

2. It was established that the developed method of structure smoothing provides increase of strength and service life of biocompatible aluminium oxide coating.
 3. It was proved that hydroxyapatite powder TMP results in levelling the porous structure and forming a stable crystalline texture of plasma sprayed coating which facilitates its functional characteristics.
- The reported study was funded by RFBR, research project No. 12-08-31217 mol_a.

References

1. Biocompatible materials: textbook / under ed. V.I. Sevastyanov, M. P. Kirpichnikov. - Moscow: MIA, 2011 – 560p.
2. Paraskevich V.L. Dental implantology (2nd edition) / V.L. Paraskevich. - M.: MIA, 2006. - 399 p.
3. Hench L.L. Bioceramics: From concept to clinic. Journal of American Ceramic Society, Vol.74, №7, 1991, pp. 1487-1510
4. Staniewicz–Brudnik B., Malgorzata L. Biocompatible Ceramic – Glass Composite – Manufacturing and Selected Physical – Mechanical Properties, Sintering of Ceramics - New Emerging Techniques / under ed. Dr. A.Lakshmanan. 2012 – InTech: <http://www.intechopen.com>
5. Muralithran G., Ramesh S. The effects of sintering temperature on the properties of hydroxyapatite // Ceramics Int. 2000. – V.26. – P. 221-230
6. Barinov S.M. Bioceramics on the basis of calcium phosphates / S.M. Barinov, V.S. Komlev; [under ed. K.A. Solntsev]; Institute of physico-chemical problems of ceramic materials. - M.: Science, 2005. – 204p.
7. Belov S.V. Porous materials in mechanical engineering / Moscow: Mechanical Engineering, 1981. – 247p.
8. Melnikova I.P., Lyasnikova A.V., Lyasnikov V.N. Investigation of a possibility of functional characteristics improvement of medical implants biocompatible coating by means of powder particle morphology changing before electroplasma spraying / I.P. Melnikova, A.V. Lyasnikova, V.N. Lyasnikov // Saratov State Technical University Newsletter. - 2010. - № 3 (46). - Pp. 68-76.
9. Liasnikova A.V. Dental implants. Research, development, production, clinical usage / A.V. Lyasnikova, A.V. Lepilin, N.V. Bekrenev, D.S. Dmitriyenko. - Saratov: Saratov State Technical University, 2006. - 254 p.
10. Mechanical patent №1634044 / I.P. Melnikova, D.A. Usanov // Method of metal porous cathode fabrication. - 1990.
11. Mechanical patent №2443434 / I.P. Melnikova, A.V. Lyasnikova, V.N. Liasnikov // Method of endosteal implant fabrication. - 2012.
12. Mechanical patent №2003193 / I.P. Melnikova, I.P. Vorojekin, S.Y. Bugrova, D.A. Usanov // Method of cathode node electrovacuum device fabrication. - 1992.
13. Lyasnikova A.V. Study of Structure of Bioceramic Coatings Obtained by Plasma Spraying of Hydroxyapatites of Synthetic and Biological Origins / V.N. Lyasnikov, A.V. Lyasnikova, A.V. Pivovarov, I.N. Antonov, V.A. Papshev // Biomedical Engineering. - 2011. -Vol. 45. - № 4 - Pp. 119-127.

В статті описані дослідження структури та властивостей термозміцненого арматурного прокату марки СтЗГпс у потоці безперервних прокатних станів з використанням способу переривистого гартування. Проведений аналіз зміни мікротвердості по перетину арматурних стрижнів зі сталі СтЗГпс по різних режимах термозміцнення

Ключові слова: структура, термозміцнений арматурний прокат, переривисте гартування, мікротвердість

В статье описано исследование структуры и свойств термоупрочненного арматурного проката из стали СтЗГпс в потоке непрерывных прокатных станов с использованием способа прерывистой закалки. Проведен анализ изменения микротвердости по сечению арматурных стержней из стали СтЗГпс по различным режимам термоупрочнения

Ключевые слова: структура, термоупрочненный арматурный прокат, прерывистая закалка, микротвердость

УДК 669.268

СТРУКТУРА И СВОЙСТВА ТЕРМОУПРОЧНЕННОГО АРМАТУРНОГО ПРОКАТА ИЗ СТАЛИ СТЗГПС

Д. Ю. Ключев

Кандидат технических наук
Кафедра металлургических технологий*

С. Б. Комлев

Заместитель начальника цеха по технологии
СПЦ №2 ПАО «Арселор Миттал Кривой Рог»
ул. Орджоникидзе, 1, г. Кривой Рог, Украина, 50095

С. О. Мацишин

Аспирант
Кафедра обработки металлов давлением и
металлургического оборудования*

E-mail: sergej.macyshin@inbox.ru

*Криворожский национальный университет
ул. 22-ого Партсъезда, 11,
г. Кривой Рог, Украина, 50027

1. Введение

Повышение качества продукции является одной из основных задач металлургического производства, последовательное решение которых способно обеспечить продукцию необходимую конкурентоспособность.

