

- перед підкочуванням візків під вагони підп'ятникові місця повинні бути змащені солідолом жировим по ГОСТ 1033-79 або солідолом «С» по ГОСТ 4366-76;

- візки повинні бути обладнані пристроєм по рівномірному відведенню колодок від коліс при відпущеному гальмі;

- візки повинні бути обладнані зносостійкими елементами та жорсткими ковзунами.

Вищепредставлені вимоги є базовими для проектування нових моделей напіввагонів та тих, що модернізуються.

Висновки і рекомендації щодо подальшого використання

Визначенні та представлені у статті сучасні вимоги до нових моделей напіввагонів та тих, що модернізуються є основою для проведення науково-дослідних та дослідно-конструкторських робіт у відповідних напрямках і можуть бути використані для складання технічних завдань.

Вимоги до конструкцій інших типів проектуємих вантажних вагонів в основних своїх положеннях суттєво не відрізняються від представлених.

Список літератури: 1. ГОСТ 22235-76 Вагоны грузовые магистральных железных дорог колеи 1520 мм. Общие требования по обеспечению сохранности при производстве погрузочно-разгрузочных и маневровых работ [Текст]/ Москва. 1976г. 2.ГОСТ 26725-97 Полувагоны четырехосные универсальные магистральных железных дорог колеи 1520мм. Общие технические условия[Текст]/ Госстандарт Украины, Киев, 1999г. 3.Нормы расчета и проектирования вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]. М.: ГосНИИВ-ВНИИЖТ, 1996г. – 354с. 4.Нормы для расчета и проектирования новых и модернизируемых вагонов железных дорог МПС колеи 1520 мм (несамоходных) [Текст]- М.: ВНИ-ИВ-ВНИИЖТ, 1983г. - 260 с. 5.НБ ЖТ ЦВ 01-98 «Вагоны грузовые железнодорожные. Нормы безопасности» МПС Россия. [Текст]- М.: ВНИ-ИВ-ВНИИЖТ, 1998г. 6.ОСТ 24.050.34-84 Проектирование и изготовление стальных сварных конструкций вагонов. Технические требования [Текст]/ Министерство тяжелого и транспортного машиностроения. Москва. 1984г.

Поступила в редколлегію 11.06.2012

УДК 621.746.6:669.046.516.4:669.715

Ю.В. ДОЦЕНКО, канд. техн. наук, доц., НМетАУ, Днепропетровск,

В.Ю. СЕЛИВЕРСТОВ, докт. техн. наук, доц., НМетАУ, Днепропетровск

ИСПОЛЬЗОВАНИЕ КОМБИНИРОВАННОГО НА РАСПЛАВ СИСТЕМЫ Al-Si ПРИ ЗАТВЕРДЕВАНИИ

Розглянуто застосування технології газодинамічної дії на розплав в ливарній формі, яка дозволяє добитися стійкого ефекту подрібнення кристалічної структури, зниження шпаристості.

Ключові слова: технологія, газодинамічна дія, шпаристість, модифікування.

Рассмотрено применение технологии газодинамического воздействия на расплав в литейной форме, которая позволяет добиться устойчивого эффекта измельчения кристаллической структуры, снижения пористости.

Ключевые слова: технология, газодинамическое воздействие, пористость, модифицирование.

Application of technology of the gas-dynamic affecting is considered fusion in a casting form, that allows to obtain the steady effect of growing of crystalline structure, decline of porosity shallow.

Keywords: technology, gas-dynamic influence, porosity, modification.

Введение

Наиболее высокие и стабильные по сечению отливок свойства обычно достигаются при получении однородной и мелкозернистой структуры. Чем мельче размеры первичных кристаллов, тем выше ряд важных эксплуатационных и технологических свойств отливок. Поэтому литейщики чаще всего стремятся к получению наиболее мелкозернистой и однородной структуры металла.

Одним из наиболее распространенных средств достижения этой цели является модифицирование. Кроме того, к методам активного воздействия на формирование структуры слитков и отливок можно отнести процессы, связанные с применением давления, введения в расплав упругих колебаний, воздействия концентрированными источниками энергии [1-5]. При этом, указанные процессы обладают, в том числе, определенной технологической спецификой, имеют свои достоинства и недостатки.

