

ОЦЕНКА ОХЛАЖДАЮЩИХ СВОЙСТВ СМАЗОЧНО-ОХЛАЖДАЮЩИХ ЖИДКОСТЕЙ

В статье ставится задача дать оценку охлаждающим действиям ряда смазочно-охлаждающих жидкостей (СОЖ). Сегодня повышение качества изделий и длительности функционирования режущего инструмента, совершенствование технологии обработки металлов резанием относятся к первостепенным задачам производства. При применении СОЖ в процессе некоторых видов обработки существенно повышается стойкость инструмента, уменьшается количество неровностей поверхности, снижаются остаточные напряжения, тем самым повышая производительность. Для эксперимента были выбраны следующие марки: Sinertek DS, Addinol WM440, Sinertek MX, Аквол-6, Isogrind-130EP. Охлаждающее действие СОЖ можно оценить по скорости охлаждения датчика температуры, нагретого до температуры, возникающей в зоне резания, и погруженного в испытываемую СОЖ. По полученным результатам — наибольшим охлаждающим действием обладают СОЖ Аквол-6, Sinertek DS, поскольку они способны охлаждать с наибольшей скоростью.

Ключевые слова: смазочно-охлаждающая жидкость, охлаждающее действие, скорость охлаждения, датчик температуры, цифровой термометр.

Процесс резания сопровождается выделением тепла в больших количествах. Этому способствуют деформации обрабатываемого материала, а также силы трения, возникающие между заготовкой, режущим инструментом и стружкой.

Во время подачи СОЖ в область резания снижается выделение тепла, поскольку уменьшается температура заготовки, инструмента и стружки, а также теплота деформации и трения.

Понижая температуру, СОЖ способствует увеличению стойкости режущего инструмента, уменьшению остаточного напряжения в заготовке, повышению качества и точности обработки, снижению шероховатости поверхности.

Уменьшение толщины срезаемого слоя и шероховатости на поверхности заготовки обусловлено понижением температурных деформаций материала и инструмента. При использовании СОЖ стружка равномерно завивается, так как разница температур с внутренней и внешней ее стороны уменьшается. Благодаря этому минимизируется приваривание стружки к лезвию инструмента и снижается сила резания.

Несмотря на то что подача СОЖ в зону резания позволяет добиться повышения качества и производительности обработки, снижения затрат на режущий инструмент и на электроэнергию, благодаря уменьшению сил резания, применение СОЖ в некоторых случаях может оказывать и негативное влияние. В частности, могут возникать внутренние напряжения в обрабатываемом материале вследствие высоких перепадов температур, что приводит к появлению термометрических трещин.

Согласно множеству проведенных на сегодняшний день исследований, различные СОЖ при одних

и тех же условиях могут оказывать разное влияние на процесс металлообработки. Это связано с тем, что химический состав концентратов СОЖ различен и является коммерческой тайной производителей. Номенклатура применяемых СОЖ постоянно растет, и каждая фирма-производитель предлагает свои СОЖ для разных обрабатываемых материалов. Существование множества марок СОЖ усложняет для производителей проблему подбора рациональной СОЖ.

Многочисленные испытания с их применением не обеспечили разработку единой методики по выбору оптимально подходящей СОЖ по различным критериям. Однако подобная методика должна быть разработана, поскольку имеющиеся данные свидетельствуют о возможности снижения сил резания до 20 % и выше при условии правильного подбора марки СОЖ.

Согласно [1, 2], при высоких скоростях резания эффект охлаждения при применении СОЖ является доминантным, так как в этих условиях затруднено попадание СОЖ непосредственно в зону контакта режущего инструмента со стружкой и заготовкой, но не единственным. Такие жидкости способны оказывать также режущее, смазывающее, моющее, диспергирующее действие.

Следовательно, при данных режимах обработки более рационально применять СОЖ с наилучшими охлаждающими свойствами [1, 2].

Тестирование СОЖ на предмет эффективности их охлаждающей способности проводится на металлорежущем оборудовании, используемом для обработки заготовок, а также на специальных установках. С их помощью удастся значительно улучшить качество резания.

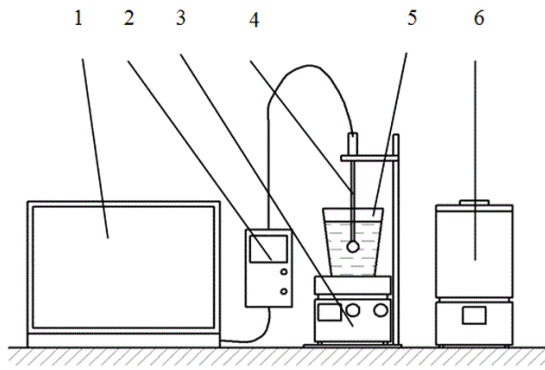


Рис. 1. Схема стенда для оценки охлаждающей способности СОЖ:
 1 — ЭВМ; 2 — термометр ТЦ-3 ММ-5;
 3 — мешалка магнитная;
 4 — датчик температуры ТХА-720;
 5 — емкость для исследуемой СОЖ;
 6 — печь сопротивления

Данные специализированные устройства позволяют рассматривать именно охлаждающее действие, исключая остальные, обеспечивая тем самым чистоту эксперимента. Помимо этого, значительно сокращается время, затраченное на испытания, а значит, и затраты на СОЖ, материалы и режущий инструмент, по сравнению с испытаниями на станочном оборудовании.

Охлаждающее действие СОЖ можно оценить по скорости охлаждения датчика температуры, нагретого до температуры, возникающей в зоне резания, и погруженного в испытываемую СОЖ. Аналогичными способами испытывают закалочные среды [3–5]. Однако недостатками существующих установок является то, что испытания с их помощью не обеспечивают воспроизведение процессов, возникающих при металлообработке. В таких устройствах объем СОЖ неподвижен и вокруг датчика температуры образуется паровая рубашка, что вносит существенную погрешность в результаты измерений.

Поэтому в работе применялся стенд, позволяющий в процессе измерений перемешивать СОЖ, что устраняет возможность образования паровой рубашки и моделирует процесс течения СОЖ. Следовательно, применение данного стенда позволяет смоделировать условия металлообработки, что снижает погрешности измерений.

Схема стенда для оценки охлаждающих свойств представлена на рис. 1. На данную установку получен патент на полезную модель [6].

Проведение тестирования на стенде, показанном на рис. 1, позволяет выбрать из различных марок СОЖ ту, которая обладает наибольшим охлаждающим действием.

Для эксперимента были выбраны СОЖ следующих марок: Sinertek DS, Addinol WM440, Sinertek MX, Аквол-6, Isogrind-130EP.

Испытательный процесс осуществлялся следующим образом. СОЖ определенной марки заливали в резервуар 5 стенда, показанного на рис. 1. Постоянное помешивание при нагреве производилось посредством магнитной мешалки 3. Температура печи сопротивления 6 поднималась до 710 °С по показаниям датчика 4. После этого последний помещался в резервуар с СОЖ 5, а последующие изменения его температурных показателей измерялись термометром 2.

Все данные передавались на ЭВМ и обрабатывались программой TC-Soft. На основании полученных данных были построены графики изменения температуры T (°С) от времени t (с) (рис. 2), а также изменения температуры T (°С) от скорости охлаждения $V_{\text{охл}}$ (°С/с) (рис. 3).

Скорость охлаждения — величина переменная, в связи с чем в расчетах использовалась максимальная скорость охлаждения $V_{\text{охлmax}}$, позволяющая оценить картину происходящего на начальном этапе охлаждения. Результаты, полученные в ходе данного эксперимента, представлены в табл. 1.

Благодаря полученным результатам в ходе данного исследования, можно дать оценку и подобрать оптимальную марку СОЖ по охлаждающим свойствам.

Эффективность СОЖ по охлаждающему действию оценивается по коэффициенту $K_{\text{охл}}$, который рассчитывается по формуле:

$$K_{\text{охл}} = \frac{V_{\text{безСОЖ}}}{V_{\text{СОЖ}}},$$

где $V_{\text{безСОЖ}}$ — максимальная скорость охлаждения на воздухе, °С/с;

$V_{\text{сож}}$ — максимальная скорость охлаждения с применением испытанной СОЖ, °С/с.

Чем меньше данный коэффициент, тем выше охлаждающие свойства марки СОЖ. Эффективность исследованных марок представлена в табл. 2.

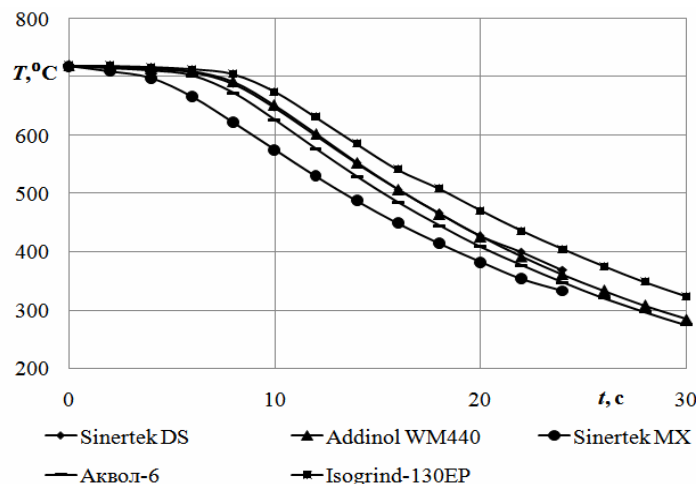


Рис. 2. Графики изменения температуры при охлаждении термометра в исследуемой СОЖ

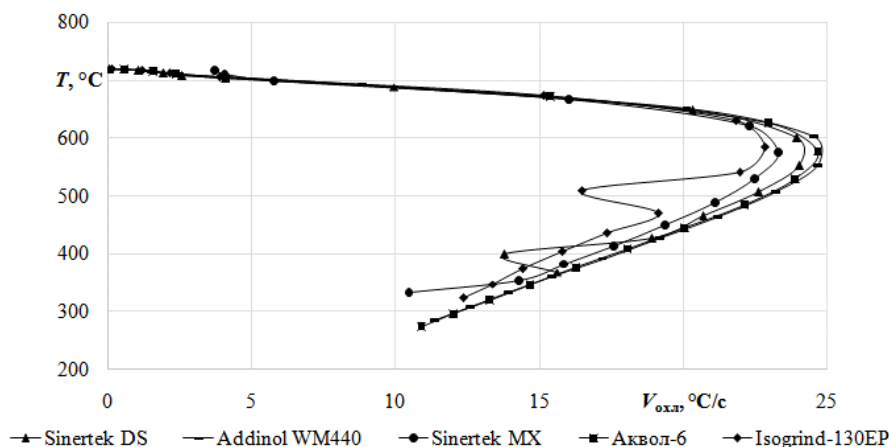


Рис. 3. Графики изменения скорости охлаждения термпары исследуемой СОЖ

Таблица 1
Результаты эксперимента
по охлаждающим
свойствам СОЖ разных марок

Марка СОЖ	Макс. скорость охлаждения, °C/c
Без СОЖ	4,06
Sinertek MX	23,3
Аквол-6	24,67
Isogrind-130EP	22,83
Sinertek DS	24,02
Addinol WM440	23,3

Таблица 2
Эффективность марок СОЖ
по охлаждающей способности

Марка СОЖ	$K_{охл}$
Sinertek MX	0,174
Аквол-6	0,165
Isogrind-130EP	0,178
Sinertek DS	0,169
Addinol WM440	0,174

По полученным результатам становится ясно, что наибольшим охлаждающим действием обладают СОЖ Аквол-6, Sinertek DS, поскольку они способны охлаждать с наибольшей скоростью из всех рассмотренных марок.

Выводы. В работе представлены экспериментальные исследования, в результате которых удалось дать оценку охлаждающим действиям ряда СОЖ. По результатам исследований установлены наиболее рациональные марки СОЖ для эффективного охлаждения при обработке металлических деталей с высокими скоростями резания. Представленный в статье метод оценки охлаждающих свойств СОЖ позволяет моделировать процесс течения жидкости и устранить возникновение паровой рубашки, возникающей в процессе испытаний, а также в кратчайшие сроки оценить охлаждающие свойства СОЖ, что значительно сократит время на подбор рациональной марки.

Полученные результаты будут особенно актуальны при производстве металлических деталей, имеющих повышенные требования к точности выполненных размеров и шероховатости поверхности. Примененная при обработке эффективную СОЖ, про-

изводство обеспечит максимально возможное понижение температурного режима резания, тем самым увеличивая сроки эксплуатации режущего инструмента, уменьшая шероховатость поверхности и повышая точность обработанной детали.

