термическая стойкость 4100 – 5727 циклов до разрушения, износостойкость $(5,6 - 6,1) \cdot 10^6 \text{ г/см}^2 \cdot \text{с}$.

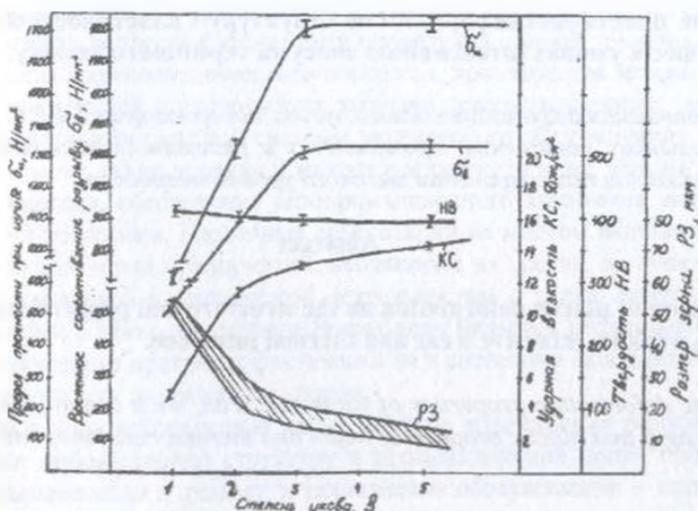


Рис. 5. Влияние пластической деформации на свойства белого чугуна .

На основании выполненных исследований установлено следующее. Модифицирование чугуна церием (0,2 – 0,25%) и кальцием (0,05%) улучшает деформи-

руемость заготовок, которая максимальна при ковке (4 – 5 балл) белого низкоуглеродистого чугуна (2,4%С, 1,0 – 2,0% Ст). Структура данного чугуна представляет собой мелкодисперсный перлит I балла и раздробленную карбидную фазу цементитного типа (28 – 32%), что обеспечивает высокий уровень свойств ($\sigma_b = 1025 - 1113$ МПа, $\sigma_{0.2} = 1665 - 1709$ МПа, $KC = 13,0 - 14,4$ Дж/см², НВ 383-396), термическая стойкость – 4100 – 5727 циклов до разрушения, износостойкость $(5,6-6,1) \cdot 10^{-6}$ г/см² с.

Это позволяет рекомендовать пластическую деформацию для белого чугуна, работающего в условиях интенсивного изнашивания и термического воздействия.

Список литературы

1. А.с. 1546510 СССР, МКИ С22С 37/06. Чугун/ Т.С. Скобло и др. – Оpubл. 01.11.89., Бюл. №8
2. Дзугутов М.Я. Пластическая деформация высоколегированных сталей и сплавов. – М: Металлургия, 1977 – 431с.
3. Валки марки NT: Проспект фирмы /Pacific steel Manufacturing Co.ltd. – Япония. – 1982.

Анотація

Вплив пластичної деформації на структуру і властивості білого чавуну, який працює в умовах інтенсивного зносу та термічного впливу.

Пластическая деформация белого чугуна, содержащего 2,4-2,6%С, приводит к значительному повышению прочностных и пластических свойств, износо- и термостойкости при сохранении высокого уровня твердости.

Abstract

Influence of plastic deformation on the structure and properties of white cast iron, which work in intensive wear and thermal influence.

Plastic deformation properties of white cast iron, which contain 2,4 - 2,6%С, increase strength and plastic properties, wear- and thermal resistance with high level hardness.