Анализ предыдущих публикаций

Сплавы системы алюминий - кремний (силумины) служат основой большинства литейных алюминиевых композиций, широко применяемых как конструкционные материалы для фасонного литья в авиастроении, строительстве, транспорте и других отраслях промышленности. В связи со структурными особенностями литых сплавов - грубыми хрупкими включениями кремния и интерметаллических фаз - прочностные характеристики силуминов невысокие, особенно низка пластичность. Для улучшения структуры и механических свойств литейных промышленных сплавов алюминия регулируют режимы плавки и литья, условия кристаллизации отливок (литье в песчаные и металлические формы, под давлением и т.д.). Но наиболее действенным фактором, определяющим благоприятное структурообразование силуминов, остается модифицирование, т.е. измельчение структуры за счет введения в расплав перед его заливкой малых добавок модифицирующих элементов.

Для производства отливок из силуминов наибольший интерес представляют модификаторы, влияющие на размеры первичного зерна и форму включения эвтектического кремния. Для модифицирования зерен α Al-твердого раствора (основы сплава), прежде всего, следует использовать элементы переходных групп. Чем больше они имеют недостроенных оболочек d и f , тем сильнее эффект модифицирования. При взаимодействии с алюминием элементы-модификаторы образуют тугоплавкие интерметаллиды ($TiAl_3$; $ZrAl_3$; TiB_2 и др.), обладающие однотипными кристаллическими решетками и размерным соответствием их параметров в некоторых кристаллографических плоскостях с решетками α Al - твердых растворов. В расплавах появляется много центров кристаллизации, что обуславливает измельчение зерна в отливках. Значительное уменьшение размеров зерна в сплавах алюминия получают совместным вводом титана и бора в виде тройной лигатуры Al-Ti-B ($Ti/B = 5/1$). Центры кристаллизации- частицы соединения TiB_2 по 2-6 мкм. Для ввода титана и бора используют лигатуру Al-Ti-B (1%B; 5%Ti), препарат зернолит (%: $55K_2TiF_6 + 3K_2SiF_6 + 15 C_2Cl_6$) или флюс,

содержащий фторборат и фтортитанат калия (%: 35NaCl; 35KCl; 20K₂TiF₆; 10KBF₄). Наибольшая степень усвоения титана и бора - при использовании флюса, который наряду с модифицирующим оказывает и рафинирующее воздействие. Хорошие результаты дает совместное модифицирование цирконием, титаном и бором [6-10].

Ниобий также может быть использован как модификатор в виде лигатуры Al-10%Nb или соли K₂NbF₇. Зародыши кристаллов NbAl₃, стабильны в алюминиевом расплаве. Модифицирование лигатурой Al-10%Nb эффективнее, а время выдержки расплава в печи после модифицирования увеличивается (по сравнению с солью K₂NbF₇).

Классический модификатор эвтектики в силуминах - натрий. Если его модифицирующее действие признается всеми, то влияние других элементов вызывает разногласия. По разным данным [11, 12] эффективными модификаторами эвтектики Al-Si являются, %: 0,1 Na; 2,0 K; 3,5 Bi; 1,5 Pb; 7,0 Cd; 1,5 Sb; 1,0 Ca; 1,0 Li; 3,0 Mg; 0,7 Cr; 1,0 Mn; < 0,3 Ni; 0,728 P; 0,08-0,14 As; 0,765 Sc; 0,07 Zn; 0,07 S; 0,082 Bi; 0,082 In. Применение натрия для модифицирования ограничено рядом существенных недостатков: опасность получения не полностью модифицированной или перемодифицированной структуры, повышением газосодержания, уменьшением жидкотекучести, развитием усадочной пористости (щелочные и щелочноземельные металлы уменьшают плотность алюминиевого расплава, увеличивают температурный коэффициент объемного расширения и, как следствие, его объемную усадку при кристаллизации); потерей модифицирующего эффекта после рафинирования, фильтрации, вакуумирования, быстрым выгоранием, что требует возобновления модифицирования через каждые 30 мин. Последнее обстоятельство особенно неблагоприятно для серийного и массового производства литья при разливке из раздаточных печей, в которых обработанный натрийсодержащими флюсами расплав обеспечивает полностью модифицированную структуру лишь в начальный период разливки. В связи с этим, была исследована возможность замены натрия и его соединений другими модификаторами [13, 14]. Были исследованы возможности применения стронция как модификатора алюминиево-кремниевых сплавов в промышленности. Его преимущества перед натрием связаны, прежде всего, с более длительным сохранением модифицирующего эффекта, в том числе, после переплавов. Оптимальная концентрация стронция ~ 0,04%, температура модифицирования 750-770°C [5]. Однако, как показали исследования, имеется ряд существенных ограничений его широкому применению. Введение стронция в металлическом виде затруднено из-за самовозгорания, токсичности паров, необходимости повышения температуры расплава, что увеличивает его газопоглощение. Кроме того, высокая стоимость чистого стронция также ограничивает применение этого материала.