Библиографический список

1. Энтелис С. Г., Берлинер Э. М. Смазочно-охлаждающие технологические средства для обработки металлов резанием: справ. М.: Машиностроение, 1995. 496 с.
2. Худобин Л. В., Бабичев А. П., Булыжев Е. М. [и др]. Смазочно-охлаждающие технологические средства и их применение при обработке резанием: справ. / под общ. ред. Л. В. Худобина. М.: Машиностроение, 2006. 544 с.
3. Майсурадзе М. В., Юдин Ю. В. Проектирование водокапельных закалочных устройств. Екатеринбург: Изд-во УРФУ им. Б. Н. Ельцина, 2012. 47 с.
4. Методы оценки охлаждающей способности закалочных сред / Лаборатория проблем закалки кафедры «Материаловедение» МГТУ им. Н. Э. Баумана; ред. Шевченко С. Ю. М., 2007–2008. URL: <http://zakalka.bmstu.ru/zak3.htm> (дата обращения: 11.06.2015).
5. Пат. 2254568 РФ, МПК G01N25/18, C21D1/56. Устройство для определения охлаждающей способности закалочной среды / Шолом В. Ю., Исаков К. М., Казаков А. М., Каримов Э. Н., Корнилова О. П., Середа С. И. № 20031333; заявл. 17.11.2003; опубл. 20.06.2005. Бюл. № 17.
6. Пат. 130081 РФ, МПК G01N25/18. Устройство для определения охлаждающей способности жидкой среды / Шнуров Ю. В., Кузнецов И. Г., Кисель А. Г., Реченко Д. С., Ражковский А. А., Попов А. Ю. № 2013106103; заявл. 12.02.2013; опубл. 10.07.2013. Бюл. № 19. — 5 с.

КИСЕЛЬ Антон Геннадьевич, ассистент кафедры металлорежущих станков и инструментов.

Адрес для переписки: kisel1988@mail.ru

ПУРТОВ Евгений Дмитриевич, магистрант гр. КТОМ-152 факультета элитного образования и магистратуры.

Адрес для переписки: john_4_tip@mail.ru

ДЕЙЛОВА Александра Витальевна, магистрант гр. КТОМ-152 факультета элитного образования и магистратуры, ассистент кафедры технологии машиностроения.

Адрес для переписки: adeilova@mail.ru

КОЧУРА Николай Николаевич, ассистент кафедры металлорежущих станков и инструментов.

Адрес для переписки: mansur855@mail.ru

Статья поступила в редакцию 27.12.2016 г.

© А. Г. Кисель, Е. Д. Пуртов, А. В. Дейлова, Н. Н. Кочура

АНАЛИЗ СХЕМ КРЕПЛЕНИЯ РЕЖУЩИХ ПЛАСТИН ДЛЯ ЗАТАЧИВАНИЯ ПО ЗАДНЕЙ ПОВЕРХНОСТИ

В современном машиностроении при использовании в процессе резания металло-режущих пластин повсеместно наблюдается ситуация, когда пластины перестают использовать по наступлении их предельного износа, заданного заводом-изготовителем. Пластины не восстанавливаются вручную из-за точности геометрии и редко восстанавливаются на специализированном оборудовании из-за, во-первых, отсутствия такового оборудования и, во-вторых, из-за неполной проработки и исследования данного вопроса. В статье исследуется проблема затачивания режущих пластин по задней поверхности, проводится анализ схем крепления. Анализируются достоинства и недостатки каждой из схем, выбирается наиболее целесообразная и приводятся подтверждающие расчеты.

Ключевые слова: твердосплавные пластины, затачивание, восстановление ресурса инструмента.

Возобновление ресурса режущего инструмента позволяет значительно продлить период закупки новых инструментов взамен старых, что уменьшит расходы предприятия на оснащение производства. Для затачивания изношенных металлорежущих пластин необходимо применение специального оборудования, например, специально-заточных и универсально-заточных станков [1]. Получение необходимой геометрии в таком случае обеспечивается правильностью выбора режимов заточки, выбором соответствующего шлифовального круга и обеспечением подачи в нужном направлении.

Затачивание инструмента из разных групп инструментальных материалов имеет свои особенности. Так, быстрорежущие стали обладают лучшей обрабатываемостью по сравнению с более теплоустойчивыми и износостойкими твердыми сплавами, и сверхтвердыми материалами. Твердые сплавы, по сравнению с быстрорежущими обладают большей твердостью (на 5...8) единиц HRC [2]. В свою очередь, керамические инструментальные материалы, имея твердость как у твердосплавных, имеют повышенную теплоемкость, а их прочность ниже примерно в 3 раза. Таким образом, обеспечение широкого диапазона выбора режимов шлифования и методов затачивания инструмента является главной задачей при разработке оборудования и оснастки для затачивания инструмента.

Металлорежущие пластины затачивают по передней и задней поверхности. Передняя поверхность пластины обращена к обработанной части заготовки и в процессе резания находится в постоянном контакте со стружкой, вследствие чего подвержена час-

тому износу. Затачивание по передней поверхности формирует передний угол, который влияет на силы резания, сход стружки и стойкость инструмента [3]. Также часто встречается износ по задней поверхности. В данной статье рассматривается затачивание металлорежущих пластин именно по задней поверхности.

Металлорежущие пластины устанавливаются на токарные резцы и на фрезы. Задняя поверхность обращена к обрабатываемой части детали и угол ее наклона формирует задний угол, который, в свою очередь, влияет на трение резца о поверхность заготовки и, как следствие, на силы резания [4]. При обработке мягких и вязких материалов и при чистовой обработке величины задних углов назначают большими, чем при обработке хрупких, твердых металлов и обдирочных работах.

Для обработки задней поверхности пластины на заточном станке необходимо ее установить. Существуют различные схемы крепления для шлифования задней поверхности, основные из них представлены на рис. 1: а — крепление прижимом с центрированием по фаске; б — крепление прижимом; в — крепление винтом; г — крепление при помощи цанги; д — крепление винтом с центрированием по втулке. На рис. 1 показаны 1 — сменная оправка пластины; 2 — режущая пластина; 3 — прижим; 4 — винт; 5 — цанга разжимная; 6 — винт с конической головкой.

Каждая схема крепления имеет свои достоинства и недостатки. Для нормального затачивания пластины схема крепления должна удовлетворять следующим условиям: пластина должна закрепляться соосно с осью шпинделя станка; схема должна обес-

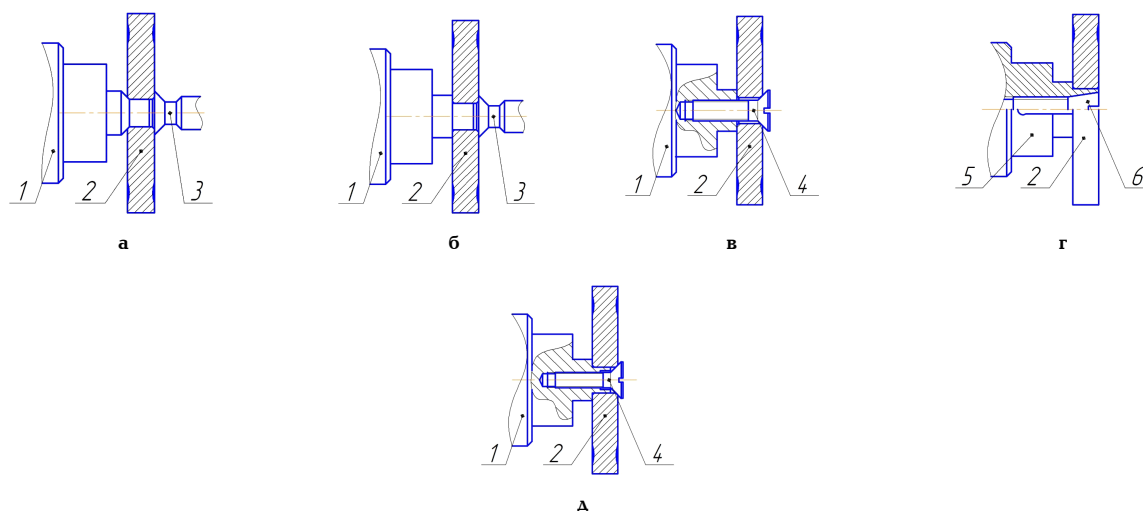


Рис. 1. Схемы крепления шлифовальных пластин:
 а — крепление прижимом с центрированием по фаске; б — крепление прижимом;
 в — крепление винтом; г — крепление при помощи гайки;
 д — крепление винтом с центрированием по втулке

печивать необходимое усилие (с учетом коэффициента запаса) прижима для исключения проворачивания пластины при шлифовании. Стоит также учесть современные тенденции машиностроения, поэтому предпочтительна будет схема, обеспечивающая быструю (либо автоматическую) замену режущих пластин.

Для выбора наиболее подходящей схемы проведен расчет требуемых сил зажима по каждой схеме для того, чтобы исключить проворачивание пластины при шлифовании. При расчете потребных сил воспользуемся рекомендациями учебного пособия [5].

Схема действующих сил и моментов для варианта крепления по рис. 1а представлена на рис. 2.

На рис. 2 показаны диаметры контактирующих поверхностей пластины D_n , коэффициенты трения f_1 , f_2 , сила прижима P и возникающий при шлифовании момент M . Из уравнения равновесия составим равенство для нахождения потребной силы прижима P (1):

$$k \cdot M = P \cdot f_1 \cdot \frac{D_1 + D_2}{4} + P \cdot f_2 \cdot \frac{D_3 + D_4}{4}, \quad (1)$$

где k — коэффициент запаса, который рассчитывается по формуле (2):

$$k = \prod_{i=0}^5 k_i. \quad (2)$$

Этот коэффициент рассчитывается применительно к конкретным условиям обработки. В нашем случае принимается $k_0 = 1,5$ — гарантированный коэффициент запаса для всех случаев; $k_1 = 1$ — коэффициент, учитывающий состояние поверхности заготовок (чистовая поверхность в нашем случае); $k_2 = 1,5$ — коэффициент, учитывающий увеличение сил резания от прогрессирующего затупления инструмента; $k_3 = 1,2$ — коэффициент, учитывающий увеличение сил резания при прерывистом резании; $k_4 = 1$ — коэффициент, учитывающий постоянство силы зажима, развиваемой приводом приспособления (по схеме рис. 1а и б) для гидравлического привода); $k_5 = 11$ — коэффициент, учитывающийся при наличии крутящих моментов, стремящихся повернуть обрабатываемую деталь. Подставляя данные в формулу (2), находим суммарный коэффициент k (3):

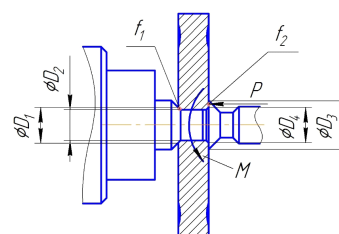


Рис. 2. Схема действующих сил и моментов для варианта крепления прижимом с центрированием по фаске

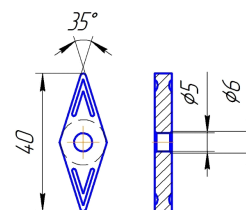


Рис. 3. Металлорежущая пластина типа «лодочка»

$$k = \prod_{i=0}^5 k_i = 1,5 \cdot 1 \cdot 1,5 \cdot 1,2 \cdot 1 \cdot 1 = 2,7. \quad (3)$$

Возникающий при шлифовании момент M — это произведение тангенциальной составляющей силы резания на плечо, которым является расстояние от шлифуемой поверхности до оси вращения режущей пластины. Для примера будем использовать пластину типа «лодочка», пластина показана на рис. 3.

Максимальный момент будет возникать при шлифовании вершины пластины на середине радиуса скругления между двумя режущими кромками. Примем к данной схеме силу $Pz = 50$ Н, что примерно соответствует условиям черного шлифования с большой окружной скоростью и подачей [6]. В таком случае момент найдется по формуле (4):

$$M = l \cdot P_z = \frac{40 \cdot 10^{-3}}{2} \cdot 50 = 1 \text{ Н}\cdot\text{м}. \quad (4)$$

Примем также коэффициенты трения $f_1 = f_2 = 0,2$ для шлифованных поверхностей, а диаметры соот-

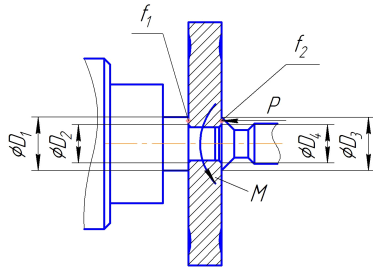


Рис. 4. Схема действующих сил и моментов для варианта крепления прижимом

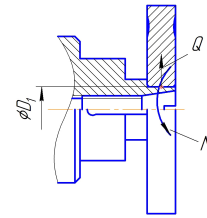


Рис. 6. Схема действующих сил и моментов для варианта крепления при помощи цанги

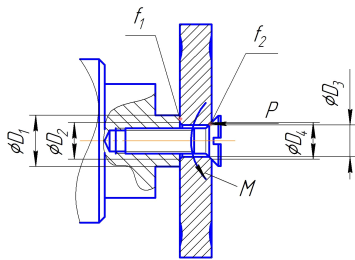


Рис. 5. Схема действующих сил и моментов для варианта крепления винтом

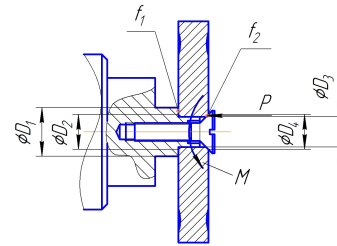


Рис. 7. Схема действующих сил и моментов для варианта крепления винтом с центрированием по втулке

Таблица 1

Сравнительная характеристика схем крепления

Название схемы	Потребная сила, Н	Необходимый момент затяжки винта, Н*м	Обеспечение соосности	Возможность автоматизации замены пластин
Крепление прижимом с центрированием по фаске	2160	—	Центрирование по фаске — точное	Присутствует
Крепление прижимом	1928	—	Центрирование по втулке — удовлетворительное (между втулкой и пластиной имеется некоторый зазор)	Присутствует
Крепление винтом	2808	1,26	Центрирование по фаске — точное, но на центрирование влияет точность изготовления резьбы винта и втулки	Отсутствует, поскольку необходимо закручивать винт
Крепление при помощи цанги	7020	—	Центрирование по отверстию пластины — точное, но отсутствует осевая фиксация	Отсутствует, поскольку необходимо закручивать винт
Крепление винтом с центрированием по втулке	2808	1,26	Центрирование по втулке — удовлетворительное (между втулкой и пластиной имеется некоторый зазор)	Отсутствует, поскольку необходимо закручивать винт

ветственно размерам пластины и размером прижимающего устройства (которые установлены с учетом того, чтобы их не касался шлифовальный круг): $D_1 = 6$ мм, $D_2 = 5$ мм, $D_3 = 8$ мм, $D_4 = 6$ мм. Тогда, выразив из формулы (1) силу прижима P , получим (5):

$$P = \frac{k \cdot M}{f_1 \cdot \frac{D_1 + D_2}{4} + f_2 \cdot \frac{D_3 + D_4}{4}} = 2160 \text{ Н.} \quad (5)$$

Схема действующих сил и моментов для варианта крепления по рис. 1б представлена на рис. 4.

