

ӘОЖ 621.756.03
СЮНДИНОВ М.М.

Металл балқымасын сүзгілеп тазарту үрдісінің гидравликалық көрсеткіштері

Ғылыми әдістемелік тұрғысынан қарағанда араласқан бөтен түйіршіктері бар сұйықты сүзгілеп тазарту үрдісін сипаттайтын көрсеткіштердің ішінде оның гидравликалық жағын бөліп жеке қарастырудың маңызы ерекше. Сүзгілеу үрдісінің негізінде кеуекті дененің ішімен сүзіліп ағу (филтрация) үрдісі жатқаны белгілі. Құйма бөлшектер жасау өндірісінде құю жүйесінің арнасына орнатылатын сүзгі сұйық металл ағынын тежеу арқылы құю режимін бұзу қауіпін тудырып, іске жарамды құйма алудың өзін екіталай мәселеге айналдырады. Осыдан сүзгілеу үрдісінің жылдамдығы \mathcal{G}_C өзінің маңыздылығы бойынша бірінші орынға шығып отырған көрсеткіш екенін көреміз.

Сүзгілеу жылдамдығы екі түрлі әрекетімен маңызды болады. Біріншіден, сүзгілеу жылдамдығының сүзгінің металл емес кірінділерді ұстау үрдісіне тигізер әсері бар. Бұл мәселені тереңдей қарастырғанда зерттеушілер екі түрлі пікірге ойысады. Біреулері сүзгілеу жылдамдығы төмен болса кірінділердің тұтылу үрдісі жақсара түседі десе, екіншілері оған кері ұстанымды байқатады. Дегенмен бірінші топтағылардың саны көбірек. Екіншіден, сүзгілеу жылдамдығы металды құю жылдамдығына тікелей ықпал ететінін білеміз. Ал, құю жылдамдығы болса артық-кемі жоқ белгілі бір онғайлы шамада болуы керек екені мәлім.

Drexel университетінің (Филадельфия, АҚШ) ғалымдары [1] сүзгілеу жылдамдығы мен кірінділерден

тазарту тиімділігі арасындағы байланысты келесідей математикалық өрнек түрінде береді:

$$\eta = 1 - \exp\left[-\frac{Ko}{\mathcal{G}_C} L\right],$$

мұнда η – тазарту тиімділігінің коэффициенті;

Ko – кинетикалық көрсеткіш коэффициенті;

\mathcal{G}_C – сүзгілеу жылдамдығы;

L – сүзгі қалыңдығы.

Бұл өрнектен сүзгілеу жылдамдығы өскен сайын тазарту тиімділігі төмендей беретінін көреміз. Тәжірибелік зерттеулерде [1] $\mathcal{G}_C < 0,05$ шамасында ұстағанда η мәні 1-ге ұмтылатыны, ал сүзгілеу жылдамдығы өсе келе 0,7 см/с жеткенде сүзгінің кірінділерден тазарту тиімділігі екі еседей төмендеп кететіні ($\eta=0,5...0,6$) анықталған. Басқа тәжірибеде [2] \mathcal{G}_C мәні 0,2 см/с-тен 0,5 см/с-ке дейін өзгергенде η мәні 45%-дан 20%-ға төмендегені тіркелген. Сонымен қатар Ko коэффициентіне көңіл аударған жөн. Себебі ол да өз кезегінде сүзгілеу жылдамдығына тәуелді екен. \mathcal{G}_C өскен сайын Ko де онымен бірге өсетіні көрсетілген. Ол дегеніміз сүзгілеу жылдамдығы \mathcal{G}_C кинетикалық коэффициент Ko арқылы сүзгілеу тиімділігіне оң әсерін тигізеді деген сөз. Бұл қайшылыққа берілген түсінік бойынша сүзгілеу жылдамдығы үлкейгенде, біріншіден, уақыт бірлігі аралығында сүзгіге келіп тұратын кірінділер мөлшері арта түседі екен, ал екіншіден, инерциалық