Другой признанный модификатор длительного действия - сурьма (~0,2%) [5]. Модифицирующий эффект при ее вводе сохраняется до 4 ч, но полностью снимается в присутствии натрия. Увеличивать содержание сурьмы в Mg-содержащих силуминах > 0,22 % нецелесообразно, так как в них образуется хрупкая фаза Mg₃Sb₂. При модифицировании силуминов сурьмой повышается плотность отливок, что существенно улучшает их пластичность и прочностные свойства, особенно при повышенных температурах. Эти добавки не приводят к газовой

пористости даже при литье с малыми скоростями затвердевания (массивные отливки в песчаные формы). Структура, а следовательно, и свойства отливок менее чувствительны к условиям охлаждения, что весьма важно для деталей сложной конфигурации.

При модифицировании сурьмой и висмутом не образуются тонкоразветвленные дендриты кремния кораллоподобной формы, в чем принципиальное отличие их модифицирующего действия от натрия и стронция. Но, в то же время, добавки сурьмы могут вызвать укрупнение зерна твердого раствора алюминия при литье, что приводит к снижению пластичности и прочности сплавов, кроме того, концентрация сурьмы, обеспечивающая хороший модифицирующий эффект, не соответствует концентрации, обеспечивающей максимальную плотность сплава.

Целью работы является анализ технологии комбинированного воздействия на расплав системы Al-Si для получения требуемых физико-механических характеристик металла отливок.

Основной материал

По современным представлениям строение металлического расплава не является гомогенным. В некотором интервале температур полного смешивания атомов не происходит, а возникают микрообласти со структурой ближнего порядка, характерной для кристаллической фазы. Эти образования называют по-разному: атомными группировками, скоплениями, сгустками, островками, комплексами атомов, кластерами и т.д. Их плотность и размеры зависят от состояния расплава. С увеличением степени перегрева они диссоциируют, приближаясь к однородной смеси разнородных атомов. Но в предкристаллизационный период и в процессе кристаллизации существующие в расплаве атомные группировки служат инициаторами зарождения одноименных кристаллов. В эвтектическом расплаве Al-Si такими подготовительными к кристаллизации атомными скоплениями предполагаются «кристаллизуемые» кластеры кремния со структурой, близкой к структуре кристалла или гетерофазные комплексы атомов кремния (ГФКА Si), на базе которых и происходит образование кристаллов кремния.

В последнее десятилетие все большее применение в качестве модификаторов литейных сплавов получают ультрадисперсные порошки химических соединений (нанопорошки), которые выполняют роль дополнительных центров кристаллизации при первичной кристаллизации.

Химический состав синтезированных ультрадисперсных материалов, а также размерные, кристаллографические и физические показатели ультрадисперсных соединений представлены в таблице 1 и 2.

В работе [15] исследовали возможность применения комплексного модификатора системы Al-Sr-Ti-B в виде нанопорошков, полученных из лигатуры этой системы методом электроэрозионного диспергирования в углеродсодержащих средах (керосин, трансформаторное масло). Механические свойства сплава, модифицированного комплексным модификатором Al-Sr-Ti-B, на основе нанопорошка оказались выше, чем у сплава, модифицированного обычным модификатором Al-Sr-Ti-B. Значения предела прочности и относительного удлинения сплава, обработанного модификатором на основе

нанопорошка составило для образцов отлитых в кокиль 380÷400 МПа и 3÷6%, а для вырезанных из отливок 280÷320 МПа и 3÷7%. Показатели прочности и пластичности сохранялись при длительном выстаивании расплава (до 2 ч).