Здесь $D_1 = D_3 = 8$, $D_2 = D_4 = 6$. Используя перечисленную выше методику, найдем (6):

$$P = \frac{k \cdot M}{f_1 \cdot \frac{D_1 + D_2}{4} + f_2 \cdot \frac{D_3 + D_4}{4}} = 1928 \text{ Н.} \quad (6)$$

Схема действующих сил и моментов для варианта крепления по рис. 1в представлена на рис. 5.

Здесь $D_1 = 8$ мм, $D_2 = 6$ мм, $D_3 = 6$ мм, $D_4 = 5$ мм, $k_4 = 1,3$ мм, наружный диаметр резьбы винта М3. Используя перечисленную выше методику, найдем (7):

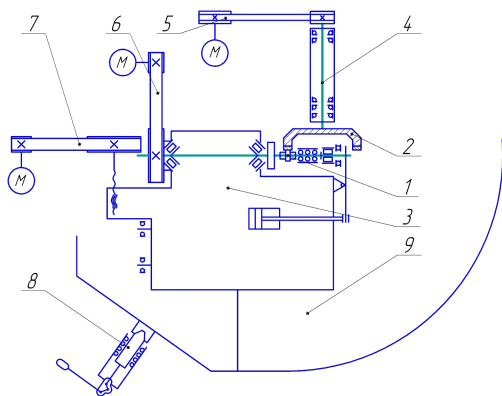


Рис. 8. Кинематическая схема

$$P = \frac{k \cdot M}{f_1 \cdot \frac{D_1 + D_2}{4} + f_2 \cdot \frac{D_3 + D_4}{4}} = 2808 \text{ Н.} \quad (7)$$

Найдем момент затяжки винта, необходимый для создания рассчитанного усилия по упрощенной формуле (8):

$$M = 0,15 \cdot P \cdot M_{\text{винта}} = 1,2636 \text{ Н}\cdot\text{м.} \quad (8)$$

Схема действующих сил и моментов для варианта крепления по рис. 1г представлена на рис. 6.

Здесь $D_1 = 5$ мм. Сила Q — сила разжима, необходимая для закрепления пластины. Она находится по формуле (9):

$$Q = \frac{k \cdot M}{f_1 \cdot \frac{D_1}{D_2}} = 7020 \text{ Н.} \quad (9)$$

Схема действующих сил и моментов для варианта крепления по рис. 1д представлена на рис. 7.

Требуемая сила прижима P и необходимое усилие момента затяжки винта в данной схеме будут такими же, как и в схеме по рис. 5.

Анализ схем представлен в табл. 1.

Проведенный анализ показал, что оптимальная схема крепления пластины — крепление прижимом с центрированием по фаске, потому что она обеспечивает точное центрирование; в такой конструк-

ции присутствует возможность автоматизации, при этом необходима небольшая потребная сила для закрепления пластины, которую можно обеспечить, если прижим будет приводиться в движение от гидроцилиндра.

Для обеспечения шлифования режущих пластин по задней поверхности с заданным задним углом необходимы движения резания и движения подачи, предложена кинематическая схема рис. 8.

На рис. 8 показаны 1 — обрабатываемое изделие; 2 — шлифовальный круг; 3 — бабка станка; 4 — шлифовальный шпиндель; 5 — привод вращения шлифовального круга; 6 — привод вращения обрабатываемого изделия; 7 — привод поперечной подачи бабки станка; 8 — фиксатор положения поворотного стола; 9 — поворотный стол.

Библиографический список

1. Дибнер Л. Г. Справочник молодого заточника металлорежущего инструмента. М.: Высшая школа, 1984. 160 с.
2. Палей М. М., Дибнер Л. Г., Флид М. Д. Технология шлифования и заточки режущего инструмента. М.: Машиностроение, 1988. 288 с.
3. Фещенко В. Н. Обработка на токарно-револьверных станках. М.: Высшая школа, 1979. 143 с.
4. Ознобишин Н. С. Технический контроль в механических цехах. М.: Высшая школа, 1969. 312 с.
5. Стекольников М. В. Проектирование технологической оснастки: учеб. пособие. Саратов: Изд-во СГТУ, 2009. 84 с.
6. Терган В. С., Доктор Л. Ш. Шлифование на круглошлифовальных станках. М.: Высшая школа, 1977. 284 с.

НАЗАРОВ Павел Владиславович, ассистент кафедры металлорежущих станков и инструментов.

ЧЕРНЫХ Иван Константинович, студент гр. КТО-133 машиностроительного института.

МАТУЗКО Елена Николаевна, студентка гр. КТО-133 машиностроительного института.

БУГАЙ Иван Анатольевич, ассистент кафедры металлорежущих станков и инструментов.

ВАСИЛЬЕВ Евгений Владимирович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры металлорежущих станков и инструментов.

Адрес для переписки: nazaroffpavel@mail.ru

Статья поступила в редакцию 26.12.2016 г.

© П. В. Назаров, И. К. Черных, Е. Н. Матузко, И. А. Бугай, Е. В. Васильев

Книжная полка

Крутько, А. А. Анализ материалов и проектирование технологий. Проектирование технологического процесса изготовления детали : учеб. пособие / А. А. Крутько, В. С. Кушнер. — Омск : Изд-во ОмГТУ, 2016. — 123 с.

Рассматриваются вопросы, касающиеся организации и выполнения курсового проектирования. Излагаются требования к объему и содержанию его составных частей. Приводятся рекомендации по выбору материала и способу получения заготовки, по разработке и оформлению технологических процессов изготовления деталей машин, расчетно-пояснительной записки и графической части проекта. Подробно рассматривается методика расчета межоперационных размеров и исходных размеров заготовки, основанная на учете схемы базирования заготовки и погрешностей положения режущего инструмента относительно обрабатываемой детали при обработке резанием. Предназначено для студентов технических специальностей, изучающих курсы «Анализ материалов и проектирование технологий» и «Методология выбора материалов и технологии обработки».

ПРОЕКТИРОВАНИЕ ПРИСПОСОБЛЕНИЯ ДЛЯ НАКАТЫВАНИЯ ЛОМАНОВОГО УГЛОВОГО ПРОФИЛЯ

В современном машиностроении часто возникает проблема получения ломаного углового профиля на листовых заготовках в связи с конструктивными особенностями получаемой детали. В статье приводится анализ существующих методов образования профиля на листовых заготовках. Анализируются достоинства и недостатки применения методов в современных условиях и выбирается наиболее целесообразный. Приводится расчет напряжений процесса штамповки при помощи программных средств. Результатом исследования является разработка приспособления для накатывания ломаного углового профиля на универсальном горизонтально-фрезерном станке.

Ключевые слова: профилирование, пластическое деформирование, штамповка, листовые заготовки.

Наиболее распространенным методом получения необходимого профиля на листовых заготовках являются прессование, накатка, штамповка. Все это можно охватить одним широким термином — профилирование, то есть придание заготовке заданной формы. Для получения профиля методом штамповки требуется гидравлический пресс, матрица и пуансон. Для получения профиля методом накатывания требуется станок с горизонтальным расположением шпинделя (например, горизонтально-фрезерный) и ведущий и ведомый накатные ролики. Для выбора оптимального метода был проведен анализ (табл. 1) существующих методов пластической деформации. Методы штамповки и накатки имеют свои достоинства и недостатки [1].

Деформация металла в общем случае представляет собой относительный сдвиг частиц детали, обусловленный их перемещением. Существует упругая и пластическая деформация. После упругой деформации частицы детали возвращаются в исходное положение и деформации исчезают, а при пластической деформации частицы сохраняют свое положение, что навсегда меняет форму детали. Способность вещества без разрушения получать остаточные деформации называется пластичностью [2].

В машиностроении пластическое деформирование деталей применяется широко. К процессам пластического деформирования относится, например, штамповка деталей, накатывание рифлений, накатывание резьбы на специальном накатном станке, прокат при производстве заготовок и т.д. Рассмотрим некоторые из этих процессов.

Накатывание различных профилей производят на специальных станках при помощи специального

инструмента. Для каждого профиля изготавливают свой накатной инструмент, поскольку форма инструмента должна в точности повторять форму детали. В процессе накатки необходимый профиль образуется за счет пластической деформации заготовки [3]. Основными методами накатывания профилей на деталях вращения являются тангенциальное накатывание, радиальное и осевое. Накатывание профилей на плоских деталях — листовых заготовках, производится при помощи двух инструментов, которые пластически деформируют заготовку между ними [4]. Но заданный профиль на листовой заготовке можно получать не только при помощи накатывания.

Для придания профиля листовым заготовкам наиболее часто используются профилегибочные станы. Но не всегда целесообразно использовать профилегибочные станы для получения листовых заготовок определенного профиля, в связи с тем что длина или ширина может достигать 3 метров, поэтому нецелесообразно изготавливать матрицу и пуансон соответствующей длины или ширины [5], а вместо этого проектируются специальные приспособления, которые позволяют расширить технологические возможности имеющегося оборудования.

Моделирование процесса пластической деформации заготовки проводилось при помощи САПР CAE (англ. computer-aided manufacturing) программы DEFORM-3D. Программа предназначена для трехмерного моделирования процессов деформации и инженерных расчетов [6].

Моделирование позволило выявить максимальные напряжения, возникающие в металле в месте перегиба — 116 МПа (рис. 1).

Таблица 1
Анализ существующих методов получения ломаного углового профиля

Штамповка	
<p>Достоинства:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Высокая точность. 2. Широкие возможности автоматизации. 	<p>Недостатки:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Сложность обеспечения синхронной работы привода подачи ленты и штампа. 2. Недостаточная универсальность. 3. Высокая стоимость инструмента.
Накатка при помощи приспособления	
<p>Достоинства:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Универсальность. 2. Высокая точность и производительность. 3. Высокий коэффициент использования металла. 4. Низкая стоимость. 	<p>Недостатки:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Невысокая производительность по сравнению со штамповкой при массовом или серийном производстве. 2. Сложность изготовления накатного ролика.

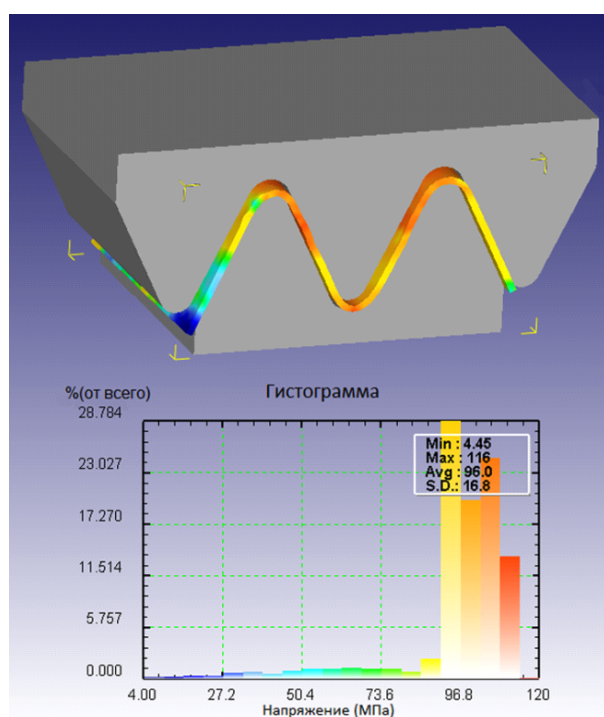


Рис. 1

Приспособление проектируется для использования на горизонтально-фрезерных станках. Для накатывания профиля с помощью приспособления требуется два движения — вращение накатного ролика, который устанавливается на оправке шпинделя станка, и движение подачи [7]. Накатку можно осуществлять по двум схемам (рис. 2 и 3).

При накатывании по схеме, показанной на рис. 2, накатной ролик имеет прямые зубья, что упрощает его изготовление, но угол рифлений ленты в таком случае ограничен. В этой схеме делительный диаметр имеет форму эллипса, что приводит к неравномерному накатыванию профиля и изгибанию ленты.