массасы көп ірі кірінді түйірлері ағын траекториясынан өз ескінімен ауытқып сүзгі бетіне бағытталуы күшейе бермек. Балқыманы тиімді түрде тазарту үшін сүзгілеу жылдамдығы өте аз $g_c < 0,01$ м/с, немесе үлкен $g_c > 0,1$ м/с болуы керек деген тұжырым бар [5]. Жылдамдық аз болған сайын кірінді түйіршіктері седиментациялық ығысу жолымен көбірек ұсталса, жылдамдық көп болғанда центрден тепкіш күштердің және жылдамдық градиенті әсерімен ығысып ағыннан бөлініп шығады. Сүзгілеу жылдамдығы 7-8 см/с асқанда майда түйіршіктерден тазарту тиімділігі едәуір нашарлап кететіні де айтылады кейбір жарияланымда [4]. Жапон зерттеушілерінің деректеріне сілтеме жасаған авторлар [6] сүзгілеу тиімділігі $g_c < 1$ см/с аймағында 75-90%, $g_c = 1...8$ см/с аралығында ең төмен деңгейден өтіп, $g_c = 8$ см/с асқанда 40-50%-ға көтеріледі дей келе, керек болған жағдайда жылдамдығы жоғары құю үрдісінде де тиімді дәрежеде сүзгілеу қолдануға болатынын жеткізеді.

Сүзгілеу жылдамдығының өзі құю үрдісіндегі жалпы арын H , құю жүйесінің арналарындағы кедергілер ζ_i , сүзгінің өз кедергісі ζ_c сияқты көрсеткіштерге тәуелді болады. Сүзгіні зерттеушілердің деректерінде оның жұмысын сипаттайтын көрсеткіш ретінде сүзгілеу кезінде болатын арын шығыны Δp (немесе Δh) туралы айтылады. Өз кезегінде арын шығыны Δh мен сүзгі кедергісі ζ_c сүзгінің қалыңдығына L тәуелді.

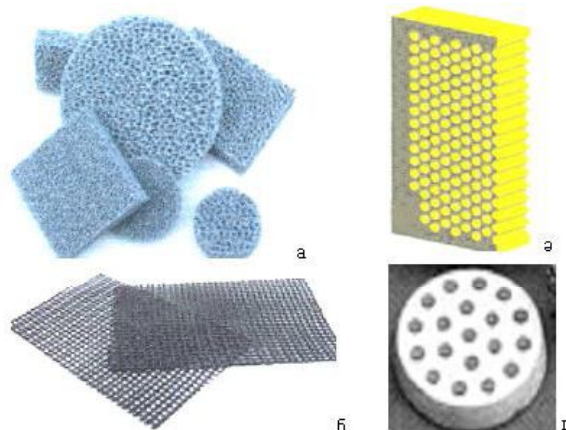
Сүзгінің қалыңдығы L сүзгі жұмысының тиімділігіне оң әсер ететіні жоғарыда айтылды. Қалыңдығы үлкейген сайын сүзгіден өткен металл бойындағы кірінділер азая бермек. Отқа төзімді материалдардың түйірлерінен тұратын қалыңдығы 45,7 см сүзгі [1] әзірге ең қалың сүзгі деп айтуға келеді. Темір тотығының және металл түріндегі алюминийдің көмегімен оттегісдендірілген Ст10 болатын сүзгілеп оны жалпы оттегінен тазарту тәжірибелерінде [2] сүзгі қалыңдығын 22 мм-ден 88 мм-ге дейін өзгерткенде қалдық оттегінің мөлшері 0,62-ден 0,18-ге дейін, немесе 3,5 есе азайған. Дегенмен, сүзгі қалыңдығын аса үлкейте берудің қажетсіздігін айта кеткен. Зерттеушілердің мәлімдеуінше [3,4] сүзгіні қабат-қабаттарға бөліп қарастырғанда оның әр қабатының тиімділігі әртүрлі болып шыққан. Тұтылған кірінділердің басым бөлігі алдыңғы қабаттарда жиналып қалады. Мысалы, $L = 35$ мм болғанда кірінділердің басым бөлігі 5-7 мм тереңдікте жиналған [3]. 10-15 мм қалыңдықтан әрі қарай тұтылған кірінділер жоқтың қасы. Басқа зерттеулерде [4] ірі кірінділер мен тотық қабыршақтарының 50%-ы жоғарғы 15 мм қабатта, 75%-ы 35 мм тереңдікте, ал тек 5%-ы ғана соңғы 20-25 мм қабатта табылған. Осының соңынан, балқымаларды сүзгілеуге қалыңдығы 20-30 мм сүзгі қолдануға әбден болады деп қорытындылаған. [5] мақалада есептеу жолымен қалыңдығы 40 мм сүзгі қабатын қолданып өлшемдері 40 мкм түйіршіктерді түгелдей (100%), 20 мкм түйіршіктердің 70%-ын, 10 мкм түйіршіктердің 20%-ын тазартуға болатыны көрсетілген. Бұл балқыма бойындағы барлық кірінділердің 63%-ын құрайды. Сүзгі қалыңдығын 80 мм-ге жеткізгенде сүзгілеу тиімділігі 80%-ға жақындайтыны сондағы графиктерден көрініп тұр. Мұндағы сүзгі қалыңдығын кішірейтіп 20...25 мм етіп алғанда балқы-