Эффективный способ изменения морфологии кристаллизующихся фаз - их затвердевание в резко неравновесных условиях [2-4, 6-13]. При этом создаются условия для измельчения зерна, значительного расширения растворимости в твердом состоянии, подавления роста грубых включений первичных интерметаллидов. В частности, в технологических схемах литья с кристаллизацией сплавов под давлением (ЛКД) давление, прикладываемое к расплаву в процессе затвердевания, значительно влияет на характер кристаллизации.

Таблица 1- Химический состав синтезированных ультрадисперсных материалов

Наименование соединений	Тип модификатора	Содержание элементов, % мас.									
		Si	Si _{своб}	C	C _{своб}	N	Al	Al _{своб}	Ti	Ti _{своб}	Mg
Карбид кремния (SiC)	Графитизирующий	60..65	1,0..2,0	30..32	2,5..3,0	0,5..1,0	-	-	-	-	-
Нитрид алюминия (AlN)	Графитизирующий	-	-	-	0,1..0,5	30..33	60..65	0,5..2,0	-	-	-
Карбид титана (TiC)	Инокулирующий	-	-	18..21	1,0..1,5	-	-	-	76..80	1,0..1,5	-
Нитрид титана (TiN)	Инокулирующий	-	-	-	1,0..2,0	20..23	-	-	75..78	1,0..1,5	-
Карбонитрид титана (TiCN)	Инокулирующий	-	-	15..17	0,5..1,0	19..22	-	-	60..65	0,5..1,0	-
Силицид магния Mg ₂ Si	Сфероидизирующий	33..36	1,0..2,0	-	-	1,0..2,0	-	-	-	-	63..65
Нитрид магния Mg ₃ N ₂	Сфероидизирующий	-	-	-	-	25..28	-	-	-	-	70..75

Таблица 2- Размерные, кристаллографические и физические показатели ультрадисперсных соединений

Наименование ультрадисперсного материала	Пространственно-геометрическая форма частиц	Сингония	Тип фазы	Период решетки, нм		Плотность, кг/м ³	Температура плавления (разложения), °С	Размерность, нм		Удельная поверхность, м ² /г
				a	c			Диапазон разброса	Усредненная	
Карбид кремния (SiC)	гексагональная, тригональная	гексагональная	внедрения	0,308	1,004	3220	2830 разложения	50...350	19,0	82,5
Нитрид алюминия (AlN)	гексагональная	гексагональная	внедрения	0,287	0,932	2350	2200 плавления	50...350	18,5	73,0
Карбид титана (TiC)	кубическая	кубическая	внедрения	0,432	-	4920	3140 плавления	20...55	35,0	25,0
Нитрид титана (TiN)	кубическая	кубическая	внедрения	0,424	-	5430	2950 плавления	25...60	40,5	29,5
Карбонитрид титана (TiCN)	кубическая	кубическая	внедрения	0,426	-	4950	3120 плавления	20...55	36,5	24,5
Силицид магния (Mg ₂ Si)	кубическая, сферическая	кубическая	замещения	0,634	-	2920	1170 разложения	20...75	45	70,5
Нитрид магния (Mg ₃ N ₂)	сферическая, кубическая	кубическая	замещения	0,653	-	2710	1500 разложения	35...125	78	48,0

Увеличение скорости охлаждения приводит к соответствующему росту скорости кристаллизации, которая изменяется в результате влияния давления при кристаллизации на число центров и скорость роста зародышей. Скорости охлаждения возрастают в зависимости от габаритов отливок, температурных условий литья, метода прессования от 2-3 до 10 и более раз [1]. Повышение скорости охлаждения цветных сплавов, основанных на системах с ограниченной растворимостью, приводит к изменению структуры и легирования твердого раствора, связанных с дендритной ликвацией и образованием квазиэвтектики. В настоящее время во многих работах достаточно подробно рассмотрены вопросы получения качественных отливок при кристаллизации под давлением, создаваемым поршнем, пуансоном, либо всесторонним газовым давлением [1, 7, 10]. При всех указанных способах эффективность воздействия в течение времени затвердевания отливки обратно пропорциональна толщине затвердевшего слоя металла, т.к. внешнее давление в том или ином виде прикладывается к ее поверхности. С технологической точки зрения этот процесс влечет ряд известных недостатков, касающихся, в том числе, необходимости наличия специального

оборудования, ограничений по массе, виду сплава, конфигурации литых заготовок и пр.