При накатывании по схеме, показанной на рис. 3, накатной ролик имеет винтовые зубья, что значительно усложняет его изготовление, однако это позволяет накатывать рифления, расположенные под любым углом. Разработано приспособление для

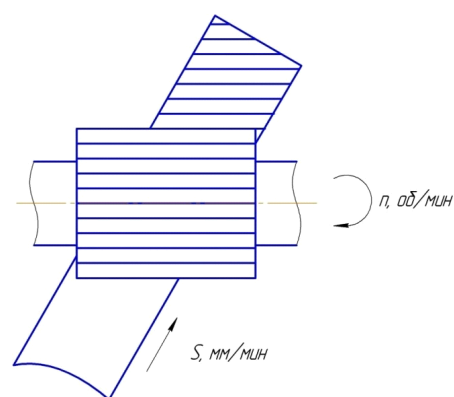


Рис. 2

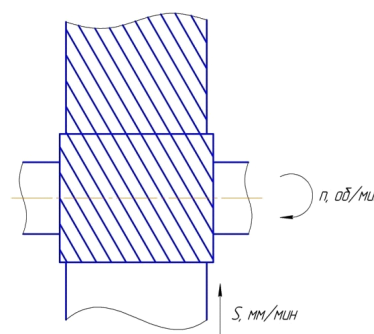


Рис. 3

накатывания по предложенной схеме на рис. 3, поскольку она позволяет получить более качественное изделие с высокой точностью получаемого профиля.

Обрабатываемая лента подается в зону пластического деформирования, направляемая пазом Б подвижной направляющей. Пластическое деформирование возникает в результате вращения ведущего накатного и ведомого накатного роликов, установленных в одной вертикальной плоскости, между которыми проходит лента.

Приспособление для накатывания состоит из ведомого накатного ролика 1, который размещается

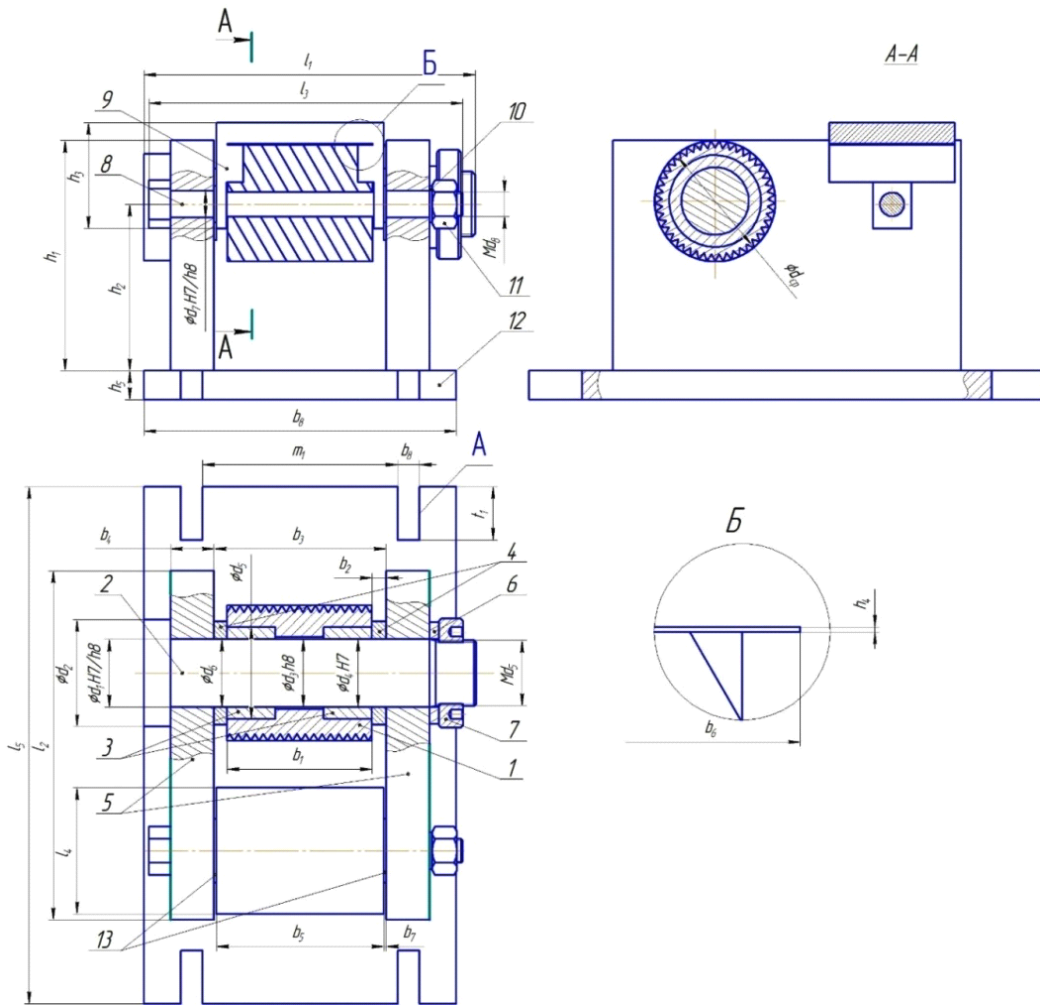


Рис. 4

на валу 2 с бронзовыми втулками скольжения 3 между упорными кольцами 4 и фиксируется в отверстиях двух стоек 5 при помощи шайбы 6 и гайки 7. В отверстия стоек 5 устанавливается ось 8, на которой размещается направляющая 9 между упорными кольцами 13, фиксируемая шайбой 10 и гайкой 11. Стойки 5 привариваются при помощи сварки ГОСТ 5264-80 к плите 12.

Приспособление (рис. 4) устанавливается на стол горизонтально-фрезерного станка и фиксируется при помощи Т-образных пазы стола станка, а ножки — в пазы А плиты 12 и фиксируется на столе гайками (на рис. 4 не показано). Ведомый накатной ролик 1 (рис. 5) представляет собой специальный режущий инструмент шириной b_1 (ширина b_1 должна быть равна ширине заданной ленты + 5 мм), развертка сечения которого представляет собой заданный профиль ленты, а угол зубьев в развертке наружной поверхности соответствует углу накатываемого профиля. Ведомый накатной ролик 1 работает в паре с ведущим накатным роликом, устанавливаемым в оправку горизонтально-фрезерного станка, который имеет те же параметры, что и ведомый, но угол его зубьев симметричен относительно вертикальной оси в развертке поверхности. Нержавеющая лента подается в паз Б направляющей 9, а затем в зону пластического деформирования.

Спроектированное приспособление позволяет обеспечить высокую точность и производительность

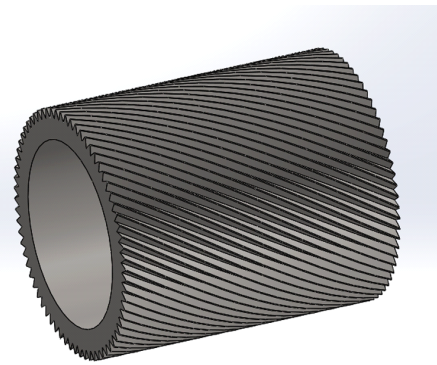


Рис. 5

при использовании его на универсальном оборудовании.

Предварительные испытания показали, что при накатывании при помощи спроектированного приспособления с использованием накатных роликов с косыми зубьями (рис. 3) возникают вибрации, что приводит к смещению ленты относительно зоны деформации. Для погашения возникающих вибраций предложен метод гашения вибраций. Метод заключается в том, что на наиболее подверженный вибрациям узел станка (хобот) устанавливается виброгаси-

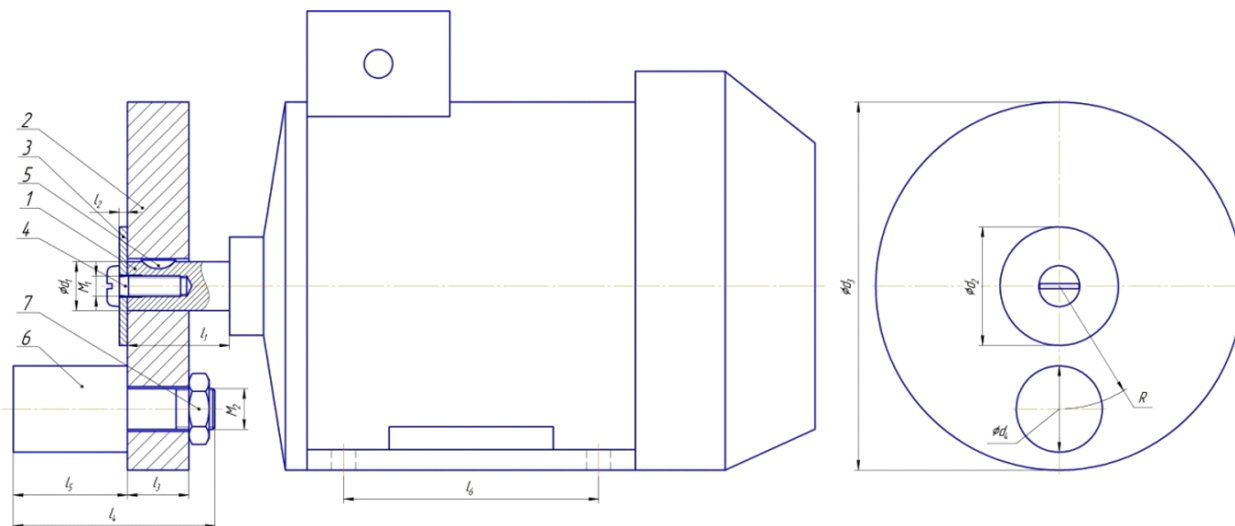


Рис. 6

тель, состоящий из электродвигателя с номинальной частотой вращения 1460 об./мин и мощностью 2,8 кВт, на вал которого установлен эксцентриковый диск (рис. 6).

Установка виброгасителя осуществляется следующим образом: электродвигатель АИРС90L4 на лапах крепится при помощи болтов и гаек к раме, а рама виброгасителя крепится при помощи сварки к хоботу станка (на рис. 6 не показано).

На вал электродвигателя 1 устанавливается эксцентриковый диск 2 и фиксируется при помощи шайбы 3 и винта 4. Крутящий момент эксцентриковому диску 2 с вала электродвигателя 1 передается при помощи сегментной шпонки 5. В отверстие эксцентрикового диска 2 устанавливается кулачок 6 и фиксируется при помощи гайки 7.

Результатом исследования является выбор наиболее целесообразного метода получения ломаного углового профиля на листовых заготовках, для которого было спроектировано приспособление. С целью исключения возникающих при накатывании вибраций предложено использовать виброгаситель.

Библиографический список

1. Сторожев М. В., Попов Е. А. Теория обработки металлов давлением. М.: Машиностроение, 1977. 423 с.
2. Феодосьев В. И. Сопротивление материалов. М.: МГТУ им. Н. Э. Баумана, 1999. 86 с.
3. Мастеров В. А. Теория пластической деформации и обработка металлов давлением. М.: Металлургия, 1989. 400 с.

4. Фещенко В. Н. Обработка на токарно-револьверных станках. М.: Высшая школа, 1979. 143 с.

5. Брюханов А. Н., Ребельский А. В. Горячая штамповка. Конструирование и расчет штампов. М.: Металлургия, 1952. 665 с.

6. Паршин В. С., Карамышев А. П., Некрасов И. И. [и др.]. Практическое руководство к программному комплексу DEFORM-3D. Екатеринбург: УрФУ, 2010. 266 с. ISBN 978-5-321-01772-2.

7. Ансеров М. А. Приспособления для металлорежущих станков. М.: Машиностроение, 1975. 638 с.

НАЗАРОВ Павел Владиславович, ассистент кафедры металлорежущих станков и инструментов.

ЧЕРНЫХ Иван Константинович, студент гр. КТО-133 машиностроительного института.

БУГАЙ Иван Анатольевич, ассистент кафедры металлорежущих станков и инструментов.

ВАСИЛЬЕВ Евгений Владимирович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент кафедры металлорежущих станков и инструментов.

ВАСИЛЬЕВА Мария Владимировна, магистрант гр. КТОМ-151 факультета элитного образования и магистратуры; учебный мастер кафедры эксплуатации технологических комплексов.

МАТУЗКО Елена Николаевна, студентка гр. КТО-133 машиностроительного института.

Адрес для переписки: nazaroffpavel@mail.ru

Статья поступила в редакцию 17.10.2016 г.

© П. В. Назаров, И. К. Черных, И. А. Бугай, Е. В. Васильев, М. В. Васильева, Е. Н. Матузко

Книжная полка

Бельков, В. Н. Расчет ременных и цепных передач : учеб. пособие / В. Н. Бельков, Н. В. Захарова. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2016. – 111 с.

Учебное пособие по структуре, содержанию и методике ориентировано на выполнение расчетов ременных и цепных передач при курсовом проектировании по дисциплинам «Прикладная механика», «Детали машин и основы конструирования». Содержит справочные таблицы и данные на основе нормативных документов, принятых в практике конструирования. Для лучшего усвоения методики расчетов приведены примеры их выполнения, в том числе с использованием АРМ WinMachine. Предназначено для студентов вузов всех форм обучения по механическим направлениям.