маны тазарту тиімділігі 55...60% шамасында болатыны байқалады. Оның өзінде 40 мкм кірінділердің 95%-ы, 20 мкм кірінділердің 2/3 бөлігі ұсталады.

Сүзгі кедергісінің ζ_c тәуелді болатын факторы ондағы тесіктер мен кеуек арналардың өлшемі немесе диаметрі d_{mec} . Ең көп қолданылатын көбіккерамикалық сүзгілердің (1,а – сурет) ішкі арналарының белгілі бір тұрақты пішіні мен өлшемі жоқ, бұралаң-қалтарыстары көп және тарылып-кеңейіп отырады. Орташа есеппен алғанда кеуек арналарының бір қуысы мен екінші қуысын жалғайтын терезесінің диаметрі үш түрлі сүзгіде 1270, 760 және 560 мкм немесе 1,27...0,56 мм құрайды [6]. Кеуек қуыстарының өлшемі 0,83-тен 2,5 мм-ге дейін.

Ұялы сүзгі торлардың (1,ә – сурет) тесіктері (ұясы) дұрыс геометриялық пішіндегі цилиндр немесе призма түрінде орындалады да орналасу жиілігі 1 см^2 аумағында 8-ден 64-ке дейін, ал ең тығыз орналасқанда диаметрі 1 мм болып келеді. Тесіктерінің диаметрі 5 мм-ден үлкен сүзгілер де кездеседі (1,г – сурет).

Бұрынғы КСРО аумағында кең тараған, сонымен бірге әлі де қолданыста жүрген «Фирам-процесс» үрдісінде тесіктері 0,6×0,6 мм-ден 1,7×1,7 мм-ге дейін болатын шыныматалы сүзгілер (1,б – сурет) пайдаланады. Отқа төзімді материалдар түйірлерінен төселген сүзгілер де көбіккерамикалық сүзгіге ұқсас, түйірлердің арасындағы ашық қалған, бір-бірімен жалғасқан сан-алуан пішінді саңылаулардан құралатын арналарға ие. Олардың белгілі болып отырған ең кіші түйірлерінің диаметрі 1,0...1,6 мм [3] болса, металл балқымаларын тазартуға түйірлері 2...3 мм сүзгілерді қолдану өте сирек кездесетін жағдай екені де айтылады [4]. Демек, тиімді диаметрі 1 мм-ден кіші арналар мұндай сүзгілерде кездесе бермейді. Тиімді диаметрі 2...6 мм аралығында жататын, түйірлерінің диаметрі 5...15 мм сүзгілерді пайдалану ұтымды деген пікір айтылып жүр [5]. Әрине, сүзгі тесіктері тар болған сайын сүзгілеу тиімділігі, бөліп айтқанда «елек» механизмі арқылы тазарту арта түсетіні анық. Дей тұрғанмен, сүзгі тесіктері мен арналарының диаметрлерін одан әрі кішірейтуге одан металл балқымасының өтпей қалу қауіпі шек қоятынын ескеру керек. Олай болмаған күнде сүзгі кедергісі ζ_c орасан үлкен мәнге ие болып, құю режимін сақтау үшін гидростатикалық арын H да тым үлкейіп кетеді. Тым үлкен арын сүзгіге қатты салмақ түсіріп, оны үгітіп те жіберуі мүмкін.

