

Rapid optimisation of pigment dispersion using parallel "high throughput" grinding

Ottimizzazione rapida della dispersione di pigmento con la macinazione parallela ad "alta resa produttiva"



S. Bysouth



A. Muhammad

Stephen Bysouth, Ali Muhammad - AUTOMAXION



INTRODUCTION

Choice of equipment to break down aggregated pigment particles depends on factors such as pigment type, pigment particle size and distribution, pigment hardness, premix viscosity, ink vehicle, solids content in the formulation, temperature limitations, aeration tendencies and the required extent of pigment dispersion. Once primary particles are obtained, re-aggregation must be prevented usually by using additives to control surface charge (electrostatic stabilisation) or to cover the surface and 'mechanically' prevent aggregation (steric stabilisation). How the solids can best be dispersed in a medium depends on intrinsic characteristics of the pigment, etc.

For carbon black, surface oxidation improves its dispersibility but for conductive inks, any oxygen-containing surface groups, markedly reduces electrical conductivity. These multitude of factors make it difficult to disperse the pigment in the ink vehicle and for a new finished ink or coating, involves tests on a very large number of samples and a lot of time, raw materials and waste.

Over the last 15 years or so, high-throughput techniques employing hardware, software, data analysis and presentation, have been applied to formulation of materials. These have included large integrated systems but also standalone tools for specific parts of the workflow. In this article, the optimisation of conductive carbon black pigment formulations and the use of some simple tests to select suitable candidate materials and a multisample



INTRODUZIONE

La scelta delle attrezzature per frantumare le particelle aggregate di pigmento dipende da fattori quali il tipo di pigmento, la granulometria e la distribuzione, la durezza del pigmento, la viscosità di premiscela, il veicolo inchiostro, il contenuto solido della formulazione, i limiti della temperatura, le tendenze all'aerazione e il grado richiesto di dispersione del pigmento.

Una volta ottenute le particelle primarie, la riaggregazione deve essere evitata utilizzando gli additivi per il controllo della tensione superficiale (stabilizzazione elettrostatica) oppure per coprire la superficie e prevenire "meccanicamente" l'aggregazione (stabilizzazione sterica).

La modalità con cui i solidi possono essere dispersi nel migliore dei modi nel veicolo dipende dalle caratteristiche intrinseche del pigmento, ecc. Per quanto riguarda il carbon black, l'ossidazione superficiale apporta migliorie alla disperdibilità, ma nel caso degli inchiostri conduttivi, qualsiasi gruppo superficiale contenente ossigeno, riduce in modo significativo la conducibilità elettrica.

Questa moltitudine di fattori rende difficile disperdere il pigmento nel veicolo inchiostro e per un nuovo inchiostro finito o rivestimento, sono richiesti test su un numero elevato di campioni e anche molto tempo, materie prime e prodotti di scarto.

In questi ultimi 15 anni o quasi, sono state applicate le tecniche ad alta produttività che utilizzano hardware, software, analisi e presentazione dei dati alle formulazioni



mill to prepare the dispersions is compared to a recirculating bead mill.

MATERIALS AND METHOD

The first phase in any HT experimental program if possible, is to reduce the number of experiments. We had the possibility of using two different, waterborne, binder-free dispersions of carbon black pigments (Tab. 1) with low volatile matter content that allows the analysis of the extent of pigment dispersion brought about principally by the action of the mills. High molecular weight, graft copolymers are recommended as dispersing additives for use with carbon black pigments possessing neutral surface. We chose to look at three examples (Tab. 2).

A simple 'sinking' test was performed to select the best candidate dispersant, where equal amounts of pigment were added to 5wt% active matter dispersant solutions in a test tube and were then left at ambient temperature without agitation. The samples were observed after 24 hrs and the dispersant solution Tego 760W had the minimum sedimentation of pigment and maximum opacity of solution



dei materiali che proteggono le coltivazioni, i dentifrici, i prodotti farmaceutici, i rivestimenti ecc. Fra questi sono stati inseriti ampi sistemi integrati ma anche utensili indipendenti per parti specifiche del flusso di lavoro.

In questo articolo, l'ottimizzazione delle formulazioni del pigmento carbon black conduttivo, l'uso di alcuni semplici test per selezionare i materiali idonei e il mulino per più campioni per preparare le dispersioni vengono confrontati con il mulino a sfere di ricircolo.