ИНТЕРМЕТАЛЛИДНЫЕ СОЕДИНЕНИЯ

Большой резерв в повышении свойств конструкционных материалов лежит в образовании поверхностных слоев на основе интерметаллидных соединений и фаз внедрения. В данной статье представлены структурные и физико-химические особенности интерметаллидных соединений и фаз внедрения. Интерметаллиды обладают, как правило, высокой твердостью и высокой химической стойкостью, сохраняют упорядоченную структуру вплоть до температуры плавления.

Ключевые слова: интерметаллидные соединения, интерметаллиды, структурный тип, сплавы, кристаллическая решетка.

Интерметаллидными соединениями принято называть уникальный класс материалов, которые сохраняют упорядоченную структуру вплоть до температуры плавления. Дальний порядок обеспечивает более сильную межатомную связь [1–2].

Впервые опубликовали информацию об исследованиях диаграммы системы Ni–Al около 1908 г.

Фриц Лавес в 1936 году оказался способен выявить кристаллическую структуру большого числа интерметаллических соединений. И вскоре эти соединения стали называться — Фазы Лавеса [3].

Интерметаллиды возникают вследствие взаимодействия элементов при сплавлении, конденсации из пара и при реакциях в твердом состоянии из-за взаимной диффузии (при химико-термической обработке), при распаде пересыщенного твердого раствора одного металла в другом, а также в результате интенсивной пластической деформации при механическом сплавлении.

В соединении структурного типа NiAs (рис. 1) или родственных типов Ni_2In , $NiTe_2$ или CdI_2 , которые представляют собой соединения переходных металлов подгрупп VIIIб, VIIIб и металлов подгруппы Cu с элементами подгрупп IIIа–VIа (так называемые никель-арсенидные фазы), непроста природа химической связи, которая изменяется с переменной положением компонентов в периодической системе; в это же время меняется и состав интерметаллидов. Для соединений состава АВ присуща ковалентно-метал-

лическая связь; при преобразовании состава интерметаллидов от AB_2 (напр., $NiTe_2$) до A_2B (напр., Ni_2In) наблюдается изменение природы связи — от преобладающей ионно-ковалентной до металлической [4].

Алюминий, магний, медь, железо и их сплавы применяются в разработке материалов с более новыми свойствами. Распространенность этих сплавов обусловлена их общими функциональными свойствами, механическими свойствами, небольшим удельным весом, стойкостью к коррозии и успешной механической обработкой. Легкие сплавы металлов, такие как магний и алюминий, в настоящее время востребованы и широко используются в автомобильной, корабельной и авиационной промышленности. Такие сплавы часто содержат также одну или несколько присадок, таких как кремний, никель и марганец, и поэтому содержат довольно сложные фазовые диаграммы. Оценка свойств подобных многокомпонентных систем является сложной задачей, так как различные составляющие элементы могут образовывать различные фазы, появление которых зависит от соотношения компонентов интерметаллида (рис. 2) [5–6].

Предполагается, что в этой области материаловедения будут разработаны квазикристаллические наноматериалы с характерным сочетанием высокой прочности, низким коэффициентом трения и термической стабильностью, что сделает их востребованными для использования в машиностроении и т. п. (рис. 3).

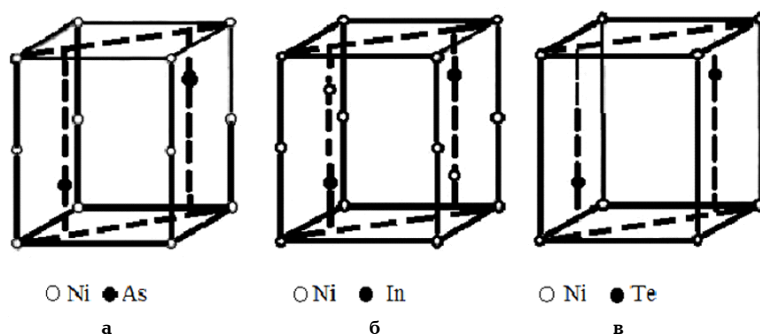


Рис. 1. Структура NiAs (а) и родственных соединений Ni_2In (б) и $NiTe_2$ (в)

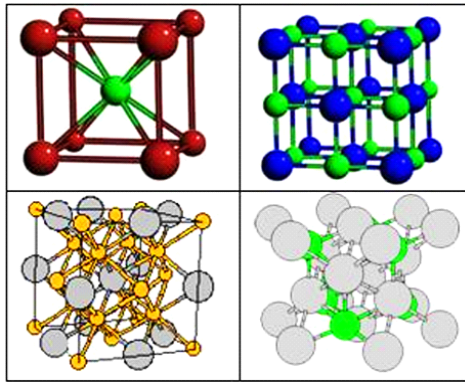


Рис. 2. Двухкомпонентные интерметаллиды

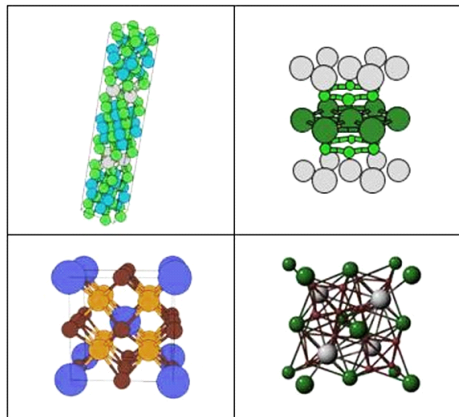


Рис. 3. Трехкомпонентные интерметаллиды

Для интерметаллидов характерны чаще всего металлический тип химической связи и специфические металлические особенности. Хотя среди интерметаллидов существуют также соединения с ионной связью (так называемые валентные соединения, образующиеся из элементов различной химической природы и представляющие собой стехиометрическое соединение): NaAu , соединения с промежуточным характером связи — ионно-металлической и ковалентно-металлической, а также соединения с ковалентной связью [7].

Физические и химические свойства интерметаллидов в большей степени напрямую зависят от природы химической связи, чем кристаллическая структура. Ионные интерметаллиды имеют особенности, характерные для солей, — высокая температура плавления, пониженная электрическая проводимость, наличие на диаграммах состояния узких областей гомогенности и др., многие разлагаются водой. Интерметаллидам с преобладающей металлической связью присущи свойства металлов, в особенности более или менее значительная способность к пластичной деформации. Однако же многие интерметаллиды различаются пониженным уровнем пластичности и сообщают повышенную хрупкость сплавам, в которых являются одной из структурных составляющих.

Свойства интерметаллидов, которые делают их более привлекательными, следующие:

- высокая прочность, которая не деградирует с возрастанием температуры;
- аномальная зависимость предела текучести;
- низкая плотность интерметаллидов, что приводит к высокому отношению прочность/плотность;

- высокие упругие модули;
- высокая стойкость к окислению [8–9].

Крайне необычны механические свойства интерметаллидов, очень чувствительные к воздействию температур. При обычных условиях большая часть очень тверды и хрупки. При температуре же, составляющей 70–90 % от их температуры плавления, интерметаллидам свойственно превращаться в пластичные тела. Главной причиной является возрастание доли металлической связи при нагревании. Использованию некоторых материалов мешает недостаточная пластичность и вязкость. Существует несколько способов улучшения пластичности: модификация кристаллографической структуры, упрочнение границ, уменьшение размера зерен, переход к монокристаллам, появление столбчатой структуры. Помимо этого, улучшение пластичности может быть обеспечено за счет микро- и макролегирования [10].

Некоторые интерметаллиды применяют как магнитные материалы (SmCo_5 , Fe_3Ni , Cu_2MnAl и др.), сверхпроводники, аккумуляторы. Интерметаллиды входят в состав высокопрочных конструкций материалов (например, обеспечивают высокую прочность в дисперсионно-твердеющих сплавах на основе Al , Cu , Fe), жаропрочных сплавах, сплавах на основе Ni создает высокодисперсную микроструктуру, которая сохраняет высокую прочность в условиях долгой работы при повышенных температурах. На основе интерметаллидов разработаны защитные покрытия из тугоплавких металлов (Ni_3Al , Ni_3Nb , Ti_3Al и др.). Соединение TiNi используют для изготовления термочувствительных элементов и преобразователей тепловой энергии в механическую [11].

В целом, интерметаллиды значительно превосходят обычные металлы, сохраняют свою структуру и прочность при высоких температурах, обладают хорошими антикоррозионными и антифракционными свойствами.

Библиографический список

1. Гринберг Б. А. Интерметаллиды Ni_3Al TiAl : микроструктура, деформационное поведение. Екатеринбург: Уро РАН, 2002. 358 с.
2. Словари и энциклопедии на Академике. URL: <http://dic.academic.ru> (дата обращения: 15.09.2016).
3. StudFiles. URL: <http://www.studfiles.ru/preview/5737900/page:13/> (дата обращения: 15.09.2016).
4. ХиМиК. URL: <http://www.xumuk.ru/encyklopedia/1712.html> (дата обращения: 15.09.2016).
5. Лавес Ф. Кристаллическая структура и размеры атомов. М.: Металлургия, 1961. 119 с.
6. Тарасов А. В. Металлургия титана. М.: ИКЦ «Академкнига», 2003. 328 с.
7. Суперсплавы II. Жаропрочные материалы для аэрокосмических и промышленных энергоустановок. В 2-х кн.: пер с англ. / Под ред. Ч. Т. Симса, Н. С. Столоффа / под ред. Р. Е. Шалина. М.: Металлургия, 1995. Кн. 2. 384 с.
8. Козлов Э. В., Клопов А. А., Тайлашев А. С. Фазовые превращения в твердых растворах и сплавах // ОМА–2005: сб. тр. VIII Междунар. симпозиума, 12–16 сентября 2005 г., Сочи. Ростов н/Д, 2005. Ч. 1. С. 170–175.
9. Клопов А. А., Ясенчук Ю. Ф., Абзаева Ю. А. Кристаллогеометрические факторы и области устойчивости соединений // Известия вузов. Физика. 2008. № 3. С. 7–17.
10. Григорович В. К. Электронное строение и термодинамика сплавов железа. М., 1970. 292 с.
11. Химия.Нет. URL: <http://ximiya.net/slovar/intermetallidy> (дата обращения: 15.09.2016).

ТИТОВ Юрий Владимирович, ассистент кафедры металлорежущих станков и инструментов.
Адрес для переписки: tyurin-88@mail.ru
РЕЧЕНКО Денис Сергеевич, кандидат технических наук, доцент кафедры металлорежущих станков и инструментов.
Адрес для переписки: rechenko-denis@mail.ru

АРТЁМЕНКО Никита Сергеевич, аспирант кафедры металлорежущих станков и инструментов.
АНДРЕЙЧУК Андрей Юрьевич, студент гр. КТО-162 машиностроительного института.
Адрес для переписки: zaqwsxcde430@gmail.com

Статья поступила в редакцию 27.09.2016 г.
© Ю. В. Титов, Д. С. Реченко, Н. С. Артёмenco,
А. Ю. Андрейчук

УДК 621.822

А. А. ШАРГАЁВ
Н. Г. МАКАРЕНКО

Омский автобронетанковый
инженерный институт,
г. Омск

ЭЛЕКТРОХИМИКОМЕХАНИЧЕСКОЕ УПРОЧНЕНИЕ ДОРОЖЕК КАЧЕНИЯ ПОДШИПНИКА

Предложено электрохимикомеханическое упрочнение дорожек качения меднографитным материалом для повышения ресурса подшипников. Выбраны методы проведения исследований для оценки характеристик подшипников по результатам эксперимента. Проведены упрочнение и приработка подшипников качения, выполнены стендовые и эксплуатационные испытания на автомобиле. Получены результаты остаточного ресурса деталей серийных и упрочненных образцов подшипников качения.

Ключевые слова: электрохимикомеханическое упрочнение (ЭХМО), подшипник качения (ПК), ресурс, микротвердость, шероховатость, вибродиагностика.

Надежность, ресурс машин и механизмов в значительной степени зависят от качества подшипников качения. В настоящее время ведущие производители подшипников проводят различные исследования в области повышения качества изготовления своей продукции. В то же время подшипники выпускаются без указания ресурса.

Повышение ресурса подшипников качения — важная задача, решение которой позволит обеспечить работоспособность машин, их качественные характеристики, сократить время простоев и повысить экономическую эффективность.

Анализ исследований, выполненных ведущими производителями подшипников качения, позволяет определить основные направления повышения ресурса [1–5]:

1. Повышение квалификации персонала и культуры труда на всех стадиях жизненного цикла подшипников.
2. Использование высококачественных материалов.
3. Применение новейших научных разработок в области материаловедения, трибологии и др.
4. Модернизация производства.
5. Использование современных смазочных материалов.
6. Непрерывное совершенствование системы менеджмента качества.

Применение известных направлений повышения ресурса подшипников не всегда позволяет достичь желаемых результатов и, как правило, связано со значительными материальными затратами, примене-

нием сложного оборудования или высокой трудоемкостью изготовления подшипников. Поэтому разработка методов, технологий повышения ресурса подшипников качения является весьма актуальной.

В статье приведены результаты эксперимента по повышению ресурса подшипника качения электрохимикомеханическим упрочнением дорожек качения (наружного, внутреннего кольца). Для оценки результатов эксперимента использовались методы вибродиагностирования, измерения микротвердости и шероховатости.

В качестве объекта испытаний выбран серийный конический роликоподшипник, установленный в ступице автомобиля КамАЗ-4310, показан на рис. 1. Основные технические параметры подшипника приведены в табл. 1.