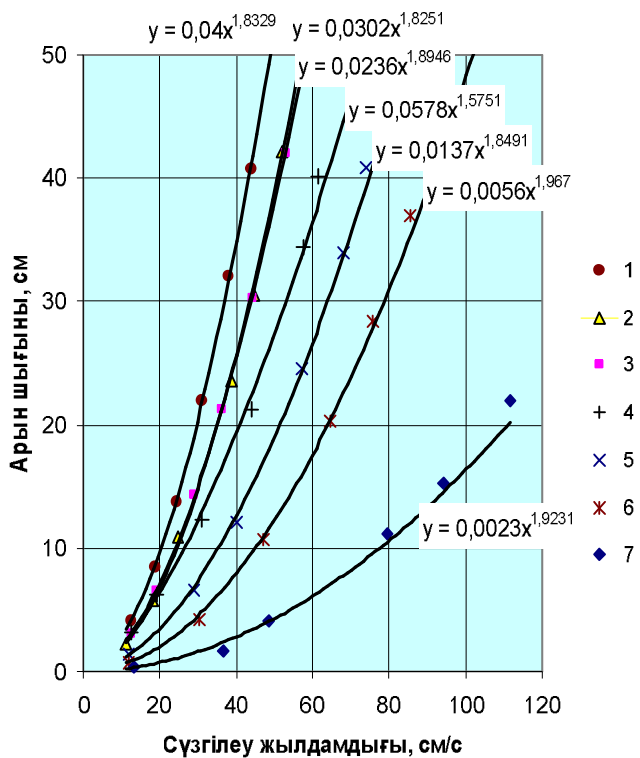


1 – сурет

Сүзгілеу кезіндегі металл ағысын сипаттайтын маңызды гидравликалық көрсеткіштің бірі – ағын режімі. Сүзгілеу режімі турбулентті болғанда майда кірінділерден, ал ламинарлы болса ірі кірінділер мен тотық қабықшаларынан тиімді тазартуға жағдай жасалатыны айтылған [4]. Балқыма бойында кірінділердің майдасы мен ірісі бірге кездесетіндіктен турбулентті және ламинарлы режімдер қосарласып жататын өтпелі режімді пайдаланған ұтымды болады деп көрсетеді. Сүзгілеу үрдісі ламинарлы режімде өтуі үшін Рейнольдс критеріі өте аз болуы керек, $Re < 2 \dots 10$. Бірақ, оның нақты шамасы $Re = 45 \dots 700$ екені бұл режімнің мүмкін еместігіне нұсқайды. Оған қоса бұралаң тесікті сүзгілерде ламинарлықты бұзатын тосын өзгерістер көп болатыны белгілі.

Сүзгілеу режімінің ламинарлықтан алшақ болуы зерттеулер бағытын түбегейлі өзгертетін жәйт екенін басып айтқан жөн. Ыңғайлы болғандықтан сүзгілеу үрдісін математикалық өрнектеуге жаппай қолданып жүрген Дарси заңы тек қана ламинарлық ағынға арналып, сүзгіден өткенде жоғалатын арын шығынын ағын жылдамдығының бірінші дәрежесіне пропорционал деп есептейді. Құйма бөлшектер өндірісіндегі құю жүйесінде ағын жылдамдығы үлкен, жергілікті кедергілер бір-біріне жақын орналасқандықтан онда әбден дамыған турбуленттік режім орныққан. Мұнда ламинарлық Дарси заңына жүгіну үлкен олқылықтарға апарды. Құю жүйесіне қойылған сүзгі ағын жылдамдығының екінші дәрежесіне пропорционалды арын шығынын береді деп күту орынды болмақ.

Зертханалық тәжірибелерде сүзгілердің ағынға әсерін тексеріп, ондағы арын шығынының сүзгілеу жылдамдығына тәуелділігінің сипатын және сол арқылы сүзгілеу режімін анықтауды мақсат етіп қойдық. Тәжірибе нәтижелері 2-суретте берілген.



2 – сурет

Суреттегі графиктер төрт топқа бөлінген жеті сүзгі туралы мәлімет береді: баспалап тесілген керамикалық сүзгі торлар (1, 4 сызықтар); шыныматалы сүзгі тор (2 сызық); кеуек құрылымды көбіккерамикалық сүзгілер (3, 5, 6 сызықтар) және экструзиялық жолмен алынған керамикалық ұялы сүзгі тор (7 сызық). Осылардың екеуі органикалық шыныдан жасалған жасанды сынақ үлгісі (модель) түрінде, ал бесеуі өндірісте қолданылатын табиғи түрінде алынды. Сүзгілердің толық сипаттамасы кестеде келтірілген.