Одним из эффективных способов воздействия на кристаллизующийся металл является, в частности, газодинамическое воздействие [16, 17]. При осуществлении такого процесса к моменту начала подачи газа на поверхности рабочей полости литейной формы должен сформироваться слой твердого сплава такой толщины, который может обеспечить герметичность системы вплоть до полного затвердевания отливки.

Также к числу методов воздействий на кристаллизующийся металл, нашедших практическое применение, относятся методы, использующие введение в расплав упругих колебаний.

Все виды вибрационной обработки затвердевающих расплавов характеризуются следующими особенностями: наличием макроконцентраций объемов металла и его перемешиванием, возникновением упругих колебаний в расплаве и перемещением микрообъемов расплава, возникновением и развитием кавитации. Механизм измельчения первичного зерна при вибрационной обработке можно свести к следующим основным процессам [6, 7, 12]: гетерогенному и гомогенному зарождению центров кристаллизации, разрушению дендритов, активации тугоплавких примесей, становящихся центрами кристаллизации.

Наличие макроконцентраций объемов металла способствует распределению центров кристаллизации. Основным механизмом измельчения зерен здесь является разрушение дендритов под действием изгибающих напряжений. При низких частотах главной составляющей является сила сопротивления дендрита потоку вязкой жидкости, колеблющейся возле него. При повышении частоты колебаний (ультразвуковые колебания) к этой силе добавляется инерционная сила, обусловленная разностью плотностей твердого дендрита и окружающей его жидкости. При еще больших частотах возникает так называемый акустический ветер - направленное движение жидкости, обусловленное возникновением разности давлений в направлении излучения.

Низкочастотная вибрация, применяемая на практике, характеризуется частотой до 200 Гц и амплитудами, в основном не превышающими 2-3 мм. Наличие в кристаллизующемся металле волн сжатия и растяжения может приводить к развитию кавитации. Этим объясняется отмечаемая рядом исследователей интенсивная дегазация металла и значительное улучшение макроструктуры слитков кипящей стали - увеличение толщины плотной корки и изменение зоны расположения вторичных пузырей.

Эффективность перемешивания макрообъемов незначительна. Поэтому невелика и возможность влияния макропотоков на разрушение кристаллов на фронте кристаллизации. На эффективность применения вибрационной обработки сплавов влияют место и направление вибрационного импульса, размеры, удельный вес и межфазные свойства неметаллических включений, плавающих кристаллов, твердых частиц тугоплавких оксидов, карбидов, интерметаллидов и других монодисперсных частиц. Например, под воздействием одной и той же волны плавающие кристаллы и центры кристаллизации, имеющие большой

удельный вес, чем среда, всегда будут двигаться к границе затвердевания, а неметаллические включения - в противоположном направлении. Практикой подтверждается только влияние низкочастотной вибрации на измельчение микроструктуры слитков и отливок. Положительного влияния на снижение зональной ликвации и химической неоднородности при применявшихся режимах обработки не наблюдается [1, 7].

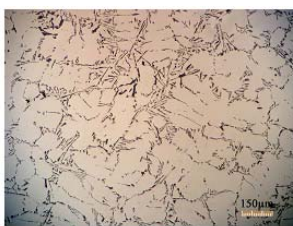
К главным особенностям обработки расплавов ультразвуковыми колебаниями можно отнести: возникновение и развитие кавитации и акустических потоков в объеме обрабатываемого расплава; сравнительно невысокую энергию ультразвука, трансформируемую в мощные ударные волны вблизи захлопывающихся пузырьков, которые, воздействуя на жидкую фазу и двухфазную зону, вызывают диспергирование кристаллов, зарождение центров кристаллизации и активацию твердых частиц; создание направленного акустического потока [2, 4, 11]. К недостаткам ультразвукового воздействия на расплав можно отнести: малую амплитуду колебаний, которая меньше величины контактных зазоров между отливкой и формой, что вызывает необходимость введения ультразвуковых колебаний непосредственно в расплав; рассеивание ультразвуковых волн в небольшом объеме вблизи волновода, что не позволяет обрабатывать значительные объемы металла; тяжелые условия работы погруженных в расплав волноводов, обуславливающие их низкую стойкость, а также их эрозию, вызывающую опасность загрязнения расплава.