Электрохимикомеханическое упрочнение подшипника проводилось на токарном станке 16К20 с дополнительным оборудованием и приспособлениями.

В качестве оборудования использовалось: источник постоянного тока, устройство подачи и сбора рабочей жидкости. Приспособление — анод для упрочнения, изготовленный из меднографитного материала, установленный в державке с пружиной, обеспечивающей необходимое усилие прижатия к дорожке качения детали подшипника при обработке.

Суть электрохимикомеханической обработки заключается в следующем: деталь (внутреннее, наружное кольцо) подшипника качения закрепляется в патроне станка подключенного к «минусу» источника постоянного тока, которой придается вращение

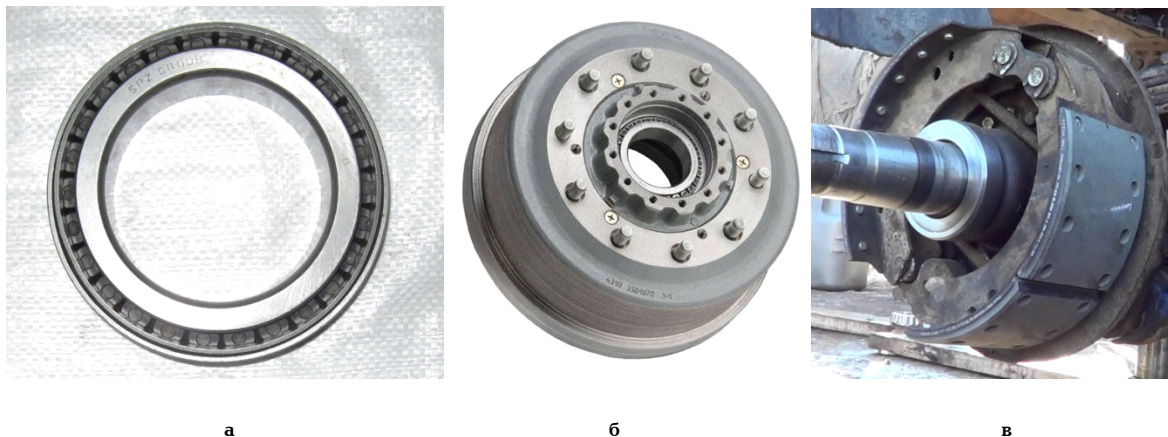


Рис. 1. Внешний вид: а) подшипник 2007118А; б) ступица с тормозным барабаном; в) фланец с тормозными колодками

Таблица 1
Технические параметры подшипника

Наименование	2007118А
Тип подшипника	Радиально-упорный роликовый конический
Класс точности	6
Число роликов	26
Монтажная высота	32 мм
Внутренний диаметр	90 мм
Наружный диаметр	140 мм
Масса	1,67 кг
Смазка подшипника	пластичная
Производитель	SPZ-GROUP 9 ГПЗ

относительно анода, установленного в приспособлении, подключенного к «плюсу» и обеспечивающего необходимое усилие прижатия. Во время упрочнения в зону обработки подается рабочая жидкость 40 % раствор Na_2SiO_3 в воде [6].

Испытывались серийные конические подшипники качества 2007118А в количестве 4 штук группа П1 и партия подшипников с упрочненными дорожками качества меднографитным материалом ЭХМО в количестве 4 штук группа П2.

Вибродиагностирование групп подшипников проводили по методике [7, 8] на стенде вибрационного контроля подшипников качества СВК-А [9]. Шероховатость дорожек качества подшипников определялась по методике [10, 11] профилометром портативным БВ-7646. Микротвердость определялась на шлифах по методике [12] с использованием микротвердомера ПМТ-3.

Оценка ресурса и свойств подшипников проводилась следующими диагностическими методами:

- анализа спектра огибающей сигнала виброускорения и анализа коэффициента «эксцесса»;
- измерение микротвердости;
- измерение шероховатости;
- измерение размеров подшипников.

При проведении эксперимента контролировались следующие параметры: нагрузка, вибрация, частота вращения, микротвердость, шероховатость.

Перед проведением испытаний подшипники были отмыты и обезжирены, проведено измерение радиального и осевого зазора каждого подшипника, а также размеры и непостоянства внутреннего

и наружного диаметра подшипника в соответствии с требованиями [11, 13, 14].

Эксперимент проводился в два этапа. На первом этапе проводилась обработка и приработка подшипников группы П2 методом ЭХМО. На втором этапе выполнена эксплуатационная наработка групп П1 и П2. На обоих этапах проводился сравнительный анализ результатов виброхарактеристик, микротвердости и шероховатости.

Первый этап. Перед упрочнением дорожек качества подшипников группы П2 были обезжирены бензином «Калоша» ГОСТ 443-76 и техническим этиловым спиртом ГОСТ 17299-78. Технологические параметры процесса электрохимикомеханического упрочнения: усилие прижатия анода к обрабатываемой поверхности (дорожке качения) 20–40 МПа, в качестве рабочей жидкости использовался 40 % раствор Na_2SiO_3 в воде, линейная скорость обрабатываемой поверхности 0,1–0,4 м/с, плотность тока, проходящего по цепи анод–деталь 1–1,5 А/мм², поступательное перемещение вдоль обрабатываемой поверхности 0,5–2,5 мм/об., время обработки составило: 40 с — кольцо внутреннее, 50 с — кольцо наружное [6].

Приработка группы П2 осуществлялась на стенде в течение часа по схеме, изображенной на рис. 2, при следующих технологических параметрах: материал анода — цинк; рабочая жидкость — ПГВ, частота вращения — 250 об./мин, ток в цепи — 40–150 мА, $t_{\text{нож}}$ — 40–60 °С, радиальная нагрузка — 100 Н, осевая нагрузка — 10 Н [6].

После выполнения приработки подшипников проведено вибродиагностирование подшипников. На рис. 3 представлены спектры сигналов виброускорения групп П1 и П2 подшипников.

Проведение оценки состояния подшипников групп П1 и П2 методом анализа огибающей спектра сигнала виброускорения показало состояние элементов подшипников групп П1 и П2 остаточного ресурса на уровне 99–100 %, учитывая, что границы тревожного порога установлены на 70 %, а недопустимого — 60 %.

Оценка состояния элементов подшипников по спектрам на рис. 3 показывает, что характеристики группы П2 на 6–8 дБ лучше группы П1.

Заключение о состоянии подшипников: группа П1 — хорошее, группа П2 — хорошее.

Для сравнения характеристик микротвердости упрочненного подшипника и серийного подшипника проведены измерения на шлифах, приготовленных

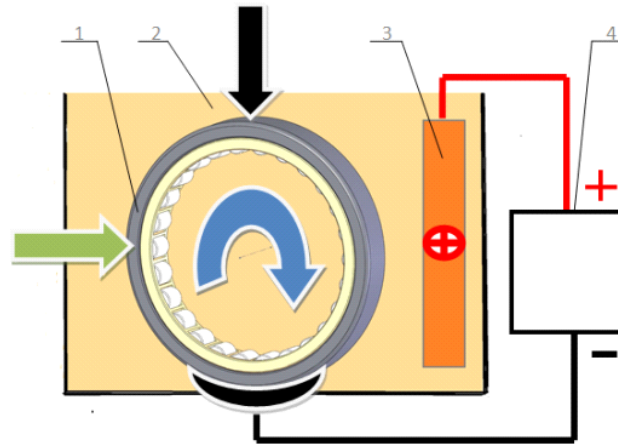


Рис. 2. Схема приработки методом ЭХМО:
1 — подшипник качения; 2 — рабочая жидкость;
3 — анод; 4 — источник тока

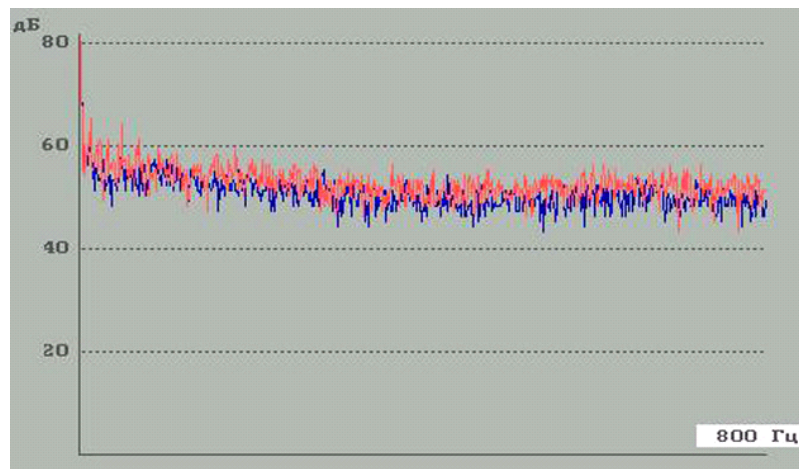


Рис. 3. Спектры сигналов виброускорения подшипников:
серийный П1 — верхний спектр частот,
обработанный П2 — нижний спектр частот

на одном из подшипников каждой группы П1 и П2, с использованием микротвердомера ПМТ-3 по среднему значению ее величины; количество уколов ≥ 15 . Результаты измерений микротвердости и шероховатости дорожек качения групп П1 и П2 на первом этапе представлены в табл. 2.

Второй этап. Эксплуатационные испытания проводились на автомобиле КамАЗ-4310. Подшипники групп П1 и П2 были установлены в ступицы автомобиля, смазаны пластичной смазкой ЛИТОЛ-24 согласно техническому описанию и инструкции по эксплуатации. Автомобиль эксплуатировался как на шоссе, так и в сложных дорожных условиях. По достижению наработки 24240 км пробега подшипники качения были демонтированы из ступиц автомобиля.

Исследования подшипников на стенде вибродиагностики проводились по методике, используемой на первом этапе. Результаты исследования представлены на рис. 4, 5 и в табл. 3, 4.

В результате проведения второго этапа исследования после наработки подшипниками групп П1 и П2 ресурса 24240 км установлено, что огибающая виброускорения группы П2 (нижний спектр частот) на 10–12 дБ лучше по сравнению со спектром подшипников группы П1 (верхний спектр частот).

К тому же в ходе проведения вибродиагностики у одного из подшипников группы П1 было выявлено

возникновение дефекта. На спектре виден ряд гармонических составляющих. Из этого ряда 1-я гармоника совпадает с расчетной частотой диагностического признака раковины наружного кольца. Глубина модуляции спектра огибающей указывает на слабо развитый дефект, который представлен на рис. 5.

В табл. 3 представлены результаты остаточного ресурса деталей подшипников групп П1 и П2, которые определены методом анализа спектра огибающей сигнала виброускорения.

Заключение вибродиагностирования о состоянии групп подшипников следующее: группа П1 — удовлетворительное, группа П2 — хорошее.

Среднее значение микротвердости и шероховатости дорожек качения подшипников групп П1 и П2 после эксплуатационных испытаний представлено в табл. 4.

Выводы.

1. На основе приведенных результатов установлено увеличение микротвердости дорожек качения на 10–15 %, улучшение шероховатости в 1,5–2 раза обработанных образцов.

2. Анализ спектра огибающей сигнала виброускорения подтверждает улучшение характеристик упрочненных подшипников по сравнению с серийными, на первом этапе на 6–8 дБ и на втором — на 10–12 дБ.