Решение указанных задач заключается в разработке и освоении новых технологий термоупрочнения проката, что в свою очередь дает возможность управлять процессом формирования физико-механических и потребительских свойств продукции металлургического производства.

2. Анализ литературных данных и постановка проблемы

Анализ современной литературы показывает, что существует много информации касающейся термического упрочнения проката [1-9]. Однако, что касается формирования структуры и свойств арматурной стали термоупрочненной с использованием метода прерывистой закалки, то такая информация в современной литературе практически отсутствует.

3. Цель и задачи исследования

Целью работы является исследование структуры и свойств арматурного проката, термоупрочненного в потоке непрерывных прокатных станов с использованием способа прерывистой закалки и возможности использования термоупрочнения для усовершенствования технологии получения арматурного проката с заданным распределением микроструктуры по его сечению.

4. Экспериментальные данные и их обработка

Исследования закономерностей формирования структуры арматурного проката, термоупрочненного в потоке непрерывного стана проводили на арматурной стали марки СтЗГпс. Режимы термического упрочнения арматуры из стали СтЗГпс приведены в таблице 1.

Структуру исследуемых образцов выявляли травлением в 4% - ном спиртовом растворе азотной кислоты. Структуру изучали с помощью микроскопа «NEOPHOT-21».

Механические испытания проводили на машине INSTRON TT-DM-L в соответствии с ГОСТ 1497-84.

Таблица 1

Режимы термического упрочнения арматуры диаметром 12 мм

№ плавки	Режимы упрочнения	Давление воды по секциям, МПа		
		1	2	3
СтЗГпс	1	1,5	2,0	2,0
	2	2,0	1,0	1,5
	3	1,5	1,0	1,5

Результаты опытов, после применения режимов 1 – 3 приведены в табл. 2. Из представленных данных видно, что при незначительном изменении режимов термоупрочнения возможно получить ряд проб термически упрочненной арматуры со значениями предела прочности в диапазоне от 480 Н/мм² до 630 Н/мм². Соответственно этому также изменялось и структурное состояние стержней.

Таблица 2

Механические свойства упрочненной арматуры

№ плавки	Режим	Механические свойства		
		σ_B , Н/мм ²	$\sigma_{0,2}$, Н/мм ²	δ_5 , %
СтЗГпс	1	630	530	28
	2	590	495	29
	3	570	490	30

На образцах стали СтЗГпс полученных после применения режимов 1 – 3 измеряли микротвердость от поверхности к центру арматурного стержня. Зависимости изменения микротвердости по сечению арматурного стержня представлены на рис. 1 – 3.

Анализируя полученные данные микротвердости образцов (рис. 1 – 3) видно, что при более высокой интенсивности охлаждения режима 1 формируется слой с повышенной твердостью на ~0.5 мм большей, чем после режимов 2 и 3. Тогда как твердость на поверхности образца после применения режима 1 либо меньше, либо равна твердости образцов 2 и 3 соответственно.

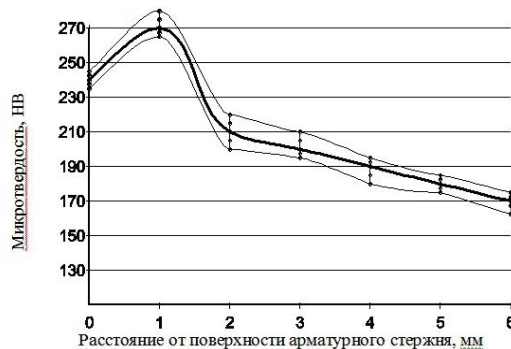


Рис. 1. Изменение микротвердости по сечению арматурного стержня стали СтЗГпс режим 1