В силу указанных причин ультразвуковая обработка нашла применение при сравнительно небольших размерах формы, при непрерывной разливке алюминия и других легкоплавких сплавов, а также при получении ряда сплавов с особыми свойствами в процессах вакуумно-дуговой плавки, электрошлакового переплава, зонной плавки [4]. Ультразвуковую энергию при использовании в этих технологиях проводят через твердое основание слитка.

Отличительной особенностью метода воздействия на расплав источниками концентрированной энергии является большая мощность выделяемой энергии в сравнительно короткий промежуток времени. Это приводит к возникновению ударной волны. Электрогидроимпульсная обработка приводит к ускорению процесса кристаллизации металла, зона транскристаллизации уменьшается в 2-4 раза. Размеры разориентированных дендритов уменьшаются в 2-5 раз. Однако, амплитуда колебаний выходных звеньев обычно незначительна, эффект обработки зависит от качества контакта рабочего органа с обрабатываемой поверхностью. Использование системы боковых разрядных устройств в системе стенка изложницы - затвердевший слой - расплав связано с высокими потерями механической энергии и сужением спектра генерируемых частот [2].

В лаборатории современных материалов Ариэльского университетского центра были проведены исследования влияния переменного газового давления на структурообразование металла отливок из сплава А356. Результаты лабораторных исследований показали повышение механических свойств литого металла и снижение пористости цилиндрических отливок из сплава А356 диаметром 50 мм и высотой 100 мм. В порядок технологических операций изготовления отливки были включены следующие этапы: проведение

рафинирования (препарат DEGASAL T 200, введение в рабочую полость формы устройства для подачи газа оригинальной конструкции, выдержка отливки с устройством в течение заданного промежутка времени, подача газа (аргона) с начальными показателями давления 0,15 – 0,2 МПа, последующее наращивание давления до 1,3 – 1,4 МПа и выдержка под давлением до полного затвердевания отливки. На рисунке представлена микроструктура сплава А356 до и после обработки. Приведенные данные свидетельствуют о том, что в результате газодинамического воздействия удалось измельчить структурные составляющие, в результате чего увеличились на 20-25% пластические свойства литого металла и на 8-12 % увеличилась его плотность. Таким образом, газодинамическое воздействие на затвердевающий металл позволяет добиться эффекта модифицирования, который может быть значительно усилен введением в расплав дополнительных центров кристаллизации в виде соответствующих традиционных модификаторов либо нанокристаллических порошков, полученных методами механохимии. При этом возможно снижение количества расходуемого модификатора.



а

б

Рис. Микроструктура сплава А356 до (а) и после обработки (б)

Выводы

1. Приведенные данные свидетельствуют о перспективности комплексного применения различных активных методов воздействия на затвердевающий металл, позволяющих в определенной степени компенсировать недостатки отдельно взятого метода.

2. Применение технологии газодинамического воздействия на расплав в литейной форме позволяет добиться устойчивого эффекта измельчения кристаллической структуры, снижения пористости, более благоприятного распределения неметаллических включений и повышения механических свойств литого металла.

3. Несомненный интерес представляет проведение исследований, направленных на определение оптимальных режимов совместного применения процессов модифицирования и затвердевания сплава в неравновесных условиях, обеспечиваемых тем или иным способом внешнего физического воздействия. При комплексном подходе возможно эффективнее измельчить структурные составляющие и значительно повысить физико-механические свойства литого металла.

4. Использование комбинированного воздействия на структурообразование для получения требуемых физико-механических характеристик металла отливок позволит снизить количество применяемого модифицирующего препарата и времени обработки.