MATERIALI E METODI

La prima fase di qualsiasi programma sperimentale HT, laddove possibile, consiste nel ridurre il numero di esperimenti. Si è avuta la possibilità di utilizzare due diverse dispersioni di pigmenti carbon black esenti da legante (Tab. 1) a basso contenuto di materiale volatile per consentire l'analisi del grado di dispersione del pigmento determinata principalmente dall'azione dei mulini.

Come additivi disperdenti si raccomandano i copolimeri a innesto ad alto peso molecolare per l'utilizzo con i pigmen-

Tab. 1 Pigments

Pigment name <i>Denominazione pigmento</i>	Supplier <i>Fornitore</i>	BET surface area m ² /g <i>Area superficiale BET m²/g</i>	OAN cm ³ /100 g <i>OAN cm³/100 g</i>	Volatile matter (%) <i>Materiale volatile (%)</i>
Vulcan XC605	Cabot Corp.	60	148	<0.1
Ensaco 350G	Timcal B.V	810	336	0.3

Tab. 1 Pigmenti

Tab. 2 Dispersants

Dispersant name <i>Denominazione disperdente</i>	Supplier <i>Fornitore</i>	Active matter (wt%) <i>Materiale attivo (peso%)</i>
Solsperse 44000	Lubrizol Corp.	50
BYK-190	BYK-Chemie	40
Tego 760W	Evonik Tego	35

Tab. 2 Disperdenti

ti carbon black a superficie neutra. Al riguardo sono stati scelti tre esempi (Tab. 2).

Per selezionare il miglior disperdente è stato eseguito un semplice test dell'"immersione", dove uguali quantità di pigmento sono state aggiunte alle soluzioni di disperdente con principi attivi al 5% in peso in una provetta e poi lasciate a riposo a temperatura ambiente senza agitazione.

I campioni sono stati osservati dopo 24 ore e la soluzione disperdente Tego 760W ha mostrato minima sedimentazione del pigmento e massima opacità nella soluzione, la quale è stata selezionata ai fini dell'ottimizzazione della dispersione dei pigmenti.

La quantità massima di pigmento in una dispersione

Tab. 3 Process times for milling and grinding steps for the two mills

Step Fase	Preparation time (hours and minutes) Preparazione (ore e minuti)	
	Eiger Torrance Mulimo	Automaxion Mulino
Weighing ingredients and preparation Pesatura degli ingredienti e preparazione	15 minutes 15 minuti	15 minutes 15 minuti
Premixing Premiscela	30 minutes 30 minuti	0
Milling/grinding Macinazione/dispersione	3 hours 3 ore	4 hours 30 minutes 4 ore 30 minuti
Bead separation Separazione sfere	0	<2 minutes <2 minuti
Cleaning Pulitura	30 minutes 30 minuti	0
Time for 1 sample Tempo per 1 campione	4 hours 15 minutes 4 ore 15 minuti	4 hours 47 minutes 4 ore 47 minuti
Time for 2 samples Tempo per 2 campioni	8 hours 30 minutes 8 ore 30 minuti	5 hours 2 minutes 5 ore 2 minuti
Time for 8 samples Tempo per 8 campioni	34 hours 34 ore	6 hours 55 minutes 6 ore 55 minuti
Volume of waste for 8 samples Volume scarti per 8 campioni	600 ml	80 ml

Tab. 3 Durate di processo per le fasi di macinazione e dispersione in due mulini



and was selected for optimisation of dispersion of the pigments. The maximum amount of pigment in a dispersion that could be re-circulated properly in the re-circulating bead mill was set as the upper limit for pigment loading. However, it was decided not to proceed with Enasco 350G pigment because at high suitable loadings, it was difficult to process in either mill.

To optimise the dispersant dosage, a ladder series of dispersions was prepared using the Tego 760W for use with the Vulcan XC605 pigment.

Prior to milling the dispersions in the Mini 50 Motormill (Eiger Torrance Limited), the ingredients were premixed for 30 min at 1500 rpm using a high speed overhead stirrer. The milling chamber of the Eiger Torrance bead mill has an empty volume of 50 ml which was filled with 30-35 ml of



che è stato possibile far rientrare in circolo correttamente nel mulino a sfere di ricircolo è stata fissata come limite per il carico di pigmento. Tuttavia, non si è deciso di procedere con il pigmento Enasco 350G perché con carichi adeguatamente alti, il trattamento nei mulini è risultato difficile. Per ottimizzare la quantità prescelta di disperdente, è stata preparata una serie di dispersioni in scala, con l'utilizzo di Tego 760W per l'uso con il pigmento Vulcan XC605.