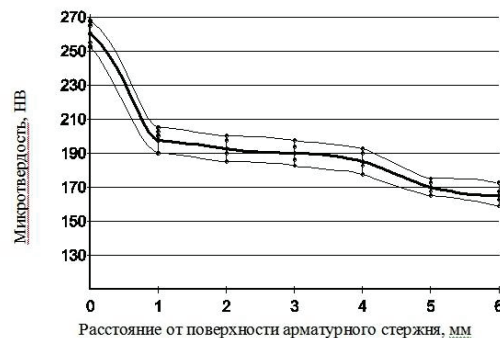


Рис. 2. Изменение микротвердости по сечению арматурного стержня стали СтЗГпс режим 2

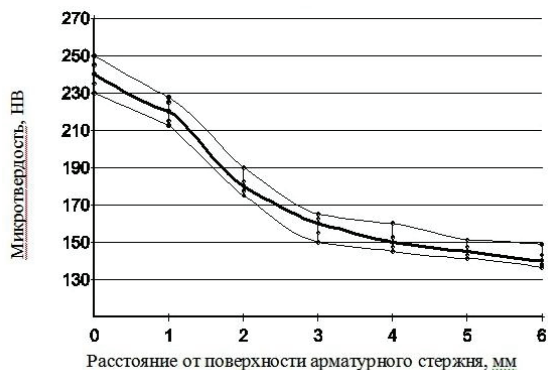


Рис. 3. Изменение микротвердости по сечению арматурного стержня стали Ст3Гпс режим 3

Дополнительные сведения о формировании структуры мартенситного слоя, прилегающего непосредственно к поверхности, настоящие исследования практически не выявили. Появившись сплошным слоем по всей поверхности при такой длительности охлаждения, которая обеспечивала арматуре примерно $\sigma_b=510 \text{ Н/мм}^2$, слой мартенсита в дальнейшем монотонно увеличивался.

Как ранее было известно [10], формирование мартенситного слоя у поверхности арматурного стержня происходит вследствие того, что скорость охлаждения здесь является сверхкритической. Однако при стабильных условиях термического упрочнения по мере удаления от поверхности, скорость охлаждения постепенно уменьшается. Когда она станет меньше критической, прежде чем произойдет мартенситное превращение, некоторая часть аустенита испытает промежуточное превращение. В соответствии с ТКД (рис. 4) стали марки Ст3, это произойдет при скоростях меньших $370 \text{ }^\circ\text{C/с}$. Как подтверждают расчеты, при термическом упрочнении в потоке стана стержневой арматуры диаметром 12 мм, скорости охлаждения становятся меньше указанной величины при удалении от поверхности более чем на $\sim 2,0 \text{ мм}$. Поэтому, начиная с этих удалений, структура стержней, формирующаяся непосредственно в период интенсивного охлаждения, будет уже не мартенситной, а бейнито-мартенситной хотя и с преобладанием последней составляющей.

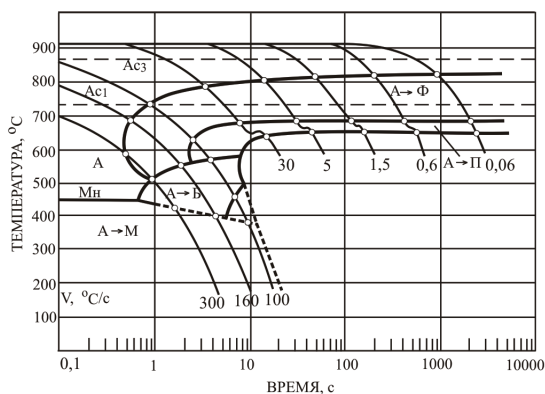


Рис. 4. Термокинетическая диаграмма распада аустенита (зависимость температуры охлаждения от времени) для стали с содержанием 0,20 % С, 0,68 % Мп и 0,08 % Si

Таким образом, прилегающий к поверхности объем, в котором структура формируется непосредственно в период охлаждения, является объемом, превращения в котором полностью описываются обобщаемыми в виде ТКД данными, исследований формирования структуры стали при непрерывном охлаждении. Как предполагалось, во всех точках «центрального» объема, структура формируется по единой кинетике на этапе окончательного замедленного охлаждения на воздухе после завершения интенсивного охлаждения и выравнивания температуры по сечению стержня. Однако полученные результаты исследований, показали, что кинетика фазовых превращений не является единой по всему «центральному» объему. Как было установлено, в составе объема арматурного стержня, в котором структура формируется после прекращения интенсивного охлаждения, следует отличать околоосевой объем, находящийся от оси стержня к поверхности на $0,67 - 0,70$ длины радиуса, и объем, заключающийся между околоосевым объемом и слоем мартенсита, сформировавшемся в период интенсивного охлаждения.