Таблица 2
Средние значения микротвердости и шероховатости на I этапе

№ п/п	Группа П1		Группа П2	
	микротвердость (МПа)		микротвердость (МПа)	
	наружное кольцо	внутреннее кольцо	наружное кольцо	внутреннее кольцо
1	11674	11785	14204	14224
2	11742	11590	14217	14120
3	11803	11682	14109	13991
4	11658	11345	14196	14236
5	11685	11783	14209	14102
6	11632	11587	13923	14208
7	11741	11753	14226	14675
8	11573	11862	14178	14864
9	11468	11673	14267	14762
10	11634	11382	13981	14591
11	11725	11768	14184	14364
12	11362	11842	14175	14056
13	11649	11796	14094	14187
14	11476	11643	14206	14376
15	11684	11857	14056	14264
	R _a шероховатость (мкм)		R _a шероховатость (мкм)	
	0,09	0,081	0,061	0,054



Рис. 4. Спектры огибающей сигнала виброускорения:
серийный П1 — верхний спектр частот,
обработанный П2 — нижний спектр частот

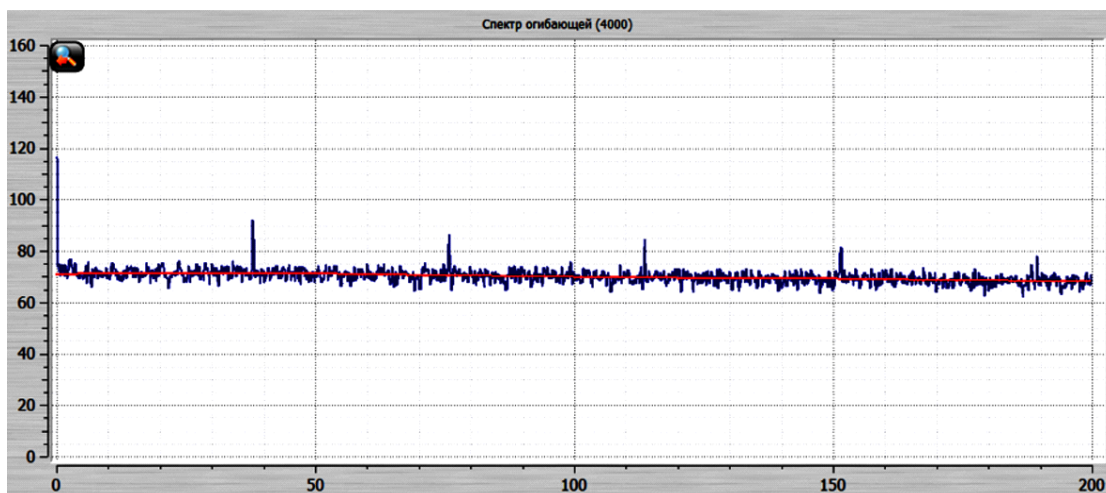


Рис. 5. Спектр огибающей дефектного подшипника группы П1

Таблица 3

Остаточный ресурс деталей подшипников

Деталь подшипника качения	Состояние группы П1 (остаточный ресурс), %	Состояние группы П2 (остаточный ресурс), %
Внутреннее кольцо	75	97
Внешнее кольцо	71	95
Тела качения	76	98
Сепаратор	97	99

Таблица 4

Средние значения микротвердости и шероховатости на II этапе

№ п/п	Группа П1		Группа П2	
	микротвердость (МПа)		микротвердость (МПа)	
	наружное кольцо	внутреннее кольцо	наружное кольцо	внутреннее кольцо
1	11206	11194	14091	14126
2	11214	11203	14087	14027
3	11076	11116	14191	14023
4	11191	11185	14082	14142
5	11168	11200	14070	14137
6	11302	11196	14063	14125
7	10821	11036	13961	13978
8	11281	10965	14187	14171
	R _a шероховатость (мкм)		R _a шероховатость (мкм)	
1	0,2	0,17	0,095	0,083

3. Электрохимикомеханическое упрочнение дорожек качения серийного подшипника позволяет увеличить ресурс на 20 – 25 %.

Библиографический список

1. Сверхточные подшипники NSK: справ. Global NSK, 2009. 243 с.
2. Подшипники качения: справ. © Schaeffler KG, 2009. 811 с.
3. Генеральный каталог. 3-е изд. М.: ЕПК, 2011. 448 с.
4. Черемский О. Н., Федотов Н. Н. Подшипники качения: Справочник-каталог. М.: Машиностроение, 2003. 576 с. ISBN 5-217-03180-8.
5. Макаруч В. В., Мурашкин В. В. Стратегия развития производства подшипников качения для авиационной техники // Известия Самарского научного центра Российской академии наук. 2011. № 4 (3). Т. 13. С. 805 – 810.
6. Макаренко Н. Г. Электрохимическое упрочнение и восстановление деталей трибосистем. Омск: ИЦ «Омский научный вестник», 2004. 248 с. ISBN 5-8149-0201-9.
7. МВИ ВНИПП.002-04 Подшипники качения. Вибрация. Методика выполнения измерений. URL: <http://vnipp.ru/dokumenty/?parent=15> (дата обращения: 11.12.2016).
8. РД ВНИПП.038-08. Подшипники качения. Нормы вибрации. URL: <http://vnipp.ru/dokumenty/?parent=15> (дата обращения: 11.12.2016).
9. ООО НПП «ТИК»: Стенд вибрационного контроля подшипников СВК-А. URL: <http://tik.perm.ru/products> (дата обращения: 11.12.2016).
10. ГОСТ 2789-83. Шероховатость поверхности. Введ. 1975–01–01. М.: Изд-во стандартов, 1975. 35 с.
11. ГОСТ 520-2011. Подшипники качения. Общие технические условия. Введ. 2012-07-01. М.: Стандартиформ, 2012. 122 с.
12. ГОСТ 9450-76. Измерение микротвердости вдавливанием алмазных наконечников. Введ. 1977–01–01. М.: Изд-во стандартов, 1977. 35 с.
13. ГОСТ 24810-81. Подшипники качения. Зазоры. Введ. 1981–07–01. М.: Изд-во стандартов, 1981. 24 с.
14. ГОСТ 27365-87. Подшипники роликовые конические однорядные повышенной грузоподъемности. Введ. 1988–07–01. М.: Изд-во стандартов, 1988. 24 с.

ШАРГАЁВ Алексей Александрович, адъюнкт кафедры эксплуатации (бронетанковой и автомобильной техники).

МАКАРЕНКО Николай Григорьевич, кандидат технических наук, доцент (Россия), профессор кафедры эксплуатации (бронетанковой и автомобильной техники).

Адрес для переписки: al.shargaev@mail.ru

Статья поступила в редакцию 12.12.2016 г.

© А. А. Шаргаёв, Н. Г. Макаренко

ПРОИЗВОДСТВО МАГНИЕВЫХ ОТЛИВОК В МЕТАЛЛИЧЕСКИЕ ФОРМЫ

В предлагаемой работе проанализированы результаты исследований в области магниевого литья и производственного опыта в получении качественных отливок. Установлено, что на качество литой поверхности изделия, на размерную точность отливок и на их механические свойства оказывают влияние температура заливки, состав и свойство стержневых материалов, методы упрочнения стержней, составы защитных кокильных красок.

Ключевые слова: плавка, заливка, флюс, рафинирование, модифицирование, магниевый сплав.

В промышленности широко применяются литые заготовки из магниевых сплавов, отличающиеся малой металлоемкостью, высокими механическими и служебными характеристиками и технологичностью [1]. Внедрение их в производство сопровождается созданием новых технологических процессов (плавки, заливки и применяемых исходных материалов). Производство цветного литья развивается по следующим основным направлениям:

- увеличение объема и номенклатуры отливок, получаемых наиболее прогрессивными методами литья;
- оснащение производства современным литейным оборудованием;
- повышение уровня технологической культуры литейного производства;
- снижение себестоимости литья.

Производство фасонных отливок в постоянные металлические формы (кокили) получает все большее распространение вследствие значительных преимуществ этого способа перед обычным литьем в песчано-глинистую форму. В настоящее время литье легких сплавов в металлических формах является основным технологическим процессом во многих отраслях машиностроения, несмотря на существующие проблемы применения этого способа. Большое распространение литье легких сплавов в кокиль получило в авиационной промышленности. В связи с ростом производства магниевых деталей номенклатура литья значительно расширяется. Как показали исследования, получение магниевых отливок в металлическую форму возможно не только для мелких и средних отливок, но и для сложных крупных массой до 300 кг и более.

Однако технологические и организационно-технические вопросы, связанные с применением кокилей для литья деталей из легких сплавов, в литературе освещены недостаточно полно. Имеется лишь сравнительно небольшое количество работ по отдельным вопросам литья в кокиль.

Технологический процесс изготовления отливок состоит из следующих операций: подготовки металлической формы, плавки шихтовых материалов, изготовления и установки в форму песчаных и ме-

таллических стержней, заливки расплава, охлаждения и выбивки отливок, термообработки.

Для получения отливок высокого качества необходимо приготовить расплав заданного состава, свободного от неметаллических включений (окислов, нитридов, растворенных газов) и вредных металлических примесей (щелочных металлов, железа, никеля и др.), применять совершенные методы разливки и рациональные литейные системы. Существующие методы плавки имеют общие технологические приемы и в то же время отличаются.

При плавке в стационарном тигле [1, с. 138] его предварительно нагревают до температуры красного каления, загружают флюс 1–1,5 % от веса шихты, затем загружают и плавят шихту. После расплавления температуру расплава доводят до 700–720 °С и рафинируют для достижения однородности расплава и очистки его от примесей и включений. Рафинирование проводят замешиванием покровного флюса в расплаве в течение 4–6 мин, периодически присыпая зеркало металла свежим флюсом. Расход флюса при рафинировании составляет приблизительно 1 % от веса шихты. Рафинирование заканчивают по достижению блестящей поверхности расплава. После рафинирования с поверхности металла снимают шлак и загрязненный флюс, затем наносят свежий флюс, повышают температуру расплава до 750–780 °С и выдерживают при этой температуре 10–15 мин. Затем берут пробы для экспресс-анализа и снижают температуру расплава до температуры заливки (при удовлетворительном анализе). По окончании заливки очищают стенки и дно тигля от осадка. При загрузке новой порции шихты иногда вводят до 1 % свежего флюса от общей емкости тигля (2–2,5 кг). Полную замену флюса производят не более чем через 20 плавов. Такой способ плавки относится к приготовлению сплава в бескрапных тиглях. На практике при плавке цветных сплавов в стационарных тиглях применяют графитовые и металлические тигли. Плавка магниевых сплавов в графитовых тиглях не рекомендуется из-за высокой активности фтористых и хлористых солей, составляющих большинство флюсов с материалом тигля [2, с. 317]. При работе с выемными тиглями

устраняется дополнительная переливка расплава, излишнее его окисление и легко осуществляется заполнение расплавом относительно крупных форм [3].

Если сравнивать этот способ с плавкой в газовых тигельных печах рекуперативного типа беспламенного горения, рассчитанных на емкость металла до 2 т, то последний способ оказался менее востребованным в производственных условиях из-за дороговизны изготовления качественных тиглей такой большой емкости. Увеличение емкости тигля влечет за собой дополнительно насыщение расплава железом до 0,003 %, что существенно влияет на коррозионную стойкость металла. Еще одним недостатком является низкий КПД из-за высоких теплотерь 10–12 % [4].

При приготовлении рабочего расплава с использованием скрапных и раздаточных тиглей [5, с. 66] для нормального ведения плавки необходимо иметь не менее трех печей. В первой скрапной печи расплавляют вторичный сплав. После расплавления проводят рафинирование сплава по описанной выше технологии. После рафинирования расплав переливают в раздаточную печь. В раздаточной печи готовят рабочий расплав, заполняя при этом печь на 2/3 объема и догружая по ходу плавки чушками первичного сплава. Затем проводят повторное рафинирование при температурном режиме 700–720 °С, снимают с поверхности шлак и присыпают свежим флюсом. Третья печь служит для расплавления карналитового флюса, для промывки разливочного инструмента при температуре 760–800 °С. Если рассматривать процесс плавки в выемных тиглях, то по способу приготовления расплава он ничем не отличается от плавки в стационарных скрапных тиглях. Этот способ нашел широкое применение при небольших масштабах производства.

Комбинированный способ плавки [1, с. 139] применяется при литье деталей в крупном серийном производстве. Как правило, плавку ведут в отражательной печи. Отражательные печи работают на газовом или нефтяном топливе. Предпочтительно использовать газовый обогрев печи, так как он характеризуется меньшими потерями на угар по сравнению с мазутом. Рабочий температурный режим такой печи составляет от 800 до 900 °С. В разогретую до 800–850 °С печь загружают от 5 до 8 % флюса для промывки пода печи. Среди множества флюсов самым распространенным в настоящее время является промышленный флюс ВИ-2, который используется как покровный и рафинирующий. В ванну отражательной печи загружают шихту, попутно снижая температуру нагрева. Поверх шихты засыпают флюс в количестве 3–4 % от массы шихты. В ходе расплавления очаги горения присыпают флюсом. Плавка в отражательной печи исключает применение обычных кислых огнеупорных футеровок из-за высокого сродства магния к кислороду. Для футеровки печи применяют магнезит. При достижении температуры до 710–720 °С с поверхности расплава снимают загрязненный флюс и присыпают свежий. После осаждения порции свежего флюса по объему ванны производят рафинирование путем перемешивания расплава. По окончании процесса рафинирования с поверхности расплава снимают шлак и загрязненный флюс, присыпают поверхность свежим флюсом и отстаивают в течение 15–20 мин при температуре 700–710 °С. После выстаивания расплав сливают в выемные тигли, установленные в нагревательные стенды.

Плавка в индукционной печи [6] по сравнению с процессом плавки в отражательной печи отлича-

ется быстротой процесса плавки, высокой производительностью, высоким КПД, малой поверхностью зеркала расплава, что способствует меньшему окислению зеркала металла, а также малые потери на угар металла, что в конечном итоге положительно сказывается на свойствах сплава. Плавка в индукционных печах не рекомендуется, если масса шихты составляет менее 70 % емкости тигля. Нагрев и плавка осуществляются как за счет тепла, индуктированного в материал шихты (при тонкостенных тиглях), так и за счет тепла, индуктированного в материал тигля (при толстостенных тиглях). Основным достоинством, позволяющим применять индукционные печи промышленной частоты, является наилучшее соотношение между площадью зеркала жидкого металла и массой металла. Еще одно важное достоинство индукционных печей [7] — это способность расплава циркулировать по объему тигля за счет колебаний расплава при наведении токов высокой частоты. Данный аспект позволяет исключить ручное перемешивание расплава при рафинировании, тем самым обеспечивая более качественный процесс очистки расплава от нежелательных примесей и взвесей.

Полученный в процессе любого способа плавки металлический расплав содержит в себе примеси: шлаковые включения, окисную пленку, газы, которые существенно ухудшают механические свойства отливок. Для их удаления осуществляется рафинирование.

На практике различают три способа рафинирования магниевых сплавов:

- рафинирование от неметаллических включений;
- рафинирование от металлических включений;
- рафинирование от газовых включений.