Тәжірибеден алынған нүктелер бойымен жүргізілген аппроксимациялаушы сызықтар параболалық сипатын көрсетіп тұр. Ал, сол сызықтардың алтауының (1, 2, 3, 5, 6, 7 сызықтар) математикалық өрнектерінің дәрежелері 1,8251...1,967 аралығында жатыр. Бұл сандар 2 дәрежесіне тиіп тұр деп айтуға болады. Осыдан сүзгілеу үрдісінің гидравликалық режімі ламинарлықтан тым алшақ, ал керісінше турбуленттікке аса жақын деген маңызды тұжырым жасауға мүмкіндік алынып тұр. Басқалардан ерекшеленіп шыққан 4-сүзгінің өзінде парабола дәрежесі 1,5751-ге тең болып турбулентті аймаққа қарай ойысқан. Демек, сүзгілерден өткенде жоғалатын арын шығынын сүзгілеу жылдамдығының квадратына пропорционалды деп алып, сүзгінің өзін құю жүйесіндегі кедергілердің қатарындағы тағы бір жергілікті кедергі ретінде қарастыруға болады екен. Мұның өзі құю жүйесін есептеуді жеңілдететіні сөзсіз.

Графиктерден (2-суретті қараңыз) көретініміз сүзгілердің көрсеткіштерінің бір-бірінен орасан зор айырмашылығы. Сүзгілеу жылдамдығы 40 см/с болғанда сүзгілердегі арын шығыны 4 см-ден (экструзиялық сүзгі тор, 7 сызық) 35 см-ге (баспаланған сүзгі тор, 1 сызық) дейін 9 есе өсіп өзгереді екен. Сөйте тұра кестеге назар аударсақ тым үлкен кедергі жасап тұрған 1-сүзгінің тесіктері (кіші диаметрі 2,5 мм) кедергісі ең аз деген 7-сүзгінің тесіктерінен (2,08×2,08 мм) үлкенірек болып тұр. Бұл болса іс жүзінде сүзгілерді таңдау кезінде олардың гидравликалық кедергісіне мұқият қарауды талап етеді. Кейбір сүзгілердің тесіктері үлкен болғанмен ағынды жеңіл өткізе қоймайтынын көреміз.

Осы мақаланың басында бөліп айтқан сүзгілеу жылдамдығына келетін болсақ, құйма өндірісіндегі құю режімін сақтау тұрғысынан қарағанда оның мәні жоғарыда келтірілген әдебиет деректерінен біршама артық болып тұрады. Құю жүйесі аумағында 0,01...1 см/с арасындағы сүзгілеу жылдамдығын қамтамасыз ету оңай шаруа емес. Оған тек сүзгіні үстіңгі қалыптың жоғарғы бетінде орналасқан құю тостағанына қойып барып қана жақындауға болады. Ал енді, тіктүтіктің астындағы немесе одан кейінгі арналарда орналасқан сүзгіден өтетін ағын жылдамдығы ең кем дегенде 10 см/с, әйтпесе одан едәуір үлкен екенін дәлелдеу қиын емес.

Сөз соңында құю жүйесінің арналарында тұратын сүзгілердің қалыңдығы да шектеулі болатынын айта кету керек. Ең қалыңы 25 мм. Одан қалың болса ағынды тежеуі күшейіп кетеді. Қорыта келе, әдебиеттегі деректердің барлығы дерлік зертхана жағдайында ерекше әдістемелермен алынғаны көрінеді. Олардың басты ерекшелігі, әртүрлі материалдардан жасалған

сүзгілердің балқымаларды кірінділерден тазарту мүмкіндігі мен механизмін ашып көрсету болған. Осыдан, әдебиетте берілген құнды деректерді гидравликалық

сипаттамалары жағынан оқшау тұрған құю жүйесіндегі сүзгілеу үрдісіне тікелей көшіре салуға келмейтініне көз жеткіздік.

Тәжірибеде сыналған сүзгілер сипаттамасы

2 – суреттегі орыны	Сүзгі атауы	Тесіктерінің өлшемі/сипаты	Сүзгі қалыңдығы, мм	Материалы
1-сызық	Баспаланған сүзгі торлар (1 сур., г).	3,5/2,5мм/кеңітін конус	10	Органикалық шыны
2-сызық	Шыныматалы сүзгі тор (1 сур., б).	1,5×1,5мм/квадрат	1...1,5	Шыныматалы жіптер
3-сызық	Көбіккерамикалық кеуек сүзгі (1 сур., а).	6 тес/см/кеуек	23	Көбіктенген керамика
4-сызық	Баспаланған сүзгі торлар (1 сур., г).	2,5/3,5мм/тарылатын тесік		Керамика
5-сызық	Көбіккерамикалық кеуек сүзгі (1 сур., а).	4 тес/см/кеуек, бұдыр бет	22	Көбіктенген керамика
6-сызық	Көбіккерамикалық кеуек сүзгі (1 сур., а).	4 тес/см/кеуек, тегіс бет	21	Көбіктенген керамика
7-сызық	Экструзиялық ұялы сүзгі тор (1 сур., ә).	2,08×2,08 мм/квадрат	13	Керамика