Список литературы: 1. Затвердевание металлического расплава при внешних воздействиях [Текст]/ А.Н. Смирнов, В.Л. Пилюшенко, С.В. Момот, В.Н. Амитан. - Д.: Издательство «ВИК» - 2002. - 169 с. 2. Ефимов, В.А. Перспективы развития работ по применению внешних

воздействий на жидкий и кристаллизующийся расплав [Текст] / В.А. Ефимов. - Киев: Изд. ИПЛ АН УССР. - 1983. - С. 3-65. **3.** Немененок, Б.М. Теория и практика комплексного модифицирования силуминов [Текст] / Б.М. Немененок - Мн. Технопринт, 1999. - 272 с. **4.** Скворцов, А.А. Влияние внешних воздействий на процесс формирования слитков и заготовок [Текст] / А.А. Скворцов, А.Д. Акименко, В.А. Ульянов - М.: Металлургия, 1995. - 272 с. **5.** Ефимов, В.А. Физические методы воздействия на процессы затвердевания сплавов [Текст] / В.А. Ефимов, А.С. Эльдарханов. - М.: Металлургия, 1995. - 272 с. **6.** Эльдарханов, А.С. Процессы кристаллизации в поле упругих волн [Текст] / А.С. Эльдарханов. - М.: Металлургия, 1996. - 256 с. **7.** Скребцов, А.М. О некоторых возможностях измельчения зерна металла отливки при внешнем воздействии на затвердевающий расплав [Текст] / А.М. Скребцов, Л.Д. Дан, А.О. Секачев и др. // Металл и литье Украины. 1996. - № 1-2. - С.30-34. **8.** Борисов, Г.П. Давление в управлении литейными процессами [Текст] / Г.П. Борисов. - К.: Наукова думка, 1988.- 271 с. **9.** Абрамов, О.Б. Кристаллизация металлов в ультразвуковом поле [Текст] / О.Б. Абрамов. - М.: Металлургия, 1972.- 256 с. **10.** Пилюшенко, В.Л. Влияние виброимпульсного воздействия на условия затвердевания стали [Текст] / В.Л. Пилюшенко, А.Н. Смирнов. - В кн.: Черная металлургия. Наука – технология – производство. М.: Металлургия, 1989. - С. 162-171. **11.** Ульянов, В.А. Кинетика формирования стальных слитков при пассивных и активных внешних воздействиях [Текст] / В.А. Ульянов, Е.М. Китаев, А.А. Скворцов. // Процессы литья. - 1993, №4. - С.38-43. **12.** Скребцов, А.М. Формирование структуры и конуса осаждения слитка или отливки при внешнем воздействии на поверхность расплава [Текст] / Л.А. Дан, В.Б. Килочкин // Металл и литье Украины. - 1994. - №7-8. - С.5-9. **13.** Возможность использования комплексного модификатора длительного действия на основе нанопорошков длительного действия для повышения качества отливок из алюминиевых сплавов [Текст]: Новые материалы и технологии в машиностроении-2005. Сб. трудов IV Международной научно-технической конференции. / Брянск: БГИТА - 2005. - С. 17 –23. **14.** Селиверстов, В.Ю. Технология газодинамического воздействия на расплав в литейной форме – один из перспективных способов повышения качества металла отливок [Текст] / В.Ю. Селиверстов. // Сучасні проблеми металургії. Наукові праці. Днепропетровск: Системні технології. - 2007. - Том 10. - С. 25 – 35. **15.** Селиверстов, В.Ю. Перспективи применения комбинированных способов управления структурообразованием литого металла [Текст] / В.Ю. Селиверстов, Ю.В. Доценко / Вісник ДДМА. - 2009. - № 1 (15). - С.267-273.

Поступила в редколлегию 11.06.2012

УДК 621.9.048.6

А.А. КЕЛЕМЕШ, ассис., Полтавская государственная аграрная академия

КЛАССИФИКАЦИЯ ВИБРАЦИОННЫХ ПРОЦЕССОВ

Приведено класифікацію та характеристику коливальних процесів, які застосовуються при обробці матеріалу відновлюваних деталей.

Ключові слова: вібраційні колювання, вібробуджувач, релаксація, деформація.

Приведены классификация и характеристика колебательных процессов, применяемых при обработке материала восстанавливаемых деталей.

Ключевые слова: вибрационные колебания, вибровозбудитель, релаксация, деформация.

The classification and characterization of oscillatory processes used in the processing of the material recovered parts.

Keywords: vibratory oscillation vibration exciter, relaxation, deformation.