Исследования показали [4, с. 338; 8, с. 266], что при повышении температуры сплава (перегреве), неметаллические включения осаждаются на дно тигля. При 750 °С обеспечивается почти полное осаждение окислов и нитридов. Это, по-видимому, связано с разностью плотностей сплава и взвешенных частиц. Исключения составляют неметаллические включения в сплавах, содержащих цирконий, при введении последнего из хлористых солей $ZrCl_4$, Na_2Cl_6 , K_6ZrCl_6 . По сравнению с другими загрязнителями эти включения не удаляются из расплава даже после неоднократного переплава. Поэтому их применение не рекомендовано для введения циркония.

Для более полного удаления примесей используют покровные флюсы. Важная особенность рафинирования флюсом [9] — это обеспечение смачиваемости неметаллических частиц в расплаве. Для улучшения адсорбции неметаллических частиц на дно тигля и увеличения сил конвекции необходимо перемешивать сплав, замешивая флюс в глубь расплава. Очищение расплава от взвеси хлоридов и окислов будет тем более полным, чем меньше поверхностная активность флюса по отношению к расплаву, чем больше плотность флюса и чем больше времени будет происходить отстаивание расплава. Оптимальное количество флюса в процессе рафинирования составляет 6–8 % от массы шихты. В процессе плавки и рафинирования необходимо постоянно контролировать количество введенного флюса. Необходимо помнить, что избыток фтористых солей сгущает флюс. Для повышения плотности флюса, например промышленного флюса № 2, к нему добавляют хлористый барий, который, взаимодействуя с основной флюсой — плавленным карналитом, придает флюсу хорошие литейные свойства, например,

такие как возможность легкого его отвода с поверхности металла при зачерпывании ковшем. В отличие от хлористых флюсов, бесхлористые наносят на поверхность расплава после рафинирования первым флюсом и выдерживают до момента разливки. Бесхлористые флюсы адсорбируют остатки хлористых флюсов вместе с неметаллическими включениями и при попадании в отливку не вызывают ее коррозии.

Присутствие железа в магниевых сплавах даже в сотых долях процента снижает коррозионную стойкость отливок. Для удаления железа из расплава в него вводят марганец в количестве, растворимом в расплаве. Затем расплав выдерживают 20–30 минут при температуре 700 °С. Растворимость марганца при такой температуре понижается и железо вместе с избыточными, первично кристаллизующимися частицами марганцовистой фазы ликвируют на дно ванны. Такое же действие оказывают добавки церия и циркония. Этот способ позволяет снизить содержание железа в сплаве до тысячных долей процента.

Рафинирование от газовых включений заключается в обработке последнего инертными газами. При пропускании пузырьков инертного газа через расплав водород, находящийся в жидком металле, диффундирует в пузырек инертного газа до тех пор, пока парциальное давление водорода внутри пузырька не выровняется с давлением в сплаве. Продувку осуществляют при температуре 740–750 °С. Время продувки, составляет около 30 минут. Скорость продувки должна быть такой, чтобы расплав бурлил, не выплескиваясь на стенки тигля и за его пределы. Чем выше дегазация сплава, тем крупнее зерно по микроструктуре. Лучший результат наблюдается при продувке расплава четыреххлористым углеродом из расчета 80–100 см³ на 250–300 кг сплава. На практике также широко распространен способ продувки расплава аргоном. Для более полного удаления водорода при продувке аргоном, применяют специальные рассеивающие устройства. Полученные отливки, после использования данного способа рафинирования, отличаются малой пористостью и низкой склонностью к образованию микрорыхлоты. В отличие от продувки расплава аргоном, продувка расплава хлором сверх 3 % приводит к значительному огрублению зерна и снижению механических свойств отливок. Применение добавок кальция не способствует удалению водорода из расплава, однако при введении его в расплав до 0,1 % наблюдается снижение микрорыхлоты в отливках.

Механизм рафинирования магния и его сплавов от железа пока полностью не изучен и не может быть в полноте своей объяснен. Не выяснено, образуется ли твердый раствор Fe–Mg, химические соединения, не растворимые в магнии металле и его сплавах, или богатые церием и цирконием первичные кристаллы, для которых частицы железа выполняют роль зародышей. При приготовлении магниевых сплавов с цирконием, вводимым в расплав с помощью солей, необходимо учитывать возможность загрязнения расплава в результате химического взаимодействия сплава с солями по типу реакции замещения.

Для получения мелкозернистой структуры магниевых сплавов ряда систем [8, с. 268] их подвергают нагреву до высоких температур или вводят в их состав различного рода модификаторы, углеродсодержащие добавки, служащие центрами кристаллизации. Сплав после его рафинирования подвергают нагреву до 830–900 °С с последующей выдержкой при этих температурах 10–20 мин. Действие модифицирования пропадает при дальнейшей выдержке

сплава при низких температурах 680–720 °С. Повторный перегрев вновь приводит к измельчению микроструктуры зерна. Предполагается, что перегрев способствует образованию мелкодисперсных частиц в расплаве, которые, в свою очередь, являются центрами кристаллизации. Повышение температуры до 1000 °С и выше приводит к укрупнению зерна. Модифицирование расплава 0,2 % марганца при содержании 0,01–0,03 % железа в расплаве приводит к значительному измельчению зерна.

К недостаткам метода можно отнести: повышенный расход энергии на перегрев, снижение производительности печей, повышенная окисляемость сплава при высоких температурах, повышенный износ плавильных тиглей.

Измельчение зерна сплавов при модифицировании углеродсодержащими добавками можно достигнуть путем продувки расплава сухим углекислым газом или ацетиленом; введением в расплав карбидов, например, карбида алюминия, карбида кальция; введением графита, углекислых солей (мела, мрамора, магнезита). Наиболее распространенным является способ введения в расплав мела, магнезита и мрамора.

Модифицирование мелом или мрамором [10] осуществляется в измельчении компонентов на мелкую фракцию и введении в расплав 0,5–0,6 % от массы шихты. Способ введения в расплав, в пакете из тонкой бумаги с помощью колокольчиков в 2–3 приема в разогретый до 760–780 °С расплав. Колокольчик опускают в расплав примерно на половину высоты тигля. Модифицирование продолжается 5–8 мин до окончания бурления расплава. Время выдержки составляет от 15 до 40 мин. К недостаткам можно отнести насыщение сплава водородом за счет влаги, находящейся в меле и мраморе, которая приводит к микрорыхлоте в отливках. По сравнению с другими модификаторами, модифицирование магнезитом в ряду своей малой гигроскопичности возможно проводить при более низких температурах 730–740 °С в соотношении 0,3–0,4 % от массы сплава. Ввод в расплав осуществляется способом, описанным ранее. К основным недостаткам модифицирования магнезитом можно отнести вероятность загрязнения сплава окисью магния и примесями.

Сплавы, содержащие в своей основе цирконий, в отличие от сплавов без циркония, не требуют специальной обработки для измельчения структуры зерна. Эти сплавы приобретают мелкозернистую структуру при всех условиях, если только содержание циркония в сплаве более 0,5 % по массе металла.

В настоящее время существуют разные методы разливки сплавов. В литейных цехах по-прежнему распространены способы разливки (заливки) сплавов вручную и при помощи специальных устройств [5, с. 229], позволяющих разливать сплавы непосредственно из тигля, не прибегая к зачерпыванию сплава ручными ковшами. Разливочный инструмент предварительно прогревают в расплавленном карнальном флюсе до красного цвета. Перед зачерпыванием расплава в ковш покровный флюс, покрывающий поверхность расплава, отводят в сторону донной частью ковша и зачерпывают сплав. Затем дают стечь со стенок ковша остаткам флюса и сливают часть сплава с носика ковша (до 5 %) обратно в тигель, чтобы удалить флюс, оставшийся в носке. После этого транспортируют ковш к месту заливки. Не рекомендуется зачерпывать расплав с тигля более двух раз за один прием (двумя ковшами) во избежание зачерпывания флюса. Не рекомендуется вычер-

пывать весь расплав из тигля. Также не рекомендуется при малых интервалах времени между заливкой форм присыпать зеркало металла свежим флюсом во избежание попадания флюса в полость заливаемой формы. Открытые очаги горения лучше всего присыпать серой, так как она создает вокруг расплава защитную среду, вытесняя кислород. При литье магниевых сплавов всегда следует помнить о бурной реакции жидкого сплава с влагой. Ковш с металлом нельзя ставить непосредственно на пол, а только на асбестовые или прогретые металлические поддоны. Следует также помнить, что пленки плавленного флюса имеют большое поверхностное натяжение и при попадании в кокиль прилипают к форме настолько сильно, что кокильную краску придется очищать и заново перекрашивать. Процесс оседания флюса на дно тигля может оказать влияние на температурный режим сплава.

При разливе сплава из выемного тигля [11] его с готовым расплавом вынимают из печи и устанавливают в транспортировочное устройство. Появившиеся очаги горения на поверхности расплава, вызванные неплотностью флюсового покрова, присыпают серой. Не рекомендуется присыпать очаги горения флюсом, так как он не успевает осесть на дно тигля и с большой вероятностью попадет в полость формы.

Вывод. При изготовлении отливок из магниевых сплавов, в связи со значительной их склонностью к окислению, необходимо уделять большое внимание защите расплава от контакта с атмосферой. Существующие методы плавки позволяют выбрать оптимальный вариант при любом характере производства. Предпочтительными являются способы плавки, обеспечивающие минимальные переливы расплава с использованием специальных заливочно-дозировочных устройств.

Свойства отливок в значительной степени зависят от рафинирования и модифицирования расплава, режимы которых необходимо тщательно отработать в каждом конкретном случае.

Библиографический список

1. Арбузов Б. А. [и др.]. Цветное литье. Легкие сплавы / под ред. И. Ф. Колобнева. М.: Машиностроение, 1966. 391 с.

2. Трухов А. П., Маляров А. И. Литейные сплавы и плавка: учеб. для вузов. М.: Академия, 2004. 335 с.

3. Галдин Н. М., Чернега Д. Ф., Иванчук Д. Ф. [и др.]. Цветное литье: справ. М.: Машиностроение, 1989. 527 с.

4. Альтман М. Б., Лебедев А. А., Чухров М. В. Плавка и литье легких сплавов. 2-е изд., перераб. и доп. М.: Металлургия, 1969. 680 с.

5. Бундин А. Т. Литье легких сплавов в кокили. М.: Оборонгиз, 1949. 344 с.

6. Цыганов В. А. Плавка цветных металлов в индукционных печах. М.: Металлургия, 1974. 247 с.

7. Сахаревич А. Н. Индукционные тигельные печи. Конструктивные отличия, эксплуатация // Литье и металлургия. 2012. № 3. С. 242–245.

8. Курдюмов А. В., Пикунов М. В., Чурсин В. М. Литейное производство цветных и редких металлов: учеб. пособие. М.: Металлургия, 1982. 352 с.

9. Трофимов Н. В., Леонова А. А., Дуюнова В. А., Уридия З. П. Литейные магниевые сплавы (обзор) // Труды ВИАМ. 2016. № 12 (48). URL: http://viam-works.ru/ru/articles?art_id=1038 (дата обращения: 19.12.2016).

10. Шаломеев В. А. Улучшение макро- и микроструктуры авиационного литья из магниевых сплавов // Вестник двигателестроения. 2013. № 1. С. 127–132.

11. Передельский К. В. Литье цветных сплавов в металлические формы. М.: Машгиз, 1951. 243 с.

ЯНУШЕВСКИЙ Александр Сергеевич, магистрант гр. Мм-153 факультета элитного образования и магистратуры Омского государственного технического университета (ОмГТУ); инженер-технолог филиала «Омское моторостроительное объединение имени П. И. Баранова» АО «НПЦ газотурбостроения «Салют», г. Москва.

КОРШУНОВ Виктор Владимирович, кандидат технических наук, доцент (Россия), доцент секции «Машины и технология литейного производства» кафедры «Машиностроение и материаловедение» ОмГТУ.

Адрес для переписки: victorvala@rambler.ru

Статья поступила в редакцию 21.12.2016 г.

© А. С. Янушевский, В. В. Коршунов

Книжная полка

Процессы и операции формообразования : лаб. практикум / А. Ю. Попов [и др.]. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2016. – 175 с.

Практикум содержит лабораторные работы по дисциплине «Процессы и операции формообразования», «Резание материалов», «Режущий инструмент». Предназначен для студентов всех форм подготовки, обучающихся по специальностям 15.03.05 и 15.04.05 «Конструкторско-технологическое обеспечение».

Карагузов, В. И. Низкотемпературные машины : учеб. текстовое электрон. изд. локального распространения : учеб. пособие / В. И. Карагузов. – Омск : Изд-во ОмГТУ, 2016. – 1 о=эл. опт. диск (CD-ROM).

Излагаются принципы действия, особенности конструирования и эксплуатации, назначение, области применения традиционных и перспективных низкотемпературных машин. Приведены основные термодинамические законы, основы расчета процессов в низкотемпературных машинах, рассмотрены схемы и конструкции как машин в целом, так и отдельных узлов. Описаны пути повышения эффективности, ресурса, улучшения массогабаритных характеристик, методы регулирования холодопроизводительности, методы получения низких температур как широко распространенных, так и перспективных. Предназначено для студентов, обучающихся по специальности «Холодильная техника и технология», а также аспирантов и специалистов в области криогенной и холодильной техники.