

Возможные принципы удаления неметаллических включений в промковше путем продувки аргоном можно классифицировать следующим образом: вдуваемый газ изменяет направление потока металла в промковше и направляет неметаллические включения к слою шлака; увеличение турбулентности способствует коагуляции неметаллических частиц; неметаллические включения адсорбируются пузырьками аргона.

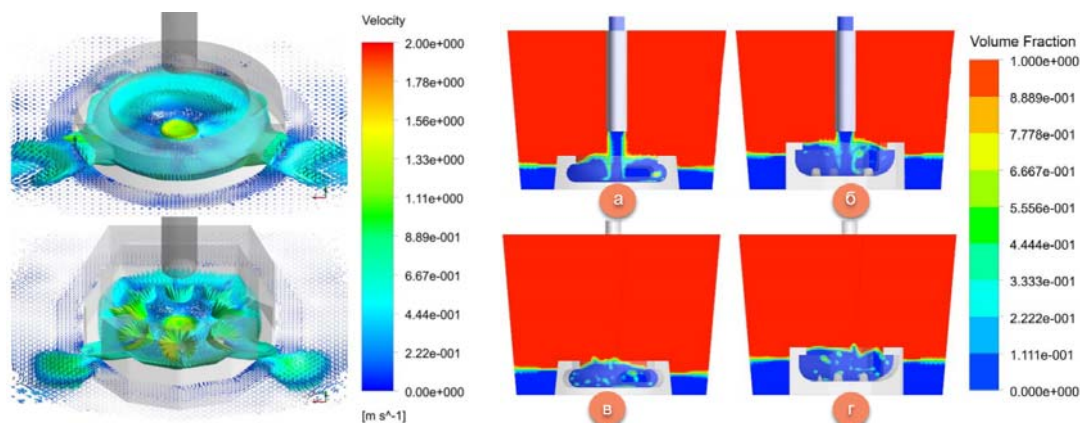


Рис. 3. Моделирование конструкции гасителя турбулентности с измененными характеристиками

Математическое моделирование с помощью компьютера (рис. 3) позволяет получить общую картину всего течения жидкости в объеме и графически визуализировать поля скоростей, давлений или температур во всей области течения. В то время как при физическом моделировании измерительные датчики располагаются в нескольких точках, где предполагается развитие исследуемых явлений.

#### Литература

1. Емельянов, В. А. Тепловая работа машин непрерывного литья заготовок : учеб. пособие для вузов / В. А. Емельянов. – М. : Metallurgy, 1988. – 143 с.
2. Flow and temperature fields in slab continuous casting molds / Zhang Yin [et al.] / J. Univ. Sci. And Technol. Beijing. – 2000. – Vol. 7, № 2. – С. 103–106.
3. Хорбах, У. Литье сортовых заготовок с высокой скоростью через кристаллизатор параболического профиля / У. Хорбах, Й. Коккентидт, В. Юнг // МРТ. – 1999. – С. 42–51.

## ВЕЛИЧИНА ПРОГНОЗНОЙ ОТНОСИТЕЛЬНОЙ ОБРЫВНОСТИ МЕТАЛЛОКОРДА ПРИ СВИВКЕ

В. А. Петрусевич

Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь

Научный руководитель Ю. Л. Бобарикин

Металлокорд используется как армирующий элемент в конструкции автомобильной шины. Основные технологические этапы производства металлокорда: сталеплавильное производство непрерывно литой заготовки, прокатное производство катанки из непрерывно литой заготовки, волочильное производство тонкой стальной латунированной проволоки из катанки, свивка металлокорда из тонкой проволоки. Тонкое латунное покрытие (3–5 мкм) на стальной проволоке обеспечивает рост адгезии резины к металлокорду в шине. Свивка металлокорда заключается в непрерыв-

ном плетении на канатной машине нескольких тонких стальных проволок диаметром 0,15–0,75 мм из высокоуглеродистой стали 70–93. Прочность проволоки находится в пределах 3000–4000 Па. Вследствие высокой прочности и, соответственно, низкой пластичности часто возникают обрывы проволок непосредственно в процессе их свивки в металлокорд на канатной машине. Обрыв хотя бы одной проволоки при свивке приводит к остановке процесса свивки, к сварке места разрыва и к новому запуску процесса свивки на канатной машине. Частота обрывов на производстве оценивается относительной обрывностью, которая измеряется в количестве обрывов на одну тонну металлокордной продукции, обр/т. Чем ниже величина относительной обрывности, тем эффективнее производство. Максимальная величина относительной обрывности соответствует условию, при превышении которой производство уже не эффективно и должно быть остановлено.

Анализ причин разрушения на производстве показал, что основная причина разрушения проволоки при свивке связана с дефектообразованием в стали, связанном с пластической деформацией проволоки: осевые трещины, сужение, расслой, поверхностные дефекты как концентраторы зарождения трещин.

Для снижения обрывности необходимо определены основные параметры свивки, оказывающие влияние на обрывность и их количественное влияние относительной обрывности металлокорда.