В околоосевом объеме при распаде аустенита, собственно и имеют место условия охлаждения, содержащие элементы и непрерывного охлаждения, и изотермического распада. При этом структура, по мере увеличения степени упрочнения, последовательно изменяется от феррито-перлитной (рис. 5а) до феррито-перлитно-бейнитной (рис. 5б), феррито-бейнито-мартенситной (рис. 5в) и бейнито-мартенситной (рис. 5г).

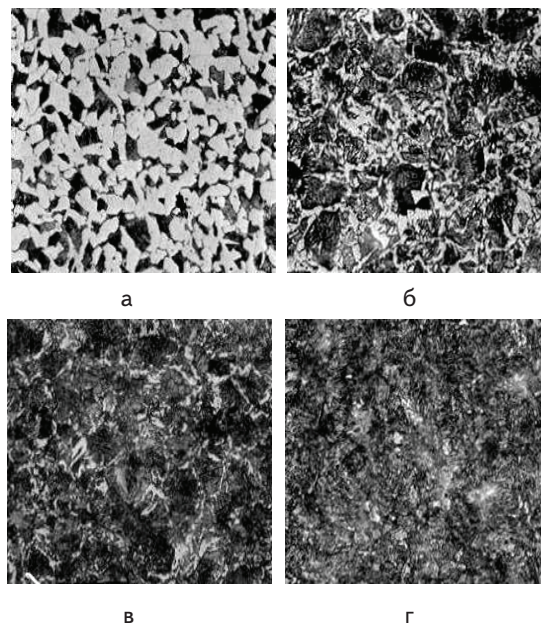


Рис. 5. Микроструктура арматурной стали марки Ст3Гпс диаметром 12 мм в околоосевом объеме в зависимости от степени упрочнения: а - $\sigma_b=650 \text{ Н/мм}^2$; б - $\sigma_b=730 \text{ Н/мм}^2$; в - $\sigma_b=790 \text{ Н/мм}^2$; г - $\sigma_b=950 \text{ Н/мм}^2$; ($\times 500$)

По сечению околоосевого объема, как правило, наблюдается неоднородность микроструктуры. Неоднородность структуры по сечению околоосевого объема становилась видимой и при визуальном исследовании макроструктуры (рис. 6). При этом в пределах распространения околоосевого объема наблюдалось плавное изменение протравливаемости.

Наблюдаемая неоднородность структурного состояния по сечению околоосевого объема, является свидетельством того, что в пределах этого сечения при формировании окончательной структуры имеет место неоднородность условий охлаждения.

В объеме, промежуточном между структурой заковки у поверхности и околоосевым объемом, в зависимости от степени упрочнения наблюдается точно такая же, как и в околоосевом объеме последовательность изменения структурного состояния от феррито-перлитного и до бейнитно-мартенситного. Однако в этом объеме переход от структурного состояния, наблюдающегося для небольших уровней упрочнения к состояниям, приобретаемым при более высоком упрочнении, происходит на более ранних этапах этого упрочнения, чем в околоосевом объеме.

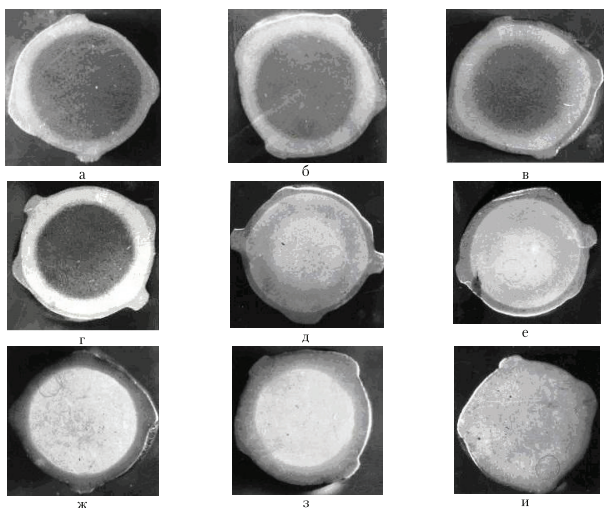


Рис. 6. Макроструктура по сечению арматурной стали марки СтЗГпс диаметром 12 мм в зависимости от уровня упрочнения: а - $\sigma_b=640$ Н/мм²; б - $\sigma_b=655$ Н/мм²; в - $\sigma_b=675$ Н/мм²; г - $\sigma_b=690$ Н/мм²; д - $\sigma_b=730$ Н/мм²; е - $\sigma_b=790$ Н/мм²; ж - $\sigma_b=910$ Н/мм²; з - $\sigma_b=1130$ Н/мм²; и - $\sigma_b=1320$ Н/мм²; ($\times 5$).