Prima di macinare le dispersioni nel Mini 50 MotorMill (Eiger Torrance Limited), gli ingredienti sono stati premiscelati per 30 min. a 1500 rpm utilizzando un agitatore sopraelevato ad alta velocità. La cabina di macinazione del mulino a sfere Eiger Torrance ha un volume di 50 ml riempito con 30-35 ml di sfere di zirconio da 1-1,25 mm.

Sono state adottate una durata del processo di macinazione raccomandata di 3 ore e la velocità di processo di 3750 rpm e si è riscontrato che era indispensabile un volume minimo di dispersione pari a circa 75 ml al fine di garantire un adeguato ricircolo della dispersione nel mulino.

Per quanto riguarda l'Automaxion Mill (Pulverisette 6 con adattatore

per flaconcino 8 EPA) non era richiesta premiscelazione, con conseguente risparmio di tempo e di materiale. I componenti sono stati caricati direttamente nei flaconcini da 20 ml per creare un volume campione di circa 10 ml.

E' stato poi aggiunto un volume identico di 1-1,25 mm di sfere di macinazione di zirconio. Tuttavia, i flaconcini non erano pieni perché la formulazione occupava lo spazio vuoto fra le sfere. I flaconcini sono stati poi trattati per quattro ore e trenta minuti a 550 rpm.

RISULTATI

In questi esperimenti sono stati analizzati comparativamente il mulino pluri-campione e il mulino di ricircolo. Le durate delle fasi di processo (Tab. 3) erano quelle standard di questi mulini e i tempi di macinazione/fresatura



1-1.25 mm zirconia milling beads.

The recommended milling time of 3 hrs and milling speed was 3750 rpm was used and we found that a minimum dispersion volume of approximately 75 ml was required to ensure proper recirculation of the dispersion in the mill. For the Automaxion Mill (Pulverisette 6 with 8 'EPA' vial adapter), no premixing was needed, saving time and material. The ingredients were loaded directly into the 20 ml vials to make a sample volume of about 10 ml. An equal volume of 1-1.25 mm zirconia milling beads were added. However, the vials were not full since the formulation occupied the empty space between the beads. The vials were processed for 4 hrs 30 mins at 550 rpm.

RESULTS

In these experiments we compared how well the multisample mill compared with the recirculating mill.



per ogni mulino sono state messe a punto per fornire le proprietà richieste alle concentrazioni di pigmento.

Se si realizzano campioni singoli, non si riscontrano vantaggi nell'uso del mulino Automaxion in quanto esso richiede più tempo per il processo reale di macinazione superando i tempi supplementari richiesti per pulire il mulino Eiger Torrance.

Si potrebbe obiettare che il mulino Automaxion fornisce flaconcini che devono poi essere ripuliti, ma sono state considerate durate nulle dal momento che il processo di pulitura può essere effettuato durante il funzionamento del mulino con altri campioni, diversamente dal mulino Eiger Torrance.

Tuttavia, è evidente che il mulino Eiger Torrance si limita ad un campione al giorno (due per mandata), mentre il mulino Automaxion può trattare senza difficoltà 8 campioni

Tab. 4 Particle size analysis results for the dispersions prepared using Automaxion mill and Eiger Torrance mill (DOWP: Dispersant On the Weight of Pigment)

Level (DOWP) of dispersant 760W with 22 wt% of Vulcan XC605 pigment <i>Livello (DOWP) del disperdente 760W con 22% di peso del pigmento Vulcan XC605</i>	Mean particle size, nm <i>Dimensione della particella principale</i>	
	Eiger Torrance mill <i>Mulino Eiger Torrance</i>	Automaxion mill <i>Mulino Automaxion</i>
12%	113.8	90.47
15%	119.3	90.26
18%	123.3	90.23

Tab. 4 Analisi granulometrica delle dispersioni preparate con il mulino Automaxion ed Eiger Torrance (DOWP: disperdente su peso del pigmento)



The process step times (Tab. 3) were typical for these mills and the milling/grinding times for each mill were developed to provide the required properties of the pigment concentrates created.

If single samples are being made, then there is no advantage in using the Automaxion mill since it requires more time for the actual milling and exceeds the extra time required to clean the Eiger Torrance mill.