ӘДЕБИЕТТЕР ТІЗІМІ

1. Apelian, D. and Mutharasan, R. // Journal of metals, 1980, N 9, p.14-18.
2. Суворов С.А., Тебуев Н.Б. Моделирование процесса фильтрации расплавов металлов // Огнеупоры. 1991. № 9. С. 17-20.
3. Волков В.А. Разработка процесса очистки от взвешенных примесей жидких сплавов на основе цинка и олова путем фильтрования: Дис. ... канд. техн. наук. М., 1982.
4. Курдюмов А.В. и др. Флюсовая обработка и фильтрование алюминиевых расплавов. М.: Металлургия, 1980. 196 с.
5. Тен Э.Б., Киманов Б.М., Ким В.А. Обобщенная оценка эффективности осаждения неметаллических частиц на поверхности фильтра // Тр. междунар. науч. конф. «Наука и образование – ведущий фактор стратегии «Казахстан – 2030» (Сагиновские чтения № 2). Караганда, 2010. Ч. 3. С. 138-140.
6. Хаммершмид П., Янке Д. Удаление неметаллических включений фильтрованием расплавов стали // Черные металлы. 1988. № 5. С. 16-25.
7. Чугаев Р.Р. Гидравлика. Л.: Энергоиздат. Ленинградское отд-ние, 1982. 672 с.

УДН 669.168

**МУХАМБЕТАЛПЕВ Е.К.
БАЙСАНОВ С.О.
ЧЕКІМБАЕВ А.Ф.
БАЙСАНОВ А.С.**

Возможность и перспективы получения нового комплексного ферросплава – алюмосиликомарганца

Обработка жидкого металла в ковше ферросплавами с целью его легирования, модифицирования и раскисления остается одним из основных методов воздействия на качество сталей и чугунов. Переход сталеплавильного производства на новый уровень, связанный с повышением качества продукции, требует выпуска эффективных ферросплавов нового поколения, а также пригодных для обработки металла в ковше. Наиболее перспективными для этих целей являются комплексные сплавы. Так как практически основная масса сталеплавильной продукции раскисляется и легируется кремнием, алюминием и марганцем, то получение сплавов, содержащих данные элементы в комплексе, – является одним из актуальных направлений [1, 2].

Применение такого сплава одновременно решает проблему совместного раскисления и легирования стали. Из литературных источников известно, что ранее проводились опытные испытания по выплавке сплава алюминий-марганец-кремний (АМС) бесшлаковым способом. Для выплавки сплава АМС использовались марганцевые руды и высокозольные угли. При использовании углей Экибастузского угольного бассейна в ходе плавки из руды восстанавливается марганец, а из пустой породы и золы угля – кремний и алюминий [3].

Шихта для выплавки сплава АМС имела следующую

состав, масс. %:

- экибастузский уголь 52-56;
- марганцевая руда 44-47.

Сплав АМС, полученный при электротермической плавке джездинской марганцевой руды с использованием в качестве восстановителя экибастузского угля, имел следующий состав: 25-40 % Mn; 30-40 % Si; 6-12 % Al; 0,8-1,25 % P; Fe – остальное.

Применение сплава АМС, выплавляемого электротермическим способом из марганцевых руд и энергетических углей для раскисления спокойных марок стали взамен обычно применяемых раскислителей, показало его эффективность благодаря комплексности состава.

Несмотря на вышеизложенные преимущества, сплав АМС по ранее разработанной технологии после выпуска при остывании обычно рассыпался до порошкообразного состояния. Порошкообразный сплав надо было брикетировать, то есть появлялись дополнительные затраты.

Из-за непостоянства состава сплава и непривязанности содержания хотя бы одного из ведущих элементов (марганца или кремния) к количеству в стандартных (традиционных) ферросплавах (силикомарганец или ферросилиций) он не получил широкого внедрения в сталеплавильной промышленности.