Было установлено, что интервал феррито-перлитных структур, формирующихся в промежуточном объеме в соответствии с морфологическими особенностями этих структур, достаточно четко подразделяется на два подинтервала. В первом из них, при уровнях упрочнения, близких к значениям горячекатаного состояния, структуры феррито-перлитной смеси морфологически не отличимы от тех, которые образуются в арматурных стержнях после горячей прокатки и полностью аналогичны тем, что наблюдаются в подобном интервале околоосевого объема. Кристаллы феррита здесь имеют полиэдрическую форму и тяготеют к границам аустенитных зерен, хотя это и не всегда просматривается из-за больших размеров ферритных зерен (рис. 7 а). Перлитные участки компактные, с пластинчатым строением. Однако в большинстве случаев из-за высокой дисперсности строение колоний не разрешается.

В отличие от первого, во втором подинтервале по границам аустенитных зерен перлит располагается полосами. Строение этого перлита представляется более грубым, чем перлита из колоний первого подинтервала

(рис. 7 б). В пределах бывших аустенитных зерен во втором подинтервале располагается смесь ферритных зерен и колоний перлита, практически не отличающаяся от ее строения в первом подинтервале.

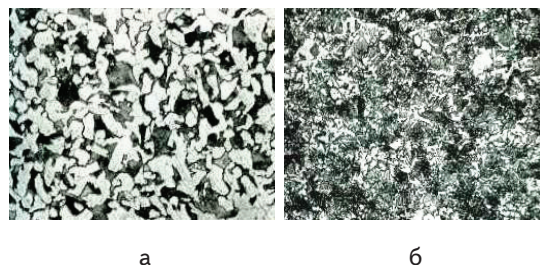


Рис. 7. Микроструктура арматурного стержня диаметром 12 мм, упрочненного до $\sigma_b=670$ Н/мм²: а – удаление от поверхности 6,0 мм; б – удаление от поверхности 1,2 мм. $\times 500$

Появление после термического упрочнения в теле одного стержня, у которого в горячекатаном состоянии характеристики структуры по сечению фактически не изменяются, двух объемов с настолько отличающимся структурным состоянием, что между ними при металлографических исследованиях практически всегда можно выявить границу, являлось свидетельством того, что в одном из объемов в сопоставлении с другим имеет место изменение условий охлаждения. С другой стороны, положение границы между промежуточным и околоосевым объемами, всегда оставалось нечувствительным к параметрам режимов термического упрочнения и определялось лишь геометрической формой стержня. Это свидетельствовало о том, что существование в теле одного стержня двух смежных объемов с различающимися условиями охлаждения, является следствием характерной особенности самого применяемого способа упрочнения, а именно – прерванной заковки.

В цилиндрическом стержне на удалении 0,293 радиуса от поверхности стержня находится условная поверхность, разделяющая стержень симметрично его оси на два равновеликих объема. При циклическом охлаждении цилиндрического стержня внутренняя условная граница объемов становится также границей раздела объемов, в одном из которых (околоосевом) в течение всего процесса циклического охлаждения имеет место лишь понижение температуры (хотя и с изменяющимся темпом охлаждения), а в другом – прилегающем к поверхности – дополнительный цикл понижения и повышения температуры.

Реальный арматурный стержень имеет некоторую овальность, на его поверхности имеются выступающие продольные и поперечные ребра. Поэтому условная поверхность разделения арматурного стержня на равновеликие объемы не может находиться на строго постоянном удалении от поверхности, тем более, оставаться такой же, как для цилиндрического стержня. Поэтому можно принять, что в арматурном стержне условная поверхность раздела равновеликих объемов, или для нашего случая, граница раздела объемов с отличающимися условиями охлаждения, находится на удалении от поверхности примерно в 0,30 – 0,33 величины номинального радиуса стержня.