Разработана зависимость для расчета величины или численного критерия относительной обрывности металлокорда, позволяющей прогнозировать величину относительной обрывности перед началом производства или снижать эту величину в действующем производстве металлокорда:

$$B = \frac{E\varepsilon_{св}}{\sigma_{в}\delta} \cdot \frac{K_{констр}K_C K_V}{K_N}, \text{ обр/т,}$$

где  $E$  – модуль упругости Юнга тонкой проволоки, Па;  $\varepsilon_{св}$  – максимальная эквивалентная деформация проволоки в процессе свивки, %;  $\sigma_{в}$  – предел прочности при растяжении тонкой проволоки, Па;  $\delta$  – относительное удлинение тонкой проволоки при растяжении, %;  $K_{констр}$  – коэффициент, учитывающий конструкцию металлокорда;  $K_C$  – коэффициент, учитывающий влияние содержания углерода в стали проволоки на обрывность м/корда при свивке;  $K_V$  – коэффициент, характеризующий влияние скорости тонкого волочения на обрывность проволоки при свивке в металлокорд;  $K_N$  – коэффициент, учитывающий программу выпуска металлокорда.

Для проверки адекватности зависимости выполнена сверка фактических и расчетных значений относительной обрывности:

1. Период наработки металлокорда 2+2x0,30SHT: 07.03.2019–12.03.2019. Средние значения механических свойств тонкой проволоки, полученные из 20 результатов испытаний на разрыв тонкой проволоки в течение периода изготовления м/корда:  $E = 193653$  МПа,  $\sigma_{в} = 3345$  МПа,  $\delta = 2,64$  %, объем выпуска  $N = 44,564$  т, сталь 80. Фактическое значение относительной обрывности 7,1 обр/т, расчетное значение 8 обр/т.

2. Период наработки металлокорда 2x0,30HT: 01.06.2019–5.06.2019. Средние значения механических свойств тонкой проволоки, полученные из 20 результатов испытаний на разрыв тонкой проволоки в течении периода изготовления м/корда:  $E = 191628$  МПа,  $\sigma_{в} = 3177$  МПа,  $\delta = 2,54$  %, объем выпуска  $N = 102,365$  т, сталь 80.

Фактическое значение относительной обрывности 10,1 обр/т, расчетное значение 11,7 обр/т.

3. Период наработки металлокорда 2x0,30UT: 31.01.2018–30.03.2018. Средние значения механических свойств тонкой проволоки, полученные из 20 результатов испытаний на разрыв тонкой проволоки в течение периода изготовления м/корда:  $E = 184742$  МПа,  $\sigma_b = 3628$  МПа,  $\delta = 2,55$  %, объем выпуска  $N = 22,096$  т, скорость тонкого волочения 5 м/с,  $\varepsilon_{св} = 2,19$ , сталь 80. Фактическое значение относительной обрывности 24,75 обр/т, расчетное значение 23,87 обр/т.

Сравнительная характеристика расчетных и фактических величин относительной обрывности показывает на достаточную адекватность полученной зависимости, позволяющую ее использовать в производственных условиях.

### OPTIMIZATION OF THE QUALITY OF LARGE STEEL CASTINGS BASED ON COMPLEX NUMERICAL MODELING OF CASTING TECHNOLOGICAL PROCESSES

Атниша Махмуд Омар Ахмед

*Учреждение образования «Гомельский государственный технический университет имени П. О. Сухого», Республика Беларусь*

Научные руководители: И. Б. Одарченко, В. А. Жаранов

This work summarizes the findings of multi-objective optimization of a gravity sand-cast steel part for which an increase of casting yield via riser optimization was considered. This was accomplished by coupling a casting simulation software package with an optimization module [1]–[3]. The benefits of this approach, recently adopted in the foundry industry worldwide and based on fully automated computer optimization, were demonstrated. First, analyses of filling and solidification of the original casting design were conducted in the standard simulation environment to determine potential flaws and inadequacies. Based on the initial assessment, the gating system was redesigned and the chills rearranged to improve the solidification pattern. After these two cases were evaluated, the adequate optimization targets and constraints were defined. One multi-objective optimization case with conflicting objectives was considered in which minimization of the riser volume together with minimization of shrinkage porosity and limitation of centerline porosity were performed.

Metalcasting process simulation is used to provide detailed information about mold filling, solidification and solid state cooling, as well as, information about the local microstructure, non-uniform distribution of mechanical properties and subsequently residual stress and distortion build-up. Casting simulation tries to use physically realistic models without overtaxing the computer. At the same time the simulations need to give applicable results in the shortest time possible. Unfortunately, numerical simulations can only test one “state”, while conclusions from calculations or subsequent optimization still require an engineer’s interpretation and decision after each of the simulation runs. Understanding the process enables a foundry engineer to make decisions that can affect both the part and the rigging to improve the final quality.

The objectives which drive designers are generally well defined: improve the component quality, achieve homogeneous mechanical characteristics, maximize the casting yield, increase the production rates, etc. It may sound easy, but the truth is that in reality it is very complex and time consuming to achieve all these objectives at the same time, due to the high number of variables involved. In many foundries, the only applied