It could be argued that the Automaxion mill does generate vials that need to be cleaned, but we assumed zero time for that, since that cleaning can be done while the mill is running other samples, unlike the Eiger Torrance mill.

However, it is obvious that the Eiger Torrance mill is limited to one sample per day (two at a push), whereas the Automaxion mill can comfortably process 8 samples a day.

The volume of sample made should be the minimum possible but sufficient for the needs of testing. In our case, we needed samples for particle sizing by the Malvern Zetasizer (a few drops), rheology using a TA Instruments AR-1500 EX rheometer (a few mls) and stability testing via storage and repeated rheology (up to 10 mls).

The Eiger Torrance mill produced about 75 ml per sample,

al giorno.

Il volume del campione realizzato dovrebbe essere il minimo possibile, ma sufficiente a soddisfare le esigenze dettate dal test. In questo caso, si è avuto bisogno di campioni per la definizione della granulometria con l'ausilio del macchinario Malvern Zetasizer (qualche goccia), della reologia con l'ausilio del reometro AR-1500 EX TA Instruments e della stabilità con stoccaggio e reologia ripetuta (fino a 10 mls).

Il mulino Eiger Torrance ha prodotto circa 75 ml per campione, che ovviamente è più del necessario per questi test. Il mulino Automaxion ha prodotto invece soltanto 10 ml di campione,



Tab. 5 Zeta potential results for the dispersions prepared using Automaxion mill and Eiger Torrance mill (DOWP: Dispersant On the Weight of Pigment)

Level (DOWP) of dispersant 760W with 22 wt% of Vulcan XC605 pigment <i>Livello (DOWP) del disperdente 760W con 22% di peso del pigmento Vulcan XC605</i>	Zeta potential (mV) <i>Potenza zeta (mV)</i>	
	Eiger Torrance mill <i>Mulino Eiger Torrance</i>	Automaxion mill <i>Mulino Automaxion</i>
12%	-23.2	-17
15%	-22.3	-29.5
18%	-21	-33.4

Tab. 5 Risultati del potenziale Zeta per la preparazione delle dispersioni con mulini Automaxion e Eiger Torrance (DOWP: disperdente sul peso del pigmento)

anch'esso sufficiente, ma anche idoneo a riprodurre campioni in caso di necessità.

La resa produttiva del mulino è poco rilevante se i risultati di macinazione/dispersione non sono comparabili. Nella maggior parte delle situazioni pratiche esistono differenze nella resa prestazionale fra i mulini di laboratorio oppure con il mulino in funzione, ma queste differenze sono note e ben comprese.

Per questi due mulini, ciascuno di essi ha parametri variabili come quello della velocità di macinazione, tempi,



which is of course more than enough for these tests.

The Automaxion mill only produced about 10 ml of sample which was also enough but it is also possible to rapidly produce duplicate samples if needed.

The throughput of the mill is irrelevant if the milling/grinding results are not comparable. In most practical situations there are differences in performance between laboratory mills or against a production mill but these are known and well understood.

For these two mills, each have variable parameters such as milling speed, time, media size, media fill or pumping rate for the Eiger Torrance mill. As yet we have not invested time in finding how all the parameters for the two mills correlate but the stated conditions were the result of some initial experiments and experience.

For these inks, the important metrics are the particle size distribution, zeta potential, the rheology and the rheological stability after a period of storage. For particle size distribution we used the Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments). 0.25



dimensione del veicolo, grado di riempimento o di pompaggio del veicolo per il mulino Eiger Torrance. Finora non si è ancora investito tempo per scoprire come tutti i parametri siano correlati ai due mulini, ma le condizioni definite sono state il risultato di alcuni esperimenti iniziali e dell'esperienza. Per questi inchiostri, i dati di misura importanti sono la distribuzione granulometrica, il potenziale zeta, la reologia e la stabilità reologica dopo un certo periodo di stoccaggio.

Per determinare la granulometria delle particelle è stato utilizzato lo strumento Zetasizer Nano ZS (Malvern Instruments). 0,25 g di ciascun campione è stato diluito con 50 ml di acqua deionizzata e sonicato per 1 minuto.