5. Выводы

Таким образом, результаты выполненных исследований по термическому упрочнению в потоке прокатки с применением различных режимов охлаждения свидетельствуют о том, что термический цикл понижения и повышения температуры, имеющий место

при применении для упрочнения способа прерванной закалки, изменяет устойчивость аустенита. При этом влияние циклических изменений температуры распространяется в упрочняемом арматурном прокате на глубину равную примерно одной третьей номинального радиуса стержня.

Литература

1. Высокопрочные арматурные стали. [Текст] / А.П. Гуляев, А.С. Астафьев, М.А. Волкова и др. – М.: Металлургия, 1966. - 138 с.
2. Термическое упрочнение проката. [Текст] / К.Ф. Стародубов, И.Г. Узлов, В.Я. Савенков и др. – М.: Металлургия, 1970. - 368 с.
3. Савенков, В. Я. Технологические основы и оборудование для термического упрочнения непрерывнодвижущегося мелко-сортового профиля [Текст] / В.Я. Савенков // Упрочняющая термическая и термомеханическая обработка проката. - Вып. 1, Киев. - 1968. - С.7-14.
4. Стародубов, К.Ф. Влияние скорости охлаждения на свойства термически упрочненной арматурной стали [Текст] / К.Ф. Стародубов, В.Я. Савенков, В.И. Спиваков // Термическая обработка проката. - Вып. 36. - М.: Металлургия. – 1970. - С. 9-14.
5. Гуль Ю.П. Влияние способа термического упрочнения на низкотемпературную прочность стержневой арматурной стали [Текст] / Ю.П. Гуль, А.С. Гулевский, А.П. Ярмоленко // Металлургическая и горнорудная промышленность. – 1973. – Вып. 5. - С. 31-32.
6. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка стали [Текст]/ М.Л.Бернштейн, В.А. Займовский, Л.М. Капуткина. – М.: Металлургия, 1983. - 480 с.
7. Бернштейн М.Л. Термомеханическая обработка металлов и сплавов [Текст] / М.Л.Бернштейн. – М.: Металлургия, 1968. - 1171 с.
8. Heat Treatment – Conventional and Novel Applications [Текст], Edited by Frank Czerwinski. – Croatia: InTech, 2012. - 408 p. - ISBN: 9535107682 9789535107682
9. Thermo-Mechanical Processing of Metallic Materials [Текст]: В. Verlinden, J. Driver, I. Samajdar, R.D. Doherty. - Amsterdam: Elsevier, 2007. - 528 p. - ISBN: 978-0-08-044497-0
10. Ключев, Д. Ю. Формування структури та властивостей термозміцненого арматурного прокату в потоці дрібносортового стану [Текст] / Д.Ю. Ключев, С.Б. Комлев, С.О. Мацишин// Восточно-европейский журнал передовых технологий. – 2013.-Т.1, №5 (61). – С. 45-48.

Робота проводилася з метою усунення браку по пригару, газовій пористості, а також для поліпшення якості поверхні відливань з алюмінієвих сплавів, що отримуються литвом в заморожені форми під низьким тиском. Розглянута технологія отримання відливань в заморожених формах під низьким тиском. Представлені результати досліджень складу протипригарних покриттів на якість поверхні. Проаналізований вплив застосування протипригарних покриттів на якість поверхні відливань

Ключові слова: заморожена форма, низький тиск, протипригарні покриття, пригар

Робота проводилась с целью устранения брака по пригару, газовой пористости, а также для улучшения качества поверхности отливок из алюминиевых сплавов, получаемых литьем в замороженные формы под низким давлением. Рассмотрена технология получения отливок в замороженных формах под низким давлением. Представлены результаты исследований состава протипригарных покрытий на качество поверхности. Проанализировано влияние применения протипригарных покрытий на качество поверхности отливок

Ключевые слова: замороженная форма, низкое давление, протипригарные покрытия, пригар

УДК 621.74.049:621.744.5:658

ПОЛУЧЕНИЕ ОТЛИВОК В ЗАМОРОЖЕННЫХ ФОРМАХ ПОД НИЗКИМ ДАВЛЕНИЕМ

Н. И. Замятин

Старший преподаватель*

Т. В. Лысенко

Доктор технических наук, профессор*

К. А. Крейцер*

E-mail: dakerkir@gmail.com

А. А. Бондарь

Кандидат технических наук, доцент*

E-mail: andrey-bondar@rambler.ru

*Кафедра технологии

управления литейными процессами

Одесский национальный

политехнический университет

пр. Шевченко, 1а, г. Одесса, Украина, 65044