L'indice di rifrazione e l'assorbimento del pigmento sono stati impostati rispettivamente a 1,675 e 1,00. Conseguentemente al grado di diluizione, sono stati utilizzati rispettivamente, i valori di default di 1,33 e 78,5 per l'indice di rifrazione e per la costante dielettrica del disperdente (vale a dire, acqua).



g of each sample was diluted with 50 ml of de-ionised water and sonicated for 1 min. The refractive index and absorption of the pigment were set at 1.675 and 1.00, respectively.

Due to the extent of dilution, the default values of 1.33 and 78.5 were used for refractive index and dielectric constant of the dispersant (i.e., water), respectively.

The sample was equilibrated at 25°C for 60 sec in the disposable sizing cuvette (DTS0012) prior to analysis.

The zeta potential of an aliquot of the same diluted sample was determined by performing an electrophoresis experiment in a disposable zeta cell (DTS1060C).

The particle size data in Tab. 4 shows that the Automaxion mill brought about a greater decrease in the mean particle size and was consistent for each sample, compared to the Eiger mill.

This is confirmed by the distribution plots (Fig. 1). This decrease may be due to the slightly longer milling duration in the case of the Automaxion mill or, more likely, the greater effectiveness of the planetary milling action of the Automaxion mill which is also confirmed as there appeared to be some residual poorly ground material in some of the Eiger Torrance mill samples (Fig. 1), which skews these results. The results of zeta potential measurements (Tab. 5), show

Fig. 1 Particle size distribution plots for 22% VXC605 pigment loading and the three level of dispersant 760W measured soon after processing

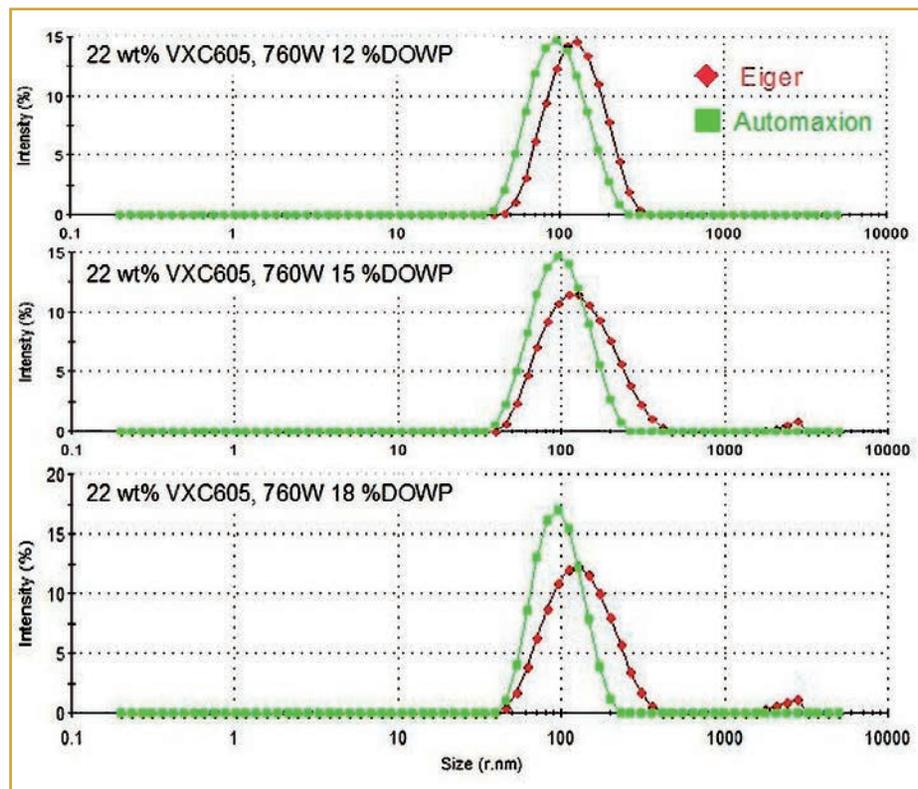


Fig. 1 Grafici della distribuzione granulometrica di un carico di pigmento VXC605 al 22% e tre livelli di disperdente 760W, misurati subito dopo il trattamento

Il campione è stato equilibrato a 25°C per 60 sec. nella cuvette di dosaggio usa e getta (DTS0012) prima di eseguire l'analisi. Il potenziale zeta di un'aliquota



Fig. 2 Viscosity profiles of dispersions of 22% VXC605 pigment with (a) 12%DOWP 760W, (b) 15%DOWP 760W and 18%DOWP 760W prepared on Automaxion and Eiger Torrance mills measured soon after processing

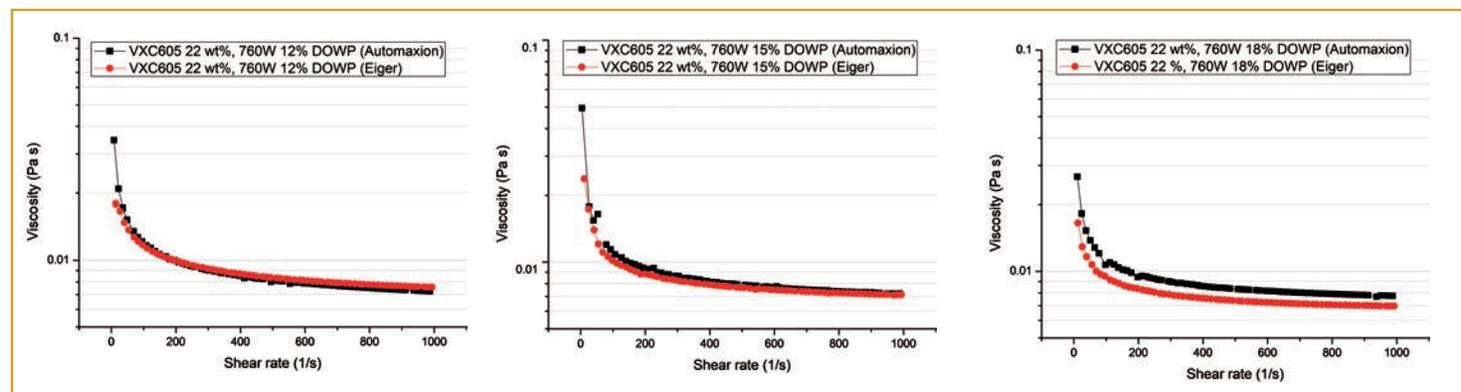


Fig. 2 Profili della viscosità delle dispersioni del pigmento VXC605 al 22% con (a) 12% DOWP 760W, (b) 15%DOWP 760W e il 18%DOWP 760W, preparate con i mulini Automaxion ed Eiger Torrance, misurati subito dopo il trattamento

Fig. 3 Viscosity profiles of dispersions of 22% VXC605 pigment with (a) 12%DOWP 760W, (b) 15%DOWP 760W and 18%DOWP 760W prepared on Automaxion and Eiger Torrance mills, measured soon after processing and after 4 weeks

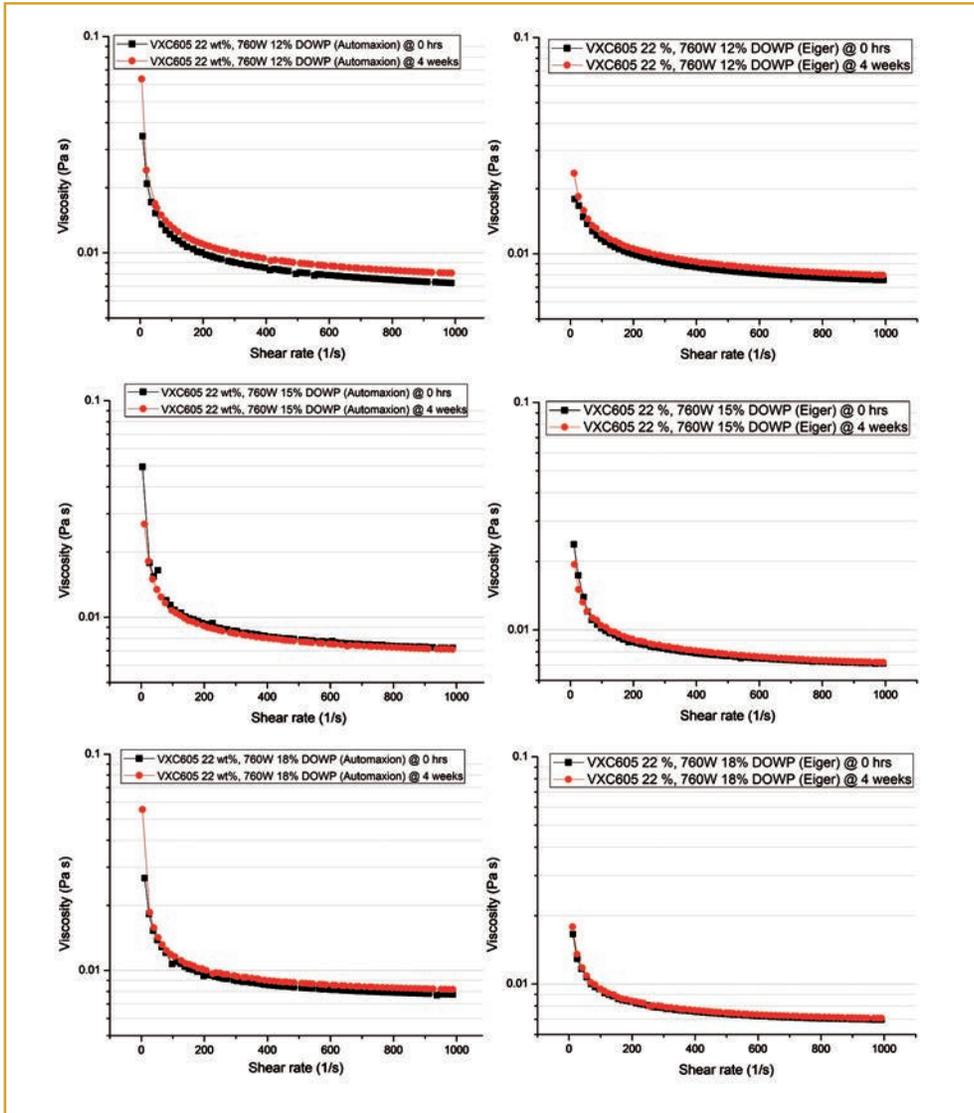


Fig. 3 Profili della viscosità delle dispersioni del pigmento VXC605 al 22% con (a) 12% di DOWP 760W, (b) 15%DOWP 760W e il 18%DOWP 760W, preparate con i mulini Automaxion ed Eiger Torrance, misurati subito dopo il trattamento e dopo 4 settimane



considerable difference between the series of dispersions processed on the two mills. This may be a result of the consistent particle size and, since the particle size is consistent for the Automaxion mill and the resulting zeta potentials may better show the effect of varying dispersant levels.

However, since the Dispersant 760W is known to sterically stabilise pigment particles, further studies would be needed to elucidate the relationship further. Of course,



dello stesso campione diluito è stato determinato eseguendo l'esperimento di elettroforesi in una cella zeta usa e getta (DTS1060C).

I dati relativi alla granulometria di Tab. 4 mostrano che il mulino Automaxion ha causato un decremento superiore della media granulometrica, coerente per ciascun campione, rispetto al mulino Eiger. Ciò è stato confermato dai tracciati della distribuzione (Fig. 1). Questa diminuzione potrebbe essere stata causata dalla durata delle operazioni di macinazione leggermente superiori nel caso del mulino Automaxion, oppure, più probabilmente, dalla superiore efficacia della macinazione nel mulino planetario Automaxion, ipotesi confermata dalla comparsa di una certa quantità di materiale residuo scarsamente macinato in alcuni campioni del mulino Eiger Torrance (Fig. 1), da cui sono stati abbozzati questi risultati. I dati delle misure del potenziale zeta (Tab. 5) mostrano una differenza considerevole fra le serie di dispersioni trattate nei due mulini. Ciò potrebbe essere la conseguenza della granulometria ideale e questo anche per la dimensione ottimale della particella del mulino Automaxion; inoltre, il potenziale zeta risultante potrebbe mostrare in modo più evidente l'effetto provocato dai vari livelli di disperdente.

Tutto considerato, dal momento che Dispersant 760W causa notoriamente la stabilizzazione sterica delle particelle di pigmento, potrebbero risultare indispensabili ulteriori studi per chiarirne i rapporti. Naturalmente, questi campioni dovevano essere diluiti ai fini del calcolo delle misure, alterando di conseguenza le caratteristiche del campione del test, mentre i campioni per le analisi reologiche sono stati realizzati su dispersioni reali.

Per la reometria, prima di eseguire la misura, ogni campione è stato agitato manualmente per 2 minuti e poi lasciato a riposo a temperatura ambiente (22-25°) per 5 minuti.



these samples had to be diluted for measurement which is known to alter the characteristics of the test sample, whereas samples for rheological analyses were carried out on actual dispersions. For rheometry, we used a TA Instruments AR-1500 EX cone and plate rheometer with 60 mm stainless steel cone with a 1° taper angle and 27 microns truncation gap. Prior to measurement, each sample was manually shaken for 2 min and then left at ambient temperature (22-25°C) for 5 min. Measurements were made without pre-shearing the sample. A continuous ramp test was employed and the viscosity profile was recorded over a shear rate range of 1/s to 1000/s.

The results of the rheology analysis Fig. 2 correspond with the particle size and zeta-potential results in that the viscosity profiles for the Automaxion mill are consistent whilst those for the Eiger Torrance mill show greater variation, as do the particle sizing results. For inks, it is also important to understand the stability of the dispersions, since post-milling build-up of viscosity is possible if the pigment milling is not done effectively and optimally or the dispersant is too much in deficit or excess. For stability analysis, the dispersions were stored at ambient temperature (22-25 °C) and the viscosity profiles were recorded after four weeks. These viscosity profiles are presented in Fig. 3. The viscosity of each of the three dispersions was found to be very stable. This showed that the Automaxion mill produced very stable dispersions of Vulcan XC605. If the viscosity profiles were examined on their own, it might be concluded that the level of dispersant was equally effective between 12 and 18 % when looking at the results using the Eiger Torrance mill alone. However, if the consistent particle size produced by the Automaxion mill are considered with the viscosity stability results, there is some evidence that 15% of the dispersant produces more stable formulations. This is masked by the variation in particle sizes obtained using the Eiger Torrance mill.

CONCLUSIONS

Milling by the Automaxion mill is comparable to the re-circulating bead mill and may be better since, in a recirculating mill a portion of the formulation being processed is always in the recirculating loop which can lead to broader distributions and unmilled sample. The Automaxion system offers several advantages over a recirculating mill including:

1. Less raw materials required and consequently, less waste.
2. Less time because several samples can be processed at the same time.
3. Less cleaning time and milling directly in the vials in which the dispersion can be stored.



Le misure sono state realizzate senza applicare le forze di taglio preliminari del campione. E' stato poi eseguito il test a valori crescenti continuo, registrando il profilo della viscosità su un range di forze di taglio da 1/s a 1000/s.

I risultati dell'analisi della reologia corrispondono ai risultati di granulometria e del potenziale zeta in quanto i profili della viscosità per il mulino Automaxion sono risultati coerenti mentre quelli per il mulino Eiger Torrance presentano un numero superiore di varianti, come i risultati relativi alle particelle. Per quanto riguarda gli inchiostri, è importante anche capire la stabilità delle dispersioni, dal momento che il consolidamento della viscosità dopo la macinazione è possibile se la dispersione del pigmento non è stata eseguita efficacemente e in modo ottimale oppure se il disperdente risulta in eccesso o in difetto.

Per l'analisi della stabilità, le dispersioni sono state stoccate a temperatura ambiente (22-25°C) e i profili della stabilità sono stati registrati dopo quattro settimane. I profili della viscosità sono presentati in Fig. 3.

La viscosità di ciascuna delle tre dispersioni è stata definita molto stabile. Ciò ha dimostrato che il mulino Automaxion ha prodotto dispersioni molto stabili del pigmento Vulcan XC605. Poiché i profili della viscosità sono stati esaminati da soli, si può concludere che il livello di disperdente si è rivelato efficace fra il 12 e il 18% osservando i risultati derivanti dall'uso del mulino Eiger Torrance da solo. Tuttavia, se si considera la corretta granulometria prodotta dal mulino Automaxion con i risultati della stabilità della viscosità, si evince che il 15% del disperdente dà luogo a formulazioni più stabili. Ciò è in parte caratterizzato da qualche incertezza, a causa delle variazioni della granulometria ottenute usando il mulino Eiger Torrance.

CONCLUSIONI

La macinazione eseguita con il mulino Atomaxion è comparabile a quella del mulino a sfere di ricircolo e potrebbe risultare migliore dal momento che una parte della formulazione trattata rimane sempre nell'ansa di ricircolo dando luogo a distribuzioni più ampie e a un campione non disperso.

Il sistema Automaxion offre diversi vantaggi rispetto al mulino di ricircolo fra cui:

- *quantità inferiori delle materie prime richieste e di conseguenza, quantità inferiori di prodotti di scarto.*
- *Meno tempo perché diversi campioni possono essere trattati contemporaneamente.*
- *Un numero inferiore di operazioni di pulizia e macinazione direttamente nei flaconcini in cui è possibile stoccare la dispersione.*